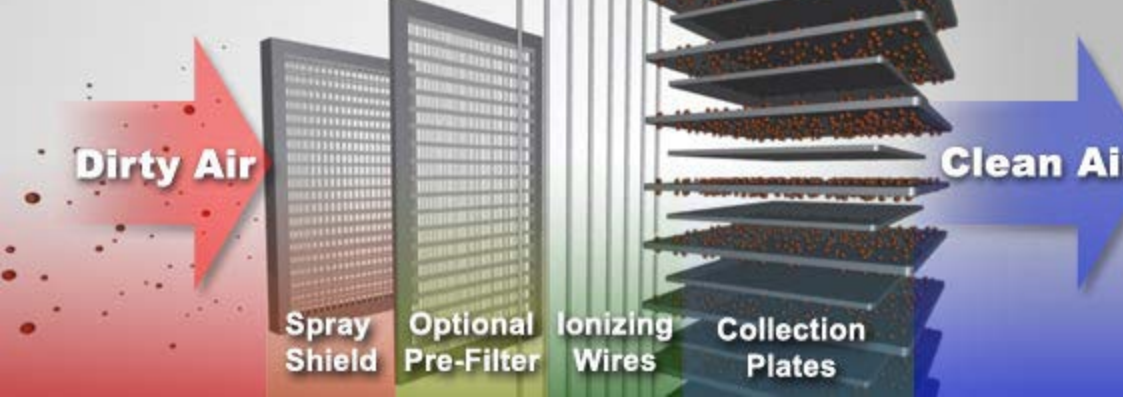
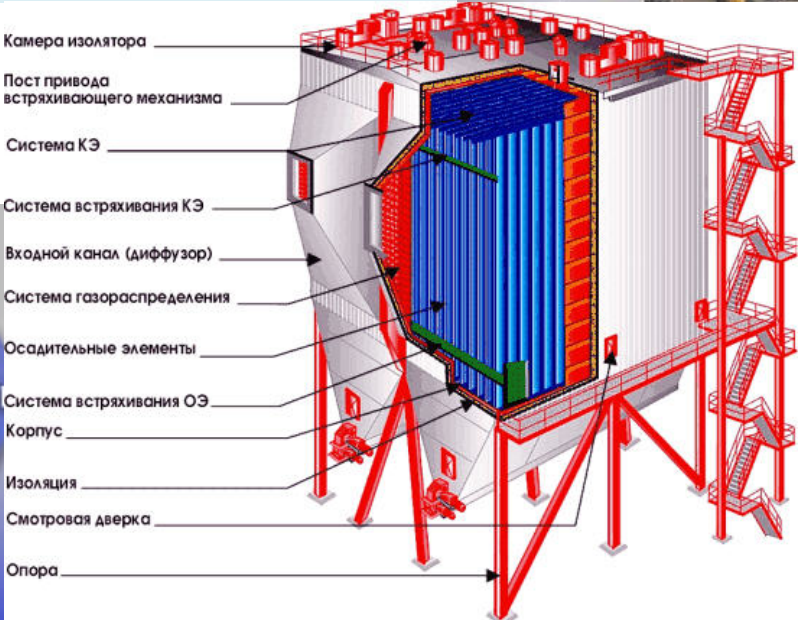
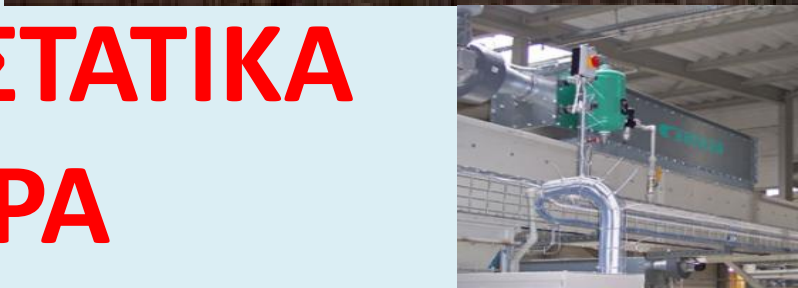
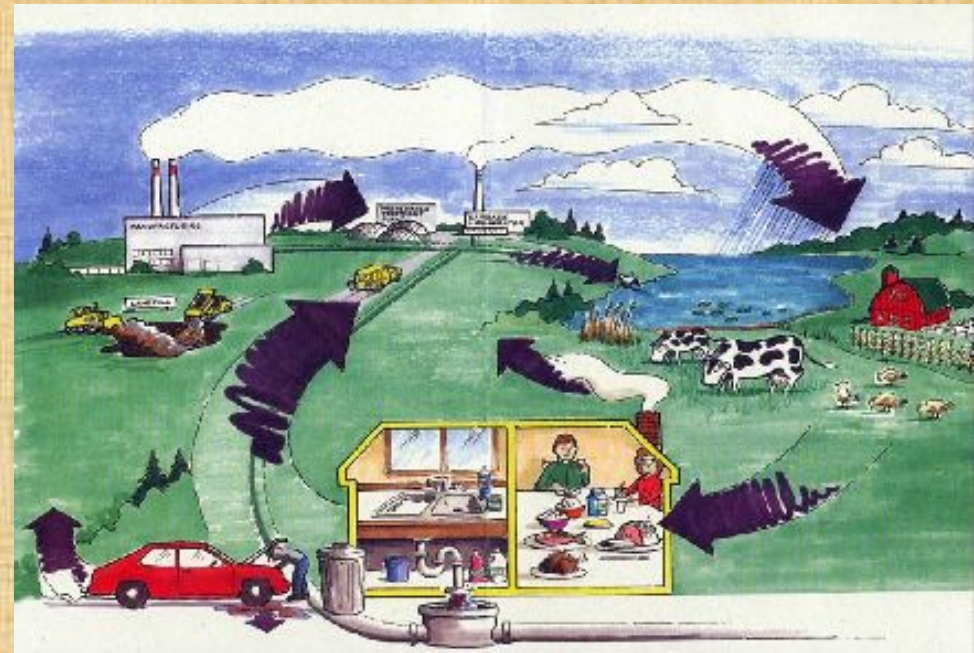


# ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

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.



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

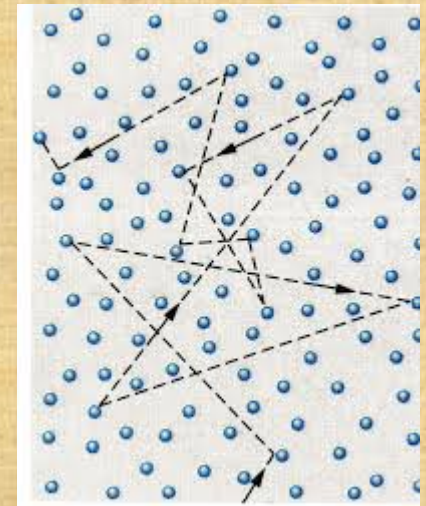
Στην Ελλάδα μετά το 1981, η νομοθεσία για το περιβάλλον καθώς και οι αναπτυξιακοί νόμοι, που κατά καιρούς ήταν σε ισχύ, επέβαλλαν την εγκατάσταση αντιρρυπαντικών διατάξεων στις νέες βιομηχανίες ή επιδοτούσαν στις ήδη λειτουργούσες την αντικατάσταση ή την επέκταση του μηχανολογικού εξοπλισμού, μόνο υπό την προϋπόθεση ότι θα ελαττωνόταν η συμβολή της βιομηχανίας στα προβλήματα της περιβαλλοντικής υποβάθμισης της γύρω από αυτήν περιοχής.





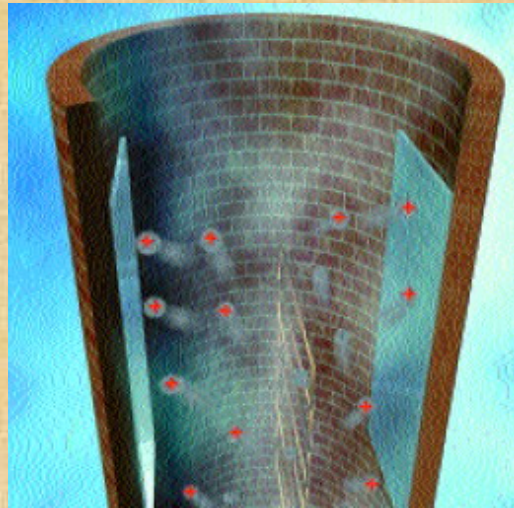
# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Ένας ηλεκτροστατικός κατακρημνιστής ή ηλεκτροστατικό φίλτρο (ΗΦ) είναι μια διάταξη-συσκευή διήθησης η οποία αφαιρεί τα λεπτά αιωρούμενα σωματίδια, όπως σκόνη και καπνός, από ένα ρέον αέριο χρησιμοποιώντας τη «δύναμη» ενός ηλεκτροστατικού φορτίου. Η παρουσία του ηλεκτροστατικού φορτίου προκαλεί ελάχιστη ως μηδενική αντίσταση στη ροή των αερίων μέσα από τη μονάδα.

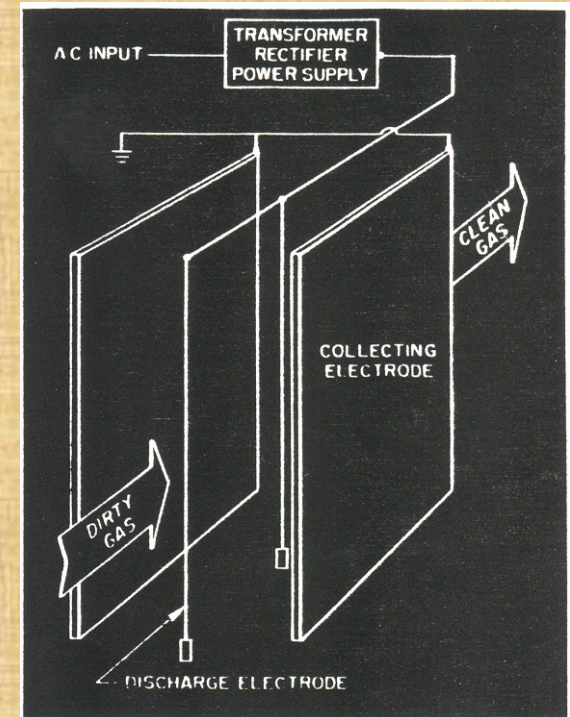


# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

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.



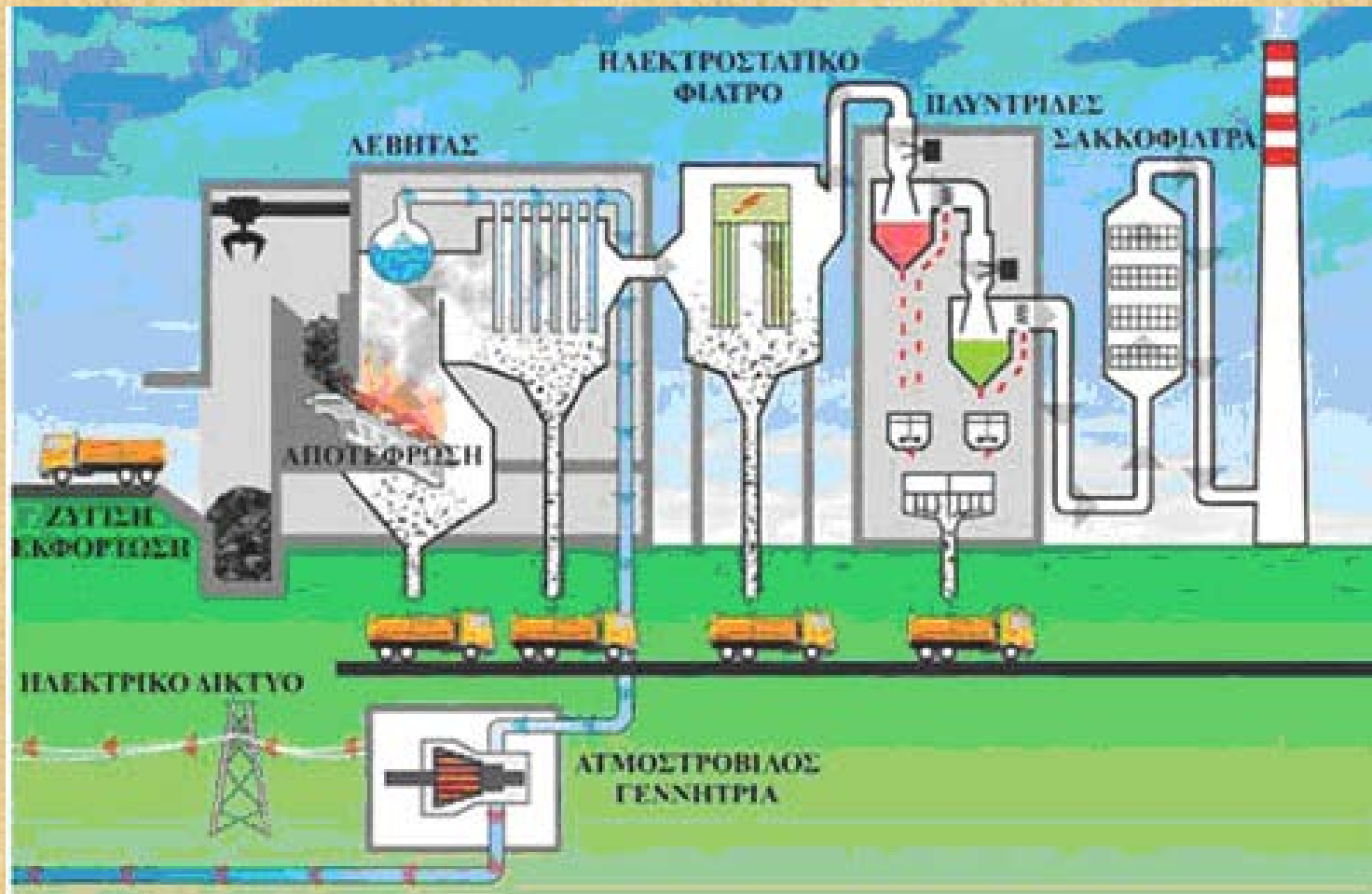
Η αρχή τους στηρίζεται στην δημιουργία, από δύο αντίθετα φορτισμένα ηλεκτρόδια ενός ισχυρού ηλεκτροστατικού πεδίου μέσω του οποίου διέρχεται με μικρή ταχύτητα το προς καθαρισμό αέριο ρεύμα. Τα στερεά σωματίδια που εμπεριέχονται στα αέρια φορτίζονται ηλεκτρικά και έλκονται από τα αντίθετα από αυτά φορτισμένα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

Σε αντίθεση με τις υγρές πλυντρίδες που «εφαρμόζουν» ενέργεια απευθείας στην ροή του ρευστού, ένα ΗΦ «εφαρμόζει» ενέργεια μόνο στην σωματιδιακή ύλη που βρίσκεται μέσα στη ροή του αερίου. Αυτό έχει ως συνέπεια την καλύτερη και αποτελεσματικότερη «συλλογή» των αιωρούμενων σωματιδίων με ταυτόχρονη αύξηση του συντελεστή απόδοσης και παράλληλα την μείωση της απαίτησης κατανάλωσης ενέργειας (στην περίπτωση αυτή ηλεκτρικής ενέργειας).



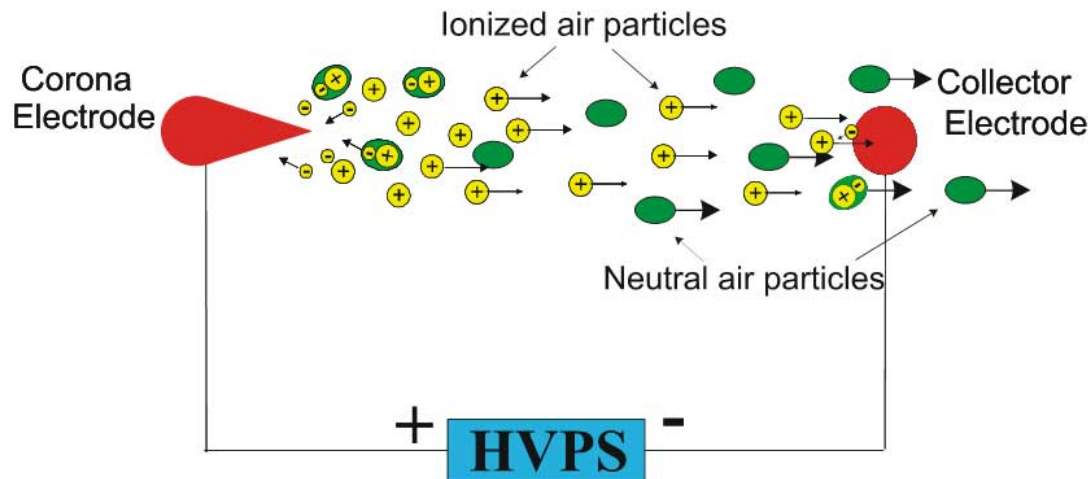
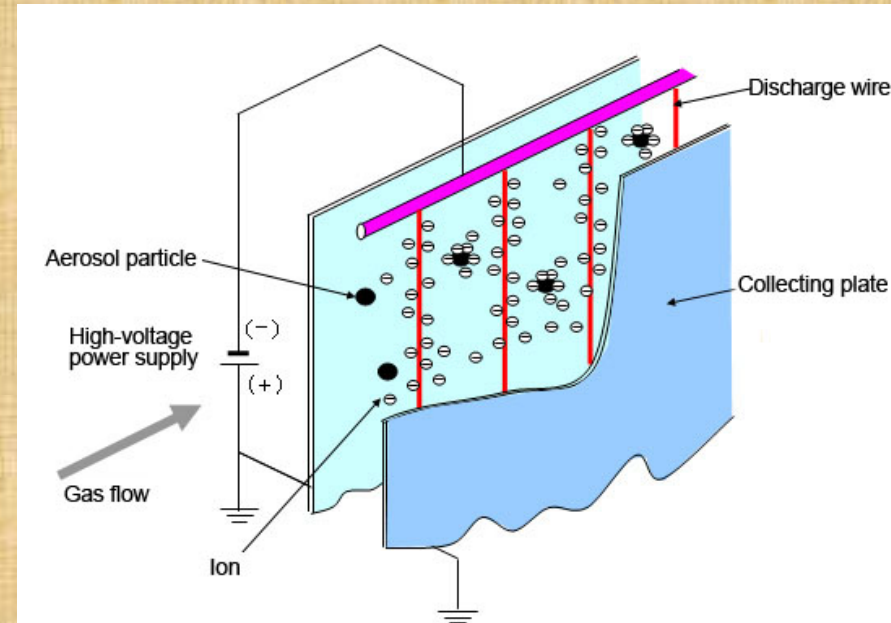
Electrostatic precipitator of a biomass heating system with a heat power of 2 MW



Electrodes inside electrostatic precipitator

# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Η πρώτη χρήση και εφαρμογή της τεχνολογίας της εκκένωσης κορώνας, τεχνολογία που χρησιμοποιείται στα ΗΦ για την αφαίρεση των αιωρούμενων σωματιδίων στο ρεύμα του αερίου, έγινε το 1824 από τον Hohlfeld. Ωστόσο, αυτή η εφαρμογή δεν ήταν στο εμπόριο μέχρι σχεδόν έναν αιώνα μετά όπου άρχισε να βρίσκει εμπορικές εφαρμογές.



