



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
TECHNICAL UNIVERSITY
OF CRETE

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΩΝ ΡΥΠΩΝ

Εξεταστική Επιτροπή:

Επιβλέπων : Γεώργιος Σταυρουλάκης, Καθηγητής

Πρώτο Μέλος : Βασίλειος Μουστάκης, Καθηγητής

Δεύτερο Μέλος : Μαρία Μπακατσάκη, ΕΔΙΠ

Διπλωματική εργασία

Υπό : Μιλτιάδης Μαστορόπουλος

ΑΜ 2015010090

Χανιά, 2022

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία στοχεύει στην παράθεση και ανάλυση των πλέον διαδεδομένων και εφαρμοσμένων τεχνολογιών συγκράτησης και διαχείρισης σωματιδιακών ρύπων, μέσω βιβλιογραφικής αναφοράς κυρίως σε επιστημονικά βιβλία. Επιπλέον βασική πηγή πληροφοριών αποτέλεσε η συνεργασία με την εταιρία μηχανολογικών εγκαταστάσεων '*P&M Engineering*'. Η εργασία τούτη πραγματεύεται τις κατηγορίες των ρύπων που παράγονται από την καύση υλικών, τη διακίνησή τους σε τμήματα επεξεργασίας, καθώς και όσους προκαλούνται από οποιαδήποτε άλλη βιομηχανική δραστηριότητα. Γίνεται αναφορά σε κανονισμούς που θεσπίζονται ολόένα και με πιο αυστηρά όρια καθώς και σε μια νέα τεχνολογία διαχείρισης ρύπων, η οποία χρησιμοποιεί υλικά αυξητικής μικροδομής.

Κάθε ρύπος μελετάται ως σωματίδιο με βάση τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά καθώς και τη χημική του σύσταση. Τα σωματίδια αυτά, ακολουθούν συγκεκριμένη κίνηση, συμπαρασυρόμενα από την ροή του αέρα που τα οδηγεί στην μονάδα επεξεργασίας και συγκράτησης. Πολλές φορές υπεισέρχεται και μια επιπλέον διαδικασία εξουδετέρωσης, όπου χρειάζεται. Η διαδικασία αυτή μελετάται ως κίνηση ρευστού που διαρρέει κάποιον αγωγό με συγκεκριμένο τρόπο ή είτε απλώς εκλύεται σε ένα εργασιακό περιβάλλον ή την ατμόσφαιρα. Η πορεία που ακολουθεί καθώς και η επερχόμενη πίεση εντός του αγωγού διαφέρουν αναλόγως την διαδικασία και την γεωμετρία της διάταξης των αγωγών όπου υπάρχουν.

Η παραπάνω διαδικασία υπάγεται στη λειτουργία των δικτύων φιλτραρίσματος. Θα ακολουθήσουν μερικοί τρόποι υπολογισμών των βασικών παραμέτρων αυτών των δικτύων. Όπως θα εξηγηθεί παρακάτω η ροή του αέρα δημιουργείται από μια πηγή η οποία παράγει επαρκή δύναμη αναρρόφησης, τέτοια ώστε να εγείρει τα σωματίδια ή τη σκόνη που παράγεται και να τα οδηγήσει στη μονάδα διαχείρισης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
1 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	4
1.2 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΡΥΠΟΣ.....	4
1.3 ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ.....	5
1.4 ΔΙΑΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	5
1.5 ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ.....	7
2 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΓΕΝΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	9
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ	9
2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ.....	9
2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	11
2.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ	21
2.5 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ.....	23
3 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΒΑΣΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ.....	30
3.1 ΚΥΚΛΩΝΕΣ	32
3.2 ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ	37
3.2.1 Τεχνική σχεδίαση των ESP	41
3.2.2 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ESP	46
3.3 ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	47
3.3.1 ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ ΜΕ ΘΑΛΑΜΟ ΨΕΚΑΣΜΟΥ (spray-chamber scrubbers)	50
3.3.2 ΘΑΛΑΜΟΙ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΜΕ ΚΥΚΛΩΝΑ	54
3.3.3 ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ ΜΕ ΣΤΟΜΙΟ.....	55
3.3.4 ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗΣ ΣΕ ΥΓΡΟ	56
3.3.5 ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ VENTURI	57
3.3.7 ΚΟΣΤΟΣ ΠΛΥΝΤΡΙΔΩΝ	59
3.4 ΣΑΚΟΦΙΛΤΡΑ	60
4 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΑΥΞΗΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	69
Βιβλιογραφία	72

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Οι δράσεις του ανθρώπινου είδους ξεκίνησαν να προκαλούν ρύπους πριν από μια χιλιετία περίπου. Αυτοί προέρχονταν από προβιομηχανικές πόλεις όπως το Λονδίνο, όπου λάμβανε χώρα η καύση κάρβουνου στις ασβεστοκάμινους. Η κατάσταση πολλές φορές οδηγούσε σε απαγόρευση της εν λόγω καύσης για πολλά χρόνια, έως ότου αποκατασταθεί το πρόβλημα που δημιουργείται. Η αυξημένη χρήση του κάρβουνου, ως η λιγότερο επιθυμητή και η περισσότερο ρυπογόνα μέθοδος για την παραγωγή ενέργειας, προκάλεσε πανούκλα ή αλλιώς μαύρο θάνατο κατά τον 15ο αιώνα. Βέβαια αυτό και μερικά ακόμα, ήταν γεγονότα που αφορούσαν μεμονωμένα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε κάποιες περιοχές. Η μετάβαση από το τοπικό στο παγκόσμιο επίπεδο έγινε με την έλευση της βιομηχανικής επανάστασης σε συνδυασμό με την αύξηση του πληθυσμού.

Η σημερινή εποχή χαρακτηρίζεται από έντονη βιομηχανική δραστηριότητα η οποία αυξάνεται συνεχώς. Ολοένα και πιο συχνά εγκαθιδρύεται η χρήση μηχανολογικών διατάξεων και συνόλων για την επίτευξη συγκεκριμένων λειτουργιών των επιχειρήσεων. Στις περισσότερες των περιπτώσεων προκαλείται ένα περιβαλλοντικό αποτύπωμα λόγω των ρύπων που αφήνουν οι παραπάνω διεργασίες. Η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν είναι ένα νέο φαινόμενο, αλλά αποτελούσε πρόβλημα σε μερικές περιοχές εδώ και αιώνες. Πλέον κάθε επιχείρηση ή εργοστάσιο υποχρεούται της συμμόρφωσης σε συγκεκριμένα ενεργειακά και περιβαλλοντικά πρότυπα. Έτσι απαιτείται ο έλεγχος των παραγόμενων ρύπων, οι οποίοι μπορεί να είναι αέριοι ή σωματιδιακοί σε πολλές περιπτώσεις. (Alley, 2004)

1.2 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΡΥΠΟΣ

Σε πολλές περιπτώσεις η έννοια της ρύπανσης είναι συνώνυμη με αυτήν της μόλυνσης. Ωστόσο σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία, η μόλυνση είναι το τμήμα της ρύπανσης που σχετίζεται με βιοτικούς παράγοντες. Στην πραγματικότητα η έννοια της ρύπανσης έχει γενική έννοια, η οποία σχετίζεται τόσο με βιοτικούς, όσο και με αβιοτικούς παράγοντες. Συνεπώς οι αέριοι ρύποι αφορούν οτιδήποτε μολύνει με κάποιο τρόπο την ατμόσφαιρα.

Αξίζει να αναφερθεί η ετυμολογία του όρου από τον διοικητικό κώδικα της Φλόριντα. Σύμφωνα με αυτόν ατμοσφαιρική ρύπανση ορίζεται ως η παρουσία στην ατμόσφαιρα οποιονδήποτε ενός ή περισσότερων ουσιών ή ρύπων σε ποσότητες οι οποίες είναι ή μπορεί να είναι επιβλαβείς ή επιζήμιες για την ανθρώπινη υγεία ή ευεξία, για την ύπαρξη των ζώων και των φυτών, ή των περιουσιών, ή αδικαιολόγητα παρεμβαίνουν στις απολαύσεις της ζωής και της περιουσίας, συμπεριλαμβανομένης και της υπαίθριας αναψυχής.

Σύμφωνα με τον προηγούμενο ορισμό, οποιοδήποτε στερεό, υγρό ή αέριο που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα σε μια συγκέντρωση η οποία προκαλεί κάποια επιβλαβή αποτελέσματα θεωρείται ως αέριος ρύπος. Όταν βέβαια μια τέτοια ουσία εκπέμπεται σε μεγάλο βαθμό, με επιβλαβείς συνέπειες, τότε θεωρείται από τους πιο σημαντικούς ρύπους.

Έχουν επιβληθεί Εθνικά πρότυπα ποιότητας ατμόσφαιρας περιβάλλοντος (*National Ambient Air Quality Standards – NAAQSs*) για έξι αέριους ρύπους κριτήρια, οι οποίοι διαχωρίζονται σε δύο επιμέρους κατηγορίες με συγκεκριμένο τρόπο. Υπάρχουν πέντε πρωτογενής, με την έννοια ότι

Ανάλυση τεχνολογιών συγκράτησης και διαχείρισης σωματιδιακών ρύπων
εκπέμπονται άμεσα και ένας δευτερογενής. Ο τελευταίος καλείται έτσι διότι σχηματίζεται στην χαμηλότερη ατμόσφαιρα από χημικές αντιδράσεις μεταξύ των πρωτογενών ρύπων. (Chan, 2005)

1.3 ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ

Η διάμετρος των σωματιδίων μετρείται σε μικρόμετρα (microns). Συγκεκριμένα 1 micron ισούται με 10^{-6} μέτρα. Μεγάλα σωματίδια θεωρούνται όσα έχουν διάμετρο μεγαλύτερη των 10 microns. Για λόγους σύγκρισης και κατανόησης αναφέρεται ότι η διάμετρος της ανθρώπινης τρίχας κυμαίνεται από 50 έως 110 microns. Σε αντίθετη περίπτωση ως μικρά σωματίδια λαμβάνονται υπόψη αυτά των οποίων η διάμετρος είναι μικρότερη του ενός micron. Ιδιαίτερη προσοχή δίδεται σε σωματίδια με μέγεθος διαμέτρου από 0.7 έως 7 microns, καθώς τα συγκεκριμένα είναι επιβλαβή για τους πνεύμονες και συλλέγονται με δύσκολο τρόπο.

Οι σωματιδιακοί ρύποι αέριας φύσης αποτελούν έναν από τους πλέον χαρακτηριστικούς ρύπους της εποχής μας. Προέρχονται από μία μεγάλη ποικιλία πηγών και έχουν ένα σημαντικό εύρος διαφορετικών μορφολογικών, χημικών, φυσικών και θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών. Η διάμετρός τους ποικίλει από μερικά νανόμετρα έως και 100μm και σχετίζεται άμεσα με τον τρόπο σχηματισμού της εκπομπής τους. Υπάρχουν διάφορα κριτήρια για την ομαδοποίηση των αιωρούμενων σωματιδίων σε επιμέρους κλάσματα, όπως το μέγεθος, η σύσταση, ο τρόπος σχηματισμού και οι φυσικές και χημικές τους ιδιότητες. Το συνηθέστερο και ευρύτερα χρησιμοποιούμενο κριτήριο ομαδοποίησης τους, ωστόσο, είναι η διάμετρός τους.

Λόγω της διαφορετικής μορφολογίας των σωματιδίων είναι αδύνατη η έκφραση κοινής παραμέτρου μεγέθους. Έτσι χρησιμοποιείται το μέγεθος της ισοδύναμης διαμέτρου. Η συγκεκριμένη μπορεί να προσδιοριστεί γεωμετρικά είτε από τα φυσικά χαρακτηριστικά όπως και συνηθίζεται. Συγκεκριμένα γίνεται αναφορά στον όρο της αεροδυναμικής διαμέτρου.

Πρόκειται για την διάμετρο ενός σφαιρικού σωματιδίου το οποίο έχει πυκνότητα 1gr/cm^3 το οποίο συμπεριφέρεται αεροδυναμικά το ίδιο με το προς μελέτη σωματίδιο. Έχει δηλαδή την ίδια ταχύτητα πτώσης στον ακίνητο αέρα. Η συγκεκριμένη αναφέρεται και ως τερματική ταχύτητα καθίζησης. Το μέτρο της αεροδυναμικής διαμέτρου χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό και την κατηγοριοποίηση των σωματιδίων. Τα σωματίδια υπάγονται σε 3 βασικές κατηγορίες με βάση αυτήν, τα PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ και τα PM_{10} . Οι δείκτες σε κάθε όρο PM (particulate matters) αναφέρονται στο ανώτατο όριο της αεροδυναμικής διαμέτρου που έχουν τα σωματίδια τα οποία υπάγονται στην εκάστοτε κατηγορία. (Κωνσταντίνος, 2013)

1.4 ΔΙΑΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Το εύρος μεγέθους της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης κυμαίνεται από μερικά νανόμετρα μέχρι 100μm.

ΟΛΙΚΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΤΕΡΕΑ

Είναι ο όρος που δόθηκε στο σύνολο των αιωρούμενων σωματιδίων και σταγονιδίων. Αυτά ποικίλουν από 0.01μm μέχρι μερικές εκατοντάδες μm. Διακρίνονται σε 2 τύπους σωματιδίων

Α) Λεπτόκοκα: σωματίδια με μέγεθος διαμέτρου μέχρι 2.5μm

i)Υποκατηγορία πυρήνα : μέγεθος 0.1-1 μm . Προέρχονται από πηγές καύσης ή είναι συμπυκνώματα προϊόντων καύσης, Δεν έχουν δυνατότητα μεγάλης παραμονής στην ατμόσφαιρα καθώς σχηματίζουν συσσωματώματα. Έτσι αυξάνεται η διάμετρος και η ικανότητα καθίζησης

ia] Μεταβατικά σωματίδια πυρήνα

ib] Υπερ-λεπτόκοκκα σωματίδια πυρήνα. Κατασκευάζονται μέσω της θέρμανσης ενός μετάλλου ή ενός άλατος έως ότου φτάσει σε σημείο εξάχνωσης. Ο παραγόμενος ατμός υφίσταται συμπύκνωση μέσω γρήγορης ψύξης, με αποτέλεσμα τη δημιουργία πολλών σωματιδίων.

ii)Υποκατηγορία συσώρευσης

Όταν λαμβάνει χώρα συμπύκνωση επιπρόσθετου υλικού στις συσσωματώσεις της υποκατηγορίας πυρήνα, τότε δημιουργούνται σωματίδια υποκατηγορίας συσώρευσης μεγέθους 0.1-2.5 μm . Διαφορετικά σχηματίζονται μέσω των χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στα σύννεφα. Τα σωματίδια αυτής της υποκατηγορίας χωρίζονται σε 2 ομάδες

iiα] Συμπυκνώματα, τα οποία είναι τα μικρότερα της κατηγορίας συσώρευσης. Σχηματίζονται από τη συσσωμάτωση μη υγροσκοπικών στοιχείων πυρήνα και παρουσιάζουν μέγιστο στην κατανομή κατά μάζα περίπου στα 0.2 μm

iiβ] Σταγονίδια, τα οποία σχηματίζονται επάνω στην επιφάνεια αιωρούμενων σωματιδίων μέσω αντιδράσεων υγρής φάσης μεταξύ σταγονιδίων μέσα σε νέφη ή ομίχλη.

B.ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΑ

Ως χονδρόκοκκα λαμβάνονται υπόψη τα αιωρούμενα σωματίδια των οποίων η αεροδυναμική διάμετρος είναι μεγαλύτερη από 2.5 μm . Κατατάσσονται με βάση την διεισδυτικότητα στον ανθρώπινο οργανισμό. Η μείωση της διαμέτρου διευκολύνει την διεισδυτικότητα των σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα, ενώ έχουν δημιουργηθεί 3 βασικές κατηγορίες:

α) ΕΙΣΠΝΕΥΣΙΜΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

Πρόκειται για τα αιωρούμενα σωματίδια τα οποία εισέρχονται στο ανώτερο σύστημα της αναπνευστικής οδού (ρινοφάρυγγας). Αυτό το κλάσμα των ολικών σωματιδίων περιλαμβάνει σωματίδια με διαμέτρους μικρότερες από 10 μm . Σωματίδια μεγαλύτερης διαμέτρου κατακρατούνται στην στοματική και ρινική κοιλότητα

β) ΘΩΡΑΚΙΚΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

Καλείται το κλάσμα των PM10 που καταφέρνουν να διαπερνούν το ανώτερο τμήμα της αναπνευστικής οδού, των οποίων το μέγεθος λαμβάνεται υπόψιν ως 7 μm .

γ) ΑΝΑΠΝΕΥΣΙΜΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

Είναι ικανά να εισέλθουν στα βάθη των πνευμόνων και έχουν πολύ σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Το μέγεθος της αεροδυναμικής διαμέτρου τους δεν ξεπερνά τα 2.5 μm .

1.5 ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

Αναλόγως τα γεωφυσικά τους χαρακτηριστικά τα σωματίδια μπορούν να παρουσιάσουν δυνατότητα αιώρησης σε πολλές περιπτώσεις. Όσα αιωρούνται (Particle Matters- PM) αποτελούν μια σημαντική κατηγορία αέριας ρύπανσης. Μπορεί να συναντηθούν σε σταγονίδια υγρής μορφής, είτε σε ξηρές σκόνες, τα οποία διαθέτουν ένα μεγάλο φάσμα φυσικών και χημικών ιδιοτήτων. Χρησιμοποιούνται για την περιγραφή διάφορων ουσιών που υπάρχουν στον ατμοσφαιρικό αέρα, αποτελώντας έναν από τους πιο σημαντικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους. Εκπέμπονται από ποικίλες πηγές, όπως για παράδειγμα τις βιομηχανικές διεργασίες με ή χωρίς καύση, των μεταλλευτικών ή και κατασκευαστικών δραστηριοτήτων, των οχημάτων με κινητήρα καθώς και της αποτέφρωσης απορριμμάτων. Βέβαια υπάρχουν φυσικές πηγές σωματιδίων όπως τα ηφαίστεια, οι πυρκαγιές στα δάση, οι ανεμοθύελλες, η γύρη των φυτών, τα σταγονίδια των ωκεανών. Η περισσότερη ποσότητα μάζας αυτών των αερολυμάτων βρίσκεται στην κατώτερη τροπόσφαιρα, καθώς οι περισσότερες πηγές τους βρίσκονται κοντά στο έδαφος και ταυτόχρονα έχουν σχετικά μικρό χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα τη δύσκολη διάδοσή τους σε μεγάλα ύψη. Εκτιμάται ότι ευθύνονται για το 1,2 % των θανάτων παγκοσμίως σε ετήσια βάση. Μπορούν να προέλθουν μέσω της ανθρώπινης δραστηριότητας είτε κατευθείαν μέσω των φυσικών πηγών που αναφέρθηκαν.

Η χρήση της βενζίνης από τις μηχανές εσωτερικής καύσης μπορεί να επιφέρει σημαντικές ποσότητες σωματιδιακών ατμοσφαιρικών ρύπων. Η σύσταση της ως παράγωγο της κλασματικής απόσταξης του πετρελαίου ποικίλει ανάλογα με τον αριθμό των οκτανίων που εμπεριέχονται. Όσο μεγαλώνει ο αριθμός τόσο μεγαλώνει η ποιότητα καύσης και συνάμα ελαττώνονται τα υπολείμματα καύσης. Μικρός αριθμός οκτανίων συνεπάγεται ατελής καύση η οποία έχει ως συνέπεια την έκκλιση μονοξειδίου του άνθρακα και άκαυστων υδρογονανθράκων. Οι βιομηχανίες είναι υποχρεωμένες να χρησιμοποιούν καταλυτικούς μετατροπείς ώστε να μετατρέψουν τις εκλύσεις αυτές σε αβλαβές διοξείδιο του άνθρακα. Πρόκειται για ένα μεταλλικό εξάρτημα διαμέσου του οποίου περνούν τα καυσαέρια και μετατρέπονται σε αβλαβείς ουσίες. Η υψηλή θερμοκρασία τους σε συνδυασμό με την ύπαρξη ευγενών μετάλλων (ρόδιο, παλλάδιο ή πλατίνα) στο υλικό κατασκευής του καταλύτη, ευνοούν την έναρξη κάποιων χημικών αντιδράσεων οι οποίες μετατρέπουν τους ρύπους σε λιγότερο επικίνδυνες ουσίες.

Μία άλλη κύρια πηγή θεωρείται η καύση του λιγνίτη ως μέσο για την παραγωγή ενέργειας. Παγκοσμίως γίνεται χρήση του η οποία τα τελευταία χρόνια έχει μειωθεί λόγω της εισαγωγής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, του φυσικού αερίου, καθώς και λόγω των ηλεκτροστατικών κατακρημνιστών. Παρόλο αυτά η Ελλάδα λόγω των ιδιαίτερα μεγάλων αποθεμάτων λιγνίτη που διαθέτει, εξακολουθεί να τον χρησιμοποιεί σε υψηλό ποσοστό. Το εθνικό μας ενεργειακό ισοζύγιο απαρτίζεται από περίπου 50% καύση λιγνίτη. Τα αιωρούμενα σωματίδια συγκαταλέγονται ανάμεσα στους κύριους ρυπαντές της διαδικασίας της καύσης (διοξείδιο του άνθρακα, νιτρικά οξείδια και διοξείδιο του θείου και βαρέα μέταλλα). Η επικινδυνότητα τους εξαρτάται από την περιεκτικότητα τους σε χημικές ουσίες και από την διάμετρό τους.

Με βάση το κριτήριο της διαμέτρου η νομοθεσία διαφοροποιεί τα παραπάνω εισπνεύσιμα σε σωματίδια με μήκος μικρότερο από 2.5 μm και σε αυτά με μήκος μικρότερο από 10 μm . Έτσι προκύπτουν οι κατηγορίες των PM_{2,5} και PM₁₀. Τα πρώτα προέρχονται από τις πηγές καύσης και από τον χημικό μετασχηματισμό των αέριων ρύπων στην ατμόσφαιρα (οξείδια αζώτου και πτητικοί υδρογονάνθρακες). Ένα παράδειγμα είναι οι εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας και τα χυτήρια, από τα οποία παράγεται αέριο διοξείδιο του θείου το οποίο μετατρέπεται άμεσα σε μικρά σωματίδια θείου. Τα μεγαλύτερα (PM₁₀) σωματίδια προέρχονται από τα μεταλλεύματα, τις πυρκαγιές, την ατμοσφαιρική σκόνη και σχεδόν από κάθε κατασκευαστική δραστηριότητα. Σε πολλές περιπτώσεις πρόκειται για ιδιαίτερα επικίνδυνα και τοξικά σωματίδια. Εάν η σύσταση των σωματιδίων περιέχει αρωματικούς υδρογονάνθρακες (πχ βενζόλιο, τολουόλιο, ξυλόλιο, βενζοπυρένιο) σε υψηλές συγκεντρώσεις τότε αυξάνεται η πιθανότητα δημιουργίας καρκινογένεσης (Vineis *et al*, 2004). Για προφανείς λόγους η Ευρωπαϊκή ένωση έχει θεσπίσει κάποια όρια σε ημερήσια ή ετήσια βάση που

αφορούν από κοινού τις 2 προαναφερθείσες κατηγορίες σωματιδιακών ρύπων. Συγκεκριμένα για τα PM_{10} σωματίδιο έχει τεθεί όριο μέσης ημερήσιας συγκέντρωσης $50\mu g/m^3$ του οποίου δεν πρέπει να γίνεται υπέρβαση πάνω από 35 φορές το χρόνο. Επιπλέον η μέση ετήσια τιμή των PM_{10} πρέπει να βρίσκεται κάτω από $40\mu g/m^3$, σύμφωνα με την οδηγία 1999/30 της ΕΕ. Για την περίπτωση των $PM_{2.5}$ σωματιδίων έχει θεσπιστεί μόνο ετήσια τιμή ορίου και ανέρχεται στα $25\mu g/m^3$. Οι συγκεκριμένες αυτές τιμές μειώνονται με την πρόοδο της τεχνολογίας των μεθόδων συγκράτησης σωματιδιακών ρύπων και σε συνδυασμό με τις υγειονομικές παρατηρήσεις τίθενται ολοένα και αυστηρότερα όρια.

Εφαρμόζονται τρεις βασικές μέθοδοι παρακολούθησης για την ανίχνευση των παραπάνω σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Κυριότερη είναι αυτή της λήψης ενός δείγματος αέρα ο οποίος διέρχεται από συσκευή η οποία χρησιμοποιεί κωνικό στοιχείο ταλάντωσης μικροζυγού. Η διάμετρος του σωλήνα του εισερχόμενου αέρα είναι προσαρμοσμένη στο μήκος διαμέτρου της κατηγορίας σωματιδίων προς μέτρηση. Στο άνω μέρος του σωλήνα είναι τοποθετημένο ένα φίλτρο που ακολουθεί μια ταλάντωση ενώ η ποσότητα του αέρα που εισέρχεται είναι συγκεκριμένη, με ένα μέρος της να καταλήγει στο κωνικό στοιχείο ταλάντωσης μικροζυγού. Η υπόλοιπη ποσότητα αέρα διοχετεύεται στο περιβάλλον, ενώ η αύξηση της μάζας του φίλτρου λόγω της προσκόλλησης των σωματιδίων δείχνει την συγκέντρωση τους.

Εναλλακτικά χρησιμοποιείται ένα όργανο δέσμης ακτινοβολίας '*Beta ηλεκτρονίων*'. Πρακτικά γίνεται σύγκριση της ακτινοβολίας που εφαρμόζεται στο μίγμα αέρα που διέρχεται και εμπεριέχει τα σωματίδια, με αυτήν που εφαρμόζεται στον καθαρό αέρα. Έτσι επιτυγχάνεται ο συσχετισμός της μάζας των σωματιδίων, χρησιμοποιώντας παράλληλα μια παραλλαγή του νόμου του Beer.

Τέλος, ο αμεσότερος τρόπος υπολογισμού της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η απευθείας χρήση ενός φίλτρου, ανάλογα με την ποσότητα ροής του αέρα, το οποίο είναι ικανό να συγκρατήσει όλα τα PM_{10} ή μόνο τα $PM_{2.5}$. Ουσιαστικά η προσαύξηση της μάζας του φίλτρου συνάγει την συνολική μάζα των σωματιδίων. (Κωνσταντίνος, 2013)

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΓΕΝΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η πηγή δημιουργεί την κινητήρια δύναμη αναρρόφησης των σωματιδίων από τα διάφορα τμήματα όπου διεξάγονται διεργασίες καύσης ή μεταφοράς υλικών. Με τον όρο πηγή συνήθως γίνεται αναφορά σε έναν ανεμιστήρα ο οποίος συνδέεται στο δίκτυο, το οποίο διατάσσεται με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει ικανή σωματιδιακή άντληση σε κάθε σημείο η τμήμα που υπεισέρχεται σε οποιαδήποτε διεργασία, χημική ή δυναμική. Τα βασικά μέρη ενός δικτύου φιλτραρίσματος δεν είναι τίποτα άλλο παρά η πηγή, το μέσο συγκράτησης και οι αγωγοί ροής. Η σύνδεσή τους γίνεται με διαδοχική σειρά όπως θα απεικονιστεί παρακάτω.

Ο όρος πηγή συνδέεται με την επιλογή του ανεμιστήρα. Πρόκειται για την ισχύ του η οποία εφαρμόζεται στο δίκτυο ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη λειτουργία του. Για να επέλθει το επιθυμητό αποτέλεσμα η τιμή της ισχύος θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε τα σωματίδια προς φίλτρηση να έχουν συγκεκριμένο εύρος τιμών ταχύτητας, καθώς ρέουν τους αγωγούς του δικτύου. Η διαδικασία αυτή βασίζεται στην αρχή της σταθερής ταχύτητας, σύμφωνα με την οποία οι επιμέρους ταχύτητες των σωματιδίων σε οποιοδήποτε μέρος του δικτύου πρέπει να κυμαίνονται από 17 έως 21 m/s. Βέβαια πρέπει να αναφερθεί ότι ο καθορισμός της απαιτούμενης ισχύος γίνεται στο τελικό στάδιο των υπολογισμών των παραμέτρων του δικτύου, αφού υπολογιστεί πρώτα η συνολική παροχή καθώς και οι συνολικές απώλειες του δικτύου.

Η απλούστερη εξήγηση που δίδεται για την θέσπιση των παραπάνω ορίων ταχύτητας βασίζεται σε εμπειρικούς κανόνες που διέπουν την άρτια λειτουργία των δικτύων φιλτραρίσματος. Οποιαδήποτε υπέρβαση του άνω ορίου καθιστά ικανή την περαιτέρω άντληση σωματιδίων μεγαλύτερης πυκνότητας και όγκου, τα οποία μπορεί να αποτελούν παραγόμενα τελικά προϊόντα σε πολλές περιπτώσεις, είτε απλώς να μην υπάρχει λόγος να αντληθούν. Επιπλέον, σε αυτή την περίπτωση είναι προφανές ότι απαιτήσεις του συστήματος σε τεχνικές προδιαγραφές είναι αυξημένες..

Σε περίπτωση ύπαρξης μικρότερης ταχύτητας ροής των 17 m/s τότε το δίκτυο τίθεται σε κατάσταση υπολειτουργίας, αφού η δύναμη αναρρόφησης είναι περιορισμένη και μη ικανή να ανασύρει ένα σημαντικό μέρος των παραγόμενων σωματιδίων. Αποτέλεσμα η παραμονή σωματιδίων στα σημεία δημιουργίας και έπειτα η διάδοσή τους στην ατμόσφαιρα είτε στο υπόλοιπο σύστημα, γεγονός το οποίο μπορεί να είναι καταστροφικό, πολλές φορές και για λόγους τοξικότητας.

2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ

Σε πολλές διαδικασίες βιομηχανικού επιπέδου προκαλούνται διάφορα νέφη σωματιδίων. Πολλές φορές είναι διακριτά ως σκόνη, η οποία δημιουργείται από μεταφορές ή καύση υλικών. Για παράδειγμα σε μια βιομηχανία τσιμέντου κάποια θραύσματα υλικού μεταφέρονται μέσω ενός ιμάντα μεταφοράς σε μηχάνημα επεξεργασίας, ώστε να αλλάξουν μορφή, ή σύσταση, ή απλώς για να ακολουθήσει διαχωρισμός των μορφών που βρίσκονται στο συσσωμάτωμα. Όταν το υλικό πέσει πάνω στον ιμάντα προς μεταφορά ή όταν από τον ιμάντα καταλήξει σε κάποια μονάδα επεξεργασίας, τότε η συνεχώς αναδιάταξη των επιμέρους μαζών, καθώς και οι μεταξύ των κομματιών του υλικού κρούσεις, προκαλούν πρακτικά σκόνη η οποία ανεγείρεται στην ατμόσφαιρα.

Σε οποιοδήποτε σημείο λάβει χώρα η παραπάνω διαδικασία ή μέρος αυτής, τότε εκεί θα πρέπει να υπάρχει μέρος του δικτύου το οποίο να αντλεί τη σκόνη ή και τα εκλυόμενα σωματίδια, με τον κατάλληλο τρόπο. Αυτό σημαίνει ότι το εμβαδόν της επιφάνειας που αναρροφά, σε συνδυασμό με την εκλεκτική δύναμη άντλησης να έχουν συγκεκριμένες τιμές και να βρίσκονται σε καθορισμένη

απόσταση από το σημείο δημιουργίας της σκόνης. Είναι προφανές ότι πολύ μικρή διατομή του αγωγού αναρρόφησης αυξάνει την πιθανότητα ανεπαρκούς άντλησης, λόγω της ευκολότερης διαφυγής των σωματιδίων από το πεδίο που ασκείται η ικανή δύναμη αναρρόφησης. Παράλληλα η αύξηση της ισχύος του ανεμιστήρα αυξάνει την πιθανότητα πλεονάζουσας αναρρόφησης. Δηλαδή το να αναρροφάται υλικό που δεν πρέπει να αναρροφηθεί. Είναι πολύ σημαντικό όλοι οι παράγοντες που καθορίζουν την άντληση να λαμβάνουν τιμές εντός συγκεκριμένων ορίων. Για τον υπολογισμό της παροχής απαιτείται η γνώση σχετικά με τον τύπο της σκόνης που πρόκειται να αναρροφηθεί. Κάποια χαρακτηριστικά της χημικής σύστασης και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών, αντιστοιχούνται σε δύο επιμέρους τιμές ταχύτητας. (Alley, 2004)

Ο τύπος υπολογισμού της παροχής δίδεται από τον εξής τύπο:

$$Q=(\pi d^2/4) u , \quad (\text{εξίσωση 2.1})$$

όπου u: η ταχύτητα εισροής διαμέσου του αγωγού με όρια τιμών 17-21 m/s

d: η διάμετρος του αγωγού

Τύπος σκόνης	Capturing velocity (m/s)	Velocity in pipeline (m/s)
Λεπτόκοκκη σκόνη μετάλλου	9-12	10-14
Χονδρά ρινίσματα μετάλλου	16-18	18-20
Λεπτή άμμος	11-12	12-14
Χονδρή άμμος	12-14	14-16
Σκόνη ξύλου	8-10	12-16
Ρινίσματα ξύλου	15-17	17-19
Πολύ μεγάλου μεγέθους ρινίσματα ξύλου	25	25-30
Μάλλινες και βαμβακερές ίνες	6-8	8-10
Κομμάτια χαρτιού και λωρίδες	8-10	10-12
Σκόνη δέρματος	13-15	15-18
Σκόνη από εκτοξευτές άμμου	15-18	16-18
Σκόνη διάφορων άλευρων	8-10	10-12

Πίνακας 1: Πίνακας Ταχύτητας Αέρα στις εγκαταστάσεις αναρρόφησης

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΡΥΘΜΟΣ ΡΟΗΣ	DIM	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Θραύστες και μύλοι Ρολαριστοί θραύστες Θραύστες σφύρας κρουστικοί θραυστήρες	60-80 80-100 150-200	$m^3/t\ h$ $m^3/t\ h$ $m^3/t\ h$	Συσχετίζονται με τα δεδομένα του κατασκευαστή
Μηχανή κοσκινίσματος ελεύθερου ανοίγματος επιπλέον	500-1200 + 0.5-1	m^3/m^2h m/s	Οι υπολογισμοί σχετίζονται με την προβλεπόμενη περιοχή κοσκινίσματος
Αναβατήριο Για ταχύτητα $v < 1m/s$ Για ταχύτητα $v > 1m/s$	2000 2800	m^3/m^2h m^3/m^2h	Σχετίζονται με την διατομή του μεταφορέα
Ταινίες μεταφοράς 600-800mm 1000-1200mm 1400-1600mm	1500-2400 2100-3000 2400-3600	m^3/h m^3/h m^3/h	Ανά τροφοδοσία και απόρριψη

Πίνακας 2: Πίνακας τιμών του όγκου αναρρόφησης

2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

Οι απώλειες ενός δικτύου φιλτραρίσματος χωρίζονται σε κάποιες επιμέρους κατηγορίες απωλειών λαμβάνοντας υπόψη κάποιες παραμέτρους όπως θα εξηγηθεί παρακάτω. Η γνώση αυτών είναι πολύ σημαντική καθώς συντελούν στην επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού για το εκάστοτε δίκτυο

Α μέρος : ευθείες απώλειες

Η κίνηση μιας ογκομετρικής ροής συμβολίζεται με V και μετριέται σε κυβικά μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Ο τύπος υπολογισμού της δίδεται από την παρακάτω αναλογική σχέση:

$$V = w A, \text{ όπου: (εξίσωση 2.2) }$$

w : η ταχύτητα του ρευστού μετρούμενη σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο

A : η περιοχή του εμβαδού την οποία διαρρέει το ρευστό, μετρούμενη σε τετραγωνικά μέτρα.

