



Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

Τεχνολογία Πόσιμου Νερού

Όγδοη Διάλεξη: Προσρόφηση σε Ενεργό Άνθρακα

Διδάσκων: Ανέστης Βλυσίδης
E-mail: anestisvlysidis@gmail.com





8 Προσρόφηση σε Ενεργό Άνθρακα



Ενεργός άνθρακας

Διδάσκων: Δρ. Ανέστης Βλυσίδης
E-mail: anestisvlysidis@gmail.com



Προσρόφηση σε Ενεργό Άνθρακα

Σύνοψη

Προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα

Παρασκευή ενεργού άνθρακα

Δομή ενεργού άνθρακα

Μηχανισμοί προσρόφηση

Κινητική προσρόφησης

Απομάκρυνση χλωρίου

Εξισώσεις ισόθερμης προσρόφησης

Σχεδιασμός κλινών ενεργού άνθρακα

Σχεδιασμός συστημάτων προσρόφησης

Ερωτήσεις



Προσρόφηση σε Ενεργό Άνθρακα

Ιστορία

- Τα πρώτα πειράματα προσρόφησης έγιναν το 1875 από τον Lowitz
- Στο δεύτερο μισό του δέκατου ενάτου αιώνα στις ΗΠΑ χρησιμοποιήθηκε ενεργός άνθρακας σε συστήματα επεξεργασίας νερού.
- Μεγάλες ποσότητες κοκκώδους ενεργού άνθρακα παρασκευάσθηκαν κατά τη διάρκεια του πρώτου παγκοσμίου πολέμου για χρήση στις μάσκες αερίων.
- Στην επεξεργασία του πόσιμου νερού άρχισε να χρησιμοποιείται μετά το 1950
- Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970 το ενδιαφέρον της διεργασίας προσρόφησης αυξήθηκε κατακόρυφα για την απομάκρυνση διαλυτών οργανικών ενώσεων από το πόσιμο νερό.





Προσρόφηση σε Ενεργό Άνθρακα

Ο ενεργός (κοκκώδης) άνθρακας χρησιμοποιείται:

- Για απο-χλωρίωση του νερού
- Για απομάκρυνση μικρο-ρυπαντών από το νερό
- Για απομάκρυνση τοξικών μετάλλων

Ο ενεργός άνθρακας αποτελεί σημείο αναφοράς για την αξιολόγηση κάθε άλλης μεθόδου προσρόφησης οργανικών συστατικών



Κατά τα τελευταία στάδια της επεξεργασίας του νερού διέρχεται από **φίλτρα ενεργού άνθρακα** για την απομάκρυνση και των τελευταίων υπολειμμάτων των ουσιών και ιδιαίτερα **των οργανικών ενώσεων** και των προϊόντων διάσπασής τους.

- Ο ενεργός άνθρακας είναι παρόμοιος με τον απλό άνθρακα, επεξεργάζεται όμως με διαφορετικό τρόπο που του επιτρέπει να έχει μία **εξαιρετικά πορώδη επιφάνεια**.
- Οι πόροι αυτοί **αυξάνουν σημαντικά το εμβαδόν της επιφάνειας του**.
- Λόγω αυτής της επεξεργασίας **μπορεί και δεσμεύει διάφορες ουσίες** που έρχονται σε επαφή με αυτόν και **σε ποσότητες πολλαπλάσιες από το βάρος του**.



Παρασκευή Ενεργού Άνθρακα

Ο ενεργός άνθρακας παράγεται από υλικά με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα, όπως είναι το κάρβουνο, το ξύλο αλλά και τα κελύφη καρύδας.

Η παραγωγική διαδικασία περιλαμβάνει:

- Άλεση της πρώτης ύλης για τη δημιουργία κόκκων
- Προσθήκη συνδετικού υλικού → Δημιουργία κόκκων
- Θερμική αποσύνθεση με παρουσία ατμού (900 - 1100°C)

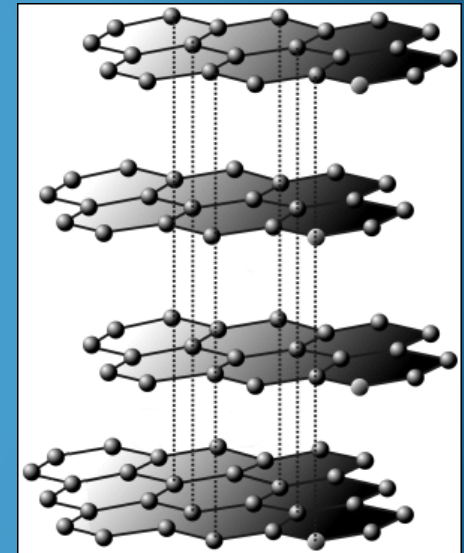
Αποτέλεσμα:

Ο ατμός **διαχέεται** στη μάζα του άνθρακα προκαλώντας αύξηση της πορώδους δομή και δημιουργώντας σκελετικού τύπου κόκκους ενεργού άνθρακα με μεγάλο ανάπτυγμα **εσωτερικής επιφάνειας** των κόκκων του.

Η πρώτη ύλη επηρεάζει τις:

Μηχανικές ιδιότητες: Σημαντική παράμετρος για αναγέννηση και αύξηση της απόδοσης.

Προσοφητικές ιδιότητες: Μέγεθος πόρων, είδος δεσμών, μερική εκλεκτικότητα.



*Σκελετικού τύπου κόκκοι
ενεργού άνθρακα.
Μήτρακας*



Παρασκευή Ενεργού Άνθρακα

Κάρβουνο

Υπάρχει **άφθονο** στη φύση, άρα αρκετά φθινό για χρήση, εύκολη μεταφορά και αποθήκευση.

Δημιουργείται από κυρίως νεκρή φυτική ύλη η οποία έχει καταπλακωθεί και με την πάροδο χιλιάδων ετών έχει μετατραπεί αρχικά σε **τύρφη** έπειτα σε **λιγνίτη** μετά σε **ασφαλτούχο άνθρακα** μετά σε **ανθρακίτη** και μετά σε **γραφίτη**.

