

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ ΤΩΝ
ΜΟΝΑΔΩΝ Ι ΚΑΙ ΙΙ ΤΟΥ Α.Η.Σ ΚΑΡΔΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ
ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΥΤΩΝ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Δρ. ΧΑΡΗΣ ΛΕΦΑΚΗΣ

ΣΥΝΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ

Δρ. ΤΟΥΡΛΙΔΑΚΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

Δρ. ΜΑΡΝΕΛΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΦΟΙΤΗΤΕΣ

ΑΡΕΤΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ
ΓΚΑΤΖΟΥΛΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

Α.Π.Θ. - ΤΜΗΜΑ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
Αριθμ. Εισαγ... 1367
Ημερομηνία... 12.11.04

ΚΟΖΑΝΗ 2004

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Διαδικασία κατακράτησης.....	1
1.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου.....	7
1.4 Λειτουργικοί παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου.....	8
1.4.1 Χαρακτηριστικά καυσίμου.....	8
1.4.2 Μεταβλητότητα ποικιλομορφία άνθρακα.....	8
1.4.3 Ποιότητα λιγνίτη.....	9
1.4.4 Χαρακτηριστικά ιπτάμενης τέφρας.....	10
1.4.5 Συγκέντρωση.....	10
1.4.6 Χημική σύσταση και ειδική αντίσταση της ιπτάμενης τέφρας	12
1.4.7 Κατανομή σωματιδίων.....	16
1.4.7.1 Φαινόμενο παύσης (κενό) φορτίο (περιορισμός κορώνας).....	17
1.4.7.2 Απόδοση.....	18
1.4.7.3 Φυσικές ιδιότητες.....	18
1.4.8 Συντήρηση.....	18
1.4.9 Ηλεκτρικοί έλεγχοι.....	19
1.4.10 Κατακρημνιστές (Rappers).....	20
1.4.11 Εναπόθεση τέφρας.....	20
1.4.12 Συσκευές διανομής-κατανομής των καυσαερίων.....	21
1.4.13 Λέβητας.....	23
1.4.14 Μύλοι καυσίμου (Κάρβουνου).....	23
1.4.15 Σύστημα διαχείρισης τέφρας.....	24
1.5 Κατασκευαστικοί παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου.....	24
1.5.1 Τροφοδοσία ενέργειας (Ηλεκτρική τροφοδοσία).....	25
1.5.2 Σχεδιασμός συστήματος ηλεκτροδίων.....	27
1.5.3 Ειδική επιφάνεια συλλογής.....	29
1.5.4 Σχεδιασμός / υπολογισμός ταχύτητας καυσαερίων.....	29
1.5.5 Λόγος διάστασης (Aspect Ratio-AR).....	31
1.5.6 Αριθμός πεδίων κατάντι (στην διεύθυνση) της ροής των καυσαερίων.....	33
1.5.7 Ηλεκτρική τμηματοποίηση.....	36

2.ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

2.1 Εισαγωγή.....	39
2.2 Κέλυφος-περίβλημα ηλεκτροστατικού φίλτρου.....	39
2.3 Σύστημα υψηλής τάσης.....	42
2.4 Σύστημα ελέγχου τάσης.....	44
2.5 Ηλεκτρόδια φόρτισης και σύστημα στήριξης αυτών.....	46
2.5.1 Ηλεκτρόδια με κρεμασμένα βαρίδια (Weighted wire).....	47
2.5.2 Άκαμπτο πλαίσιο (Rigid frame).....	48
2.5.3 Ελικοειδής ηλεκτρόδια (Spiral wire).....	48
2.5.4 Άκαμπτος ιστός (Rigid mast).....	48
2.5.5 Άκαμπτα ηλεκτρόδια (Rigid electrode).....	49
2.6 Μονωτήρες υψηλής τάσης, κελύφη και συστήματα στήριξης.....	56
2.7 Πλάκες-ηλεκτρόδια συλλογής και συστήματα στήριξης.....	59
2.8 Σύστημα κατακρήμνισης από τα ηλεκτρόδια συλλογής φόρτισης και συλλογής.....	63
2.8.1 Ηλεκτρομαγνητικός μόνης δράσης κατακρημνιστής.....	65
2.8.2 Εσωτερικός κατακρημνιστής σφυριών.....	65
2.8.3 Εξωτερικός κατακρημνιστής σφυριών.....	65
2.8.4 Κατακρημνιστής με ράβδο πτώσης μόνης επίδρασης.....	66
2.8.5 Ηλεκτρομαγνητικοί δονητές.....	67
2.8.6 Κατακρημνιστής μηχανικής δόνησης.....	67
2.9 Σύστημα συλλεκτών (Χοανών) τέφρας.....	67
2.10 Διάφορα άλλα εξαρτήματα.....	73
2.10.1 Διάφορα συστήματα ελέγχου.....	74
2.10.2 Σύστημα ελέγχου διαχείρισης του ηλεκτροστατικού φίλτρου...	74

3.ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

3.1 Εισαγωγή.....	75
3.2 Σχέδια και παρουσίαση των ηλεκτροστατικών φίλτρων της μονάδας I του Α.Η.Σ Καρδιάς.....	76
3.3 Στοιχεία σχεδιασμού των ηλεκτροστατικών φίλτρων.....	77
3.4 Ηλεκτροστατικός κατακρατητής.....	79
3.5 Σύστημα κατακρήμνισης.....	82
3.6 Σύστημα συλλογής.....	83
3.6.1 Εισαγωγή.....	83
3.6.2 Ηλεκτρόδια συλλογής.....	84
3.6.3 Δοκοί κατακρήμνισης.....	84
3.7 Σύστημα κατακρήμνισης.....	85
3.8 Τα ηλεκτρόδια φόρτισης.....	86
3.9 Ανάρτηση.....	87
3.10 Μηχανισμός συστήματος κατακρήμνισης.....	88

3.11 Περιγραφή του συστήματος λειτουργίας του συστήματος κατακρήμνισης.....	89
3.12 Περιγραφή μηχανισμών λειτουργίας των φίλτρων και συγκεκριμένα του συστήματος κατακρήμνισης.....	89
3.13 Περιγραφή του συστήματος λειτουργίας του μηχανισμού μετακίνησης του όλου συστήματος.....	90

4.ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

4.1 Εισαγωγή.....	94
4.2 Ειδική ηλεκτρική αντίσταση της ιπτάμενης τέφρας.....	98
4.3 Μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων.....	102
4.3.1 Εισαγωγή.....	102
4.3.2 Συλλογή δεδομένων και ανάλυση ιπτάμενης τέφρας για τον καθορισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.....	103
4.3.3 Έγχυση νερού στον αγωγό προσαγωγής των καυσαερίων στο φίλτρο.....	103
4.3.3.1 Εισαγωγή.....	106
4.3.3.2 Υπολογισμός παροχής νερού ψύξης καυσαερίων και τελικός όγκος αυτών.....	107
4.3.4 Διαστασιολόγηση συστήματος εναλλάκτη απαγωγής θερμότητας από τον αγωγό προσαγωγής των καυσαερίων στο φίλτρο.....	111
4.3.4.1 Εισαγωγή.....	111
4.3.4.2 Επιλογή της θέσης του εναλλάκτη.....	111
4.3.4.3 Θεωρητική μελέτη του εναλλάκτη.....	114
4.3.4.4 Επεξήγηση του προγράμματος που αναπτύχθηκε και ανάλυση των αποτελεσμάτων αυτού.....	117

5.ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

5.1 Εισαγωγή.....	126
5.2 Μεταβολή της σύστασης των καυσαερίων στην είσοδο του ηλεκτροστατικού φίλτρου.....	126
5.2.1 Εισαγωγή.....	128
5.2.2 Έγχυση προσθετικών που περιέχουν θείο.....	128
5.2.3 Έγχυση NH ₃	133
5.3 Εγκατάσταση ενός αναγεννητικού προθερμαντήρα, προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη μείωση της θερμοκρασίας εξαγωγής των καυσαερίων.....	136
5.3.1 Γενικά- σκοπιμότητας της επένδυσης.....	136
5.3.1.1 Υπάρχουσα κατάσταση.....	136
5.3.2 Στοιχεία της επένδυσης.....	137

5.3.2.1 Περιγραφή της επένδυσης.....	137
5.3.3 Οφέλη.....	138
5.3.3.1 Ενεργειακά.....	138
5.3.3.2 Περιβαλλοντικά.....	138
5.3.3.3 Επιπλέον οφέλη.....	139
5.3.4 Ανάλυση της κατάστασης πριν και μετά την επένδυση.....	139
5.3.4.1 Περιγραφή πριν την επένδυση.....	139
5.3.4.3 Ενεργειακή ροή στην παραγωγική διαδικασία.....	143
5.4 Αύξηση των ηλεκτρικών πεδίων κατάντι της ροής των καυσαερίων των ηλεκτροστατικών φίλτρων.....	144
5.4.1 Εισαγωγή.....	144
5.4.2 Θεωρία λειτουργίας των ηλεκτροστατικών φίλτρων.....	145

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1
ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει μια περίληψη της λειτουργίας των ηλεκτροστατικών φίλτρων (Η/Φ) καθώς επίσης και τους λειτουργικούς και σχεδιαστικούς παράγοντες που την επηρεάζουν. [1,2,3]

Ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο συλλέγει σωματιδιακούς ρύπους δια μέσου δυνάμεων, οι οποίες δρουν πάνω σε ένα ηλεκτρικά φορτισμένο σωματίδιο, το οποίο εκτίθεται σε ένα ηλεκτρικό πεδίο. Το ηλεκτρικό πεδίο δημιουργείται στο χώρο (διάκενο) μεταξύ των ηλεκτροδίων με την εφαρμογή μιας υψηλής τάσης μεταξύ των ηλεκτροδίων κορώνας και των ηλεκτροδίων συλλογής του φίλτρου. Τα ηλεκτροστατικά φίλτρα που χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρικές μονάδες παραγωγής ενέργειας αποτελούνται από διάκενα σχηματιζόμενα από κάθετες πλάκες συλλογής και ηλεκτρόδια κορώνας, τοποθετημένα στο κέντρο αυτών.

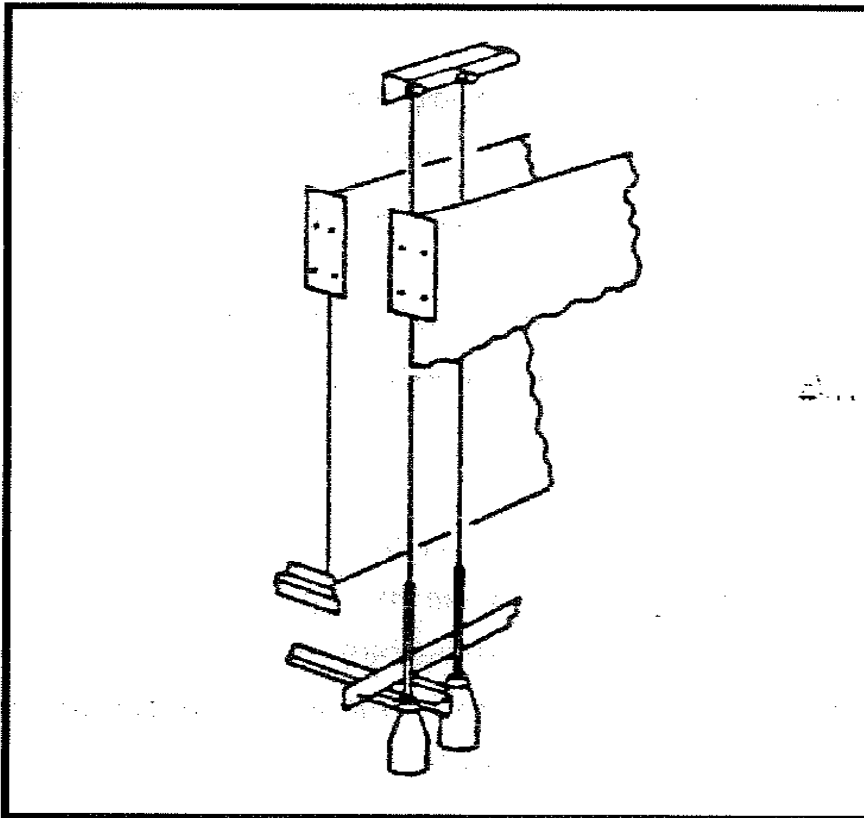
Τα ηλεκτρόδια (πλάκες) συλλογής έχουν την μορφή είτε επίπεδων είτε σχηματοποιημένων πλακών, ανάλογα με την σχεδιαστική άποψη του εκάστοτε κατασκευαστή. Η ποικιλία των ηλεκτροδίων που υπάρχει ποικίλει από απλά καλώδια έως πιο πολύπλοκες δομές, κάθε μια από τις οποίες έχει σχεδιαστεί να έχει μια μικρή ακτίνα καμπυλότητας (curvature), με σκοπό τον σχηματισμό ενός πεδίου κορώνας στον άμεσα γειτονικό χώρο (διάκενο) του ηλεκτροδίου (πλάκα) αποφόρτισης. [4]

1.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΚΡΑΤΗΣΗΣ

Τα τρία βασικά στάδια που απαιτούνται για την επιτυχή κατακράτηση των σωματιδιακών ρύπων είναι τα εξής :

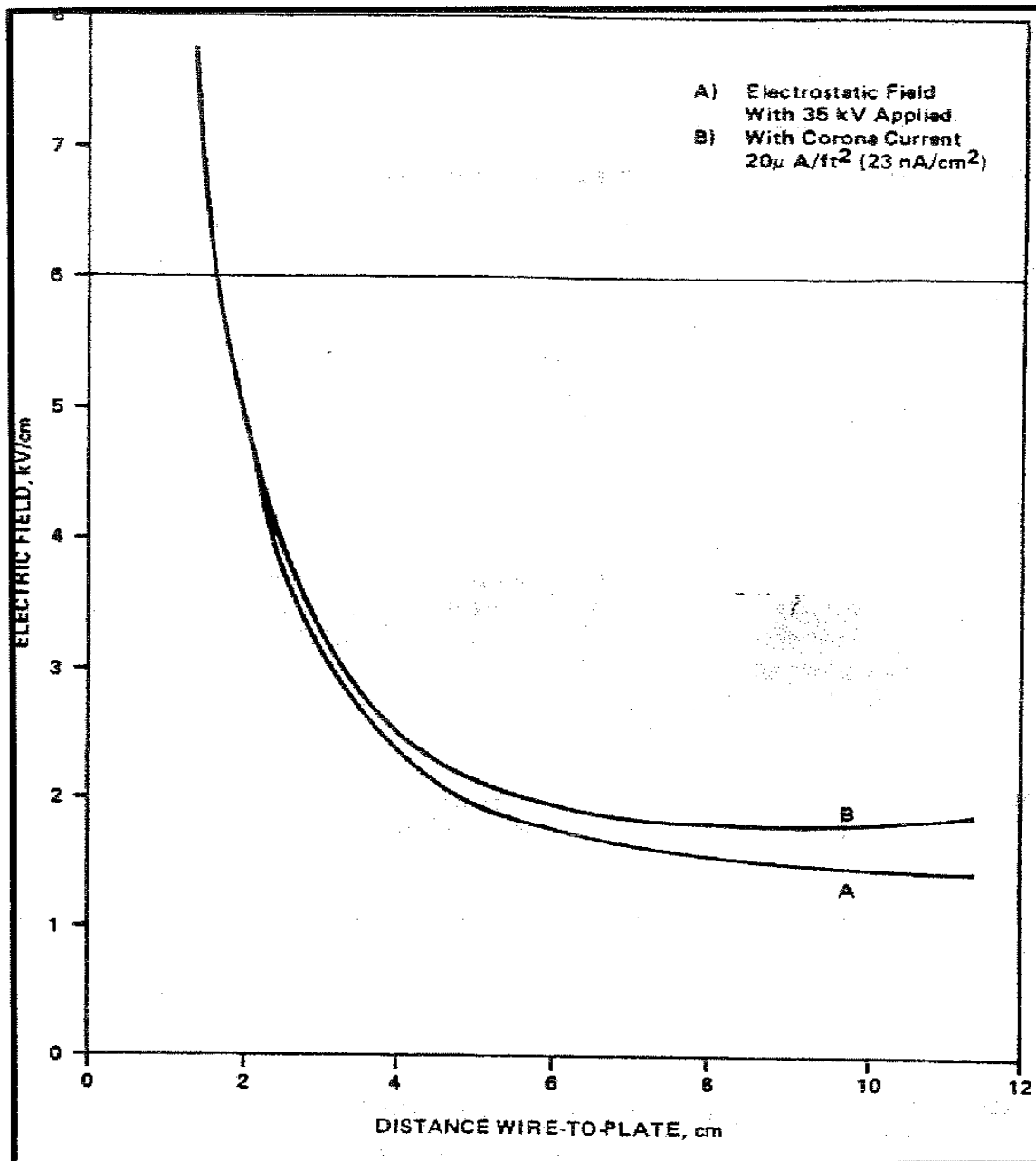
- 1) φόρτιση του σωματιδιακού ρύπου
- 2) συλλογή του σωματιδιακού ρύπου
- 3) απομάκρυνση της συλλεγόμενης ποσότητας σωματιδιακού ρύπου από το σύστημα.

Ας θεωρήσουμε ένα σύστημα ηλεκτροδίων, το οποίο αποτελείται από ένα καλώδιο μικρής ακτίνας καμπυλότητας (curvature), το οποίο βρίσκεται εκτεθειμένο στο χώρο μεταξύ δύο επίπεδων πλακών, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.1. Με την εφαρμογή υψηλής τάσης στο καλώδιο δημιουργείται ένα μη ομοιόμορφο ηλεκτρικό πεδίο στο χώρο μεταξύ των πλακών.



Εικόνα 1.1

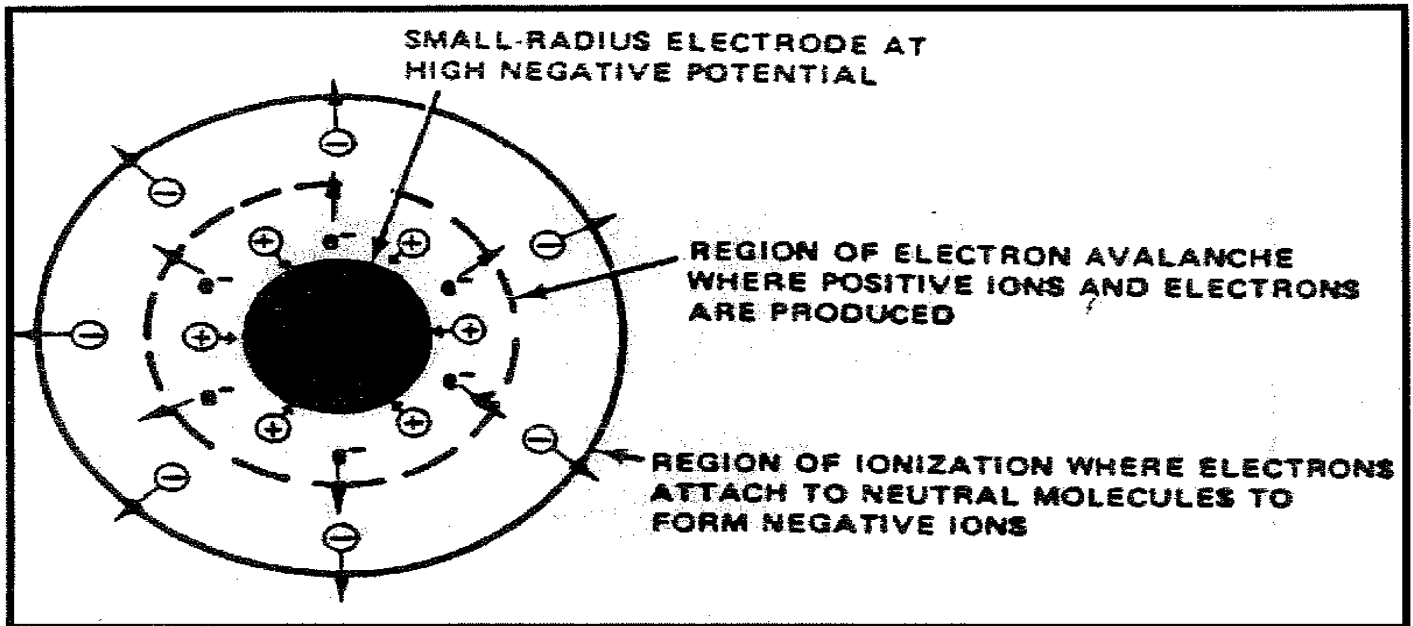
Όπως απεικονίζεται στο διάγραμμα της εικόνας 1.2 το ηλεκτρικό πεδίο στον περιβάλλοντα χώρο, κοντά στο ηλεκτρόδιο κορώνα είναι πολύ μεγαλύτερο από το μέσο πεδίο, μεταξύ των δύο πλακών. Όταν τώρα εφαρμόζεται μια επαρκώς μεγάλη τάση στο σύστημα ηλεκτροδίων που αναφέραμε, τότε το πεδίο κοντά στα ηλεκτρόδια αποφόρτισης (πλάκες) είναι αρκετά μεγάλο ώστε να οδηγήσει σε φαινόμενο ηλεκτρικής κορώνας στο χώρο μεταξύ τους.



Εικόνα 1.2

Το φαινόμενο της ηλεκτρικής κορώνας έχει σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό αυτού που αναφέρεται ως «χιονοστιβάδα ηλεκτρονίων». Η «χιονοστιβάδα» δημιουργείται όταν το ηλεκτρικό πεδίο σε ένα δεδομένο χώρο (εδώ μεταξύ των πλακών – ηλεκτροδίων φόρτισης) είναι αρκετά μεγάλο, ώστε να επιταχύνει οποιοδήποτε ελεύθερο ηλεκτρόνιο σε αυτή την περιοχή, έως ότου αυτό να αποκτήσει μια ταχύτητα ικανή να απελευθερώσει ένα επιπλέον ηλεκτρόνιο που θα προέρχεται από την σύγκρουση του μορίου του ουδέτερου αερίου με αυτό. Τα δύο ηλεκτρόνια που

απελευθερώθηκαν επιταχύνονται και αυτά με την σειρά τους μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο, όπου και προσκολλούνται σε ουδέτερα μόρια με αποτέλεσμα το σχηματισμό αρνητικών ιόντων. Καθώς η διαδικασία συνεχίζεται μακριά από το ηλεκτρόδιο, το ηλεκτρικό πεδίο εξασθενεί σιγά σιγά με αποτέλεσμα να μην είναι σε θέση να επιταχύνει ελεύθερα ηλεκτρόνια σε ταχύτητες ικανές να δημιουργήσουν περαιτέρω ιόντα (εικόνα 1.3).



Εικόνα 1.3

Τα θετικά ιόντα που σχηματίζονται στη διάρκεια του φαινομένου καθοδηγούνται από το ηλεκτρικό πεδίο σε αντίθετη κατεύθυνση με αυτή των ελεύθερων ηλεκτρονίων. Σχεδόν σε όλα τα ηλεκτροστατικά φίλτρα που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία, το ηλεκτρόδιο κορώνα (καλώδιο) υπόκειται σε μεγάλο αρνητικό δυναμικό (αρνητική-κορώνα). Σε αυτή τη περίπτωση, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια οδηγούνται προς τα ηλεκτρόδια συλλογής (πλάκες) ενώ τα θετικά ιόντα προς τα ηλεκτρόδια κορώνας (καλώδιο). Τα τελευταία προσπίπτουν πάνω στο ηλεκτρόδιο κορώνας, με αποτέλεσμα την επιπλέον απελευθέρωση ελεύθερων ηλεκτρονίων, γνωστή και ως δευτερεύουσα εκπομπή (απελευθέρωση). Η διαδικασία αυτή παρέχει επιπλέον ηλεκτρόνια τα οποία διατηρούν μια σταθερή-ομοιόμορφη κορώνα στο λειτουργικό σύστημα.

Μόλις ένα σωματίδιο είναι ηλεκτρικά φορτισμένο, η δράση του ηλεκτρικού πεδίου στο χώρο μεταξύ των ηλεκτροδίων δημιουργεί την απαραίτητη δύναμη η οποία τείνει να ωθήσει τα σωματίδια προς τα ηλεκτρόδια συλλογής (πλάκες). Οι ταχύτητες που επιτυγχάνονται λόγω της ηλεκτρικής δύναμης είναι μικρές, συγκρινόμενες με αυτή της τυρβώδης ροής του ρευστού, με την εξαίρεση τα μεγάλα σωματίδια. Έτσι εκείνο που καθορίζει κυρίως την κίνηση του σωματιδίου είναι η τυρβώδης ροή του ρεύματος του ρευστού έως ότου το σωματίδιο μεταφερθεί στο άμεσα κοντινό (γειτονικό) χώρο του ηλεκτροδίου συλλογής (πλάκα) όπου η δύναμη τριβής από το ηλεκτρόδιο δρα με τέτοιο τρόπο ώστε να μειώσει την ταχύτητα του αερίου. Όταν συμβεί αυτό τότε η ταχύτητα μετακίνησης του σωματιδίου λόγω του ηλεκτρικού πεδίου, που αναφέρθηκε προηγουμένως, γίνεται συγκρίσιμη με αυτή που προκαλείται από την ροή του ρευστού. Το τελικό αποτέλεσμα της παραπάνω επίδρασης της δύναμης τριβής είναι η μεταφορά του σωματιδίου, λόγω της ηλεκτρικής δύναμης που ασκείται σε αυτό στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου συλλογής. Αυτή η τυρβώδης ανάμιξη των σωματιδίων οδηγεί σε μια εκθετική χαρακτηριστική καμπύλη συλλογής του ηλεκτροστατικού, η οποία είναι γνωστή ως η σχέση (Deutsch-Anderson) [6] :

$$n = 1 - e^{(-w/SCA)}$$

όπου w =ταχύτητα πλαγιοολίσθησης

και SCA =Specific Collection Area (ειδική επιφάνεια συλλογής)

Η τελική διατύπωση της παραπάνω σχέσης (Deutsch-Anderson) είναι βασισμένη στην υπόθεση ότι τα τυρβώδη χαρακτηριστικά της ροής ενός ρεύματος ρευστού στο χώρο μεταξύ των ηλεκτροδίων προκαλεί μία ανάμιξη των μη συλλεγμένων σωματιδίων σε οποιαδήποτε κάθετη περιοχή του κάθε διακένου. Η ανάμιξη των μη συλλεγμένων σωματιδίων έχει σαν αποτέλεσμα την εκθετική εξάρτηση του βαθμού απόδοσης συλλογής και τον ογκομετρικό ρυθμό παροχής διαμέσου του συλλέκτη.

Η ποσότητα του υλικού που συλλέγεται μέσα σε κάθε διάκενο κατάντι της ροής του ρευστού είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των σωματιδίων που βρίσκονται σε εκείνο ακριβώς το σημείο της ροής. Λόγω αυτού του γεγονότος ο ρυθμός συλλογής του ηλεκτροστατικού φίλτρου είναι ομοιόμορφος και μειώνεται κατάντι της ροής, από



Η αναφορά που γίνεται για τα χαρακτηριστικά του καυσίμου περιλαμβάνει την ποιότητα και την μεταβλητότητα του λιγνίτη και γενικές ιδιότητες της ιπταμένης τέφρας. Η αναφορά που γίνεται για τους σχεδιαστικούς παράγοντες περιλαμβάνει το σχεδιασμό του συστήματος ηλεκτροδίων, την ειδική περιοχή συλλογής, την ταχύτητα του ρευστού και τον αριθμό των ηλεκτρικών πεδίων.

1.4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ Η/Φ

Η απόδοση ενός Η.Φ επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις λειτουργικές συνθήκες, στις οποίες εγκαταστάθηκε για να λειτουργεί. Αυτοί οι παράγοντες περιλαμβάνουν τα χαρακτηριστικά του καυσίμου και της ιπταμένης τέφρας, την συντήρηση του φίλτρου, του βοηθητικού εξοπλισμού καθώς και άλλων παραγόντων διαδικασίας.

1.4.1 Χαρακτηριστικά Καυσίμου

Τα χαρακτηριστικά του καυσίμου είναι δύσκολο να διατηρηθούν σταθερά καθόλη τη διάρκεια ζωής του σταθμού. Γενικά, ο λιγνίτης που καίγεται σε ένα ατμοηλεκτρικό σταθμό παραγωγής ενέργειας παράγει ένα ευρύ φάσμα τέφρας, θείου και άλλων σημαντικών συστατικών, εξαιτίας της ποικιλομορφίας των προμηθευτών, τις αποκλίσεις στην ποιότητα του λιγνίτη στο ίδιο ορυχείο καθώς επίσης και τις διαδικασίες αποθήκευσης και ανάμιξης του. Η ποικιλομορφία του καυσίμου είναι κρίσιμη στις εφαρμογές των ηλεκτροστατικών φίλτρων και πρέπει να εκτιμηθεί σχολαστικά για να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση του στην απόδοση του φίλτρου. [7]

1.4.2 Μεταβλητότητα – ποικιλομορφία άνθρακα

Η ικανοποιητική απόδοση ενός φίλτρου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διατήρηση σταθερής παροχής ροής καυσαερίων με ομοιόμορφα χαρακτηριστικά μέσα σε αυτό. Αν και υπάρχουν κάποιες σχεδιαστικές ανοχές στα φίλτρα, ωστόσο για να



Η θερμογόνος δύναμη, εξαρτώμενη κυρίως από την περιεκτικότητα σε άνθρακα, την τέφρα και τις ενώσεις θείου, είναι αυτή που καθορίζει τη ποσότητα του κάρβουνου που απαιτείται για να παραχθεί μια ποσότητα ατμού σε ένα συγκεκριμένο λέβητα. Γενικά όσο υψηλότερη είναι η περιεκτικότητα σε τέφρα τόσο χαμηλότερη η θερμογόνος δύναμη του καυσίμου. Αυτό το γεγονός επιδρά στη διαδικασία κατακράτησης των σωματιδιακών ρύπων επειδή η ανάγκη να κάψουμε περισσότερο κάρβουνο όταν έχουμε υψηλότερη συγκέντρωση σε τέφρα (άρα μικρότερη θερμογόνο) αυξάνει τη συνολική συγκέντρωση των σωματιδίων στο σύστημα συλλογής.

1.4.4 Χαρακτηριστικά ιπτάμενης τέφρας

Ο όρος ιπτάμενη τέφρα χρησιμοποιείται για να περιγράψει εκείνο το μέρος των στερεών αποβλήτων καύσης το οποίο μεταφέρεται μέσω της ροής των καυσαερίων στο φίλτρο. Τα χαρακτηριστικά της ιπτάμενης τέφρας που επηρεάζουν την απόδοση του φίλτρου είναι η χημική σύσταση, η ειδική ηλεκτρική αντίσταση (resistivity) και η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων. Η συγκέντρωση της ιπτάμενης τέφρας επηρεάζει επίσης την απόδοση του φίλτρου. Οι παράγοντες αυτοί αναλύονται σύντομα παρακάτω.

1.4.5 Συγκέντρωση

Η συγκέντρωση της ιπτάμενης τέφρας που απομακρύνεται από τον λέβητα μπορεί να έχει διάφορες μονάδες, συνήθως όμως για την ανάλυση της λειτουργίας του φίλτρου αυτή μετράται σε μονάδες μάζας ανά μονάδα όγκου της ροής των καυσαερίων (συνήθως σε grains ανά πραγματικά κυβικά πόδια (grains/ACF)). Ωστόσο καθώς ο όγκος των καυσαερίων ποικίλει με την θερμοκρασία, την πίεση και την περίσσεια αέρα είναι πολύ δύσκολη να γίνει μια σύγκριση της συγκέντρωσης της ιπτάμενης τέφρας κάτω από διαφορετικές λειτουργικές συνθήκες, χρησιμοποιώντας τις μονάδες

φορτιού μάζας / πραγματικά κυβικά πόδια. Για το λόγο αυτό η συγκέντρωση της ιπτάμενης τέφρας μπορεί επίσης να εκφραστεί σε μονάδες grains/standard dry cubic foot. Ο οργανισμός προστασίας περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (US-EPA) καθόρισε τη συγκέντρωση της ιπτάμενης τέφρας σαν pounds per million Btu (Lbs/10⁶Btu) της θερμότητας που προσδίδεται στο λέβητα και από δω και στο εξής θα είναι και ο τρόπος έκφρασης της.

Η περιεκτικότητα σε τέφρα και η θερμογόνος δύναμη ενός συγκεκριμένου κάρβουνου καθορίζονται συνήθως από τη μέση τιμή ενός συγκεκριμένου αριθμού δειγμάτων. Η μεταβλητότητα λαμβάνει υπόψη δυο παράγοντες :

- 1) Επιτρέπει αποκλίσεις της περιεκτικότητας σε τέφρα σε μια δεδομένη ανάλυση με μία μέση τιμή να είναι ίση με αυτή της αποθήκης κάρβουνου.
- 2) Εισάγει ένα συστατικό δείκτη στη μέση τιμή για να καθορίσει το άνω όριο της περιεκτικότητας σε τέφρα με διάστημα εμπιστοσύνης 99%.

Ο δεύτερος παράγοντας μπορεί να ποικίλει αναλόγως με τον τύπο του κάρβουνου, τις μεθόδους εξόρυξης, τεμαχισμού και τέλος τον τρόπο αποθήκευσης. Το ινστιτούτο έρευνας ηλεκτρικής ενέργειας-Electric Power Research Institute(EPRI) αναφέρει παράγοντες μεταβλητότητας τέφρας από 1,25 έως 1,90. Η περιεκτικότητα σε άνθρακα της ιπτάμενης τέφρας αυξάνει την ολική συγκέντρωση μέχρι κάποιο όριο. Αυτή η περιεκτικότητα επηρεάζεται από την περίσσεια αέρα (excess air) τη θέση του καυστήρα, τις μεθόδους κονιορτοποίησης (μύλοι), τη συντήρηση των μύλων λιγνίτη καθώς και το φορτίο του λέβητα. Μια τυπική εκτίμηση του άνθρακα της ιπταμένης τέφρας ανέρχεται στο 5%. Η υπολειπόμενη τέφρα (ash carryover) είναι αυτό ποσοστό της τέφρας που περιέχει το κάρβουνο και η οποία εμφανίζεται σαν ιπτάμενη τέφρα παρά σαν τέφρα στον πυθμένα (κάτω μέρος) του λέβητα. Γενικά αυτή αποτελεί το 80% ενώ υψηλότερα ποσοστά αποτελούν πιο συντηρητικές προσεγγίσεις.

Η υπολειπόμενη τέφρα (ash carryover) ποικίλλει ανάλογα με την κατασκευή του λέβητα , τις λειτουργικές συνθήκες και τις θερμοκρασίες της τέφρας. Γενικά τα υψηλότερα φορτία σκόνης στην είσοδο του φίλτρου (ash carryover) έχουν σαν αποτέλεσμα τον περιορισμό του φαινομένου κορώνας στα ηλεκτρικά πεδία εισόδου,

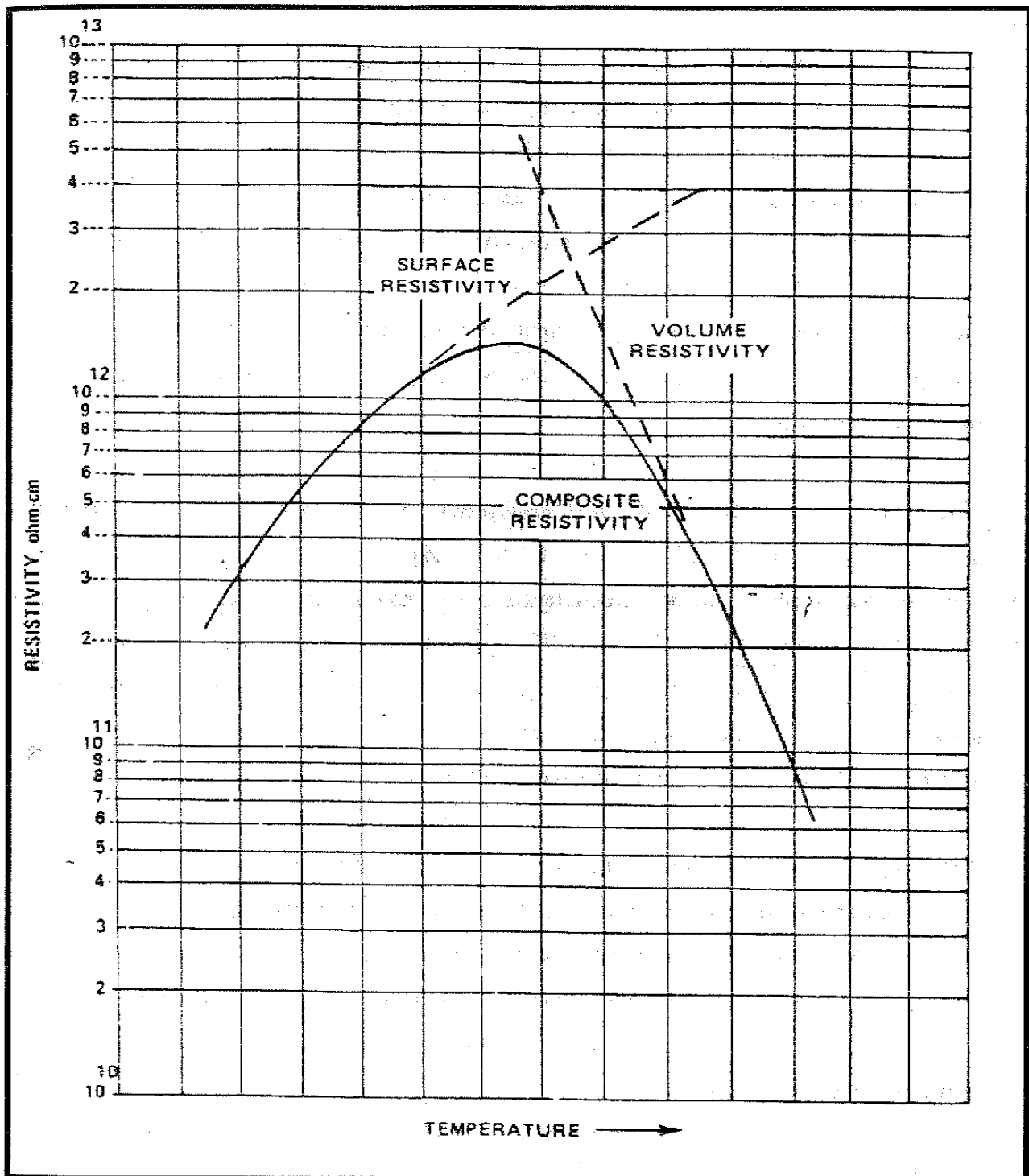
καθώς επίσης απαιτούν και μεγαλύτερους βαθμούς ολικής απομάκρυνσης από το φίλτρο. [8].

1.4.6 Χημική σύσταση και ειδική αντίσταση της ιπτάμενης τέφρας

Η χημική σύσταση του κάρβουνου που καίγεται και η ειδική αντίσταση της ιπτάμενης τέφρας που παράγεται από την καύση είναι δύο μεγέθη άρρηκτα συνδεδεμένα μεταξύ τους. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ειδική αντίσταση της ιπτάμενης τέφρας είναι η περίσσεια και η υγρασία του αέρα καύσης, που χρησιμοποιείται είτε πριν είτε μετά την καύση του κάρβουνου. Η ειδική αντίσταση της ιπτάμενης τέφρας εκφράζεται γενικά σε ohm-cm , που είναι αριθμητικά ίση με την αντίσταση ενός κύβου ιπτάμενης τέφρας πλευράς μήκους ενός εκατοστού.

Η ιπτάμενη τέφρα αποτελείται κυρίως από λείες σφαίρες που περιέχουν την τέφρα που περιέχεται στο κάρβουνο και μέρος της άκαυστης ποσότητας αυτού. Τα επιφανειακά στρώματα των σωματιδίων, άμεσα εξαρτώμενα από την θερμοκρασία της ροής των καυσαερίων, περιέχουν απορροφούμενα αέρια και ατμούς, με πιο σημαντικά το θειικό οξύ και ατμούς νερού.

Η ειδική αντίσταση της ιπτάμενης τέφρας περιλαμβάνει δύο ανεξάρτητα είδη ειδικής αντίστασης: μια δια μέσου του όγκου του υλικού (ειδική αντίσταση όγκου) και μία κατά μήκος της επιφάνειας του κάθε ανεξάρτητου σωματιδίου (επιφανειακή ειδική αντίσταση). Η χημεία της ιπτάμενης τέφρας καθορίζει την ειδική αντίσταση όγκου. Τα προαναφερθέντα απορροφούμενα αέρια και ατμοί επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την επιφανειακή ειδική αντίσταση καθώς επίσης και τις κολλοειδής ιδιότητες και τις ιδιότητες συνοχής του υλικού. Η θερμοκρασία της ροής καυσαερίων έχει μια ισχυρή επίδραση στην ειδική αντίσταση της ιπτάμενης τέφρας. Όταν παρασταθεί γραφικά η ειδική αντίσταση της ιπτάμενης τέφρας συναρτήσει της θερμοκρασίας ροής των καυσαερίων προκύπτει μια καμπύλη σχήματος ανεστραμμένου U (βλέπε εικόνα 1.4).



Εικόνα 1.4

Η ειδική αντίσταση της καμπύλης έχει μια μέγιστη τιμή σε μια θερμοκρασία μεταξύ 300 και 400°F. Αυτό το σχήμα της καμπύλης προκύπτει ως παράθεση της επιφανειακής ειδικής αντίστασης και αυτής του όγκου.

Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία ροής των καυσαερίων τα επιφανειακά απορροφούμενα αέρια (μολυντές) έχουν λιγότερη επίδραση στην επιφανειακή ειδική αντίσταση. Για θερμοκρασίες πάνω και περίπου στους 200⁰F η χωρική αντίσταση έχει πολύ μικρή τιμή. Αποτέλεσμα αυτού είναι, μια συνολική αύξηση της ειδικής αντίστασης για περιοχές θερμοκρασιών πάνω από 250⁰F έως 300⁰F. Μεταξύ του εύρους 200 έως 300⁰F τόσο η επιφανειακή όσο και η χωρική ειδική αντίσταση καθορίζουν την ολική ειδική αντίσταση της υπτάμενης τέφρας. Πάνω από αυτό το θερμοκρασιακό εύρος, η ειδική αντίσταση όγκου αποτελεί τον κυρίως μηχανισμό αγωγής, με αυξητική τάση αυξανομένης της θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα τη μείωση της ειδικής αντίστασης.

Αναλύσεις τεσσάρων τύπων άνθρακα φαίνονται στον πίνακα 1.1. (Οι αναλύσεις έγιναν με βάση τις διαδικασίες κατά ASTM). Καμία προσπάθεια δεν έγινε για να καθοριστούν τα ακριβή χημικά συστατικά, τα οποία μπορεί να υπάρχουν στην υπτάμενη τέφρα. Για παράδειγμα το SO₃ μπορεί να υπήρχε στο σουλφίδιο του ασβεστίου ή σιδήρου ή μπορεί να εμφανίζεται στο πολύπλοκο σύμπλοκο ασβεστίου-αλουμινίου-silicates. Μια μελέτη του πίνακα 1.1 παρέχει πληροφορίες για την λειτουργία ενός H/Φ για κάθε ένα από τους 4 τύπους κάρβουνου.

Τα συμπεράσματα που εξάγονται από τη μελέτη του πίνακα είναι μόνο ποιοτικά γιατί ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο δεν διαστασιολογείται ποσοτικά εάν είναι γνωστή μόνο η χημική σύσταση του κάρβουνου ή της τέφρας. Η διαστασιολόγηση απαιτεί γνώση της κατανομής των σωματιδιακών ρύπων, του όγκου παροχής των καυσαερίων και της μέσης θερμοκρασίας τους, της θερμοκρασιακής κατανομής και της επιθυμητής αποδοτικότητας συλλογής.

- **Wyoming Coal:**

Η χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο αυτού του κάρβουνου υποδεικνύει ότι η επιφανειακή ειδική αντίσταση θα είναι υψηλή. Επιπλέον η χαμηλή περιεκτικότητα σε νάτριο και η υψηλή περιεκτικότητα σε ασβέστιο της τέφρας θα προσδίδουν με τη σειρά τους μεγάλη ειδική αντίσταση όγκου. Τελικό συμπέρασμα των παραπάνω χαρακτηριστικών είναι ότι η τέφρα θα έχει πολύ



στρώμα σκόνης, του άμεσου περιβάλλοντος των ηλεκτροδίων συλλογής ($\ll 1\text{mm}$ πάχος). Αυτή η μείωση ιόντων νατρίου στο στρώμα προκαλούσε μια δραστική αύξηση της ειδικής αντίστασης σε αυτή την περιοχή. Διαπιστώθηκε ότι τα θετικά ιόντα νατρίου μετακινούνται από τις πλάκες συλλογής κάτω από την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου. Η μείωση των ιόντων νατρίου αναμένεται να συμβεί όταν η περιεκτικότητα των οξειδίων του αζώτου στην τέφρα είναι μικρότερη από 0.5% και υπάρχουν μικρές συγκεντρώσεις σε ασβέστιο στο όριο του 5% οξειδίων του αζώτου. Το φαινόμενο δεν παρατηρείται όταν η περιεκτικότητα της ιπτάμενης τέφρας σε οξείδια του αζώτου είναι μεγαλύτερη του 1% και οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις των οξειδίων του ασβεστίου είναι της τάξεως του 15%-20%.

Οι συνθήκες υψηλής ειδικής αντίστασης στο συλλεγόμενο στρώμα σκόνης, για τον οποιοδήποτε λόγο, μπορούν να έχουν σαν αντίκτυπο μια κατάσταση, η οποία αναφέρεται σαν κατάσταση αντίστροφης κορώνας (back –corona condition). Η αντίστροφη κορώνα ορίζεται ως μια σταθερή κατάσταση ιονισμού των μορίων της ροής των καυσαερίων, τα οποία βρίσκονται στο ήδη στρώμα σκόνης που έχει συλλεχθεί. Αυτή η ηλεκτρική κατάρρευση είναι αποτέλεσμα μιας μεγάλης πτώσης τάσεως κατά μήκος του στρώματος σκόνης και συμβαίνει σε χαμηλές συχνότητες ρεύματος κορώνας. Η ηλεκτρική κατάρρευση παράγει μεγάλες ποσότητες θετικών ιόντων τα οποία μετακινούνται προς (και όχι από) το ηλεκτρόδιο αποφόρτισης. Το φαινόμενο αντίστροφης κορώνας είναι καταστρεπτικό επειδή τα θετικά ιόντα τείνουν να μειώσουν τη φόρτιση ή ακόμη και να αντιστρέψουν την πολικότητα αυτή πάνω στα σωματίδια σκόνης του ρεύματος των καυσαερίων. Οι συνθήκες ροής των καυσαερίων ή της ιπτάμενης τέφρας αποτελούν ένα τρόπο μείωσης των προβλημάτων της αντίστροφης κορώνας.

1.4.7 Κατανομή των σωματιδίων

Τα περισσότερα μεμονωμένα σωματίδια της ιπταμένης τέφρας, τα οποία έχουν σχηματοποιηθεί από την στερεοποίηση της υγρής τέφρας από την καύση του καυσίμου είναι σφαιρικά. Μερικές από τις σφαίρες αυτές είναι κοίλες ή κούφιες, άλλες είναι ατελείς ή σπασμένες, ενώ αλλά σωματίδια σκόνης έχουν σχήμα νιφάδων,



1.4.7.2 Απόδοση

Το είδος των σωματιδίων παίζει ρόλο στην απόδοση του φίλτρου. Πειράματα σε φίλτρα δείχνουν μια μειωμένη απόδοση συλλογής για μικρά –fine σωματίδια. Έτσι όσο πιο fine (μικρό) η σκόνη εισέρχεται σε ένα συγκεκριμένο φίλτρο τόσο πιο χαμηλή είναι η απόδοση. Για να το θέσουμε διαφορετικά απαιτείται μεγαλύτερο φίλτρο για να επιτύχουμε την ίδια συνολική μαζική απόδοση σε ιπτάμενη τέφρα, η οποία περιέχει μεγαλύτερο ποσοστό fine σωματιδίων, σε σχέση με μία ιπτάμενη τέφρα μικρότερου ποσοστού fine σωματιδίων.

1.4.7.3 Φυσικές ιδιότητες

Εξαιτίας της μεγαλύτερης επιφάνειας της, η μάζα των μικρών–fine σωματιδίων έχει μεγαλύτερες κολλοειδής ιδιότητες και ιδιότητες συνοχής σε σχέση με τα μεγαλύτερα σωματίδια (coarse). Έτσι τα σωματίδια–fine έχουν λιγότερη «ελευθερία κίνησης στην ροή», από ότι τα σωματίδια (coarse). Με δεδομένο ότι ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο είναι λιγότερο αποτελεσματικό σε fine σωματίδια, υπάρχει μια βαθμιαία μείωση στο μέγεθος του υλικού που συλλέγεται. Το μεγαλύτερο ποσοστό των μεγάλων (courses) σωματιδίων βρίσκεται στο υλικό το οποίο συλλέγεται στο μπροστά μέρος του φίλτρου. Αν και μικρότερο σε ποσότητα το ποσοστό των μικρών-fine σωματιδίων, από ότι αυτό που συλλέγεται στο μπροστινό μέρος μπορεί να έχει μεγαλύτερη τάση να φράξει την έξοδο της τεφρολεκάνης (χοάνης) και να προκαλέσει πρόβλημα στην απομάκρυνση και διαχείριση της τέφρας.

Τα περισσότερα σωματίδια ιπτάμενης τέφρας με διάμετρο μεγαλύτερη περίπου από 1μm σχηματίζονται από την συσσωμάτωση των μορίων τέφρας που περιέχονται σε ένα σωματίδιο κάρβουνου και οδηγούν στο σχηματισμό στερεοποιημένων σφαιρών. Σωματίδια μικρότερα περίπου από 0.5μm θεωρείται ότι σχηματίζονται από την εξάτμιση–συμπύκνωση των πτητικών συστατικών που περιλαμβάνει η τέφρα. Έτσι η χημική σύσταση των fine σωματιδίων αναμένεται διαφορετική από αυτή της συνολικής τέφρας, δεδομένου ότι τα σωματίδια κατά την διάρκεια σχηματισμού τους έχουν εμπλουτιστεί με περισσότερα πτητικά συστατικά. Με βάση το γεγονός ότι τα

ηλεκτροστατικά φίλτρα έχουν μικρότερη απόδοση συλλογής στα μικρά (fine) σωματίδια, συνεπάγεται ότι η ιπτάμενη τέφρα που δεν κατακρατείται από τα φίλτρα θα είναι εμπλουτισμένη με τα πιο πτητικά συστατικά αυτής.

1.4.8 Συντήρηση

Ακόμη και το καλύτερο σχεδιασμένο ηλεκτροστατικό φίλτρο δεν θα έχει ικανοποιητική απόδοση εάν αυτό και ο σχετικός με αυτό εξοπλισμός δεν λειτουργούν και δεν συντηρούνται σωστά. Οι κατασκευαστές των Η/Φ παρέχουν εγχειρίδια οδηγιών το οποία θα πρέπει να ακολουθούνται πιστά, καθώς κάθε κατασκευαστής είναι μοναδικός και έχει τις δικές του απαιτήσεις λειτουργίας και συντήρησης.

1.4.9 Ηλεκτρικοί έλεγχοι

Τα συστήματα ελέγχου των σύγχρονων ηλεκτροστατικών φίλτρων περιέχουν κυκλώματα σχεδιασμένα να διατηρούν την μέγιστη δυνατή μέση τάση σε κάθε δίοδο του φίλτρου. Επιπρόσθετα έχουν εσωτερικούς αισθητήρες για να ανιχνεύουν την εκδήλωση ενός ηλεκτρικού τόξου, να το περιορίζουν με στιγμιαία μείωση της τάσης και να επαναφέρουν την ισχύ μέσα σε χρόνο εκατοστού του δευτερολέπτου. Ο σχεδιασμός τους χρησιμοποιεί αναλογικά ή ψηφιακά υπολογιστικά στοιχεία, τα οποία είναι ευαίσθητα σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό τα στοιχεία ελέγχου θα πρέπει να κρατούνται σε χώρο καθαρό και ευάερο. Η συντήρηση ρουτίνας περιλαμβάνει το καθαρισμό τους και τον έλεγχο σωστής λειτουργίας τους. Σφάλματα στα στοιχεία ελέγχου μπορεί να ανιχνευτούν όταν αυτά λειτουργούν ακανόνιστα και αλλοπρόσαλλα και η επισκευή τους γίνεται συνήθως με αντικατάσταση μία ηλεκτρονικής πλακέτας.

1.4.10 Rappers (Κατακρημνιστές)

Είναι απαραίτητο να τινάζονται οι πλάκες συλλογής και τα ηλεκτρόδια εκπομπής περιοδικά, ώστε να αφαιρείται η συσσωρευμένη ιπτάμενη τέφρα. Τα περισσότερα φίλτρα πλέγματος (rigid frame) χρησιμοποιούν κινούμενα σφυριά στερεωμένα σε ένα περιστρεφόμενο και μηχανικά οδηγούμενο άξονα για αυτό το σκοπό. Από την άλλη μεριά οι κατασκευαστές των φίλτρων ηλεκτροδίων με βαρίδια (weighted wire) χρησιμοποιούν μια μορφή σφυριού, στην οποία ένα βαρίδιο ανυψώνεται ηλεκτρομαγνητικά και στην συνέχεια αφήνεται να πέσει πάνω σε ένα αμόνι ή χρησιμοποιούν απλά ηλεκτρικούς δονητές. Και στα δύο είδη φίλτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω, τόσο τα σφυριά όσο και τα αμόνια φθείρονται και οι περιελίξεις ή οι μετρητές έλεγχου μπορεί να δυσλειτουργούν. Εάν ένα μέρος των συστημάτων συλλογής των σφυριών βγει εκτός λειτουργίας τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των αντίστοιχων διόδων του φίλτρου θα περιοριστούν με τελικό αποτέλεσμα τη μείωση του συνολικού βαθμού απόδοσης του φίλτρου. Για το λόγο αυτό τα προγράμματα συντήρησης θα πρέπει να περιλαμβάνουν επιθεωρήσεις των σφυριών για να διαβεβαιώνουν την αξιοπιστία και τις συνθήκες του όλου συστήματος συλλογής. [9]

1.4.11 Εναπόθεση τέφρας

Όταν ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο ή τμήμα αυτού, βρίσκεται σε θερμοκρασία κάτω από το σημείο δρόσου (dew point) των καυσαερίων είναι δυνατό να παρατηρηθεί συμπύκνωση, οξέων και / ή υγροποίηση σε μια περιοχή αυτού. Αυτή η περίπτωση παρουσιάζεται ως επί το πλείστον κατά την λειτουργία του φίλτρου σε χαμηλά φορτία του λέβητα ή μετά την εκκίνηση του λέβητα μετά από διακοπή της λειτουργίας του. Τα συμπυκνώματα κατακρημνίζονται και απορροφούνται με την ιπταμένη τέφρα, δημιουργώντας μία υγρή και συνεκτική μάζα. Μερικά είδη ιπταμένης τέφρας διατηρούνται αρκετά συμπαγή ακόμα και μετά την ξήρανση τους και προσκολλούνται σταθερά στην επιφάνεια πάνω στην οποία εναποτίθενται. Μία

διαδοχή τέτοιων φαινομένων μπορεί να προκαλέσει το σχηματισμό ενός υπολογίσιμου στρώματος εναπόθεσης τέφρας μέσα στο ηλεκτροστατικό φίλτρο.

Όταν το στρώμα αυτό δημιουργηθεί πάνω στις πλάκες-ηλεκτρόδια συλλογής ή στα ηλεκτρόδια φόρτισης, το πάχος αυτού μειώνει την ηλεκτρική καθαρότητα (electrical clearance), πράγμα το οποίο μεταφράζεται σε μία μείωση της μέγιστης τάσης που μπορεί να εφαρμοστεί μεταξύ των ηλεκτροδίων με τελικό αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης του φίλτρου.

Σκληρά, φλοιώδη και σχεδόν ομοιόμορφα στρώματα εναπόθεσης τέφρας συναντώνται κυρίως στα ηλεκτρόδια φόρτισης σαν αποτέλεσμα των φαινομένων συμπύκνωσης. Αυτά τα στρώματα εναπόθεσης αυξάνουν την ενεργή ακτίνα (effective radius) του ηλεκτροδίου αποφόρτισης, πράγμα το οποίο αντανακλά σε μία μείωση του ρεύματος κορώνα.

Από την άλλη μεριά, μεγάλες μάζες ιπτάμενης τέφρας πέφτουν μερικές φορές και εναποτίθενται μέσα στις χοάνες συλλογής. Όταν αυτές οι μάζες της τέφρας είναι πολύ μεγάλες για να περάσουν από την έξοδο της χοάνης συλλογής, τότε παρουσιάζονται προβλήματα υπερπλήρωσης της χοάνης καθώς επίσης και προβλήματα στην διαδικασία απομάκρυνσης της τέφρας.

Για τους λόγους που προαναφέρθηκαν, θα πρέπει να αποφεύγεται ή τουλάχιστον να ελαχιστοποιείται η λειτουργία ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου σε θερμοκρασίες κάτω από το σημείο δρόσου των οξέων. Οι επιθεωρήσεις συντήρησης θα πρέπει να περιλαμβάνουν την απομάκρυνση οποιασδήποτε εναποθετημένης τέφρας από οποιοδήποτε σημείο του φίλτρου.

1.4.12 Συσκευές διανομής – κατανομής των καυσαερίων

Με σκοπό να επιτευχθεί ομοιόμορφη ταχύτητα καυσαερίων καθόλη την ενεργή περιοχή του ηλεκτροστατικού φίλτρου χρησιμοποιούνται, κυρίως στην είσοδο και

λιγότερο στην έξοδο αυτού, βαλβίδες, απομονωτήρες και / ή διάτρητες πλάκες, οι οποίες ομαλοποιούν τη ροή. Αυτές οι συσκευές επιλέγονται και κατασκευάζονται σαν αποτέλεσμα της μελέτης της ροής σε ένα αγωγό μοντέλο προσομοίωσης του ηλεκτροστατικού φίλτρου. Εάν η μελέτη της ροής στο μοντέλο γίνει σωστά τότε οι συσκευές διανομής – κατανομής των καυσαερίων ξεκινούν τη λειτουργία τους αμέσως μόλις τοποθετηθούν.

Ωστόσο κάποιο στρώμα εναπόθεσης ιπτάμενης τέφρας είναι δυνατό να σχηματιστεί πάνω σε αυτές με τον τρόπο που αναλύθηκε προηγουμένως. Τέτοιες εναποθέσεις είναι δυνατόν να προκαλέσουν σοβαρές διαταραχές στην ροή των καυσαερίων μέσα στο ηλεκτροστατικό φίλτρο, μειώνοντας έτσι την απόδοση αυτού. Σε πολύ σοβαρές περιπτώσεις, τα στρώματα εναπόθεσης τέφρας είναι δυνατό να φράξουν τις συσκευές διανομής καυσαερίων, οι οποίες οδηγούνται σε κατασκευαστική αστοχία λόγω της συνεχούς αυξανόμενης εναπόθεσης τέφρας.

Φράξιμο των συσκευών κατανομής καυσαερίων μπορεί επίσης να οφείλεται πέραν της συμπύκνωσης σε ασυνήθιστες ιδιότητες προσκόλλησης τέφρας. Σε τέτοιες περιπτώσεις η λειτουργία των σφυριών ή των δονητών λύνουν συνήθως το πρόβλημα.

Συχνή λειτουργία σε χαμηλές ταχύτητες καυσαερίων θα προκαλέσει κατακαθίσεις σκόνης (τέφρας) στη βάση της εισόδου ενός αγωγού. Αυτό μπορεί να μην απομακρυνθεί (παρασυρθεί) σε μεγαλύτερες ταχύτητες καυσαερίων και να αυξάνει το πάχος του με το χρόνο λειτουργίας του φίλτρου. Εάν αυτό το στρώμα τέφρας καλύψει ένα μεγάλο μέρος των συσκευών απομόνωσης (buffers) τότε θα ακολουθήσει μία διαταραχή της ροής των καυσαερίων. Επακόλουθη εναπόθεση ιπτάμενης τέφρας μπορεί να προκαλέσει υπερφόρτωση του ηλεκτροστατικού φίλτρου, με τελικό αποτέλεσμα τη μείωση του βαθμού απόδοσης συλλογής. Για το σκοπό αυτό μπορεί να απαιτείται επανασχεδιασμός του αγωγού εισόδου με πρόσθεση και δημιουργία μιας χοάνης συλλογής στην βάση.

Οι συσκευές διανομής – κατανομής των καυσαερίων σε ορισμένες περιπτώσεις έχουν κατασκευαστεί επαρκώς για απότομες θερμοκρασιακές μεταβολές. Σε αυτές τις περιπτώσεις η μεταβολή της θερμοκρασίας μπορεί είτε να μπλοκάρει είτε να

καταστρέφει τις συσκευές. Γι' αυτό το σκοπό είναι απαραίτητος ο σχεδιασμός και η επιδιόρθωση των συσκευών άμεσα όταν παρατηρηθούν φαινόμενα μεταβολής της θερμοκρασίας .