Η παραπάνω εξίσωση ισχύει τόσο για ασυμπίεστα τόσο και για συμπίεστα μέσα. Η μετακίνηση του ρευστού μίγματος εντός του αγωγού προϋποθέτει την πτώση πίεσης ανάμεσα στα τελικά σημεία του αγωγού. Η συγκεκριμένη συνολική πτώση υπολογίζεται σε Pascal και συμβολίζεται με Δp_{tot} και υπολογίζεται ως εξής:

$$\Delta p_{tot} = p_d + \Sigma \Delta p + p_{geod}, \quad (\text{εξίσωση 2.3})$$

όπου,

$\Sigma \Delta p$: το άθροισμα των διαφορών απωλειών με βάση το υπό εξέταση δίκτυο.

Ο τρίτος όρος της παραπάνω εξίσωσης ονομάζεται γεωδαιτική ή υδροστατική πίεση. Προκύπτει ως το γινόμενο της διαφοράς πυκνοτήτων με την επιτάχυνση της βαρύτητας και την υψομετρική διαφορά των σχετικών σημείων (Alley, 2004). Δηλαδή:

$$p_{\text{geod}} = (\rho_u - \rho_G) g H \quad (\text{εξίσωση 2.4})$$

όπου,

ρ_u : η πυκνότητα του αέρα που περικλείει τον αγωγό κατά την έξοδο, μετρούμενη σε κιλά ανά κυβικό μέτρο (kg/m^3)

ρ_G : η πυκνότητα των αερίων προς μεταφορά, μετρούμενη επίσης σε κιλά ανά κυβικό μέτρο.

g : η κανονική επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s^2)

H : υψομετρική διαφορά των σημείων εισόδου και εξόδου, μετρούμενη σε μέτρα.

Η εξίσωση 3 μπορεί να διατυπωθεί ως την διαφορά των συνολικών πιέσεων μετρούμενες και στα δύο τελικά σημεία του αγωγού. Δηλαδή :

$$\Delta p_{\text{total}} = p_{tA} - p_{tB}, \quad (\text{εξίσωση 2.5})$$

όπου p_t είναι ο συνδυασμός της στατικής και της δυναμικής πίεσης. Εφόσον δεν υπάρξει τυρβώδης ροή, τότε η στατική πίεση είναι εξίσου υψηλή εγκαρσώς του αγωγού. Όσον αφορά τη δυναμική πίεση, αυτή λαμβάνει την μέγιστη της τιμή στο ενδιάμεσο σημείο του αγωγού και μειώνεται σε σημεία που βρίσκονται κοντά στα τοιχώματα του αγωγού.

Η σύνδεση του ρυθμού ροής με την δυναμική πίεση διατυπώνεται στις δύο παρακάτω εξισώσεις

$$w = \sqrt{2 p_d / \rho} \quad (\text{εξίσωση 2.6})$$

$$p_d = (\rho / 2) w^2 \quad (\text{εξίσωση 2.7})$$

όπου

p_d : δυναμική πίεση μετρούμενη σε Pascal

ρ : πυκνότητα αέρα μετρούμενη σε κιλά ανά κυβικά μέτρα (Kg/m^3)

w : ρυθμός ροής

Πέραν όμως των απωλειών λόγω πτώσης πίεσης, επιδρούν ταυτόχρονα στο σύστημα και οι απώλειες λόγω τριβών. Ειδικότερα ανάμεσα στα τοιχώματα του αγωγού, όταν πραγματοποιείται μια σχετικά σταθερή και μη τυρβώδη ροή, υπάρχει ένα οριακό στρώμα στο οποίο τα σωματίδια επιβραδύνονται. Τούτη η επιβράδυνση εξαρτάται από το ιξώδες του ρευστού αερίου μίγματος, αλλά και από την

Ανάλυση τεχνολογιών συγκράτησης και διαχείρισης σωματιδιακών ρύπων εγγύτητα των τοιχωμάτων. Αυτό σημαίνει ότι όσο κοντά στα τοιχώματα βρίσκεται το ρευστό, τόσο αυξάνονται οι τριβές και συνάμα οι απώλειες.

Επιπλέον η αύξηση των τριβών που ασκούνται αυξάνεται με την αύξηση της τραχύτητας του υλικού από το οποίο αποτελείται το τοίχωμα. Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του τοιχώματος επιδρούν στο πάχος του οριακού στρώματος που προαναφέρθηκε. Συνολικά οι απώλειες λόγω τριβών επηρεάζονται από τον συσχετισμό του πάχους του οριακού στρώματος με την διάμετρο του αγωγού. Όλα αυτά τα κριτήρια λαμβάνονται υπόψη για τον καθορισμό του συντελεστή απωλειών λ , ο οποίος προσδιορίζεται και από τον αριθμό Reynolds (Re-number) :

$$Re = w D / \nu \quad (\text{εξίσωση 2.8})$$

όπου:

w : ρυθμός ροής μετρούμενος σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/s)

D : διάμετρος του αγωγού σε μέτρα (m)

ν : κινηματικό ιξώδες μετρούμενο σε m^2/s

Υλικό αγωγού	Κατάσταση τοιχώματος	Σκληρότητα k (mm)
Συρμένοι / τραβηγμένοι σωλήνες από μέταλλο (χαλκός, ορείχαλκος, μπρούτζος, ελαφρύ κράμα, πλαστικά, γυαλί η πλεξιγκλάς	Νέο, τεχνικά λείο	0.0013-0.0015
Ελαστικός και εύκαμπτος σωλήνας πίεσης	Νέο (χωρίς να είναι εύθραυστο)	0.0016
Σωλήνες από χάλυβα χωρίς ραφή	Προϊόν έλασης γαλβανίζε	0.02-0.06 0.07-0.16
Διαμήκως συγκολλημένοι χαλύβδινοι σωλήνες	Προϊόν έλασης ασφαλοειδής γαλβανίζε	0.04-0.1 0.1-0.05 0.008
Χαλύβδινοι, μετά από αρκετή χρήση	Μέτρια σκουριασμένο ή ελαφρώς heavily furred	0.15-0.2 μέχρι 3 mm
Χυτοσίδηρος	Νέο, έχοντας κρούστα χύτευσης πρόσφατα ασφατικοποιημένο ελαφρώς σκουριασμένο furred	0.2-0.6 0.1-0.13 0.5-1.5 μέχρι 3 mm
Αμιαντοτσιμέντο (Eternit)	νέο	0.03-0.1
Σωλήνες αποστράγγισης από καμένο πηλό	νέο	0.07
Σκυρόδεμα	Νέο με λείο φινίρισμα, νέο και ισοπεδωμένο , οπλισμένο σκυρόδεμα χωρίς επικάλυψη	0.3-0.8 0.1-0.15 0.2-0.8

Πίνακας 3: πίνακας τιμών τραχύτητας

Σε γενικές γραμμές χρησιμοποιείται η τιμή 0.02 ως τιμή του λ , η οποία αφορά τεχνικούς αεραγωγούς κανονικής τραχύτητας. Πρακτικά ο προσδιορισμός του συντελεστή λ γίνεται μέσω του διαγράμματος όπως θα δειχθεί στην συνέχεια.

Καταλήγοντας, οι απώλειες λόγω τριβών Δp_R (Running meter) ανά τρέχον μέτρο δίδονται από την εξής σχέση :

$$\Delta p_R = \lambda (L/D) (\rho/2) w^2 \quad (\text{εξίσωση 2.9})$$

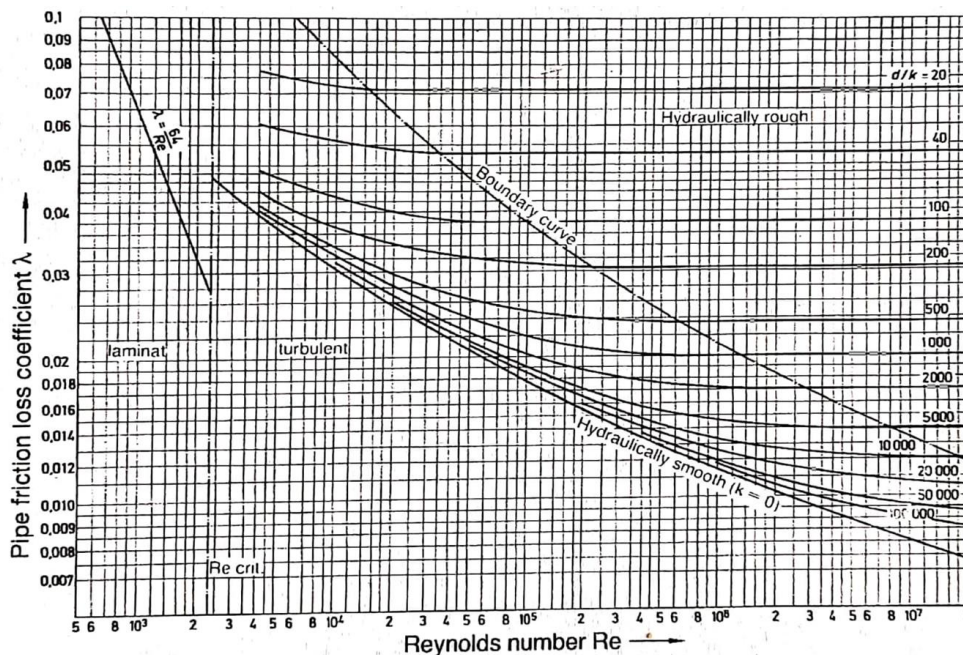
Η οποία μπορεί να γραφεί και ως : $\Delta p_R = \lambda (L/D) \rho_d$ (εξίσωση 2.10)

όπου: L : μήκος του ευθύγραμμου τμήματος του αγωγού (σε m)

λ : συντελεστής απωλειών λόγω τριβής

ρ : πυκνότητα μέσου σε kg/m^3

ρ_d : δυναμική πίεση σε Pascal



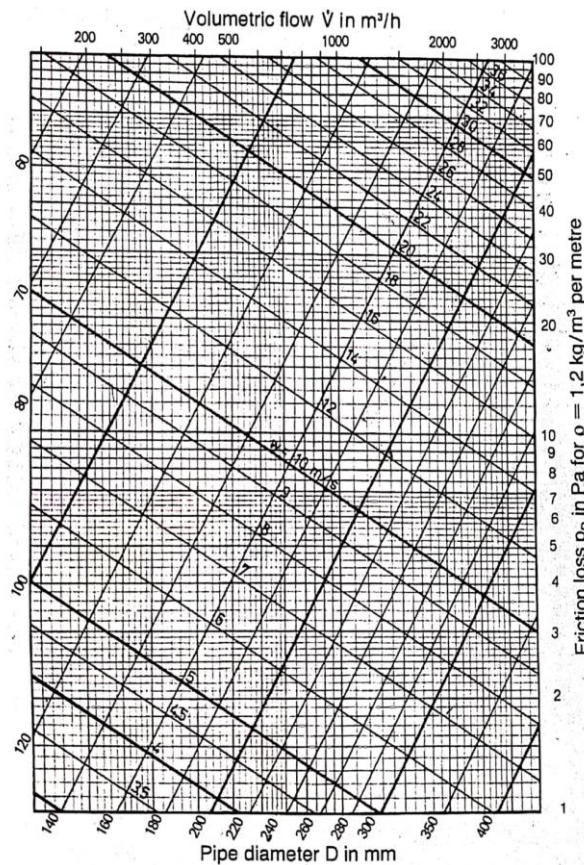
Εικόνα 1: Διάγραμμα υπολογισμού συντελεστή απωλειών λ

πηγή: 'ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ C.David Cooper, F.C Alley'

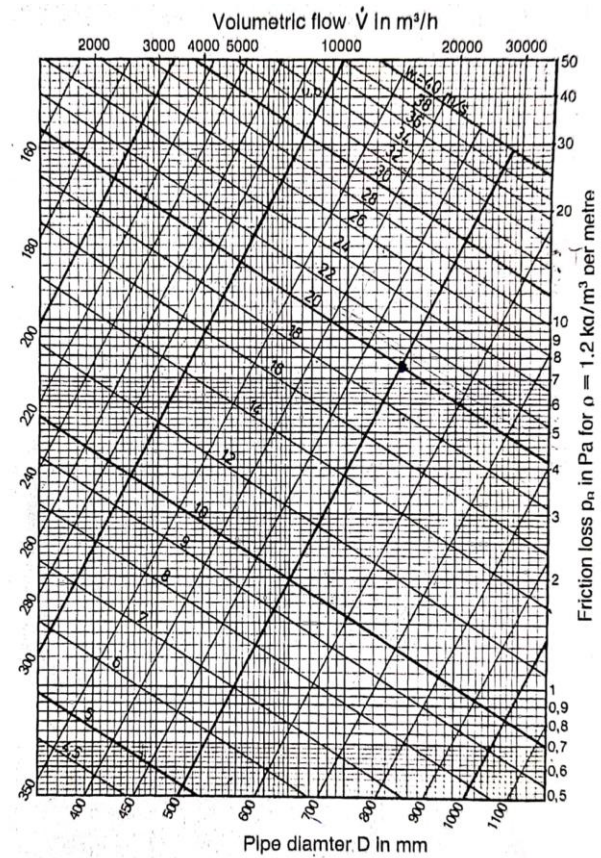
Με βάση τον αριθμό Reynolds αλλά και από το κλάσμα d/k της διαμέτρου προς την τραχύτητα, μπορεί να υπολογιστεί με βάση το παραπάνω διάγραμμα ο συντελεστής λ . Είναι προφανές ότι όσο αυξάνεται η τραχύτητα του υλικού του αγωγού, τόσο αυξάνεται η τιμή του λ και συνάμα οι απώλειες λόγω τριβών.

Υπάρχουν επίσης και οι απώλειες ανά τρέχον μέτρο οι οποίες προσδιορίζονται μέσω των επόμενων διαγραμμάτων, των οποίων οι άξονες είναι η διάμετρος του αγωγού και η ογκομετρική ροή σε κυβικά μέτρα ανά ώρα. Με τον συσχετισμό αυτών των δύο παραγόντων προκύπτει η απώλεια του τρέχοντος μέτρου μετρούμενη σε Pascal, λαμβάνοντας επιπλέον υπόψη ότι η πυκνότητα του αέρα έχει τιμή 1.2 kg/m^3 . Πάντα στη συγκεκριμένη περίπτωση αναφερόμαστε σε απώλειες μόνο των ευθειών τμημάτων του δικτύου. Η τιμή που υπολογίζεται με βάση το διάγραμμα, στην συνέχεια πολλαπλασιάζεται με τα συνολικό αριθμό των μέτρων του δικτύου που βρίσκονται σε ευθεία διάταξη. Έτσι προκύπτει η συνολική τιμή των απωλειών που αφορά μόνο τα συγκεκριμένα τμήματα. (Brown, 2002)

Παρακάτω ακολουθούν διαγράμματα υπολογισμού του συντελεστή απωλειών ζ , για διαφορετικές τιμές διαμέτρων και ταχύτητας παροχής όγκου:



III. 2.11: Pressure Loss in technically rough pipes



II. 2.12: Pressure Loss in technically rough pipes

Εάν για παράδειγμα υπολογιστεί παροχή 15000 κυβικών ανά ώρα, χρησιμοποιώντας αγωγό διαμέτρου 500 χιλιοστών, τότε με βάση το άνω δεξιά διάγραμμα οι απώλειες ανά τρέχον μέτρο είναι 7.5 Pascal.

B μέρος : απώλειες σε ειδικά τμήματα

Η δομή των δικτύων απαρτίζεται κυρίως από ευθύγραμμα τμήματα αγωγών των οποίων οι απώλειες εξηγήθηκαν παραπάνω το πως υπολογίζονται. Παρόλο αυτά σχεδόν κάθε δίκτυο διαθέτει ειδικά τμήματα αγωγών οι οποίες διευκολύνουν στην προσαρμογή του στις εκάστοτε χωροταξικές ανάγκες. Πέραν τούτου η ύπαρξη ειδικών τμημάτων είναι αναπόφευκτη, καθώς τον κύριο αγωγό που οδηγεί στον μηχανισμό διαχείρισης συναντούν όλοι οι επιμέρους αγωγοί οι οποίοι αναρροφούν από τα διάφορα σημεία όπου χρειάζεται. (Alley, 2004)

Για κάθε ειδικό τμήμα γίνεται ξεχωριστή μελέτη και υπολογισμός με βάση τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά. Σε κάθε περίπτωση υπολογίζεται ο συντελεστής ζ και γίνεται συνυπολογισμός του στην εξίσωση 9, η οποία λαμβάνει την εξής μορφή :

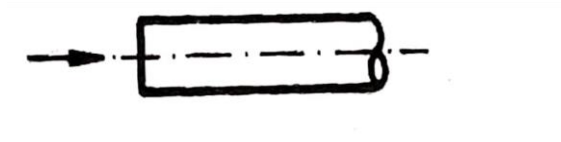
Ανάλυση τεχνολογιών συγκράτησης και διαχείρισης σωματιδιακών ρύπων

$$\Delta p_{\text{general}} = \lambda (L/D) (\rho/2) w^2 + \sum \zeta_i \rho w^2/2 \quad (\text{εξίσωση 2.11})$$

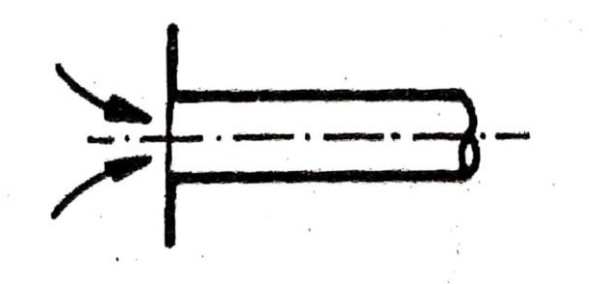
$$= \Delta p_R + \Delta p_\zeta \quad (\text{εξίσωση 2.12})$$

όπου Δp_ζ το σύνολο των απωλειών λόγω τριβής των ειδικών τμημάτων.

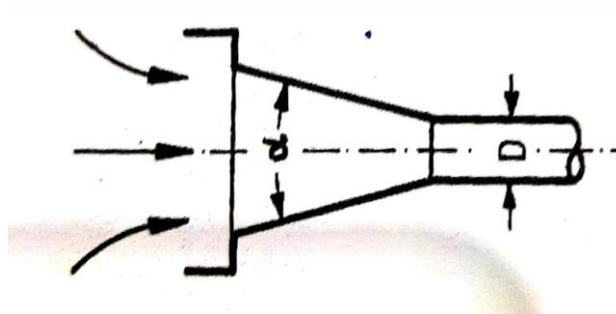
Όπως θα δειχθεί παρακάτω κάθε ειδικό τμήμα και κάθε γωνία η οποία μεταβάλλει τη ροή, καθορίζουν την τιμή του συντελεστή ζ . Όπου υπάρχει διαφοροποίηση ανάλογα με το σχήμα της διατομής, τότε ορίζεται και η αντίστοιχη τιμή του ζ . Σε γενικές γραμμές η ροή διαμέσου τετραγωνικής διατομής δίνει αυξημένη τιμή του συντελεστή.



Η τιμή του ζ είναι 0.9 για κυκλική διατομή, ενώ για τετραγωνική είναι 1.25



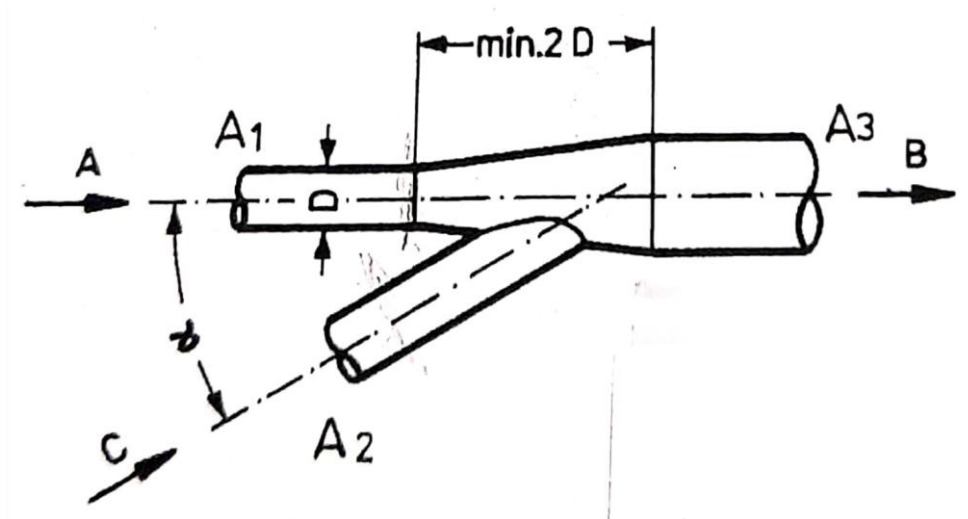
Η τιμή του ζ είναι 0.5 για κυκλική διατομή, ενώ 0.7 για τετραγωνική.



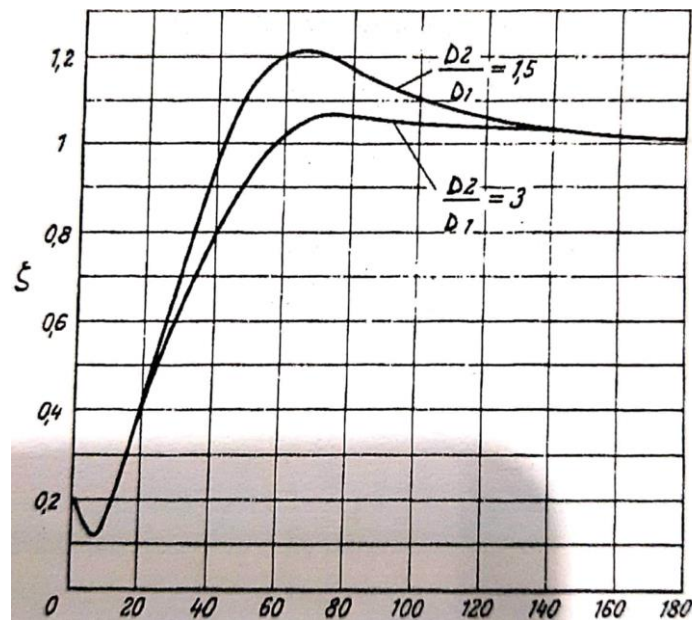
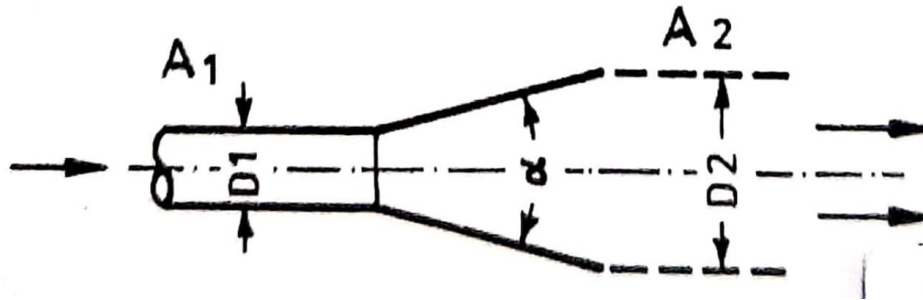
Για γωνία α 30 και 150 μοιρών το ζ ισούται με 0.5, για 45 και 120 ισούται με 0.4, ενώ για 60 και 90 μοιρών ισούται με 0.3.

Πολλές φορές μπορεί να υπάρξουν ενώσεις τμημάτων αγωγών υπό γωνία, διαφορετικού πάχους και μορφής όπως απεικονίζεται παρακάτω. Σε αυτή την περίπτωση οι τιμές του ζ δίδονται ως εξής :

α	20°	30°	45°	60°	90°
ζ_{C-B}	0.15	0.2	0.3	0.5	1



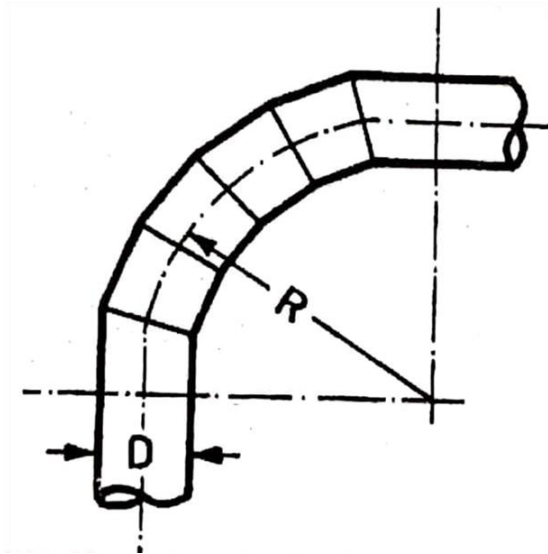
Σε περιπτώσεις όπου η διατομή διαστέλλεται ομοιόμορφα οι τιμές του συντελεστή απωλειών προκύπτουν από το εξής διάγραμμα και με βάση τον λόγο της τελικής προς της αρχικής διατομής



Εικόνα 2 α : διάγραμμα υπολογισμού συντελεστή απωλειών

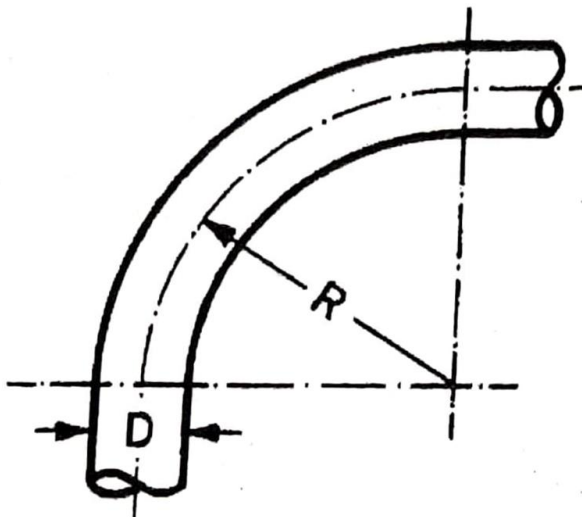
πηγή: 'AMERICAN VENTILATION 24TH EDITION'

Στην περίπτωση τμήματος το οποίο κάμπτεται τμηματικά λαμβάνονται υπόψη τιμές όπως παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα:



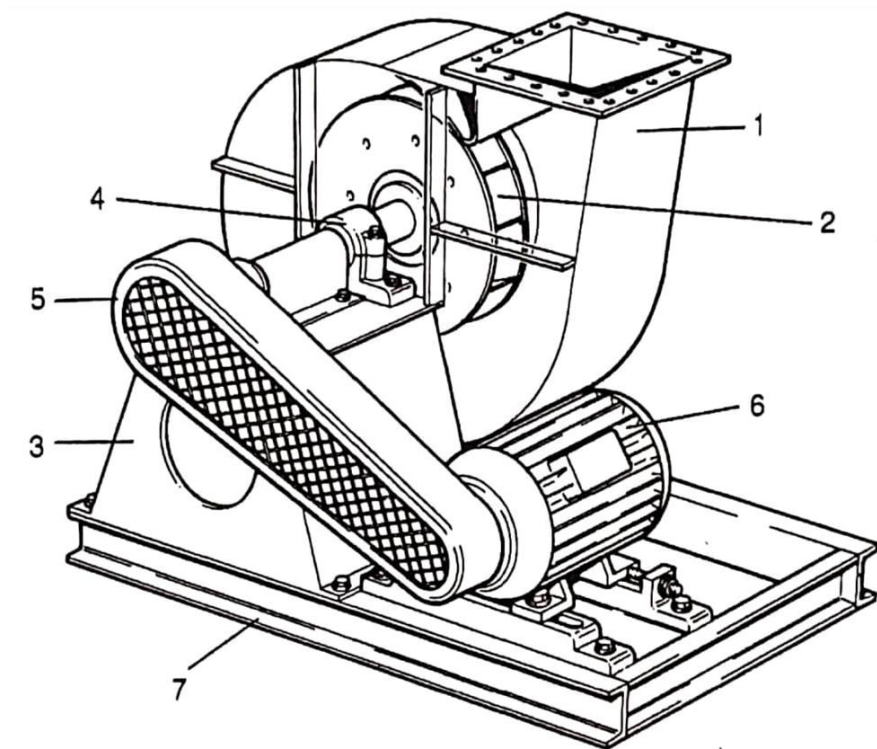
R/D	1	1,5	2,0	2,5	3,0
50	0,63	0,5	0,45	0,44	0,42
75	0,6	0,48	0,43	0,41	0,4
100	0,56	0,45	0,4	0,39	0,37
150	0,54	0,43	0,38	0,36	0,35
200	0,52	0,41	0,36	0,35	0,34
300	0,47	0,38	0,33	0,32	0,31
400	0,45	0,35	0,32	0,30	0,29
500	0,43	0,34	0,3	0,29	0,28
750	0,4	0,31	0,27	0,26	0,25
1000	0,38	0,3	0,26	0,25	0,24
1500	0,36	0,26	0,23	0,22	0,22
2000	0,35	0,24	0,22	0,21	0,2

Για απλούστερες κάμπσεις τμήματος αγωγού ο συντελεστής ζ προσδιορίζεται με μεγαλύτερη ευκολία:



R/D	1,0	1,5	2,0	3,0
ζ	0,5	0,4	0,27	0,2

2.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ



- | | |
|--|-------------------|
| 1. Περίβλημα ανεμιστήρα | 5.Κίνηση μάντα |
| 2. Στροφέιο | 6. Μοτέρ |
| 3. Φέρον βάθρο | 7. Πλαίσιο βάσης. |
| 4. Συγκρότημα άξονα ανεμιστήρα/ ρουλεμάν | |

Οι ανεμιστήρες παρέχουν την απαιτούμενη ενέργεια για την μετακίνηση του αέρα μέσω των αεριοσυλλεκτών, των αγωγών και των συσκευών ελέγχου. Ο ρόλος ενός ανεμιστήρα είναι να παρέχει την απαιτούμενη κινητήρια δύναμη για τη μεταφορά του αέρα. Επιπλέον όμως πρέπει να παρέχει τη συνολική αύξηση της πίεσης στο σύστημα, ώστε να μπορούν να υπερνικηθούν οι απώλειες πίεσης που δημιουργούνται, όταν ο αέρας ρέει μέσω αγωγών και συσκευών ελέγχου.

Οι δύο βασικοί τύποι ανεμιστήρων είναι φυγοκεντρικής ή ακτινικής ροής και πτερωτής ή αξονικής ροής. Σε ένα φυγοκεντρικό ανεμιστήρα, ο αέρας εισέρχεται στην πλήμνη του στροφείου και περιστρέφεται σε ορθές γωνίες. Η φυγόκεντρος δύναμη στην εκροή είναι αυτή η οποία επιταχύνει και συμπιέζει τον αέρα. Στην περίπτωση ανεμιστήρα αξονικής ροής, ο αέρας ρέει ευθύγραμμα μέσω της συσκευής κατά μήκος του άξονα περιστροφής. Τα πτερύγια με αεροτομή έλκουν τον αέρα μέσα προς το χείλος πρόσπτωσης και τον εκτονώνουν στο χείλος εκφυγής. Σε αυτή την περίπτωση η φυγοκεντρική δύναμη μετατρέπεται σε αύξηση πίεσης από σταθερά πτερύγια.