Για την κατασκευή ενεργού άνθρακα χρησιμοποιούνται συνήθως **λιγνίτης** και **ασφαλτώδεις άνθρακες**

Ασφαλτώδης ενεργός άνθρακας:

- Έχει μεγαλύτερη σκληρότητα (πιο σκληρός από το λιγνίτη), ανθεκτικότητα σε τριβή και υψηλότερη πυκνότητα κλίνης σε σχέση με το λιγνίτη. Περιέχει μια ουσία που ονομάζεται πίσσα ή άσφαλτος.
- Έχει μεγαλύτερη πυκνότητα και επομένως **μικρότερους** πόρους με αποτέλεσμα να συγκρατεί ρύπους όπως **ίχνη** και **πτητικούς οργανικούς διαλύτες**.

Λιγνίτης:

- Πρόκειται για ένα μαλακό καφέ ιζηματογενές πέτρωμα που σχηματίζεται από φυσικά συμπιεσμένη τύρφη. Είναι **εύθρυπτος**, με αποτέλεσμα χαμηλότερες αποδόσεις κατά την αναγέννηση και απώλεια κόκκων κατά την έκπλυση → **μικρή διάρκεια ζωής** του συστήματος.
- Ο ενεργός άνθρακας λιγνιτικής προέλευσης είναι περισσότερο αποτελεσματικός στη συγκράτηση **βαρέων μετάλλων**.



Δομή Ενεργού Άνθρακα

Η δομή του ενεργού άνθρακα είναι πολύ πορώδης. Χαρακτηρίζεται από σπασίματα και ρωγμές που φθάνουν σε μοριακά μεγέθη.

Τα **μεγαλύτερα ανοίγματα** (που αποτελούν περίπου το 10-20% του όγκου κάθε κόκκου) λειτουργούν σαν αγωγοί μεταφοράς διαμέσου των οποίων οι ρυπαντές διαχέονται στους μεσοπόρους ή **μικροπόρους προσρόφησης** (περίπου 80-90% του όγκου του κόκκου).

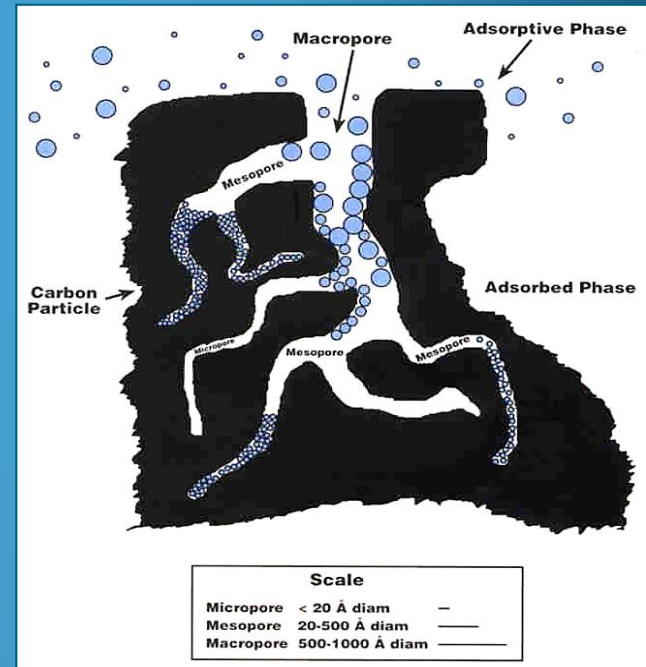
Μακρο-πόροι: 10-20% του όγκου κόκκου

Μικρο-πόροι μεγέθους μορίου: 80-90% του όγκου κόκκου

Οι πόροι του ενεργού άνθρακα του αυξάνουν την ολική του επιφάνεια, δλδ την επιφάνεια προσρόφησης.

Μέση εσωτερική επιφάνεια: $10 \text{ m}^2/\text{cm}^3$ ή **500 – 2500 m^2/g** (!)

Ο ενεργός άνθρακας χρησιμοποιείται σε μορφή κόκκων (Χρήση συνήθως σε σταθερές κλίνες προσρόφησης) ή σε μορφή σκόνης (Σε βιολογική επεξεργασία αποβλήτων).

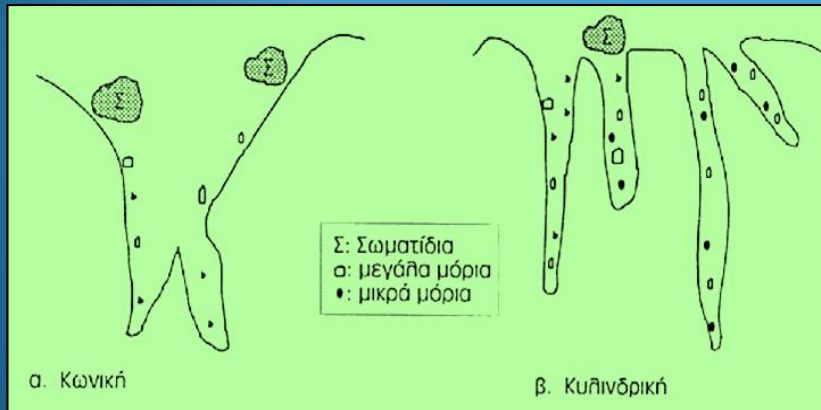




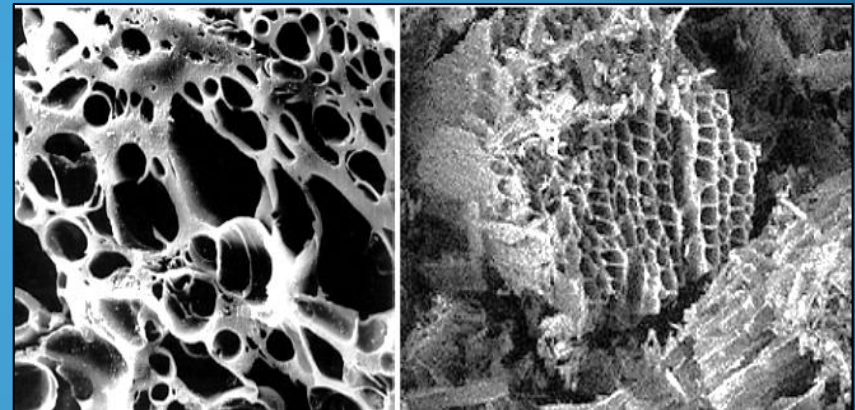
Δομή Ενεργού Άνθρακα

Οι πόροι από άποψη δομής διακρίνονται σε **κωνικούς** και **κυλινδρικούς**:

- Οι **κωνικοί** πόροι είναι πιο αποδοτικοί καθώς μπορούν να προσροφήσουν και μικρά και μεγάλα μόρια.
- Οι **κυλινδρικοί** πόροι αχρηστεύονται ευκολά από μεγάλα μόρια ή κολλοειδή.