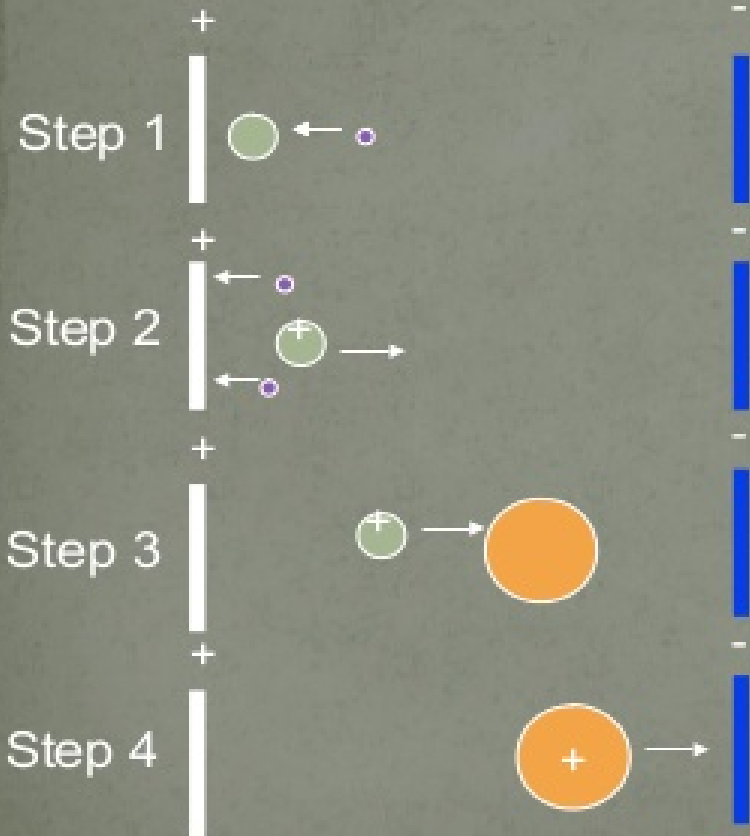
# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Q: How can we generate charges?

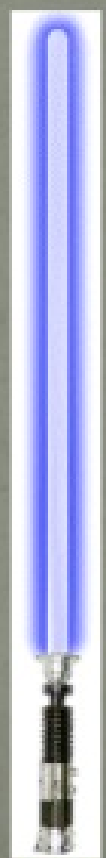
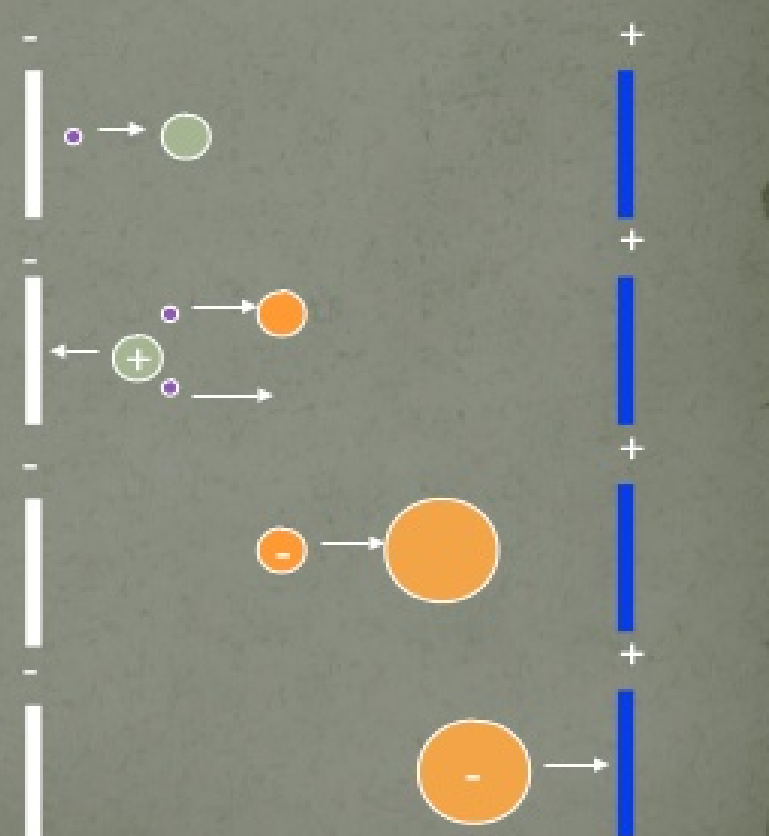
## Corona Discharge

- Electron
- Molecule
- Particle

### Positive Corona



### Negative Corona



Electrode

Collection Plate

Electrode

Collection Plate

Ozone generation - <http://www.mimetal.net/plasma/ozono-ossidazione.html>

# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Το 1907 ο Frederick Gardner Cottrell, καθηγητής χημείας στο Πανεπιστήμιο Berkeley της Καλιφόρνιας, υπέβαλε αίτηση για δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για μια συσκευή για φόρτιση σωματιδίων και στη συνέχεια, τη συλλογή τους με ηλεκτροστατική έλξη. Ουσιαστικά μιλάμε για το πρώτο ΗΦ. Ο Cottrell χρησιμοποιεί για πρώτη φορά τη συσκευή αυτή για τη συλλογή θεικού οξέος και οξειδίου του μολύβδου από αναθυμιάσεις που εκπέμπονται από διάφορες δραστηριότητες κατά τις οποίες εκπέμπονται οξέα και άλλες τοξικές ουσίες.

Την εποχή εκείνη πρέπει να σημειωθεί ότι οι οινοπαραγωγικοί αμπελώνες στη βόρεια Καλιφόρνια είχαν επηρεαστεί αρνητικά από τις εκπομπές μολύβδου από τη βιομηχανία της περιοχής.



Frederick Gardner Cottrell  
(1877–1948)



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Ο Cottrell χρησιμοποίησε τα έσοδα από την εφεύρεσή του για να χρηματοδοτήσει την επιστημονική έρευνα με τη δημιουργία το 1912 ενός ιδρύματος που ονομαζόταν **Research Corporation**, στο οποίο έχουν ανατεθεί και τα διπλώματα ευρεσιτεχνίας.

Η πρόθεση και ο σκοπός του Ιδρύματος αυτού ήταν να φέρει τις εφευρέσεις που πραγματοποιούνται από εκπαιδευτικούς σε διάφορα Ιδρύματα της χώρας (όπως ο Cottrell) στον κόσμο του εμπορίου, προς όφελος της κοινωνίας στο σύνολό της.



RESEARCH CORPORATION  
for SCIENCE ADVANCEMENT

*A foundation dedicated to science since 1912.*



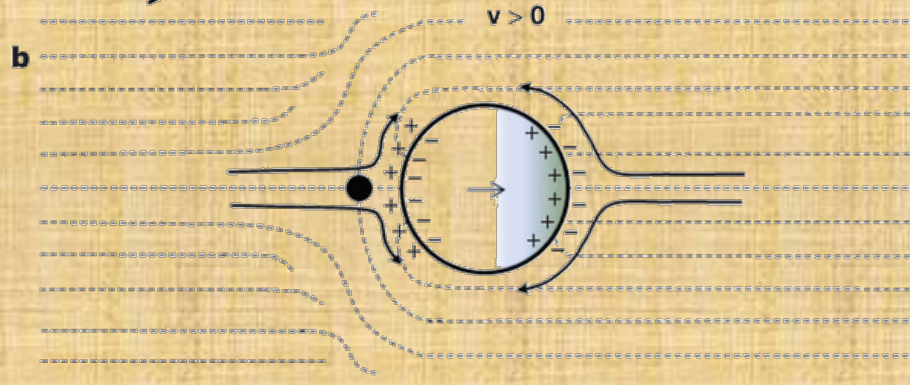
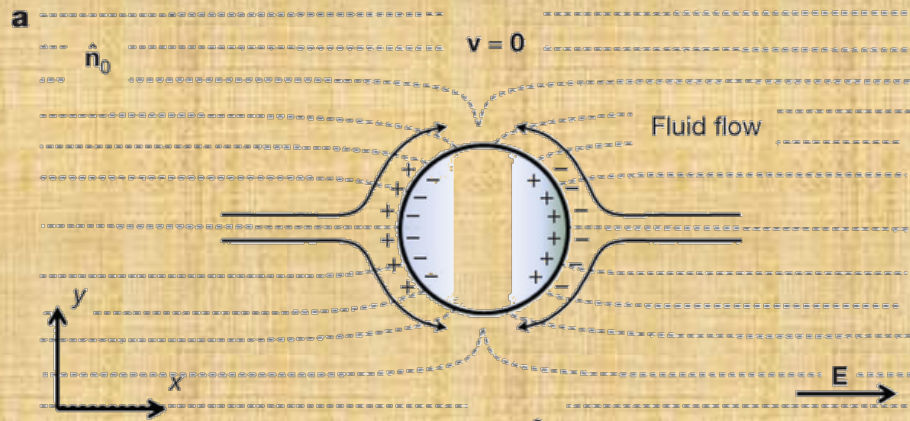
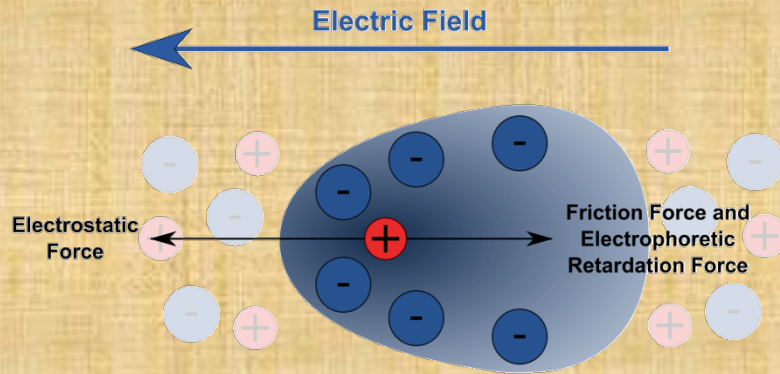
RESEARCH CORPORATION  
for SCIENCE ADVANCEMENT

# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Η λειτουργία του Ιδρύματος **Research Corporation** χρηματοδοτείται από τα δικαιώματα που καταβάλλονται από τις εμπορικές επιχειρήσεις μετά τη χρήση των διαφόρων «πατεντών» που έχουν βρει εμπορική εφαρμογή. Παράλληλα, το ίδρυμα **Research Corporation** παρείχε χρηματοδότηση ζωτικής σημασίας σε πολλά επιστημονικά έργα.



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα



Η Ηλεκτροφόρηση είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για τη «μετανάστευση» φορτισμένων αιωρούμενων σωματιδίων, που βρίσκονται εντός ενός ρεύματος αερίου, εντός ενός ηλεκτροστατικού πεδίου.

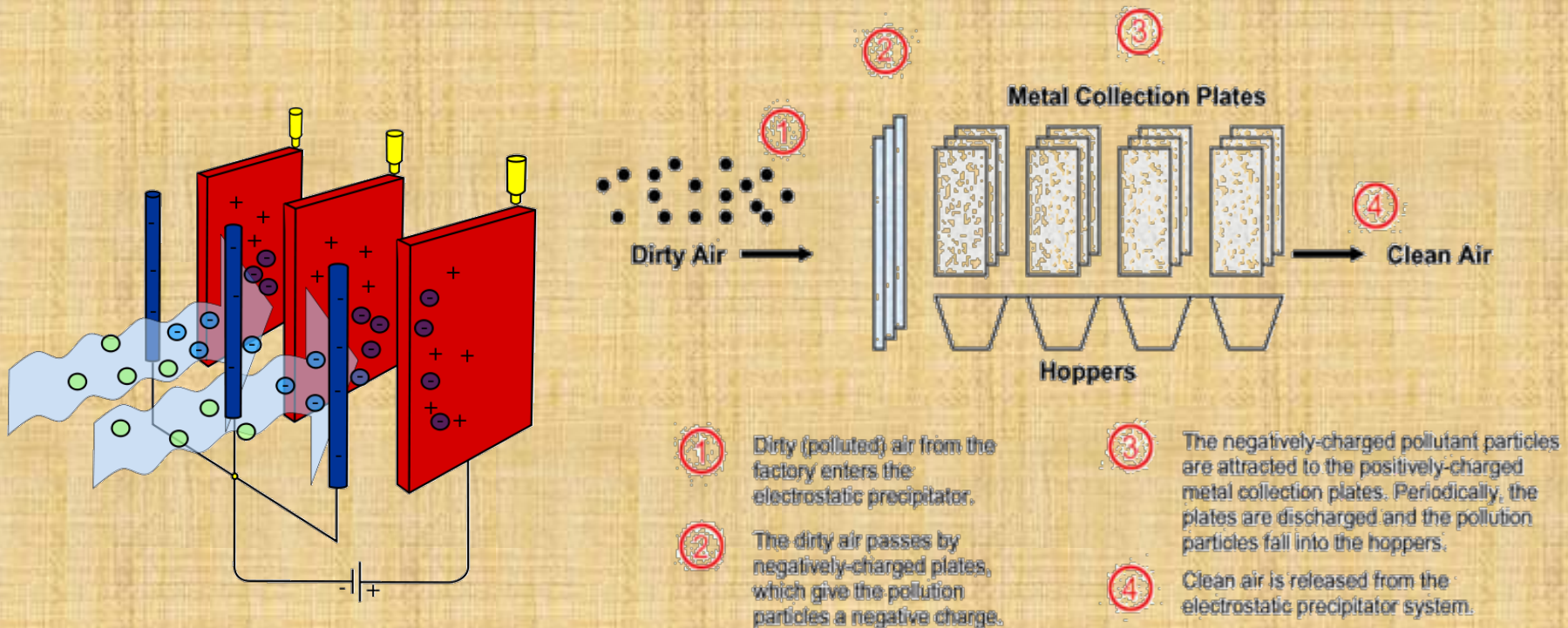
Για παράδειγμα και εξαιτίας αυτού του φαινομένου (ηλεκτροφόρηση) οι οθόνες των τηλεοράσεων έχουν την τάση να συσσωρεύουν σκόνη.



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

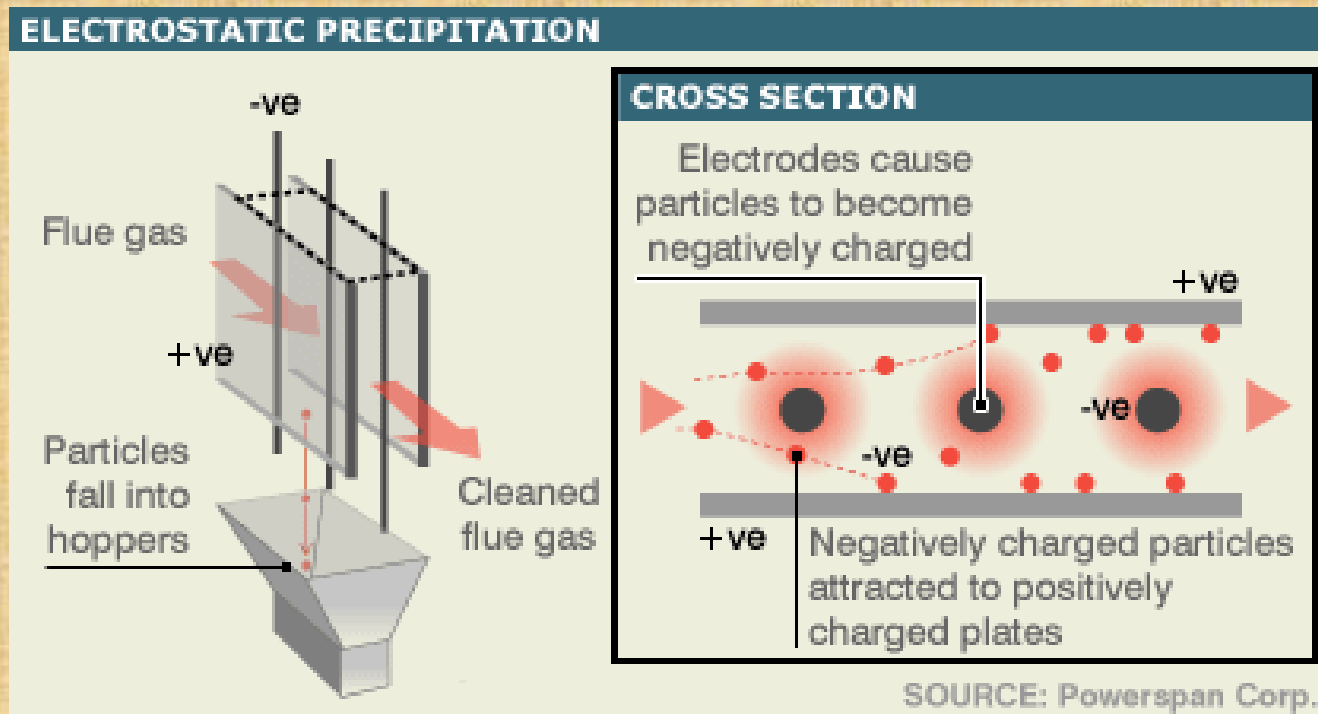
Η βασικότερη μορφή ΗΦ περιέχει μια σειρά-ομάδα από λεπτά κάθετα καλώδια, και ακολουθείται από μια στοίβα μεγάλων επίπεδων μεταλλικών πλακών προσανατολισμένων κάθετα και παράλληλα μεταξύ τους, με τις πλάκες τυπικά να απέχουν τυπικά περίπου 1cm με 18cm μεταξύ τους, ανάλογα με την εφαρμογή.

Ο αέρας ή το αέριο ρεύμα ρέει οριζόντια διαμέσου των χώρων μεταξύ των καλωδίων, και στη συνέχεια περνά μέσα από τη στοίβα των πλακών.



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

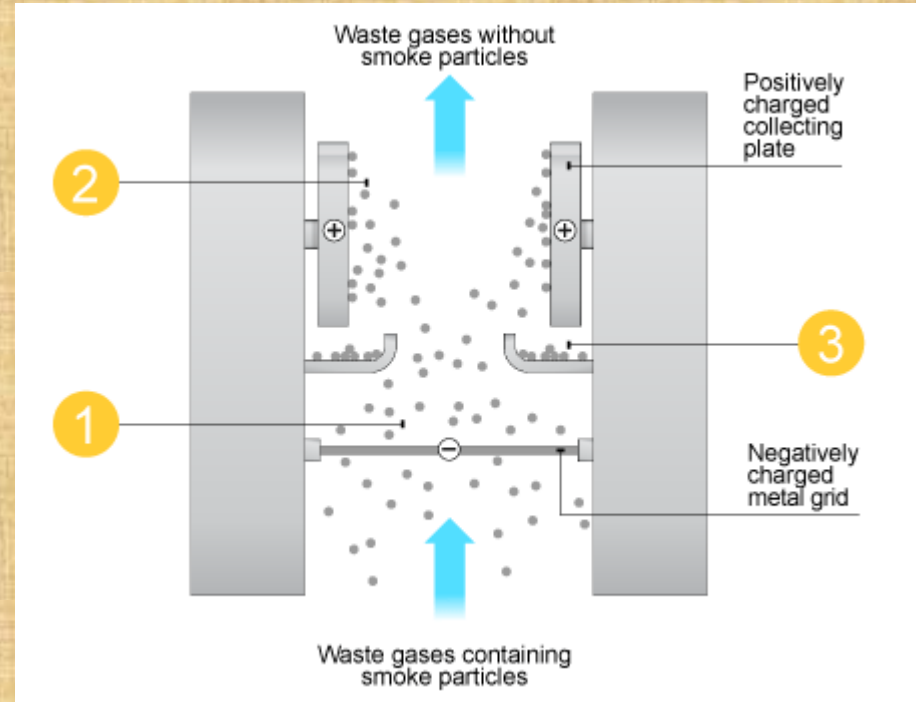
Μια αρνητική τάση πολλών χιλιάδων βολτ εφαρμόζεται μεταξύ καλωδίων και πλάκας. Εάν η εφαρμοζόμενη τάση είναι αρκετά υψηλή, μια ηλεκτρική εκκένωση κορώνας ιονίζει το αέριο γύρω από τα ηλεκτρόδια. Τα αρνητικά ιόντα ρέουν στις πλάκες και φορτίζουν έτσι τα σωματίδια που βρίσκονται εντός της ροής του προς καθαρισμό αερίου.



