

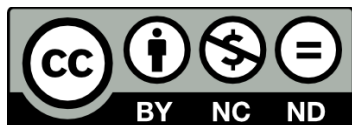


ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ενότητα 10: Ρύποι από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής
ενέργειας

Χατζηαθανασίου Βασίλειος,
Καδή Στυλιανή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ



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.



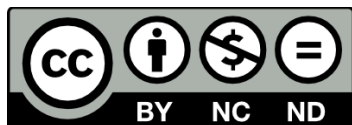
Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» 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.





Ρύποι από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Περιεχόμενα ενότητας

1. Καυσαέρια των ΣΠΗΕ
2. Ηλεκτροστατικά φίλτρα
3. Αποθείωση



Καυσαέρια που διαχέονται στην ατμόσφαιρα από Σ.Π.Η.Ε. με λέβητα που καίει συμβατικό ορυκτό καύσιμο

- CO_2 ως προϊόν καύσης του άνθρακα που περιέχεται στο καύσιμο.
- CO ως προϊόν ατελούς καύσης του άνθρακα.
- SO_2 ως προϊόν καύσης του θείου που περιέχεται στο καύσιμο.
- NO_x ως παραπροϊόν της καύσης.
- αιωρούμενα στερεά αποτελούμενα κυρίως από ιπτάμενη τέφρα αλλά και άκαυστα (εξανθρακώματα), καπνό και σκόνη.
- $\text{C}_x \text{H}_y$ ως προϊόντα ατελούς καύσης.
- H_2O το οποίο προέρχεται από την υγρασία που περιέχεται στο καύσιμο και ως προϊόν της καύσης του H_2 του καυσίμου.
- N_2 το οποίο περιέχεται στον αέρα καύσης και στο καύσιμο.
- O_2 το οποίο προκύπτει από την περίσσεια του αέρα καύσης.



Καυσαέρια που διαχέονται στην ατμόσφαιρα από Σ.Π.Η.Ε. με λέβητα που καίει συμβατικό ορυκτό καύσιμο

- Από τα καυσαέρια τα H_2O , N_2 και O_2 δεν θεωρούνται ρύποι,
 - τα $C_x H_y$ και CO είναι αμελητέα ποσοστιαία και
 - για το CO_2 δεν υπάρχει τεχνολογία κατακράτησης (μπορεί να μειωθεί μόνο με αύξηση του βαθμού απόδοσης του λέβητα).
- Έτσι οι ρύποι για τους οποίους ουσιαστικά τίθενται περιορισμοί και εγκαθίστανται συστήματα ελέγχου του είναι η ιπτάμενη τέφρα, το SO_2 και τα NO_x .



Ανώτατα όρια εκπομπής ρύπων

Ρύπος

Όρια νομοθεσίας

(mg/Nm³ ξηρών καυσαερίων)

- | | |
|-------------------|-----|
| • Σωματίδια | 50 |
| • NO _x | 50 |
| • SO ₂ | 400 |



Ιπτάμενη Τέφρα (1/3)

- Με τον όρο *ιπτάμενη τέφρα* ονομάζουμε την τέφρα που παρασύρεται από τα καυσαέρια. Εμφανίζεται κύρια στους Σ.Π.Η.Ε. των οποίων λέβητες καίνε κονιοποιημένα στερεά καύσιμα, αποτελεί δε σοβαρή πηγή ρύπανσης.



Ιπτάμενη Τέφρα (2/3)

- Ποσοστό τέφρας σε φυσικό δείγμα λιγνίτη: 12 – 20%.
- Ποσοστό υγρής τέφρας: 10% περίπου (δεν καίγεται και πέφτει στην τεφρολεκάνη απ' όπου απομακρύνεται με ταινιόδρομους στα σιλό υγρής τέφρας).
- Ποσοστό 5-10% εξαχνείται.
- Ποσοστό 80-85% αποτελεί τη λεγόμενη ιπτάμενη τέφρα.
- Η καύση κονιοποιημένου λιγνίτη δίνει περιεκτικότητα καυσαερίων σε τέφρα μεταξύ 15 και 30 gr/m³ (ανάλογα με την ποιότητα και την σύνθεση του καυσίμου), ενώ η αποδεκτή περιεκτικότητα είναι περίπου 0.1 ως 0.3 gr/m³.



