

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

**“Τεχνολογίες αντιρρύπανσης αέριων ρύπων που παράγονται
στη βιομηχανία”**



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: κ.ΜΟΥΣΤΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΤΣΟΥΚΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ: 41267

ΑΙΓΑΛΕΩ 12/02/2018

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	3
Περίληψη	4
Abstract	5
Εισαγωγή	6
Ενότητα 1 Γενικά Ιστορικά Στοιχεία	
Ενότητα 1.1 Ιστορική Αναδρομή.....	7-10
Ενότητα 1.2 Φυσικές Καταστροφές.....	11-12
Ενότητα 1.3 Συνέπειες ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	13
Όξινη Βροχή.....	14
Ενότητα 1.4 Ατμοσφαιρική ρύπανση στην Ελλάδα	15-16
Ενότητα 1.5 Έλεγχος ατμοσφαιρικής ρύπανσης μέσω διαδικτύου.....	17
Ενότητα 2 Σακκόφιλτρα	
Ενότητα 2.1 Συστήματα Φίλτρων.....	18
Ενότητα 2.2 Τύποι-Είδη Σακκόφιλτρων.....	19-21
Ενότητα 2.3 Επιλογή Σακκόφιλτρων.....	22
Ενότητα 2.4 Σχεδιασμός Σακκόφιλτρων	22
Ενότητα 2.5 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Σακκόφιλτρων.....	23
Ενότητα 3 Κυκλώνες	
Ενότητα 3.1 Κυκλώνες.....	24-26
Ενότητα 3.2 Αποδοχή Συλλογής.....	27-31
Ενότητα 3.3 Πτώση Πίεσης.....	32-33
Ενότητα 3.4 Γενικός Σχεδιασμός Κυκλώνων.....	33
Ενότητα 3.5 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Κυκλώνων.....	34
Ενότητα 4 Ηλεκτροστατικά Φίλτρα	
Ενότητα 4 Ηλεκτροστατικά Φίλτρα.....	35
Ενότητα 4.1 Αρχές λειτουργίας & κατασκευαστικά χαρακτηριστικά Η/Φ.....	35-38
Ενότητα 4.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Η/Φ.....	38-39
Ενότητα 5 Πλυντρίδες	
Ενότητα 5.1 Πλυντρίδες	40-41
Ενότητα 5.2 Αρχές λειτουργίας Υγρής Πλυντρίδας.....	42
Ενότητα 5.3 Αρχές λειτουργίας Ξηρής Πλυντρίδας.....	43
Ενότητα 5.4 Τύποι Πλυντρίδων.....	44

Ενότητα 5.5 Πλυντρίδες με θάλαμο ψεκασμού.....	44-46
Ενότητα 5.6 Πλυντρίδες πρόσκρουσης σε υγρό.....	47
Ενότητα 5.7 Πλυντρίδες με πληρωτικά υλικά.....	48
Ενότητα 5.8 Πλυντρίδες Venturi.....	49-50
Ενότητα 5.9 Μειονετήματα – Πλεονεκτήματα Πλυντρίδων.....	51
Ενότητα 6 Βιομηχανικές μονάδες αποθείωσης	52-53
Ενότητα 6.1 Έλεγχος Οξειδίων του Θείου (SO _x).....	54
Ενότητα 6.2 Αποθείωση καυσαερίων.....	55-56
Ενότητα 6.3 Παραπροϊόντα καύσεως-γύψος αποθείωσης καυσαερίων.....	57
Ενότητα 7 Γενικά Συμπεράσματα.....	58-62
Βιβλιογραφία.....	63-64

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Μουστρή Κωνσταντίνο, για την αμέριστη υποστήριξη, καθοδήγηση και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου την παρούσα πτυχιακή εργασία. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που συνέβαλαν όπως μπορούσαν, με τον δικό τους ξεχωριστό τρόπο ο καθένας για την περάτωση της παρούσας εργασίας. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στήριξε σε όλη μου την πορεία που είχα στο Ανώτατο Τεχνολογικό Ίδρυμα Πειραιά, στο τμήμα Μηχανολογίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές μου για τις πολύτιμες γνώσεις που μου πρόσφεραν κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου στο Α.Τ.Ε.Ι.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία αποτελεί μία μελέτη για τις τεχνολογίες αντιρρύπανσης αέριων ρύπων που παράγονται στη βιομηχανία. Αρχικά θα γίνει μία ιστορική αναδρομή η οποία θα μας βοηθήσει να κατανοήσουμε καλύτερα τους ρύπους που εκπέμπονται στον αέρα καθώς και πόσο καταστροφικοί είναι τόσο για το περιβάλλον όσο και για τον ίδιο τον άνθρωπο. Ύστερα θα απαριθμήσουμε μερικές από τις πιο μεγάλες φυσικές καταστροφές που προκλήθηκαν κυρίως από άγνοια ή αμέλεια των υπευθύνων. Έπειτα, ακολουθούν οι συνέπειες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στον άνθρωπο και στο περιβάλλον, καθώς επίσης θα γίνει μία σύντομη αναφορά και στην όξινη βροχή και στο πώς το διαδύκτιο συμβάλλει στον έλεγχο των ρύπων. Στο υπόλοιπο τμήμα της εργασίας θα ασχοληθούμε με εκτενής αναφορά στις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την μείωση των ρύπων από τις βιομηχανίες. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι εξής:

Πρώτον, τα σακκόφιλτρα (baghouses). Τα σακκόφιλτρα είναι ειδικά φίλτρα τα οποία απομακρύνουν τη σκόνη από ένα αέριο ρεύμα μέσω ενός πορώδους υφάσματος. Θα εξετασθούν τα είδη αυτών των υφασμάτων, ο σχεδιασμός τους και πώς γίνεται η επιλογή τους

Δεύτερον, οι κυκλώνες. Οι κυκλώνες χρησιμοποιούνται σε πάρα πολλές βιομηχανικές διεργασίες από την ανάκτηση προϊόντων, μέχρι τον καθαρισμό αερίων ρευμάτων από σωματίδια. Σε αυτό θα μελετηθεί και ο σχεδιασμός των κυκλώνων.

Τρίτο στην σειρά είναι τα ηλεκτροστατικά φίλτρα. Τέτοιου είδους φίλτρα στηρίζονται σε ηλεκτροστατικές και όχι μηχανικές δυνάμεις και χρησιμοποιούνται σε μία μεγάλη ποικιλία προβλημάτων καθαρισμού αερίων. Θα ενημερωθούμε καλύτερα για το πώς κατασκευάζονται και πώς λειτουργούν.

Τέταρτον η τεχνολογία αντιρύπανσης που θα αναπτύξουμε είναι οι πληντιρίδες και οι τύποι της. Οι πληντιρίδες μέσω μια υγρής φάσης (κυρίως νερό), κατορθώνουν να διαχωρίσουν τους βλαβερούς ρύπους από ένα αέριο ρεύμα. Επιπλέον, σε κάθε μία από τις παραπάνωθα πρέπει να αναφέρουμε ότι σε τεχνολογίες αντιρρύπανσης εξετάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα.

Τελευταία, θα εξετάσουμε στοιχεία για το οξείδο του θείου καθώς και την αποθείωση των καυσαερίων ως έναν ακόμη τρόπο αντιρρύπανσης.

Abstract

This is a study on polluting technologies for air pollutants which are produced in industry. Initially, there will be a historical review that will help us better understand the pollutants emitted in the air and how devastating they are for the environment and for the human being. Then we will list some of the greatest natural disasters caused mainly by the ignorance or neglect of those responsible people. The consequences of atmospheric pollution on humans and the environment are then followed, as well as a brief reference to acid rain and how the internet contributes to the control of pollutants. In the rest of the work we will deal with extensive reference to technologies used to reduce pollutants from the industries. More specifically, the following are presented:

First, baghouses. Bag filters are special filters that remove dust from the gas stream through a porous cloth. We will look at the types of these fabrics, their design and how they are chosen.

Second, the cyclones. Cyclones are used in many industrial processes from product recovery to cleaning particulate gas streams. In this, we will study the design of the cyclones

Third in series are electrostatic filters. Such filters are based on electrostatic and not mechanical forces and are used in a wide variety of gas cleaning problems. We will be better informed about how they are manufactured and how they work.

Fourthly, the antifouling technology we develop is Scrubbers and its types. Washing machines through a liquid phase (mainly water) manage to separate harmful pollutants from a gas stream. In addition, in each of the above we have to mention that in anti-pollution technologies the advantages and disadvantages are examined.

Last but not least, we will examine the sulfur dioxide as well as desulphurization of exhaust gases as yet another way of anti-pollution.

Εισαγωγή

Παγκόσμιο πρόβλημα της εποχής μας είναι η μόλυνση του περιβάλλοντος. Ένα πρόβλημα που αρωγός στη δημιουργία του και εξάπλωσή του αποτέλεσε η τεχνολογική πρόοδος. Οι αυξημένες ανάγκες μας οδήγησαν στην κατασκευή όλο και περισσότερων βιομηχανικών εγκαταστάσεων που αδιαμφισβήτα είναι η μεγαλύτερη αιτία της μόλυνσης.

Στην προσπάθεια επίλυσης του προβλήματος αυτού, έχουν επιβληθεί νόμοι, κανόνες και έχουν προταθεί συγκεκριμένοι τρόποι ζωής. Κυβερνήσεις έχουν επιβάλλει πρόστιμα σε βιομηχανίες όταν ο όγκος των αποβλήτων τους ξεπερνάει το επιτρεπτό. Για αυτό το λόγο, οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις, χρησιμοποιούν τεχνικές και προϊόντα που συμβάλουν στον καθαρισμό της ατμόσφαιρας.

Η εργασία αυτή λοιπόν, αποτελεί μια μελέτη για την κατασκευή, την εφαρμογή και τη χρήση των σακκόφιλτρων, των ηλεκτροστατικών φίλτρων, των κυκλώνων, των πλυντιρίδων και των υγρών φίλτρων σε κάθε είδους βιομηχανική δραστηριότητα με στόχο την μείωση των ρύπων που περιέχονται στα αέρια που παράγονται σε βιομηχανικές μονάδες. Επιπλέον, ερευνάται το οξείδιο του θείου και πως γίνεται η αποθείωση των καυσαερίων, προκειμένου να μειωθούν οι ατμοσφαιρικοί ρύποι.

ΕΝΟΤΗΤΑ 1 Γενικά Ιστορικά Στοιχεία

Ενότητα 1.1 Ιστορική Αναδρομή

Με τον όρο **ατμοσφαιρική ρύπανση** ορίζεται η μεταβολή της σύστασης του ατμοσφαιρικού αέρα, λόγω ρύπων. Εκτός από τη φυσική ρύπανση της ατμόσφαιρας που οφείλεται σε ηφαιστειακές δράσεις ή στη σήψη φυτών και ζώων, το μεγαλύτερο ποσοστό της οφείλεται σε ανθρώπινες δραστηριότητες που έχουν ως αφετηρία τη βιομηχανία, τη θέρμανση και τα αυτοκίνητα. Οι ουσίες που προκαλούν ατμοσφαιρική ρύπανση διακρίνονται σε σωματίδια και αέριους ρύπους.[1]

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι υλικά σε στερεή ή υγρή μορφή, προερχόμενα από βιομηχανικές δραστηριότητες, όπως βιομηχανίες τσιμέντου, γύψου, καθώς και από αυτοκίνητα. Προκαλούν ασθένειες στο αναπνευστικό σύστημα και ιδιαίτερα προβλήματα σε ηλικιωμένους, παιδιά και άτομα που πάσχουν από άσθμα. Επίσης προκαλούν φθορές σε βαφές και μειώνουν την ορατότητα της ατμόσφαιρας.[2]

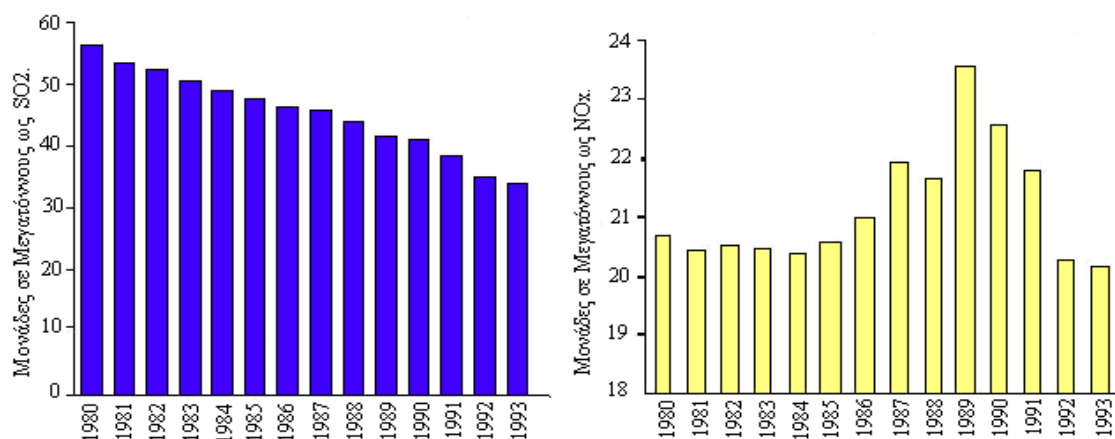
Στην σημερινή εποχή υπάρχει ένα μεγάλο φάσμα βιομηχανιών, οι οποίες ανάλογα με το αντικείμενο της δραστηριότητάς τους συμμετέχουν με διαφορετικό τρόπο στη ρύπανση του περιβάλλοντος. Άλλες ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα κυρίως με τα παραγόμενα αέρια από τις εγκαταστάσεις καύσης καθώς και με τα εκπεμπόμενα σωματίδια με μορφή λεπτόκοκκων σκόνης. Άλλες πάλι διοχετεύουν τα απόβλητα τους που έχουν αρκετά βεβαρημένο φορτίο στους πιο κοντινούς υδάτινους αποδέκτες, ενώ άλλες συνοδεύουν την παραγωγή τους με στερεά υποπροϊόντα των οποίων η απόθεση δημιουργεί σημαντικά προβλήματα στο περιβάλλον. Οι αλλαγές στην ατμόσφαιρα σχετίζονται κυρίως με την αέρια ρύπανση και χρεώνονται στη συνδυασμένη δράση των βιομηχανιών μαζί με τη ρύπανση που προκαλείται από τα αυτοκίνητα.[3]

Στις μέρες μας η προστασία του περιβάλλοντος αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για να πετύχουμε την αειφόρο ανάπτυξη, η οποία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, την σωστή διαχείριση της ενέργειας και των υδάτινων πόρων, όπως επίσης την ανακύκλωση και τη διαχείριση των βιομηχανικών αποβλήτων.

Τον μήνα Ιούλιο του 1998 στην Ελλάδα δύσκολα μπορεί να τον ξεχάσει κανείς. Ήταν ένας αισθητά θερμός μήνας, ο οποίος σύμφωνα με τους μετεωρολόγους ήταν ο θερμότερος μήνας τα τελευταία 160 χρόνια διεθνώς. Οι ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με τη εκπομπή αέριων ρύπων οδήγησαν σε εξάρσεις του “φωτοχημικού νέφους” και έκαναν τον κόσμο να βιώσει αφόρητες καταστάσεις. Εκατοντάδες κόσμος οδηγήθηκε στα νοσοκομεία με αναπνευστικά προβλήματα.

Ένα αντίστοιχο επεισόδιο έγινε και το έτος 1987. Ο συνδυασμός υψηλής θερμοκρασίας (καύσωνας) και τα υψηλά επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οδήγησαν 2.000 άτομα στην Αττική σε πρόωρο θάνατο.

Βέβαια ύστερα από αυτά τα συμβάντα η νομοθεσία περί ρύπων και κυρίως βιομηχανικών ρύπων έγινε πιο αυστηρή. Τέθηκαν καλύτερα όρια επιτρεπόμενης ρύπανσης, τα αυτοκίνητα γνώρισαν τους καταλυτικούς μετατροπείς, όπως ακόμη τα καύσιμα βελτιώθηκαν. Κανείς βέβαια δεν μιλάει για ολική απαλλαγή από την ρύπανση. Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης συνεχίζει να υφίσταται, απλώς βελτιώθηκε σημαντικά με την χρήση και εφαρμογή κάποιων μέτρων.



Σχήμα 1. Η τάση των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO₂) και των οξειδίων του αζώτου (NO_x)στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

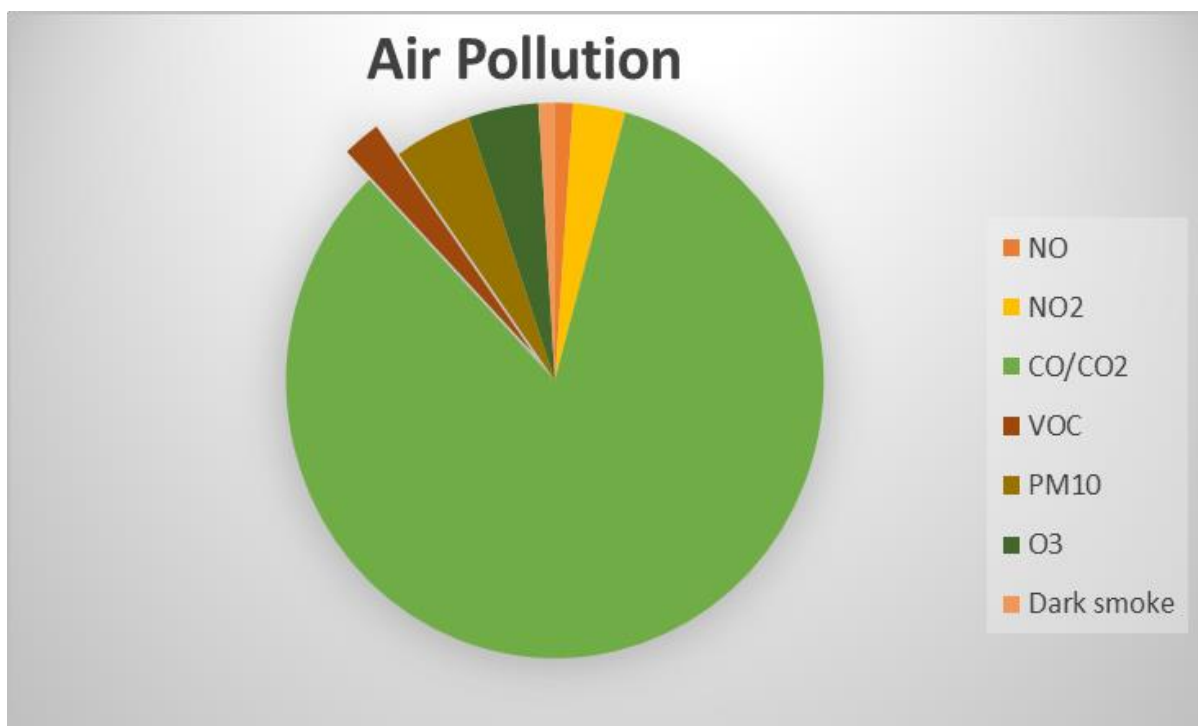
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ	ΡΥΠΟΙ
Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί	Καπνός ,σωματίδια, οξείδια του θείου, οξείδια του αζώτου, υδρογονάνθρακες
Διυλιστήρια πετρελαίου	Υδρογονάνθρακες, μονοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του θείου, οξείδια του αζώτου, σωματίδια, υδρόθειο
Εργοστάσια τσιμέντου	Σωματίδια, οξείδια του θείου, οξείδια του αζώτου
Χαλυβουργεία	Σωματίδια, μονοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του θείου, οξείδια του αζώτου, υδρογονάνθρακες
Λιπάσματα	Σωματίδια, αμμωνία ή / και φθοριούχα ή / και φωσφορούχα ή / και θειικά ή / και νιτρικά παράγωγα
Βιομηχανία γυαλιού	οξείδια του θείου, οξείδια του αζώτου, οξείδια του θείου, φθοριούχα παράγωγα, σωματίδια

Πίνακας 1. Παραγωγή διαφόρων αερίων ρύπων από διάφορους βιομηχανικούς κλάδους

Η μέτρηση των ρύπων γίνεται σε συνεχή βάση καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Ο χρόνος απόκρισης των αυτομάτων αναλυτών είναι της τάξης του ενός λεπτού, δηλ. ο κάθε αναλυτής δίνει μια τιμή περίπου κάθε λεπτό. Με ένα μικροεπεξεργαστή, που βρίσκεται σε κάθε αυτόματο σταθμό και που είναι συνδεδεμένος με τους αυτόματους αναλυτές, υπολογίζονται κάθε ώρα οι μέσες ωριαίες τιμές ρύπανσης. Οι τιμές αυτές μεταβιβάζονται στον κεντρικό υπολογιστή της Υπηρεσίας, μέσω τηλεφωνικής γραμμής και με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η συνεχής παρακολούθηση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής. [4]

Ρύπος	Μέθοδος μέτρησης
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	Απορρόφηση στο υπέρυθρο (NDIR)
Οξείδια του αζώτου (NO,NO2)	Χημειοφωταύγεια
Όζον (O3)	Απορρόφηση στο υπεριώδες
Διοξείδιο του θείου (SO2)	Φθορισμομετρία
Αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ10–ΑΣ2,5)	Απορρόφηση β ακτινοβολίας (εκτός από την Ελευσίνα όπου χρησιμοποιείται η σταθμική)
Βενζόλιο (C6H6)	Αέρια χρωματογραφία (GC)

Πίνακας 2. Μετρούμενοι ρύποι και μέθοδοι μέτρησης



Σχήμα 2. Διάγραμμα/πίτα που απεικονίζει τους ρύπους που προκαλούν την ατμοσφαιρική ρύπανση

Ενότητα 1.2 Φυσικές Καταστροφές

Κατά διαστήματα η ανθρωπότητα κλήθηκε να αντιμετωπίσει μεγάλες φυσικές καταστροφές οι οποίες προκλήθηκαν λόγω άγνοιας των υπευθύνων, είτε από υπερβολικό εργασιακό ζήλο. Όπως όμως και να έχει το αποτέλεσμα δεν αλλάζει. Το περιβάλλον επιβαρύνεται και η ΓΗ ζητάει βοήθεια. Καλό θα ήταν να εξετάσουμε κάποιες από αυτές τις καταστροφές προκειμένου να κατανοήσουμε το εύρος της καταστοφής και να αποφευχθούν νέες.