*Σχηματική δομή των πόρων ενεργού άνθρακα.
Μήτρακας 2001*



*Δομή πόρων ενεργού άνθρακα από μικροσκόπιο.
Μήτρακας 2001*



Τεχν/γία Πόσιμου Νερού: 8. Προσρόφηση σε Ενεργό Άνθρακα

Ιδιότητες τύπων ενεργού άνθρακα που διατίθενται στο εμπόριο σε μορφή κόκκων. Μήτρακας

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	CALGON FILTRA-SORB 300	ICI HYDRO-DARCO 3000	AMOCO GX-31	WITCO 517
Αρχικό υλικό	Ασφαλτούχος άνθρακας	Λιγνίτης	Πετρέλαιο	Κωκ Πετρελαίου
Ειδική επιφάνεια, m^2/g	950-1050	600-700	2200-2600	1050-1250
Μέσο μέγεθος πόρων, A^0	–	28-33	–	–
Υγρασία, %	2	9	–	1
Ποσοστό ανόργανης τέφρας	–	12-18	2 max	1 max
Μέση διάμετρος κόκκων, mm	0,8-0,9	1,5	–	1,34
Πυκνότητα, g/cm^3	1,3-1,4	1,3-1,4	–	–



Μηχανισμοί Προσρόφησης

Με τον όρο προσρόφηση εννοείται η ικανότητα ορισμένων στερεών να συγκεντρώνουν στην επιφάνειά τους μόρια οργανικών κυρίως ενώσεων, που τα απομακρύνουν από την υγρή ή αέρια φάση όπου βρίσκονται διαλυμένα ή γενικά διασπαρμένα.

Δλδ, είναι ένα φαινόμενο μεταφοράς μάζας από υγρή ή αέρια φάση στην επιφάνεια ενός στερεού.

Οι **δυνάμεις** ή ο **μηχανισμός** με τον οποίο το προσροφούμενο συστατικό έλκεται στην επιφάνεια του προσροφητικού, μπορεί να είναι **φυσικές** ή **χημικές**:

- Έλξεις μεταξύ αντίθετων φορτίων
- Αλληλεπιδράσεις μεταξύ σημειακού φορτίου και δίπολου
- Αλληλεπιδράσεις δίπολου-δίπολου
- Δυνάμεις van der Waals
- Ομοιοπολικούς δεσμούς
- Δεσμούς υδρογόνου

Δεσμοί χημικοί ή φυσικοί

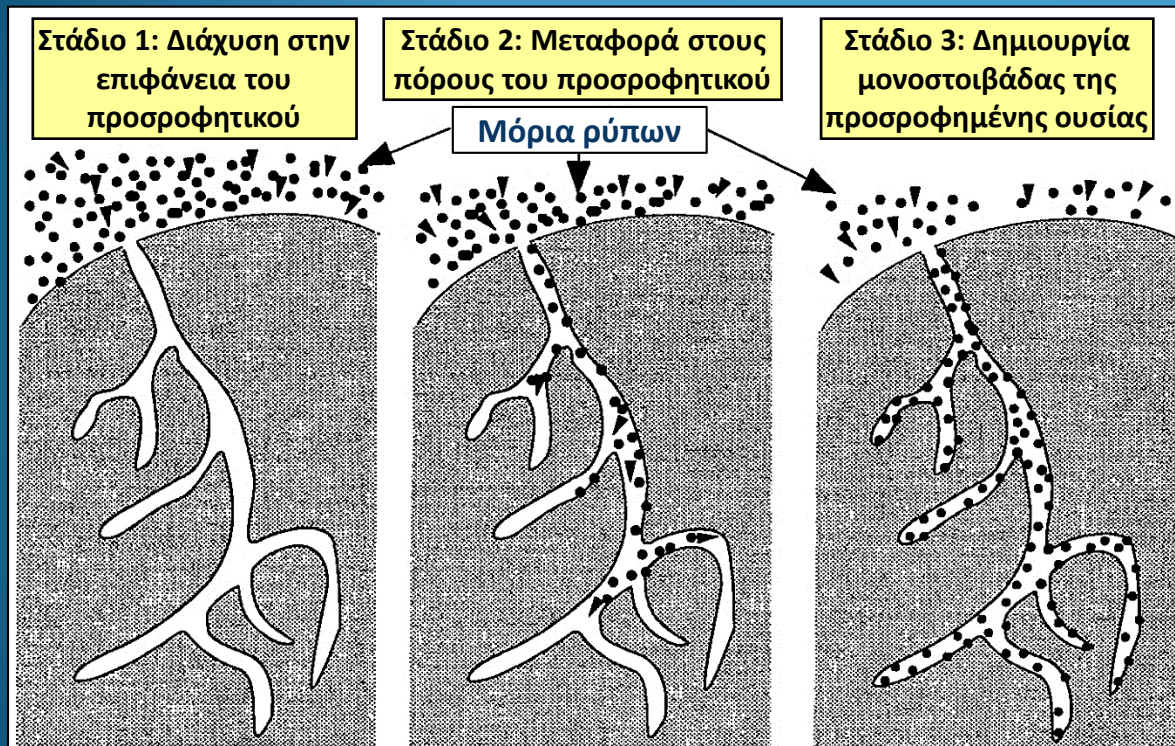
Χημειορόφηση
 $\Delta H^\circ > 20 \text{ KJ/mol}$

Φυσική προσρόφηση
 $\Delta H^\circ < 20 \text{ KJ/mol}$

Έλκονται και στη συνέχεια “εγκλωβίζονται” στους πόρους. Το προσροφούμενο συστατικό έχει μικρότερη ελεύθερη ενέργεια στην επιφάνεια του προσροφητικού απ’ότι στο νερό.



