



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά μαθήματα ΠΠ

ΤΙΤΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ: ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

ΕΝΟΤΗΤΑ: ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ –

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ

ΟΝΟΜΑ ΚΑΘΗΓΗΤΗ: ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΦΩΤΙΑΔΗ

ΤΜΗΜΑ: Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και
Φυσικών Πόρων

ΑΓΡΙΝΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΦΩΤΙΑΔΗ

Λέκτορας

του Τμήματος Διαχείρισης
Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων

 2641074156

 afotiadi@upatras.gr

❑ Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων

Πολύπλοκο πρόβλημα λόγω της μεγάλης ποικιλίας που παρουσιάζει η σωματιδιακή ύλη στην:

- μέγεθος σωματιδίων
- χημική σύσταση
- μορφολογία (σχήμα)
- ειδικό βάρος
- πυκνότητα
- ηλεκτρική αγωγιμότητα
- συνοχή
- πόσο υγροσκοπικά είναι
- πόσο κολλώδη είναι

□ Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων

Τέσσερις (4) τεχνικές έχουν αναπτυχθεί:

- Μηχανικοί Συλλέκτες
- Εκπλυτές ή Υγροί Συλλέκτες ή Πλημμυρίδες ή Υγρά Φίλτρα
- Υφασμάτινα Φίλτρα ή Σακόφιλτρα
- Ηλεκτροστατικοί Συλλέκτες ή Ηλεκτροστατικά Φίλτρα (ESPs, Electrostatic Precipitators)

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ

□ Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων

▪ Μηχανικοί Συλλέκτες

□ Αρχή λειτουργίας

○ Το **ειδικό βάρος** της σωματιδιακής ύλης στις βιομηχανικές εκπομπές είναι **1000-2000 μεγαλύτερο** από το ειδικό βάρος του αερίου που εμπεριέχει τα σωματίδια

○ Οι **μηχανικοί Συλλέκτες** εκμεταλλεύονται αυτή τη διαφορά στο ειδικό βάρος για να **διαχωρίσουν** την **βαριά** σωματιδιακή ύλη από το ελαφρύτερο **αέριο**

□ Βασικοί Τύποι Μηχανικών Συλλεκτών

- **Βαρυτικοί Συλλέκτες** (Gravity Settling Chamber)

- **Συλλέκτες Εκτροπής** (Recirculating Baffle Collector)

- **Κυκλώνες Υψηλής Απόδοσης Εκτροπής** (High-efficiency Cyclones)

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ

❑ Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων

▪ Βαρυτικοί Συλλέκτες

❑ Αρχή λειτουργίας

Υποβιβάζει την ταχύτητα του αερίου σε ταχύτητα ικανή για καθίζηση & χρόνο επαρκή για να καθιζάνει η σωματιδιακή ύλη, υπό την **επίδραση της βαρύτητας**, μέσα σε χοάνες από όπου απομακρύνεται

○ *Ταχύτητες καθίζησης:* **20 – 200 m/min**

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ

❑ Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων

▪ Βαρυτικοί Συλλέκτες

❑ Βασικά Χαρακτηριστικά:

- Μέγεθος	πολύ μεγάλο
- Κόστος εγκατάστασης	χαμηλό
- Ενεργειακό κόστος	πολύ χαμηλό
- Κόστος συντήρησης	χαμηλό
- Απόδοση	πολύ χαμηλή
- Αξιοπιστία	εξαιρετική
- Απόδοση σε χαμηλά φορτία	αυξάνει
- Απόδοση σε υπερβολικά φορτία	μειώνεται

❑ Μειονεκτήματα

Η πολύ χαμηλή απόδοση σε λεπτόκοκκη & μέτρια σωματιδιακή ύλη

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ

- ❑ Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων
- Συλλέκτες Εκτροπής με Ανακυκλοφορία
- ❑ Αρχή λειτουργίας

Το αέριο εισέρχεται με μεγάλη ταχύτητα σε οριζόντιο εκτροπέα αποτελούμενο από οπές σε απόσταση 1.5 cm μεταξύ τους. Για να περάσει το αέριο μέσα από τις οπές και να φτάσει «καθαρό» στην έξοδο, πρέπει να κάνει μια ξαφνική, υψηλής ταχύτητας, στροφή. Τα αέρια με χαμηλό ειδικό βάρος πραγματοποιούν εύκολα αυτή τη στροφή