Το είδος των φυγοκεντρικών ανεμιστήρων χρησιμοποιείται για την μεταφορά αέρα, αερίων ή ατμών. Ο ρόλος τους είναι να προσδίδουν κινητική ενέργεια στο εκάστοτε ρευστό ώστε να κινείται με κάποιο συγκεκριμένο ρυθμό. Η επιλογή του κατάλληλου φυγοκεντρικού ανεμιστήρα σε ισχύ γίνεται με τον υπολογισμό των εξής παραμέτρων. Πρώτα υπολογίζεται η ογκομετρική παροχή, με βάση την διάμετρο του εκάστοτε αγωγού και την ταχύτητα ροής. Έπειτα λαμβάνονται υπόψη οι πτώσεις πίεσης μέσω των απωλειών δικτύου όπως παρουσιάζονται. Οι απώλειες μπορεί να είναι ευθείες ανά τρέχον μέτρο, οι οποίες να δίδονται μέσω πινάκων ή να υπολογίζονται θεωρητικά.

Υπάρχουν επίσης και οι απώλειες των ειδικών τμημάτων οι οποίες διαφέρουν ανά περίπτωση του τεμαχίου υπό εξέταση. Εφόσον γίνουν όλοι οι παραπάνω υπολογισμοί προστίθενται ως το άθροισμα των συνολικών απωλειών και συνολικής παροχής. Με βάση αυτές τις τιμές γίνεται η επιλογή του κατάλληλου ανεμιστήρα. (Alley, 2004)

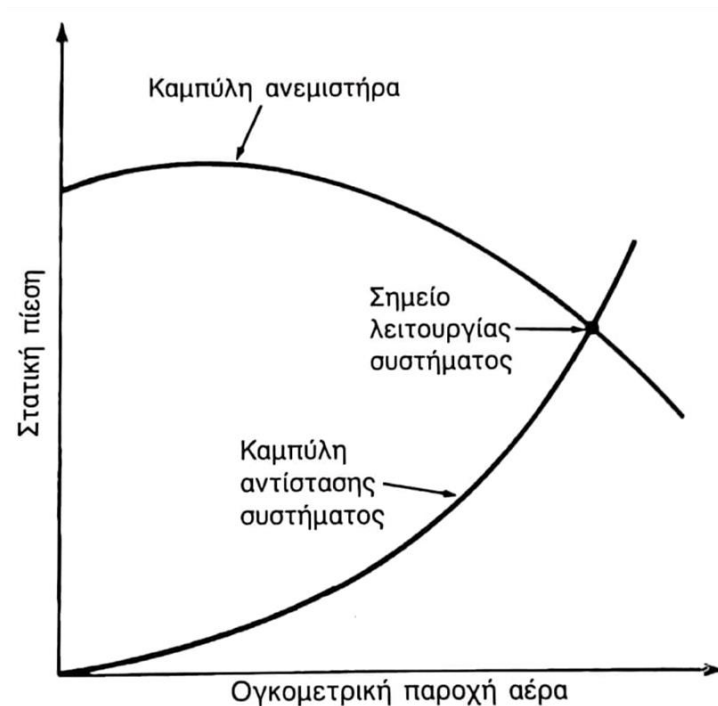
Τα δεδομένα για την επιλογή ενός ανεμιστήρα δίδονται μέσω πινάκων και αφορούν όρους στατικής πίεσης ανεμιστήρα (fan static pressure- FSP). Η πίεση αυτή ορίζεται ως την συνολική πίεση ανεμιστήρα μείον την πίεση που δημιουργεί η ταχύτητα ροής στην έξοδο του ανεμιστήρα (VP). Η συνολική πίεση (TP) ενός ανεμιστήρα είναι η διαφορά μεταξύ των συνολικών πιέσεων της εξόδου και της εισόδου. Συνεπώς η στατική πίεση του ανεμιστήρα μπορεί να συνδεθεί με τις πιέσεις του συστήματος των αγωγών ως εξής :

$$FSP = TP_{\text{εξόδου}} - TP_{\text{εισόδου}} - VP_{\text{εξόδου}} \quad (\text{εξίσωση 2.13})$$

η οποία μπορεί να γραφεί και ως:

$$FSP = (SP_{\text{εξόδου}} + VP_{\text{εξόδου}}) - (SP_{\text{εισόδου}} + VP_{\text{εισόδου}}) - VP_{\text{εξόδου}} \quad (\text{εξίσωση 2.14})$$

Παρακάτω δίνεται το διάγραμμα στατικής πίεσης – ογκομετρικής παροχής αέρα, των καμπυλών ανεμιστήρα και αντίστασης συστήματος. Η τομή των δύο αυτών καμπυλών ορίζει το σημείο λειτουργίας του συστήματος.



Εικόνα 3: Διάγραμμα υπολογισμού του σημείου λειτουργίας του συστήματος

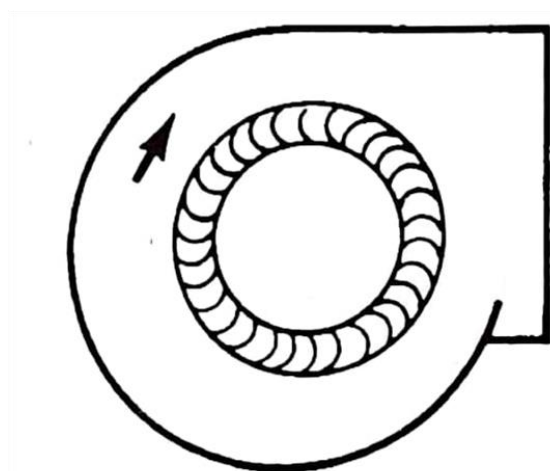
πηγή : 'ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ C.David Cooper, F.C. Alley'

2.5 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ

Η επιλογή ενός ανεμιστήρα γίνεται κυρίως με βάση το κριτήριο της ισχύος του, συναρτήσει της ογκομετρικής παροχής αέρα και των απωλειών πίεσης του δικτύου. Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες φυγοκεντρικού τύπου, με πτερύγια καμπυλωμένα προς τα πίσω. Αυτοί προσφέρουν σταθερή και αποδοτική λειτουργία, ενώ βασική προϋπόθεση του περιβάλλοντος εγκατάστασης είναι να μην υπάρχει σκόνη. Εάν δεν μπορεί να αποφευχθεί αυτό, τότε γίνεται εγκατάσταση ανεμιστήρων ακτινικής ροής ή ανεμιστήρων με ευθύγραμμα πτερύγια. (Alley, 2004)

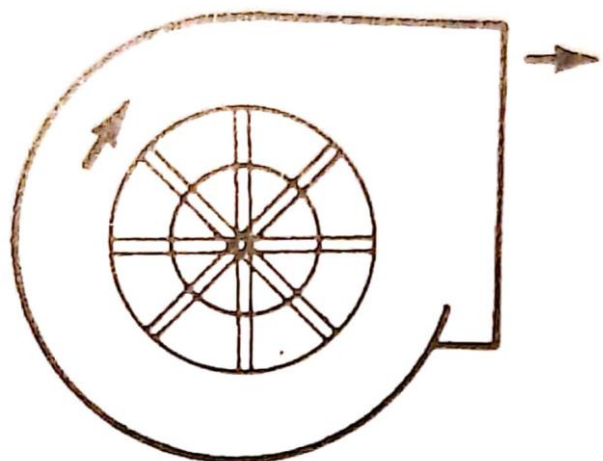
Λαμβάνοντας υπόψη έναν συγκεκριμένο ανεμιστήρα, παρατηρείται ότι η παροχή αέρα και η στατική πίεση αυξάνονται με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής. Σε περίπτωση δύο όμοιων ανεμιστήρων σε ότι αφορά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και εφόσον αυτοί διαθέτουν την ίδια ταχύτητα περιστροφής, τότε ο μεγαλύτερος ανεμιστήρας παράγει περισσότερη ροή σε μια υψηλή πίεση. Ωστόσο η υψηλότερη απόδοση συνδυάζεται με υψηλότερο κόστος λειτουργίας.

ΤΥΠΟΙ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΩΝ



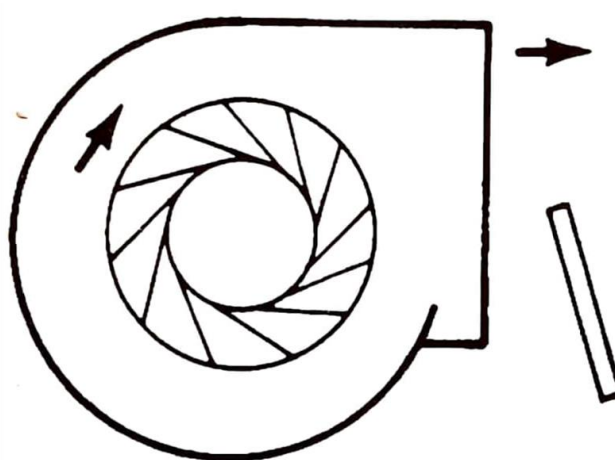
Με καμπυλωμένα προς τα εμπρός πτερύγια

Το τμήμα που περιστρέφεται διαθέτει πτερύγια μικρά σε μέγεθος. Οι κατασκευαστές τα καμπυλώνουν προς τα εμπρός, στη διεύθυνση περιστροφής. Για την ομαλή τους λειτουργία ως συσκευές μεταφοράς αέρα δεν απαιτούνται υψηλές ταχύτητες. Η εφαρμογή τους ως συσκευές απευθύνεται σε περιπτώσεις θέρμανσης χαμηλής πίεσης, αερισμού και κλιματισμού.



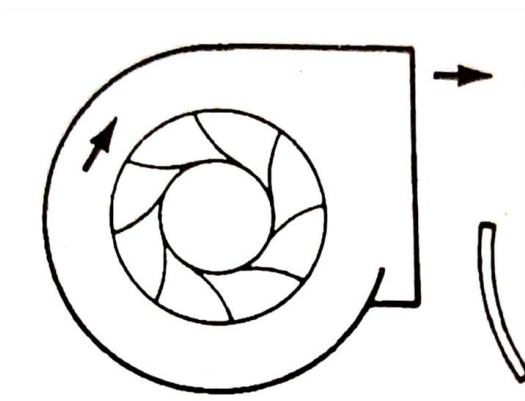
Με ακτινικά πτερύγια

Το συγκεκριμένο τμήμα που περιστρέφεται μπορεί να παρομοιαστεί με έναν υδραυλικό τροχό με πτερύγια. Τα πτερύγια βρίσκονται σε κάθετη θέση σχετικά με τη διεύθυνση περιστροφής του τροχού. Απαιτούνται μεσαίες ταχύτητες για την μετακίνηση μιας δεδομένης ποσότητας αέρα. Τυπική είναι η εφαρμογή τους σε περιπτώσεις εφαρμογών διακίνησης υλικών. Η κατασκευή του είναι ιδιαίτερα στιβαρή με ευκολία επισκευής. Μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις βιομηχανικών αναγκών υψηλής πίεσης, λόγω της στιβαρότητας του.



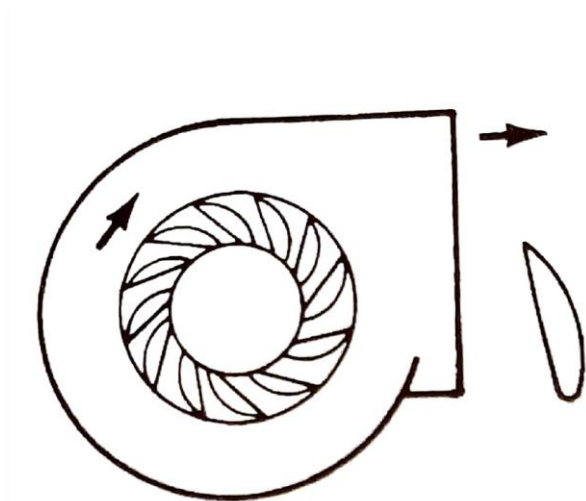
Με κεκλιμένα προς τα πίσω πτερύγια

Το τμήμα που περιστρέφεται διαθέτει επίπεδα πτερύγια, τα οποία είναι κεκλιμένα σε μεγάλη απόσταση από τη διεύθυνση περιστροφής του τροχού. Αυτό συνεπάγεται την απαίτηση υψηλών στροφών λειτουργίας, κατά την μετακίνηση μιας δεδομένης ποσότητας αέρα. Βασικό πεδίο εφαρμογών του αποτελούν τα γενικότερα συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού. Επιπλέον χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές εφαρμογές όπου τα πτερύγια με αεροτομή υπόκεινται σε φθορά, λόγω της σκόνης



Με περύγια αεροτομής

Αποτελεί βελτιωμένη εκδοχή των ανεμιστήρων με κεκλιμένα προς τα πίσω περύγια. Ο συγκεκριμένος τύπος ανεμιστήρα διαθέτει τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης και για την μεταφορά δεδομένης ποσότητας αέρα, απαιτείται λειτουργία σε μεγαλύτερη ταχύτητα από αυτή των τυπικών περιπτώσεων ανεμιστήρων. Ως ο τύπος με την μεγαλύτερη απόδοση από όλους τους φυγοκεντρικούς ανεμιστήρες, χρησιμοποιείται σε μεγάλα συστήματα θέρμανσης, αερισμού, κλιματισμού, καθώς και σε εφαρμογές καθαρού αέρα και ειδικότερα σε περιπτώσεις που η εξοικονόμηση ενέργειας είναι σημαντική. Μπορούν ακόμα να χρησιμοποιηθούν και για μεταφορά αέρα ο οποίος περιλαμβάνει σωματίδια, μέσω κατάλληλης κατασκευής.

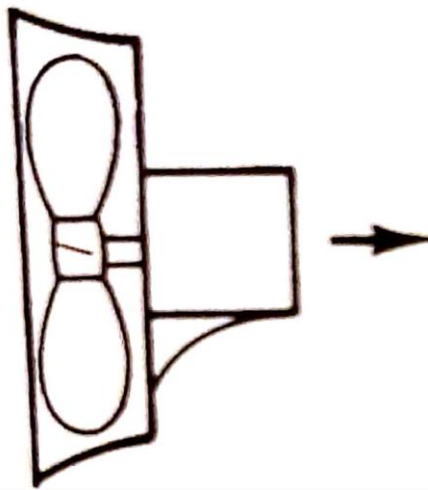


Με ακτινικό άκρο

Το τμήμα το οποίο περιστρέφεται διαθέτει περύγια σε σχηματισμό μικρής κοιλότητας επί της διεύθυνσης περιστροφής του τροχού. Αυτά έχουν κλίση προς τα πίσω, με αποτέλεσμα το εξωτερικό

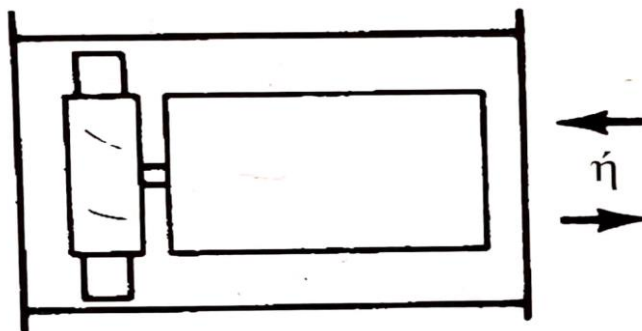
τους άκρο να προσεγγίζει την ακτινική θέση. Οι ενεργειακές απαιτήσεις του εν λόγω τύπου ανεμιστήρα είναι παρόμοιες με αυτές του τύπου κεκλιμένων προς τα πίσω πτερυγίων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις διακίνησης υλικών, ρυπαρών ή διαβρωτικών εφαρμογών, ενώ παρουσιάζει υψηλότερη απόδοση από τους ανεμιστήρων ακτινικών πτερυγίων.

ΤΥΠΟΙ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΩΝ



Με φτερωτή

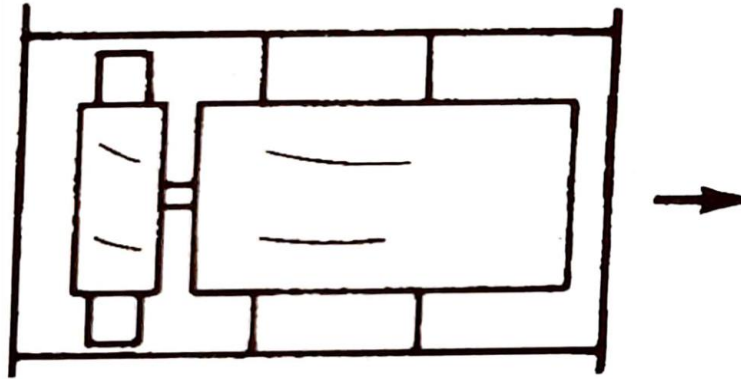
Οι τροχοί περιστροφής διαθέτουν τουλάχιστον δύο πτερύγια ίδιου πάχους σε ένα απλό δακτυλιοειδές περίβλημα. Δεν επιφέρουν ιδιαίτερα υψηλό βαθμό απόδοσης, ενώ περιορίζονται από την χρήση σε χαμηλή πίεση. Σε πολλές περιπτώσεις βρίσκουν χρήση σε εφαρμογές μετακίνησης μεγάλης ποσότητας αέρα και ειδικότερα σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει δίκτυο αγωγών.



Αξονικός σε αυλό

Μορφολογικά μοιάζει με τον τύπο του ανεμιστήρα με φτερωτή, με τη διαφορά ότι διαθέτει μεγαλύτερο αριθμό πτερυγίων τα οποία είναι και βαρύτερα. Ο τροχός περιβάλλεται από έναν κύλινδρο ή αυλό ώστε να επιτευχθεί αύξηση του βαθμού απόδοσης, αλλά και η ικανότητα

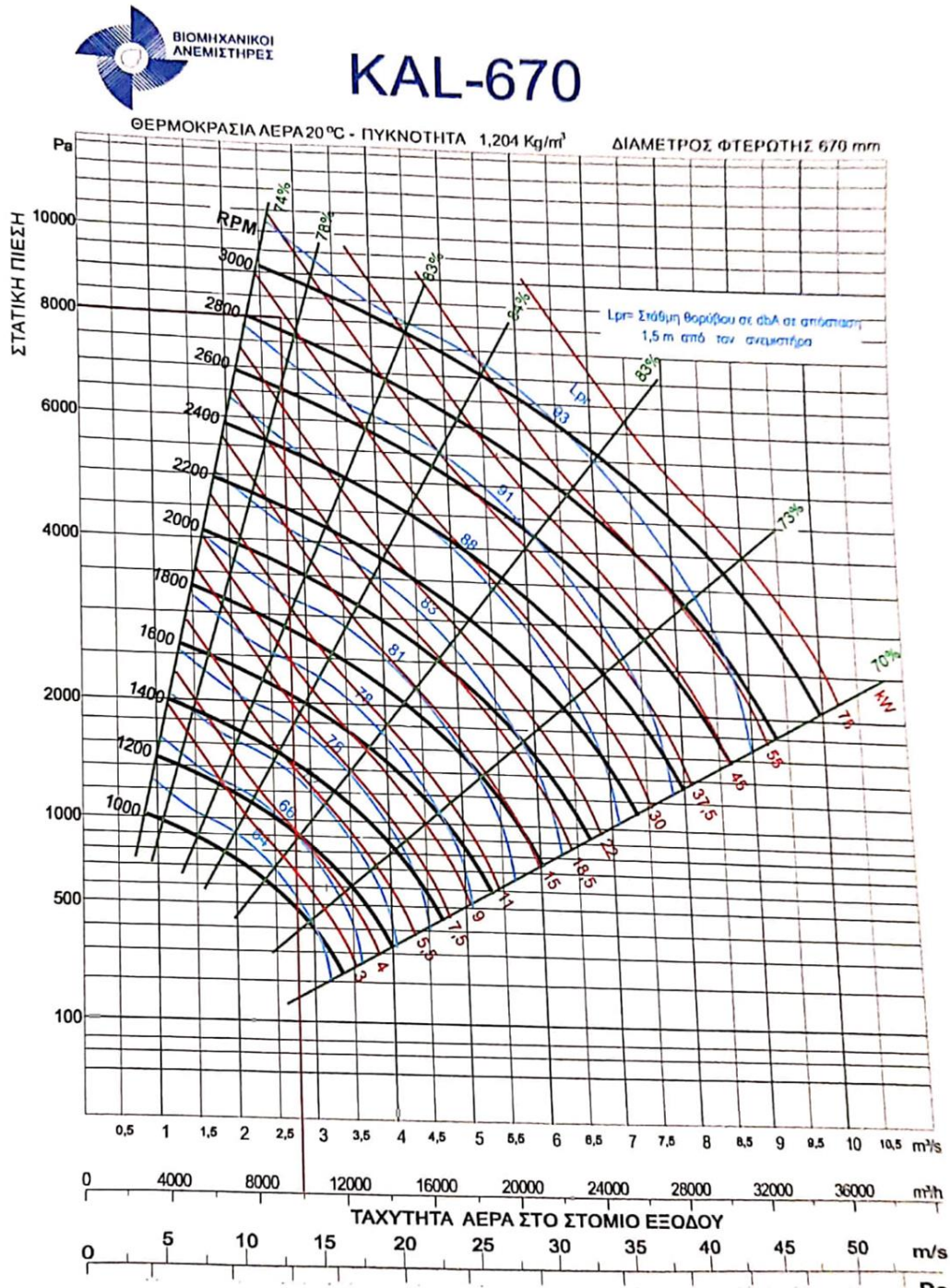
λειτουργίας σε πίεση. Χρησιμοποιείται ευρέως σε περιπτώσεις στις οποίες η κατανομή του αέρα στην κατάντη πλευρά δεν είναι κρίσιμη. Σε ότι αφορά τις βιομηχανικές εφαρμογές, περιλαμβάνονται οι φούρνοι ξήρανσης, οι θάλαμοι βαφής με ψεκασμό και τα συστήματα εξαγωγής αναθυμιάσεων.



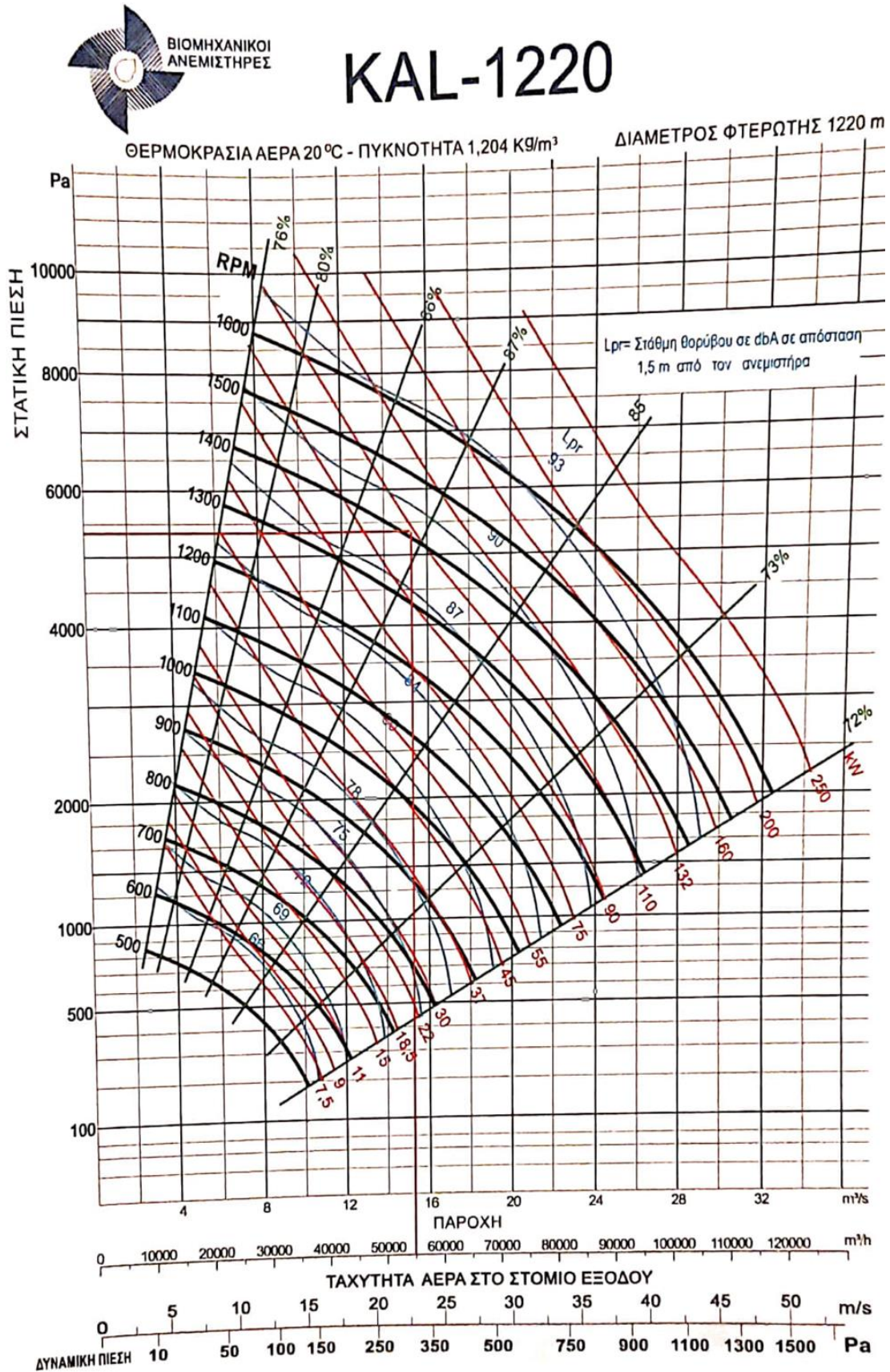
Αξονικός με περύγια

Πρόκειται για τον αποδοτικότερο ανεμιστήρα του συγκεκριμένου τύπου. Τα περύγια που χρησιμοποιούνται εδώ είναι ευθυγραμμισμένα, ώστε να βελτιωθεί ο βαθμός απόδοσης αλλά και να αυξάνεται η ικανότητα λειτουργίας σε πίεση. Ο σχεδιασμός των περυγίων εξασφαλίζει υψηλή αεροδυναμική απόδοση, καθώς κατασκευάζονται με μορφή αεροτομών. Επιπλέον η γωνία πρόσπτωσης μπορεί να ρυθμίζεται σε πολλές περιπτώσεις, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνονται μεσαίες έως υψηλές δυνατότητες σε πίεση. Η εγκατάσταση τους γίνεται σε γενικά συστήματα θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού και ειδικότερα όταν απαιτείται απόλυτα ευθυγραμμισμένη ροή και μικρό μέγεθος διάταξης.

Παρακάτω παρουσιάζονται διαγράμματα βιομηχανικών ανεμιστήρων συγκεκριμένου κατασκευαστή. (υλικών, n.d.)



Εικόνα 4: Διάγραμμα υπολογισμού της ισχύος ανεμιστήρα
πηγή : 'ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΕΣ'



Εικόνα 5 : Επιλογή ισχύος ανεμιστήρα σε διαφορετικά δεδομένα παροχής

πηγή : 'ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΕΣ'

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΒΑΣΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ

Το γενικό πλαίσιο όπου λαμβάνει χώρα η σωματιδιακή συγκράτηση είναι η τοποθέτηση στόχων στερεής ή υγρής μορφής στο πεδίο της κίνησης των σωματιδίων, του οποίου οι διαστάσεις πρακτικά καθορίζονται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αγωγού ροής. Η κίνηση των σωματιδίων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την κινητική ενέργεια που τους προσδίδεται από την ροή του αέρα, η οποία τα συμπαρασύρει και τα οδηγεί προς το στόχο. Σκοπός της διαδικασίας είναι τα σωματίδια να απορροφηθούν από τον στόχο ή να κολλήσουν σε αυτόν. Η ροή αποτελεί απαίτηση και είναι προϋπάρχουσα ως μέσο κάποιας διαδικασίας ή δημιουργείται από επιπλέον μέσα. Για παράδειγμα οι καμινάδες των εργοστασίων ή οι εξατμίσεις δεν χρειάζονται περαιτέρω ενίσχυση ροής αέρα. Είναι ουσιαστικά στατικές μονάδες καύσης που εμπεριέχουν τη ροή αέρα ως μέρος της ίδιας της διαδικασίας. Αντιθέτως όταν γίνονται χημικές διαδικασίες οι οποίες πολλές φορές μεταβάλλουν τις ιδιότητες της ύλης προς επεξεργασία, τότε καθίσταται απαραίτητη η χρήση απορροφητήρων οι οποίοι οδηγούν όλους τις παραγόμενους αέριους και σωματιδιακούς ρύπους προς κάποια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Σε κάθε περίπτωση γίνεται επεξεργασία ή φιλτράρισμα του μίγματος με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, ώστε να αποφεύγεται η διαφυγή των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα και συνεπώς να διατηρούνται οι μονάδες ρύπανσης χαμηλές σε σχέση με τα επιτρεπόμενα όρια εκπομπών.

Η ροή του μίγματος αέρα-σωματιδίων μελετάται ως ένα φαινόμενο καθορισμένης κίνησης ρευστού. Τα σωματίδια που βρίσκονται εντός του, έχουν μάζα και συνεπώς διαθέτουν ορμή. Η φορά και το μέτρο των διανυσμάτων των ταχυτήτων περιγράφουν την κίνηση του προς τους στόχους. Σε γενικές γραμμές όσο περισσότεροι στόχοι βρίσκονται εντός του πεδίου τόσο πιο αποτελεσματικά επιτυγχάνεται η συγκράτηση των σωματιδίων από αυτούς, καθώς η ύπαρξη πολλών αυξάνει την πιθανότητα κάποιο σωματίδιο να χτυπήσει τον στόχο και να προσκολληθεί σε αυτόν, λόγω διεπιφανειακών δυνάμεων.

Επιπλέον η πιθανότητα πρόσκρουσης ενός σωματιδίου στο στόχο αυξάνεται με την αύξηση του μήκους της διαμέτρου του. Είναι προφανές ότι όσο μεγαλύτερο είναι το σωματίδιο, τόσο αυξάνεται η πιθανότητα να συναντήσει το στόχο και να μην διαφύγει. Ωστόσο πολύ μεγάλο μέγεθος σωματιδίων είτε μεγάλη πυκνότητα, επηρεάζουν την πορεία της κίνησης τους. Έτσι έχουν μια τάση να καθιζάνουν καθώς διαρρέουν τον αγωγό λόγω της αυξημένης δύναμης της βαρύτητας που τους ασκείται προς το κάτω μέρος του αγωγού. Επομένως σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να παρεκκλίνουν από τις προκαθορισμένες τροχιές κίνησης και σε κάποιες άλλες μπορεί να παραμένουν στο κάτω τοίχωμα του αγωγού.

Τα μεσαίου μεγέθους σωματίδια είναι εκείνα τα οποία αιωρούνται με μεγαλύτερη ευκολία εκτελώντας κατά κάποιο τρόπο ευθύγραμμη κίνηση διαμέσου του αγωγού. Βέβαια σε μικροσκοπικό επίπεδο κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει καθώς τα σωματίδια συγκρούονται με τα μόρια του αέρα που τα περιβάλλει και υπεισέρχονται σε συχνές μικρές μεταβολές της θέσης τους. Είναι προφανές ότι όσο μικρότερο σε μέγεθος ή πυκνότητα είναι το σωματίδιο τόσο πιο εύαλωτο είναι να αλλάζει συνεχώς θέση με απότομο τρόπο, κάθετα στη διεύθυνση της κίνησής του, λόγω της σύγκρουσής του με τα περιβάλλοντα μόρια αέρα. Αν αποτυπωθεί με ακρίβεια η τροχιά της κίνησης των σωματιδίων, προκύπτει ότι κινούνται προς συγκεκριμένη κατεύθυνση συνολικά, λόγω της κύριας δύναμης του αέρα που τα συμπαρασύρει, ενώ θα παρατηρηθούν πολλές αυξομειώσεις της θέσης τους. Το γράφημα που θα προκύψει θα μοιάζει με καρδιογράφημα.

