

# Τεχνολογία Επεξεργασίας Αποβλήτων

## Διάλεξη 12

### Επεξεργασία Αέριων Αποβλήτων

# ➤ Αέριοι ρύποι

- ❑ Αέρια ή αιωρούμενα σωματίδια που είναι τοξικά όταν η συγκέντρωσή τους ξεπερνά ορισμένες τιμές
  - Διοξείδιο και μονοξείδιο του άνθρακα
  - Οξείδια N
  - Οξείδια S
  - Υδρογονάνθρακες
  - Αιωρούμενα σωματίδια
- ❑ Φυσικές διεργασίες και ανθρώπινες δραστηριότητες

# ➤ Μονοξείδιο του άνθρακα

- ❑ Κύριες πηγές σχηματισμού CO είναι
  - Οξείδωση υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα
  - Πυρκαγιές στα δάση
  - Διάφορες βακτηριακές δράσεις
- ❑ Στα αστικά κέντρα κύρια πηγή εκπομπής CO είναι τα αυτοκίνητα και η συγκέντρωση του μπορεί να φτάσει ως 50 ppm
- ❑ Φυσικοί μηχανισμοί μείωσης της συγκέντρωσης CO στην ατμόσφαιρα είναι η οξείδωση του προς CO<sub>2</sub>

# ➤ Διοξείδιο του άνθρακα

- ❑ Πηγές εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα:
  - Πλήρη καύση ανθρακούχων ενώσεων
  - Αναπνοή ζώων
  - Φωτοσύνθεση - Αναπνοή
  - Διεργασίες διάσπασης οργανικών ουσιών
  
- ❑ Το κυριότερο πρόβλημα είναι ότι το  $\text{CO}_2$  επιτείνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου
- ❑ Γενικότερα η μισή περίπου ποσότητα  $\text{CO}_2$  που εκλύεται στην ατμόσφαιρα απορροφάται από τα επιφανειακά νερά και οργανισμούς που βιοσυνθέτουν

## ➤ Οξείδια του N

- ❑ Τα βασικότερα οξείδια που θεωρούνται ρύποι είναι:
  - NO
  - NO<sub>2</sub>
  - N<sub>2</sub>O
  
- ❑ Το N<sub>2</sub>O παράγεται φυσικά στο περιβάλλον, δεν είναι τοξικό αλλά έχει βρεθεί ότι επιτείνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου
  
- ❑ Τα οξείδια NO, NO<sub>2</sub> σχηματίζονται από αντιδράσεις καύσης σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι συγκεντρώσεις των οξειδίων στις πόλεις μπορεί να φτάσουν και τα 500 ppm ενώ στην ύπαιθρο κυμαίνονται από 0.2 – 12 ppm

## ➤ Οξειδία του S

- ❑ Οι κυριότερες μορφές S στην ατμόσφαιρα είναι:
  - $\text{SO}_2$
  - $\text{SO}_3$
  - $\text{H}_2\text{S}$
  
- ❑ Οι ωκεανοί αποτελούν σημαντικές πηγές θειούχων ενώσεων και κυρίως  $\text{H}_2\text{S}$  το οποίο οξειδώνεται προς  $\text{SO}_2$
  
- ❑ Το  $\text{SO}_2$  εκπέμπεται στο μεγαλύτερο ποσοστό από τις θειούχες ενώσεις που περιέχονται στο κάρβουνο, σε πετρέλαιο και ορυκτά του θείου

## ➤ Οξείδια του S

- ❑ Οι συγκεντρώσεις  $\text{H}_2\text{S}$  και  $\text{SO}_2$  αποτελούν μέτρο του επιπέδου ρύπανσης της ατμόσφαιρας. Γενικά οι μέσες τιμές των  $\text{H}_2\text{S}$  και  $\text{SO}_2$  είναι 0.2 και 0.3 ppb, αντίστοιχα
- ❑ **Κυριότεροι μηχανισμοί απομάκρυνσης του  $\text{SO}_2$  είναι:**
  - Διάλυση με το νερό της βροχής προς  $\text{H}_2\text{SO}_4$
  - Φωτοοξείδωση προς  $\text{SO}_3$
- ❑ Το  $\text{SO}_2$  σε συγκεντρώσεις  $>20$  ppm μπορεί να οδηγήσει σε πνευμονικό οίδημα ενώ μακροχρόνια έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις μπορεί να οδηγήσει σε αναπνευστικά προβλήματα

# ➤ Υδρογονάνθρακες

- ❑ Προέρχονται από την εξάτμιση διαλυτών και καυσίμων καθώς και την ατελή καύση οργανικών ουσιών
- ❑ Το σύνολο των οργανικών ενώσεων σε αέρια φάση χαρακτηρίζονται σαν ολικοί υδρογονάνθρακες (TOC)
  - Μεθάνιο, βουτάνιο, προπάνιο, αιθάνιο προέρχονται κυρίως από διαρροή φυσικού αερίου και εξάτμιση υγρών καυσίμων
  - Αρωματικές ενώσεις μεγάλου μοριακού βάρους όπως PAHs που βρίσκονται είτε σε αέρια φάση είτε καταμερισμένοι στα αιωρούμενα σωματίδια
  - Τερπένια αποτελούν κατά μέσο όρο το 8% των TOC και εκλύονται κυρίως από τα κωνοφόρα δένδρα



# ➤ Μέθοδοι ελέγχου αέριων ρύπων

- Συμπύκνωση
- Απορρόφηση
- Προσρόφηση
- Καύση
- Χημική κατεργασία

## ➤ Συμπύκνωση

- ❑ Εφαρμόζεται στην κατακράτηση αερίων τοξικών ενώσεων με χαμηλή τάση ατμών ώστε να είναι δυνατή η συμπύκνωση και κατακράτηση υπό ψύξη με νερό ή αέρα
  
- ❑ Πραγματοποιείται σε δύο στάδια:
  - 1) Ψύξη με νερό
  - 2) Ψύξη με κατάλληλο ψυκτικό σύστημα έτσι ώστε να επιτυγχάνονται ακόμη χαμηλότερες θερμοκρασίες
  
- ❑ Η συμπύκνωση συνήθως αποτελεί προκαταρκτικό στάδιο απομάκρυνσης αέριων ρύπων και ακολουθεί προσρόφηση

# ➤ Συμπύκνωση

□ *Η συμπύκνωση γίνεται με δύο διαφορετικές τεχνικές:*

- Συμπύκνωση με άμεση ψύξη
- Συμπύκνωση με έμμεση ψύξη

## ➤ Συμπύκνωση με άμεση ψύξη:

- ❑ Τα αερολύματα έρχονται σε επαφή με το ψυκτικό υγρό, το οποίο ανακυκλώνεται μετά την απαγωγή της θερμότητας συμπύκνωσης. Η επαφή μεταξύ αερολυμάτων και ψυκτικού υγρού γίνεται σε ειδικούς θαλάμους οι οποίοι μπορεί να είναι πύργοι ψεκασμού με ή χωρίς πληρωτικό υλικό
- **Αερόλυμα:** μίγμα των αερίων, ατμών και σωματιδίων που εκπέμπονται από διάφορες ανθρωπογενείς πηγές

## ➤ Συμπύκνωση με έμμεση ψύξη:

- ❑ Τα αερολύματα έρχονται σε επαφή με ψυχρές μεταλλικές επιφάνειες πάνω στις οποίες και συμπυκνώνονται. Οι μεταλλικές επιφάνειες είναι σωλήνες στο εσωτερικό των οποίων κυκλοφορεί ειδικό ψυκτικό υγρό. Η θερμοκρασία ψύξης επιλέγεται ανάλογα με την σύσταση των αερολυμάτων

# ➤ Μέθοδοι ελέγχου αέριων ρύπων

➤ Συμπύκνωση

➤ **Απορρόφηση**

➤ Προσρόφηση

➤ Καύση

➤ Χημική κατεργασία

# ➤ Απορρόφηση

- ❑ Στηρίζεται στην μεταφορά μορίων ενώσεων από την αέρια στην υγρή φάση σε συνδυασμό με την αύξηση της συγκέντρωσης στην υγρή φάση
- ❑ Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την επιλογή του κατάλληλου υγρού απορρόφησης που θα πρέπει να είναι μη τοξικό και να δημιουργεί σταθερά διαλύματα μετά την απορρόφηση

# ➤ Απορρόφηση

- ❑ *Απορροφητικά υγρά που χρησιμοποιούνται είναι το νερό ή οργανικοί διαλύτες*



## ➤ Υδατικά συστήματα απορρόφησης:

- ❑ Το νερό είναι ιδανικό απορροφητικό μέσο για υδατοδιαλυτά αέρια όπως HF, NH<sub>3</sub>. Η ρύθμιση του pH και η προσθήκη δραστικών χημικών ενώσεων προς τα υπό απορρόφηση αέρια κάνει αποτελεσματικότερη τη δέσμευση των ρύπων
- ❑ Όξινες ενώσεις όπως CO<sub>2</sub>, φαινόλες, υδρόθειο απορροφούνται ισχυρά σε αλκαλικά διαλύματα
- ❑ Αλκαλικές ενώσεις όπως NH<sub>3</sub> απορροφούνται πλήρως σε όξινα διαλύματα