1.4.13 Λέβητας

Ένα άλλο στοιχείο που μπορεί να επηρεάσει την απόδοση ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου είναι η ποιότητα συντήρησης του λέβητα και των βοηθητικών του εξαρτημάτων. Εάν ένας ή περισσότεροι καυστήρες εκτραπούν ή μετακινηθούν από την κατάλληλη θέση του, τότε η θέση της εστίας καύσης και η θερμοκρασιακή κατανομή μέσα στον καυστήρα (φούρνο) θα αλλάξουν. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα μια αλλαγή και μεταβολή της κατανομής της ροής ρευστού στην είσοδο ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου θερμής πλευράς (hot side). Παρόμοια μεταβολή της κατανομής της ροής των καυσαερίων σε ηλεκτροστατικά φίλτρα ψυχρής πλευράς (cold side) μπορεί να προκύψει σαν αποτέλεσμα της μερικής φράξης των προθερμαντών αέρα.

1.4.14 Μύλοι καυσίμου

Η φθορά στους μύλους καυσίμου μπορεί να αλλάξει την κατανομή μεγέθους των σωματιδίων, όπως επίσης και να αυξήσει τις απώλειες άνθρακα του καυστήρα (λέβητα). Το τελευταίο θα έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη στα καυσαέρια σωματιδίων πλουσίων σε περιεκτικότητα άνθρακα. Τέτοια σωματίδια εξαιτίας της μικρής τους ειδικής αντίστασης χάνουν ραγδαία το ηλεκτρικό τους φορτίο όταν εναποτίθενται στις πλάκες συλλογής και επανέρχονται ξανά στο ρεύμα ροής των καυσαερίων, ενώ στη συνέχεια απομακρύνονται σε δυσανάλογες ποσότητες.

1.4.15 Συστήματα διαχείρισης τέφρας

Τα κύριο πρόβλημα που παρουσιάζεται στο σύστημα διαχείρισης τέφρας ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου είναι η υπερπλήρωση των χοανών συλλογής. Τα προβλήματα εκκένωσης χοανών συλλογής τέφρας ελαχιστοποιούνται σε εργοστάσια όπου οι χοάνες διατηρούνται θερμές με την βοήθεια προθερμαντών, μόνωσης και κοιλοτήτων και η τέφρα που εναποτίθεται απομακρύνεται συνεχώς όσο το δυνατό πιο γρήγορα. Ρευστοποιημένης χοάνης συλλέκτης τέφρας με θερμό αέρα, ο οποίος προθερμαίνεται πάνω από το σημείο δρόσου αποτελεί πολλές φορές ένα καλό μέτρο επίλυσης του προβλήματος υπερπλήρωσης των χοανών.

Οι χοάνες συλλογής με αισθητήρες επιπέδου πλήρωσης έχουν το πλεονέκτημα στο ότι εξασφαλίζουν τη μη υπερπλήρωση της χοάνης. Οι αισθητήρες αυτοί μπορεί να είναι μηχανικοί, πνευματικοί, ηλεκτρικοί ή πυρηνικού τύπου. Μερικοί από αυτούς, όπως για παράδειγμα ο αισθητήρας χωρητικότητας, μπορεί να δώσουν εσφαλμένο σήμα υπερπλήρωσης όταν έχουν απορυθμιστεί ή στην περίπτωση που η συλλεγόμενη τέφρα έχει υψηλή ειδική αντίσταση. Αισθητήρες πυρηνικού τύπου μη επαφής (non contacting nuclear) έχουν λιγότερες ελλείψεις από άλλους τύπους και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται συχνότερα από άλλους τύπους προς το παρόν. Είναι ακριβότεροι από τους συμβατικούς και απαιτούν εξειδικευμένο μηχανικό για την συντήρηση. Ολόκληρο το σύστημα διαχείρισης και απομάκρυνσης της τέφρας θα πρέπει να συντηρείται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή οι οποίες δεν θα πρέπει να παραβλέπονται. Η υπτάμενη τέφρα είναι εξαιρετικά λεία και γι' αυτό φθαρμένα τμήματα πρέπει να επισκευάζονται ή να αντικαθίστανται αμέσως.

1.5 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΝΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ:

Ο κατάλληλος σχεδιασμός ενός συστήματος ελέγχου σωματιδιακών ρύπων είναι μια κρίσιμη παράμετρος για την αποδεκτή λειτουργία και απόδοση ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου μακροπρόθεσμα. Οι κατασκευαστικοί παράγοντες θα πρέπει να

περιλαμβάνουν την τροφοδοσία ενέργειας, τον σχεδιασμό του συστήματος ηλεκτροδίων, την ειδική επιφάνεια συλλογής, την ταχύτητα των καυσαερίων, το λόγο διάστασης (aspect ratio), τον αριθμό των πεδίων στην κατεύθυνση (κατάντι) της ροής των καυσαερίων και την ηλεκτρική διαστασιολόγηση (electrical sectionalization).

1.5.1 Τροφοδοσία ενέργειας (ηλεκτρική τροφοδοσία)

Η ηλεκτρική τροφοδοσία ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου αποτελείται από 3 κύρια στοιχεία (μέρη):

- Μετασχηματιστή υψηλής τάσης.
- Ανορθωτή και
- Κυκλώματα συστήματα ελέγχου, μέτρησης και προστασία τάσης.

Ο μετασχηματιστής υψηλής τάσης που χρησιμοποιείται σε αυτές τις περιπτώσεις είναι ειδικά σχεδιασμένος με ικανότητα να αντέχει σε καταπονήσεις τυλιγμάτων όταν ηλεκτρικές εκκενώσεις (sparkover) λαμβάνουν χώρα μέσα στα ηλεκτροστατικά φίλτρα.

Γενικά τα είδη των μετασχηματιστών που χρησιμοποιούνται ποικίλλουν από 15 έως 95 KVA όσον αφορά την φαινόμενη ισχύ, με όρια μέσης δευτερεύουσας τάσης 45 έως 55KV και ρεύματα εξόδου 250 έως 1500mA συνεχές. [10]

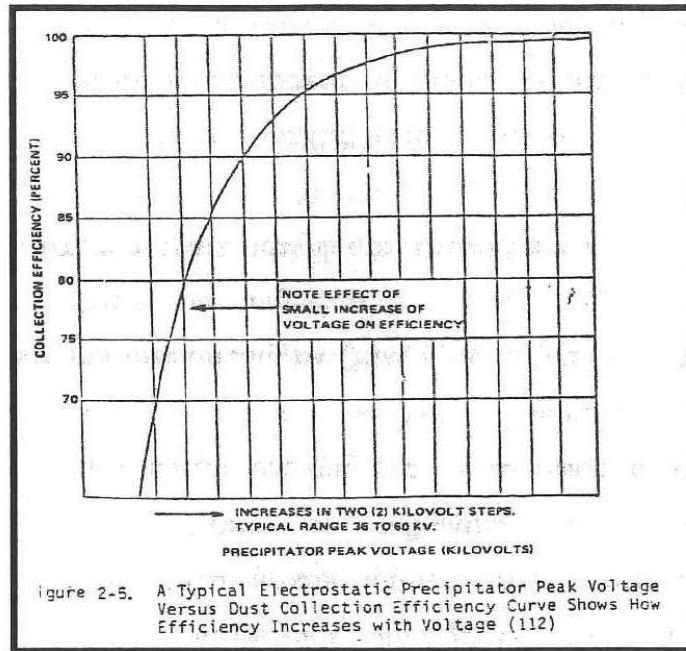
Οι περισσότεροι πρόσφατοι ανορθωτές είναι χειροκίνητοι και περιέχονται ως επί το πλείστον μέσα στο μετασχηματιστή στις πιο σύγχρονες εφαρμογές. Η εισαγωγή ενός χειροκίνητου ανορθωτή προσφέρει μεγάλη βελτίωση στον έλεγχο του ρεύματος τροφοδοσίας και μπορεί να ελαχιστοποιήσει το πρόβλημα των ηλεκτρικών διαταραχών στο ηλεκτροστατικό φίλτρο λόγω της πολύ γρήγορης ταχύτητας απόκρισης του.

Η τροφοδοσία ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου θα πρέπει να ακολουθεί πιστά τις λειτουργικές απαιτήσεις του καθώς και οποιαδήποτε προβλήματα που μπορεί να προκύψουν.

Οι κυριότερες δυσκολίες που υπάρχουν είναι οι παρακάτω:

- Η εμπέδηση (impedance) της τροφοδοσίας μπορεί να μην έχει την απαραίτητη τιμή ώστε να αποσβέσει οποιαδήποτε ηλεκτρική κατάρρευση επαρκώς. Αυτό το φαινόμενο είναι πιθανόν να συμβεί εάν το εύρος ρεύματος του μετασχηματιστή υψηλής τάσης είναι πολύ μεγαλύτερο από το απαιτούμενο.
- Εάν η τροφοδοσία είναι αρκετά μικρή όσο αναφορά το φυσικό μέγεθος του φίλτρου είναι πολύ πιθανό να προκύψουν τάσεις πολύ μικρότερες από τις επιθυμητές λόγω του ότι οι τιμές ρεύματος του μετασχηματιστή θα υπερβούν τις οριακές τιμές τους.
- Εάν η τροφοδοσία είναι πολύ μεγάλη για μία συγκεκριμένη εφαρμογή, τότε η χρησιμοποιούμενη ενέργεια σαν ποσοστό της χωρητικότητας είναι μικρή (χάσιμο ενέργειας). Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα αδυναμία ελέγχου και η συσκευή ελέγχου δεν θα είναι σε θέση να διακρίνει ένα σήμα ελέγχου από το θόρυβο αυτού του σήματος.

Η εικόνα 1.5 δείχνει τη σημασία της διατήρησης μίας υψηλής δευτερεύουσας τάσης σε ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο. Ο βαθμός απόδοσης του φίλτρου επηρεάζεται άμεσα από τα peaks της δευτερεύουσας αυτής τάσης.



Εικόνα 1.5

1.5.2 Σχεδιασμός συστήματος ηλεκτροδίων

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή του συστήματος ηλεκτροδίων έχει άμεση επίδραση στη σχέση μεταξύ τάσης και ρεύματος στο εσωτερικό του ηλεκτροστατικού φίλτρου. Οι δύο κυριότερες επιδράσεις είναι:

Η διάμετρος του ηλεκτροδίου αποφόρτισης ή η αιχμηρότητα των ακμών κορώνας, καθορίζει την τιμή της τάσης εκκίνησης της κορώνας. Έτσι για μία δεδομένη τάση, μία μικρή διάμετρος καλωδίου ή ένα μικρότερο ηλεκτρόδιο (pointed electrode) θα φέρει μεγαλύτερη τιμή ρεύματος. Ανομοιομορφίες της επιφάνειας συλλογής είναι δυνατόν να δημιουργήσουν σπινθήρες σε περιοχές μειωμένης τάσης.

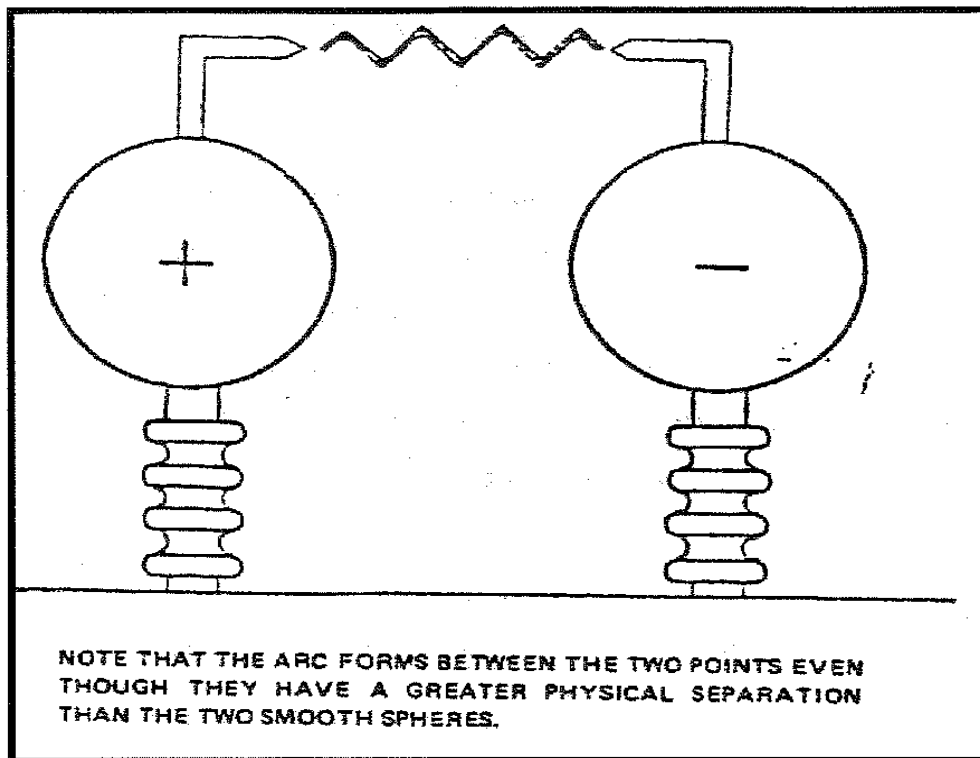
Το διάκενο ανάμεσα στις πλάκες-ηλεκτρόδια συλλογής ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ των κεντρικών γραμμών ανάμεσα σε 2 γειτονικά ηλεκτρόδια συλλογής. Στα σύγχρονα ηλεκτροστατικά φίλτρα το διάκενο αυτό μεταξύ των ηλεκτροδίων ποικίλλει από 9 έως 12 in, όταν ο αέριος ρύπος συλλογής είναι ιπτάμενη τέφρα. Στα ηλεκτροστατικά φίλτρα ηλεκτροδίων τύπου βαριδίων το διάκενο αυτό έχει την τιμή των 9 in, ενώ στα φίλτρα τύπου άκαμπτου πλαισίου και άκαμπτων ηλεκτροδίων οι

τυπικές τιμές κυμαίνονται σε 10 και 12 in αντίστοιχα. Γενικά για πλάκες-ηλεκτρόδια συλλογής υψηλότερες από 40 πόδια η απαραίτητη απόσταση μεταξύ τους είναι τουλάχιστον 12 in, για να διασφαλίζεται η μηχανική αντοχή τους.

Κατά το σχεδιασμό ενός ηλεκτροστατικού φίλτρο είναι απαραίτητο ο χώρος μεταξύ των ηλεκτροδίων υψηλής τάσης (ηλεκτρόδια φόρτισης) και του γειωμένου ηλεκτροδίου (ηλεκτρόδιο-πλάκα συλλογής) να διατηρείται καθαρός. Για τιμές τάσης στην περιοχή σπινθηρισμού (sparkover voltage) οι σπινθήρες σε ένα καλά σχεδιασμένο φίλτρο θα εμφανιστούν στο διάκενο μεταξύ του ηλεκτροδίου φόρτισης και συλλογής. Εμφάνιση σπινθήρα σε οποιοδήποτε άλλο σημείο του ηλεκτροστατικού φίλτρου είναι σημάδι κακού σχεδιασμού ή κατασκευαστικής αστοχίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν σημεία αιχμηρότητας στις επιφάνειες συλλογής.

Τα ηλεκτροστατικά φίλτρα τύπου άκαμπτου πλαισίου έχουν γενικά πιο φαρδύ (πλατύ) διάκενο μεταξύ των ηλεκτροδίων για να διατηρείται καθαρός ο χώρος μεταξύ του πλαισίου στήριξης των ηλεκτροδίων φόρτισης και των διαφόρων στοιχείων ενίσχυσης των πλακών-ηλεκτροδίων συλλογής. Ομοίως με τα προηγούμενα τα ηλεκτροστατικά φίλτρα τύπου άκαμπτων ηλεκτροδίων έχουν πιο πλατύ διάκενο για να επιτρέπουν την αύξηση του πάχους των ηλεκτροδίων φόρτισης, εξαιτίας της ιπτάμενης τέφρας που προσκολλάται πάνω σε αυτά.

Θα πρέπει στο σημείο αυτό να γίνει ένας διαχωρισμός μεταξύ φυσικής καθαρότητας και ηλεκτρικής καθαρότητας. Όπως φαίνεται στην εικόνα 1.6 οι 2 λείες σφαίρες δεν θα δημιουργήσουν μεταξύ τους σπινθήρα, σε αντίθεση με τις 2 αιχμές, οι οποίες δημιουργούν σπινθηρισμό μεταξύ τους, αν και βρίσκονται σε περιοχή μεγαλύτερης φυσικής καθαρότητας. Για το λόγο αυτό μία λεία επιφάνεια σωλήνα μπορεί να μην είναι πιο κοντά στα ηλεκτρόδια-πλάκες συλλογής από ότι ένα ηλεκτρόδιο αποφόρτισης, ωστόσο όμως το τελευταίο να έχει μεγαλύτερη ηλεκτρική καθαρότητα.



Εικόνα 1.6

1.5.3 Ειδική επιφάνεια συλλογής

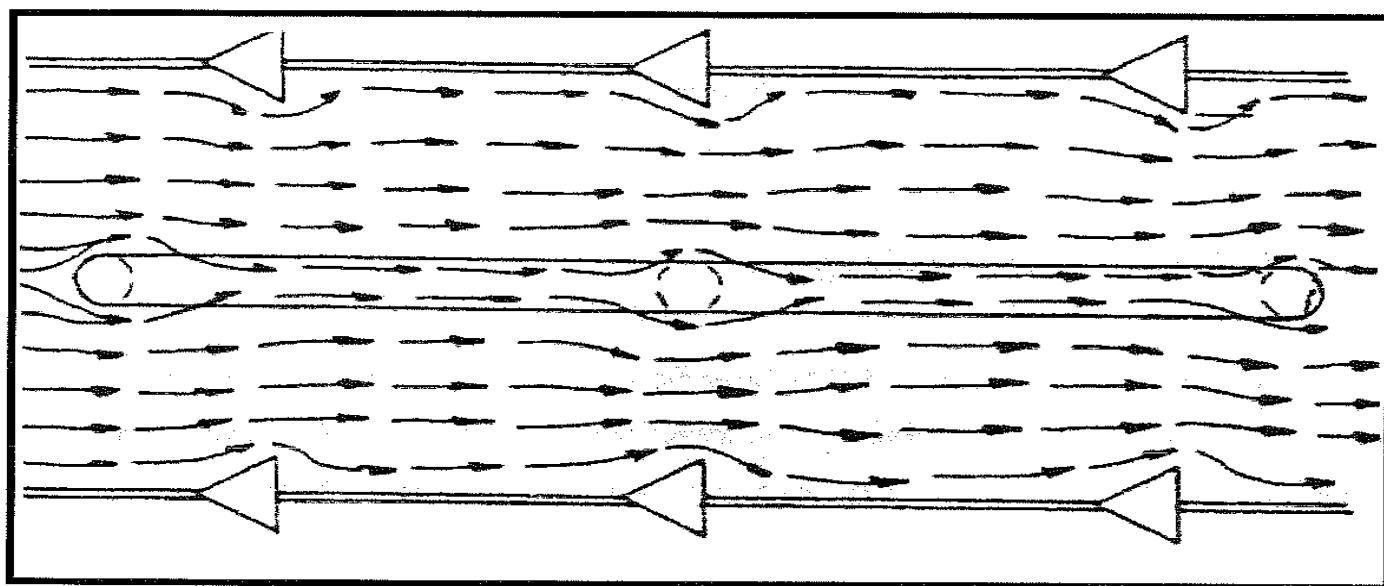
Η ειδική επιφάνεια συλλογής (SCA=Specific Collection Area) ορίζεται σαν το λόγο της συνολικής ενεργής επιφάνειας συλλογής του ηλεκτροστατικού φίλτρου προς το συνολικό όγκο καυσαερίων που διέρχεται δια μέσου αυτού. Αυτή η παράμετρος χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία και αφορά τον όρο A_{co}/V_g στη σχέση Deutsch-Anderson. [11]

1.5.4 Σχεδιασμός – υπολογισμός ταχύτητας καυσαερίων

Η ταχύτητα καυσαερίων σε ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο αποτελεί μία από τις πιο συνηθισμένες παραμέτρους σχεδιασμού, αλλά η αξία της πολλές φορές αμφισβητείται, κυρίως όταν είναι άγνωστη η φύση της ροής καυσαερίων μέσα σε ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο. Αιτίες που προκαλούν την αλλαγή της κατανομής της ροής

στο εσωτερικό ενός φίλτρου είναι οι αποφράκτες-απομονωτήρες (plate baffles) και κάποια άλλα στοιχεία ελέγχου (βλ. εικόνα 1.7). Αυτές οι επιδράσεις είναι χαρακτηριστικές για κάθε φίλτρο και είναι δύσκολο να περιγραφτούν λεπτομερώς. Σαν αποτέλεσμα των παραπάνω μόνο μία συνολική ταχύτητα καυσαερίων μπορεί να υπολογιστεί, η οποία και προκύπτει από τη διαίρεση της συνολικής ογκομετρικής παροχής των καυσαερίων που εισέρχεται στο φίλτρο προς τη συνολική ενεργή κάθετη επιφάνεια αυτού. Η συνολική ενεργή κάθετη επιφάνεια του φίλτρου μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των πλακών συλλογής με τον αριθμό και το πλάτος των καναλιών αέρα. Μαθηματικά έχουμε ότι:

$$u_{\text{καυσαερίων}} = \frac{\text{Συνολική παροχή καυσαερίων (acfm)}}{\text{Ύψος πλάκας συλλογής(ft)} \times \text{Πλάτος καναλιού αέρα(ft)} \times \text{Αριθμός καναλιών αέρα} \times 60 \text{sec/min}}$$



Εικόνα 1.7

Κατά το σχεδιασμό ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη πολύ υψηλές ταχύτητες, όπως επίσης και πολύ χαμηλές. Οι υψηλές ταχύτητες μπορεί να έχουν σαν αποτέλεσμα τη στόμωση των ηλεκτροδίων συλλογής και μείωση της ειδικής επιφάνειας συλλογής (SCA). Από την άλλη πλευρά, χαμηλές ταχύτητες καυσαερίων, όπως αυτές που προκύπτουν από τη λειτουργία σε χαμηλό φορτίο, έχουν σαν αποτέλεσμα την εναπόθεση σκόνης στον αγωγό προσαγωγής των καυσαερίων, με

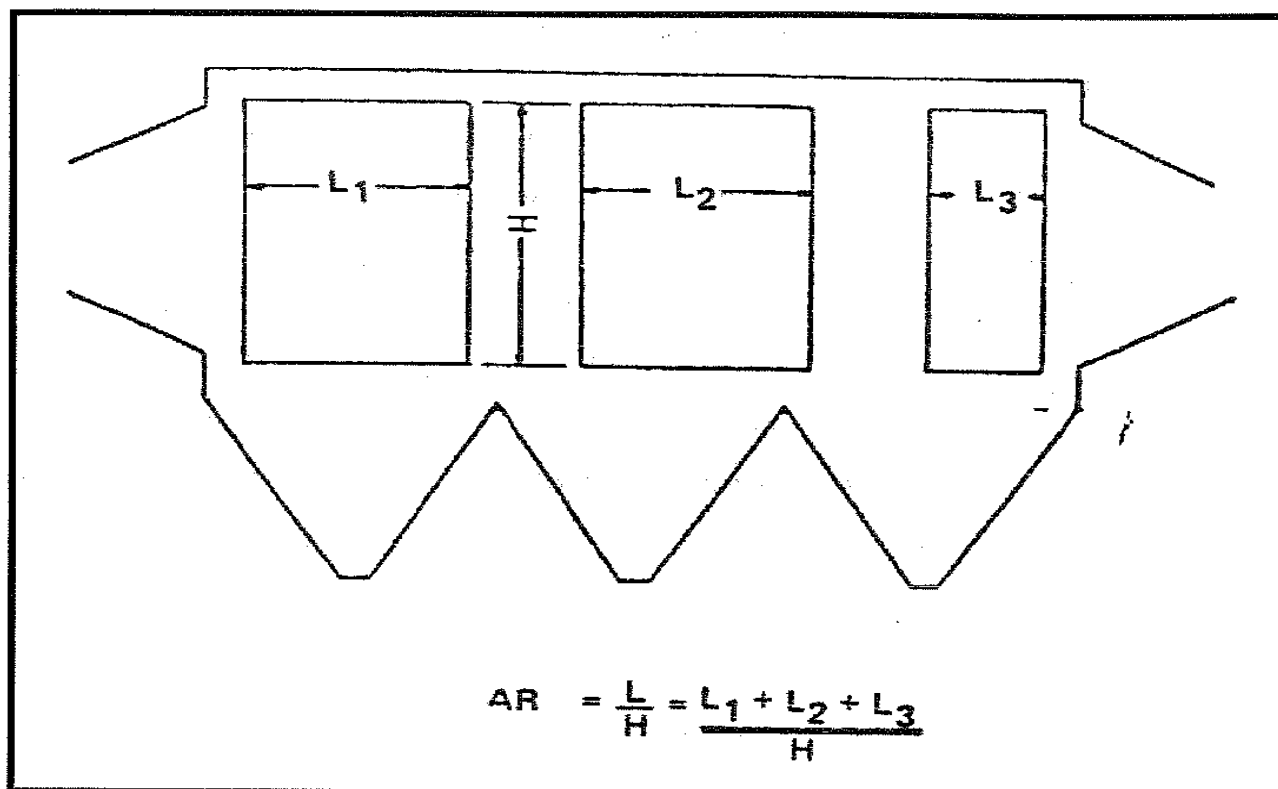
τελικό απότοκο τις αυξημένες εκπομπές αυξανόμενου του φορτίου. Επιπλέον σε χαμηλές ταχύτητες καυσαερίων μειώνεται η αποτελεσματικότητα των συσκευών διανομής της ροής αυτών, 'υποχρεώνοντας' έτσι όλη τη ροή των καυσαερίων να διέλθει από περιορισμένο αριθμό καναλιών του φίλτρου.

Γενικά υπάρχει μία διαφωνία όσο αφορά τον καθορισμό του όρου υψηλές ταχύτητες. Για παράδειγμα ταχύτητες μεγαλύτερες των 8 ft/sec έχει αποδειχθεί ότι οδηγούν σε επαναφορά της τέφρας μέσα στο φίλτρο. Ταχύτητες σχεδιασμού από 6 έως 8 ft/sec θεωρούνταν φυσιολογικές τα τέλη του 1970, ενώ ταχύτητες της τάξεως των 3 έως 6 ft/sec θεωρούνται λογικές για την επίτευξη καλής απόδοσης. Τέλος ταχύτητες κάτω από 3 ft/sec θεωρούνται πολύ χαμηλές και προκαλούν τα προβλήματα που προαναφέρθηκαν.

1.5.5 Λόγος διάστασης (Aspect Ratio-AR):

Ο λόγος διάστασης (AR) ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου ορίζεται ως το ενεργό μήκος (L) αυτού, διαιρεμένο με το ενεργό ύψος (H) των ηλεκτροδίων-πλακών συλλογής. Η εικόνα 1.8 απεικονίζει την έννοια του λόγου διάστασης. Σύμφωνα με αυτήν η μαθηματική έκφραση για το λόγο διάστασης είναι:

$$AR = \frac{L}{H} = \frac{L_1 + L_2 + L_3}{H}$$



Εικόνα 1.8

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι διάδρομοι πρόσβασης στο εσωτερικό του ηλεκτροστατικού φίλτρου δεν λαμβάνονται υπόψη στον παραπάνω λόγο. Η ποσότητα της σκόνης που κατακρημνίζεται αφόρτιστη στα κενά διαστήματα ή στις αφόρτιστες περιοχές είναι άγνωστη και για το λόγο αυτό οι συνηθισμένες τεχνικές σχεδιασμού των φίλτρων δεν περιλαμβάνουν αυτά τα μεγέθη στον λόγο διάστασης.

Ιστορικά οι ελάχιστοι λόγοι διάστασης (AR) ποικίλλουν από 0.6 για απόδοση φίλτρου 98% και 1.5 για απόδοση 99.6%. Με βάση τα σημερινά σύγχρονα δεδομένα ο λόγος διάστασης έχει εύρος τιμών από 1.5 έως 2.0. [1]

Στις περισσότερες περιπτώσεις ισχύει ότι εάν όλες οι παράμετροι διατηρηθούν σταθερές, ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο που έχει υψηλότερο λόγο διάστασης είναι αποδοτικότερο από ένα του οποίου ο λόγος είναι πιο χαμηλός. Η λογική πίσω από αυτό το σκεπτικό είναι ότι η συσσωματωμένη (agglomerated) υτάμενη τέφρα στην κορυφή των πλακών-ηλεκτροδίων συλλογής τείνει να διασκορπιστεί και να επανέλθει στο ηλεκτροστατικό φίλτρο κατά τη διάρκεια της κατακρήμνισης. Το υλικό που

επανεισάγεται στο φίλτρο πρέπει να συλλεχθεί ξανά εάν θέλουμε να μην διαφύγει στο περιβάλλον. Το μεγαλύτερο ενεργό μήκος σχετίζεται με υψηλότερο λόγο διάστασης (AR) και βοηθά στην επανασυλλογή της ιπτάμενης τέφρας που ανακυκλοφορεί μέσα στο φίλτρο.

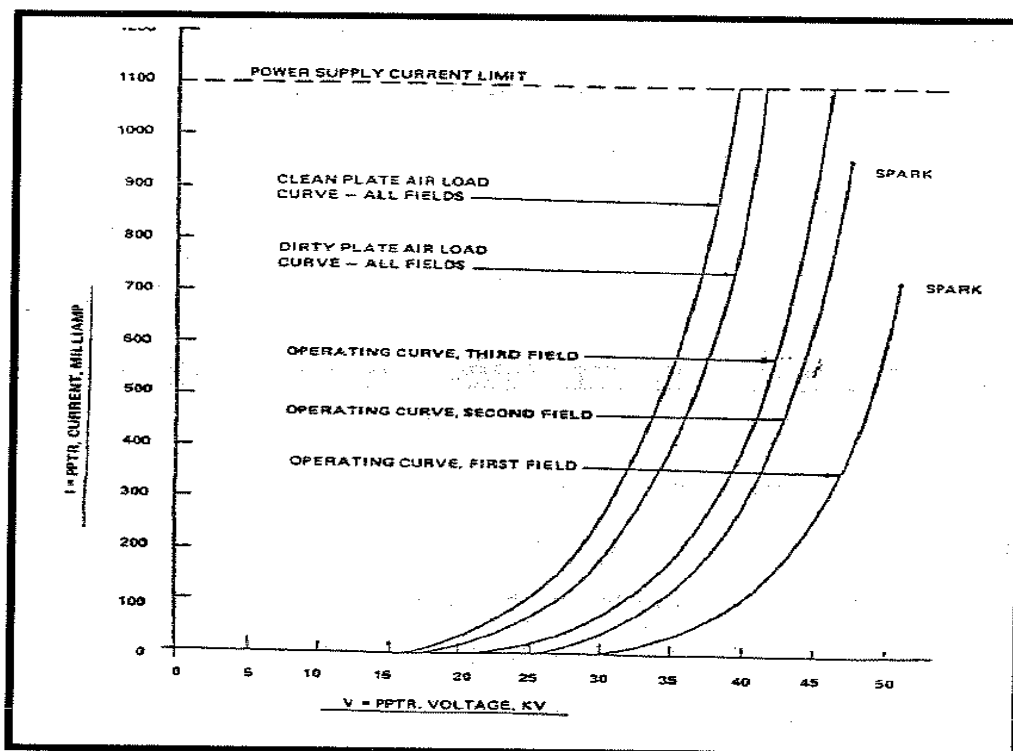
Παρόλα αυτά που προαναφέρθηκαν, η χρησιμοποίηση του λόγου διάστασης για τη σύγκριση των διαφόρων ηλεκτροστατικών φίλτρων, μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα, λόγω του γεγονότος ότι όλοι οι άλλοι σχεδιαστικοί και λειτουργικοί παράγοντες μπορεί να είναι διαφορετικοί. Για παράδειγμα 2 ηλεκτροστατικά φίλτρα με τους ίδιους λόγους διάστασης (AR) μπορεί να έχουν τεράστια διαφορά στα ειδικά ενεργά τους μήκη (SCAs), πράγμα το οποίο θα έχει σαν αποτέλεσμα τις διαφορετικές ταχύτητες των καυσαερίων. Αυτό θα είχε μεγάλη επίπτωση στην απόδοση και στο κόστος του φίλτρου.

1.5.6 Αριθμός πεδίων κατάντι της ροής των καυσαερίων

Τα πεδία ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου είναι διατάξεις τμημάτων αγωγών (bus section), οι οποίες ενεργοποιούνται ανεξάρτητα, από μία ή περισσότερες τροφοδοσίες, τοποθετημένες πλευρικά κατά μήκος της ροής των καυσαερίων. Κάθε ηλεκτρικό πεδίο ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου αποτελεί από μόνο του ένα μικρό ανεξάρτητο φίλτρο, το οποίο ακολουθείται από ένα άλλο πεδίο, το οποίο και αυτό με τη σειρά του είναι ένα αυτόνομο φίλτρο. Η ποσότητα (συγκέντρωση) της ιπτάμενης τέφρας, που περιέχεται στην παροχή των καυσαερίων μειώνεται καθώς αυτή περνάει από τα διαδοχικά πεδία (φίλτρα), λόγω του ότι μεγαλύτερο μέρος αυτής κατακρατείται στα αρχικά πεδία και σιγά σιγά ελαττώνεται, καθώς συνεχίζει την πορεία της στο εσωτερικό του ηλεκτροστατικού φίλτρου. Το μήκος κάθε ηλεκτροστατικού πεδίου μέσα στο φίλτρο ποικίλλει από 3 έως 15 πόδια. [11]

Όταν η συγκέντρωση σε ιπτάμενη τέφρα στην παροχή των καυσαερίων είναι υψηλή, όπως συμβαίνει σε ένα πεδίο εισόδου στο ηλεκτροστατικό φίλτρο, τότε είναι εμφανές το φαινόμενο του δευτερεύοντος πεδίου (space charge effect), που δημιουργείται λόγω του πάχους της συλλεγόμενης τέφρας πάνω στις πλάκες συλλογής και μειώνει

το ρεύμα κορώνας για μία δεδομένη τιμή τάσης. Η επίδραση του φαινομένου αυτού μειώνεται κατάντι της ροής των καυσαερίων, λόγω του ότι όλο και λιγότερα φορτισμένα σωματίδια μετακινούνται από το ρεύμα των καυσαερίων, καθώς τα περισσότερα έχουν κατακρατηθεί στο αρχικό τμήμα του ηλεκτροστατικού φίλτρου. Σαν αποτέλεσμα του παραπάνω φαινομένου, τα πεδία εισόδου έχουν υψηλότερες τάσεις για μία δεδομένη πυκνότητα ρεύματος. Αντίθετα μειωμένες τιμές τάσεων και αυξημένες τιμές πυκνότητας ρεύματος παρατηρούνται σε πεδία προς την έξοδο του φίλτρου. Το διάγραμμα της εικόνας 1.9 απεικονίζει αυτό ακριβώς το φαινόμενο.



Εικόνα 1.9

Λόγω του ότι τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ποικίλουν από την είσοδο έως την έξοδο του ηλεκτροστατικού φίλτρου, κρίνεται σκόπιμο να υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός ανεξάρτητα τροφοδοτούμενων ηλεκτρικών πεδίων, τα οποία θα αποτελούν το ενεργό μήκος του φίλτρου. Αυτού του είδους ο σχεδιασμός απαιτεί την προσομοίωση (οπτικοποίηση) των ηλεκτρικών συνθηκών για δεδομένα χαρακτηριστικά των σωματιδίων τέφρας σε οποιοδήποτε σημείο του ηλεκτροστατικού φίλτρου.

Ένας άλλος λόγος για την τοποθέτηση (συνεργασία) περισσότερων πεδίων κατά το σχεδιασμό ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου είναι η αξιοπιστία. Είναι κατανοητό ότι η

ηλεκτρική αστοχία ενός πεδίου στο εσωτερικό ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου 3 πεδίων θα έχει μεγαλύτερη επίδραση στο βαθμό απόδοσης συλλογής από την ηλεκτρική αστοχία ενός πεδίου σε ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο 14 πεδίων. Αυτή η ηλεκτρική αστοχία μπορεί να έχει σαν τελικό αποτέλεσμα πολλές δυσλειτουργίες, όπως η υπερπλήρωση των συλλεκτών (χοανών), θραύση των καλωδίων, ακόμη και διακοπή της τροφοδοσίας. Όταν ένα ηλεκτροστατικό πεδίο βγει εκτός λειτουργίας, τότε σταματά να κατακρατεί σωματίδια ιπτάμενης τέφρας και ο μόνος τρόπος που τα συλλέγει είναι λόγω της φυσικής βαρυτικής κατακάθισης τους και της φόρτισης μεταξύ των πλακών (λόγω παραμένουσας τάσης και ηλεκτραρνητικότητας των σωματιδίων). Ο παρακάτω πίνακας δείχνει το θεωρητικά αναμενόμενο αποτέλεσμα για διάφορους αριθμούς πεδίων εκτός λειτουργίας σε ένα φίλτρο 3 και 14 πεδίων αντίστοιχα.

Number of Fields Out of Service	Calculated Cell Efficiency (%) ⁽¹⁾	
	Three Field ESP	Fourteen Field ESP
0	99.60	99.60
1	98.90	99.51
2	95.87	99.40
3	0*	99.25
4	-	99.06
5	-	98.80
6	-	98.46
7	-	97.98
8	-	97.31
9	-	96.31
10	-	94.77
11	-	92.24
12	-	87.59
13	-	77.14
14	-	0*

Πίνακας

Στην περίπτωση που όλα τα πεδία είναι εκτός λειτουργίας τότε η απόδοση είναι θεωρητικά 0%, αλλά όπως προαναφέρθηκε, λόγω βαρυτικής καθίζησης έχουμε μία τιμή απόδοσης γύρω στο 59%.

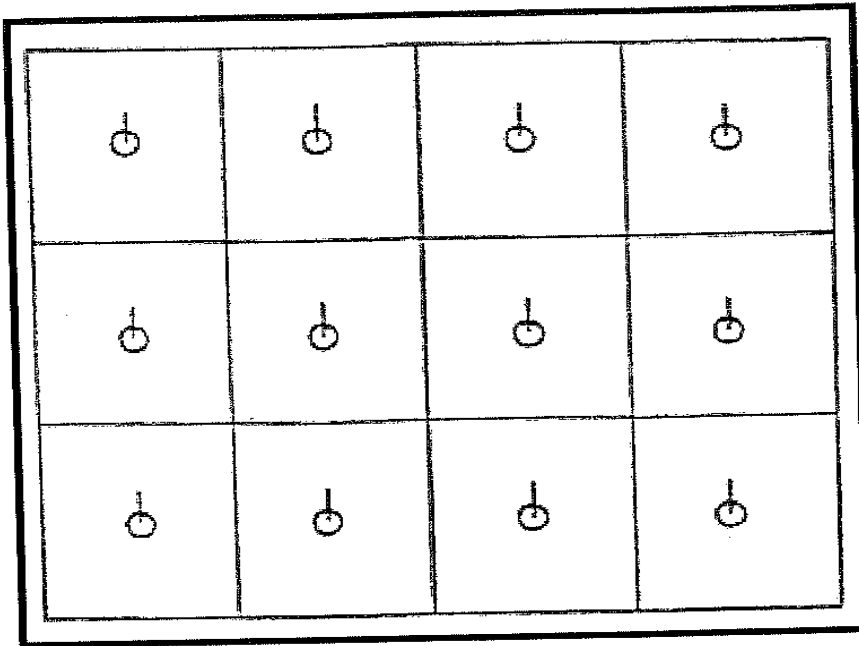
Οι υπολογισμοί στον παραπάνω πίνακα έγιναν με την υπόθεση ενός ονομαστικού συντελεστή απόδοσης 99.60% και χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση Matts-Ohnfeldt με $k=0.5$. Επιπλέον οι τιμές αφορούν την απόδοση για ένα κέλυφος του ηλεκτροστατικού φίλτρου και την επίδραση στο συνολικό βαθμό συλλογής, που εξαρτάται από τον αριθμό των εν παραλλήλω κελυφών.

Οι σημερινές τεχνικές σχεδιασμού χρησιμοποιούν 4 έως 6 πεδία για ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο με ονομαστικό βαθμό απόδοσης σχεδιασμού μεγαλύτερο από 99%.

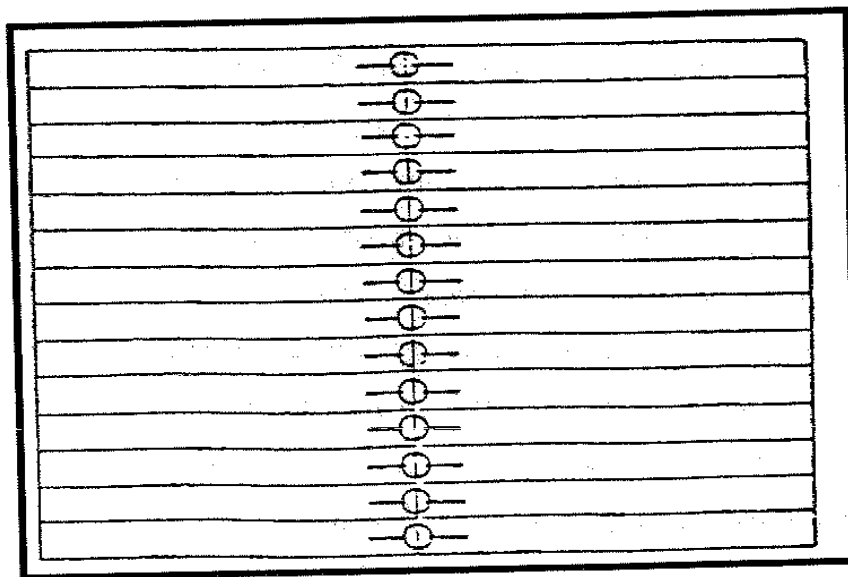
1.5.7 Ηλεκτρική τμηματοποίηση

Ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο μπορεί να είναι ηλεκτρικά διαιρεμένο κάθετα προς την κατεύθυνση της ροής ρευστού, που διέρχεται διαμέσου αυτού. Τμήματα σαν αυτά αναφέρονται σαν κελύφη. Συνεπώς το μικρότερο τμήμα ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου, το οποίο μπορεί να τροφοδοτηθεί ανεξάρτητα είναι μονού πεδίου και μονού κελύφους (one field in one cell), που διαφορετικά ονομάζεται τομέας αγωγού (bus section).

Όπως και στην περίπτωση των πεδίων, όσο περισσότεροι τομείς (bus section) υπάρχουν τόσο καλύτερη είναι η ασφάλεια και η προστασία που διαθέτει το σύστημα σε πιθανή μείωση της απόδοσης συλλογής, όταν ένας τομέας οδηγηθεί σε ηλεκτρική κατάρρευση-αστοχία. Η εικόνα 1.10 απεικονίζει τυπικές διατάξεις πεδίων. Το ηλεκτροστατικό φίλτρο των 3 πεδίων έχει 4 κελύφη, τα οποία δημιουργούν $3 \times 4 = 12$ ανεξάρτητους τομείς με 12 τροφοδοσίες. Το ηλεκτροστατικό φίλτρο 14 πεδίων έχει 2 κελύφη τα οποία δημιουργούν $2 \times 14 = 28$ τομείς. Ωστόσο στη δεύτερη περίπτωση κάθε τροφοδοσία παρέχει ισχύ για 2 τομείς στο ίδιο πεδίο. Οι διατάξεις αυτές επιλέγονται με τέτοιο τρόπο, ο οποίος παρέχει την απαραίτητη εξοικονόμηση στην κατανάλωση ενέργειας.



Εικόνα 1.10α



Εικόνα 1.10β

Για να δείξουμε τα πλεονεκτήματα του αυξημένου αριθμού πεδίων-τροφοδοσιών ας εξετάσουμε το αποτέλεσμα που θα είχε η διακοπή μιας τροφοδοσίας για κάθε ένα από τα ηλεκτροστατικά φίλτρα της εικόνας 1.10. Όσο αφορά το ηλεκτροστατικό φίλτρο 3 πεδίων, αυτή η διακοπή θα είχε σαν αποτέλεσμα να παραμείνουν σε λειτουργία 2

πεδία στο 1/4 του πλάτους του φίλτρου, ενώ τα υπόλοιπα 3 κελύφη θα λειτουργούσαν με απόδοση 99.6%. Ο συνολικός βαθμός απόδοσης του ηλεκτροστατικού φίλτρου με βάση τον πίνακα που παρουσιάστηκε προηγουμένως θα είναι:

$$\frac{99.6 + 99.6 + 99.6 + 98.9}{4} = 99.43\%$$

Όσο αφορά το ηλεκτροστατικό 14 πεδίων, αυτή η διακοπή της μίας τροφοδοσίας θα είχε σαν αποτέλεσμα τη μετατροπή του σε φίλτρο 13 πεδίων (λόγω του τρόπου συνδεσμολογίας της τροφοδοσίας έχουμε εκτός 1 πεδίο (→ δηλαδή 2 bus section → 2 κελύφη). Σύμφωνα με τον προηγούμενο πίνακα η συνολική απόδοση συλλογής θα πέσει στο 99.51%.

Τέλος, ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για το σχεδιασμό ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου με πολλά κελύφη κατά μήκος του πλάτους του, είναι οι θερμοκρασιακές βαθμίδες (θερμοκρασιακή ασυνέχεια) που είναι πολύ πιθανό να υπάρχουν στη ροή των καυσαερίων. Αυτές οι θερμοκρασιακές ανομοιομορφίες προκαλούνται συνήθως από τα LUVO (αναγεννητικός προθερμαντήρας) και διατηρούνται μέσα στο ηλεκτροστατικό φίλτρο. Εφόσον η ειδική ηλεκτρική αντίσταση της τέφρας είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας, οι θερμοβαθμίδες μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές αποκλίσεις στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά κατά μήκος του ηλεκτροστατικού φίλτρου. Επιπλέον, ανομοιόμορφη (φτωχή) κατανομή της στρωματοποιημένης ιπτάμενης τέφρας μπορεί να οδηγήσει σε διαβαθμίσεις του φορτίου σωματιδίων στο εσωτερικό του ηλεκτροστατικού φίλτρου, με τελικό απότοκο τα ανομοιόμορφα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2
ΣΤΟΙΧΕΙΑ (ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ)
ΕΝΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΥ
ΦΙΛΤΡΟΥ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

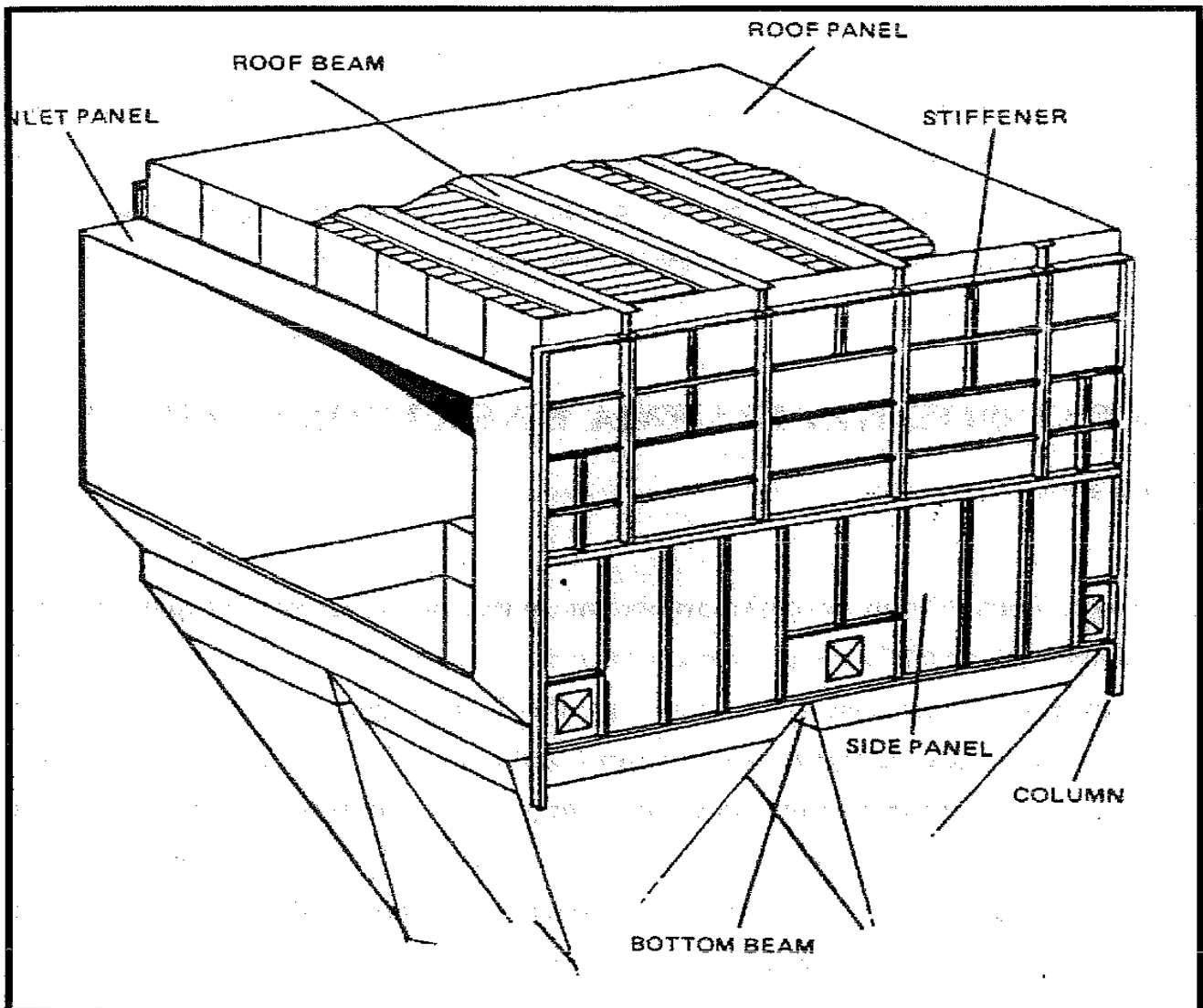
Ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο αποτελείται από πολλά στοιχεία, κάθε ένα από τα οποία συνεισφέρει στην εύρυθμη και αποτελεσματική λειτουργία του συνολικού συστήματος απομάκρυνσης των σωματιδιακών ρύπων. Το κεφάλαιο αυτό περιγράφει τα χαρακτηριστικά και τις βασικές λειτουργίες των πιο συνηθισμένων εξαρτημάτων που απαρτίζουν ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο, το οποίο χρησιμοποιείται για τη συλλογή της ιπτάμενης τέφρας από ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ατμό.

2.2 ΚΕΛΥΦΟΣ-ΠΕΡΙΒΛΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ

Το κέλυφος ή περίβλημα ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου είναι εφοδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να κατευθύνει και να περιορίζει τη ροή του ρευστού (στη συγκεκριμένη περίπτωση των καυσαερίων) διαμέσου της ειδικής περιοχής συλλογής και να παρέχει την απαραίτητη κατασκευαστική και δομική στήριξη των ηλεκτροδίων φόρτισης και συλλογής, των συστημάτων κατακρήμνισης και δόνησης, των μηχανισμών κατανομής και διανομής των καυσαερίων, καθώς επίσης και όλων των άλλων στοιχείων του φίλτρου. Το κέλυφος ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου κατασκευάζεται συνήθως από ανοξείδωτα ατσάλνια πάνελ, κολώνες, δοκούς και ενισχυμένα υλικά ενώ σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε η τελική συναρμολόγηση να παρέχει μία ανθεκτική μονάδα επεξεργασίας των καυσαερίων, ικανή να αντεπεξέλθει σε εσωτερικές και εξωτερικές καταπονήσεις. Στην εικόνα 2.1 απεικονίζεται μία τυπική κατασκευή κελύφους. [8]

Προκειμένου να αποφευχθεί η διάβρωση των υλικών λόγω της συμπίκνωσης υγρασίας και οξέων πάνω στα εσωτερικά τμήματα του φίλτρου και να μειωθεί η θερμική καταπόνηση των τμημάτων του, λόγω της διαφορικής μεταβολής της θερμοκρασίας κατά μήκος αυτού, χρησιμοποιούνται μονωτικά περιβλήματα και θερμική μόνωση στο κέλυφος, στις χοάνες, καθώς επίσης και στους κατευθυντήριους αγωγούς κίνησης του ρευστού. Η οροφή του ηλεκτροστατικού φίλτρου αποτελείται

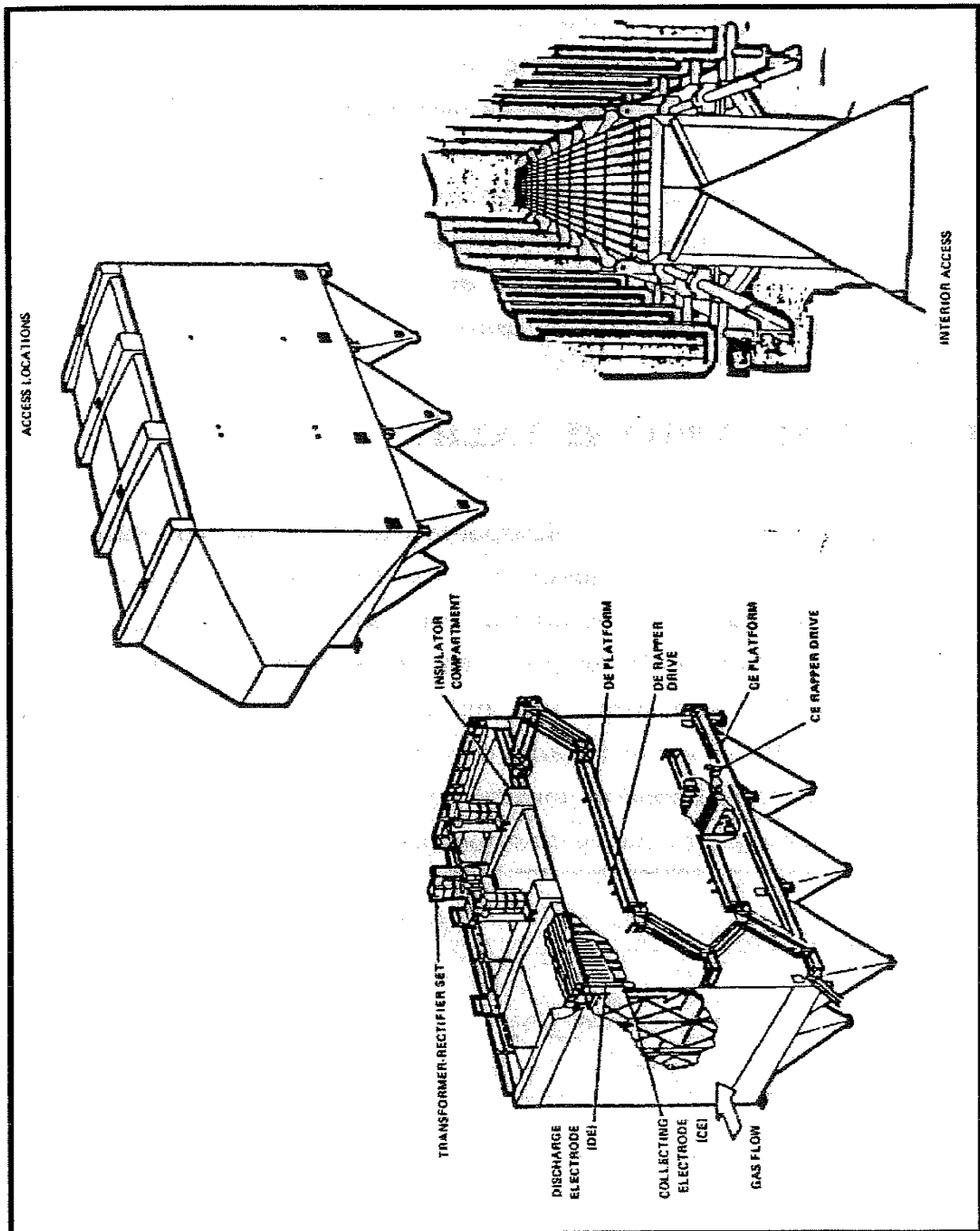
από ένα συναρμολογούμενο εσωτερικό τμήμα και ένα εξωτερικό μεταξύ των οποίων υπάρχει μόνωση.



Εικόνα 2.1

Το περίβλημα του φίλτρου περιλαμβάνει επίσης εισόδους πρόσβασης, οι οποίες βρίσκονται στα πλευρικά τοιχώματα και στην οροφή αυτού και επιτρέπουν την πρόσβαση στο εσωτερικό του. Ένα σύστημα αυτόματου κλειδώματος εμποδίζει το άνοιγμα αυτών των εισόδων όταν το ηλεκτροστατικό φίλτρο βρίσκεται σε λειτουργία. Επιπλέον διάδρομοι, πλατφόρμες και σκάλες είναι προσκολλημένες σε διάφορες θέσεις στο εσωτερικό και εξωτερικό περίβλημα για να επιτρέπουν την πρόσβαση σε

διάφορα μέρη του. Στην εικόνα 2.2 απεικονίζονται οι τυπικές προσβάσεις σε ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο.

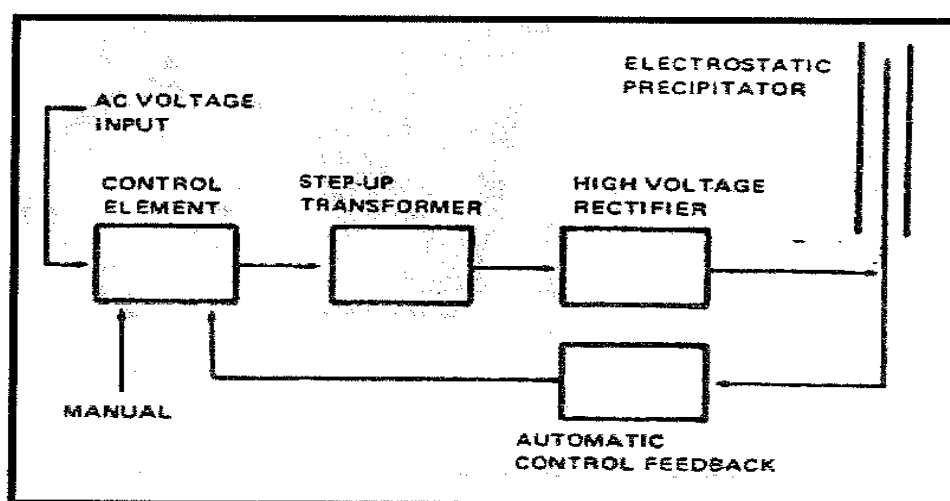


Εικόνα 2.2

Οι συσκευές διανομής-κατανομής των καυσαερίων παρέχονται σαν μέρος του κελύφους για να ομαλοποιούν τη ροή του ρευστού διαμέσου του ηλεκτροστατικού φίλτρου. Οι συσκευές αυτές, οι οποίες αποτελούνται από ένα τέταρτο την ίντσας πλάκες χάλυβα (ατσαλιού) ή ισαπέχοντες αγωγούς, τοποθετούνται τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο του ηλεκτροστατικού φίλτρου. Οι απομονωτήρες (baffles) της οροφής, των τοιχωμάτων και των συλλεκτών (χοανών) συλλογής τέφρας χρησιμοποιούνται για να ελαχιστοποιήσουν το ποσό των καυσαερίων που μπορεί να παρακάμπτουν τα ηλεκτρόδια. Συγκεκριμένα οι απομονωτήρες των συλλεκτών τέφρας εκτείνονται κάτω από το επίπεδο αυτής ως ασπίδα για να παρεμποδίζουν οποιαδήποτε ροή καυσαερίων διαμέσου αυτού.

