



# Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας



## “Energy resources: Technologies & Management”

### “Προέλευση & Χαρακτηριστικά Άνθρακα”

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



# Προέλευση και Χαρακτηριστικά ανθράκων



- **Σχηματισμός – Προέλευση ανθράκων**
- **Ταξινόμηση ανθράκων**
- **Δομή ανθράκων**
- **Αναλύσεις – Χαρακτηρισμοί ανθράκων**



## Σχηματισμός – Προέλευση ανθράκων

Οι ορυκτοί άνθρακες προέρχονται από συσσώρευση φυτικής ύλης, που καλύφθηκε και συμπιέστηκε από διάφορα ορυκτά στρώματα. Η διεργασία της μετατροπής, δηλ. **η ανθρακοποίηση** (coalification), διήρκεσε χιλιάδες χρόνια και είχε σαν αποτέλεσμα την σταδιακή απομάκρυνση του οξυγόνου και συνεπώς την σταδιακή αύξηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα.

Συντελέσθηκε κάτω από διαφορετικές συνθήκες σε κάθε περίπτωση και κυρίως σε μεγάλο χρονικό διάστημα. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι να μην συναντώνται σήμερα στον κόσμο δυο παρόμοια κοιτάσματα άνθρακα. Ο χρόνος σχηματισμού κυμαίνεται από 300.000.000 χρόνια ως και λιγότερο από 20.000 για τα κοιτάσματα τύρφης. Τα Ελληνικά λιγνιτικά κοιτάσματα έχουν ηλικία από 2.000.000 έως 18.000.000 χρόνια.



## Ταξινόμηση ανθράκων

Ο βαθμός ανθρακοποίησης αναφέρεται στο βαθμό προόδου της διαδικασίας μετατροπής της οργανικής ύλης σε άνθρακα και δείχνει την «ωριμότητα» ενός άνθρακα.

Οι άνθρακες κατατάσσονται έτσι ώστε να αναγνωριστεί η πιθανή χρήση τους και να συγκεντρωθούν χρήσιμα στοιχεία ώστε να χρησιμοποιηθούν οι κατάλληλοι τρόποι και ο εξοπλισμός καύσης και διαχείρισής των.

Τα πτητικά, ο μόνιμος άνθρακας, η φυσική υγρασία και το οξυγόνο είναι όλα ενδεικτικά της τάξης ενός άνθρακα αλλά κανένα δεν την ορίζει.

Στα Αμερικάνικα πρότυπα ASTM, ο μόνιμος άνθρακας, τα πτητικά (σε ξηρή βάση ελεύθερη τέφρας) αλλά και η θερμογόνο δύναμη (ελεύθερη τέφρας) είναι τα **κριτήρια χαρακτηρισμού της τάξης ενός άνθρακα**. Η ανόργανη ύλη (τέφρα) συσχετίζεται με την ποιότητα αλλά όχι με την τάξη ή το βαθμό ανθρακοποίησης του άνθρακα.



# Προέλευση και Χαρακτηριστικά ανθράκων



## Ταξινόμηση ανθράκων κατά ASTM

Τάξη	Ομάδα	Όρια περιεκτικότητας σε μό νιμο άνθρακα % (Δείγμα ξηρό, ελεύθερο ανόργανων ουσιών)		Όρια περιεκτικότητας σε πτητικές ενώσεις % (Δείγμα ξηρό, ελεύθερο ανόργανων ουσιών)		Όρια θερμογόνας δύναμης (Btu per pound) (Δείγμα υγρό, ελεύθερο ανόργανων ουσιών)	
		Μεγαλύτερο ή ίσο από	Λιγότερο από	Μεγαλύτερο ή ίσο από	Λιγότερο από	Μεγαλύτερο ή ίσο από	Λιγότερο από
I. Ανθρακίτης	1) μετα-ανθρακίτης	98			2		
	2) ανθρακίτης	92	98	2	8		
	3) ημι-ανθρακίτης	86	92	8	14		
II. Ασφαλτούχοι	1) χαμηλών πτητικών	78	86	14	22		
	2) μέσων πτητικών	69	78	22	31		
	3) υψηλών πτητικών A		69	31		14000	
	4) υψηλών πτητικών B					13000	14000
	5) υψηλών πτητικών C					11500	13000
III. Υπο-ασφαλτούχοι	1) Υπο-ασφαλτούχοι A					10500	11500*
	2) Υπο-ασφαλτούχοι B					9500	10500
	3) Υπο-ασφαλτούχοι C					8300	9500
IV. Λιγνίτες	1) Λιγνίτες A					6300	8300
	2) Λιγνίτες B						6300

- \* Φυσικές ιδιότητες, όπως η αντίσταση στη διάβρωση και η δύναμη του παραγόμενου κωκ, καθορίζουν την ομάδα στην οποία κατατάσσονται.
- Μετατροπή μονάδων : Btu X 1,055056 = kJ, Btu X 0,25180214 = Kcal, round X 0,45359237 = Kg
  - Δείγμα ξηρό, ελεύθερο ανόργανων ουσιών : Δείγμα που αποτελείται μόνο από το μόνιμο άνθρακα και τα πτητικά συστατικά οργανικής προέλευσης, (Dry, Mineral-matter-free)

**Ο μετα-ανθρακίτης είναι ανώτερης ποιότητας ανθρακίτης, που έχει περιεκτικότητα σε μόνιμο άνθρακα 98% ή περισσότερο και πτητικές ενώσεις 2% ή λιγότερο.**

**Βρίσκεται σπάνια και δεν χρησιμοποιείται για καύσιμο**

**Ο ανθρακίτης έχει περιεκτικότητα σε μόνιμο άνθρακα που κυμαίνεται από 92 έως 98% και πτητικές ενώσεις από 2 έως 8%. Καίγεται με χαμηλή, χλωμή, μπλε φλόγα, εκπέμπει λίγη μυρωδιά, και δεν μετατρέπεται σε κωκ. Η αξία του ως καύσιμο δεν είναι τόσο μεγάλη, όπως ούτε του ημι-ανθρακίτη, ούτε του αρίστης ποιότητας ασφαλούχου γαιάνθρακα.**

**Ο ημι-ανθρακίτης, ένας γαιάνθρακας με περιεκτικότητα σε μόνιμο άνθρακα από 86 έως 92%, έχει σε μικρότερο βαθμό τις ίδιες ιδιότητες με τον ανθρακίτη. Λόγω του υψηλότερου ποσοστού πτητικών ενώσεων, αναφλέγεται ευκολότερα από τον ανθρακίτη και καίγεται με μια χαμηλή, κίτρινη φλόγα. Λόγω της γρηγορότερης ανάφλεξης, η αποδοτικότητά του για ορισμένες χρήσεις είναι μεγαλύτερη από αυτή του ανθρακίτη. Η περιεκτικότητα σε πτητικές ενώσεις κυμαίνεται από 8 έως 14%, και έχει μέσο ειδικό βάρος 1,45.**

**Ο ασφαλτούχος γαιάνθρακας χαμηλών πτητικών έχει μια περιεκτικότητα σε μόνιμο άνθρακα μεταξύ 78 και 86%, ενώ ο ασφαλτούχος γαιάνθρακας μέσων πτητικών έχει μια περιεκτικότητα σε μόνιμο άνθρακα μεταξύ 69 και 78%. Αυτοί οι άνθρακες σχεδόν δεν παράγουν καπνό κατά την καύση και έχουν εμπορική ονομασία smokeless coal (άκαπνος γαιάνθρακας). Οι καλύτεροι άνθρακες αυτού του τύπου παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη θερμογόνα δύναμη από οποιαδήποτε άλλη τάξη.**

**Οι υπόλοιπες τρεις ομάδες ασφαλτούχου γαιάνθρακα έχουν όλες περιεκτικότητα σε μόνιμο άνθρακα λιγότερο από 69% και είναι ταξινομημένες σύμφωνα με τη θερμογόνα τους δύναμη.**

**Οι ασφαλτούχοι γαιάνθρακες καίγονται με μια μακριά, κίτρινη φλόγα και εκπέμπουν μια ασφυκτική μυρωδιά. Είναι κατά κανόνα λίγο ή περισσότερο στρωματοποιημένοι, και η λάμψη των διαφορετικών στρωμάτων ποικίλλει πολύ.**