Ιπτάμενη Τέφρα (3/3)

- Για την παρακολούθηση της εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων από τις καμινάδες των Σ.Π.Η.Ε. τοποθετούνται συσκευές συνεχούς καταγραφής, που η λειτουργία τους στηρίζεται σε:
 - α. απορρόφηση ακτίνων.
 - β. εξασθένηση του φωτός.
 - γ. διάχυση του φωτός.
- Η πιο διαδεδομένη συσκευή στις Μονάδες της ΔΕΗ είναι αυτή που βασίζεται στην απορρόφηση δέσμης φωτός που διέρχεται από τα καυσαέρια. Έτσι γίνεται η εκτίμηση της διαύγειας των καυσαερίων (opacity) και κατ' επέκταση η εκτίμηση της συγκέντρωσης των σωματιδίων.



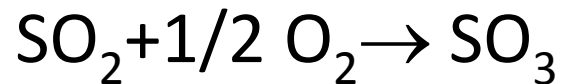
Μεγέθη σωματιδίων

<i>Σωματίδιο</i>	<i>Μέγεθος, μm</i>	<i>Σωματίδιο</i>	<i>Μέγεθος, μm</i>
Σκόνη	Πάνω από 1	Καπνός τσιγάρου	0.01-1
Ομίχλη	Κάτω από 10	Καπνός πετρελαίου	0.03-1
Υγρά σπρέι	Πάνω από 10	Σκόνη κάρβουνου	1-100
Αιθαλομίχλη	Κάτω από 2	Ιπτάμενη τέφρα	1-200
Βροχή	500-10.000	Κονιοποιημένος άνθρακας	1-500



Διοξείδιο του θείου

- Το SO_2 είναι ο πιο επικίνδυνος ρύπος και έχει συνδεθεί με το φαινόμενο της όξινης βροχής.
- Το ποσοστό θείου που περιέχεται στους ελληνικούς λιγνίτες κυμαίνεται από 0.5% μέχρι 1.5%.
- Η αντίδραση σχηματισμού του SO_2 είναι $\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$, ενώ στην περιοχή της φλόγας σχηματίζεται SO_3 σύμφωνα με την αντίδραση:



Οξειδία του αζώτου (1/3)

- Τα NO_x σχηματίζονται κατά την καύση στη φλόγα και στις γύρω περιοχές υψηλών θερμοκρασιών με οξείδωση των μορίων του αζώτου του αέρα καύσης και του καυσίμου.



Οξειδία του αζώτου (2/3)

- Τα οξειδία του αζώτου διακρίνονται σε:
 - *θερμικά NO_x* : προϊόν της καύσης του περιεχόμενου στον αέρα N_2 , σε θερμοκρασίες πάνω από $1300\text{ }^\circ\text{C}$.
 - *NO_x καυσίμου*: προϊόν της οξείδωσης αζωτούχων συστατικών του καυσίμου.
 - *NO_x άμεσο*: προϊόν της αντίδρασης υδρογονανθράκων $C_x H_y$ με ατομικό O_2 και μοριακό N_2 .



Οξειδία του αζώτου (3/3)

- Ένας λέβητας καύσης λιγνίτη εκπέμπει περίπου 95% NO και 5% NO₂. Το NO στα καυσαέρια είναι περίπου κατά 60 – 80% NO καυσίμου, ενώ το υπόλοιπο θερμικό.



