



# **Μάθημα 10<sup>ο</sup>**

## **Τεχνολογίες Αντιρρύπανσης**



# Τεχνολογίες Αντιρρύπανσης

Ένας σημαντικός παράγοντας ο οποίος επηρεάζει την ποσότητα αλλά και το είδος των αέριων εκπομπών στην ατμόσφαιρα, είναι η ύπαρξη εγκατεστημένης αντιρρυπαντικής τεχνολογίας. Η τεχνολογία αυτή μέχρι πριν από λίγα χρόνια ήταν σχεδόν ανύπαρκτη στη χώρα μας, εκτός από τις περιπτώσεις λίγων μεγάλων βιομηχανικών μονάδων. Αυτό οφείλεται κυρίως στο υψηλό κόστος, τις υψηλές απαιτήσεις συντήρησης και στο ιδιαίτερα δύσκολο έργο της διαχείρισης των καταλοίπων των αντιρρυπαντικών διατάξεων. Τα κατάλοιπα αυτά έχουν πάρα πολύ υψηλές συγκεντρώσεις ρυπαντών και συνήθως είναι τοξικά. Στην Ελλάδα μετά το 1981, η νομοθεσία για το περιβάλλον καθώς και οι αναπτυξιακοί νόμοι, που κατά καιρούς ήταν σε ισχύ, επέβαλλαν την εγκατάσταση αντιρρυπαντικών διατάξεων στις νέες βιομηχανίες ή επιδοτούσαν στις ήδη λειτουργούσες την αντικατάσταση ή την επέκταση του μηχανολογικού εξοπλισμού, μόνο υπό την προϋπόθεση ότι θα ελαττωνόταν η συμβολή της βιομηχανίας στα προβλήματα της περιβαλλοντικής υποβάθμισης της γύρω από αυτήν περιοχής.



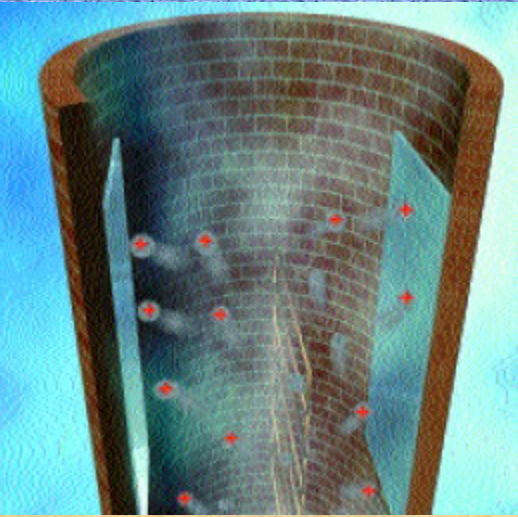
# Τεχνολογίες Αντιρρύπανσης

Οι αντιρρυπαντικές διατάξεις χωρίζονται σε τρεις γενικές κατηγορίες:

1. Στα φίλτρα (υφασματόφιλτρα, σακκόφιλτρα, φίλτρα άνθρακα).
2. Στις διατάξεις διαχωρισμού (ηλεκτροστατικά φίλτρα, κυκλώνες, αδρανειακοί διαχωριστές, διαχωριστές βαρύτητας).
3. Στις διατάξεις με νερό (scrubber) (καταιονιστήρες, διατάξεις Venturi, πύργοι καθαρισμού).



# Τεχνολογίες Αντιρρύπανσης



Ηλεκτροστατικά Φίλτρα



Εικόνα 1: Κυκλώνας για χρήση σε βιομηχανίες παραγωγής προϊόντων ξύλου



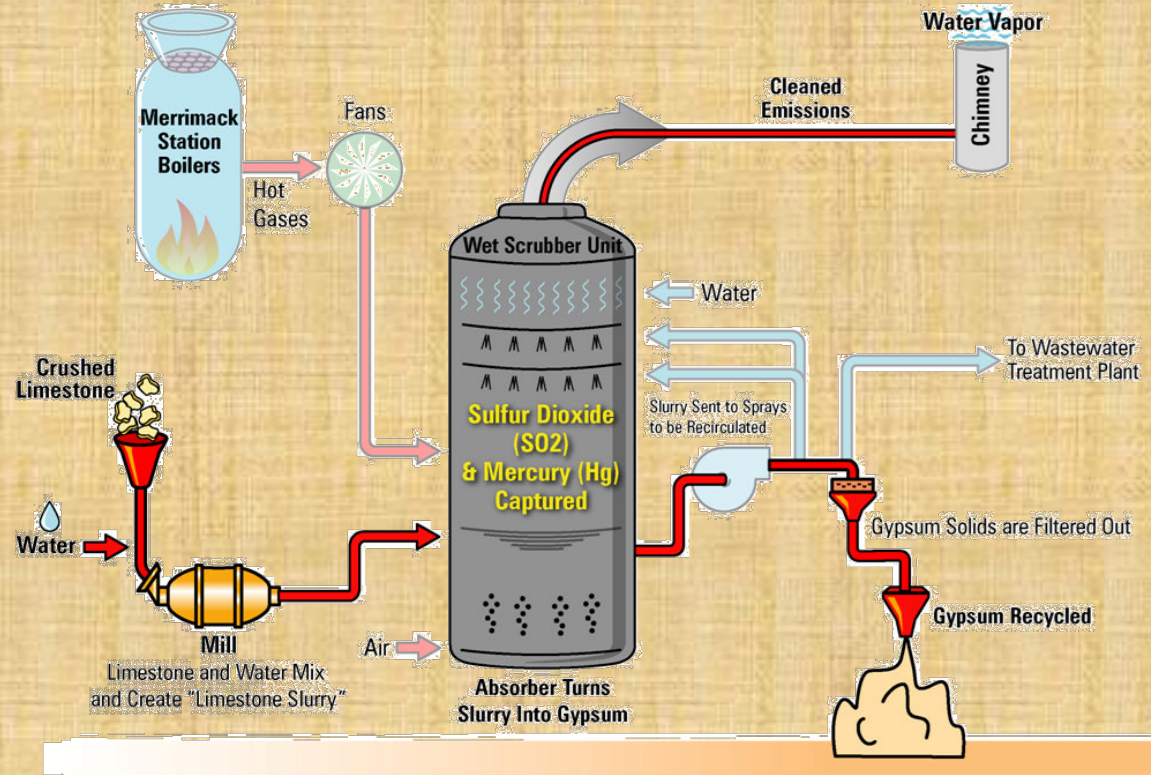
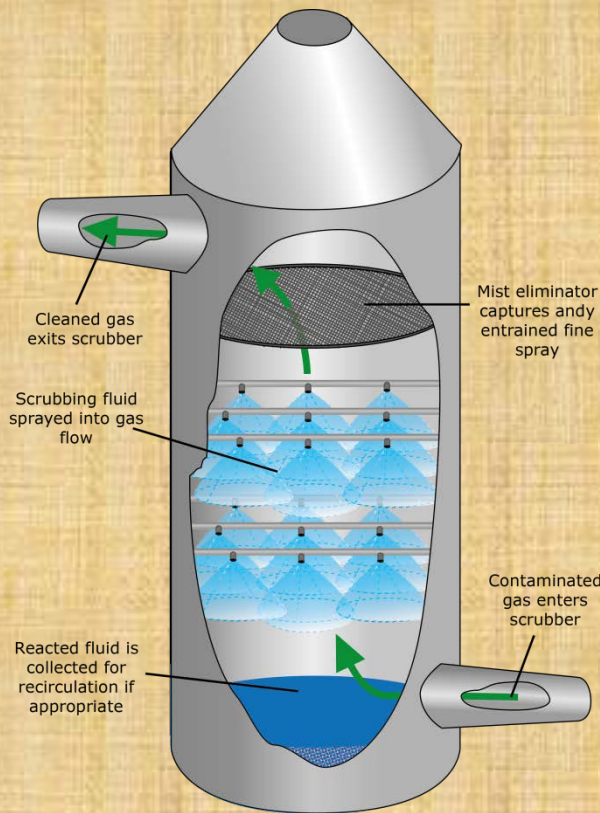
Εικόνα 1: Σχηματική απεικόνιση της κίνησης αερίου ρεύματος στο εσωτερικό κυκλώνα