**Στην υποασφαλτούχο κλάση υπάρχουν τρεις ομάδες, που είναι γνωστές ως A, B και C, με θερμογόνα δύναμη από 8,8 έως 12,1 MJ (8.300 έως 11.500 Btu) ανά λίβρα. Πολλοί γαιάνθρακες της υποασφαλτούχου κλάσης προσεγγίζουν την ποιότητα των χαμηλότερων βαθμών ασφαλτούχου γαιάνθρακα. Οι υποασφαλτούχοι άνθρακες ποικίλλουν πολύ στις φυσικές ιδιότητες.**

**Η τάξη του λιγνίτη έχει δύο υποδιαιρέσεις, την ομάδα λιγνίτη και την ομάδα καφέ γαιάνθρακα (brown coal). Αυτοί οι γαιάνθρακες έχουν μια θερμογόνα δύναμη μικρότερη από 8,8 MJ (8300 btu).**

**Οι λιγνίτες είναι συμπαγείς, ενώ οι καφέ γαιάνθρακες όχι. Στην οικογένεια των λιγνιτών ανήκουν και οι ξυλίτες. Οι δύο όροι, λιγνίτης και καφέ γαιάνθρακας, χρησιμοποιούνται συχνά εναλλακτικά, επειδή και οι δυο είναι καφέ στο χρώμα και μπορούν να έχουν παρόμοιες φυσικές και χημικές ιδιότητες. Το ειδικό βάρος κυμαίνεται από 0,5 έως 1,30. Οι λιγνίτες με θερμογόνα δύναμη από 6,6 έως 8,8 MJ (6300 έως 8300 Btu) είναι ταξινομημένοι ως ο λιγνίτης A και εκείνοι με θερμογόνα δύναμη λιγότερο από 6,6 MJ (6300 Btu) ως λιγνίτης B.**

**Ο ελληνικός λιγνίτης με περιεκτικότητα σε μόνιμο άνθρακα 42% και ανώτερη θερμογόνο δύναμη ελεύθερη τέφρας 3.600 Btu/lb κατατάσσεται ως Λιγνίτης B.**





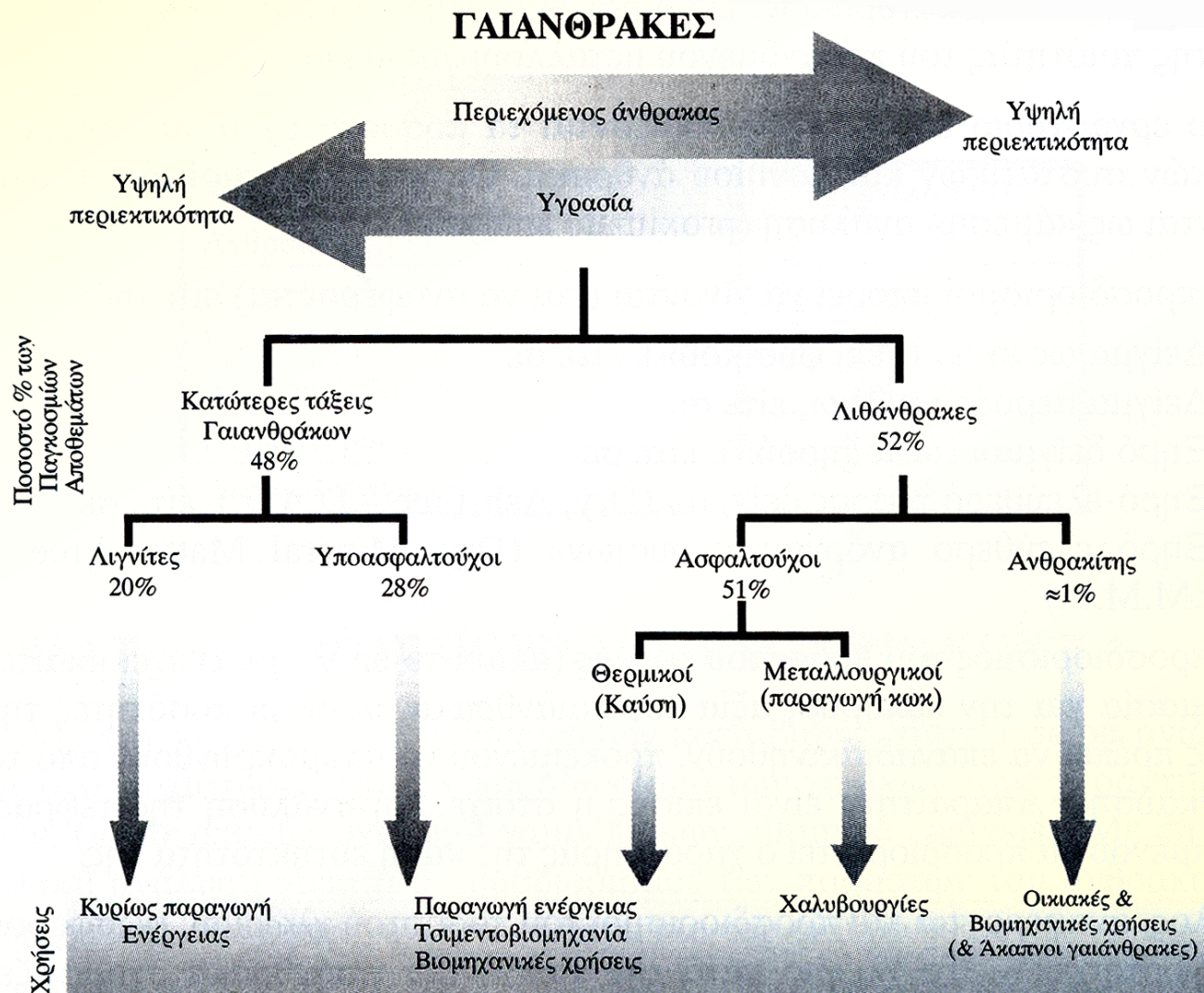
## Ταξινόμηση ανθράκων

Η λέξη «**βαθμός**» χρησιμοποιείται για να δείξει διαφορές στον άνθρακα, που οφείλονται στην προοδευτική αλλαγή από το λιγνίτη προς ανθρακίτη. Μια τέτοια αλλαγή συνοδεύεται γενικά από μια αύξηση στον περιεχόμενο μόνιμο άνθρακα, το θείο, και πιθανώς την τέφρα, αύξηση της πυκνότητας, μείωση του πορώδους και της υγρασίας.

Όταν ένας άνθρακας διακρίνεται από ένα άλλο ως προς την περιεκτικότητα σε τέφρα ή θείο, η διαφορά καλείται διαφορά βαθμού. Κατά συνέπεια, **αρίστης ποιότητας άνθρακας είναι ένας που είναι σχετικά καθαρός**, ενώ ένας άνθρακας υψηλού βαθμού είναι ένας που είναι σχετικά ψηλά στην κλίμακα των ανθράκων, ή, με άλλα λόγια, ένας άνθρακας που έχει υποβληθεί σε σταδιακή απομάκρυνση των πτητικών και περιέχει λιγότερες πτητικές ενώσεις, οξυγόνο και υγρασία σε σχέση με αυτά προτού να εμφανιστεί η αλλαγή.