Το παραπάνω κινητικό φαινόμενο αποτελεί ειδική περίπτωση, η οποία καλείται κίνηση Brown (*Brownian motion*). Πρόκειται για το είδος κίνησης που παρατήρησε ο βοτανολόγος Robert Brown το 1827 στο μικροσκόπιο του βλέποντας αρχικά κάποιους κόκκους γύρης να κινούνται ακανόνιστα μέσα στο νερό. Αρχικά θεωρήθηκε ως ύπαρξη μορφής ζωής, αλλά στην πραγματικότητα πρόκειται για το αποτέλεσμα των κρούσεων που δέχεται το σωματίδιο από τα μόρια του ρευστού μέσα στο οποίο κινείται. Τα τελευταία αποδείχθηκε ότι πέραν της ύπαρξής τους κινούνται διαρκώς. Η κατανόηση της απρόβλεπτης αυτής κίνησης έγκειται στις αποκλίσεις, τις στατιστικές διακυμάνσεις από την αναμενόμενη μέση συμπεριφορά των μορίων του ρευστού. (Brown, 2002)

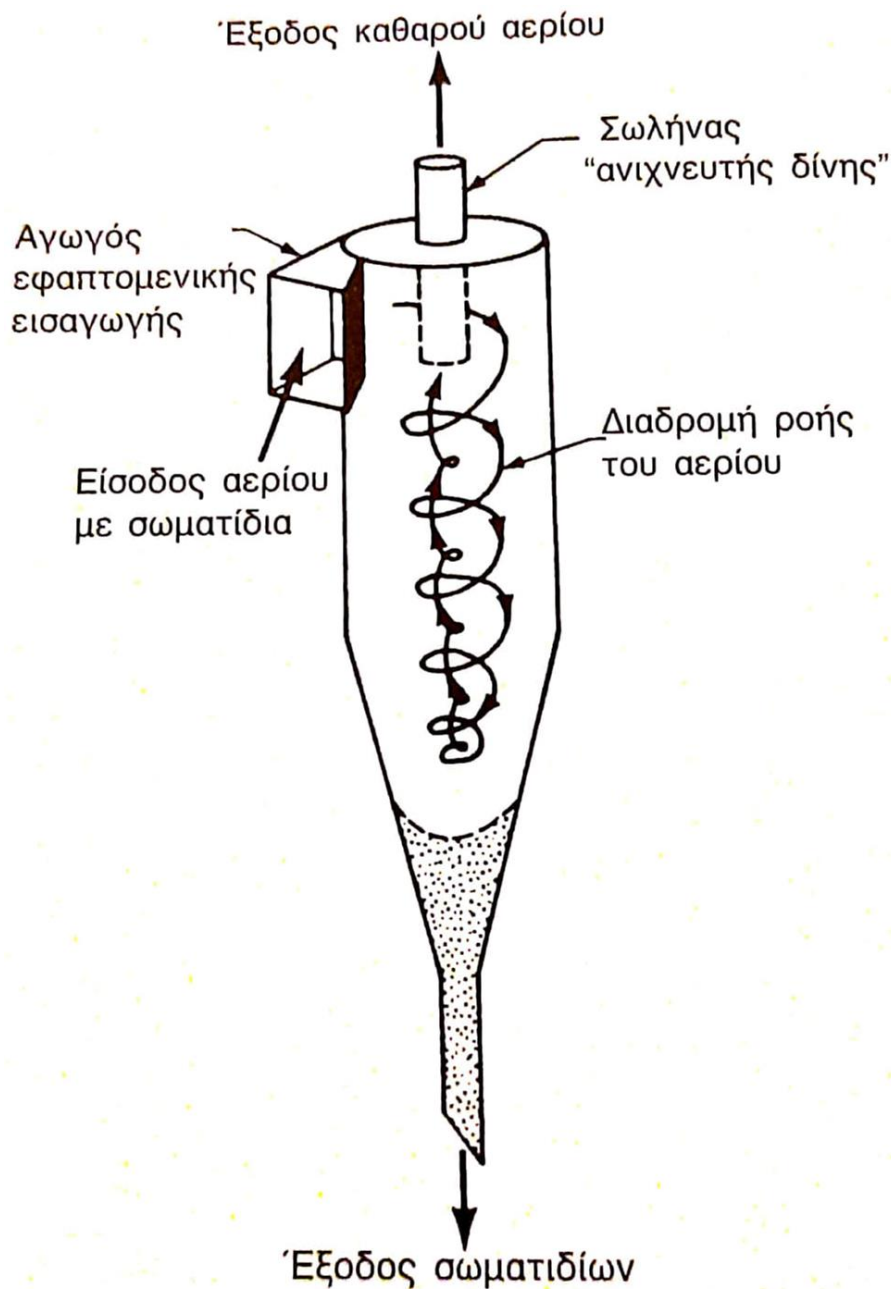
Βασική αρχή η οποία διέπει τους μηχανισμούς συλλογής των σωματιδίων είναι η προσκόλληση αυτών στις ίνες φίλτρων, τα οποία βρίσκονται πάνω στην τροχιά της κίνησης του μίγματος αέρα που τα διαπερνά. Η συγκεκριμένη αυτή ροή μελετάται ως το φαινόμενο της κίνησης ενός ρευστού το οποίο ρευστό πρακτικά συναντά το φίλτρο ή τον μηχανισμό συλλογής. Στην περίπτωση αυτή, όσο πυκνότερο είναι το φίλτρο, τόσο πιο αποτελεσματική είναι η συγκράτηση των σωματιδίων. Πέραν των ινών μπορεί να υπάρχουν σταγονίδια νερού ή άλλου υγρού στοιχείου τα οποία να επιτελούν τον ίδιο σκοπό. Όλα αυτά αποτελούν εργαλεία συλλογής, τα οποία μπορεί να είναι υγρής ή στερεής μορφής και γενικεύονται ως την έννοια του στόχου ο οποίος παραλαμβάνει τα διερχόμενα σωματίδια και τα συγκρατεί.

Σε μικροσκοπικό επίπεδο η κάθε ίνα λαμβάνεται υπόψιν ως μακρόστενο στερεό κυκλικής διατομής τοποθετημένο εγκάρσια στο πεδίο ροής του μίγματος ρευστού. Τα μεγάλα σωματίδια διαθέτουν αυξημένη μάζα και συνάμα ορμή. Έχουν την τάση να ακολουθούν ευθεία πορεία κίνησης η οποία κάμπτεται γύρω από την ίνα ή άλλο στόχο. Η σχετική διαφορά των ταχυτήτων του σωματιδίου και του στόχου αυξάνει την ορμή κίνησης του σωματιδίου και συνεπώς την πιθανότητα πρόσκρουσης σε αυτόν. Αξίζει να αναφερθεί ότι υπάρχει μια αναλογία του μεγέθους του σωματιδίου και της πιθανότητας πρόσκρουσης η οποία καθορίζεται από την ακτίνα καμπυλότητας της τροχιάς που κάμπτεται γύρω από το στόχο. Ειδικότερα όσο μεγαλώνει η ακτίνα καμπυλότητας τόσο πιο εύκολο είναι να επιτευχθεί προσκόλληση του σωματιδίου στο στόχο, ενός μεγάλου σωματιδίου. Σε περίπτωση μικρής ακτίνας καμπυλότητας τα μικρότερα σε μέγεθος σωματίδια είναι αυτά τα οποία προσκρούουν στο στόχο με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα.

Μια ακόμα περίπτωση σωματιδιακής περισυλλογής περιγράφεται από το φαινόμενο της διακοπής. Αυτό αφορά σωματίδια διάστασης από 0.1 έως 1 micron, τα οποία συμπαρασυρόμενα από την ροή του αέρα ακολουθούν πορεία κίνησης κοντά στον στόχο. Όταν η απόστασή τους από αυτόν λάβει σχετικά μικρή τιμή τότε το σωματίδιο τον ακουμπά. Τα συγκεκριμένα αυτά σωματίδια έχουν ανεπαρκή αδράνεια ώστε να βγουν από το streamline. Βέβαια το παραπάνω εύρος μεγέθους είναι καθοριστικό για την συγκεκριμένη μέθοδο περισυλλογής. Σωματίδια μικρότερης ή μεγαλύτερης διαμέτρου είναι δύσκολο έως αδύνατο να ακουμπήσουν το στόχο. Η απαίτηση συγκεκριμένων συνθηκών της απόστασης ροής από το στόχο επιδρά αρνητικά στους φυσικούς μηχανισμούς συλλογής των ρινικών και τραχειοβρογχικών διόδων. Αποτέλεσμα η διέλευση τους έως την περιοχή των πνευμόνων και ο σχηματισμός κυψελίδων (lodge alveoli).

Σε πολλές περιπτώσεις λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της διάχυσης. Αυτό αφορά σωματίδια πάρα πολύ μικρού μεγέθους και λαμβάνεται υπόψιν ως αποτέλεσμα της κίνησης Brown. Η μάζα και οι διαστάσεις τους είναι τόσο μικρές που οι συγκρούσεις αυτών με τα μόρια του αέρα είναι λίγες. Ως εκ τούτου τυχούσες συγκρούσεις οδηγούν το σωματίδιο σε αναπήδηση (bouncing around). Έτσι μπορούν να μεταφερθούν από μία ροή αέρα σε μια άλλη μέσω τυχαίας κίνησης. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου αυξάνεται με την αύξηση του χρόνου υλοποίησής της και με την μείωση της απόστασης από το στόχο. Όπως θα εξηγηθεί παρακάτω, οι συνθήκες που περιγράφονται μπορούν να επιτευχθούν με την χρήση των σακόφιλτρων.

3.1 ΚΥΚΛΩΝΕΣ



Ο κυκλώνας ή αλλιώς φυγοκεντρικός συλλέκτης χρησιμοποιείται ευρέως για το διαχωρισμό και την ανάκτηση βιομηχανικής σκόνης από τον αέρα ή από κάποια αέρια διεργασία. Ο συνηθισμένος τύπος κυκλώνα είναι απλός στην κατασκευή και έχει πολύ χαμηλό αρχικό κόστος συγκρινόμενος με άλλους τύπους εξοπλισμούς συλλογής σκόνης.

Οι εν λόγω συσκευές ξεκίνησαν να χρησιμοποιούνται στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής πριν από περίπου εκατό χρόνια, ενώ παραμένουν ακόμα και σήμερα από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες συσκευές καθαρισμού βιομηχανικών αερίων. Αυτό συμβαίνει κυρίως για οικονομοτεχνικούς λόγους. Έχουν αρκετά χαμηλό κόστος αγοράς, ενώ η κατασκευή τους είναι ικανή να αντεπεξέρχεται σε σκληρές συνθήκες λειτουργίας. Σημαντικό είναι επίσης το γεγονός ότι δεν έχουν κινούμενα μέρη, με αποτέλεσμα να έχουν μειωμένη φθορά και μηδαμινή συντήρηση.

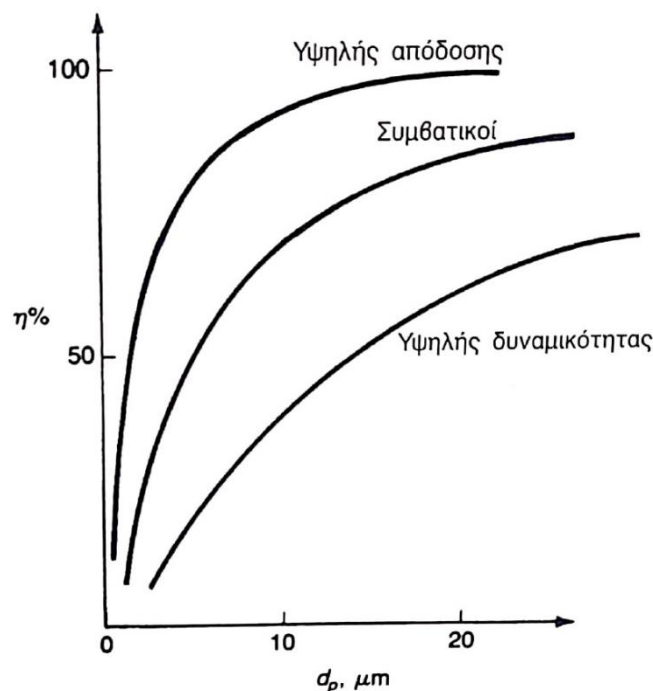
Η αρχή της λειτουργίας τους βασίζεται στην εισροή αερίου, το οποίο είναι φορτισμένο με σωματίδια, τέτοια ώστε να εφάπτεται κοντά στο πάνω μέρος του κυκλώνα όπως θα αναπαρασταθεί

παρακάτω. Τόσο το σχήμα του κυκλώνα όσο και ο τρόπος εισαγωγής του, το αναγκάζουν σε μια σπειροειδή τροχιά προς τα κάτω. Επίσης κάποιες φορές χρησιμοποιούνται κυκλώνες αξονικού τύπου και εισροής. Οι τελευταίοι έχουν συνεχώς στραμμένα πτερύγια ώστε να επιτυγχάνεται η σπειροειδής μορφή της κίνησης. Κατά την εκτέλεση τέτοιου είδους κίνησης τα διανύσματα των ταχυτήτων συνεχώς μεταβάλλονται ως συνέπεια της άσκησης φυγόκεντρου δύναμης. Λόγω αυτής της δύναμης αλλά και της αδράνειας τα σωματίδια προσκρούουν στο εξωτερικό τοίχωμα και στην συνέχεια ολισθαίνουν στο κάτω μέρος της συσκευής. Μόλις το αέριο φτάσει το κάτω μέρος της συσκευής, τότε αναστρέφεται η πορεία του. Συνεπώς ακολουθεί εκ νέου μια σπειροειδή κίνηση μικρότερης αρχικής ακτίνας και αντίθετης κατεύθυνσης. Αυτή η μεταβολή γίνεται αντιληπτή από ένα σωλήνα ο οποίος καλείται ανιχνευτής δίνης και οδηγεί προς την έξοδο τον καθαρό αέρα. Είναι προφανές ότι τα σωματίδια εξέρχονται από το κάτω μέρος της συσκευής του κυκλώνα, μέσω ενός αγωγού κλεισμένου από μια πτερυγοβαλβίδα με ελατήριο ή από μία περιστροφική βαλβίδα. (Alley, 2004)

Ο παραπάνω τρόπος λειτουργίας καθιστά τους κυκλώνες ως συσκευές αρχικού καθαρισμού, αφού δεν είναι σε θέση από μόνοι τους να διαχειριστούν τα αέρια φύσης απόβλητα με τρόπο που να ικανοποιούν τους αυστηρούς κανονισμούς της αέριας ρύπανσης. Επομένως δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συσκευές τελικού ελέγχου. Βέβαια η αποτελεσματικότητα και η απόδοση του κυκλώνα καθορίζονται σε σημαντικό βαθμό από τον σχεδιασμό της συσκευής αλλά και από το μέγεθος των σωματιδίων.

Στη σύγχρονη εποχή έχουν βελτιωθεί αρκετά και σε πολλές περιπτώσεις, ανάλογα με το σχεδιασμό, επιτυγχάνουν πολύ υψηλές αποδόσεις της τάξεως του 90%-99%. Βασική τους προϋπόθεση για να ισχύουν τα προηγούμενα ποσοστά είναι το μέγεθος των σωματιδίων να έχει μέγεθος πάνω από 5 μm . Σε πρακτικό επίπεδο αυτού του τύπου οι κυκλώνες είναι σχεδιασμένοι για συλλογή σωματιδίων μεγάλης πυκνότητας.

Είναι προφανές ότι η αύξηση των επιδόσεων αυξάνεται με την αύξηση του λειτουργικού κόστους. Αυτό συμβαίνει με την δημιουργία ανάγκης για μεγαλύτερη πτώση πίεσης. Με βάση αυτό, οι κυκλώνες διαχωρίζονται σε τρεις επιμέρους κατηγορίες : υψηλής απόδοσης, συμβατικοί και υψηλής δυναμικότητας. Το παρακάτω γράφημα εποπτεύει την απόδοση τους μέσω της αντίστοιχης καμπύλης για κάθε κατηγορία:



Εικόνα 6: Γενική σχέση της απόδοσης συλλογής έναντι του μεγέθους σωματιδίου για κυκλώνες

(Σημειώνεται ότι πρόκειται για προσέγγιση σε ποιοτικό επίπεδο)
πηγή : 'ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ C.David Cooper, F.C. Alley'

Το βασικό φαινόμενο που μελετάται για τον προσδιορισμό των σχεδιαστικών παραγόντων που επιδρούν στην απόδοση της συσκευής, δεν είναι άλλο παρά ο στροβιλισμός του αερίου. Αυτός λαμβάνει χώρα επί της εξωτερικής δίνης και η τιμή του μπορεί να προσεγγιστεί από την κάτωθι σχέση :

$$N_e = \frac{1}{H} \left[L_b + \frac{L_c}{2} \right] \quad (\text{εξίσωση 3.1})$$

όπου

N_e : αριθμός πραγματικών περιστροφών

H : ύψος αγωγού προσαγωγής

L_b : μήκος του σώματος του κυκλώνα, m ή ft

L_c : κάθετο μήκος του κώνου του κυκλώνα, σε m ή ft

Μία ακόμα παράμετρος που λαμβάνεται υπόψη είναι αυτή του διαθέσιμου χρόνου, ώστε τα σωματίδια να προσκρούσουν στο τοίχωμα και συνάμα να συλλεχθούν. Ο συγκεκριμένος χρόνος παραμένει για όσο διαρκεί η δίνη και δίδεται από την εξής σχέση:

$$\Delta t = \frac{2\pi R N_e}{V_i} \quad (\text{εξίσωση 3.2})$$

όπου

Δt : χρόνος παραμονής αερίου μίγματος

R : ακτίνα σώματος κυκλώνα

V_i : ταχύτητα εισαγωγής αερίου

Αποτελεί σημαντικό δεδομένο για τις εν λόγω συσκευές, λειτουργώντας ως συνέπεια της επίτευξης υψηλότερων αποδόσεων. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι το αέριο διέρχεται εντός της συσκευής με υψηλότερες ταχύτητες. (Amer Conf of Governmental, 2001) Έτσι έχει αναπτυχθεί η σχέση υπολογισμού της πτώσης πίεσης ως εξής :

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho_g V_i^2 H_v \quad (\text{εξίσωση 3.3})$$

όπου ΔP : πτώση πίεσης, N/m² ή Pascal

ρ_g : πυκνότητα του αερίου, σε kg/m³

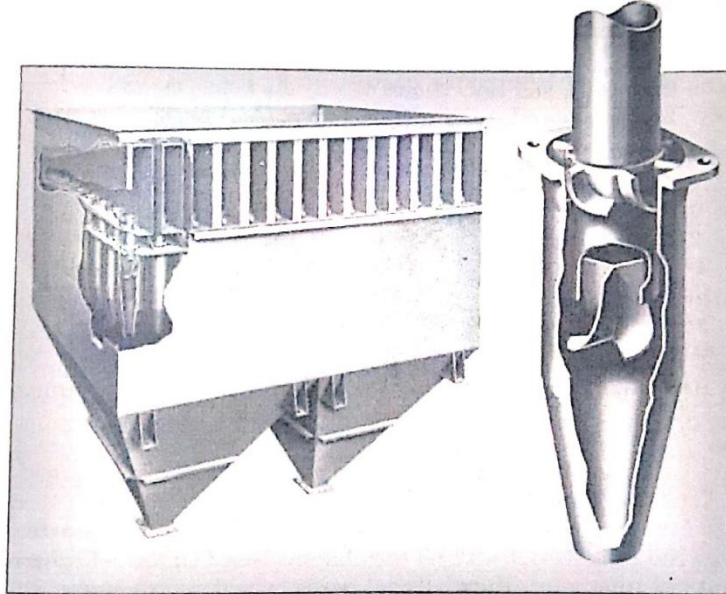
V_i : ταχύτητα εισαγωγής αερίου, m/s

Στις περισσότερες περιπτώσεις οι πτώσεις πιέσεων σε κυκλώνα κυμαίνονται από περίπου 0.5 έως 10 πιεζομετρικό ύψος ταχύτητας (δηλαδή από 250 έως 4000 Pa). Εφόσον είναι γνωστή η πτώση πίεσης, τότε μπορεί να προσδιοριστεί και η απαιτούμενη ισχύς για την μεταφορά του ρευστού ως εξής :

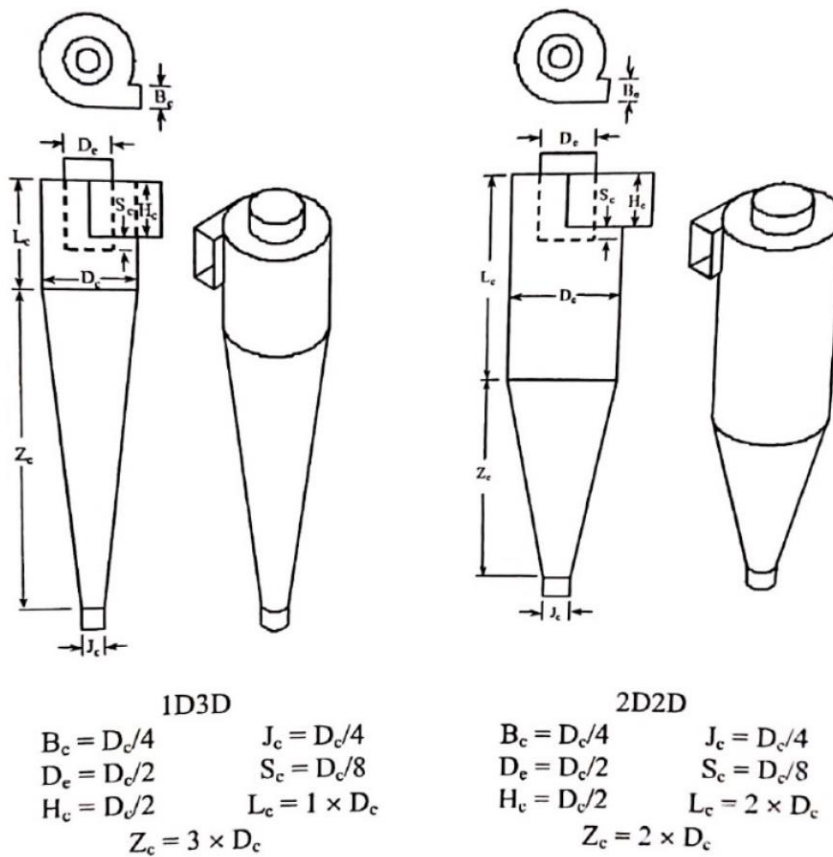
$$\dot{W}_f = Q \Delta P \quad (\text{εξίσωση 3.4})$$

όπου \dot{W}_f : ρυθμός εισερχόμενου έργου στο ρευστό, σε W

Q : ογκομετρική παροχή, σε m³/s

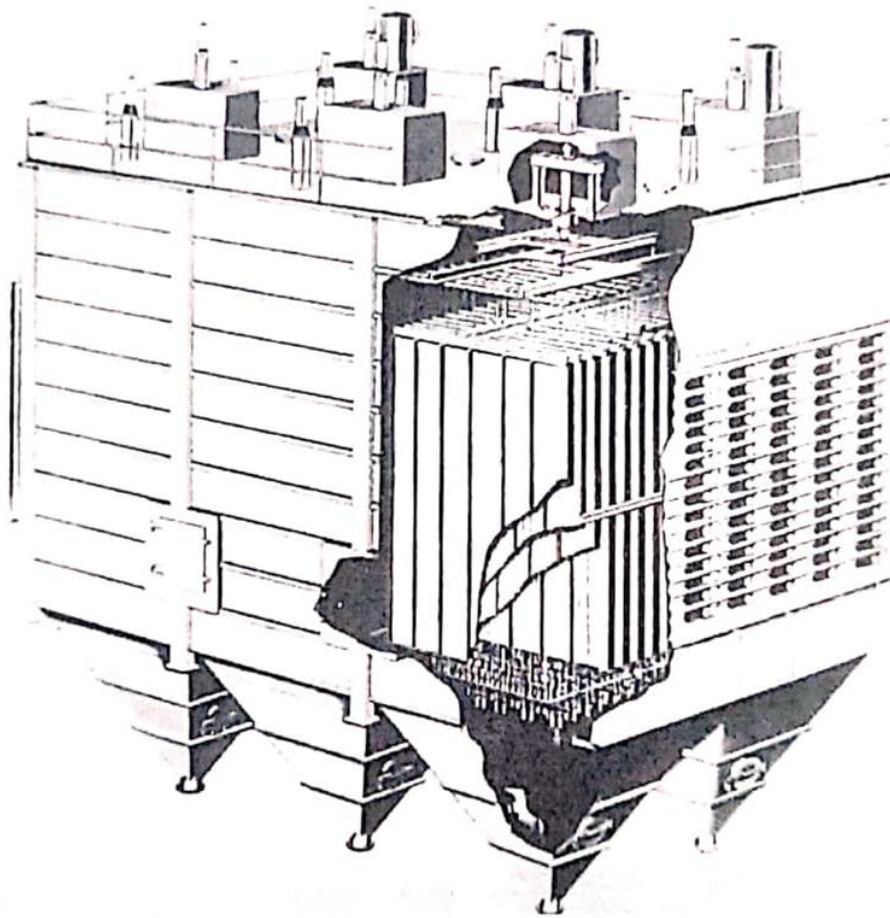


Εικόνα 7: Κυκλώνας πολλαπλών αγωγών αξονικής εισαγωγής
(Με την άδεια της Research-Cottrell, Inc., Somerville, NJ)



Εικόνα 8: Σχεδιαγράμματα βασικών τύπων κυκλώνων
πηγή : 'INDUSTRIAL VENTILATION – 24th edition'

3.2 ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ



Εικόνα 9: Όψη σε τομή ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου (ESP).

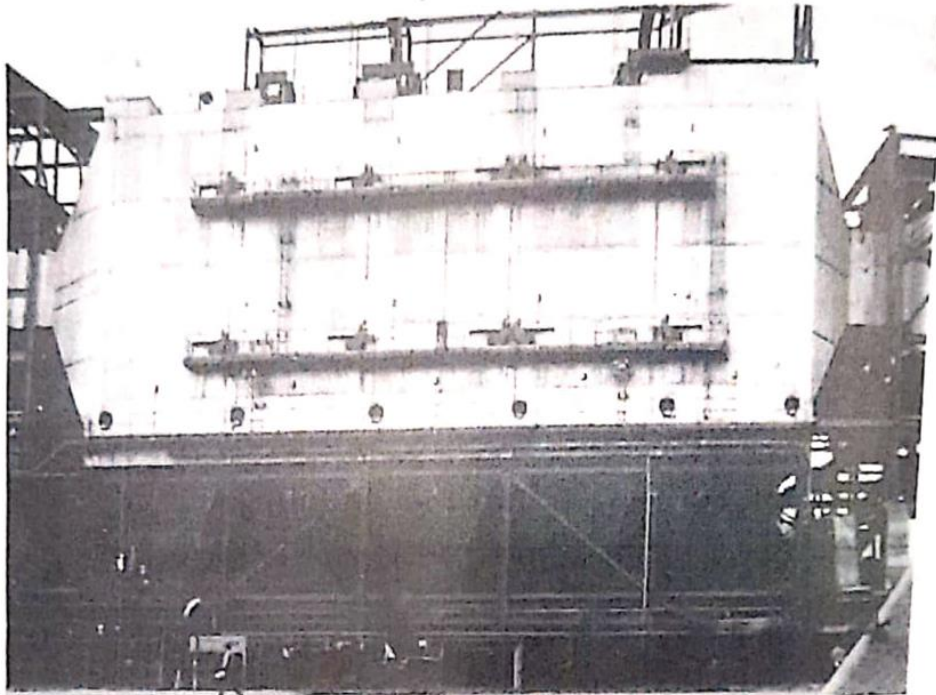
(Πηγή : Western Precipitation Division Joy Manufacturing Co., Los Angeles, CA.)

Σύμφωνα με τον Harry J. White: “ο σχεδιασμός των ηλεκτροστατικών φίλτρων έχει αποκτήσει νέα σημασία κατά τη διάρκεια της περασμένης δεκαετίας. Η αυστηρή επιβολή των ορίων καθαρής ατμόσφαιρας μπορεί να απαιτεί περιορισμό ή ακόμη και πλήρη αναστολή εργασιών ολόκληρων μονάδων παραγωγής. Ως εκ τούτου, ο σχεδιασμός των ηλεκτροστατικών φίλτρων και η τεχνική πρακτική είναι σήμερα ισοδύναμης σημασίας με αυτή του ιδίου του εξοπλισμού παραγωγής.”

Η διεργασία του διαχωρισμού με ηλεκτροστατικό φίλτρο (ή ηλεκτροστατικό κατακρημνιστή/ Electrostatic Precipitator- ESP) εμπεριέχει τρία στάδια. Αρχικά ιονίζεται ο αέρας με το ρυπαντικό φορτίο που ρέει ανάμεσα στα ηλεκτρόδια και κατόπιν, τη φόρτιση, μετακίνηση και συλλογή του ρυπαντικού φορτίου. Τέλος τα σωματίδια απομακρύνονται από τις πλάκες. Αυτά μπορεί να είναι είτε ξηρές σκόνες είτε υγρά σταγονίδια. Τα παραπάνω στάδια συντελούν ώστε ο αέρας να ρέει μέσω του ηλεκτροστατικού φίλτρου, αλλά τα σωματίδια να αποτίθενται πίσω πάνω στις πλάκες. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα τα εναπομείναντα σωματίδια ξεπλένονται ή τινάζονται και συγκεντρώνονται στη βάση του ESP. Η συσκευή αυτές χαρακτηρίζονται από μια μοναδική λειτουργία που τις διέπει, αυτή της εστιασμένης δράσης των δυνάμεων συλλογής. Δηλαδή ότι αυτές ασκούνται μόνο στα σωματίδια και όχι σε ολόκληρο το ρεύμα αέρα. Αυτό το φαινόμενο τυπικά έχει ως αποτέλεσμα μια υψηλή απόδοση συλλογής με μια πολύ χαμηλή πτώση πίεσης του αέρα. (Brown, 2002)

Η εφαρμογή τους ξεκίνησε να τίθεται σε ισχύ αρχές του 20ού αιώνα, περίπου το 1920, αρχικά σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αρχικά οι αποδόσεις τους κυμαίνονταν σε πολύ χαμηλά επίπεδα και σε συνδυασμό πρωτοφανών δυσκολιών που προέκυψαν υπήρξε μια πολυετής περίοδος προσπαθειών για βελτίωση. Πράγματι οι αποδόσεις μετά από μερικές δεκαετίες από την πρώτη εγκατάσταση, έφτασαν την τάξη του 95%. Στη σημερινή εποχή προϋπόθεση κατασκευής ενός ESP είναι ο σχεδιασμός του για την επίτευξη απόδοσης 99.9%. Για να γίνει σαφές το πόσο σημαντική είναι η κατά το δυνατόν βέλτιστη απόδοση, αναφέρεται ότι μια βελτίωση 0.4% στην απόδοση συλλογής, αντιπροσωπεύει μείωση 80% στις εκπομπές.

Οι τόσο υψηλές αποδόσεις των ESP είναι ένας από τους λόγους επιλογής τους, σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος λειτουργίας. Μπορούν ακόμα να επεξεργάζονται πολύ μεγάλους όγκους αερίου με χαμηλή πτώση πίεσης, σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών. Επιπλέον μπορούν να επιτύχουν ξηρή συλλογή πολύτιμων υλικών, είτε υγρή συλλογή για καπνούς και ομιχλώματα, με την προϋπόθεση ότι τα σωματίδια αυτά δεν έχουν ιδιαίτερα υψηλή ηλεκτρική ειδική αντίσταση. Ωστόσο απαιτούν υψηλό κόστος επένδυσης καταλαμβάνοντας παράλληλα πάρα πολύ χώρο. Ο σχεδιασμός τους πρέπει να γίνεται για συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας για τις οποίες να διασφαλίζεται ότι δεν θα μεταβληθούν. Σε διαφορετική περίπτωση υπάρχει περίπτωση αδυναμίας προσαρμογής του ESP στις νέες συνθήκες λειτουργίας.



Εικόνα 10: ESP το οποίο έχει εγκατασταθεί σε έναν σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας 364 MW. Η ισχύς αυτή επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης άνθρακα ο οποίος περιέχει περίπου 15% τέφρα. Το ESP επεξεργάζεται κατά προσέγγιση 1 εκατομμύριο acfm (actual cubic feet per meter- μονάδα ογκομετρικής ροής) με 99.6% απόδοση. Το συγκεκριμένο διαθέτει πλάκες ύψους 14.5 m και διάκενου 30 cm, 50 κανάλια, 5 τμήματα στη διεύθυνση της ροής και 10 ηλεκτρικά τμήματα συνολικά.

πηγή: 'ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ C.David Cooper, F.C Alley'

ΘΕΩΡΙΑ ΓΙΑ ESP

Έστω ότι μια ροή αέρα η οποία περιλαμβάνει σωματίδια κινείται σε ένα τετραγωνικό κανάλι το οποίο ορίζεται από δύο παράλληλες πλάκες όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Θεωρώντας το ήμισυ του καναλιού ανάμεσα στα σύρματα φόρτισης και την πλάκα, πλάτους $D/2$ και ύψους H , μπορεί να εξαχθεί η εξίσωση που χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό των εν λόγω συσκευών. (Alley, 2004)

Η διαδικασία του σχεδιασμού ανταποκρίνεται σε μερικές παραδοχές οι οποίες αφορούν τα σωματίδια. Συγκεκριμένα τα αέρια (και συνάμα τα σωματίδια) να κινούνται στη διεύθυνση x με σταθερή ταχύτητα u και χωρίς κατά μήκος ανάμειξη, ακολουθώντας ομοιόμορφη κατανομή στις κατευθύνσεις y και z , σε κάθε θέση x . Επιπλέον ότι τα πεδία φόρτισης και συλλογής είναι εξίσου ομοιόμορφα, με τα σωματίδια να αποκτούν γρήγορα την οριακή ταχύτητα w στην διεύθυνση y .

Η συγκέντρωση των σωματιδίων θα μειώνεται με το x λόγω της καθαρής μετακίνησης τους στην πλάκα. Παράλληλα εφαρμόζεται ένα ισοζύγιο μάζας σε όσα ρέουν μέσα και έξω σε μια πολύ μικρή εγκάρσια τομή του καναλιού. Έτσι προκύπτει ότι η διαφορά ανάμεσα στη μάζα των σωματιδίων που ρέουν μέσα και έξω από το λεπτό τμήμα πρέπει να είναι ίση με τη μάζα αυτών που απομακρύνονται από τις πλάκες.