Αντίθετα, η βαρύτερη σωματιδιακή ύλη, λόγω αδράνειας, δεν μπορεί να ακολουθήσει αυτή την πορεία, συγκρατείται κάτω από τον εκτροπέα. Η σκόνη μεταφέρεται με φθίνουσα ταχύτητα & καθιζάνει μέσα στη χοάνη του συλλέκτη (όπως σ' ένα θάλαμο βαρυτικής καθίζησης)

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ

□ Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων

▪ Συλλέκτες Εκτροπής με Ανακυκλοφορία

□ **Βασικά Χαρακτηριστικά:**

- Μέγεθος	μικρό
- Κόστος εγκατάστασης	χαμηλό
- Ενεργειακό κόστος	χαμηλό
- Κόστος συντήρησης	χαμηλό
- Απόδοση	χαμηλή
- Αξιοπιστία	εξαιρετική
- Απόδοση σε χαμηλά φορτία	μειώνεται
- Απόδοση σε υπερβολικά φορτία	αυξάνει ελάχιστα

□ **Μειονεκτήματα**

Χαμηλή απόδοση σε λεπτόκοκκο φορτίο σκόνης, παρότι έχει μεγαλύτερη απόδοση από τον βαρυτικό συλλέκτη

○ Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί σαν προ-καθαριστής αερίου και στη συνέχεια ακολουθεί ένας αποδοτικότερος συλλέκτης

❑ Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων

▪ Κυκλώνες Υψηλής Απόδοσης (Φυγόκεντροι συλλέκτες)

❑ Αρχή λειτουργίας

Σ' ένα αέριο τη λεπτόκοκκη σωματιδιακή ύλη, διαχωρίζεται μετασχηματίζοντας την ταχύτητα του ρεύματος εισόδου σε μία κατερχόμενη εξωτερική δίνη & μια ανερχόμενη εσωτερική δίνη. Η ταχέως περιστρεφόμενη καθοδική δίνη κατακρατά τα βαρύτερα σωματίδια στα τοιχώματα του κυκλώνα με την ανάπτυξη φυγόκεντρης δύναμης και τα εναποθέτει στη χοάνη, απ' όπου απομακρύνονται περιοδικά.

Η ανοδική εσωτερική δίνη του καθαρισμένου αερίου εγκαταλείπει τον κυκλώνα διαμέσου ενός κυλίνδρου που βρίσκεται στην κορυφή της κατασκευής.

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ

□ Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων

■ Κυκλώνες Υψηλής Απόδοσης (Φυγόκεντροι συλλέκτες)

○ Η μορφή της ροής μπορεί να είναι απλή ως και πολύπλοκη εξαρτώμενη από πολλές μεταβλητές όπως:

- τύπος εισόδου

- αναλογίες διαστάσεων

□ Βασικά Χαρακτηριστικά:

○ Απλότητα, αξιοπιστία & υψηλή απόδοση ⇒ εκτεταμένη χρήση τα τελευταία 100 χρόνια

○ Έχουν αναπτυχθεί εκατοντάδες τύποι Συλλεκτών βασισμένοι στην αρχή λειτουργίας του κυκλώνα. Οι πλέον συνηθισμένοι τύποι είναι:

- Κυκλώνες μικρής διαμέτρου με πτερύγια

- Κυκλώνες μεγάλης διαμέτρου με περιελισσόμενη είσοδο

- Κυκλώνες μεγάλης διαμέτρου με περιελισσόμενη είσοδο & εκχυτήρα λεπτόκοκκων σωματιδίων

- ❑ **Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων**
- **Κυκλώνες Υψηλής Απόδοσης (Φυγόκεντροι συλλέκτες)**
 - Οι τρεις αυτοί τύποι διαφέρουν κυρίως στον τρόπο με τον οποίο το «ακάθαρτο» αέριο εισάγεται στον κύλινδρο
 - Διατίθενται σ' ένα μεγάλο εύρος διαστάσεων & αναλογιών, οι οποίες και καθορίζουν τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους
 - Επιλέγονται ανάλογα με την εφαρμογή έτσι ώστε να μεγιστοποιήσουμε τα πλεονεκτήματα & να ελαχιστοποιήσουμε τα μειονεκτήματα τους
- ❑ **Απόδοση:**
 - Μειώνεται έντονα από ένα μέγεθος σωματιδίων και κάτω

- Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων
- Κυκλώνες Υψηλής Απόδοσης (Φυγόκεντροι συλλέκτες)

Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση κυκλώνων

Αύξηση σε	Επίδραση σε απόδοση
Ειδικό βάρος σκόνης	Αύξηση
Ιξώδες αερίου (θερμοκρασία)	Μείωση
Επιφάνεια σκόνης	Μείωση
Φρτίο σκόνης	Αύξηση
Ταχύτητα εισόδου	Αύξηση

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ

❑ Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων

▪ Κυκλώνες Υψηλής Απόδοσης (Φυγόκεντροι συλλέκτες)

❑ Απώλεια ενέργειας ροής (πτώση πίεσης):

○ Ταχύτητα εισόδου: 900 – 1200 m/min

○ Η απαιτούμενη ενέργεια «απώλεια ενέργειας» είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας εισόδου

○ Για εισαγωγή ατμοσφαιρικού αέρα \Rightarrow απώλεια \cong 100-150 mm στήλης H_2O (διαφορά στατικής πίεσης-πτώση πίεσης- ανάμεσα στην είσοδο και την έξοδο)

○ Για αέρια υψηλότερων θερμοκρασιών & χαμηλότερης πυκνότητας \Rightarrow μικρότερες απώλειες

❑ Δυναμικότητα:

○ Συνδυασμός τριών (3) παραγόντων: απόδοση, απώλεια ενέργειας ροής & μέγεθος

○ Οι υψηλές αποδόσεις απαιτούν: μεγαλύτερη δαπάνη ενέργειας ή μεγαλύτερο μέγεθος ή και τα δύο

- **Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων**
 - **Κυκλώνες Υψηλής Απόδοσης (Φυγόκεντροι συλλέκτες)**
 - Μεταβολή στις διαστάσεις του κυκλώνα ή στην ακτίνα του επηρεάζει τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του

Κατασκευαστικές μεταβολές & επίδρασή τους στην απόδοση του κυκλώνα

<i>Αύξηση διάστασης του κυκλώνα σε</i>	<i>Απόδοση</i>	<i>Απώλεια ενέργειας</i>	<i>Δυναμικότητα</i>
Επιφάνεια εισόδου	μειωμένη	αυξημένη	αυξημένη
Μήκος κυλίνδρου	αυξημένη	ίδια	ίδια
Μήκος κώνου	αυξημένη	ίδια	ίδια
Διάμετρος κυλίνδρου	μειωμένη	ίδια	ίδια
Διάμετρος εξόδου	μειωμένη	ίδια	αυξημένη
Διεισδυτικότητα φίλτρου εξόδου	αυξημένη	αυξημένη	ίδια

❑ Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων

▪ Φίλτρα από Ύφασμα (Σακόφιλτρα)

❑ Αρχή λειτουργίας

Η σκόνη κατακρατείται (παγιδεύεται) από τη μία πλευρά του υφάσματος (από αυτή που εισάγεται το αέριο), ενώ από τα διάκενα του υφάσματος διαπερνά το καθαρό αέριο

○ Τυπικό εμπορικό σακόφιλτρο: **διάκενα** διαστάσεων **100 μm**

⇒ παγιδεύονται σωματίδια μεγέθους **$\sim 5 \mu\text{m}$**

○ Η ικανότητα του φίλτρου να συλλέγει τόσο λεπτόκοκκο υλικό ενισχύεται από τον σχηματισμό πορώδους στρώματος σωματιδίων στην πλευρά συλλογής

○ Το στρώμα αυτό λέγεται **κρούστα** ή **πλάκα** του φίλτρου, φράσσει σταδιακά τα μεγάλων διαστάσεων διάκενα & αιχμαλωτίζει όλο και πιο λεπτά σωματίδια

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ

❑ Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων

▪ Φίλτρα από Ύφασμα (*Σακόφιλτρα*)

❑ Αρχή λειτουργίας

○ Στα φίλτρα που χρησιμοποιούν πιο πυκνά υφάσματα, η εξάρτηση της απόδοσής του από την *πλάκα* είναι μικρότερη