▪ Εργοστάσιο Πυρηνικής Παραγωγής Chernobyl, Κίεβο, Ουκρανία

Επιστήμονες οι οποίοι δούλευαν στο εργοστάσιο πυρηνικής ενέργειας του Chernobyl στις 26 Απριλίου 1986 σε βραδινή βάρδια τους, πάνω σε μία διαδικασία ρουτίνας παρέβλεψαν το πρωτόκολλο ασφαλείας και προκάλεσαν το χειρότερο περιβαλλοντικό ατύχημα του κόσμου, που είχε ως αποτέλεσμα το ράγισμα στον αντιδραστήρα RBMK-1000. Μετέπειτα από την έκρηξη που ακολούθησε, ένα ραδιενεργό νέφος εξαπλώθηκε πάνω από τη δυτική Σοβιετική Ένωση, την Ευρώπη, τη Σκανδιναβία, το Ηνωμένο Βασίλειο, την Ιρλανδία και τη βορειοανατολική Αμερική. Η περιβαλλοντική καταστροφή ανάγκασε τους κατοίκους των γύρων περιοχών να εκκενώσουν τον τόπο τους και έτσι είχε ως αποτέλεσμα να μεταφερθούν 336.000 άνθρωποι, δυστυχώς κατόπιν εορτής. Σήμερα, ύστερα από μία τέτοια καταστροφή υπολογίζονται δεκάδες χιλιάδες οι δυσμορφίες σε νεογέννητα παιδιά καθώς επίσης και θάνατοι από αναπνευστικά προβλήματα μεταξύ των νεότερων και γηραιότερων κατοίκων της περιοχής. Οι αναφορές παρουσιάζουν επίσης δεκάδες χιλιάδες θανάτους μεταξύ των 72.000 εργατών που ασχολούνταν με την εκκαθάριση του θαμμένου πλέον αντιδραστήρα, αλλά κανείς δεν έχει δώσει στη δημοσιότητα κάποια επίσημα στοιχεία. Μέχρι και σήμερα, οι περιοχές, τα χωριά και οι πόλεις γύρω από το Chernobyl παραμένουν ερημωμένες. Τα σπίτια, οι δρόμοι, τα σχολεία είναι στην ίδια κατάσταση όπως τα εγκατέλειψαν εκείνη την ημέρα. [5]

▪ Καταστροφή πόλης Bhopal, Madhya Pradesh, Ινδία

Στις 3 Δεκεμβρίου 1984, η πόλη Bhopal, πρωτεύουσα της ινδικής περιφέρειας της Madhya Pradesh, υπέστη μία από τις χειρότερες βιομηχανικές περιβαλλοντικές καταστροφές που έχουν καταγραφεί στην ιστορία. Σαράντα-τρεις τόνοι ισοκυκλικό μεθύλιο (MIC) διέρρευσε από το εργοστάσιο της Union Carbide, που βρισκόταν στη μεγαλούπολη. Το MIC, ένα άχρωμο αέριο, το οποίο συνήθως προσβάλλει τα μάτια όπως το δακρυγόνο, έχει έντονη μυρωδιά και ιδιότητες που το κάνουν πιο πυκνό από τον αέρα, με αποτέλεσμα να προκαλείται ασφυξία. Το φονικό σύννεφο, λοιπόν, που απλωνόταν πάνω από το 1,5 εκατομμύριο κατοίκους της πόλης, προκάλεσε μαζική υστερία, με αποτέλεσμα να προκληθούν θάνατοι λόγω ποδοπατήματος. Το αέριο

προκαλεί βρογχόσπασμο και δυσκολία στην αναπνοή. Τουλάχιστον 3.800 άτομα πέθαναν στις επόμενες λίγες ώρες, όπως και χιλιάδες ζώα της περιοχής (σκυλιά, γάτες, κοτόπουλα, αγελάδες). Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως στον σιδηροδρομικό σταθμό (σε απόσταση 1-1,5 χλμ. από το εργοστάσιο) δεν επέζησε κανείς.

▪ Χημική μόλυνση Baia Mare, Βορειοδυτική Ρουμανία

Κατά τη διάρκεια εξόρυξης των τελευταίων κατάλοιπων χρυσού και αργύρου από τα μεταλλεία, η AURUL, μία Αυστραλο-ρουμανική επιχείρηση χρησιμοποίησε μία μέθοδο με βάση το κυανίδιο προκειμένου να κάνει πιο καθαρές εξορύξεις των πολύτιμων μεταλλευμάτων. Το 2000, το φράγμα χρησιμοποιήθηκε με στόχο να απομονώσει το μολυσμένο από κυανίδιο νερό κοντά στη Baia Mare απέτυχε. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να στείλει 100.000 κυβικά μέτρα τοξικού νερού στους ποταμούς Szamos και Tisza, οι οποίοι διαρρέουν προς την Ουγγαρία. Αφού έγινε το περιστατικό αυτό, οι ρουμανικές αρχές βρήκαν τα επίπεδα κυανιδίου 700 φορές πάνω από το φυσιολογικό στο νερό κοντινού ποταμού, ενώ οι ουγγρικές αρχές μέτρησαν τα κυανιδικά επίπεδα 300 φορές πάνω από το όριο μόλυνσης των ουγγρικών επιπέδων. Οι συγκεντρώσεις της μόλυνσης υπερέβησαν τα κανονικά επίπεδα από 40 έως 160 φορές, η συγκέντρωση ψευδαργύρου ήταν η διπλάσια από αυτή που θα έπρεπε να είναι και η συγκέντρωση μολύβδου 5 με 9 φορές μεγαλύτερη από τα ομαλά επίπεδα. [6]

▪ Μόλυνση από διοξίνη στο Seveso, Ιταλία

Στις 10 Ιουλίου 1976 μία έκρηξη προκλήθηκε σε έναν αντιδραστήρα τριχλωροφαινόλης (TCP) στην εταιρεία καλλυντικών και αρωμάτων Industrie Chimiche Meda Societa Azionaria (ICMESA), η οποία βρίσκεται στη Meda της Ιταλίας. Ένα τοξικό σύννεφο, το οποίο περιείχε υψηλές συγκεντρώσεις TCDD, μία υψηλή τοξική φόρμα διοξίνης, διέφυγε από την έκρηξη, περιτυλίγοντας τα 193 θύματά της και αφήνοντάς τα με τρομαγμένα και παραμορφωμένα πρόσωπα. Ακολουθώντας την πορεία του ανέμου, το τοξικό σύννεφο μόλυνε 11 κοινότητες και ένα σύνολο 100.000 ανθρώπων.

▪ Καταστροφή στον πυρηνικό σταθμό JCO Tokai Plant, Περιφέρεια Ibaraki, Ιαπωνία

Τρεις εργαζόμενοι της JCO Co., Ltd. Δτην Ιαπωνία κατάφεραν να δημιουργήσουν μία αλυσιδωτή αντίδραση διαρκείας όταν -παρεκκλίνοντας από τις διαδικασίες ασφαλείας- χρησιμοποίησαν ανοξειδωτους κουβάδες για να ανακατέψουν σχεδόν οχτώ φορές παραπάνω από την απαιτούμενη ποσότητα συμπυκνωμένου ουρανίου σε μία δεξαμενή ανάδευσης. Η αλυσιδωτή αντίδραση διήρκεσε 20 ώρες, ώσπου οι υπεύθυνοι κατάφεραν να τη σταματήσουν. Οι τρεις υπάλληλοι που είχαν άμεση σχέση με το περιστατικό, πέθαναν μέσα σε λίγες μέρες από ραδιενεργή δηλητηρίαση. Σε πείσμα των αρχικών αναφορών που υποστήριζαν ότι εκτέθηκαν 40-50 άτομα, το 2000 η υπηρεσία Επιστημών και Τεχνολογίας ανέβασε τον αριθμό αυτό στα 667. Η μόλυνση επεκτάθηκε στην ατμόσφαιρα όπου στα ραδιενεργά στοιχεία περιλαμβάνονταν ποσότητες καΐσιου, ιωδίου, στρόντιου, ξένου, νάτριου και κρυπτού.[7]

Ενότητα 1.3 Συνέπειες ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει μεγάλες επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και στον άνθρωπο:

ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ:

Υλικά. Η ρύπανση της ατμόσφαιρας είναι ικανή να διαβρώσει τα υλικά και να καταστρέψει ιστορικά αλλά και σύγχρονα κτίρια και μνημεία. Η όξινη βροχή, είναι αυτή η οποία ευθύνεται για αυτό, η οποία οφείλεται στην οξίνιση του νερού της βροχής λόγω διάλυσης στις σταγόνες ενώσεων του θείου και το αζώτου. Ωστόσο και η φυσική βροχή είναι ελαφρά όξινη λόγω του διοξειδίου του άνθρακα που υφίσταται στην ατμόσφαιρα αλλά η παρουσία των προαναφερθέντων ρύπων επιδεινώνει την κατάσταση.

Φυτά. Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να ξεράνει τα φυτά ή να περιορίσει την ανάπτυξή τους. Ο πιο μεγάλος κίνδυνος δημιουργείται και πάλι από την όξινη βροχή αλλά σ' αυτή την περίπτωση αξιοσημείωτη είναι και η συνεισφορά από τους ρύπους που υπάρχουν στον αέρα. Παραδείγματος χάριν, όταν τα επίπεδα του διοξειδίου του θείου ή του όζοντος είναι αυξημένα, έχει παρατηρηθεί υποανάπτυξη ή και νέκρωση ορισμένων φυτών. [8]

ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ:

Ορατότητα. Όπως είναι γνωστό η αιθαλομίχλη μειώνει την ορατότητα.

Ανθρώπινη υγεία. Οι σημαντικότερες επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης εμφανίζονται στην υγεία των ανθρώπων και ιδιαίτερα σε συγκεκριμένες ευπαθείς ομάδες. Χαρακτηριστικά μπορούμε να αναφέρουμε τα παρακάτω παραδείγματα:

α) Το μονοξείδιο του άνθρακα αντιδρά με την αιμογλομίνη του αίματος και σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να οδηγήσει σε ανωμαλίες της όρασης, κακή εκτίμηση του χώρου και του χρόνου και πιθανόν σε αναισθησία.

β) Το διοξείδιο του θείου επιδρά στο αναπνευστικό σύστημα, ιδιαίτερα όταν συνδυάζεται με υψηλές συγκεντρώσεις αιωρουμένων σωματιδίων

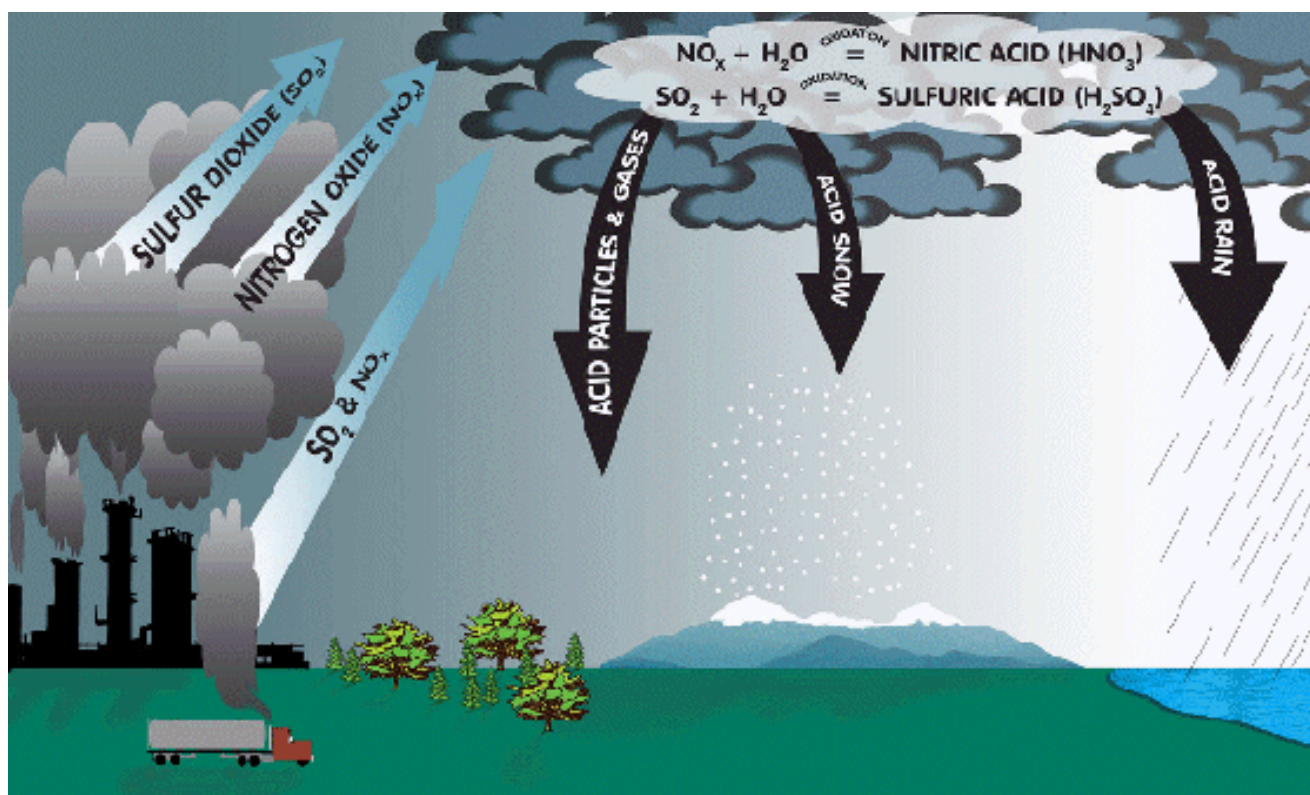
γ) Κάποιες ενώσεις υδρογονανθράκων έχουν καρκινογόνο δράση.

δ) Το όζον είναι εξαιρετικά τοξικό και έκθεση του ατόμου σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει ζάλη εμετούς κ.ά. [8]

ΟΞΙΝΗ ΒΡΟΧΗ

Το νερό της βροχής είναι φυσικά όξινο λόγω της διάλυσης σε αυτό του διοξειδίου του άνθρακα που υπάρχει στην ατμόσφαιρα. Έτσι, απουσία αερίων ρύπων, η βροχή θα έπρεπε να έχει μια τιμή pH περίπου στο 5,6. Ωστόσο, από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης, τα επίπεδα του pH της βροχής έχουν σημειώσει σημαντική πτώση (μείωση της τιμής του pH αντιστοιχεί σε αύξηση της οξύτητας του νερού - για μεταβολή του pH κατά μία μονάδα σημειώνεται δεκαπλάσια μεταβολή στην οξύτητα).

Υπεύθυνες για την αύξηση της οξύτητας είναι κυρίως οι εκπομπές διοξειδίου του θείου και οξειδίων του αζώτου που προέρχονται από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων στη βιομηχανία και τις μεταφορές. Τα εκπεμπόμενα αέρια διαλύονται στην υγρασία της ατμόσφαιρας ή στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, σχηματίζοντας τα αντίστοιχα οξέα (θειικό και νιτρικό οξύ), με αποτέλεσμα να αυξάνουν την οξύτητά τους. Υψηλές συγκεντρώσεις όξινης απόθεσης μπορούν να καταστρέψουν τα χερσαία και τα υδάτινα οικοσυστήματα αλλά και να προκαλέσουν σημαντικές φθορές στα υλικά.[10]



Σχήμα 3. Κύκλος της Όξινης Βροχής

Ενότητα 1.4 Ατμοσφαιρική ρύπανση στην Ελλάδα

Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων δεν κάνουν διακρίσεις ανάλογα με την εποχή, ενώ οι υπερβάσεις του διοξειδίου του αζώτου είναι πιο έντονες στο κέντρο της Αθήνας. Τα στοιχεία για την ατμοσφαιρική ρύπανση προκύπτουν από την έρευνα που διεξήχθη από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών και τον Δημόκριτο.

Η έρευνα που παρουσιάστηκε στα «ΝΕΑ» τον Οκτώβριο του 2016 βασίστηκε στα δεδομένα από τους σταθμούς ρύπανσης του υπουργείου Περιβάλλοντος για τη χρονική περίοδο 2003-2014 στο Λεκανοπέδιο Αθηνών, στα Μεσόγεια και στο Θριάσιο. Η αύξηση των εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων τα τελευταία χρόνια αντικατροπτίζει το μέγεθος του προβλήματος. Ενδεικτικό είναι το γεγονός ότι στην Αττική οι εκπομπές των αιωρούμενων σωματιδίων πριν από την κρίση - το 2007 - προέρχονταν κατά 47% από σταθερές πηγές καύσης (καύση ξύλων) και το 2011 ξεπέρασαν το 54% εξαιτίας της καύσης της βιομάζας για θέρμανση.

Σύμφωνα με την τελευταία έκθεση του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ), για να θεωρείται ο αέρας καθαρός σε μια περιοχή, οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων (PM 10) δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 20 μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο αέρα. Σημείωση: 10 μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο αέρα είναι το όριο για τα PM 2,5. [11]

Οι μετρήσεις όμως στην Ελλάδα προκαλούν ανησυχία. Κι αυτό διότι η μέση ετήσια συγκέντρωση των PM 10 είναι 34 μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο αέρα, σύμφωνα με την έκθεση του ΠΟΥ.

Η έρευνα έδειξε ότι τα πιο συχνά επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης σχετίζονται με υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος και αιωρούμενων σωματιδίων. Οι υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος εντοπίζονται συνήθως τη θερμή περίοδο του έτους, ενώ των αιωρούμενων σωματιδίων σχετίζονται με τη μεταφορά σκόνης από τη Σαχάρα, ειδικά όταν πνέει νότιος άνεμος.

Εξαιτίας - κυρίως - της ερημοποίησης που καταγράφεται στη Σαχάρα, η αφρικανική σκόνη έχει αυξήσει τα τελευταία χρόνια τις «εμφανίσεις της» στην Ελλάδα. Και οι επιστήμονες εμφανίζονται ιδιαίτερα ανησυχητικοί για τις επιπτώσεις που έχει η τοξική αφρικανική σκόνη στην υγεία και στο περιβάλλον. Για το θέμα αυτό δημοσιεύτηκαν το 2011 δυο μελέτες από το Πανεπιστήμιο Αθηνών. Οι μελέτες εστίασαν στην ολική θνησιμότητα και στις εισαγωγές παιδιών στα νοσοκομεία τις ημέρες που υπάρχει σκόνη και όταν δεν υπάρχει κι αν τότε τα αιωρούμενα σωματίδια είναι πιο βλαπτικά.

Σύμφωνα με την καθηγήτρια Βιοστατικής και Επιδημιολογίας στην Ιατρική Σχολή του Πανεπιστημίου Αθηνών Κλέα Κατσουγιάννη, στις μακροχρόνιες επιδράσεις των αιωρούμενων σωματιδίων (PM 10) συγκαταλέγεται, όπως έχει τεκμηριωθεί, και η απώλεια για τους κατοίκους της Αθήνας ενός έτους (!) από το προσδόκιμο επιβίωσης στην ηλικία των 30 χρόνων. Μάλιστα, όπως αναφέρει, βάσει μελέτης με δεδομένα από 17 περιοχές της Ευρώπης (που δημοσιεύτηκε το 2013 στο επιστημονικό περιοδικό «Lancet Oncology»), προέκυψε ότι ο κίνδυνος να πάθει κάποιος καρκίνο του πνεύμονα αυξάνεται κατά 22% αν ζει σε μια περιοχή με συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων μεγαλύτερη κατά 10 μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο αέρα.[11]

**Πρόωροι θάνατοι λόγω
ατμοσφαιρικής ρύπανσης
2013**

ΧΩΡΑ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΑΠΟ ΜΙΚΡΟ- ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ	ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ	ΟΖΟΝ
Αυστρία	8.451.860	6.960	910	330
Βέλγιο	11.161.642	10.050	2.320	210
Βουλγαρία	7.284.552	13.700	570	330
Γαλλία	63.697.865	45.120	8.230	1.780
Γερμανία	80.523.746	73.400	10.610	2.500
ΕΛΛΑΔΑ	11.003.615	13.730	1.490	840
Ιταλία	59.685.227	66.630	21.040	3.380
Πολωνία	38.062.535	48.270	1.610	1.150
Πορτογαλία	9.918.548	6.070	150	420
Ρουμανία	20.020.074	25.330	1.900	430
Ισπανία	44.454.505	23.940	4.280	1.760
Σουηδία	9.555.893	3.020	<5	160
Ην. Βασίλειο	63.905.297	37.930	11.940	710
Νορβηγία	5.051.275	1.590	170	70
Ελβετία	8.039.060	4.980	1.140	240



Η ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ

Πίνακας 3. Ποσοστά πρόωρων θανάτων που προκλήθηκαν λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Ενότητα 1.5 Έλεγχος ατμοσφαιρικής ρύπανσης μέσω διαδικτύου

Στον αέρα του Διαδικτύου βρίσκεται το πρώτο πανελληνίως Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας Αέρα (ΣΔΠΑ) του Οργανισμού Ρυθμιστικού Σχεδίου και Προστασίας Περιβάλλοντος Θεσσαλονίκης (ΟΡΘΕ).

Πρόκειται για ένα σύστημα εκτίμησης ρύπων και πρόγνωσης της ποιότητας αέρα για τη μητροπολιτική περιοχή Θεσσαλονίκης, που υλοποιήθηκε από το Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου. [12]

Παρέχει ωριαίες εκτιμήσεις της ποιότητας αέρα για την περιοχή της Θεσσαλονίκης σε πραγματικό χρόνο, δηλαδή για την επόμενη ώρα, και πραγματοποιεί προγνώσεις για την ποιότητα αέρα του επόμενου 24ώρου. Μετά το πέρας των υπολογισμών, πραγματοποιείται αυτόματη επεξεργασία των αποτελεσμάτων, με ταυτόχρονη παραγωγή χαρτών, ημερήσιων διακυμάνσεων και στατιστικών δεικτών που αφορούν τα προβλεπόμενα επίπεδα συγκεντρώσεων πέντε βασικών ατμοσφαιρικών ρύπων.

Πιο συγκεκριμένα, του διοξειδίου του αζώτου (NO₂), του όζοντος (O₃), των αιωρούμενων σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη από 10 μικρόμετρα (PM₁₀), των αιωρούμενων σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη από 2,5 μικρόμετρα (PM_{2,5}) και του βενζολίου. «Οι ρύποι προέρχονται από τα καυσαέρια των βενζινοκίνητων και πετρελαιοκίνητων αυτοκινήτων, την καύση ξύλων και πετρελαίου θέρμανσης. Το όζον χρειάζεται ήλιο. Παράγεται δευτερογενώς με φωτοχημική αντίδραση και εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές εκτός πόλης», αναφέρει ο Κώστας Νικολάου, επιβλέπων του προγράμματος ατμοσφαιρικής ρύπανσης και επιστημονικός υπεύθυνος του παρατηρητηρίου.

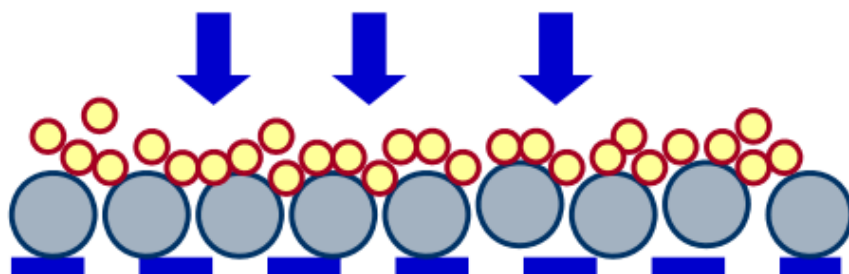
Το σύστημα παρέχει στον ΟΡΘΕ τη δυνατότητα διεξαγωγής προσομοιώσεων διασποράς σε περιοχές ειδικού ενδιαφέροντος, όπως είναι το κέντρο της πόλης, η βιομηχανική περιοχή Θεσσαλονίκης και το ημιαστικό Πανόραμα. Χρησιμοποιούνται τα σενάρια εκπομπών ρύπων που έχουν δημιουργηθεί με τη χρήση Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS). [13]

Ενότητα 2 Σακκόφιλτρα

Ενότητα 2.1 Συστήματα Φίλτρων

Προκειμένου οι βιομηχανίες να προσπαθήσουν να ελέγξουν και να περιορίσουν την ατμοσφαιρική ρύπανση, άρχισαν να χρησιμοποιούν φίλτρα. Τα φίλτρα μπορούν να έχουν τρύπες μεγέθους $0,1 \mu\text{m}$ ή η απόσταση των ινών να είναι μικρότερη από $0,1 \mu\text{m}$.