# Προέλευση και Χαρακτηριστικά ανθράκων



## Κατάταξη και χρήσεις γαιανθράκων



# Δομή ανθράκων



- ✓ Ο άνθρακας είναι προϊόν αποσύνθεσης φυτικής ύλης και μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα μίγμα υδρογονανθράκων που περιέχουν ετεροάτομα, όπως οξυγόνο, άζωτο και θείο
- ✓ Τα κυριότερα στοιχεία είναι C, H, O, N, S. Περιέχει επίσης πληθώρα λειτουργικών ομάδων που σχηματίστηκαν από συνδυασμούς των αρχικών στοιχείων
- ✓ Ο χαρακτηρισμός του άνθρακα είναι μια αρκετά δύσκολη υπόθεση. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι δεν υπάρχει “μόριο” του άνθρακα με την συνηθισμένη έννοια
- ✓ Ο άνθρακας μοιάζει περισσότερο με πολυμερές με την επιπλέον περιπλοκή της ανυπαρξίας ενός μονομερούς από το οποίο να προέρχεται το πολυμερές. Είναι μια συνένωση διαφόρων μονομερών και η σύνθεση αυτή διαφέρει από άνθρακα σε άνθρακα
- ✓ Για τον χαρακτηρισμό του άνθρακα (δομή και συμπεριφορά) απαιτούνται πληροφορίες, τόσο για την φυσική, όσο και για την χημική του δομή



# Φυσική δομή ανθράκων



- ✓ Η **φυσική δομή** των ανθράκων δείχνει την διάταξη μέσα στον χώρο των μακρομορίων, των μικροτέρων μορίων και την έκταση των σταυροδεσμών
- ✓ Η φυσική δομή του άνθρακα επιδρά σημαντικά στη δραστικότητα του σε σχέση με τη μεταφορά μάζας και θερμότητας διαμέσου του σωματιδίου του [πειραματικές μετρήσεις (απορρόφηση αζώτου, ηλίου και αντικατάσταση με υδράργυρο) έχουν δείξει ότι **οι περισσότεροι άνθρακες παρουσιάζουν υψηλό πορώδες** κυμαινόμενο από 4% ως 23 %]
- ✓ **Οι άνθρακες εμφανίζουν συμπεριφορά κολλοειδών τύπου McBain** στα οποία η διεσπαρμένη φάση είναι στερεά και συνεχής, ενώ επιπλέον της διασπείρουσας φάσης υπάρχει και μία τρίτη φάση [30] που δρα σταθεροποιητικά
- ✓ Ο χαρακτηρισμός ως κολλοειδούς είναι περισσότερο ισχυρός για τους άνθρακες χαμηλής τάξης στους οποίους υπάρχει πληθώρα σταθεροποιητικών παραγόντων όπως ομάδες υδροξυλίων, καρβοξυλίων, καρβονυλίων, αμινών κλπ., ενώ η αύξηση της τάξης των ανθράκων οδηγεί σε περισσότερο συμπυκνωμένη δομή, μείωση των λειτουργικών ομάδων και εξασθένιση της κολλοειδούς φύσης τους



# Φυσική δομή ανθράκων



- ✓ Η φυσική δομή των ανθράκων, σύμφωνα με μελέτες με ακτίνες X, αντιστοιχεί σε αρωματικά επίπεδα που διατάσσονται σε παράλληλα στρώματα
- ✓ Η παράλληλη διάταξη των αρωματικών επιπέδων εκτείνεται σε μικρό ή μεγαλύτερο βαθμό ανάλογα με την τάξη του άνθρακα
- ✓ Δηλαδή, ο αριθμός των επιπέδων που διατάσσονται παράλληλα αυξάνεται με την τάξη, ενώ παράλληλα μειώνεται το ποσοστό του άμορφου άνθρακα



# Φυσική δομή ανθράκων

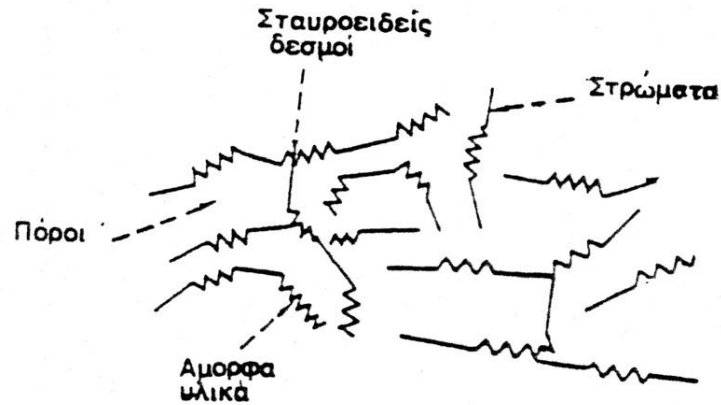


Ο Hirsch στηριζόμενος σε αποτελέσματα πειραμάτων με ακτίνες X διαχώρισε τρεις τύπους δομής για ένα μεγάλο φάσμα ανθράκων:

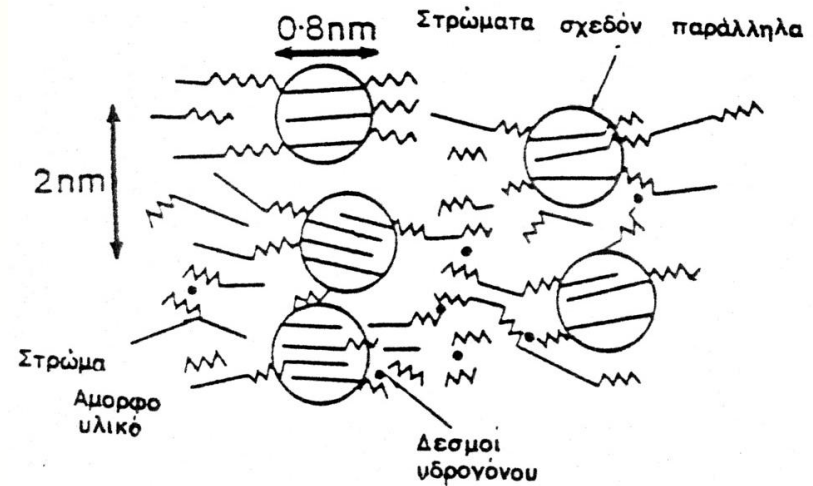
- ✓ **Ανοιχτή δομή**, είναι χαρακτηριστική για άνθρακες χαμηλής τάξης, με περιεκτικότητα μέχρι 85% σε άνθρακα. Οι άνθρακες της κατηγορίας αυτής παρουσιάζουν υψηλό πορώδες και είναι άμορφοι. Τα μακρομόρια συνδέονται με σταυροδεσμούς και προσανατολίζονται άλλοτε περισσότερο και άλλοτε λιγότερο τυχαία προς όλες τις διευθύνσεις
- ✓ **Υγρή δομή**, είναι τυπική για βιτουμινικούς άνθρακες με περιεκτικότητα από 85 - 91% σε άνθρακα. Ο αριθμός των σταυροδεσμών στους άνθρακες αυτούς έχει μειωθεί σημαντικά και τα μακρομόρια παρουσιάζουν κάποιο προσανατολισμό. με τον σχηματισμό κρυσταλλιτών, που περιέχουν δύο ή περισσότερα από αυτά
- ✓ **Ανθρακιτική δομή**, είναι η πλέον συνήθης για άνθρακες υψηλότερης τάξης, περιεκτικότητας πάνω από 91% σε άνθρακα. Ο βαθμός προσανατολισμού στη δομή αυτή έχει αυξηθεί και οι σταυροδεσμοί έχουν εξαφανιστεί, με αποτέλεσμα το πορώδες να εμφανίζεται μειωμένο. Έτσι, οι ανθρακίτες έχουν πολλούς μικρούς πόρους



# Φυσική δομή ανθράκων



a) 80% C



b) 89% C



c) 94% C

Μοντέλα δομών άνθρακα



# Φυσική δομή ανθράκων



- ✓ Δύο φυσικές ιδιότητες των ανθράκων που ελέγχουν το ρυθμό των διαδικασιών μεταφοράς, κυρίως τη μεταφορά μάζας, είναι **η δομή των πόρων και το ιξώδες της πλαστικής περιοχής του άνθρακα**
- ✓ Οι ιδιότητες αυτές δεν είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, διότι καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την ανάπτυξη της πορώδους δομής κατά τις θερμικές διεργασίες
- ✓ Η **πορώδης δομή** του άνθρακα είναι πολύπλοκη και, κατά την διάρκεια των διαφόρων διεργασιών, γίνεται πολυπλοκότερη. Ο άνθρακας εμφανίζει ένα σύστημα πορώδους δομής του τύπου σχισμή-κοίλωμα (aperture-cavity), η είσοδος στο οποίο καθορίζεται από το μέγεθος της οπής ενώ η προσρόφηση από το μέγεθος του κοιλώματος





# Φυσική δομή ανθράκων



Οι πόροι των ανθράκων ποικίλουν σε μέγεθος. Μεγάλος όγκος πόρων δεν συνεπάγεται απαραίτητα και μεγάλη επιφάνεια πόρων, γιατί αυτή εξαρτάται από την κατανομή του μεγέθους των πόρων. Σε σχέση με την ακτίνα τους διακρίνονται τρεις κατηγορίες πόρων:

- ✓ **μικροπόροι**, από 4 ως 12 Angstrom
- ✓ **ενδιάμεσοι πόροι**, μεταξύ 12 και 300 Angstrom
- ✓ **μακροπόροι**, πάνω από 300, πιθανώς μέχρι 1000 Angstrom

Ο Dubinin έχει μεταβάλλει τα παραπάνω όρια στα ακόλουθα, μέχρι 20 Angstrom για τους μικροπόρους, από 20 ως 200 Angstrom για τους ενδιάμεσους πόρους και πάνω από 200 Angstrom για τους μακροπόρους

Αντίστοιχα τα μεγέθη των πόρων έχουν ταξινομηθεί κατά IUPAC ως ακολούθως

- ✓ **μικροπόροι**, ως 20 Angstrom
- ✓ **ενδιάμεσοι πόροι**, μεταξύ 20 και 500 Angstrom
- ✓ **μακροπόροι**, πάνω από 00



# Φυσική δομή ανθράκων

- ✓ Για τον προσδιορισμό του όγκου πόρων, της ειδικής επιφάνειας και της κατανομής του μεγέθους πόρων έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι
- ✓ Οι τεχνικές βασίζονται σε πειράματα προσρόφησης κυρίως υδραργύρου, ηλίου, αζώτου και διοξειδίου του άνθρακα

Κωδικός	Τάξη	$V_T$ ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )	$V_1$ (%)	$V_2$ (%)	$V_3$ (%)	$S_{N_2}$ ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	$S_{CO_2}$ ( $\text{m}^2/\text{g}$ )
PSOC-80	Anthr.	0.076	75.0	13.1	11.9	7.0	408
PSOC-127	lvb	0.052	73.0	0	27.0	< 1.0	253
PSOC-135	mvb	0.042	61.9	0	38.1	< 1.0	214
PSOC-4	hvab	0.033	48.5	0	51.5	< 1.0	213
PSOC-105A	hvbb	0.144	29.9	45.1	25.0	43.0	114
Rand	hvcb	0.083	47.0	32.5	20.5	17.0	147
PSOC-26	hvcb	0.158	41.8	38.6	19.6	35.0	133
PSOC-197	hvcb	0.105	66.7	12.4	20.9	8.0	163
PSOC-190	hvcb	0.232	30.2	52.6	17.2	83.0	96
PSOC-141	lignite	0.114	19.3	3.5	77.2	2.3	250
PSOC-87	lignite	0.105	40.9	0	59.1	< 1.0	268
PSOC-89	lignite	0.073	12.3	0	87.7	1.0	238



# Φυσική δομή ανθράκων



- ✓ **Συστηματική μελέτη της πορώδους δομής των ανθράκων με ακτίνες X έχει δείξει ότι οι άνθρακες αποτελούνται από αρωματικές στοιβάδες που περιέχουν δραστικές ομάδες**
- ✓ **Το μέγεθος και η ευθυγράμμιση των στοιβάδων αυτών αυξάνεται καθώς αυξάνεται η τάξη (rank) του άνθρακα. Μικρότερη ευθυγράμμιση μεταξύ των στοιβάδων δημιουργεί εσωτερικούς (κλειστούς) πόρους, καθιστώντας των άνθρακα μικροπορώδες υλικό**
- ✓ **Στον προηγούμενο πίνακα παρατηρείται ότι οι άνθρακες έχουν το σημαντικότερο μέρος του πορώδους τους στους μικροπόρους και στους μακροπόρους**
- ✓ **Ειδικότερα οι μικροπόροι αποτελούν περισσότερο από το 60% του συνολικού όγκου πόρων**



# Φυσική δομή ανθράκων



- ✓ Κάτω από ορισμένες συνθήκες, πολλοί άνθρακες όταν θερμαίνονται πάνω από 350°C, λιώνουν για να σχηματίσουν ένα μη νευτωνικό ρευστό με μεγάλο ιξώδες. Οι άνθρακες της κατηγορίας αυτής ονομάζονται “πλαστικοί” ή “μαλακοί”
- ✓ Οι “μαλακοί” άνθρακες διαφέρουν από τους “μη μαλακούς” επειδή έχουν την δυνατότητα να ευθυγραμμίζουν και να σταθεροποιούν τους κρυσταλλίτες τους. Αντίθετα στους “μη μαλακούς” άνθρακες η ευθυγράμμιση και η σταθεροποίηση είναι αμελητέες και οι κύριες αλλαγές όγκου πόρων οφείλονται στη διεύρυνση ή τη στένωση των ανοιγμάτων
- ✓ Γενικά η ανάπτυξη πλαστικής συμπεριφοράς περιορίζεται στους ασφατούχους άνθρακες. Οι χαμηλής τάξης άνθρακες, όπως οι λιγνίτες, καθώς και οι υψηλής τάξης ανθρακίτες, εάν κονιοποιηθούν και θερμανθούν παραμένουν υπό μορφή κόνεως.
- ✓ Ένα σημαντικό αποτέλεσμα των πλαστικών ιδιοτήτων του άνθρακα είναι η συσσωμάτωση (agglomeration) των σωματιδίων προς σχηματισμό γραφιτικών δομών ή ολοκληρωτική συγκόλληση της μάζας ή δημιουργία κρούστας. Έτσι, οι όροι “δημιουργία συσσωμάτωσης” (agglomeration), ή “δημιουργία κρούστας” (caking) πολλές φορές αντικαθιστούν τον όρο “μαλάκυνση” (softening).