Μηχανισμοί Προσρόφησης



Μηχανισμός προσρόφησης σωματιδίων ρύπων, Μήτρακας

Η απομάκρυνση των ρυπαντών από το ρεύμα επεξεργασίας συμβαίνει αρχικά με τη φυσική προσρόφηση τους στην επιφάνεια του άνθρακα

Η φυσική προσρόφηση αυξάνεται από την αδυναμία διάλυσης των ρυπαντών στο νερό. Οι οργανικοί διαλύτες προσροφούνται εύκολα εξαιτίας της χαμηλής τους διαλυτότητας στο νερό. Αντίθετα, υδατοδιαλυτές ενώσεις όπως οι αλκοόλες και οι αλδεΐδες προσροφούνται δυσκολότερα.

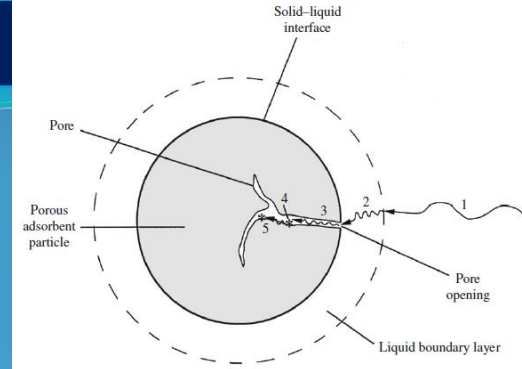
Μεγάλη διαλυτότητα στο νερό → Μικρή φυσική προσρόφηση



Κινητική Προσρόφησης

Βασικό χαρακτηριστικό της προσρόφησης είναι η ταχύτητα προσρόφησης

Η διαδικασία της προσρόφησης περιλαμβάνει μία σειρά από διαδοχικά βήματα με επιμέρους ταχύτητες για την επίτευξη της θερμοδυναμικής ισορροπίας.



Πρώτο βήμα: περιλαμβάνει τη μεταφορά του διαλυτού συστατικού (ρύπου) από την κύρια μάζα του διαλύματος (νερού) στο όριο του επιφανειακού φιλμ (στρώματος) των κόκκων.

❖ Οι συνθήκες ροής και η μετακίνηση του ρύπου στη μάζα του διαλύματος ελέγχουν το φαινόμενο

Δεύτερο βήμα: περιλαμβάνει τη μεταφορά του διαλυτού συστατικού (ρύπου) δια μέσου του επιφανειακού στρώματος του κόκκου στην εξωτερική επιφάνεια κόκκου (προσοροφητικού).

❖ Η παράμετρος που ελέγχει το φαινόμενο είναι η **μοριακή διάχυση**.

Τρίτο βήμα: περιλαμβάνει τη διάχυση των συστατικών από την εξωτερική επιφάνεια των κόκκων του προσροφητικού μέσα στους πόρους αυτών.

❖ Η παράμετρος που ελέγχει το φαινόμενο είναι η **μοριακή διάχυση**.

Τελικό βήμα: είναι η φυσική ή χημική σύνδεση του προσροφούμενου (ρύπου) στην εσωτερική επιφάνεια του προσροφητικού.

Η ταχύτητα του βήματος αυτού ελέγχεται από χημική κινητική σε επίπεδο μορίων.

Στην επεξεργασία του νερού η ολική ταχύτητα προσρόφησης ελέγχεται από τα φαινόμενα διάχυσης, αφού τα άλλα δύο βήματα είναι κατά κανόνα πολύ ταχύτερα



Απομάκρυνση χλωρίου από το νερό

Ο ενεργός άνθρακας απομακρύνει το υπολειμματικό χλώριο από το νερό διαμέσου μιας επιφανειακής αντίδρασης. Το ελεύθερο χλώριο (υποχλωριώδες οξύ) αντιδρά με τον άνθρακα για να σχηματίσει επιφανειακά οξείδια:



C*: ενεργός άνθρακας

C*O: επιφανειακό οξείδιο το οποίο καταστρέφεται στη συνέχεια προς CO ή CO₂. (ταυτόχρονη απώλεια ενεργού θέσης)

Αυτή η αντίδραση γίνεται ταχύτατα στις επιφάνειες όλων των ειδών ενεργού άνθρακα.

Η αποχλωρίωση μειώνει την προσροφητική ικανότητα του ενεργού άνθρακα εξαιτίας της απώλειας ενεργών ομάδων ή της έμφραξης των πόρων από το οξείδια. Τα επιφανειακά οξείδια καταστρέφονται σχηματίζοντας CO₂ ή CO.

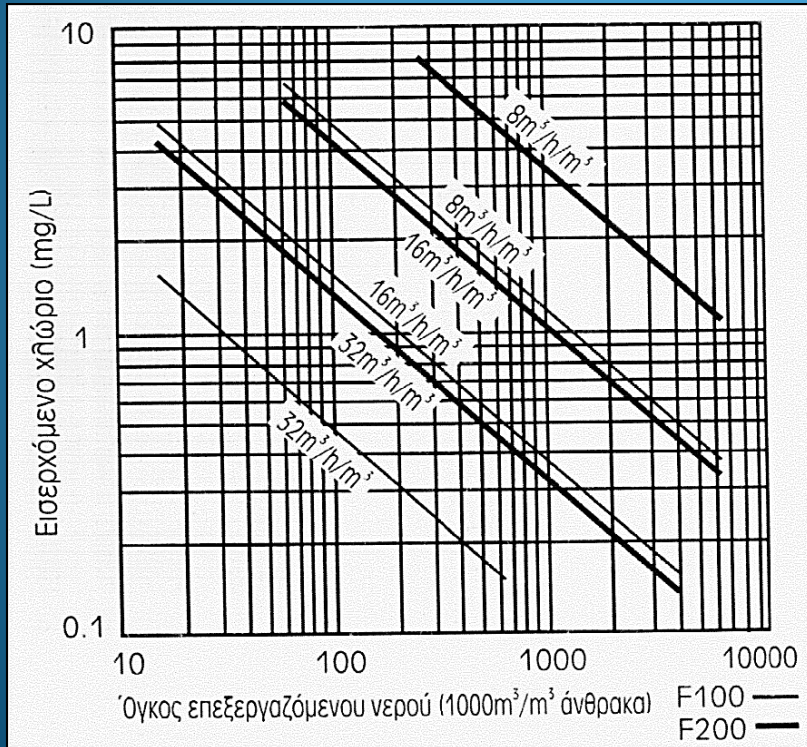
Αυτή η αντίδραση γίνεται και κατά τη διάρκεια της αναγέννησης του άνθρακα, που συνεπάγεται απώλεια βάρους.