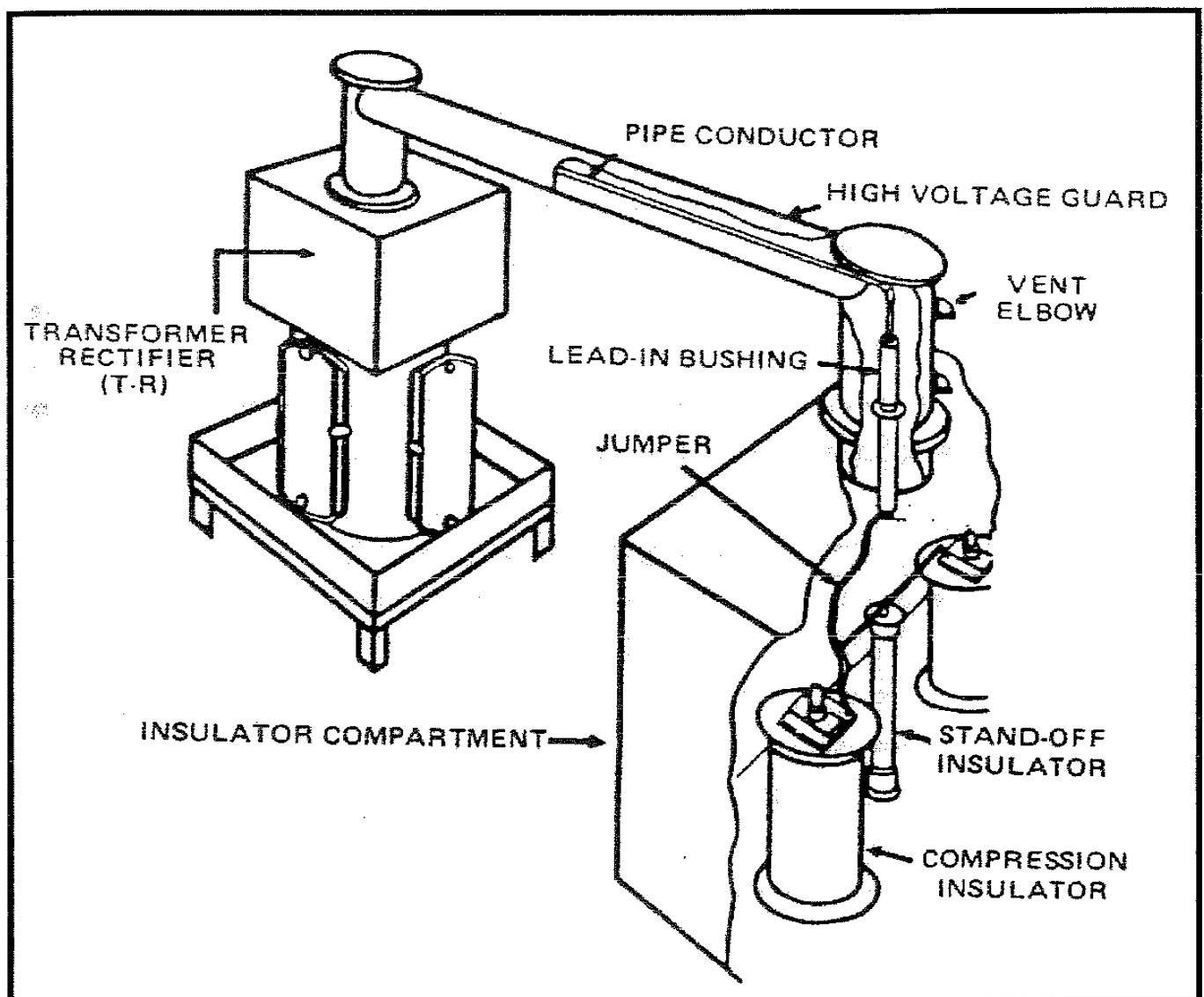
2.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ

Το σύστημα υψηλής τάσης ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου αποτελείται 3 κύρια στοιχεία όπως φαίνεται στην εικόνα 2.3: ένα βηματικό μετασχηματιστή, έναν ανορθωτή (rectifier) υψηλής τάσης και έναν ρυθμιστή τάσης, ο οποίος περιλαμβάνει μετρητικά και ασφαλιστικά κυκλώματα. Ο βηματικός (step up) μετασχηματιστής, ο οποίος αυξάνει την τάση στην τιμή της επιθυμητής που απαιτείται από το ηλεκτροστατικό φίλτρο και ο ανορθωτής, ο οποίος μετατρέπει την υψηλή ac τάση σε dc, τοποθετούνται σε μεμονωμένη μονάδα στο φίλτρο, η οποία γεμίζει με μονωτικό υγρό και καλείται σύστημα μετασχηματιστή-ανορθωτή (transformer-rectifier set).



Εικόνα 2.3

Οι μονάδες αυτές (T/R set) εδράζονται στις οροφές των ηλεκτροστατικών φίλτρων και οι τυπικές τιμές του δευτερεύοντος τυλίγματος τάσης (μέσης ενεργής – root mean square) και του ρεύματος ποικίλλουν από 45 kV έως 55 kV και από 250 mA έως 1500 mA αντίστοιχα. Το όλο σύστημα συνδέεται στα ηλεκτρόδια φόρτισης με έναν αγωγό υψηλής τάσης. Ένα τυπικό σύστημα T/R είναι εφοδιασμένο με ένα θερμόμετρο, ένα μετρητή για τη μέτρηση του ύψους του μονωτικού υγρού, ένα μετρητή πίεσης, ένα χαμηλής τάσης συνδετικό κιβώτιο, ένα εξωτερικό δακτύλιο και ένα διακόπτη γείωσης. Η εικόνα 2.4 δείχνει ένα τυπικό σύστημα μετασχηματιστή-ανορθωτή (T/R set). [10]



Εικόνα 2.4

2.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΑΣΗΣ

Η πρωταρχική και κύρια λειτουργία ενός αυτοματοποιημένου συστήματος ελέγχου τάσης για ένα σύγχρονο ηλεκτροστατικό φίλτρο είναι η διατήρηση του επιπέδου τάσης σε έναν ηλεκτρικό τομέα στη βέλτιστη δυνατή τιμή, ακόμη και όταν τα χαρακτηριστικά και οι συγκεντρώσεις της ιπτάμενης τέφρας υπερβούν αυτά του σχεδιασμού και παρουσιάσουν δυναμική συμπεριφορά. Τα σύγχρονα συστήματα ελέγχου της τάσης περιέχουν πολύπλοκα κυκλώματα, τα οποία είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρούν τη μέγιστη δυνατή χρονική-μέση (time averaged) τάση σε κάθε τομέα και ταυτόχρονα να εμποδίζουν οποιαδήποτε φθορά ή καταστροφή των ηλεκτροδίων του ηλεκτροστατικού φίλτρου. [12]

Σε ένα φυσιολογικό εύρος συνθηκών λειτουργίας του ηλεκτροστατικού φίλτρου, η τάση εξόδου του συστήματος T/R είναι άμεσα ανάλογη της τάσης εισόδου. Επομένως η τάση εξόδου μπορεί για το λόγο αυτό να ελεγχθεί με αλλαγή της τάσεως εισόδου στο σύστημα T/R. Κοινές χρησιμοποιούμενες συσκευές ελέγχου είναι οι αντιδραστήρες κορεσμού (saturable reactors), μαγνητικές συσκευές, ανορθωτές ελέγχου σιλικόνης (silicon controlled rectifiers-SCR) και θυρίστορς.

Το σήμα εισόδου στη συσκευή ελέγχου καθορίζει το λειτουργικά χαρακτηριστικά της τροφοδοσίας. Ένα σήμα ελέγχου μπορεί να ποικίλλει από το χειρισμό ενός απλού μηχανισμού μιας συσκευής έως και ένα δυναμικό σήμα ελέγχου, το οποίο σχετίζεται με το ρεύμα, την τάση, το σπινθηρισμό ή συνδυασμό αυτών. Τα χαρακτηριστικά τάσης-έντασης ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου σχετίζονται με το σύστημα των ηλεκτροδίων, καθώς επίσης και με τη συγκέντρωση και σύνθεση της ιπτάμενης τέφρας. Πολύ μεγάλα φορτία τέφρας τείνουν να εξαλείψουν (περιορίσουν) το ρεύμα κορώνας στα τμήματα εισόδου ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου, ενώ υψηλής ειδικής αντίστασης (resistivity) τέφρες έχουν σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερες πτώσεις τάσης στα στρώματα απόθεσης. Οι συνθήκες αυτές μπορούν να οδηγήσουν σε πολλαπλούς ηλεκτρικούς σπινθηρισμούς (εκκενώσεις), φαινόμενα αντίστροφης κορώνας (back

corona) ή χαμηλό βαθμό απόδοσης συλλογής. Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η εγκατάσταση εξαρτημάτων ρύθμισης των συνθηκών της ροής των καυσαερίων.

Επιπλέον, τα συστήματα ελέγχου ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου πρέπει να περιλαμβάνουν συστήματα περιορισμού του ρεύματος, προκειμένου να αποφεύγονται αστοχίες των εξαρτημάτων τροφοδοσίας κάτω από συνθήκες τόξου με καταστροφικές συνέπειες. Όταν συμβεί ηλεκτρική εκκένωση (τόξο) μεταξύ του ηλεκτροδίου φόρτισης και της πλάκας-ηλεκτροδίου συλλογής, το ιονισμένο τμήμα (ionized path) που δημιουργείται, αποτελεί ένα μικρό κύκλωμα κατά μήκος της τροφοδοσίας. Χωρίς την ύπαρξη κυκλωμάτων περιορισμού του ρεύματος η τιμή του ρεύματος που θα προκύψει θα είναι πολύ υψηλή και θα οδηγήσει σε καταστροφική απώλεια του κυκλώματος μετασχηματιστή-ανορθωτή. Τέτοια συστήματα περιορισμού του ρεύματος αποτελούνται κυρίως από μία ποικιλία συσκευών, συμπεριλαμβανομένων αντιστάσεων (αντιστατών), ποικίλους συνδυασμούς ηλεκτρικών στοιχείων ή τέλος ενεργές συσκευές στο υποσύστημα ελέγχου.

Τα δύο κύρια χαρακτηριστικά του συστήματος ελέγχου τάσης ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου είναι η απόκρισή του στην αλλαγή των συνθηκών λειτουργίας και το εύρος των τιμών ελέγχου. Με στόχο τη μεγιστοποίηση της ωφέλιμης ενέργειας εισόδου, πράγμα το οποίο συνεπάγεται τη βέλτιστη απόδοση του φίλτρου, οι τροφοδοσίες θα πρέπει να λειτουργούν στο εύρος σπινθηρισμού (εκκένωσης-sparking mode). Όταν παρατηρηθεί σπινθηρισμός, η τιμή του ρεύματος πρέπει να μειωθεί και να επέλθει σβέση αυτού, για να αποτραπεί ηλεκτρική εκκένωση (τόξο), το οποίο θα έχει σαν τελικό αποτέλεσμα την αστοχία του ηλεκτροδίου φόρτισης και βλάβη του συστήματος μετασχηματιστή-ανορθωτή (T/R system). Οι περισσότερες σύγχρονες τροφοδοσίες είναι σχεδιασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να μειώνουν ακαριαία την τάση μόλις συμβαίνει ηλεκτρική εκκένωση, και να την επαναφέρουν στο φυσιολογικό μετά τη σβέση του τόξου, έτσι ώστε το ηλεκτροστατικό φίλτρο να επανέρχεται γρήγορα στις βέλτιστες λειτουργικές συνθήκες σχεδιασμού του. [6]

Κάθε σύστημα T/R έχει μία ξεχωριστή συσκευή ελέγχου, η οποία τοποθετείται συνήθως μέσα σε ένα μεταλλικό κινούμενο περίβλημα, που παρέχει τη δυνατότητα εγκατάστασης στο εσωτερικό του φίλτρου. Κάθε μονάδα ελέγχου περιέχει όλα εκείνα

τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τον έλεγχο και τη προστασία του συστήματος T/R. Οι χώροι των συσκευών ελέγχου είναι εφοδιασμένοι με όργανα τα οποία παρέχουν ενδείξεις για την τάση και τη ένταση του ρεύματος στο πρωτεύον και δευτερεύων τύλιγμα του συστήματος T/R, καθώς επίσης και για το εύρος δημιουργίας σπινθηρισμού (τόξου). Πολλά σύγχρονα συστήματα ελέγχου διαθέτουν αναλογικά ή ψηφιακά ηλεκτρονικά στοιχεία τα οποία είναι ευπαθή σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και για το λόγο αυτό θα πρέπει να τοποθετούνται σε καθαρό και αεριζόμενο χώρο.

2.5 ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΥΤΩΝ:

Τα ηλεκτρόδια φόρτισης ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου είναι σχεδιασμένα να παράγουν ισχυρές και ομοιόμορφες κορώνες, ενώ ταυτόχρονα διατηρούν την απαραίτητη απόσταση και ευθυγράμμιση όσο αφορά τις πλάκες-ηλεκτρόδια συλλογής. Στα ηλεκτρόδια αποφόρτισης εφαρμόζονται υψηλά ηλεκτρικά δυναμικά κατά τη διάρκεια λειτουργίας του φίλτρου με σκοπό τον ιονισμό των καυσαερίων και τη δημιουργία ηλεκτρικών πεδίων για φόρτιση και παρακράτηση των σωματιδίων.

Τα συστήματα των ηλεκτροδίων φόρτισης είναι διαιρεμένα σε διακριτούς τομείς, καθένας από τους οποίους ενεργοποιείται (τροφοδοτείται) από διαφορετικό συνδυασμό μετασχηματιστή-ανορθωτή (T/R set). Η ηλεκτρική αυτή τμηματοποίηση είναι πολύ σημαντική αν θέλουμε να επιτύχουμε τα βέλτιστα ρεύματα κορώνας και τις κατάλληλες τάσεις στις μονάδες T/R, καθώς επίσης και αν επιδιώκουμε αξιοπιστία και σταθερότητα του συστήματος κάτω από συνθήκες τόξου.

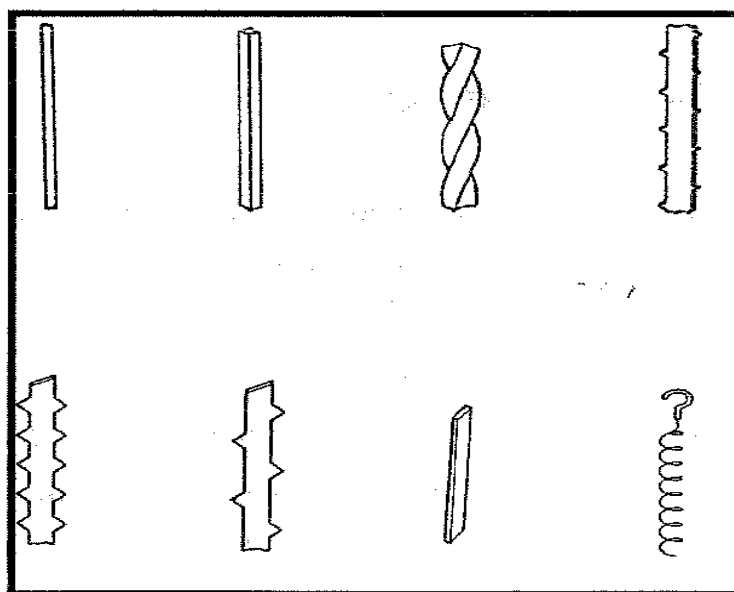
Τα ηλεκτρόδια φόρτισης έχουν διάφορα σχήματα και μεγέθη, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.5 .

Οι μέθοδοι στήριξης αυτών στο ηλεκτροστατικό φίλτρο ποικίλουν ανάλογα με τον κατασκευαστή. Μία μέθοδος στήριξης είναι το κρέμασμα των ηλεκτροδίων σε μία υπερυψωμένη δοκό και η τοποθέτηση βαριδίων και οδηγών στη βάση τους για τη

διατήρηση της θέσης τους. Μία άλλη προσέγγιση είναι η τοποθέτηση τους με πλαίσιο ή σωληνοειδή στήριξη μέσα στο φίλτρο. Τα ηλεκτρόδια που υπάρχουν στην αγορά ανήκουν συνήθως σε μία από τις παρακάτω κατηγορίες:

2.5.1 Weighted-wire (ηλεκτρόδια με κρεμασμένα βαρίδια)

Τα ηλεκτρόδια με κρεμασμένα βαρίδια αποτελούνται από κάθετα κρεμασμένα σύρματα, τα οποία εκτείνονται καθ' όλο το ύψος των πλακών-ηλεκτροδίων συλλογής. Οι διάμετροι των ηλεκτροδίων ποικίλλουν από 0.100 in έως 0.150 in. Στην πράξη προσδένονται από ένα πλαίσιο στην κορυφή και συγκρατούνται με τη βοήθεια βαριδιών στο κάτω μέρος τους. Τα σύρματα αυτά διατηρούνται σε σταθερή θέση με τη βοήθεια ενός σταθερού πλαισίου, το οποίο είναι εφοδιασμένο με οδηγούς στη βάση του. Η εικόνα 2.7 (σελ.51) απεικονίζει ένα σύστημα ηλεκτροδίων με βαρίδια, ενώ ταυτόχρονα δείχνει τον τρόπο στήριξης των καλωδίων (συρμάτων) στην κορυφή και τους οδηγούς των βαριδιών στη βάση. Λόγω του ότι πολλές φορές τα σύρματα αυτά εκτίθενται σε τοπικούς σπινθηρισμούς, κυρίως στις περιοχές υψηλών πεδίων, χρησιμοποιούνται ενισχυτικά υλικά περιέλιξης ώστε να αυξάνεται η διάμετρος των ηλεκτροδίων και να ενισχύονται τα χαμηλά πεδία στις κρίσιμες περιοχές κοντά στις απολήξεις αυτών.



Εικόνα 2.5

2.5.2 Rigid frame (άκαμπτο πλαίσιο)

Αυτός ο τύπος σχεδίασης, που αναφέρεται επίσης και σαν τύπος ελατηρίων κρεβατιού (λόγω της μορφής του), χρησιμοποιεί ένα δύσκαμπτο πλαίσιο για τη στήριξη των ηλεκτροδίων φόρτισης (βλ. εικόνα 2.8, σελ.52). Τα ηλεκτρόδια του τύπου αυτού μπορεί να ποικίλλουν σε σχήμα και μπορεί να είναι κυκλικά, τετραγωνικές περιελίξεις, κατάλληλα σχηματοποιημένες λουρίδες ή σε διάφορα άλλα κατάλληλα σχήματα ώστε να δίνουν τις επιθυμητές κάθε φορά σχέσεις μεταξύ ρεύματος και τάσης. Τα ηλεκτρόδια στην περίπτωση αυτή προσδέονται σε οριζόντια κάθετα τμήματα, τα οποία στηρίζονται στο άκαμπτο πλαίσιο. Η απόσταση μεταξύ των στηριγμάτων ποικίλλει από 3 έως 7 πόδια.

2.5.3 Spiral wire (ελικοειδή ηλεκτρόδια)

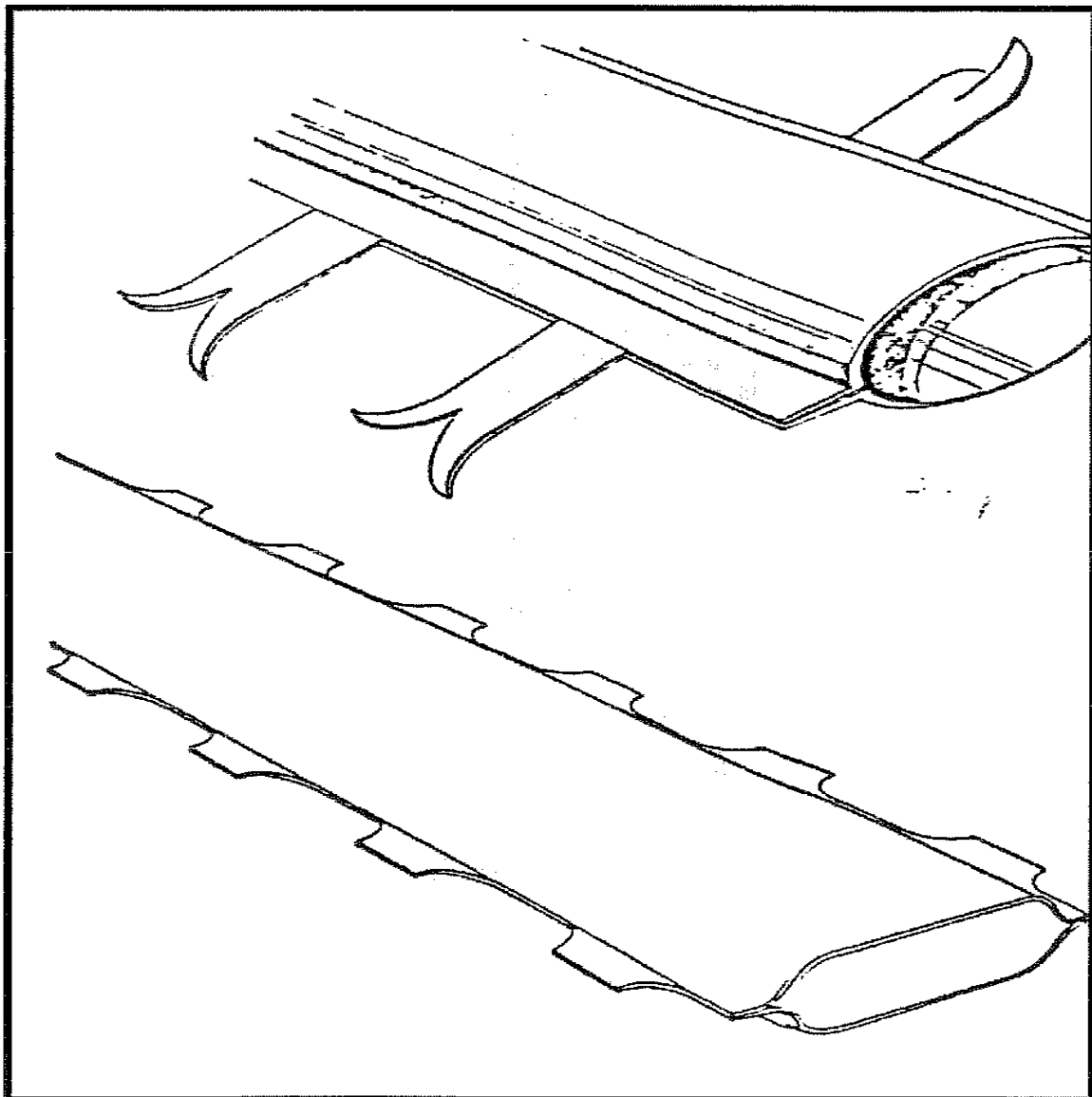
Τα ηλεκτρόδια αυτού του τύπου είναι ελατήρια, τα οποία κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης τεντώνονται κατά μήκος των πλακών συλλογής. Οι άκρες αυτών συνδέονται πάνω σε ειδικά σχηματοποιημένα πλαίσια και η τάση τανισμού που προκύπτει περιορίζει τις πλευρικές τους κινήσεις μέσα στο ηλεκτροστατικό φίλτρο. Η διάμετρος των συρμάτων που χρησιμοποιούνται σε αυτή την κατηγορία ηλεκτροδίων είναι της τάξεως της 0.1 in. Η εικόνα 2.9 (σελ.52) απεικονίζει μία τυπική εγκατάσταση αυτού του τύπου ηλεκτροδίων.

2.5.4 Rigid Mast (άκαμπτος ιστός)

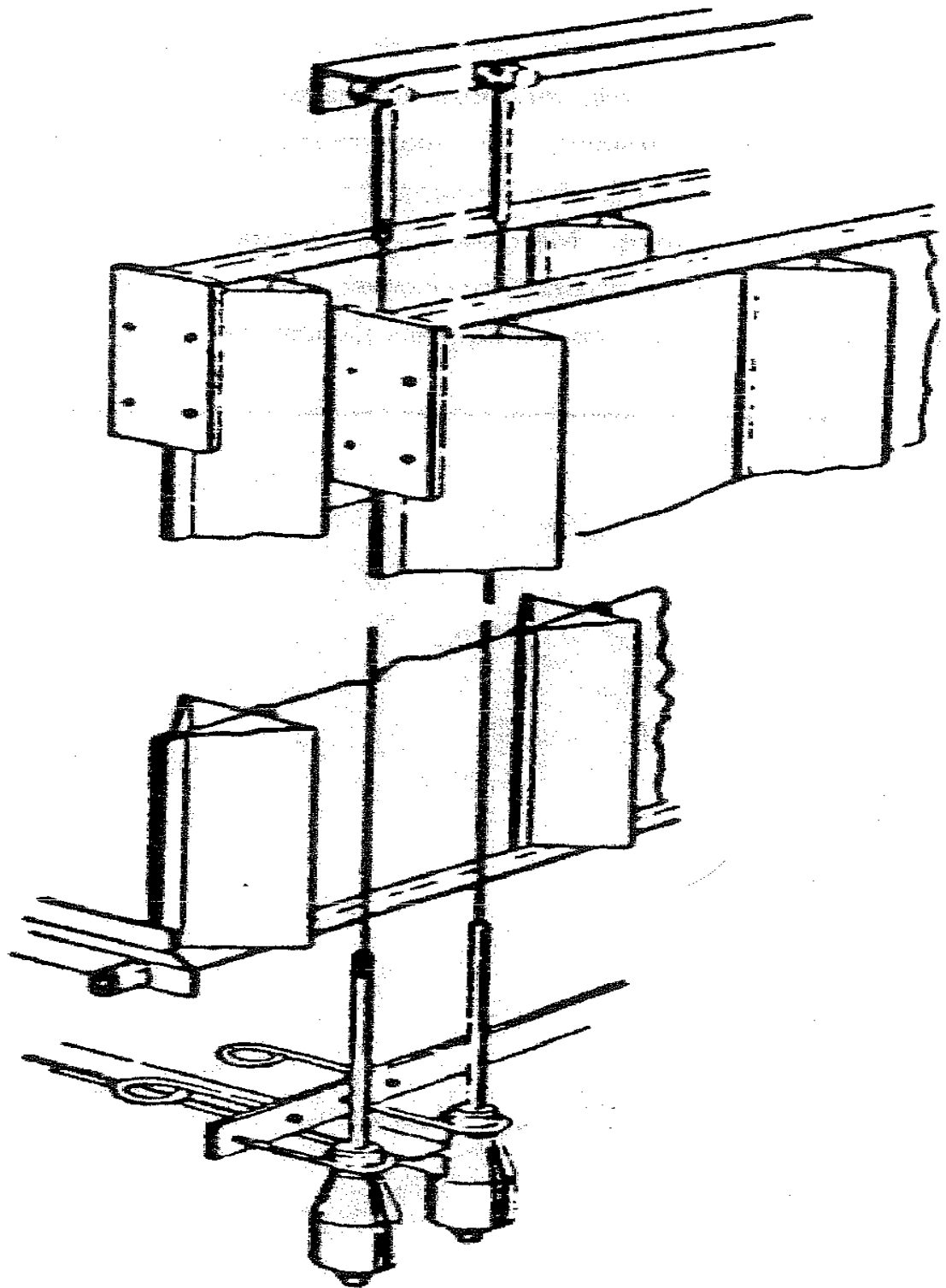
Το σύστημα ηλεκτροδίων φόρτισης τύπου ιστού χρησιμοποιεί μία δύσκαμπτη κατασκευαστική δομή για την ανεξάρτητη και μεμονωμένη στήριξη των ηλεκτροδίων, σαν αυτή που φαίνεται στην εικόνα 2.10 (σελ.53). Τα τμήματα στήριξης, που είναι συνήθως σωλήνες, στερεώνονται στο επάνω μέρος του πλαισίου στήριξης. Τα ηλεκτρόδια και σε αυτή την περίπτωση μπορεί να είναι κυκλικά, τετραγωνικές περιελίξεις ή κάποιου άλλου κατάλληλου σχήματος για το λόγο που προαναφέρθηκε, και στερεώνονται διαμέσου σταυρωτών βραχιόνων, οι οποίοι στηρίζονται στο κεντρικό πλαίσιο στήριξης. Η απόσταση μεταξύ των στηριγμάτων κυμαίνεται και πάλι στα 3 έως 7 πόδια.

2.5.5 Rigid electrode (άκαμπτα ηλεκτρόδια)

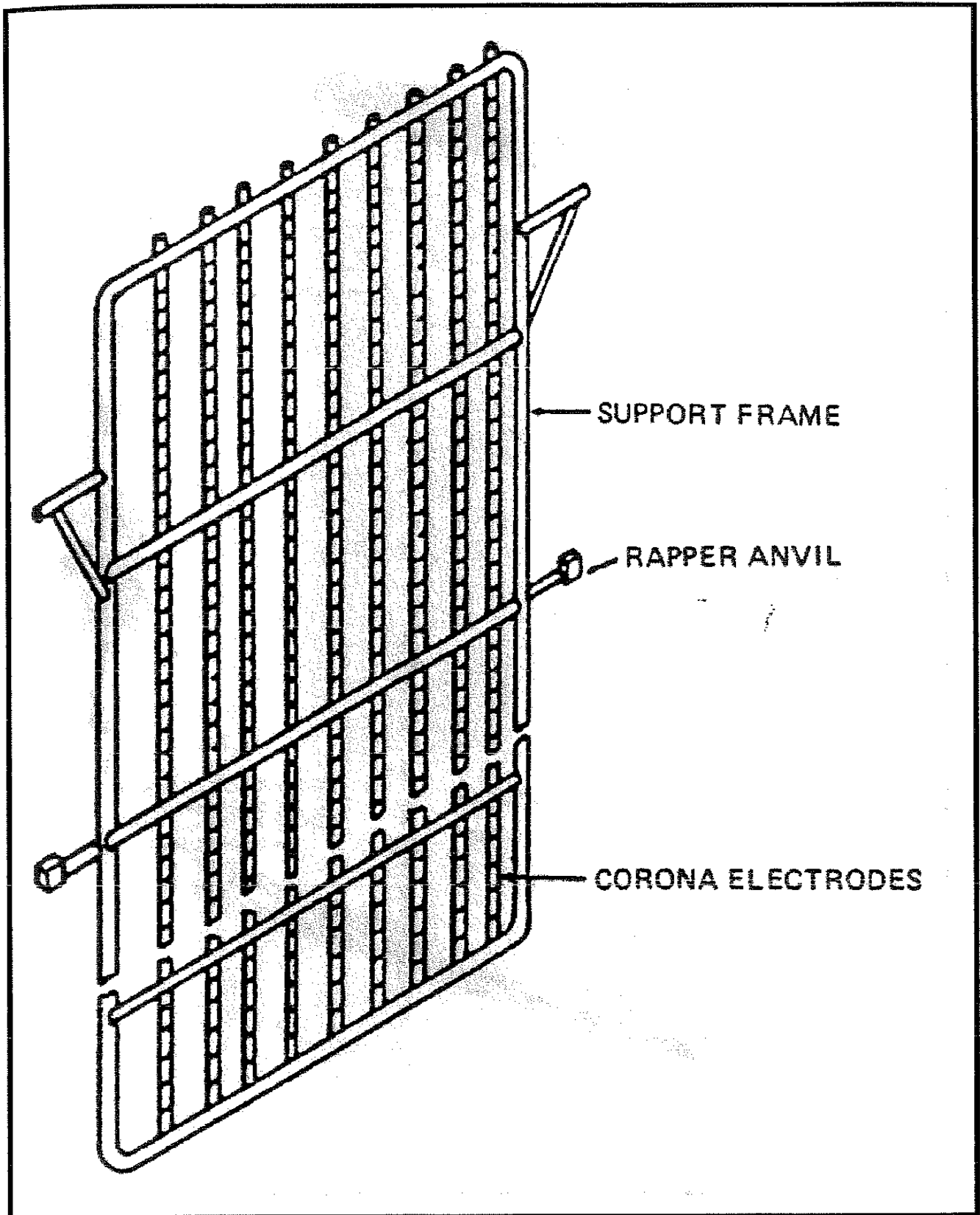
Αυτός ο τύπος ηλεκτροδίων αποτελείται από μορφοποιημένα φύλλα ή άκαμπτα κατασκευαστικά τμήματα, τα οποία στερεώνονται σε ένα πλαίσιο στήριξης στην κορυφή της όλης κατασκευής. Το μήκος τους εκτείνεται σε όλο το ύψος των πλακών συλλογής και τα ηλεκτρόδια διατηρούνται σε σταθερή θέση με τη βοήθεια ενός πλαισίου ευθυγράμμισης. Με σκοπό να ενισχυθεί η δημιουργία κορώνας, τα φύλλα σχεδιάζονται με οξείες αιχμές ή προεξοχές του υλικού. Οι εικόνες 2.6 έως και 2.11 δείχνουν τυπικές κατασκευές άκαμπτων ηλεκτροδίων.



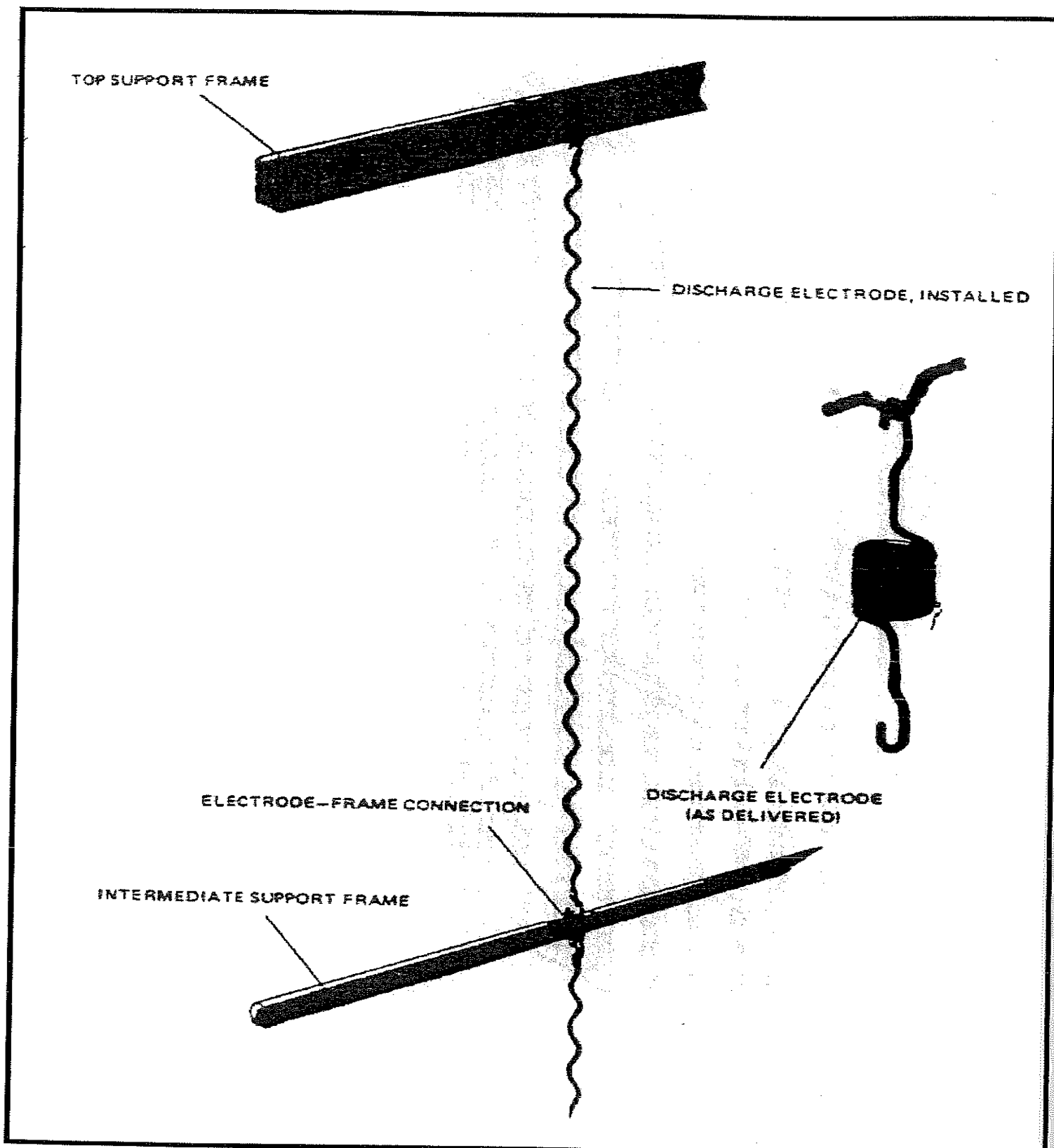
Εικόνα 2.6



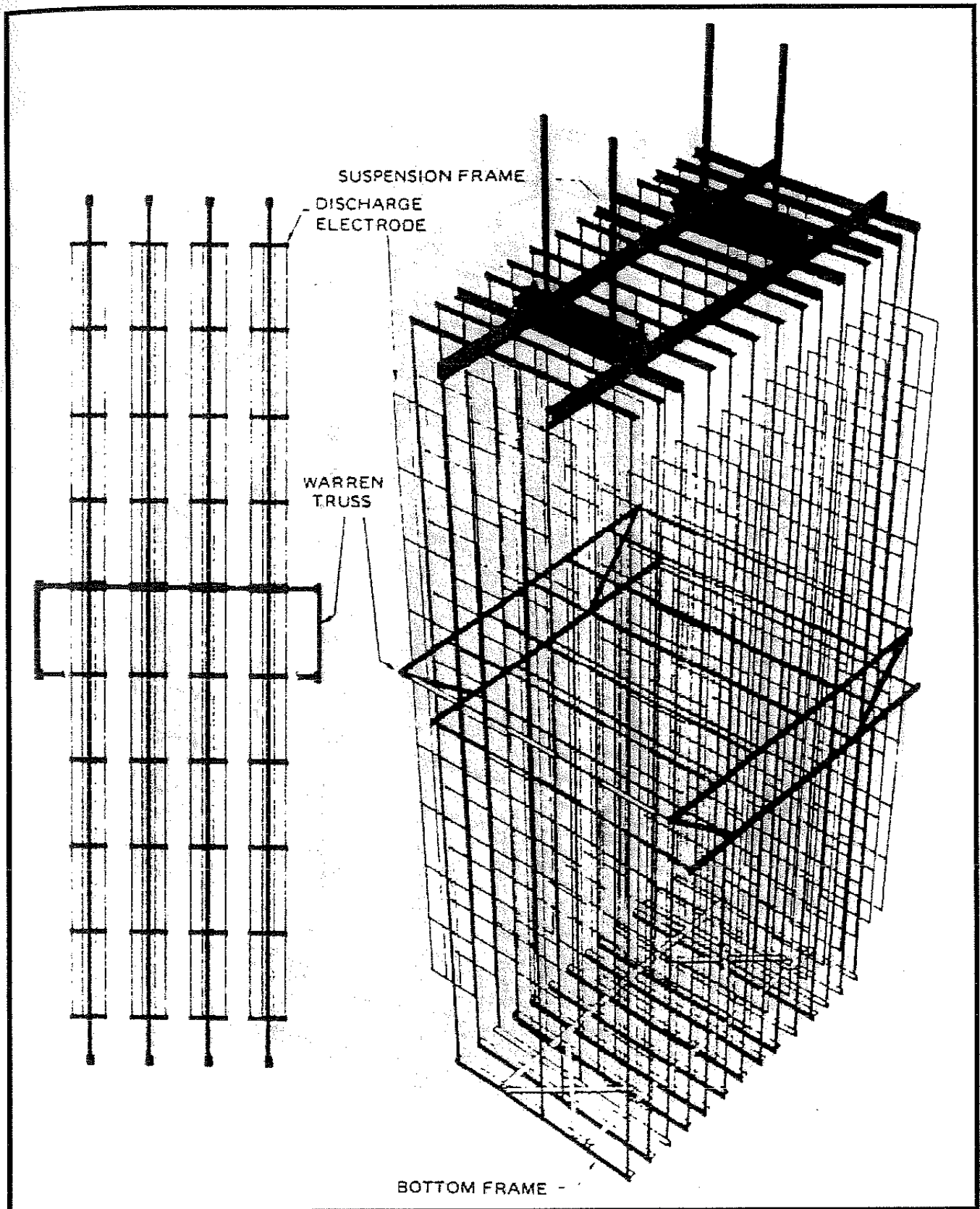
Εικόνα 2.7



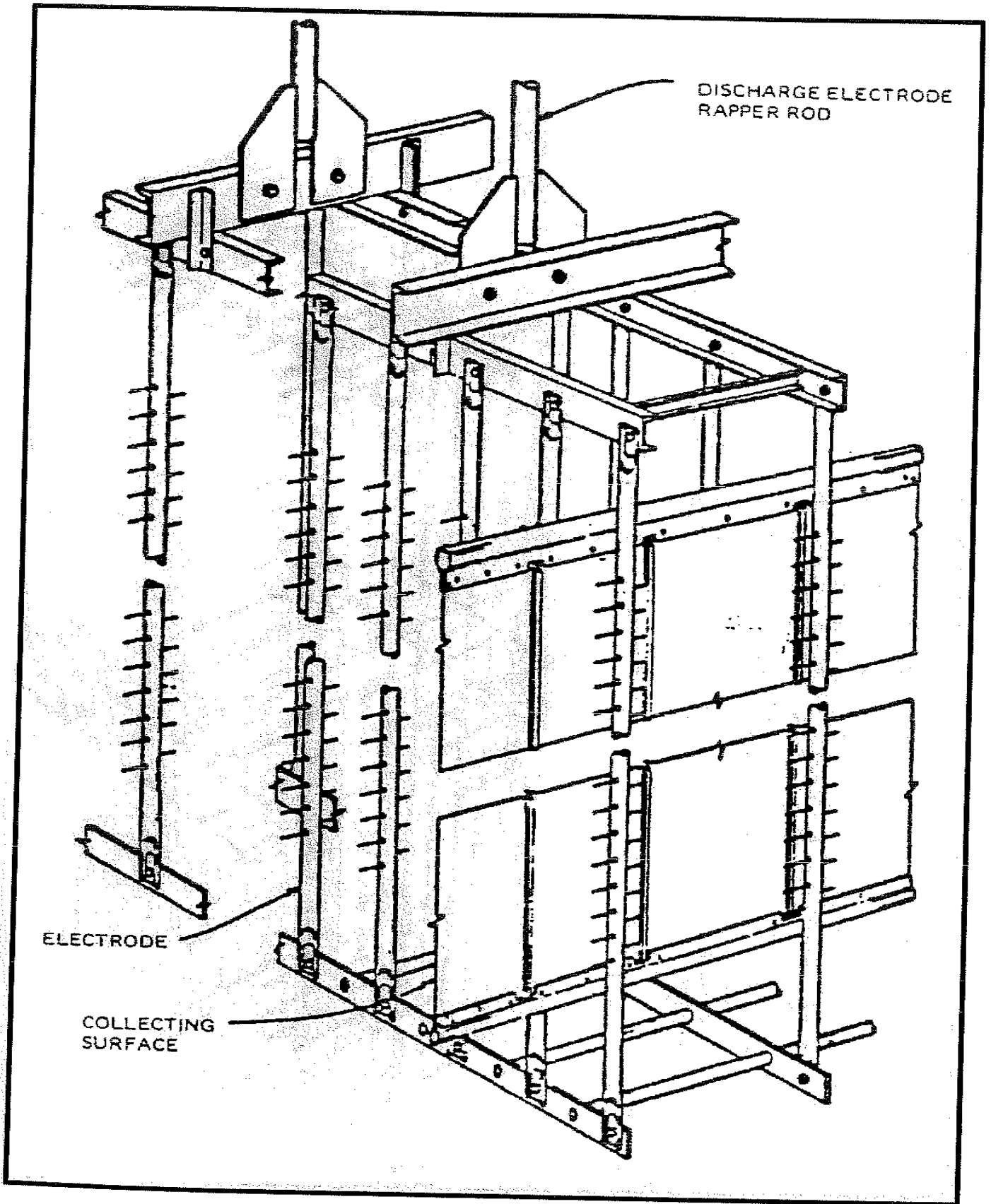
Εικόνα 2.8



Εικόνα 2.9



Εικόνα 2.10

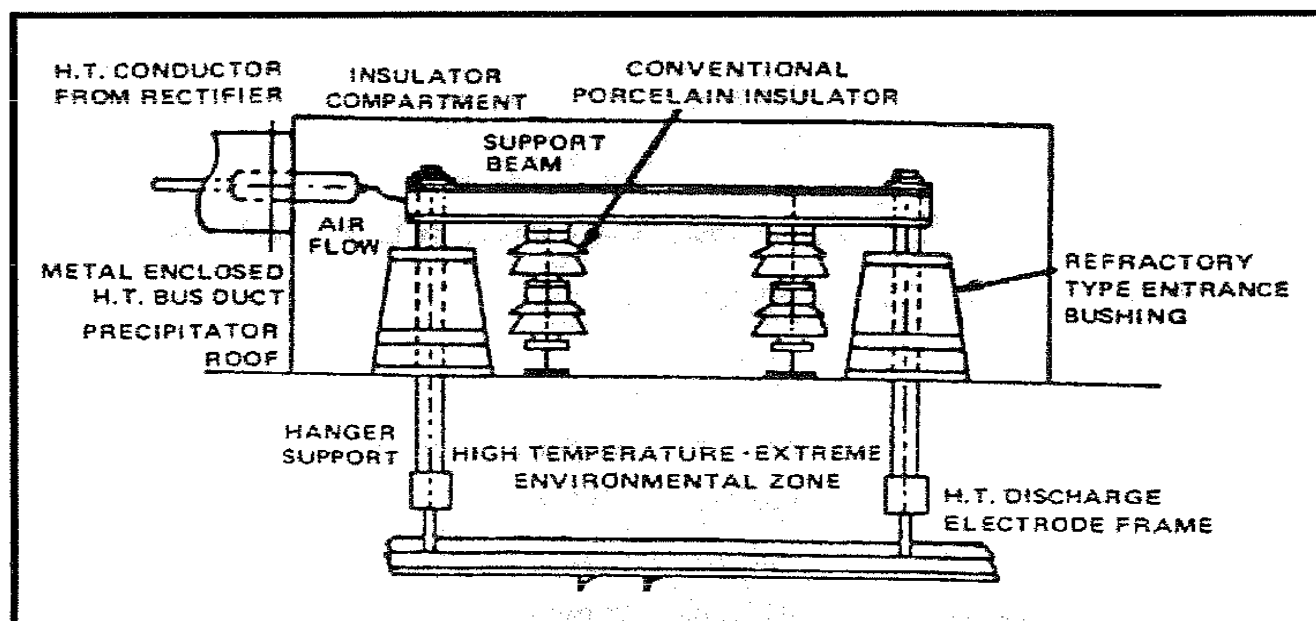


Εικόνα 2.11

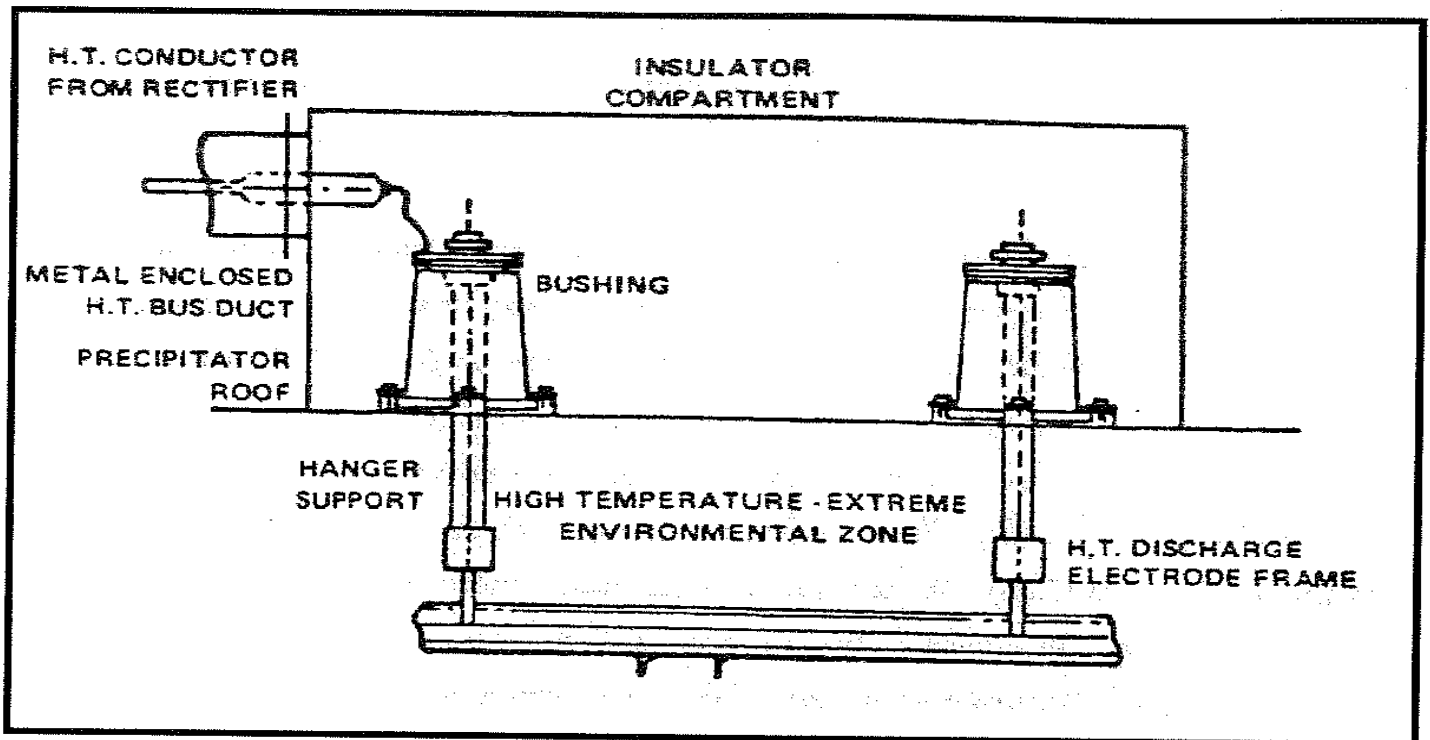
Το σύστημα στήριξης των ηλεκτροδίων φόρτισης έχει 2 πρωταρχικές λειτουργίες: 1) να παρέχει την απαραίτητη ηλεκτρική μόνωση και 2) να προσδίδει μηχανική αντοχή στο πλαίσιο (πλέγμα) των ηλεκτροδίων φόρτισης.

Πολλά είδη συστημάτων στήριξης χρησιμοποιούνται σήμερα στη βιομηχανία κατασκευής ηλεκτροστατικών φίλτρων. Ένας τύπος από αυτά αποτελείται από μονωτήρες με δακτυλίους εισόδου, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.12. Σε αυτό τον τύπο κατασκευής οι μονωτήρες υψηλής τάσης είναι τοποθετημένοι στην οροφή του ηλεκτροστατικού φίλτρου. Ένας αγωγός τοποθετείται πάνω από τους μονωτήρες και η πρόσδεση των ηλεκτροδίων φόρτισης γίνεται πάνω σε αυτόν με τη βοήθεια στηριγμάτων (γάντζων). Άλλοι μονωτήρες από πορσελάνη παραλαμβάνουν το μηχανικό φορτίο του εσωτερικού πλαισίου και τοποθετούνται συνήθως σε περιοχές σχετικά χαμηλών θερμοκρασιών που είναι συγκριτικά με άλλες καθαρότερες, όσο αφορά τη συγκέντρωση ρυπαντών (μολυσματικών ουσιών).

Η εικόνα 2.13 απεικονίζει ένα σύστημα στήριξης στο οποίο το ηλεκτρόδιο φόρτισης προσδέεται με τη βοήθεια γάντζων, οι οποίοι συνδέονται άμεσα με τους δακτυλίους. Λείπει δηλαδή ο αγωγός σύνδεσης με τους πορσελάνινους δακτυλίους, όπως αυτός που απεικονίζεται στην εικόνα 2.12



Εικόνα 2.12



Εικόνα 2.13

Σε αυτή τη διάταξη οι δακτύλιοι είναι κατασκευασμένοι από αλουμίνιο (alumina) ή κάποιο παρόμοιο υλικό και διαθέτουν υψηλή μηχανική αντοχή και καλή θερμική αντίσταση σε απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας. Υπάρχουν βέβαια και πολλά άλλα συστήματα στήριξης ηλεκτροδίων, τα οποία ποικίλλουν ανάλογα με τον κατασκευαστή. [13]

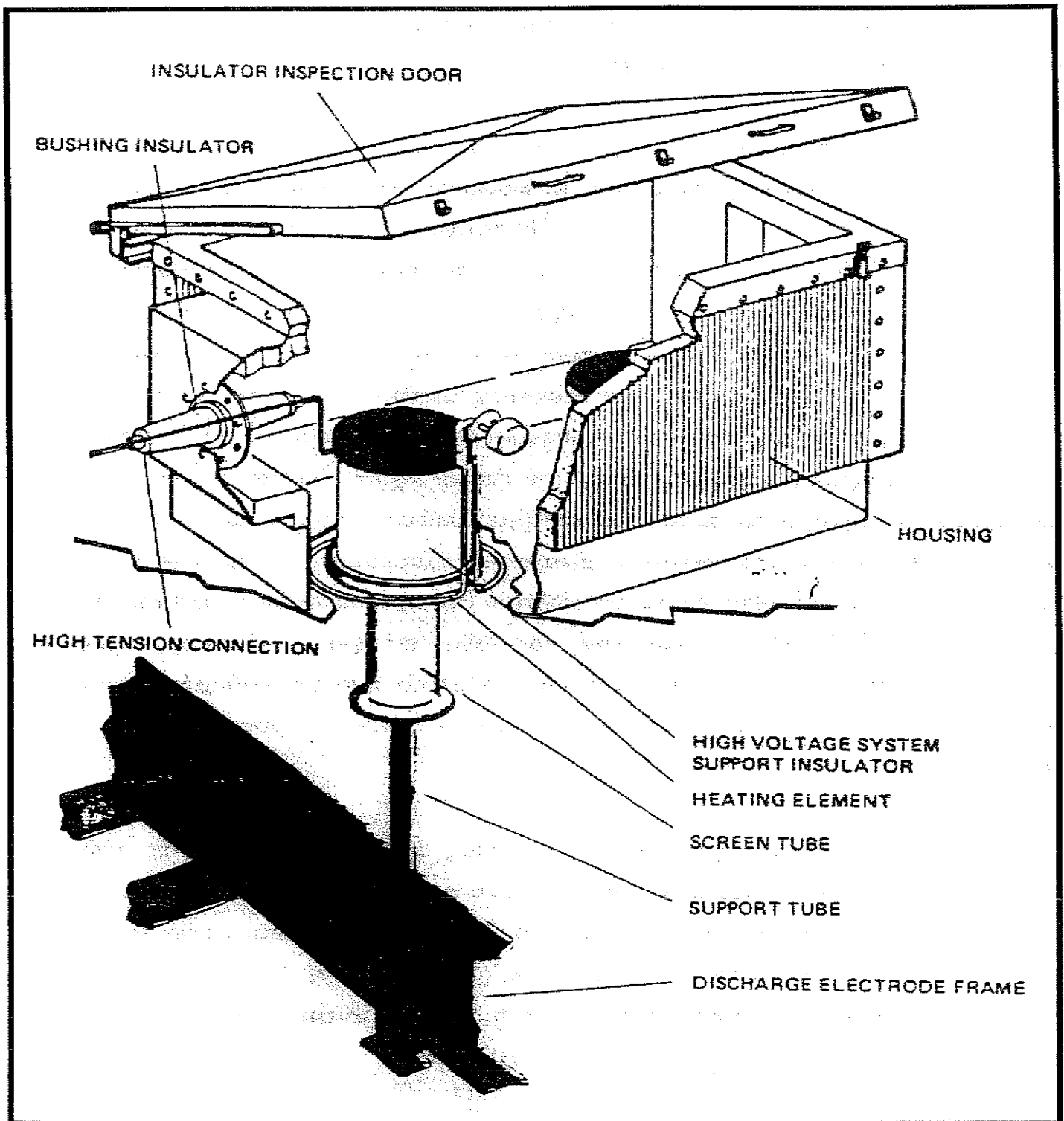
2.6 ΜΟΝΩΤΗΡΕΣ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ, ΚΕΛΥΦΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως τα συστήματα μονωτήρων υψηλής τάσης ποικίλλουν σε μέγεθος και σχήμα και είναι κατασκευασμένα από πορσελάνη, λωμένο αλουμίνιο ή πυρίμαχα υλικά. Οι μονωτήρες αυτοί τοποθετούνται σε μεταλλικά περιβλήματα (κελύφη) είτε ξεχωριστά, είτε σε ομάδες για να προστατεύονται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Σε ορισμένες κατασκευές όλα τα

συστήματα υψηλής τάσης και οι μονωτήρες τοποθετούνται σε ένα κοινό κέλυφος στην οροφή του ηλεκτροστατικού φίλτρου.

Τα περιβλήματα (πλαίσια) μονωτήρων είναι συνήθως εφοδιασμένα με συστήματα αερισμού για την αποφυγή οποιασδήποτε διαφυγής καυσαερίων από το φίλτρο προς αυτά. Προκειμένου να διασφαλιστεί η καθαρότητα των συστημάτων υψηλής τάσης και του χώρου στον οποίο αυτά βρίσκονται απαιτείται ιονισμός (καθαρισμός) του αέρα. Εάν το φίλτρο λειτουργεί σε συνθήκες υποπίεσης, ο αέρας εισέρχεται διαμέσου περασμάτων στο κέλυφος λόγω φυσικής κυκλοφορίας. Από την άλλη, όταν το ηλεκτροστατικό φίλτρο βρίσκεται σε συνθήκες υπερπίεσης (θετική κλίση πίεσης) ο αέρας εξαερισμού εισέρχεται μέσα στο κέλυφος (του συστήματος υψηλής πίεσης) με τη βοήθεια ανεμιστήρων εξαερισμού, οι οποίοι έχουν διαστασιολογηθεί για να διατηρούν την πίεση μέσα σε αυτό ελαφρά μεγαλύτερη από την πίεση που επικρατεί μέσα στο ηλεκτροστατικό φίλτρο. Ένα σύστημα εξαερισμού του κελύφους μόνωσης αποτελείται κυρίως από κινητήρες, ένα φίλτρο, σύστημα αγωγών, κλαπέ (damper) και 2 ανεμιστήρες: έναν σε λειτουργία και έναν εφεδρικό. Μερικές κατασκευές λαμβάνουν υπόψη ένα σύστημα αγωγών, το οποίο παρέχει καθαρό αέρα και σε άλλους μονωτές του ηλεκτροστατικού φίλτρου, όπως οι μονωτές οδηγών των σφυριών.

Για την αποφυγή του σχηματισμού υγρασίας πάνω στους μονωτές υπάρχουν συστήματα θέρμανσης (heaters), τοποθετημένα σε διάφορα σημεία του συστήματος εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα που περιγράφηκε παραπάνω (για την παροχή καθαρού και θερμού αέρα σε όλους τους μονωτήρες) ή ξεχωριστά θερμαντικά εξαρτήματα τοποθετημένα σε κάθε μονωτή ή στοιχείο αυτού. Η εικόνα 2.14 δείχνει το κέλυφος μόνωσης και τα θερμαντικά στοιχεία αυτού.



Εικόνα 2.14 [14]

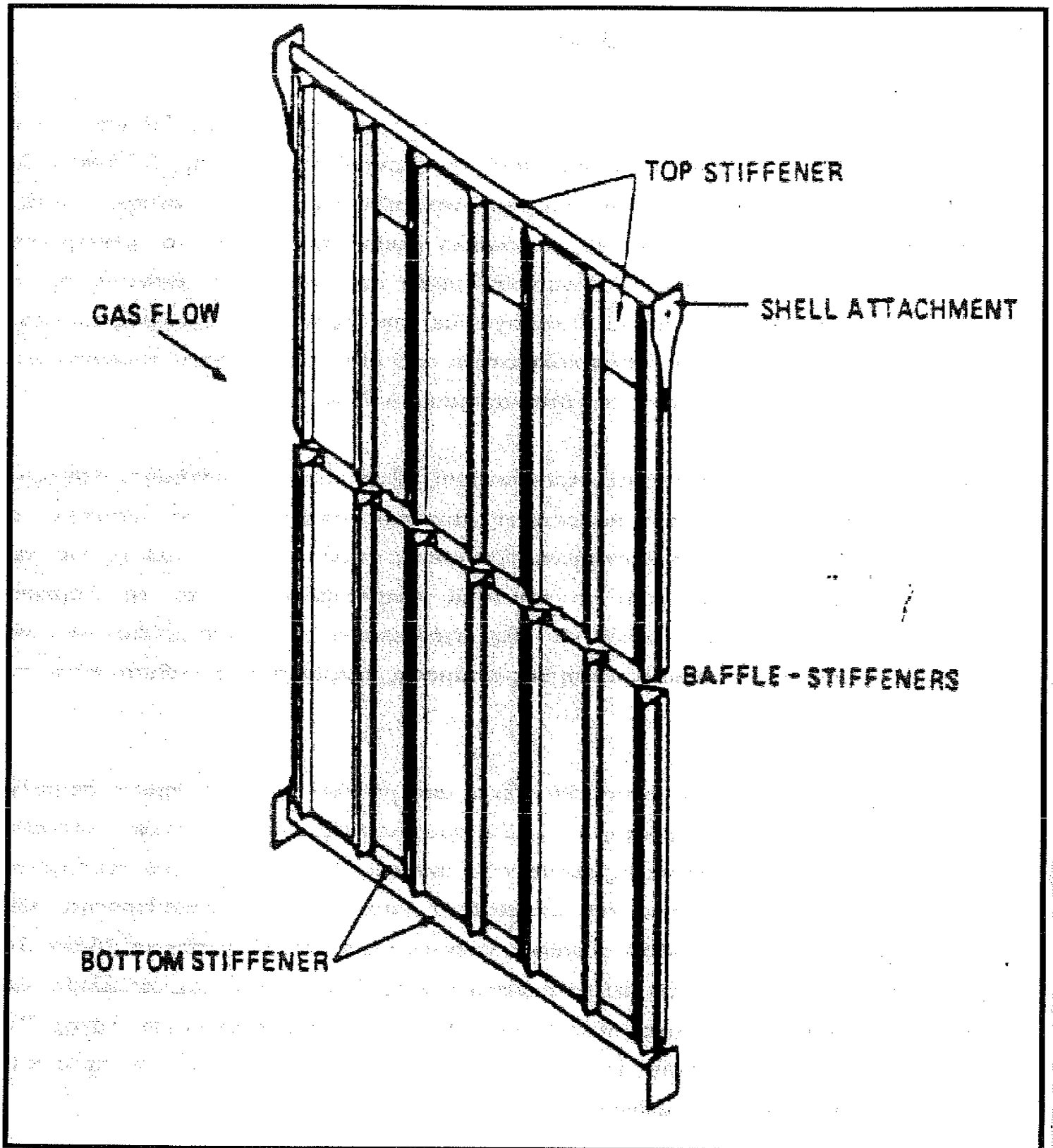
2.7 ΠΛΑΚΕΣ-ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ

Οι οριζόντιες ροές των καυσαερίων σε ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο διαμέσου των ανεξάρτητων αγωγών δημιουργούνται από τα ηλεκτρόδια συλλογής (πλάκες). Οι πλάκες αυτές ξεκινούν από την κορυφή του ηλεκτροστατικού φίλτρου, είναι παράλληλες μεταξύ τους και σε κατάλληλη ευθυγράμμιση με τα ηλεκτρόδια φόρτισης. Καθώς τα σωματίδια περνούν μέσα από τα ηλεκτροστατικά πεδία φορτίζονται (αρνητικά ή θετικά ανάλογα με την τάση που εφαρμόζεται στα ηλεκτρόδια φόρτισης) με αντίθετη πολικότητα από αυτή των πλακών συλλογής και προσκολλούνται πάνω σε αυτές έως ότου απομακρυνθούν.