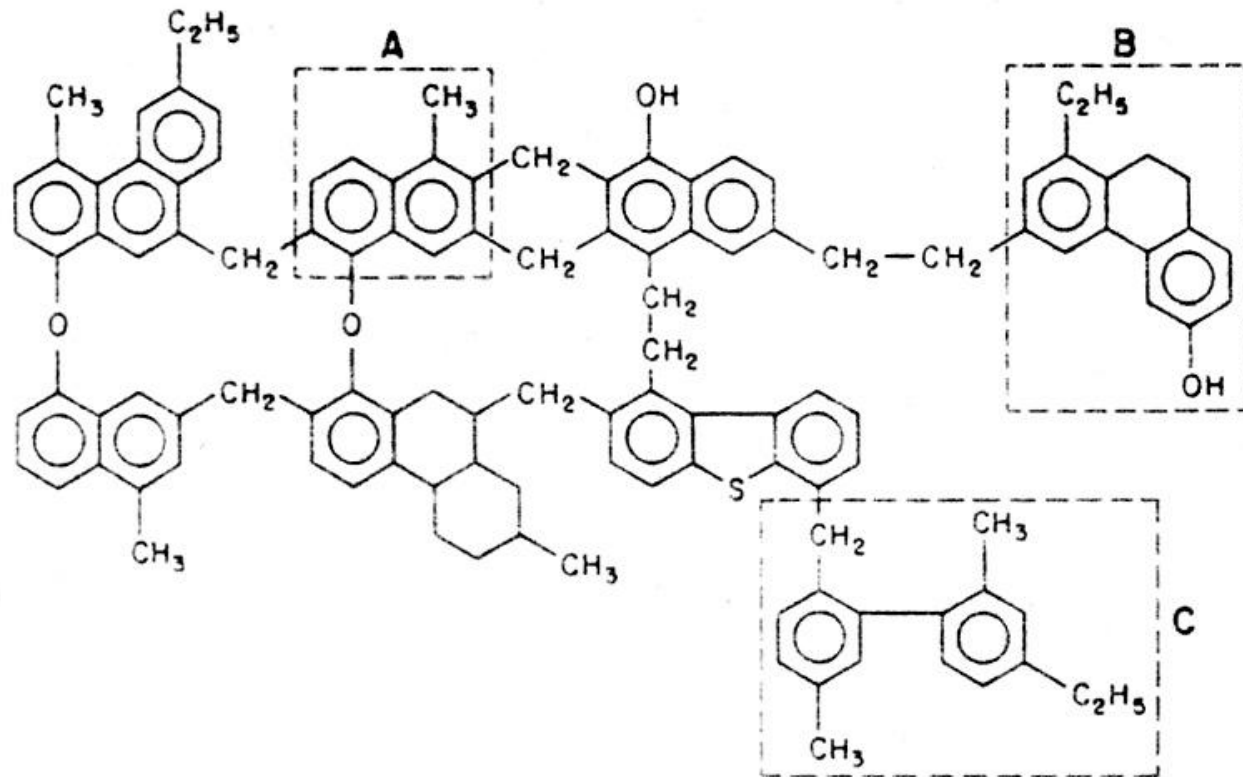
# Μοντέλα ανθράκων



- ✓ Η πολυπλοκότητα του άνθρακα αλλά και η μεταβλητότητα των χαρακτηριστικών του δεν έχει επιτρέψει την συνολική περιγραφή της δομής των ανθράκων
- ✓ Ποιοτικά μοντέλα της δομής του άνθρακα έχουν προταθεί από διάφορους ερευνητές, βασίζονται δε σε στατιστικούς συνδυασμούς οργανικών ομάδων που ανιχνεύονται με άμεσους ή/και έμμεσους τρόπους στους άνθρακες και στα παράγωγα τους (εκχυλίσματα, προϊόντα πυρόλυσης και οξείδωσης)
- ✓ Τα μοντέλα αυτά αντιπροσωπεύουν πιθανές μορφές μιας μέσης στατιστικής δομής, έχουν δε θεωρητική μόνο σημασία καθώς διαφέρουν σημαντικά ακόμη και για άνθρακες της ίδιας τάξης



## Μοντέλα ανθράκων



- ✓ Οι λειτουργικές ομάδες συγκροτούνται σε “δομικές μονάδες” (modular units) που συνδέονται ομοιοπολικά σχηματίζοντας “μόρια” άνθρακα
- ✓ Κάθε δομική μονάδα αποτελείται από αρωματικούς δακτυλίους και υποκαταστάτες, πχ. η μονάδα A αποτελείται από έναν αρωματικό πυρήνα (ναφθαλένιο), αλειφατικές αλυσίδες (κυρίως μεθυλικές ή αιθερικές), φαινολικά υδροξύλια και υποκαταστάτες καρβοξυλικών οξέων
- ✓ Ορισμένες δομικές μονάδες, όπως η ομάδα B περιέχουν έναν μερικά υδρογονωμένο πυρήνα (9,10-δι-υδρο-φαιναθρένιο), ενώ η μονάδα C περιέχει έναν διφαινυλικό πυρήνα



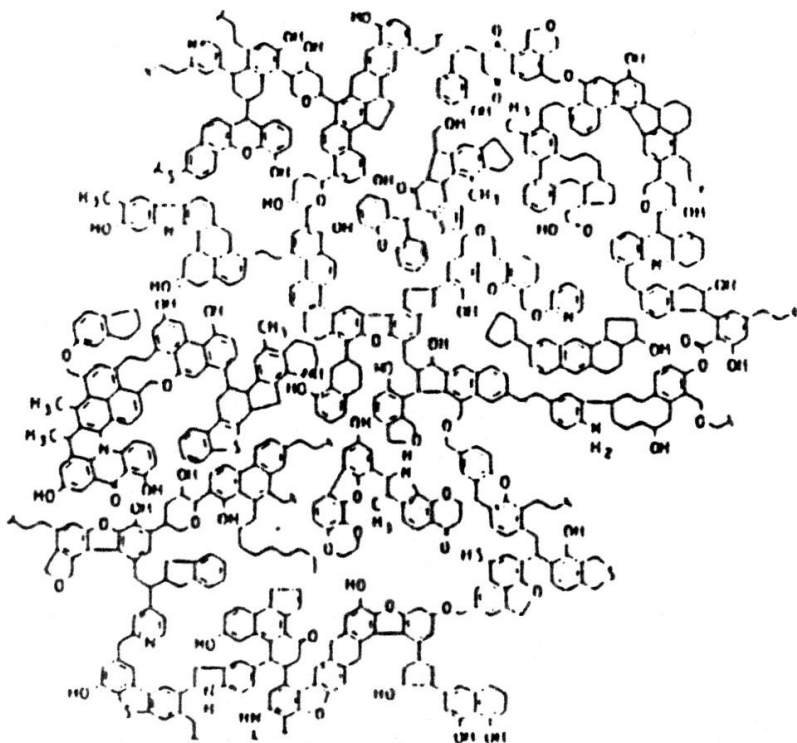
# Μοντέλα ανθράκων



- ✓ Οι **δομικές μονάδες** συνδέονται με **γέφυρες** κυρίως μεθυλενικές, αιθυλενικές και αιθερικές. Με τον όρο γέφυρα ορίζεται κάθε δεσμός που μπορεί να διασπαστεί θερμικά. Στην δομική μονάδα C που περιέχει έναν διφαινυλικό πυρήνα, ο δεσμός μεταξύ των δύο βενζολικών δακτυλίων δεν θεωρείται γέφυρα λόγω της υψηλής ενέργειας που απαιτείται για την διάσπαση του
- ✓ Για τον προσδιορισμό του αριθμού των δομικών μονάδων στο “μόριο” του άνθρακα απαιτείται η εύρεση του “μοριακού” βάρους του άνθρακα. Το μέσο μοριακό βάρος των εκχυλισμάτων σε πυριδίνη ακατέργαστου άνθρακα και άνθρακα που έχει υποστεί αναγωγή σε διάλυμα Li-αμίνης κυμαίνεται μεταξύ 1000 και 4000. Τα εκχυλίσματα υλικά του άνθρακα που έχει υποστεί αναγωγή αντιπροσωπεύουν το 40 ως 80% του αρχικού άνθρακα και κατά συνέπεια το μοριακό βάρος της τάξης 1000 ως 4000 μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό. Το απομένον αδιάλυτο υλικό πιθανόν να έχει υψηλότερο μοριακό βάρος ή μεγαλύτερη συγκέντρωση πολικών ομάδων
- ✓ Θεωρώντας το μοριακό βάρος μιας δομικής μονάδας περίπου 200 - 250, το “μόριο” του άνθρακα θα **περιέχει 5 ως 20 τέτοιες δομικές μονάδες**. Η διάταξη των δομικών μονάδων δεν είναι γραμμική καθώς αυτό θα σήμαινε σημαντικά μικρότερο αριθμό γεφυρών από τον προσδιοριζόμενο με πειράματα αποπτητικοποίησης. Μια δισδιάστατη δομή που περιέχει επίπεδα είναι περισσότερο πιθανή. Τα “μόρια” του άνθρακα συγκρατούνται μεταξύ τους με δευτερογενείς (μη-ομοιοπολικούς) δεσμούς ή με ανταλλαγή φορτίων μεταξύ όξινων-βασικών συμπλεγμάτων



# Μοντέλα ανθράκων



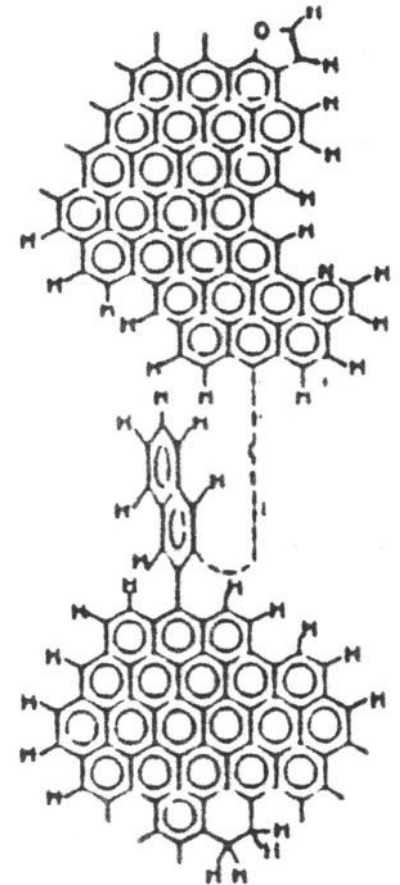
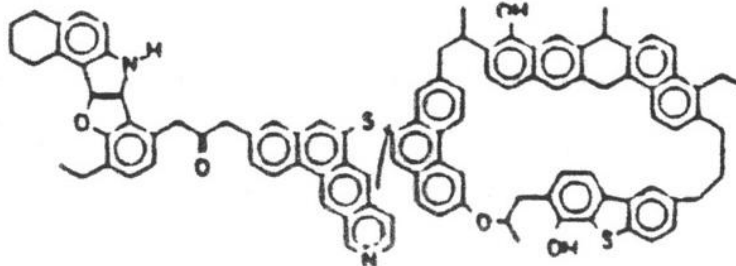
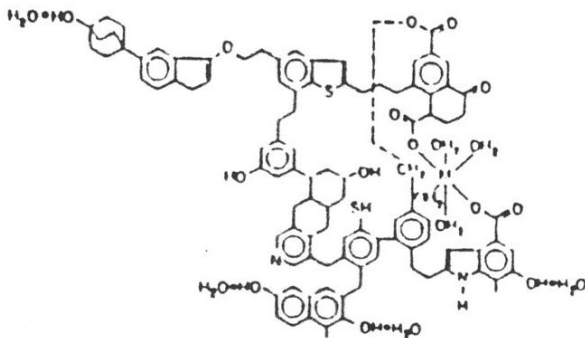
- ✓ Ο Shinn πρότεινε το μοντέλο του Σχήματος για τον βιτουμινικό άνθρακα, στο οποίο οι δομικές μονάδες είναι αρωματικά και υδροαρωματικά συμπλέγματα αποτελούμενα από 3 ως 5 αρωματικούς δακτυλίους
- ✓ Οι μονάδες αυτές; συνδέονται με αλειφατικές και αιθερικές γέφυρες σχηματίζοντας μακρομοριακά συμπλέγματα