Ηλεκτροστατικά (Η/Σ) φίλτρα (1/7)

- Επιτυγχάνουν την ηλεκτροστατική κατακράτηση των στερεών σωματιδίων.
- Αποτελούνται από παράλληλους διαδρόμους κατασκευασμένους από μεταλλικές πλάκες (ηλεκτρόδια συλλογής) στο ενδιάμεσο των οποίων είναι τοποθετημένοι μεταλλικοί σκελετοί με σύρματα (ηλεκτρόδια εκπομπής). Μέσα από κάθε διάδρομο διέρχονται τα καυσαέρια με τα αιωρούμενα σωματίδια (ιπτάμενη τέφρα).



Ηλεκτροστατικά (Η/Σ) φίλτρα (2/7)



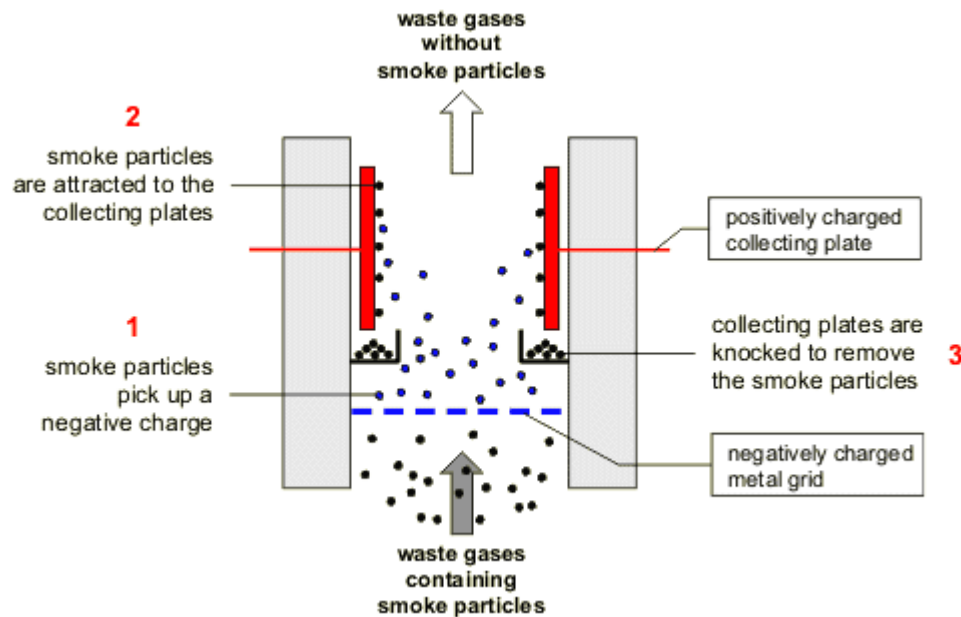
Εικόνα 1: Ηλεκτροστατικό φίλτρο

ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ



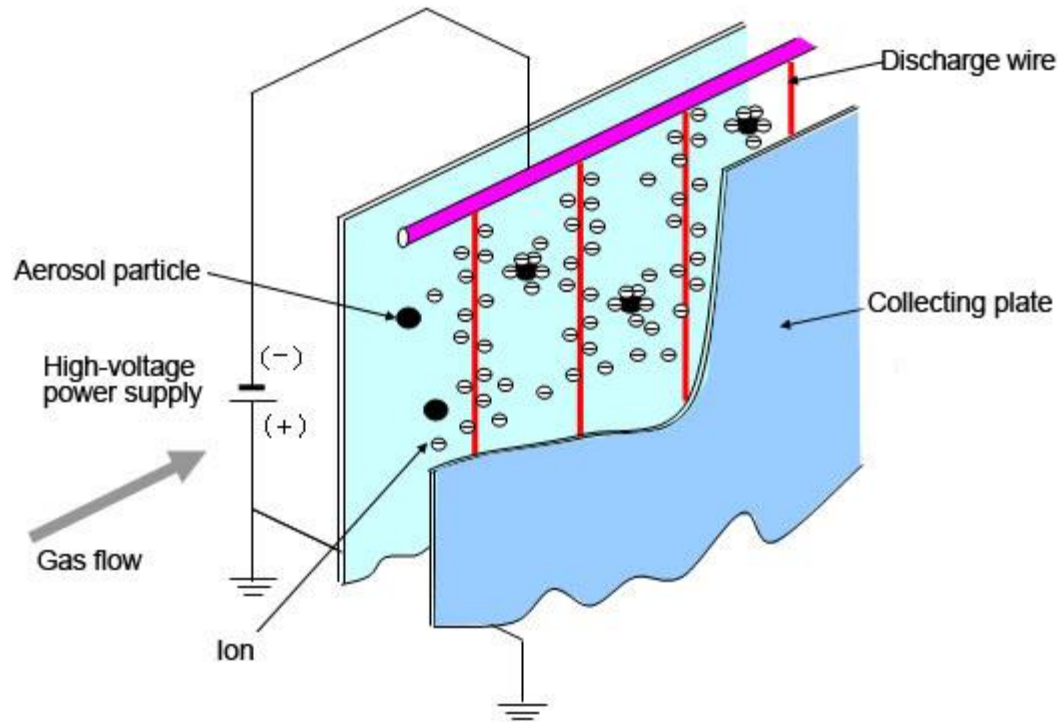
Ηλεκτροστατικά (Η/Σ) φίλτρα (3/7)



Εικόνα 2: Διάγραμμα ηλεκτροστατικού φίλτρου



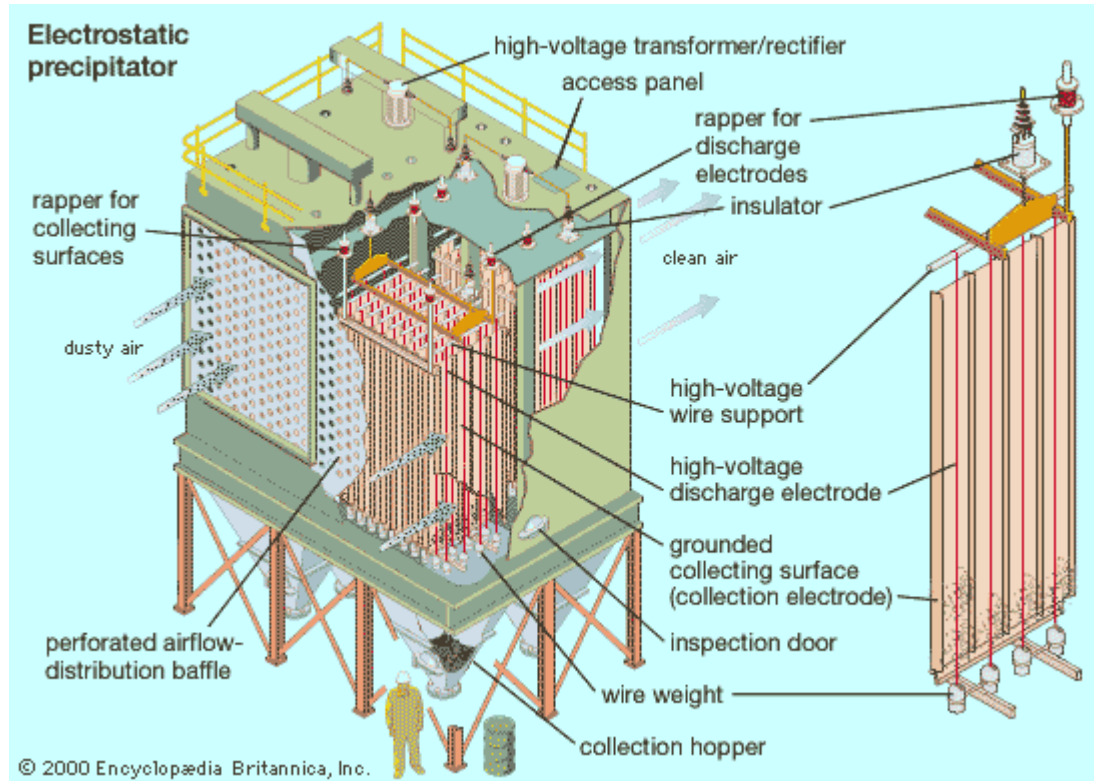
Ηλεκτροστατικά (Η/Σ) φίλτρα (4/7)