Γενικά η συλλογή στα φίλτρα επιτυγχάνεται ως εξής: Καθώς τα σωματίδια παγιδεύονται ανάμεσα στις ίνες, τείνουν να γεφυρώσουν τα ανοίγματα και να τα κάνουν μικρότερα. Έτσι καθώς η ποσότητα των σωματιδίων αυξάνει, το στρώμα που σχηματίζεται λειτουργεί από μόνο του ως φίλτρο και το αρχικό ύφασμα ουσιαστικά στηρίζει το στρώμα αυτό. Τα σωματίδια συλλέγονται στην εμπρόσθια επιφάνεια τους αναπτυσσόμενου στρώματος. Αυτό είναι το επιφανειακό φίλτρο.



Σχήμα 4. Επιφανειακό Φίλτρο - Σακκόφίλτρο

Τα συστήματα υφασμάτων φίλτρων αποκρύνουν τη σκόνη απ' ένα αέριο ρεύμα μέσω ενός πορώδους υφάσματος και του στρώματός της σκόνης που συσσωρεύεται πάνω σε αυτό. Τα συστήματα αυτά συχνά τα ονομάζουμε και ως σακκόφιλτρα (bag houses), επειδή το ύφασμα διαμορφώνεται σε κυλινδρικούς σάκους εγκατεστημένους σε ειδική κατασκευή. Το καθαρό αέριο ρεύμα εξέρχεται από την εξωτερική μεριά του διηθητικού μέσου, ενώ η σκόνη συλλέγεται από την εσωτερική πλευρά και περιοδικά απομακρύνεται από το ύφασμα. Υπάρχουν πολλά είδη υφασμάτων που χρησιμοποιούνται, διαφορετικοί τρόποι ύφανσης, μεγέθη σάκων και τρόποι διαμόρφωσης των σάκων. Τα σακκόφιλτρα ξεκίνησα το έτος 1975 στις Α.Η.Μ. και συνεχώς αυξάνεται η χρήση τους. [14]

Ενότητα 2.2 Τύποι-Είδη Σακκόφιλτρων

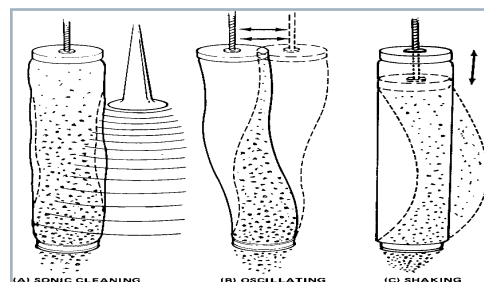
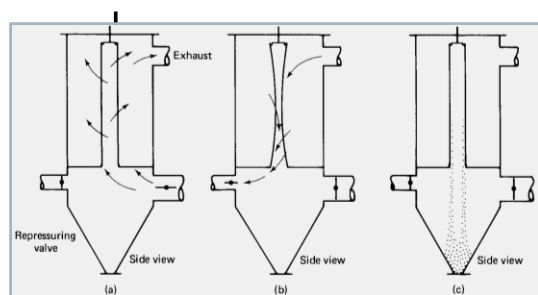
Οι κυριότεροι τύποι σακκόφιλτρων ανάλογα με τη μέθοδο απομάκρυνσης της σκόνης από το σάκο είναι οι εξής: 1) Σακόφιλτρα με ρεύμα αέρα αντίθετης ροής (reverse flow) , 2) Σακόφιλτρα με μηχανική δόνηση (shaker) και 3) Σακόφιλτρα δόνησης με αέρα υπό πίεση (pulse jet). Όσον αφορά όμως τη διάθεσή τους μετά τη χρήση διακρίνονται σε: 1) Σακκόφιλτρα μιας χρήσης (disposable) , τα βαθιά φίλτρα –ίνες υάλου πάνω σε μεταλλική βάση και 2) τα Σακκόφιλτρα που επαναχρησιμοποιούνται (non disposable) τα οποία είναι από ύφασμα. [14]

Όσον αφορά τα σακκόφιλτρα με ρεύμα αέρα αντίθετης ροής και με μηχανική δόνηση, κατασκευάζονται με πολλά διαμερίσματα. Προκειμένου να επιτευχθεί ο καθαρισμός απομονώνεται από τη ροή. Γίνεται εφαρμογή της αντίθετης ροής ή της μηχανικής δόνησης και η σκόνη μαζεύεται (περιοδικά) στον συλλεκτήρα. Λιγότερα αποτελέσματα έχει η αντίθετη ροή αλλά αυτό που βοηθάει στη απομάκρυνση της σκόνης είναι μία ηχητική χοάνη η οποία προκαλεί δόνηση.

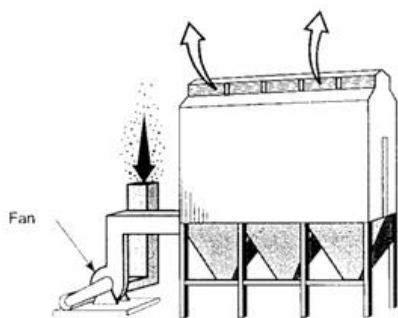
ΣΑΚΚΟΦΙΛΤΡΑ ΑΝΤΙΘΕΤΗΣ ΡΟΗΣ

&

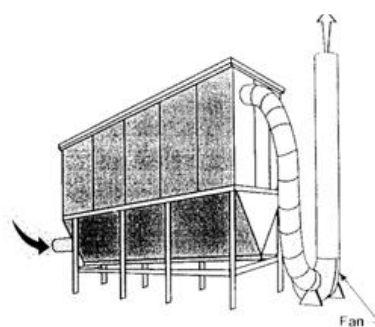
ΣΑΚΚΟΦΙΛΤΡΑ ΜΕ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΟΝΗΣΗ



Πρέπει να αναφερθεί ότι τα σακόφιλτρα διακρίνονται σε δυο είδη, τα σακόφιλτρα θετικής και τα σακόφιλτρα αρνητικής πίεσης. Θετικής πίεσης είναι όταν το αέριο ρεύμα που είναι ρυπασμένο θα περάσει μέσα από τα σακόφιλτρα . Και αρνητική πίεση έχουμε όταν ο ανεμιστήρας είναι κατάντη του σακόφιλτρου. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε φθηνότερα προβλήματα με τα πτερύγια των ανεμιστήρων, ενώ στην δεύτερη περίπτωση έχουμε μία ενισχυμένη κατασκευή αλλά παρουσιάζει πρόβλημα με την είσοδο του αέρα και ιδιαίτερα στην χοάνη συλλογής. [15]

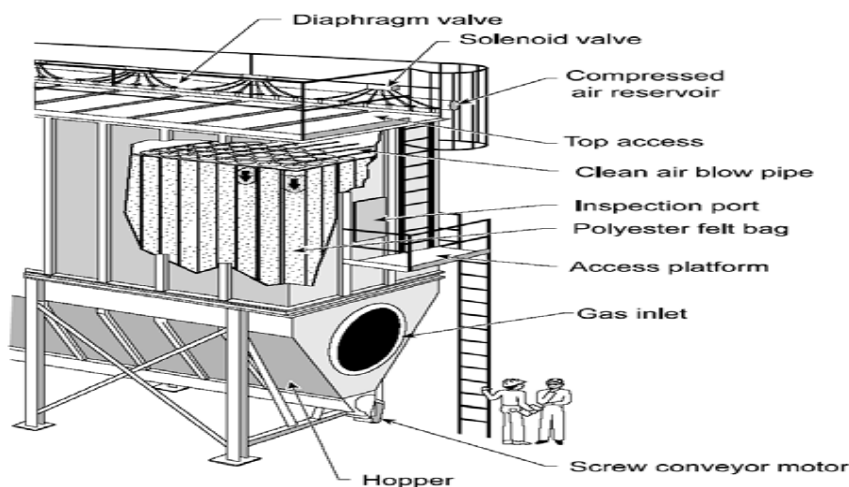


Σχήμα 5. Σακκόφित्रα Θετικής πίεσης



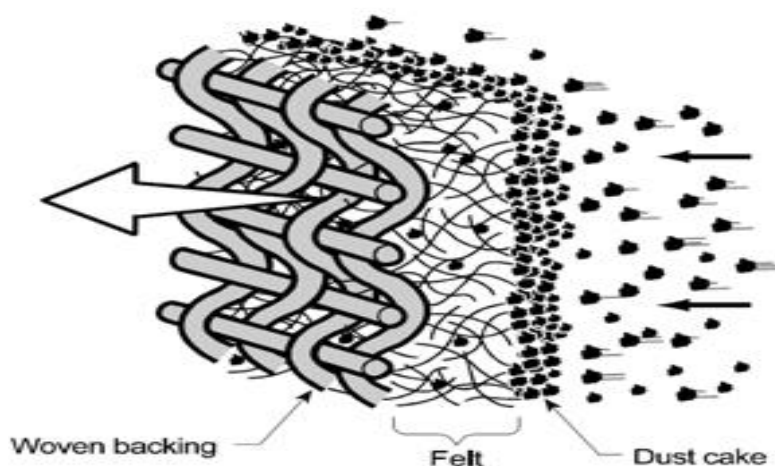
Σχήμα 6. Σακκόφित्रα Αρνητικής πίεσης

Το σακκόφित्रα αποτελείται από τον σάκο, το ύφασμα και το στήριγμα, την κατασκευή πάνω στην οποία τοποθετούνται τα σακκόφित्रα, την χοάνη συλλογής, το σύστημα απομάκρυνσης της σκόνης καθώς και το σύστημα καθαρισμού των φίλτρων. Στην παρακάτω φωτογραφία απεικονίζονται τα μέρη ενός σακκόφित्रα.



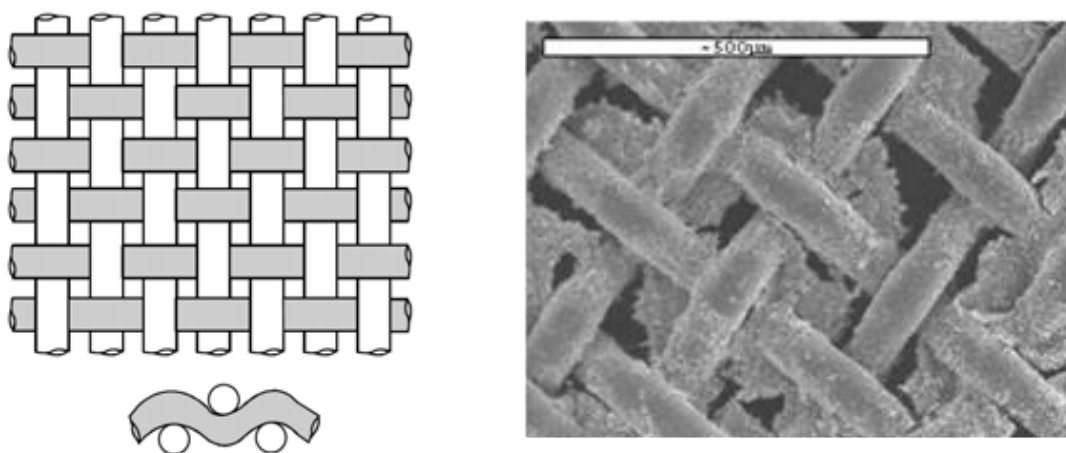
Σχήμα 7. Το εσωτερικό ενός σακκόφित्रα

Όσον αφορά τα είδη του υφάσματος που χρησιμοποιούνται για τα σακκόφित्रα είναι τα παρακάτω. Πρώτον, τα **πιληματοποιημένα υφάσματα (τύπου τσόχας)** γίνονται με συμπίεση ινών επάνω σε ένα υφασμάτινο υπόστρωμα. Οι ίνες είναι τοποθετημένες τυχαία και η πρόσδεση στο υπόστρωμα γίνεται με χημικό τρόπο, την θερμότητα, τις ρητίνες κ.ά. Το στρώμα της σκόνης στηρίζεται στην επιφάνεια της τσόχας, αλλά μερικά σωματίδια διεισδύουν μέσα στην τσόχα. Τα φίλτρα αυτά είναι δύο με τρεις φορές πιο παχιά από τα υφασμάτινα. Κάθε τυχαία ίνα έχει ως στόχο να συλλέξει τα σωματίδια λόγω πρόσκρουσης και ανάσχεσης. Οι “τσόχες” χρησιμοποιούνται γενικά σε σακκόφित्रα δόνησης με πεπιεσμένο αέρα.



Σχήμα 8. Είδος υφάσματος - πιληματοποιημένα υφάσματα (τύπου τσόχας)

Ένα δεύτερο είδος υφάσματος που χρησιμοποιείται για τα σακόφιλτρα είναι το πλεγμένο φίλτρο. Τα διάφορα είδη πλέξης έχουν και διαφορετικά ανοίγματα, κάτι που επηρεάζει την αντοχή του υφάσματος και την περατότητα. Η περατότητα του υφάσματος επηρεάζει την ποσότητα του αέρα που περνάει και την πτώση πίεσης. Τέλος, μία πυκνή πλέξη συλλέγει καλύτερα τα σωματίδια, αλλά αυξάνει το κόστος και την πτώση πίεσης. «Πλεγμένα» υφάσματα χρησιμοποιούνται σε εσωτερικούς συλλέκτες που καθαρίζονται με αντίθετη ροή ή με μηχανική δόνηση.



Σχήμα 9. Είδος υφάσματος -πλέξη υφασματοφιλτρων

Ενότητα 2.3 Επιλογή Σακκόφιλτρων

Η επιλογή του σωστού τύπου σακόφιλτρου εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως για παράδειγμα τα χαρακτηριστικά της σκόνης, της θερμοκρασία και την οξύτητα του αέριου ρεύματος, το λόγο διήθησης, τον τρόπο καθαρισμού του αλλά και προηγούμενη εμπειρία για παρόμοιες σκόνες.

Να σημειωθεί ότι θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ανεμιστήρας ή συμπιεστής ή άλλο μέσο προώθησης του αέριου ρεύματος διότι τα σακόφιλτρα (bag houses) δημιουργούν παραπάνω πτώση πίεσης σε κάθε διεργασία. Ο ανεμιστήρας ή ο συμπιεστής ανάλογα πιο συχνά τοποθετείται στη καθαρή έξοδο του συστήματος των σακόφιλτρων. [14]

Για την τοποθέτηση λοιπόν του καταλληλότερου φίλτρου παίζει ρόλο μία σειρά παραγόντων που πρέπει να εξετασθούν όπως είδαμε και παραπάνω. Καλό θα ήταν να αναφέρουμε ότι θα πρέπει να εξετασθεί το ποσοστό υγρασίας, ο χημικός χαρακτηρισμός της σκόνης, αν υπάρχουν εύφλεκτα ή εκρηκτικά υλικά, καθώς επίσης η θέση του ανεμιστήρα, ο χειρισμός της σκόνης και η γενική χωροθέτηση των σάκων.

Ενότητα 2.4 Σχεδιασμός Σακκόφιλτρων

Αρχικά, υπολογίζουμε την ταχύτητα (V) για την σκόνη. Έπειτα υπολογίζουμε την επιφάνεια των φίλτρων $A=Q/V$. Εάν χρησιμοποιούμε αέρα υπό πίεση πρέπει να θυμηθούμε να προσθέσουμε το πυθμένα του φίλτρου. Μετά εκτιμούμε τον αριθμό των διαμερισμάτων (εάν έχουμε αέρα υπό πίεση δεν χρειάζεται) και τέλος αναπτύσσουμε μοντέλο αντίστασης φίλτρου για τη σχέση μεταξύ DP και V .

Ενότητα 2.5 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα Σακκόφιλτρων

Κάθε σακκόφίλτρο που χρησιμοποιούμε έχει και θετικά και αρνητικά χαρακτηριστικά. Όσον αφορά τα **πλεονεκτήματα** της χρήσης των σακκόφιλτρων είναι αρκετά. Πρώτον, επιτυγχάνουν πολύ υψηλές αποδόσεις (99%), ακόμη και για μικρά σωματίδια. Δεύτερον, μπορούν να επεξεργαστούν μεγάλο εύρος ογκομετρικών παροχών. Τρίτον, αποτελούνται από επιμέρους στοιχεία που μπορούν να συναρμολογηθούν στην μονάδα. Τέταρτον, μπορούν να λειτουργήσουν με διάφορα είδη σωματιδίων και τέλος απαιτούν σχετικά χαμηλές πτώσεις πίεσης..

Όσον αφορά τα **μειονεκτήματα** που έχουν είναι τα εξής: Απαιτούν μεγάλες επιφάνειες της στερεής έδρασης. Τα υφάσματα μπορούν να πάθουν ζημιά από την υψηλή θερμοκρασία και από τα διαβρωτικά μέσα, δεν λειτουργούν σε περιβάλλον με υγρασία (τα φίλτρα γίνονται “τυφλά”) ,υπάρχει πιθανότητα έκρηξης ή φωτιάς και τέλος χρειάζεται αντικατάσταση των σάκων.[14]



Σχήμα 10. Φίλτρα σακκόφιλτρων

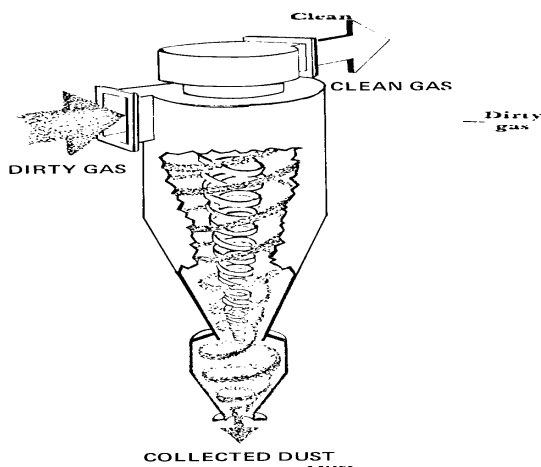
ΕΝΟΤΗΤΑ 3 Κυκλώνες

Ενότητα 3.1 Κυκλώνες

Οι κυκλώνες χρησιμοποιούνται σε πάρα πολλές βιομηχανικές διεργασίες από την ανάκτηση προϊόντων, μέχρι τον καθαρισμό αερίων ρευμάτων από σωματίδια, και βρίσκονται σχεδόν σε κάθε διεργασία στην οποία απαιτείται ο χειρισμός σκόνης. Τα χαρακτηρίζει το χαμηλό κόστος κατασκευής, το χαμηλό λειτουργικό κόστος καθώς και ότι μπορούν να λειτουργήσουν σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σαν συσκευές αρχικού καθαρισμού για την απομάκρυνση μεγάλης διαμέτρου σωματιδίων, πριν από σακόφιλτρα, πλυντρίδες ή ηλεκτροστατικά φίλτρα ανάλογα βέβαια με τις διεργασίες.

Οι κυκλώνες χρησιμοποιούν τη φυγόκεντρο δύναμη, αντί της βαρύτητας, για το διαχωρισμό των σωματιδίων που μεταφέρονται σε ρεύμα αερίου αποβλήτου. Η ακτίνα περιστροφής μειώνεται συνεχώς, οδηγώντας όλο και μικρότερα σωματίδια σε σύγκρουση με τα τοιχώματα. Το αέριο εισέρχεται μέσα στον κυκλώνα εφαπτομενικά στο πάνω μέρος του. Στη συνέχεια στροβιλίζεται πάνω στο κυλινδρικό τοίχωμα και αυτός ο στροβιλισμός αναπτύσσει φυγόκεντρες δυνάμεις πάνω στα σωματίδια, που εκτινάσσονται πάνω στο στερεό τοίχωμα, συσσωματώνονται και καθιζάνουν προς το δοχείο-σακί συλλογής, στη βάση του κυκλώνα. Το αέριο, απαλλαγμένο από ένα μεγάλο μέρος από σωματίδια, εξέρχεται από τον κεντρικό σωλήνα και από το πάνω μέρος του κυκλώνα.

Η πολύπλοκη αυτή κίνηση μπορεί να περιγραφεί σαν ένας συνδυασμός μιας κατερχόμενης εξωτερικής δίνης με μια ανερχόμενη εσωτερική. Ο κυκλώνας είναι αρκετά αποτελεσματικός διότι οι φυγόκεντρες δυνάμεις που αναπτύσσονται στους κυκλώνες και που αποτελούν το μηχανισμό εκτίναξης και συλλογής των σωματιδίων είναι πολύ ισχυρές.



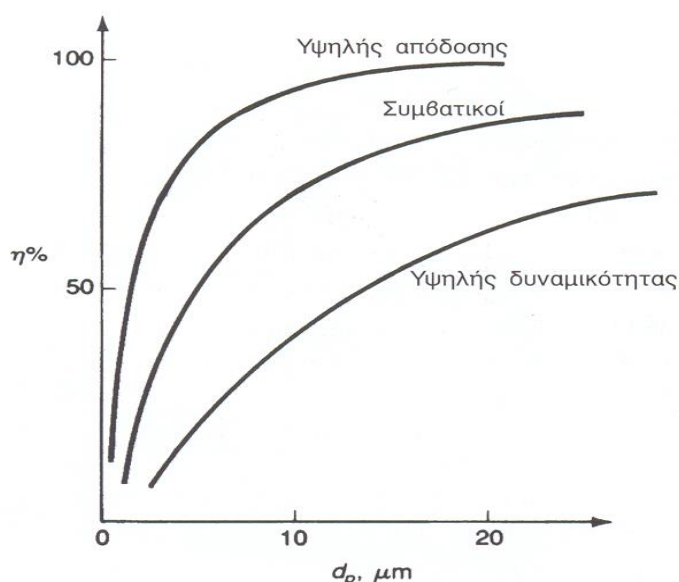
Σχήμα 11. Εσωτερικό Κυκλώνα

Ο συνηθισμένος τύπος κυκλώνα από στην κατασκευή του και έχει χαμηλό κόστος σε σχέση με άλλους τύπους εξοπλισμούς συλλογής σκόνης (Shepherd & Ipple, 1939). Άλλωστε αυτός είναι και ένας σημαντικός λόγος που είναι διαδεδομένος αυτή τη στιγμή ως μέθοδος αντιρρύπανσης, καθώς πέρα από το οικονομικό μπορούν να κατασκευασθούν για να αντέχουν σε πολύ σκληρές συνθήκες. Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής οι κυκλώνες χρησιμοποιούνται ως μέσο καθαρισμού αερίων εδώ και 100 χρόνια.

Επιπλέον, οι βιομηχανίες διεργασιών πρέπει να αναφερθεί ότι χρησιμοποιούν τους κυκλώνες ως μέθοδο αντιρρύπανσης για ανάκτηση και ανακύκλωση καταλυτών σε διυλιστήρια πετρελαίου καθώς επίσης και σε ανάκτηση καφέ, σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας τροφίμων.