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

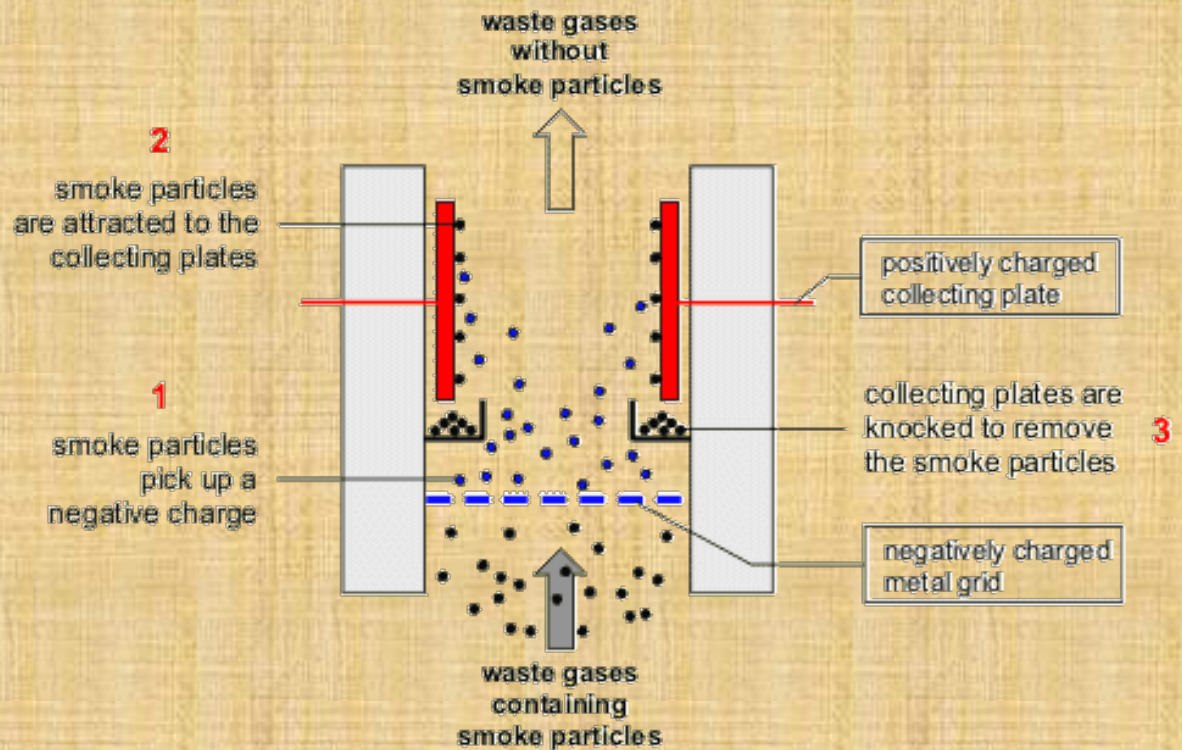
Τα ιονισμένα σωματίδια, ακολουθώντας το αρνητικό ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται, μετακινούνται προς τις γειωμένες πλάκες, δημιουργώντας έτσι επάνω σε αυτές ένα λεπτό στρώμα συλλογής σωματιδίων.

Το στρώμα αυτό δεν καταρρέει λόγω βαρύτητας, χάρη στην ηλεκτροστατική πίεση (λόγω αντίστασης του ίδιου του στρώματος, του ηλεκτρικού πεδίου, και του ηλεκτρικού ρεύματος-φορτίου που ρέει διαμέσου του στο στρώμα που συλλέχθηκε).



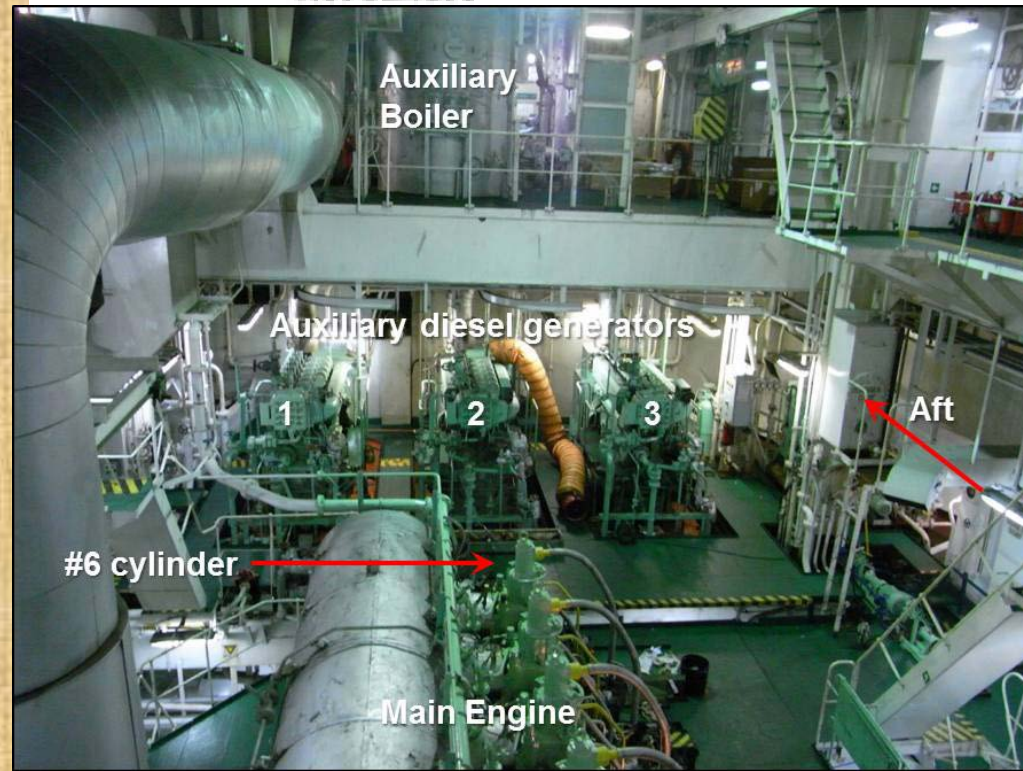
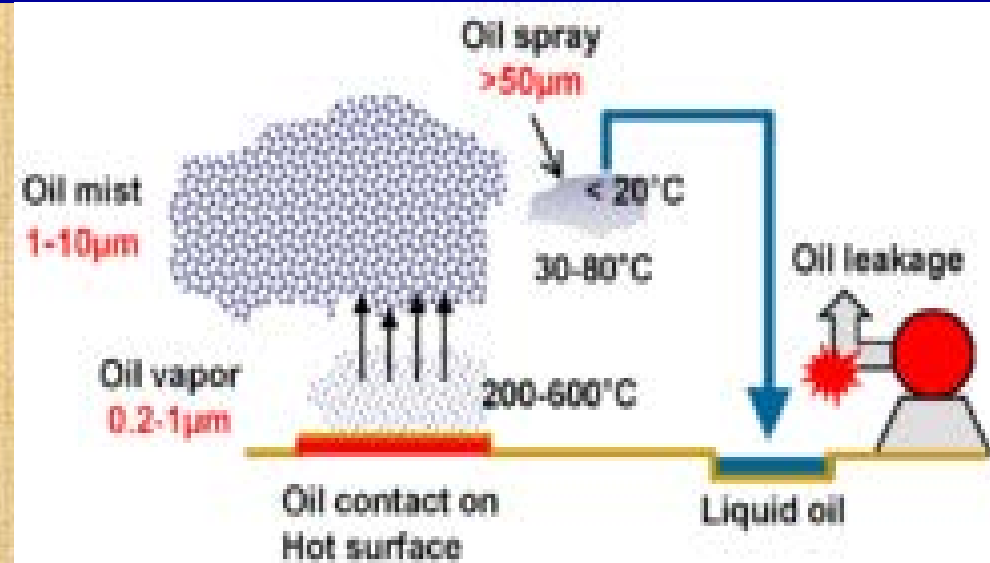
# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Ο σχεδιασμός σε δύο στάδια ενός ΗΦ (ξεχωριστή μονάδα φόρτισης μπροστά από το τμήμα συλλογής) έχει το πλεονέκτημα της ελαχιστοποίησης της παραγωγής όζοντος, η οποία θα μπορούσε να επηρεάσει αρνητικά την υγεία του προσωπικού που εργάζεται σε κλειστούς χώρους (πχ μηχανοστάσια πλοίων, κλπ).



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Για τα μηχανοστάσια ενός πλοίου όπου συχνά δημιουργείται από τις μηχανές μια ομίχλη πετρελαίου, τα σχεδιασμένα σε δύο στάδια ΗΦ που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό του αέρα, τη βελτίωση του λειτουργικού περιβάλλοντος και την πρόληψη της συσσώρευσης εύφλεκτων αερίων και τις συσσωρεύσεις ομίχλης λαδιού. Το συνολικό λάδι που συλλέγεται με αυτόν τον τρόπο επιστρέφει στο σύστημα μετάδοσης λίπανσης.

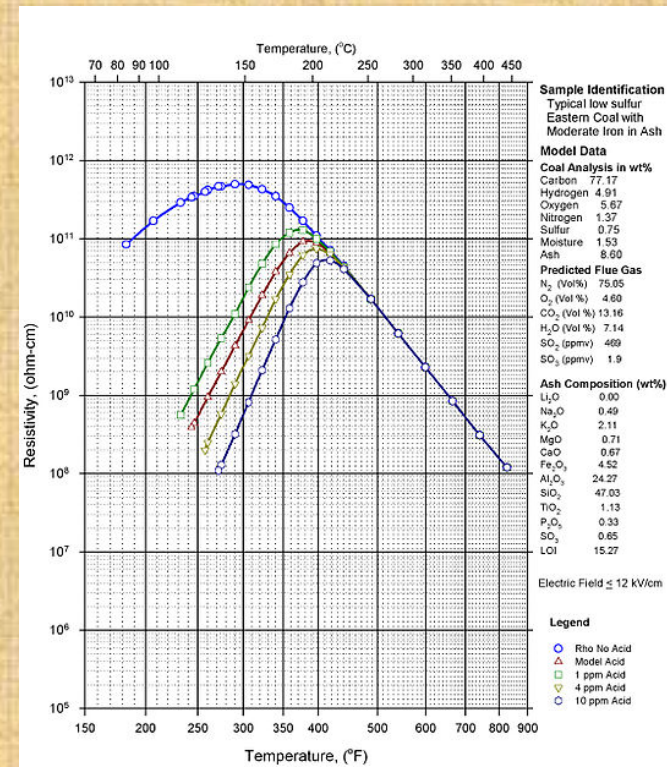
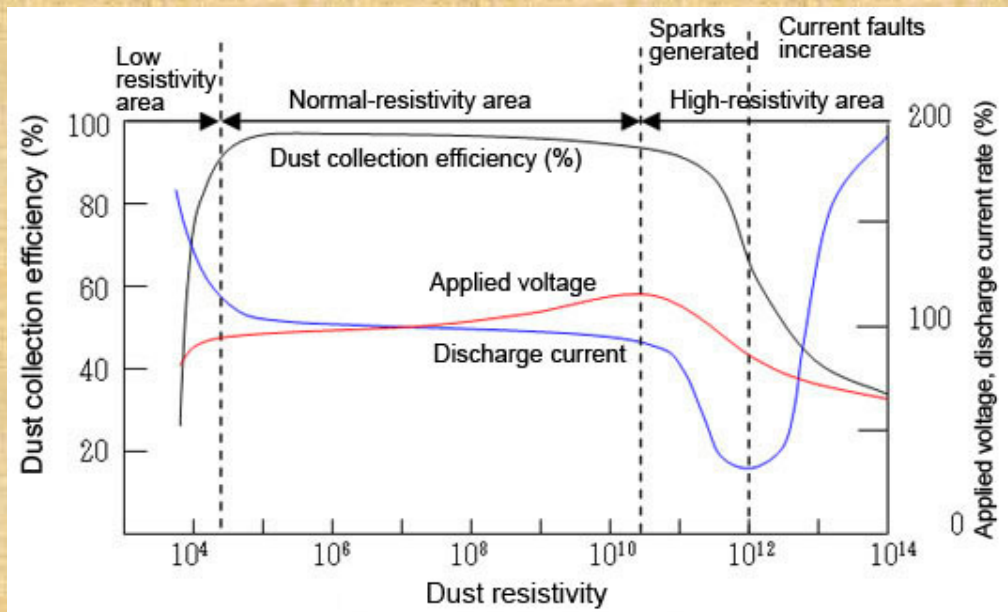


# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

## Απόδοση συλλογής ΗΦ (R)

Προφανώς, ως απόδοση (R) ενός ΗΦ ορίζεται η ικανότητά του να δεσμεύει και να απομακρύνει από το προς καθαρισμό ρεύμα του αερίου, όσο περισσότερα αιωρούμενα σωματίδια και άλλες επιβλαβείς ουσίες γίνεται. Η απόδοση ενός ΗΦ είναι δε πολύ «ευαίσθητη» σε δύο ιδιότητες των σωματιδίων:

- 1) Στην ηλεκτρική αντίσταση και
- 2) Στην κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων



**Sample Identification**  
Typical low sulfur  
Eastern Coal with  
Moderate Iron in Ash

**Model Data**

**Coal Analysis in wt%**  
Carbon 77.17  
Hydrogen 4.91  
Oxygen 5.67  
Nitrogen 1.37  
Sulfur 0.75  
Moisture 1.53  
Ash 8.00

**Predicted Flue Gas**  
N<sub>2</sub> (Vol%) 75.05  
O<sub>2</sub> (Vol%) 4.60  
CO<sub>2</sub> (Vol%) 13.16  
H<sub>2</sub>O (Vol%) 7.14  
SO<sub>2</sub> (ppmv) 469  
SO<sub>x</sub> (ppmv) 1.9

**Ash Composition (wt%)**  
Li<sub>2</sub>O 0.00  
Na<sub>2</sub>O 0.49  
K<sub>2</sub>O 2.11  
MgO 0.71  
CaO 0.67  
Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 4.52  
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 24.27  
SiO<sub>2</sub> 47.03  
TiO<sub>2</sub> 1.13  
P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.33  
SO<sub>3</sub> 0.65  
LOI 15.27

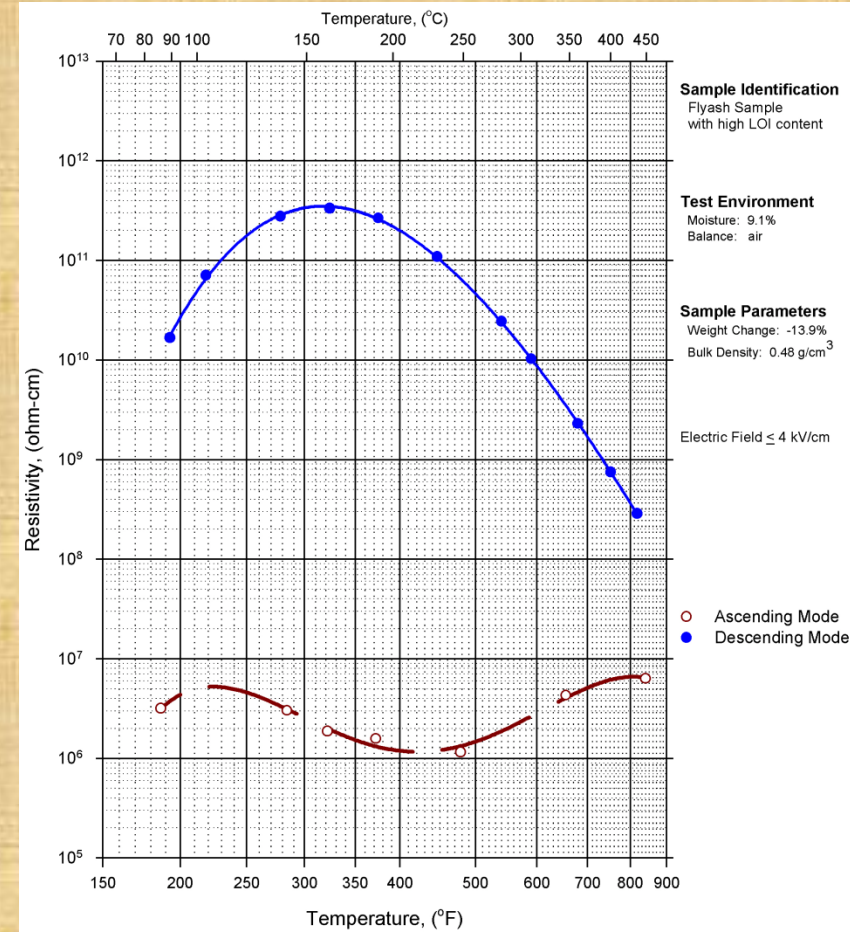
Electric Field ≤ 12 kV/cm

**Legend**  
● Rho No Acid  
▲ Model Acid  
□ 1 ppm Acid  
▽ 4 ppm Acid  
○ 10 ppm Acid

# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

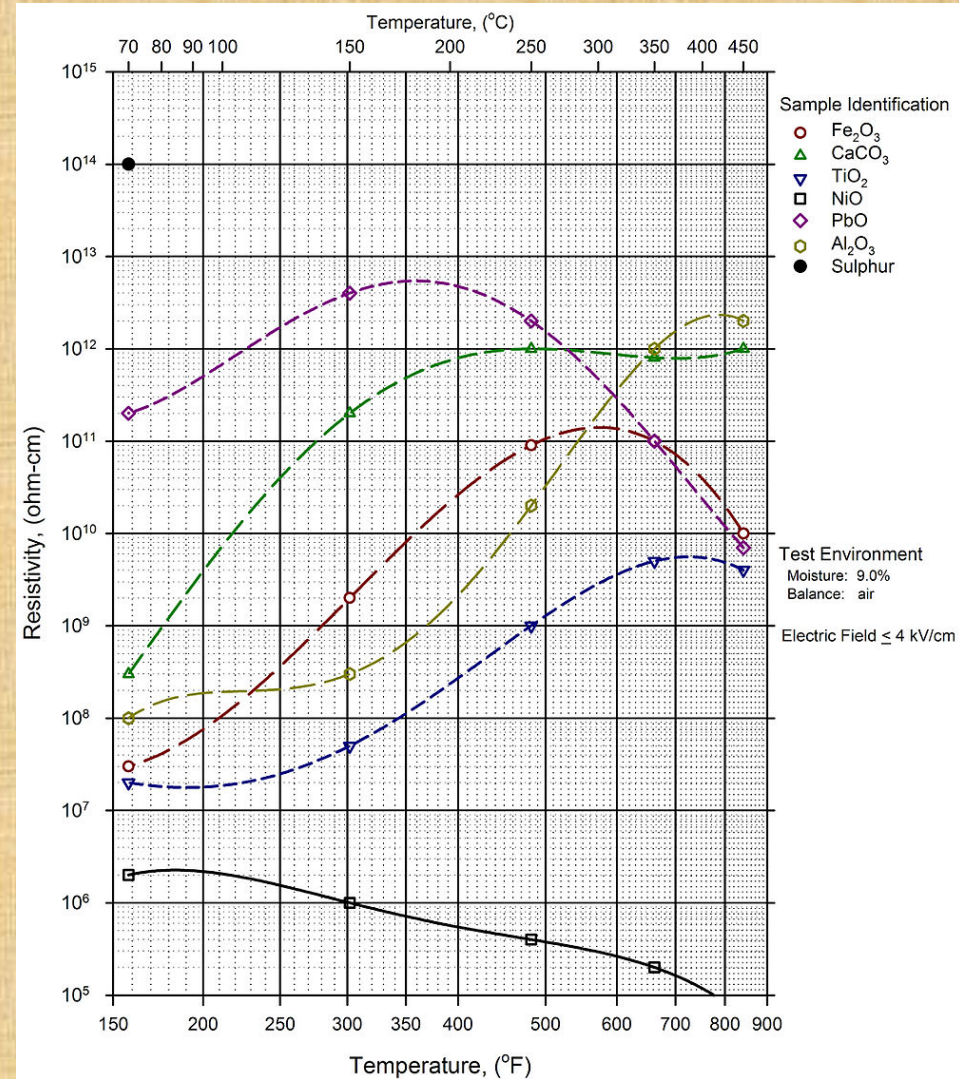
Αυτές οι ιδιότητες των σωματιδίων που περιέχονται σε ένα ρεύμα αερίου, μπορούν να μετρηθούν με ακρίβεια και οικονομικά στο εργαστήριο, χρησιμοποιώντας πρότυπες δοκιμασίες.