Συνεπώς η μάζα που αφαιρείται είναι ίση με την εξής διαφορά :

$$\text{mass removed} = u H D/2 C_x - u H D/2 C_{x+\Delta x} \quad (\text{εξίσωση 3.5})$$

όπου u : ταχύτητα αερίου σε m/min

H : ύψος πλάκας σε m

D : πλάτος καναλιού σε m

C : συγκέντρωση σωματιδίων ή φόρτιση σε g/m^3

Στην πραγματικότητα η μάζα που απομακρύνεται ισούται με την ροή των σωματιδίων στην κατεύθυνση y επί την κάθετη επιφάνεια στο πεδίο ροής. Επομένως η παραπάνω σχέση διαμορφώνεται ως εξής:

$$u H D/2 (C_x - C_{x+\Delta x}) = w C_{x+\Delta x/2} H \Delta x \quad (\text{εξίσωση 3.6})$$

όπου w : η ταχύτητα πλαγιολίσθησης ή οριακή ταχύτητα στην y διεύθυνση σε m/min. Αυτή ισούται με το γινόμενο του χαρακτηριστικού χρόνου του σωματιδίου στο αέριο πολλαπλασιασμένο με την ηλεκτροστατική δύναμη ανά μονάδα μάζας. Έτσι :

$$w = \tau' F_E \quad (\text{εξίσωση 3.7})$$

όπου F_E : ηλεκτροστατική δύναμη ανά μονάδα μάζας στο σωματίδιο (N/kg) , η οποία σύμφωνα με τον White (1977) μπορεί να είναι τόσο υψηλή όσο 3000 φορές η δύναμη της βαρύτητας για ένα σωματίδιο ενός μm .

τ' : χαρακτηριστικός χρόνος διορθωμένος ως προς την μετατόπιση s

Διαιρώντας όλη την εξίσωση με το Δx και λαμβάνοντας υπόψη το όριο ως Δx να προσεγγίζει το μηδέν, λαμβάνουμε :

$$(-uHD/2) (dC/dx) = wHC \quad (\text{εξίσωση 3.8})$$

η οποία μπορεί να διαχωριστεί και να ολοκληρωθεί από 0 έως L, όπου είναι το μήκος καναλιού, ώστε να προκύψει :

$$\ln (C_L/C_0) = -2wHL/uHD \quad (\text{εξίσωση 3.9})$$

ή

$$\ln (C_L/C_0) = -wA_P/Q_C \quad (\text{εξίσωση 3.10})$$

όπου A_P : η επιφάνεια μιας πλάκας δύο πλευρών σε m^2

Q_C : η ογκομετρική παροχή αερίου στο κανάλι σε m^3/min

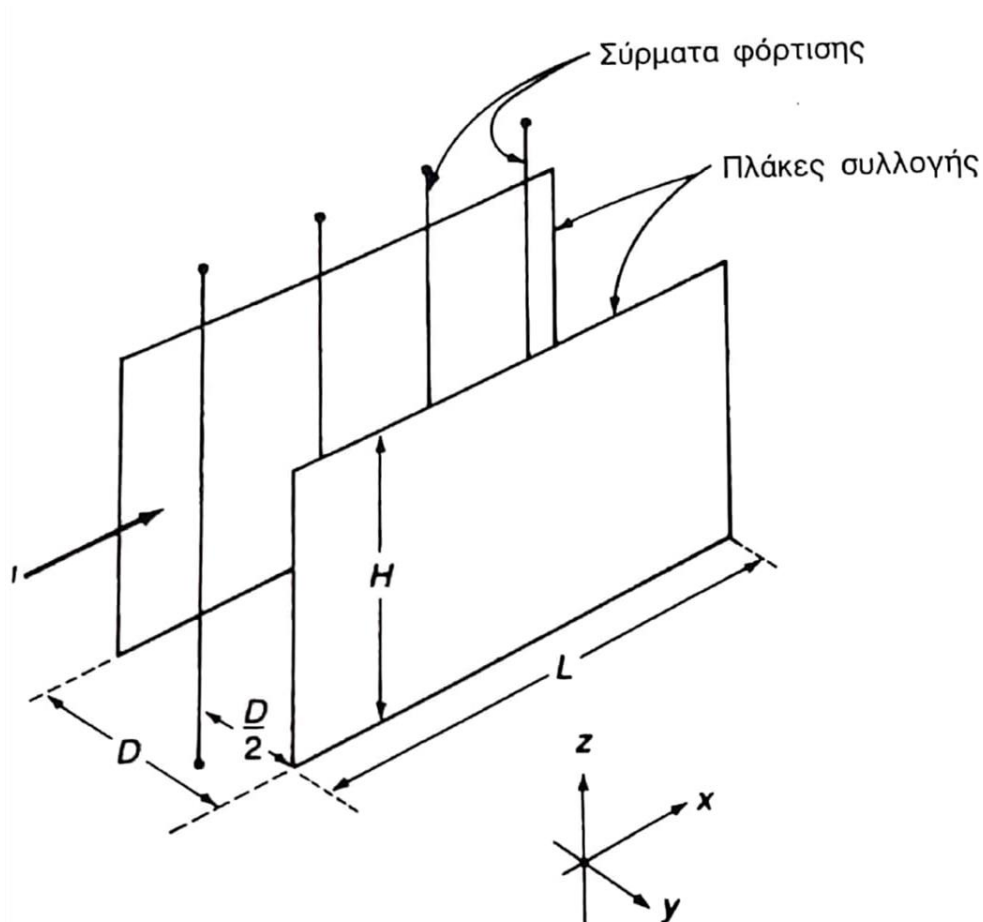
Για ολόκληρο το ESP μπορεί να γίνει χρήση της συνολικής επιφάνειας συλλογής και η συνολική παροχή αερίου. Έτσι προκύπτει η εξής σχέση :

$$C_L/C_0 = e^{(-wA/Q)} \quad (\text{εξίσωση 3.11})$$

Με βάση τον ορισμό της της απόδοσης συλλογής η παραπάνω εξίσωση γίνεται η εξίσωση Deutsch :

$$\eta = 1 - e^{(-wA/Q)} \quad (\text{εξίσωση 3.12})$$

όπου η : κλασματική απόδοση συλλογής.



Εικόνα II: Σχηματικό διάγραμμα της ροής ανάμεσα σε δύο πλάκες ενός ESP
πηγή: 'ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ C.David Cooper, F.C. Alley'

Συνήθως τα σωματίδια ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου φορτίζονται μέσω αρνητικού πεδίου φόρτισης, είτε με φόρτιση διάχυσης. Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιείται πεδίο υπό μορφή στέμματος (corona), εφαρμόζοντας υψηλή αρνητική τάση έως 100000 Volt. Αποτέλεσμα η δημιουργία ελεύθερων ηλεκτρονίων μέσω ιονισμένων μορίων του αερίου. Τα ηλεκτρόνια έχοντας κατεύθυνση προς τις γειωμένες πλάκες, συγκρούονται και προσκολλώνται στα ηλεκτροαρνητικά αέρια δημιουργώντας αρνητικά ιόντα. Καθώς το πεδίο υπόκειται φόρτιση, τα ιόντα αυτά κινούνται προς τα σωματίδια της σκόνης. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι αποτελεσματική για σωματίδια μεγαλύτερα από 1μm.

Σε περιπτώσεις όπου ρέουν σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 0.2μm χρησιμοποιείται η μέθοδος της φόρτισης μέσω διάχυσης. Όταν ένα σωματίδιο έχει πολύ μικρή διάμετρο ή πυκνότητα, τότε είναι πολύ πιθανό να ακολουθεί τυχαίες τροχιές καθώς κινείται. Μάλιστα σε πολλές περιπτώσεις ακολουθεί κίνηση brown. Όταν τα ιόντα του αερίου λόγω αυτής της κίνησης συγκρούονται με τα μικρά σωματίδια τότε πραγματοποιείται φόρτιση μέσω διάχυσης.

Το ηλεκτρικό φορτίο κορεσμού πάνω σε ένα σωματίδιο σφαιρικού σχήματος, σε θεωρητικό επίπεδο, δίνεται από τη σχέση :

$$q = \pi d_p^2 \epsilon_0 K E_{ch} \quad (\text{εξίσωση 3.13})$$

όπου d_p : διάμετρος σωματιδίου, m

ϵ_0 : διηλεκτρική σταθερά του κενού διαστήματος, $8.85 \cdot 10^{-12}$ C/V-m

E_{ch} : ένταση ηλεκτρικά φορτισμένου πεδίου

K : σταθερά η οποία υπολογίζεται ως : $K = 3\epsilon/(\epsilon+2)$

όπου ϵ : διηλεκτρική σταθερά για ένα σωματίδιο σχετικά με το κενό διάστημα

Σημειώνεται ότι η σταθερά K των διάφορων σωματιδίων λαμβάνει τιμές στο διάστημα 1.5-2.4

3.2.1 Τεχνική σχεδίαση των ESP

Το γενικό πλαίσιο σχεδιασμού των ESP περιλαμβάνει τον καθορισμό διαστάσεων των πλακών, τον τρόπο κατασκευής τους, την εύρεση της απαιτούμενης ηλεκτρικής διέγερσης, τον προσδιορισμό του τινάγματος, τον τρόπο με τον οποίο θα απομακρύνεται η σκόνη, καθώς και την εγκατάσταση μηχανισμών αυτόματου ελέγχου ώστε να εντοπίζονται σφάλματα ή τυχούσες βλάβες. (Alley, 2004)

Η τοποθέτηση των πλακών γίνεται σε παράλληλη διάταξη με την μεγαλύτερη διάσταση να έχει κατακόρυφη τοποθέτηση. Σημειώνεται πως δεν χρησιμοποιείται όλη η επιφάνεια της πλάκας για περισυλλογή, αλλά ένα μέρος αυτής. Κάθε πλάκα συγκαλείται από δύο επιφάνειες. Η τοποθέτηση τους γίνεται σε συγκεκριμένες θέσεις, με την απόσταση ανάμεσα τους να οριοθετεί έναν αγωγό ροής. Συνεπώς σε κάθε αγωγό ροής χρησιμοποιούνται δύο πλευρές πλακών ανά δύο, με στόχο την σωματιδιακή περισυλλογή. Ωστόσο στα δύο άκρα της διάταξης τα οποία αποτελούν τα εξωτερικά σημεία του αρχικού και τελικού αγωγού ροής, χρησιμοποιείται μία μεριά της κάθε πλάκας. Αν θεωρηθεί ότι το δυναμικό περισυλλογής κάθε πλάκας είναι οι δύο πλευρές της και η διάταξη αποτελείται από n πλάκες, τότε το συνολικό ενεργό δυναμικό της διάταξης λαμβάνεται υπόψη για $n-1$ πλάκες (στο συγκεκριμένο τμήμα). Οπότε για ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο το οποίο διαθέτει N_s τμήματα στη διεύθυνση της ροής, το συνολικό δυναμικό συλλογής ή απλά επιφάνεια συλλογής A είναι το γινόμενο του αριθμού ενεργών πλακών με την επιφάνεια της διπλής μεριάς για κάθε πλάκα.

$$A = A_p(n-1) N_s$$

$$= A_p (N - N_s) \quad (\text{εξίσωση 3.14})$$

όπου

A_p : επιφάνεια πλάκας με διπλή μεριά

n : αριθμός πλακών εν παραλλήλω κατά το πλάτος του εύρους του ESP

N : πλήθος πλακών στο ESP

N_s : σύνολο των τμημάτων στη διεύθυνση της ροής

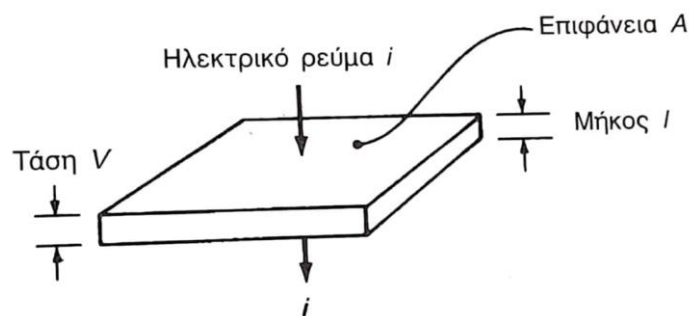
Με βάση την παραπάνω σχέση και εφόσον είναι γνωστές οι διαστάσεις της μίας πλάκας, τότε μπορεί να υπολογιστεί ο αριθμός των πλακών.

Ο σχεδιασμός της στεμματόμορφης εκκένωσης (κορόνα), μέσω των ηλεκτροδίων φόρτισης, αποτελεί σημαντικό παράγοντα καθώς η μορφή αυτή είναι ενδεδειγμένη για την φόρτιση των σωματιδίων. Στην περιοχή αυτή του πεδίου δημιουργούνται ηλεκτρόνια υψηλής ενέργειας τα οποία ιονίζουν τα μόρια του μίγματος αερίου καθώς αυτό εισέρχεται. Συγκεκριμένα το πεδίο “κορόνα” παράγει ηλεκτρόνια σε μεγάλες ποσότητες τα οποία προσκολλώνται επί των ηλεκτροαρνητικών αερίων, όπως για παράδειγμα το οξυγόνο ή το διοξείδιο του θείου. Αποτέλεσμα η δημιουργία ιόντων τα οποία απορροφούνται πάνω στα σωματίδια, τα οποία κατευθύνονται προς τις γειωμένες πλάκες.

Σε ότι αφορά τα σωματίδια και τις ιδιότητες τους, πέραν των γεωμετρικών χαρακτηριστικών, μεγάλη σημασία δίδεται στο επίπεδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Πρόκειται για την παράμετρο της αντίστασης στην ηλεκτρική αγωγιμότητα, η οποία μπορεί να είναι μεταβαλλόμενη εντός ενός εύρους τιμών. Η μεταβολή της τιμής μπορεί να επηρεάσει θετικά ή αρνητικά την ικανότητα περισυλλογής ανεξάρτητα από το αν επέλθει αύξηση ή μείωση της.

Αρχικά αναφέρεται ότι αφού τα σωματίδια συλλεχθούν, επέρχεται πτώση του φορτίου τους, καθώς αυτό μεταφέρεται καθώς ρέει το ηλεκτρικό ρεύμα. Έτσι διατηρείται η πτώση τάσης ανάμεσα στα σύρματα και στις πλάκες. Επιπλέον όταν τα σωματίδια είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού, τότε διαθέτουν πολύ χαμηλή ειδική αντίσταση. Σε αυτή την περίπτωση το ηλεκτροστατικό φορτίο εκκενώνεται πολύ γρήγορα με αποτέλεσμα η σκόνη προς συγκράτηση να εισέλθει εκ νέου εντός του αερίου. Αντιθέτως όταν η ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι πολύ υψηλή, δεν πραγματοποιείται εκκένωση του φορτίου στις πλάκες συλλογής. Αποτέλεσμα η μείωση του ιονισμού και η αύξηση της δυσκολίας τινάγματος, καθώς τα σωματίδια παραμένουν ισχυρά ελκυσόμενα από την πλάκα.

Παρακάτω ακολουθεί ο τρόπος προσδιορισμού της τιμής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης:



Εικόνα 12: προσδιορισμός της τιμής της ειδικής αντίστασης

πηγή: 'ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ C.David Cooper, F.C. Alley'

Όπως απεικονίζεται διαβιβάζεται ροή ηλεκτρικού μέσω της πλάκας, της οποίας η γεωμετρία είναι γνωστή. Το υλικό της πλάκας είναι αυτό για το οποίο γίνεται σε πειραματικό επίπεδο ο προσδιορισμός της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Πολλές φορές βέβαια μπορεί να παρατηρηθεί μεγάλη διαφορά της τιμής ανάμεσα σε μετρήσεις εργαστηρίου και πεδίου, με τις πρώτες να είναι από 100 έως 1000 φορές μεγαλύτερες (σύμφωνα με White, 1984). Ο τύπος υπολογισμού της τιμής αναφερόμενης ως P είναι ο εξής:

$$P = R A / l = V A / i l \quad (\text{εξίσωση 3.15})$$

όπου P: ειδική ηλεκτρική αντίσταση, σε ohm-cm

R: αντίσταση, σε ohm

A: κάθετη επιφάνεια στην ροή του ηλεκτρικού ρεύματος, σε cm²

l: μήκος διαδρομής στη διεύθυνση του ηλεκτρικού ρεύματος, σε cm²

V: τάση, σε volt

i: ηλεκτρικό ρεύμα, σε Ampere

Συνήθως η ηλεκτρική αντίσταση P των υλικών λαμβάνει τιμές από 10⁻³ έως 10¹⁴ ohm-cm. Όσον αφορά τις ιπτάμενες τέφρες από άνθρακα, αυτή μπορεί να πάρει τιμές από 10⁸ έως 10¹³ ohm-cm. Ωστόσο η ειδική ηλεκτρική αντίσταση σκόνης τσιμέντου μπορεί να υπερβεί τα 10¹³ ohm-cm (σύμφωνα με U.S. Environmental Protection Agency 1985). Σε όλες τις περιπτώσεις τιμών άνω των 10¹¹ ohm-cm εμπεριέχεται ο κίνδυνος της ορθής λειτουργίας του ηλεκτροστατικού φίλτρου.

Η παραπάνω τιμή και ειδικότερα αυτή της ιπτάμενης τέφρας, επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία και τη χημική σύσταση. Η χωρική αγωγιμότητα μέσω του ίδιου του υλικού, καθώς και η επιφανειακή αγωγιμότητα διαμέσου των προσροφημένων αερίων ή υγρών, καθορίζουν την αγωγιμότητα του στρώματος της σκόνης. Η χωρική αγωγιμότητα μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας ενώ η επιφανειακή αγωγιμότητα μειώνεται καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται.

Η κατασκευή των πλακών γίνεται συνήθως από ενισχυμένα ελάσματα χάλυβα. Υπάρχει ανάγκη για μειωμένη τύρβη ώστε να αποφεύγεται η επανείσοδος της σκόνης. Έτσι στην περιοχή των πλακών τοποθετούνται διαφράγματα. Τυπικά οι πλάκες έχουν απολύτως επίπεδη επιφάνεια, διατηρώντας έτσι το ίδιο διάκενο σε οποιοδήποτε σημείο για λόγους ομοιομορφίας.

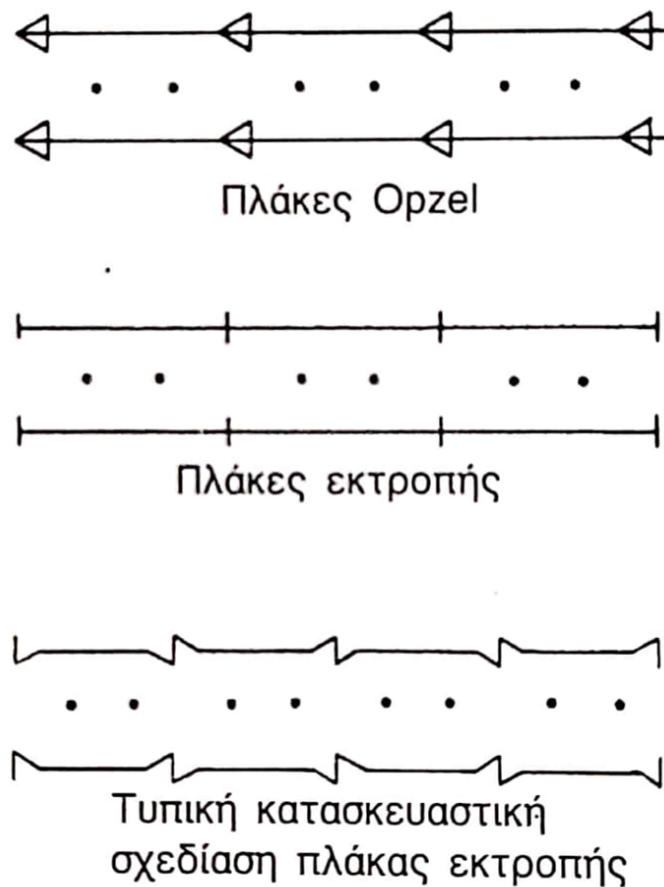
Τα ηλεκτρόδια εκφόρτισης ουσιαστικά είναι σύρματα των οποίων η διάμετρος είναι περίπου 2.5 χιλιοστά. Προσδένονται σε αυτά βαρίδια ώστε να παραμένουν τεντωμένα, ενώ για την αποφυγή μεγάλης ταλάντωσης τους χρησιμοποιούνται οδηγοί κατά την τοποθέτησή τους. Είναι εξαρτήματα τα οποία χρήζουν συχνής συντήρησης, με ορισμένα σημεία να έρχονται σε διάβρωση, λόγω διαρροής αέρα ή συμπύκνωσης οξέων. Πρακτικά τα σύρματα μεγάλου μήκους ταλαντώνονται, με αποτέλεσμα το μεσαίο τμήμα του να έρχεται σε κοντινή απόσταση από την πλάκα. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να προκληθεί σπινθηρισμός ή φθορά. Πολλές φορές γίνεται χρήση στηρίξεων άκαμπτης δομής.

Η διατήρηση της σωστής λειτουργία ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου προϋποθέτει την περιοδική απομάκρυνση των σωματιδίων, ενώ αυτές μπορούν να παραμένουν υπό διέγερση. Αυτή πραγματοποιείται τινάζοντας τις πλάκες, δημιουργώντας έτσι μια δόνηση η οποία απομακρύνει τα στρώματα της σκόνης που έχουν σχηματιστεί. Η σκόνη που αποκολλάται από την πλάκα πέφτει σε μια συσκευή-συλλέκτη και εν συνεχεία οδηγείται σε μια εγκατάσταση φόρτωσης. Για να φτάσει σε αυτό το στάδιο χρησιμοποιούνται πνευματικοί σωλήνες διακίνησης υλικών, ή κοχλιομεταφορείς. Ακόμα και στα σύρματα παραμένει ποσότητα σκόνης η οποία πρέπει να απομακρύνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα μέσω τινάγματος ή δόνησης.

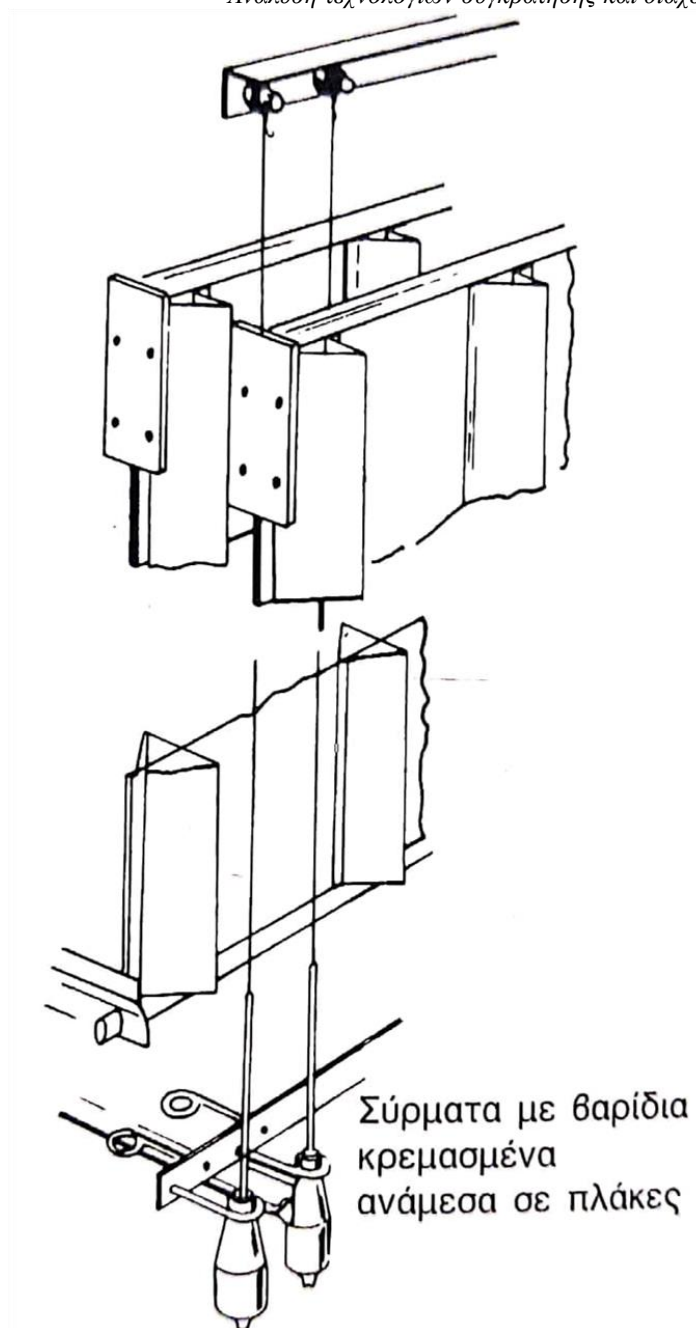
Υπάρχουν δύο τύποι τινάγματος οι οποίοι προσεγγίζουν το θέμα της απομάκρυνσης της εναπομένουσας σκόνης. Στους Αμερικάνικους τύπους το χτύπημα που δέχονται οι πλάκες προέρχεται

από ένα καταπίπτον βάρος. Η ρύθμιση της ισχύος του πεδίου επιτάχυνσης ή του ύψους που αφήνεται να πέσει, καθορίζει την ένταση του κτυπήματος. Στην περίπτωση Ευρωπαϊκού τύπου, το τίναγμα πραγματοποιείται από μια σφύρα η οποία περιστρέφεται. Έτσι για την μεταβολή της έντασης του τινάγματος απαιτείται η αλλαγή του μεγέθους της σφύρας

Αφού γίνει η εκτίναξη οι συλλέκτες (ή συλλεκτήρες) παραλαμβάνουν την σκόνη που πέφτει, παρέχοντας προσωρινή αποθήκευση. Το σχήμα τους είναι μορφής πυραμίδας συγκλίνοντας σε μια κυκλική ή τετραγωνική εκροή. Η σκόνη δεν ολισθαίνει με ευκολία, οπότε η κλίση των τοιχωμάτων πρέπει να είναι αυξημένη και άνω του 60%. Έτσι αποφεύγεται η παραμονή συσσωρευμένης σκόνης μέσω της δημιουργίας κρούστας ή γεφυρών. Πολλές φορές μάλιστα γίνεται χρήση μηχανισμών, ι οποίοι θερμαίνουν τους συλλέκτες ώστε να εξασφαλίζεται καλύτερη ροή, καθώς η θερμή τέφρα ολισθαίνει πιο εύκολα σε σχέση με την ψυχρή.

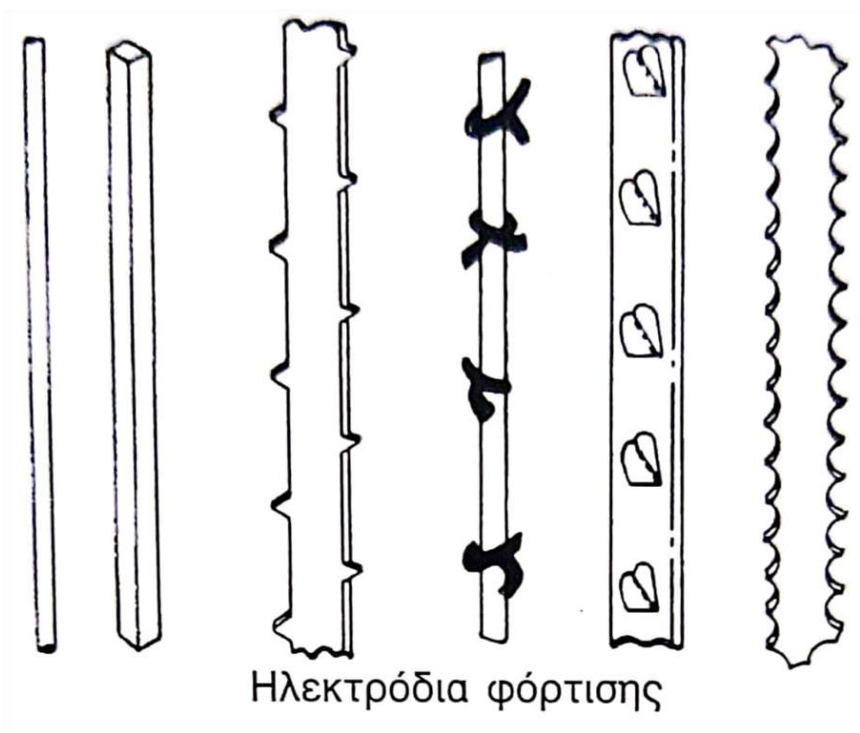


Εικόνα 13: Σχηματικό διάγραμμα για τρεις διαφορετικούς τύπους πλακών
πηγή: 'ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ C.David Cooper, F.C Alley'



Εικόνα 14: Σχηματικό διάγραμμα συρμάτων

πηγή: 'ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ C.David Cooper, F.C Alley'



Εικόνα 15: Σχηματικό διάγραμμα ηλεκτροδίων φόρτισης

πηγή: 'ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ C.David Cooper, F.C Alley'

3.2.2 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ESP

Για την λειτουργία ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου η ενέργεια που καταναλώνεται διοχετεύεται κυρίως στο πεδίο της κορόνας και στην πτώση πίεσης. Το εμβαδόν της επιφάνειας ροής είναι αρκετά μεγάλο, με αποτέλεσμα να ρέει μεγάλος όγκος αερίου, προκαλώντας μικρή τιμή της πτώσης πίεσης.

Η ηλεκτρική ενέργεια για την κορόνα μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση:

$$P_c = I_c V_{avg} \quad (\text{εξίσωση 3.16})$$

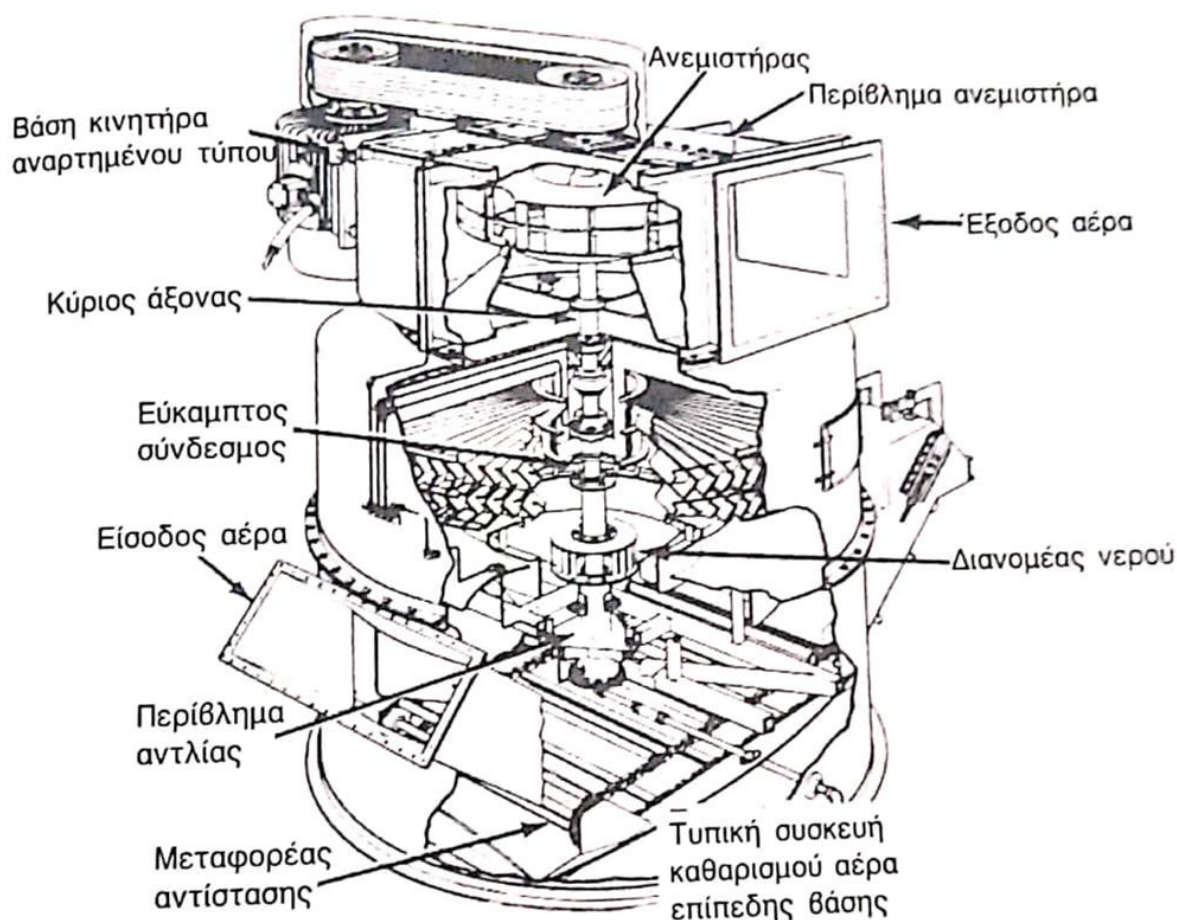
όπου P_c : ηλεκτρική ενέργεια κορόνας, σε Watt

I_c : ηλεκτρικό ρεύμα κορόνας, σε Ampere

V_{avg} : μέσος όρος τάσης, σε Volt

Παρόλο οι τάσεις των ηλεκτροστατικών φίλτρων είναι πολύ μεγάλες, η ροή του ρεύματος λόγω της μετακίνησης των ιόντων αερίου είναι χαμηλή. Σε αυτό το φαινόμενο αποδίδεται η υψηλή κατανάλωση ενέργειας των ESP.