Κάνοντας μία αναδρομή στο παρελθόν παρατηρούμε ότι οι κυκλώνες θεωρούνταν πολλές φορές ως συλλέκτες χαμηλής απόδοσης. Παρόλα αυτά η απόδοση αλλάζει πάρα πολύ με το μέγεθος το σωματιδίου και με το σχεδιασμό του κυκλώνα.

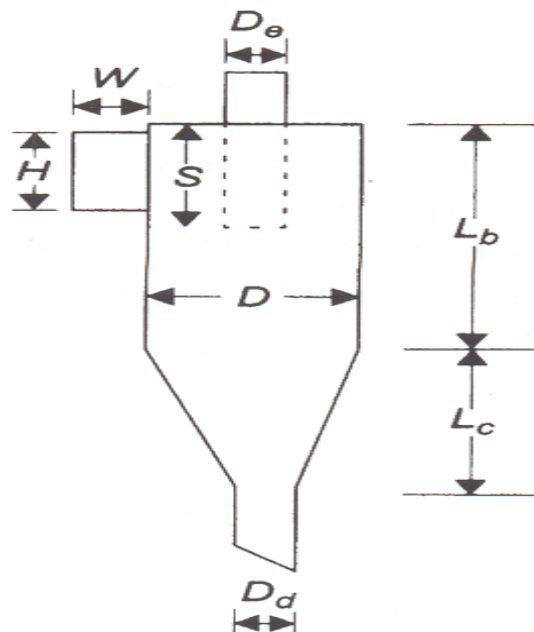
Σε γενικότερο πλαίσιο, η απόδοση των κυκλώνων σε σχέση με περασμένες δεκαετίες έχει βελτιωθεί πάρα πολύ. Κάποιοι από τους κατασκευαστές των κυκλώνων έχουν διαφημίσει σε πρόσφατα έντυπα ότι οι κυκλώνες οι κάτω από συνηθισμένες συνθήκες πετυχαίνουν 90% ή μεγαλύτερη απόδοση για σωματίδια μεγαλύτερα από 10 microns και ακόμη κάποιοι άλλοι πετυχαίνουν και 99% απόδοση για σωματίδια μεγαλύτερα από 5 microns. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα όσο αυξάνονται οι αποδόσεις, αυξάνονται τα λειτουργικά κόστη. Αν χωρίσουμε τους κυκλώνες σε τρεις κατηγορίες είναι οι εξής: υψηλής απόδοσης, συμβατικοί και υψηλής δυναμικότητας.



Σχήμα 12. Διάγραμμα απόδοσης κυκλώνων σε σχέση με τα σωματίδια

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε την σχέση απόδοσης συλλογής έναντι μεγέθους σωματιδίου για κυκλώνες.

Πέρασαν αρκετά χρόνια και πολλές μελέτες προκειμένου να εξετασθεί με ποιο τρόπο οι διαστάσεις των κυκλώνων επηρεάζουν την απόδοση. Οι μελέτες οι οποίες ξεχώρισαν με το πέρασμα των χρόνων είναι του Shepherd και Lapple το έτος 1939 και 1940. Ήταν δύο κλασσικές μελέτες και προσδιόρισαν “βέλτιστες” διαστάσεις για κυκλώνες. Προκειμένου να καταφέρουν να εφαρμοστούν γενικά οι διαστάσεις των κυκλώνων συσχετίστηκαν με τη διάμετρο του σώματος του κυκλώνα. Ωστόσο, οι έρευνες δε σταμάτησαν εκεί. Αργότερα ασχολήθηκαν όλοι οι ερευνητές και δημιούργησαν τους τυπικούς κυκλώνες. [16]



Σχήμα 13. Οι διαστάσεις ενός τυπικού κυκλώνα σύμφωνα με τα πρότυπα Lapple.

Ενότητα 3.2 Αποδοχή Συλλογής

Για να καθοριστούν οι επιδράσεις του σχεδιασμού του κυκλώνα και της λειτουργίας στην απόδοση συλλογής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα πολύ απλό μοντέλο.

Στο συγκεκριμένο μοντέλο, το αέριο στροβιλίζεται μέσω ενός αριθμού Ne περιστροφών στην εξωτερική δίνη. Η τιμή του Ne μπορεί να προσεγγιστεί από $Ne = 1/H [L_b + (L_c/2)]$

Ne = αριθμός πραγματικών περιστροφών

H = ύψος αγωγού προσαγωγής, m ή ft

L_b = μήκος του σώματος του κυκλώνα, m ή ft

L_c = μήκος (κάθετο) του κώνου του κυκλώνα, m ή ft

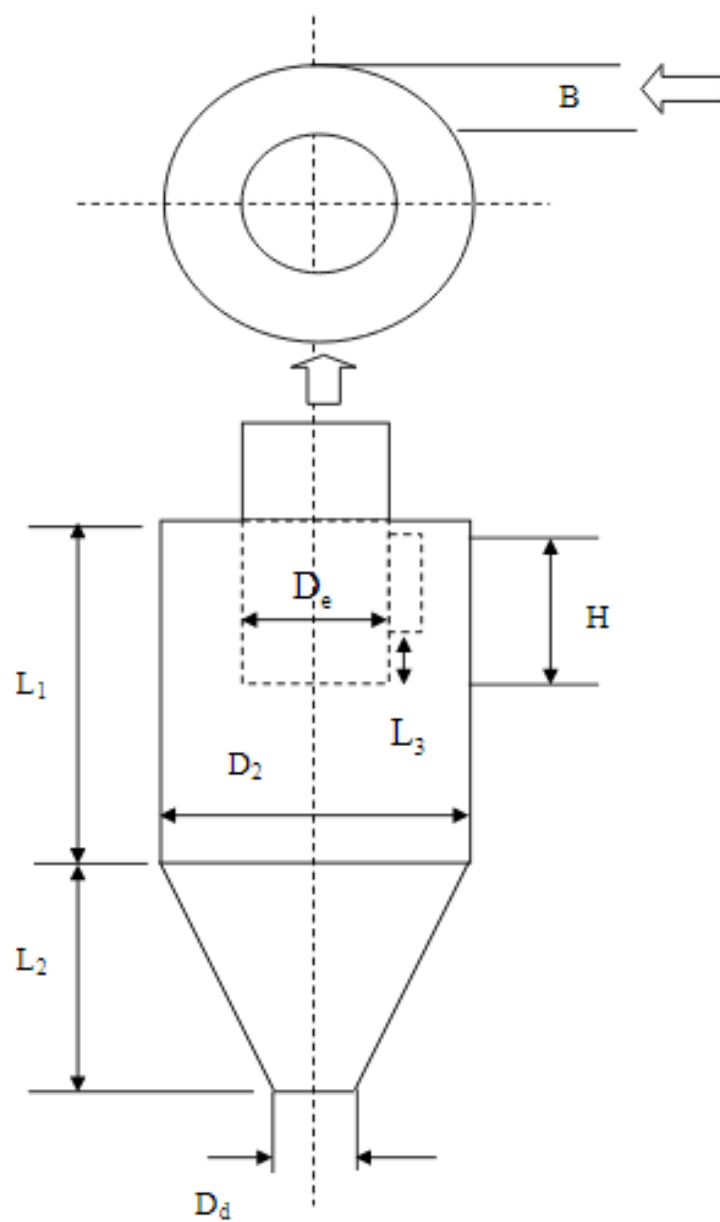
Για να συλλεχθούν, τα σωματίδια πρέπει να προσκρούσουν στο τοίχωμα κατά τη διάρκεια του διαθέσιμου χρόνου που το αέριο κινείται στην εξωτερική δίνη.

Ο χρόνος παραμονής του αερίου στην εξωτερική δίνη είναι $\Delta t = 2\pi R Ne / Vi$

Δt = χρόνος παραμονής του αερίου

R = ακτίνα σώματος κυκλώνα

Vi = ταχύτητα εισαγωγής αερίου



Σχήμα 14. Απόδοση συλλογής κυκλώνα

Η μέγιστη ακτινική απόσταση που διανύεται από οποιοδήποτε σωματίδιο είναι ίση με το πλάτος W του αγωγού προσαγωγής.

Υποθέτουμε ότι η φυγοκεντρική δύναμη επιταχύνει γρήγορα το σωματίδιο στην οριακή του ταχύτητα προς την εξωτερική (ακτινική) διεύθυνση.

Η οριακή ταχύτητα επιτυγχάνεται όταν η αντιτιθέμενη οπισθέλκουσα δύναμη εξισώνεται με τη φυγόκεντρο δύναμη.

Η οριακή ταχύτητα η οποία μόλις που θα επιτρέψει ένα σωματίδιο να συλλεχθεί στο χρόνο Δt είναι

$$V_t = W / \Delta t$$

όπου V_t = οριακή ταχύτητα του σωματιδίου στην ακτινική διεύθυνση.

Όσον αφορά την οριακή ταχύτητα του σωματιδίου πρέπει να αναφερθεί ότι είναι συνάρτηση του μεγέθους του σωματιδίου (ίση με το χαρακτηριστικό του χρόνο πολλαπλασιασμένο με μία εξωτερική δύναμη)

Υποθέτοντας ροή στην περιοχή Stokes και σφαιρικά σωματίδια υπό μία φυγοκεντρική δύναμη, λαμβάνουμε

$$V_t = [d^2 p (\rho_p - \rho_g) V_i^2] / 18 \mu R$$

V_t = οριακή ταχύτητα, m/s

d = διάμετρος του σωματιδίου, m

ρ_p = πυκνότητα του σωματιδίου, kg/m³

μ = ιξώδες αερίου, kg / m-s

ρ_g = πυκνότητα αερίου, kg/m³

d_p είναι το μέγεθος του μικρότερου σωματιδίου το οποίο θα συλλεχθεί εάν αυτό ξεκινήσει από το εσωτερικό άκρο του αγωγού προσαγωγής. Από αυτό προκύπτει ο τύπος

$$d_p = [9 \mu W / \pi N_e V_i (\rho_p - \rho_g)]^{1/2}$$

Κατά συνέπεια, θεωρητικά, όλα τα σωματίδια του μεγέθους dp ή μεγαλύτερα θα έπρεπε να συλλεχθούν με απόδοση 100%.

Η μικρότερη διάμετρος από τα σωματίδια που συλλέχθηκαν με απόδοση 100% είναι άμεσα συνδεδεμένη με

- το ιξώδες του αερίου και
 - το πλάτος του αγωγού προσαγωγής
- και αντιστρόφως ανάλογη με
- τον αριθμό των πραγματικών περιστροφών,
 - την ταχύτητα του εισερχόμενου αερίου και
 - τη διαφορά πυκνότητας μεταξύ των σωματιδίων και του αερίου

Ένα σημαντικό μειονέκτημα για το παραπάνω μοντέλο είναι ότι::

Προβλέπει ότι όλα τα σωματίδια μεγαλύτερα από d_p θα συλλεχθούν με απόδοση 100%, το οποίο δεν είναι σωστό.

Η **ημι-εμπειρική σχέση** που αναπτύχθηκε από τον Lapple (1951) για να υπολογιστεί μία “διάμετρος αποκοπής 50%”, d_{pc} , η οποία είναι η *διάμετρος των σωματιδίων που συλλέχθηκαν με απόδοση 50%*, είναι

$$d_{pc} = [9 \mu W / 2\pi N_e V_i (\rho_p - \rho_s)]^{1/2}$$

d_{pc} = η διάμετρος των σωματιδίων που συλλέχθηκαν με 50% απόδοση

Ο **Lapple** [5] στη συνέχεια ανέπτυξε μία γενική καμπύλη για τυπικούς συμβατικούς κυκλώνες, από την οποία μπορούμε να προβλέψουμε την απόδοση συλλογής για οποιοδήποτε μέγεθος σωματιδίου

Οι **Theodore** και **DePaola** [6] έχουν προσαρμόσει μία αλγεβρική εξίσωση, η οποία κάνει την **προσέγγιση του Lapple** περισσότερο ακριβή και πιο κατάλληλη για εφαρμογή σε υπολογιστές.

Η απόδοση συλλογής οποιουδήποτε μεγέθους σωματιδίου δίνεται από

$$\eta_j = 1/[1+(d_{pc}/d_{pj})^2]$$

η_j = απόδοση συλλογής για το j εύρος του μεγέθους των σωματιδίων

d_{pc} = χαρακτηριστική διάμετρος το j εύρος του μεγέθους των σωματιδίων

Η συνολική απόδοση του κυκλώνα είναι ένας σταθμισμένος μέσος όρος των αποδόσεων συλλογής για τα διάφορα εύρη μεγέθους δηλαδή,

$$h_o = \sum h_j m_j$$

h_o = συνολική απόδοση συλλογής

m_j = κλάσμα μάζας των σωματιδίων στο j εύρος μεγέθους

Τα αποτελέσματα από μία μεταβολή στις συνθήκες λειτουργίας μπορούν να ποσοτικοποιηθούν χρησιμοποιώντας την εξίσωση. Θυμηθείτε ότι η κλασματική διείδυση είναι :

$$P_t = 1 - \eta_o$$

όπου P_t = κλασματική διείδυση.

Περισσότερο πολύπλοκα (αλλά και περισσότερο ακριβή) μοντέλα κυκλώνων έχουν αναπτυχθεί. Οι **Kalen** και **Zenz** (1974) πρότειναν την ύπαρξη μιας “ταχύτητας αναπήδησης” στον κυκλώνα για να εξηγηθεί γιατί η απόδοση συλλογής παρατηρήθηκε μερικές φορές να μειώνεται με την αύξηση στην ταχύτητα εισαγωγής.

Η ημι-εμπειρική συσχέτισή τους για την ταχύτητα αναπήδησης όπως εφαρμόστηκε και αναπτύχθηκε από τους **Koch** και **Licht** (1977) είναι:

$$V_s = 2.055 \psi [(W/D)^{0.4} / [1 - (W/D)]^{0.333}] D^{0.067} V_i^{0.667}$$

V_s = ταχύτητα αναπήδησης, ft/sec

D = διάμετρος σώματος κυκλώνα, ft

ψ = συνάρτηση της ταχύτητας, ft/sec

$V_i V_i$ = ταχύτητα εισαγωγής, ft/sec

Σύμφωνα με το μοντέλο αναπήδησης, η **μέγιστη απόδοση συλλογής** συμβαίνει όταν,

$V_i = 1.25 V_s$, με τη συμπαράσυρση ξανά των σωματιδίων να παρουσιάζεται σε υψηλότερες ταχύτητες εισαγωγής. Γενικά, η ταχύτητα εισαγωγής στον κυκλώνα πρέπει να είναι **50 με 100 ft/sec** (15 με 30 m/s).

Ενότητα 3.3 Πτώση Πίεσης

Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα για τους κυκλώνες (εκτός από την απόδοση) είναι η πτώση πίεσης. Γενικά, οι υψηλότερες αποδόσεις προκύπτουν αναγκάζοντας το αέριο να διέλθει μέσα από τον κυκλώνα σε υψηλότερες ταχύτητες. Ωστόσο, αυτό έχει ως αποτέλεσμα αυξημένη πτώση πίεσης.

Εφόσον η αυξημένη απώλεια πίεσης μέσω του κυκλώνα απαιτεί αυξημένο έργο από τον ανεμιστήρα, υπάρχει μία οικονομική ανταλλαγή η οποία πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη διαδικασία σχεδιασμού.

Παρόλο που υπάρχουν διάφορα είδη μοντέλων για την πτώση πίεσης, η προσέγγιση των Shepherd & Lapple είναι η απλούστερη να χρησιμοποιηθεί και η ακρίβειά της είναι συγκρίσιμη με αυτές των άλλων μεθόδων.

Η εξίσωση των Shepherd και Lapple είναι

$$H_u = K (H W / D^2 e)$$

H_u = πτώση πίεσης, εκφρασμένη σε αριθμούς πιεσομετρικού ύψους ταχύτητας εισαγωγής

K = σταθερά η οποία εξαρτάται από τη μορφή του κυκλώνα και τις συνθήκες λειτουργίας

Θεωρητικά, το K μπορεί να μεταβάλλεται σημαντικά, αλλά για εργασία σε αέρια ρύπανση με τυπικούς κυκλώνες με εφαπτομενική είσοδο, οι τιμές του K βρίσκονται στο διάστημα από 12 έως 18 (Caplan 1962).

Ο Licht (1984) πρότεινε το K να τεθεί απλώς ίσο με 16 και ανέφερε ότι, μολονότι είναι διαθέσιμες περισσότεροι πολύπλοκοι μέθοδοι, καμία δεν είναι καλύτερη από την Εξίσωση:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho g V_i^2 H_u$$

ΔP = πτώση πίεσης, N/m² ή Pa

ρg = πυκνότητα αερίου, kg/m³

V_i = ταχύτητα εισαγωγής αερίου, m/s

Οι πτώσεις πιέσεων σε κυκλώνα κυμαίνονται από περίπου 0.5-10 πιεσομετρικό ύψος ταχύτητας (250 έως 4000 Pa ή 1 έως 16 in. ύδατος). Από τη στιγμή που η πτώση πίεσης έχει υπολογιστεί, η απαίτηση ισχύος για το ρευστό μπορεί να προκύψει ως:

$$W_f = Q \Delta P$$

W_f = ρυθμός εισόδου έργου στο ρευστό (ισχύς ρευστού), W

Q = ογκομετρική παροχή, m³/s

Ενότητα 3.4 Γενικός Σχεδιασμός Κυκλώνα

Όταν μία μεγάλη ποσότητα αερίου πρέπει να υποστεί επεξεργασία, ένας και μόνο κυκλώνας είναι πιθανόν να μην είναι πρακτικός. Πολλοί κυκλώνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν εν παραλλήλω. Μία μορφή παράλληλων κυκλώνων είναι ο κυκλώνας πολλαπλών αγωγών (multiple-tube cyclone) .

Δικαίως επιτυγχάνονται υψηλές αποδόσεις (90% για σωματίδια 5- έως 10-μικρά) από τους μικρής διαμέτρου αγωγούς (15 έως 60 cm). Χρησιμοποιώντας κυκλώνες σε σειρά αυξάνεται η συνολική απόδοση, αλλά με τίμημα μία σημαντική αύξηση στην πτώση πίεσης. [17]

Επιπλέον, επειδή το μεγαλύτερο μέρος των μεγάλων σωματιδίων απομακρύνεται στον πρώτο κυκλώνα, ο δεύτερος κυκλώνας έχει χαμηλότερη συνολική απόδοση από τον πρώτο. Για να επιτευχθούν υψηλότερες αποδόσεις έχουν χρησιμοποιηθεί είσοδοι με μορφή έλικα και τροποποιημένες περιοχές εισαγωγής.

Όταν σχεδιάζεται ένας κυκλώνας, χρησιμοποιούμε τη *διαδικασία δοκιμής και επαλήθευσης κατά την οποία αρχικά επιλέγουμε διάμετρο σώματος και στη συνέχεια υπολογίζουμε το d_{pc} και την απόδοση.*

- Αν η απόδοση είναι πολύ χαμηλή, επιλέγουμε μικρότερη διάμετρο και κάνουμε επαναπροσέγγιση.
- Εάν η απόδοση είναι αποδεκτή, ελέγχουμε τον περιορισμό της πτώσης πίεσης.
- Εάν η ΔP είναι πολύ μεγάλη, πρέπει είτε να επιλέξουμε έναν κυκλώνα διαφορετικού τύπου, ή να διαιρέσουμε τη ροή του αερίου ανάμεσα σε δύο κυκλώνες εν παραλλήλω.

Ενότητα 3.5 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Κυκλώνων

Συμπερασματικά τρεις μεγάλες κατηγορίες κυκλώνων είναι διαθέσιμες: *υψηλής απόδοσης, συμβατικοί και υψηλής δυναμικότητας.*

Όπως και άλλοι μέθοδοι αντιρρύπανσης έτσι και οι κυκλώνες έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Ως **πλεονέκτημα** των κυκλώνων θα λέγαμε ότι είναι η δυνατότητά τους να λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες, έχουν μικρό κόστος κεφαλαίου και επίσης έχουν χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης εξαιτίας απουσίας κινούμενων μερών.