○ Τα φίλτρα αυτού του τύπου δεν μπορούν να καθαριστούν αποτελεσματικά με απλό τίναγμα & πρέπει να καθαρίζονται συχνά με ανάστροφο αέριο ρεύμα υψηλής πίεσης

○ ***Μηχανισμοί που προκαλούν το σχηματισμό της πλάκας:***

- Συσσώρευση λεπτόκοκκου υλικού που κινείται αντίθετα στο ρεύμα
- Ενσφήνωση των μεγαλύτερων σωματιδίων στις ίνες
- Διάχυση σωματιδίων ($d < 1 \mu\text{m}$) μέσα από τις ίνες
- Ηλεκτροστατική έλξη & άπωση
- Θερμικές επιδράσεις
- Χονδρό κοσκίνισμα από το ύφασμα
- Λεπτό κοσκίνισμα από την πλάκα του φίλτρου

❑ Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων

■ Φίλτρα από Ύφασμα (Σακόφιλτρα)

❑ Αρχή λειτουργίας

- Υπάρχει μεγάλη ποικιλία τέτοιων φίλτρων & των συσκευών που χρησιμοποιούν υφασμάτινα φίλτρα
- Τα εξαρτήματα των βασικότερων τύπων είναι:

❑ **Περίβλημα:**

Το καθαρισμένο αέριο κινείται μέσα στο περίβλημα, εφόσον αντλείται με υποπίεση που δημιουργεί μία αντλία στην έξοδο του συστήματος ή συμπιέζεται με αντλία στην είσοδο

❑ **Το ύφασμα του φίλτρου:**

Το ύφασμα (σάκος) είναι τοποθετημένο σε έναν ειδικό υποδοχέα & μπορεί να έχει διάφορα σχήματα. Το υλικό του υφάσματος μπορεί να είναι: μαλί, βαμβάκι, φυτικές ή συνθετικές ίνες. Έχουν κατασκευαστεί συνθετικές ίνες που αντέχουν μέχρι 300 °C (το βαμβάκι αντέχει μέχρι στις 100 °C)

❑ Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων

▪ Φίλτρα από Ύφασμα (*Σακόφιλτρα*)

❑ Άλλες ιδιομορφίες:

- ο Ο αριθμός & η διάταξη των σάκων εάν το ρεύμα αέρα είναι κατακόρυφο (προς τα πάνω ή προς τα κάτω) ή οριζόντιο, εάν η ροή είναι από τα μέσα του σάκου προς τα έξω ή αντίστροφα

- ο Καθαρισμός του σάκου: μια διάταξη στην κορυφή προκαλεί κραδασμούς που βοηθάνε στον καθαρισμό του υφάσματος. Γίνεται είτε εν λειτουργία, είτε κατόπιν διακοπής αυτής

- ο Για αποτελεσματικότερο καθάρισμα μπορεί να αντιστραφεί η ροή αν το επιτρέπει ο σχεδιασμός ή

- ο τοποθετείται στο φίλτρο ένα κινούμενο δαχτυλίδι που διευκολύνει την αποκόλληση των συλλεγόμενων σωματιδίων ή

- ο δημιουργούνται παλμοί αερίου

□ Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων

▪ Φίλτρα από Ύφασμα (*Σακόφιλτρα*)

Κυκλώνια και σακόφιλτρο

Κυλινδρικό σακόφιλτρο

Σακόφιλτρο με Βεντιλατέρ

▪ Εκπλυτές (*υγρά φίλτρα*)

□ Αρχή λειτουργίας

Φίλτρα που χρησιμοποιούν ένα υγρό, συνήθως νερό, για να παγιδεύσουν και να απομακρύνουν σωματίδια από ένα ρέον ρεύμα αέρα

○ Το νερό εισέρχεται σε έναν ειδικό θάλαμο (*θάλαμος ψεκασμού*) υπό μορφή ψεκασμού

❑ Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων

▪ Εκπλυτές (υγρά φίλτρα)

❑ Θάλαμος ψεκασμού (ή πλημμυρίδας)