Φίλτρα Κυκλώνες



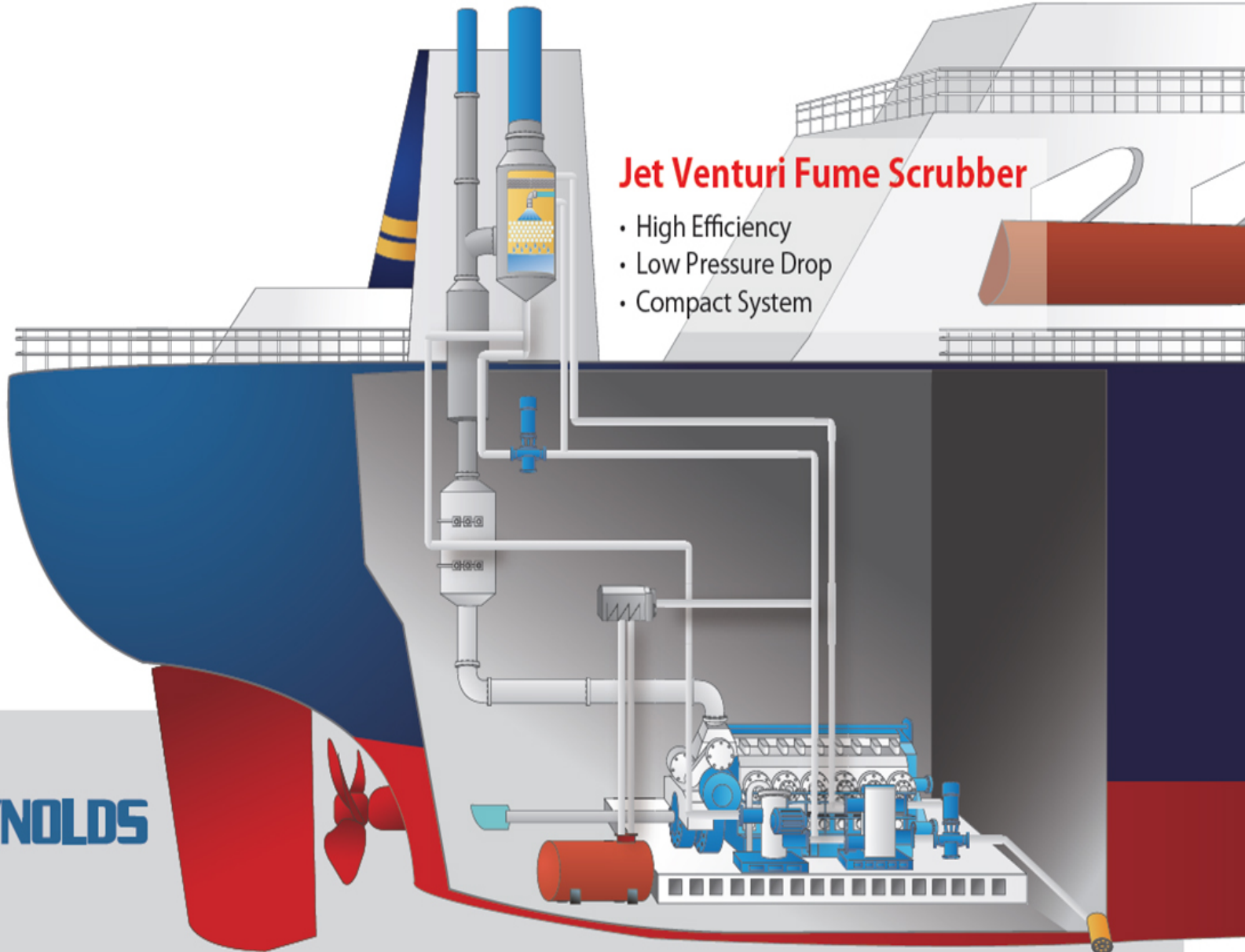
# Τεχνολογίες Αντιρρύπανσης

## How the Wet Flue Gas Desulfurization Technology Works



Διατάξεις με νερό (scrubber)

# Τεχνολογίες Αντιρρύπανσης



**CROLL-REYNOLDS**

# Τεχνολογίες Αντιρρύπανσης

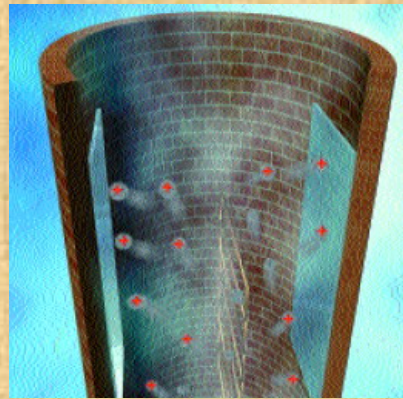
Η επιλογή τους καθορίζεται από:

1. Το είδος των ρύπων (σωματίδια, αεροζόλ , αέρια).
2. Τη συγκέντρωσή τους στον όγκο των αερίων.
3. Την ταχύτητά τους (ή την πίεση) των αερίων.
4. Τη θερμοκρασία τους.
5. Τη χημική δραστικότητα ή την τοξικότητα των ρύπων.
6. Το επιθυμητό ποσοστό κατακράτησής τους.

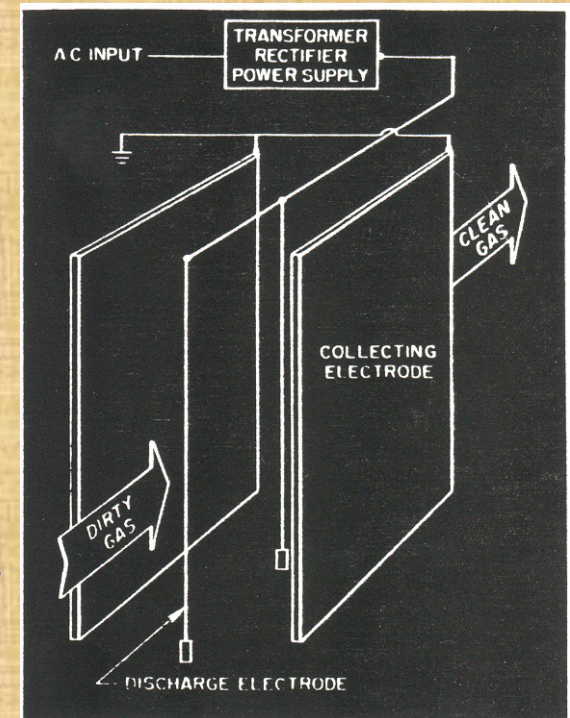


# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Τα ηλεκτροστατικά φίλτρα (ΗΦ) είναι διατάξεις ελέγχου της αέριας ρύπανσης. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά καθώς μπορούν να απομακρύνουν μέχρι και κατά 99% τα ανεπιθύμητα σωματίδια από ένα αέριο ρεύμα.