Η αντίσταση μπορεί να προσδιοριστεί ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 548.



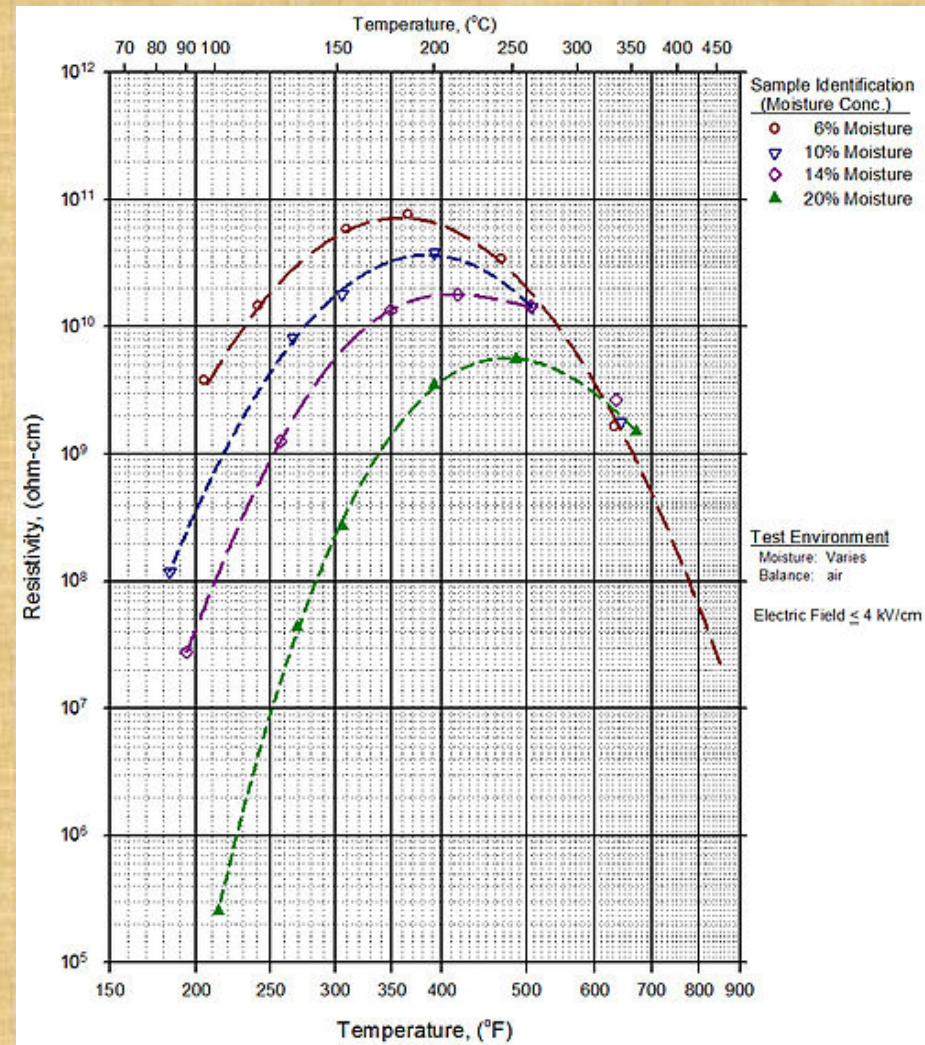
# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Η δοκιμή αυτή διεξάγεται σε ένα περιβάλλον αέρα όπου επικρατεί μια συγκεκριμένη τιμή σχετικής υγρασίας του αέρα. Η δοκιμή εκτελείται με μια αύξουσα ή φθίνουσα σειρά θερμοκρασίας, ή και τα δύο. Τα δεδομένα συλλέγονται ως αποτέλεσμα της δημιουργίας ενός λεπτού στρώματος τέφρας-σκόνης που δημιουργείται από την εφαρμογή ενός ηλεκτρικού πεδίου έντασης 4 kV/cm.

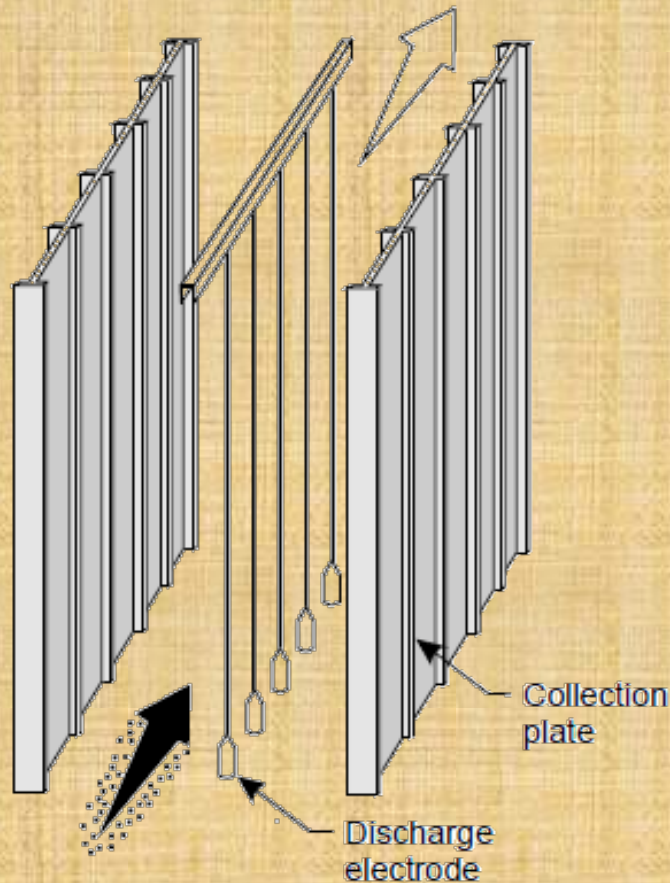


# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Δεδομένου της σχετικά χαμηλής εφαρμοζόμενης τάσης που χρησιμοποιείται και την παντελή απουσία ατμών θειικού οξέος στο περιβάλλον δοκιμής, οι τιμές που λαμβάνονται δείχνουν την μέγιστη δυνατή αντίσταση τέφρας-σκόνης, δηλαδή των αιωρούμενων σωματιδίων που βρίσκονται μέσα στο ρεύμα του αερίου.



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα



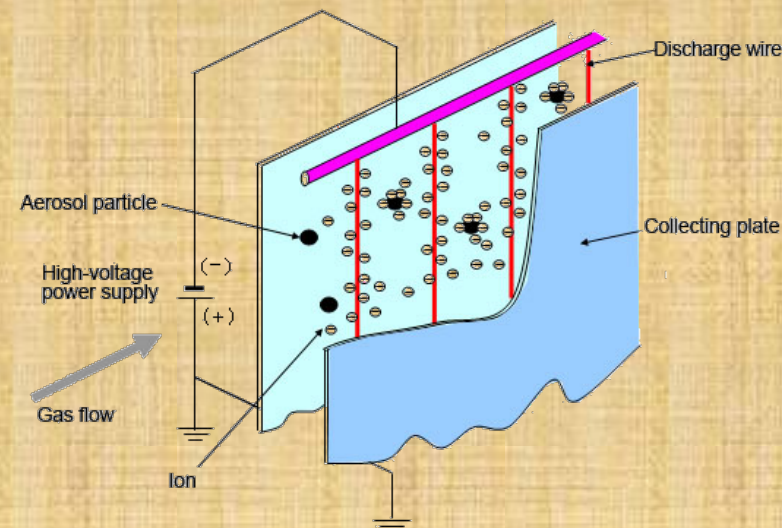
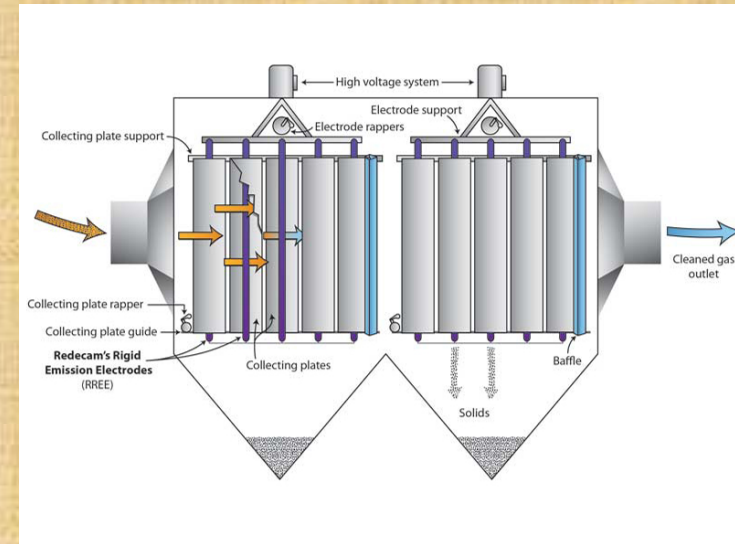
Σε ένα ΗΦ, όπου φόρτιση και εκφόρτιση των σωματιδίων είναι βασικές λειτουργίες, η αντίσταση που παρουσιάζουν τα σωματίδια είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά την αποδοτικότητα της συλλογής και κατ' επέκταση την απόδοση του ΗΦ.

Ενώ η αντίσταση αποτελεί σημαντικό φαινόμενο στην περιοχή μεταξύ των ηλεκτροδίων, περιοχή στην οποία η φόρτιση των σωματιδίων λαμβάνει χώρα, έχει ιδιαίτερα σημαντική επίδραση επί του στρώματος σκόνης που δημιουργείται στο ηλεκτρόδιο συλλογής, στο οποίο συμβαίνει εκφόρτιση.

# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

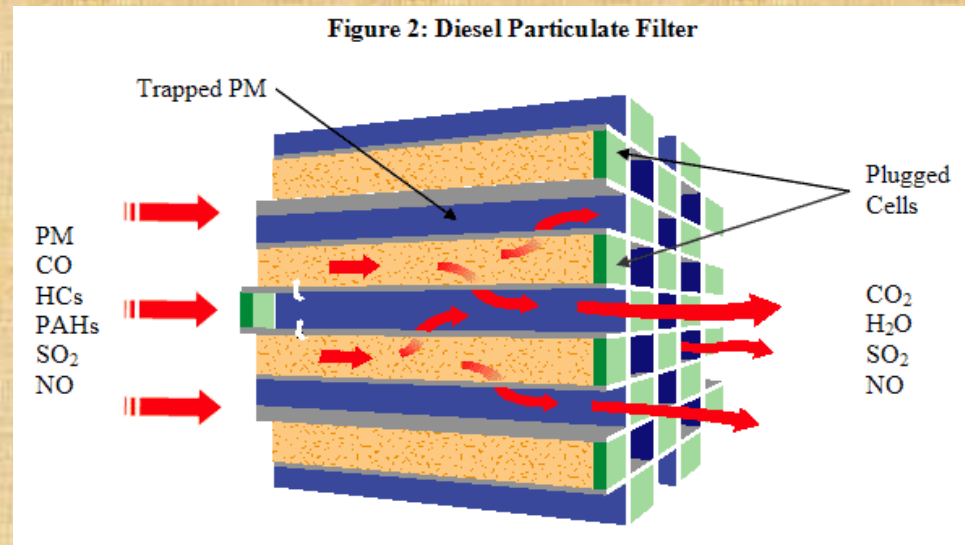
Σωματίδια που παρουσιάζουν υψηλή αντίσταση είναι δύσκολο να φορτιστούν. Όμως, από τη στιγμή που θα φορτιστούν, κατά την άφιξή τους στο ηλεκτρόδιο συλλογής δεν «εγκαταλείπουν» εύκολα το φορτίο που έχουν αποκτήσει. Από την άλλη πλευρά, τα σωματίδια με χαμηλή ειδική αντίσταση εύκολα μπορούν να φορτιστούν και να αποκτήσουν ηλεκτρικό φορτίο, και εύκολα πάλι απελευθερώνουν το φορτίο τους όταν φτάσουν στην γειωμένη πλάκα συλλογής.

Και οι δύο αυτές ακραίες καταστάσεις αντίστασης των σωματιδίων παρεμποδίζουν την αποτελεσματική λειτουργία του ΗΦ, τα οποία ΗΦ λειτουργούν καλύτερα υπό κανονικές συνθήκες αντίστασης.



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Η αντίσταση, η οποία είναι ένα χαρακτηριστικό των σωματιδίων σε ένα ηλεκτρικό πεδίο, είναι ένα μέτρο της αντίστασης ενός σωματιδίου στη μεταφορά φορτίου από και προς αυτό (φόρτιση – εκφόρτιση). Η ειδική αντίσταση δε, είναι συνάρτηση της χημικής σύνθεσης ενός σωματιδίου καθώς και των συνθηκών λειτουργίας των καπναερίων, όπως η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία εντός αυτών. Έτσι, υπάρχει ως προς την αντίσταση μεγάλη ποικιλία σωματιδίων. Γενικότερα, τα σωματίδια που αιωρούνται μέσα στα καπναέρια μιας βιομηχανικής δραστηριότητας, μπορεί να έχουν υψηλή, μέτρια (κανονική), ή και χαμηλή αντίσταση.



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Η μαζική αντίσταση ή αντίσταση όγκου (bulk resistivity) ορίζεται χρησιμοποιώντας μια πιο γενική μορφή του νόμου του Ohm, όπως δίνεται στην παρακάτω εξίσωση (1):

$$\vec{E} = \rho \vec{j}$$

όπου:

$E$ : η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (V/cm)

$j$ : η πυκνότητα του ρεύματος (A/cm<sup>2</sup>) και

$\rho$ : η ειδική αντίσταση (Ohm·cm)

# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Αν στη συνέχεια η εξίσωση (1) επιλυθεί ως προς την ειδική αντίσταση και ως συνάρτηση της εφαρμοζόμενης τάσης και του ρεύματος, τότε σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση (2) θα ισχύει:

$$\rho = \frac{AV}{Il}$$

όπου:

$\rho$  : η ειδική αντίσταση (Ohm·cm)

$V$  : η εφαρμοζόμενη τάση συνεχούς ρεύματος, (Volts)

$I$  : το ρεύμα, (Amperes)

$L$  : το πάχος του στρώματος τέφρας-σκόνης, (cm)? Και

$A$  : Η επιφάνεια του ηλεκτρόδιου καταγραφής-μέτρησης, (cm<sup>2</sup>).

# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Η αντίσταση των σωματιδίων που περιέχονται σε ένα ρεύμα καπναερίων είναι η ηλεκτρική αντίσταση δείγματος σκόνης πάχους 1.0cm που περιέχεται σε εμβαδόν διατομής 1.0cm<sup>2</sup>, και καταγράφεται σε μονάδες ( $\Omega \cdot \text{cm}$ ).

Στη συνέχεια θα περιγραφεί μια μέθοδος για τη μέτρηση της αντίστασης των σωματιδίων που περιέχονται σε ένα ρεύμα καπναερίων.

Ο Πίνακας 1, δίνει τις περιοχές τιμών για χαμηλή, κανονική και υψηλή αντίσταση σωματιδίων.

Ειδική Αντίσταση	Εύρος τιμών
Χαμηλή	Από $10^4$ έως $10^7$ $\text{ohm} \cdot \text{cm}$
Κανονική-μεσαία	Από $10^7$ έως $2 \times 10^{10}$ $\text{ohm} \cdot \text{cm}$
Υψηλή	Μεγαλύτερη των $2 \times 10^{10}$ $\text{ohm} \cdot \text{cm}$

Πίνακας 1. Περιοχές τιμών για χαμηλή, κανονική και υψηλή ειδική αντίσταση σωματιδίων

# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

## Αντίσταση του στρώματος τέφρας-σκόνης

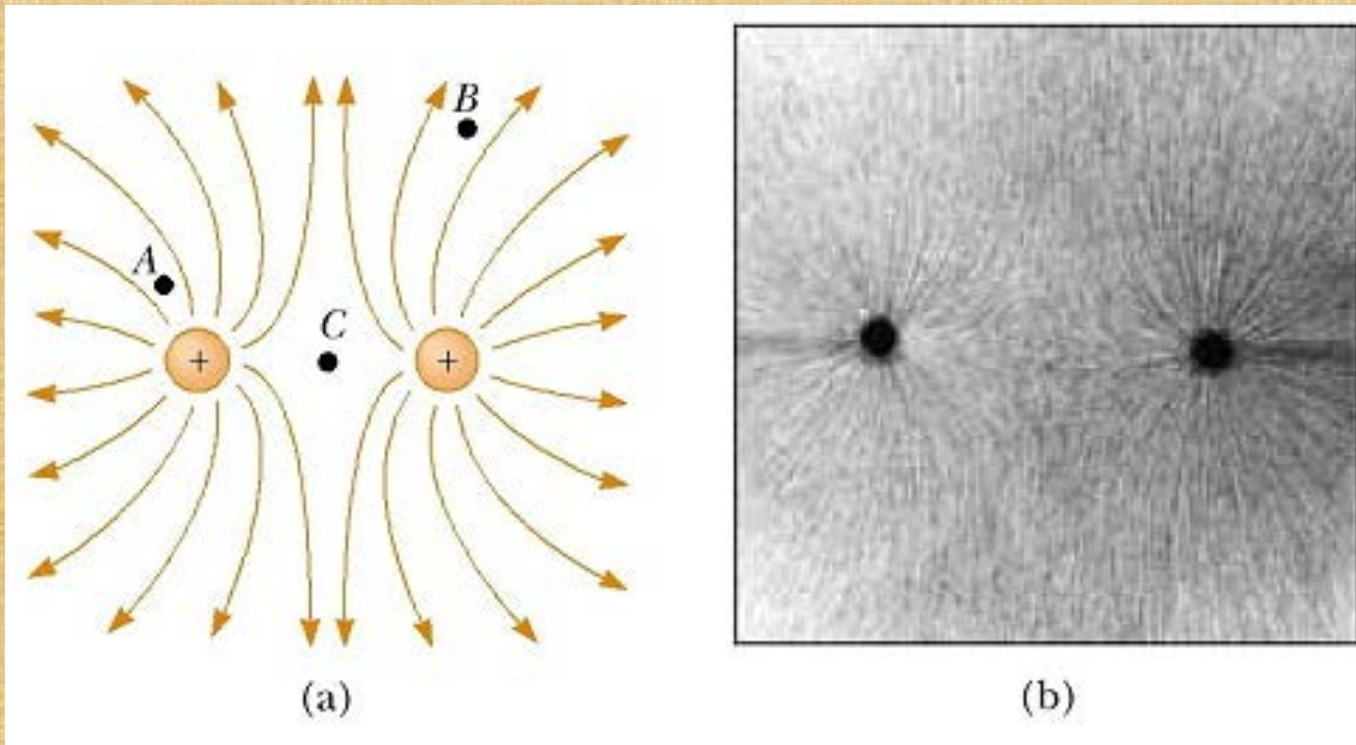
Ας ρίξουμε μια πιο προσεκτική ματιά στον τρόπο με τον οποίο η αντίσταση επηρεάζει τις ηλεκτρικές συνθήκες στο στρώμα σκόνης.