3.3 ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ



Εικόνα 16: Σχεδιασμός μηχανικής πλυντρίδας υγρού καθαρισμού, μέσω της Centri-Spray Corporation

Οι συσκευές υγρής συλλογής για καπνούς, λεπτή ομίχλη και αιωρούμενα σωματίδια καλούνται πλυντρίδες. Έχουν πεδίο εφαρμογής σε μονάδες παραγωγής ενέργειας, βιομηχανίες τροφίμων-καλλυντικών και σε χαλυβουργεία ή μεταλλουργεία

Η συγκεκριμένη κατηγορία εξοπλισμού ελέγχου ρύπανσης συλλέγει τα σωματίδια μέσω της άμεσης επαφής τους με ένα υγρό στοιχείο, το οποίο στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι το νερό. Η θερμοκρασία εισόδου μπορεί να λάβει τιμές από 4 έως 400 βαθμούς κελσίου. Πρακτικά ξεπλένουν τους ανεπιθύμητους ρύπους ενός αέριου ρεύματος. Οι διάφοροι τύποι που κυκλοφορούν στο εμπόριο ομαδοποιούνται με βάση τον μηχανισμό επαφής με το νερό, αλλά και διακρίνονται με βάση την ενέργεια σε μονάδες χαμηλής, μέσης ή υψηλής. Οι ενεργειακές απαιτήσεις μπορούν να εκφραστούν ως πτώση πίεσης επί της πλυντρίδας ή από το επίπεδο το της ισχύος επαφής. Οι μονάδες που αφορούν την ισχύ επαφής λαμβάνονται υπόψη σε $\text{hp}/1000 \text{ cfm}$ ή $\text{kWh}/1000 \text{ m}^3$. Οι ρυθμοί κυκλοφορίας του υγρού δίνονται σε γαλόνια ανά χίλια κυβικά πόδια ($1 \text{ gal}/1000 \text{ ft}^3 = 0.134 \text{ L}/\text{m}^3$). Παρακάτω παρατίθενται διάφοροι τύποι πλυντρίδων. (Alley, 2004)

Ο βασικότερος μηχανισμός συλλογής για τις εν λόγω συσκευές είναι αυτός της αδρανειακής πρόσκρουσης των σωματιδίων στην επιφάνεια σταγονιδίων υγρού. Ο σχεδιασμός των συστημάτων υγρού καθαρισμού βασίζεται σε μοντέλα τα οποία αφορούν τις οποιεσδήποτε διεργασίες επαφής αερίου-υγρού. Με βάση αυτά τα μοντέλα μπορεί να γίνει πρόβλεψη για την δυνατότητα διείσδυσης

λαμβάνοντας υπόψη και τη διάμετρο του σωματιδίου. Κατά συνέπεια η μέτρηση της διεισδυτικότητας εξάγει πληροφορία για τον βαθμό απόδοσης της συσκευής.

Η παράμετρος που αφορά τη διείσδυση μπορεί να υπολογιστεί από την εξής σχέση:

$$Pt_d = 1 - n_d \quad (\text{εξίσωση 3.17})$$

όπου n_d : η κλασματική απόδοση των σωματιδίων που έχουν διάμετρο d_p .

ενώ αν πολλαπλασιαστεί η διείσδυση με το κλάσμα μάζας για κάθε σωματίδιο, τότε μπορεί να υπολογιστεί η συνολική διείσδυση :

$$Pt_o = \sum (Pt_d M_d) \quad (\text{εξίσωση 3.18})$$

όπου M_d : το κλάσμα μάζας των σωματιδίων στην καθορισμένη διάμετρο

Ανάλυση τεχνολογιών συγκράτησης και διαχείρισης σωματιδιακών ρύπων
ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΥΠΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΠΛΥΝΤΡΙΔΩΝ ΥΓΡΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

Πηγή	Τύπος Πλυντρίδας (Βλέπε Σημειώσεις)	Παροχή acfm	Πτώση Πίεσης in. H ₂ O
Αποτεφρωτήρες			
Επικίνδυνα Απόβλητα	HEV/PT	1,000–100,000	45–50
	F/C MV	1,000–100,000	35–45
Νοσοκομειακά Απόβλητα	HEV	500–50,000	45–50
	F/C MV	500–50,000	35–40
Υγρά Απόβλητα	HEV/PT	500–40,000	40–45
Αέρια Απόβλητα	PT	100–100,000	5–15
Πολτού / Χαρτιού			
Λάσπη Κλιβάνου Ασβέστου	MEV ή	2,000–100,000	18–30
	PAV	2,000–60,000	10–15
Μονάδα Σβέσης Ασβέστου	LEV ή	500–20,000	6–12
	FBS ή	500–20,000	6–8
	ST	500–20,000	6–10
Δεξαμενή Διάλυσης	LEV ή	500–30,000	8–16
	MP ή	500–30,000	4–8
	FBS ή	500–30,000	6–8
	ST	500–30,000	4–8
	LEV/PT	500–30,000	10–20
Εγκατάσταση Λεύκανσης	PT ή	1,000–60,000	6–10
	FBS	1,000–60,000	6–8
BRN. Συσκευή Καθαρισμού	PT ή	1,000–60,000	6–8
Αποθεμάτων	CS ή	1,000–60,000	8–10
	FBS	1,000–60,000	6–8
Χημική Βιομηχανία			
Διαλυτά Αέρια	PT ή	50–60,000	3–20
	FBS ή	50–60,000	6–12
	WF	50–60,000	3–10
Σκόνη	LEV ή PAV	50–60,000	6–20
	FBS	50–60,000	6–12

Σημείωση: CS = πλυντρίδα κυκλωνικού ψεκασμού· F/C MV = συμπύκνωση αερίων καύσης, venturi πολλο-
 πλού λαιμού· FBS = πλυντρίδα ρευστοποιημένης κλίνης (δίσκος ή σχάρα με μορφή αλυσοειδούς καμπύλης)·
 HEV = venturi υψηλής ενέργειας· LEV = venturi χαμηλής ενέργειας· MEV = venturi μέσης ενέργειας· MP =
 δικτυωτό κάλυμμα· PAV = venturi υποβοηθούμενο με αντλία· PT = πύργος με πληρωτικό υλικό· ST = πύργος
 ψεκασμού· WF = υγρό φίλτρο

Buonicore and Davis, Eds., *Air Pollution Engineering Manual*. Πνευματικά δικαιώματα © 1992 Van Nostrand
 Reinhold. Επανεκδοση με άδεια της John Wiley & Sons, Inc.

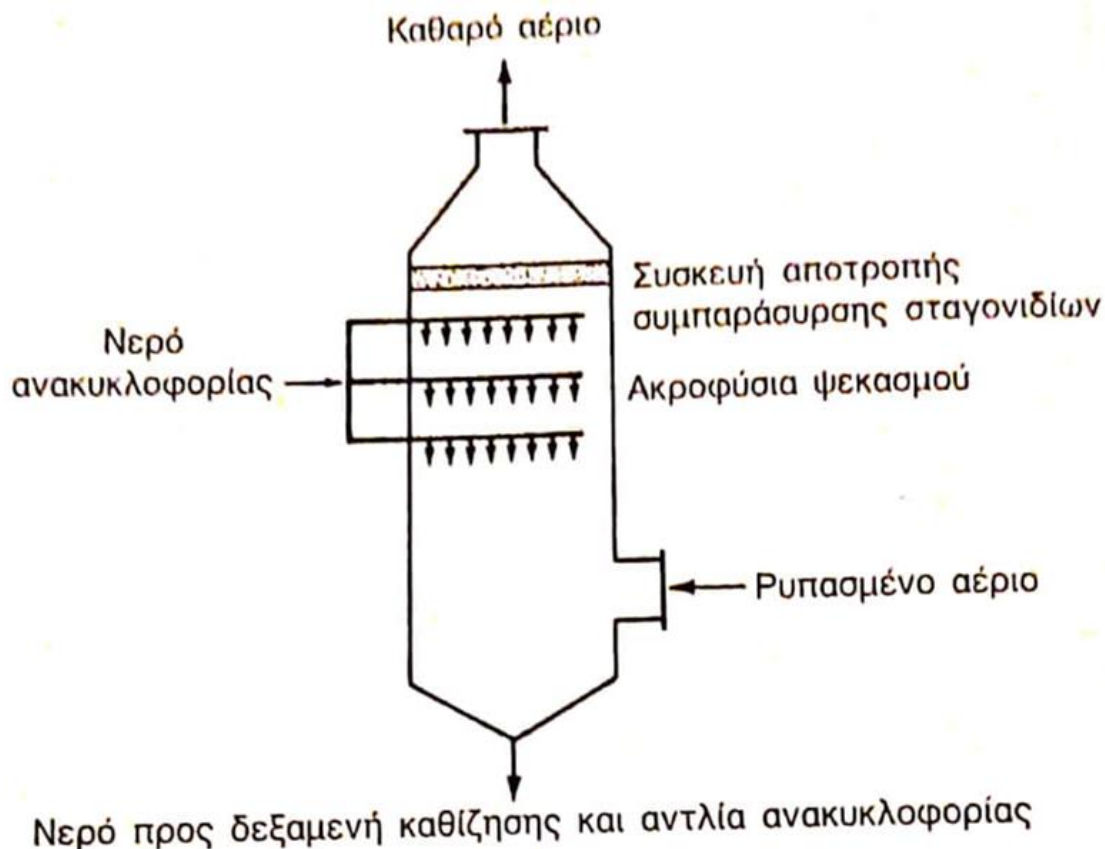
Πίνακας 2: Τυπικές εφαρμογές πλυντρίδων υγρού καθαρισμού

Πηγή: ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ 'C. David Cooper, F.C ALLEY'

3.3.1 ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ ΜΕ ΘΑΛΑΜΟ ΨΕΚΑΣΜΟΥ (spray-chamber scrubbers)

Οι συσκευές αυτές διαθέτουν έναν κυκλικό ή ορθογώνιο θάλαμο διαμέσου του οποίου διέρχεται ο φορτισμένος με σωματίδια αέρας. Στην πορεία του συναντά σταγονίδια υγρού τα οποία παράγονται από ακροφύσια ψεκασμού (spray nozzles). Το μέγεθος των σταγονιδίων ρυθμίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να βελτιστοποιείται η επαφή των σωματιδίων και να παρέχεται εύκολος διαχωρισμός τους από το ρεύμα αέρα. Τυπικές διατάξεις είναι η κάθετη ή οριζόντια, χρησιμοποιώντας κυρίως ακροφύσια αντίθετου ή και διασταυρούμενου ψεκασμού στην διεύθυνση ροής του αέριου μίγματος.

Οι απαιτήσεις του συστήματος αφορούν την ογκομετρική παροχή του υγρού καθώς και την πίεση του στα ακροφύσια ψεκασμού. Ειδικότερα απαιτούνται περίπου 1.5 λίτρο υγρού ανά κυβικό μέτρο καθώς και πίεση 35 έως 50 psi, ώστε να προκύπτει το επιθυμητό μέγεθος σταγονιδίων. Τα εύρη τιμών που αναφέρθηκαν καθορίζονται με βάση την πυκνότητα του υγρού προς ψεκασμό αλλά και από τον όγκο του θαλάμου. Έχει παρατηρηθεί ότι τα ακροφύσια τα οποία παρέχουν μια κωνική γεωμετρία στα σταγονίδια του υγρού έχουν πιο αποτελεσματική χρήση. Κάθε στοιχείο του υγρού που ψεκάζεται οδηγείται προς καθίζηση ή ανακυκλοφορία. Η πρώτη περίπτωση συμβαίνει όταν το υγρό είναι πολύ μολυσμένο ώστε να αποφεύγεται η συγκέντρωση υψηλής ποσότητας ρύπων στο ακροφύσιο. Μια άλλη περίπτωση διαχείρισης του υγρού που ψεκάζεται είναι να φιλτραριστεί κατάλληλα ώστε να μπορεί να ανακυκλοφορήσει στο σύστημα. Είναι προφανές ότι ο καθαρισμός ή αντικατάσταση των ακροφυσίων είναι αναπόφευκτος, ως μέρος της διαδικασίας συντήρησης του εξοπλισμού. Σε πρακτικό επίπεδο οι θάλαμοι ψεκασμού μπορούν να φιλτράρουν με αποτελεσματικότητα 90% σωματίδια διαμέτρου μεγαλύτερης των 8 μm .



Εικόνα 17: Κάθετος θάλαμος ψεκασμού (αντίθετης ροής)

πηγή : ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ David Cooper , F C Alley

Σύμφωνα με τον Calvert (1997) η διεισδυτικότητα Ptd σε ένα θάλαμο ψεκασμού κάθετα διαταγμένου αποτελεί συνάρτηση των εξής παραγόντων :

$$\begin{aligned} Ptd &= \exp[-(3Q_L V_{td} z \eta_d)/(4Q_{Grd}(V_{td}-V_G)) \\ \Rightarrow Ptd &= \exp [-A_d V_{td} \eta_d / Q_G] \end{aligned} \quad (\text{εξίσωση 3.19})$$

όπου Ptd :η διείσδυση ενός σωματιδίου συγκεκριμένου μεγέθους, η οποία λαμβάνει τιμές στο διάστημα 0 έως 1. Λαμβάνεται υπόψη ότι τα σταγονίδια που προκύπτουν από κάθε ακροφύσιο παρουσιάζουν γεωμετρική ομοιομορφία και αποκτούν στιγμιαία την οριακή ταχύτητα καθίζησης.

Q_L : ογκομετρική παροχή υγρού (m^3/s)

Q_G : ογκομετρική παροχή αερίου (m^3/s)

V_G : επιφανειακή ταχύτητα αερίου (cm/s)

V_{td} : οριακή ταχύτητα καθίζησης σταγονιδίων (cm/s) , δηλαδή η τιμή της ταχύτητας πάνω από την οποία το σταγονίδιο αιωρείται

η_d : κλασματικός βαθμός απόδοσης ενός και μόνο σταγονιδίου,ο οποίος λαμβάνει τιμές από 0 έως 1 και προκύπτει ως εξής : $\eta_d = (K_p/(K_p+0.7))^2$ (εξίσωση 3.20)

$$\text{όπου } K_p = C_p d_p^2 V_{p,d} / 9 \mu_G d_d$$

$$= \rho_\omega d_a^2 V_{p,d} / 9 \mu_G d_d \quad (\text{εξίσωση 3.21})$$

όπου C: συντελεστής διόρθωσης Cunningham, αδιάστατος

p_p : πυκνότητα σωματιδίου, g/m^3

d_p : φυσική διάμετρος

$V_{p,d}$: ταχύτητα σωματιδίου σε σχέση με το σταγονίδιο, cm/s

d_d : διάμετρος σταγονιδίου, cm

μ_G : ιξώδες αερίου , poise

d_a : αεροδυναμική διάμετρος σωματιδίου, cm

ρ_ω : πυκνότητα νερού, g/cm^3

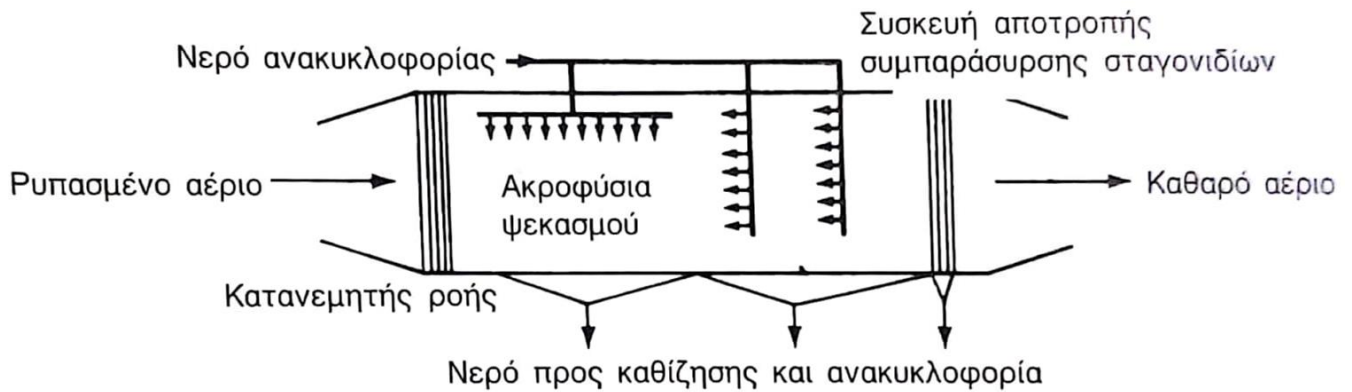
r_d : ακτίνα σταγονιδίου (cm)

z : μήκος της ζώνης επαφής της πλυντρίδας (cm)

A_d : ενεργός διατομή της επιφάνειας όλων των σταγονιδίων στην πλυντρίδα (cm^2)

το οποίο μπορεί να δοθεί μέσω της σχέσης : $A_d = 3Q_L z / (4r_d(V_{td}-V_G))$ (εξίσωση 3.22)

Πρόκειται για την απλή μορφή θαλάμου ψεκασμού αφού όπως φαίνεται δεν υπάρχουν πολύ υψηλές σχεδιαστικές απαιτήσεις του εξοπλισμού.



Εικόνα 18: Οριζόντιος θάλαμος ψεκασμού (διασταυρούμενης ροής)

πηγή: 'ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ C David Cooper, F C Alley'

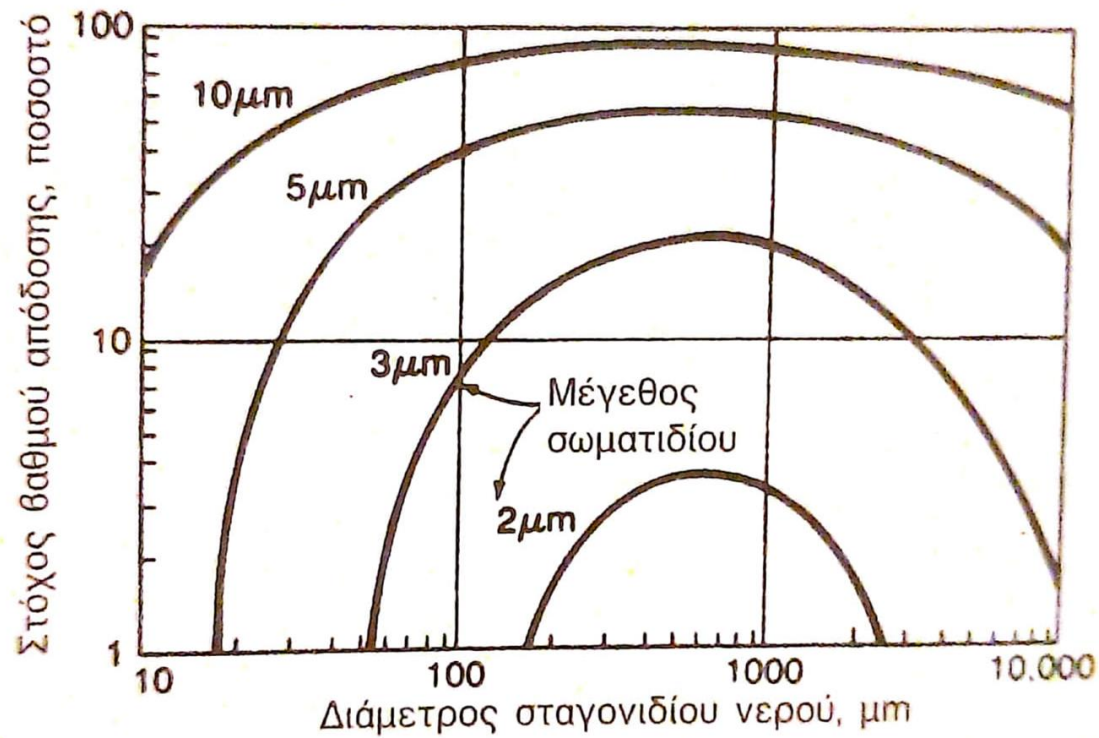
Στην προκειμένη περίπτωση του οριζόντιου θαλάμου ψεκασμού η προηγούμενη εξίσωση μπορεί να τροποποιηθεί ως εξής :

$$\begin{aligned} \text{Ptd} &= \exp[-3Q_L z \eta_d / 4Q_G r_d] \\ &= \exp[-A_d V_{p,d} \eta_d / Q_G] \quad (\text{εξίσωση 3.23}) \end{aligned}$$

Σε αυτού του τύπου συσκευή και με βάση τον τρόπο διάταξης της, εισάγεται μια πολυπλοκότητα σε σχέση με τον θάλαμο κάθετης διάταξης ψεκασμού μονής κατεύθυνσης. Στην συγκεκριμένη περίπτωση αναπτύσσονται μηχανισμοί ψεκασμού διπλής κατεύθυνσης ώστε να προκύψει διασταυρούμενη ροή, αποσκοπώντας στην αποτελεσματικότερη κατακράτηση σωματιδίων. Η άρτια λειτουργία τους προϋποθέτει την ύπαρξη ενός κατανεμητή ροής στο σημείο εισόδου του ρυπασμένου αερίου. Επιπλέον ο σχεδιασμός περιλαμβάνει μεγαλύτερη επιφάνεια αποστράγγισης του υγρού προς ανακυκλοφορία και ενδεχομένως να υπάρξουν περισσότερες από μια υδρορροές.

Το θεωρητικό υπόβαθρο των θαλάμων ψεκασμού βασίζεται στην αδρανειακή πρόσκρουση των σωματιδίων στα σταγονίδια που σχηματίζονται από τα ακροφύσια ψεκασμού. Πολλές φορές δε, πρέπει να υπάρχει γνώση των σημείων τοποθέτησης των μπεκ ψεκασμού, καθώς αυτά που διατάσσονται κάθετα έχουν μεταβλητή πίεση αναλογικά με το σχετικό ύψος.

Η παρακάτω γραφική απεικόνιση μπορεί να βοηθήσει στην επεξήγηση και κατανόηση των όσων αναφέρθηκαν στις σχέσεις. Παρουσιάζονται καμπύλες του στόχου βαθμού απόδοσης για τέσσερα διαφορετικά μεγέθη σωματιδίων, σε συνάρτηση με το μέγεθος του σταγονιδίου:

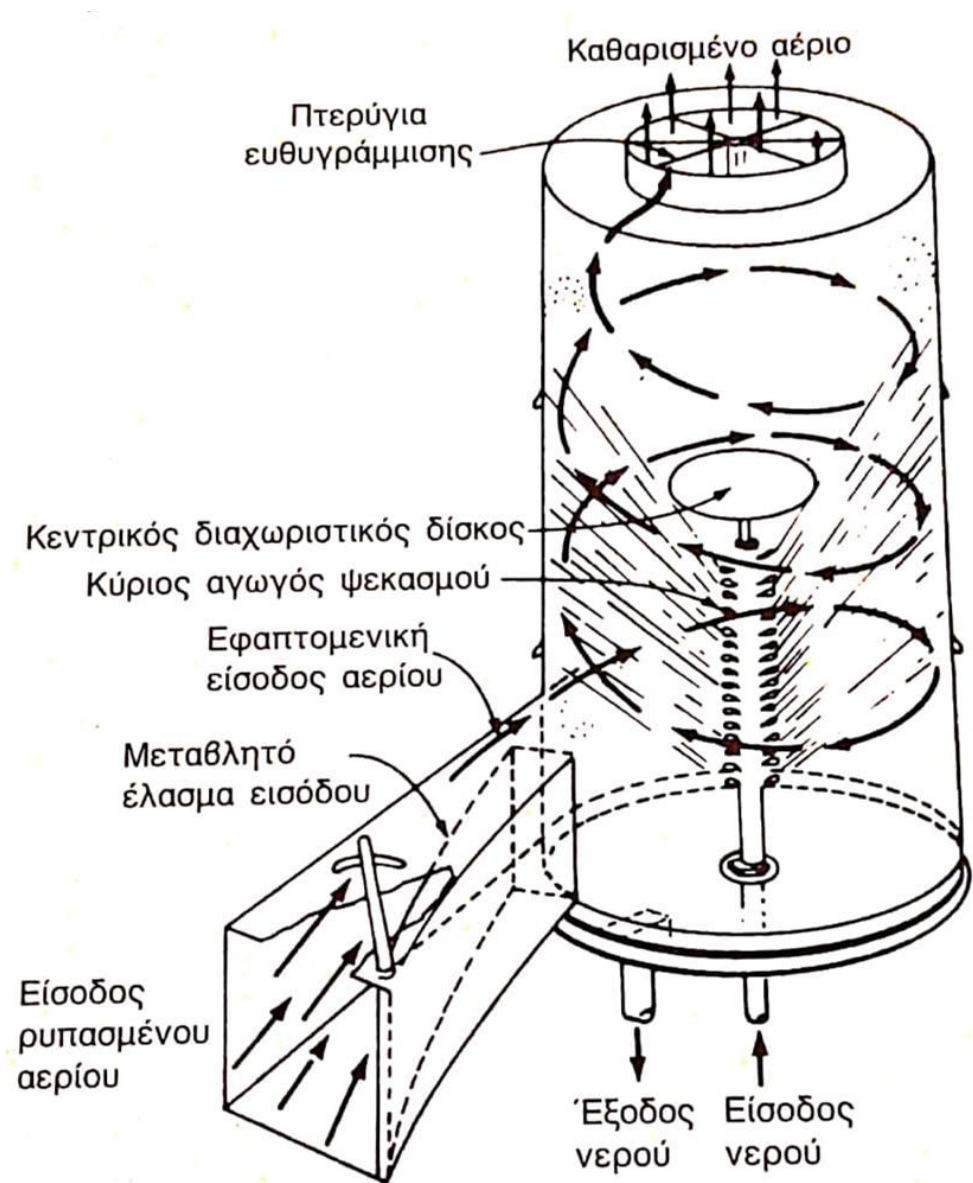


Εικόνα 19: καμπύλες στόχου βαθμού απόδοσης

Προσαρμοσμένο από (American Industrial Hygiene Association , 1968)

Φαίνεται ότι το σύστημα λειτουργεί με ανάλογα αποτελέσματα για κάθε μέγεθος σωματιδίου. Ο καθοριστικός παράγοντας είναι το εύρος της διαμέτρου του σταγονιδίου, το οποίο κυμαίνεται από 500 έως 1000 μικρά. Είναι το πεδίο τιμών όπου παρουσιάζονται οι μέγιστες αποδόσεις για τα διάφορα σωματίδια. Το συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί είναι ότι πρέπει το μέγεθος του σταγονιδίου να είναι τέτοιο (μικρό) ώστε να μπορεί να επιταχυνθεί με υψηλό ρυθμό στο ρεύμα αέρα , αλλά ταυτόχρονα να μπορεί να δράσει ενάντια στο σωματίδιο παγιδεύοντας το. Ναι μεν ένα πολύ μικρό σταγονίδιο λαμβάνει υψηλές τιμές ταχύτητας, αλλά δεν είναι ικανό να απορροφήσει με επιτυχία το προσκρούον σωματίδιο, πόσο μάλλον όταν αυτό είναι μεγάλης διαμέτρου. Πρακτικά το εν λόγω σύστημα μπορεί να λειτουργήσει από μέγεθος σωματιδίων τουλάχιστον 5μm, καθώς οι μικρότερες τιμές δίνουν αποδόσεις κάτω του 65%, που είναι απαγορευτική τιμή για σύστημα φίλτρανσης. (American Industrial Hygiene Association , 1968)

3.3.2 ΘΑΛΑΜΟΙ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΜΕ ΚΥΚΛΩΝΑ

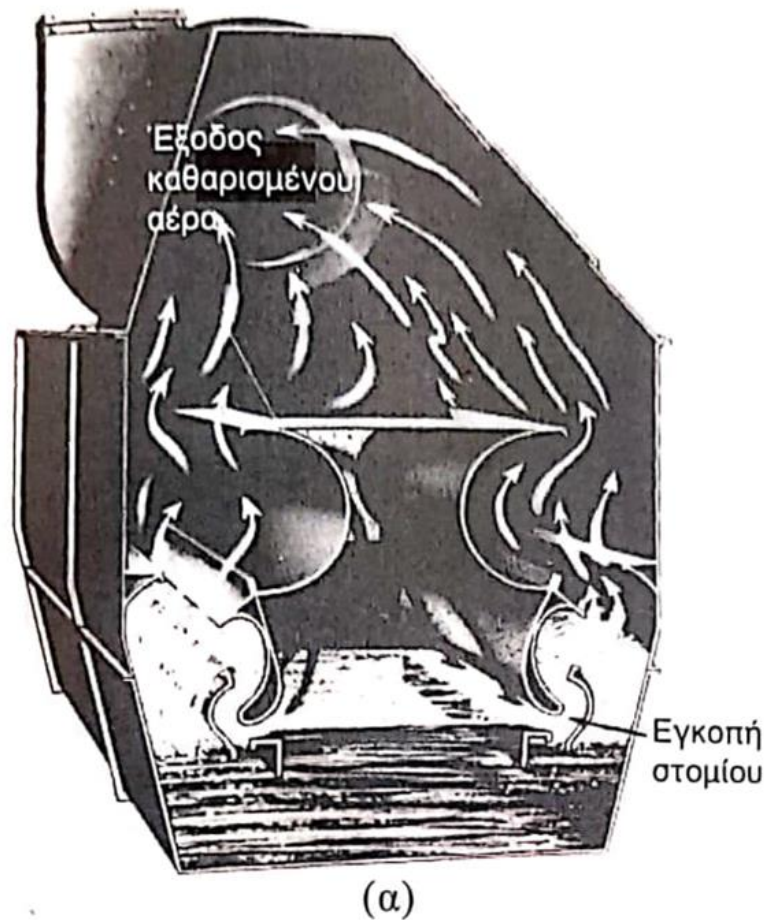


Εικόνα 20: Θάλαμος ψεκασμού με κυκλώνα

Προσαρμοσμένο από Air Pollution Manual -Part II, 1968)

Πρόκειται για την τροποποίηση του απλού θαλάμου ψεκασμού ώστε να επιτευχθεί υψηλότερος βαθμός απόδοσης. Βασικός λόγος είναι η εφαπτομενική εισροή έτσι ώστε να αυξάνεται η επιφανειακή ταχύτητα του αερίου. Η φυγοκεντρική δύναμη που ασκείται καθιστά ευκολότερο το διαχωρισμό των σταγονιδίων και παράλληλα επιτρέπει τη χρήση σταγονιδίων μικρότερου μεγέθους, με αποτέλεσμα η απόδοση συλλογής να φτάνει το 95%. (American Industrial Hygiene Association, 1968)

3.3.3 ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ ΜΕ ΣΤΟΜΙΟ

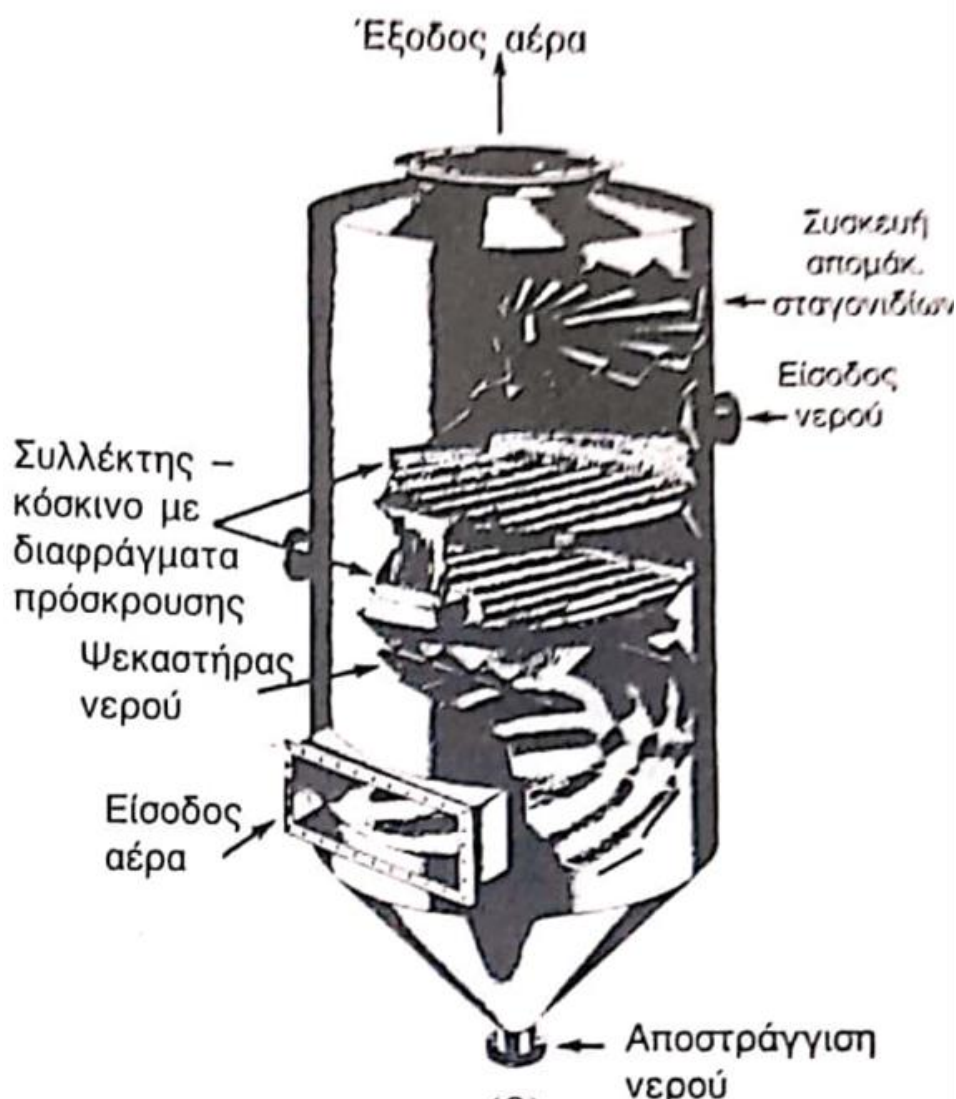


Εικόνα 21: πλυντρίδα στομίου

Με την άδεια της American Air Filter Company

Είναι το είδος των πλυντρίδων γνωστών και ως αυτό-επαγόμενες ή πλυντρίδες ψεκασμού αερίου υπό μορφή σταγονιδίων. Αυτές εμπεριέχουν την πρόσκρουση του ρευστού (μίγμα αέρα-σωματιδίων) σε μια επιφάνεια. Ειδικότερα λαμβάνει χώρα διαδοχική πρόσκρουση σε υγρή επιφάνεια και έπειτα σε μια σειρά διαφραγμάτων. Όπως έχει ήδη αναφερθεί ένα βασικό μέρος της λειτουργίας του συγκεκριμένου εξοπλισμού είναι η ανακυκλοφορία του νερού. Οι πλυντρίδες στομίου είναι χαμηλής απαίτησης ως προς την ανακυκλοφορούμενη ποσότητα, ενώ πολλές φορές το στόμιο είναι μεταβλητό ώστε να μεταβάλλεται η ταχύτητα πρόσκρουσης όπου χρειαστεί. Για αυτή την προσαρμογή χρησιμοποιείται ένας μετακινούμενος κώνος επί του αγωγού προσαγωγής της πλυντρίδας. Όλα τα παραπάνω συντελούν στην επίτευξη βαθμού απόδοσης άνω του 90% εφόσον η διάμετρος των σωματιδίων προς επεξεργασία υπερβαίνει τα 2 μm . (Alley, 2004)