## ➤ Συστήματα απορρόφησης με οργανικούς διαλύτες:

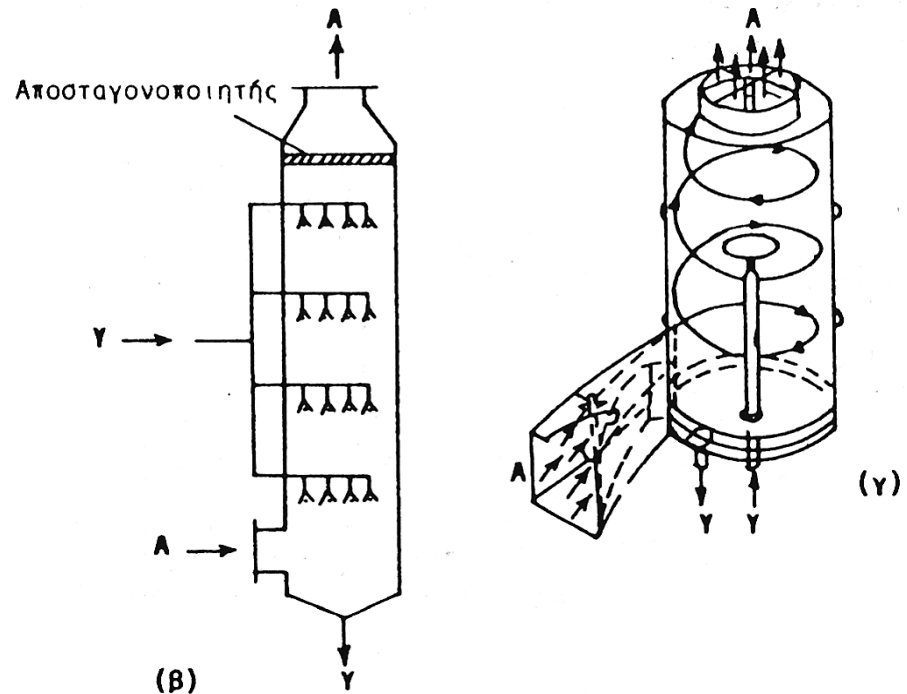
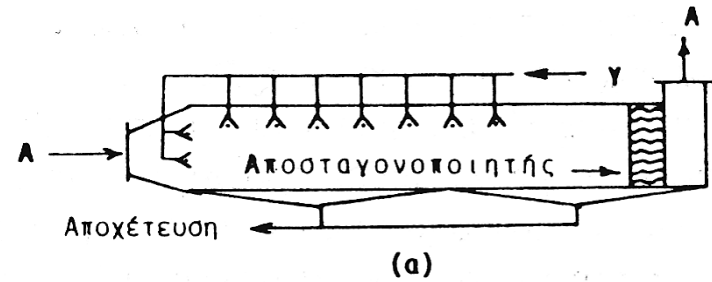
- ❑ Οι οργανικοί διαλύτες χρησιμοποιούνται όταν τα αντίστοιχα υδατικά διαλύματα δεν είναι αποτελεσματικά
- ❑ Χρησιμοποιούνται κυρίως ως διαλύτες διμεθυλαμίνη, τριαιθανολαμίνη και έλαια μεγάλου μοριακού βάρους

# ➤ Συστήματα απορρόφησης αέριων ρύπων

- ❑ Σε όλα τα συστήματα απορρόφησης το υγρό χρησιμοποιείται με την μορφή σταγόνων ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή επαφή με τα αερολύματα
  
- ❑ Τα βασικότερα συστήματα απορρόφησης είναι:
  - Πύργοι ψεκασμού
  - Πύργοι πληρώσεως
  - Πύργοι με δίσκους

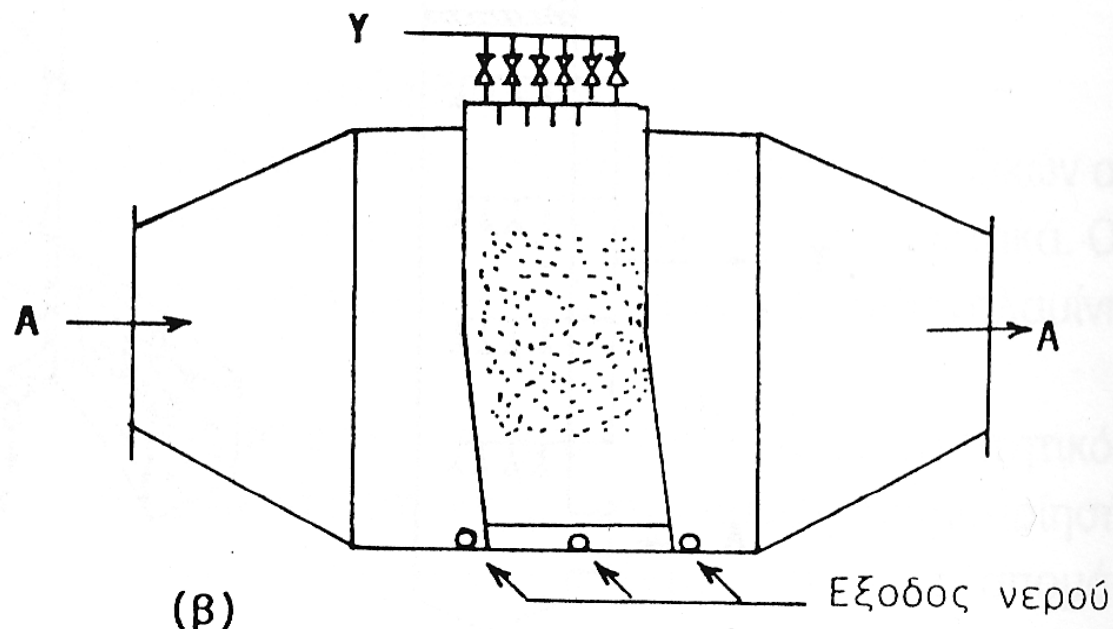
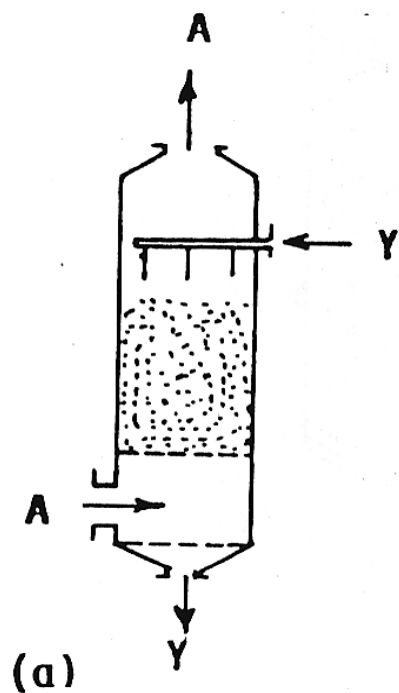
# ➤ Πύργοι Ψεκασμού

□ Στους πύργους ψεκασμού τα αέρια μετά την απομάκρυνση ρύπων και αιωρούμενων σωματιδίων (τύποι α και β) διαβιβάζονται σε αποσταγονοποιητή για την κατακράτηση των μικρών σταγονιδίων απορροφητικού υγρού που συμπαρασύρονται με το ρεύμα του αέρα



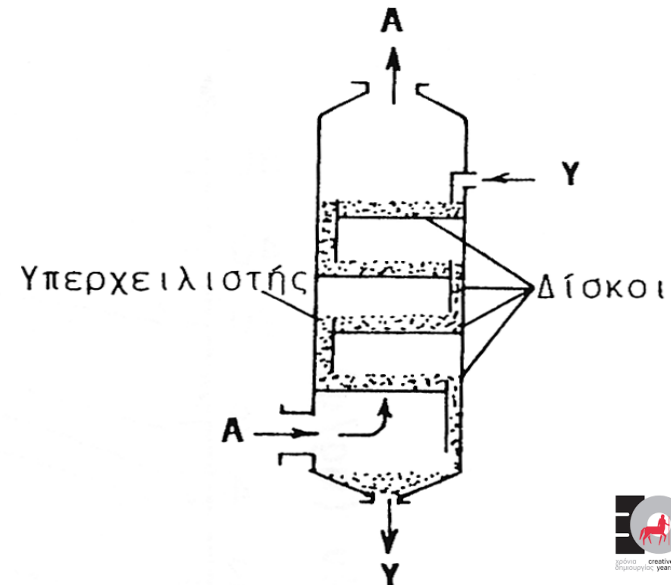
## ➤ Πύργοι πληρώσεως

- ❑ Περιέχουν ειδικό αδρανές υλικό ώστε να αυξάνεται ο χρόνος επαφής των αερολυμάτων και του απορροφητικού υγρού
- ❑ Πρόβλημα οι συχνές αποφράξεις όταν υπάρχουν στα αερολύματα αιωρούμενα σωματίδια αδιάλυτα στο υγρό