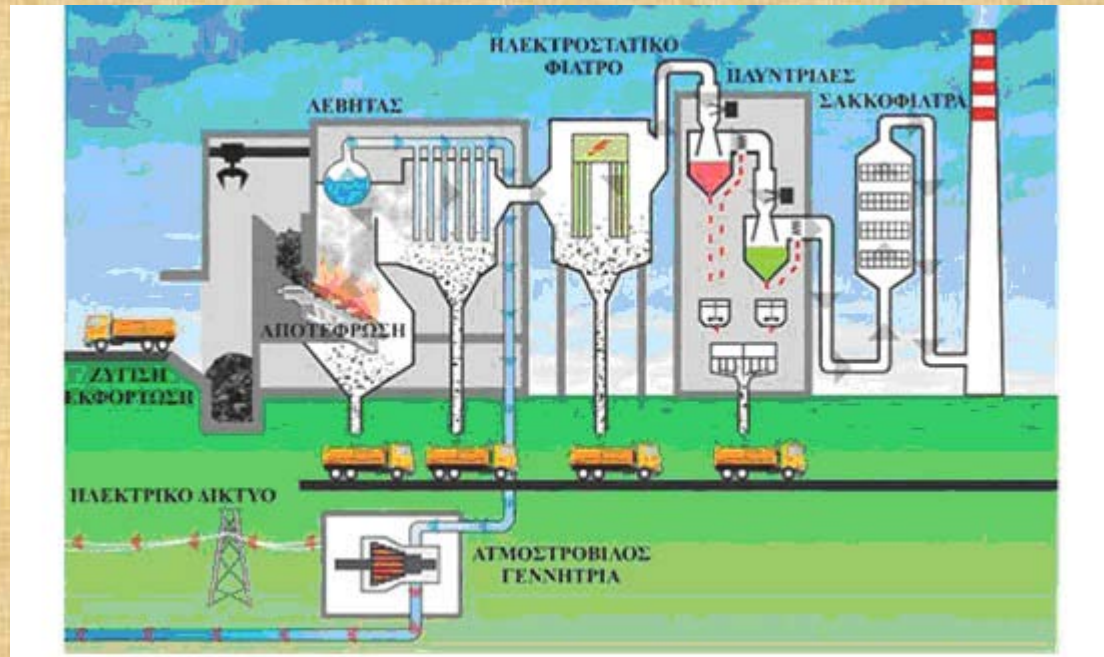
Η αρχή τους στηρίζεται στην δημιουργία, από δύο αντίθετα φορτισμένα ηλεκτρόδια (Σχήμα 1) ενός ισχυρού ηλεκτροστατικού πεδίου μέσω του οποίου διέρχεται με μικρή ταχύτητα το προς καθαρισμό αέριο ρεύμα. Τα στερεά σωματίδια που εμπεριέχονται στα αέρια φορτίζονται ηλεκτρικά και έλκονται από τα αντίθετα από αυτά φορτισμένα ηλεκτρόδια, όπου προσκολλώνται προσωρινά.



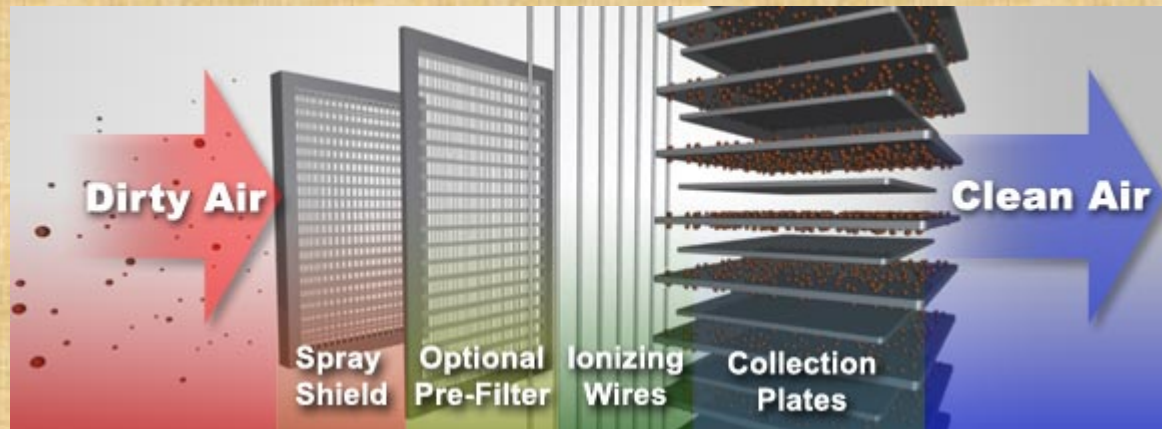
Σχήμα 1. Αρχή λειτουργίας ΗΦ

# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

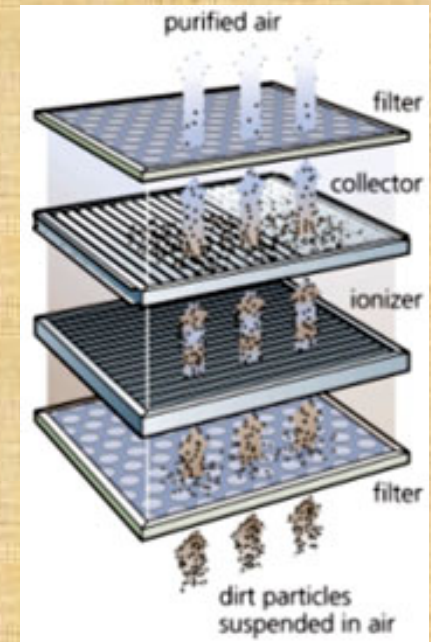
Με περιοδικά κτυπήματα, δονήσεις ή έκπλυση των ηλεκτροδίων αυτών τα σωματίδια αποσπώνται και συγκεντρώνονται σε συλλέκτες στο κάτω μέρος της διάταξης. Από του συλλέκτες η μάζα των σωματιδίων απομακρύνεται με διάφορους μηχανισμούς ή υδραυλικούς τρόπους προς τα σημεία της περαιτέρω επεξεργασίας ή τελικής απόθεσης.



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα



Η υψηλή απόδοση των (ΗΦ) είναι δυνατή διότι, αντίθετα από τις άλλες διατάξεις αντιρρύπανσης, σε αυτά οι δυνάμεις ασκούνται μόνο στα προς απομάκρυνση σωματίδια και όχι σε όλη τη μάζα του αερίου ρεύματος. Έτσι, απαιτείται πολύ μικρή ισχύς λειτουργίας – περίπου 200 Watts ανά  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$  – εξοικονομώντας σημαντική ποσότητα ενέργειας.



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

## Διαφορές από τις άλλες διατάξεις αντιρρύπανσης

Πρώτα από όλα ανήκουν στην κατηγορία των διατάξεων αντιρρύπανσης που:

- Διαχειρίζονται αέριες μάζες.
- Διαχωρίζουν σωματιδιακούς ρύπους (όχι αέριους).

# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Όπως προαναφέρθηκε, τα Ηλεκτροστατικά Φίλτρα ασκούν τη δύναμη διαχωρισμού απευθείας στα σωματίδια ανεξάρτητα από την ταχύτητα των αερίων απαιτώντας έτσι λιγότερη ισχύ από τις άλλες διατάξεις. Επιπλέον επειδή μπορούν να λειτουργήσουν σε απόλυτα ξηρές συνθήκες ενδείκνυται να χρησιμοποιούνται στις εξής περιπτώσεις:

Όπου υπάρχει πρόβλημα στην κατανάλωση νερού καθώς και στη διάθεση των υγρών αποβλήτων.