- **Θάλαμος έκπλυσης με ψεκαστήρες:** το αέριο εμφυσάται στον θάλαμο & πλένεται με νερό που απομακρύνει τη σκόνη, υπό μορφή λάσπης στη δεξαμενή λάσπης
- Το προς καθαρισμό αέριο επιβραδύνεται στο στόμιο εισόδου, περνάει μέσα από τη δίνη που προκαλείται από τη δύναμη των ψεκαστήρων
- Στη συνέχεια διέρχεται από τον τομέα απομάκρυνσης της ομίχλης (κατακράτηση υγρών σταγονιδίων)
- Επιταχύνεται στο στόμιο εξόδου

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ

□ Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων

▪ Εκπλυτές (υγρά φίλτρα)

□ Λειτουργία

○ Μηχανισμοί απομάκρυνση των σωματιδίων από το υγρό

- Πρόσκρουση των μεγαλύτερων σωματιδίων σκόνης στις υδροσταγόνες

- Σύλληψη λόγω διάχυσης των λεπτών σωματιδίων

- Ηλεκτροστατικές δυνάμεις

- Θερμικές κλίσεις

- Συμπύκνωση υγρασίας σε σωματίδια

- Το σωματίδιο δεσμευμένο από μία υδροσταγόνα γίνεται μεγαλύτερο & βαρύτερο ⇒ απομακρύνεται λόγω βαρύτητας, αδράνειας ή και φυγόκεντρων δυνάμεων (ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας φίλτρου)

❑ Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων

▪ Εκπλυτές (υγρά φίλτρα)

❑ Λειτουργία

- Οι σταγόνες λιμνάζουν στον πυθμένα απελευθερώνοντας τη σκόνη, η οποία, έχοντας μεγαλύτερο ειδικό βάρος από το νερό, καθιζάνει & σχηματίζει λάσπη που αντλείται περιοδικά
- Το υγρό αφού καθαριστεί επαρκώς από τη λάσπη μπορεί να ανακυκλωθεί
- Ο θάλαμος ψεκασμού μπορεί να περιέχει και διαφράγματα πρόσκρουσης & εκτροπής της ροής αυξάνοντας την απόδοση του υγρού φίλτρου
- Έχει αναπτυχθεί μεγάλη ποικιλία υγρών φίλτρων που συνδυάζουν το σχέδιο του κυκλώνα με ταυτόχρονο ψεκασμό ή τη χρήση διαβρεχόμενων σακόφιλτρων μέσα στον θάλαμο ψεκασμού

□ Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων

▪ Ηλεκτροστατικά Φίλτρα (*ESPs*, *Electrostatic Precipitators*)

□ Αρχή λειτουργίας

Διαχωρίζει τα σωματίδια από ένα ρεύμα αερίου αρχικά φορτίζοντάς τα σ' ένα αρνητικό δυναμικό ($\sim 50.000 \text{ V}$) και κατόπιν προσκολλώντας τα πάνω σε ειδικά επίπεδα ηλεκτρόδια συλλογής. Η συσσωρευμένη σκόνη συλλέγεται σε μια χοάνη

○ Παρόλο που χρησιμοποιούνται υψηλές τάσεις, η κατανάλωση ενέργειας είναι μικρή & οι απώλειες μικρότερες σε σχέση με άλλους συλλέκτες υψηλής απόδοσης

○ **ESPs**: εφαρμόζονται σε μεγάλο εύρος προβλημάτων καθαρισμού αερίων, με **αποδόσεις συλλογής** που φτάνουν το **99.9 %**

- ❑ **Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων**
- **Ηλεκτροστατικά Φίλτρα (*ESPs, Electrostatic Precipitators*)**
 - ❑ **Αρχή λειτουργίας**
 - Το προς καθαρισμό αέριο περνά οριζόντια μέσα από στενά περάσματα που σχηματίζονται από παράλληλες πλάκες γειωμένων ηλεκτροδίων συλλογής. Ηλεκτρικά μονωμένα σύρματα υψηλής τάσης είναι τοποθετημένα στους χώρους διέλευσης του αερίου, περίπου στο μέσον της απόστασης των πλακών
 - Απόσταση πλακών σ' ένα μεγάλο **ESPs** εμπορίου: **24 cm** απόσταση, **9 m** ύψος, **8 m** μήκος
 - Απόσταση ηλεκτροδίων υψηλής τάσης: **12 cm**