Απομάκρυνση χλωρίου από το νερό

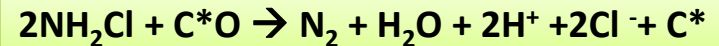
Ικανότητα αποχλωρίωσης νερού από τον ενεργό άνθρακα τύπου f100 και f200 της Chemviron (Υψος κλίνης: 0,75m, Υδρ. Φόρτιση: 5-20 m³/m²h). Μήτρακας 2001

C*: ενεργός άνθρακας
C*O: επιφανειακό οξείδιο



Απομάκρυνση χλωραμινών

Η μονοχλωραμίνη (NH₂Cl) αντιδρά με τον ενεργό άνθρακα με μικρότερη ταχύτητα από το υποχλωριώδες οξύ (HOCl). Ο ενεργός άνθρακας λειτουργεί ως αναγωγικό μέσο και ως καταλύτης, παράγοντας NH₃, Cl⁻ και NH₂.



Η διχλωραμίνη αντιδρά με τον άνθρακα ταχύτερα από ότι το HOCl σχηματίζοντας N₂ και Cl⁻.



Εξισώσεις ισόθερμης προσρόφησης

Σε κάθε εφαρμογή, εκτός από τη γνώση αν μία ένωση προσροφάται, είναι αυτονόητο ότι το σπουδαιότερο χαρακτηριστικό ενός προσροφητικού είναι η **ποσότητα προσροφημένης ουσίας** που μπορεί να συκρατήσει.

Η εξίσωση η οποία συσχετίζει την ποσότητα του προσροφούμενου ρύπου με τη συγκέντρωση του στο διάλυμα (νερό), καλείται **ισόθερμη προσρόφησης**.

Η ισόθερμη καμπύλη προσρόφησης προκύπτει από πειράματα όπου σταθερή ποσότητα δείγματος νερού έρχεται σε επαφή με μεταβαλλόμενες ποσότητες άνθρακα και περιγράφεται από την εμπειρική εξίσωση **Freundlich**:

$$q_e = kC_e^{1/n}$$

q_e : Το ποσό του συστατικού (ρύπου) που προσροφήθηκε ανά μονάδα βάρους του άνθρακα (μάζα ή γραμμομόρια ανά μονάδα βάρους άνθρακα).

C_e : Η συγκέντρωση του μη προσροφηθέντος συστατικού (ρύπου) που παρέμεινε στο διάλυμα

Σταθερά k : Σχετίζεται με την ικανότητα προσρόφησης ενός ρύπου

Σταθερά $1/n$: Σχετίζεται με την ετερογένεια της επιφάνειας του προσροφητικού (όσο πιο ετερογενής είναι η επιφάνεια του προσροφητικού τόσο η τιμή $1/n$ τείνει στο 0)



Εξισώσεις ισόθερμης προσρόφησης

Για να παρασταθεί ευθύγραμμο η εξίσωση Freundlich, λογαριθμίζεται και θα έχουμε:

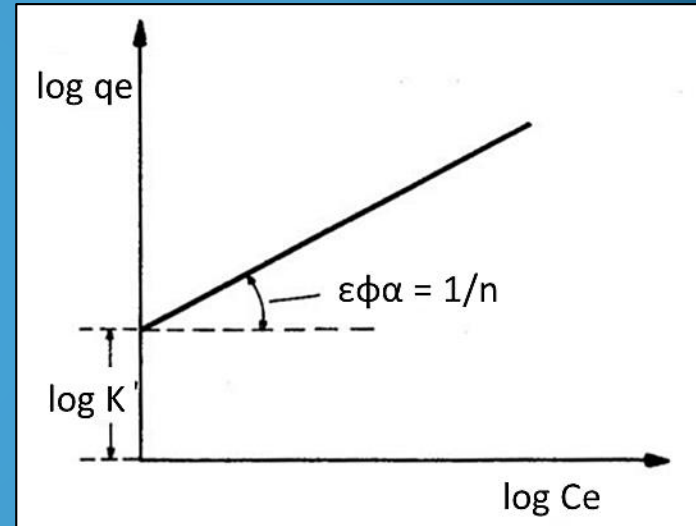
$$q_e = kC_e^{1/n} \quad \rightarrow \quad \log q_e = \log k + 1/n (\log C_e)$$

Από το γράφημα μπορούμε να υπολογίσουμε το ποσό του ρύπου που προσροφήθηκε (q_e) από τον ενεργό άνθρακα γνωρίζοντας τη συγκέντρωση του μη προσροφηθέντος συστατικού (ρύπου) που παρέμεινε στο διάλυμα (C_e).

Μια ισόθερμη προσρόφησης δείχνει:

- Τη δυνατότητα απομάκρυνσης μιας ένωσης με προσρόφηση
- Την χωρητικότητα του προσροφητικού σε κατάσταση ισορροπίας
- Τις αλλαγές στην προσροφητική ικανότητα σε σχέση με τη συγκέντρωση των ρυπαντών (χρήσιμες σε περίπτωση μεταβολής των συγκεντρώσεών τους)