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Όπου απαιτείται πολύ υψηλή απόδοση στα σωματίδια μικρών διαστάσεων. Για παράδειγμα τα ΗΦ απομακρύνουν σωματίδια διαστάσεων μέχρι  $0.05 \mu\text{m}$  από ατμούς οξειδίων ψευδαργύρου με απόδοση 97 - 98%.



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Όπου πρέπει να επεξεργασθούν μεγάλες ποσότητες αερίων. Σε εγκαταστάσεις παραγωγής μη σιδηρούχων μετάλλων, με παροχές αερίων  $250 \text{ m}^3/\text{s}$  με θερμοκρασίες μέχρι  $425 \text{ }^\circ\text{C}$  καθαρίζονται με απόδοση μέχρι 99,6%.



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Όπου πρέπει να ανακτηθούν ανακυκλώσιμα ξηρά υλικά, όπως περιστρεφόμενους κλιβάνους, στις διατάξεις ξήρανσης με ψεκασμό ή τέλος στην ασβεστοποίηση.



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

## Εφαρμογές Ηλεκτροστατικών Φίλτρων

Στον Πίνακα, παρουσιάζονται οι κατηγορίες των σωματιδίων που εκπέμπονται από διάφορες βιομηχανίες και ο έλεγχος των οποίων γίνεται με διατάξεις ηλεκτροστατικών φίλτρων.

Βιομηχανία ή Διαδικασία	Πηγή εκπομπών	Υλικό σωματιδίων	Μέθοδοι ελέγχου των εκπομπών	Όφελος που προκύπτει από την τοποθέτηση
Χαλυβουργίες	Υψικάμιννοι κλίβανοι δημιουργίας χάλυβα, μηχανές σύντηξης	Οξειδία σιδήρου σκόνη, καπνός, πίσσα.	ΗΦ,κυκλώνες σακκόφιλτρα, συλλέκτες με υγρό	α) Καθαρισμός των αερίων για να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο. β). Απομάκρυνση της πίσσας από τα αέρια των κλιβάνων κοκ.
Μη σιδηρούχα μεταλλουργία	Διατάξεις τήξης και κλίβανοι	Καπνός ατμοί μετάλλων ατμοί οξέων, λάδι γράσο	ΗΦ,υφασματόφιλτρα	α) Ανάκτηση πολύτιμων υλικών από τα απαέρια. β) Συλλογή ατμών οξέων.
Δυλιστήρια	Καταλυτικοί αναγεννητές αποτεφρωτές ύλη	Σκόνη καταλυτών κάπνα από την ύλη.	ΗΦ,κυκλώνες συλλέκτες με νερό, σακκόφιλτρα	α) Ανάκτηση σκόνης καταλυτών.
Τσιμεντοβιομηχανίες	Κλίβανοι αποξηρατές συστήματα επεξεργασίας υλικού	Σκόνη αλκαλίων και υλικών από την διαδικασία.	ΗΦ υφασματόφιλτρα μηχανικοί συλλέκτες	α)Καθαρισμός απαερίων από τους κλιβάνους. β) Ανάκτηση σκόνης τσιμέντου από τους κλιβάνους.
Χαρτοβιομηχανίες	Κλίβανοι ανάκτησης, κλίβανοι γραμμής, δεξαμενές τήξης	Σκόνη χημικών.	ΗΦ	Ανάκτησης σκόνης χημικών κυρίως ανθρακικού νατρίου.
Χημικές βιομηχανίες οξέων – φωσφορικών και θεικών	Θερμικές διεργασίες κονιορτοποιήσης πετρωμάτων και επεξεργασίας τους	Σκόνη και ατμοί οξέων	ΗΦ, πλέγματα κατακράτησης των ατμών	α) Συγκέντρωση θεικού και φωσφορικού οξέως. β) καθαρισμός διαφόρων αερίων όπως CO <sub>2</sub> και SO <sub>2</sub> . γ) Απομάκρυνση της σκόνης τον φώσφορο όταν είναι υπό μορφή ατμών.
Σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής	Καύση άνθρακα στους ατμοπαραγωγούς	Σκόνη άνθρακα	ΗΦ, σακκόφιλτρα, διαχωριστές βαρύτητας	Συγκέντρωση ιπτάμενης τέφρας από τους λέβητες που καίνε άνθρακα.

# ΗΦ - Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα

Τα ΗΦ έχουν το πλεονέκτημα της ξηράς συγκέντρωσης ενώ είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά στα μικρών διαστάσεων σωματίδια. Ωστόσο όμως, η πρώτη επιλογή μπορεί να είναι ένα υφασματόφιλτρο, εκτός εάν το αέριο ρεύμα που καθορίζεται (επεξεργάζεται) είναι θερμό ή διαβρωτικό. Αν τα σωματίδια είναι μεγάλα ένας υγρός διαχωριστής έχει μικρότερο κόστος εγκατάστασης. Η πτώση πίεσης όμως στο υφασματόφιλτρο και στο διαχωριστή θα είναι μεγαλύτερη από ότι στο ηλεκτροστατικό φίλτρο, ενώ το κόστος λειτουργίας του διαχωριστή είναι επίσης υψηλότερο. Το κόστος αγοράς και εγκατάστασης των ηλεκτροστατικών φίλτρων είναι συνήθως το υψηλότερο από όλες τις διατάξεις διαχωρισμού. Έτσι πρέπει να γίνεται μια πλήρης οικονομική συγκριτική ανάλυση για να προκύπτει η πραγματικά συμφερότερη λύση.



# ΗΦ - Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα

## Πλεονεκτήματα

- Δεν υπάρχει περιορισμός στο είδος των σωματιδίων: στερεά, υγρά και αέρια.
- Μπορεί να επιτευχθεί απόδοση 99% +
- Μπορούν να συγκρατηθούν πολύ μικρά σωματίδια μέχρι 0.1 $\mu\text{m}$  και σε ορισμένες περιπτώσεις μέχρι 0.05  $\mu\text{m}$ .
- Τα σωματίδια μπορούν να συγκρατηθούν σε υγρά ή ξηρά κατάσταση.
- Η πτώση πίεσης (απώλεια πίεσης) και οι απαιτήσεις ισχύος είναι μικρές σε σύγκριση με άλλες συσκευές κατακράτησης υψηλής απόδοσης.
- Έχουν μικρό κόστος λειτουργίας.
- Η συντήρηση που απαιτείται είναι μικρή, εκτός αν υπάρχουν διαβρωτικές ή κολλώδεις ουσίες.
- Έχουν λίγα κινούμενα τμήματα.
- Μπορούν να λειτουργήσουν σε υψηλές θερμοκρασίες 300 μέχρι 450  $^{\circ}\text{C}$ . Γενικά, οι θερμοκρασίες λειτουργίας είναι από -20  $^{\circ}\text{C}$  μέχρι 400  $^{\circ}\text{C}$  αν και έχουν σχεδιασθεί μονάδες για θερμοκρασίες -60  $^{\circ}\text{C}$  μέχρι 550  $^{\circ}\text{C}$ .
- Μπορούν να καθαρίζουν μεγάλες ποσότητες αερίων.
- Ο χρόνος που απαιτείται για τον καθαρισμό των αερίων είναι πολύ μικρός, 0.1~10sec