Εικόνα 3: Διάγραμμα λειτουργίας ηλεκτροστατικού φίλτρου



Ηλεκτροστατικά (Η/Σ) φίλτρα (5/7)



Εικόνα 4: Λεπτομερές διάγραμμα ηλεκτροστατικού φίλτρου



Ηλεκτροστατικά (H/Σ) φίλτρα (6/7)

Ταχύτητα όδευσης σωματιδίου διαμέτρου d :

$$V_m = \frac{2.95 \times 10^{-12} \rho (E/s)^2 d}{\mu_g}$$

όπου:

V_m : η ταχύτητα όδευσης, m/s

ρ : μια συνάρτηση της διηλεκτρικής σταθεράς που κυμαίνεται μεταξύ 1.50 και 2.40 για πολλούς τύπους σκόνης και με μέση τιμή 2.0

E : η τάση, V

S : η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων εκπομπής και συλλογής, m

d : η διάμετρος του σωματιδίου, m

μ_g : το ιξώδες του καυσαερίου, kg/(m.s)



Ηλεκτροστατικά (H/Σ) φίλτρα (7/7)

- Απαιτούμενο μήκος του φίλτρου για την απομάκρυνση των σωματιδίων:

$$L \geq s \frac{V_g}{V_m}$$

- όπου:

L : το μήκος του φίλτρου, m

V_g : η ταχύτητα του καυσαερίου, m/s



Αποδοτικότητα συλλογής φίλτρων (1/3)

- *Συνολική αποδοτικότητα συλλογής η_o .*

$$\eta_o = \frac{\text{μάζα ή συγκέντρωση όλων των σωματιδίων που συγκρατούνται από το φίλτρο}}{\text{μάζα ή συγκέντρωση όλων των σωματιδίων που εισέρχονται στο φίλτρο}}$$



Αποδοτικότητα συλλογής φίλτρων (2/3)

- *Μερική αποδοτικότητα συλλογής* n_d :

$$n_d = \frac{\text{μάζα ή συγκέντρωση σωματιδίων δεδομένου μεγέθους που συγκρατούνται από το φίλτρο}}{\text{μάζα ή συγκέντρωση σωματιδίων του ίδιου μεγέθους που εισέρχονται στο φίλτρο}}$$



Αποδοτικότητα συλλογής φίλτρων (3/3)

- *Μερική αποδοτικότητα συλλογής n_d : εξίσωση Deutsch:*

$$n_d = 1 - e^{-(AV_m/\dot{Q})}$$

- όπου:

A : το εμβαδόν της επιφάνειας των ηλεκτροδίων συλλογής, m^2

V_m : η ταχύτητα όδευσης, m/s

\dot{Q} : ογκομετρική παροχή καυσαερίων για κάθε διάδρομο, m^3/s



Παράμετροι σωστής λειτουργίας των φίλτρων

- Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των πεδίων.
- Η ρύθμιση και η σωστή λειτουργία των σφυριών κρούσης, των ηλεκτροδίων συλλογής και των ηλεκτροδίων εκπομπής.
- Η σωστή λειτουργία του συστήματος αποκομιδής τέφρας από τις χοάνες των Η/Σ φίλτρων στις οποίες αποθηκεύεται η τέφρα μέχρι τα σιλό ιπτάμενης τέφρας.
- Η σωστή συντήρηση του εξοπλισμού ώστε να έχει την απαιτούμενη διαθεσιμότητα και αξιοπιστία.