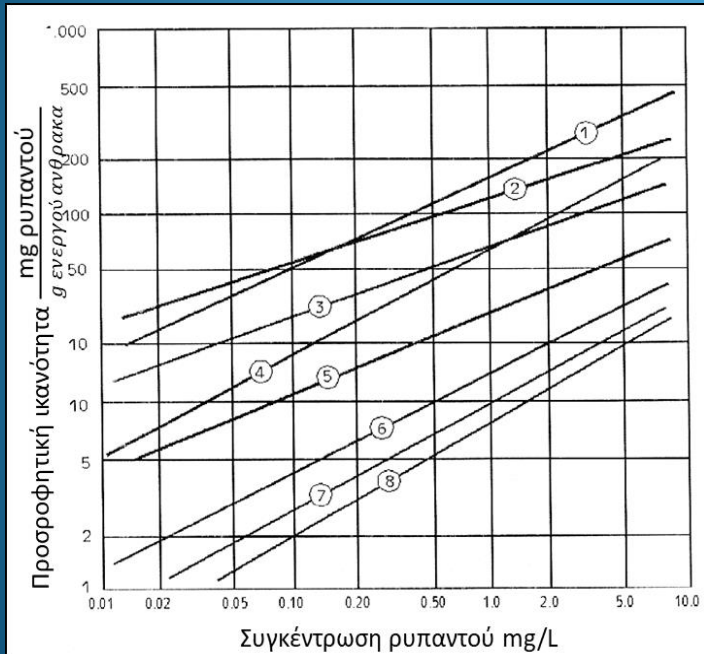
Γραφική ευθύγραμμη παράσταση της εξίσωσης Freundlich





Εξισώσεις ισόθερμης προσρόφησης

Τυπικές ισόθερμες προσρόφησης ενός συστατικού σε ενεργό άνθρακα



1. Τετραχλωροαιθυλένιο
2. *m* - Ξυλόλιο
3. Τολουόλιο
4. Τριχλωροαιθυλένιο
5. Βενζόλιο
6. *Cis*-1,2 - διχλωροαιθυλένιο
7. Χλωροφόρμιο
8. 1,2 - Διχλωροαιθάνιο

Σταθερές ισόθερμης προσρόφησης της εξίσωσης Freundlich

	k, mg/g	1/n
Ανιζίνη	25	0,32
Βενζόλιο	1	1,60
Βενζοϊκό οξύ	7	0,24
Βουτανόλη	4,4	0,44
Βουτυρικό οξύ	3,1	0,53
Χλωροβενζόλιο	40	0,41
Νιτροβενζόλιο	82	0,24
Φαινόλη	24	0,27
Τρινιτροτουλουόλιο	270	0,11
Τουλουόλιο	30	0,73
Τετραχλωροαιθυλένιο	51	0,56
<i>m</i> - Ξυλόλη	230	0,75
Τριχλωροαιθυλένιο	28	0,62
<i>Cis</i> -1,2 - διχλωροαιθυλένιο	12	0,59
Χλωροφόρμιο	2,6	0,73
Διχλωροαιθάνιο	1,8	0,53

$$\log q_e = \log k + 1/n (\log C_e)$$



Σχεδιασμός των κλινών ενεργού άνθρακα

Αποδόσεις μικροστήλης ενεργού άνθρακα σε πραγματικά δείγματα νερού. Μήτρακας, 2001

Ο σχεδιασμός των κλινών ενεργού άνθρακα γίνεται συνήθως με βάση πειραματικά δεδομένα σαν αυτά του πίνακα. Αυτά λαμβάνονται από δυναμικά πειράματα προσρόφησης που δίνουν τα αναγκαία δεδομένα σχεδιασμού, συμπεριλαμβανομένων και του απαιτούμενου χρόνου επαφής και της καμπύλης διέλευσης

- Σημαντικότερη παράμετρος είναι ο **χρόνος επαφής**.
- Δευτερεύουσα παράμετρος είναι η **υδραυλική φόρτιση**.

Τα πειράματα με στήλες υπό κλίμακα είναι τα πιο κοινά. Σε περιπτώσεις πολύ χαμηλών συγκεντρώσεων ρυπαντών το πείραμα απαιτεί πολύ χρόνο έτσι αναπτύσσονται τεχνικές μικροστηλών για να αποδοθεί ταχύτερα η καμπύλη απόδοσης και ο πραγματικός χρόνος επαφής.

Α/Α	Υδραυλικά στοιχεία		Προσροφούμενο		Συνθήκες λειτουργίας			Κορεσμός
	Φόρτιση m ³ /m ² h	Χρόνος επαφής, min	Ένωση	mg/L	Φόρτιση EA mg/g	Χρήση EA kg/100m ³	Έξοδος mg/L	Χρήση EA kg/100m ³
1	9,3	18	Τριχλωροαιθυλένιο	3,300	61	5,4	0,0001	
2	4,9	35	Βενζόλιο	0,024	0,500	4,8	0,002	
			Τουλουόλιο	0,116	2,500	4,8	0,002	
			Ξυλόλιο	0,630	13	4,8	0,001	
3	8,6	20	Μεθυλοχλωρίδιο	0,007	0,014	69,5	0,001	62,3
			Χλωροφόρμιο	0,268	3,800	9,6	0,004	8,4
			Cis-1,2-Διχλωρο-αιθυλένιο	0,118	2,600	6,0	0,001	5,5
4	9,3	20	1,2-Διχλωροαιθάνιο	0,095	0,130	70,7	0,003	47,9
			Χλωροφόρμιο	0,223	0,370	59,9	0,010	47,9
			Τετραχλωράνθρακας	3,080	6,400	47,9	0,010	
5	3,2	100	Βενζόλιο	0,034	3,100	35,9	0,003	23,9
			Τουλουόλιο	4,600	79	35,9	0,125	25,2
6	3,2	44	TOC	150			55	
			Βενζόλιο	10,200	7,700	131,8	0,002	
			Τουλουόλιο	8,200	9,700	83,9	0,002	
7	6,4	22	TOC	15			15	
			Φαινόλη	44	147	29,9	0,040	13,2
			Βενζόλιο	0,440	4,600	9,6	0,330	8,9



Σχεδιασμός συστημάτων προσρόφησης

Τα συστήματα προσρόφησης για την επεξεργασία νερού σχεδιάζονται κατά κανόνα γύρω από τρεις βασικούς τύπους προσροφητών:

1. Ο **προσροφητής ροής βαρύτητας**: (συνήθως χρησιμοποιείται για εφαρμογές που απαιτούν μικρούς χρόνους επαφής, όπως είναι η επεξεργασία επιφανειακών νερών για ύδρευση).
2. Η **κινούμενη κλίνη ανοδικής ροής**: για διεργασίες σε μεγάλες ζώνες μεταφοράς και χαμηλές ταχύτητες ροής.
3. Το **υπό πίεση σύστημα σταθερής κλίνης καθοδικής ροής**: όπου αποτελεί την πιο κοινή επιλογή προσρόφησης (λειτουργεί όπως τα αμμόφιλτρα).