# ΗΦ - Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα

## Μειονεκτήματα

- Σχετικά υψηλό κόστος εγκατάστασης.
- Έχουν μεγάλο όγκο λόγω της μικρής ταχύτητας κίνησης των αερίων μέσα σε αυτά.
- Είναι ευαίσθητα σε μεταβλητά πεδία σκόνης ή σε μεταβλητούς ρυθμούς ροής.
- Η ειδική αντίσταση (resistivity) των σωματιδίων ορισμένων υλικών κάνει να είναι οικονομικά ασύμφορη η κατακράτηση τους.
- Απαιτούνται προφυλάξεις ασφαλείας για το προσωπικό λόγω της λειτουργίας υπό υψηλή τάση ή λόγω της πιθανότητας έκρηξης όταν διαχειρίζονται εκρηκτικά ή εύφλεκτα αέρια. Τα αέρια αυτά γενικά αποφεύγονται όταν χρησιμοποιούνται ΗΦ.
- Η απόδοση κατακράτησης μπορεί να χειροτερεύει σταδιακά και ανεπαίσθητα.
- Απαιτείται προσοχή κατά τη λειτουργία για τη σωστή κατανομή των αερίων, τη μεταβολή της ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης των σωματιδίων, τον ιονισμό των αερίων και τη διατήρηση της κορώνας στα λειτουργικά επίπεδα.
- Κατά τον ιονισμό των αερίων παράγεται όζον που είναι δηλητηριώδες.

# Απόδοση Ηλεκτροστατικών φίλτρων

Η απόδοση κατακράτησης (συγκέντρωσης) ενός ΗΦ ορίζεται ως το ποσοστό της σκόνης επί τοις εκατό (%) που κατακρατείται από το φίλτρο :

$$\eta = \frac{\Sigma_{\text{εισ}} - \Sigma_{\text{εξ}}}{\Sigma_{\text{εισ}}} \times 100$$

Όπου  $\Sigma_{\text{εισ}}$  και  $\Sigma_{\text{εξ}}$  είναι οι συγκεντρώσεις σκόνης στην είσοδο και την έξοδο αντίστοιχα.

# Απόδοση Ηλεκτροστατικών φίλτρων

Η σχέση που εκφράζει την απόδοση είναι μία εκθετική συνάρτηση των ακόλουθων μεταβλητών: της επιφάνειας των ηλεκτροδίων συγκέντρωσης, του όγκου των αερίων και της εμπειρικής παραμέτρου της ταχύτητας μετακίνησης των σωματιδίων. Καθώς η ταχύτητα μετακίνησης είναι ανάλογη του μεγέθους των σωματιδίων, η εξίσωση του Deutsch εκφράζει την απόδοση συγκέντρωσης :

$$\eta = 1 - e^{\left(-\omega \cdot \frac{A}{Q}\right)}$$

Όπου :

$\eta$  = η απόδοση συγκέντρωσης (%)

$\omega$  = η ταχύτητα μετακίνησης των σωματιδίων (m/s)

$A$  = η ολική επιφάνεια συγκέντρωσης (m<sup>2</sup>)

$Q$  = η παροχή των αερίων (m<sup>3</sup>/s)

# Απόδοση Ηλεκτροστατικών φίλτρων

Η ταχύτητα μετακίνησης των σωματιδίων μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μια έκφραση της ταχύτητας με την οποία τα σωματίδια της σκόνης κινούνται προς τα ηλεκτρόδια συγκέντρωσης υπό την επίδραση των ηλεκτρικών δυνάμεων μέσα στις συνθήκες του πλήρως ανεπτυγμένου τυρβώδους πεδίου. Εκφράζεται δε ως :

$$\omega = \alpha \cdot d_p$$

Όπου:

$d_p$  = η διάμετρος του σωματιδίου.

$\alpha$  = μια εμπειρική παράμετρος με μονάδες  $s^{-1}$ .

# Απόδοση Ηλεκτροστατικών φίλτρων

Η ταχύτητα μετακίνησης ( $\omega$ ) των σωματιδίων μπορεί να υπολογιστεί και από τη σχέση:

$$\omega = \frac{C \cdot E_o \cdot E_p \cdot d_p}{4 \cdot \pi \cdot \mu}$$

Στην παραπάνω εξίσωση, η διάμετρος  $d_p$  είναι σε (cm) , η ταχύτητα  $\omega$  σε (cm/s), το ( $\mu$ ) είναι το μοριακό ιξώδες του αέρα (poise),  $E$  η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (kV/cm) και ο συντελεστής διόρθωσης του ( $C$ ) του **Cunningham** για την ολίσθηση (μετακίνηση) των σωματιδίων είναι :

$$C \approx 1 + \left( \frac{1,72\lambda}{d_p} \right)$$

Όπου:

$\lambda$  = η μέση ελεύθερη διαδρομή του αέρα ( $\mu\text{m}$ )

# Απόδοση Ηλεκτροστατικών φίλτρων

## Αποτελεσματικότητα Συλλογής Ηλεκτροστατικών Κατακρημνισμάτων Ιπτάμενης Τέφρας

Μέγεθος σωματιδίων $d_p$ ( $\mu\text{m}$ )	Ταχύτητα μετακίνησης $\omega$ (cm/sec)	Εκατοστιαία κατά βάρος περιεκτικότητα (%)	Απόδοση (%)
5	28.5	14.0	99.98
4	23.0	11.0	99.90
3	17.4	8.0	99.46
2	11.8	4.0	97.10
1.5	9.0	3.0	93.28
1.0	6.2	1.0	84.43
0.8	5.1	0.7	78.35
0.6	4.0	0.35	69.88
0.5	3.4	0.22	63.94
0.4	2.9	0.13	58.10
0.3	2.3	0.06	49.84
0.2	1.75	0.02	40.84
0.1	1.2	0.01	30.23

# Απόδοση Ηλεκτροστατικών φίλτρων

## Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των ΗΦ

Η μέχρι τώρα εμπειρία από τη λειτουργία των ΗΦ έχει επιτρέψει τη συγκέντρωση επαρκών στοιχείων για τις διαδικασίες λειτουργίας και καύσης που επηρεάζουν δυσμενώς την απόδοση. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι σημαντικότερες μεταβλητές που πρέπει να ληφθούν υπόψη αν θέλουμε να αποφύγουμε μείωση της απόδοσης ενός ΗΦ



# Απόδοση Ηλεκτροστατικών φίλτρων

## Όγκος αερίων:

Ένα ΗΦ είναι μία ογκομετρική διάταξη. Για παράδειγμα, κάθε αύξηση του φορτίου του λέβητα που θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παροχής των αερίων, εσωτερικά του φίλτρου, θα δημιουργεί μείωση της απόδοσης. Σε ένα φίλτρο σχεδιασμένο για ταχύτητα αερίων ίση με 0.9 m/s και απόδοση 99% , η απόδοση του θα πέσει στο 96.5% αν η ταχύτητα των αερίων αυξηθεί στο 1.2 m/s που σημαίνει αύξηση του φορτίου κατά 33%.