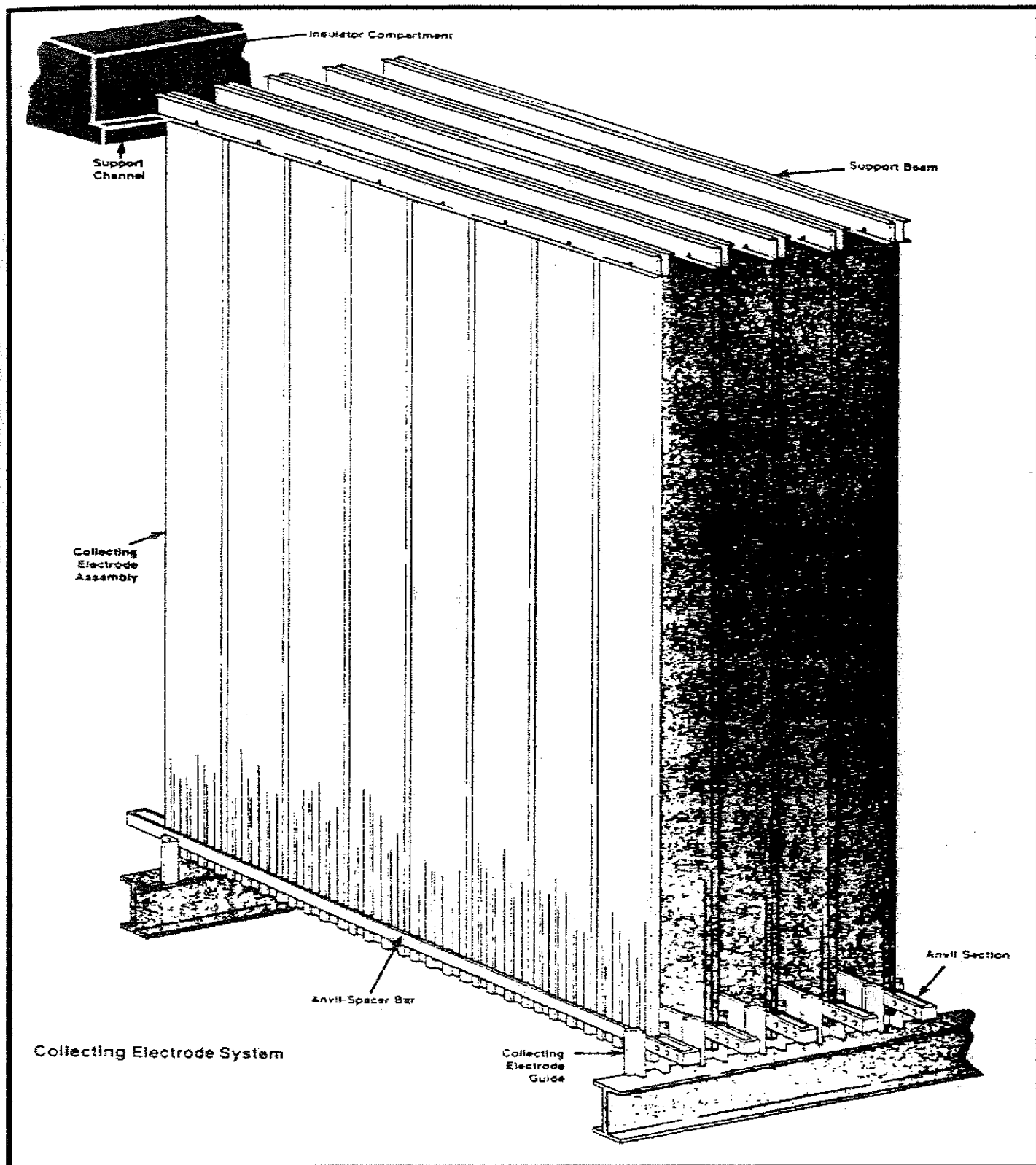
Τα ηλεκτρόδια συλλογής ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου και τα συστήματα στήριξής τους θα πρέπει να έχουν την απαραίτητη μηχανική αντοχή ώστε να μπορούν να αντέξουν το βάρος της συλλεγόμενης ιπτάμενης τέφρας, καθώς επίσης και τις δυνάμεις που ασκούνται από το σύστημα κατακρήμνισης κατά τη διάρκεια καθαρισμού τους. Πρέπει λοιπόν να είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχουν ομοιόμορφη απομάκρυνση της ιπτάμενης τέφρας που επικάθεται πάνω σε αυτά.

Οι πλάκες συλλογής είναι κατασκευασμένες από μέταλλο μορφοποιημένο σε ρολό και προσδένονται πάνω στη δομή του υπόλοιπου ηλεκτροστατικού φίλτρου μόνο από την οροφή του. Οι περισσότερες κατασκευές περιλαμβάνουν ενισχυτικά στηρίγματα και οδηγούς, που παρέχουν την απαραίτητη κατασκευαστική σταθερότητα και ευθυγράμμιση. Οι πλάκες είναι συνήθως στερεά φύλλα μετάλλου πάχους 16 έως 18 μονάδων μέτρησης. Τα κατασκευαστικά στηρίγματα διαμορφώνονται κατάλληλα και στερεώνονται στα άκρα (απολήξεις) των επιφανειών των πλακών συλλογής. Τα ηλεκτρόδια συλλογής έχουν ύψος από 20 έως 50 πόδια και μήκος προς την κατεύθυνση της ροής καυσαερίων 3 έως 18 πόδια.

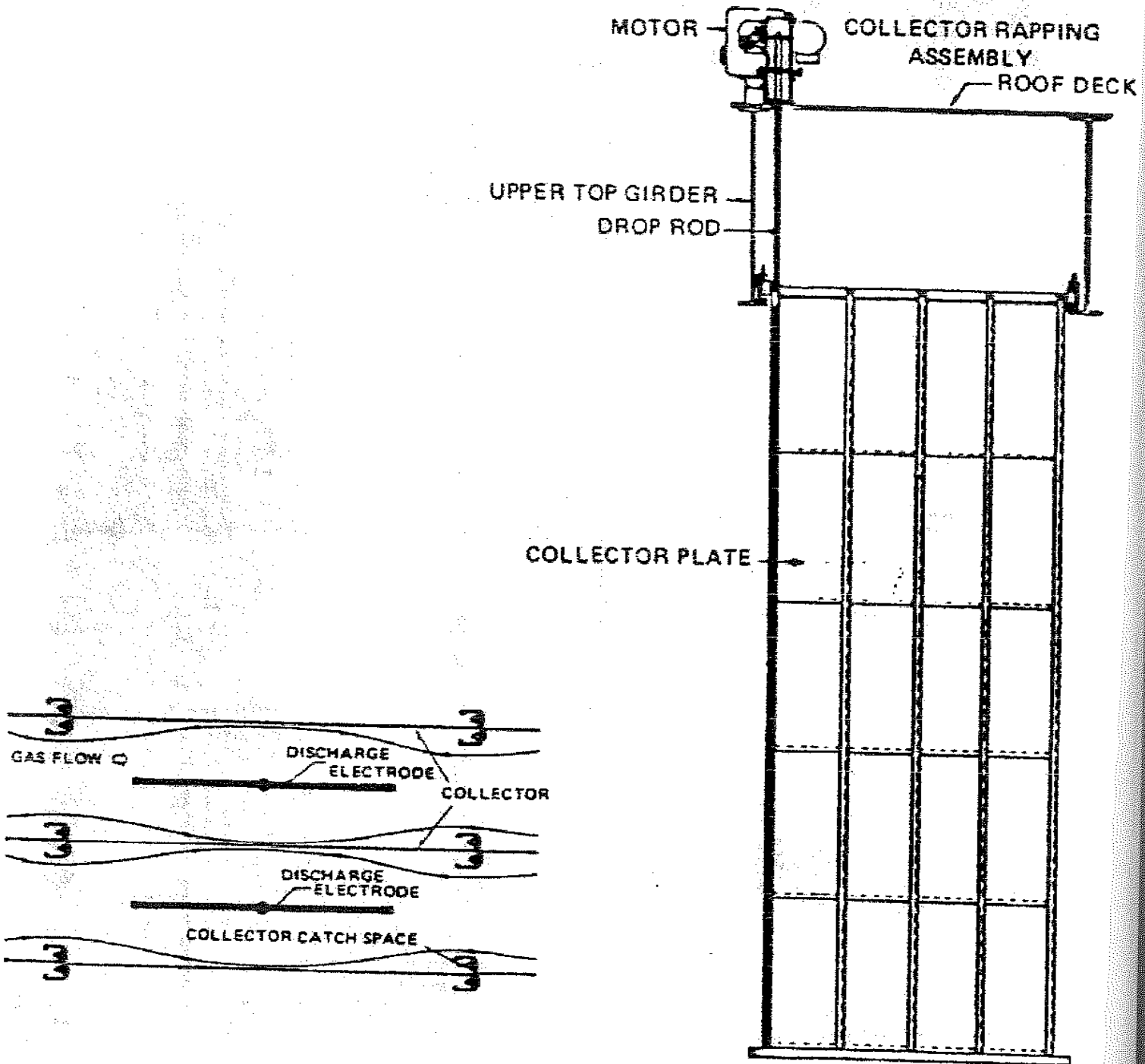
Στις εικόνες 2.15 έως 2.18 απεικονίζονται διάφοροι τύποι ηλεκτροδίων συλλογής.



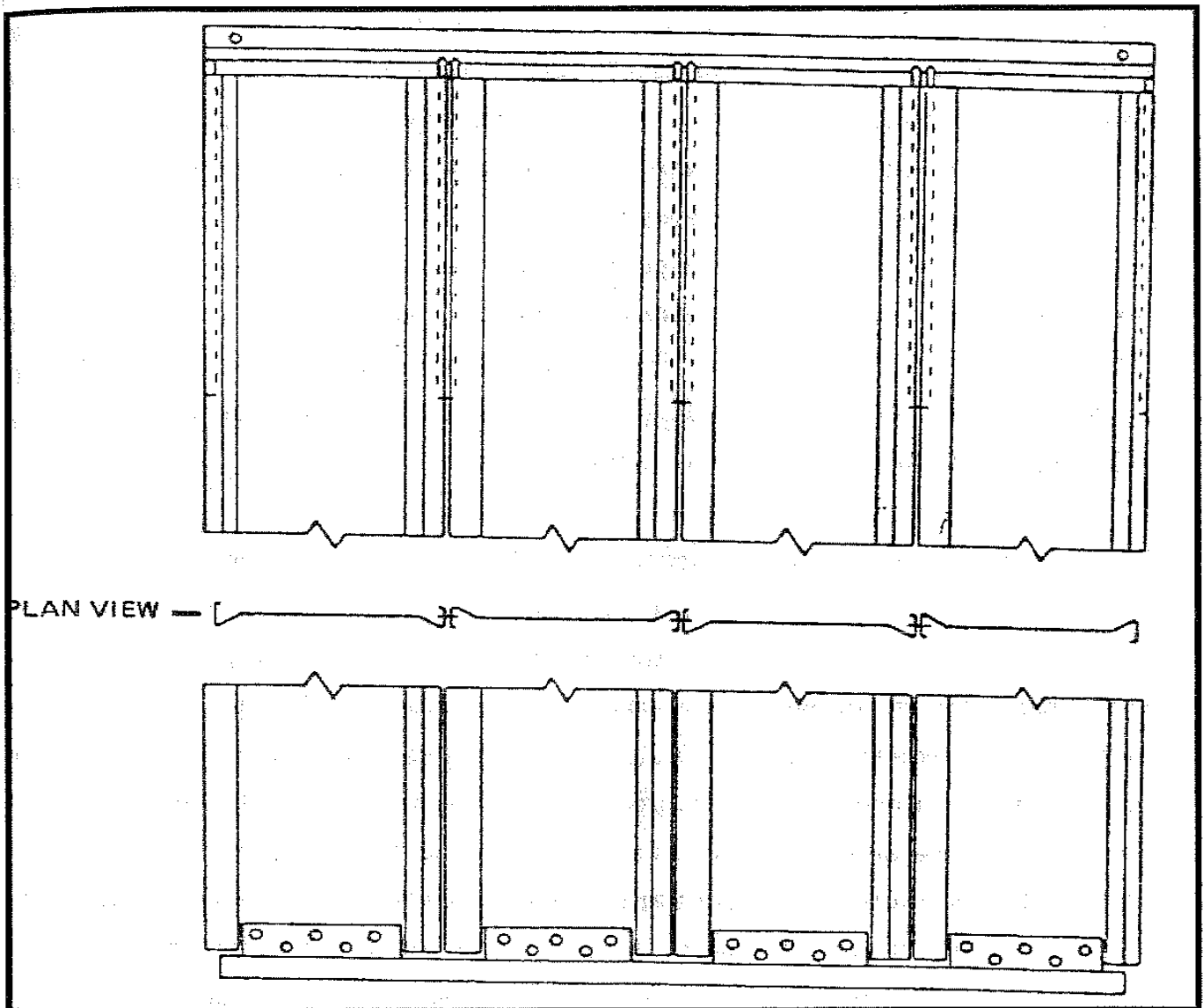
Εικόνα 2.15 [15]



Εικόνα 2.16 [16]



Εικόνα 2.17 [14]



Εικόνα 2.18 [18]

2.8 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ ΤΕΦΡΑΣ ΑΠΟ ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ

Η υπάμενη τέφρα συσσωρεύεται τόσο στα ηλεκτρόδια φόρτισης όσο και σε αυτά της συλλογής και θα πρέπει να απομακρύνεται περιοδικά για την καλή λειτουργία του ηλεκτροστατικού φίλτρου. Ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα κατακρήμνισης τέφρας

επιτυγχάνει την αποτελεσματική μεταφορά της τέφρας από τα ηλεκτρόδια στο σύστημα απομάκρυνσής της, χωρίς μεγάλο μέρος αυτής να επανεισάγεται στο φίλτρο. Υπάρχουν ουσιώδεις διαφορές μεταξύ των κατασκευαστών των ηλεκτροστατικών φίλτρων όσο αφορά τη μέθοδο και τη φιλοσοφία των κατακρημνιστών. Μερικοί χρησιμοποιούν τη μέθοδο των μαγνητικών παλμών κατά την οποία ένα βαρίδιο από ατσάλι ανυψώνεται λόγω του σήματος, που λαμβάνει από ένα παλμό ρεύματος, κατά μήκος μιας σπείρας και στη συνέχεια αφήνεται ελεύθερο να πέσει λόγω βαρύτητας και να χτυπήσει πάνω σε μία ράβδο συνδεδεμένη με έναν συγκεκριμένο αριθμό πλακών συλλογής. Η συχνότητα και η ένταση σε αυτή την περίπτωση καθορίζεται με τη βοήθεια ηλεκτρικών συστημάτων ελέγχου.

Άλλοι κατασκευαστές ηλεκτροστατικών φίλτρων χρησιμοποιούν μηχανικούς κατακρημνιστές, που αποτελούνται από σφυριά τοποθετημένα πάνω σε έναν περιστρεφόμενο αγωγό, με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να πέφτουν με δύναμη λόγω βαρύτητας πάνω σε αμόνια προσαρτημένα στις πλάκες συλλογής. Η ένταση της κατακρήμνισης καθορίζεται από το βάρος των σφυριών και το μήκος του βραχίονα (αγωγού) πάνω στον οποίο αυτά στηρίζονται. Η συχνότητα κατακρήμνισης σε αυτού του τύπου κατακρημνιστές ρυθμίζεται με αλλαγή της περιστροφικής ταχύτητας του αγωγού. Τα σφυριά και οι αγωγοί κατακρήμνισης τοποθετούνται συνήθως μέσα στο ηλεκτροστατικό φίλτρο. Ωστόσο είναι πολύ πιθανόν να εγκατασταθούν και εξωτερικά του φίλτρου με τα σφυριά να προσκρούουν σε αμόνια τα οποία προεκτείνονται σε όλο το μήκος του. Στην περίπτωση αυτή όμως θα πρέπει να υπάρχουν προστατευτικά μέσα προκειμένου να αποφευχθεί οποιαδήποτε διαρροή καυσαερίων γύρω από τα σημεία συγκράτησης των αμοनिών πάνω στο φίλτρο.

Πολλά συστήματα κατακρήμνισης των ηλεκτροδίων φόρτισης χρήζουν μαγνητικών παλμών, ηλεκτρικά κινούμενων δονητών ή τέλος δονητών κινούμενων με αέρα. Αυτού του είδους οι κατακρημνιστές τοποθετούνται συνήθως στην οροφή του ηλεκτροστατικού φίλτρου και συνδέονται με ράβδους οι οποίοι φέρουν ηλεκτρική μόνωση με τα πλαίσια στα οποία στηρίζονται τα ηλεκτρόδια κορώνας (φόρτισης). Προστατευτικά καλύμματα τοποθετούνται μαζί με τους κατακρημνιστές και τα υπόλοιπα συνδετικά στοιχεία. Μία πιο λεπτομερής περιγραφή των διαφόρων τύπων κατακρημνιστών φαίνεται παρακάτω:

2.8.1 Ηλεκτρομαγνητικός μονής δράσης κατακρημνιστής

Είναι ένας ηλεκτρομαγνητικός σωληνοειδής κατακρημνιστής, ο οποίος αποτελείται από ένα βαρίδιο βύθισης (plunker), το οποίο ανασηκώνεται με ενεργοποίηση του σωληνοειδούς. Στη συνέχεια το βαρίδιο αυτό απελευθερώνεται λόγω της απενεργοποίησης ενός δακτυλίου και πέφτει με τη δύναμη της βαρύτητας πάνω σε ένα αμόνι, το οποίο μεταφέρει τη δύναμη που του ασκήθηκε μέσω μιας ράβδου στα ηλεκτρόδια. Η εικόνα 2.19 είναι μια απεικόνιση ενός τέτοιου κατακρημνιστή. Οι σωληνοειδείς κατακρημνιστές χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό τόσο των ηλεκτροδίων φόρτισης, όσο και συλλογής και τοποθετούνται στο επάνω μέρος του φίλτρου. Ο έλεγχος τους περιλαμβάνει την μεταβολή της ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία αλλάζει το μέγεθος του παλμού ή τη συχνότητα της κατακρήμνισης. Κατακρημνιστές αυτού του τύπου καλούνται Μαγνητικού Παλμού / Βαρυτικής Δράσης (Magnetic Impulse / Gravity Impact –MIGI).

2.8.2 Εσωτερικός κατακρημνιστής σφυριών

Ο εσωτερικός κατακρημνιστής σφυριών είναι ένα μηχανικό σύστημα το οποίο τοποθετείται στο εσωτερικό του κελύφους του φίλτρου και αποτελείται από έναν αριθμό σφυριών, τα οποία ανασηκώνονται με τη βοήθεια ενός περιστρεφόμενου βραχίονα μέχρι το ανώτερο σημείο της τροχιάς αυτού, από όπου στη συνέχεια πέφτουν με την επίδραση της βαρυτικής δύναμης πάνω σε αμόνια συνδεδεμένα με τα ηλεκτρόδια φόρτισης και συλλογής. Ο έλεγχος αυτού του τύπου του κατακρημνιστή επιτυγχάνεται με μεταβολή της περιστροφικής ταχύτητας του βραχίονα ή του χρόνου λειτουργίας του (βλ. εικόνα 2.20).

2.8.3 Εξωτερικός κατακρημνιστής σφυριών

Ο τύπος αυτός του κατακρημνιστή είναι ίδιος με τον προηγούμενο, με τη διαφορά ότι τοποθετείται εξωτερικά του περιβλήματος του φίλτρου. Τα αμόνια πάνω στα οποία προσκρούουν τα σφυριά τοποθετούνται εξωτερικά και εκτείνονται διαμέσου του περιβλήματος όπως φαίνεται στην εικόνα 2.21. Προκειμένου να αποφευχθεί διαφυγή

καυσαερίων χρησιμοποιούνται προστατευτικά στοιχεία μεταξύ αμοনিών και περιβλήματος του φίλτρου. Η λειτουργία και ο έλεγχος αυτών των κατακρημιστών είναι παρόμοιος των προηγούμενων.

2.8.4 Κατακρημιστής με ράβδο πτώσης μονής επίδρασης

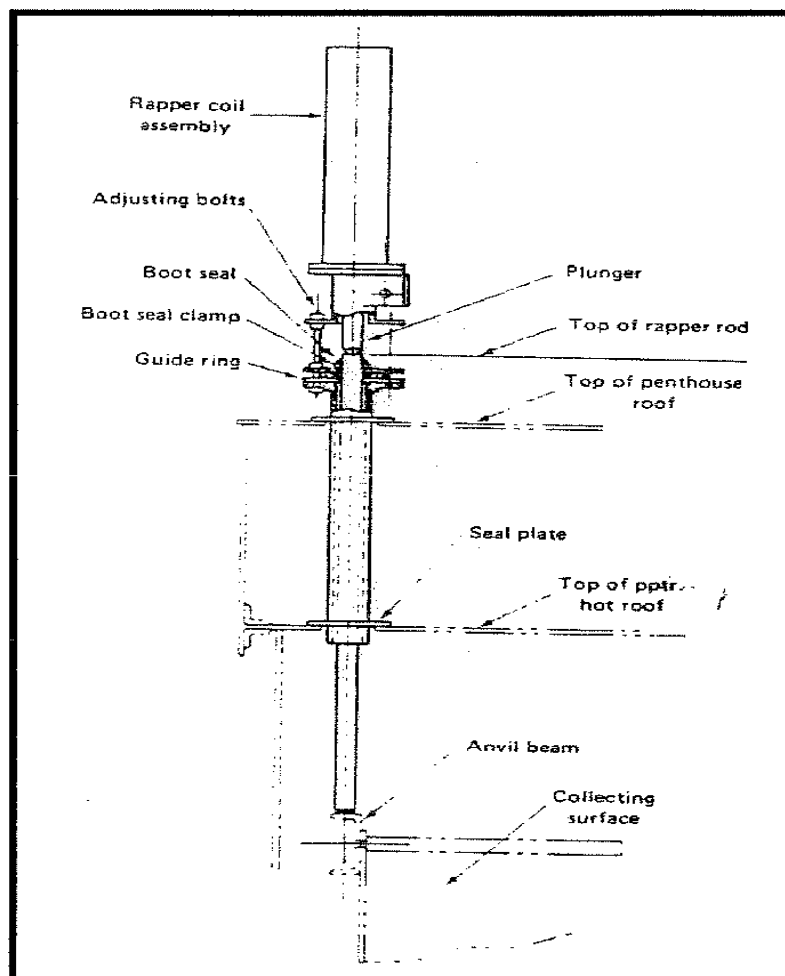
Ο τύπος αυτός είναι ένα σύστημα κατακρημισμού, το οποίο αποτελείται από μηχανοκίνητους βραχίονες κινούμενους οριζόντια από το εξωτερικό μέρος του φίλτρου προς το περίβλημα αυτού, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 2.22. Έκκεντρα τοποθετημένα κατά μήκος του βραχίονα, σηκώνουν βαριές ράβδους από τα άκρα του. Όταν ένα περιστρεφόμενο έκκεντρο φτάσει στο τέλος της τροχιάς κίνησής του, η ράβδος, η οποία εκτείνεται κατά μήκος του περιβλήματος του ηλεκτροστατικού φίλτρου, πέφτει προς τα κάτω και στη συνέχεια προσκρούει σε ένα αμόνι, τοποθετημένα πάνω στα ηλεκτρόδια φόρτισης ή στις πλάκες συλλογής. Ο έλεγχος στην περίπτωση αυτή επιτυγχάνεται με αλλαγή της ταχύτητας του περιστρεφόμενου βραχίονα ή του βάρους της ράβδου πτώσης.

2.8.5 Ηλεκτρομαγνητικοί δονητές

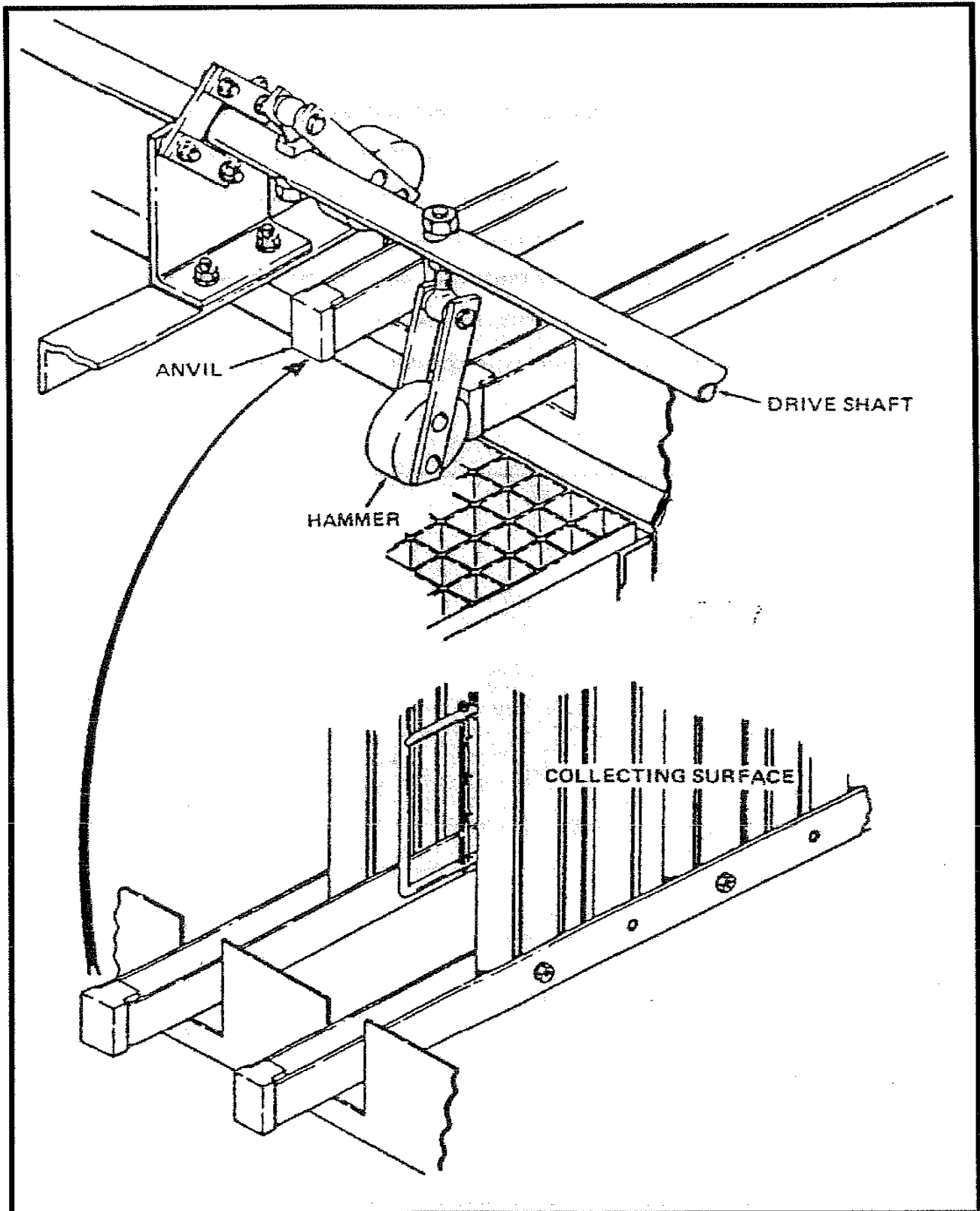
Είναι δονητές οι οποίοι αποτελούνται από έναν σπλισμό ελατηρίων εξισορρόπησης μεταξύ δύο συγχρονισμένων ηλεκτρομαγνητικών δακτυλίων. Όταν το σύστημα ενεργοποιείται ο σπλισμός δονείται με μία συγκεκριμένη συχνότητα. Αυτή η ενέργεια δόνησης μεταδίδεται μέσω μίας ράβδου κατακρήμνισης στα ηλεκτρόδια. Όταν χρησιμοποιείται για καθαρισμό των ηλεκτροδίων φόρτισης η ράβδος αυτή είναι εφοδιασμένη με ηλεκτρική μόνωση προς αποφυγή της γείωσης του ηλεκτροδίου υψηλής τάσης (φόρτισης). Ο έλεγχος περιλαμβάνει μεταβολή της ενέργειας εισόδου, η οποία αλλάζει το εύρος των δονήσεων καθώς επίσης και το χρόνο λειτουργίας και τη συχνότητα της δόνησης. Η εικόνα 2.23 παρουσιάζει ένα τέτοιο τύπο κατακρημιστή.

2.8.6 Κατακρημιστής μηχανικής δόνησης

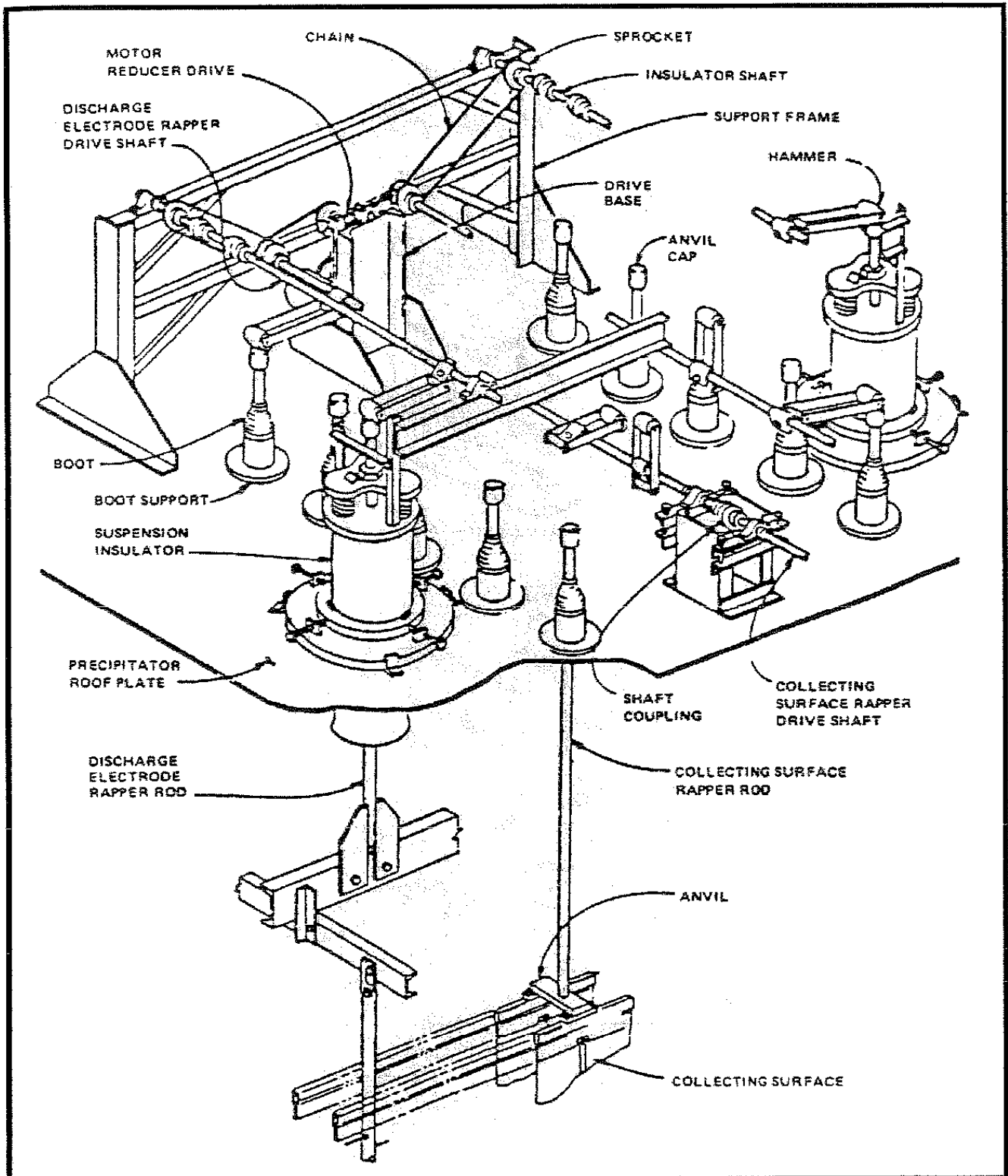
Είναι ένας τύπος κατακρημιστή, ο οποίος αποτελείται από έναν ηλεκτρικό κινητήρα με αποσπώμενα έκκεντρα βαρίδια τοποθετημένα σε ένα μονό ή διπλό βραχίονα, ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα. Όταν βρίσκεται σε λειτουργία τα έκκεντρα βαρίδια, λόγω της θέσης τους δονούνται. Ο κινητήρας εγκαθίσταται ακριβώς επάνω στον αγωγό κατακρήμισης, ο οποίος με τη σειρά του μεταδίδει τη δόνηση στα ηλεκτρόδια που πρέπει να καθαριστούν. Αυτού του τύπου οι κατακρημιστές χρησιμοποιούνται κυρίως για τον καθαρισμό των ηλεκτροδίων φόρτισης, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.24. Ο έλεγχος τους γίνεται με αλλαγή της εκκεντρότητας, του βάρους των έκκεντρων, της διάρκειας του χρόνου λειτουργίας και της συχνότητας αυτής.



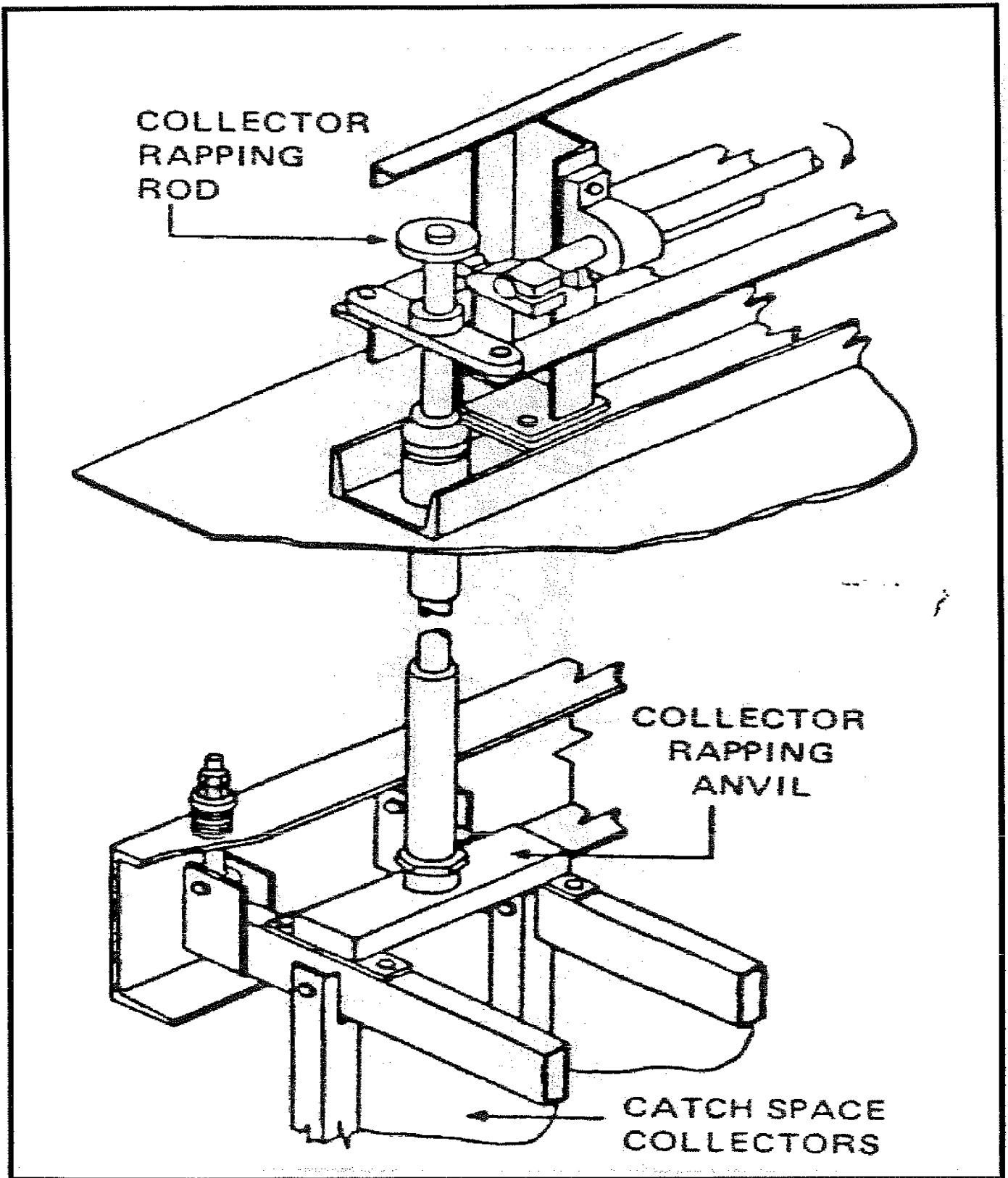
Εικόνα 2.19 [14]



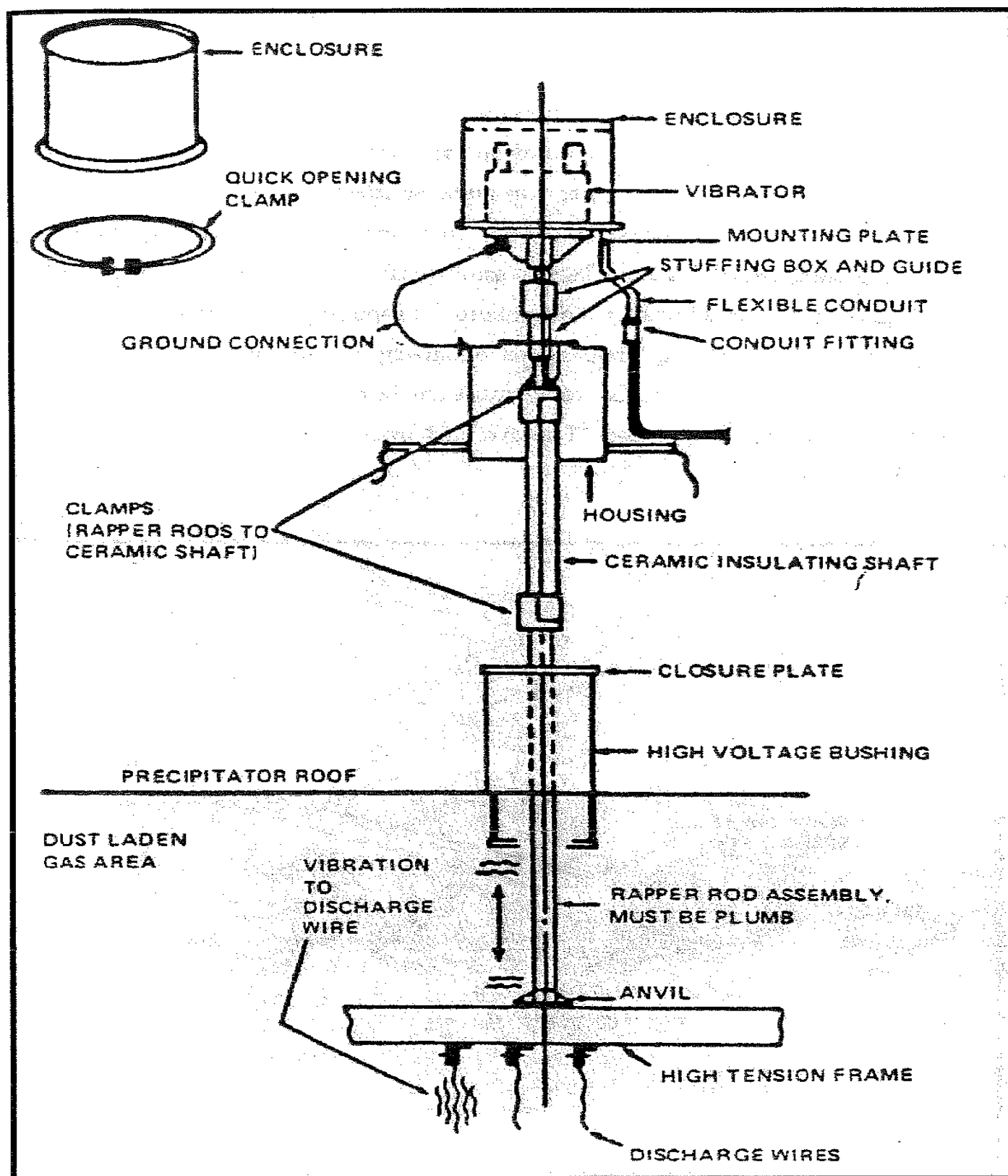
Εικόνα 2.20



Εικόνα 2.21 [19]



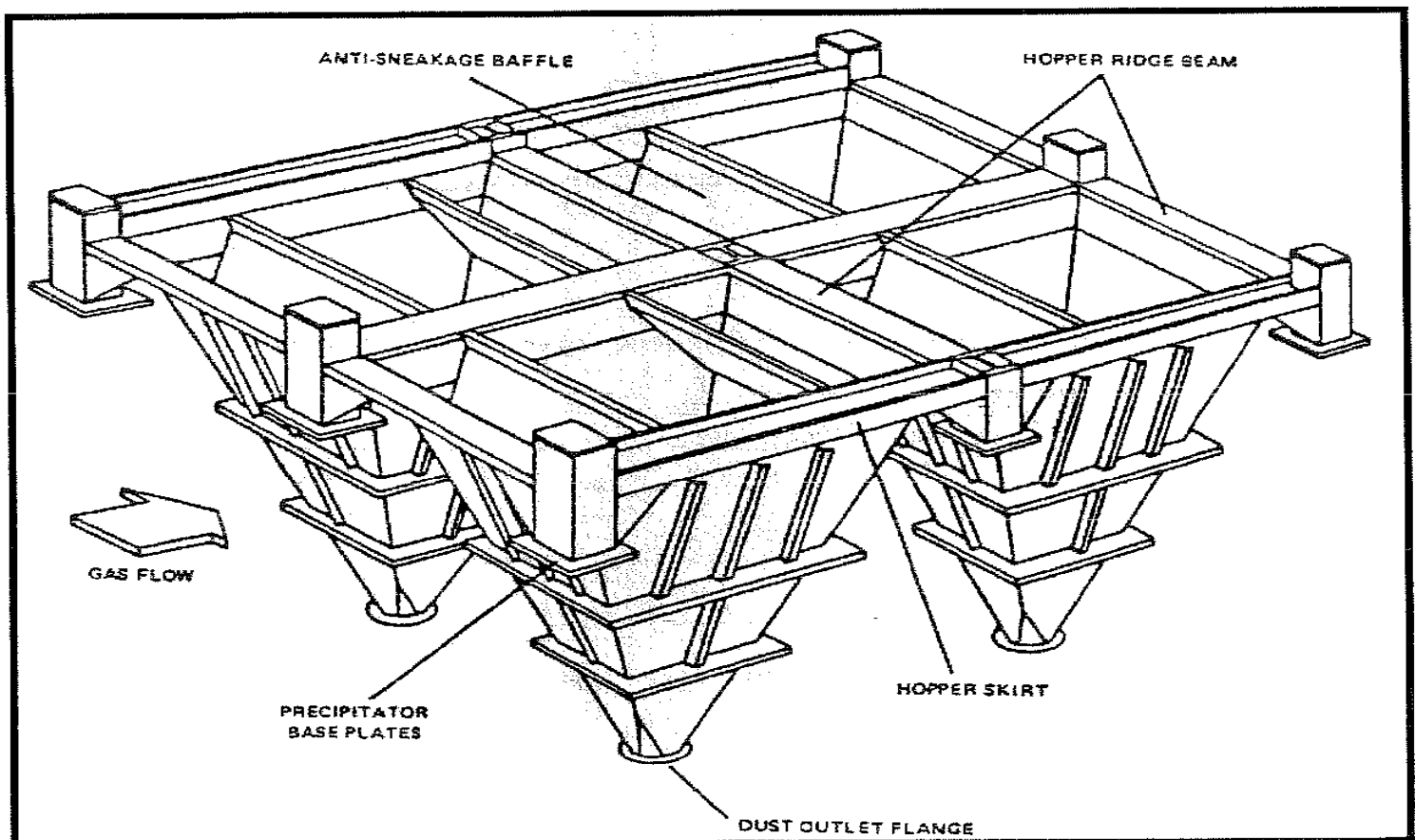
Εικόνα 2.22 [17]



Εικόνα 2.23 [17]

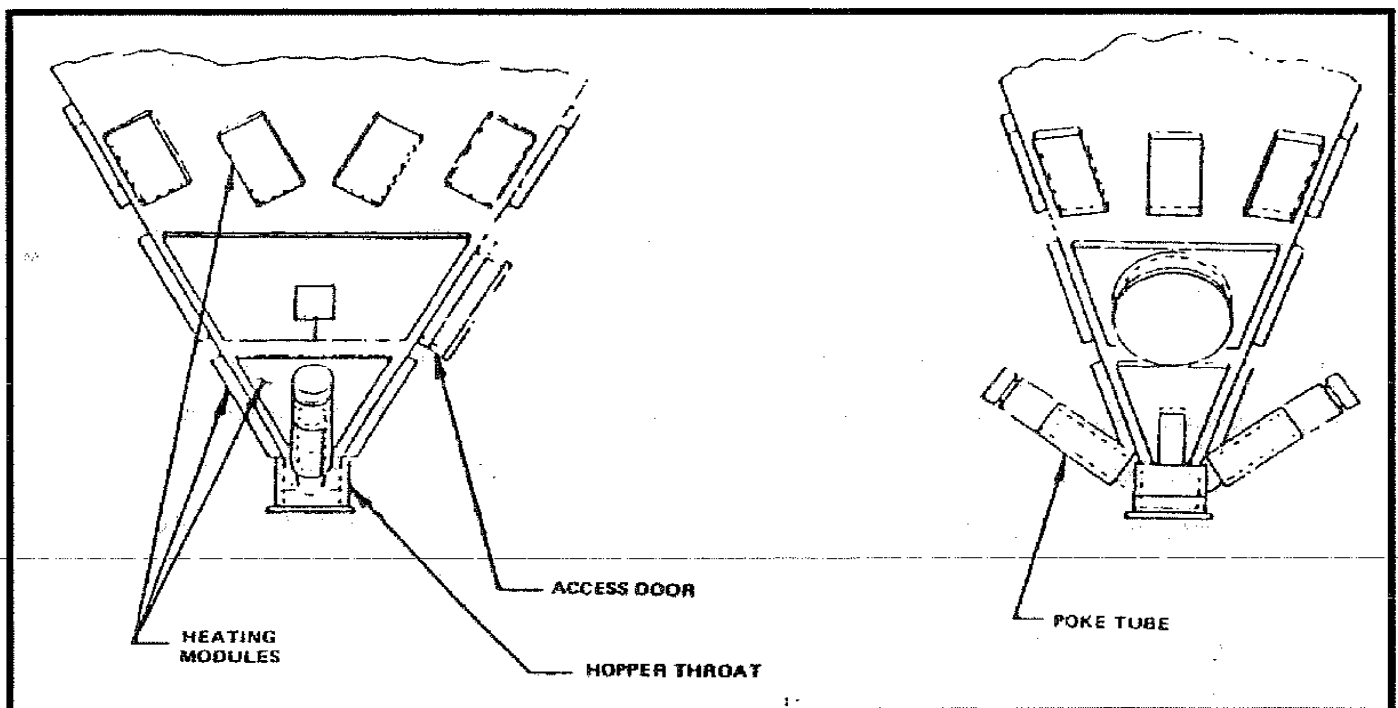
2.9 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ (ΧΟΑΝΩΝ) ΤΕΦΡΑΣ

Όταν τα ηλεκτρόδια φόρτισης και οι πλάκες συλλογής καθαρίζονται από τους κατακρημνιστές ή δονητές, η ιπτάμενη τέφρα πέφτει μέσα σε συλλέκτες, οι οποίοι έχουν το σχήμα πυραμίδας και βρίσκονται στο κάτω μέρος του κελύφους του ηλεκτροστατικού φίλτρου. Οι πλευρές του κάθε συλλέκτη έχουν τέτοια κλίση και η διατομή εξόδου του έχει διαστασιολογηθεί έτσι ώστε η ποσότητα της ιπτάμενης τέφρας να μπορεί εύκολα να συλλεχθεί από το σύστημα απομάκρυνσης τέφρας. Συνήθως μέσα στους συλλέκτες τοποθετούνται διαφράγματα, τα οποία εκτείνονται κάτω από το επίπεδο σκόνης (τέφρας), με σκοπό τη διαφυγή αερίων κάτω από τις πλάκες συλλογής. Το κάτω μέρος κάθε συλλέκτη κατασκευάζεται από ανοξείδωτο ατσάλι προς αποφυγήν διάβρωσης. Η εικόνα 2.24 απεικονίζει μία τυπική κατασκευή ενός συλλέκτη τέφρας.



Εικόνα 2.24 [14]

Οι συλλέκτες (χοάνες) τέφρας είναι εφοδιασμένες με πόρτες εισόδου, πλάκες κατακρήμνισης για μηχανικό χειρισμό και αποφράκτες για απεμπλοκή της διατομής εξόδου. Επιπρόσθετα διαθέτουν ηλεκτρικά κινούμενους δονητές, δονητές αέρα ή ρευστοποιημένα στερεά, που βοηθούν στην απομάκρυνση της τέφρας. Προς αποφυγήν συμπύκνωσης και συσσωμάτωσης της τέφρας τοποθετούνται στα τοιχώματα αυτών των συλλεκτών ηλεκτρικοί θερμαντές. Τέλος υπάρχουν ανιχνευτές της στάθμης της τέφρας μέσα στους συλλέκτες για την καλύτερη λειτουργία του όλου συστήματος. Η εικόνα 2.25 απεικονίζει τα επιπλέον εξαρτήματα ενός συλλέκτη. [20]



Εικόνα 2.25

2.10 ΔΙΑΦΟΡΑ ΑΛΛΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ

Στη συνέχεια αναφέρονται διάφορα άλλα εξαρτήματα και υποσυστήματα ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία.

2.10.1 Διάφορα συστήματα ελέγχου

Επιπρόσθετα με το σύστημα ελέγχου τάσης που αναλύθηκε προηγουμένως υπάρχουν και ξεχωριστά αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα ελέγχου, που αφορούν τα βοηθητικά εξαρτήματα του ηλεκτροστατικού φίλτρου. Ξεχωριστά συστήματα ελέγχου υπάρχουν για το σύστημα των κατακρημνιστών, των μονωτήρων θέρμανσης και / ή των ανεμιστήρων, των θερμαντών και δονητών, των συλλεκτών, των ανιχνευτών της στάθμης αυτών καθώς και για οποιοδήποτε άλλο βοηθητικό εξοπλισμό. Ο έλεγχος του συστήματος λειτουργίας μπορεί να ποικίλλει από έναν απλό έλεγχο θερμοστοιχείου έως έναν πολύπλοκο μικροεπεξεργαστή.

2.10.2 Σύστημα ελέγχου – διαχείρισης του ηλεκτροστατικού φίλτρου

Αυτός ο εξοπλισμός, συχνά αναφερόμενος και ως σύστημα ενεργειακής διαχείρισης, αποτελείται από έναν κεντρικό μικροεπεξεργαστή. Όταν προγραμματίζεται κατάλληλα και σε συνεργασία με τα άλλα συστήματα ελέγχου του φίλτρου τότε παρέχει πληροφορίες σε μόνιτορ, δεδομένα μετρήσεων και δυνατότητες χειρισμού με το απλό πάτημα ενός κουμπιού. Με σήματα που λαμβάνονται από μετρητές στο εσωτερικό του φίλτρου, το σύστημα μπορεί αυτόματα να προσαρμόζει και να ρυθμίζει τα επίπεδα τάσης και έντασης στο σύστημα μετασχηματιστή-ανορθωτή στα βέλτιστα δυνατά. Επίσης μπορεί να βελτιστοποιηθεί η λειτουργία και άλλων συστημάτων όπως αυτό των κατακρημνιστών. Ένα σύστημα ελέγχου-διαχείρισης αποτελείται από ένα μικρό υπολογιστή, ένα CRT, έναν εκτυπωτή και κατάλληλο εξοπλισμό επικοινωνίας με το χρήστη. [26]

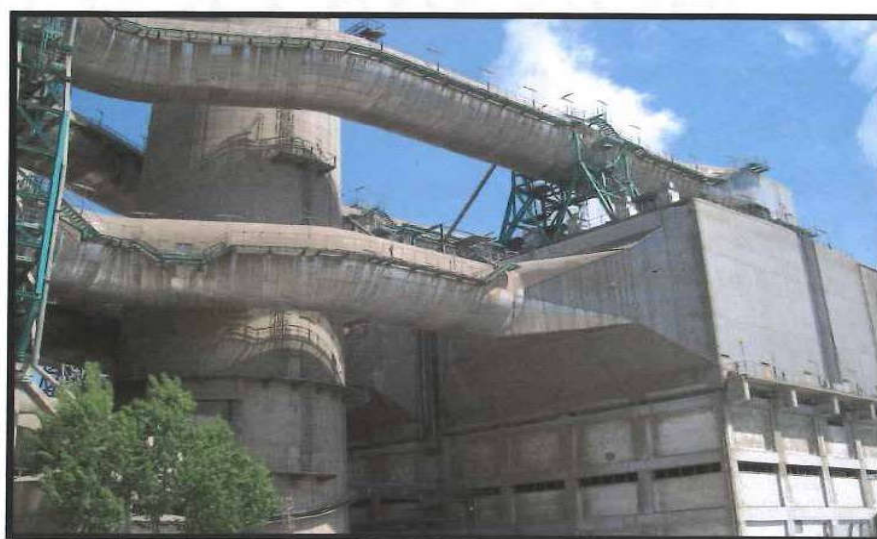
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ
Α.Η.Σ ΚΑΡΔΙΑΣ
ΜΟΝΑΔΑ I ΚΑΙ II

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Α.Η.Σ. Καρδίας αποτελείται από 4 ατμοηλεκτρικές μονάδες των 300MW. Οι μονάδες I και II διαθέτουν από ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο με δύο σκέλη. Συγκεκριμένα τα φίλτρα βρίσκονται στην πίσω πλευρά του σταθμού και έχουν νοτιοανατολικό προσανατολισμό. Στις εικόνες 3.1, 3.2 και 3.3 μπορεί να δει κανείς τη θέση και το μέγεθος των ηλεκτροστατικών φίλτρων.



Εικόνα 3.1



Εικόνα 3.2



Εικόνα 3.3

Το έργο έγινε από την εταιρία LURGI στον ατμοηλεκτρικό σταθμό της Καρδίας, στις μονάδες I και II . Στην επόμενη παράγραφο θα εξετάσουμε τα ηλεκτροστατικά φίλτρα της μονάδας I του Α.Η.Σ Καρδίας. Επίσης πρέπει να πούμε ότι πριν από οποιαδήποτε αναφορά η μελέτη για τη λειτουργία και εγκατάσταση των ηλεκτροστατικών φίλτρων έγινε και για το εργοστάσιο της Πτολεμαΐδας.

3.2 ΣΧΕΔΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ I

Το φίλτρο το οποίο διαθέτει η μονάδα I αποτελείται από δύο επιμέρους σκέλη (αριστερό και δεξί). Όσο αφορά την περιγραφή του κάθε σκέλους αυτή φαίνεται στα σχέδια με αριθμό D671400 / 0L00004 και D671400 / 0L00005, τα οποία βρίσκονται στο Γ μέρος του παραρτήματος.

Το σχέδιο με αριθμό D671400 / 0L00004 δείχνει την κάτοψη του φίλτρου. Παρατηρώντας το σχέδιο από αριστερά προς τα δεξιά το πρώτο πράγμα που μπορεί να δει κανείς είναι το σύστημα των αναγεννητικών προθερμαντήρων (LUVO), το οποίο εκτείνεται σε μήκος 20.025 m από την έξοδο του λέβητα έως το μέσο της διαμέτρου των αγωγών εξαγωγής των καυσαερίων. Στη συνέχεια φαίνονται οι αγωγοί προσαγωγής των καυσαερίων προς το δεξί και αριστερό σκέλος των ηλεκτροστατικών φίλτρων. Λόγω του ότι πρέπει να παρακαμφθεί η καμινάδα εξόδου των καυσαερίων, οι αγωγοί αυτών διαμορφώνονται έτσι ώστε να περιβάλλουν δεξιά και αριστερά αυτήν. Συγκεκριμένα η όλη διαμόρφωση έχει συνολικό μήκος 33.55 m. Συνεχίζοντας και ακολουθώντας πάντα τη φορά προς τα δεξιά μπορούμε να διακρίνουμε εύκολα τα σημεία σύνδεσης των αγωγών με το ηλεκτροστατικό φίλτρο. Αυτά δεν αποτελούν τίποτα άλλο από δύο μεγάλους διαχύτες με διαστάσεις :

- Πλάτος : 14.4 m
- Ύψος : 14.45 m

Εν συνεχεία οι αγωγοί των καυσαερίων εξέρχονται από το ηλεκτροστατικό φίλτρο και σε ύψος 23.5 m, όπου και οδηγούνται στα IDfan, το οποίο με τη σειρά του τα στέλνει προς την καμινάδα.

Επίσης στο σχέδιο με αριθμό D671400 / 0L00006 (Γ μέρος παραρτήματος) μπορεί να δει κανείς τομές σε διάφορα σημεία του συνολικού συστήματος των φίλτρων.