Τα συστήματα προσρόφησης σταθερής κλίνης καθοδικής ροής έχουν τα εξής γνωρίσματα:

- ✓ Δυνατότητα αντίστροφης πλύσης.
- ✓ Εκκένωση με συμπαρασυρμό με νερό.
- ✓ Ελάχιστη συντήρηση και παρακολούθηση.
- ✓ Τοποθέτηση δύο δοχείων στη σειρά, με δυνατότητα λειτουργίας του ενός, έπειτα από κορεσμό του άλλου.

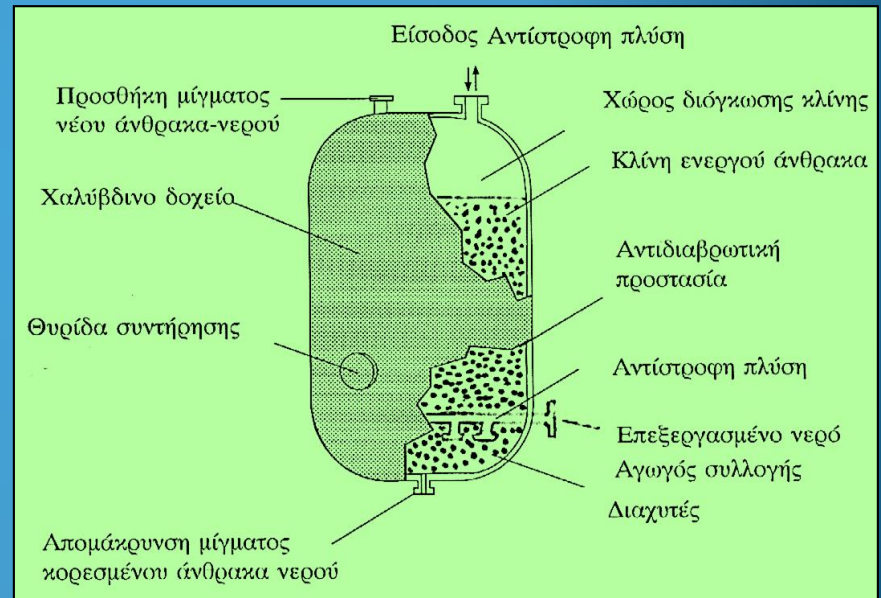


Σχεδιασμός συστημάτων προσρόφησης

Σύστημα προσρόφησης σταθερής κλίνης καθοδικής ροής

- ✓ Το νερό εισάγεται από πάνω από την κλίνη του άνθρακα που περιέχεται σε ένα δοχείο πίεσης.
- ✓ Το νερό ρέει προς τα κάτω ανάμεσα από την κλίνη.
- ✓ Το επεξεργασμένο νερό συλλέγεται στον πυθμένα της κλίνης με ένα αποχετευτικό σύστημα (σχισμοειδής σαν κόσκινο συλλέκτες (διαχυτές) τοποθετημένους σε αγωγούς που καλύπτουν όλο τον πυθμένα του δοχείου.
- ✓ Οι διαχυτές κατακρατούν τον άνθρακα και επιτρέπουν τη διέλευση του καθαρού νερού

Σύστημα προσρόφησης σταθερής κλίνης καθοδικής ροής. Μήτρακας 2001



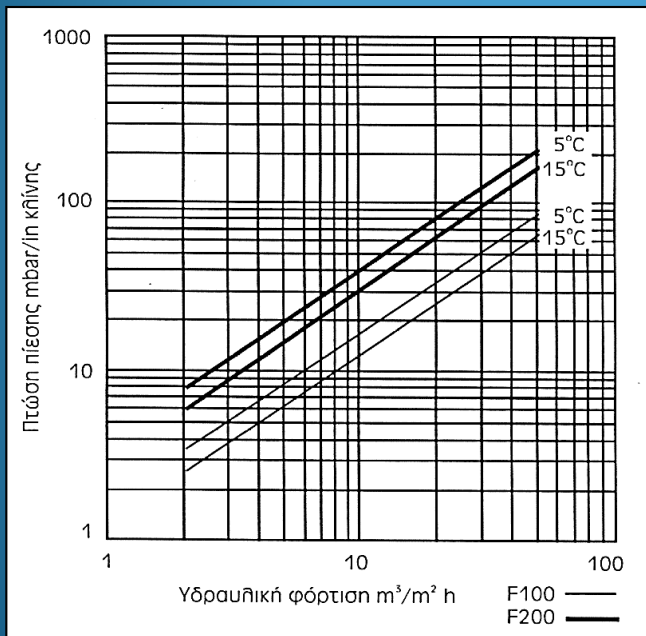


Τεχν/γία Πόσιμου Νερού: 8. Προσρόφηση σε Ενεργό Άνθρακα

Σύστημα προσρόφησης σταθερής κλίνης καθοδικής ροής

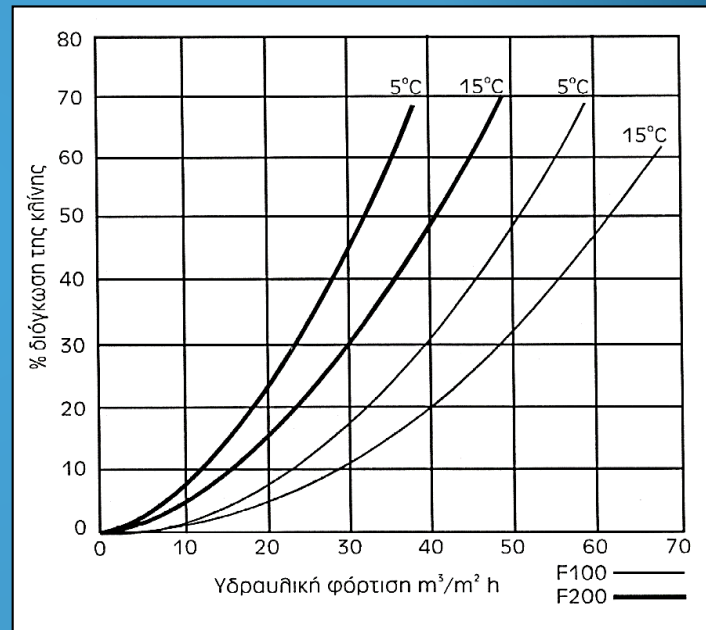
Η πτώση πίεσης εξαρτάται από το σύστημα σωληνώσεων και από τον τύπο και το βάθος της κλίνης του ενεργού άνθρακα.