Κατασκευαστικά και λειτουργικά δεδομένα Η/Σ φίλτρου μονάδας ισχύος 300 MW

Κατασκευαστικά	
Αριθμός οχετών καυσαερίων:	2
Αριθμός ενεργών πεδίων στη ροή των καυσαερίων	4
Αριθμός μετασηματιστών – ανορθωτών (60 kV - 2000 A)	8
Μήκος πεδίου (m)	3,75
Ύψος πεδίου (m)	13,5
Πλάτος πεδίου (m)	11,4
Όγκος φίλτρου (m ³)	4617
Απόσταση μεταξύ πλακών συλλογής (mm)	300
Επιφάνεια συλλογής πλακών (m ²)	31514
Λειτουργικά (με όλα τα πεδία σε λειτουργία)	
Μέση θερμοκρασία καυσαερίων (°C)	150
Ποσότητα τέφρας στην είσοδο (t/h)	41,73
Ποσότητα τέφρας στην έξοδο (kg/h)	41,73
Ποσότητα τέφρας στις χοάνες (t/h)	41,688
Βαθμός απόδοσης (%)	99,9
Ταχύτητα καυσαερίων (m/s)	1,291
Κατανάλωση ισχύος (kW)	690



Διαχείριση τέφρας



Εικόνα 5: Σύστημα διαχείρισης τέφρας



Αποθείωση (1/2)

- Η αποθείωση στις εγκαταστάσεις ισχύος μπορεί να εφαρμοστεί σε τρεις φάσεις:
 - αποθείωση καυσίμου πριν από την καύση.
 - αποθείωση κατά την διάρκεια της καύσης.
 - αποθείωση των καυσαερίων.
- Η περισσότερο διαδεδομένη είναι αυτή της αποθείωσης των καυσαερίων.



Αποθείωση (2/2)

- Οι διαδικασίες αποθείωσης των καυσαερίων γενικά διαιρούνται:
 - σε υγρές (πιο αποδοτικές) και
 - ξηρές (πιο οικονομικές).
- Οι υγρές διαδικασίες (συνήθως αναφέρονται σε διαδικασίες πλύσης) μπορούν επιπλέον να διαιρεθούν σε διαδικασίες μιας χρήσης ή σε διαδικασίες ανάκτησης.
- Η πιο συνηθισμένη μέθοδος (χρησιμοποιείται περίπου στο 90% των εγκαταστάσεων ισχύος που έχουν συστήματα απομάκρυνσης SO₂ για την αποθείωση των καυσαερίων) είναι η διαδικασία πλύσης -μιας χρήσης- ασβέστου/ασβεστολίθου.



Έλεγχος εκπομπών NO_x

- Η μείωση των εκπεμπόμενων NO_x μπορεί να γίνει σε δυο κατευθύνσεις:
 - στην κατεύθυνση της αποφυγής δημιουργίας NO_x (πρωτογενείς διεργασίες).
 - στην κατεύθυνση της εκ των υστέρων δέσμευσή τους και στην αναγωγή τους (δευτερογενείς διεργασίες).

Η χρήση ειδικών καυστήρων είναι σήμερα η πιο αποτελεσματική δυνατότητα μείωσης των NO_x.