Όσον αφορά τα **μειονεκτήματα** των κυκλώνων, πρώτον παρουσιάζουν χαμηλές αποδόσεις (ειδικότερα για τα πολύ μικρά σωματίδια) και λόγω της πτώσης πίεσης τα κόστη λειτουργίας τους είναι υψηλά. [17]



Σχήμα 15. Κυκλώνες

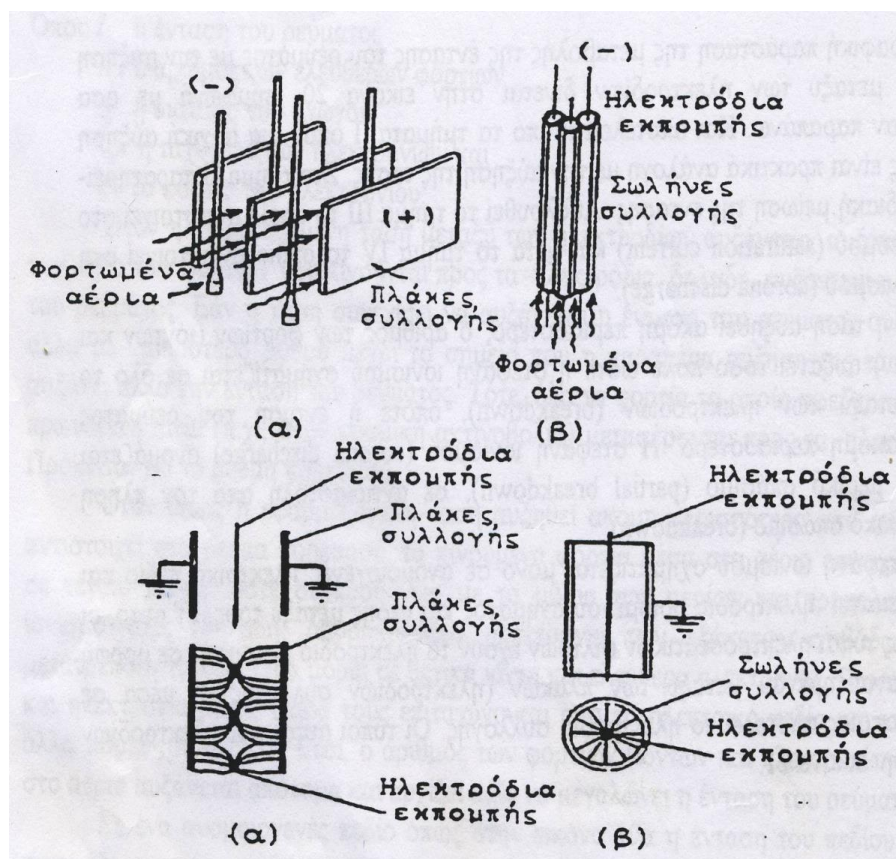
Ενότητα 4 Ηλεκτροστατικά Φίλτρα

Το ηλεκτροστατικό φίλτρο (Η/Φ) ανακαλύφθηκε το 1910 από τον Frederic Garder Cottrel του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας. Η λειτουργία του φίλτρου αυτού στηρίζεται σε ηλεκτροστατικές και όχι μηχανικές δυνάμεις. Αυτά τα φίλτρα χρησιμοποιούνται σε μία μεγάλη ποικιλία προβλημάτων καθαρισμού αερίων με αποδόσεις συλλογής που φτάνουν τα 99,9 %, ρυθμούς επεξεργασίας αερίου έως 120.000 m³/min και θερμοκρασίας επεξεργάσιμου αερίου έως τους 550 °C. Χρήση ηλεκτροστατικών φίλτρων θα συναντήσουμε να γίνεται κυρίως σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ιδίως όταν χρησιμοποιείται κάρβουνο, πετρέλαιο και μαζούτ) αλλά και σε βιομηχανίες τσιμέντου. Στην Ελλάδα οι λιγνιτικές μονάδες I, II, III και IV του ΑΗΣ Καρδιάς, οι μονάδες I, II, III και IV του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας, οι μονάδες I και II του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ, και τα Η/Φ τέφρας και λιγνίτη της μονάδας III του ΑΗΣ Μεγαλόπολης Α. Το 1970 στις Ηνωμένες Πολιτείες υπήρχαν πάνω από 5.000 εγκαταστάσεις που καθάριζαν 20 εκατομμύρια m³/min ακάθαρτων αερίων, προερχόμενα από σταθμούς παραγωγής θερμικής ενέργειας, κλιβάνους και τη βιομηχανία. Μία επένδυση πάνω από 1 δισεκατομμύριο δολάρια για τη χώρα της Αμερικής. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις πολύ μικρών σωματιδιακών ρύπων που είναι αδύνατον να συλληφθούν με τις προηγούμενες διατάξεις [18]

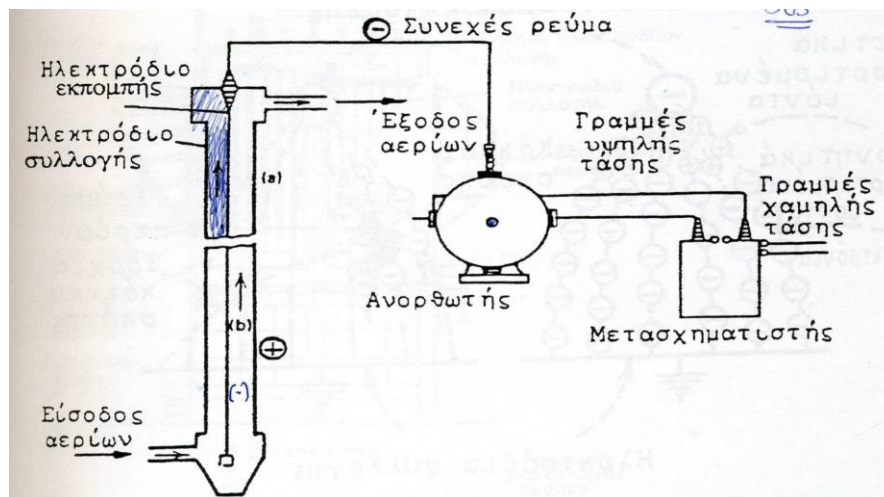
Ενότητα 4.1 Αρχές λειτουργίας και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά Η/Φ

Μία συσκευή Η/Φ διαχωρίζει τα σωματίδια ύλης από ένα ρεύμα αερίου, αρχικά φορτίζοντας τα σε ένα αρνητικό δυναμικό περίπου 50.000 V και κατόπιν προσκολλώντας τα πάνω σε ειδικά ηλεκτρόδια συλλογής επίπεδης γεωμετρίας. Τελικά, η συσσωρευμένη ύλη συλλέγεται σε μία χοάνη. Παρόλο που χρησιμοποιούνται υψηλές τάσεις, η κατανάλωση ενέργειας είναι μικρή και οι απώλειες των ηλεκτροστατικών φίλτρων είναι μικρότερες από όλους τους άλλους συλλέκτες υψηλής απόδοσης.

Σε εμπορικές μονάδες φυσιολογικού μεγέθους, το πλούσιο σε σωματιδιακή ύλη αέριο περνά οριζόντια μέσα από στενά περάσματα που σχηματίζονται από παράλληλες πλάκες γειωμένων ηλεκτροδίων συλλογής. Ηλεκτρικώς μονωμένα σύρματα υψηλής τάσης είναι τοποθετημένα στους χώρους διέλευσης του αερίου, περίπου στο μέσον της απόστασης των πλακών που αποτελούν τα γειωμένα ηλεκτρόδια . Μία τρισδιάστατη εικόνα ενός σύγχρονου Η/Φ παρουσιάζεται. Οι τυπικές διαστάσεις των χωρισμάτων διέλευσης του αερίου (απόσταση πλακών) σε ένα μεγάλο Η/Φ του εμπορίου είναι 24cm απόσταση, 9m ύψος και 8 m μήκος. Η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων υψηλής τάσης και των γειωμένων πλακών συλλογής, είναι το μισό του πλάτους του χώρου διέλευσης του αερίου, δηλαδή, 12cm.



Σχήμα 16: Τύποι ηλεκτροδίων Η/Φ



Σχήμα 17. Γενικό διάγραμμα Η/Φ

Απεικονίζεται η μορφή της ροής των ηλεκτρικών φορτίων μεταξύ συρμάτων και πλακών. Αυτή η ροή φορτίων, η οποία ονομάζεται <<ηλεκτρικός άνεμος>>, είναι το αποτέλεσμα μαζικής μεταφοράς αρνητικά φορτισμένων ιόντων αερίου από τα αρνητικώς φορτισμένα σύρματα προς τις θετικές φορτισμένες (γειωμένες) πλάκες συλλογής.

Τα Η/Φ λειτουργούν όπως αναφέρθηκε στα 40.000 έως 50.000 V χαμηλότερα από το δυναμικό της Γης. Αυτό το δυναμικό είναι αρκετό για να δώσουν τα σύρματα δισεκατομμύρια ηλεκτρόνια που βομβαρδίζουν τα μόρια του αερίου σε μικρή ακτίνα γύρω από αυτά. Η δύναμη αυτού του βομβαρδισμού σχηματίζει θετικά και αρνητικά ιόντα αερίου των οποίων η παρουσία πιστοποιείται από ένα ορατό μπλε στεφάνι.

Τα ιόντα, υπό την επενέργεια της μεγάλης ηλεκτροστατικής δύναμης του ηλεκτρικού πεδίου, κινούνται προς τα αντίθετα φορτισμένα ηλεκτρόδια. Τα θετικά ιόντα του αερίου επιστρέφουν στα αρνητικά σύρματα και ξανακερδίζουν τα χαμένα τους ηλεκτρόνια. Τα αρνητικά ιόντα του αερίου κινούμενα προς τα γειωμένα (συγκριτικά θετικά) ηλεκτρόδια συλλογής, <<πλημμυρίζουν>> το διερχόμενο αέριο με δισεκατομμύρια αρνητικά ιόντα αερίου. Η μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος μέσα σε μια συσκευή Η/Φ είναι η ροή των αρνητικών ιόντων του αερίου από τα σύρματα προς τις πλάκες.

Τα σωματίδια ύλης σχηματίζουν μία προοδευτικά αυξανόμενη κρούστα πάνω από τα ηλεκτρόδια συλλογής και το αρνητικό φορτίο διαρρέει από την κρούστα προς τα γειωμένα ηλεκτρόδια συλλογής. Καθώς η κρούστα μεγαλώνει τα ηλεκτρικά φορτία που μεταφέρει το νέο στρώμα της προσκολλούμενης σωματιδιακής ύλης πρέπει να διαπεράσει το πάχος της κρούστας που έχει δημιουργηθεί. Η ηλεκτρική αντίσταση της κρούστας στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος εξαρτάται από το υλικό αυτό καθεαυτό της σωματιδιακής ύλης και ονομάζεται <<ειδική αντίσταση σκόνης>>. Τα Η/Φ λειτουργούν επιτυχώς σε σκόνες των οποίων η ειδική αντίσταση κυμαίνεται από 107 έως 1011 Ω/cm.

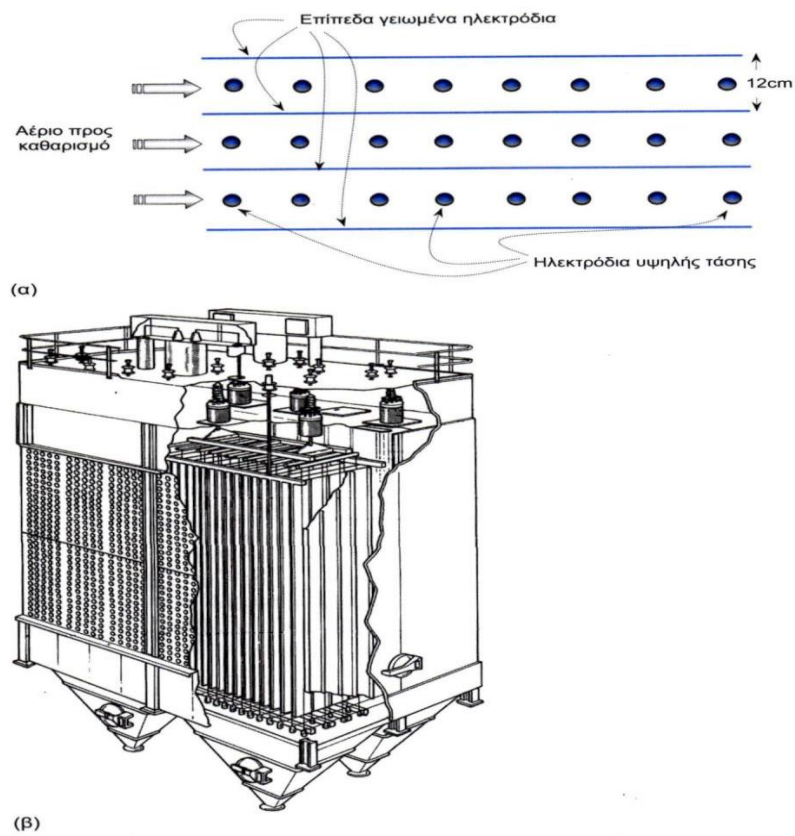
Εφόσον προσκολληθεί η σωματιδιακή ύλη και δημιουργήσει μια κρούστα (πλάκα) πάχους περίπου 0,2 - 0,6 cm, τα σωματίδια που είναι εγγύτερα στα ηλεκτρόδια συλλογής έχουν χάσει πολύ από το φορτίο τους προς τις γειωμένες πλάκες. Η ηλεκτρική έλξη έχει αποδυναμωθεί. Από την άλλη, τα σωματίδια που έχουν προσκολληθεί πρόσφατα στην εξωτερική επιφάνεια της κρούστας, συγκρατούν ακόμη μεγάλο ποσοστό από το φορτίο τους, είναι ηλεκτρικά μονωμένα από τα γειωμένα επίπεδα ηλεκτρόδια εξαιτίας της ύπαρξης των ενδιάμεσων αποφορτισμένων στρωμάτων της κρούστας και έτσι συγκρατούν ολόκληρη την κρούστα πάνω στο ηλεκτρόδιο συλλογής. Ένα δυνατό τίναγμα απογυμνώνει το ηλεκτρόδιο συλλογής από την κρούστα. Η δύναμη που εφαρμόζεται στο τίναγμα είναι ελεγχόμενη ώστε να θρυμματίσει την κρούστα σε σχετικά μεγάλα συσσωματώματα σωματιδίων και να μην δημιουργήσει εκ νέου πολύ μικρά σωματίδια.

Τα σχετικώς μεγάλα συσσωματώματα πέφτουν μέσα στις χοάνες υπό την επίδραση της βαρύτητας, ακριβώς όπως στο θάλαμο βαρυτικής καθίζησης. Τα περισσότερα Η/Φ λειτουργούν με ταχύτητες αερίων που κυμαίνονται από 1 έως 2 m/sec. Το υψηλό δυναμικό δεν διακόπτεται για να αποφευχθεί η διαφυγή σωματιδίων με το φίλτρο. [19]

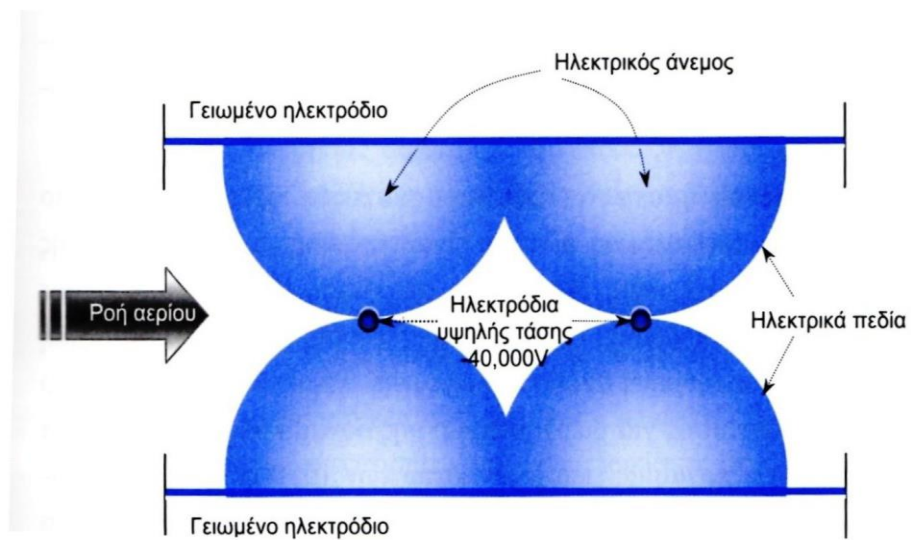
Ενότητα 4.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα Η/Φ

Το κύριο πλεονέκτημα του Η/Φ είναι η υψηλή απόδοση συλλογής (έως και 99%) ακόμα και για πολύ μικρά σωματίδια της τάξεως του 1mm καθώς επίσης η υψηλή αξιοπιστία τους και το χαμηλό κόστος λειτουργίας. Απαιτεί τη μικρότερη ενέργεια από τους συλλέκτες υψηλής απόδοσης.

Όσον αφορά τα μειονεκτήματα των ηλεκτροστατικών φίλτρων είναι, το δαπανηρό κόστος εγκατάστασης για διεργασίες μικρής δυναμικότητας (ειδικά για μεγέθη διεργασιών επεξεργασίας εκπομπών κάτω των 1500 m³/min), η απρόβλεπτη απόδοση συλλογής σε υψηλές ειδικές αντιστάσεις ύλης και τέλος η μείωση της απόδοσης συλλογής σε ροές αερίων πάνω από την προσχεδιασμένη. Εξαιτίας του υψηλού κόστους δεν χρησιμοποιούνται συχνά και γίνεται μόνο σε περιπτώσεις που η εκπομπή σωματιδίων είναι πολύ μεγάλη και οι παραπάνω διατάξεις δεν επαρκούν για το διαχωρισμό τους από τον αέρα.[19]



Σχήμα 18. α) Κάθετη διατομή ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου, β) Τρισδιάστατη εικόνα ενός μοντέρνου ηλεκτροστατικού φίλτρου (ESP)



Σχήμα 19. Ηλεκτροστατικό πεδίο υψηλής τάσης σε ένα ESP

ΕΝΟΤΗΤΑ 5 ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ

Ενότητα 5.1 Πλυντρίδες

Οι πλυντρίδες αποτελούν εναλλακτικό τρόπο ελέγχου της αέριας ρύπανσης. Χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση σωματιδίων και αέριων ρύπων από βιομηχανικά απαέρια. Μέσω μια υγρής φάσης (κυρίως νερό), κατορθώνουν να διαχωρίσουν τους βλαβερούς ρύπους από ένα αέριο ρεύμα. Εκτός από το μηχανισμό με το υγρό, η ταξινόμηση γίνεται τις μονάδες ενέργειας (χαμηλής, μέσης και υψηλής).

Η λειτουργία των πλυντηρίδων μιμείται τη λειτουργία της φύσης. Η βροχή ξεπλένει τα σωματίδια στην ατμόσφαιρα και την καθαρίζει. Ομοίως, ο ρυπασμένος αέρας εξέρχεται καθαρός έπειτα από την επαφή του με το υγρό της πλυντρίδας. Ειδικότερα όμως, οι πλυντρίδες είναι κύριες συσκευές απομάκρυνσης όξινων αερίων, όπως το διοξείδιο του θείου SO_2 και το υδροχλώριο HCL .

Οι ρύποι ‘καθαρίζονται’ κυρίως μέσω της πρόσκρουσης, διάχυσης και/ή απορρόφησής τους από τα σταγονίδια που εκχύνονται. Η αποδοτικότητα των πλυντηρίδων εξαρτάται, όχι μόνο από τον τύπο της πλυντρίδας, αλλά και από το μέγεθος των σωματιδίων. Όσο μειώνεται το μέγεθος των σωματιδίων, μειώνεται και η απόδοση. Με βάση τον τύπο, πλυντρίδες τύπου venturi είναι αποτελεσματικές κατά 99%, ενώ η απλούστερη μορφή είναι κατά 40-60% (ίσως και λιγότερο). [20]

Πλυντρίδες είναι ιδιαίτερα χρήσιμες στον εξαγνισμό μολυσμένων αερίων με τα εξής χαρακτηριστικά:

1. Έχουν κολλώδη μορφή και/ή περιέχουν υλικά που απορροφώνται εύκολα στο νερό.
2. Εκρηκτικά, διαβρωτικά και καυστικά υλικά.
3. Κομμάτια που δεν διαχωρίζονται εύκολα στην κανονική μορφή τους.
4. Σωματίδια σε απαέρια με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία.

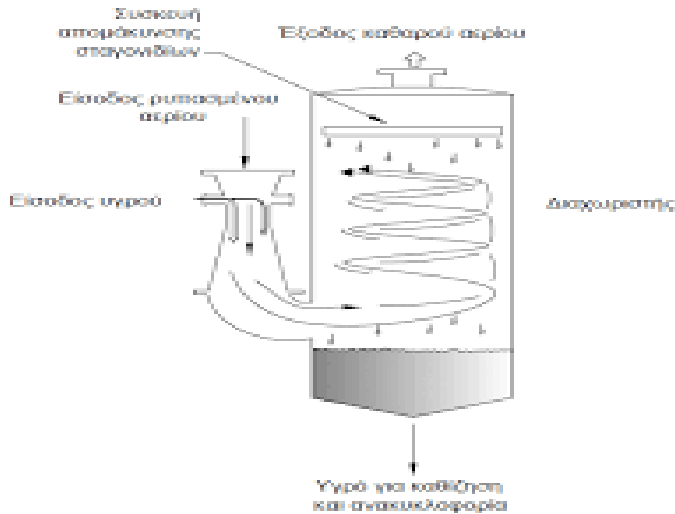


Σχήμα 20. Πλυντρίδα ή υγρό σύστημα συλλογής αποβλήτων

Συνήθως οι πλυντρίδες χρησιμοποιούνται από μονάδες παραγωγής ενέργειας, χαρτοποιίες και χαλυβουργία/μεταλλουργεία. Εντοπίζονται όμως και σε βιομηχανίες καλλυντικών και τροφίμων, όπως και σε αποτεφρωτές. Τέλος, εμφανίζονται χρήσιμες σε βιομηχανικούς λέβητες, στην παραγωγή χημικών προϊόντων, στην παραγωγή ασφάλτου, αλλά και στην παραγωγή λιπασμάτων. [20]

Ενότητα 5.2 Αρχές λειτουργίας υγρής πλυντρίδας

Το επισφαλές αέριο ρεύμα εισέρχεται από το κάτω μέρος στο χώρο συλλογής με κατεύθυνση προς τα πάνω. Έπειτα εισέρχεται το υγρό, με τη μορφή σταγονιδίων μικρής διαμέτρου. Το υγρό, συνήθως νερό, διοχετεύεται ομοιόμορφα στη συσκευή συλλογής και καταιονίζεται εσωτερικά ώστε να συμπαρασύρει τα σωματίδια στη βάση της πλυντρίδας. Εν τέλει, από τη βάση, με κάποιο μεταφορικό μηχανισμό, τα εναπομείναντα ρυπογόνα σωματίδια μεταφέρονται σε ένα δοχείο και το αέριο εξέρχεται καθαρό.[20]



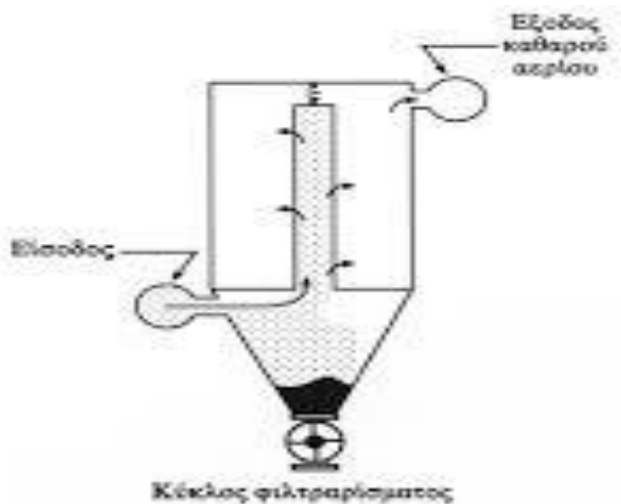
Σχήμα 21. Επεξηγηματική πλυντρίδα

Το νερό μετά την επεξεργασία, αποθηκεύεται στον πυθμένα της πλυντρίδας και ύστερα επανέρχεται στην διαδικασία. Αναμενόμενη είναι η ανάγκη για ανακύκλωση του νερού. Μικρό μέρος του νερού χρησιμοποιείται για την αποτροπή δημιουργίας αλάτων και άλλων συσσωματωμάτων στα συστήματα, αλλά και για να αναπληρώσει το χαμένο ποσοστό που δημιουργείται από τις εξατμίσεις.

Για παράδειγμα, ενώ το επίπεδο κορεσμού του άλατος του χλωριούχου νατρίου είναι 400g/l, εμπειρικές μελέτες δείχνουν ότι η λειτουργία σε μεγαλύτερα επίπεδα ολικών διαλυμένων στερεών TDS (total dissolved solids) είναι πιθανό να γίνει η αιτία υπερβολικής παραγωγής συσσωματωμάτων ιδιαίτερα σε υψηλές θερμοκρασίες και στην ξήρανση ψεκασμού.

Πιο συγκεκριμένα, ενώ υπάρχει μεγάλη γκάμα σχεδιασμών πλυντρίδων και συστημάτων πλυντρίδων, ο κύριος στόχος κάθε μιας είναι επίτευξη της καλύτερης επαφής μεταξύ του υγρού και του μολυσμένου αερίου ρεύματος. Η επαφή αυτή, κατορθώνεται με ποικίλους τρόπους όπως με ψεκασμό υγρού, με τη διέλευση του αερίου μέσα από μια υγρή φάση είτε με πρόσκρουσή του σε μια υγρή επιφάνεια.