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ

❑ Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων

▪ Ηλεκτροστατικά Φίλτρα (*ESPs, Electrostatic Precipitators*)

❑ Αρχή λειτουργίας

- Η ροή των ηλεκτρικά φορτισμένων σωματιδίων καλείται «*ηλεκτρικός άνεμος*», είναι αποτέλεσμα μαζικής μεταφοράς αρνητικά φορτισμένων ιόντων αερίου από τα αρνητικώς φορτισμένα σύρματα προς τις θετικά φορτισμένες (γειωμένες) πλάκες συλλογής
- Ο περιβάλλοντας αέρας γύρω από τα αρνητικώς φορτισμένα σύρματα ιονίζεται δημιουργώντας θετικά & αρνητικά ιόντα, τα οποία κινούνται προς τα αντίθετα φορτισμένα ηλεκτρόδια
- Τα σωματίδια σκόνης συγκρούονται με τα αρνητικά ιόντα αερίου και φορτίζονται αρνητικά

- **Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων**
- **Ηλεκτροστατικά Φίλτρα (*ESPs, Electrostatic Precipitators*)**
 - **Αρχή λειτουργίας**
 - Τα αρνητικώς φορτισμένα σωματίδια ύλης κινούνται γρήγορα προς τις γειωμένες (θετικά φορτισμένες) πλάκες, όπου προσκολλώνται και συγκρατούνται λόγω των μεγάλων ηλεκτροστατικών δυνάμεων
 - Τα σωματίδια ύλης σχηματίζουν μία συνεχώς αυξανόμενη **κρούστα (πλάκα)** πάνω στα ηλεκτρόδια συλλογής
 - Η ηλεκτρική αντίσταση της κρούστας στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος ονομάζεται «**ειδική αντίσταση σκόνης**»
 - Τα ESPs λειτουργούν επιτυχώς σε σκόνες των οποίων η ειδική αντίσταση κυμαίνεται: **$10^7 - 10^{11} \Omega/\text{cm}$**

❑ Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων

▪ Ηλεκτροστατικά Φίλτρα (*ESPs, Electrostatic Precipitators*)

❑ Αρχή λειτουργίας

- Σε κρούστα πάχους 0.2 – 0.6 cm τα σωματίδια δίπλα στα ηλεκτρόδια συλλογής έχουν χάσει μεγάλο μέρος του φορτίου τους προς τις γειωμένες πλάκες. Τα σωματίδια που φτάνουν τελευταία διατηρούν μεγάλο μέρος του φορτίου τους, είναι ηλεκτρικά μονωμένα από τα γειωμένα ηλεκτρόδια, εξαιτίας της κρούστας και έτσι συγκρατούν ολόκληρη την κρούστα πάνω στα ηλεκτρόδια συλλογής
- Ένα δυνατό τίναγμα απογυμνώνει το ηλεκτρόδιο συλλογής από την κρούστα, η οποία με την επίδραση της βαρύτητας πέφτει μέσα σε χοάνες
- Ταχύτητες αερίων στα ESPs: **1-2 m/cm**
- Το υψηλό δυναμικό δεν διακόπτεται για να αποφευχθεί η διαφυγή σωματιδίων από το φίλτρο

□ Τεχνολογίες Απομάκρυνσης Σωματιδιακών Ρύπων

■ Ηλεκτροστατικά Φίλτρα (*ESPs, Electrostatic Precipitators*)

□ Πλεονεκτήματα:

- Υψηλή απόδοση συλλογής
- Μικρό κόστος λειτουργίας
- Υψηλή αξιοπιστία σε κάθε απαιτούμενη απόδοση συλλογής

□ Μειονεκτήματα:

- Υψηλό κόστος εγκατάστασης για διεργασίες μικρής δυναμικότητας (1500 m³/min)
- Απρόβλεπτη απόδοση συλλογής σε υψηλές ειδικές αντιστάσεις
- Απώλεια απόδοσης συλλογής σε ροές αερίων πάνω από την προσχεδιασμένη

«Το υλικό της παρουσίασης προέρχεται από τις πανεπιστημιακές παραδόσεις της καθηγήτριας Α. Φωτιάδη».