3.3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ

Παρακάτω παρατίθενται τα στοιχεία σχεδιασμού πάνω στα οποία στηρίζεται η μελέτη σχεδιασμού των φίλτρων από τους αρμόδιους μηχανικούς του Α.Η.Σ ΚΑΡΔΙΑΣ

- Συνθήκες λειτουργίας :

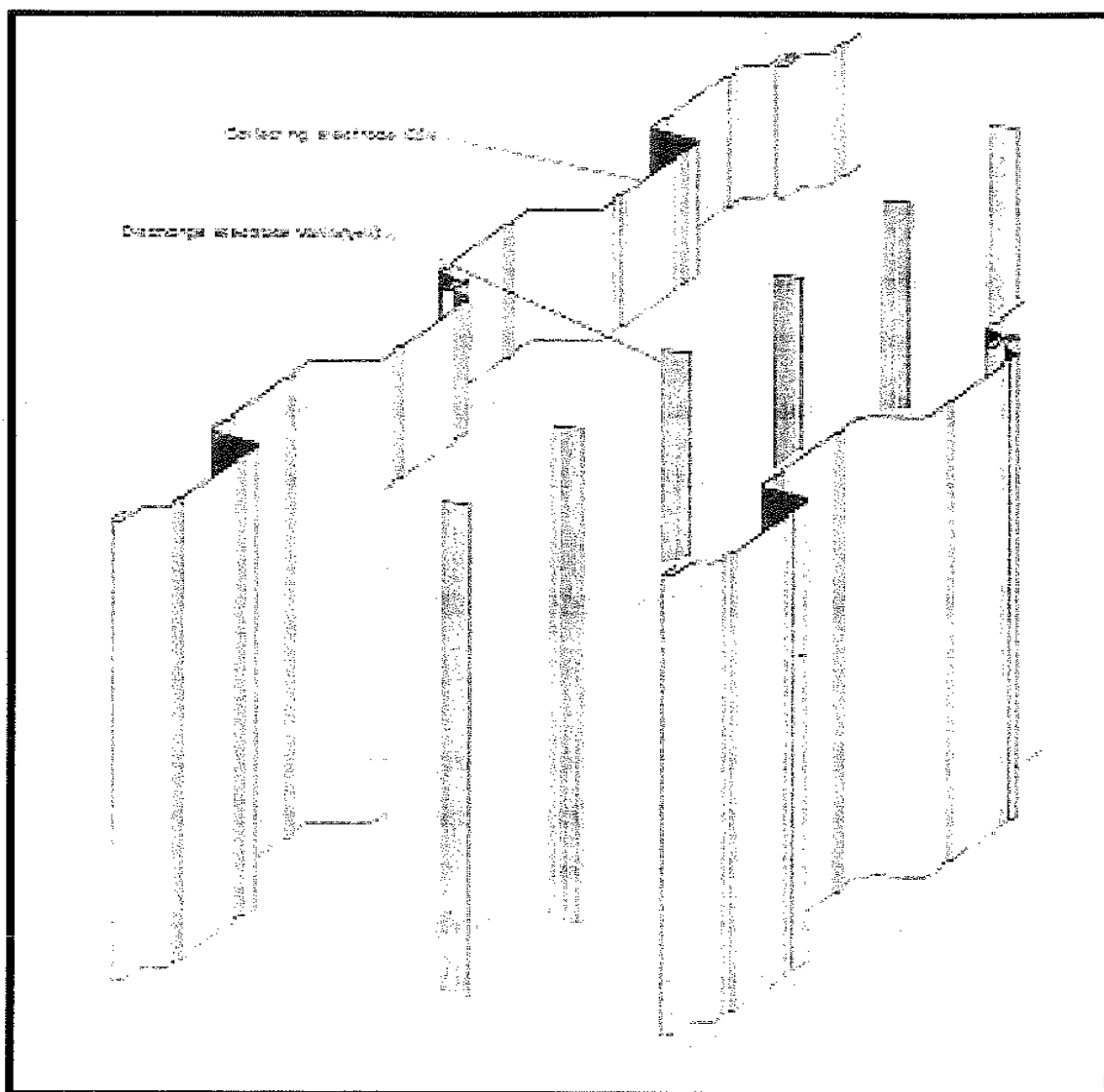
- Όγκος λειτουργίας (δυνατότητα επεξεργασίας): $V_{p,t,f} = 550 \text{ m}^3 / \text{sec}$
- Μέση θερμοκρασία καυσαερίων: $T = 205^\circ \text{C}$
- Στατική πίεση (απόλυτη) : $P_{st} = 910 \text{ mbar}$
- Clean gas dust load of a dry gas in the standard state: $C_{rein,n} = 50 \text{ mg} / \text{Nm}^3$
- Crude gas dust load of dry gas in the standard state: $C_{roh,n} = 55 \text{ gr} / \text{Nm}^3$

- Τεχνικά χαρακτηριστικά των φίλτρων

- Αριθμός ηλεκτροστατικών φίλτρων μονάδας I: $Z = 2$
- Κατασκευή (υλικό): Περίβλημα (casing material) ατσάλι.
- Εσωτερικός εξοπλισμός ατσάλι.
- Αριθμός ηλεκτρικών πεδίων: τέσσερα
- Ύψος ηλεκτροστατικού πεδίου: $h = 14,9 \text{ m}$
- Μήκος ηλεκτροστατικού πεδίου: $l = 4,32 \text{ m}$
- Αριθμός ηλεκτροδίων συλλογής διαμέσου των πλακών συλλογής : $Z_{st} = 9$
- Αριθμός διακένων ανά ηλεκτροστατικό φίλτρο: $Z = 88$
- Εύρος μεταξύ των διακένων: $\alpha = 0,300 \text{ m}$
- Σχήμα χοανών : πυραμίδα
- Αριθμός χοανών ανά ηλεκτροστατικό φίλτρο : 16

- Ηλεκτροδια και σύστημα κατακρήμνισης

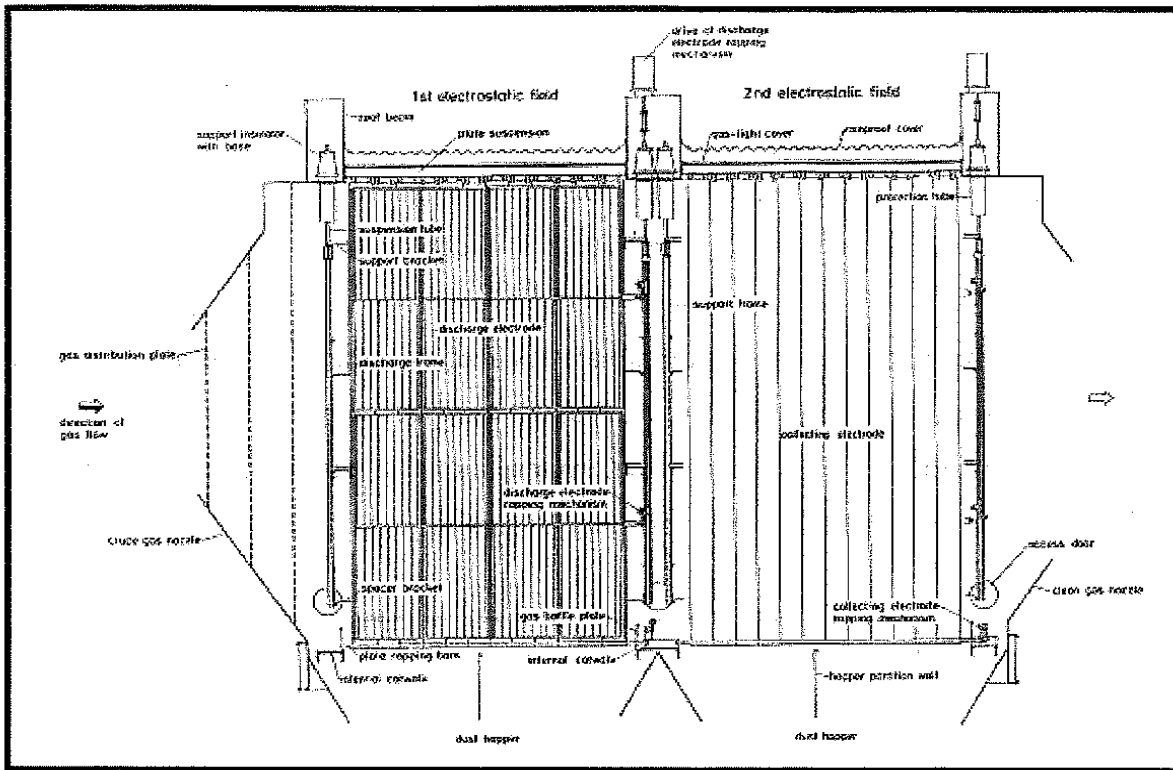
- Ηλεκτροδια συλλογής (CE): τύπος CSV
- Ηλεκτροδια φόρτισης (DE) : τύπος VARIODYN



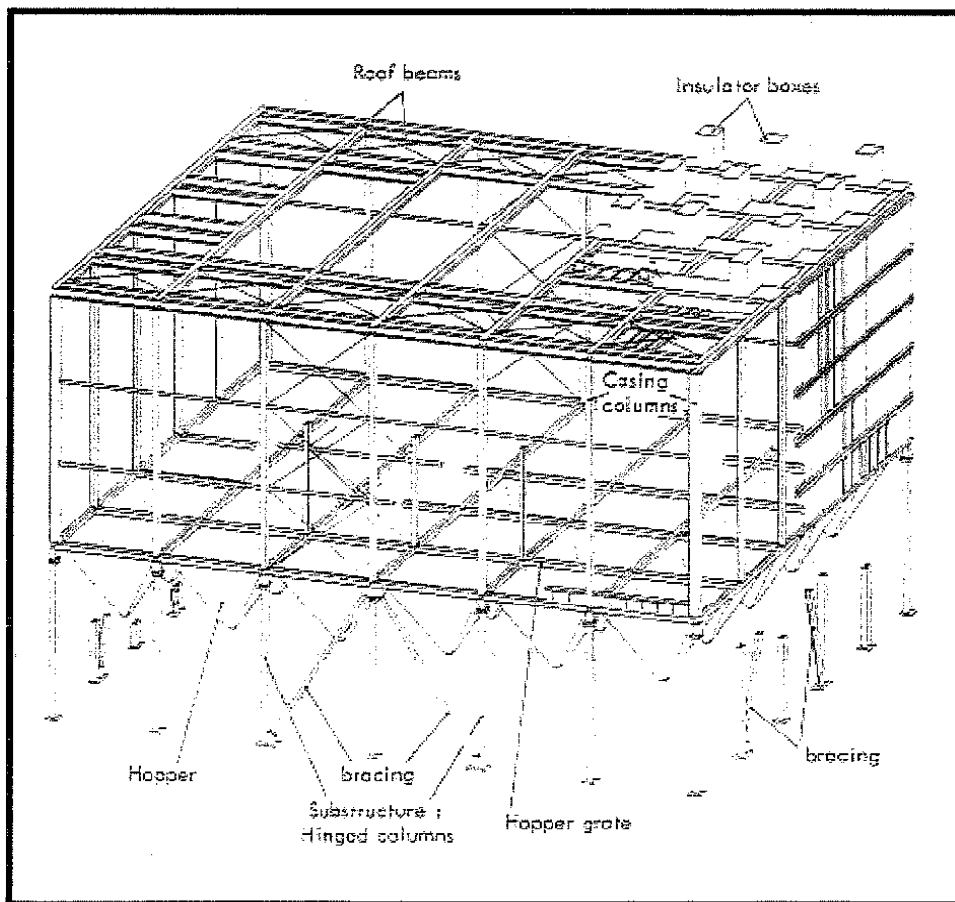
Εικόνα 3.4 (B0.1-120E)

3.4 ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΚΑΤΑΚΡΑΤΗΤΗΣ

Ο ηλεκτροστατικός κατακρατητής, είναι το τμήμα εκείνο του φίλτρου το οποίο διαχωρίζει τα σωματίδια με ηλεκτρική φόρτιση από το νέφος των καυσαερίων της καύσης. Αποτελείται βασικά από ένα περίβλημα το οποίο έχει ένα σύστημα ηλεκτροδίων εσωτερικά. Το σύστημα αυτό αποτελείται από δυο επιμέρους τμήματα, το τμήμα των ηλεκτροδίων φόρτισης και το τμήμα συλλογής των σωματιδίων. Συγκεκριμένα το σύστημα φόρτισης αποτελείται από ένα τμήμα υψηλής τάσης.



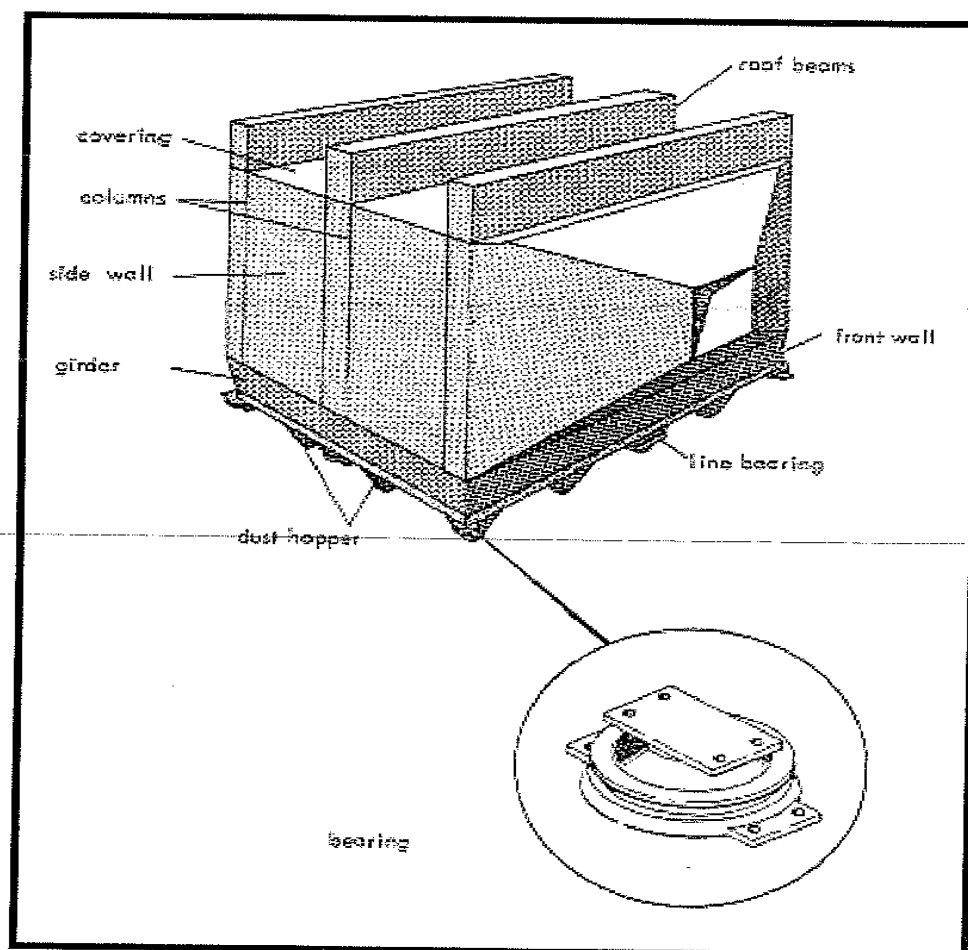
Εικόνα 3.5 (B0.1-0130E)



Εικόνα 3.6

Λόγω της μορφολογίας του περιβλήματος, αυτό καταλαμβάνει τα οριζόντια και τα κατακόρυφα φορτία, επιτρέποντας συγχρόνως και τις θερμικές τάσεις λόγω διαστολής και συστολής σαν αποτέλεσμα της υψηλής θερμοκρασίας των καυσαερίων. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι θερμικές αυτές τάσεις η βάση του φίλτρου αποτελείται από μια δικτυωτή κατασκευή η οποία εξασφαλίζει την απαραίτητη αντοχή.

Συγκεκριμένα οι κατακόρυφες και κύριες κολώνες επιτρέπουν την φόρτιση του φίλτρου σε δυνάμεις ανέμου ,ή θερμικές λόγω συστολής και διαστολής του οριζοντίου επιπέδου προς όλες τις κατευθύνσεις. Επίσης για την αντιμετώπιση και για να αυξηθεί η αντοχή κυρίως σε δυναμικά φορτία τοποθετούνται κολώνες (αντηρίδες) όπως φαίνεται στην εικόνα 3.6.



Εικόνα 3.7

Όσον αφορά τώρα την κύρια κατασκευή αυτή είναι συμπαγής από τσιμέντο ή ατσάλι (στην προκειμένη περίπτωση των φίλτρων της Καρδιάς από ατσάλι), γεγονός που δεν του επιτρέπει να πάρει οποιαδήποτε παραμόρφωση. Για τον λόγο αυτό γίνεται χρήση ειδικών

ατσάλινων δακτυλίων ολίσθησης όπως αναφέρθηκε παραπάνω τα οποία επιτρέπουν την μετακίνησή του προς όλες τις κατευθύνσεις, η προς μια μόνο σε αντιστοιχία με τον όλο τον εξοπλισμό. Σε περίπτωση μεγάλων δυνάμεων χρησιμοποιούνται γραμμές τέτοιων δακτυλίων, όπως φαίνονται στην εικόνα 3.7.

3.5 ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ

Για σταθερές διαστάσεις το περίβλημα του ηλεκτροστατικού φίλτρου έχει σχεδιαστεί με ένα σύστημα κατακρήμνισης σε αντιστοιχία με την συνολική ισχύ του φίλτρου.

Για να απομακρυνθεί η τέφρα η οποία έχει κατακρατηθεί πάνω στις επιφάνειες συλλογής χρησιμοποιείται ένα σύστημα κατακρήμνισης με σφυριά. Το σύστημα αυτό στηρίζεται και λειτουργεί με βάση το βάρος της τέφρας. Το σύστημα κατακρήμνισης αποτελείται από ένα σύστημα σφυριών, ένα μηχανικό σύστημα μετακίνησης αυτών και ένα ηλεκτρικό σύστημα λειτουργίας και συγχρονισμού.

Στο σύστημα αυτό επίσης υπάρχει μια ηλεκτρονική μετρητική συσκευή η οποία παίρνει ενδείξεις από μια ειδική εσοχή μέσα στο φίλτρο. Για την ακρίβεια, όταν η συλλεχθείσα τέφρα πλησιάζει ένα όριο βάρους, τότε μέσω αυτού του συστήματος δίδεται ένα ηλεκτρικό σήμα (ALARM). Μόλις δοθεί το σήμα αυτό τα σφυριά τίθενται σε λειτουργία. Το σήμα αυτό πρέπει να διατηρηθεί έως ότου η τέφρα απομακρυνθεί τελείως πάνω από τα ηλεκτρόδια συλλογής. Στην περίπτωση τώρα που υπάρχει πάντα πληρότητα και η εναπόθεση είναι πολύ μεγάλη, με το φίλτρο και το σύστημα των σφυριών να μην μπορεί να επιφέρει το κατάλληλο αποτέλεσμα η ροή των καυσαερίων πρέπει να απομακρυνθεί με την βοήθεια ενός συστήματος απομάκρυνσης (by pass), ή να σταματήσει η μονάδα. Δεν προτείνεται και δεν είναι σωστό σύμφωνα με τον κατασκευαστή των φίλτρων να αγνοηθεί το σήμα και να συνεχιστεί η λειτουργία του συστήματος κατακρήμνισης γεγονός που μπορεί να προκαλέσει ανεπανόρθωτες ζημιές στο φίλτρο ιδίως δε σε μεγάλα φορτία. [6, 10]

Στα ηλεκτροστατικά φίλτρα τοποθετούνται πολλά πεδία συλλογής ενώ πρέπει να σημειωθεί ότι το 80% της συνολικής ποσότητας τέφρας κατακρατείται στα πρώτα πεδία. Αυτό σημαίνει ότι σε σχετικά μικρό χρόνο μετά από την απόδοση ενός σήματος (ALARM) το σύστημα των σφυριών ενημερώνεται και αντιδρά άμεσα. Περαιτέρω αύξηση του

επιπέδου της συλλεχθείσας τέφρας μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργίες . Συγκεκριμένα μια αύξηση του επιπέδου τέφρας μπορεί να οδηγήσει σε βραχυκύκλωμα στο εσωτερικό του στρώματος της τέφρας. Ένα τέτοιο γεγονός μπορεί να προκαλέσει ηλεκτρικές εκκενώσεις με αποτέλεσμα την καταστροφή του πεδίου του φίλτρου.

Μπροστά και πίσω από το ηλεκτροστατικό φίλτρο τα καυσαέρια κατευθύνονται μέσα από αγωγούς (τραχείς και λείους). Ακόμα διάφορα διαχωριστικά καθώς και συστήματα διασποράς μπορούν να τοποθετηθούν στις διάφορες διαμορφώσεις του φίλτρου, όπως π.χ. στις γωνίες. Εάν είναι απαραίτητο οι αγωγοί πρέπει να εφοδιαστούν με ειδική θερμομόνωση. Η θερμική υπέρβαση (υπερθέρμανση) μπορεί να αντιμετωπιστεί με την βοήθεια ειδικών αντισταθμιστών.

Όσον αφορά τώρα τις μετρήσεις κατά την διάρκεια λειτουργίας και πιο συγκεκριμένα των μετρήσεων της ταχύτητας και της ποσότητας της τέφρας, πρέπει αυτές να μεταδίδονται και να διανέμονται όσον το δυνατό καλύτερα χωρίς αλλοιώσεις. Είναι επίσης επιθυμητό να έχουμε ταχύτητα καυσαερίων μικρότερη των 5m/sec. Στην περίπτωση που θέλουμε να εξασφαλίσουμε μέγιστη ακρίβεια τα σημεία από τα οποία λαμβάνουμε τις μετρήσεις μέσα στους τραχύς και λείους αγωγούς πρέπει να τοποθετούνται όσο το δυνατόν πιο κοντά στον εξοπλισμό της κατακράτησής και σε σημεία τέτοια ώστε να μην επηρεάζουν την ροή των καυσαερίων ,όπως π.χ. βαλβίδες, διακλαδώσεις, γωνίες, ενώσεις σωλήνων και ειδικές διαμορφώσεις.

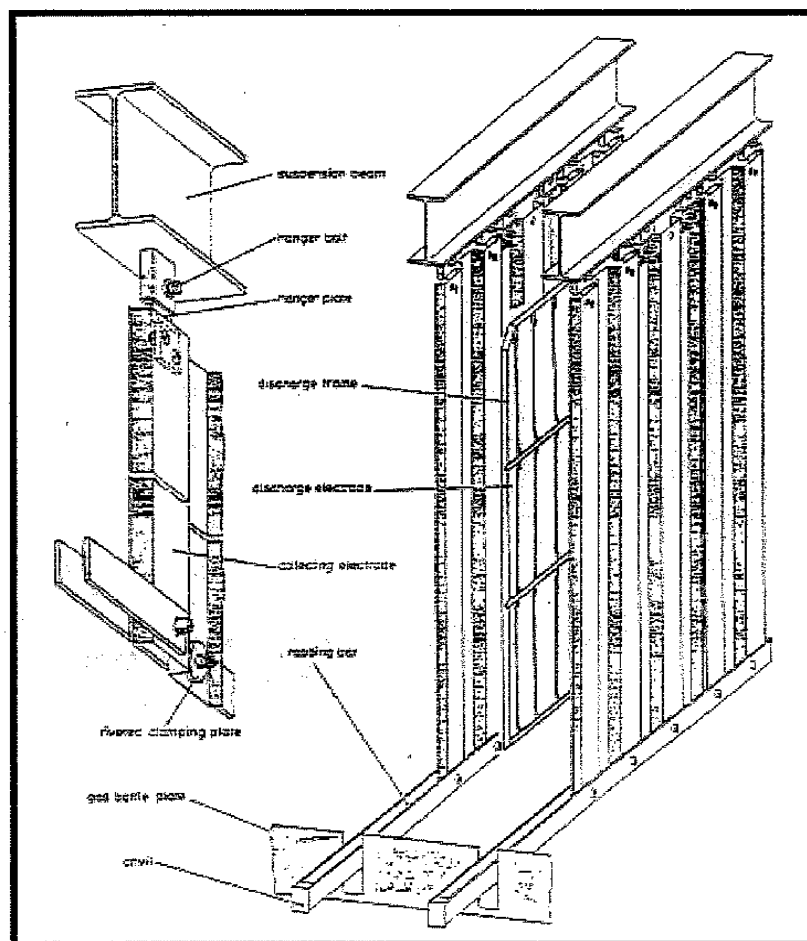
3.6 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ

3.6.1 Εισαγωγή

Το σύστημα συλλογής αποτελείται από ηλεκτρόδια συλλογής με συγκεκριμένη διάταξη και κατεύθυνση παράλληλη στην ροή των καυσαερίων. Επίσης στο σύστημα συμπεριλαμβάνονται αιωρούμενες μπάρες πάνω στις οποίες χτυπάνε τα σφυριά και οι οποίες υποστηρίζονται από ένα σύστημα σφυριών τύπου Rotohit.

3.6.2 Ηλεκτρόδια συλλογής

Τα ανεξάρτητα ηλεκτρόδια συλλογής ονομάζονται επίσης και πιάτα και αποτελούνται από μέταλλο cold roller. Στο επάνω μέρος από κάθε πιάτο υπάρχουν δυο συνδετήρια κομμάτια τα οποία ενώνουν το κάθε πιάτο μέσω κοχλιών ή ήλων με μια μεταλλική δοκό στήριξης (εικόνα 3.8)

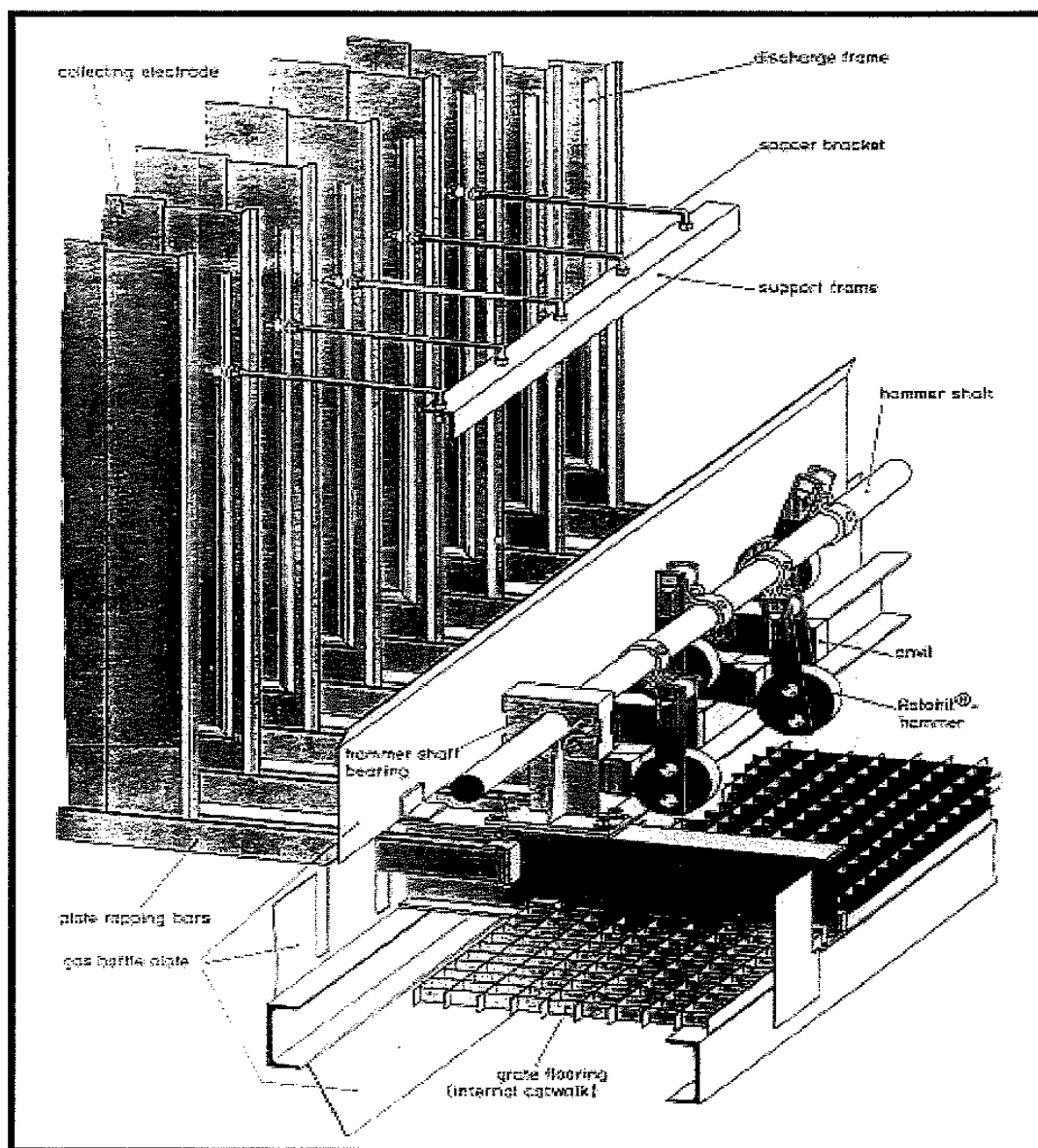


Εικόνα 3.8 (B2.0-021E)

3.6.3 Δοκοί κατακρήμνισης

Στην κάτω μεριά των ηλεκτροδίων συλλογής (πιάτων) τοποθετούνται ειδικές μπάρες πάνω στις οποίες χτυπάνε τα σφυριά. Κάθε μπάρα κατακρήμνισης αποτελείται από δυο παράλληλες μπάρες μέσα στις οποίες τοποθετούνται οι πλάκες. Στο τέλος κάθε τέτοιας

πλάκας υπάρχει μεταλλική ενίσχυση (αμόνι), λόγω του ότι χτυπάει το σφυρί πάνω στην μπάρα αυτή προκειμένου να απομακρυνθεί η τέφρα από τα πιάτα συλλογής. (εικόνα 3.9)



Εικόνα 3.9 (B2.8-012E)

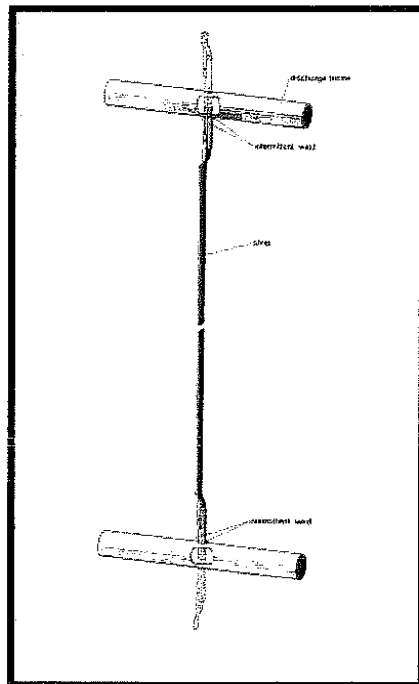
3.7 ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ

Κάθε ηλεκτροστατικό πεδίο έχει ένα μηχανικό σύστημα κατακρήμνισης τύπου ROTOHIT με σφυριά επίσης τύπου ROTOHIT τοποθετημένα σε κάθε ανεξάρτητο σύστημα συλλογής. Αυτά τα ελεύθερης πτώσης σφυριά τοποθετούνται πάνω σε μία άτρακτο. Τα σφυριά είναι πολύ καλά στερεωμένα πάνω στην άτρακτο με αποτέλεσμα να πέφτουν αποτελεσματικά

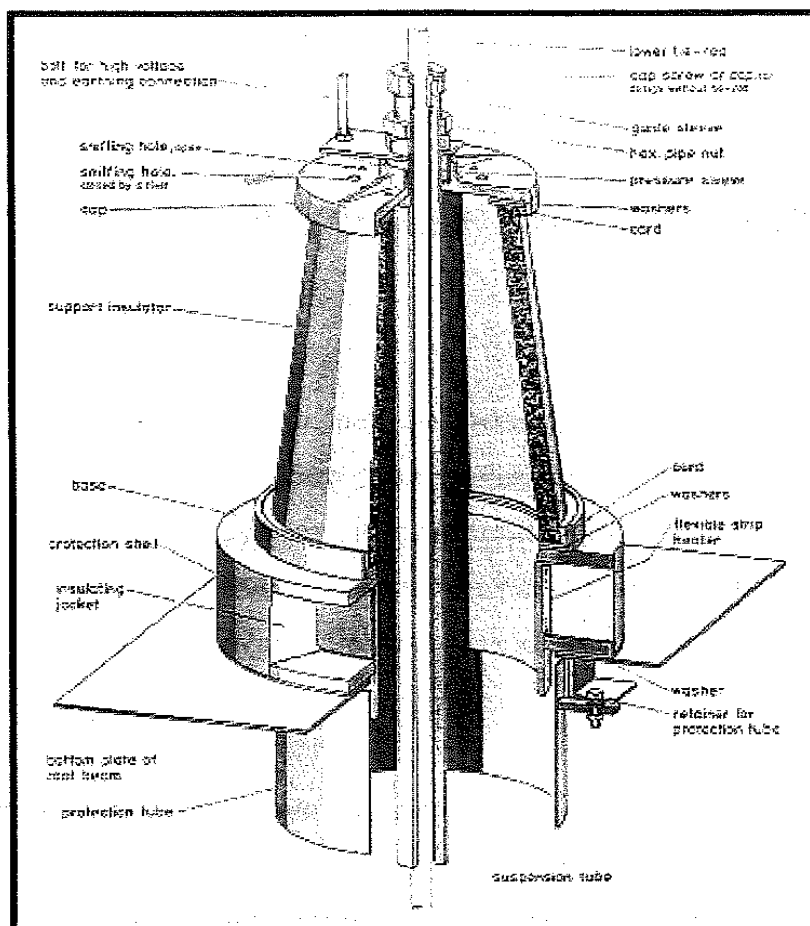
πάνω στα αμόνια από τις μπάρες στήριξης κατά περιόδους, προξενώντας κραδασμούς και καθαρίζοντας τις πλάκες συλλογής επιτυχώς. Η άτρακτος πάνω στην οποία αναρτώνται τα σφυριά αποτελείται από σφαιρικά ρουλεμάν (roller bearings), τα οποία είναι αναρτημένα πάνω σε ειδικά πλαίσια (cutwalls), ενώ το όλο σύστημα είναι τοποθετημένο αντίθετα στην ροή των καυσαερίων εσωτερικά του φίλτρου. Τα πλαίσια αναρτώνται από το κέλυφος του φίλτρου με τη βοήθεια ράβδων.

3.8 ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Τα πλαίσια αποφόρτισης συγκρατούν τα ηλεκτρόδια φόρτισης τα οποία συγκρατούνται στο κέντρο των περασμάτων που δημιουργούνται από τις πλάκες συλλογής. Τα πλαίσια αποφόρτισης αποτελούνται από σωλήνες οι οποίες είναι καλά τοποθετημένες μεταξύ τους σε πλαίσιο κανονικού τύπου. Οι οριζόντιοι αγωγοί (σωλήνες) έχουν τρύπες για να επιτρέπουν την είσοδο μέσα από αυτές των ηλεκτροδίων φόρτισης. Τα ηλεκτρόδια φόρτισης είναι τύπου VARIODYNO και αποτελούνται από μία λάμα με κοφτερές ακμές. Οι λάμες αυτές τοποθετούνται μέσα από τρύπες στα πλαίσια αποφόρτισης και αυτές ενώνονται μεταξύ τους με μία ειδική διαμόρφωση από πλαίσιο σε πλαίσιο η οποία είναι μονωμένη και εμποδίζει την επαφή των ηλεκτροδίων με τις πλάκες αποφόρτισης. (εικόνα 3.10)



Εικόνα 3.10 (B1.1-06E)



Εικόνα 3.12 (B1.7 – 022E)

3.10 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ

Το σύστημα κατακρήμνισης αποτελείται από ένα σύστημα σφυριών, η απελευθέρωση των οποίων γίνεται με ένα σύστημα οδήγησης τύπου rod [22]. Το περιστροφικό έδρανο σηκώνει τα σφυριά τα οποία στην συνέχεια αφού απελευθερωθούν κάνουν την καθορισμένη διαδρομή τους. Έτσι όταν ενεργοποιηθούν απελευθερώνονται και γυρίζουν πάλι πίσω στην αρχική τους θέση από όπου και ξεκινούν ξανά πάλι την καθορισμένη διαδρομή τους. Στην περίπτωση τώρα που ένα από τα σφυριά μετακινείται πάνω από κάποια άλλα τότε το σφυρί αυτό λόγω της λανθασμένης λειτουργίας του πρέπει να απομακρυνθεί από το όλο σύστημα, προκειμένου να αποφευχθούν περαιτέρω προβλήματα κατά την λειτουργία του. Πρέπει να πούμε ότι κάθε ηλεκτρόδιο φόρτισης υποστηρίζεται από ένα σφυρί. Το σφυρί από κάθε μηχανισμό κατακρήμνισης αποτελείται από ένα δακτύλιο στήριξης ο οποίος είναι κάθετος στην διεύθυνση των καυσαερίων. Τα σημεία πάνω στα οποία χτυπούν τα σφυριά πρέπει να επιτηρούνται σχετικά συχνά και να

συντηρούνται έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η άριστη λειτουργία όσο αυτό είναι δυνατό βέβαια.

3.11 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ

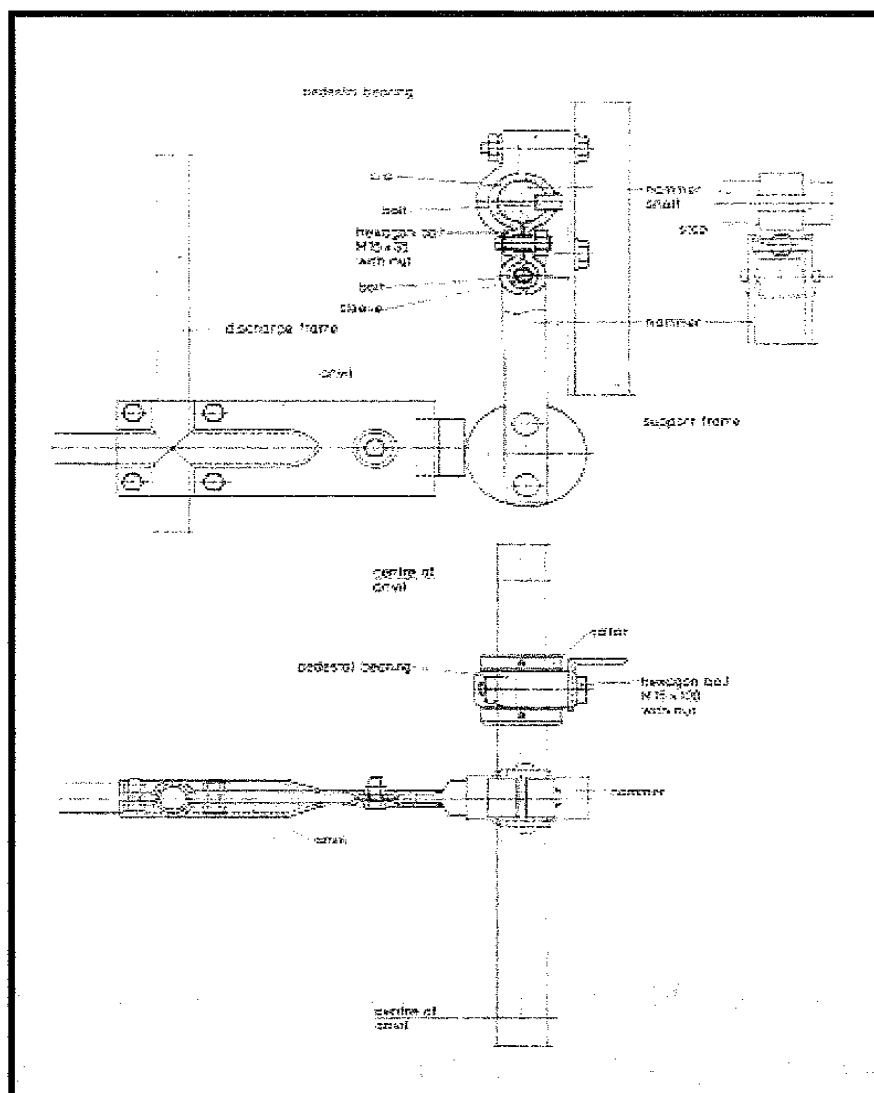
Το σύστημα κατακρήμνισης αποτελεί ένα από τα ποίο σημαντικά συστήματα των ηλεκτροστατικών φίλτρων. Ο μηχανισμός αυτός είναι πολύ σημαντικός λόγω του ότι καθαρίζει το φίλτρο από τις επικαθίσεις της τέφρας. Παρά το γεγονός ότι ο μηχανισμός αυτός δεν χρήζει πολλές φορές μεγάλου ενδιαφέροντος αποτελεί αν όχι τον ποίο σημαντικό μηχανισμό, ένα από τους ποιο σημαντικούς μηχανισμούς του όλου συστήματος των ηλεκτροστατικών φίλτρων.

Πριν αρχίσει οποιαδήποτε περιγραφή του μηχανισμού κατακρήμνισης είναι σημαντικό να σταθούμε σε ορισμένα σημεία. Ένα από τα πιο σημαντικά θέματα που απασχολούν τους μηχανικούς που μελετούν αυτούς τους μηχανισμούς είναι ότι έχει να κάνει με τον χρονισμό. Ο χρονισμός του συστήματος είναι η πιο σημαντική παράμετρος όσον αφορά τη λειτουργία του συστήματος και αυτό γιατί ένας κακός χρονισμός μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργίες και αρκετά μεγάλες καταστροφές πάνω στο φίλτρο. Οι καταστροφές αυτές προκαλούνται λόγω της μεγάλης κατακράτησης πάνω στα φίλτρα, γεγονός το οποίο επιτρέπει την δημιουργία φαινομένων, όπως της αντίστροφης κορώνας. Φαινόμενα όπως αυτό έχουν σαν αποτέλεσμα να θέτουν το φίλτρο εκτός λειτουργίας λόγω ενός βραχυκυκλώματος που γίνεται στο εσωτερικό του, καταστρέφοντας το πεδίο αυτού. [6]

3.12 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ

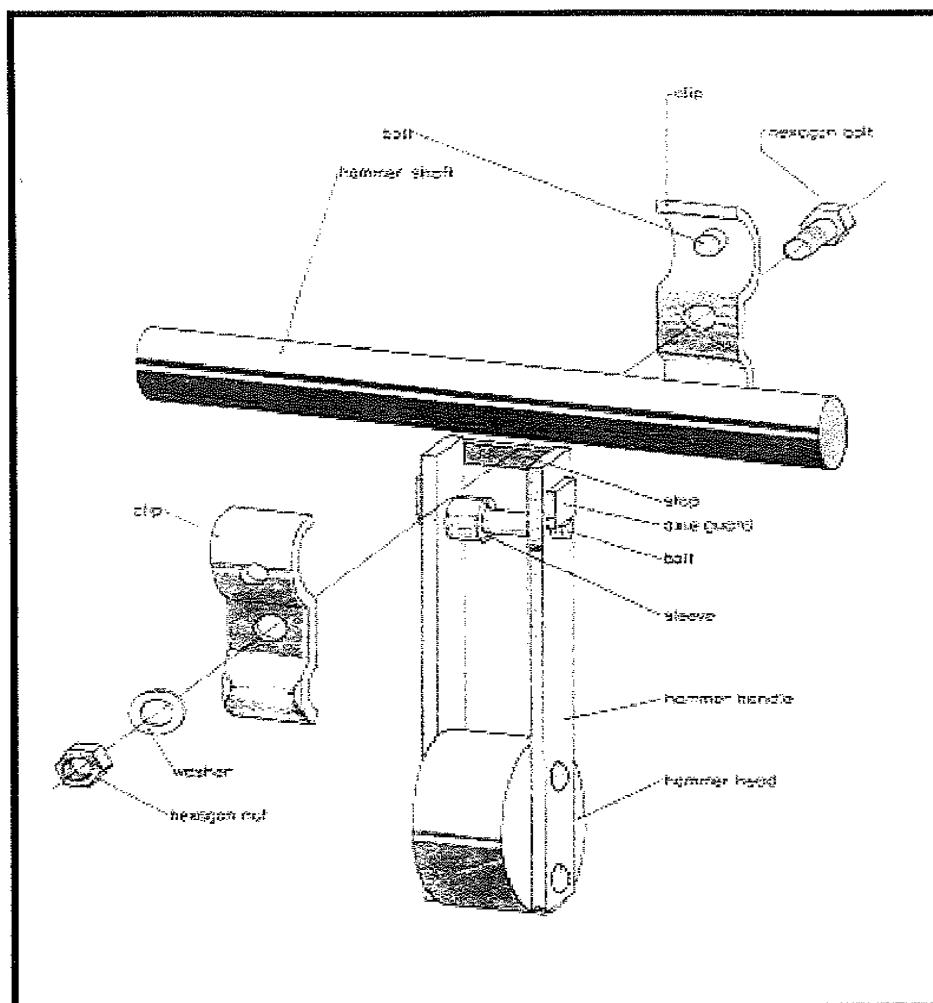
Το σύστημα των σφυριών αποτελείται από μια περιστρεφόμενη ράβδο πάνω στην οποία στερεώνονται σφυριά. Η ράβδος αυτή στηρίζεται πάνω στο κύριο σώμα του ηλεκτροστατικού φίλτρου με την βοήθεια ενός εδράνου το οποίο διαιρείται σε δύο μέρη. Το ένα μέρος είναι σταθερό, ενώ το άλλο μπορεί να απομακρυνθεί αφού στερεώνεται στο

σταθερό μέρος με την βοήθεια κοχλιών πάνω και κάτω, αγκαλιάζοντας την ράβδο η οποία φέρει σφυριά . Αναλυτικό σχέδιο που μπορεί να παρατηρήσει κανείς τα παραπάνω είναι το σχέδιο B1.8-043E της LURGI.



Σχέδιο B1.8-043E

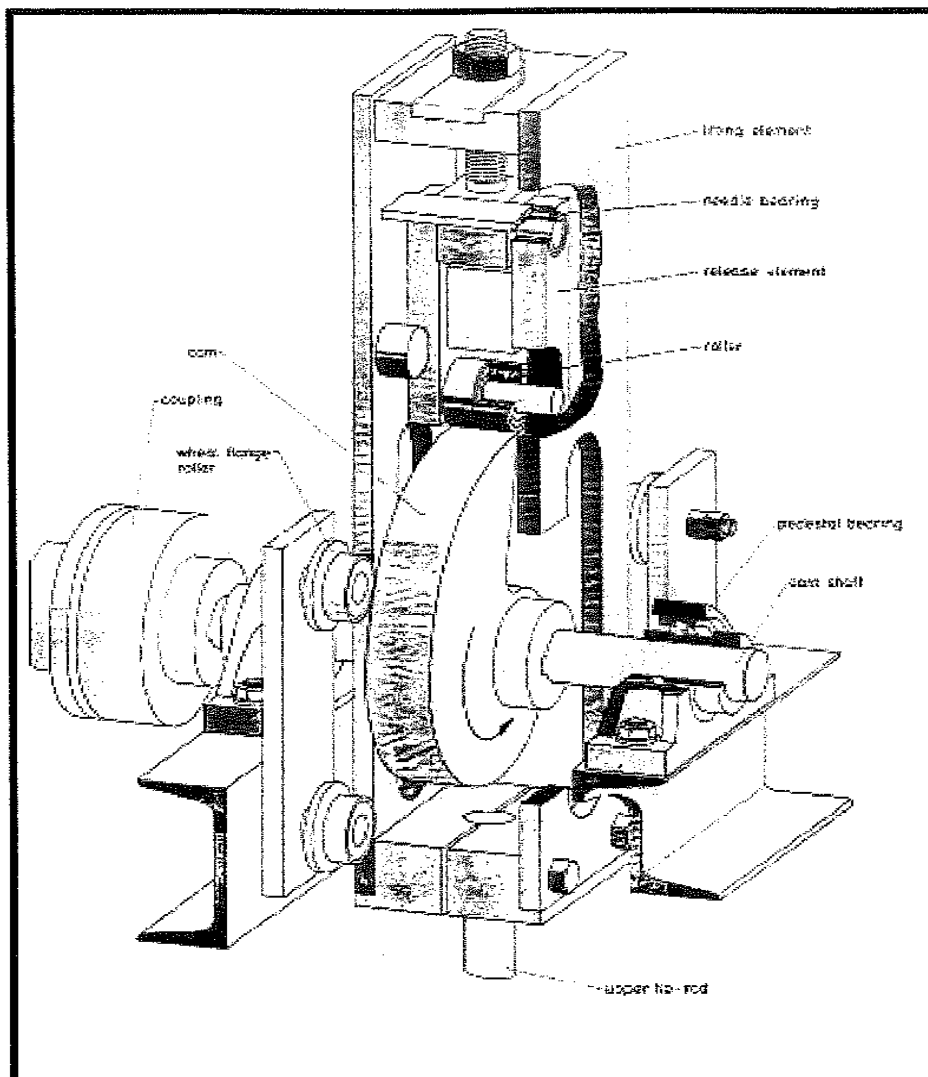
Στο σχέδιο αυτό φαίνεται μία πλάγια όψη και μία κάτοψη του συστήματος κατακρήμνισης. Σε αυτό μπορεί να παρατηρήσει κανείς τα σφυριά και τον τρόπο με τον οποίο αυτά εδράζονται πάνω στην άτρακτο καθώς και τα σημεία πάνω στα οποία προσκρούουν. Τώρα όσο αφορά το σύστημα έδρασης των σφυριών πάνω στην ράβδο κίνησης αυτό μπορεί κανείς να το δει μέσα από το σχέδιο B1.8-051E. Στο σχέδιο φαίνεται η ράβδος πάνω στην οποία εδράζεται το σφυρί, το βάκτρο το οποίο συνδέει το σφυρί με την ράβδο καθώς και η τραβέρσα που ενώνει το σφυρί με την άτρακτο (ράβδο).



Σχέδιο B1.8-051E

3.13 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΟΛΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το σύστημα αποτελείται από έναν μηχανισμό οδήγησης τον οποίο έχουμε περιγράψει παραπάνω. Στην παράγραφο αυτή θα εξετάσουμε κυρίως τον κύριο μηχανισμό του συστήματος μετακίνησης του μηχανισμού κατακρήμνισης. Ο μηχανισμός αυτός (εικόνα 3.13) αποτελείται από ένα ηλεκτρικό κινητήρα ο οποίος με την βοήθεια ενός μηχανισμού οδοντωτών τροχών, που είναι προσαρμοσμένος στο ίδιο κέλυφος με τον ηλεκτρικό κινητήρα, παρέχει την κατάλληλη ροπή προκειμένου να μετακινηθεί το σύστημα κατακρήμνισης.



Σχέδιο B1.8-024E

Στο σχέδιο με αριθμό D6714000 / 0L00201 (Γ μέρος παραρτήματος) μπορεί να βρει κανείς τις αντιστοιχίες από τις παραπάνω εικόνες των οποίων η κωδική ονομασία αναγράφεται μέσα στην παρένθεση, δίπλα από κάθε εικόνα.

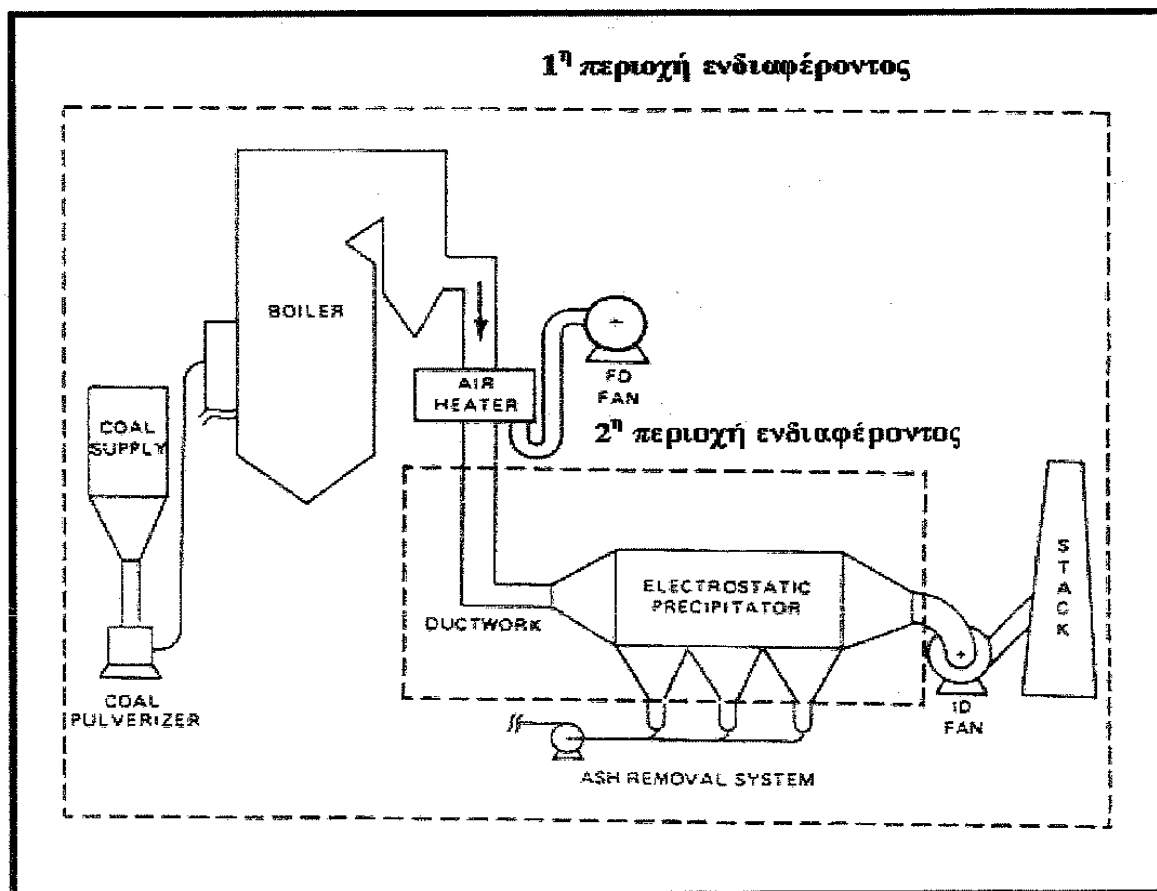
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον και οι προσπάθειες που αφορούν τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης των ηλεκτροστατικών φίλτρων. Παρόλο που οι γενικές παράμετροι που επηρεάζουν τη λειτουργία των ηλεκτροστατικών φίλτρων έχουν παραμείνει οι ίδιες, ωστόσο τα μέσα ελέγχου αυτών έχουν εξελιχθεί και έχουν γίνει ολοένα και πιο αξιόπιστα και φθηνά. Πολλές τεχνολογίες αναβάθμισης έχουν εφαρμοστεί, με κόστος πολλές φορές μικρότερο από το ένα δέκατο του κόστους των κλασικών παραδοσιακών μεθόδων. Το ερώτημα που γεννάται σήμερα δεν είναι 'Τι θα λειτουργήσει;', αλλά 'Ποια τεχνολογία είναι η πλέον κατάλληλη;'.

Ο σκοπός ενός προγράμματος αναβάθμισης του βαθμού απόδοσης ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου, που υλοποιείται σε ένα σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με πρώτη ύλη λιγνίτη, μπορεί να χωριστεί σε 2 κύριες περιοχές ενδιαφέροντος (εικόνα 4.1) :



Εικόνα 4.1

- 1^η περιοχή ενδιαφέροντος : Η τροφοδοσία λιγνίτη, οι μύλοι λιγνίτη, ο λέβητας, ο αναγεννητικός προθερμαντήρας (LUVO), τα I.D. fans (απαγωγή καυσαερίων) και F.D. fans (προσαγωγή αέρα), η καμινάδα και το σύστημα απομάκρυνσης τέφρας.
- 2^η περιοχή ενδιαφέροντος : Το ηλεκτροστατικό φίλτρο καθώς και οι αγωγοί εισόδου και εξόδου του.

Για τα περισσότερα προγράμματα αναβάθμισης, τα τμήματα που απαρτίζουν την 1^η περιοχή ενδιαφέροντος είναι αμετάβλητα. Ο εξοπλισμός παραγωγής ισχύος, οι αγωγοί ροής των διαφόρων ρευστών, καθώς επίσης και το σύστημα απομάκρυνσης τέφρας, λειτουργούν κοντά στο βέλτιστο επίπεδο ενώ το είδος του καύσιμου λιγνίτη έχει ήδη προεπιλεγθεί από τη μονάδα. Οι προαναφερθέντες συνθήκες αποτελούν ένα κλασσικό σενάριο στο οποίο η μόνη δυνατότητα αναβάθμισης των ηλεκτροστατικών φίλτρων, θα αφορά τη 2^η περιοχή ενδιαφέροντος, αυτή δηλαδή που σχετίζεται με το ηλεκτροστατικό φίλτρο και τους αγωγούς προσαγωγής και απαγωγής από αυτό.

Τα φίλτρα της μονάδας I του Α.Η.Σ. Καρδιάς μελετήθηκαν με βάση τη 2^η περιοχή ενδιαφέροντος. Όλες οι συνθήκες και συνιστώσες της 1^{ης} περιοχής, θεωρήθηκαν μόνιμες και σταθερές, δεδομένου ότι η μονάδα καλύπτει φορτία βάσης και δεν μπορεί να αλλάξει τις συνθήκες λειτουργίας των 300 MW (επιθυμητή αύξηση ή μείωση φορτίου). Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα πιο συνηθισμένα προβλήματα, που επηρεάζουν την απόδοση ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου.

Πίνακας 4.1: Αναφορά των συνηθέστερων προβλημάτων που συναντώνται στην πράξη. [24]

ΒΑΣΙΚΑ – ΟΥΣΙΩΔΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ	
1	Σωματίδια υψηλής ειδικής αντίστασης
2	Επαναεισαγωγή των ήδη συλλεγμένων σωματιδίων στο φίλτρο
3	Μικρή παροχή ροής καυσαερίων
4	Ανεπαρκής ή ασταθής εξοπλισμός ανόρθωσης

5	Ανεπαρκής αριθμός πεδίων
6	Υψηλή ταχύτητα καυσαερίων
7	Πολύ μικρός λόγος διάστασης
8	Ακατάλληλη ή ανεπαρκής κατακρήμνιση των σωματιδίων
9	Πολύ μικρό μέγεθος ηλεκτροστατικού φίλτρου
10	Διαφυγή μέρους της ροής των καυσαερίων
ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ	
1	Κακή διευθέτηση των ηλεκτροδίων
2	Κατεστραμμένες ή λοξές πλάκες συλλογής
3	Δονούμενα ή μετέωρα ηλεκτρόδια κορώνας (φόρτισης)
4	Υπερβολική εναπόθεση σκόνης πάνω στα ηλεκτρόδια κορώνας και / ή στις πλάκες συλλογής (ορισμένες φορές λαμβάνει χώρα ορυκτοποίηση αυτής της σκόνης)
5	Σχηματισμός μεγάλων ποσοτήτων ('λοφίσκοι') σκόνης – τέφρας στους αγωγούς εισόδου και εξόδου
6	Βούλωμα του εξοπλισμού κατανομής της ροής καυσαερίων
7	Εισαγωγή παρασιτικού αέρα στις χοάνες, στο κέλυφος, ή και στους αγωγούς καυσαερίων
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ	
1	Γεμάτες ή υπερπλήρεις χοάνες – συλλέκτες
2	Μειωμένες περιοχές κορώνας (π.χ. κομμένα καλώδια – ηλεκτρόδια κτλ.)
3	Συστήματα ανόρθωσης ή ελέγχου σε αρρυθμία
4	Υπερφόρτωση του ηλεκτροστατικού φίλτρου λόγω υπερβολικής παροχής καυσαερίων
5	Υπερφόρτωση του ηλεκτροστατικού φίλτρου λόγω υψηλής συγκέντρωσης τέφρας – σκόνης
6	Απότομες λειτουργικές μεταβολές (ελλιπής καύση, διαρροές ατμού κτλ.)

Όπως φαίνεται και από τον παραπάνω πίνακα, τα προβλήματα αυτά μπορούν να διαιρεθούν σε 3 μεγάλες κατηγορίες:

- Βασικά – ουσιώδη προβλήματα (fundamental problems)
- Μηχανικά προβλήματα (mechanical problems)
- Λειτουργικά προβλήματα (operational problems)

Τα λειτουργικά προβλήματα είναι αποτέλεσμα ανεπαρκούς λειτουργίας ή συντήρησης, ή διαφόρων λανθασμένων εκτιμήσεων της 1^{ης} περιοχής ενδιαφέροντος (πλεονάζουσα ροή ρευστών, συγκέντρωση σκόνης ή διακυμάνσεων φορτίου).

Τα μηχανικά προβλήματα, όπως π.χ. η λανθασμένη διάταξη των ηλεκτροδίων ή η υπερβολική εναπόθεση σκόνης, μπορεί να οφείλονται σε έναν από τους παρακάτω λόγους : διάβρωση λόγω της παλαιότητας του εξοπλισμού ή λειτουργικών προβλημάτων, παλιός ή ακατάλληλος σχεδιασμός των διαφόρων επιμέρους τμημάτων του φίλτρου, μερικώς σχεδιασμός ή κατασκευή, ή λανθασμένες επισκευές και συντήρηση. Διορθωτικές ενέργειες μπορεί να περιλαμβάνουν αντικατάσταση διαφόρων τμημάτων, ή τροποποίηση των πεδίων του υπάρχοντος εξοπλισμού. Οι ενέργειες αυτές θα έχουν σαν αποτέλεσμα την επαναφορά της αρχικής ικανότητας συλλογής του ηλεκτροστατικού φίλτρου ή τουλάχιστον αύξηση αυτής σε επιθυμητά επίπεδα.

Τα βασικά – ουσιώδη προβλήματα είναι στενά συνδεδεμένα με το μέγεθος και το βαθμό συλλογής του ηλεκτροστατικού φίλτρου. Οι παρακάτω 5 παράμετροι μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση συλλογής αυτού : -

- Ομοιομορφία της ροής των καυσαερίων
- Τροφοδοσία ενέργειας και έλεγχος αυτής
- Κατακρημνιστές και έλεγχος αυτών
- Ειδική αντίσταση της ιπτάμενης τέφρας
- Διαθέσιμη επιφάνεια των πλακών – ηλεκτροδίων συλλογής

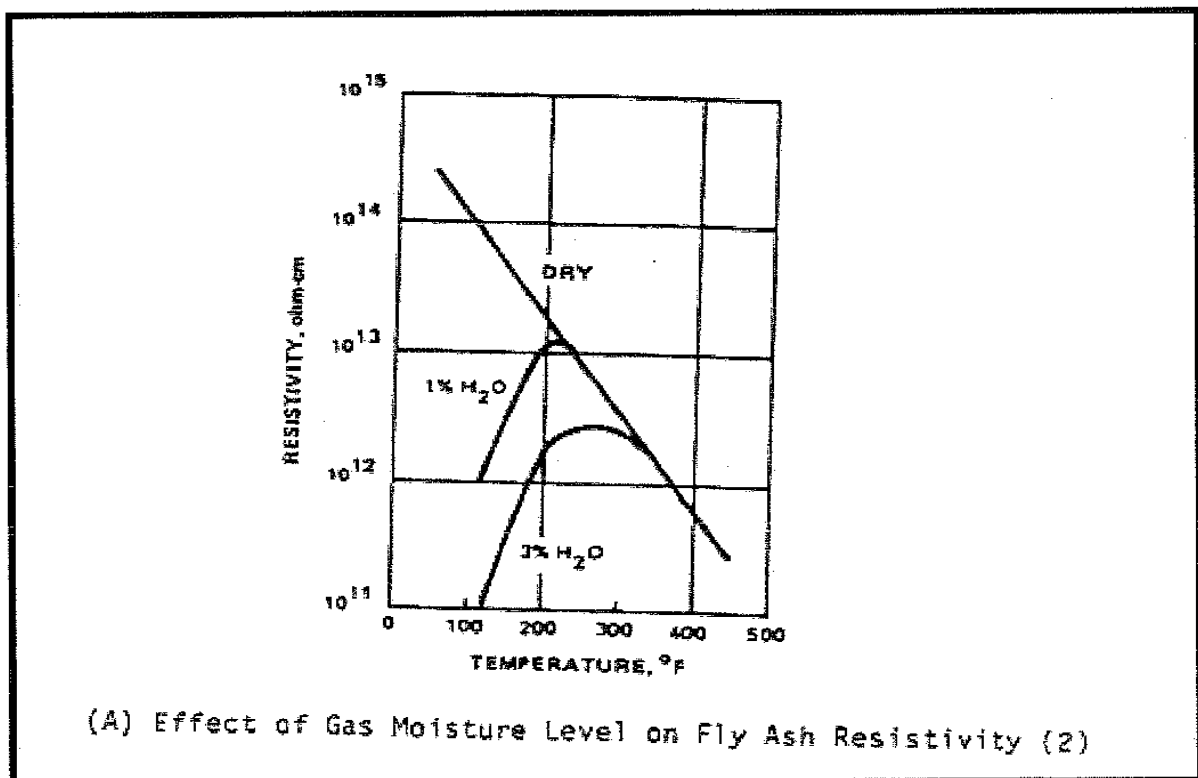
Η παρούσα μελέτη περιορίστηκε στις δύο τελευταίες παραμέτρους, όσο αφορά τη βελτίωση του βαθμού συλλογής των ηλεκτροστατικών φίλτρων της μονάδας I του

Α.Η.Σ. Καρδιάς, δηλαδή στην ειδική αντίσταση της ιπτάμενης τέφρας και στη διαθέσιμη επιφάνεια των πλακών – ηλεκτροδίων συλλογής.