Ενότητα 5.3 Αρχές λειτουργίας ξηρής πλυντρίδας



Σχήμα 22. Τύπος ξηρής πλυντρίδας

Οι πλυντρίδες ξηρού καθαρισμού είναι η δεύτερη κύρια επιλογή για έλεγχο εκπομπών από τους αποτεφρωτήρες ιατρικών αποβλήτων. Σε αυτό τον μηχανισμό, το αλκαλικό αντιδραστήριο το οποίο χρησιμοποιείται για την απορρόφηση όξινων αερίων είναι στερεό. Συνήθως χρησιμοποιείται ξηρός ασβέστης αλλά περιστασιακά εναλλάσσεται και με δισανθρακικό νάτριο που έχει πιο βελτιωμένη λειτουργία στην δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα (SO_2). Ο ασβέστης εισάγεται στο ρεύμα των απαερίων όπου η θερμοκρασία κυμαίνεται από 140 έως 200°C και το επίπεδο υγρασίας είναι σταθερό. Το μείγμα που δημιουργείται διαπερνάται σε σακόφιλτρα, όπου ο ασβέστης κατακάθεται στις επιφάνειες των σάκων και έτσι το ρεύμα φιλτράρεται περνώντας διαμέσου αυτών. Οι σάκοι καθαρίζονται σε τακτικά χρονικά διαστήματα.[20]

Οι ξηρές πλυντρίδες απομακρύνουν διαφορετικούς ρύπους με διάφορους μηχανισμούς. Αρχικά τα όξινα αέρια απομακρύνονται κάνοντας χρήση ξηρού ασβέστη. Το υδροχλώριο αντιδρά και σχηματίζεται χλωριούχο ασβέστιο και το διοξείδιο του θείου σχηματίζει άλας θειικού ασβεστίου. Με τον ίδιο τρόπο το υδροφθόριο αντιδρά και σχηματίζεται ένας αδιάλυτος τύπος φθοριούχου ασβεστίου. Αντιθέτως, τα μέταλλα συμπυκνώνονται στα καπναέρια και απομακρύνονται είτε με φιλτράρισμα, ή επιφανειακή απορρόφηση στην υψηλή ειδική επιφάνεια του ασβέστη. Οι διοξίνες, τα φουράνια και τα βαριά οργανικά υπολείμματα εξαλείφονται με επιφανειακή απορρόφηση πάνω στον ασβέστη και στην ανθρακική ιπτάμενη τέφρα. Διαμέσου αυτού του συνδυασμού των μηχανισμών ολόκληρο το φάσμα των ρύπων απομακρύνεται από την αέρια φάση και συγκεντρώνεται στην εκκένωση του εξαντλημένου ασβέστη από τα σακκόφιλτρα.

Ενότητα 5.4 Τύποι Πλυντρίδων

Κάθε τύπος βιομηχανίας χρειάζεται διαφορετικό τύπο πλυντρίδας. Αυτό γίνεται κατανοητό διότι κάθε εργοστάσιο έχει άλλες ανάγκες σε ποσότητα απαερίων που χρειάζεται να καθαριστούν. Οι πλυντρίδες μπορούν να διαχωριστούν με βάση είτε το μηχανισμό επαφής είτε σε σχέση με την πώση πίεσης.

Ανάλογα την πτώση πίεσης οι πλυντρίδες κατατάσσονται στις εξής τέσσερις κατηγορίες:

- I. Χαμηλής ενέργειας ($\Delta P=2-5 \text{ cm H}_2\text{O}$) π.χ. θάλαμοι ψεκασμού
- II. Χαμηλής-Μέσης ενέργειας ($\Delta P=5-15 \text{ cm H}_2\text{O}$) π.χ. τύπου κυκλώνα
- III. Μέσης-Υψηλής ενέργειας ($\Delta P=15-50 \text{ cm H}_2\text{O}$) π.χ. με πληρωτικά υλικά
- IV. Υψηλής ενέργειας ($\Delta P>50 \text{ cm H}_2\text{O}$) π.χ. Venturi

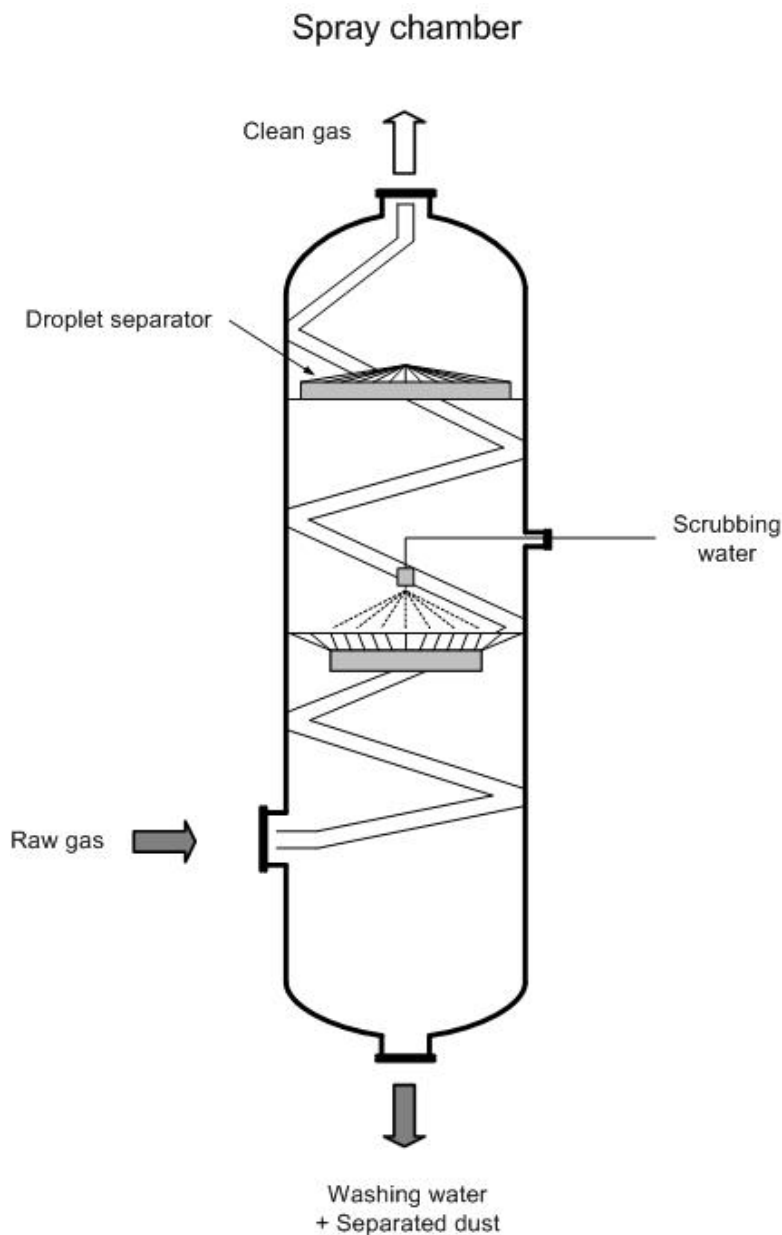
Ανάλογα με το μηχανισμό επαφής γίνεται ο εξής διαχωρισμός:

- I. Ακροφύσια ψεκασμού
- II. Επιφάνειες πρόσκρουσης
- III. Στενώσεις Venturi
- IV. Στόμια καταιονισμού
- V. Μηχανικοί στροφείς

Ενότητα 5.5 Πλυντρίδες με θάλαμο ψεκασμού

Πλυντρίδες με θάλαμο ψεκασμού χρησιμοποιούνται σε διάφορες βιομηχανικές διεργασίες όπως ο έλεγχος σκόνης χαρτιού και αιωρούμενα στερεά κατά τη δημιουργία υαλουφάσματος. Αποτελούν το απλούστερο τύπο πλυντρίδας. Τα ρυπασμένα αέρια εισέρχονται στο θάλαμο και έρχονται σε επαφή με το υγρό που παράγεται από τα ακροφύσια. Τα αέρια μπαίνουν στην πλυντρίδα από το κάτω μέρος και έχουν κατεύθυνση προς το πάνω. Τα ακροφύσια εκρίνουν σταγονίδια του υγρού προς την αντίθετη φορά. Εκείνα με τη σειρά τους αιχμαλωτίζουν τα κομμάτια που πρέπει να απομακρυνθούν από τα αέρια μέσω της διακοπής, της διάχυσης και της διάλυσης.

Τα σταγονίδια που είναι αρκετά μεγάλα παρασύρονται από την βαρύτητα στον πάτο της πλυντρίδας. Τα υπόλοιπα συλλέγονται από το αέριο σε ένα σημείο εξάλειψης έναντι των ακροφυσίων.



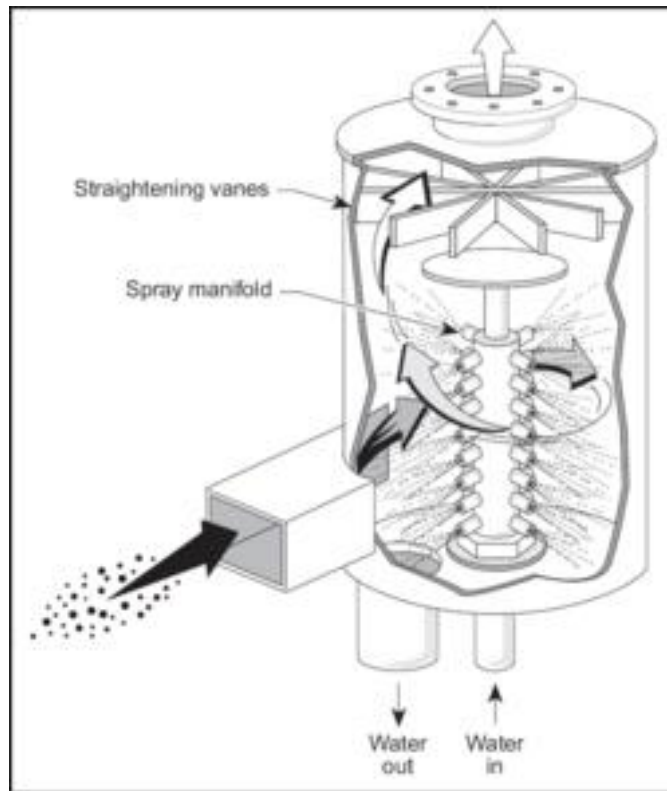
Σχήμα 23. Πλυντρίδα κατακόρυφου θαλάμου.

Όπως αναφέραμε, σε αυτό τον τύπο τα σταγονίδια παράγονται μέσω ακροφυσίων ψεκασμού (spray nozzles). Το μέγεθός τους, μετατρέπεται σε τέτοιο ώστε να εφάπτονται, όσο το δυνατόν καλύτερα τα σωματίδια με την υγρή φάση. Η πίεση των ακροφυσίων κυμαίνεται σε 2,5-3,5 bar. Έχουν χαμηλή κατανάλωση ισχύος, δηλαδή 1,5-6 hp ανά 100m³/min αέρα και ο βαθμός απόδοσής του ξεπερνάει το 90% για σωματίδια μεγαλύτερα από 8μm. Η απαίτησή του σε νερό είναι 1,3-2,7 kg νερού ανά m³ αερίου και η πτώση της πίεσης είναι 0,25-1,0 kPa. Τέλος, η διάταξη έχει τη μορφή της αντίθετης και της διασταυρούμενης ροής, ενώ ορισμένες φορές, γίνεται και χρήση διαφραγμάτων.

Υπάρχουν πλυντρίδες με οριζόντιο θάλαμο ψεκασμού, με κατακόρυφο αλλά και με θάλαμο ψεκασμού με κυκλώνα. Το τελευταίο αποτελεί μια παραλλαγή που έχει ως στόχο τη βελτίωση της απόδοσης.

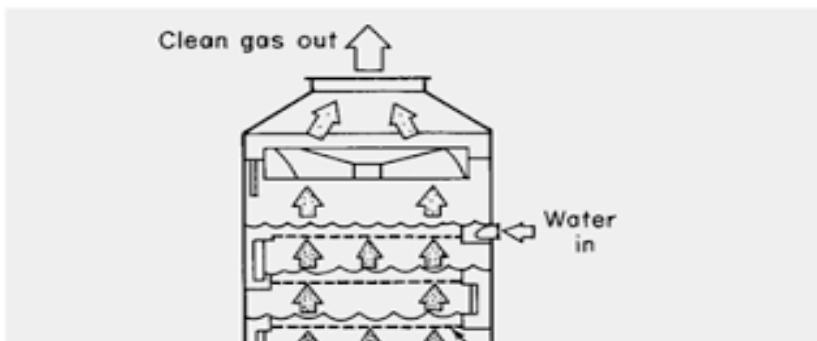
Στους θαλάμους ψεκασμού με κυκλώνα (spray cyclone chambers) η ροή του μολυσμένου αέριου ρεύματος γίνεται με φυγοκεντρική δύναμη (εφαπτομενικά), ώστε να διαχωρίζονται καλύτερα τα σταγονίδια. Το αέριο ρέει εντός του μηχανισμού με τη μορφή κυκλώνα. Η είσοδος του αερίου προσαρμόζεται έτσι ώστε η ταχύτητά του να αυξάνεται καθώς εισέρχεται. Το υγρό εξέρχεται μέσω ενός κεντρικού σωλήνα (βλ. εικόνα 5.5) είτε από το επάνω μέρος όπως στην απλή μορφή που εξετάσαμε προηγουμένως. Τα σταγονίδια προσκρούουν στα τοιχώματα και πέφτουν στη βάση της πλυντρίδας. Διαφορετικά, μένουν στο αέριο και εξαλείφονται λίγο πριν την έξοδο του από ένα μηχανισμό.

Οι βαθμοί απόδοσης βρίσκονται περίπου στο 95% για σωματίδια μεγαλύτερα των 5μm και οι ταχύτητες εισόδου ανάμεσα στα 50-80 m/s (150-250 ft/s). Η απαίτηση σε νερό είναι 0,3-1,3 kg νερού ανα m³ αερίου, ενώ η πτώση πίεσης 1,5-10 inH₂O (0,4-2,5 kPa).



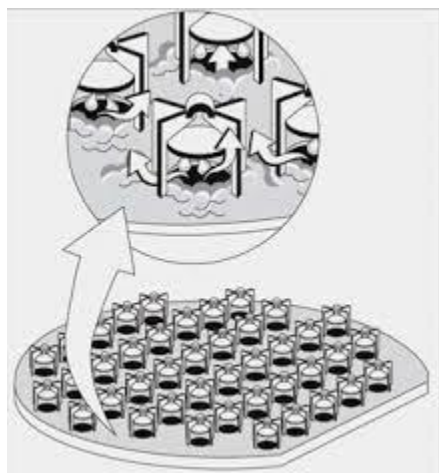
Σχήμα 24. Πλυντρίδα θαλάμου ψεκασμού με κυκλώνα

Οι πλυντρίδες πρόσκρουσης σε υγρό (impingement scrubbers) λειτουργούν με βάση τον παρακάτω τρόπο: τα σωματίδια ή το μίγμα σωματιδίων προσκρούει σε μια στερεή ή υγρή επιφάνεια. Υπάρχουν ποικίλοι σχεδιασμοί, με χαμηλή απαίτηση σε νερό (0,4-0,7 kg νερού ανά m³ αερίου) και πτώση πίεσης 0,5-1,5 kPa ανά στάδιο. Κατά προσέγγιση, ο βαθμός απόδοσης είναι 97% για σωματίδια μεγαλύτερα από 5μm.[20]

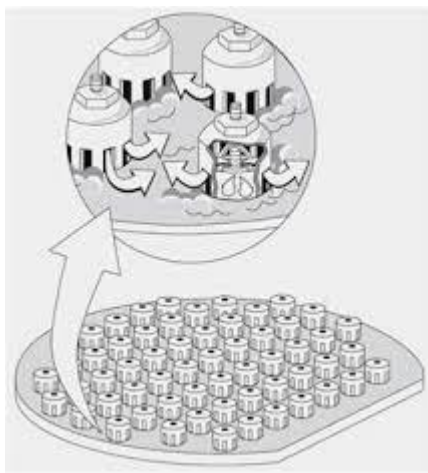


Σχήμα 25. Πλυντρίδες πρόσκρουσης σε υγρό

Στις δυο επόμενες εικόνες (Σχήμα 26 και Σχήμα 27) παρουσιάζονται τύποι πλυντρίδων πρόσκρουσης σε υγρό με διατρητές πλάκες δύο διαφορετικών ειδών.



Σχήμα 26



Σχήμα 27

Οι πλυντρίδες τέτοιου τύπου είναι κάθετες και περιέχουν αρκετές διατρητές ‘‘πλάκες’’, από τις οποίες διέρχεται το απαέριο και εκτοξεύεται το υγρό. Το υγρό ανακατεύεται με το αέριο και έχει καλύτερη επαφή σε σχέση με τους παραπάνω τύπους.

Οι πλάκες καθαρίζονται τακτικά, διότι διακρατούν τα εναπομείναντα κομμάτια από το αέριο. Η δομή τους είναι τέτοια, ώστε να επιτρέπει τον εύκολο καθαρισμό τους και συντήρησή τους. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε βιομηχανίες κλιβάνων ασβέστη και υπολειμμάτων ζαχαροκάλαμων.

Ενότητα 5.7 Πλυντρίδες με πληρωτικά υλικά

Άλλος ένας τρόπος μορφολογίας των πλυντρίδων είναι με πληρωτικά υλικά. Σε αυτόν τον τύπο εσωκλείεται ένα στρώμα από πληρωτικά υλικά. Το πληρωτικό υλικό παρέχει μια μεγάλη διαβρεχόμενη επιφάνεια για να συμβεί η επαφή υγρού και αερίου. Το υγρό έκπλυσης τοποθετείται στην κορυφή του πύργου και πέφτει προς τα κάτω. Έτσι διαβρέχει το στρώμα με το πληρωτικό υλικό, δημιουργώντας μια λεπτή στρώση. Τα υλικά αυτά βρίσκονται σε διάφορες μορφές, με διαφορετικά χαρακτηριστικά ανάλογα με την πτώση πίεσης, το βάρος, το κόστος κτλ. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την απομάκρυνση αερίων και όχι σωματιδίων.[20]

Πλυντρίδες με πληρωτικά υλικά μπορούν να κατασκευαστούν από ειδικά μέταλλα, fiberglass reinforced plastic ή θερμοπλαστικά. Η απαίτηση σε νερό είναι 0,1-0,5kg ανά m^3 νερό και πτώση πίεσης 0,25-2,0kPa. Ο βαθμός απόδοσής τους είναι 97% για σωματίδια από 1 μm .



Σχήμα 28. Πλυντρίδα με πληρωτικό υλικό

Ενότητα 5.8 Πλυντρίδες VENTURI

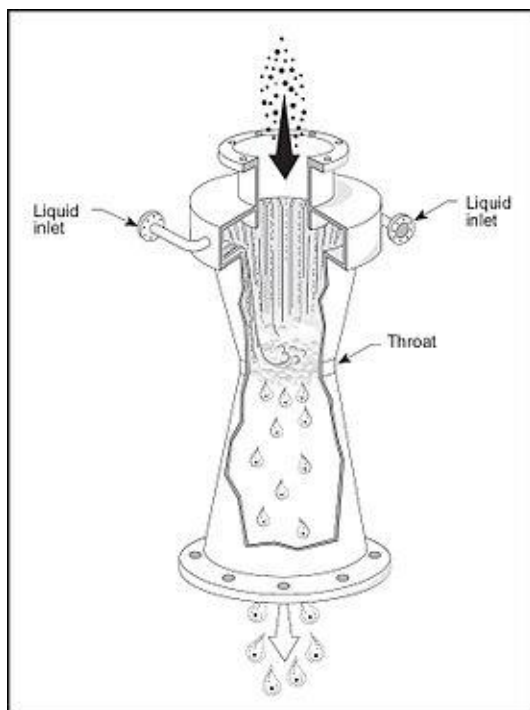
Μια ακόμα επιπλέον κατηγορία πλυντρίδων, ανάλογα με το μηχανισμό επαφής των σωματιδίων με το υγρό, είναι οι πλυντρίδες τύπου venturi. Στην περίπτωση αυτή, βελτιστοποιείται η ταχύτητα μεταξύ του υγρού και των σωματιδίων, η οποία αποτελεί σημαντική παράμετρο για την απόδοση συλλογής.

Αρχικά, οι μηχανές venturi χρησιμοποιούνται για πάνω από 100 χρόνια για τη μέτρηση της ροής ρευστών και πήραν το όνομά τους από τον ιταλό φυσικό Giovanni Battista Venturi. Πριν από 35 περίπου χρόνια, ερευνητές ανακάλυψαν ότι οι μηχανές αυτές μπορούν επίσης να αφαιρούν τα σωματίδια από ρεύματα αερίου. Οι πλυντρίδες venturi απαρτίζονται από 3 τμήματα: ένα συγκλίνον τμήμα, ένα τμήμα λαιμού και ένα τμήμα εκτροπής.

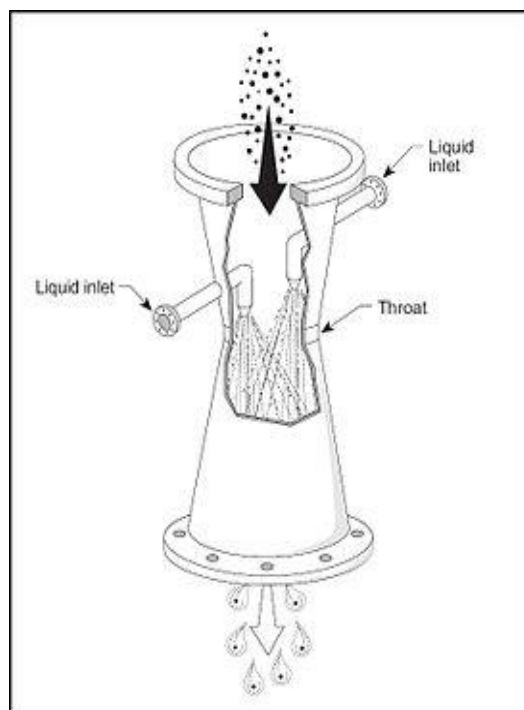
Το ρεύμα του αερίου εισέρχεται στο συγκλίνον τμήμα και όσο η περιοχή μειώνεται η ταχύτητά του αυξάνεται, σύμφωνα με την εξίσωση Bernoulli. Το υγρό εισάγεται είτε στο τμήμα του λαιμού, είτε από την αρχή στο συγκλίνον τμήμα. Το αέριο αναγκάζεται να κινηθεί σε εξαιρετικά μεγάλες ταχύτητες, παρασύροντας έτσι το υγρό από τα τοιχώματα, δημιουργώντας έναν πολύ υψηλό αριθμό μικροσκοπικών σταγονιδίων. Σωματίδια και αέριο απομακρύνονται στο τμήμα εκτροπής, καθώς το εισερχόμενο αέριο αναμιγνύεται με μια ομίχλη από μικρές σταγόνες υγρού. Έστερα, το εισερχόμενο ρεύμα εξέρχεται από το τμήμα εκτροπής, όπου και αναγκάζεται να μειώσει ταχύτητα.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το υγρό εισάγεται στο συγκλίνον τμήμα ή στην περιοχή του λαιμού. Στην πρώτη περίπτωση, το υγρό επικαλύπτει το λαιμό της πλυντρίδας κάνοντάς την πιο αποτελεσματική στη διαχείριση ζεστών και ξηρών αερίων που περιέχουν σκόνη. Διαφορετικά, η σκόνη θα είχε την τάση να τρίβεται πάνω στον ξηρό λαιμό. Αυτές οι πλυντρίδες venturi αναφέρονται να έχουν μια υγρή προσέγγιση. [20]

Πλυντρίδες venturi που ανάγονται στη δεύτερη περίπτωση, χρησιμοποιούνται για κρύα και υγρά αέρια. Αυτό συμβαίνει επειδή, οι ξηροί λαιμοί είναι επιρρεπείς στη συσσώρευση στερεών στοιβάδων και στην τριβή με τα σωματίδια της σκόνης. Τέτοιου τύπου αναφέρονται ως έχοντας μη-υγρή προσέγγιση. Στις εικόνες μπορούμε να δούμε και τις δυο περιπτώσεις που αναλύσαμε.