Κατά μήκος του στρώματος σκόνης, εμφανίζεται μια πτώση τάσης στο ηλεκτρικό πεδίο, καθώς αρνητικά φορτισμένα σωματίδια φθάνουν στην επιφάνεια με το στρώμα σκόνης και εκεί «εγκαταλείπουν» τα ηλεκτρικά φορτία τους στην πλάκα συλλογής.

Στην μεταλλική επιφάνεια της ηλεκτρικά γειωμένης πλάκας συλλογής, η τάση είναι μηδέν. Έτσι, στην εξωτερική επιφάνεια του στρώματος σκόνης, όπου τα νέα σωματίδια και ιόντα φθάνουν, προκαλείται ηλεκτροστατική τάση από τα ιόντα του αερίου η οποία μπορεί να είναι και αρκετά υψηλή. Η ένταση αυτού του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται, εξαρτάται από την ειδική αντίσταση και το πάχος του στρώματος σκόνης.

# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

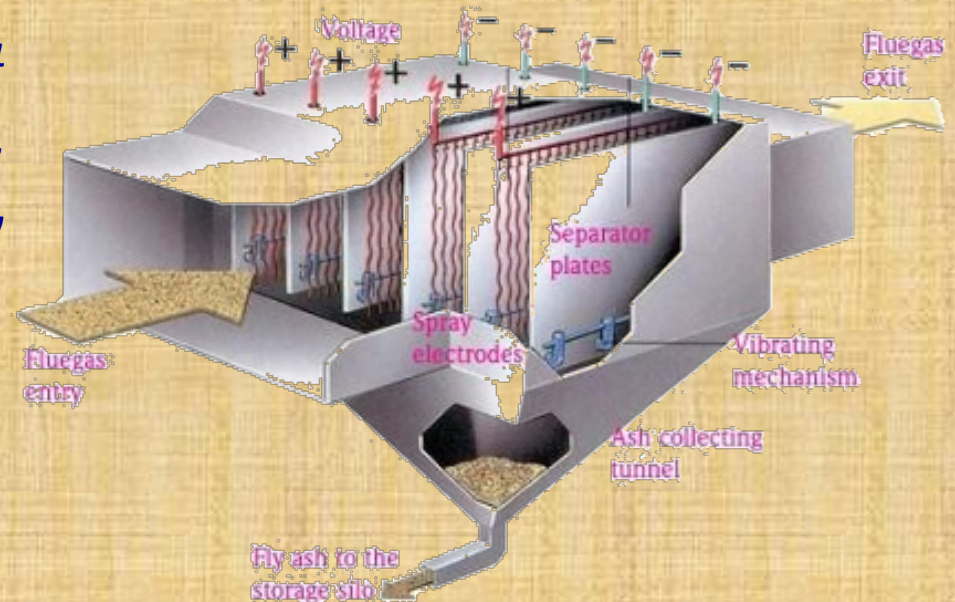
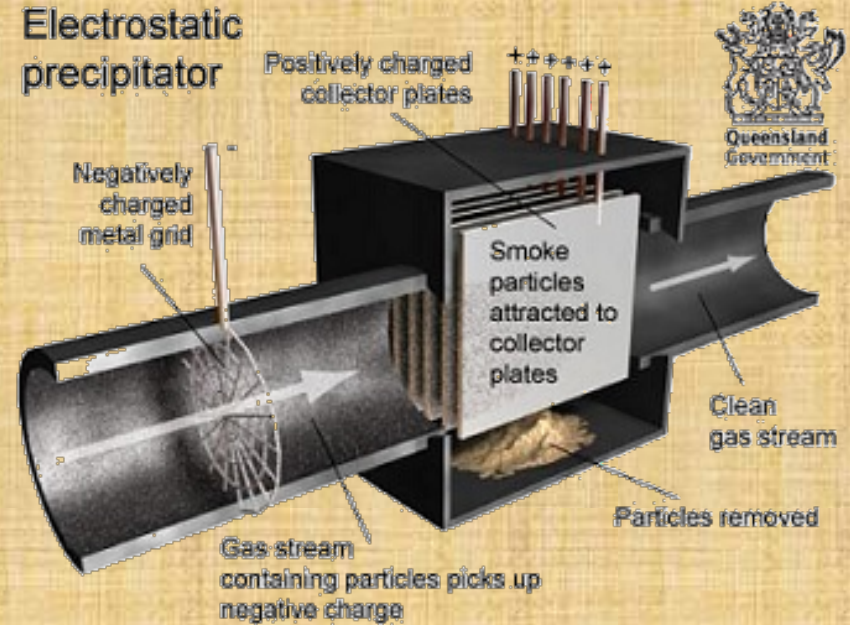
Σε στρώματα σκόνης με υψηλά επίπεδα αντίστασης, η σκόνη δεν είναι επαρκώς αγωγίμη. Έτσι, τα ηλεκτρικά φορτία παρουσιάζουν μια δυσκολία στην κίνηση μέσα από το στρώμα σκόνης. Κατά συνέπεια, ηλεκτρικά φορτία συσσωρεύονται και πάνω και κάτω από την επιφάνεια του στρώματος της σκόνης, δημιουργώντας ένα ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο.



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Ως αποτέλεσμα αυτού του πολύ ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου είναι να αναπτύσσονται τάσεις, μεγαλύτερες ακόμα και από 10.000 volts.

Τα σωματίδια σκόνης με υψηλή αντιστάσεις συγκρατούνται πάρα πολύ έντονα από την πλάκα, και έτσι είναι δύσκολο να αποκολληθούν, να μετακινηθούν και τέλος να αφαιρεθούν, προκαλώντας προβλήματα κτυπημάτων στην επιφάνεια της πλάκας.



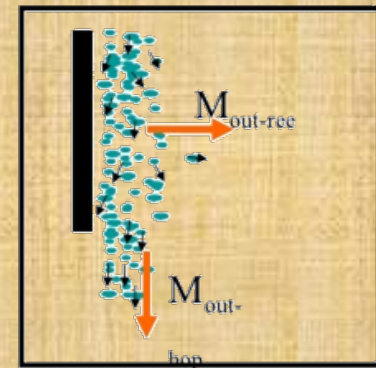
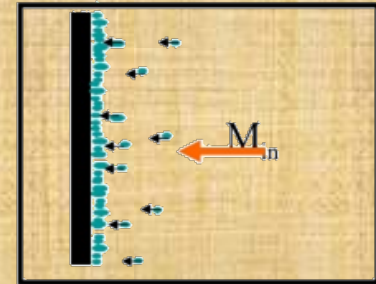
# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Σε στρώματα σκόνης χαμηλής αντίστασης, η εκκένωση κορώνας εύκολα διοχετεύεται στο γειωμένο ηλεκτρόδιο συλλογής. Ως εκ τούτου, ένα σχετικά ασθενές ηλεκτρικό πεδίο (αρκετών χιλιάδων βολτ) διατηρείται σε όλη την στρώση της σκόνης.

Συνολικές σωματίδια σκόνης με χαμηλή αντίσταση δεν παραμένουν αρκετά προσκολλημένα στην πλάκα συλλογής. Έτσι εύκολα αποσπώνται από την επιφάνεια της πλάκας και επαναιωρούνται μέσα στο ρεύμα των καπναερίων.

## Collection and re-entrainment

Mass balance of re-entrained, collected and fallen particles



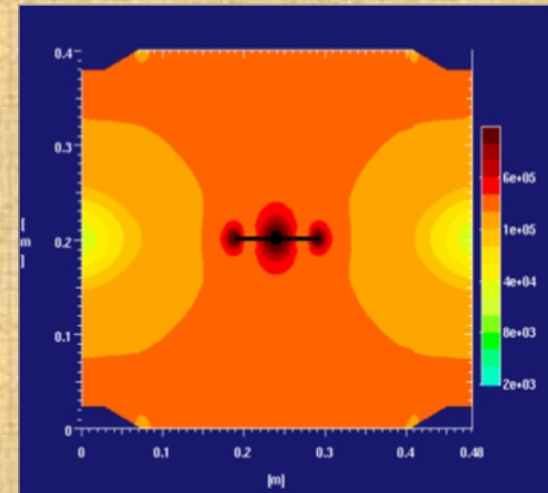
# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός στρώματος σωματιδίων εξαρτάται ταυτόχρονα και από τον όγκο (volume conduction) όσο και από την επιφάνεια (surface conduction) που αυτά καταλαμβάνουν.

Η αγωγιμότητα όγκου, ή και οι κινήσεις των ηλεκτρικών φορτίων διαμέσου των αιωρούμενων σωματιδίων, εξαρτώνται κυρίως από τη σύνθεση και τη θερμοκρασία των σωματιδίων. Στις υψηλότερες περιοχές θερμοκρασίας, πάνω από 500°F (~260°C), η αγωγιμότητα όγκου ελέγχει τον μηχανισμό της αγωγιμότητας γενικότερα.

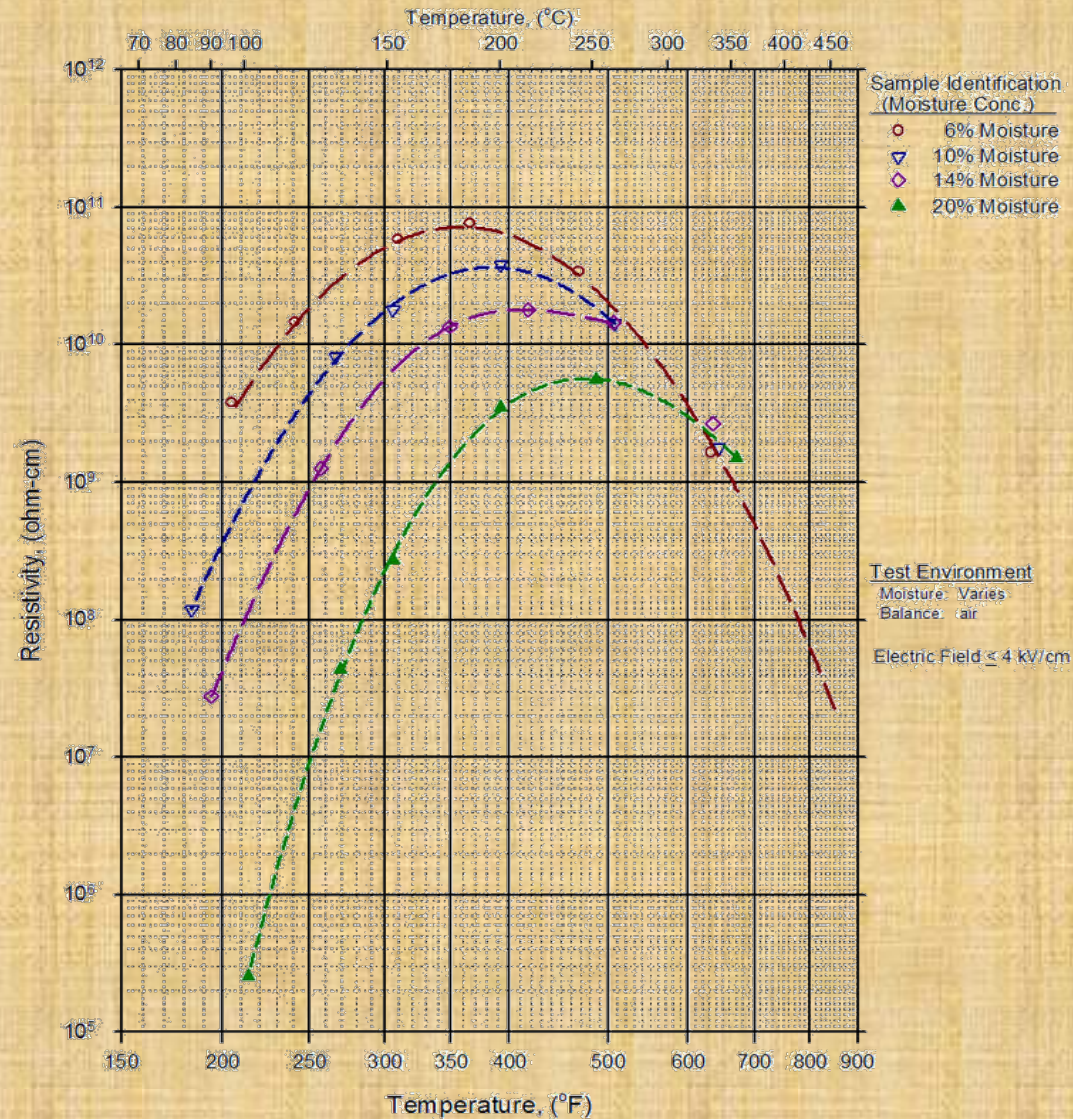
Η αγωγιμότητα όγκου, εμπλέκει επίσης και άλλους παράγοντες, όπως η συμπίεση του στρώματος των σωματιδίων, το μέγεθος των σωματιδίων και το σχήμα και τις ιδιότητες της επιφάνειάς τους.

*Electric field contour in a collection cell*



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Η αγωγιμότητα όγκου παρουσιάζεται στα σχήματα σαν μια ευθεία γραμμή σε θερμοκρασίες άνω των 500°F (~260°C). Σε θερμοκρασίες κάτω από περίπου 450°F (~230°C), ηλεκτρικά φορτία αρχίζουν να ρέουν κατά μήκος της επιφάνειας των υγρών χημικών ταινιών και προσροφώνται πάνω στα σωματίδια. Έτσι η επιφανειακή αγωγιμότητα αρχίζει να μειώνει τις τιμές αντίστασης κάτι που φαίνεται από την κλίση της καμπύλης προς τα κάτω σε θερμοκρασίες κάτω από 500°F (~260°C).



Σχήμα 2. Αντίσταση ως συνάρτηση της θερμοκρασίας

# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Έτσι, δημιουργούνται ταινίες, που συνήθως διαφέρουν τόσο φυσικά όσο και χημικά από το εσωτερικό των σωματιδίων λόγω φαινομένων προσρόφησης. Θεωρητικοί υπολογισμοί κατέδειξαν ότι οι υγρές ταινίες, πάχους ίσου με αυτό μερικών μόνο μορίων, είναι επαρκείς για να παρέχουν την επιθυμητή αγωγιμότητα επιφανείας.

Η επιφανειακή αγωγιμότητα σε σωματίδια είναι στενά συνδεδεμένη με τα επιφανειακά ρεύματα διαρροής που συμβαίνουν στους ηλεκτρικούς μονωτήρες, τα οποία έχουν μελετηθεί εκτενώς.



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα



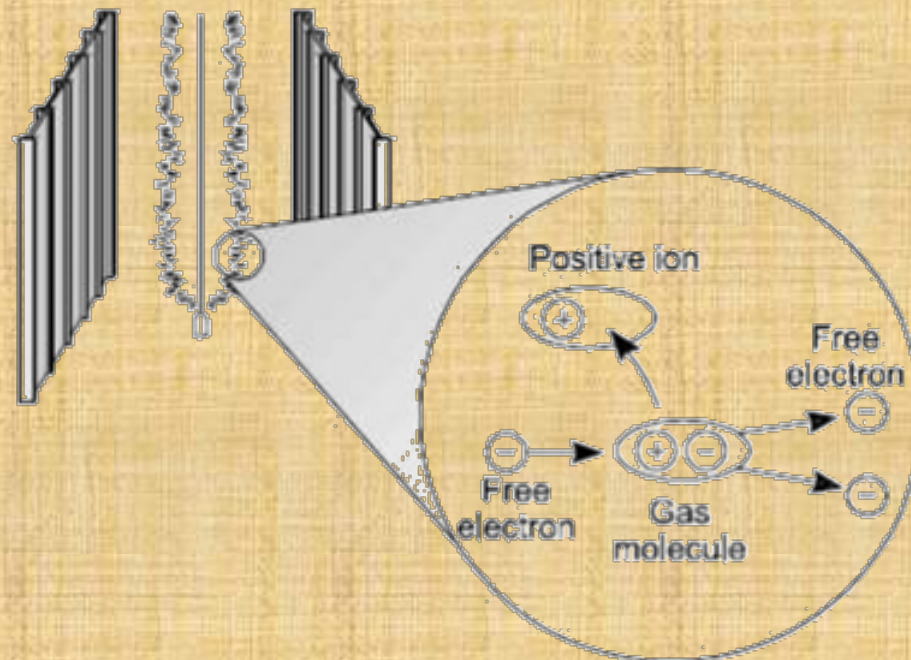
Μια ενδιαφέρουσα πρακτική εφαρμογή της επιφάνειας διαρροής είναι ο προσδιορισμός του σημείου δρόσου με μέτρηση του ρεύματος μεταξύ γειτονικών ηλεκτροδίων που είναι τοποθετημένα σε μία γυάλινη επιφάνεια. Μια απότομη αύξηση στο φορτίο σηματοδοτεί το σχηματισμό ενός φιλμ υγρασίας στο γυαλί. Αυτή η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για τον προσδιορισμό της σημαντικής αύξησης του σημείου δρόσου, η οποία συμβαίνει όταν για παράδειγμα μικρές ποσότητες ατμού θειικού οξέος προστίθενται στον αέρα.



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

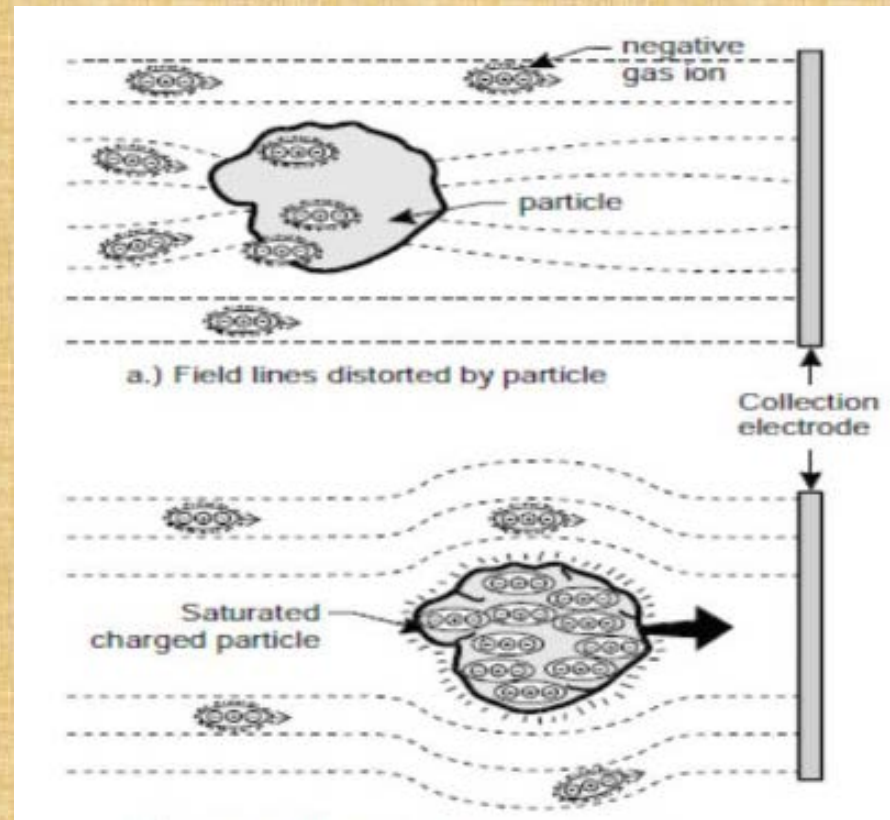
## ΗΦ Κανονικής-Μεσαίας Αντίστασης

Όπως προαναφέρθηκε και παραπάνω, τα ΗΦ λειτουργούν καλύτερα υπό κανονικές συνθήκες αντίστασης. Σωματίδια με την κανονική αντίσταση δεν χάνουν γρήγορα το φορτίο τους κατά την άφιξή τους στο ηλεκτρόδιο συλλογής. Έτσι, αυτά τα σωματίδια αποδεσμεύουν αργά το φορτίο τους στις γειωμένες πλάκες και συγκρατούνται στις πλάκες συλλογής, αναπτύσσοντας διαμοριακές δυνάμεις συνοχής και συνάφειας.