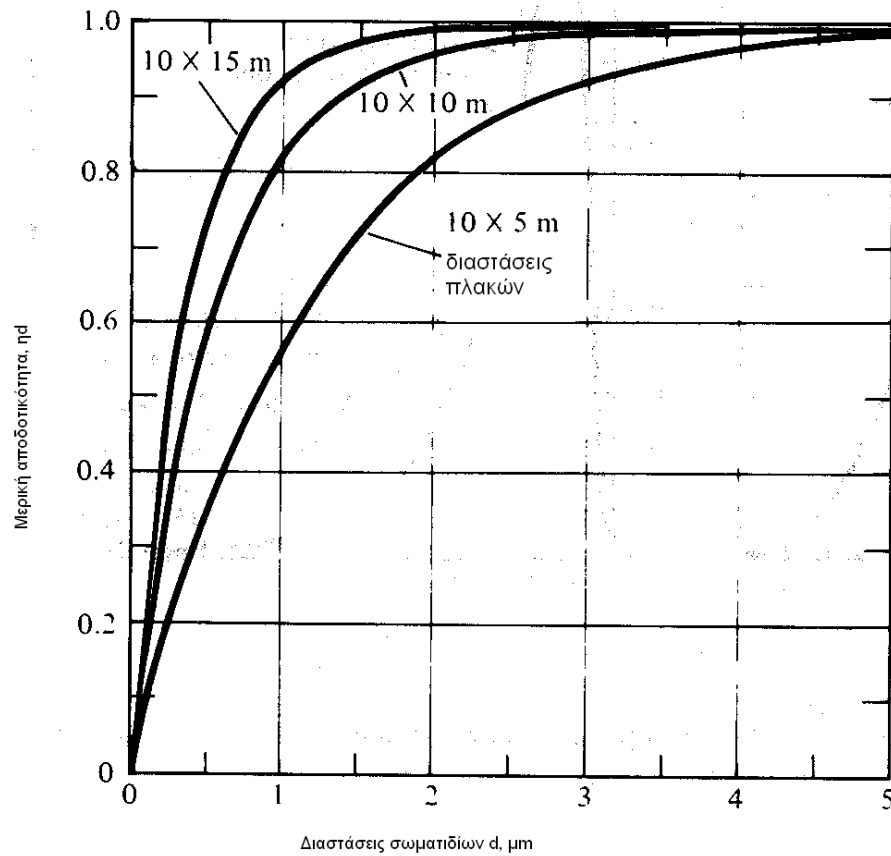
Παράδειγμα (1/2)

Να σχεδιασθούν η καμπύλες μερικής αποδοτικότητας (κατά την εξίσωση Deutsch) Η/Σ φίλτρου με διαστάσεις συλλεκτηρίων πλακών 10×10 m και μεταξύ τους απόσταση 25 cm. Η τάση που εφαρμόζεται είναι 50,000 V. Η μέση θερμοκρασία και ταχύτητα των καυσαερίων μεταξύ των πλακών είναι $300 \text{ }^\circ\text{C}$ και 1.5 m/s αντίστοιχα.

Να γίνει το ίδιο και για διαστάσεις πλακών 10×15 m και 10×5 m.



Παράδειγμα (2/2)



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/2)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

- Εικόνα 1:

Ηλεκτροστατικό φίλτρο : Εικόνα από αρχείο ΔΕΗ

- Εικόνα 2:

Διάγραμμα ηλεκτροστατικού φίλτρου:

http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/science/add_ocr_gateway/radiation/electrostaticsusesrev1.shtml

- Εικόνα 3:

Διάγραμμα λειτουργίας ηλεκτροστατικού φίλτρου: <http://www.hitachi-infra.com.sg/services/energy/dustcollection/principle/dustcollection.html>

- Εικόνα 4:

Λεπτομερές διάγραμμα ηλεκτροστατικού φίλτρου :

<http://ceenve3.civeng.calpoly.edu/cota/ENVE411-ESP.html>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/2)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

- Εικόνα 5:

Σύστημα διαχείρισης τέφρας:

<http://www.powerengineeringint.com/articles/print/volume-18/issue-5/features/ash-handling-why-dry-bottoms-are-better-than-wet-bottoms.html>



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Χατζηαθανασίου Βασίλειος, Καδή Στυλιανή. «ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ. Ρύποι από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://eclass.auth.gr/courses/OCRS427/>.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Σβάρνα Κωνσταντίνα
Θεσσαλονίκη, Χειμερινό εξάμηνο 2014-2015



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