Σχήμα 29. Υγρή προσέγγιση



Σχήμα 30. Μη-υγρή προσέγγιση

Οι κυλινδρικοί λαιμοί, σαν τις περιπτώσεις που εξετάσαμε, μπορούν να χειριστούν ροές της τάξης των 88.000 m³/h (σύμφωνα με Brady and Legatski 1977). Σε μεγαλύτερες ροές η ομοιόμορφη κατανομή του υγρού είναι δύσκολη. Για αυτό το λόγο γίνεται χρήση πρόσθετων φραγμάτων ή διαφραγμάτων. Επίσης, έχουν χρησιμοποιηθεί πλυντρίδες με μακρύ στενό και ορθογώνιο λαιμό ώστε να γίνει εφικτή η σωστή κατανομή του υγρού. Γενικότερα, οι κατασκευαστές έχουν πειραματιστεί με την μορφή του λαιμού για να καταλήξουν σε διάφορες πατέντες που είναι κατάλληλες για τις διάφορες ροές του υγρού και τις ποικίλες μορφές των αερίων

Είναι σημαντικό να προσθέσουμε ότι οι πλυντρίδες τύπου venturi απαιτούν την παρουσία διαχωριστήρα μεταφοράς, διότι η υψηλή ταχύτητα του αερίου έχει την τάση να συμπαρασύρει τα σωματίδια μαζί με το ρεύμα του καθαρού αερίου στην έξοδο.

Ενότητα 5.9 Μειονεκτήματα και Πλεονεκτήματα Πλυντρίδων

Όπως κάθε κατασκευή, έτσι και οι πλυντρίδες χαρακτηρίζονται από πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που αφορούν τον όγκο τους, την κατανάλωσή τους και άλλα. Κάθε τύπος πλυντρίδας έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά αλλά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν όλα μαζί.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι η μικρή τους απαίτηση σε χώρο. Οι αγωγοί και οι ανεμιστήρες των συσκευών είναι μικρότεροι και κοστίζουν λιγότερο. Οι πλυντρίδες μειώνουν την θερμοκρασία και τον όγκο των αερίων, συνεπώς χρειάζονται και μικρότερα εξαρτήματα. Επίσης δεν υπάρχουν περιορισμοί στη θερμοκρασία των αερίων. Επεξεργάζονται αέρια σε υψηλές θερμοκρασίες και υγρασία χωρίς να παρουσιάζονται προβλήματα συμπίκνωσης όπως στα σακκόφιλτρα. [20]

Εξίσου αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι δεν δημιουργούνται δευτερογενείς πηγές σκόνης. Αυτό σημαίνει πως όταν συλληφθούν τα σωματίδια στο υγρό δεν μπορούν να αποδράσουν και να μείνουν στη συσκευή. Έτσι ελαχιστοποιείται και ο κίνδυνος φωτιάς και εκρήξεων. Οι ξηρές σκόνες είναι αρκετά εύφλεκτες δημιουργώντας σοβαρά προβλήματα. Τέλος το πιο σημαντικό πλεονέκτημα των πλυντρίδων είναι η μεταβλητότητα που έχει ο βαθμός απόδοσής τους ανάλογα με τις ανάγκες κάθε περίπτωσης.

Σημαντικό πρόβλημα των πλυντρίδων είναι η τάση τους να διαβρώνονται εύκολα. Απαιτείται προσεκτική επιλογή υλικού διότι, τα αέρια μπορούν γίνουν άκρως διαβρωτικά. Αποφεύγονται συνήθως υγρές-ξηρές επιφάνειες επειδή είναι περισσότερο επιρρεπείς.

Ενώ λόγω απαίτησης χώρου έχουν μικρό λειτουργικό κόστος, η απαίτηση για υψηλή ισχύ το αυξάνει. Υψηλή απόδοση επιτυγχάνεται σε περιπτώσεις με πολλή χαμηλή πίεση που οδηγεί σε υψηλές δαπάνες. Επιπλέον μπορεί να υπάρξουν προβλήματα στη διάθεση του νερού. Για την επίλυση του χρειάζονται δεξαμενές καθίζησης και διαυγαστήρες λάσπης που προστίθενται στο λειτουργικό κόστος των πλυντρίδων.

Εκτός από ό,τι αναφέρθηκε προηγουμένως, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος. Η αφύγρανση και η ξήρανση της λάσπης από την πλυντρίδα κάνει την επανάχρηση της σκόνης ιδιαίτερα δαπανηρή και προβληματική.

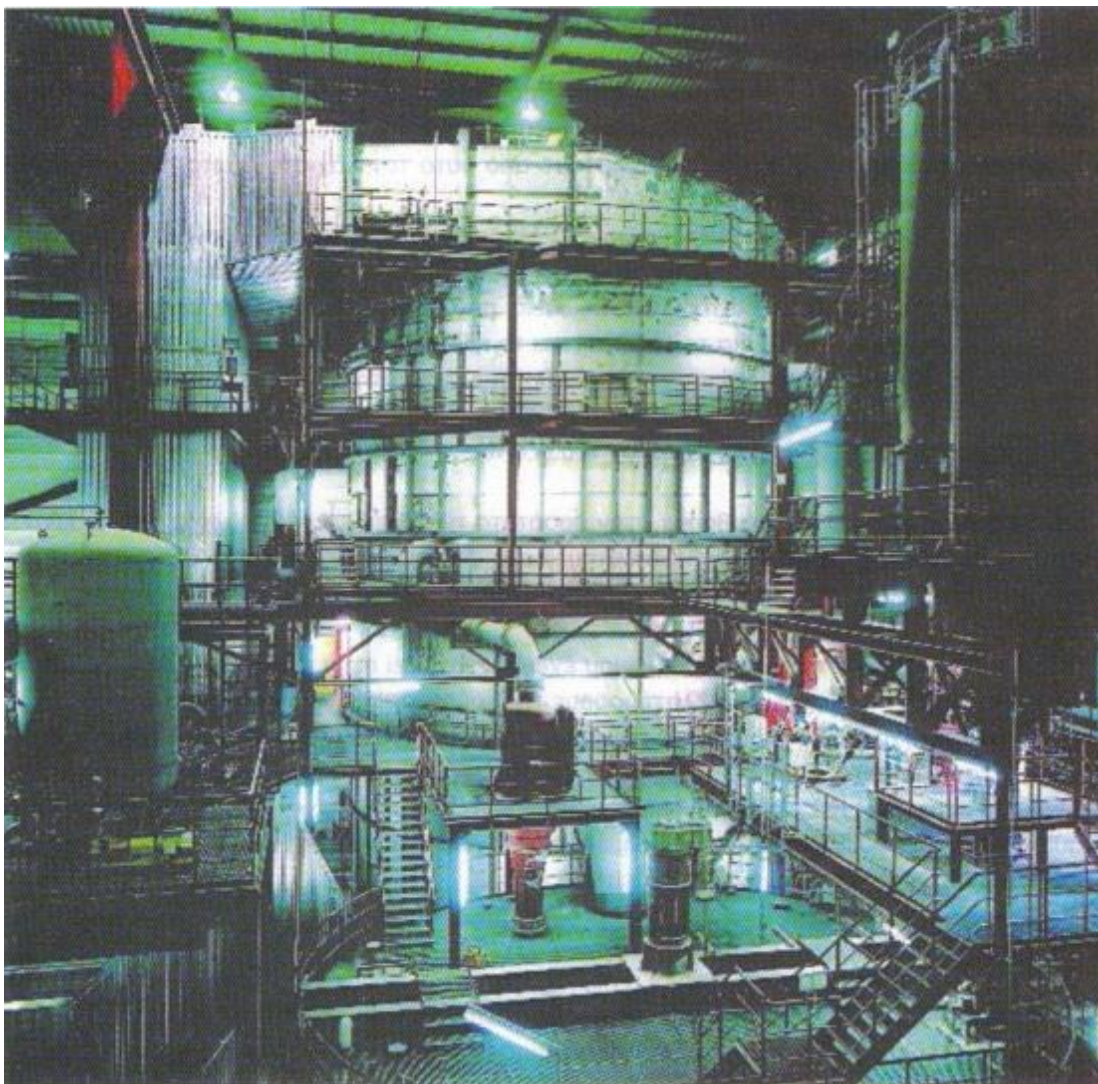
Τέλος, τα κορεσμένα σε νερό ααέρια από την καπνοδόχο μπορεί να δημιουργούν ένα υγρό ορατό προκαλώντας μετεωρολογικά προβλήματα. Δηλαδή δημιουργούνται μικροκλιματικά θέματα, κάτι που είναι ειρωνικό αν αναλογιστούμε πως η χρήση των πλυντρίδων γίνεται για να αποφευχθούν τέτοια προβλήματα.

Ενότητα 6 Βιομηχανικές μονάδες αποθείωσης

Το διοξείδιο του θείου είναι ένας από τους περισσότερους γνωστούς ρύπους, μια και βαρύνεται σε μεγάλο βαθμό για το φαινόμενο της όξινης βροχής και τις καταστροφές που έχουν προκληθεί από αυτό. Η παρουσία του διοξειδίου του θείου στα καυσαέρια σχετίζεται αποκλειστικά με το θείο (S) που υπάρχει μέσα στο πετρέλαιο και που, κατά την καύση, μετασχηματίζεται σε διοξείδιο του θείου. Το αέριο αυτό με την υγρασία του αέρα δημιουργεί θειικό οξύ (H_2SO_4) που "οξινίζει" τη βροχή.

Αποφασιστική λύση για τις εκπομπές του διοξειδίου του θείου θα ήταν η **αποθείωση του πετρελαίου**. Αυτό όμως είναι εξαιρετικά δαπανηρή διαδικασία, που θα ανέβαζε σημαντικά το τελικό κόστος των καυσίμων. Η σοβαρότητα όμως του προβλήματος του διοξειδίου του θείου έχει οδηγήσει σε κάποια μέτρα κατά το παρελθόν, όπως για παράδειγμα η απαγόρευση της χρήσης μαζούτ στις κεντρικές θερμάνσεις (το μαζούτ έχει ακόμη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε θείο από το Diesel), όπως και η χρήση καθαρότερων τύπων Diesel (μικρότερη περιεκτικότητα σε θείο). Σε μεγάλο βαθμό πια η ποιότητα του πετρελαίου καθορίζεται από την περιεκτικότητά του σε θείο. Όσο λιγότερο το θείο, τόσο καλύτερο το πετρέλαιο. Όμως και η αποθείωση των καυσαερίων είναι μία διαδικασία τεχνικά περίπλοκη και οικονομικά δαπανηρή.

Η βασική αρχή αποθείωσης των καυσαερίων είναι ο καταιονισμός του ρεύματος των καυσαερίων με νερό που περιέχει ανθρακικό ασβέστιο. Το ανθρακικό ασβέστιο δεσμεύει το διοξείδιο του θείου και παράγει γύψο, ο οποίος και συλλέγεται στη βάση της στήλης καταιονισμού. Η εγκατάσταση μοιάζει με την πλυντρίδα απομάκρυνσης των στερεών σωματιδίων, που είδαμε σε προηγούμενη παράγραφο. Η βασική διαφορά είναι ότι η δέσμευση του διοξειδίου του θείου γίνεται με τρόπο χημικό και όχι με απλό, φυσικό παρασυρμό από το καταιονιζόμενο νερό. Η αποθείωση λοιπόν των καυσαερίων έχει στη βάση της την εξής χημική εξίσωση $\text{CaCO}_3 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{CO}_2$ Εντούτοις, η τυπική εγκατάσταση αποθείωσης καυσαερίων είναι, όπως είπαμε, αρκετά περίπλοκη. Το επόμενο σχήμα παριστάνει μία πραγματική εγκατάσταση αποθείωσης καυσαερίων, όπου φαίνεται το μέγεθος που μπορεί να έχει μία τέτοια εγκατάσταση.



Σχήμα 31. Τυπική εγκατάσταση αποθείωσης καυσαερίων

Αξίζει να σημειώσουμε ότι άλλες ουσίες, όπως η αμμωνία (NH_3) και το υδρόθειο (H_2S), απομακρύνονται πολύ πιο εύκολα, αφού διαλύονται μέσα σε νερό σε απλές στήλες απορρόφησης. Το διοξείδιο του θείου δυστυχώς δεν είναι τόσο εύκολο στην απομάκρυνσή του από τα αερία της καύσης, αφού χρειάζονται πολύπλοκες και δαπανηρές εγκαταστάσεις, όπως αυτή του παραπάνω σχήματος!

Ενότητα 6.1 Έλεγχος Οξειδίων του Θείου (SO_x)

Αν εξαιρέσει κανείς τη μέθοδο της καύσης, ο διαχωρισμός των αιωρούμενων σωματιδίων και των VOC's από απαέρια γίνεται κύρια με φυσικές διεργασίες, οι οποίες δεν αλλάζουν τη σύσταση των συλλεγομένων ουσιών (σωματιδίων ή αερίων). Ο έλεγχος των οξειδίων του Θείου (SO_x) και οξειδίων του Αζώτου (NO_x) γίνεται κύρια χημικά. Κύρια πηγή παραγωγής SO_x είναι τα (θερμοηλεκτρικά) εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και η βιομηχανία γενικότερα ενώ κύρια πηγή παραγωγής NO_x είναι τα αυτοκίνητα. Βασικά όλα τα καύσιμα περιέχουν ένα ορισμένο ποσοστό θείου.

Για παράδειγμα το ξύλο περιέχει ένα ποσοστό 0.1%, το κάρβουνο 0.5-3%, το πετρέλαιο μια ενδιάμεση τιμή μεταξύ αυτού που περιέχεται στο ξύλο και το κάρβουνο.

Η βασική αντίδραση παραγωγής SO₂ είναι: $S + O_2 \rightarrow SO_2$

Ο τρόπος που δεσμεύεται το SO₂ και δεν ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα είναι η δημιουργία

CaSO₄ · 2H₂O (γύψος) :



Είναι σύνηθες να προσπαθούμε να μειώσουμε την περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο παρά να προσπαθούμε να δεσμεύσουμε το SO₂ μετά την καύση. Για παράδειγμα το θείο που περιέχεται στο φυσικό αέριο και το οποίο ευρίσκεται σε μορφή H₂S, μπορεί εύκολα να διαχωριστεί σε μια στήλη απορρόφησης. Το υγρό που χρησιμοποιείται στη στήλη απορρόφησης πρέπει να είναι ελαφρώς αλκαλικό, π.χ. θαλασσινό νερό.

[21]

Ενότητα 6.2 Αποθείωση καυσαερίων

Ένας σπουδαίος ρόλος της ασβέστου στην προστασία του περιβάλλοντος και πιο ειδικά στην ελάττωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, είναι η δυνατότητα αποθείωσης αεριοδών εκπομπών που προέρχονται από την καύση γαιανθράκων, αλλά και προϊόντων του πετρελαίου με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο. Η συμβολή της ασβέστου έγκειται στη δυνατότητα απομάκρυνσης των επιβλαβών για το περιβάλλον όξινων αερίων του SO₂, αλλά και δευτερευόντως του HCl από τα αέρια των καπναγωγών. Στα πρώτα στάδια εφαρμογής της μεθόδου χρησιμοποιήθηκε λειοτριβημένος ασβεστόλιθος.

Η άσβεστος είναι ωστόσο χημικά πιο ενεργή από τον ασβεστόλιθο και απαιτεί μικρότερο εξοπλισμό. Η αποτελεσματικότητα της απομάκρυνσης SO₂ χρησιμοποιώντας άσβεστο, κυμαίνεται μεταξύ 95 έως 99%, ενώ το ποσοστό απομάκρυνσης των ρύπων χρησιμοποιώντας ασβεστόλιθο είναι σημαντικά μικρότερο (Willis, 2002). Υπάρχουν δυο κύριες μέθοδοι για την αποθείωση των καπναερίων. Η άνυδρη και η ένυδρη. Η ένυδρη μέθοδος καθαρισμού είναι πιο διαδεδομένη. Το 79% περίπου των συστημάτων αποθείωσης καπναερίων σε όλο τον κόσμο, χρησιμοποιούν την ένυδρη μέθοδο καθαρισμού με άσβεστο. Το 18% των μονάδων λειτουργούν με τη άνυδρη (ξηρή) μέθοδο καθαρισμού, και το υπόλοιπο μικρό ποσοστό χρησιμοποιεί άλλες διαδικασίες απορρόφησης των αερίων.

Στην ένυδρη τεχνική η αποθείωση επιτυγχάνεται με την επαναλαμβανόμενη κυκλοφορία ενός υδαρούς διαλύματος ασβέστου ή ασβεστόλιθου ή και των δύο μαζί, σε ένα πύργο (δοχείο – σιλό) απορρόφησης, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη επαφή με τα καπναέρια. Τα προς καθαρισμό αέρια εισχωρούν στη βάση του πύργου και κινούνται ανοδικά διαμέσου των σταγονιδίων του υδαρούς διαλύματος που ψεκάζεται μέσα στον πύργο. Το SO₂ απορροφάται από το διάλυμα και στη συνέχεια κατακρημνίζεται ως υγρό CaSO₃, ενώ το καθαρισμένο αέριο εξέρχεται από την κορυφή του πύργου. Το άλας αυτό μπορεί να μετατραπεί σε γύψο (CaSO₄), η οποία μπορεί ως παραπροϊόν της διαδικασίας, να χρησιμοποιηθεί στη τσιμεντοβιομηχανία ή σε αγροτικές καλλιέργειες σαν βελτιωτικό του εδάφους. Στη τεχνική αυτή που χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στην αποθείωση καυσίμων υψηλής περιεκτικότητας σε θείο, η άσβεστος ενισχύεται σε ένα ποσοστό 3 έως 5% και από δολομιτική άσβεστο (MgO). Με τον τρόπο αυτό, αυξάνεται η αλκαλικότητα, άρα και η ικανότητα απομάκρυνσης του SO₂. Υπάρχει μια διαμάχη ως προς την επιλογή της χρήσης ασβεστόλιθου ή ασβέστου στην τεχνική του ένυδρου καθαρισμού των καπναερίων. Η χαμηλότερη αξία του ασβεστόλιθου έναντι της ασβέστου αποτελεί ένα κριτήριο. Ωστόσο, ο κυριότερος λόγος για τη χρησιμοποίηση ασβεστόλιθου ως μέσο καθαρισμού είναι άλλος. Στα συστήματα αυτά η εισαγωγή αέρα στο διάλυμα μπορεί να οδηγήσει σε οξείδωση σε ποσοστό μέχρι και 100% του CaSO₃ σε CaSO₄. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται σε μεγάλο ποσοστό η δημιουργία επικαθήσεων αλάτων στα συστήματα καθαρισμού και ταυτόχρονα παράγεται ένα ομοιογενές διάλυμα που

αφυδατώνεται πιο εύκολα (Nolan, 2000). Η μέθοδος αυτή ονομάζεται LSFO (Limestone Forced Oxidation). Αναγκαστική αφυδάτωση ασβεστόλιθου.

Από την άλλη πλευρά όμως η χρήση της ασβέστου παρουσιάζει μεγαλύτερα πλεονεκτήματα. Τα συστήματα αυτά, ειδικά με τη χρήση και ποσοστού δολομιτικής ασβέστου, (Magnesium Enhanced Lime Systems), επιτυγχάνουν αποθείωση των καπναερίων σε ποσοστό μέχρι και 98%, ακόμα και σε γαιάνθρακες που περιέχουν 3 έως 4% θείο. Με τη χρήση ασβεστόλιθου το ποσοστό αποθείωσης δε ξεπερνά το 95%. Επίσης, τόσο το μέγεθος του εξοπλισμού, όσο και της ποσότητας του προστιθέμενου διαλύματος, είναι στην περίπτωση της ασβέστου πολύ μικρότερο. Τυπικά, αναφέρεται πως για ένα κυβικό μέτρο αερίου καταναλώνεται ποσότητα 3 με 5 λίτρων διαλύματος ασβέστου και 15 λίτρων διαλύματος με ασβεστόλιθο αντίστοιχα. Η σύγκριση είναι προφανής και αντισταθμίζει σε μεγάλο ποσοστό τη διαφορά τιμής μεταξύ των δυο προϊόντων.

Επίσης, η κατανάλωση ενέργειας είναι πολύ μικρότερη στην περίπτωση της ασβέστου, αφού τα συστήματα ασβέστου καταναλώνουν ποσοστό 0,8–1,3% από την παραγόμενη ενέργεια των ηλεκτρικών σταθμών, ενώ η χρήση ασβεστόλιθου απαιτεί κατανάλωση που φτάνει και 2,5%. Ακόμη και η γύψος που παράγεται από τις μονάδες που χρησιμοποιούν άσβεστο, είναι πιο καθαρή (σε ποσοστό 97 – 99%) από εκείνη που προκύπτει από τη χρήση ασβεστόλιθου. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό, πως τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι πιο πολλά, αφού εξασφαλίζει μεγαλύτερη απόδοση άρα και πιο καθαρή ατμόσφαιρα σε περιοχές που είναι ήδη βεβαρημένες.

Σύμφωνα με τους Boynton, Harben, Bourne, Kokal and Ranade, & Oates, κύριες προϋποθέσεις για την χρήση ανθρακικών πετρωμάτων για την αποθείωση καυσαερίων είναι Λευκότητα >80%, αδιάλυτο υπόλειμμα <1 [22]



Αποθείωση & κλασματική απόσταξη πετρελαίου

Αποθείωση είναι η επεξεργασία με σκοπό την απομάκρυνση ενώσεων του θείου που αποτελούν ρύπους της ατμόσφαιρας (SO_x : SO_2 , SO_3)

Η **κλασματική απόσταξη** είναι μέθοδος διαχωρισμού των συστατικών του πετρελαίου σε ομάδες υδρογονθράκων (**κλάσματα**) με κριτήριο το σημείο βρασμού τους.

Ενότητα 6.3 Παραπροϊόντα καύσεως-γύψος αποθείωσης καυσαερίων

Στις εγκαταστάσεις αποθείωσης καυσαερίων αφαιρείται το θείο από τα καυσαέρια που παράγονται κατά την καύση θειούχων ορυκτών καυσίμων σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, ώστε οι εν λόγω αέριοι ρύποι να μη συντελούν στην ατμοσφαιρική ρύπανση και την όξινη βροχή. Ο γύψος που προκύπτει μετά την αποθείωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τους ίδιους σκοπούς όπως και ο φυσικός γύψος, κυρίως δε στην παραγωγή γυψοσανίδων. Η διεργασία τροποποιείται και ρυθμίζεται ώστε να παράγεται γύψος με τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά. Επιπλέον, η χρήση του υλικού είναι εξασφαλισμένη χωρίς άλλη επεξεργασία πριν από την επαναχρησιμοποίηση και ως αναπόσπαστο μέρος της παραγωγικής διεργασίας. Υπάρχουν κι άλλα προϊόντα καύσης άνθρακα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω με λίγη ή καθόλου μεταποίηση. Υπάρχουν όμως άλλα τα οποία κατά κανόνα καταλήγουν στους χώρους ταφής απορριμμάτων, όπως π.χ. η πτητική τέφρα λιγνίτη. Το γεγονός λοιπόν ότι δεν υπάρχει βέβαιη χρήση τους σε επίπεδο ΕΕ, σημαίνει ότι δεν πληρούν σε όλη την ΕΕ τα κριτήρια που έχουν καθοριστεί από το Δικαστήριο· αυτό με τη σειρά του συνεπάγεται ότι σε πολλές περιπτώσεις τα προϊόντα καύσης άνθρακα συνιστούν απόβλητα, ανεξαρτήτως αν σε ορισμένες τοπικές συνθήκες ενδέχεται να έχουν κάποια εφαρμογή, συνεπώς και εξασφαλισμένη χρήση.