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Αυτό επιτρέπει τη δημιουργία πάνω στην πλάκα συλλογής ενός στρώματος σωματιδίων, το οποίο στη συνέχεια απομακρύνεται από την πλάκα με ένα κτύπημα. Εντός του εύρους των φυσιολογικών ορίων αντίστασης σκόνης (μεταξύ  $10^7$  και  $2 \cdot 10^{10}$  ohm·cm), η ιπτάμενη τέφρα συλλέγεται πιο εύκολα από τη σκόνη που παρουσιάζει χαμηλή ή υψηλή αντίσταση.



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

## ΗΦ Υψηλής Αντίστασης

Αν η πτώση τάσης κατά μήκος του στρώματος της σκόνης γίνει πολύ μεγάλη, αρκετές ανεπιθύμητες ενέργειες μπορεί να συμβούν.

Πρώτον, η μεγάλη πτώση τάσης μειώνει τη διαφορά τάσης μεταξύ του ηλεκτροδίου και εκκένωσης κορώνας και του ηλεκτροδίου συλλογής, και ως εκ τούτου μειώνει την ένταση του ηλεκτροστατικού πεδίου, το οποίο χρησιμεύει για να οδηγήσει τα σωματίδια που περιέχονται στο ρεύμα του αερίου, που είναι πλέον με τη μορφή φορτισμένων ιόντων, πάνω στο στρώμα της σκόνης συλλογής.

Καθώς το στρώμα της σκόνης δημιουργείται και συνεχώς αυξάνεται, τα ηλεκτρικά φορτία συνεχίζουν να συσσωρεύονται στην επιφάνεια του στρώματος σκόνης, και η διαφορά τάσης μεταξύ των ηλεκτροδίων εκκένωσης κορώνας και συλλογής μειώνεται ακόμα περισσότερο.

Οι ταχύτητες μετανάστευσης των μικρών σωματιδίων επηρεάζονται ιδιαίτερα από την μειωμένη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου.

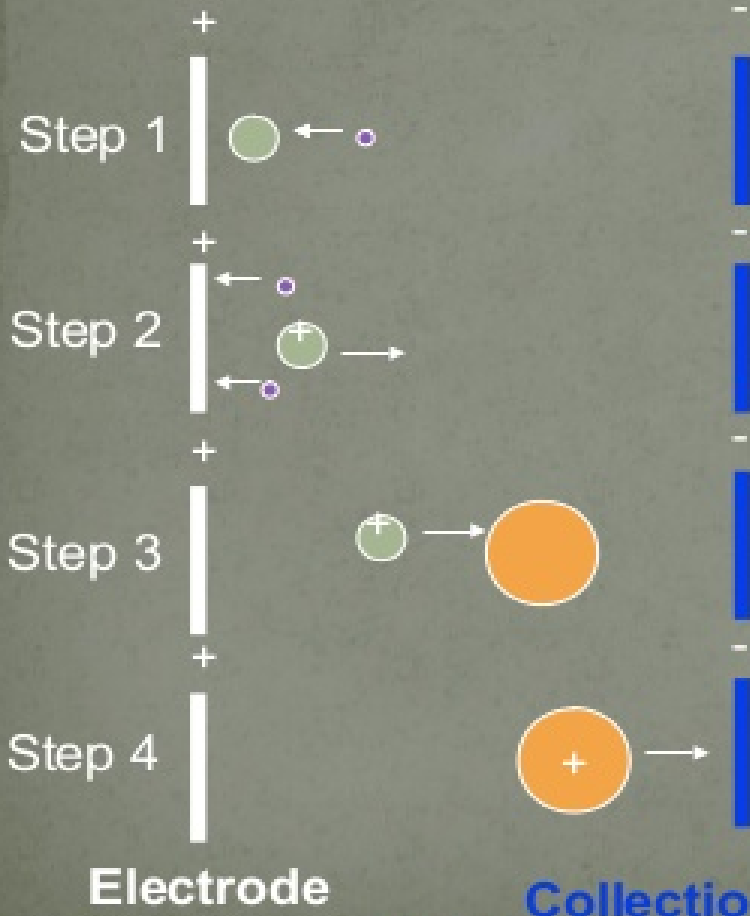
# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Q: How can we generate charges?

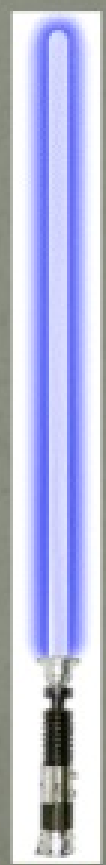
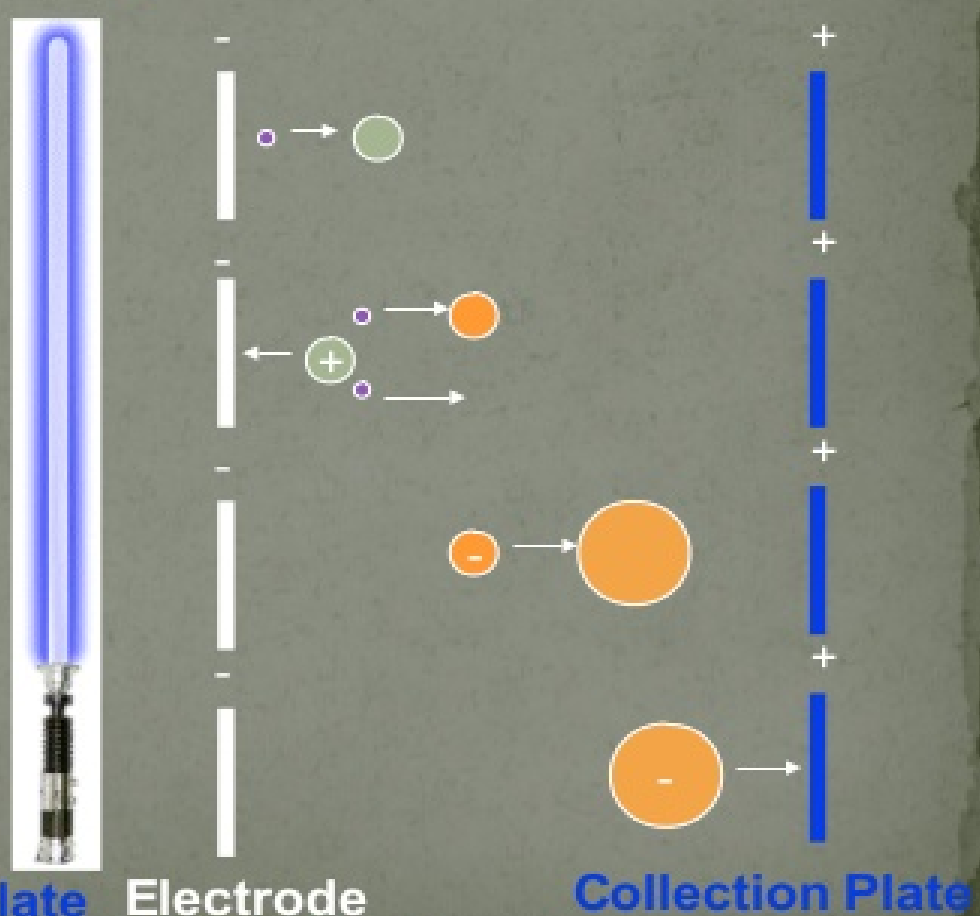
## Corona Discharge

- Electron
- Molecule
- Particle

### Positive Corona



### Negative Corona



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Το πιο κοινό πρόβλημα με τη σκόνη-σωματίδια υψηλής αντίστασης είναι ότι αυξάνονται πάρα πολύ οι ηλεκτρικοί σπινθήρες.

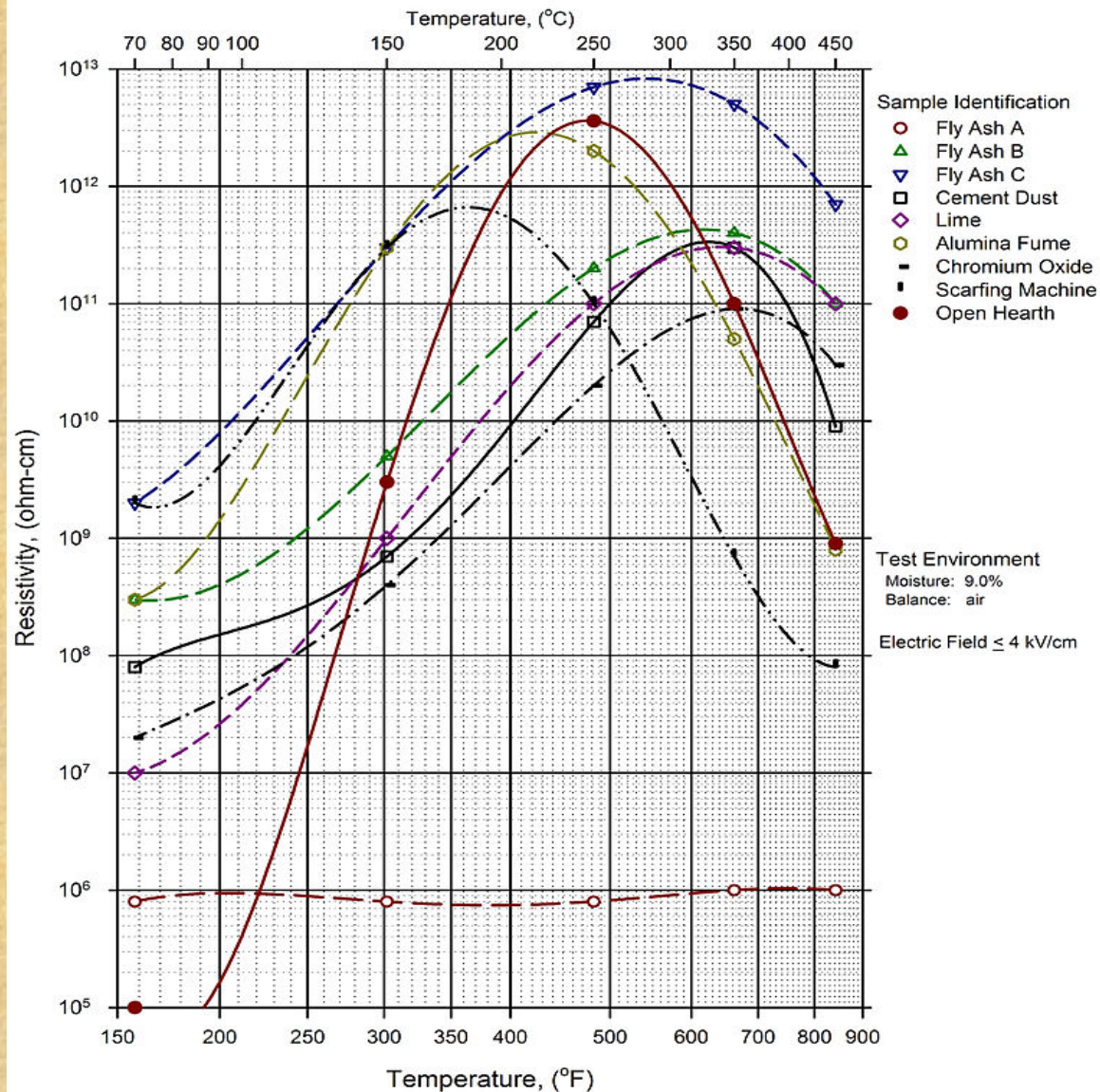
Όταν και λίγο πριν αρχίσει το φαινόμενο αυτό να συμβαίνει, κατάλληλοι αυτοματισμοί περιορίζουν την τάση λειτουργίας του τομέα. Αυτό προκαλεί μειωμένη φόρτιση των σωματιδίων και μικρές κατά συνέπεια ταχύτητες μετακίνησης των σωματιδίων προς το ηλεκτρόδιο συλλογής.

Η υψηλή αντίσταση των σωματιδίων μπορεί γενικά να μειωθεί, κάνοντας τα εξής:

- Ρύθμιση της θερμοκρασίας
- Αυξανόμενη περιεκτικότητα σε υγρασία
- Προσθήκη παραγόντων κλιματισμού στο ρεύμα αερίου
- Αύξηση της επιφάνειας συλλογής και
- Χρησιμοποιώντας ΗΦ με θερμές επιφάνειες συλλογής

# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

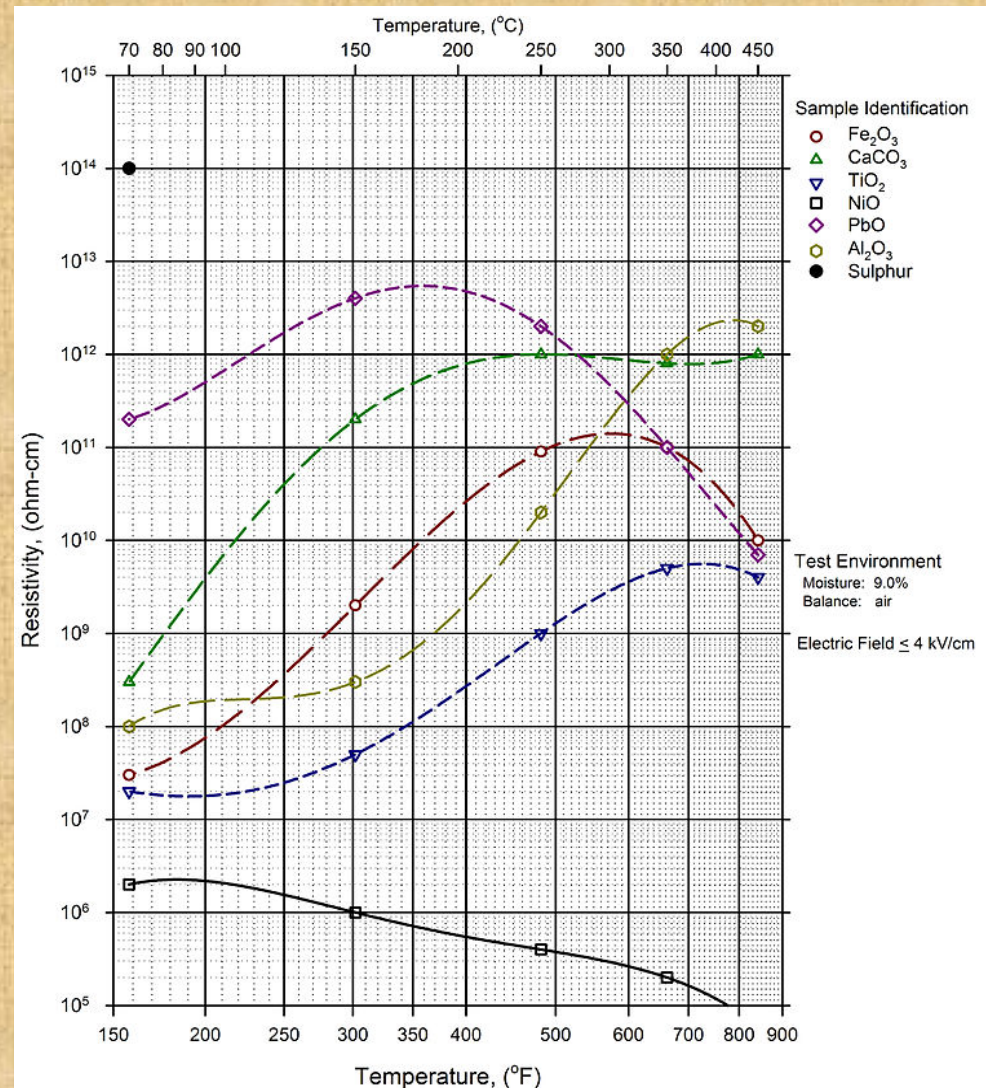
Το Σχήμα 3, δείχνει τη μεταβολή της αντίστασης με την αλλαγή της θερμοκρασίας του αερίου για έξι διαφορετικές βιομηχανικές σκόνες μαζί με τρεις ιπτάμενες τέφρες άνθρακα.



Σχήμα 3. Τιμές αντίστασης χαρακτηριστικών δειγμάτων σκόνης και αερίων από βιομηχανικές εγκαταστάσεις

# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Το Σχήμα 4, απεικονίζει τις τιμές αντίστασης που έχουν μετρηθεί για διάφορες χημικές ενώσεις που παρασκευάστηκαν στο εργαστήριο.



Σχήμα 4. Τιμές ειδικής αντίστασης των διαφόρων χημικών ουσιών και χημικών αντιδραστηρίων ως συνάρτηση της θερμοκρασίας

# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

## ΗΦ Χαμηλής Αντίστασης

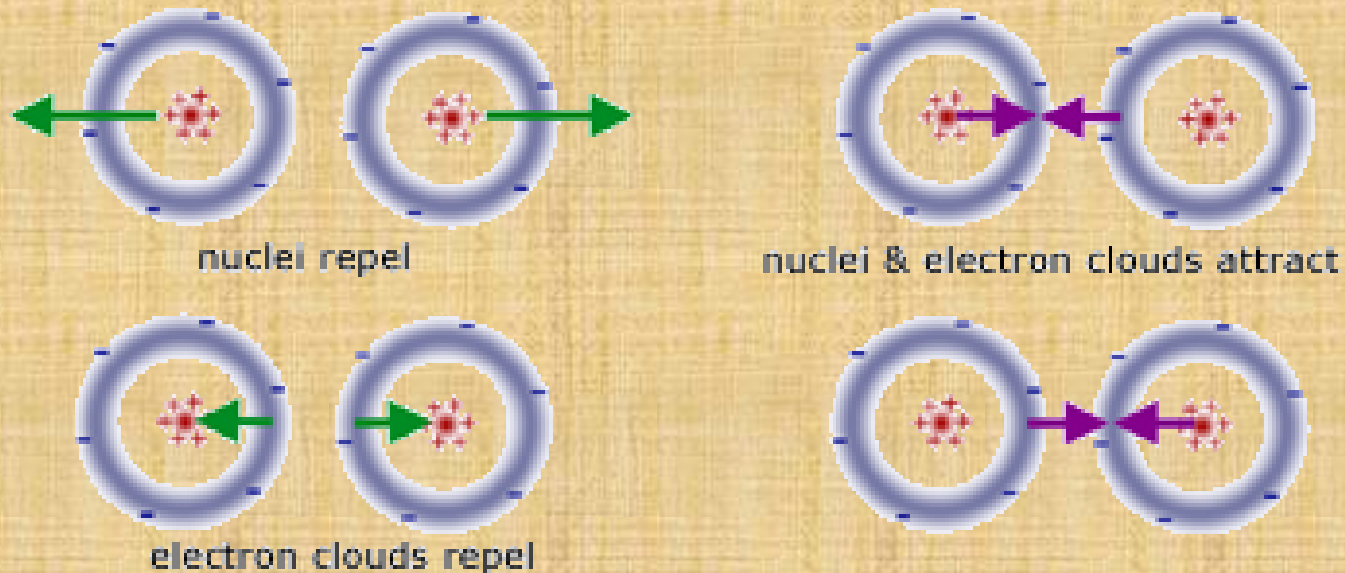
Τα σωματίδια που έχουν χαμηλή αντίσταση είναι δύσκολο να συλλεχθούν επειδή μπορούν πολύ εύκολα να φορτιστούν (εξαιρετικά αγώγιμα) αλλά και άλλο τόσο γρήγορα χάνουν το φορτίο τους κατά την άφιξή τους στο ηλεκτρόδιο συλλογής.