# Μοντέλα ανθράκων

- ✓ Οι Spiro και Kosky παρουσίασαν τρισδιάστατα μοντέλα για άνθρακες υψηλής, μέσης και χαμηλής τάξης με βάση αποτελέσματα άλλων ερευνητών για τον παράγοντα αρωματικότητας, το αρωματικό υδρογόνο και τις στοιχειακές συστάσεις, και παρουσιάζονται στο Σχήμα
- ✓ Οι παραπάνω ερευνητές θεωρούν ότι οι άνθρακες χαμηλής τάξης αποτελούνται από τυχαία μόρια και ισοτροπικά, κατά τον σχηματισμό δε του ανθρακικού δικτύου δεν παρατηρείται κάποιος προσανατολισμός





## Σύσταση ανθράκων

Με βάση τη διαδικασία γένεσης των γαιανθράκων, τα βασικότερα συστατικά τους είναι η **καύσιμη ύλη**, η **υγρασία** και η **τέφρα**.

**Η καύσιμη ύλη** περιλαμβάνει τον μόνιμο άνθρακα και τα πτητικά συστατικά. Πτητικά θεωρούνται τα συστατικά που απομακρύνονται από τον άνθρακα με θέρμανση σε ατμόσφαιρα αδρανούς αερίου και σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από 750°C. Αποτελούνται κύρια από υδρογονάνθρακες, CO και CO<sub>2</sub>.

**Η υγρασία** αποτελεί σημαντικό συστατικό όλων γενικά των γαιανθράκων χαμηλού βαθμού ενανθράκωσης. Η υγρασία είναι δεσμευμένη σε ισχυρότατες δυνάμεις στον άνθρακα σε μονομοριακές και πολυμοριακές στοιβάδες και απαντάται σε γέφυρες υδρογόνου και σε πόρους διαμέτρου 3-5 nm. Η υπόλοιπη υγρασία υπάρχει υπό μορφή εξωτερικής (επιφανειακής) υγρασίας.



## Σύσταση ανθράκων

**Η τέφρα** περιλαμβάνει τα ανόργανα συστατικά των φυτικών υπολειμμάτων (*πρωτογενής τέφρα*) και το ανόργανο υλικό που προέρχεται από εξωτερικές πηγές και συναποτέθηκε με τα φυτικά υπολείμματα (*δευτερογενής τέφρα*).

Στην πράξη, κατά την εξόρυξη των γαιανθράκων προστίθεται και το ανόργανο υλικό των ενδιαμέσων ενστρώσεων που συνεξορύσσονται (*τέφρα εκμετάλλευσης ή τριτογενής*).

$$(\text{καύσιμη ύλη})\% + (\text{υγρασία})\% + (\text{τέφρα})\% = 100 \%$$



## Αναλύσεις – Χαρακτηρισμός της ποιότητας των ανθράκων

Ο προσδιορισμός της ποιότητας του παραγόμενου άνθρακα έχει ουσιαστική σημασία για το σωστό σχεδιασμό της θερμοηλεκτρικής μονάδας που θα τροφοδοτήσει, καθώς και για τον προσδιορισμό των πιθανόν εξωηλεκτρικών χρήσεων.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τη διεργασία της καύσης στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, προσδιορίζονται με την ακόλουθη σειρά αναλύσεων:

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



## Αναλύσεις – Χαρακτηρισμός της ποιότητας των ανθράκων

Με τις χημικές αναλύσεις προσδιορίζονται τα βασικά ποιοτικά χαρακτηριστικά των ανθράκων. Διακρίνονται δυο κατηγορίες αναλύσεων:

- **Προσεγγιστική** ή άμεση ανάλυση (proximate analysis)
- **Στοιχειακή** ή τελική ανάλυση (ultimate analysis)



## Αναλύσεις – Χαρακτηρισμός της ποιότητας των ανθράκων

Με την προσεγγιστική ανάλυση προσδιορίζονται **το ποσοστό υγρασίας, η τέφρα και τα πτητικά συστατικά** ενώ ο μόνιμος άνθρακας υπολογίζεται έμμεσα αφού αφαιρεθεί η υγρασία και εκφράζεται ως ποσοστό % του ξηρού άνθρακα

$$(\text{μόνιμος άνθρακας ξηρού άνθρακα}) \% = 100 - (\text{πτητικά ξηρού άνθρακα})\% - (\text{τέφρα ξηρού γαιάνθρακα})\%$$

Οι προσδιορισμοί μπορεί να γίνονται (και να αναφέρονται) είτε σε:

«Δείγμα ως έχει» («επί φυσικού»), είτε σε

«Δείγμα αεροξηρανθέν», είτε σε

«Ξηρό δείγμα» («επί ξηρού»), είτε σε

«Ξηρό-ελεύθερο τέφρας δείγμα» (Dry, Ash-Free - D.A.F.), είτε σε

«Ξηρό ελεύθερο ανόργανων ουσιών» (Dry, Mineral Matter Free -D.M.M.F.)



## Αναλύσεις – Χαρακτηρισμός της ποιότητας των ανθράκων

Ο προσδιορισμός του ποσοστού τέφρας (άκαυστο υπόλειμμα) έχει ιδιαίτερη σημασία για την εμπορική αξία του γαιάνθρακα, αφού οι ποσότητες της τέφρας πρέπει να επαναδιακινηθούν, προκειμένου να απομακρυνθούν από το χώρο καύσης.

Απαραίτητη είναι επίσης η στοιχειακή ανάλυση της τέφρας, προκειμένου να προσδιοριστεί ο χαρακτήρας της και η ευτηκτότητά της. Τέλος, η χημική ανάλυση της τέφρας επιτρέπει τον υπολογισμό των δεικτών επικαθήσεων και επισκωρώσεων, οι οποίοι είναι ενδεικτικοί των συγκεντρώσεων ανόργανων στοιχείων που επικάθονται στα μεταλλικά τμήματα των λέβητων. Οι επικαθήσεις προκαλούν μείωση της απόδοσης του λέβητα, λόγω της χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας τους, και αύξηση της χημικής διάβρωσης των μεταλλικών μερών του λέβητα.



## Αναλύσεις – Χαρακτηρισμός της ποιότητας των ανθράκων

Με τη **στοιχειακή ανάλυση** γίνεται ο προσδιορισμός των ποσοστών του άνθρακα, του υδρογόνου, του οξυγόνου, του αζώτου και του ολικού θείου.

Ο προσδιορισμός του ποσοστού άνθρακα και υδρογόνου είναι πιο σημαντικός για την κατάταξη του άνθρακα κατά βαθμό. Κατά τον προσδιορισμό του άνθρακα συμπεριλαμβάνεται ο άνθρακας που υπάρχει όχι μόνο στο οργανικό μέρος, αλλά και στο ανόργανο, όπως σε ανθρακικά ορυκτά που περιέχονται στον άνθρακα (π.χ.  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{CO}_3$ , κλπ).