Ενότητα 7 Γενικά Συμπεράσματα

Όπως αναφερθήκαμε και στην αρχή, στην εργασία αυτή εξετάστηκαν στοιχεία που αφορούν τις τεχνολογίες αντιρρύπανσης. Παρουσιάστηκαν αρκετά σημεία σχετικά με τους τομείς που εξετάσαμε. Έτσι μέσα από την εργασία, ο αναγνώστης έμαθε ότι προκειμένου να πετύχουμε την μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων, ένα ευρύ φάσμα μέτρων έχει εφαρμοστεί. Αν οι βιομηχανίες δεν συμμορφώνονται στα πρότυπα τότε οι επιπτώσεις θα είναι φανερές και στον άνθρωπο και στο περιβάλλον.

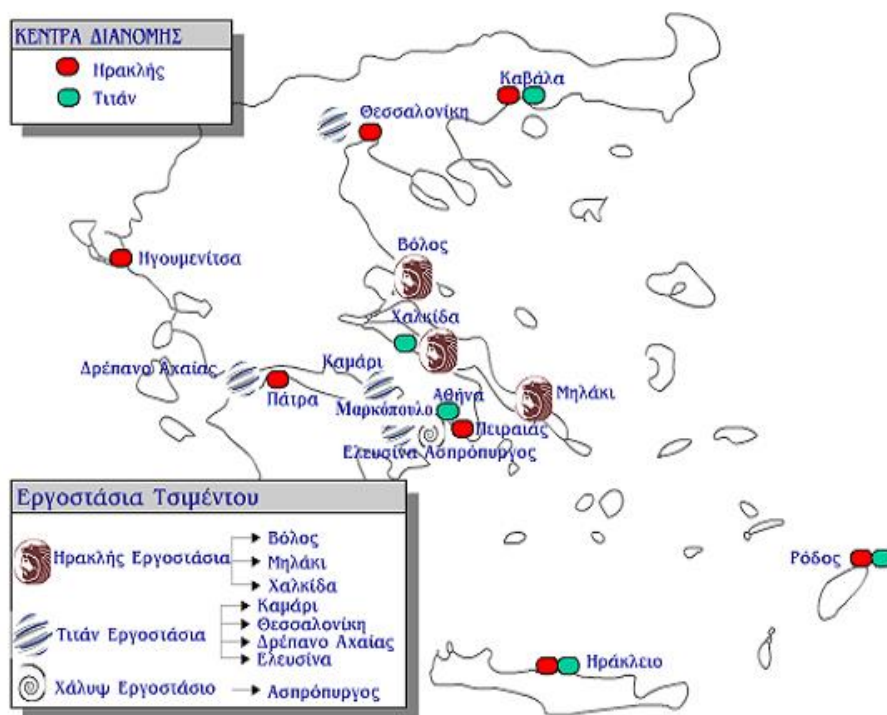
Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφέρουμε ότι σύμφωνα με την ετήσια έκθεση της της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος, η ρύπανση της ατμόσφαιρας εξακολουθεί να προκαλεί περισσότερους από 500.000 πρόωρους θανάτους στην ευρωπαϊκή ήπειρο, παρά την μικρή βελτίωση του αέρα. Παρόλα αυτά πρέπει όλοι μαζί να φροντίσουμε ώστε να μειώσουμε την ατμοσφαιρική ρύπανση και την εκπομπή αέριων ρύπων θερμοκηπίου όπως το διοξείδιο του άνθρακα. Η μείωση της χρήσης των αυτοκινήτων και η αντ' αυτού χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς για τις μετακινήσεις μας και επιβαρύνει λιγότερο το περιβάλλον αλλά και είναι οικονομικά συμφέρουσα. Τέλος, καλό θα ήταν να χρησιμοποιούμε και εναλλακτικές μορφές ενέργειας και ιδιαίτερα να κάνουμε χρήση του φυσικού αερίου η οποία έχει αποδεδειγμένα αποτελέσματα στην μείωση των εκπομπών ρύπων.

Όπως φαίνεται και από τα παραπάνω, είναι αναγκαία η χρήση αντιρρυπαντικής τεχνολογίας στη βιομηχανία όπως για παράδειγμα στην τσιμεντοβιομηχανία, την βιομηχανία πετρελαιοειδών, την βιομηχανία σιδήρου και μεταλλουργίας κλπ. Αναφορικά με την τσιμεντοβιομηχανία, σημαντικές δαπάνες προκύπτουν από το υψηλό κόστος ενέργειας (θερμικής και ηλεκτρικής) και τα – αναπόφευκτα λόγω των διεργασιών ορυκτολογικού μετασχηματισμού- υψηλά επίπεδα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Η τσιμεντοβιομηχανία έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί υλικά στο τέλος του κύκλου ζωής τους ως εναλλακτικά (δευτερογενή) καύσιμα ή πρώτες ύλες για να ενισχύσει την ανταγωνιστικότητά της και ταυτόχρονα να συνεισφέρει σε λύσεις των προβλημάτων της κοινωνίας που αφορούν στη διαχείριση των αποβλήτων της με το μικρότερο κόστος και με τέτοιο τρόπο που να τα αξιοποιεί και να ωφελεί το περιβάλλον.[23]

Η χρήση εναλλακτικών καυσίμων στην **τσιμεντοβιομηχανία** προσφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη όπως: μείωση της χρησιμοποίησης μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως τα ορυκτά καύσιμα καθώς και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με την εξόρυξη αυτών, συνεισφορά στη μείωση εκπομπών όπως των} αέριων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αντικαθιστώντας ορυκτά καύσιμα με υλικά που διαφορετικά θα έπρεπε να απορριφθούν ή να καούν με αντίστοιχες εκπομπές και κατάλοιπα, μεγιστοποίηση της ανάκτησης ενέργειας από τα} απόβλητα. Όλη η παραγόμενη ενέργεια χρησιμοποιείται άμεσα στον περιστροφικό κλίβανο για την παραγωγή κλίνκερ. Επίσης μεγιστοποιεί την ανάκτηση του

ανόργανου μέρους των αποβλήτων και εξαλείφει την ανάγκη διάθεσης τέφρας, η οποία ενσωματώνεται στο κλίνκερ σε μη υδατοδιαλυτή μορφή, αποτελώντας πρώτη ύλη για τη παραγωγή τσιμέντου. Η χρήση των εναλλακτικών καυσίμων στη τσιμεντοβιομηχανία θεωρείται ως Βέλτιστη Διαθέσιμη Τεχνική (ΒΔΤ) στην Ευρώπη σύμφωνα με έγγραφο αναφοράς για τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές στις βιομηχανίες παραγωγής τσιμέντου, Μάιος 2010 (BREF).[23]

Ακόμη, να σημειωθεί ότι η χρήση εναλλακτικών καυσίμων σήμερα σε χώρες της Ευρώπης ανέρχεται σε 6.000.000 τόνους/έτος περίπου, υποκαθιστώντας 3,5 εκατομμύρια τόνους άνθρακα το χρόνο. Το 2009 η χρήση εναλλακτικών καυσίμων από τις τσιμεντοβιομηχανίες των χωρών της Ε.Ε. έφτασε το 28% κατά μέσο όρο, ενώ σε κάποιες χώρες, όπως η Ολλανδία, ξεπέρασε και το 80%. Η Ελβετία, μία άλλη χώρα-πρότυπο χρηστής διαχείρισης των αποβλήτων, έρχεται δεύτερη με ποσοστό λίγο πάνω από το 50%. Η Ελλάδα βρίσκεται στις χαμηλότερες θέσεις της ευρωπαϊκής κατάταξης με χρήση ελάχιστη, μικρότερη του 1% της συνολικής κατανάλωσης θερμικής ενέργειας.[23]



Σχήμα 32. Κέντρα διανομής τσιμέντου στην Ελλάδα

Όσον αφορά τις **βιομηχανίες πετρελαιοειδών/δυλιστήρια**, είναι υπεύθυνες για σημαντική περιβαλλοντική επιβάρυνση σε μια περιοχή επειδή ρυπαίνουν σε όλα τα επίπεδα.

Προκαλούν ρύπανση στο υπέδαφος και τα επιφανειακά και υπόγεια νερά, αλλά και στην ατμόσφαιρα κατά τις διεργασίες άντλησης, κλασματικής απόσταξης, καταλυτικής διάσπασης και μετασχηματισμού καθώς και κατά τις διεργασίες ραφινάρισματος του πετρελαίου. Η αποθήκευση και μεταφορά του αργού πετρελαίου και των προϊόντων του δημιουργεί επίσης σοβαρά προβλήματα στο υπέδαφος και το υδάτινο περιβάλλον λόγω διαρροών. Η υγρή ρύπανση από τις μονάδες αυτές οφείλεται κυρίως στους υδατάνθρακες και τα καυστικά που χρησιμοποιούνται στα διάφορα στάδια κατεργασίας. Τα απόνερα των δυλιστηρίων περιέχουν μεγάλες ποσότητες πτητικών και αιωρούμενων στερεών έχουν μεγάλες τιμές pH και το BOD5 έχει τιμή περίπου 800. Η κατεργασία τους περιλαμβάνει διεργασίες καθίζησης και καταβύθισης με πολυ-ηλεκτρολύτες για τα αιωρούμενα στερεά διεργασίες διαχωρισμού επίπλευσης και προσρόφησης σε ενεργό άνθρακα για τους υδρογονάνθρακες.

Η αέρια ρύπανση που προκαλούν οι διάφορες μονάδες άντλησης και επεξεργασίας πετρελαίου χαρακτηρίζεται ιδιαίτερα τοξική και επικίνδυνη. Ενοχοποιείται για δημιουργία φωτοχημικού νέφους διασπορά τοξικών ουσιών σε μεγάλη ακτίνα γύρω από τις εγκαταστάσεις κλπ. Οι αέριοι ρύποι των δυλιστηρίων και των πετροχημικών βιομηχανιών είναι αιωρούμενα σωματίδια, αιθάλη, πτητικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, πτητικά αλκάνια και αλκένια, οξείδια του άνθρακα του αζώτου και του θείου.

Η συνήθης μέθοδος αντιμετώπισης της αέριας ρύπανσης στα δυλιστήρια είναι η καύση που πραγματοποιείται σε ειδικούς καυστήρες. Ωστόσο επειδή η μέθοδος είναι ανεπαρκής απαιτείται μια πρόσθετη σειρά μέτρων για τον περιορισμό της ρύπανσης.

Τα μέτρα ελέγχου και προστασίας που πρέπει να λαμβάνονται με σκοπό τον περιορισμό της ρύπανσης σε γενικές γραμμές είναι:

1. Συνεχής έλεγχος της περισσειας αέρα στις καύσεις των φούρνων και των λεβήτων της εγκατάστασης. Εγκατάσταση αναλυτών O_2 , συνεχούς καταγραφής στα καυσαέρια.
2. Έλεγχος ποιότητας καυσίμων (αερίου και υγρού μαζούτ) ως προς το περιεχόμενο θείου και την σύστασή τους.
3. Έλεγχος αμαυρότητας καπνοδόχων Δ/ρίων με την μέθοδο RINGELMMAN.
4. Έλεγχος καλής λειτουργίας φούρνων - καυστήρων για άριστη καύση.
5. Μετρήσεις μονοξειδίου του άνθρακα (CO), διοξειδίου του θείου (SO_2), αζωτοξειδίων (NO_x) εκπεμπομένων με τα καυσαέρια.

6. Εγκατάσταση κλειστών κυκλωμάτων στις διεργασίες αερίων με ανακυκλώσεις αυτών ώστε να μηδενιστούν τυχόν απώλειες ή διαρροές.
7. Ειδικότερα για τα δοχεία, σωληνώσεις και συστήματα που βρίσκονται υπό πίεση ή που είναι δυνατόν να υποστούν πιέσεις που θα προκαλέσουν ζημιά σ' αυτά, είναι προστατευμένα έναντι των υψηλών πιέσεων με ασφαλιστικές δικλείδες. Αυτές εκτονώνουν τα υπό πίεση αέρια (& υγρά) στην ατμόσφαιρα, όταν πρόκειται για μη επιβλαβείς ουσίες (νερό, ατμός, αέρας) ή στους πυρσούς τον Δ/ρίον για καύση όταν πρόκειται για υδρογονάνθρακες.
8. Εγκατάσταση μονάδων εκπλύσεως αερίων και μονάδων παραγωγής θείου ώστε να μειωθεί στο μηδέν η περιεκτικότητα του θείου στα καιάμενα αέρια.
9. Εγκατάσταση THERMAL INCINERATOR όπου γίνεται καύση των όξινων αερίων από τις μονάδες παραγωγής θείου (μονάδες Claus).
10. Τοποθέτηση δευτεροταγών φραγών (DOUBLE SEALS) στις δεξαμενές πλωτής οροφής για μείωση των εκπομπών υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα.
11. Τοποθέτηση πλωτών σκέπαστρων σε τυχόν ελαιοδιαχωριστές των μονάδων βιολογικού καθαρισμού.
12. Χρησιμοποίηση καπνοδόχων κατάλληλου ύψους για την διάθεση των καυσαερίων από τους φούρνους.

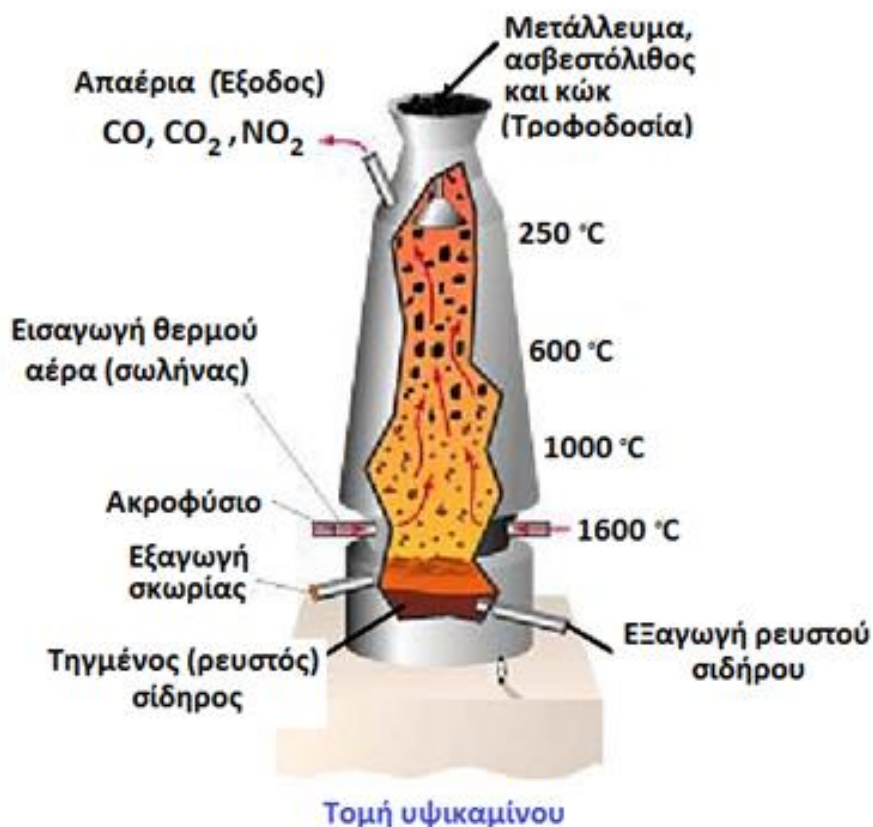
Τέλος, η **βιομηχανία του σιδήρου-χαλυβουργία** ή αλλιώς οι υψικάμινι είναι μονάδες παραγωγής σιδήρου από σιδηρο-μετάλλευμα ή σιδηρά υλικά που είναι προϊόντα ανακύκλωσης τα οποία συντήκονται με κωκ ή ασβεστόλιθο. Η παραγωγή χάλυβα πραγματοποιείται σε δεύτερο στάδιο, σε ειδικού κλιβάνους με κατάλληλη επεξεργασία του προϊόντος της υψικαμίνου, δηλαδή του χυτοσιδήρου.

Η περιβαλλοντική επιβάρυνση από τους ρύπους των υψικαμίνων και των χαλυβουργείων είναι μεγάλη. Παράγονται:

1) Στερεά απορρίμματα που είναι συνήθως παραπροϊόντα και με μεγάλο ποσό τέφρας τα οποία διατίθενται, μετά από ανακύκλωση, στον τελικό αποδέκτη που είναι το υπέδαφος. 2) Υγρά απόβλητα τα οποία περιέχουν φαινόλες, διοξίνες, φουράνια, ιόντα κυανίου-σιδήρου-ψευδαργύρου-χλωρίου και εξασθενούς χρωμίου καθώς και μεγάλες ποσότητες αιωρούμενων στερεών. Έχουν μικρές τιμές pH και BOD₅ κυμαινόμενου μεταξύ 5 και 250. Για την επεξεργασία των λυμάτων αυτών απαιτούνται διεργασίες διήθησης και χημικής κατακρήμνισης με πολυσθενή ιόντα ηλεκτρολυτών για την απομάκρυνση των

αιωρούμενων σωματιδίων, διαδικασίες εκχύλισης για την απομάκρυνση των ιδιαίτερα τοξικών φαινολών, διοξινών και φουρανίων, κατεργασία με υδροξείδιο του ασβεστίου για την αναγωγή των εξασθενών χρωμικών ιόντων και την μείωση της οξύτητας και διεργασίες χλωρίωσης, μετά από ρύθμιση του pH προς αλκαλικές τιμές για την απομάκρυνση των ιόντων κυανίου.

Οι αέριοι ρύποι που παράγονται στην υψικάμινο δεσμεύονται συνήθως με υγρά φίλτρα, τα νερά των οποίων διοχετεύονται στις μονάδες επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων για περαιτέρω επεξεργασία.



Σχήμα 33. Τομή υψικάμινου

Αναλύοντας όλα τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η ρύπανση μπορεί να είναι μεγάλη και επικίνδυνη για το περιβάλλον. Οφείλουμε να το σεβόμαστε και να φροντίζουμε να μην επηρεάζεται αρνητικά η καθημερινή ζωή των ανθρώπων και των ζώων από διάφορες διεργασίες των βιομηχανιών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ατμοσφαιρική Ρύπανση, πηγή: https://el.wikipedia.org/wiki/Ατμοσφαιρική_ρύπανση (2017)
- [2] Συνέπειες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, πηγή:
https://el.wikipedia.org/wiki/Ατμοσφαιρική_ρύπανση (2017)
- [3] Κοινωνία και υγεία ΙΙΙ Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών (2004)
ISBN 960-7998-26-X, ISBN-13 978-960-7998-26-2
- [4] Χαρτογράφηση ατμοσφαιρικής ρύπανσης, πηγή: <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=491>
(2008)
- [5] Σπάνιες φωτογραφίες από την πυρηνική καταστροφή του Τσερνόμπιλ,
πηγή:
<http://www.fortunegreece.com/photo-gallery/spanies-fotografies-apo-tin-piriniki-katastrofi-tou-tsernompil/#2> (26/04/2016)
- [6] Ο δρόμος για τον απόλυτο όλεθρο, πηγή:
<http://www.sigmalive.com/archive/simerini/environment/391398> (11-06-2011)
- [7] Οι 10 χειρότερες περιβαλλοντικές καταστροφές, πηγή:
<https://www.otherside.gr/2011/06/oi-10-xeiroteres-perivallontikes-katastrofes/> (5-06-2011)
- [8] Ρύπανση ατμοσφαιρικού αέρα και επιπτώσεις, πηγή :
http://www.pneumonologist.gr/article.php?article_id=51&lang=gr
Νίκος Δ. Χαΐνης, Πνευμονολόγος (2011)
- [10] Όξινη Βροχή, πηγή: https://el.wikipedia.org/wiki/Όξινη_βροχή (2017)
- [11] Η ατμοσφαιρική ρύπανση «κοστίζει» πολλές ζωές, πηγή:
<http://www.kathimerini.gr/884906/article/epikairothta/perivallon/h-atmosfairikh-rypansh-kostizei-polles-zwes> (24-11-2016)
- [12] Το πρώτο Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας Αέρα (ΣΔΠΑ) στην Ελλάδα είναι γεγονός!, πηγή:
<https://alphacadblog.wordpress.com/2013/03/12/prwto-systima-diaxeirisis-poiotitas-aera/>
(12-03-2013)
- [13] Παρατηρητήριο της ρύπανσης στο Διαδίκτυο, πηγή :
<http://www.enet.gr/?i=news.el.article&id=349957> (12-03-2013)
- [14] Baghouses are the equipment of choice for particulate emissions control of hot mix asphalt plants N. Ανδρίτσος «Σακόφιλτρα»
- [15] Cooper & Alley: Κεφάλαιο 6
- [16] Έλεγχος Αέριας Ρύπανσης-Σχεδιασμός Αντιρρυπαντικής Τεχνολογίας, Cooper C.

- David, Alley F. C., ΕΚΔΟΣΕΙΣ Α. ΤΖΙΟΛΑ & ΥΙΟΙ Α.Ε. ISBN 960-418-039-8
- [17] Βασικές αρχές αντιρρυπαντικής τεχνολογίας ατμοσφαιρικών ρύπων, Ραψομανίκης Σπύρος Χ., Καστρινάκης Ελευθέριος Γ., ΕΚΔΟΣΕΙΣ Α. ΤΖΙΟΛΑ & ΥΙΟΙ Α.Ε.
- [18] Δ.Ε.Η. (www.dei.gr)
- [19] Έλεγχος Αέριας Ρύπανσης-Σχεδιασμός Αντιρρυπαντικής Τεχνολογίας, Cooper C. David, Alley F. C., ΕΚΔΟΣΕΙΣ Α. ΤΖΙΟΛΑ & ΥΙΟΙ Α.Ε. ISBN 960-418-039-8
- [20] Cooper & Alley: Κεφάλαιο 7
- [21] Τεχνικό εγχειρίδιο εγκατάστασης όλων των συστημάτων της μονάδας αποθείωσης του ατμοηλεκτρικού σταθμού στην Μελίτη-Φλώρινας
- [22] Boynton, 1980, Harben, 1992, Bourne, 1994, Kokal and Ranade, 1994 & Oates, 1998
- [23] Εθελοντική συμφωνία συνεργασίας "Για την πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης από την τσιμεντοβιομηχανία", πηγή :
<http://www.hcia.gr/userfiles/d90545cd-cff2-4310-a7cd-9743d5bcf1ed/ypeka.pdf> (2012)