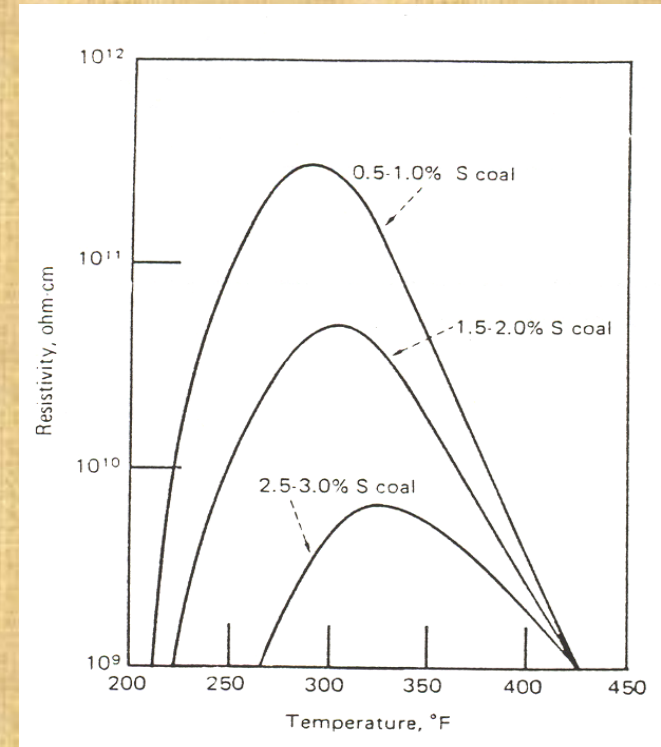
# Απόδοση Ηλεκτροστατικών φίλτρων

## Θερμοκρασία:

Οι μεταβολές στη θερμοκρασία λειτουργίας επηρεάζουν επίσης την απόδοση ενός ΗΦ Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σωματιδίων μεταβάλλεται έντονα στην περιοχή θερμοκρασιών από 90°C (200°F) μέχρι 320°C (600°F), Σχήμα 2.

Παραβλέποντας τις συνέπειες της θερμοκρασίας στον όγκο των αερίων, αν θεωρήσουμε ότι για την περίπτωση της ιπτάμενης τέφρας η εγγύηση καλύπτει 99% απόδοση στους 160 °C (325°F), η επίδραση της θερμοκρασίας στην απόδοση παρουσιάζεται στον Πίνακα.

Θερμοκρασία		Απόδοση
°C	°F	%
90	200	99,9+
160	325	99
200	400	99,5



Σχήμα 2. Μεταβολές θερμοκρασίας λειτουργίας ΗΦ

# Απόδοση Ηλεκτροστατικών φίλτρων

## Καύσιμα:

Κάθε σημαντική μεταβολή στον τύπο των καυσίμων που χρησιμοποιούνται θα έχει επίδραση στη λειτουργία του ΗΦ. Για παράδειγμα μια μεταβολή από άνθρακα με περιεκτικότητα 2% σε θείο, σε άνθρακα 0,5% σε θείο, μπορεί να ρίξει την απόδοση από την υπολογισμένη στη σχεδίαση 99,5 % τιμή, στο 90 % ή και χαμηλότερα. Αλλά και άλλες περιεχόμενες χημικές ουσίες, όπως το οξείδιο του νατρίου (sodium oxide), στην τέφρα μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση στην απόδοση μειώνοντας την ειδική αντίσταση των σωματιδίων. Κάθε μονάδα θα πρέπει να σχεδιάζεται για τη χειρότερη περίπτωση καυσίμων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν.



# Απόδοση Ηλεκτροστατικών φίλτρων

## ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ

Το κόστος συντήρησης ενός ΗΦ επηρεάζεται από το μέγεθος του, τις απαιτήσεις απόδοσης και τις παραμέτρους σχεδίασής του. Από μια έκθεση για τα κόστη των ΗΦ που έγινε στις Η.Π.Α., προέκυψε ότι το κόστος συντήρησης είναι περίπου από 22 μέχρι 64 δολάρια ανά κατεργαζόμενο (καθαριζόμενο)  $m^3/sec$  αερίων. Τα τμήματα που απαιτούν συντήρηση, είναι τα συστήματα δόνησης, τα ηλεκτρόδια εκκένωσης, οι συλλέκτες και οι μεταφορείς της σκόνης και τα συστήματα ελέγχου της λειτουργίας.



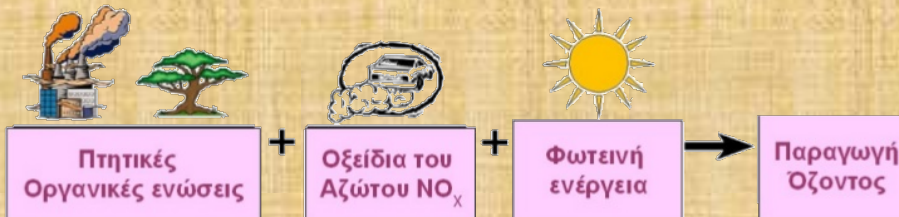
# Μέθοδοι Αποθείωσης και Απονιτροποίησης

## Οι ρύποι της ατμόσφαιρας



Διοξείδιο του θείου → Αέρας, βροχή → Ώξινη βροχή

$SO_2$   
Οξείδια του αζώτου

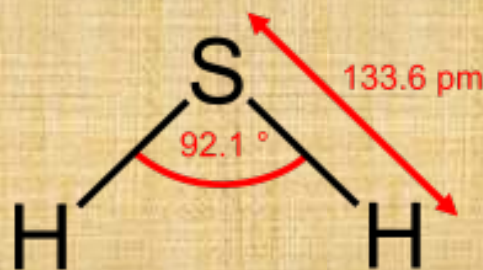


Παρομοίως με την τεχνολογία των ηλεκτροστατικών φίλτρων για την κατακράτηση των αιωρούμενων σωματιδίων υπάρχουν και αντιρρυπαντικές τεχνολογίες για τον έλεγχο των εκπομπών των οξειδίων αζώτου και θείου. Τα μέτρα αυτά χωρίζονται σε πρωτεύοντα και δευτερεύοντα και αναφέρονται σε παρεμβάσεις στο καύσιμο ή στον τρόπο της καύσης και στην απομάκρυνση των ρυπαντών από τα καυσαέρια αντιστοίχως. Στη συνέχεια ακολουθεί περιληπτική αναφορά σε διάφορες τεχνολογίες όλων των κατηγοριών.

# Μέθοδοι Αποθείωσης και Απονιτροποίησης

Το θείο περιέχεται, σε όλα σχεδόν τα βιομηχανικά καύσιμα εκτός του φυσικού αερίου. Σε διεργασίες που υφίστανται τα καύσιμα με απουσία αέρα ή με μερική οξείδωση (εξαερίωση) το θείο απελευθερώνεται από το καύσιμο ως "H<sub>2</sub>S", ελεύθερο "S" ή "COS". Σε όλες τις εφαρμογές καύσης όπου το καύσιμο καίγεται υπερστοιχειομετρικά ή ελαφρώς υποστοιχειομετρικά το θείο μετατρέπεται κυρίως σε SO<sub>2</sub> και ένα μικρό ποσοστό οξειδώνεται περαιτέρω σε "SO<sub>3</sub>".

Το "S" βρίσκεται δεσμευμένο σε οργανικές και ανόργανες ενώσεις (πυρίτης "FeS<sub>2</sub>"). Οι αντιδράσεις παραγωγής "SO<sub>2</sub>" πραγματοποιούνται από οργανικές και ανόργανες ενώσεις.