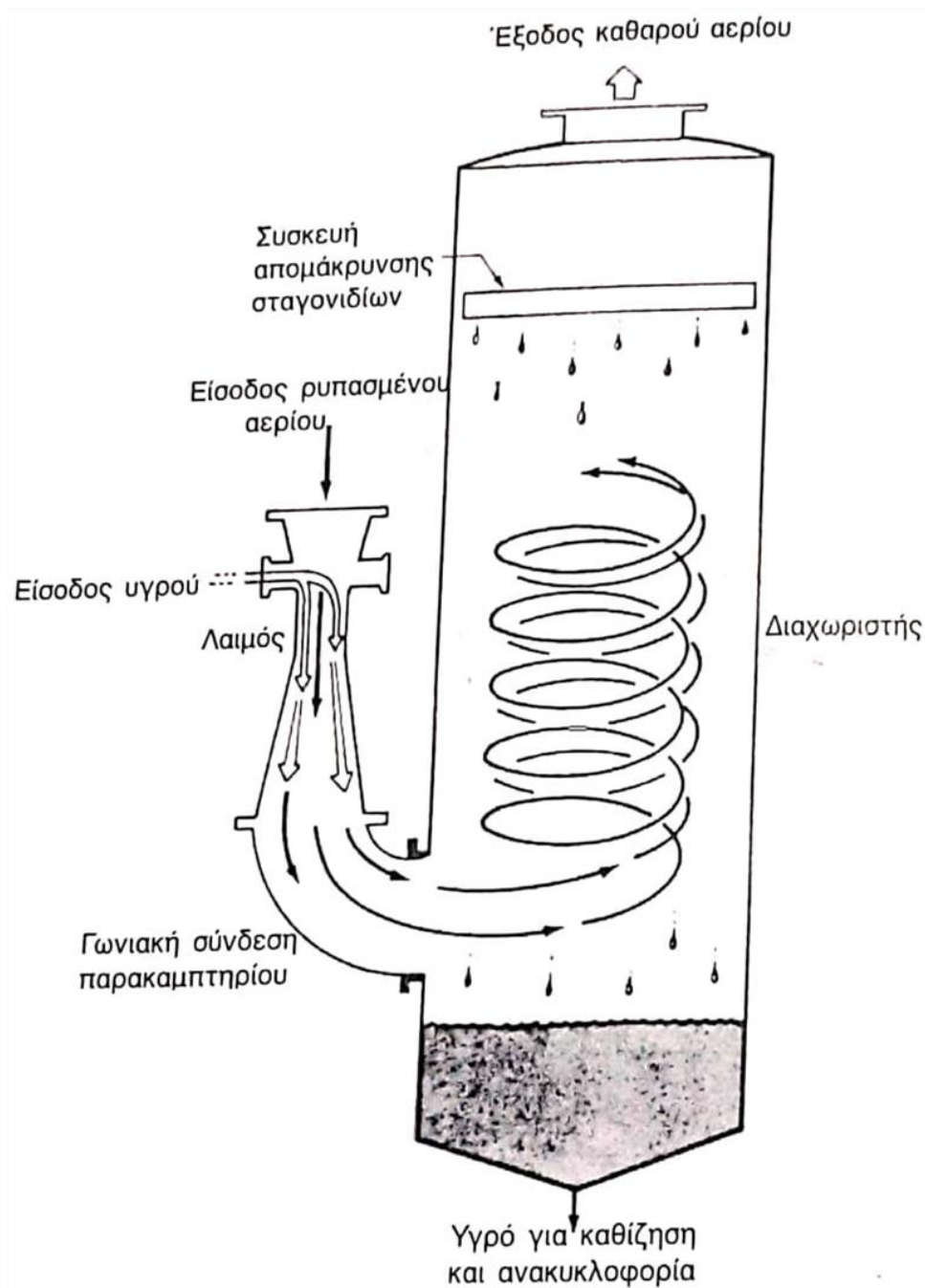
3.3.4 ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗΣ ΣΕ ΥΓΡΟ



*Εικόνα 22: πλυντρίδα πρόσκρουσης σε υγρό
Με την άδεια της Peabody Process Systems*

Χρησιμοποιούν εξίσου με τις προηγούμενες, τεχνολογία πρόσκρουσης σε στερεή επιφάνεια. Η διαφορά στη λειτουργία έγκειται στο ότι το διαρρέον μίγμα κυκλοφορεί στην συσκευή μέσα ενός δίσκου με επίστρωση υγρού και αφρού. Επιπλέον αυτός ο δίσκος διαθέτει μικρές οπές τις οποίες το μίγμα διαπερνά, προσκρούοντας σε μια πλάκα η οποία βρίσκεται ακριβώς πάνω από αυτές. Σε ποσοτικό επίπεδο παροχής είναι εξαπλάσιες για ίδια ισχύ επαφής, ωστόσο μπορούν να επιτύχουν βαθμό απόδοσης της τάξης του 97% για σωματίδια 5μm και άνω. (Alley, 2004)

3.3.5 ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ VENTURI



Εικόνα 23: πλυντρίδα Venturi

Πηγή: 'ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ C.David Cooper, F C. Alley'

Πολλές φορές είναι επιτακτική η ανάγκη για αποτελεσματικότερη διαχείριση του μολυσμένου αέρα. Έτσι η ελάχιστη απαιτούμενη απόδοση μπορεί να χρειαστεί να ξεπεράσει το 97% των πλυντρίδων πρόσκρουσης. Για αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί οι συσκευές venturi. Η αύξηση της απόδοσης οφείλεται στο ότι λαμβάνεται υπόψη αυξημένη σχετική ταχύτητα μεταξύ των σταγονιδίων του υγρού και των αιωρούμενων σωματιδίων. Η λειτουργία του συστήματος οδηγεί σε αποδόσεις της τάξεως του 98%, ενώ βασική προϋπόθεση αποτελεί η μεγάλη πτώση πίεσης. Παρόλο αυτά ο σχεδιασμός του venturi χαρακτηρίζεται από απλότητα και ευκολία στην εγκατάσταση/συντήρηση.

Οι συσκευές αυτές εισάγουν τον διασκορπισμό των σταγονιδίων μέσω του αερίου. Τα σωματίδια προσκρούουν λόγω αδράνειας στα σταγονίδια, καθώς αυτά απελευθερώνονται εντός του ρεύματος του αερίου. Σε περίπτωση μη εισαγωγής επαρκούς ποσότητας υγρού εντός του μίγματος, υπάρχει αυξημένη πιθανότητα να μην υπάρξει πλήρη επαφή αερίου-σταγονιδίου. Όσο αφορά την ταχύτητα του αερίου στο σημείο της αρχικής επαφής τους, πρέπει να λαμβάνει υψηλές τιμές ώστε να επιτευχθεί πλήρης διασκορπισμός.

Η μέτρηση της διεισδυτικότητας ενός σωματιδίου κατά την ροή του σε συσκευή venturi, δόθηκε από τους *Calvert et al. (1972)*. Συγκεκριμένα :

$$P_{td} = \exp \{ [(Q_L V_{Gp} d_d) / (55 Q_G \mu_G)] [-0.7 - K_p f + 1.4 \ln ((K_p f + 0.7) / 0.7) + 0.49 / (0.7 + K_p f)] (1 / K_p) \}$$

(εξίσωση 3.24)

όπου K_p : παράμετρος αδρανειακής πρόσκρουσης. Είναι αδιάστατο μέγεθος το οποίο αφορά την ταχύτητα του αερίου στην είσοδο του λαιμού.

f : εμπειρικός συντελεστής οποίος λαμβάνει τιμή 0.25 για υδρόφοβα σωματίδια και 0.5 για υδρόφιλα σωματίδια.

, d_d : μέση διάμετρος του *Sauter*, η οποία βρίσκεται από τη σχέση των *Nukiyama-Tanasawa (1938)*. Αυτή ισούται με :

$$d_d = (58600 / V_G) (\sigma / \rho_L)^{0.5} + 597 (\mu_L / (\zeta \rho_L)^{0.5})^{0.45} (1000 Q_L / Q_G)^{1.5} \quad (\text{εξίσωση 3.25})$$

όπου ρ_L : μέση διάμετρος σταγονιδίου του *Sauter*, σε μm

σ : επιφανειακή τάση υγρού, dyne/cm

μ_L : ιξώδες υγρού, poise (*Alley, 2004*)

3.3.6 ΑΠΩΛΕΙΑ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΙΣ ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ VENTURI

Η ανάγκη για υψηλή επιτάχυνση του σταγονιδίου δημιουργεί μεγάλες τιμές απωλειών πίεσης. Ο τρόπος για να εκτιμηθεί είναι μέσω της εξίσωσης των *Yung et al. (1977)*:

$$\Delta P = 2 \rho_L V_G^2 (Q_L / Q_G) (1 - X^2 + \sqrt{X^4 - X^2}) \quad (\text{εξίσωση 3.26})$$

όπου ΔP : απώλεια πίεσης, dyne/cm²

V_G : ταχύτητα αερίου, cm/s

X : αδιάστατο μήκος λαιμού και δίνεται από την σχέση: $X = (3 l_v C_{DpG}) / (16 d_p \rho_L) + 1$

όπου l_v : μήκος λαιμού venturi, cm

C_{Dp} : συντελεστής οπισθέλκουσας για σταγονίδια με αριθμούς Reynolds από 10 έως 500

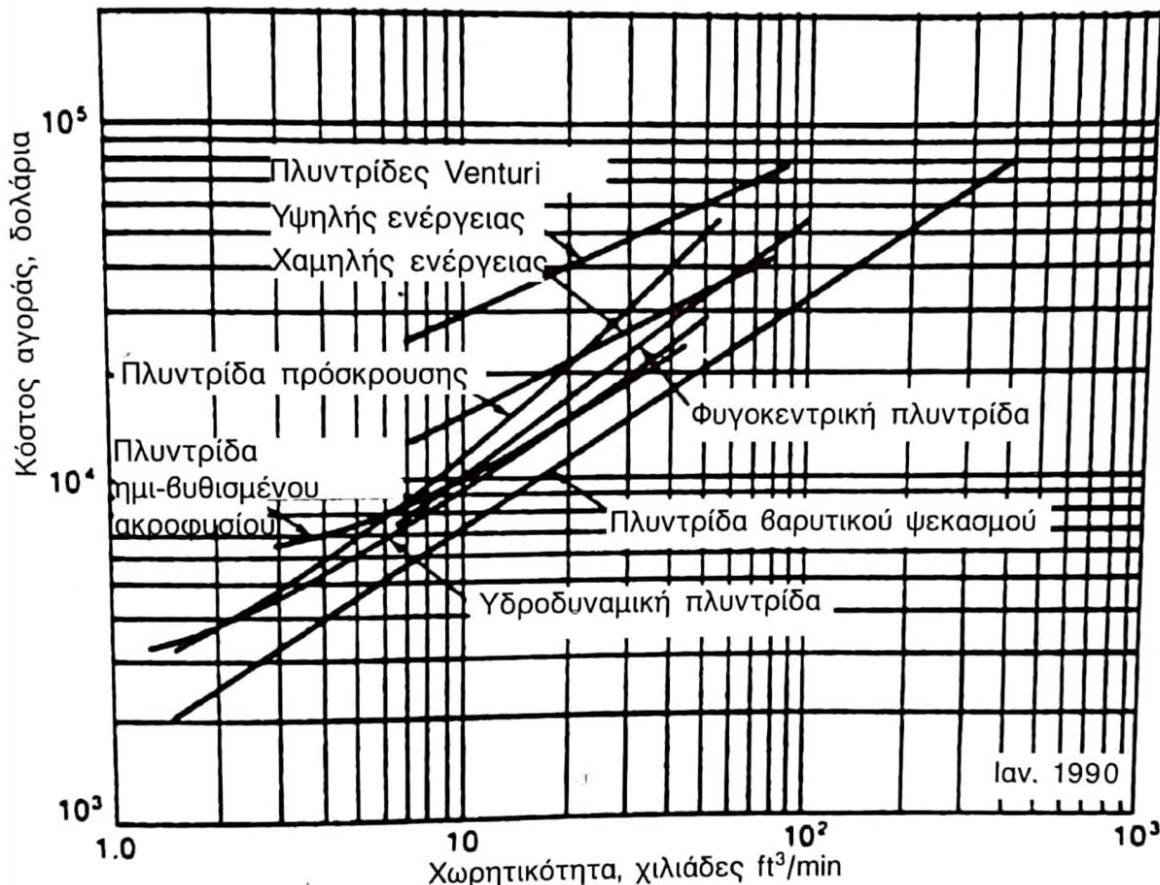
όπου $C_{Dp} = 24 / Re + 4 / Re^{1/3}$

3.3.7 ΚΟΣΤΟΣ ΠΛΥΝΤΡΙΔΩΝ

Τέλος αναφέρεται συγκεντρωτικά για το κόστος του εξοπλισμού των πλυντρίδων ότι μπορεί να διαφέρει με βάση την απαίτηση του ελάχιστου βαθμού απόδοσης, τις ανάγκες για συντήρηση του, αλλά και τις νέες ρυθμιστικές διατάξεις που προκύπτουν.

Το υλικό κατασκευής τους πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να αποφεύγεται η μειώνεται κατά το δυνατότερο η διάβρωση του. Ειδικότερα χρησιμοποιείται ανοξείδωτος χάλυβας τύπου 304, 316 ή οποιοδήποτε άλλο υλικό είναι ανθεκτικό στη διάβρωση το οποίο πληροί τα κατασκευαστικά πρότυπα.

Το κόστος λειτουργίας αναλογεί σε σταθερούς παράγοντες και μη. Αμετάβλητοι είναι η κατανάλωση ενέργειας του ανεμιστήρα και της αντλίας ανακυκλοφορίας για να παράγουν την απαιτούμενη ισχύ. Παράγοντες οι οποίοι μπορεί να υπεισέλθουν σε σχετικές μεταβολές είναι συντήρηση, η οποία εξαρτάται κυρίως από το υλικό κατασκευής και από το προς επεξεργασία μίγμα αερίου. Ακόμα εισάγονται παράγοντες όπως το εργατικό κόστος η επεξεργασία του υγρού, αλλά και η διάθεση της λάσπης. Το κόστος της τελευταίας έχει παρουσιάσει δραματική αύξηση, εφόσον πλέον απαγορεύεται να διατεθεί σε υγειονομική ταφή, σε περίπτωση που εμπεριέχει ενώσεις ταξινομημένες ως επικίνδυνα υλικά.



Εικόνα 24: Διαγράμματα κόστους πλυντρίδων υγρού καθαρισμού με βάση τη χωρητικότητα του θαλάμου

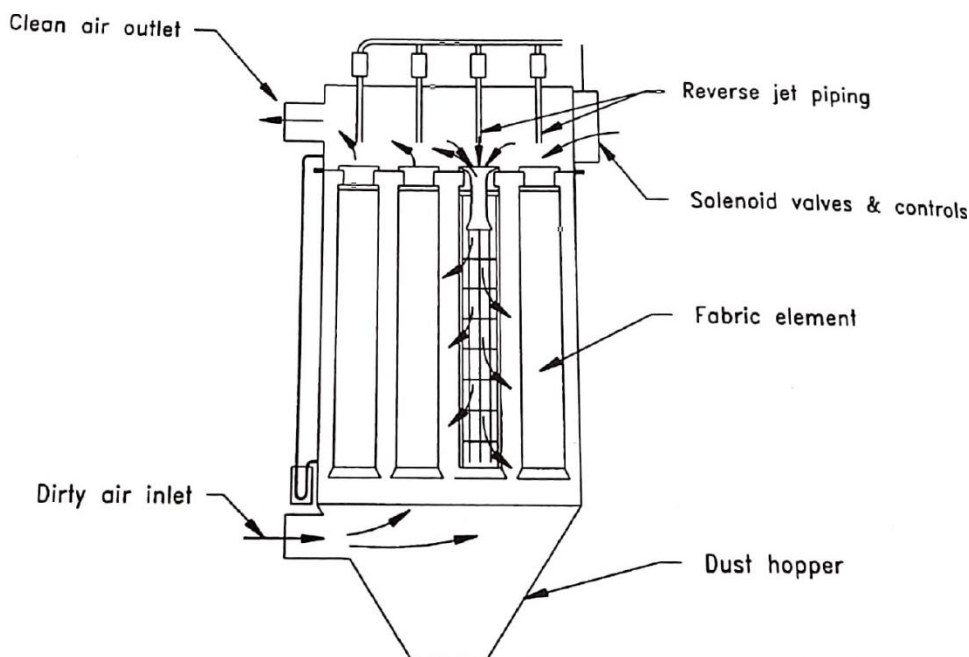
(πηγή: Peters, M.S., and Timmerhaus, K.D., Plant Design and Economics for Chemical Engineers, 1991 McGraw-Hill, inc.)

Τα ευθύγραμμα τμήματα του διαγράμματος μετατοπίζονται κάθετα προς τα πάνω όταν εισάγεται το κατασκευαστικό υλικό. Συγκεκριμένα το κατασκευαστικό κόστος πολλαπλασιάζεται με 1.9 για κατασκευή από ανοξείδωτο χάλυβα-304 και με 2.7 για την κατασκευή από ανοξείδωτο χάλυβα 316.

Μπορεί επίσης να υπάρξει κατασκευή από ενισχυμένο με ίνες πλαστικό, το οποίο αυξάνει το κόστος κατά 70%.

Η επιλογή ή μη ενισχυμένης κατασκευής προϋποθέτει την συγκριτική μελέτη με το κόστος και την συχνότητα συντήρησης ή αντικατάστασης σε περίπτωση διάβρωσης, ενώ πάντα λαμβάνονται υπόψη παράγοντες της σύγχρονης εποχής. Το παραπάνω διάγραμμα αφορά κόστος πλυντρίδων κατά την περίοδο του 1990, ενώ μια δεκαετία αργότερα το κόστος αυξήθηκε κατά 15%. (Amer Conf of Governmental, 2001)

3.4 ΣΑΚΟΦΙΛΤΡΑ



Εικόνα 25:Σακόφιλτρο δόνησης με αέρα υπό πίεση

πηγή : 'INDUSTRIAL VENTILATION A Manual For Recommended Practice'

Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις όπου το μίγμα αέρα που διαρρέει έναν μηχανισμό περισυλλογής, παρουσιάζει κάποιες ιδιότητες οι οποίες καθιστούν αναποτελεσματική τη διαδικασία φιλτραρίσματος από περιπτώσεις μηχανισμών που προαναφέρθηκαν. Για παράδειγμα σε περιπτώσεις λειτουργίας λεβήτων η ιπτάμενη τέφρα διαθέτει πάρα πολύ υψηλή τιμή ειδικής αντίστασης με αποτέλεσμα ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο να μην καθίσταται κατάλληλο προς φιλτράρισμα.

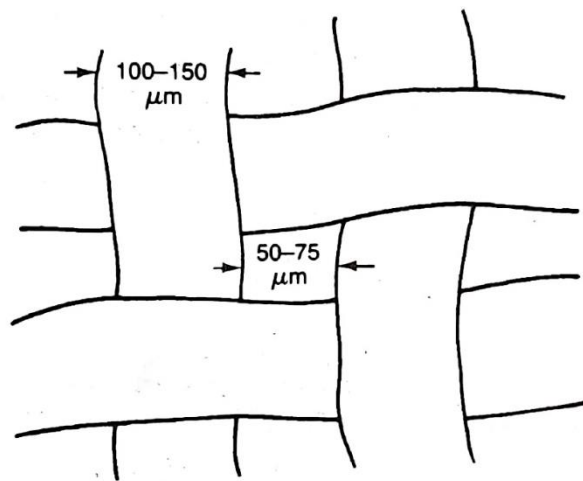
Το παραπάνω πρόβλημα λύνεται αποτελεσματικά με την εγκατάσταση σακόφιλτρου το οποίο χρησιμοποιεί ύφασμα ως μηχανισμό συγκράτησης. Πρόκειται για ευρέως διαδεδομένη μέθοδο διαχωρισμού ξηρών σωματιδίων από ένα μίγμα αέρα, η οποία καταλαμβάνει τουλάχιστον το 50% της αγοράς των συσκευών φιλτραρίσματος. Η πλέξη του υφάσματος είναι τέτοια ώστε να σχηματίζονται σάκοι κυλινδρικού σχήματος οι οποίοι τοποθετούνται παράλληλα, με το μίγμα αέρα να διαπερνά διαμέσου αυτών. Η φίλτρανση λαμβάνει χώρα σε δύο στάδια. Αρχικά υπάρχει η άμεση φίλτρανση του μίγματος από τις ίνες του υφάσματος, της οποίας η δυναμική διαφέρει ανάλογα με την πυκνότητα πλέξης. Σε δεύτερο στάδιο και εφόσον έχει επέλθει αρκετή ροή, σχηματίζεται ένα στρώμα σκόνης το οποίο παραμένει προσκολλημένο στο σάκο. Αυτό μπορεί να λειτουργήσει ως περεταίρω φιλτράρισμα για το διερχόμενο μίγμα, πριν αυτό περάσει από το ύφασμα.

Βέβαια είναι αναγκαία η απομάκρυνση του στρώματος ή ενός μέρους αυτού, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, από την επιφάνεια του υφάσματος και στη συνέχεια από τη συσκευή.

Βασικοί λόγοι για την χρήση των διαφόρων κατηγοριών σακόφιλτρων, όπως θα δειχθεί παρακάτω, αποτελούν η πρακτική εφαρμογή και η υψηλή απόδοση. Διατηρούν τις αποδόσεις συλλογής σε πολύ υψηλά επίπεδα, ακόμη και για πολύ μικρά σωματίδια. Είναι προσαρμόσιμα εντός μεγάλου εύρους σωματιδίων, ενώ απαιτούν σχετικά χαμηλές πιέσεις πίεσης.

Παρόλο αυτά απαιτούν μεγάλη επιφάνεια εγκατάστασης, ενώ η φύση του υλικού του υφάσματος, λειτουργεί ως περιοριστικός παράγοντας. Αυτό συμβαίνει διότι οι ίνες του πανιού είναι ευάλωτες σε υψηλές θερμοκρασίες και σε διαβρωτικές ουσίες, ενώ εάν εισαχθεί στο σύστημα κάποια ποσότητα υγρασίας, τότε η λάσπη που σχηματίζεται μπορεί να μπουκώσει (‘τυφλώσει’) το φίλτρο. (Amer Conf of Governmental, 2001)

θεωρητικό υπόβαθρο



Εικόνα 26:Καινούργιο, καθαρό ύφασμα φίλτρου με πλέξη.

Πηγή : ‘ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ C.David Cooper, F.C Alley’

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχεδιάγραμμα η διάμετρος της κάθε ίνας κυμαίνεται από 100 έως 150 microns. Αναφέρεται ο όρος διάμετρος εφόσον λαμβάνεται υπόψη ότι κάθε ίνα παρουσιάζει κυκλική διατομή σε όλο της το μήκος. Σημειώνεται επίσης ότι μορφή που εικονίζεται είναι η πρότυπη, η οποία αλλάζει με την εκκίνηση της διαδικασίας φιλτραρίσματος. Πρακτικά τα διάκενα της πλέξης μικραίνουν, καθώς με την πάροδο του χρόνου όλο και λιγότερα σωματίδια τα διαπερνούν. Αυτό συμβαίνει διότι ένα μεγάλο μέρος των σωματιδίων παραμένουν στο ύφασμα λόγω φαινομένων πρόσκρουσης, διάχυσης αλλά και της ανάσχεσης πορείας όπως εξηγήθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Αποτέλεσμα των ανωτέρω είναι η σημαντική αύξηση της απόδοσης συλλογής. Βέβαια η συσσώρευση των σωματιδίων πρέπει να παρακολουθείται συχνά αλλά και να αφαιρείται μέρος αυτής, καθώς υψηλή συσσώρευση οδηγεί σε αύξηση στην αντίσταση της ροής του αερίου. Υπάρχει δηλαδή μια ενδιάμεση κατάσταση στην οποία το στρώμα συσσώρευσης είναι ικανό να συγκρατήσει επόμενα σωματίδια σε υψηλό βαθμό και ταυτόχρονα το φίλτρο μπορεί να ‘αναπνέει’.

Για την παραπάνω διαδικασία εισάγεται ο υπολογισμός της πτώσης πίεσης εντός του σακόφιλτρου για μια δεδομένη παροχή μίγματος αερίου:

$$\Delta P = \Delta P_f + \Delta P_P + \Delta P_s \quad (\text{εξίσωση 3.27})$$

όπου ΔP : συνολική πτώση πίεσης

ΔP_f : πτώση πίεσης λόγω υφάσματος

ΔP_P : πτώση πίεσης λόγω του στρώματος σωματιδίων

ΔP_s : πτώση πίεσης που οφείλεται στον τρόπο κατασκευής του σακόφιλτρου, η οποία στις περισσότερες περιπτώσεις λαμβάνει πολύ μικρή τιμή.

Έτσι δίδεται περισσότερη σημασία στον υπολογισμό των πρώτων δυο παραμέτρων της εξίσωσης.

$$\text{Ειδικότερα : } \Delta P_f = \frac{D_f \mu V}{60 K_f} \quad (\text{εξίσωση 3.28})$$

$$\Delta P_P = \frac{D_P \mu V}{60 K_P} \quad (\text{εξίσωση 3.29})$$

Η πτώση πίεσης μετριέται σε N/m^2 ,

D_f, D_P : βάθος (κατά διεύθυνση ροής) του φίλτρου και του στρώματος των σωματιδίων, μετρούμενο σε m

μ : ιξώδες αερίου, σε kg/m-s

V : επιφανειακή ταχύτητα διήθησης, σε m/min

K_f, K_P : διαπερατότητα του φίλτρου και του στρώματος των σωματιδίων, σε m^2

Η τιμή 60 συμπεριλαμβάνεται στον τύπο ως συντελεστής μετατροπής, σε s/min .

Υπάρχουν φορές που η επιφανειακή ταχύτητα διήθησης V αναφέρεται και ως ο λόγος αέρα/υφάσματος, ο οποίος μπορεί να υπολογιστεί συναρτήσει της ογκομετρικής παροχής και της επιφάνειας του υφάσματος:

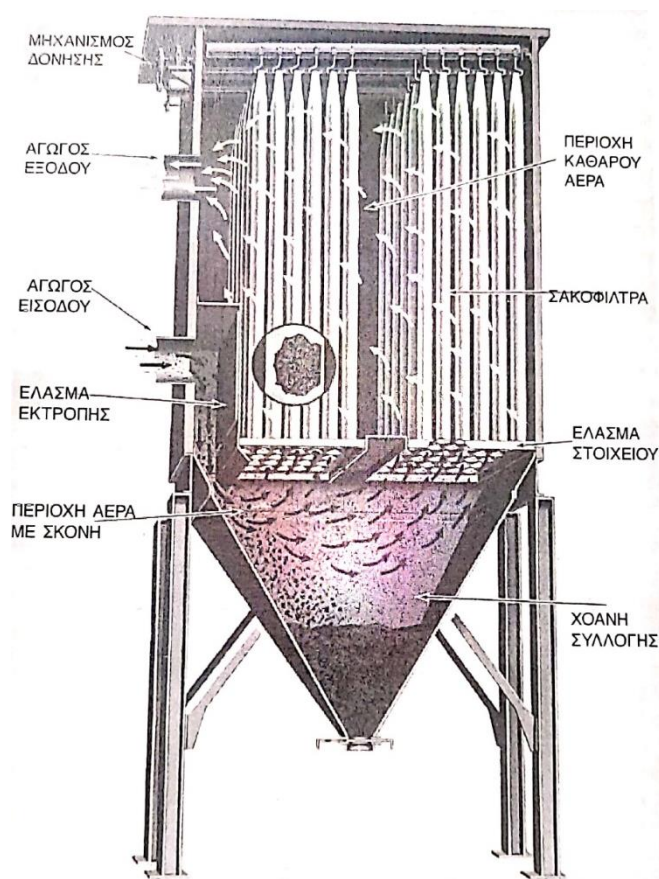
$$V = \frac{Q}{A} \quad (\text{εξίσωση 3.30})$$

όπου Q : ογκομετρική παροχή αερίου, σε m^3/min

A : επιφάνεια υφάσματος, σε m^2

Σχεδιασμός

ΣΑΚΟΦΙΛΤΡΑ ΜΕ ΡΕΥΜΑ ΑΕΡΑ ΑΝΤΙΘΕΤΗΣ ΡΟΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΟΝΗΣΗΣ



Εικόνα 27: Τομή σακόφιλτρου μηχανικής δόνησης

(Μέσω της άδειας της Wheelabrator-Frye, Inc., Pittsburgh, PA.)

Πρόκειται για αρκετά δημοφιλείς συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούνται εδώ και πολλές δεκαετίες. Ο σχεδιασμός και η λειτουργία τους μπορεί να διαμορφωθούν για ένα μεγάλο εύρος μεγέθους σωματιδίων. Κύριο χαρακτηριστικό των εν λόγω συσκευών είναι η ταχύτητα διήθησης του εκάστοτε μίγματος αέρα-σκόνης. Η ταχύτητα αυτή διαφέρει ανάλογα με το υλικό προς φιλτράρισμα, του οποίου η γνώση εξάγει συμπέρασμα για την μέγιστη ταχύτητα διήθησης. Βέβαια δεν αρκεί μόνο αυτό για τον προσδιορισμό των παραμέτρων του συστήματος.

Σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της ταχύτητας διήθησης παίζει το φορτίο της σκόνης καθώς και η λεπτότητα της. Έτσι εάν σε κάποια περίπτωση επέλθει ροή φορτίου σκόνης άνω των 40 gr/ft^3 , τότε οι τιμές της ταχύτητας διήθησης θα πρέπει να υποστούν μείωση της τάξης του 10-15%. Σε αντίθετη περίπτωση όπου ρέουν φορτία σκόνης μικρότερα των 5 gr/ft^3 , τότε η ταχύτητα σχεδιασμού θα πρέπει να αυξηθεί έως και 20%. (Amer Conf of Governmental, 2001)

Η γνώση των κατάλληλων τιμών και η αναπροσαρμογή τους σε περιπτώσεις που χρειάζεται, χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής, καθώς επηρεάζουν την διεισδυτικότητα των σωματιδίων, την τύφλωση του υφάσματος, αλλά και τη διάρκεια ζωής του σάκου.

Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας των μέγιστων τιμών της ταχύτητας διήθησης για διάφορα είδη σκόνης. Αυτός αφορά την ειδική περίπτωση των σακόφιλτρων μηχανικής δόνησης με ρεύμα αέρα αντίθετης ροής:

Σκόνες	Μέγιστη ταχύτητα διήθησης, cfm/ft^2 ή ft/min
Ενεργοποιημένος ξυλάνθρακας, Μαύρος Άνθρακας, Απορρυπαντικά, Ατμοί μετάλλων	1.50
Οξείδιο του Αλουμινίου, Άνθρακας, Λιπάσματα	2.0
Γραφίτης, Μετάλλευμα Σιδήρου, Οξείδιο το Ασβεστίου, Χρώματα, Ιπτάμενη Τέφρα, Χρωστικές ουσίες, Αργίλιο, Άργιλος, Κώκ, Ξυλάνθρακας, Κακάο	2.25
Οξείδιο του Μολύβδου, Μαρμαρυγία, Σαπούνι, Ζάχαρη, Τάλκης, Βωξίτης, Κεραμικά, Ορυκτό Χρώμιο, Άστριος	2.50
Αλεύρι, Πυρόλιθος, Γυαλί, Πλαστικά, Γύψος, Τσιμέντο, Αμίαντος, Ασβεστόλιθος, Χαλαζίας, Διοξείδιο του Πυριτίου	2.75
Φελλός, Ζωοτροφές και Δημητριακά, Μάρμαρο, Κέλυφος Οστρέων, Αλάτι	3.0-3.25
Δέρμα, Χαρτί, Καπνός, Ξύλο	3.50

Πίνακας 3: πίνακας μέγιστων τιμών ταχύτητας διήθησης προσαρμοσμένο από Danielson 1973, Turner et al, 1987

Πέραν του καθορισμού των παραμέτρων ροής, γίνεται επιλογή του υφάσματος αλλά και του τρόπου ύφανσης. Αυτή βασίζεται στις ιδιότητες του υφάσματος για απελευθέρωση σωματιδίων, της θερμοκρασίας και των χημικών χαρακτηριστικών του υλικού πλέξης.