Ο προσδιορισμός του ποσοστού οξυγόνου επίσης συμπεριλαμβάνει αυτό που υπάρχει όχι μόνο στο οργανικό μέρος, αλλά και στο ανόργανο και έχει σημασία για τις διαδικασίες αεριοποίησης και υγροποίησης των ανθράκων.





## Αναλύσεις – Χαρακτηρισμός της ποιότητας των ανθράκων

Ο προσδιορισμός του ποσοστού αζώτου παίζει ρόλο για τη δυνατότητα σχηματισμού αμμωνιακών ενώσεων, είτε κατά τη βιομηχανική παραγωγή κωκ, είτε κατά τις διαδικασίες αεριοποίησης και υγροποίησης των ανθράκων. Οι αμμωνιακές ενώσεις προωθούνται στη βιομηχανία λιπασμάτων ή τη βιομηχανία νιτρικού οξέος.

Ο προσδιορισμός του ποσοστού ολικού θείου είναι πολύ σημαντικός, επειδή η παρουσία του προκαλεί προβλήματα διαβρώσεων στις εγκαταστάσεις καύσης των ανθράκων, εκπομπές  $SO_2$  στην ατμόσφαιρα ή υποβάθμιση της ποιότητας του παραγόμενου μεταλλουργικού κωκ.



# Προέλευση και Χαρακτηριστικά ανθράκων



## Προσεγγιστική και στοιχειακή ανάλυση ανθράκων

Ιδιότητα	Λιγνίτες	Άνθρακες		
		Πισσούχοι	Πισσούχοι χαμηλών πτητικών και ημιανθρακίτες	Ανθρακίτες
Υγρασία (% επί φυσικού)	30-70	2-20	2-20	2-20
Τέφρα (% επί φυσικού)	5-40	1-30	1-30	1-30
Πτητικά (% daf)	40 - 66	> 22	8 - 22	< 8
Μόνιμος Άνθρακας (% daf)	35 - 60	55 - 85	85 - 92	> 92
Ολικός Άνθρακας (% daf)	60 - 80	80 - 95	90 - 95	92 - 95
Υδρογόνο (% daf)	4,5 - 6,5	4,5 - 6,5	3,5 - 4,5	3 - 8
Οξυγόνο (% daf)	12 - 30	1,5 - 14	1,2 - 6	1,2 - 5
Θείο (% daf)	0,5 - 4,7	0,3 - 4,5	0,5 - 1	0,5 - 0,8
Ανωτέρα Θερμ. Δυν. (MJ/kg daf)	23 - 35	32 - 38,5	35 - 38	35 - 38

% daf = % επί καυσίμου ύλης, % w = % υγρασία, a % = % τέφρα επί φυσικού, awf % = % τέφρα επί ξηρού



## Δειγματοληψία ανθράκων

Τα αποτελέσματα οποιασδήποτε χημικής ανάλυσης ενός δείγματος άνθρακα ή κωκ θα είναι αντιπροσωπευτικά του δείγματος μόνον όταν η ποσότητα δείγματος που αναλύεται στο εργαστήριο είναι ενδεικτική του πραγματικού κοιτάσματος. Για την εξασφάλιση της μεγαλύτερης δυνατής ακρίβειας, πρέπει να ακολουθούνται πιστά οι οδηγίες των παρακάτω μεθόδων:

- ✓ **ASTM D 2013:** Προετοιμασία δείγματος άνθρακα για ανάλυση
- ✓ **ASTM D 2234:** Συλλογή δείγματος άνθρακα
- ✓ **ASTM D 346:** Δειγματοληψία άνθρακα για ανάλυση
- ✓ **ISO 2309:** Άνθρακας - Δειγματοληψία
- ✓ **ISO 1988:** Άνθρακες υψηλής τάξης - Δειγματοληψία



## Προσεγγιστική (άμεση) ανάλυση ανθράκων

- ❑ Ο όρος άμεση (proximate) ανάλυση προήλθε από τις προσεγγιστικές (approximate) αναλύσεις που διεξάγονταν στο παρελθόν με βάση περισσότερο εμπειρικούς παρά επιστημονικούς κανόνες
- ❑ Σήμερα, αν και οι άμεσες αναλύσεις εξακολουθούν να στηρίζονται στην εμπειρία, δίνουν αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα όταν ακολουθείται πιστά η όλη διαδικασία
- ❑ **Υγρασία**
  - ✓ **ASTM D 3173**: Προσδιορισμός υγρασίας σε δείγματα άνθρακα και κωκ.
  - ✓ **ASTM D 2961**: Συνολική υγρασία σε δείγματα άνθρακα από κόσκινο No 8 (περιορισμένη χρήση).
  - ✓ **ISO 331**: Προσδιορισμός της υγρασίας με σταθμική ανάλυση
  - ✓ **ISO 348**: Προσδιορισμός της υγρασίας με ογκομετρική ανάλυση
  - ✓ **ISO 579**: Προσδιορισμός συνολικής υγρασίας σε κωκ
  - ✓ **ISO 589**: Προσδιορισμός συνολικής υγρασίας σε άνθρακες υψηλού βαθμού
  - ✓ **ISO 687**: Προσδιορισμός υγρασίας σε δείγματα κωκ
  - ✓ **ASTM D 3302**: Συνολική υγρασία σε άνθρακες
  - ✓ **ISO 1015**: Προσδιορισμός συνολικής υγρασίας σε άνθρακες χαμηλού βαθμού



## Προσεγγιστική (άμεση) ανάλυση ανθράκων

### ❑ Τέφρα

- ✓ **ASTM D 3174** : Υπολογισμός τέφρας σε δείγματα άνθρακα και κωκ
- ✓ **ISO 1171** : Μέταλλα σε στερεά καύσιμα - Προσδιορισμός της τέφρας

### ❑ Ανόργανα Συστατικά

- ✓ **ISO 602**: Προσδιορισμός ανόργανων συστατικών σε άνθρακα

### ❑ Πτητικά Συστατικά

- ✓ **ASTM D 3175** : Προσδιορισμός πτητικών συστατικών σε δείγμα άνθρακα και κωκ
- ✓ **ISO 562** : Προσδιορισμός των πτητικών συστατικών σε άνθρακες υψηλής τάξης
- ✓ **ISO Draft proposal** : Προσδιορισμός πτητικών συστατικών σε χαμηλής τάξης άνθρακες και λιγνίτες



## Στοιχειακή ανάλυση ανθράκων

Ως **στοιχειακή ανάλυση** η ASTM D 121 ορίζει “στην περίπτωση ανθράκων και κωκ, τον προσδιορισμό του άνθρακα και του υδρογόνου στο στερεό, όπως αυτά απαντώνται στα αέρια προϊόντα της καύσης του, τον προσδιορισμό του θείου, αζώτου και τέφρας στο στερεό σαν άθροισμα και τον υπολογισμό του οξυγόνου σαν επί τοις εκατό διαφορά”

### □ Υπολογισμός άνθρακα και υδρογόνου

- ✓ ASTM D 3178 : Προσδιορισμός άνθρακα και υδρογόνου σε δείγμα άνθρακα και κωκ
- ✓ ISO 625 : Μέθοδος Liebig
- ✓ ISO 609: Προσδιορισμός άνθρακα και υδρογόνου με καύση σε υψηλή θερμοκρασία

### □ Υπολογισμός θείου

- ✓ ASTM D 3177 : Ολικό θείο σε δείγματα άνθρακα και κωκ
- ✓ ISO 334 : Προσδιορισμός ολικού θείου σε άνθρακα και κωκ - Μέθοδος Escha
- ✓ ISO 351 : Προσδιορισμός θείου με καύση σε υψηλή θερμοκρασία



## Στοιχειακή ανάλυση ανθράκων

### □ Υπολογισμός αζώτου

- ✓ **ASTM D 3179** : Ανάλυση αζώτου σε δείγματα άνθρακα και κωκ
- ✓ **ISO 332** : Προσδιορισμός αζώτου σε άνθρακα με την μέθοδο Macro-Kjeldahl
- ✓ **ISO 333** : Προσδιορισμός αζώτου σε άνθρακα και κωκ με την μέθοδο SemiMicro-Kjeldahl