## ➤ Πύργοι με δίσκους

- ❑ Το απορροφητικό υγρό ρέει από πάνω και σχηματίζει λεπτό υμένα πάνω σε δίσκους που είναι διάτρυτοι με μικρές οπές μέσω των οποίων διέρχονται τα αερολύματα κατά αντιστροφή και έρχονται σε επαφή με το υγρό
- ❑ Οι πύργοι αυτού του τύπου είναι κατάλληλοι για επεξεργασία αερολυμάτων που περιέχουν και αιωρούμενα σωματίδια



# ➤ Μέθοδοι ελέγχου αέριων ρύπων

➤ Συμπύκνωση

➤ Απορρόφηση

➤ **Προσρόφηση**

➤ Καύση

➤ Χημική κατεργασία

## ➤ Προσρόφηση

- ❑ Ιδιαίτερα χρήσιμη μέθοδος για την απομάκρυνση αέριων ρύπων σε χαμηλές συγκεντρώσεις στα αέρια λύματα
- ❑ Η προσρόφηση είναι δυνατόν να συνδυαστεί και με την καταστροφή των προσροφούμενων ρύπων μέσω της χημικής τους δέσμευσης σε επιφάνεια η οποία προηγουμένως έχει διαποτιστεί με κατάλληλα αντιδραστήρια



## ➤ Προσροφητικά υλικά

- ❑ **Ενεργός άνθρακας:** βασικό πλεονέκτημα είναι ότι μετά την προσρόφηση μπορεί να καεί χωρίς να δημιουργεί πρόβλημα διάθεσης στο περιβάλλον
- ❑ **Πηκτή Πυριτικού Οξέος (Silica Gel):** υαλώδες σκληρό υλικό με μεγάλο αριθμό πόρων και προσροφητική ικανότητα που εξαρτάται από το μέγεθος των πόρων. Αναγεννάται απλά με θέρμανση
- ❑ **Ενεργοποιημένη αλουμίνη**
- ❑ **Ζεόλιθοι:** χημικά τετράεδρα  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{AlO}_4$  που στο σύνολο τους σχηματίζουν πολύεδρα και χρησιμοποιούνται σε ειδικές περιπτώσεις για την δέσμευση αέριων ρύπων

## ➤ Προσρόφηση

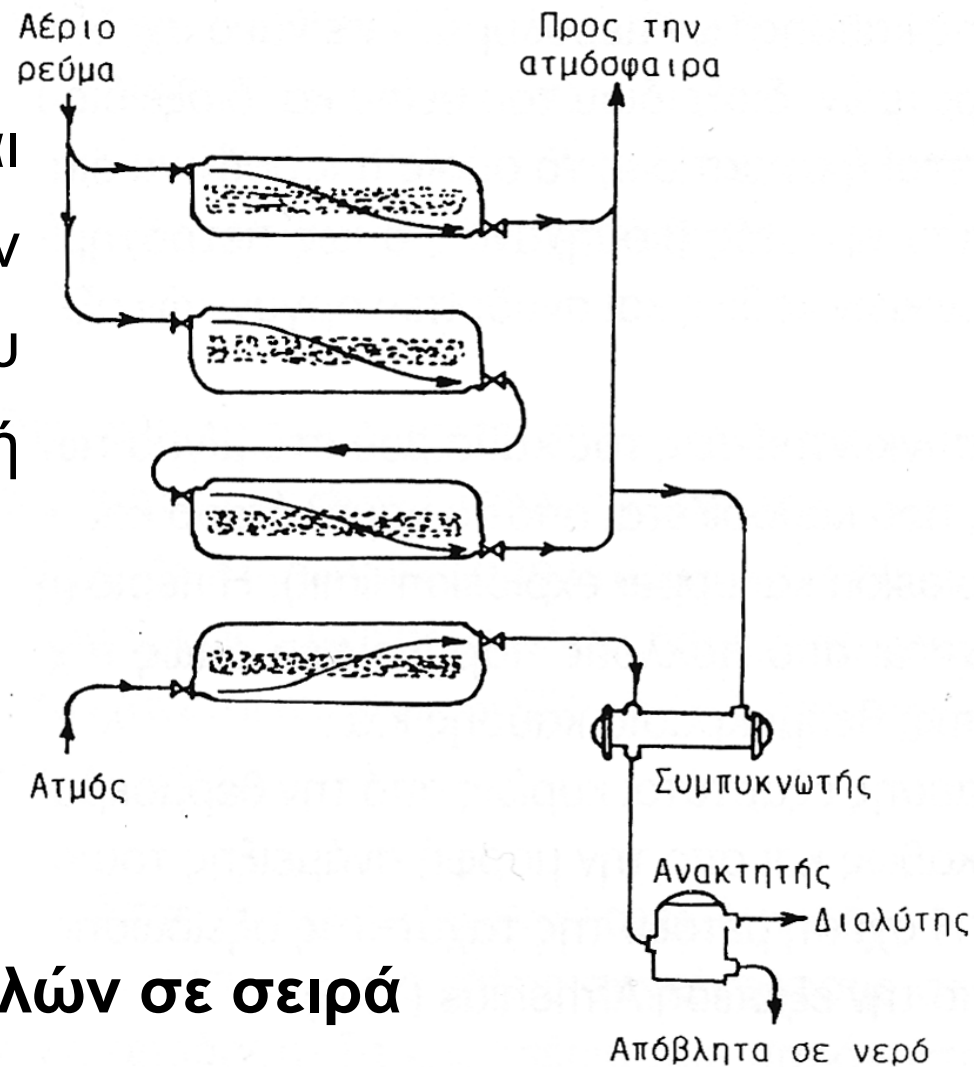
- ❑ *Ο διαποτισμός των προσροφητικών μέσων με κατάλληλα αντιδραστήρια οδηγεί σε βέλτιστη προσρόφηση των αερίων ρύπων*
- ❑ Προσροφητικά διαποτισμένα με ουσίες που αντιδρούν με τα αέρια δίνοντας μη τοξικά προϊόντα ή αυξάνοντας της προσρόφηση των ρύπων π.χ. Προσρόφηση αιθυλενίου σε ενεργό άνθρακα εμποτισμένο με βρώμιο
- ❑ Προσροφητικά διαποτισμένα με ουσίες που δρουν καταλυτικά στην μετατροπή των προσροφούμενων αερίων ρύπων π.χ. εμποτισμός με άλατα χρωμίου, χαλκού αργύρου

# ➤ Προϋποθέσεις για αυξημένη προσρόφηση

- ❑ Επαρκής χρόνος επαφής αερολυμάτων – προσροφητικού
- ❑ Ικανοποιητική χωρητικότητα προσροφητικού
- ❑ Χαμηλή αντίσταση ροής των αερίων
- ❑ Ομοιόμορφη κατανομή ροής και πλήρη εκμετάλλευση του προσροφητικού
- ❑ Πρόβλεψη για πιθανή ψύξη των αερίων
- ❑ Πρόβλεψη για την απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων
- ❑ Δυνατότητα αναγέννησης του προσροφητικού υλικού

# ➤ Τεχνικές προσρόφησης

- Συνήθως χρησιμοποιούνται στήλες σε σειρά για τον καθαρισμό μεγάλου όγκου αερολυμάτων σε βιομηχανική κλίμακα