**Sulfur Dioxide**

SO<sub>2</sub>

Formal Charge	=	Valence Electrons	-	NonBonding Val Electrons	-	Bonding Electrons / 2	=	Formal Charge
O	=	6	-	4	-	4/2	=	0
S	=	6	-	2	-	8/2	=	0
O	=	6	-	4	-	4/2	=	0

# Μέθοδοι Αποθείωσης και Απονιτροποίησης

## Πρωτεύοντα μέτρα περιορισμού των εκπομπών οξειδίων του θείου ( $SO_x$ )

Τα πρωτεύοντα μέτρα αντιρρύπανσης σχετίζονται με απομάκρυνση του θείου από το προς καύση καύσιμο. Η χρήση προσθέτων για τη ξηρά αποθείωση των καυσαερίων αποτελεί προέκταση της φυσικής αποθείωσης. Η επίδραση των διαφόρων παραγόντων επηρεάζει την αποδοτικότητα της μεθόδου. Η επιλογή εγκαταστάσεων αποθείωσης πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τα εξής κριτήρια:

- α) Απαιτήσεις και προδιαγραφές του χρήστη.
- β) Επιτρεπτά όρια εκπομπών που καθορίζουν την απόδοση της εγκατάστασης.
- γ) Κόστος επένδυσης και λειτουργίας.
- δ) Διαθεσιμότητα προσθέτων.
- ε) Δυνατότητες απομάκρυνσης των προϊόντων.
- στ) Αξιοπιστία και εμπειρία στη διεργασία.

# Μέθοδοι Αποθείωσης και Απονιτροποίησης

## Σχηματισμός οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ )

Τα οξείδια του αζώτου σχηματίζονται κατά την καύση στη φλόγα και στις γύρω από αυτή περιοχές υψηλών θερμοκρασιών, με οξείδωση των μορίων του αζώτου του αέρα καύσης και του καυσίμου. Στους σταθμούς παραγωγής τα παραγόμενα οξείδια του αζώτου είναι κατά 95% "NO" και 5% "NO<sub>2</sub>".

Ξεχωρίζουν τρεις βασικοί μηχανισμοί σχηματισμού του "NO<sub>x</sub>" :

- Θερμικό "NO<sub>x</sub>" που σχηματίζεται από το μοριακό άζωτο που περιέχει ο αέρας καύσης και οξυγόνο σε θερμοκρασίες άνω των 1300°C. Ο σχηματισμός εξαρτάται από τη θερμοκρασία, τον χρόνο παραμονής στη ζώνη υψηλών θερμοκρασιών και τη μερική πίεση του οξυγόνου.



# Μέθοδοι Αποθείωσης και Απονιτροποίησης

- Άμεσο " $\text{NO}_x$ " σχηματίζεται από την αντίδραση υδρογονανθράκων, σε περιοχές φλόγας με λίγο οξυγόνο και μοριακό άζωτο. Κατά την αντίδραση σχηματίζονται ενώσεις κυανίου που μετατρέπονται εν μέρει σε " $\text{NO}$ ". Ο σχηματισμός είναι συνάρτηση της στοιχειομετρικής σχέσης και της θερμοκρασίας. Το ποσοστό του " $\text{NO}_x$ " που σχηματίζεται κατ' αυτόν τον τρόπο σε σχέση με το συνολικό " $\text{NO}_x$ " είναι μικρό.

- " $\text{NO}_x$ " του καυσίμου σχηματίζεται από την οξείδωση, του σε οργανικές ενώσεις περιεχομένου αζώτου, ο σχηματισμός του " $\text{NO}_x$ " εξαρτάται μερικώς από την θερμοκρασία και λαμβάνει χώρα σε περιοχές θερμοκρασιών σημαντικά μικρότερες από ότι σχηματίζεται το θερμικό " $\text{NO}_x$ ". Είναι, άμεσα εξαρτώμενος από την περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξυγόνο, δηλαδή αυξάνει με το λόγο αέρα και επηρεάζεται σημαντικά από τη διαδικασία ανάμιξης του καυσίμου με τον αέρα. Οι μηχανισμοί σχηματισμού των " $\text{NO}_x$ " δείχνουν την άμεση επίδραση που έχει η εστία.

# Μέθοδοι Αποθείωσης και Απονιτροποίησης

## Δυνατότητες περιορισμού των εκπομπών "NO<sub>x</sub>"

Ποιο θα είναι το εκάστοτε ποσοστό σε σχέση με τη συνολική περιεκτικότητα των καυσαερίων σε "NO<sub>x</sub>" εξαρτάται από το καύσιμο και το είδος της εστίας. π.χ. η αυξημένη παρουσία οξειδίων του αζώτου στα καυσαέρια ατμοπαραγωγών που χρησιμοποιούν στερεό ή υγρό καύσιμο τύπου Μαζούτ σε σύγκριση με την εκπομπή "NO<sub>x</sub>" όταν το καύσιμο είναι ελαφρύ πετρέλαιο "Diesel" οφείλεται κατά κύριο λόγο στη μεγαλύτερη περιεκτικότητα των δύο πρώτων σε άζωτο. Εκτός των δύο αυτών μηχανισμών σχηματισμού "NO<sub>x</sub>" υπάρχει ακόμα η δυνατότητα σχηματισμού από άτομα "N" και "O", η οποία όμως είναι για τις εστίες των ατμοπαραγωγών χωρίς ιδιαίτερη σημασία. Και οι δύο διεργασίες σχηματισμού "NO<sub>x</sub>" που αναφέρθηκαν εξαρτώνται από τις ίδιες παραμέτρους.

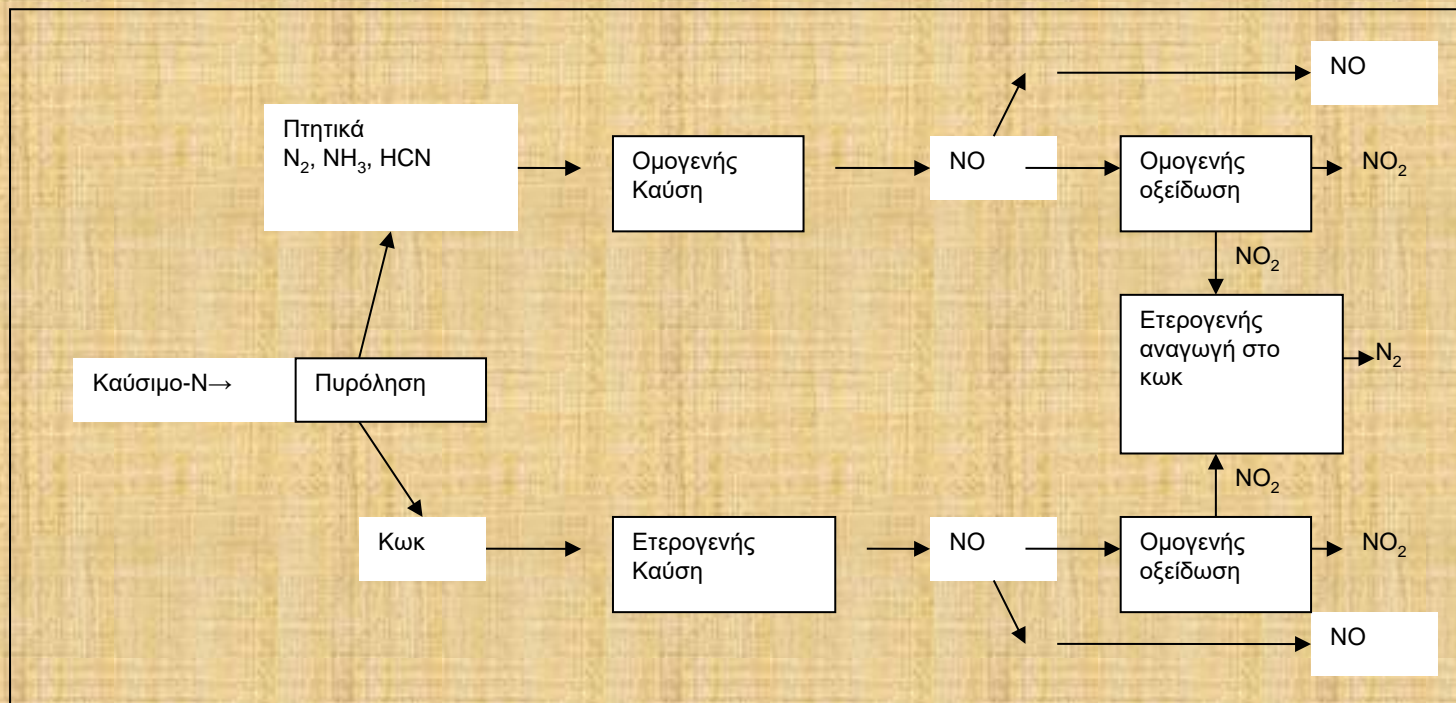
- Θερμοκρασία της φλόγας.
- Περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξυγόνο στην περιοχή καύσεως.
- Χρόνος παραμονής σε υψηλές θερμοκρασίες.