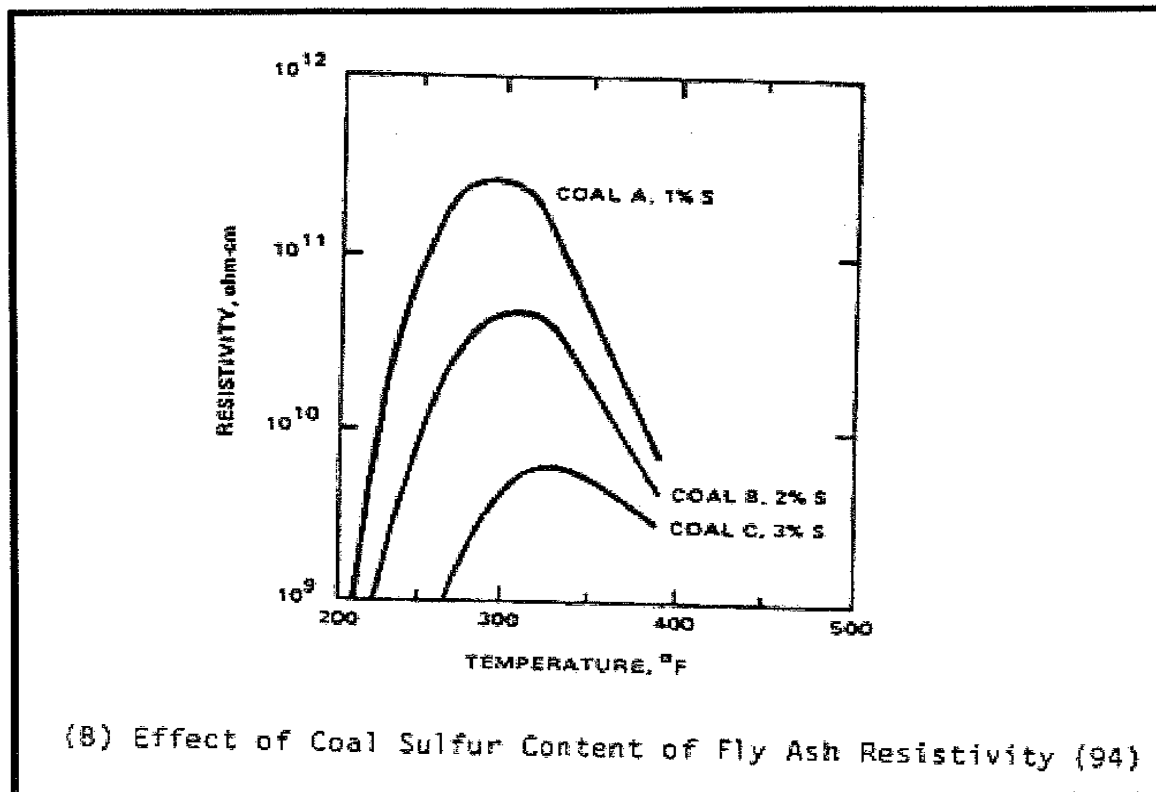
4.2 ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΙΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση αναφέρεται στην αντίσταση ενός συλλεγμένου στρώματος ιπτάμενης τέφρας. Είναι αριθμητικά ίση με την ηλεκτρική αντίσταση (ohm) ενός κύβου ιπτάμενης τέφρας πλευράς 1cm και εκφράζεται σε ohm-cm. Η τιμή της ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης στα ηλεκτροστατικά φίλτρα εξαρτάται από 3 παράγοντες (βλ. εικόνες 4.2 (α) και (β)) :

- Σύσταση της ιπτάμενης τέφρας σε οργανικά (μεταλλικά) στοιχεία
- Θερμοκρασία της ροής καυσαερίων
- Σύσταση της ροής καυσαερίων



Εικόνα 4.2 (α)



Εικόνα 4.2 (β)

Η περιεκτικότητα σε θείο του λιγνίτη παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της αντίστασης της τέφρας στην περίπτωση φίλτρου ψυχρής πλευράς. Εάν όλες οι άλλες παράμετροι παραμείνουν σταθερές, τότε όσο χαμηλότερη είναι η περιεκτικότητα σε θείο, τόσο υψηλότερη είναι η ηλεκτρική αντίσταση της ιπτάμενης τέφρας. Απουσία επαρκούς ποσότητας θείου (κάτω από 1% κατά βάρος), τα οξείδια του νατρίου (Na_2O) και τα οργανικά (μεταλλικά) συστατικά της ιπτάμενης τέφρας έχουν μεγάλη επίδραση στα επίπεδα της αντίστασης. Τέλος, χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο και νάτριο ιπτάμενες τέφρες (κάτω από 0.5% σε Na_2O) έχουν υψηλότερες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

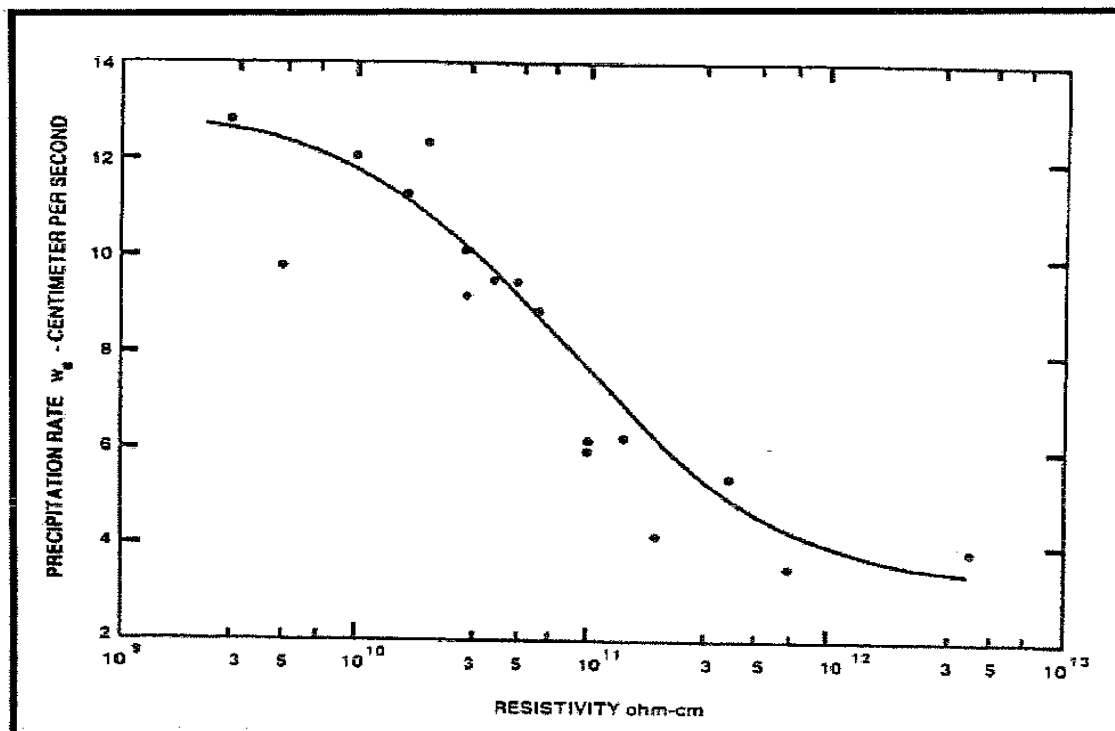
Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση αποτελεί μία ουσιώδη παράμετρο, όσο αφορά την κατακράτηση των ηλεκτροστατικών φίλτρων, λόγω του ότι το στρώμα της ιπτάμενης τέφρας που επικάθεται πάνω στις πλάκες συλλογής πρέπει να έχει ένα βαθμό ηλεκτρικής αγωγιμότητας για να άγει τα ρεύματα που δημιουργούνται λόγω ιονισμού

από το ηλεκτρόδιο κορώνα στο έδαφος (πρακτικά να είναι αγώγιμη η ιπτάμενη τέφρα για να μπορεί να προσκολλάται στις πλάκες). Υπάρχει ένα βέλτιστο εύρος ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για αποτελεσματική κατακράτηση των σωματιδιακών ρύπων από τα ηλεκτροστατικά φίλτρα, το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 10^9 και 10^{11} ohm-cm. Πέραν αυτού του εύρους προκύπτουν προβλήματα των οποίων η σοβαρότητα ποικίλλει, όπως φαίνεται και από τον πίνακα 4.2 και την εικόνα 4.3

Πίνακας 4.2: Επίδραση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης της ιπτάμενης τέφρας στην ηλεκτροστατική κατακράτηση

Εύρος Αγωγιμότητας (ohm-cm)	Επίδραση στην απόδοση της κατακράτησης
10^4 έως 10^7	Υψηλά αγώγιμη ιπτάμενη τέφρα. Μπορεί να είναι υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα (πάνω από 30%) ή λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες (κοντά στη θερμοκρασία δρόσου των οξέων). Χαμηλή τάση κορώνας και υψηλές απώλειες λόγω επανεισαγωγής της τέφρας κατά τη διεργασία της κατακρήμνισης.
10^8 έως 10^9	Αγώγιμη. Τυπικά χαμηλότερη για τους λέβητες καύσεως άνθρακα-λιγνίτη με ιπτάμενη τέφρα μεγάλης περιεκτικότητας σε οξειδία του νατρίου και ροή καυσαερίων μεγάλης περιεκτικότητας σε τριοξείδια του θείου.
10^{10} έως 10^{11}	Καλό εύρος για σωστή κατακράτηση. Τυπική περίπτωση Ανατολικού κάρβουνου με περιεκτικότητα σε θείο μεταξύ 1.5% και 2.5%. Υψηλά ρεύματα κορώνας.
10^{12} έως 10^{13}	Υψηλή ηλεκτρική αντίσταση. Συνήθως συναντάται σε ασφαλτούχο κάρβουνο

10^{12} έως 10^{13}	<p>Δυτικών περιοχών με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (χαμηλότερη από 1%). Η περιεκτικότητα σε οξείδια νατρίου είναι συνήθως μικρότερη από 0.5%. Μείωση της ωφέλιμης ισχύος κορώνας και αντίστροφης κορώνας. Η διαρκής προσκόλληση ιπτάμενης τέφρας στα ηλεκτρόδια απαιτεί υψηλές δυνάμεις κατακρήμνισης.</p>
Πάνω από 10^{13}	<p>Δεν συναντάται συχνά. Έχει παρατηρηθεί σε κάρβουνο της Αυστραλίας σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Χαμηλή ωφέλιμη ισχύ κορώνας, σοβαρά προβλήματα αντίστροφης κορώνας και προβλήματα των κατακρημνιστών (σφυριά)</p>



Εικόνα 4.3

Πριν την έναρξη του προγράμματος αναβάθμισης του βαθμού απόδοσης ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου, θα πρέπει να γίνουν μετρήσεις της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας της ιπτάμενης τέφρας (ή αν αυτό δεν είναι δυνατόν μία ανάλυση – εκτίμηση του κάρβουνου και της ιπτάμενης τέφρας). Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση της τέφρας αποτελεί συνήθως το κυρίαρχο πρόβλημα όσο αφορά την κατακράτηση αυτής και μελετάται κατά κύριο λόγο στη διάρκεια του προγράμματος.

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή της παραγράφου η ηλεκτρική αντίσταση της τέφρας εξαρτάται από τη σύσταση της ιπτάμενης τέφρας σε οργανικά (μεταλλικά) στοιχεία, τη θερμοκρασία της ροής καυσαερίων και στη σύσταση της ροής αυτών. Λόγω του ότι η σύσταση της ιπτάμενης τέφρας είναι δύσκολο να αλλάξει, δεδομένου ότι ο λιγνίτης που τροφοδοτεί τη μονάδα I του Α.Η.Σ Καρδίας είναι καθορισμένης χημικής σύστασης με μικρές αποκλίσεις και μεταβλητότητα, μελετήθηκαν οι 2 παρακάτω δυνατότητες βελτίωσης του βαθμού απόδοσης των φίλτρων της μονάδας :

- 1) Μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων (έγχυση νερού στον αγωγό ροής καυσαερίων και διαστασιολόγηση συστήματος απαγωγής θερμότητας από αυτόν), με σκοπό την επιθυμητή τιμή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης της ιπτάμενης τέφρας, για καλύτερη τελική παρακράτηση αυτής.
- 2) Μεταβολή της σύστασης των καυσαερίων στην είσοδο του φίλτρου με την έγχυση μικρών ποσοτήτων νερού ή πρόσθετων χημικών στην ροή αυτών με σκοπό τη μείωση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης της ιπτάμενης τέφρας.

4.3 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ

4.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως αναφέρθηκε και το κεφάλαιο 1 η ειδική ηλεκτρική αντίσταση της ιπτάμενης τέφρας εξαρτάται από τη θερμοκρασία ροής των καυσαερίων (βλ. εικόνα 1.4). Για ηλεκτροστατικά φίλτρα ψυχρής πλευράς (τοποθετημένα μετά τον αναγεννητικό

προθερμαντήρα LUVO), η ειδική ηλεκτρική αντίσταση της ιπτάμενης τέφρας μειώνεται με μείωση της θερμοκρασίας εισόδου των καυσαερίων στο φίλτρο και η απόδοση αυτού, όσο αφορά την κατακράτηση βελτιώνεται, έως ότου αυτή φθάσει περίπου στην τιμή των 10^{10} ohm-cm. Έτσι μία σημαντική βελτίωση που μπορεί να εφαρμοστεί είναι η μείωση της θερμοκρασίας εισόδου των καυσαερίων στην είσοδο του φίλτρου σε μία ικανοποιητική τιμή, η οποία όμως θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να αποφεύγεται το σημείο δρόσου αυτών. Προκειμένου να εκτιμηθεί εάν είναι εφικτή μία τεχνική μεταβολής της θερμοκρασίας των καυσαερίων πρέπει πρωτίστως να εκτιμηθεί η χαρακτηριστική καμπύλη (ειδικής αντίστασης-θερμοκρασίας) της ιπτάμενης τέφρας. Δεδομένου ότι η μελέτη έχει τεχνικές και φυσικές ιδιαιτερότητες πρέπει να μελετηθεί διεξοδικά, προκειμένου να διαπιστωθεί εάν αυτή είναι η πλέον κατάλληλη για εφαρμογή. Στην επόμενη παράγραφο αναφέρεται ο τρόπος συλλογής δεδομένων για το σχεδιασμό της χαρακτηριστικής καμπύλης (ειδικής αντίστασης – θερμοκρασίας) της ιπτάμενης τέφρας για τα φίλτρα της μονάδας I του Α.Η.Σ. Καρδιάς.

4.3.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΙΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ ΓΙΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Για το σχεδιασμό της χαρακτηριστικής καμπύλης (ειδικής αντίστασης–θερμοκρασίας) της ιπτάμενης τέφρας πρέπει οι μετρήσεις που θα γίνουν να ανταποκρίνονται σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών αέρα καύσης. Οι μετρήσεις στην περίπτωση αυτή γίνονται με τη βοήθεια αισθητήρα (probe). Προσοχή θα πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι η σύσταση της ιπτάμενης τέφρας μπορεί να αλλάξει στις διάφορες λειτουργικές συνθήκες του λέβητα, πράγμα το οποίο μπορεί να έχει επιρροή στην αντίσταση αυτής.

Εναλλακτικά ένας άλλος τρόπος υπολογισμού της ειδικής αντίστασης μπορεί να γίνει με τη βοήθεια ενός παρακαμπτηρίου θαλάμου, κατάντι του κυρίου αγωγού των καυσαερίων. Στο θάλαμο αυτό γίνεται συλλογή ποσότητας καθορισμένου δείγματος

και υπάρχει δυνατότητα αλλαγής της θερμοκρασίας, προκειμένου να διαπιστωθεί η συμπεριφορά της ειδικής αντίστασης συναρτήσει της θερμοκρασίας ροής των καυσαερίων. Το μεγάλο πλεονέκτημα της χρήσης της μεθόδου αυτής είναι ότι με τη χρήση αυτού του θαλάμου, μπορούμε να προσομοιώσουμε διάφορες συνθήκες λειτουργίας του λέβητα, χωρίς να μεταβληθούν οι συνθήκες καύσης αυτού. Ιδιαίτερη προσοχή στην περίπτωση αυτή πρέπει να δοθεί στο σημείο δρόσου των καυσαερίων, προκειμένου να μην έχουμε το σχηματισμό επικαθίσεων οξειδίων στις επιφάνειες του θαλάμου εισαγωγής δείγματος, κάτι το οποίο μπορεί να προκαλέσει δυσκολίες στις μετρήσεις και να μας οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα.

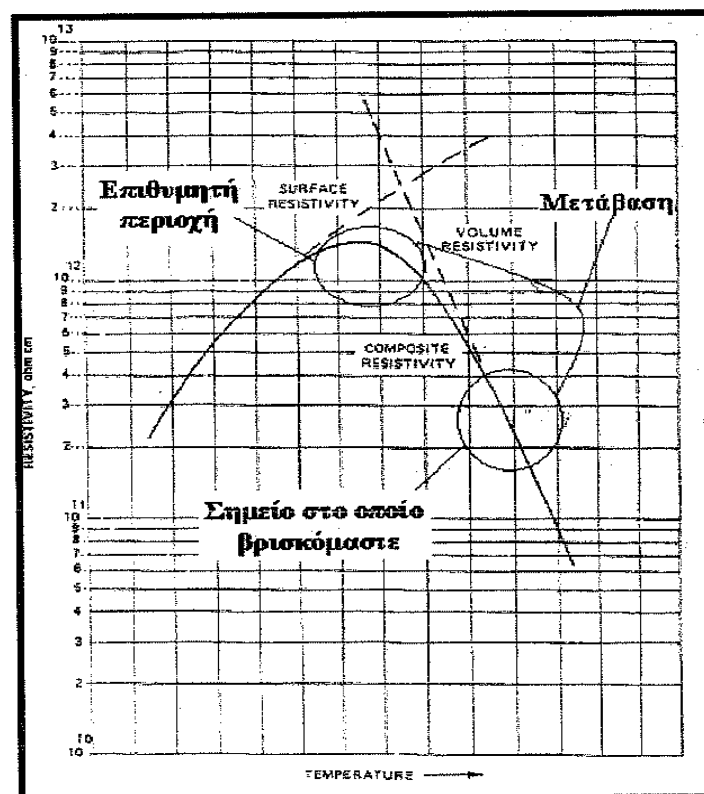
Όσον αφορά τώρα την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας της υπάμενης τέφρας των ηλεκτροστατικών φίλτρων του Α.Η.Σ Καρδίας και συγκεκριμένα της μονάδας I, αυτή έγινε μετά από την συλλογή της από τα τέσσερα πεδία του ηλεκτροστατικού φίλτρου. Η μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας έγιναν από την εταιρεία (TITAN) στην Αθήνα η οποία διαθέτει κατάλληλο εξοπλισμό για αυτού του είδους τις μετρήσεις. Συγκεκριμένα ζητήθηκε από τον υπεύθυνο μηχανικό της εταιρείας η συλλογή δειγμάτων βάρους 2Kgr το κάθε ένα προκειμένου να γίνουν σωστή και ακριβείς υπολογισμοί της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Η συλλογή των δειγμάτων έγινε από ειδικές θυρίδες στις χοάνες συλλογής στην κάτω μεριά των φίλτρων με την βοήθεια μηχανοτεχνίτη. Είναι σημαντικό επίσης το γεγονός ότι κατά την συλλογή του δείγματος η ποσότητα της τέφρας στα πρώτα πεδία ήταν πολύ μεγάλη σε σχέση με το τελευταίο πεδίο, γεγονός που επαληθεύει αυτό το οποίο είχαμε σχολιάσει σε προηγούμενη παράγραφο ότι δηλαδή το μεγαλύτερο μέρος της κατακράτησης γίνεται στα πρώτα πεδία. Επίσης πρέπει να πούμε ότι η συλλογή της τέφρας από το τέταρτο και τελευταίο πεδίο ήταν μια ιδιαίτερα χρονοβόρα και επίπονη διαδικασία προκειμένου να συλλεχθεί ένα δείγμα 2Kgr και αυτό γιατί η ποσότητα της κατακρατηθείσας τέφρας σε αυτό το πεδίο είναι πολύ μικρή. [33]

Μετά την συλλογή των δειγμάτων, αυτά στάλθηκαν στην εταιρεία TITAN και έγιναν οι μετρήσεις. Τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΕΔΙΟΥ	ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (ohm-cm)
ΠΡΩΤΟ	3×10^{12}
ΔΕΥΤΕΡΟ	$2,5 \times 10^{12}$
ΤΡΙΤΟ	2×10^{12}
ΤΕΤΑΡΤΟ	$1,5 \times 10^{12}$

Από τα παραπάνω αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας της τέφρας στα πρώτα πεδία είναι αρκετά μεγάλη, γεγονός που βοηθάει στην κατακράτηση της από το φίλτρο ενώ όσο προχωράμε προς τα τελευταία πεδία αυτή μειώνεται κατά πολύ. Συγκεκριμένα στο τέταρτο πεδίο η τιμή της είναι τόσο μικρή που το φίλτρο την αντιλαμβάνεται ως χόμα, μη μπορώντας να την κατακρατήσει στα επιθυμητά όρια που εμείς θέλουμε.

Λόγω του ότι η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων της μονάδας I του Α.Η.Σ. Καρδιάς ανέρχεται στους 190°C , βάση της καμπύλης του σχήματος 1.4, η οποία είναι μία γενική πειραματική καμπύλη, συμπεραίνουμε ότι προκειμένου να αυξήσουμε την ηλεκτρική αγωγιμότητα πρέπει να μειώσουμε τη θερμοκρασία των καυσαερίων κατά 15°C με 20°C τουλάχιστον (βλ. εικόνα 4.4)



Εικόνα 4.4

Επίσης τα αποτελέσματα της στοιχειακής ανάλυσης του λιγνίτη και της τέφρας παρατίθενται στον πίνακα 4.4.

Πίνακας 4.4 : Στοιχειακή ανάλυση λιγνίτη – τέφρας της μονάδος I του Α.Η.Σ. Καρδιάς. [7]

<i>ΛΙΓΝΙΤΗΣ</i>	
<i>Στοιχεία</i>	<i>Ποσοστό (%)</i>
<i>Τέφρα</i>	<i>11.46</i>
<i>Υγρασία</i>	<i>55.13</i>
<i>Άνθρακας</i>	<i>22.78</i>
<i>Υδρογόνο</i>	<i>1.5</i>
<i>Θείο</i>	<i>0.46</i>
<i>Άζωτο</i>	<i>0.57</i>
<i>Οξυγόνο</i>	<i>8.1</i>
<i>ΤΕΦΡΑ</i>	
<i>SiO₂</i>	<i>25</i>
<i>Fe₂O₃</i>	<i>8</i>
<i>Al₂O₃</i>	<i>10.2</i>
<i>TiO₂</i>	<i>0.6</i>
<i>CaO</i>	<i>47</i>
<i>MgO</i>	<i>3.5</i>
<i>SO₃</i>	<i>5</i>
<i>Na₂O</i>	<i>0.3</i>
<i>K₂O</i>	<i>0.4</i>

4.3.3 ΕΓΧΥΣΗ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟΝ ΑΓΩΓΟ ΠΡΟΣΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΤΟ ΦΙΛΤΡΟ

4.3.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μεταβολή της θερμοκρασίας μόλις 15-25°C, μπορεί να επιφέρει σημαντικές αλλαγές στη απόδοση του φίλτρου. Με βάση το θερμοκρασιακό αυτό εύρος παρουσιάζεται παρακάτω μία μέθοδος ψύξης των καυσαερίων πριν την εισαγωγή τους στο φίλτρο. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην ψύξη των καυσαερίων με τη

βοήθεια ενός συστήματος περιμετρικών εγχυτήρων ψεκασμού νερού στο εσωτερικό του αγωγού καυσαερίων.

Οι λόγοι για τους οποίους χρησιμοποιήθηκε νερό και όχι αέρας είναι οι εξής :

- Η ταχύτητα ροής των καυσαερίων αυξάνεται, δεδομένου ότι μάζες αέρα ωθούν τη μάζα των καυσαερίων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ροής μάζας αυτών, γεγονός που οδηγεί στη μείωση της ειδικής επιφάνειας συλλογής (SCA), λόγω του ότι το φίλτρο δεν μπορεί να λειτουργήσει φυσιολογικά πάνω από το σχεδιαστικό όριο παροχής μάζας των καυσαερίων.
- Προκειμένου να μην επηρεαστεί η λειτουργία του συστήματος προσαγωγής αέρα καύσης και απαγωγής καυσαερίων (FD fan και ID fan) κατά τη διάρκεια πλήρους φορτίου και να επηρεαστεί το κενό του λέβητα, γεγονός που θα προκαλούσε ανωμαλίες στην εστία καύσης.
- Η παρουσία επιπλέον ποσότητας αέρα στους αγωγούς καυσαερίων μπορεί να προκαλέσει αυτανάφλεξη του μίγματος καυσαερίων, εάν αυτά έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε άκαυστα, με ολέθριες συνέπειες για το όλο σύστημα.
- Ο αέρας που θα εγχεόταν στον αγωγό προσαγωγής καυσαερίων στο φίλτρο θα επηρέαζε αρνητικά την ειδική ηλεκτρική αντίσταση της ιπτάμενης τέφρας.

Σε αντίθεση με τα προαναφερθέντα και προκειμένου να εξασφαλίσουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα χρησιμοποιούμε εγχυτήρες νερού. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης νερού είναι ότι με αυτό πέραν της μείωσης της θερμοκρασίας των καυσαερίων, επιτυγχάνουμε παράλληλα και τη μείωση της ειδικής αντίστασης της τέφρας.

4.3.3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΝΕΡΟΥ ΨΥΞΗΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΕΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΥΤΩΝ

Για τον υπολογισμό της παροχής νερού ψύξης, καθώς και του τελικού όγκου αυτών, χρησιμοποιήθηκε υπολογιστικό πρόγραμμα σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN 90 [26]. Οι σχέσεις που διέπουν τα δύο παραπάνω μεγέθη είναι :

$$Q = \frac{(5.39 \times 10^{-4}) \cdot W \cdot (T_i - T_o)}{1090 + 0.45 \cdot (T_o - 150)} \quad (4.1) [27]$$

$$V = (460 + T_o) \cdot \left(\frac{W}{2361} + 0.34 \cdot Q \right) \quad (4.2) [27]$$

Όπου :

- Q = η παροχή νερού ψεκασμών σε *gpm*
- W = παροχή θερμών καυσαερίων που εισέρχονται στην περιοχή ψεκασμού σε *lb/hr*
- T_i = θερμοκρασία καυσαερίων σε $^{\circ}F$
- T_o = επιθυμητή θερμοκρασία καυσαερίων σε $^{\circ}F$
- V = τελική παροχή καυσαερίων σε *acfm*

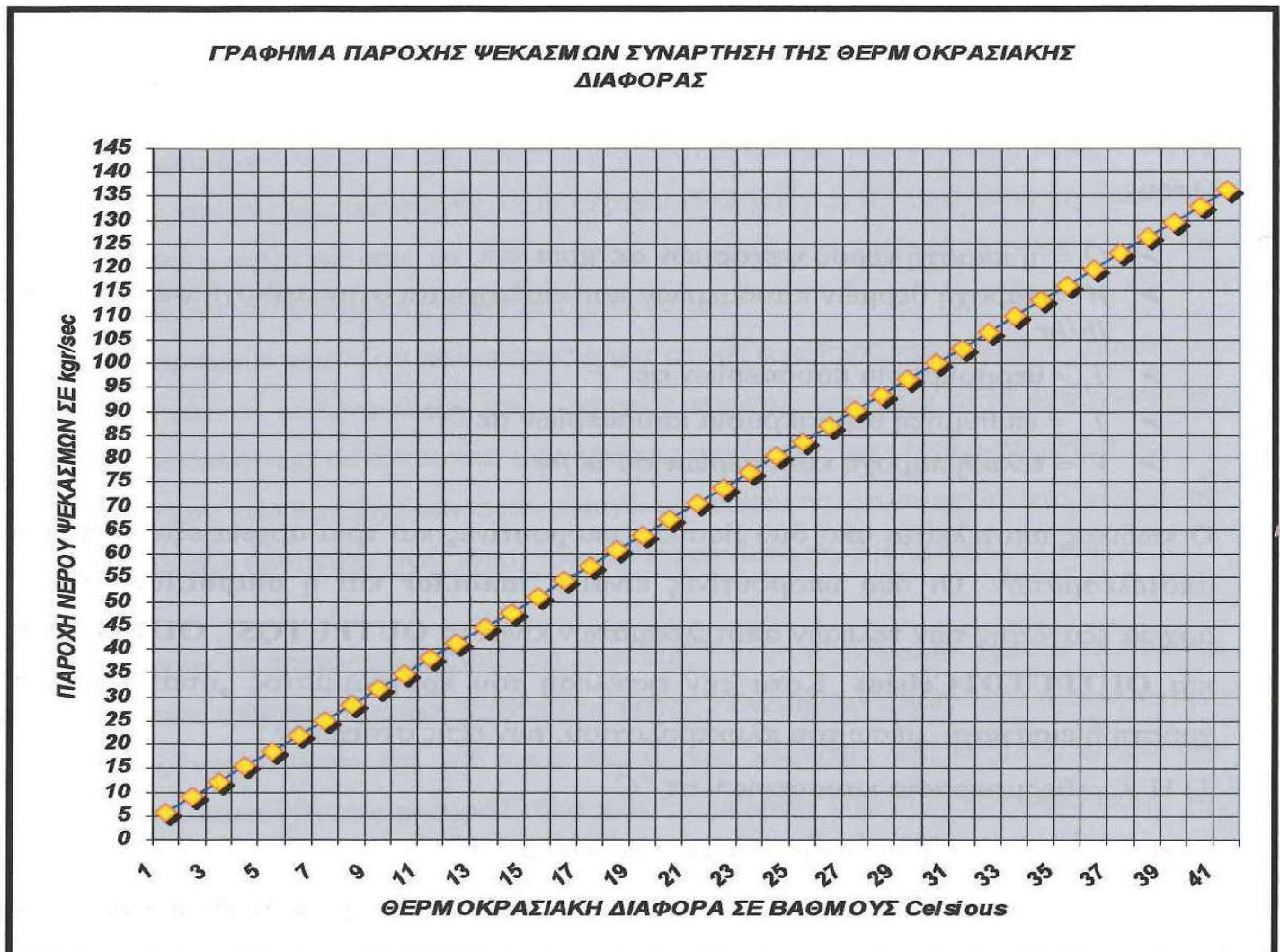
Ο κώδικας αποτελείται από δύο βασικές υπορουτίνες και τρία αρχεία εξαγωγής των αποτελεσμάτων. Οι δύο υπορουτίνες είναι η **main.for** και η **output.for**, ενώ τα αρχεία εξαγωγής των τελικών αποτελεσμάτων είναι τα **OUTPUTQSI**, **OUTPUTVSI** και **OUTPUTDT Celsius**. Κατά την εκτέλεση του προγράμματος ζητείται από το χρήστη η εισαγωγή ,μέσω του πληκτρολογίου, των εξής στοιχείων :

- 1) Η T_i = θερμοκρασία καυσαερίων σε $^{\circ}C$
- 2) Η T_o = επιθυμητή θερμοκρασία καυσαερίων σε $^{\circ}C$
- 3) Η W = παροχή θερμών καυσαερίων που εισέρχονται στην περιοχή ψεκασμού σε *tn/hr*

Το πρόγραμμα στη συνέχεια υπολογίζει την απαιτούμενη παροχή ψυκτικού ύδατος σε *kgr/sec* για την επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων , που δόθηκε από το χρήστη, καθώς επίσης και την τελική ογκομετρική παροχή των καυσαερίων σε *m³/sec*, για διάφορες θερμοκρασιακές διαφορές ($T_i - T_o$) . Συγκεκριμένα οι θερμοκρασιακές αυτές διαφορές αυξάνονται με βήμα ενός βαθμού Celsius από την

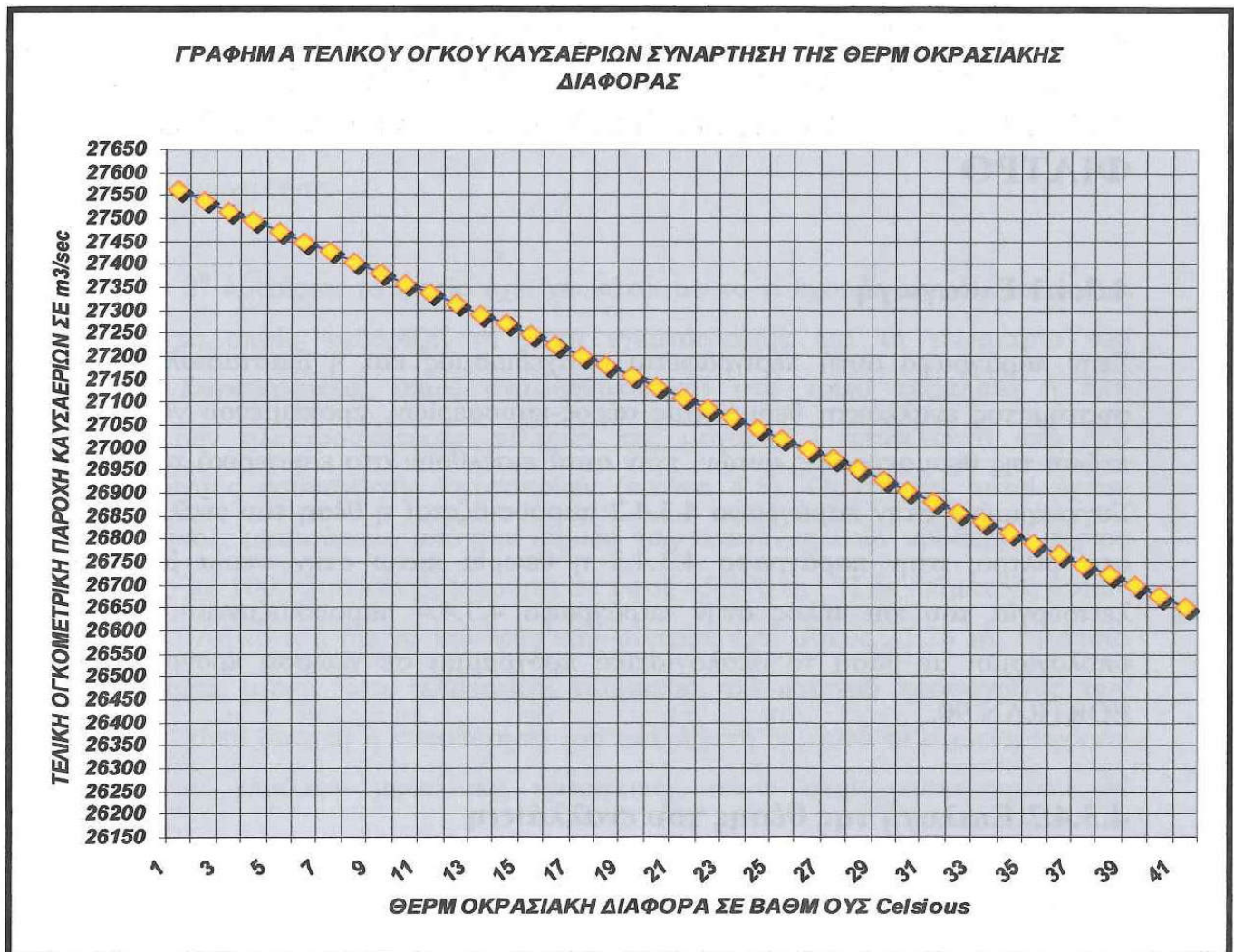
αντίστοιχη αρχική επιθυμητή. Προκειμένου να επιτύχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια υπολογισμού το πρόγραμμα ακολουθεί τη συγκεκριμένη επαναληπτική διαδικασία για 40 επαναλήψεις.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένα διαγράμματα που προέκυψαν από την εκτέλεση του προγράμματος, μέσω των οποίων διαπιστώνεται και η γραμμικότητα των παραπάνω σχέσεων (σχέση 4.1 και 4.2).



Με βάση το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι η σχέση μεταξύ της παροχής του νερού ψεκασμού και της θερμοκρασιακής διαφοράς είναι αύξουσα γραμμική. Επίσης μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι για μία μικρή θερμοκρασιακή πτώση της τάξεως των 9°C - 13°C απαιτείται ποσότητα νερού από 32-45 kg/sec, κάτι το οποίο είναι

μηχανικά και τεχνικά δυνατόν. Αντιθέτως για θερμοκρασιακές πτώσεις άνω των 25°C , απαιτούνται πάρα πολύ μεγάλες ποσότητες ψυκτικού ύδατος, κάτι το οποίο επηρεάζει το πεδίο ροής των καυσαερίων μέσα στον αγωγό, καθώς επίσης και των τελικό όγκο των καυσαερίων, πράγμα που φαίνεται καλύτερα στο διάγραμμα της επόμενης σελίδας.



Τέλος διαπιστώνεται ότι, ότι έχει να κάνει με την παροχή του ψυκτικού νερού έχει να κάνει άμεσα με τη γεωμετρία των αγωγών καθώς επίσης και τον τρόπο τοποθέτησης των εγχυτήρων νερού. Συγκεκριμένα μία λανθασμένη (π.χ. ασύμμετρη) τοποθέτηση των εγχυτήρων, έχει σαν αποτέλεσμα να απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα νερού

προκειμένου να επιτύχουμε την ίδια θερμοκρασιακή πτώση για συγκεκριμένη παροχή καυσαερίων.

Στο Α μέρος του παραρτήματος, που βρίσκεται στο τέλος της εργασίας παρατίθενται ο κώδικας και τα αποτελέσματα, βάση των οποίων έγιναν τα παραπάνω διαγράμματα.

4.3.4 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΓΩΓΟ ΠΡΟΣΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΤΟ ΦΙΛΤΡΟ

4.3.4.1 Εισαγωγή

Στην παράγραφο αυτή περιγράφεται ο σχεδιασμός και η διαστασιολόγηση ενός συστήματος εναλλάκτη θερμότητας αέρος-καυσαερίων, προκειμένου να επιτευχθεί πτώση της θερμοκρασίας αυτών, πριν αυτά εισέλθουν στο εσωτερικό των φίλτρων. Συγκεκριμένα στην παράγραφο 4.3.4.2 παρουσιάζεται η θέση του εναλλάκτη πάνω στο φίλτρο, στην παράγραφο 4.3.4.3 η θεωρία πάνω στην οποία βασίστηκε η λειτουργία του και τέλος στην παράγραφο 4.3.4.4 παρουσιάζονται οι διάφοροι υπολογισμοί με βάση το υπολογιστικό πρόγραμμα σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN 90.

4.3.4.2 Επιλογή της θέσης του εναλλάκτη

Η επιλογή της θέσης του εναλλάκτη έγινε με βάση τα εξής δύο κριτήρια:

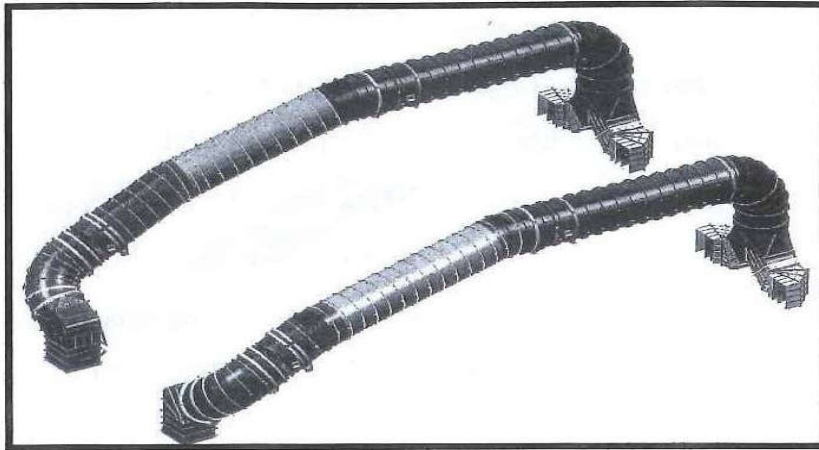
- 1) Τι θέλουμε να επιτύχουμε (τεχνικές απαιτήσεις)
- 2) Τι έχουμε στη διάθεσή μας (υπάρχουσες τεχνικές δυνατότητες)

Ότι έχει να κάνει με το πρώτο κριτήριο, βασικός σκοπός μας ήταν η όσο το δυνατόν καλύτερη ψύξη του αγωγού προσαγωγής των καυσαερίων στην είσοδο του φίλτρου. Συγκεκριμένα η μελέτη έγινε με βάση το ότι θέλαμε να επιτύχουμε μία

θερμοκρασιακή πτώση της τάξεως των 20°C . Αυτή η τιμή της θερμοκρασιακής πτώσης επιλέχθηκε με βάση τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις και τα διαγράμματα της παραγράφου 4.3.2. Συγκεκριμένα με το να ρίξουμε τη θερμοκρασία κατά 20°C , κάτι που σημαίνει ότι τα καυσαέρια εισέρχονται στο φίλτρο με θερμοκρασία περίπου 170°C , έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας και κατά συνέπεια την καλύτερη κατακράτηση της τέφρας. Προκειμένου να ικανοποιηθεί η απαίτηση αυτή ο εναλλάκτης έπρεπε να τοποθετηθεί όσο το δυνατό πιο κοντά στην είσοδο του φίλτρου. Ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε η θέση αυτή είναι για τη διατήρηση μίας σταθερής θερμοκρασίας καυσαερίων στην είσοδο του φίλτρου, χωρίς θερμικά κέρδη ή απώλειες, που θα προέκυπταν για κάποια άλλη προτεινόμενη θέση.

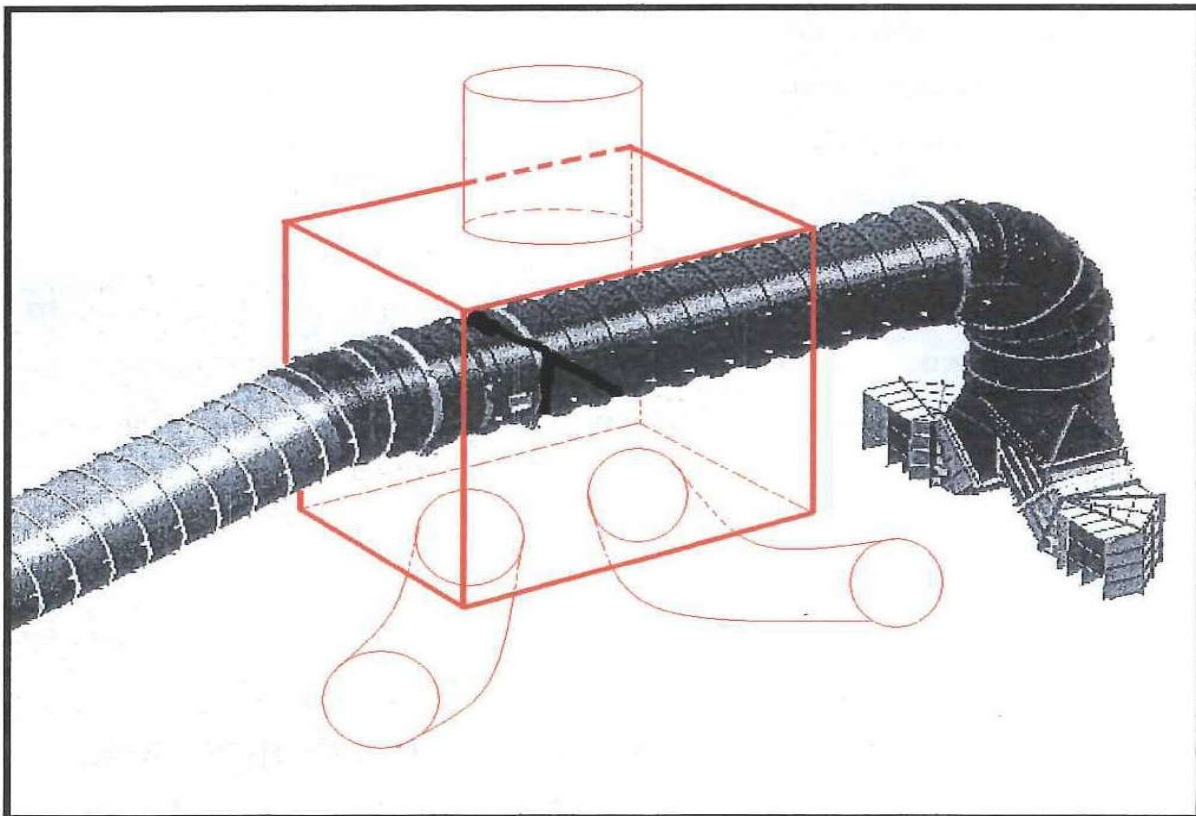
Επιπλέον το 2° κριτήριο, το οποίο έχει να κάνει με το τι έχουμε στη διάθεση μας, είναι αυτό το οποίο καθορίζει τη θέση εγκατάστασης και τη γεωμετρία του εναλλάκτη. Συγκεκριμένα, όπως αναφέρθηκε και στο τρίτο κεφάλαιο η όλη κατασκευή των ηλεκτροστατικών φίλτρων της μονάδος I αποτελείται από δύο κύριους αγωγούς προσαγωγής καυσαερίων (εικόνα 4.5). Οι αγωγοί αυτοί έχουν συνολικό μήκος, μετρούμενο από την είσοδο των αναγεννητικών προθερμαντήρων (LUVO), ίσο με 100.92 m και βρίσκονται σε ύψος 43.390 m. Η δε διάμετρος αυτών είναι 6.4 m. Λόγω του ότι το κέλυφος του φίλτρου έχει μήκος 25.28 m, το οποίο εκτείνεται κατά μήκος του τελευταίου τμήματος του αγωγού προσαγωγής των καυσαερίων, είναι δυνατή η τοποθέτηση του εναλλάκτη σε αυτό το σημείο, εφόσον δεν απαιτείται επιπλέον μεταλλική κατασκευή, πάνω στην οποία πρέπει να στηριχθεί.[22]

Στην εικόνα 4.4 απεικονίζονται οι δύο αγωγοί προσαγωγής (αριστερό και δεξί σκέλος) των καυσαερίων απομονωμένοι από το όλο σύστημα. Η μορφολογία αυτών καθορίζεται από το γεγονός της ύπαρξης των παλιών φίλτρων, τα οποία έπρεπε να παρακαμφθούν. Για το λόγο αυτό η κατασκευάστρια εταιρία προκειμένου να πραγματοποιήσει το σκοπό αυτό έδωσε αυτή τη χαρακτηριστική μορφή, που φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 4.5

Το σημείο στο οποίο είναι δυνατή η τοποθέτηση του εναλλάκτη είναι πάνω από το πλαίσιο στήριξης των ηλεκτροστατικών φίλτρων και σε μήκος 25.280 m . Στην εικόνα 4.6 φαίνεται ένα απλό σχέδιο του εναλλάκτη, όπου διακρίνεται μία είσοδος προσαγωγής ψυχρού αέρα και δύο εξόδους απαγωγής θερμού αέρα.



Εικόνα 4.6

Με βάση μία αρχική επιθυμητή πτώση θερμοκρασίας 20°C οι διαστάσεις του εναλλάκτη που επιλέχθηκαν αρχικά φαίνονται στον πίνακα 4.5.

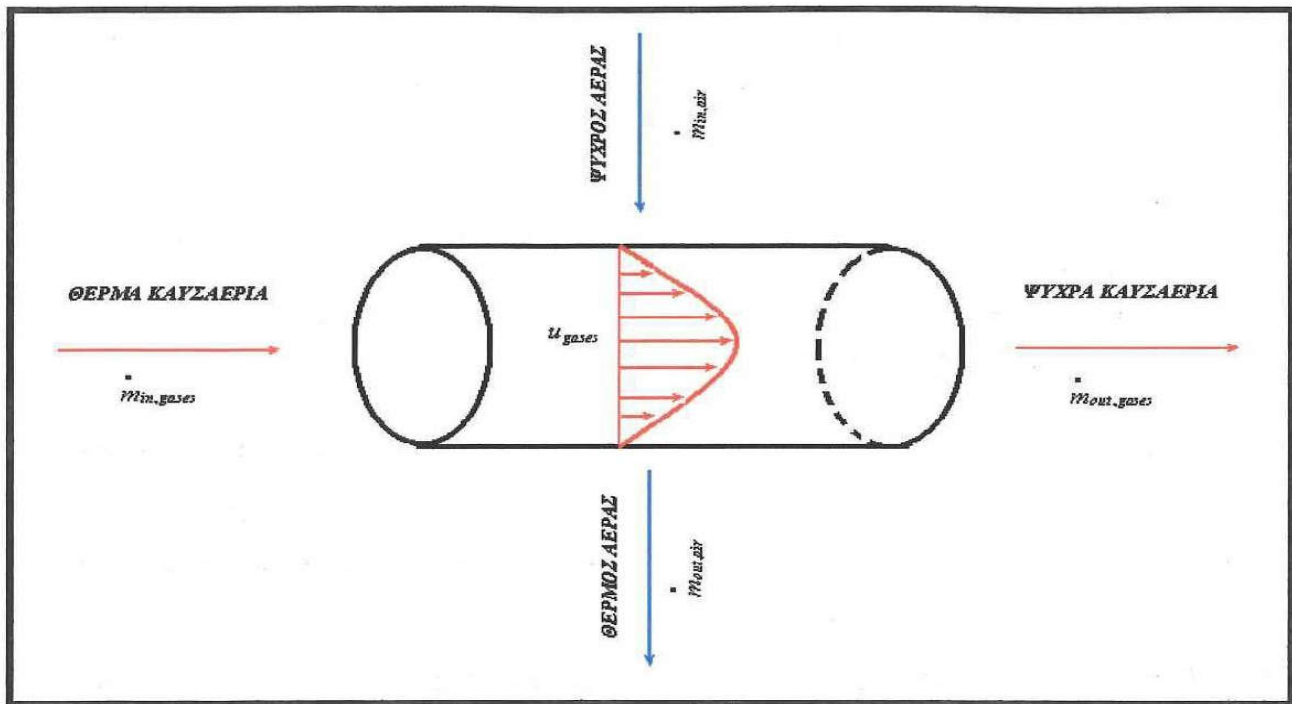
Πίνακας 4.5 : Χαρακτηριστικά μήκη και διαστάσεις του εναλλάκτη

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΜΗΚΟΣ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ m
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ	10.400
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ	8.400
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ	6.320

Πρέπει να τονίσουμε ότι ανάλογα με τις απαιτήσεις που έχουμε στην πτώση της θερμοκρασίας των καυσαερίων, συναρτήσει και των συνθηκών περιβάλλοντος είναι δυνατή η αλλαγή των διαστάσεων του εναλλάκτη μέχρι το όριο που υπαγορεύει το πλαίσιο στήριξης του ηλεκτροστατικού φίλτρου.

4.3.4.3 Θεωρητική μελέτη του εναλλάκτη

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, ο εναλλάκτης αποτελείται από ένα σύστημα αναρρόφησης αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον, ένα πλαίσιο εναλλαγής θερμότητας και ένα σύστημα απαγωγής του θερμού αέρα από το θάλαμο εναλλαγής. Προκειμένου να προσομοιώσουμε το σύστημα του εναλλάκτη θεωρούμε έναν αγωγό όπως αυτόν της εικόνας 4.7, εσωτερικά του οποίου διέρχεται θερμό ρεύμα καυσαερίων. Ο ψυχρός αέρας του εξωτερικού περιβάλλοντος διέρχεται εξωτερικά του αγωγού καυσαερίων με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα ,απάγοντας θερμότητα από αυτά. Με βάση τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι έχουμε να κάνουμε με ένα πρόβλημα εξαναγκασμένης συναγωγής γύρω από κυλινδρικό αγωγό.



Εικόνα 4.7

Η θερμορροή \dot{Q}_{gases} των καυσαερίων εσωτερικά του αγωγού δίνεται από τη σχέση :

$$\dot{Q}_{gases} = \dot{m}_{gases} \cdot C_{p_{gases}} \cdot \Delta T \quad (4.3) [28]$$

όπου : \dot{m}_{gases} = ροή μάζας των καυσαερίων σε kg/sec

$C_{p_{gases}}$ = θερμοχωρητικότητα καυσαερίων σε J/kg · K

ΔT = θερμοκρασιακή διαφορά στην είσοδο και έξοδο του αγωγού καυσαερίων σε °C

Δεδομένου ότι θέλουμε να πετύχουμε θερμοκρασιακή διαφορά ΔT , πρέπει να απάγουμε από τα καυσαέρια ποσό θερμότητας ίσο με \dot{Q}_{gases} . Στην πραγματικότητα όμως το ποσό θερμότητας που μπορούμε να απάγουμε είναι μικρότερο από αυτό που δίδεται από τη σχέση 4.3 και αυτό γιατί η απαγωγή θερμότητας που μπορούμε να επιτύχουμε εξαρτάται από τις συνθήκες της ροής και τη γεωμετρία του εναλλάκτη. Έτσι το πραγματικό ποσό θερμότητας που μπορούμε να απάγουμε από τα καυσαέρια δίδεται από την παρακάτω σχέση :

$$\dot{Q} = h \cdot A \cdot \Delta T$$

(4.4) [28]

όπου : h = συντελεστής συναγωγής σε $W/m^2 \cdot K$

A = επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας σε m^2

ΔT = θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ θερμοκρασίας αέρα και επιφάνειας αγωγού καυσαερίων.

Λόγω του ότι δεν μπορούμε να απάγουμε όλο το ποσό της θερμότητας των καυσαερίων και προκειμένου να διαστασιολογήσουμε τον εναλλάκτη κάναμε μία αρχική εκτίμηση, βάση της οποίας υποθέτουμε ότι ένα ποσοστό ϵ της θερμορροής των καυσαερίων δεν απάγεται από το σύστημα. Στο πρόγραμμα που αναπτύχθηκε και αναφέρεται στη συνέχεια δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να αλλάζει αυτό το ποσοστό, εξυπηρετώντας τις απαιτήσεις του κάθε φορά.

Επιστρέφοντας πάλι στην εικόνα 4.7 και με βάση το γεγονός ότι έχουμε να κάνουμε με ένα πρόβλημα εξαναγκασμένης συναγωγής γύρω από κυλινδρικό αγωγό διασταυρωμένης ροής ρευστών, για τον υπολογισμό του αδιάστατου αριθμού Nusselt χρησιμοποιήθηκε η σχέση Churchill and Bernstein [28,29] :

$$Nu_{cyl} = \frac{h \cdot D}{\lambda} = 0.3 + \frac{0.62 \cdot Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3}}{\left[1 + \left(\frac{0.4}{Pr}\right)^{2/3}\right]^{1/4}} \cdot \left[1 + \left(\frac{Re}{282000}\right)^{5/8}\right]^{4/5} \quad (4.5)$$

όπου :

Nu_{cyl} = αριθμός Nusselt με

- h = συντελεστής συναγωγής αέρα σε $W/m^2 \cdot K$
- D = διάμετρος αγωγού καυσαερίων σε m
- λ = συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του αέρα σε $W/m \cdot K$

$$Re = \frac{u \cdot D}{\nu} = \text{αριθμός Reynolds με}$$

- u = ταχύτητα αέρα σε m/sec
- D = διάμετρος αγωγού καυσαερίων σε m
- ν = κινηματικό ιξώδες αέρα σε m^2/sec

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \text{αριθμός Prandtl με}$$

- ν = κινηματικό ιξώδες αέρα σε m^2/sec
- α = συντελεστής διάχυσης σε m^2/sec

Με τη βοήθεια των σχέσεων 4.3-4.5 διαστασιολογείται ο ζητούμενος εναλλάκτης.

4.3.4.4 Επεξήγηση του προγράμματος που αναπτύχθηκε και ανάλυση αποτελεσμάτων αυτού

Στην παράγραφο αυτή γίνεται παρουσίαση και επεξήγηση του υπολογιστικού προγράμματος, με βάση το οποίο διαστασιολογήθηκε ο εναλλάκτης. Το πρόγραμμα γράφτηκε σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN 90 και αποτελείται από μία κύρια ρουτίνα (main.for) και 7 υπορουτίνες υπολογισμού. Επιπλέον από το πρόγραμμα γίνεται χρήση 3 αρχείων εισαγωγής δεδομένων (input files) και ενός αρχείου εξαγωγής αποτελεσμάτων (output file). Στη συνέχεια γίνεται εκτενής περιγραφή της κάθε υπορουτίνας χωριστά και του τρόπου που αυτή λειτουργεί μέσα στο πρόγραμμα.

• Κύρια – βασική ρουτίνα

main.for : Η ρουτίνα αρχίζει με τον καθορισμό παραμέτρων, οι οποίες είναι :

- DTG = Επιθυμητή θερμοκρασιακή διαφορά των καυσαερίων σε $^{\circ}C$ ή K
- CPG = Ειδική θερμοχωρητικότητα των καυσαερίων σε $J/kg \cdot K$
- MG = Ροή μάζας των καυσαερίων σε kg/sec
- HEXC = Ύψος εναλλάκτη σε m

- WEXC = Πλάτος εναλλάκτη σε m
- LEXC = Μήκος εναλλάκτη σε m
- DDUCT = Διάμετρος αγωγού καυσαερίων σε m
- TAIR = Θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος σε °C
- TDUCT = Θερμοκρασία αγωγού καυσαερίων σε °C
- DENSAIR = Πυκνότητα αέρα σε kg/m^3
- CPAIR = Ειδική θερμοχωρητικότητα αέρα σε $\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$
- VISAIR = Κινηματικό ιξώδες αέρα σε m^2/sec
- LAIR = Θερμική αγωγιμότητα αέρα σε $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$
- PRAIR = Αδιάστατος αριθμός Prandtl
- QGASES = Θερμορροή καυσαερίων σε Watt
- SPEEDAIR = Ταχύτητα αέρα σε m/sec
- Re = Αδιάστατος αριθμός Reynolds
- Nu = Αδιάστατος αριθμός Nusselt
- h = Συντελεστής συναγωγής σε W/m^2
- Qair = Θερμορροή που απάγεται από τον αέρα σε Watt

• Υπορουτίνες :

opener.for : Η υπορουτίνα ξεκινάει ανοίγοντας 4 αρχεία (3 εισαγωγής δεδομένων και 1 εξαγωγής αποτελεσμάτων). Τα αρχεία αυτά είναι :

- FILE='INPUTGASES' : Στο αρχείο αυτό δίνονται από το χρήστη τα παρακάτω δεδομένα:

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees = ???
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = ???
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = ???

- FILE='INPUTHEATEXC' : Στο αρχείο αυτό δίνονται από το χρήστη οι επιθυμητές διαστάσεις του εναλλάκτη και η διάμετρος του αγωγού των καυσαερίων:

ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = ???
 ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = ???
 ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = ???
 ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = ???

- FILE='INPUTFORCONVECTION' : Στο αρχείο δίνονται τα στοιχεία που απαιτούνται για τον υπολογισμό του συντελεστή εξαναγκασμένης συναγωγής:

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = ???
 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = ???
 ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Kgr/m³ (ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)= ???
 ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ J/kg/K = ???
 ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΙΣΩΔΕΣ ΑΕΡΑ ΣΕ m²/sec = ???
 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m/K = ???
 ΑΡΙΘΜΟΣ Prantl = ???