**Σύστημα 4 στηλών σε σειρά**

# ➤ Μέθοδοι ελέγχου αέριων ρύπων

➤ Συμπύκνωση

➤ Απορρόφηση

➤ Προσρόφηση

➤ **Καύση**

➤ Χημική κατεργασία

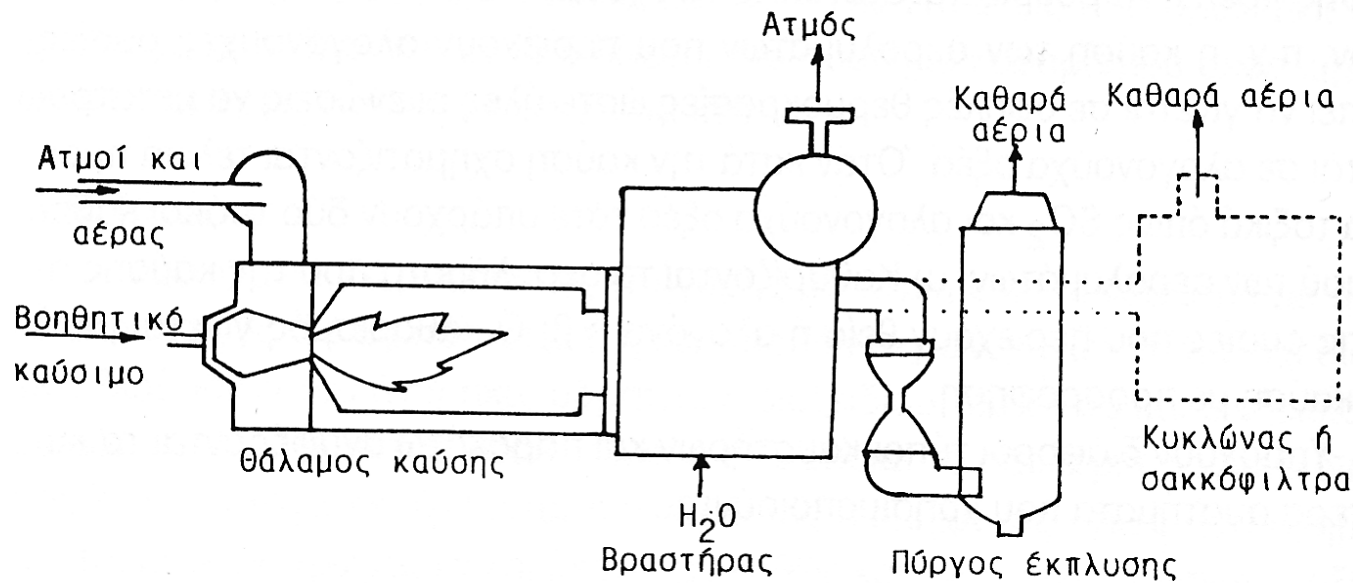
# ➤ Καύση

- ❑ *Διεργασία ταχείας οξείδωσης παρουσία φλόγας*
- ❑ Αποτέλεσμα της καύσης αερολυμάτων είναι ο σχηματισμός  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$
- ❑ Οι περισσότερες οργανικές ενώσεις οξειδώνονται εάν παραμείνουν για 3 sec σε θερμοκρασία  $700\text{-}800^\circ\text{C}$  και σε περίσσεια αέρα 20%
- ❑ Σε περιπτώσεις που παράγονται ενδιάμεσα τοξικά προϊόντα από την οξείδωση των ρύπων οι συνθήκες της καύσης θα πρέπει να προσαρμόζονται ώστε να επιτυγχάνεται καύση και των τοξικών προϊόντων μεταβολισμού

# ➤ Τύποι καυστήρων

- Θερμικοί λύχνοι
- Καταλυτικοί λύχνοι
- Πυρσοί

# ➤ Θερμικοί Λύχνοι



- ❑ Αποτελούνται από θάλαμο καύσης με ένα λύχνο στο ένα άκρο ο οποίος τροφοδοτείται με αέριο ή υγρό καύσιμο ενώ η θερμοκρασία η οποία επιτυγχάνεται κυμαίνεται από 550-850°C



## ➤ Καταλυτικοί λύχνοι:

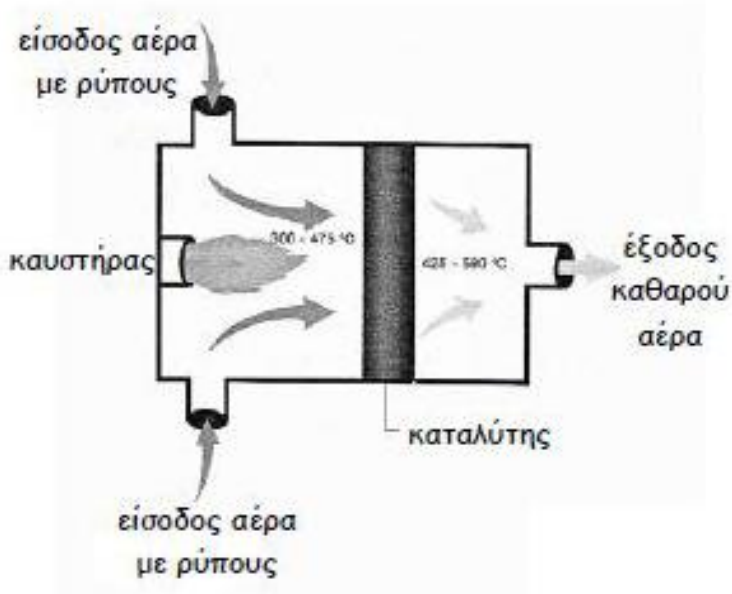
- ❑ Τα αερολύματα προθερμαίνονται πριν φθάσουν στον θάλαμο καύσης και μαζί με περίσσεια αέρα διοχετεύονται διαμέσου πορώδους καταλύτη ο οποίος διευκολύνει την οξείδωση οργανικών ενώσεων προς  $\text{CO}_2$  και  $\text{H}_2\text{O}$ . Η απαιτούμενη θερμοκρασία είναι συνήθως  $400\text{-}500^\circ\text{C}$ . Μειονέκτημα της μεθόδου ότι καταλύτες από ευγενή μέταλλα (Pt, Re) δηλητηριάζονται εύκολα με ενώσεις θείου, Pb, Hg, αλογόνα και σκόνη

## ➤ Πυρσοί:

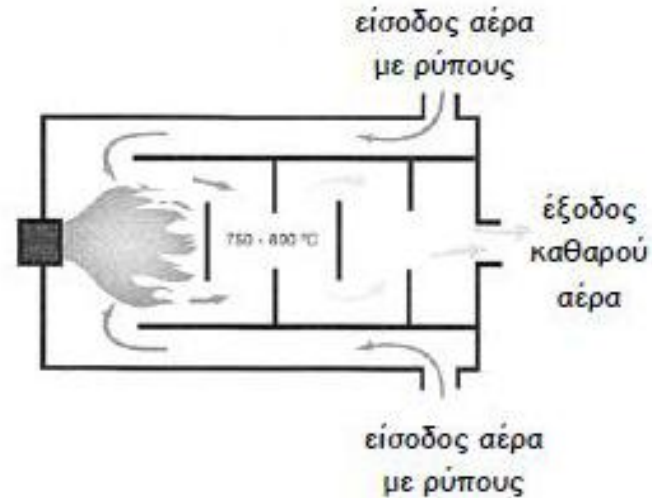
- ❑ Χρησιμοποιούνται για την καύση αερίων που παράγονται σε διάφορα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας διαφόρων βιομηχανιών

# ➤ Καύση – Τύποι καυστήρων

## Καταλυτικοί λύχνοι



## Θερμικοί λύχνοι



## Πυρσοί



# ➤ Μέθοδοι ελέγχου αέριων ρύπων

➤ Συμπύκνωση

➤ Απορρόφηση

➤ Προσρόφηση

➤ Καύση

➤ **Χημική κατεργασία**

# ➤ Χημική Κατεργασία Αερολυμάτων

- ❑ Είναι η κατεργασία αερολυμάτων που περιλαμβάνει χημικές αντιδράσεις κατά κύριο λόγο για τον έλεγχο της ρύπανσης από αερολύματα
- ❑ Η χημική κατεργασία αερολυμάτων εφαρμόζεται κυρίως για την απομάκρυνση  $\text{SO}_x$  και  $\text{NO}_x$

# ➤ Απομάκρυνση $SO_x$ με χημική κατεργασία

## □ Μέθοδοι ελέγχου της ρύπανσης από $SO_x$

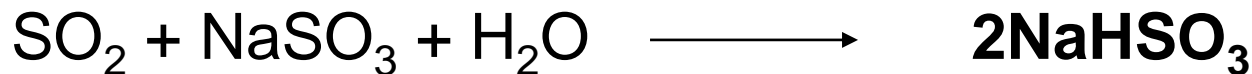
- Αποθείωση καυσίμων
- Μέθοδος Wellman-Lord
- Αλκαλική εξουδετέρωση  $SO_2$
- Δέσμευση με διάλυμα βρωμίου
- Ξηρές μέθοδοι

## ➤ Αποθείωση Καυσίμων:

Απομάκρυνση θειούχων ενώσεων από καύσιμα περιορίζει σημαντικά τις εκπομπές SO<sub>2</sub> κατά την καύση των καυσίμων. Στις περισσότερες τεχνικές αποθείωσης βασικό στάδιο είναι η μετατροπή των θειούχων ενώσεων σε H<sub>2</sub>S το οποίο διαχωρίζεται και μετατρέπεται σε στοιχειακό θείο