# Μέθοδοι Αποθείωσης και Απονιτροποίησης

Η ύπαρξη στο καυσαέριο ενώσεων αζώτου που προέρχονται από το άζωτο που υπάρχει στο καύσιμο μπορεί να εξηγηθεί με τον παρακάτω μηχανισμό αντιδράσεων (Σχήμα 3).

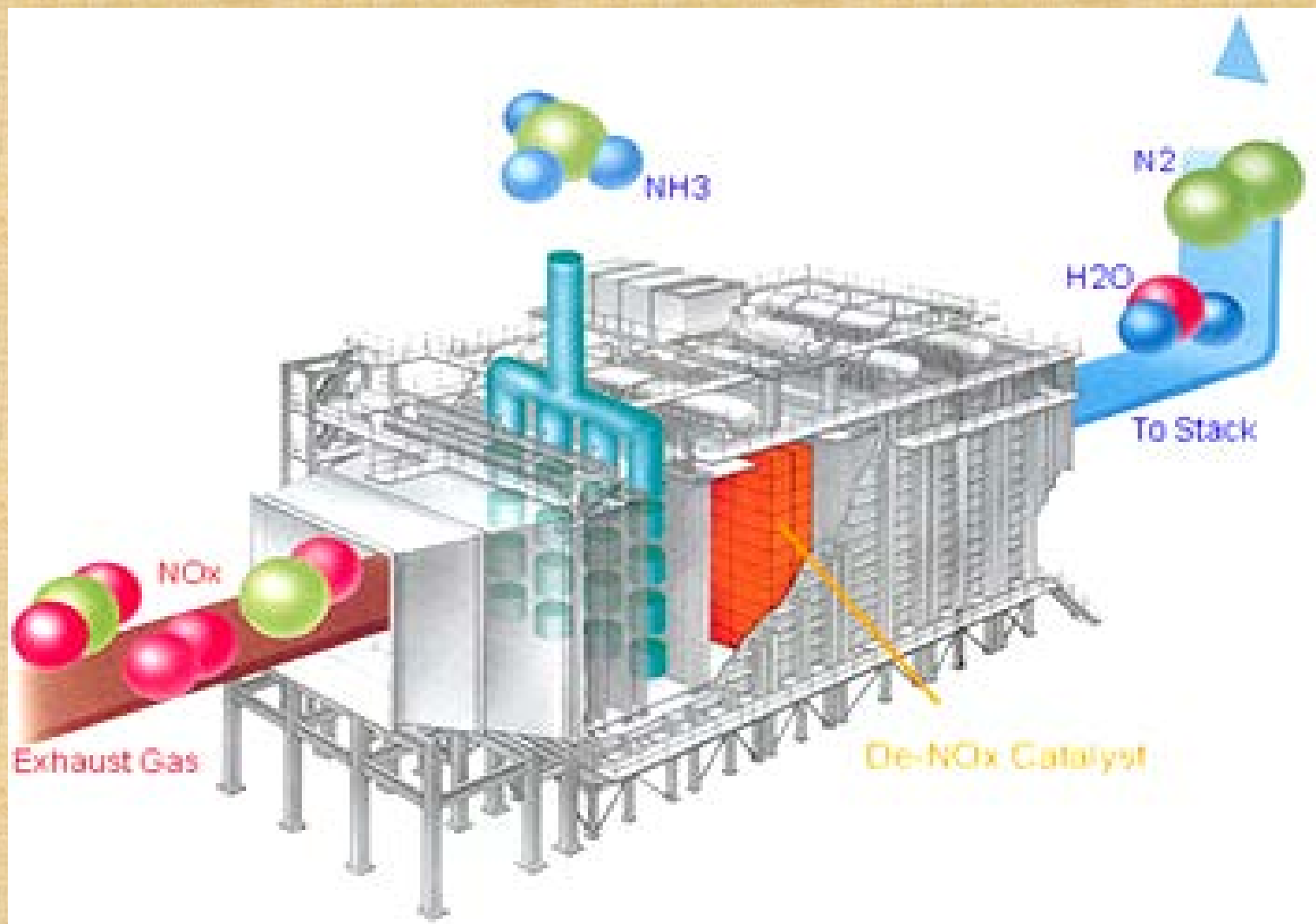
Οι διεργασίες μείωσης του σχηματισμού "NO<sub>x</sub>" μπορούν να χωρισθούν:

- Σε πρωτογενείς διεργασίες που επιδρούν στο σχηματισμό των "NO<sub>x</sub>".
- Σε δευτερογενείς διεργασίες που επιφέρουν αναγωγή των σχηματισθέντων "NO<sub>x</sub>".



Σχήμα 2. Διεργασίες μείωσης του σχηματισμού "NO<sub>x</sub>"

# Μέθοδοι Αποθείωσης και Απονιτροποίησης



# Βιβλιογραφία

1. William Ellison, Robert Ferrell, 2003, "Review of diverse processes for simultaneous removal of SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> emissions by conversion of existing FGD installations", EPGA Power generation committee conference, Baltimore.
2. O. Rentz, K. Gütling, U. Karl, November 2002, "Exemplary investigation into the state of practical realisation of integrated environmental protection with regard to large combustion plants in Germany", French-German Institute for Environmental Research University of Karlsruhe (TH), Project No. 200 46 317.
3. European Environment Agency, 2001, "EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook", 3<sup>rd</sup> Edition, Copenhagen.
4. Umit S. Ozkan, Tom J. George, Ronald Fiskum, 2002, "Two-Stage Catalytic Reduction of NO<sub>x</sub>", Ohio State University, Cooperative agreement DE-FC26-02NT41608.
5. Implement Vision 2020 for the Environment, 1997, "Green Chemistry and Engineering Conference", 3038-4/98-8 R1, Washington D.C.
6. Κακαράς Εμμ., 1993, "Αντιρυπαντική τεχνολογία θερμικών εγκαταστάσεων", Σημειώσεις Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
7. Cd-adapco group, 2004, "Turbulent mixing in DeNO<sub>x</sub> plants", διαθέσιμο στο: <http://www.cd-adapco.com/news/22/sulzer.htm>.
8. Coen Company Inc, 1997, "Quantum Low NO<sub>x</sub> Burners", διαθέσιμο στο: <http://inproheat.com/sites/files/documents/qInburn.pdf>.
9. Μπεργελές Γ, 2006, "Πηγές, Διασπορά και Έλεγχος Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης". Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π. ISBN: 960-254-660-3