### □ Υπολογισμός οξυγόνου

Για τον προσδιορισμό του οξυγόνου η ASTM σχολιάζει

- ✓ *Δεν υπάρχει απευθείας μέθοδος μέτρησης του οξυγόνου από την ASTM και συνεπώς θα πρέπει να υπολογίζεται αφαιρώντας από το εκατό το άθροισμα των υπολοίπων συστατικών της στοιχειακής ανάλυσης*
- ✓ *Η τιμή επηρεάζεται άμεσα από τα πειραματικά σφάλματα των υπολοίπων αναλύσεων και από τις αλλαγές στο βάρος από τα συστατικά της τέφρας που παράγονται κατά την καύση*
- ✓ *Εξ ορισμού, και σύμφωνα με την παραπάνω μέθοδο, το οξυγόνο που υπολογίζεται σαν ποσοστό βάρους του δείγματος δεν περιλαμβάνει το οξυγόνο των μεταλλικών ενώσεων ή της τέφρας αλλά περιλαμβάνει το οξυγόνο της ελεύθερης υγρασίας που περιέχει η ποσότητα δείγματος*



## Αναλύσεις – Χαρακτηρισμός της ποιότητας των ανθράκων

Με τις **φυσικοχημικές αναλύσεις** αυτές προσδιορίζονται φυσικά μεγέθη όπως η πυκνότητα (απόλυτη και σχετική), η ειδική επιφάνεια και το πορώδες.

Οι χημικές αναλύσεις της τέφρας θα πρέπει να συμπληρώνονται με την **ορυκτολογική σύσταση του ανόργανου μέρους του άνθρακα** για την αντιμετώπιση προβλημάτων μηχανικής διάβρωσης λόγω παρουσίας ορυκτών με υψηλή σκληρότητα, επισκωριώσεων και επικαθήσεων και τη γενικότερη πρόβλεψη της συμπεριφοράς της τέφρας (π.χ. σημείο μαλάκυνσης και τήξης, αποδέσμευση αερίων, σύσταση τέφρας και δέσμευση χημικών στοιχείων σε αυτή). Το υψηλό σημείο τήξης σημαίνει καύση χωρίς προβλήματα και η ιδανική περιοχή θερμοκρασιών τήξης είναι από 1450-1650°C. Τα προβλήματα δημιουργούνται κυρίως για θερμοκρασίες τήξης κάτω από 1200°C. 40





## Αναλύσεις – Χαρακτηρισμός της ποιότητας των ανθράκων

### Ανθρακοπετρογραφική ανάλυση

Η μικροσκοπική εξέταση των ανθράκων αποκαλύπτει ότι πρόκειται για ένα ετερογενές υλικό. Τα βασικά δομικά του στοιχεία, όπως αυτά φαίνονται στο μικροσκόπιο, ονομάζονται φυτόκλαστα ή οργανόκλαστα (**macerals**). Τα φυτόκλαστα για τους άνθρακες είναι ότι τα ορυκτά για τα πετρώματα, με τη διαφορά ότι τα ορυκτά έχουν σταθερό χημισμό και εσωτερική δομή, ενώ τα φυτόκλαστα αποτελούν ένα μείγμα συστατικών. Η συγκρότηση και οι σχετικές αναλογίες των φυτόκλαστων, σε συνδυασμό με τα περιεχόμενα ορυκτά και το βαθμό ανθρακοποίησης καθορίζουν τον τύπο του άνθρακα και τις τεχνολογικές του ιδιότητες.



## Αναλύσεις – Χαρακτηρισμός της ποιότητας των ανθράκων

### Πυρόλυση Rock-Eval

Η πυρόλυση Rock-Eval χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του δυναμικού παραγωγής υδρογονανθράκων από τους άνθρακες. Επιτρέπει την ποσοτικοποίηση των πτητικών οργανικών ουσιών που έχουν τη δυνατότητα να εξαεριοθούν ή/και να υγροποιηθούν. Τέτοιος προσδιορισμός μόνο με τη χρήση της ανθρακοπετρογραφίας δεν είναι είναι δυνατόν να γίνει.

Τα αποτελέσματα της προσεγγιστικής και στοιχειακής ανάλυσης, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα της ανθρακοπετρογραφικής ανάλυσης και της πυρόλυσης Rock-Eval είναι δυνατό να δώσουν χρήσιμα συμπεράσματα για τις δυνατότητες βέλτιστης αξιοποίησης των ανθράκων.



## Αναλύσεις ανθράκων: Σύγχρονες μέθοδοι

### ✓ Προσδιορισμός Λειτουργικών Ομάδων του Άνθρακα

Η φασματοσκοπία υπερύθρου με μετασχηματισμό Fourier χρησιμοποιείται σήμερα στον ποσοτικό προσδιορισμό λειτουργικών ομάδων του άνθρακα, όπως O-H, C-H, C-O κλπ. Η ανάλυση FTIR εφαρμόζεται επίσης και στον χαρακτηρισμό του ανθρακικού υλικού κατά τα διάφορα στάδια κατεργασίας του (καύση, εξαερίωση, πυρόλυση) με αποτελέσματα επαναλήψιμα και αρκετά αξιόπιστα

### ✓ Προσδιορισμός Οργανικού Θείου στον Άνθρακα με Μικροανάλυση Ηλεκτρονικού Ηλεκτροδίου (EPM)

Η αναλυτική μέθοδος μέτρησης του οργανικού θείου απευθείας με την χρήση μικροαναλυτή ηλεκτρονικού ηλεκτροδίου μειώνει το σφάλμα υπολογισμού του οργανικού θείου σε σχέση με τον κλασσικό προσδιορισμό του ως επί τοις εκατό διαφορά. Η μέθοδος EPM επιτρέπει την ταχεία και επαναλήψιμη μέτρηση του θείου σε οργανικούς λιθοτύπους καθώς το θείο δεν καταστρέφεται κατά το στάδιο της ανάλυσης.



## Αναλύσεις ανθράκων: Σύγχρονες μέθοδοι

### ✓ Στοιχειακή Ανάλυση Άνθρακα και Τέφρας

Για τον προσδιορισμό αλογόνων, θείου, αζώτου, υδραργύρου, αρσενικού, σεληνίου και φωσφόρου χρησιμοποιούνται εκλεκτικά ηλεκτρόδια ιόντων, φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης ή φθορισμομετρία ακτίνων Χ. Ίχνη βαρέων μετάλλων όπως μολύβδου, αρσενικού, βισμούθιου, κασσιτέρου, σελληνίου και τελλουρίου μπορούν να προσδιοριστούν με φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης-παραγωγής υδριδίων

### ✓ Φασματοσκοπία Υπερύθρου Ανάκλασης με Μετασχηματισμό Fourier (DRIFT)

Η παραπάνω αναλυτική μέθοδος γνωστή ως DRIFT έχει διαπιστωθεί ότι είναι μία άριστη τεχνική για τον χαρακτηρισμό ανθράκων και συναφών υλικών. Εφαρμόζεται ευρέως στην in-situ παρακολούθηση των αλλαγών της χημικής δομής του άνθρακα κατά την αντίδραση τους με ρευστά. Αναπτύχθηκε ως εξέλιξη της FTIR



## Αναλύσεις ανθράκων: Σύγχρονες μέθοδοι

- ✓ **Ηλεκτρονική Μικροσκοπία (SEM) και φασματοσκοπία Mossbauer**  
Η ηλεκτρονική μικροσκοπία χρησιμοποιείται ευρύτατα στον προσδιορισμό της δομής των μικροσκοπικών σωματιδίων, της δομής των πόρων, ενώ περιέχει πληροφορίες για την στοιχειακή κατανομή στις στοιχειώδεις δομές και για την γραφική δομή. Αντίστοιχα, η φασματοσκοπία Mossbauer χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση συγκεκριμένων ενώσεων του σιδήρου, κυρίως αλάτων που εμφανίζουν παραπλήσιο φάσμα, και ως εκ τούτου προσδιορίζονται δύσκολα
- ✓ **Φασματοσκοπία Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού (NMR)**  
Η φασματοσκοπία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού χρησιμοποιείται στις αναλύσεις άνθρακα για τον προσδιορισμό υδρογόνου και άνθρακα δεσμευμένων σε αρωματικούς δακτυλίους καθώς και για τον προσδιορισμό της κατανομής ιχνοστοιχείων και ισοτόπων