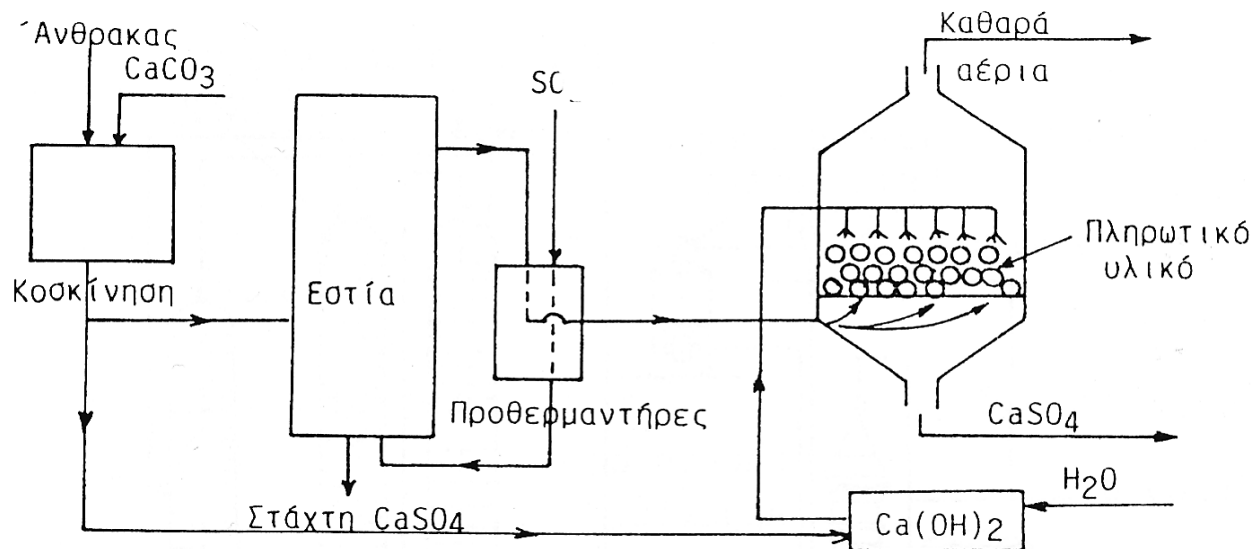
## ➤ Μέθοδος Wellman-Lord:

Χρησιμοποιείται διάλυμα θειωδών αλάτων για την δέσμευση SO<sub>2</sub>. Τα θειώδη αντιδρούν με το SO<sub>2</sub> και σχηματίζουν όξινο θειώδες προϊόν που οξειδούμενο δίνει Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>



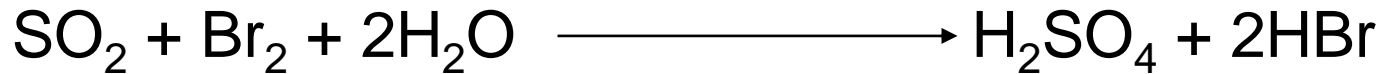
# ➤ Αλκαλική εξουδετέρωση $SO_x$ σε αερολύματα

- ❑ Διοχέτευση αερολυμάτων διαμέσου αλκαλικών υδατικών διαλυμάτων  $CaO$ ,  $CaCO_3$  ή μιγμάτων με  $Na_2CO_3$ ,  $NH_4OH$
- ❑ Τα αερολύματα διοχετεύονται από το πυθμένα πύργων ενώ το απορροφητικό υγρό με τα αλκαλικά αντιδραστήρια ψεκάζεται από την κορυφή του πύργου. Τα τελικά προϊόντα είναι  $Na_2SO_4$ ,  $CaSO_4$ ,  $(NH_4)_2SO_4$



## ➤ Δέσμευση με διάλυμα Br

- Η χρήση αραιού διαλύματος Br είναι δυνατόν να δεσμεύσει το SO<sub>2</sub> από αερολύματα





# ➤ Απομάκρυνση $\text{NO}_x$ με χημική κατεργασία

□ Στηρίζεται στην αναγωγή των  $\text{NO}_x$  με  $\text{NH}_3$  και τροποποίηση των μηχανών καύσης με τελικό προϊόν το αέριο  $\text{N}_2$

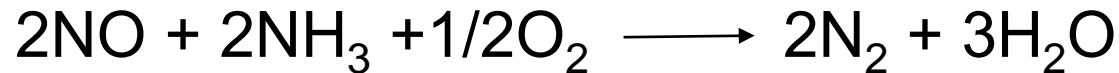
➤ *Μη καταλυτική αναγωγή  $\text{NO}_x$*

➤ *Καταλυτική αναγωγή  $\text{NO}_x$*

➤ *Τροποποιήσεις συνθηκών καύσης*

## ➤ Μη καταλυτική αναγωγή NO<sub>x</sub>

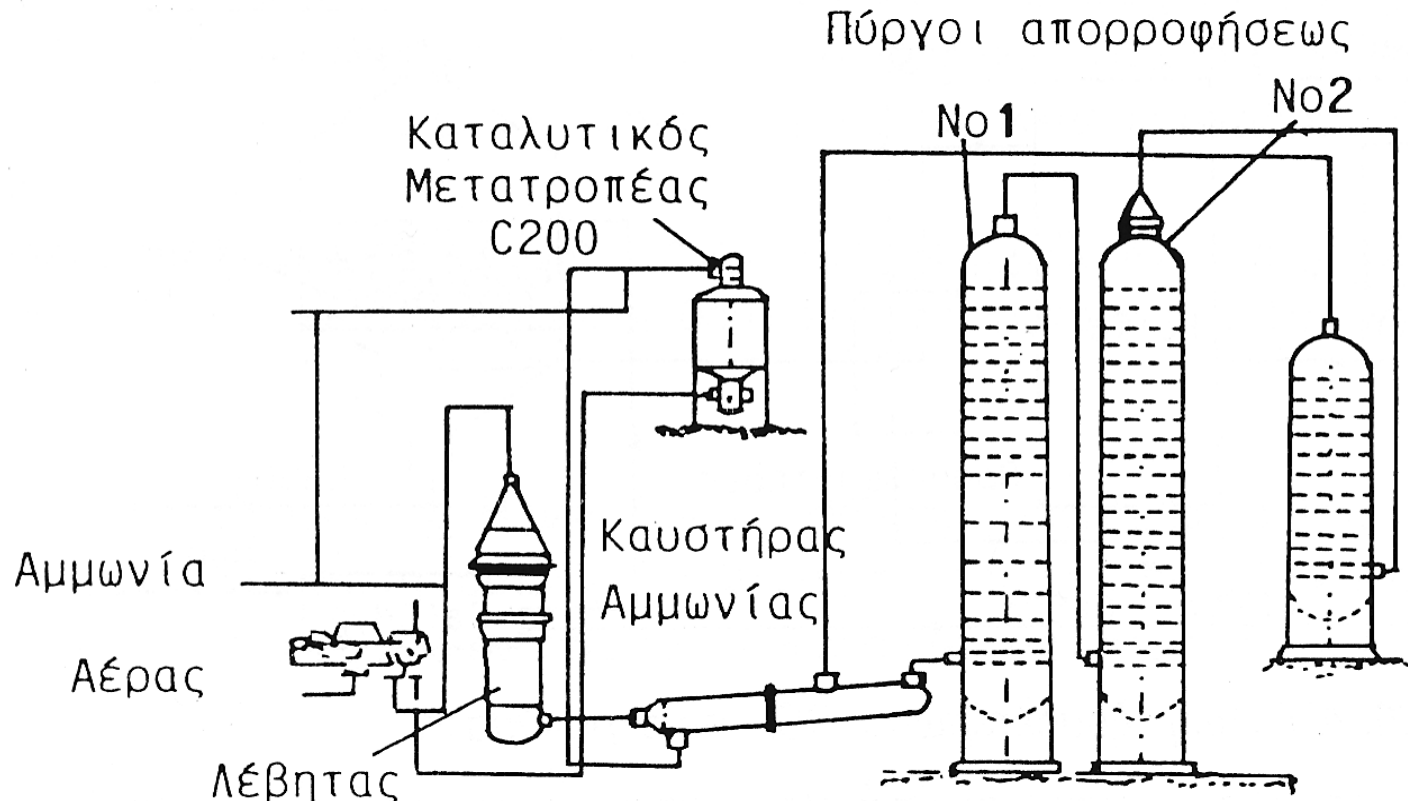
- ❑ Η αμμωνία αναμιγνύεται με τα αερολύματα στο θάλαμο καύσης



- ❑ Καθοριστικοί παράγοντες για την απόδοση της μεθόδου είναι η θερμοκρασία και ο λόγος NH<sub>3</sub>:NO<sub>x</sub>