Υφασμα	Συνιστώμενη Μέγιστη Θερμο- κρασία °F	Χημική Αντίσταση	
		Οξύ	Βάση
Dynel	160	Καλή	Καλή
Βαμβάκι	180	Χαμηλή	Καλή
Μαλλί	200	Καλή	Χαμηλή
Νάιλον	200	Χαμηλή	Καλή
Πολυπροπυλένιο	200	Εξαιρετική	Εξαιρετική
Orlon	260	Καλή	Μέτρια
Dacron	275	Καλή	Μέτρια
Nomex®	400	Μέτρια	Καλή
Teflon®	400	Εξαιρετική	Εξαιρετική
Υαλο-ύφασμα	550	Καλή	Καλή

Πίνακας 4: Θερμοκρασία και χημική αντίσταση μερικών συνηθισμένων βιομηχανικών υφασμάτων

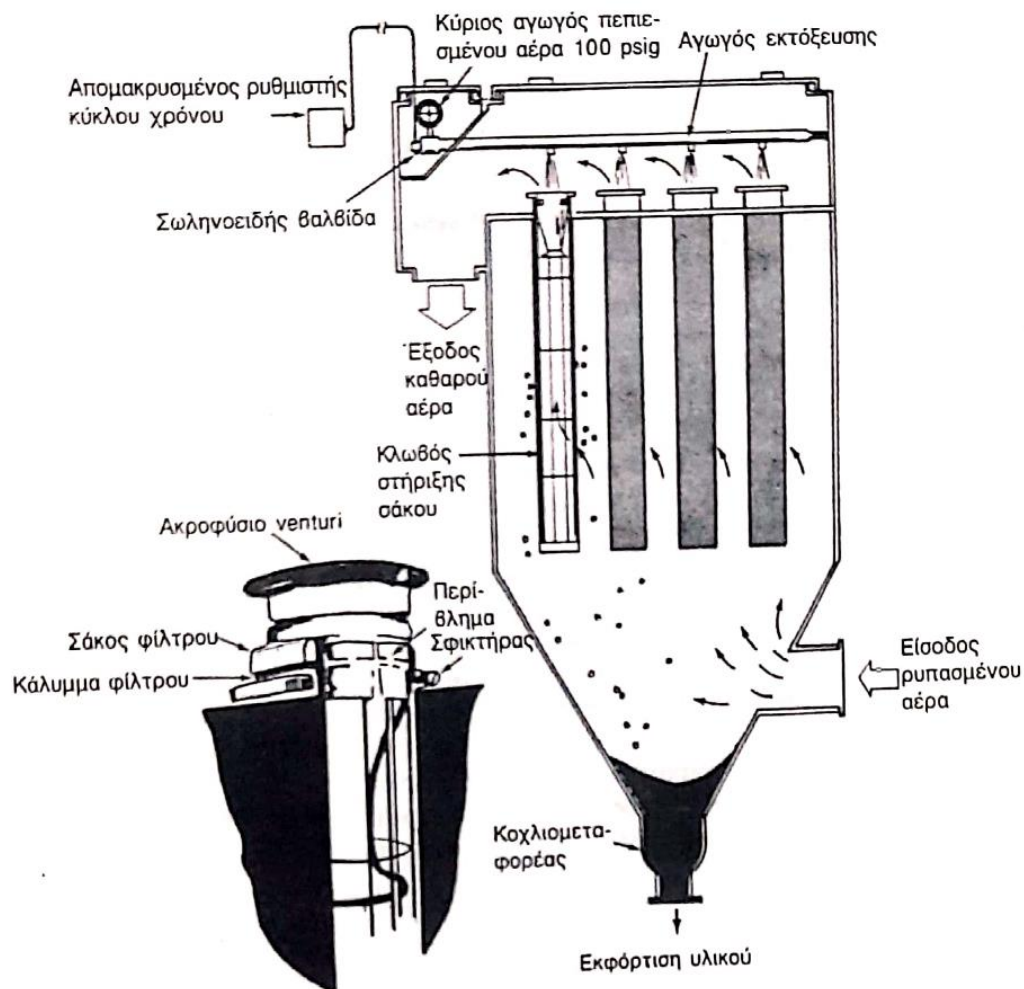
Προσαρμοσμένο από Kraus, 1979 Buonicore και Davis, 1992



Εικόνα 28: Φωτογραφία με την άδεια της 'American Filter Co., Louisville, KY'

Η παραπάνω φωτογραφία δείχνει μια από τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις βιομηχανικού σακόφιλτρου μηχανικής δόνησης. Η διάταξη λειτουργεί με σκοπό την διαχείριση των εκπομπών και της άμμου ενός χυτηρίου. Υπάρχουν 15 μονάδες επεξεργασίας χωρισμένες σε 3 τομείς των 5. Κάθε μονάδα επεξεργάζεται 10000 cfm. Επομένως το συνολικό δυναμικό της εγκατάστασης ανέρχεται σε 150000 cfm.

ΣΑΚΟΦΙΛΤΡΑ ΔΟΝΗΣΗΣ ΜΕ ΑΕΡΑ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ



Εικόνα 29: Σχηματικό διάγραμμα ενός σακόφιλτρου με πεπιεσμένο αέρα

Πηγή: 'ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Πρόκειται για την αναβαθμισμένη εκδοχή των συμβατικών σακόφιλτρων η οποία καταλαμβάνει το 50% της αγοράς της αέριας βιομηχανικής φίλτρανσης. Σε επίπεδο εξοπλισμού προστίθεται ένα περίβλημα τύπου κλωβού σε κάθε σακόφιλτρο, με σκοπό την υποστήριξη του στις νέες συνθήκες. Πλέον κάθε σακόφιλτρο είναι κλειστό στο κάτω μέρος του, ενώ συγκρατείται μέσω ενός σφικτήρα το επάνω μέρος του. Πάνω από το σύστημα συγκράτησης των σακόφιλτρων περνάει ένας αγωγός εκτόξευσης ο οποίος αποτελείται από μπεκ ψεκασμού. Το σύστημα διατηρεί ίση αναλογία σακόφιλτρων-μπεκ.

Οι σάκοι καθαρίζονται από ριπές αέρα υψηλής πίεσης οι οποίες δημιουργούνται σχεδόν στιγμιαία. Οι συγκεκριμένες είναι υπεύθυνες για την δημιουργία κρουστικό κύματος, το οποίο λυγίζει τους σάκους και απομακρύνει το στρώμα των σωματιδίων που έχουν συλλεχθεί. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται κάθε λίγα λεπτά, χωρίς βέβαια να διακόπτεται οποιαδήποτε διεργασία του συστήματος. Έτσι επιτρέπεται ο καθαρισμός μερικών εκ των σάκων, ενώ ταυτόχρονα το μίγμα αέρα-σκόνης συνεχίζει να διαπερνά την συσκευή.

Επιπλέον οι εν λόγω συσκευές παρουσιάζουν βελτιωμένες χωροταξικές ιδιότητες, καθώς δεν διαθέτουν διαμερίσματα και συνάμα επιπλέον σάκους. Παράλληλα η αντικατάσταση των σάκων γίνεται από το πάνω μέρος, γεγονός το οποίο μειώνει την ανάγκη παροχής διαδρομών ανάμεσα στις σειρές των σάκων. Σε γενικές γραμμές τα σακόφιλτρα με αέρα υπό πίεση απαιτούν συνολικά το μισό χώρο εγκατάστασης από τα σακόφιλτρα με μηχανική δόνηση.

Παρόλο αυτά οι μέθοδοι δόνησης με αέρα υπό πίεση παρουσιάζουν και κάποια μειονεκτήματα. Αρχικά το γεγονός ότι η ροή στη συσκευή είναι ασταμάτητη, δυσκολεύει στην απομάκρυνση της εναπομείνουσας σκόνης και πολλές φορές μπορεί να την οδηγήσει και πάλι επάνω στο σάκο. Σε πρακτικό επίπεδο η ποσότητα της σκόνης που απομακρύνεται από κάθε σάκο, ανά παλμό, αποτελεί το 1% περίπου της σκόνης η οποία υπήρχε σε αυτόν (J.Ellenbecker, 1980)

Σε ότι αφορά τον παλμό σε κάθε ψεκασμό, παρατηρείται το φαινόμενο της σκέδασης της ενέργειας του κατά το ψέκασμα, πράγμα που λειτουργεί περιοριστικά για το μήκος του σάκου. Ακόμα όμως και για μικρού μήκους σάκους, έχει παρατηρηθεί ότι περίπου το ένα τρίτο της κάτω επιφάνειας του σάκου δεν καθαρίζεται επαρκώς. Βέβαια το συγκεκριμένο πρόβλημα αντιμετωπίζεται σε πολλές περιπτώσεις με την χρήση αγωγού διάχυσης. Την τοποθέτηση δηλαδή ενός μεταλλικού κυλίνδρου με σειρές από τρύπες, εσωτερικά του σάκου. Ουσιαστικά είναι υπεύθυνος για την περαιτέρω μετακίνηση του παλμού, πριν αυτός σκεδαστεί. (Alley, 2004)

Παρακάτω ακολουθεί πίνακας ο οποίος αφορά τις εν λόγω συσκευές:

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ

Σκόνες ή καπνοί	Μέγιστη ταχύτητα διήθησης, (cfm/ft² ή ft/min)
Άνθρακας, Γραφίτης, Ατμοί Μεταλλουργίας, Σαπουνί, Καθαριστικά, Οξείδιο Ψευδαργύρου	5-6
Ακατέργαστο Τσιμέντο, Αργίλος (πράσινη), Πλαστικά, Χρωστικές Ουσίες, Άμυλο, Ζάχαρη, Ευλόσκονη, Ψευδάργυρος (μεταλλικός)	7-8
Οξείδιο Αλουμινίου, Φινιρισμένο Τσιμέντο, Υαλοποιημένη Αργίλος, Άσβεστος, Ασβεστόλιθος, Γύψος, Μαρμαρυγίας, Χαλαζίας, Σπόρος Σόγιας, Τάλκης	9-11
Κακάο, Σοκολάτα, Αλεύρι, Σπόροι, Σκόνη Δέρματος Πριονίδι, Καπνός	12-14

*Πίνακας 5: Πίνακας μέγιστων τιμών ταχύτητας διήθησης
πηγή: 'AMERICAN VENTILATION 24TH EDITION'*

Σημείωση: Σε περιπτώσεις υψηλού φορτίου ή πολύ μικρών σωματιδίων η ταχύτητα διήθησης πρέπει να μειώνεται κατά 1ft/min.

Πέραν όμως της ταχύτητας η οποία επηρεάζει ως ένα βαθμό την διεισδυτικότητα των σωματιδίων λαμβάνεται υπόψη η επαναφορά του υφάσματος μετά την δόνηση. Καθώς ο σάκος επανέρχεται απότομα στον κλωβό στήριξης μετά από ένα παλμό καθαρισμού, παρατηρείται η μεγαλύτερη διείσδυση σωματιδίων. Η συγκεκριμένη περίπτωση διείσδυσης μπορεί να αντιμετωπιστεί μέσω της βαθμιαίας μείωσης της πίεσης του αέρα, αντί της απότομης διακοπής. Αποτέλεσμα η αύξηση της χρήσης του πεπιεσμένου αέρα.

Η χρήση του πεπιεσμένου αέρα ως ένα περιοδικό φαινόμενο, αποτελεί πολύ σημαντική δαπάνη λειτουργίας για τα σακόφιλτρα αυτού του τύπου. Συνήθως η ογκομετρική παροχή του πεπιεσμένου αέρα είναι περίπου το 0.2-0.8% της παροχής του αέρα που διηθείται. Το κόστος της ισχύς του συμπιεστή μπορεί να ταυτιστεί με αυτό της ισχύς του κύριου ανεμιστήρα. Η εξίσωση υπολογισμού της ισχύος του συμπιεστή δίδεται ως εξής:

$$\dot{W} = \frac{1}{\eta} \frac{\gamma}{\gamma-1} \quad (\text{εξίσωση 3.31})$$

όπου \dot{W} : πραγματική ισχύς συμπιεστή, σε kW

η : βαθμός απόδοσης συμπιεστή

γ : λόγος θερμοχωρητικότητων (C_p/C_v) του αερίου που συμπιέζεται (για αέρα, $\gamma=1.4$)

P_1, P_2 : αρχική και τελική πίεση (απόλυτη), σε kPa

Q_1 : ογκομετρική παροχή στο συμπιεστή (συνθηκών εισόδου), m^3/s

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΑΥΞΗΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Το τελευταίο διάστημα βρίσκεται υπό συνεχή ανάπτυξη η εγκατάσταση υλικών με αυξητική μικροδομή, σε διατάξεις φίλτρων και όχι μόνο. Τα αποτελέσματα της υλοποίησης πειραμάτων στα πλαίσια του δοκιμαστικού σταδίου, δείχνουν ότι επρόκειτο για μια πρωτοποριακή τεχνολογία η οποία έχει να προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα στις διαδικασίες φιλτραρίσματος.

Το κύριο στοιχείο που διαφοροποιεί τα αυξητικά υλικά και μικροδομές σε σχέση με τα κοινά, είναι η παρουσία πλευρικής διαστολής όταν αυτά υπόκειται σε εφελκυσμό. Η συγκεκριμένη ιδιότητα μπορεί να εφαρμοστεί σε κατασκευή φίλτρου και μέσω συνδυασμένης κίνησης κοσκινίσματος να επιτευχθεί καθαρισμός του χωρίς τη χρήση πεπιεσμένου αέρα ή την αντικατάσταση του εξοπλισμού συγκράτησης. Οι περισσότερες εφαρμογές φίλτρων και ειδικότερα των σακόφιλτων προϋποθέτουν τη χρήση πεπιεσμένου αέρα, ώστε να αποκολληθεί το συσσωρευμένο υλικό που έχει απομείνει επάνω στο πανί. Ουσιαστικά ένας αγωγός αέρα διοχετεύει μέσω μπεκ ψεκασμού αέρα υπό υψηλή πίεση, σε κατάλληλη απόσταση ώστε να επιτυγχάνει τη μέγιστη δυνατή αποτελεσματικότητα καθαρισμού. Υπάρχουν φορές όμως που η συγκεκριμένη αυτοματοποιημένη διαδικασία δεν εξασφαλίζει τον επαρκή καθαρισμό των πανιών ή είναι δύσκολη και δαπανηρή η εγκατάσταση του εξοπλισμού ψεκασμού. Επιπλέον στις περισσότερες περιπτώσεις απαιτείται αντικατάσταση του πανιού ανά τακτά χρονικά διαστήματα, επιφέροντας επιπλέον κόστος στην παραγωγική διαδικασία. Με βάση τα παραπάνω δόθηκαν κατευθύνσεις στην ανάπτυξη μηχανισμών και υλικών τα οποία θα αυξήσουν την αποτελεσματικότητα φιλτραρίσματος είτε θα μειώσουν το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του εξοπλισμού. (Daphne Attard, 2018)

Ανάμεσα στις κατηγορίες των αυξητικών υλικών υπάρχει ένα τύπος, ο οποίος παρουσιάζει ικανότητες διήθησης ως μηχανισμό περισυλλογής, επιτυγχάνοντας έτσι αυξητικότητα μέσω ενός μηχανισμού άκαμπτης μονάδας. Πολλά υλικά κρυσταλλικής δομής οφείλουν τη συμπεριφορά τους σε αυτό το μηχανισμό. Για λόγους περαιτέρω ανάλυσης έχουν αναπτυχθεί μαθηματικά μοντέλα τα οποία περιγράφουν το αυξητικό υλικό ως ένα δίκτυο αποτελούμενο από μια ποικιλία τετράπλευρων. Η διάταξη αυτών περιλαμβάνει την ύπαρξη πόρων, δηλαδή τα διαστήματα μη πλήρωσης υλικού. Το μέγεθος των πόρων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την δυναμική κατάσταση στην οποία βρίσκεται το δίκτυο, με το μέγεθος τους να μεταβάλλεται ανάλογα με το τέντωμα του δικτύου.

Όταν σε ένα σώμα ασκούνται δυνάμεις εφελκυσμού τότε αυτό υπόκειται σε μια ή δύο παραμορφώσεις. Πρώτα λαμβάνει χώρα ελαστική παραμόρφωση, ενώ αν ξεπεραστούν κάποια όρια τιμών της ασκούμενης δύναμης τότε το σώμα παραμορφώνεται πλαστικά και χάνει τη δυνατότητα επαναφοράς στην αρχική του θέση, είτε ένα μέρος αυτής. Η παραμορφώσεις μεταφράζονται σε μεταβολές των διαστάσεων του σώματος και αναλογούν στον τρόπο εφελκυσμού. Έτσι όταν ένα σώμα υποστεί μονοαξονική διάταση, τότε οι μεταβολές των διαστάσεων περιγράφονται μέσω μιας σχέσης ποσοτικοποίησης. Αυτή εκφράζεται ως ο λόγος Poisson ν_{ij} ο οποίος ισούται με :

$$\nu_{ij} = - \epsilon_j / \epsilon_i \quad (\text{εξίσωση 3.32})$$

όπου ϵ_i : η παραμόρφωση κατά την κατεύθυνση της φόρτισης
 ϵ_j : η παραμόρφωση κατά μήκος μια κάθετη διεύθυνσης στη φόρτιση.

Για χορικά ισότροπα υλικά ο λόγος Poisson μπορεί να κυμαίνεται από $-1 \leq \nu \leq 0.5$, ενώ για δισδιάστατα ισοτροπικά υλικά το άνω όριο αυξάνεται κατά 0.5 μονάδες. Ως ισότροπα υλικά αναφέρονται τα ορυκτά του κυβικού συστήματος αλλά και κάθε άμορφο στερεό, υγρό και αέριο, του

οποίου οι φυσικές ιδιότητες εκτείνονται σε όλη του τη μάζα με τον ίδιο τρόπο. Το κυβικό σύστημα περιγράφει τον τρόπο κρυστάλλωσης του υλικού. Μάλιστα αναφέρεται ως μοναδιαία κυψελίδα ως το μικρότερο δυνατό κρυσταλλικό πλέγμα τετραγωνικής μορφής. Σε αυτό, το άτομο μπορεί να διαταχθεί μέσω απλής κυβικής διάταξης στο κέντρο του κύβου, ως χοροκεντρωμένη διάταξη, (Body-Centered-Cubic). Σε άλλες περιπτώσεις το άτομο διατάσσεται στην κάθε έδρα του κύβου, ως FCC(Face Centered Cubic). Η διαφορά των διατάξεων αυτών μετράται μέσω του συντελεστή ατομικής πλήρωσης apf (atomic packing factor), ο οποίος είναι αδιάστατο ποσοστιαίο μέγεθος το οποίο λαμβάνει τιμές στο διάστημα 0 έως 1. Όσο μεγαλώνει τόσο η κυψελίδα πλαισιώνεται από μόρια υλικού.

Το πρόσημο του λόγου Poisson έχει μεγάλη πρακτική σημασία και ουσιαστικά κατατάσσει τα υλικά σε δύο μεγάλες κατηγορίες, με βάση τη μηχανική συμπεριφορά τους. Το θετικό πρόσημο αναφέρεται σε κοινότητα υλικά τα οποία συστέλλονται πλευρικά (ελαττώνουν την διατομή τους) κατόπιν επιβολής εφελκυστικού μονοαξονικού φορτίου. Η περίπτωση αρνητικού πρόσημου εξάγει πληροφορία για υλικά τα οποία εμφανίζουν αντίθετη συμπεριφορά από τα προηγούμενα. Παρουσιάζουν δηλαδή πλευρική διαστολή για κάθε επιβολή εφελκυστικής δύναμης μονοαξονικής κατεύθυνσης. Κάθε υλικό με την συγκεκριμένη ιδιότητα καλείται ως αυξητικό υλικό.

Ο κυρίαρχος μηχανισμός για την επίτευξη της αυξητικής συμπεριφοράς είναι η περιστροφή της άκαμπτης μονάδας, ανεξαρτήτου σχήματος. Οι μορφές πολυγωνικών ή πολυεδρικών μονάδων συνδέονται μεταξύ τους στα σημεία των κορυφών τους, αποτελώντας έτσι ένα δίκτυο. Η μονοαξονική τάνυση αυτού προκαλεί την ταυτόχρονη περιστροφή των μονάδων με αποτέλεσμα οι πόροι που βρίσκονται ανάμεσα τους να παρουσιάζουν διαστολή. Σε πρώτη φάση μελετήθηκε η γεωμετρία των περιστρεφόμενων τετραγώνων του δικτύου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υλικά με τέτοια σύνθεση παρουσιάζουν λόγο Poisson γύρω από το -1, ενώ στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε περαιτέρω έρευνα για τις υπόλοιπες γεωμετρίες μονάδων. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν ήταν ότι η τιμή του λόγου μπορεί να μεταβάλλεται συναρτήσει του σχήματος των μονάδων, από την γωνία περιστροφής, καθώς και από τον τρόπο σύνδεσής τους.

Τα αυξητικά υλικά έχουν ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών ως πυριτικά υλικά, ζεόλιθο ή ως αφρό. Χρησιμοποιούνται από βιομηχανίες ρουχισμού και υπόδησης, μέχρι και διαδικασίες φιλτραρίσματος και συγκεκριμένα στο πλαίσιο της διήθησης. Στην τελευταία διεργασία χρησιμοποιείται πορώδες υλικό το οποίο παρακρατεί ένα μεγάλο μέρος των σωματιδίων που εμπεριέχονται στο διερχόμενο μίγμα του ρευστού. Οτιδήποτε διαπεράσει το υλικό συγκράτησης ονομάζεται διήθημα, ενώ ότι παγιδεύεται σε αυτόν ονομάζεται ίζημα διήθησης.

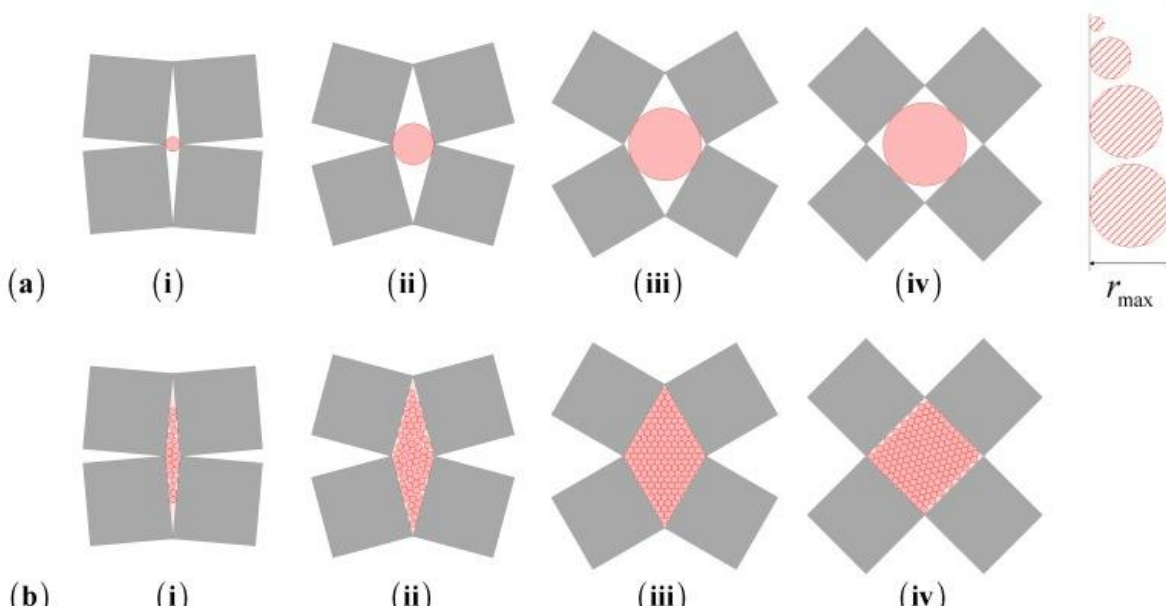
Τυπικό παράδειγμα διάταξης μονάδων αυξητικού υλικού είναι η κατασκευή από τέλεια άκαμπτα τετράγωνα, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους στις κορυφές. Περιστρέφονται το ένα ως προς το άλλο σε κάθε άσκηση δύναμης εφελκυσμού που ασκείται στο δίκτυο, διατηρώντας την αναλογία των διαστάσεων τους. Με βάση αυτή τη συμπεριφορά η τιμή του λόγου Poisson κυμαίνεται σε σταθερά επίπεδα γύρω από την τιμή -1. Επιπλέον τούτη η συμπεριφορά και το αποτέλεσμα της τιμής του λόγου, δεν επηρεάζονται από το μέγεθος του τετραγώνου, την κατεύθυνση φόρτωσης της δύναμης, αλλά ούτε και από τις γωνίες περιστροφής μεταξύ των τετραγώνων.

Βέβαια παρόλο το γεγονός ότι το εν λόγω σύστημα παρουσιάζει πλεονεκτήματα σε σχέση με το αυξητικό του δυναμικό, εμπεριέχει περιορισμό ως προς την προσαρμογή του σε δεδομένα βελτιστοποίησης των μακροσκοπικών ιδιοτήτων του. Ειδικότερα το πρόβλημα της μη μεταβλητότητας του λόγου Poisson, μπορεί να αντιμετωπιστεί με την μεταβολή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των τετράγωνων μονάδων. Αυτές για να περιγράφουν αρκεί η γνώση του μήκους της μίας τους πλευράς. Ωστόσο κατά την περιστροφή τους (έπειτα την επιβολή του δυναμικού φορτίου), οι τροχιές των σημείων είναι καθορισμένες, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται συγκεκριμένη διαστολή του δικτύου συνολικά. Σε περίπτωση όμως που αλλάξει το είδος του σχήματος, τότε υπάρχει αλλαγή στη διαστολή του δικτύου, αλλά και στην μεταβολή της διατομής των δημιουργούμενων πόρων. Εάν για παράδειγμα από τετράγωνα μονάδες δημιουργηθούν μονάδες ορθογώνιου παραλληλόγραμμου τύπου, αφενός υπάρχει ανάγκη για γνώση περαιτέρω δεδομένων διαστάσεων, αφετέρου δε, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη διαστολή του συστήματος.

Η γνώση για το άνοιγμα των πόρων είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς αυτή χαρακτηρίζει την ικανότητα διήθησης του συστήματος. Αυτή μετράται με βάση τη μεγαλύτερη δυνατή διάμετρο η οποία σχηματίζεται και αποτελεί σημείο αναφοράς για την κατηγοριοποίηση του δικτύου ως προς την δυνατότητα φιλτραρίσματος. Υπάρχει συσχετισμός τις επιφάνειας των πόρων με τη μέγιστη διάμετρο των σωματιδίων που μπορούν να περάσουν διαμέσου τους. Με αυτό τον τρόπο προσδιορίζεται η ικανότητα διήθησης του συστήματος.

Σε πρακτικό επίπεδο λαμβάνονται υπόψη δύο σενάρια αναφορικά με το μέγεθος των σωματιδίων και της επιφάνειας των πόρων. Πρώτον, λαμβάνεται υπόψη ότι τα σωματίδια διαθέτουν άκαμπτο σχήμα κυκλικής διατομής συγκρίσιμης με την ακτίνα των πόρων. Έτσι ορισμένα εξ αυτών μπορούν φυσικά να περάσουν από τον πόρο, έχοντας μικρότερη διάμετρο από αυτόν. Αυτό ορίζεται μέσω του βαθμού διαφράγματος του δικτύου, ο οποίος αυξάνεται με το άνοιγμα των πόρων.

Η περίπτωση του δεύτερου σεναρίου λαμβάνεται υπόψη όταν τα σωματίδια έχουν πολύ μικρότερη και μη συγκρίσιμη ακτίνα με αυτή των πόρων του δικτύου. Για λόγους κατανόησης των δύο σεναρίων, παρατίθενται σχηματικές προσεγγίσεις για τις δύο αυτές περιπτώσεις :



Εικόνα 30: Σχηματική αναπαράσταση ανοίγματος των πόρων για μεμονωμένο σωματίδιο ή για προσέγγιση κίνησης σωματιδίων πολύ μικρής διαμέτρου ως κίνηση ρευστού

πηγή: *national center of biotechnology information*

Η περίπτωση όπου τα σωματίδια είναι πολύ μικρά, μπορεί να περιγραφεί ως η διέλευση ενός ρευστού διαμέσου των πόρων. Σε αυτή την περίπτωση μελετάται ο ρυθμός ροής ως μονάδα για την κάλυψη του χώρου των δισδιάστατων συστημάτων :

Μονάδα κάλυψης χώρου= επιφάνεια πόρου / επιφάνεια μοναδιαίας κυψελίδας σωματιδίου

Είναι προφανές ότι η μονάδα κάλυψης του χώρου καθορίζεται από την γωνία περιστροφής των μονάδων. Αυτή με τη σειρά της μεταβάλλεται από την επιβολή εφελκυστικού μονοαξονικού φορτίου. Στην πραγματικότητα η μονάδα κάλυψης του χώρου ποσοτικοποιεί το κλάσμα της περιοχής που καταλαμβάνουν οι πόροι επί της συνολικής δομής. Όσο περισσότερο ανοίγει μια δομή, τόσο περισσότερο διαστέλλονται οι πόροι, αυξάνοντας έτσι το κλάσμα κάλυψης του χώρου.

Σε πρακτικό επίπεδο το παραπάνω κλάσμα εξαρτάται από τον βαθμό του διαφράγματος το συστήματος. Δηλαδή το κλάσμα χωρικής κάλυψης των πόρων αυξάνεται με την αύξηση του βαθμού διαφράγματος της εκάστοτε δομής. Επιπροσθέτως ένας αυξημένος βαθμός διαφράγματος εξασφαλίζει μεγάλο ρυθμό ροής, ειδικότερα όταν πρόκειται για σωματίδια πολύ μικρότερης διαμέτρου σε σχέση με αυτής των πόρων.

Σε υπολογιστικό επίπεδο τα μήκη των πλευρών (ή ακμών) είναι σταθερές τιμές, εφόσον θεωρείται ότι οι κυψελίδες έχουν άκαμπτο σχήμα. Το μόνο μέγεθος το οποίο μεταβάλλεται είναι η γωνία θ ανοίγματος. Αυτή αυξάνεται με την επιβολή του εφελκυστικού φορτίου και αναλόγως τη μορφή των κυψελίδων, προκύπτει μια τιμή της γωνίας αυτής, για την οποία το άνοιγμα των πόρων είναι το μέγιστο. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να ασκηθεί έλεγχος στο φιλτράρισμα, ενώ η μονάδα κάλυψης του χώρου μπορεί να εκφραστεί και ως εξής:

$$\text{κάλυψη χώρου} = \sin(\theta) / (\sin(\theta) + 1) \quad (\text{εξίσωση 3.33})$$

Βιβλιογραφία

- Alley, C. C. & F., 2004. *ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ: Σχεδιασμός Αντιρρυπαντικής Τεχνολογίας*, 3η έκδοση. Αθήνα: ΤΖΙΟΛΑ.
- Amer Conf of Governmental, 2001. *Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice 24TH EDITION*. s.l.:s.n.
- American Industrial Hygiene Association , 1968. *Air Pollution Manual-Part II*. s.l.:s.n.
- Brown, K. B. S. & C. A., 2002. *Air Pollution Control Technology Handbook*. London : CRC PRESS.
- Chan, M., 2005. *European Enviroment Agency*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://academic.oup.com/carcin/article/26/11/1846/2476064>
[Πρόσβαση 15 02 2022].
- Daphne Attard, A. R. C. & J. N. G., 2018. *Filtration Properties of Auxetics with Rotating Rigid Units*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5978102/>
[Πρόσβαση 10 02 2022].
- Vineis, P., 2005. *OXFORD ACADEMIC*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://academic.oup.com/carcin/article/26/11/1846/2476064>
[Πρόσβαση 15 03 2022].
- Κουτσιανίτης, Π., 2020. *Ιδρυματικό αποθετήριο Πολυτεχνείου Κρήτης, Σχεδιασμός μικροδομής ευφών υλικών*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://purl.tuc.gr/dl/dias/81EB28F6-AE09-4046-B72E-B929D2266D18>
[Πρόσβαση 2021].
- Κουτσιανίτης, Π., 2020. *Σχεδιασμός μικροδομής ευφών υλικών*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5978102/>
[Πρόσβαση 19 12 2021].
- Κωνσταντίνος, Δ., 2013. *Εθνικό αρχείο διδακτορικών διατριβών, Σωματίδια PM10 και PM2.5 στην Ευρώπη*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.didaktorika.gr/eadd/handle/10442/29379>
[Πρόσβαση 17 12 2021].
- Σαραγά, Δ. τ. Ε., 2010. *Εθνικό αρχείο διδακτορικών διατριβών, Ανίχνευση πηγών αιωρούμενων σωματιδίων στον αέρα εσωτερικών χώρων*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.didaktorika.gr/eadd/handle/10442/26218>
[Πρόσβαση 2022].
- υλικών, Β. λ. σ. φ. κ. δ., χ.χ. *P&M Engineering*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.pmengineering.gr/>
[Πρόσβαση 2021].