- FILE='OUTPUTGENERAL' : Στο αρχείο αυτό τυπώνονται από το πρόγραμμα τα παρακάτω στοιχεία :

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = !!!
 ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = !!!
 ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = !!!
 ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = !!!
 ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = !!!
 ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = !!!
 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = !!!
 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = !!!
 ΘΕΡΜΟΡΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = !!!
 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = !!!
 ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = !!!
 ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = !!!
 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = !!!
 ΘΕΡΜΟΡΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = !!!
 ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = !!!

reader.for : Η υπορουτίνα αυτή διαβάζει από τα αρχεία (INPUTGASES, INPUTHEATEXC, INPUTFORCONVECTION) τα δεδομένα που έχουν δοθεί από τον χρήστη.

heatfluxgases.for : Η υπορουτίνα αυτή υπολογίζει τη θερμορροή που πρέπει να απαχθεί από τα καυσαέρια.

forcedconvection.for : Στην υπορουτίνα αυτή γίνεται ο υπολογισμός του αδιάστατου αριθμού Nusselt, με βάση τη σχέση 4.5, προκειμένου να υπολογιστεί ο συντελεστής συναγωγής. Η επιλογή της σχέσης έγινε λόγω του ότι η ροή είναι τυρβώδης, κάτι που προκύπτει από τον αριθμό Reynolds, καθώς και το γεγονός ότι το γινόμενο του αριθμού Reynolds και Prandtl είναι μεγαλύτερο από 0.2. Το πρόγραμμα λειτουργεί βάση ενός αρχικά επιλεγμένου ποσού θερμικής ενέργειας, που δεν μπορούμε να παράγουμε από τα καυσαέρια (είναι δυνατόν να αλλάξει μέσα από τη συγκεκριμένη ρουτίνα). Προκειμένου λοιπόν να ικανοποιηθεί η συνθήκη αυτή η ταχύτητα αυξάνεται με βήμα 0.01 m/sec (και αυτό μπορεί να αλλάξει μέσω της υπορουτίνας), έως ότου η διαφορά μεταξύ της θερμορροής των καυσαερίων και της θερμορροής που πραγματικά θέλουμε να παράγουμε γίνει ίση με την αρχικά επιλεγμένη ποσότητα θερμικής ενέργειας που δεν μπορούμε να παράγουμε από αυτά.

airflow.for : Στην υπορουτίνα αυτή υπολογίζεται η ροή μάζας του απαιτούμενου για ψύξη αέρα.

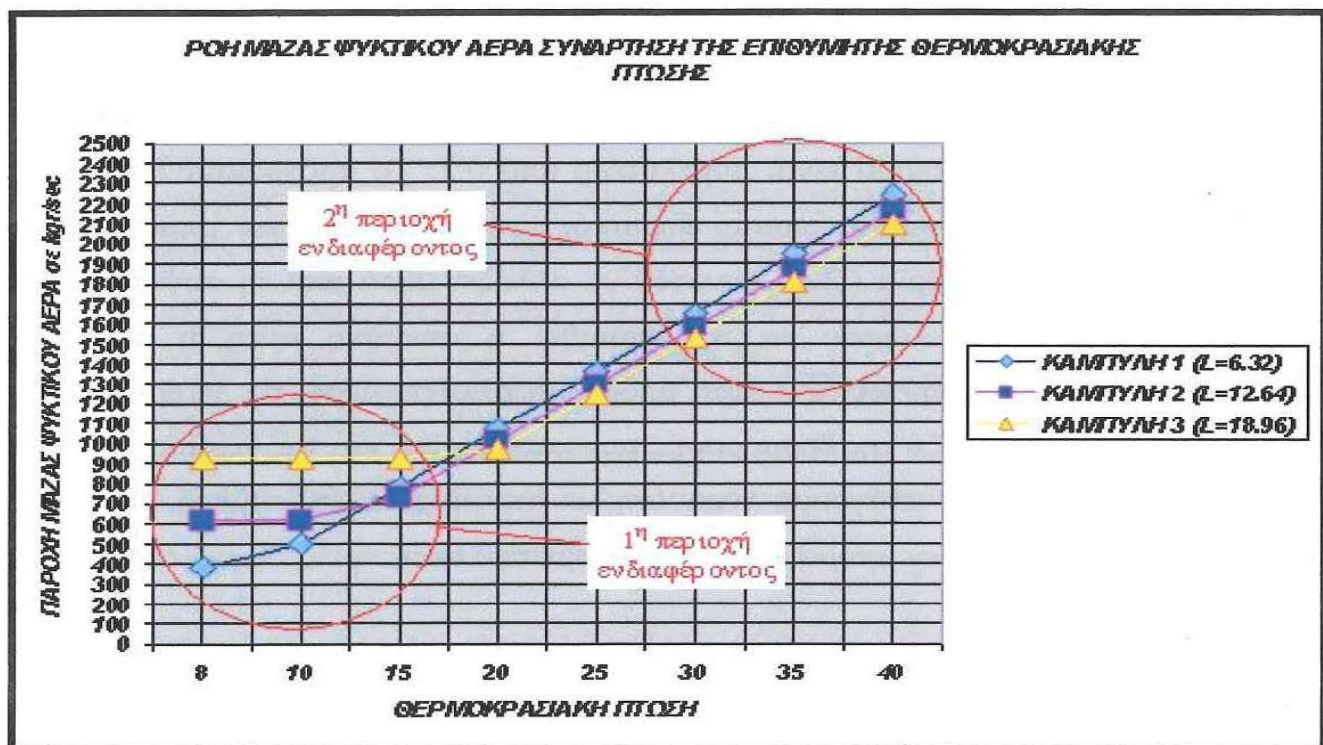
writer.for : Η υπορουτίνα αυτή γράφει στο αρχείο OUTPUTGENERAL συνολικά τα αποτελέσματα των προηγούμενων υπολογισμών, τα οποία τυπώνονται ταυτόχρονα και στην οθόνη, με τη βοήθεια της υπορουτίνας **printer.for** κατά την εκτέλεση του προγράμματος.

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκτέλεση του προγράμματος σχεδιασμού του εναλλάκτη έγιναν τα παρακάτω διαγράμματα. Οι βασικοί παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή αποτελεσμάτων και την τελική επιλογή του εναλλάκτη είναι τα εξής :

- Θερμοκρασιακή πτώση καυσαερίων
- Θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος
- Μήκος εναλλάκτη

Στη συνέχεια γίνεται περιγραφή των διαγραμμάτων της παροχής μάζας ψυκτικού αέρα και της ταχύτητας του σε συνάρτηση με την θερμοκρασιακή πτώση.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1



Στο διάγραμμα αυτό μπορεί να παρατηρήσει κανείς το πως μεταβάλλεται η παροχή μάζας ψυκτικού αέρα για διάφορες θερμοκρασιακές πτώσεις και για τρία διαφορετικά μήκη εναλλάκτη. Η καμπύλη 1 σχεδιάστηκε για μήκος εναλλάκτη 6.32 m με ένα εύρος θερμοκρασιακών πτώσεων από 8 έως 40 °C. Αντίστοιχα οι καμπύλες 2 και 3 σχεδιάστηκαν για μήκος εναλλάκτη 12.64 m και 18.96 m και για το ίδιο θερμοκρασιακό εύρος. Στο διάγραμμα διακρίνονται δύο περιοχές ενδιαφέροντος :

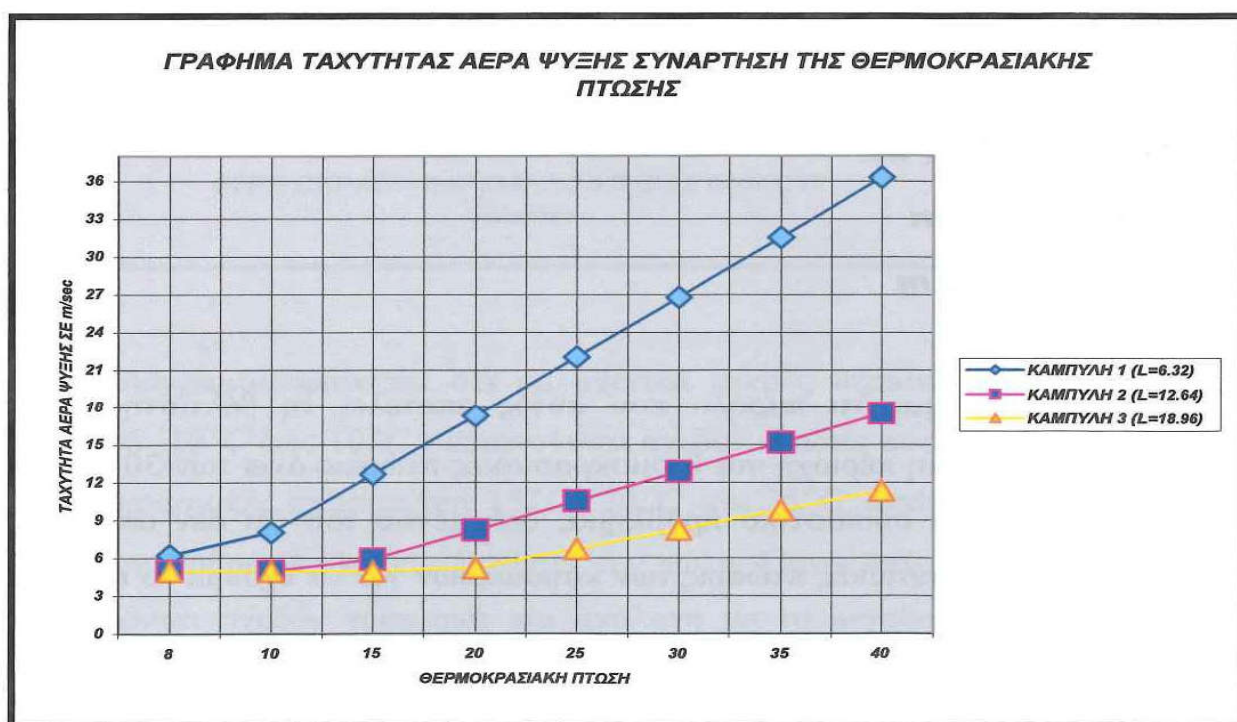
- 1^η περιοχή ενδιαφέροντος : από 8-15 °C
- 2^η περιοχή ενδιαφέροντος : από 30-40 °C

Στην 1^η περιοχή υπάρχει η δυνατότητα επιλογής όλων των διαθέσιμων διαστάσεων εναλλάκτη για το λόγο ότι σε αυτό το θερμοκρασιακό εύρος οι παροχές μάζας που απαιτούνται δεν διαφέρουν πολύ μεταξύ τους. Συγκεκριμένα μπορεί να παρατηρήσει κανείς ότι η βέλτιστη επιλογή στην περίπτωση αυτή είναι ο εναλλάκτης που αντιστοιχεί στην καμπύλη 1.

Στην 2^η περιοχή αν και παρατηρούνται μικρές διαφορές στην παροχή μάζας του ψυκτικού αέρα η επιλογή του εναλλάκτη καθορίζεται από τις διαστάσεις αυτού. Έτσι αν και η αρχική μας επιλογή (καμπύλη 1) μας δίνει μεγαλύτερες παροχές για την ίδια θερμοκρασιακή πτώση από τις υπόλοιπες είναι η καλύτερη όσο αφορά το κόστος του εναλλάκτη.

Με βάση λοιπόν το πρώτο διάγραμμα η βέλτιστη επιλογή φαίνεται να είναι ο εναλλάκτης που αντιστοιχεί στην καμπύλη 1.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2



Στο διάγραμμα αυτό μπορεί να παρατηρήσει κανείς το πώς μεταβάλλεται η ταχύτητα του αέρα ψύξης σε συνάρτηση της θερμοκρασιακής πτώσης και για τρία διαφορετικά μήκη εναλλάκτη. Με βάση το πρώτο διάγραμμα αν και έγινε επιλογή της καμπύλης 1 (μήκος εναλλάκτη 6.32 m), από το δεύτερο διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι δεν είναι η βέλτιστη δυνατή λόγω του ότι για μεγάλες θερμοκρασιακές πτώσεις απαιτείται μία πολύ μεγάλη ταχύτητα αέρα ψύξης (της τάξεως 12m/sec και άνω), που είναι πολύ πιθανό να προκαλέσει μεγάλες αστάθειες στο σύστημα. Θα μπορούσε κανείς να επιλέξει τον εναλλάκτη της καμπύλης 3, για το λόγο του ότι η ταχύτητα αέρα ψύξης είναι σχετικά μικρή για όλο το εύρος των θερμοκρασιακών πτώσεων. Βάση όμως του 1^{ου} διαγράμματος, ο εναλλάκτης αυτός σε μικρές θερμοκρασιακές πτώσεις διαχειρίζεται μεγάλες παροχές μάζας ψυκτικού αέρα, κάτι που είναι και οικονομικά ασύμφορο. Επιπρόσθετα οι διαστάσεις του εναλλάκτη (μήκος 18.96 m) είναι αρκετά μεγάλες γεγονός που εισάγει επιπλέον οικονομικά και κυρίως κατασκευαστικά προβλήματα.

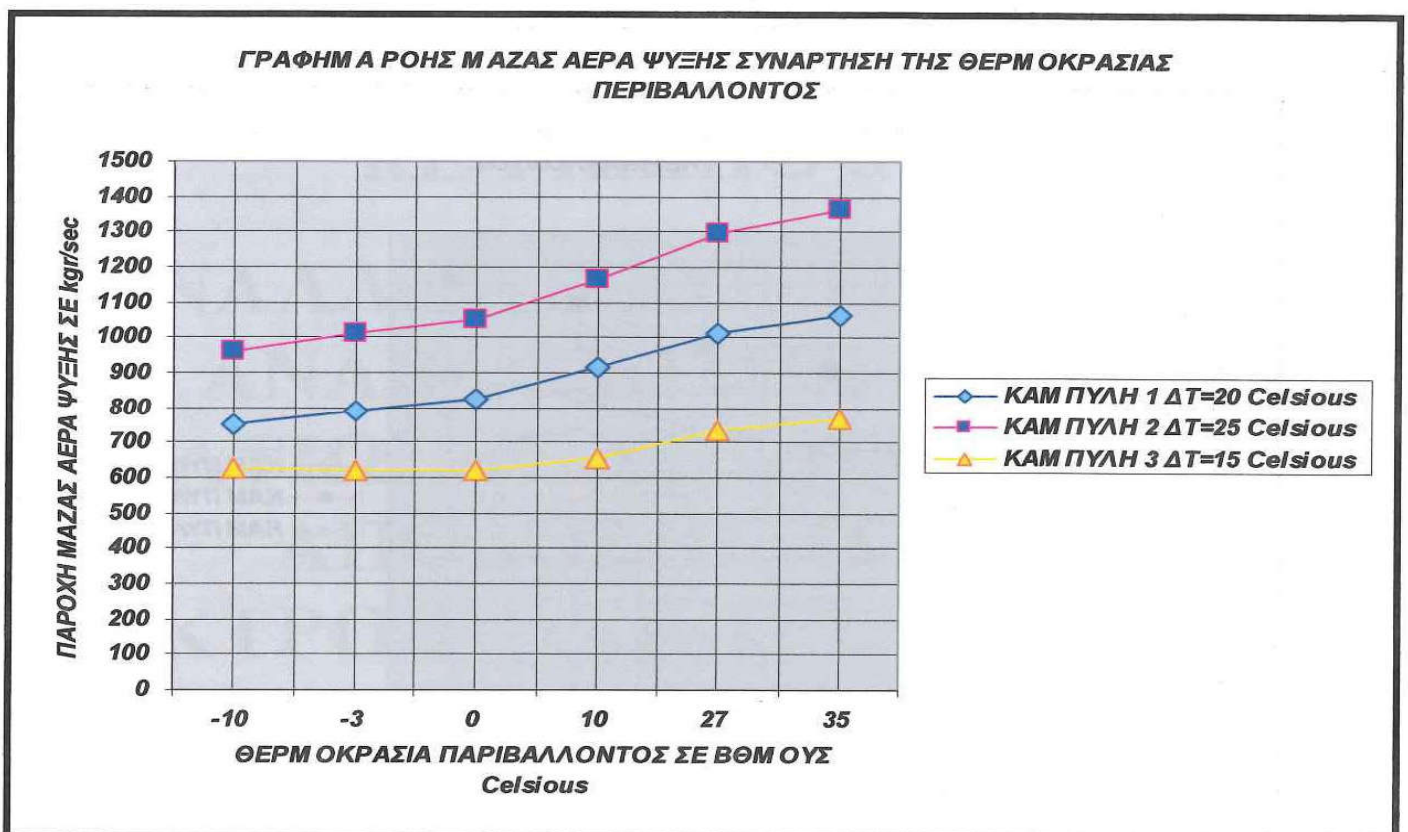
Όπως προκύπτει από τα παραπάνω η καλύτερη επιλογή του εναλλάκτη πρέπει να γίνει λαμβάνοντας υπόψη λειτουργικά, κατασκευαστικά και οικονομικά κριτήρια. Ο εναλλάκτης που ικανοποιεί αυτά τα κριτήρια, με βάση την προηγούμενη ανάλυση που έγινε είναι αυτός που αντιστοιχεί στην καμπύλη 2. Συγκεκριμένα ο εναλλάκτης αυτός έχει τις εξής διαστάσεις :

- **Μήκος : 12.64 m**
- **Ύψος : 10.4 m**
- **Πλάτος : 8.4 m**

Τέλος πρέπει να πούμε ότι παρόλο που αυτός αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή, παρουσιάζει μία κρίσιμη περιοχή για θερμοκρασιακές πτώσεις άνω των 30 °C, κάτι το οποίο δεν αποτελεί ουσιαστικό πρόβλημα, δεδομένου του ότι δεν απαιτούνται τόσο μεγάλες θερμοκρασιακές πτώσεις των καυσαερίων για να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Στη συνέχεια εξετάζεται το διάγραμμα (διάγραμμα 3) της ροής μάζας του αέρα ψύξης για διάφορες θερμοκρασίες περιβάλλοντος και θερμοκρασιακές πτώσεις 15°C , 20°C και 25°C , για τον εναλλάκτη που επιλέχθηκε προηγουμένως. Ότι έχει να κάνει με τις θερμοκρασιακές πτώσεις, η επιλογή τους έγινε με βάση το γεγονός ότι η αρχική μέση θερμοκρασία των καυσαερίων είναι 190°C και οι θερμοκρασιακές αυτές πτώσεις δίνουν την καλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα για κατακράτηση (παράγραφος 4.3.2).

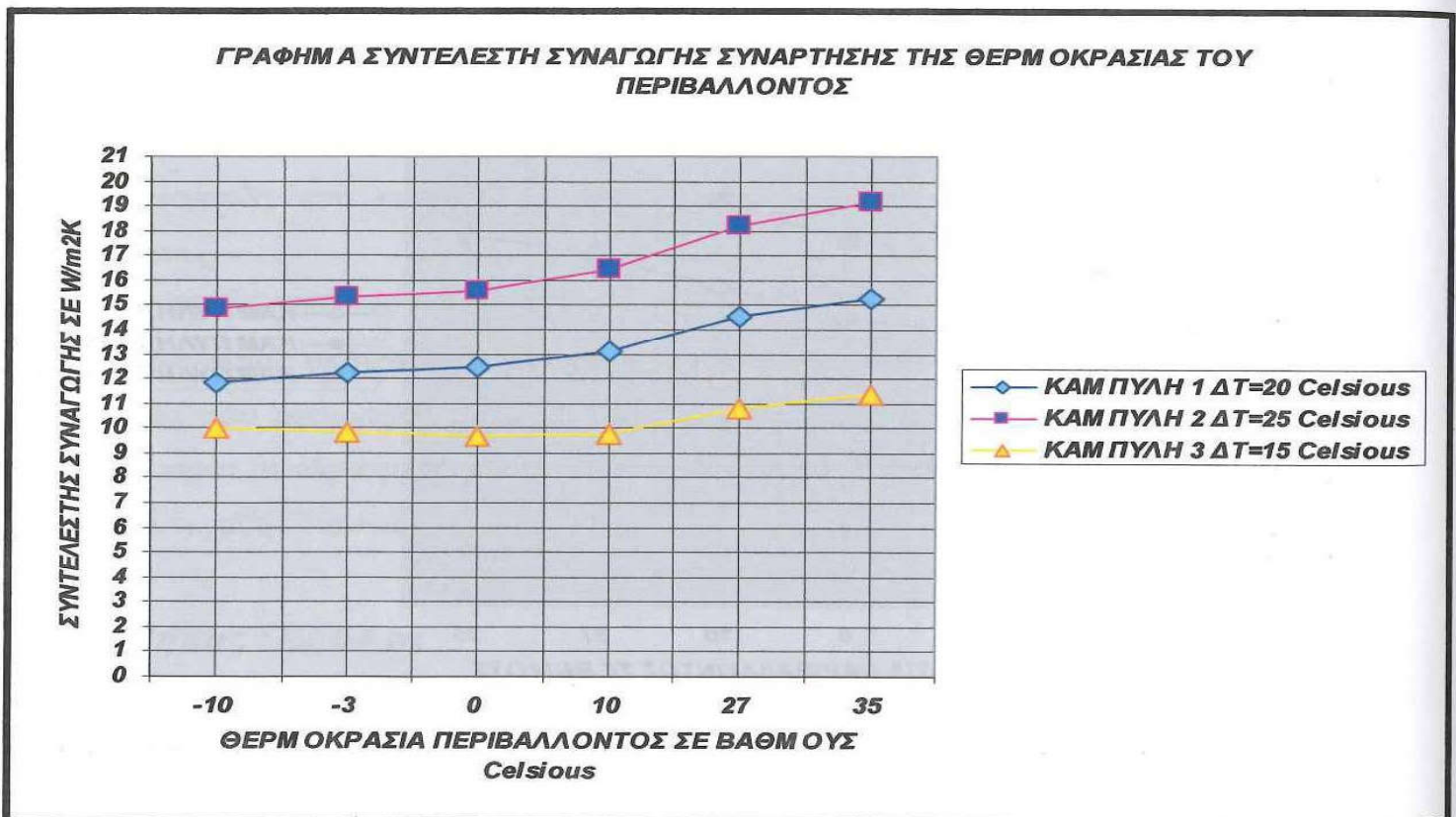
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3



Από το διάγραμμα φαίνεται ότι σε σχετικά μικρές θερμοκρασίες περιβάλλοντος (εύρος από -10°C έως 10°C) απαιτούνται σχεδόν οι ίδιες ποσότητες αέρα ψύξης για τις θερμοκρασιακές πτώσεις των 15°C , 20°C και 25°C αντίστοιχα, λόγω του ότι το περιβάλλον επιδρά θετικά και βοηθάει την ψύξη. Πάνω από τους 10°C οι παροχές μεταβάλλονται σχεδόν γραμμικά και ανάλογα με το μέγεθος της θερμοκρασιακής πτώσης, πράγμα που σημαίνει ότι μεγαλύτερη θερμοκρασιακή πτώση απαιτεί και μεγαλύτερη ποσότητα ψυκτικού αέρα.

Σε αναλογία με το παραπάνω διάγραμμα (διάγραμμα 3) προκύπτει και το διάγραμμα του συντελεστή συναγωγής (διάγραμμα 4). Δεδομένου ότι σε μεγάλες θερμοκρασίες περιβάλλοντος απαιτούνται μεγάλες μάζες αέρα και οι διαστάσεις του εναλλάκτη παραμένουν σταθερές, συνεπάγεται ότι η ταχύτητα της ροής πρέπει να αυξηθεί, κάτι το οποίο επιδρά άμεσα και στο συντελεστή συναγωγής, όπως φαίνεται στο διάγραμμα (θερμοκρασιακό εύρος από 10°C έως 35°C).

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3



Τα αρχεία που προέκυψαν από το πρόγραμμα, βάση των οποίων έγιναν και όλα τα προηγούμενα διαγράμματα βρίσκονται στο Β μέρος του παραρτήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

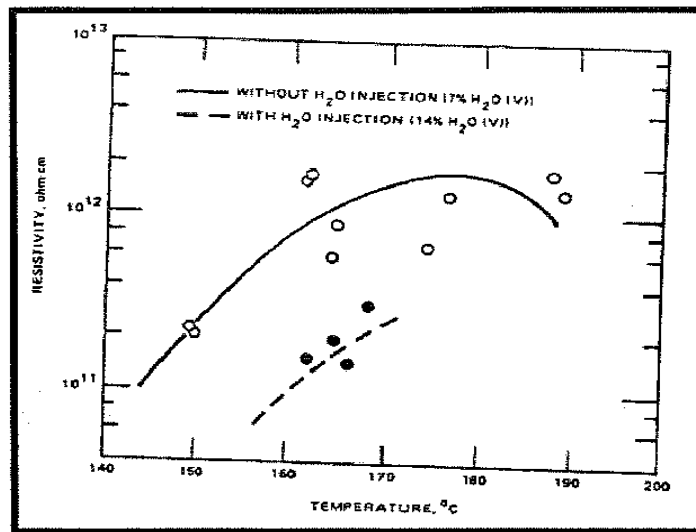
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τρεις εναλλακτικοί τρόποι βελτίωσης του βαθμού απόδοσης των ηλεκτροστατικών φίλτρων. Ο πρώτος τρόπος που αναλύεται έχει να κάνει με τη ρύθμιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε συνάρτηση με τη ρύθμιση της σύστασης των καυσαερίων, ο δεύτερος έχει να κάνει με την εγκατάσταση ενός επιπλέον αναγεννητικού προθερμαντήρα, προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη μείωση της θερμοκρασίας εξαγωγής των καυσαερίων και ο τρίτος με την αύξηση των ηλεκτρικών πεδίων κατάντι της ροής των καυσαερίων.

5.2 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ ΤΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ

5.2.1 Εισαγωγή

Η ρύθμιση της σύστασης των καυσαερίων δεν είναι τίποτα άλλο από την έγχυση νερού ή χημικών προσθετικών ουσιών μέσω εγχυτήρων ψεκασμού (μπεκ), στον αγωγό ροής των καυσαερίων πριν από το ηλεκτροστατικό φίλτρο, που αποσκοπεί στην βελτίωση της δυνατότητας συλλογής της τέφρας, μέσω της ρύθμισης της τιμής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αυτής. Σήμερα χρησιμοποιείται μία μεγάλη ποικιλία από προσθετικά, τα οποία χρησιμοποιούνται σε τέτοιες ή παρόμοιες περιπτώσεις :

- Ρύθμιση με εγχυήρες νερού (εικόνα 5.1), η οποία είναι η πιο κατάλληλη στην περίπτωση που η πρώτη ύλη είναι κάρβουνο με μέτρια περιεκτικότητα σε θείο και η θερμοκρασία των καυσαερίων (αρχικά-μετά LUVO) κυμαίνεται πάνω από 300F.



Εικόνα 5.1

- Προσθετικά ρύθμισης της σύστασης των καυσαερίων διαφόρων εταιριών, τα οποία αποσκοπούν για παράδειγμα σε μείωση της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας της ιτάμενης τέφρας, μείωση της περιεκτικότητας σε θεικό οξύ ή ακόμη και αύξηση της συσσωμάτωσης των σωματιδίων της ιτάμενης τέφρας. Λόγω του ότι τα δικαιώματα χρήσης αυτών των προσθετικών ανήκουν στην αποκλειστικότητα ιδιόκτητων εταιριών, η λειτουργία και οι μηχανισμοί που δρουν αυτά τα προσθετικά δεν εξηγούνται.
- Χημικά προσθετικά, τα οποία αποσκοπούν σε ένα εύρος λειτουργιών, όπως ρύθμιση της τιμής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης της ιτάμενης τέφρας, αύξηση της δυνατότητας παρακράτησης και μείωση της τέφρας που επανεισάγεται στο φίλτρο.

Τρία ευρέως χρησιμοποιούμενα προσθετικά αναφέρονται παρακάτω:

- Τριοξείδιο του θείου, το οποίο χρησιμοποιείται για μείωση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης της ιτάμενης τέφρας σε ψυχρές πλευράς ηλεκτροστατικά φίλτρα (μετά αναγεννητικού προθερμαντήρα LUVU) και στην περίπτωση χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο ιτάμενης τέφρας.
- Αμμωνία, η οποία χρησιμοποιείται για αύξηση του φαινομένου φόρτισης των σωματιδιακών ρύπων και ρύθμιση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αυτών, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις κάρβουνου υψηλής περιεκτικότητας σε θείο και

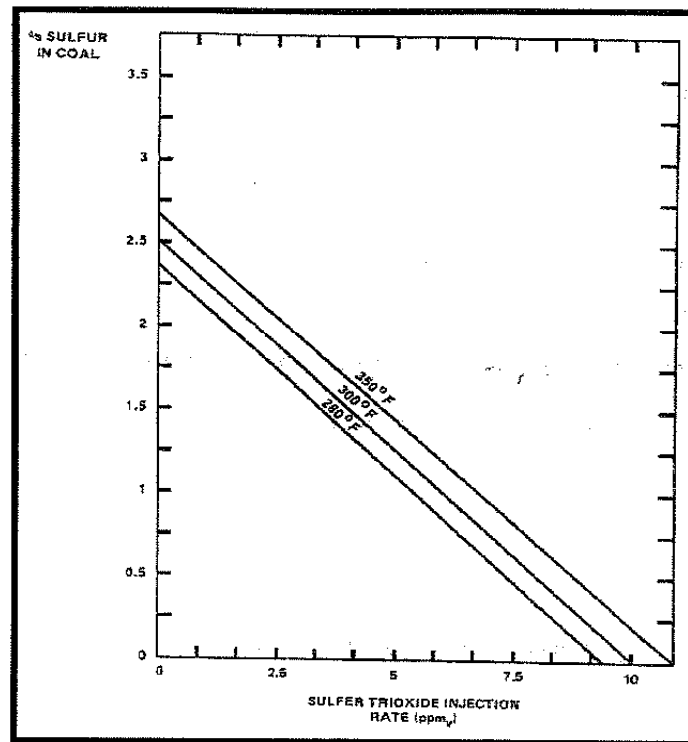
θερμοκρασίες εισόδου καυσαερίων στο φίλτρο αρκετά χαμηλές (της τάξεως των 230-270 F). Μερικές από τις ουσίες αυτές βοηθούν φαινόμενα όπως η συσσωμάτωση και η αύξηση των δυνάμεων συνοχής μεταξύ των σωματιδίων της τέφρας.

- Πρόσθετα συστατικά νατρίου χρησιμοποιούνται συνήθως για να επιβραδύνουν την μείωση ιόντων νατρίου πάνω στα ηλεκτρόδια-πλάκες συλλογής στην περίπτωση ηλεκτροστατικών φίλτρων θερμής πλευράς και κάρβουνων χαμηλής περιεκτικότητας σε νάτριο (δεν εξηγούνται στη συνέχεια λόγω του ότι τα προς μελέτη φίλτρα είναι ψυχρής πλευράς).

5.2.2 Έγχυση προσθετικών που περιέχουν θείο

Μία αποδεδειγμένη τεχνική για τη βελτίωση και ενίσχυση του βαθμού απόδοσης ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου ψυχρής πλευράς (μετά αναγεννητικού προθερμαντή LUVO) είναι η έγχυση τριοξειδίου του θείου [30]. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται πολλές περιπτώσεις ρύθμισης της σύστασης της ροής των καυσαερίων με τη βοήθεια έγχυσης τριοξειδίου του θείου, που καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος σύστασης ανθράκων, συμπεριλαμβανομένων και δύσκολων περιπτώσεων, όπως αυτών των αυστραλιανών και νοτιοαφρικανικών ανθράκων.

Η έγχυση τριοξειδίου του θείου σε συνδυασμό με την περιεχόμενη στην τέφρα υγρασία χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση των σωματιδίων αυτής. Αυτό μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση πολλών τάξεων μεγέθους της τιμής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης της τέφρας, πράγμα το οποίο εξαρτάται από τον τύπο του άνθρακα, τη θερμοκρασία της ροής των καυσαερίων και το ρυθμό έγχυσης του τριοξειδίου του θείου. Μιλώντας γενικά, μπορούμε να αναφέρουμε ότι μπορούμε να επιτύχουμε ρύθμιση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης της υπάμενης τέφρας στην ευνοϊκή τιμή των $5 \times 10^{10} \text{ ohm} \cdot \text{cm}$. Για να επιτύχουμε αυτή την τιμή απαιτούνται μεταβλητές ποσότητες ουσιών έγχυσης, εξαρτώμενες από τα χαρακτηριστικά του ρεύματος των καυσαερίων (εικόνα 5.2).

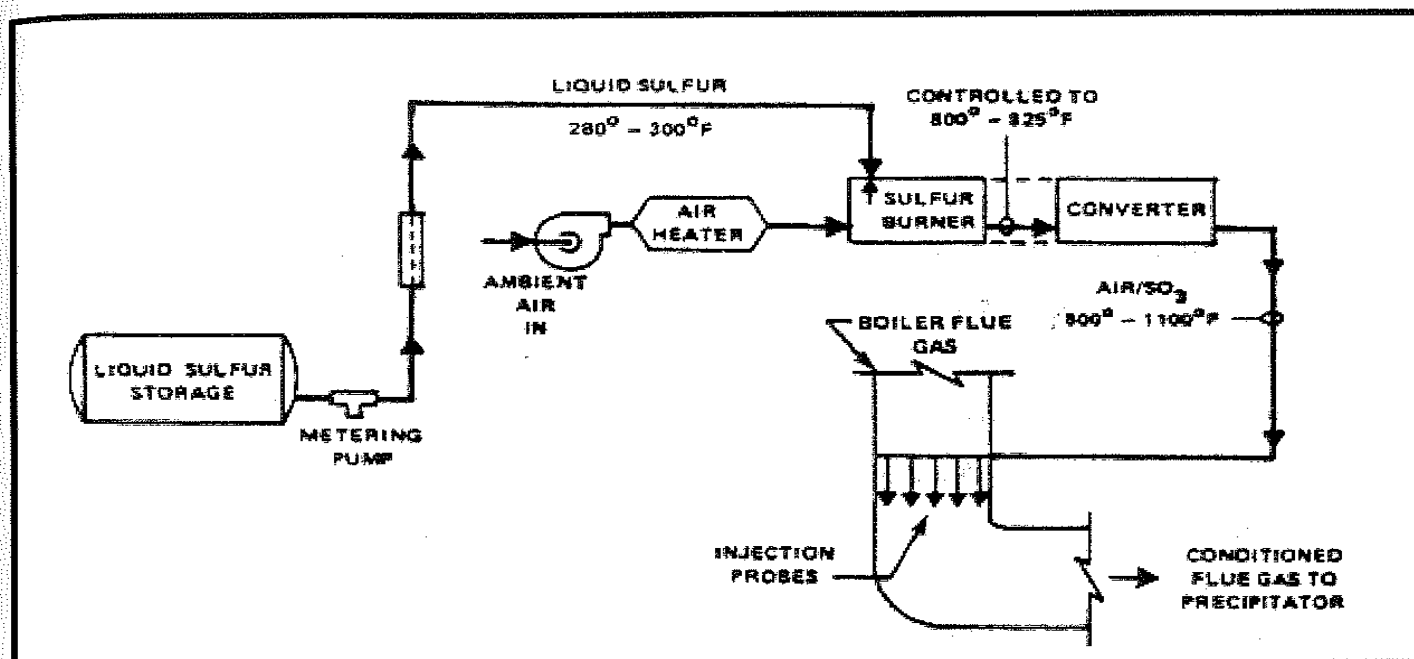


Εικόνα 5.2 [31]

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 1 (παράγραφος 1.4) το θείο επηρεάζει την ηλεκτρική αγωγιμότητα της ιπτάμενης τέφρας. Η χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο έχει σαν αποτέλεσμα την υψηλή τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας, άρα τη χαμηλή τιμή ηλεκτρικής αντίστασης (παράδειγμα Wyoming Coal). Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα σε θείο τόσο πιο ευνοϊκή για κατακράτηση είναι η ιπτάμενη τέφρα. Για το λόγο αυτό η έγχυση πρόσθετων ουσιών, που περιέχουν θείο, οδηγεί στην ρύθμιση της αγωγιμότητας στα επιθυμητά όρια. Κατά την έγχυση παρατηρείται συμπύκνωση του θείου, το οποίο προσκολλάται πάνω στα σωματίδια της τέφρας, μεταβάλλοντας τη χημική τους σύσταση και κατά συνέπεια την ηλεκτρική τους αγωγιμότητα. Η όλη διεργασία ενισχύεται με ταυτόχρονη έγχυση NH_3 , κάτι το οποίο θα αναφερθεί σε επόμενη παράγραφο.

Στη συνέχεια αναφέρονται και απεικονίζονται τρία τυπικά διαγράμματα ρύθμισης της σύστασης των καυσαερίων με έγχυση τριοξειδίου του θείου (εικόνες 5.3, 5.4, 5.5):

- Το σύστημα τήξης τριοξειδίου του θείου (Εικόνα 5.3)
- Το σύστημα υγρού διοξειδίου του θείου (Εικόνα 5.4)
- Το σύστημα του θεικού οξέος (Εικόνα 5.5)



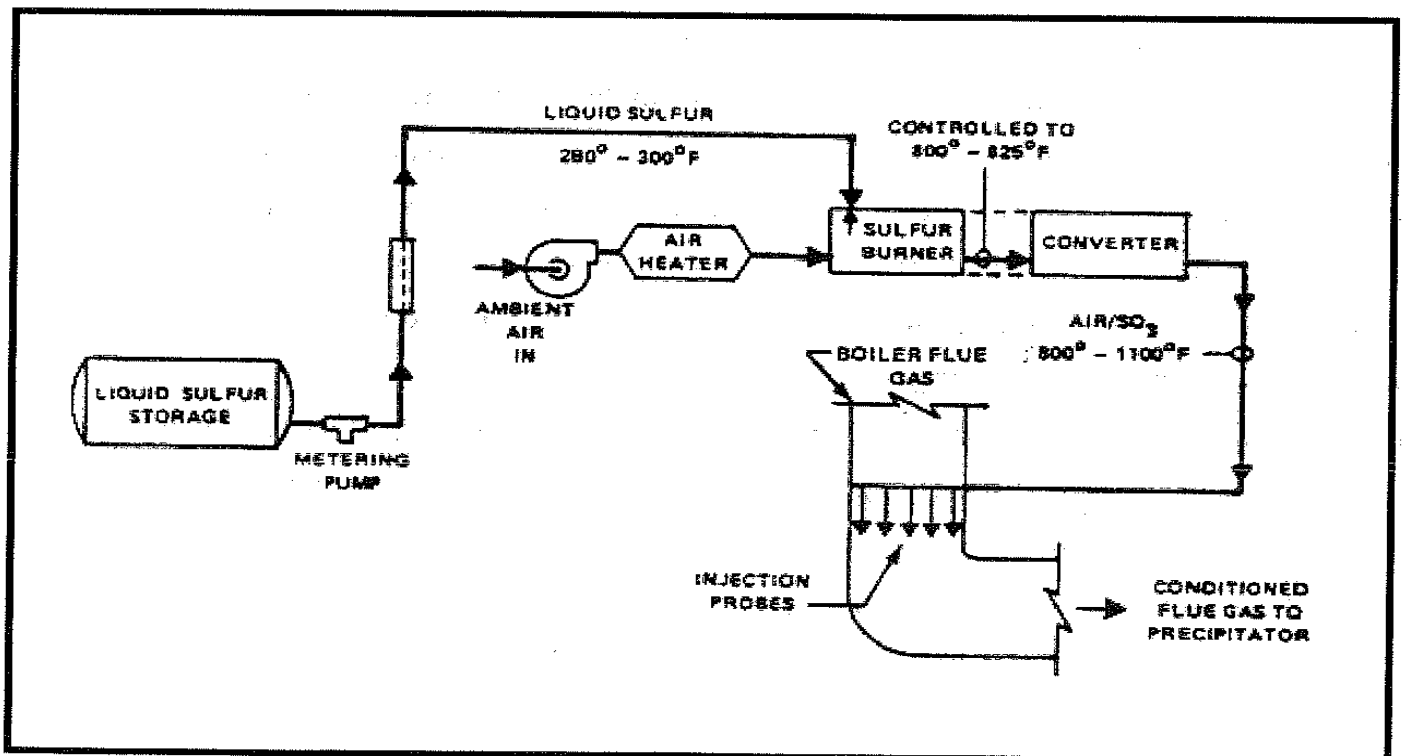
Εικόνα 5.3 [32]

Το τυπικό αυτό σύστημα τήξης του τριοξειδίου του θείου αποτελείται από μία δεξαμενή αποθήκευσης υγρού θείου, μία μετρητική αντλία θείου, έναν καυστήρα θείου, έναν καταλυτικό μετατροπέα και ένα σύστημα ακροφυσίων έγχυσης. Το τηκόμενο θείο παραλαμβάνεται σε φορητά δεξαμενές. Στη συνέχεια το υγρό θείο συμπιέζεται σε μία θερμαινόμενη και μονωμένη δεξαμενή με τη βοήθεια θερμαινόμενων, ευέλικτων και ανοξειδωτών μεταφορικών γραμμών και μιας αντλίας περιστροφικής ταχύτητας, στεγανοποιημένης από ατμό. Έπειτα το θείο από τη δεξαμενή αποθήκευσης συμπιέζεται, στον απαιτούμενο βαθμό συμπίεσης, με τη βοήθεια μιας στεγανοποιημένης από ατμό και θετικού εκτοπίσματος αντλία μεταβλητών στροφών, προς το θάλαμο καύσης του θείου. Ένας φυγοκεντρικός συμπιεστής παρέχει τον απαραίτητο φιλτραρισμένο αέρα καύσης, ο οποίος προθερμαίνεται με τη βοήθεια ηλεκτρικών στοιχείων θέρμανσης. Όπως είναι φυσικό η θερμοκρασία του αέρα της όλης διεργασίας της καύσης ελέγχεται και ρυθμίζεται, ώστε να επιτυγχάνεται όσο το δυνατόν πιο τέλεια μετατροπή (καύση) του θείου σε διοξείδιο του θείου και να παρέχεται η απαραίτητη ποσότητα του τελευταίου στον μετατροπέα, όπου με την κατάλληλη θερμοκρασία ανάγεται καταλυτικά σε τριοξείδιο του θείου. Η καταλυτική μετατροπή του διοξειδίου του θείου σε τριοξείδιο γίνεται με την παρουσία πεντοξειδίου του βαναδίου, το οποίο δρα ως καταλύτης. Το μίγμα τριοξειδίου του θείου και αέρα που

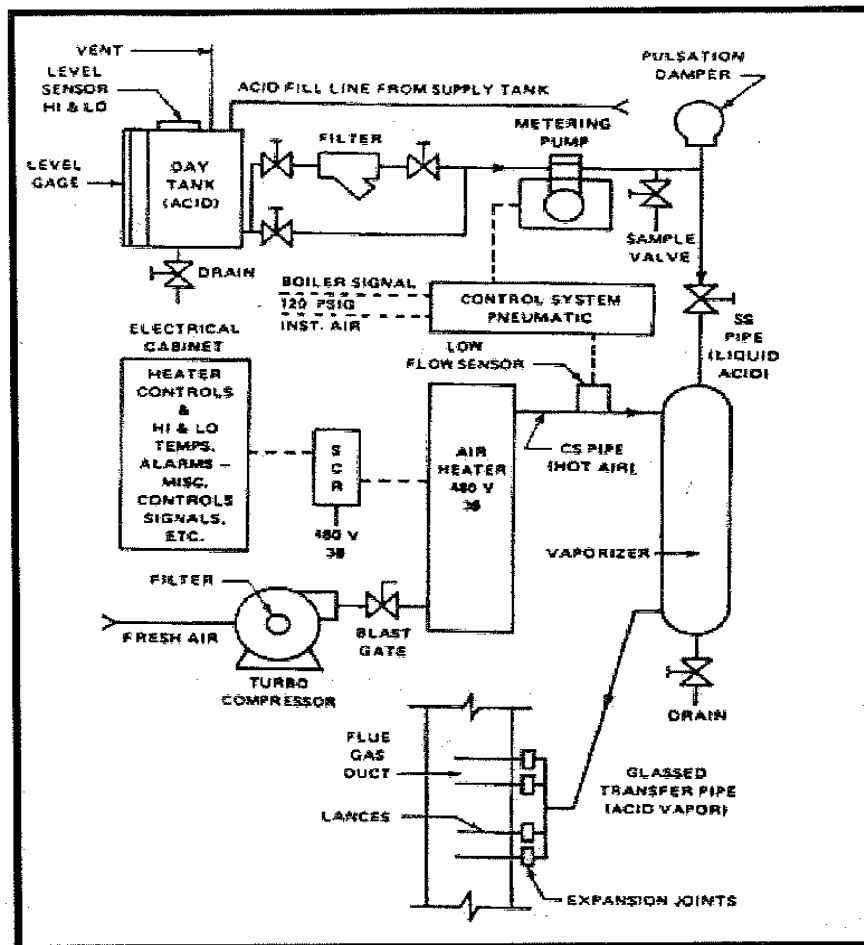
εξέρχεται από τον καταλυτικό μετατροπέα εισάγεται στον αγωγό των καυσαερίων με τη βοήθεια ενός συστήματος πολλαπλής έγχυσης ακροφυσίων, κατασκευασμένων από ανοξείδωτο ατσάλι.

Κατά την εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στα παρακάτω προβλήματα, που είναι πιθανόν να παρουσιαστούν:

- Ανεπαρκής ή μη ικανοποιητική λειτουργία του συστήματος διασποράς των προσθετικών ουσιών. Κατά την επιλογή του μεγέθους και του αριθμού των ακροφυσίων έγχυσης κρίνεται σκόπιμο ο υπεύθυνος μηχανικός να είναι συντηρητικός, καθώς αυτή είναι ιδιαίτερα κρίσιμη και επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη λειτουργία του όλου συστήματος.
- Συχνό φράξιμο (βούλωμα) των ακροφυσίων έγχυσης, πράγμα το οποίο συνήθως οφείλεται στην ελλιπή και μη συχνή συντήρηση και καθαρισμό των ακροφυσίων.
- Για εξαρτήματα που τοποθετούνται ανάντι του αναγεννητικού προθερμαντήρα ή κοντά στην έξοδο του λέβητα, παρουσιάζονται αυξημένα προβλήματα επικαθίσεων.



Εικόνα 5.4



Εικόνα 5.5 [33]

Πρόσφατες ανησυχίες όσο αναφορά τις αέριες εκπομπές οξέων έχουν προωθήσει ορισμένα βοηθητικά εξαρτήματα για τον έλεγχο της καύσεως ανθράκων, χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, σε επιλεγμένους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ηλεκτροστατικά φίλτρα ψυχρής πλευράς (μετά αναγεννητικού προθερμαντή LUVO), τα οποία σχεδιάστηκαν αρχικά για άνθρακες υψηλής περιεκτικότητας σε θείο, μπορούν να εφοδιαστούν με συστήματα έγχυσης τριοξειδίου του θείου ώστε να αυξήσουν ή τουλάχιστον να βελτιώσουν το βαθμό απόδοσής τους όταν διαχειρίζονται τέφρα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο και υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Αρχικά μπορεί να φαίνεται αντιφατικό το γεγονός έγχυσης τριοξειδίου του θείου μέσα στον αγωγό ροής καυσαερίων, ιδιαίτερα όταν απαιτείται μείωση των θεικών αέριων εκπομπών από την καμινάδα. Στην ουσία αυτό που γίνεται είναι η έγχυση μίας μικρής ποσότητας τριοξειδίου του θείου μέσα στον αγωγό εισαγωγής των καυσαερίων στο φίλτρο, η οποία είναι τόσο αμελητέα ώστε το μεγαλύτερο μέρος αυτής, αν

όχι ολόκληρη, να απομακρύνεται κατά τη διεργασία απομάκρυνσης των σωματιδιακών ρύπων μέσα στο φίλτρο.

Εξέταση που έγινε σε φίλτρα μονάδων της δυτικής Αμερικής έδειξαν ότι μόλις λιγότερο από 1 ppm ήταν η εκπομπή ατμών H_2SO_4 στην καμινάδα και 2 έως 3 ppm SO_3 βρέθηκαν με τη μορφή σουλφιδίων πάνω στην επιφάνεια της ιπτάμενης τέφρας. Το συμπέρασμα που προέκυψε ήταν ότι η συγκέντρωση των ατμών H_2SO_4 ήταν πολύ μικρή, ώστε να μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα σε σχέση πάντα με την αντίστοιχη που προέκυπτε χωρίς το σύστημα ρύθμισης της σύστασης των καυσαερίων και ότι το συνολικό ποσό των σουλφιδίων στην επιφάνεια της συλλεγόμενης ιπτάμενης τέφρας ήταν 50% μεγαλύτερη (145).

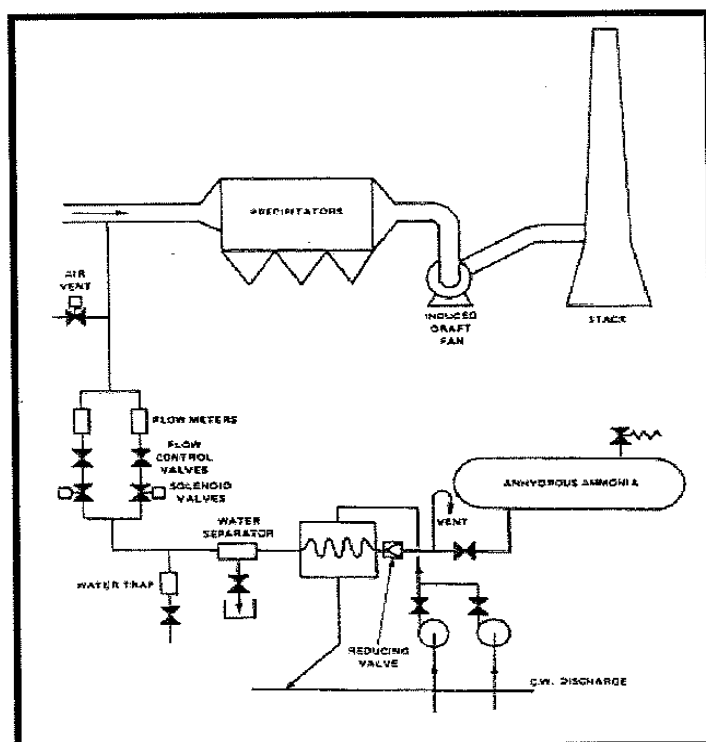
5.2.3 Έγχυση NH_3

Η πρώτη επιτυχής εφαρμογή ρύθμισης των καυσαερίων με έγχυση αμμωνίας έγινε στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής το 1974 σε ένα σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με πρώτη ύλη ασφαλτούχο κάρβουνο 4% περιεκτικότητας σε θείο (141). Ένας ρυθμός έγχυσης της τάξεως των 11 ppm αύξησε κατά 20% την τάση κορώνας και είχε έναν παράγοντα ενίσχυσης (νέα τιμή / παλιά τιμή) ελαφρά πάνω από δύο. Ο ακριβής μηχανισμός σύμφωνα με τον οποίο ένα σύστημα έγχυσης με αμμωνία αυξάνει την ικανότητα κατακράτησης και το βαθμό απόδοσης ενός φίλτρου δεν είναι ξεκαθαρισμένος και αποτελεί αντικείμενο ερευνητικής εργασίας. Τα αποτελέσματα της έγχυσης αμμωνίας στο βαθμό απόδοσης τριών ηλεκτροστατικών φίλτρων αναφέρονται στον πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1 : Επίδραση έγχυσης NH_3 σε τρεις σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

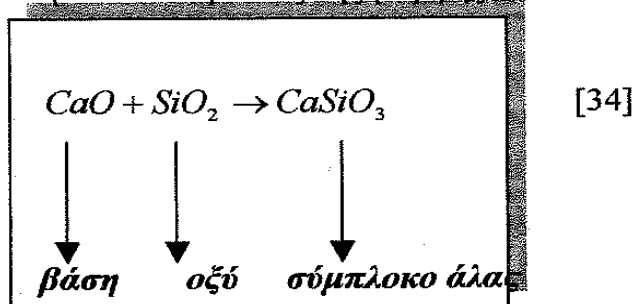
Efficiency, Plant	Coal, % S	Injected NH_3 concn, ppm	Fly-ash concn, ¹ g/m ³		Efficiency %
			Inlet	Outlet	
Widows Creek	0.9	0	15.2	1.54	90
		10	16.7	0.28	98
Widows Creek	3.5	0	-	-	87
		10	-	-	>99
Gallatin	High ²	0	-	0.35	-
		18	-	0.07	-

Ένα σχηματικό διάγραμμα ροής για ένα σύστημα εγχύσεως άνυδρης αμμωνίας απεικονίζεται στην εικόνα 5.6.



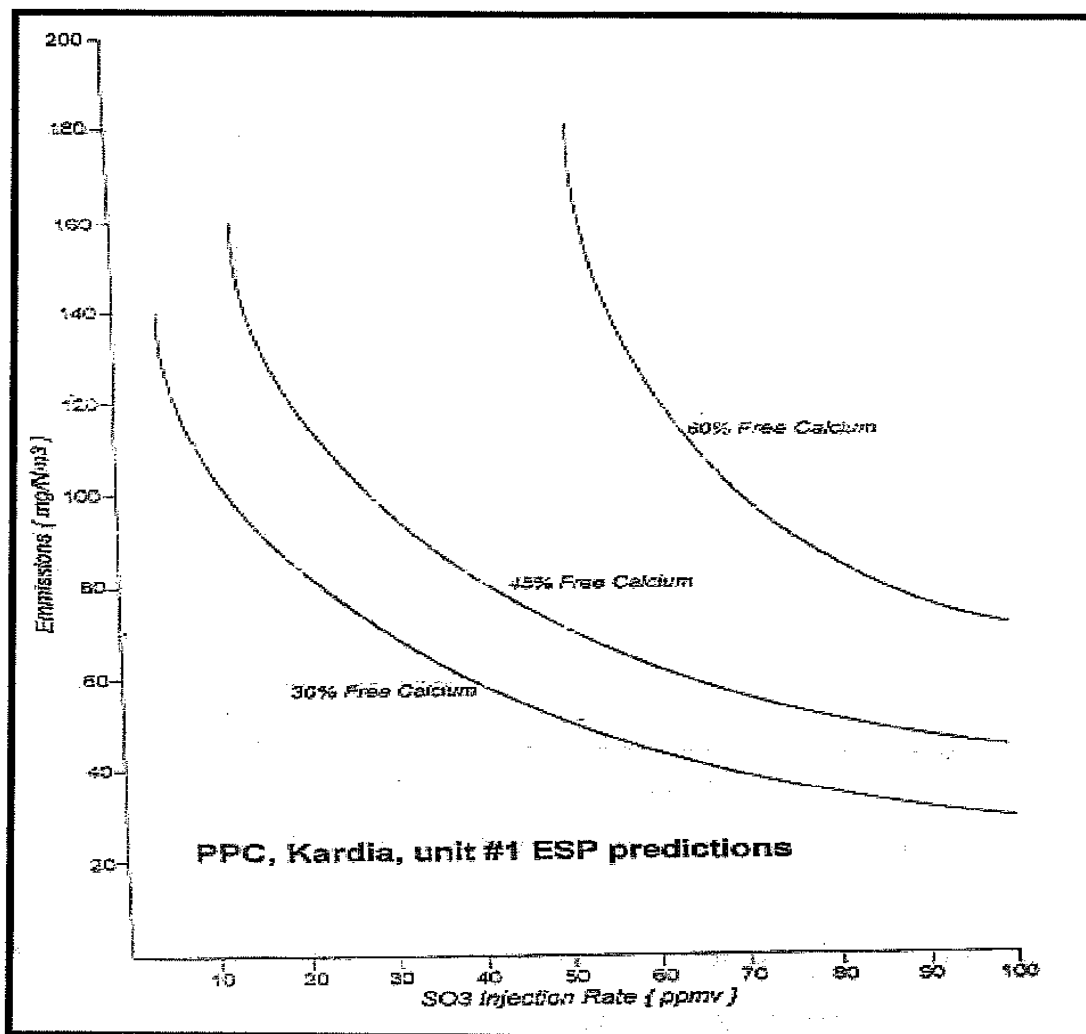
Εικόνα 5.6 [33]

Η NH_3 πέραν το ότι ενισχύει την προσκόλληση του θείου πάνω στα σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας, επιπλέον επιδρά και στη μείωση του ελεύθερου ασβεστίου (έλεγχος ουσιαστικά της ηλεκτρικής αγωγιμότητας). Συγκεκριμένα σύμφωνα με τη θεωρία των Bronsted και Lowry ισχύει ότι είναι δυνατόν να προκύψουν αντιδράσεις της μορφής :



Οι αντιδράσεις αυτές γίνονται σε περιβάλλον υψηλής θερμοκρασίας παρουσία άλλων διαλυτών, όπως NH_3 , SO_3 ή CH_3COOH . Λόγω του ότι τα ποσοστά του CaO καθώς και του SO_3 είναι αρκετά μεγάλα (η στοιχειακή ανάλυση της τέφρας παρουσιάζεται στην παράγραφο 4.3.2), όπως και η θερμοκρασία είναι δυνατή η πραγματοποίηση της παραπάνω αντίδρασης. Σαν αποτέλεσμα αυτής της αντίδρασης είναι η μείωση του μοριακού ασβεστίου στην ιπτάμενη τέφρα, γεγονός που προκαλεί τη μείωση της ηλεκτρικής αντίστασης της ιπτάμενης

τέφρας με τελικό αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών. Κάτι τέτοιο φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα που προέκυψε μετά από πειραματική μελέτη της εταιρίας Wahlo. [35]



Τα κύρια μέρη από τα οποία αποτελούνται τα περισσότερα συστήματα ρύθμισης της σύστασης των καυσαερίων είναι μετακινούμενα, παρέχοντας τη δυνατότητα ελέγχων και τεστ των διαφόρων επιμέρους εξαρτημάτων ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Αυτή είναι πάντα η προτεινόμενη πρακτική όταν πρόκειται να εξεταστεί η περίπτωση εγκατάστασης του πιο οικονομικά βιώσιμου συστήματος. Η τιμή ενός τέτοιου συστήματος που παραχωρείται από ιδιωτικές εταιρίες ανέρχεται από 20.000\$ έως 30.000\$ το μήνα. Τα πρόσθετα έξοδα περιλαμβάνουν το κόστος της μεταβλητής (μετακινούμενης) εγκατάστασης και το κόστος αγοράς και ανέγερσης του δικτύου των αγωγών και των ακροδεκτών των εγχυτήρων.

5.3 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΝΟΣ ΑΝΑΓΕΝΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΤΗΡΑ, ΠΡΟΚΕΙΜΕΝΟΥ ΝΑ ΕΠΙΤΕΥΧΘΕΙ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ [36]

5.3.1 Γενικά – σκοπιμότητα της επένδυσης

5.3.1.1 Υπάρχουσα κατάσταση

Οι λιγνίτικές ατμοηλεκτρικές Μονάδες I και II των 300ΜΛΛ/ στον Ατμοηλεκτρικό σταθμό (ΑΗΣ) ΚΑΡΔΙΑΣ της ΔΕΗ, με λέβητες κατασκευής SULZER και στροβιλογεννήτριες ALSTOM, λόγω ύπαρξης θείου σε ποσοστό 1,5% στον λιγνίτη είχαν σχεδιαστεί για θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων τους γύρω στους 180°Ο_και λειτουργούν τώρα (λόγω γήρανσης των λεβήτων κλπ.) με θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων τους γύρω στους 200°C.

Εν τούτοις, λόγω ύπαρξης ασβεστόλιθου στην τέφρα του λιγνίτη γίνεται δέσμευση του θείου κατά την καύση του λιγνίτη στον θάλαμο καύσης και μετατροπή του σε θειικό ασβέστιο και κατά συνέπεια τα καυσαέρια εξέρχονται σχεδόν απαλλαγμένα από (SO_x) σε τέτοιο βαθμό, ώστε η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων τους επιτρέπεται να μειωθεί στους 130°C περίπου.

Επομένως, στις ανωτέρω ατμοηλεκτρικές Μονάδες της ΔΕΗ η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων στην καμινάδα είναι υψηλότερη κατά 70°C περίπου από τα επιτρεπόμενα όρια θερμοκρασιών, τα οποία καθορίζονται από τα όρια υγροποίησης των οξειδίων του θείου (SO_x). Αυτό συνεπάγεται χειροτέρευση του βαθμού απόδοσης των Μονάδων Ηλεκτροπαραγωγής με αποτέλεσμα την καύση μεγαλύτερης ποσότητας λιγνίτη και κατά συνέπεια αυξημένη εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα ανά παραγόμενη ηλεκτρική κιλοβατώρα, με ορατό τον κίνδυνο σοβαρής επιβάρυνσης από φόρο επί πλέον εκπομπών CO₂.

Είναι επομένως επιτακτική η ανάγκη να γίνει έντονη προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας και μείωσης των εκπομπών CO₂, με προγράμματα εξοικονόμησης ενέργειας κυρίως στις

ανωτέρω μονάδες με καύση-λιγνίτη ώστε να μειωθεί η κατανάλωση λιγνίτη και παράλληλα οι δυσμενείς επιπτώσεις από τον ενδεχόμενο φόρο του διοξειδίου του άνθρακα. Σε κάθε περίπτωση πέρα από την αποφυγή του μελλοντικού φόρου CO₂ η εξοικονόμηση στην καύση λιγνίτη στις ανωτέρω μονάδες της ΔΕΗ έχει βεβαίως και άλλα άμεσα αποτελέσματα, που μεταφράζονται στην εξοικονόμηση σοβαρών χρηματικών ποσών λόγω του αποφευγόμενου κόστους του εξοικονομούμενου καυσίμου καθώς και στην παράταση του χρόνου εκμετάλλευσης των λιγνιτωρυχείων, με αποτέλεσμα μείωση της εξάρτησης από άλλα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα. Επίσης η μείωση της θερμοκρασίας των καυσαερίων θα έχει ευεργετική επίδραση στο Η/Φ, λόγω μικρότερου όγκου και ταχύτητας των καυσαερίων μετά την ψύξη τους.

5.3.2. Στοιχεία της επένδυσης

5.3.2.1 Περιγραφή της επένδυσης

Για κάθε μία από τις δύο λιγνιτικές ατμοηλεκτρικές μονάδες I και II του ΑΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ η επέμβαση συνίσταται στην τοποθέτηση ενός συστήματος εναλλακτών όπως περιγράφεται στη συνέχεια.