# ➤ Καταλυτική Αναγωγή $\text{NO}_x$

- ❑ Η αμμωνία αναμιγνύεται με τα αερολύματα και το μίγμα διέρχεται από θάλαμο που περιέχει καταλύτη
- ❑ Οι καταλύτες είναι συνήθως πεντοξειδίο του βαναδίου και ο θάλαμος λειτουργεί στους  $200^\circ\text{C}$



# ➤ Τροποποίηση των συνθηκών καύσης

- ❑ Οι ποσότητες NO που παράγονται από την καύση οργανικών ενώσεων αυξάνονται με αύξηση της θερμοκρασίας και παροχής οξυγόνου
- ❑ Έτσι οι ποσότητες NO, NO<sub>2</sub> που εκλύονται στην ατμόσφαιρα μπορούν να περιοριστούν με έλεγχο της μέγιστης θερμοκρασίας καύσης, της περίσσειας οξυγόνου και του χρόνου παραμονής στον θάλαμο καύσης

# *Απομάκρυνση Αιωρούμενων Σωματιδίων από τα Αέρια Απόβλητα*

# ➤ Αιωρούμενα Σωματίδια

- ❑ *Ως αιωρούμενα σωματίδια ορίζεται το σύνολο των σωματιδίων (στερεά ή υγρά) με διαστάσεις (0.0002-500 μm) τα οποία βρίσκονται σε διασπορά στην ατμόσφαιρα*
  
- ❑ Πηγές εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων:
  - Φυσικές πηγές: ανεμοθύελες, ηφαίστεια, σταγονίδια από ωκεανούς
  - Ανθρωπογενής πηγές: καύση λιθάνθρακα και άνθρακα

# ➤ Αιωρούμενα Σωματίδια

- ❑ Τα σωματίδια έχουν μεγάλη ενεργό επιφάνεια και εμφανίζουν μεγάλη ικανότητα προσρόφησης τοξικών ουσιών γεγονός που τα καθιστά επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία όπως προβλήματα στο αναπνευστικό σύστημα όπως πνευμοκονιάσεις, άσθμα
- ❑ Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι υπάρχει συνεργιστική δράση μεταξύ αιωρούμενων σωματιδίων και  $\text{SO}_2$

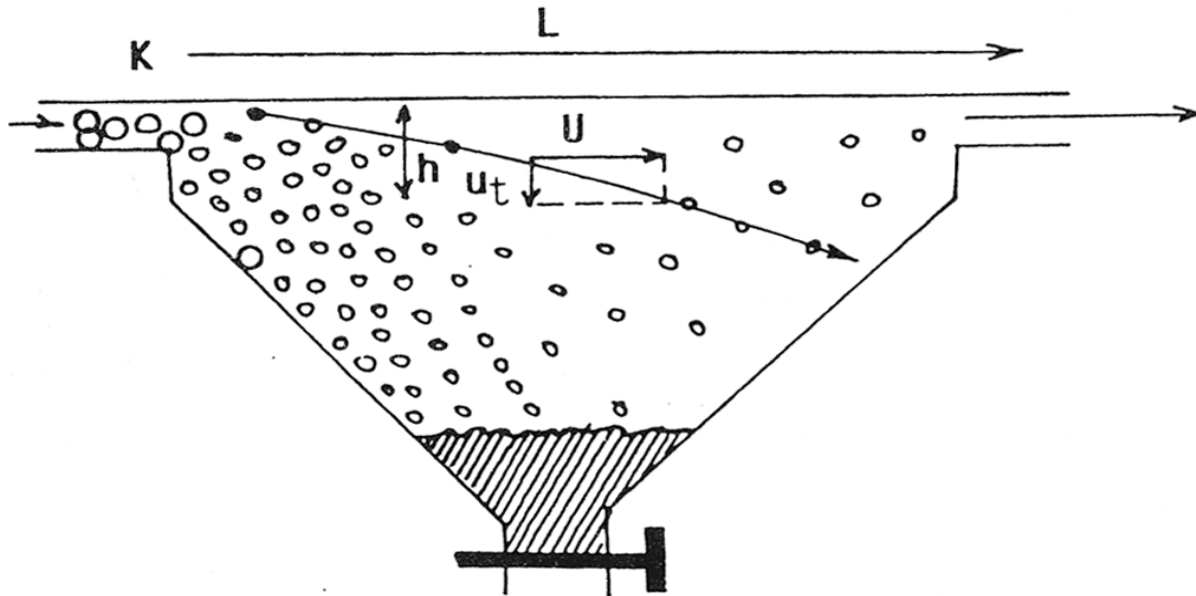
# ➤ Μέθοδοι απομάκρυνσης αιωρούμενων σωματιδίων

- Θάλαμοι κατακάθισης
- Κυκλώνες
- Συσκευές έκπλυσης
- Φίλτρα
- Ηλεκτροστατική κατακάθιση



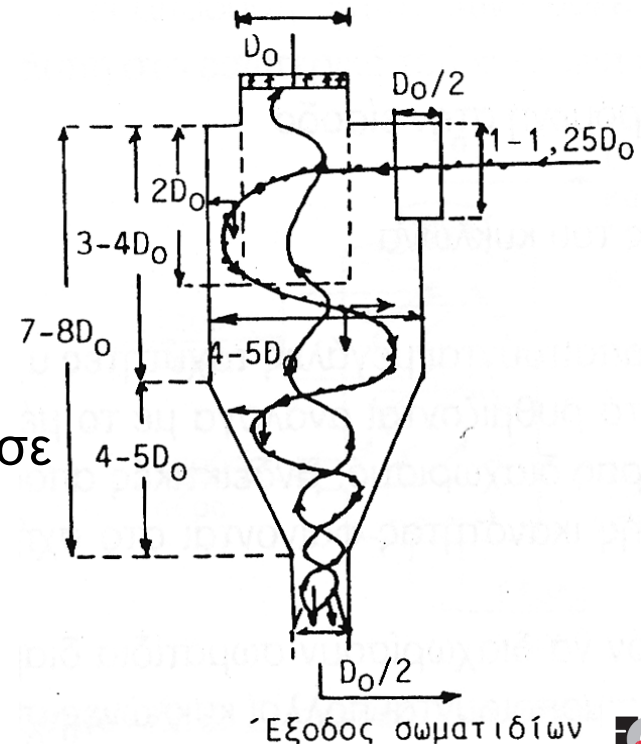
# ➤ Θάλαμοι κατακάθισης

- ❑ Η απλούστερη τεχνική καθαρισμού των αερολυμάτων από αιωρούμενα σωματίδια
- ❑ Στηρίζεται στην μείωση της ταχύτητας ροή των αερολυμάτων εντός του θαλάμου ώστε να δοθεί αρκετός χρόνος στα σωματίδια που περιέχονται στα αερολύματα να κατακαθίσουν.
- ❑ Αποτελεσματική μέθοδος για σωματίδια διαμέτρου  $> 50 \mu\text{m}$



# ➤ Κυκλώνες

- ❑ *Οι κυκλώνες διαχωρίζουν τα αιωρούμενα σωματίδια από ένα ρεύμα αερολυμάτων με την δράση της φυγόκεντρου δύναμης*
- ❑ Τα αερολύματα εισέρχονται στο θάλαμο του κυκλώνα και με την φυγόκεντρο δύναμη και την δύναμη της βαρύτητας τα αιωρούμενα σωματίδια καθιζάνουν στο πυθμένα ενώ τα αέρια εξέρχονται από την κορυφή του συστήματος
- ❑ Αυξημένη διαχωριστική ικανότητα παρατηρείται με αύξηση της φυγοκέντρου ταχύτητας και μείωση της ακτίνας του θαλάμου
- ❑ Οι κυκλώνες συνήθως χρησιμοποιούνται σε σειρά και δεν μπορούν να διαχωρίσουν σωματίδια με διάμετρο  $< 5 \mu\text{m}$