Τα σωματίδια παίρνουν φορτίο από το ηλεκτρόδιο συλλογής, και έτσι αναπηδούν από τις πλάκες συλλογής και τελικά συμπαρασύρονται εκ νέου στο αέριο ρεύμα.

Material	Bulk Resistivity (micro-Ω cm)
silver (Ag - thick film material fired at 850°C)	1.59
copper (Cu)	1.68
gold (Au)	2.24
aluminum (Al)	2.64
Ferro CN33-246 (Ag + low melting glass, fired at 150°C)	2.7-3.2
SMP Ag flake + precursor formulation, 250°C	4.5
molybdenum (Mo)	5.2
Tungsten (W)	5.65
zinc (Zn)	5.92
nickel (Ni)	6.84
iron (Fe)	9.71
palladium (Pd)	10.54
tin (Sn)	11
solder (Pb-Sn; 50:50)	15
Lead	20.64
Titanium nitrate (TiN transparent conductor)	20
duPont Polymer Thick Film	
5029 (state of the art Ag filled polymer, 150°C)	18-50
duPont Polymer Thick Film (Cu filled polymer)	75-300
ITO indium tin oxide (In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Sn)	100
zinc oxide (ZnO doped-undoped)	120-450
carbon (C-graphite)	1375
KIA SCC-10 (doped silver phosphate glass, 330°C soft point)	3000
ruthenium oxide RuO <sub>2</sub> type conductive oxides	5000-10,000
Bayer conductive polymer Baytron-P	1,000,000

# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Έτσι, απουσιάζουν οι ελκτικές και απωστικές ηλεκτρικές δυνάμεις με αποτέλεσμα οι δυνάμεις με τις οποίες «δεσμεύονται» τα σωματίδια στην πλάκα να είναι σημαντικά μειωμένες, κατάσταση που οδηγεί στην μείωση της ικανότητας παρακράτησης τέτοιων σωματιδίων από τα φίλτρα. Παραδείγματα τέτοιας σκόνης με χαμηλή αντίσταση είναι ο άκαυστος άνθρακας στην ιπτάμενη τέφρα και στην ιπτάμενη αιθάλη.



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Στις περιπτώσεις σωματιδίων χαμηλής αντίστασης, η προσθήκη υγρής αμμωνίας ( $\text{NH}_3$ ) εντός του ρεύματος αερίου ως «μαλακτικό» μέσο έχει βρει ευρεία χρήση τα τελευταία χρόνια. Θεωρείται ότι η αμμωνία αντιδρά με θειικό οξύ ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) το οποίο περιέχεται στα καυσαέρια.

Έτσι, σχηματίζεται θειικό αμμώνιο ( $\text{NH}_4$ )<sub>2</sub> $\text{SO}_4$ , μια ένωση που αυξάνει την συνεκτικότητα της σκόνης. Αυτή η πρόσθετη συνεκτικότητα που αναπτύσσεται, αντικαθιστά κατά ένα μεγάλο μέρος την απώλεια των ηλεκτρικών δυνάμεων έλξης.

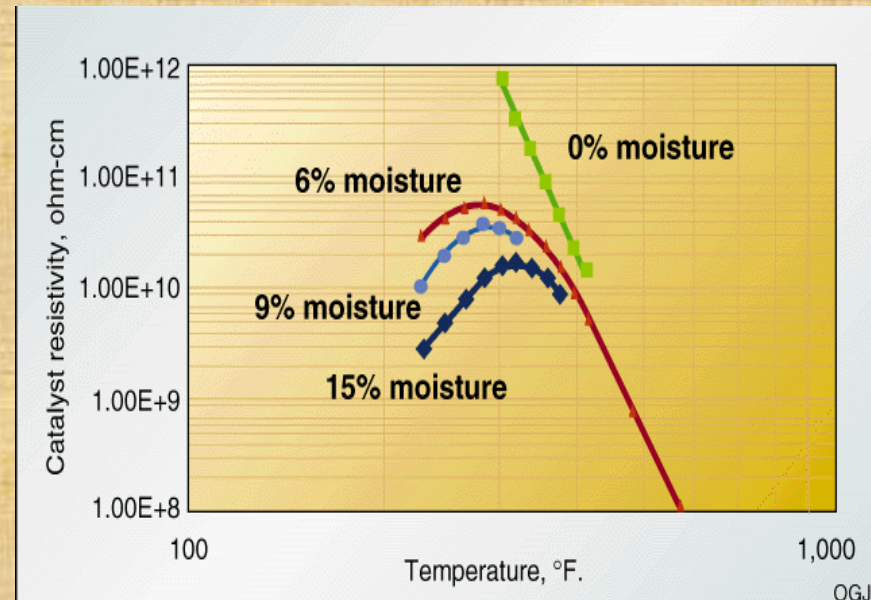




# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

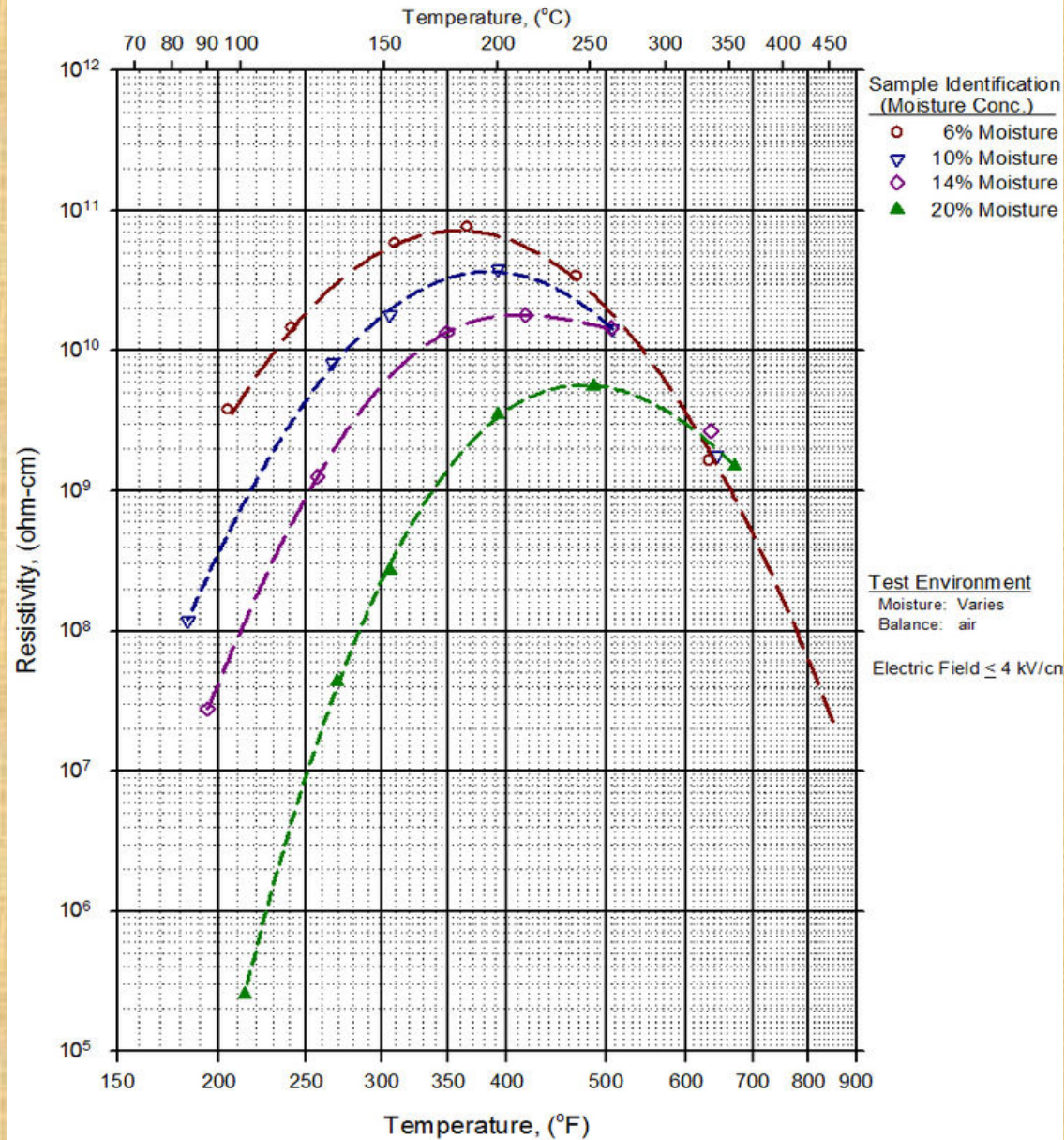
Η περιεκτικότητα σε υγρασία του ρεύματος των καυσαερίων της καπνοδόχου επηρεάζει επίσης σημαντικά την αντίσταση των αιωρούμενων σωματιδίων. Η αύξηση της περιεκτικότητας του ρεύματος των καυσαερίων σε υγρασία μπορεί να επιτευχθεί με ψεκασμό νερού ή έγχυση ατμού στους αγωγούς μεταφοράς των καυσαερίων που προηγούνται του Η/Φ. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της ηλεκτρικής αντίστασης των σωματιδίων.

Σε αμφότερη ρύθμιση της θερμοκρασίας και της υγρασίας, πρέπει να προβλεφθεί με κάποιο τρόπο να διατηρηθούν οι συνθήκες του ρεύματος αερίου πάνω από το σημείο δρόσου για την πρόληψη προβλημάτων διάβρωσης στο Η/Φ ή και στον εξοπλισμό.



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

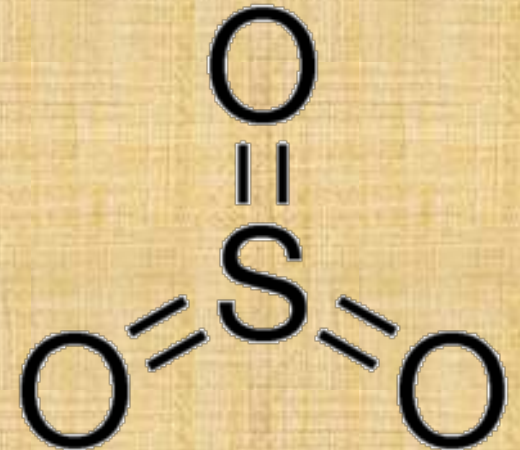
Το Σχήμα 5 δείχνει την επίδραση της θερμοκρασίας και της υγρασίας στην αντίσταση σκόνης τσιμέντου. Καθώς το ποσοστό υγρασίας στο ρεύμα του αερίου αυξάνεται από 6% έως 20%, η ειδική αντίσταση της σκόνης μειώνεται δραματικά. Επίσης, η αύξηση ή η μείωση της θερμοκρασίας μπορεί να μειώσει την αντίσταση των σωματιδίων σκόνης τσιμέντου για όλα τα ποσοστά σχετικής υγρασίας.



Σχήμα 4. Τιμές ειδικής αντίστασης σωματιδίων σκόνης τσιμέντου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του ρεύματος αέρα.

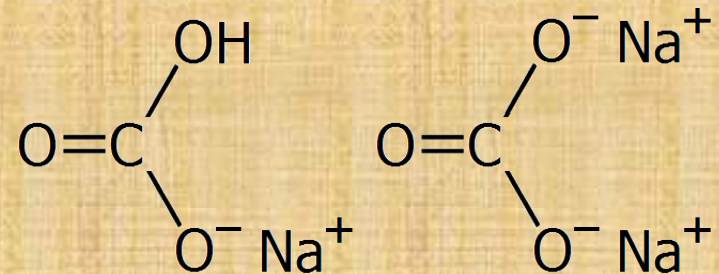
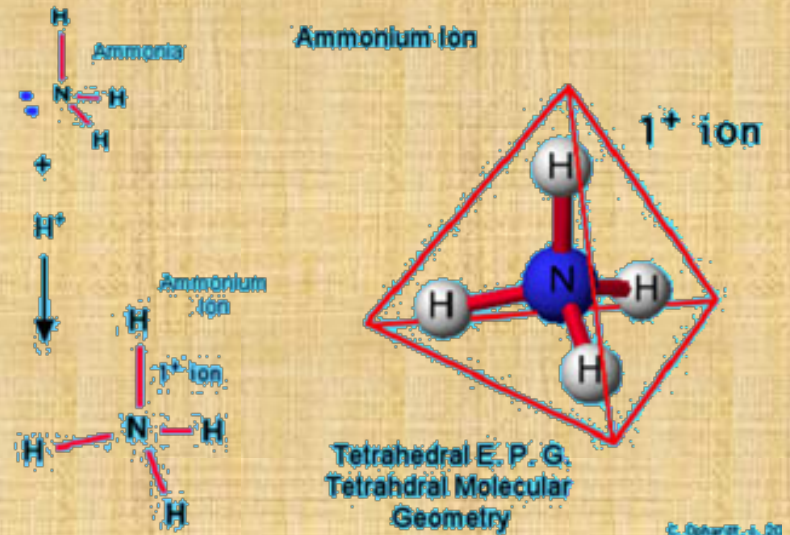
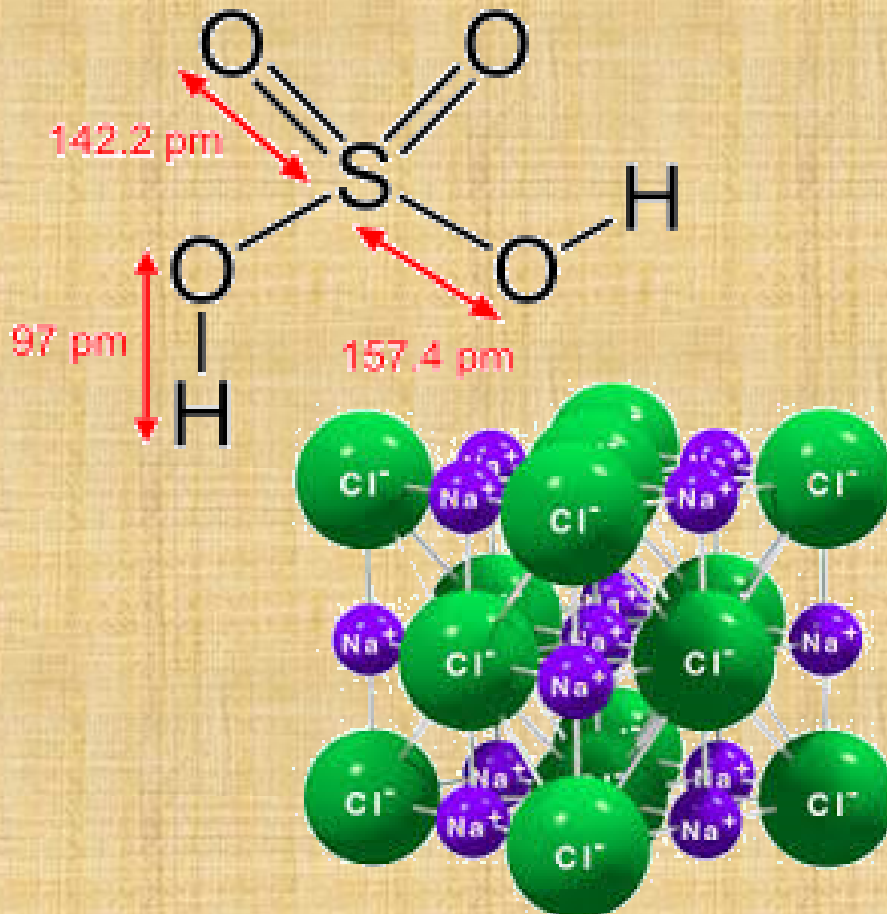
# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Η παρουσία του  $\text{SO}_3$  στο ρεύμα των καυσαερίων έχει αποδειχθεί ότι ευνοεί την ηλεκτροστατική διαδικασία καταβύθισης-καθαρισμού, όταν παρουσιάζονται προβλήματα λόγω της υψηλής αντίστασης των αιωρούμενων σωματιδίων σκόνης. Το μεγαλύτερο ποσοστό του θείου που περιέχεται στον άνθρακα, καίγεται και μετατρέπεται σε  $\text{SO}_2$ . Ωστόσο, περίπου ένα ποσοστό της τάξης του 1% του θείου μετατρέπεται σε  $\text{SO}_3$ . Η ποσότητα αυτή του  $\text{SO}_3$  στο καπναέριο συνήθως αυξάνει με την αύξηση της περιεκτικότητας σε θείο του άνθρακα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η ειδική αντίσταση των σωματιδίων να μειώνεται.



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Άλλοι χημικές ενώσεις, όπως η ύπαρξη θειικού οξέος, αμμωνίας, χλωριούχου νατρίου, και ανθρακικού νατρίου, έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για τη μείωση της αντίστασης των σωματιδίων. Ως εκ τούτου, η χημική σύνθεση του ρεύματος των καυσαερίων είναι σημαντική σε σχέση με την αντίσταση των σωματιδίων που πρόκειται να συλληθούν στο Η/Φ και να απομακρυνθούν από το ρεύμα των καυσαερίων. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει διάφορους τέτοιους παράγοντες και τους μηχανισμούς λειτουργίας τους.