Πτώση πίεσης κατά τη λειτουργία



Πτώση πίεσης κατά τη ροή σε κλίνη ενεργού άνθρακα τύπου F100 και F200 της Chemviron. Μήτρακας 2001

Απαιτούμενη παροχή για αντίστροφη πλύση



Διόγκωση της κλίνης άνθρακα τύπου f100 και f200 της Chemviron κατά την αντίστροφη πλύση της. Μήτρακας 2001



Αλλαγή ενεργού άνθρακα

Η **αλλαγή του κορεσμένου άνθρακα με νέο** είναι συχνά η πιο κρίσιμη παράμετρος στη διαδικασία του συστήματος προσρόφησης, επειδή είναι η **κύρια παράμετρος του κόστους λειτουργίας**, καθώς επίσης και το **κλειδί για ασφαλή αποκομιδή των οργανικών ρυπαντών**.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της διεργασίας προσρόφησης με άνθρακα είναι ότι όχι μόνο απομακρύνει τους ρυπαντές από το νερό, **αλλά τους συγκεντρώνει και τους κατακρατά μέσα στον κόκκο του άνθρακα**.

Ο κορεσμένος ενεργός άνθρακας μπορεί να χειρισθεί με:

- Μπορεί να ταφεί
- Μπορεί να αποτεφρωθεί σαν στερεό απόβλητο



Επιλογές αξιόπιστες και οικονομικά συμφέρουσες

Ο ασφαλτώδης κοκκοειδής ενεργός άνθρακας συνήθως αξιοποιείται με:

- Θερμική αναγέννηση



Οικονομικά συμφέρουσα, ασφαλής όσον αφορά την καταστροφή των προσροφημένων οργανικών ενώσεων και επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση του άνθρακα.

Η **διεργασία της αναγέννησης** αφορά θέρμανση σε αδρανή ατμόσφαιρα μέσα σε φούρνο πολλαπλών βαθμίδων σε θερμοκρασία έως 900°C. Η αναγέννηση απομακρύνει τις πτητικές οργανικές ενώσεις και αποσυνθέτει με πυρόλυση τις λιγότερο πτητικές που συγκεντρώνονται μέσα στους πόρους.

Παράγει έναν ενεργό άνθρακα που είναι μικρότερος από τον αρχικό (10-20%), επειδή μερικοί από τους μικρότερους προσροφητικούς πόρους καταστρέφονται. Κατά συνέπεια η ικανότητα συγκράτησης μικρών συγκεντρώσεων (ίχνη) μικρο-ρυπαντών μπορεί να μειωθεί στο αναγεννημένο προϊόν.



Ερωτήσεις – Προσρόφηση σε Ενεργό Άνθρακα

1. Ο ενεργός άνθρακας παράγεται από υλικά όπως :

- α) Το κάρβουνο.
- β) Η τύρφη.
- γ) Το κέλυφος της καρύδας.
- δ) Όλα τα παραπάνω.
- ε) Το (α) και το (β).

2. Οι διάφοροι τύποι ενεργού άνθρακα έχουν συνήθως εσωτερική επιφάνεια :

- α) 500-2500 mm²/g βάρους.
- β) 500-2500 cm²/g βάρους.
- γ) 500-2500 m²/g βάρους.

3. Στη δομή του ενεργού άνθρακα, οι πόροι από άποψη μορφής είναι :

- α) Κυλινδρικοί.
- β) Κωνικοί.
- γ) Κυλινδρικοί ή κωνικοί.

4. Ο ενεργός άνθρακας είναι :

- α) Άμορφος.
- β) Κρυσταλλικός.
- γ) Πορώδης.



Ερωτήσεις – Προσρόφηση σε Ενεργό Άνθρακα

5. Η προσρόφηση είναι ένα φαινόμενο :

- α) Μεταφοράς ενέργειας από υγρή ή αέρια φάση στην επιφάνεια ενός στερεού.
- β) Μεταφοράς μάζας από υγρή ή αέρια φάση στην επιφάνεια ενός στερεού.
- γ) Μεταφοράς μάζας από την επιφάνεια ενός στερεού σε κάποια υγρή ή αέρια φάση.

6. Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές :

- α) Η αντίδραση απομάκρυνσης του χλωρίου από το νερό γίνεται ταχύτατα κι αποτελεσματικά στην επιφάνεια ορισμένων μόνο ειδών ενεργού άνθρακα.
- β) Η αποχλωρίωση αυξάνει την προσροφητική ικανότητα του ενεργού άνθρακα.
- γ) Κατά την αποχλωρίωση υπάρχει απώλεια ενεργών ομάδων, αλλά κι έμφραξη των πόρων.
- δ) Το ελεύθερο χλώριο αντιδρά με τον άνθρακα, για το σχηματισμό επιφανειακών οξειδίων.

7. Με τι σχετίζεται η σταθερά K της εμπειρικής εξίσωσης Freundlich :

- α) Με την ευκολία ή δυσκολία απομάκρυνσης ενός συστατικού από το διάλυμα.
- β) Με την ικανότητα προσρόφησης ενός ρύπου.
- γ) Με την ποσότητα προσροφούμενης ουσίας που μπορεί να συγκρατήσει το προσροφητικό.

8. Ποια είναι η σημαντικότερη παράμετρος σε πειράματα σχεδιασμού κλινών ενεργού άνθρακα :

- α) Η υδραυλική φόρτιση.
- β) Ο χρόνος επαφής.
- γ) Η ταχύτητα υδάτινης φάσης στην κλίνη



8. Προσρόφηση σε Ενεργό Άνθρακα



ΤΕΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ
Ευχαριστώ πολύ
για την προσοχή σας