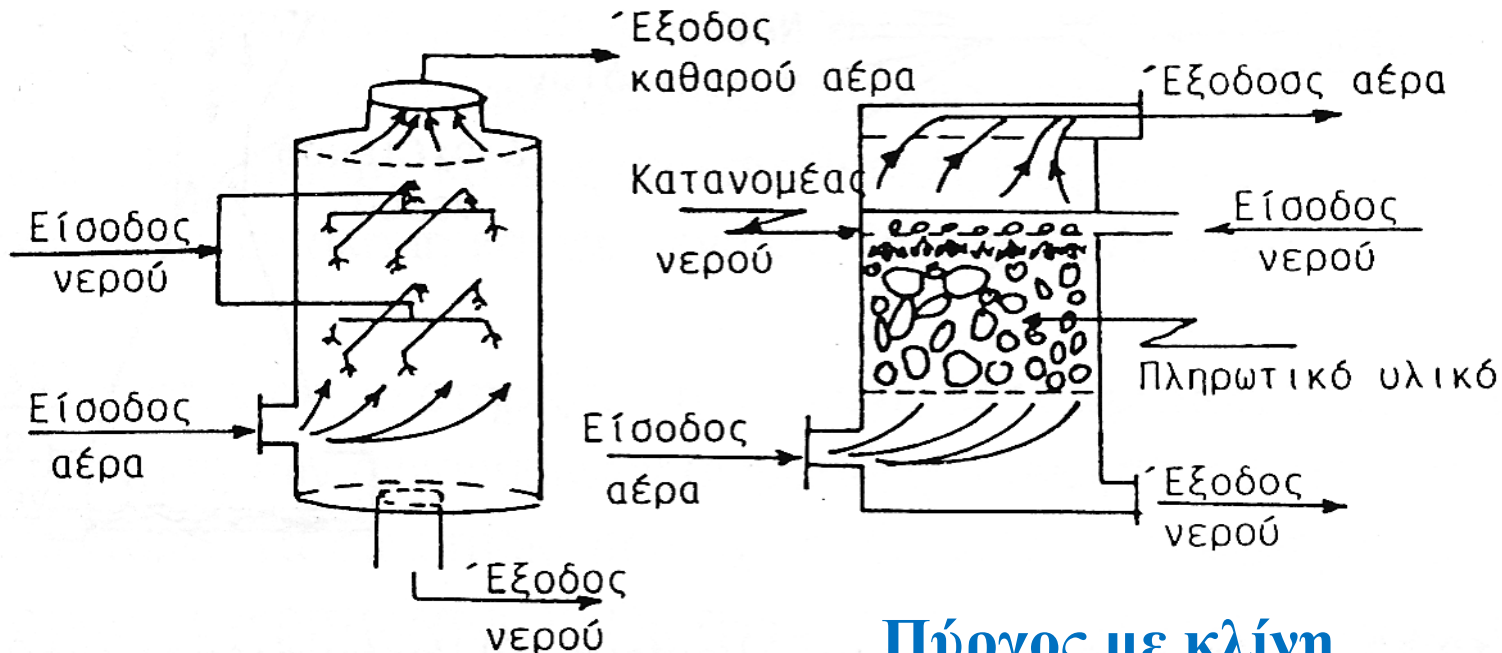


# ➤ Συσκευές Έκπλυσης

- ❑ *Βασική αρχή των συσκευών έκπλυσης είναι η διαβροχή των αερολυμάτων που συγκρατούν στην υγρή φάση τόσο αιωρούμενα σωματίδια όσο και διάφορα αέρια*
  
- ❑ Οι κυριότερες μορφές συσκευών έκπλυσης είναι:
  - Πύργοι έκπλυσης με ή χωρίς κλίνη
  - Κυκλώνες έκπλυσης (υδροκυκλώνες)
  - Συσκευές Ventouri

# ➤ Πύργοι έκπλυσης με ή χωρίς κλίνη

- ❑ Τα αερολύματα διοχετεύονται από τον πυθμένα ενώ αντίθετα από την κορυφή του θαλάμου διοχετεύονται σταγόνες νερού
- ❑ Οι πύργοι μπορεί να είναι άδειοι ή μπορεί να περιέχουν κλίνη με απορροφητικό υλικό

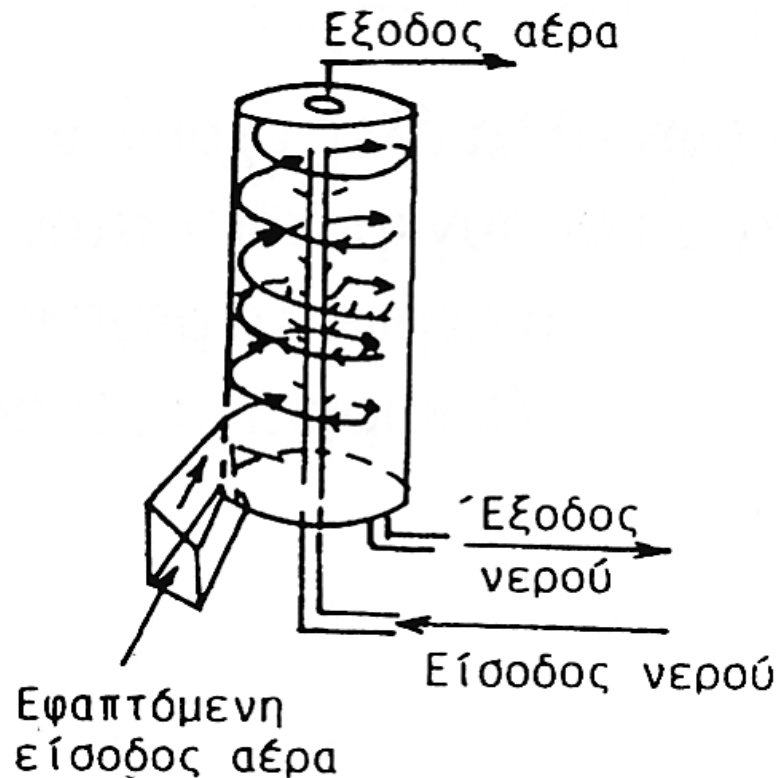


Πύργος χωρίς κλίνη

Πύργος με κλίνη

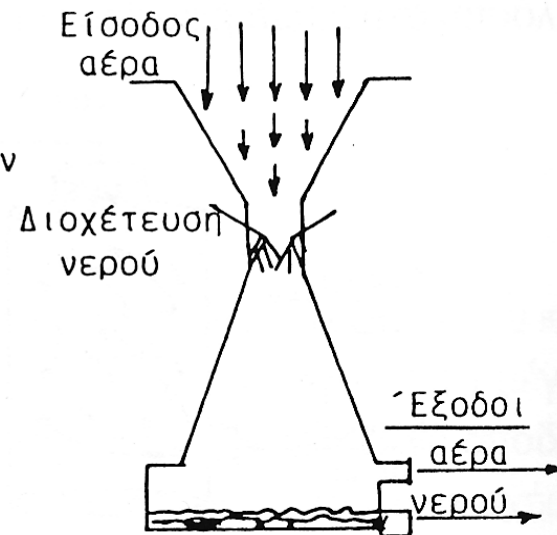
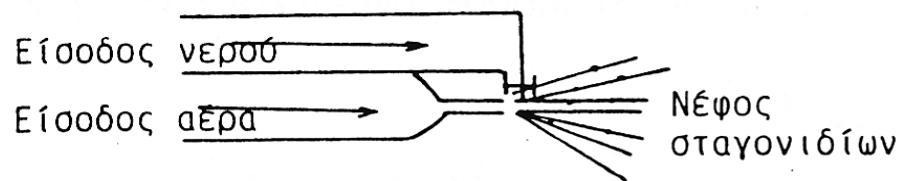
## ➤ Υδροκυκλώνες

- Δοχεία έκπλυσης όπου τα αερολύματα διοχετεύονται όπως στους ξηρούς κυκλώνες με την διαφορά ότι παράλληλα διοχετεύεται και νερό είτε μαζί με τα αερολύματα είτε από την κορυφή του θαλάμου



## ➤ Συσκευές Ventouri

- ❑ Χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό αερολυμάτων από αιωρούμενα σωματίδια μεγέθους μικρότερου από  $1 \mu m$
- ❑ Η μέθοδος στηρίζεται στην επιτάχυνση, μέσω στένωσης, του ρεύματος των αερίων σε ταχύτητα  $75 \text{ m/sec}$ .
- ❑ Αμέσως μετά την στένωση διοχετεύεται ρεύμα νερού υπό μορφή νέφους. Το νέφος αυτό συλλέγει τα αιωρούμενα σωματίδια του αέρα



## ➤ Φίλτρα

- ❑ ***Η πιο συνηθισμένη μορφή φίλτρων είναι τα σακκόφιλτρα ενώ υπάρχουν και τα ηλεκτροστατικά***
- ❑ Η αρχή στην οποία στηρίζεται η λειτουργία τους είναι η μηχανική κατακράτηση των αιωρούμενων σωματιδίων πάνω σε μια διάτρητη με πόρους επιφάνεια
- ❑ Τα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των πόρων συγκρατούνται ενώ το σχηματιζόμενο στρώμα σκόνης συγκρατεί και σωματίδια διαμέτρου πολύ μικρότερης των πόρων