Το σύνολο εναλλακτών αποτελείται από ένα σετ δύο πλακοειδών Εναλλακτών Καυσαερίων / Αέρα ανά ένας στην έξοδο των καυσαερίων από κάθε LUVO, οι οποίοι θα μειώνουν την θερμοκρασία των καυσαερίων από τους 200°Ο στους 140°C περίπου αφαιρώντας έτσι από τα καυσαέρια ένα ποσό θερμότητας περί τα 40MW το οποίο αποδίδεται στον αέρα καύσης του λέβητα. Στην συνέχεια ο μερικά προθερμασμένος αέρας καύσης οδηγείται στους δυο Περιστροφικούς εναλλάκτες προθέρμανσης αέρα LUVO κάθε μονάδας για παραπέρα προθέρμανση.

Μετά την επέμβαση αυτή τα LUVO δεν χρειάζονται όλη την ποσότητα καυσαερίων της μονάδας για την προθέρμανση του αέρα του λέβητα παρά μόνο τα 2/3 περίπου από αυτά. Το υπόλοιπο 1/3 των καυσαερίων οδηγείται σε έναν εναλλάκτη παράκαμψης ο οποίος παρακάμπτει τα LUVO και παράγει υπέρθερμο ατμό με τον οποίο προθερμαίνεται το τροφοδοτικό νερό του λέβητα υποκαθιστώντας κατά το μεγαλύτερο μέρος τους αντίστοιχους προθερμαντήρες υψηλής πίεσης του τροφοδοτικού νερού του λέβητα. Με τον τρόπο αυτό η απομάστευση ατμού από τον

στρόβιλο στους προθερμαντήρες υψηλής πίεσης του τροφοδοτικού νερού του λέβητα και βελτιώνεται έτσι ο βαθμός απόδοσης της εκάστοτε μονάδας κατά 6,17% (από 34,1% σε 36,2%) περίπου πράγμα που σημαίνει εξοικονόμηση πρωτογενούς συμβατικής ενέργειας (λιγνίτη) και αποφυγή έκλυσης των αντίστοιχων αέριων ρύπων.

5.3.3. Οφέλη

5.3.3.1 Ενεργειακά

Η υλοποίηση του προτεινόμενου έργου θα επιφέρει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας στις μονάδες I και II του ΑΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ. Η αναμενόμενη ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς συμβατικής ενέργειας από την επένδυση και στις δύο μονάδες ανέρχεται σε 580.000 τόνους λιγνίτη ή 6,7%.

5.3.3.2 Περιβαλλοντικά

Η προτεινόμενη επένδυση θα έχει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη καθότι αναμένεται να αποφευχθεί ετησίως η έκλυση 413.438.041 Kg CO₂, 597.253 Kg NO_x, 411.699 Kg SO₂ και 469.684 Kg SO₂. Οι μειώσεις αυτές είναι πολύ σημαντικές, ιδιαίτερα αν ληφθεί υπόψη η ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας και η πολιτική μείωσης των εκπομπών CO₂ της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

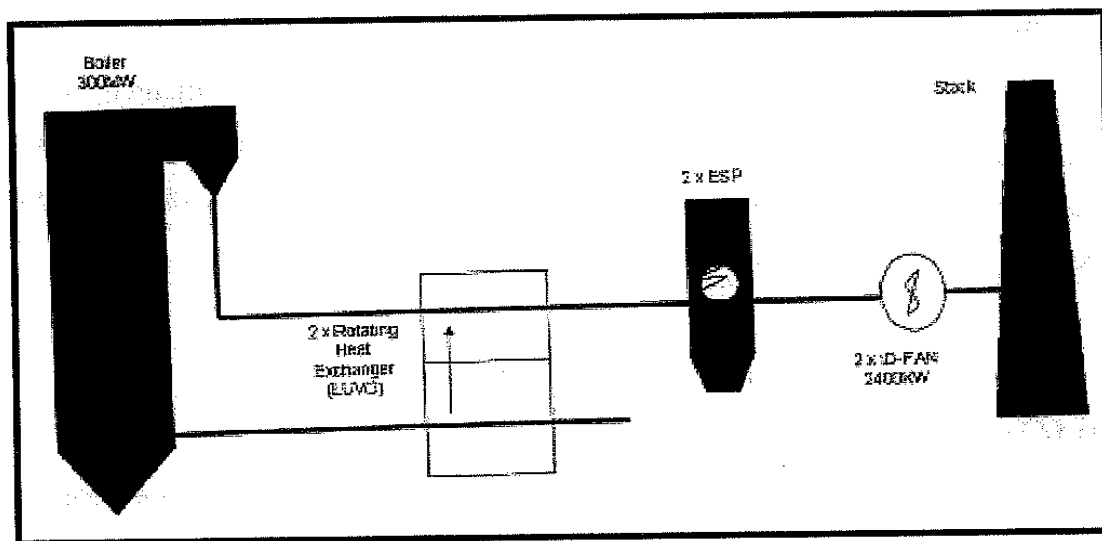
5.3.3.3. Επιπλέον

Εκτός από τα ανωτέρω ενεργειακά και περιβαλλοντικά οφέλη η προτεινόμενη επένδυση θα συμβάλλει στην καλύτερη λειτουργία των ηλεκτροστατικών φίλτρων καθώς επίσης και σε εξοικονόμηση ενέργειας στο IDFan λόγω μείωσης του όγκου και της ταχύτητας των καυσαερίων ενώ θα δημιουργήσει κατά την φάση υλοποίησης της τουλάχιστον είκοσι θέσεις εργασίας.

5.3.4 Ανάλυση της κατάστασης πριν και μετά την επένδυση

5.3.4.1. Περιγραφή πριν την επένδυση

Η παραγωγική διαδικασία πριν την επένδυση φαίνεται σχηματικά στο Διάγραμμα Ροής της που φαίνεται στην εικόνα 5.7 και συνίσταται στην καύση του Λιγνίτη μέσα στον Λέβητα κάθε Μονάδας για την Παραγωγή 867τόνων ατμού την ώρα, $542^{\circ}C$, $170bar$ (για ισχύ 300MW). Ο ατμός εκτονώνεται μέσα στον ατμοστρόβιλο και παράγει 300MW ηλεκτρική Ενέργεια.



Εικόνα 5.7

Τα καυσαέρια του λέβητα αφού περάσουν από τους εναλλάκτες ατμού εισέρχονται στους δύο περιστροφικούς προθερμαντήρες αέρα (LUVO) κάθε μονάδας όπου η θερμοκρασία τους μειώνεται από τους $312^{\circ}C$ στους $312^{\circ}C$ και η αφαιρούμενη θερμότητα προθερμαίνει τον αέρα καύσης από τους $50^{\circ}C$ στους $270^{\circ}C$ περίπου. Στην συνέχεια τα καυσαέρια περνούν από τα Ηλεκτροστατικά Φίλτρα και μέσω των (IDFan) αποβάλλονται στην καπνοδόχο.

Ταυτόχρονα ο παραγόμενος ατμός των $542^{\circ}C$ και $170bar$ εκτονώνεται πρώτα στην βαθμίδα υψηλής πίεσης (Υ. Π) του στροβίλου, στην συνέχεια επιστρέφει στον λέβητα όπου αναθερμαίνεται στους $542^{\circ}C$ και εκτονώνεται στην βαθμίδα μέσης πίεσης (Μ.Π) του στροβίλου και τέλος περνά από την βαθμίδα χαμηλής πίεσης (Χ.Π) και καταλήγει στο

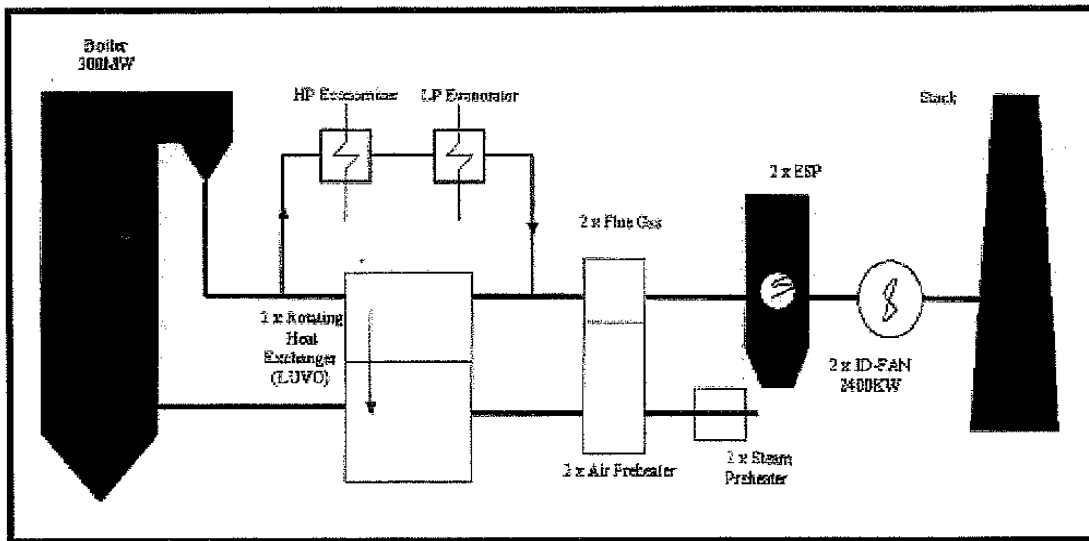
Ψυγείο όπου συμπυκνώνεται με την βοήθεια του κυκλώματος ψυκτικού νερού των πύργων ψύξεως.

Το νερό αυτό οδηγείται στην συνέχεια στον απαερωτή και από εκεί μέσω ισχυρών τροφοδοτικών αντλιών επιστρέφει για ατμοποίηση στον λέβητα με πίεση 170bar . Στην διαδρομή αυτή το τροφοδοτικό νερό του λέβητα προθερμαίνεται μέχρι 253°C περίπου με την βοήθεια προθερμαντών ατμού που απομαστεύεται από διάφορες βαθμίδες του ατμοστροβίλου

Ο βαθμός απόδοσης των Μονάδων I και II είναι 36,5%, είναι μονάδες βάσεως και παράγουν περίπου 2.100.000.000KWh το χρόνο (7.000 πλήρεις ώρες λειτουργίας), Ο καταναλισκόμενος λιγνίτης έχει κατώτερη θερμογόνο δύναμη 1100Kcal/Kgr και περιέχει 55% υγρασία. Ετησίως κάθε μονάδα καταναλώνει 4.500.000 τόνους Λιγνίτη, ο οποίος προέρχεται από τα παρακείμενα λιγνιτορυχεία και έχει για τη ΔΕΗ ένα κόστος εξόρυξης 10€ ανά τόνο. Το κόστος της παραγόμενης KWh στις λιγνιτικές μονάδες είναι περίπου 38€/KWh και θεωρείται η βάση για την παραγωγή φθηνής ηλεκτρικής ενέργειας από την ΔΕΗ.

5.3.4.2 Περιγραφή μετά την επένδυση

Η παραγωγική διαδικασία μετά την επένδυση φαίνεται σχηματικά στο διάγραμμα ροής της εικόνας 5.8 και συνίσταται βασικά από την παραγωγική διαδικασία πριν την επένδυση, όπως περιγράφεται ανωτέρω, στην οποία έχει προστεθεί το σύστημα των δύο εναλλακτών που αναφέρθηκε προηγουμένως.



Εικόνα 5.8

Αναλυτικότερα μετά από κάθε (LUVO) θα τοποθετηθεί από ένας (σύνολο δύο) πλακοειδής εναλλάκτης καυσαερίων / αέρα καύσης σε ομορροή (Parallel Flow), ο οποίος θα μειώσει την θερμοκρασία των καυσαερίων από 200°C στους 140°C , ενώ η θερμοκρασία του αέρα θα αυξηθεί από τους 60°C (αέρα καύσης προθερμαίνεται ήδη με εναλλάκτη ατμού από 25°C στους $50-60^{\circ}\text{C}$) για τις ανάγκες των (LUVO) στους 120°C . Η θερμοκρασία των επιφανειών εναλλαγής θερμότητας των πλακών του εναλλάκτη στην είσοδο θα είναι περίπου $(200+60) \times 1/2 = 130^{\circ}\text{C}$ και στην έξοδο $(145+116) \times 1/2 = 130,5^{\circ}\text{C}$ δηλαδή πολύ επάνω από το σημείο υγροποίησης των SO_x και επομένως η κατασκευή τους μπορεί να γίνει από κοινό χάλυβα (αποφεύγοντας έτσι τη λύση με ακριβούς εναλλάκτες ειδικής προστασίας έναντι του θειικού οξέος).

Κάθε εναλλάκτης θα είναι εφοδιασμένος στην είσοδο με σύστημα καθαρισμού από τέφρα με υπέρθερμο ατμό 250°C και πίεσης 7bar περίπου ανά 24 ώρες ώστε να διατηρούνται καθαρές από επικαθίσεις οι επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας.

Ο προθερμασμένος αέρας καύσης οδηγείται στην συνέχεια στον αντίστοιχο περιστροφικό Εναλλάκτη Αέρα (LUVO) της μονάδας, ο οποίος κανονικά πριν προθέρμινε τον αέρα καύσης από $50-55^{\circ}$ στους 270°C χρησιμοποιώντας όλη την ποσότητα των εξερχόμενων καυσαερίων, ψύχοντας τα από τους 312°C στους 200°C (για ισχύ 300MW).

Τώρα πλέον, επειδή δέχεται στην είσοδο προθερμασμένο αέρα 120°C (αντί για 55°C πριν) χρειάζεται μόνο τα $2/3$ της ποσότητας των καυσαερίων του λέβητα για να προθερμάνει τον αέρα από τους 120°C στους 270°C . Το υπόλοιπο $1/3$ της ποσότητας των καυσαερίων οδηγείται από τον αγωγό καθόδου πριν τα (LUVO). σε έναν εναλλάκτη παράκαμψης εκτός λέβητα, ο οποίος αναλαμβάνει να ψύξει τα καυσαέρια από τους 312°C στην απαιτούμενη θερμοκρασία μετά τα LUVO παράγοντας ατμό με τον οποίο θα γίνει κατά ένα μέρος (θερμικής ισχύος 40MW) η προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού του λέβητα από προθερμαντήρες υψηλής πίεσης.

Ταυτόχρονα επειδή η θερμική ισχύς προθέρμανσης του αέρα καύσης αντιστοιχεί στο 43% της θερμικής ισχύος του (LUVO) ενώ εξάγεται εκτός του 33% , το (LUVO) θα δίδει έξοδο καυσαερίων άνω των 200°C βελτιώνοντας έτσι τις συνθήκες εναλλαγής στον πλακοειδή εναλλάκτη αν μπει μετά το LUVO.

Αυτό σημαίνει βελτίωση του βαθμού απόδοσης της Μονάδας κατά $3,5\%$ και εξοικονόμηση 330.000 τόνων Λιγνίτη ετησίως.

Πίνακας 5.2 : Παραγόμενα προϊόντα και παρεχόμενες υπηρεσίες ανά έτος πριν την επένδυση (κατά προτίμηση μέσοι όροι των τριών τελευταίων ετών)

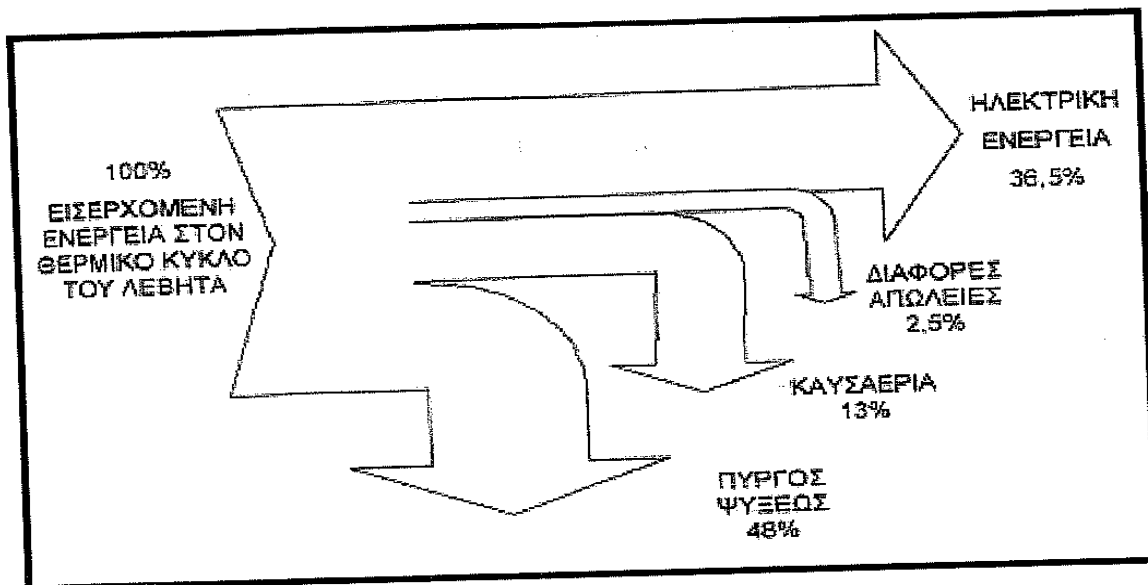
ΕΙΔΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΑΕΙΑ (χιλ. ευρώ)
		Πριν την επένδυση	Πριν την επένδυση
Μονάδα I: Λιγνίτης	Τόνοι	4.700.000	18.800
Μονάδα II: Λιγνίτης	Τόνοι	4.700.000	48.800
ΣΥΝΟΛΑ	Τόνοι	9.400.000	37.600

Πίνακας 5.3 : Παραγόμενα προϊόντα και παρεχόμενες υπηρεσίες ανά έτος μετά την επένδυση (κατά προτίμηση μέσοι όροι των τριών τελευταίων ετών)

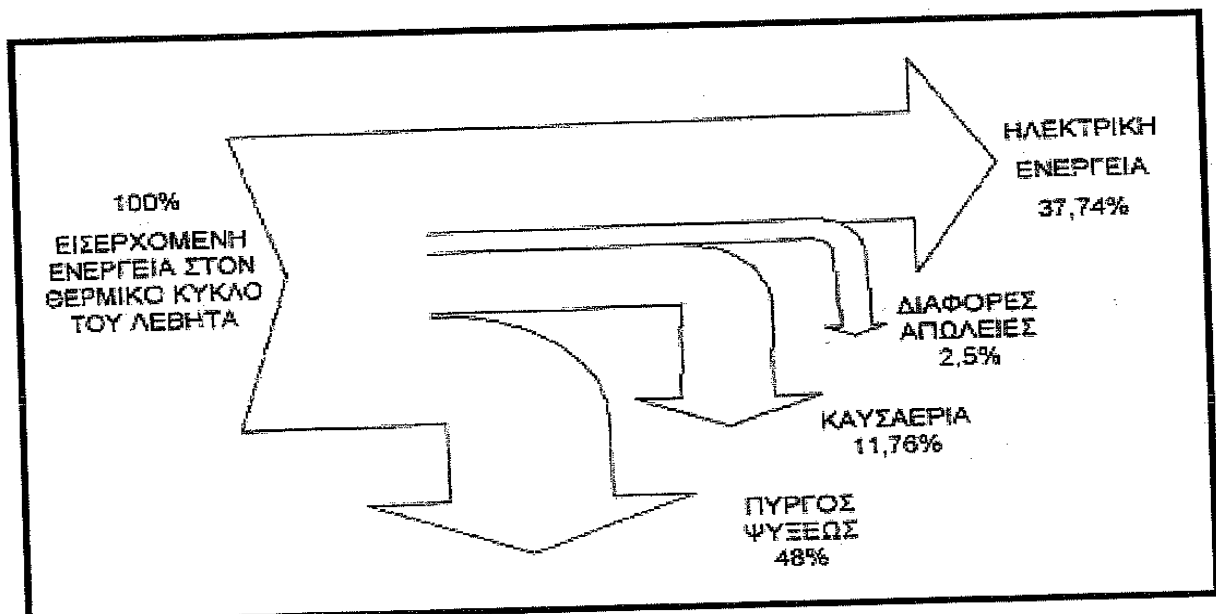
ΕΙΔΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΑΕΙΑ (χιλ. ευρώ)
		Μετά την	Μετά την επένδυση
Μονάδα I: Λιγνίτης	Τόνοι	4.410.072	17.640,285
Μονάδα II: Λιγνίτης	Τόνοι	4.410.072	17.640,285
ΣΥΝΟΛΑ		8.820.144	35.280,57

5.3.4.3 Ενεργειακή ροή στην παραγωγική διαδικασία

- Διάγραμμα ενεργειακής ροής πριν την επένδυση



- Διάγραμμα ενεργειακής ροής μετά την επένδυση



5.4 ΑΥΞΗΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΚΑΤΑΝΤΙ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΤΩΝ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ.

5.4.1.Εισαγωγή

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται ένας ακόμη τρόπος βελτίωσης του βαθμού απόδοσης, με την αύξηση του αριθμού των ηλεκτρικών πεδίων κατάντι της ροής των καυσαερίων. Η εισαγωγή επιπλέον ηλεκτρικών πεδίων στα φίλτρα απαιτεί μία εκτενέστερη μελέτη, καθώς επίσης έχει και αυξημένο κόστος λειτουργίας. Για το λόγο αυτό ένας βέλτιστος τρόπος, προκειμένου να αυξηθούν τα ηλεκτρικά πεδία είναι να γίνει μία σύνδεση σε σειρά με τα παλιά φίλτρα της μονάδας I. Κάτι τέτοιο όμως θα μπορούσε να πει κανείς ότι είναι τεχνικά δύσκολο και οικονομικά ασύμφορο. Λαμβάνοντας υπόψη όμως τα περιβαλλοντικά οφέλη που θα έχουμε, αντισταθμίσουμε κάθε πρόβλημα το οποίο θα προκύψει. [11]

5.4.2 Θεωρία λειτουργίας ηλεκτροστατικών φίλτρων σε σειρά

Η συνολική απόδοση συλλογής ενός συστήματος, αποτελούμενο από δύο ή περισσότερες συσκευές σε σειρά, δεν είναι απλώς το άθροισμα ούτε το γινόμενο των αποδόσεων της κάθε συσκευής. Η απόδοση κάθε συσκευής βασίζεται στη σωματιδιακή φόρτιση μάζας που εισέρχεται σε αυτή τη συσκευή, αλλά η συνολική απόδοση του συστήματος βασίζεται στη συνολική συλλεχθείσα μάζα ως κλάσμα της συνολικής μάζας που εισέρχεται στην πρώτη συσκευή.

Ο απλούστερος τρόπος για να προσεγγιστεί αυτό το πρόβλημα είναι να οριστεί η διείσδυση μιας συσκευής ως το κλάσμα μάζας το οποίο δε συλλέγεται (δηλαδή το κλάσμα το οποίο διεισδύει μέσα από τη συσκευή). Κατά συνέπεια,

$$P_t = 1 - n \quad (5.1) \quad [11]$$

όπου $Pt =$ διείσδυση (κλάσμα)

Η συνολική διείσδυση ενός συστήματος είναι απλώς το γινόμενο των διεισδύσεων όλων των ανεξάρτητων συσκευών δηλαδή.

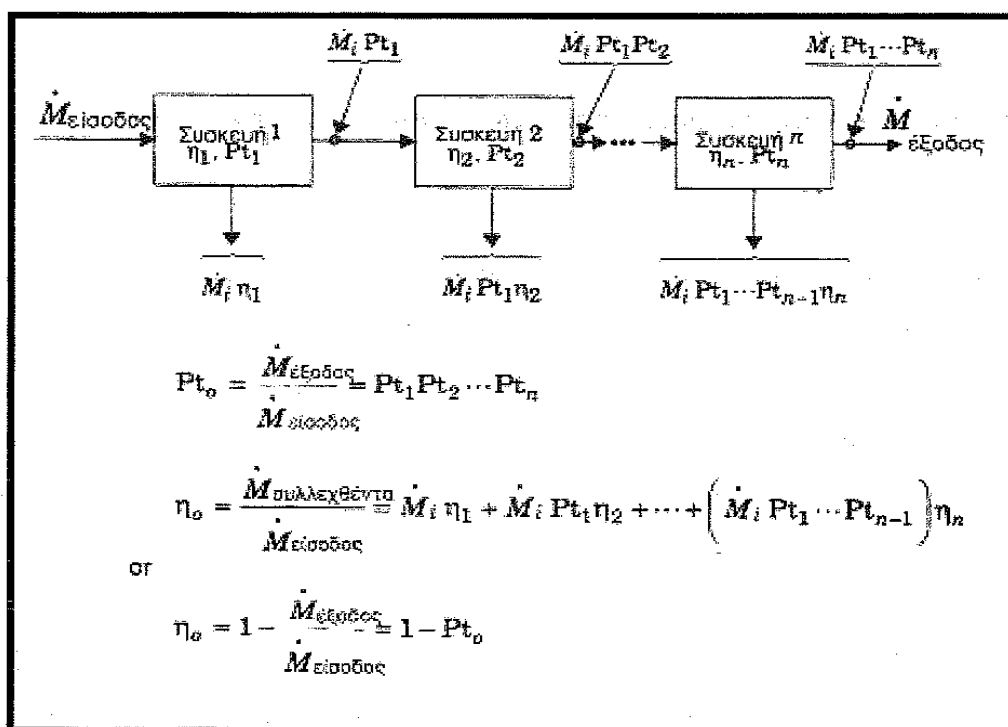
$$Pt_o = \prod_{i=1}^n Pt_i \quad (5.2) \quad [11]$$

όπου

$Pt_o =$ συνολική διείσδυση

$Pt_i =$ διείσδυση της i συσκευής

Η συνολική απόδοση συλλογής του συστήματος είναι απλώς ίση με $1 - Pt_o$, όπως φαίνεται στη εικόνα 5.9. Κατά την εφαρμογή αυτής της προσέγγισης, πρέπει να δίνεται προσοχή κατά τον υπολογισμό της απόδοσης οποιασδήποτε κατάντι συσκευής επειδή τα μεγαλύτερα, πιο εύκολα συλλεγόμενα σωματίδια θα απομακρυνθούν από τις συσκευές ανάντι.



Εικόνα 5.9

Συγκεκριμένα εάν υποθέσουμε ότι τα παλιά φίλτρα έχουν ένα βαθμό απόδοσης γύρω στο 96% και τα καινούρια, τα οποία έχουν πάνω από 98%, τότε ο συνολικός βαθμός απόδοσης με βάση την παραπάνω θεωρία θα είναι :

- Διείσδυση παλιών φίλτρων : $Pt_{old} = 1 - n_{old} = 1 - 0.96 = 0.04$
- Διείσδυση νέων φίλτρων : $Pt_{new} = 1 - n_{new} = 1 - 0.98 = 0.02$
- Διείσδυση συνολικού συστήματος

$$: Pt_{total} = \prod_{i=1}^n Pt_i = Pt_{old} \cdot Pt_{new} = 0.04 \cdot 0.02 = 0.0008$$

Άρα συνολική απόδοση συστήματος : $n_{total} = 1 - Pt_{total} = 1 - 0.0008 = 0.9992$ ή 99.92%

ΑΝΑΦΟΡΕΣ-ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] EPRI CS 2809 RP1402-4
Electrostatic Precipitator Reference Manual GA Galluer Final Report, January 1983.
- [2] EPRI FR-775 RP834-1
Economic Evaluation of fabric Filtration Versus Electrostatic Precipitator for Ultrahigh Particle Collection Efficiency Stearns-Roger, Inc Final Report, June 1978.
- [3] EPRI FP -792 RP413- 1
Corona Electrode Failure Study Southern Research Institute Final Report ,July 1978, Voll.
- [4] Technical Report about ESP-ALSTOM Manual- Α.Η.Σ ΚΑΡΔΙΑΣ.
- [5] H.R Rose and A.I. Wood ,{An introduction to Electrostatic Precipitator in Theory and Practice } JAPCA 28(9) 877-880, September 1978
- [6] Βαγγέλης Γκέκας –Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Α.Η.Σ ΚΑΡΔΙΑΣ.
- [7] Στοιχεία Χημείου Α.Η.Σ ΚΑΡΔΙΑΣ.
- [8] Technical Report ΜΕΤΚΑ- ALSTOM.
- [10] Πανγιωτίδης Ιωάννης-Προϊστάμενος Λειτουργίας Α.Η.Σ ΚΑΡΔΙΑΣ.
- [11] Έλεγχος Αέρας Ρύπανσης Σχεδιασμός Αντιρρυπαντικής Τεχνολογίας C.David Cooper FC . Alley.
- [12] Βιομηχανικά Ηλεκτρονικά (Χρονοκυκλώματα-Ρυθμιστές Τάσης) Γιώργος Μάργαρης.
- [13] Κατάλογος Υλικών και Στοιχείων Αποθήκης Α.Η.Σ ΚΑΡΔΙΑΣ.
- [15] Research-Cottrell Publications
- [16] Combustion Engineering Publications.
- [17] Lodge- Controller Publication.
- [18] General Electric Pyblication.
- [19] Environmental Elements Publication.
- [20] ΜΕΤΚΑ, ΑΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ.
- [21] ΜΕΤΚΑ-RODAX.
- [22] Lurgi Operation ,Design –Operation Manual.

- [23] **Lurgi Manual Axillaries**
- [24] **Αθανάσιος Αντωνόπουλος Μηχανικός Εκπαίδευσης Σ.Τ.Ε Α.Η.Σ ΚΑΡΔΙΑΣ**
- [25] **Εργαστήριο Μετρήσεων TITAN (Συγγρού 24) Υπεύθυνος Μηχανικός Γκέκας Βασίλειος**
- [26] **Προγραμματισμός FORTRAN 90/95 Δημήτρης Ματαράς.**
- [27] **Ganapathy, V {Determing Operating Parameters for Hot Exhaust Gas Cooling Systems . Plant engineering March 3-1983.**
- [28] **Heat transfer A practical Approach Yunus Cengel.**
- [29] **Μουσιόπουλος Μετάδοση Θερμότητας.**
- [30] **J.P Gooch A Manual on the Use of Flue Gas Conditioning for ESP Performance EPRI ,RP 742 -2 Report CS -4145, August 1985.**
- [31] **W.A Harrison J.K Nicholson J.L. Dubard J.R Carlton and LE Spark. { Medium Coal and Fly Ash Resistivity EPA/EPRI Sixth Symposium on the Transfer and Utilaization of Particulate Control Technology ,New Orlean LA February1966.**
- [32] **Brennen , J. H and R .L Revelay { Flue Gas Conditioning with SO₂ to improve Precipitator Performance { Paper presental at the American Power Conference .1977}.**
- [33] **Gaunt R.H { Development of a New Sulfur Type Ash Conditioning } Paper presented at the Second Symposium on the transfer and Utilaization of Particulate Control Technology,1982.**
- [34] **Αρχές Χημείας Νικόλαος Δ. Χατζηλιάδης**
- [35] **Εταιρεία WALCHO (Confidential).**
- [36] **Έργο Εξοικονόμηση Ενέργειας με Μείωση της Θερμοκρασίας των Καυσαερίων στις Μονάδες I και II του Α.Η.Σ ΚΑΡΔΙΑΣ (Επενδυτική Πρόταση στα Πλαίσια του Γ' ΚΠΣ ΥΠΙΑΝ -31-3-2004 Εμπιστευτικό).**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΜΕΡΟΣ Α

PROGRAM MAIN

```
REAL :: Ti,T0,OROS1,OROS2,W,Q,V,TiCelsious,T0Celsious,Wtn,DT
INTEGER :: I
Ti=@ΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ
THE ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΣΕ Fahreneit
T0=@ΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΞΟΔΟ
THE ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΣΕ Fahreneit
W=ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ
THE ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΣΕ lb/hr
TiCelsious=@ΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ
THE ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΣΕ Celsious
T0Celsious=@ΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΞΟΔΟ
THE ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΣΕ Celsious
Wtn=ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ
THE ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΣΕ tn/hr
Q=ΠΑΡΟΧΗ ΝΕΡΟΥ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΣΕ gpm
V=ΤΕΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ (ΚΑΥΣΑΕΡΙΑ+ΝΕΡΟ) ΣΕ acfm
VSI=ΠΑΡΟΧΗ ΝΕΡΟΥ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΣΕ lt/sec
QSI=ΤΕΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ
(KΑΥΣΑΕΡΙΑ+ΝΕΡΟ) ΣΕ m3/sec
```

```
PRINT*, '#####'
PRINT*, '#####'
PRINT*, '#####'
PRINT*, '### WELCOME TO WATER SPRAY PROGRAM ###'
PRINT*, '### MADE BY ###'
PRINT*, '### ARETAKIS MANOS ###'
PRINT*, '### AND ###'
PRINT*, '### GATZOULIS ATHANASIOS ###'
PRINT*, '#####'
PRINT*, '#####'
PRINT*, '#####'
```

```
OPEN (UNIT=1, FILE='OUTPUTQSI', STATUS='UNKNOWN')
OPEN (UNIT=2, FILE='OUTPUTDTCelsious', STATUS='UNKNOWN')
OPEN (UNIT=3, FILE='OUTPUTVSI', STATUS='UNKNOWN')
```

```
PRINT*, 'GIVE GASES Ti IN Celsious DEGREES'
READ*, TiCelsious
Ti=1.8*TiCelsious+32.0
PRINT*, 'GIVE GASES T0 IN Celsious DEGREES'
READ*, T0Celsious
T0=1.8*T0Celsious+32.0
PRINT*, 'GIVE GASES FLOW IN tn/hr'
READ*, Wtn
W=Wtn*(1000.0/0.45359)
OROS1=(5.39*10**(-4.0))*W*(Ti-T0)
OROS2=1090.0+0.45*(T0-150.0)
Q=OROS1/OROS2
V=(460.0+T0)*(W/2361.0+0.34*Q)
VSI=(V*3.785)/60.0
QSI=Q/(0.002832*60.0)
DT=Ti-T0
DTCelsious=TiCelsious-T0Celsious
CALL OUTPUT(QSI,VSI,DTCelsious)
T0=Ti-1
T0Celsious=TiCelsious-1
DO I=1,40
T0=T0-1
T0Celsious=T0Celsious-1
DT=Ti-T0
DTCelsious=TiCelsious-T0Celsious
OROS1=(5.39*10**(-4.0))*W*(Ti-T0)
OROS2=1090.0+0.45*(T0-150.0)
Q=OROS1/OROS2
V=(460.0+T0)*(W/2361.0+0.34*Q)
VSI=(V*3.785)/60.0
QSI=Q/(0.002832*60.0)
CALL OUTPUT(QSI,VSI,DTCelsious)
PRINT*, QSI,VSI,DTCelsious
ENDDO
```

END PROGRAM MAIN

```
SUBROUTINE OUTPUT(QSI,VSI,DTCelsius)
WRITE(1,*) QSI
WRITE(2,*) DTCelsius
WRITE(3,*) VSI
END SUBROUTINE OUTPUT
```

27562.66
27540.19
27517.70
27495.20
27472.68
27450.14
27427.59
27405.02
27382.43
27359.83
27337.21
27314.58
27291.93
27269.27
27246.59
27223.89
27201.17
27178.44
27155.70
27132.94
27110.16
27087.36
27064.55
27041.72
27018.88
26996.01
26973.14
26950.24
26927.33
26904.41
26881.46
26858.50
26835.53
26812.54
26789.53
26766.50
26743.46
26720.40
26697.32
26674.23
26651.12

5.778711
8.992451
12.20861
15.42718
18.64818
21.87160
25.09744
28.32572
31.55643
34.78957
38.02515
41.26317
44.50364
47.74656
50.99191
54.23973
57.48999
60.74273
63.99790
67.25555
70.51567
73.77824
77.04330
80.31083
83.58083
86.85332
90.12827
93.40573
96.68567
99.96809
103.2530
106.5404
109.8304
113.1228
116.4177
119.7152
123.0151
126.3176
129.6225
132.9300
136.2401

1.000000
2.000000
3.000000
4.000000
5.000000
6.000000
7.000000
8.000000
9.000000
10.000000
11.000000
12.000000
13.000000
14.000000
15.000000
16.000000
17.000000
18.000000
19.000000
20.000000
21.000000
22.000000
23.000000
24.000000
25.000000
26.000000
27.000000
28.000000
29.000000
30.000000
31.000000
32.000000
33.000000
34.000000
35.000000
36.000000
37.000000
38.000000
39.000000
40.000000
41.000000

ΜΕΡΟΣ Β

```
PROGRAM MAIN

REAL :: DTG, CPG, MG, HEXC, WEXC, LEXC, DDUCT, TAIR, TDUCT, DENSAIR,
#      CPAIR, VISAIR, LAIR, PRAIR, QGASES, SPEEDAIR, Re, Nu, h, Qair

CALL OPENER

CALL READER (DTG, CPG, MG, HEXC, WEXC, LEXC, DDUCT, TAIR, TDUCT, DENSAIR,
#           CPAIR, VISAIR, LAIR, PRAIR)

CALL HEATFLUXGASES (DTG, CPG, MG, QGASES)

CALL FORCEDCONVECTION (TAIR, TDUCT, DENSAIR, CPAIR, VISAIR, LAIR, PRAIR,
#                    DDUCT, LEXC, QGASES, SPEEDAIR, Re, Nu, h, Qair)

CALL AIREFLOW (DENSAIR, SPEEDAIR, LEXC, WEXC, MAIR)

CALL WRITER (DTG, MG, HEXC, WEXC, LEXC, DDUCT, TAIR, TDUCT, QGASES,
#           SPEEDAIR, Re, Nu, h, Qair, MAIR)

CALL PRINTER (DTG, MG, HEXC, WEXC, LEXC, DDUCT, TAIR, TDUCT, QGASES,
#            SPEEDAIR, Re, Nu, h, Qair, MAIR)

END PROGRAM MAIN
```

SUBROUTINE OPENER

```
PRINT*, '#####'  
PRINT*, '#####'  
PRINT*, '#####'  
PRINT*, '### WELCOME TO HEAT EXCHANGER PROGRAM ###'  
PRINT*, '###          MADE BY          ###'  
PRINT*, '###          ARETAKIS MANOS      ###'  
PRINT*, '###          AND                  ###'  
PRINT*, '###          GATZOULIS ATHANASIOS  ###'  
PRINT*, '#####'  
PRINT*, '#####'  
PRINT*, '#####'
```

```
OPEN (UNIT=1, FILE='INPUTGASES', STATUS='OLD')  
OPEN (UNIT=2, FILE='INPUTHEATEXC', STATUS='OLD')  
OPEN (UNIT=3, FILE='INPUTFORCONVECTION', STATUS='OLD')  
OPEN (UNIT=4, FILE='OUTPUTGENERAL', STATUS='UNKNOWN')
```

END SUBROUTINE OPENER

SUBROUTINE READER(A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K,L,M,N)

REAL :: A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K,L,M,N

A=ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees

B=ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ KJ/Kgr/K

C=ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Kgr/sec

D=ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΠΟΥ ΘΕΛΟΥΜΕ ΝΑ ΑΠΑΓΟΥΜΕ

READ (1,10) A,B,C

D=ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ

E=ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ

F=ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ

G=ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΜΕΤΡΑ

READ (2,20) D,E,F,G

H=ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius

I=ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius

J=ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Kgr/m³

K=ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ J/Kgr/K

L=ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΙΣΘΔΕΣ ΑΕΡΑ ΣΕ m²/sec

M=ΕΥΝΤΑΛΕΣΤΗΣ ΘΑΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΜΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m/K

N=ΑΡΙΘΜΟΣ Prandtl

READ (3,30) H,I,J,K,L,M,N

FORMAT (56X,F9.1,/,50X,F9.3,/,30X,F9.2)

FORMAT (25X,F9.3,/,27X,F9.3,/,26X,F9.3,/,38X,F9.3)

FORMAT (57X,F9.2,/,50X,F9.2,/,56X,F9.4,/,42X,F7.1,/,34X,F12.9,/,
#49X,F9.7,/,16X,F9.3)

END SUBROUTINE READER

SUBROUTINE HEATFLUXGASES (Q,W,E,R)

REAL :: Q,W,E,R

! R=ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W
! Q=ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees
! W=ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/kgK
! E=ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kg/sec

R=Q*W*E

END SUBROUTINE HEATFLUXGASES

```
SUBROUTINE FORCEDCONVECTION (ZZ, XX, CC, VV, BB, NN, MM, TT, WW, EE,
# SPEED, SS, DD, FF, GG)
```

```
ZZ=ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees
XX=ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees
CC=ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/m3
VV=ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ J/kgR/K
BB=ΙΣΩΔΕΣ ΑΕΡΑ ΣΕ m2/sec
NN=ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΗΜΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m/K
MM=ΑΡΙΘΜΟΣ Prandtl
TT=ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m
WW=ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m
EE=ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ w
SPEED=TAXYTHTA ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec
SS=ΑΡΙΘΜΟΣ Renolds
DD=ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt
FF=ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΣΕ W/m2/K
GG=ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W
```

```
REAL :: ZZ, XX, CC, VV, BB, NN, MM, TT, WW, EE, SS, DD, FF, GG, SPEED
```

```
REAL , PARAMETER :: PI=3.14
```

```
SPEED=5.0
```

```
DO I=1, 1000000
```

```
SPEED=SPEED+0.01
```

```
SS=SPEED*TT/BB
```

```
OROS1=(1.0+(SS/282000)**(5.0/8.0))**(4.0/5.0)
```

```
OROS2=0.62*(SS**(1.0/2.0))* (MM**(1.0/3.0))
```

```
OROS3=(1+(0.4/MM)**(2.0/3.0))**(1.0/4.0)
```

```
DD=0.3+(OROS2/OROS3)*OROS1
```

```
FF=DD*NN/TT
```

```
GG=FF*(PI*TT*WW)*(XX-ZZ)
```

```
IF (GG>=EE) THEN
```

```
PRINT*, 'YOUR HEAT EXCHANGER IS OVERCALCULATED OR
```

```
# THE ENVIROMENTAL TEMPERATURE IS TOO LOW.BE CAREFUL!!!!!!'
```

```
GO TO 100
```

```
ELSE IF (ABS(GG-EE)<=10000) THEN
```

```
GO TO 100
```

```
ELSE
```

```
PRINT*, 'ONE MORE ATTEMP'
```

```
END IF
```

```
END DO
```

```
100 END SUBROUTINE FORCEDCONVECTION
```

```
SUBROUTINE AIRFLOW(PPP, III, YYY, RRR, WWW)
!
! PPP=ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ kg/m3
! III=ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec
! YYY=ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m
! RRR=ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m
! WWW=ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kg/sec

REAL :: PPP, III, YYY, RRR, WWW
REAL , PARAMETER :: PI=3.14
WWW=PPP*III*YYY*RRR
END SUBROUTINE AIRFLOW
```

```

SUBROUTINE WRITER(Z,X,C,V,B,N,M,A,S,D,F,G,H,J,K)
REAL ::Z,X,C,V,B,N,M,A,S,D,F,G,H,J,K
Z=ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees
X=ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec
C=ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m
V=ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m
B=ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m
N=ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m
M=ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees
A=ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees
S=ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W
D=ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec
F=ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds
G=ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt
H=ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m2/K
J=ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W
K=ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec

```

```
WRITE(4,5000) Z,X,C,V,B,N,M,A,S,D,F,G,H,J,K
```

```

1000 FORMAT (5X,55ΗΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ
#ΣΕ Celsius Degrees = , F9.3 /
#5X,34ΗΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = , F9.3 /
#5X,22ΗΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = , F9.4 /
#5X,24ΗΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = , F9.4 /
#5X,23ΗΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = , F9.4 /
#5X,35ΗΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = , F9.4 /
#5X,39ΗΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = , F9.3 /
#5X,52ΗΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = , F9.3 /
#5X,27ΗΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = , F12.3 /
#5X,25ΗΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = , F9.4 /
#5X,19ΗΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = , F12.1 /
#5X,18ΗΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = , F9.2 /
#5X,39ΗΕΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m2/K = , F9.3 /
#5X,21ΗΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = , F12.2 /
#5X,31ΗΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = , F12.3)

```

```
END SUBROUTINE WRITER
```

```

SUBROUTINE PRINTER(ZZ,XX,CC,VV,BB,NN,MM,AA,SS,DD,FF,GG,HH,JJ,KK)
REAL ::ZZ,XX,CC,VV,BB,NN,MM,AA,SS,DD,FF,GG,HH,JJ,KK
! ZZ=ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees
! XX=ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec
! CC=ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m
! VV=ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m
! BB=ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m
! NN=ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m
! MM=ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees
! AA=ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees
! SS=ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W
! DD=ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec
! FF=ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds
! GG=ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt
! HH=ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m2/K
! JJ=ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W
! KK=ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec

```

```

PRINT*, 'DT GASES', ZZ, 'Celsius Degrees'
PRINT*, 'GASES FLOW', XX, 'kgr/sec'
PRINT*, 'HEAT EXCHANGER HEIGHT', CC, 'm'
PRINT*, 'HEAT EXCHANGER WIDTH', VV, 'm'
PRINT*, 'HEAT EXCHANGER LENGTH', BB, 'm'
PRINT*, 'GASES DUCT DIAMETER', NN, 'm'
PRINT*, 'AIR TEMPERATURE', MM, 'Celsius Degrees'
PRINT*, 'GASES DUCT TEMPERATURE', AA, 'Celsius Degrees'
PRINT*, 'GASES HEAT FLOW', SS, 'W'
PRINT*, 'AIR SPEED', DD, 'm/sec'
PRINT*, 'Reynolds', FF
PRINT*, 'Nusselt', GG
PRINT*, 'h coefficient', HH, 'W/m2/K'
PRINT*, 'AIR HEAT FLOW', JJ, 'W'
PRINT*, 'AIR MASS FLOW', KK, 'kgr/sec'

```

```

END SUBROUTINE PRINTER

```

Inputforcedconvection115

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = -10.0
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 190.00
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Kgr/m^3 (ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)= 1.1800
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ J/kgK = 1006.2
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΙΞΩΔΕΣ ΑΕΡΑ ΣΕ m^2/sec = 0.00001254
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΜΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ $W/m/K$ = 0.0230
ΑΡΙΘΜΟΣ Prantl = 0.710

Inputforcedconvection215

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = -3.0
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 190.00
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Kgr/m^3 (ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)= 1.1754
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ J/kgK = 1006.34
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΙΞΩΔΕΣ ΑΕΡΑ ΣΕ m^2/sec = 0.00001326
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΜΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ $W/m/K$ = 0.0238
ΑΡΙΘΜΟΣ Prantl = 0.709

Inputforcedconvection315

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 0.0
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 190.00
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Kgr/m^3 (ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)= 1.1708
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ J/kgK = 1006.48
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΙΞΩΔΕΣ ΑΕΡΑ ΣΕ m^2/sec = 0.00001408
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΜΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ $W/m/K$ = 0.0246
ΑΡΙΘΜΟΣ Prantl = 0.7081

Inputforcedconvection415

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 10.0
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 190.00
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Kgr/m^3 (ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)= 1.1662
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ J/kgK = 1006.7
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΙΞΩΔΕΣ ΑΕΡΑ ΣΕ m^2/sec = 0.00001532
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΜΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ $W/m/K$ = 0.0254
ΑΡΙΘΜΟΣ Prantl = 0.7079

Inputforcedconvection515

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 27.0
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 190.00
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Kgr/m^3 (ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)= 1.1614
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ J/kgK = 1007.0
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΙΞΩΔΕΣ ΑΕΡΑ ΣΕ m^2/sec = 0.00001589
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΜΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ $W/m/K$ = 0.0263
ΑΡΙΘΜΟΣ Prantl = 0.707

Inputforcedconvection615

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 35.0
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 190.00
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Kgr/m^3 (ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ) = 1.1280
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ $\text{J}/\text{kgr}/\text{K}$ = 1007.8
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΙΞΩΔΕΣ ΑΕΡΑ ΣΕ m^2/sec = 0.00001670
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΜΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ $\text{W}/\text{m}/\text{K}$ = 0.0270
ΑΡΙΘΜΟΣ Prantl = 0.706

Inputgases15

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees = 15.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ $\text{J}/\text{Kgr}/\text{K}$ = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77

Inputheatexc15

ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = 10.400
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = 8.400
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = 12.640
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = 6.400

Outputgeneral115

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 15.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = -10.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 458310.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 5.0100
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 2556938.0
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 2799.63
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ $\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$ = 10.061
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 511134.69
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 627.691

Outputgeneral215

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 15.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = -3.000

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 458310.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 5.0100
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 2418099.8
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 2661.26
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 9.897
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 485174.56
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 625.244

Outputgeneral315

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 15.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 0.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 458310.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 5.0100
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 2277272.8
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 2520.71
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 9.689
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 467614.44
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 622.797

Outputgeneral415

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 15.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 10.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 458310.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 5.3200
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 2222457.5
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 2465.08
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 9.810
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 448548.19
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 658.736

Outputgeneral515

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 15.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 458310.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 5.9500
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 2396484.5
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 2636.94
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 10.836
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 448663.28
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 733.714

Outputgeneral615

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 15.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 35.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 458310.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 6.4300
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 2464204.3
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 2702.12
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 11.400
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 448825.41
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 770.103

Inputforcedconvection120

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = -10.0
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 190.00
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Kgr/m^3 (ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)= 1.1800
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ J/kgK = 1006.2
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΙΞΩΔΕΣ ΑΕΡΑ ΣΕ m^2/sec = 0.00001254
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΜΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ $W/m/K$ = 0.0230
ΑΡΙΘΜΟΣ Prandl = 0.710

Inputforcedconvection220

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = -3.0
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 190.00
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Kgr/m^3 (ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)= 1.1754
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ J/kgK = 1006.34
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΙΞΩΔΕΣ ΑΕΡΑ ΣΕ m^2/sec = 0.00001326
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΜΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ $W/m/K$ = 0.0238
ΑΡΙΘΜΟΣ Prandl = 0.709

Inputforcedconvection320

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 0.0
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 190.00
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Kgr/m^3 (ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)= 1.1708
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ J/kgK = 1006.48
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΙΞΩΔΕΣ ΑΕΡΑ ΣΕ m^2/sec = 0.00001408
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΜΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ $W/m/K$ = 0.0246
ΑΡΙΘΜΟΣ Prandl = 0.7081

Inputforcedconvection420

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 10.0
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 190.00
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Kgr/m^3 (ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)= 1.1662
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ J/kgK = 1006.7
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΙΞΩΔΕΣ ΑΕΡΑ ΣΕ m^2/sec = 0.00001532
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΜΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ $W/m/K$ = 0.0254
ΑΡΙΘΜΟΣ Prandl = 0.7079

Inputforcedconvection520

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 27.0
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 190.00
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Kgr/m^3 (ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)= 1.1614
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ J/kgK = 1007.0
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΙΞΩΔΕΣ ΑΕΡΑ ΣΕ m^2/sec = 0.00001589
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΜΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ $W/m/K$ = 0.0263
ΑΡΙΘΜΟΣ Prandl = 0.707

Inputforcedconvection620

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 35.0
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 190.00
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Kgr/m^3 (ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ) = 1.1280
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ $\text{J}/\text{kgr}/\text{K}$ = 1007.8
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΙΣΩΔΕΣ ΑΕΡΑ ΣΕ m^2/sec = 0.00001670
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΜΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ $\text{W}/\text{m}/\text{K}$ = 0.0270
ΑΡΙΘΜΟΣ Pranti = 0.706

Inputgases20

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees = 20.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ $\text{J}/\text{Kgr}/\text{K}$ = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77

Inputheatexc20

ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = 10.400
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = 8.400
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = 12.640
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = 6.400

Outputgeneral120

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 20.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = -10.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 611080.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 6.0000
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 3062212.8
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 3295.12
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ $\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$ = 11.842
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 601597.81
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 751.729

Outputgeneral220

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 20.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = -3.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 611080.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 6.3600
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 3069698.3
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 3300.57
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 12.274
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 601727.94
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 793.727

Outputgeneral320

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 20.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 0.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 611080.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 6.6300
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 3013653.3
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 3244.18
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 12.470
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 601824.38
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 824.186

Outputgeneral420

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 20.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 10.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 611080.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 7.3901
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 3087229.3
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 3315.62
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 13.159
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 601655.75
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 915.055

Outputgeneral520

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 20.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 611080.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 8.2301
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 3314819.0
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 3535.54
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 14.529
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 601555.13
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 1014.873

Outputgeneral620

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 20.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 35.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 611080.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 8.8801
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 3403148.0
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 3619.33
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 15.269
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 601173.75
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 1063.537

Inputforconvection125

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = -10.0
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 190.00
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Kgr/m^3 (ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)= 1.1800
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ $J/kg/K$ = 1006.2
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΙΞΩΔΕΣ ΑΕΡΑ ΣΕ m^2/sec = 0.00001254
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΜΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ $W/m/K$ = 0.0230
ΑΡΙΘΜΟΣ Prantl = 0.710

Inputforconvection225

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = -3.0
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 190.00
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Kgr/m^3 (ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)= 1.1754
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ $J/kg/K$ = 1006.34
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΙΞΩΔΕΣ ΑΕΡΑ ΣΕ m^2/sec = 0.00001326
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΜΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ $W/m/K$ = 0.0238
ΑΡΙΘΜΟΣ Prantl = 0.709

Inputforconvection325

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 0.0
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 190.00
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Kgr/m^3 (ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)= 1.1708
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ $J/kg/K$ = 1006.48
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΙΞΩΔΕΣ ΑΕΡΑ ΣΕ m^2/sec = 0.00001408
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΜΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ $W/m/K$ = 0.0246
ΑΡΙΘΜΟΣ Prantl = 0.7081

Inputforconvection425

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 10.0
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 190.00
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Kgr/m^3 (ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)= 1.1662
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ $J/kg/K$ = 1006.7
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΙΞΩΔΕΣ ΑΕΡΑ ΣΕ m^2/sec = 0.00001532
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΜΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ $W/m/K$ = 0.0254
ΑΡΙΘΜΟΣ Prantl = 0.7079

Inputforconvection525

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 27.0
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 190.00
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Kgr/m^3 (ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)= 1.1614
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ $J/kg/K$ = 1007.0
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΙΞΩΔΕΣ ΑΕΡΑ ΣΕ m^2/sec = 0.00001589
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΜΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ $W/m/K$ = 0.0263
ΑΡΙΘΜΟΣ Prantl = 0.707

Inputforconvection625

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 35.0
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ Celsius = 190.00
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Kgr/m³ (ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)= 1.12
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ J/kgr/K = 1007.8
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΙΞΩΔΕΣ ΑΕΡΑ ΣΕ m²/sec = 0.00001670
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΜΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m/K = 0.0270
ΑΡΙΘΜΟΣ Prantl = 0.706

Inputgases25

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 25.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77

Inputheatexc20

ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = 10.400
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = 8.400
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = 12.640
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = 6.400

Outputgeneral125

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 25.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = -10.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 763850.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 7.6901
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 3924752.3
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 4133.72
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 14.856
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 754702.13
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 963.470

Outputgeneral225

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 25.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = -3.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 763850.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 8.1401
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 3928843.3
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 4135.34
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 15.378
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 753915.31
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 1015.875

Outputgeneral325

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 25.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 0.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 763850.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 8.4701
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 3850036.0
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 4056.78
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 15.625
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 754099.13
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 1052.923

Outputgeneral425

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 25.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 10.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 763850.000

ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 9.4301
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 3939468.0
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 4143.04
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 16.488
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 753871.69
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 1167.658

Outputgeneral525

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 25.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 763850.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 10.5301
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 4241209.0
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 4432.11
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 18.213
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 754103.69
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 1298.499

Outputgeneral625

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 25.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 35.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 763850.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 11.3701
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 4357421.5
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 4541.50
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 19.159
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 754347.00
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 1361.763

Inputgases1.1

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 8.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77

Inputgases1.2

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 10.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77

Inputgases1.3

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 15.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77

Inputgases1.4

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 20.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77

Inputgases1.5

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 25.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77

Inputgases1.6

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 30.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77

Inputgases1.7

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 35.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ

Inputgases1.8

ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 40.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77

Inputheatexc1

ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = 10.400
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = 8.400
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = 6.320
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = 6.400

Outputgeneral1.1

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 8.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 6.3200
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 244432.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 6.2500
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 2517318.0
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 2755.93
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 11.325
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 234453.98
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 385.354

Outputgeneral1.2

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 10.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 6.3200
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 305540.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 8.0801
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 3254402.3
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 3476.77
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 14.287
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 295778.00
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 498.188

Outputgeneral1.3

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 15.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 6.3200

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 458310.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 12.7002
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 5115238.0
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 5271.94
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 21.664
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 448498.34
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 783.047

Outputgeneral1.4

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 20.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 6.3200
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 611080.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 17.3703
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 6996212.0
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 7066.03
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 29.037
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 601126.19
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 1070.989

Outputgeneral1.5

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 25.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 6.3200
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 763850.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 22.0804
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 8893298.0
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 8863.23
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 36.422
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 754018.88
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 1361.397

Outputgeneral1.6

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 30.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 6.3200
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 916620.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 26.8105
ΑΡΙΘΜΟΣ Reinolds = 10798439.0
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 10659.77
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 43.805
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 906855.13
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 1653.039

Outputgeneral1.7

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 35.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 6.3200
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 1069390.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 31.5506
ΑΡΙΘΜΟΣ Reinolds = 12707608.0
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 12454.06
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 51.178
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 1059500.13
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 1945.297

Outputgeneral1.8

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 40.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 6.3200
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 1222160.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 36.3099
ΑΡΙΘΜΟΣ Reinolds = 14624501.0

ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 14250.95

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ $W/m^2/K$ = 58.563

ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 1212366.63

ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kg/sec = 2238.737

Inputgases2.1

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 8.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77

Inputgases2.2

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 10.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77

Inputgases2.3

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 15.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77

Inputgases2.4

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 20.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77

Inputgases2.5

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 25.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77

Inputgases2.6

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 30.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77

Inputgases2.7

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 35.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ

Inputgases2.8

ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 40.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77

Inputheatexc2

ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = 10.400
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = 8.400
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = 12.640
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = 6.400

Outputgeneral2.1

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 8.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 244432.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 5.0100
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 2017873.0
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 2262.19
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 9.296
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 384901.66
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 617.797

Outputgeneral2.2

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 10.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 305540.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 5.0100
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 2017873.0
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 2262.19
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 9.296
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 384901.66
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 617.797

Outputgeneral2.3

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 15.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000

ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 458310.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 5.9500
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 2396484.5
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 2636.94
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 10.836
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 448663.28
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 733.714

Outputgeneral2.4

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 20.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 611080.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 8.2301
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 3314819.0
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 3535.54
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 14.529
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 601555.13
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 1014.873

Outputgeneral2.5

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 25.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 763850.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 10.5301
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 4241209.0
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 4432.11
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 18.213
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 754103.69
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 1298.499

Outputgeneral2.6

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 30.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 916620.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 12.8502
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 5175654.5
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 5329.82
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 21.902
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 906844.69
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 1584.592

Outputgeneral2.7

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 35.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 1069390.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 15.1802
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 6114128.0
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 6226.56
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 25.587
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 1059419.75
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 1871.917

Outputgeneral2.8

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 40.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 12.6400
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 1222160.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 17.5303
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 7060656.5

ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 7127.25

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ $W/m^2/K$ = 29.289

ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 1212669.13

ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kg/sec = 2161.709

Inputgases3.1

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 8.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77

Inputgases3.2

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 10.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77

Inputgases3.3

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 15.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77

Inputgases3.4

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 20.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77

Inputgases3.5

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 25.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77

Inputgases3.6

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 30.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77

Inputgases3.7

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 35.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ

Inputgases3.8

ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΔΤ ΣΕ Celsius degrees= 40.00
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ J/Kgr/K = 1200.00
ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.77

Inputheatexc3

ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = 10.400
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = 8.400
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = 18.960
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΜΕΤΡΑ = 6.400

Outputgeneral3.1

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 8.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 18.9600
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 244432.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 5.0100
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 2017873.0
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 2262.19
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 9.296
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 577352.44
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 926.696

Outputgeneral3.2

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 10.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 18.9600
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 305540.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 5.0100
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 2017873.0
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 2262.19
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 9.296
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 577352.44
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 926.696

Outputgeneral3.3

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 15.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000

ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 18.9600
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 458310.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 5.0100
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 2017873.0
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 2262.19
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 9.296
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 577352.44
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 926.696

Outputgeneral3.4

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 20.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 18.9600
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 611080.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 5.2500
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 2114539.8
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 2358.18
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 9.691
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 601849.94
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 971.089

Outputgeneral3.5

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 25.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 18.9600
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 763850.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 6.7600
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 2722735.0
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 2957.62
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 12.154
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 754837.31
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 1250.399

Outputgeneral3.6

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 30.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 18.9600
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 916620.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 8.2801
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 3334957.8
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 3555.12
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 14.609
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 907329.75
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 1531.559

Outputgeneral3.7

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 35.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 18.9600
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 1069390.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 9.8101
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 3951208.5
ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 4152.27
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 17.063
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 1059734.50
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 1814.568

Outputgeneral3.8

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 40.000
ΡΟΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ kgr/sec = 152.770
ΥΨΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 10.4000
ΠΛΑΤΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 8.4000
ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ m = 18.9600
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ m = 6.4000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΣΕ Celsius Degrees = 27.000
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ Celsius Degrees = 190.000
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ W = 1222160.000
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ m/sec = 11.3501
ΑΡΙΘΜΟΣ Reynolds = 4571487.0

ΑΡΙΘΜΟΣ Nusselt = 4750.06
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ ΑΕΡΑ ΣΕ W/m²/K = 19.520
ΘΕΡΜΟΡΟΗ ΑΕΡΑ ΣΕ W = 1212299.75
ΠΑΡΟΧΗ ΜΑΖΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ kgr/sec = 2099.427