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Παράγοντας	Μηχανισμός λειτουργίας
Τριοξείδιο θείου ή / και θειικό οξύ	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Συμπύκνωση και προσρόφηση πάνω στην επιφάνεια της ιπτάμενης τέφρας.</li><li>2. Αυξάνουν επίσης τη συνοχή της ιπτάμενης τέφρας.</li><li>3. Η παρουσία τους μειώνει την αντίσταση των αιωρούμενων σωματιδίων στην τέφρα.</li></ol>
Αμμωνία	<p>Ο ακριβής μηχανισμός δεν είναι σαφής. Διάφορες λειτουργίες προτείνονται.</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Τροποποιεί την αντίσταση.</li><li>2. Αυξάνουν τη συνοχή της ιπτάμενης τέφρας.</li><li>3. Ενισχύει την επίδραση του φαινομένου του φορτίου χώρου.</li></ol>
Θειικό αμμώνιο	<p>Λίγα είναι γνωστά για το μηχανισμό του. Υπάρχουν διάφοροι ισχυρισμοί ότι:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Τροποποιεί την αντίσταση (εξαρτάται από τη θερμοκρασία).</li><li>2. Αυξάνει τη συνοχή της ιπτάμενης τέφρας.</li><li>3. Ενισχύει την επίδραση του φαινομένου του φορτίου χώρου.</li><li>4. Λείπουν πειραματικά δεδομένα για να τεκμηριώσει ποια από αυτές είναι η κυρίαρχη.</li></ol>
Τριαιθυλαμίνη	Πιθανή συσσωμάτωση των σωματιδίων χωρίς όμως να υπάρχουν αποδεικτικά στοιχεία.
Ενώσεις του νατρίου	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Αποτελούν ένα φυσικό μαλακτικό αν προστεθούν με τον άνθρακα.</li><li>2. Η ειδική αντίσταση τροποποιείται αν η ουσία εγχυθεί στην κυκλοφορία του αερίου.</li></ol>
Ενώσεις μετάλλων μετάπτωσης	Υποτίθεται ότι καταλύουν την οξειδωση του $SO_2$ προς $SO_3$ . Καμία όμως δοκιμή με ιπτάμενη τέφρα δεν έχει αποδείξει την αποτελεσματικότητα αυτής της λειτουργίας.
Θειικού καλίου και χλωριούχου νατρίου	<p>Σε Η/Φ κλιβάνων τσιμέντου και άσβεστου.</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Τροποποιούν τις αντίστασης των αιωρούμενων σωματιδίων στο ρεύμα του αερίου.</li><li>2. <math>NaCl</math>. Λειτουργεί ως ένα φυσικό βελτιωτικό όταν αναμιγνύεται με άνθρακα.</li></ol>

# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

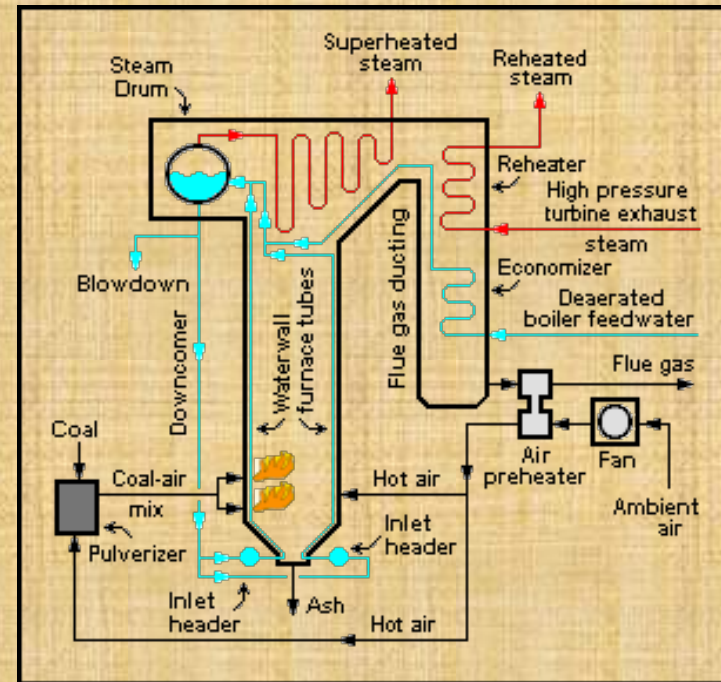
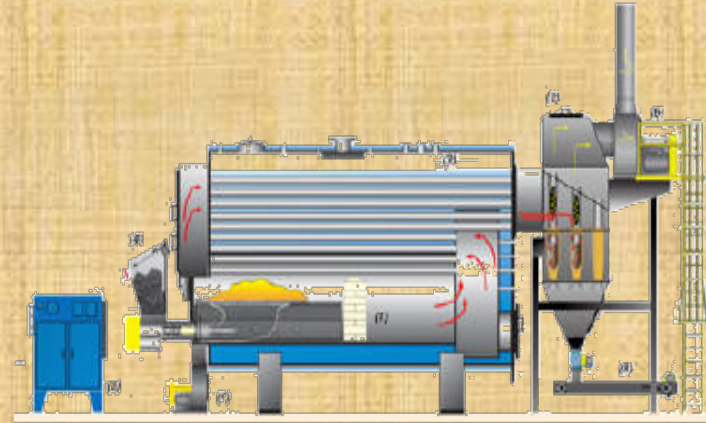
## Σύγχρονα βιομηχανικά φίλτρα ηλεκτροστατικής καθίζησης (Η/Φ)

Τα σύγχρονα βιομηχανικά ηλεκτροστατικά φίλτρα καθίζησης (Η/Φ) φαίνεται να αποτελούν άριστες συσκευές για τον έλεγχο πολλών βιομηχανικών εκπομπών σωματιδίων, συμπεριλαμβανομένου και του καπνού από επιχειρήσεις κοινής ωφελείας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (καύση άνθρακα και πετρελαίου). Επίσης, για τη συλλογή κέικ αλατιού λέβητες αναπλήρωσης υγρού στη βιομηχανία χαρτοπολτού, καθώς και τη συλλογή προϊόντων κατάλυσης από μονάδες καταλυτικής πυρόλυσης ρευστοποιημένης κλίνης σε λάδι διυλιστηρίων.



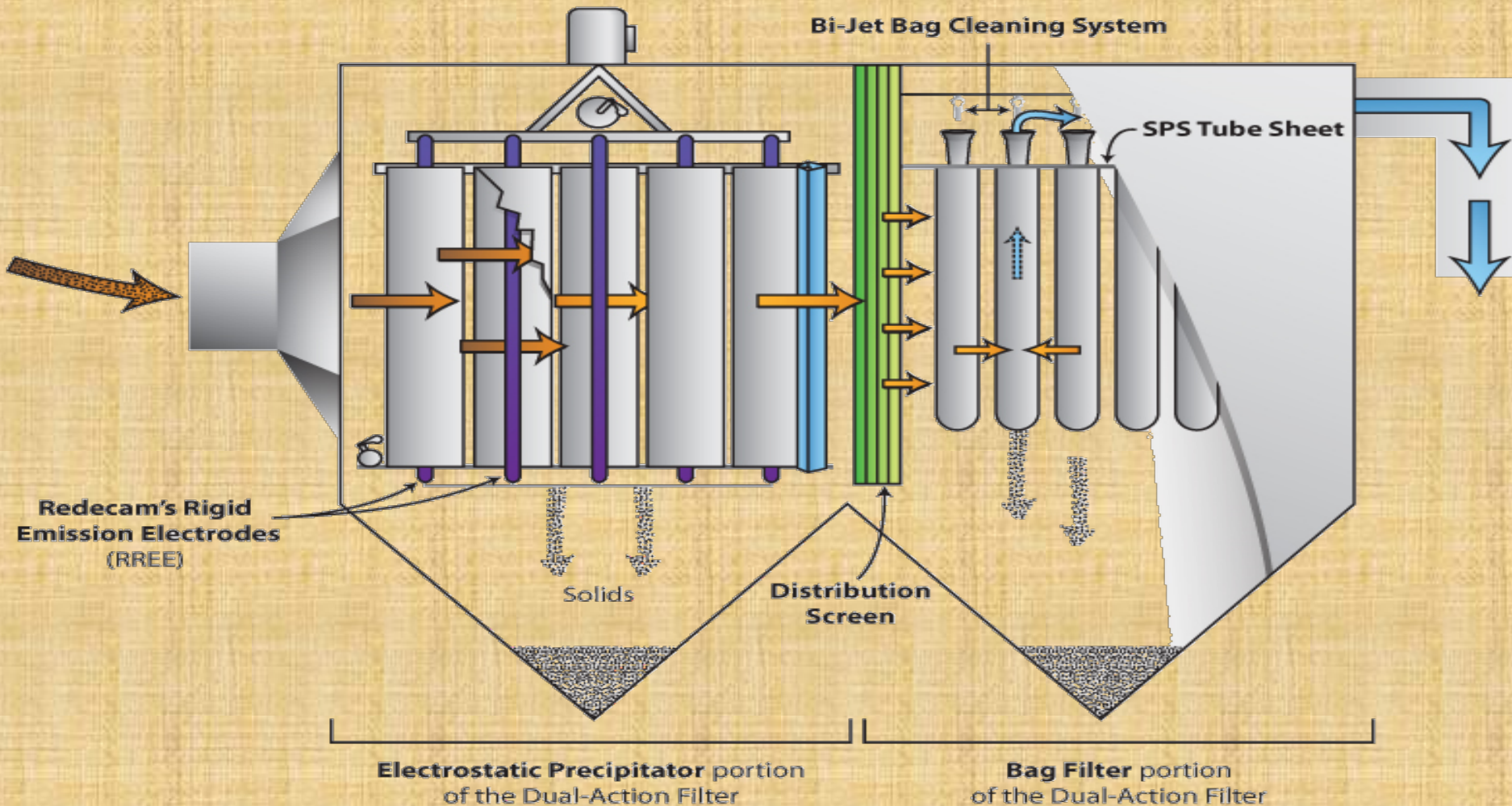
# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Οι μοντέρνες βιομηχανικές διατάξεις Η/Φ είναι σήμερα σε θέση να αντιμετωπίζουν μεγάλες ποσότητες φυσικού αερίου από αρκετές εκατοντάδες χιλιάδες ACFM (Actual cubic feet per minute) έως και 2,5 εκατομμύρια ACFM ( $1.180\text{m}^3/\text{s}$ ) σε μεγαλύτερες εφαρμογές με καύση άνθρακα. Για ένα λέβητα-καυστήρα άνθρακα, η συλλογή πραγματοποιείται συνήθως κατόπιν του προθερμαντήρα αέρα, στους  $160^\circ\text{C}$  ( $320^\circ\text{F}$ ) περίπου. Αυτό δημιουργεί τις κατάλληλες εκείνες συνθήκες για τη βέλτιστη αντίσταση των σωματιδίων του άνθρακα και της τέφρας. Για ορισμένες δύσκολες εφαρμογές με καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο έχουν κατασκευαστεί και λειτουργούν μονάδες υψηλής θερμότητας που λειτουργούν σε θερμοκρασίες άνω των  $370^\circ\text{C}$  ( $698^\circ\text{F}$ ).



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Τέλος, οι σύγχρονες βιομηχανικές διατάξεις Η/Φ είναι σήμερα εφοδιασμένες με ένα μεγάλο πλήθος συστημάτων αυτοματισμού που βοηθούν στην απρόσκοπτη λειτουργία τους, αλλά ταυτόχρονα και στην αποφυγή ζημιών και καταστροφικών καταστάσεων, αυξάνοντας έτσι τη συνεχή λειτουργία των Η/Φ για χρόνια.

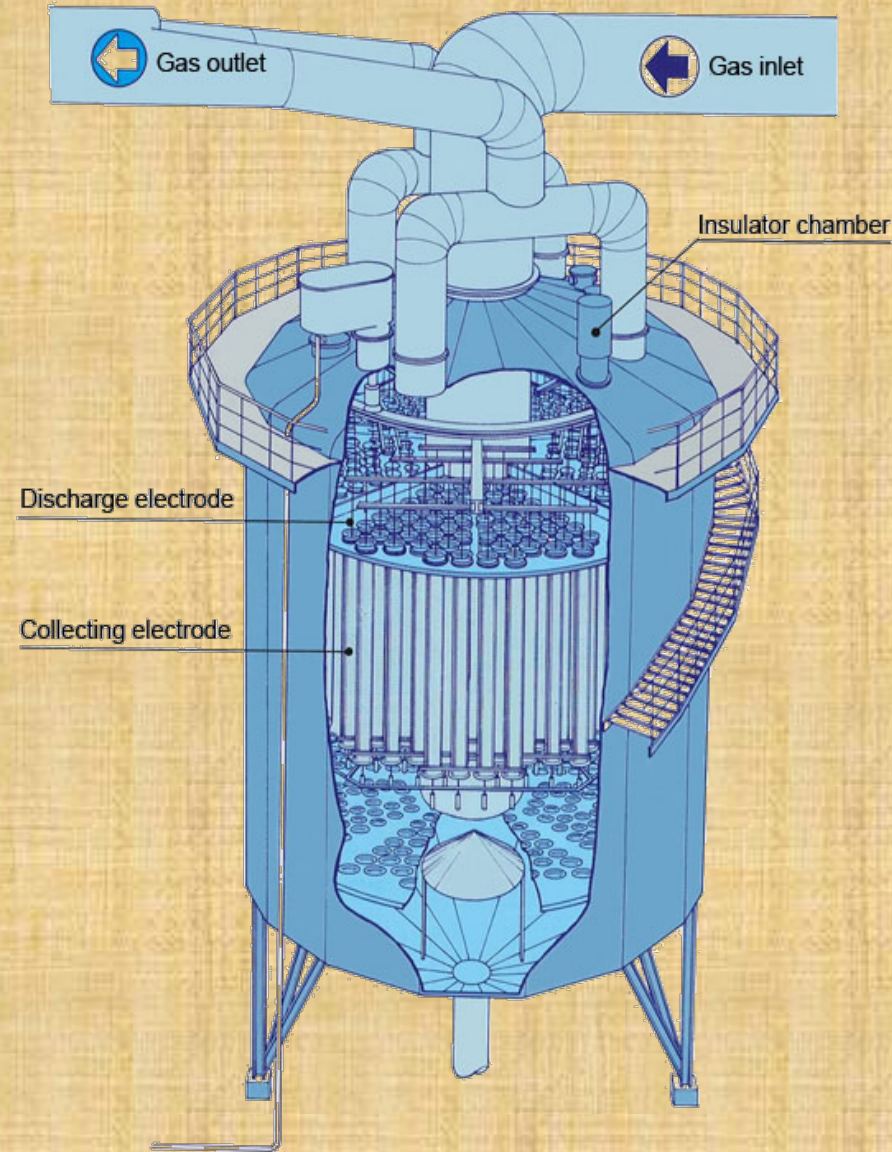


# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

## Υγροί Ηλεκτροστατικοί Κατακρημνιστές- Υγρά Η/Φ

Ένας υγρός ηλεκτροστατικός κατακρημνιστής (υγρό Η/Φ) λειτουργεί με ρεύματα αέρα που είναι κορεσμένα σε υδρατμούς (100% σχετική υγρασία).

Τα υγρά Η/Φ χρησιμοποιούνται συνήθως για την αφαίρεση και καθαρισμό από σταγονίδια υγρού, όπως ομίχλη θειικού οξέος σε ρεύματα αερίου που είναι προϊόν βιομηχανικής διαδικασίας και παραγωγής. Επίσης, τα υγρά Η/Φ συνήθως χρησιμοποιούνται όταν τα καυσαέρια της βιομηχανίας παρουσιάζουν υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, περιέχουν εύφλεκτα σωματίδια, ή έχουν σωματίδια με έντονα κολλώδη χαρακτήρα.



# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

## Flow Description

1 The saturated process exhaust stream containing solid and/or liquid droplets is directed into the Down-Flow WESP section.

2 A fine mist of water or clean process fluid is introduced into the air stream.

3 Upon entering the Down-Flow stage, the solid particles and liquid droplets are being charged by negative ions. The negatively charged particles and droplets are attracted to positively charged tube walls.

4 The gas and fluid mixture drains to the sump, below the Up-Flow WESP section.

5 The perforated plate above the sump provides gas distribution and mist elimination for large droplets. The process of charging and collecting in the Up-Flow is similar to the Down-Flow, except the droplets of mist are sliding down the tubes into the sump for collection.

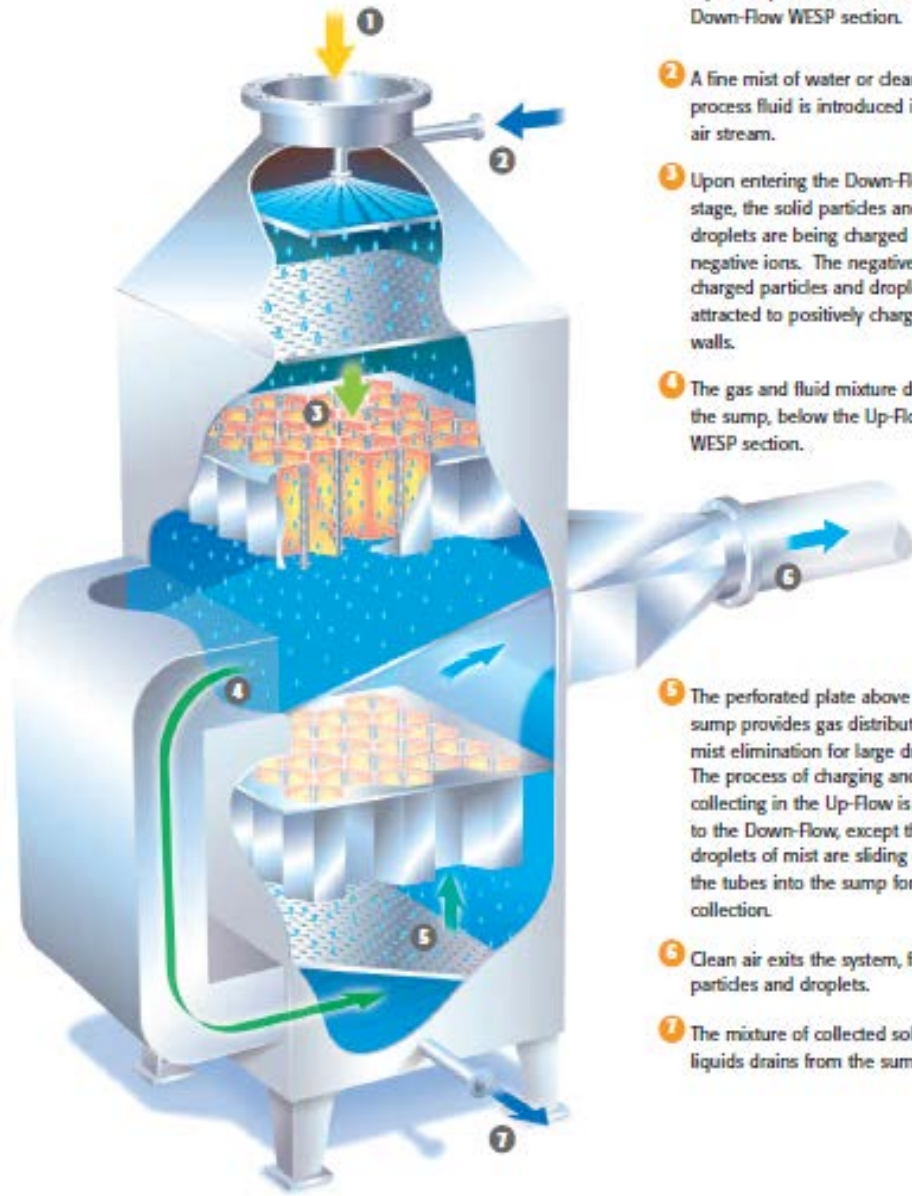
6 Clean air exits the system, free of particles and droplets.

7 The mixture of collected solids and liquids drains from the sump.

Το πλέον χρησιμοποιούμενο και πιο σύγχρονο είδος υγρού Η/Φ είναι ένα Η/Φ με σχεδιασμό σωληνοειδούς κατωρεύματος.

Αυτή η σχεδίαση επιτρέπει να συλλέγεται η υγρασία εύκολα και μαζί με τα αιωρούμενα σωματίδια να σχηματίζει έναν κινούμενο πολτό. Αυτός ο πολτός βοηθά να κρατηθούν οι επιφάνειες συλλογής καθαρές.

Υγρά Η/Φ σχεδιασμού πλάκας με προς τα άνω ροή δεν είναι πολύ αξιόπιστα και δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου στα καυσαέρια υπάρχουν σωματίδια με κολλώδη φύση.



# 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	Υψικάμινοι 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 κωκ.
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

## 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

## ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ

Το κόστος συντήρησης ενός Η/Φ επηρεάζεται από το μέγεθος του, τις απαιτήσεις απόδοσης και τις παραμέτρους σχεδίασής του. Από μια έκθεση για τα κόστη των Η/Φ 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.



# 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/qlnburn.pdf>.
9. Μπεργελές Γ, 2006, "Πηγές, Διασπορά και Έλεγχος Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης". Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π. ISBN: 960-254-660-3

# Βιβλιογραφία

10. 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.
11. IUPAC, *Compendium of Chemical Terminology*, 2nd ed. (the "Gold Book") (1997). Online corrected version: (2006–) "electrostatic precipitator".
12. Ali Farnoud "Electrostatic Removal of Diesel Particulate Matter", ProQuest, 2008 ISBN 0549508163, p. 23
13. "Chronicle". GEA Bischoff. Retrieved 25 January 2014.
14. Johnson, F. W. (1937). "Adsorbed Moisture Film on the Surface of Glazed Porcelain". *Phil. Mag.* **24**: 797.
15. Davidson, J. H.; McKinney, P. J. (1998). *Chemical vapor deposition in the corona discharge of electrostatic air cleaners. Aerosol Science and Technology* **29** (2). pp. 102-110. doi:10.1080/02786829808965555.
10. "Your Furnace Filter: What A Furnace Filter Can Do For You". Canada Mortgage and Housing Corporation. Retrieved 2008-09-01.
11. "Plug-in Filter Cleans the Air." *Popular Science*, July 1954, p. 70, bottom of page.
12. Electrostatic precipitator. Wikipedia. Διαθέσιμο στο:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Electrostatic\\_precipitator](https://en.wikipedia.org/wiki/Electrostatic_precipitator)