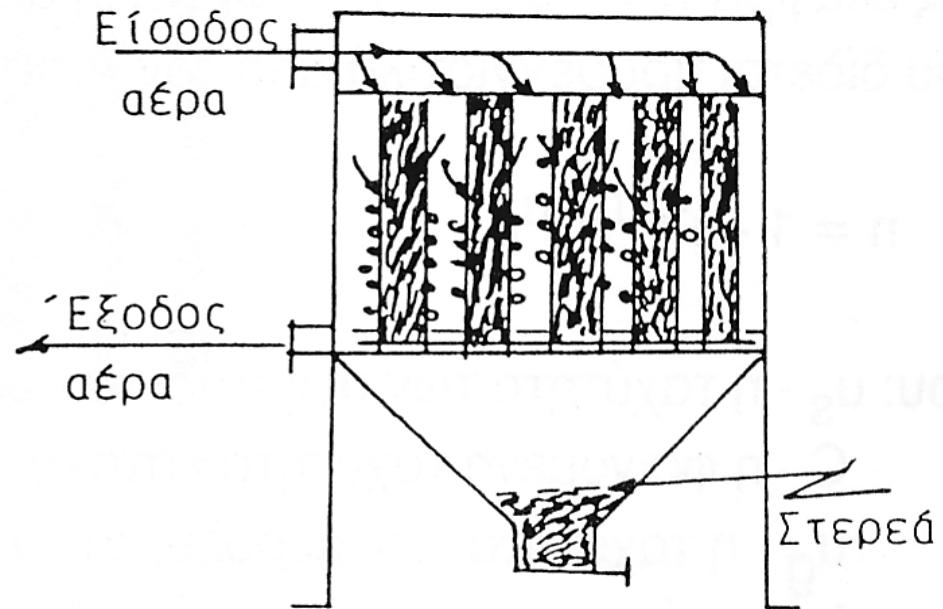
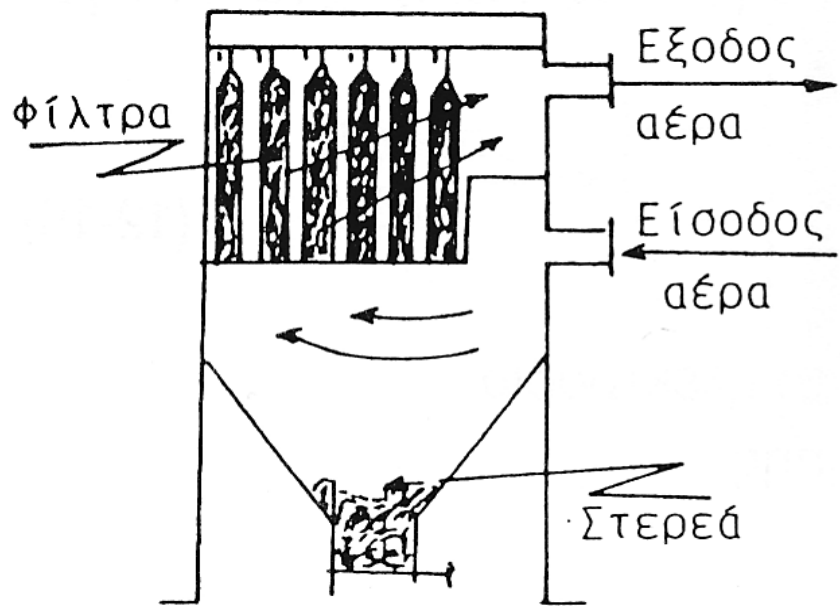
# ➤ Υλικά Φίλτρων

❑ **Συνθετικά υλικά που χρησιμοποιούνται στα σακκόφιλτρα:**

- Βαμβακερά – κυτταρίνη
- Μάλλινα – πρωτεΐνη
- Nylon – πολυαμίδιο
- Orlon – πολυακρυλικό
- Bacron – πολυεστέρας
- Fiberglass – γυαλί
- Τεφλόν - πολυφθοροαιθυλένιο



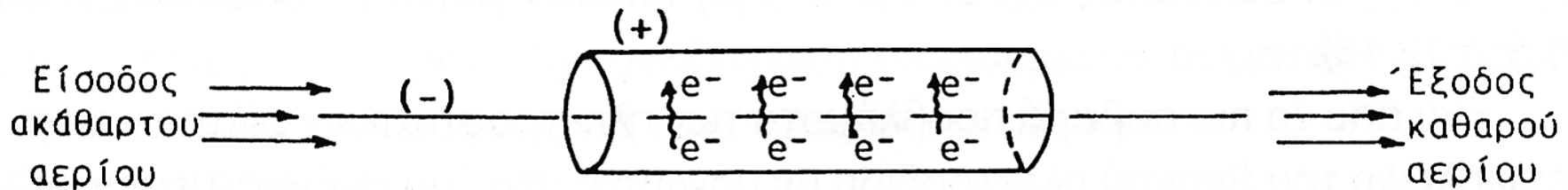
# ➤ Φίλτρα



# ➤ Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

- ❑ **Συσκευές καθαρισμού αερολυμάτων μεγάλης αποδοτικότητας που κατακρατούν τα αιωρούμενα σωματίδια ανεξάρτητα από το μέγεθος τους**
  
- ❑ Στάδια διαχωρισμού στα ηλεκτροστατικά φίλτρα:
  - Φόρτιση των αιωρούμενων σωματιδίων
  - Συγκέντρωση των φορτισμένων σωματιδίων στο αντίθετα φορτισμένο συλλέκτη
  - Εκφόρτιση σωματιδίων
  - Απομάκρυνση σωματιδίων

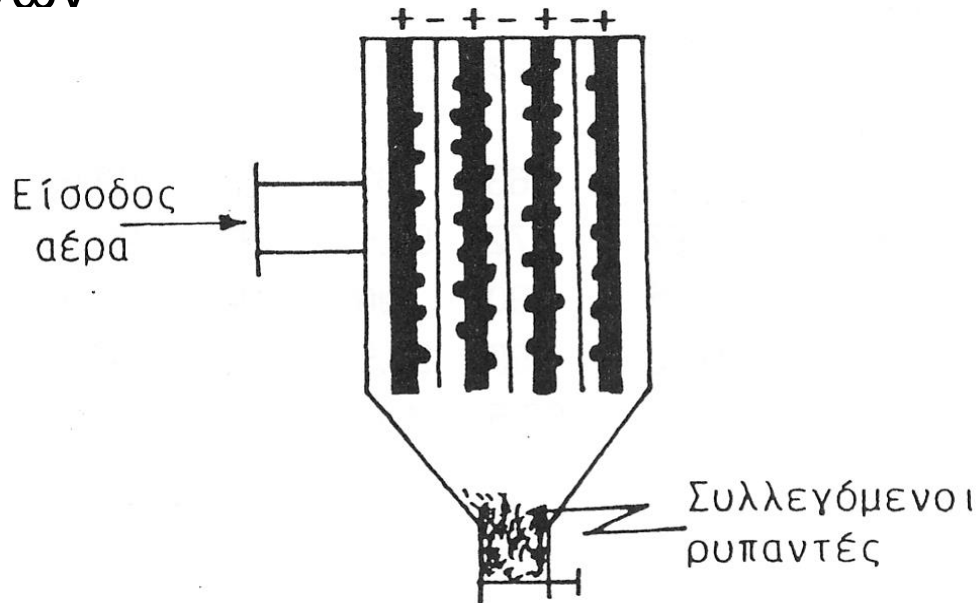
# ➤ Ηλεκτροστατικά Φίλτρα - Λειτουργία



- ❑ Στο εσωτερικό του θαλάμου δημιουργείται ηλεκτροστατικό πεδίο όπου η ροή ηλεκτρονίων από τον αρνητικό στον θετικό πόλο κατά την ροή των αερολυμάτων φορτίζει τα αιωρούμενα σωματίδια αρνητικά που κατά συνέπεια συσσωρεύονται στο θετικό πόλο του συστήματος
- ❑ Ακολουθεί εξουδετέρωση του φορτίου και απομάκρυνση με ένα χτύπημα του φίλτρου

# ➤ Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

- Στην πράξη οι συλλέκτες έχουν την μορφή πλακών παρά σωλήνων



- Το σοβαρότερο πρόβλημα των ηλεκτροστατικών φίλτρων είναι η επικάλυψη του θετικού ηλεκτροδίου με στρώμα σκόνης με αποτέλεσμα να σταματάει η εκφόρτιση των σωματιδίων που φθάνουν εκεί

Τύπος	Αποδοτικότητα (%) για διάφορες διαμέτρους σωματιδίων (μm)					
	Συνολική	< 5	5-10	10-20	20-45	>45
Θάλαμος Κατακάθισης	59	7	22	43	80	90
Απλός Κυκλώνας	65	12	33	56	82	91
Κυκλώνας Υψηλής Απόδοσης	84	40	79	92	95	97
Πολλαπλός Κυκλώνας διαμέτρου 30 cm	74	25	54	74	95	98
Πολλαπλός Κυκλώνας διαμέτρου 18 cm	94	63	95	98	99.5	100
Ηλεκτροστατικό φίλτρο	97	72	94.5	97	99.5	100
Πύργος έκπλυσης	95.5	90	96	98	100	100
Ventouri	99.5	99	99.5	100	100	100
Φίλτρα	99.7	99.5	100	100	100	100