

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΣΟΦΟΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΑΥΡΙΔΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΠΑΤΡΑ, 2014

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και αναφέρεται στην περιγραφή εξοπλισμού ελέγχου της αέριας ρύπανσης.

Στην αρχή μελετώνται οι κύριοι αέριοι ρύποι και οι κυκλωνικές συσκευές.

Στην συνέχεια αναλύονται τα ηλεκτροστατικά φίλτρα και τα σακκόφιλτρα και στο τέλος αναλύεται ο έλεγχος οξειδίων του αζώτου και οι μονάδες καύσης VOC.

Ευχαριστώ θερμά τους Επιβλέποντες Καθηγητές μου κ. Κ. Μαυρίδη και κ. Ιωάννη Γιαννάκη, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφεραν για την πραγματοποίηση της Εργασίας.

ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ ΣΟΦΟΣ

Νοέμβριος 2014

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής

ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ ΣΟΦΟΣ

.....

(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αναφέρεται περιγραφή εξοπλισμού ελέγχου της αέριας ρύπανσης.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε έξι Κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο μελετώνται οι κύριοι αέριοι ρύποι και οι επιδράσεις τους στον άνθρωπο και στο περιβάλλον και έτσι υπάρχει η ανάγκη για έλεγχο των εκπομπών τους.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο αναλύονται οι κυκλωνικές συσκευές και ο υπολογισμός βασικών χαρακτηριστικών τους.

Στο τρίτο Κεφάλαιο αναλύονται τα ηλεκτροστατικά φίλτρα και ο υπολογισμός βασικών χαρακτηριστικών τους.

Στο τέταρτο Κεφάλαιο αναλύονται και τα σακκόφιλτρα και ο υπολογισμός βασικών χαρακτηριστικών τους.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύεται ο έλεγχος οξειδίων του αζώτου και στο έκτο κεφάλαιο οι μονάδες καύσης VOC και ο υπολογισμός βασικών χαρακτηριστικών τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΕΛΙΔΕΣ

Κεφάλαιο 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1. Βασικές έννοιες	5
2. Οι Κυριότεροι ρύποι	6
3. Πηγές ρύπανσης	13
4. Επιπτώσεις ατμοσφαιρικών ρυπαντών στην φύση	18
5. Θεσμικό πλαίσιο για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα.	21
6. Τεχνολογίες αντιμετώπισης επίδρασης αερίων ρύπων	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΚΥΚΛΩΝΕΣ	30
2.1 Εισαγωγή	30
2.2 Θεωρία	31
2.3 Σχεδιασμός	35
2.3.1 Διαστασιολόγηση	36
2.3.2 Απόδοση Συλλογής	37
2.3.3 Πτώση πίεσης	40
2.4 Άλλα ζητήματα	42
2.4.1 Επίδραση των μεταβολών στα χαρακτηριστικά και τις συνθήκες λειτουργίας στην απόδοση, πτώση πίεσης και κόστος ενός κυκλώνα	42
2.5 Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα	44
2.6 Κόστος	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ	45
3.1 Εισαγωγή	45
3.2 Αρχές λειτουργίας	45
3.3 Απόδοση συλλογής	48
3.4 Διαστασιολόγηση πλακών	50
3.5 Ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σωματιδίων	50
3.6 Εσωτερική διαμόρφωση	51
3.7 Συστήματα ηλεκτροδίων	54
3.8 Κατανάλωση ενέργειας	55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΣΑΚΟΦΙΛΤΡΑ	56
4.1 Εισαγωγή	56
4.2 Θεωρία	56
4.3 Σακόφιλτρα με ρεύμα αέρα αντιθέτου ροής και με μηχανική δόνηση	59
4.4 Σακόφιλτρα δόνησης με αέρα υπό πίεση	65
4.5 Πλεονεκτήματα / Μειονεκτήματα	68
4.6 Κόστος	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ	70
5.1 Εισαγωγή	70
5.2 Χημεία σχηματισμού των NO _x	70
5.3 Έλεγχος NO _x : Σταθερές πηγές	72
5.3.1 Μεταβολές στην καύση	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΑΥΣΗΣ VOC	74
6.1 Εισαγωγή	74
6.2 Θεωρία	75
6.2.1 Χημεία της Οξειδωσης	75
6.2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την καύση (Θ-Χ-Τ)	77
6.2.3 Πρόβλεψη της κινητικής των VOC	78
6.3 Ζητήματα Σχεδιασμού	81
6.3.1 Μονάδες θερμικής οξειδωσης	81
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	82

Κεφάλαιο 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Βασικές έννοιες

Επί του παρόντος υπάρχει πληθώρα αποδεκτών ορισμών αναφορικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η παρουσία ενός ή περισσότερων ουσιών ή ρύπων στην ατμόσφαιρα που μας περιβάλλει, σε ποσότητες οι οποίες είναι ή μπορεί να είναι επιβλαβείς ή επιζήμιες για την ανθρώπινη υγεία ή ευεξία, για την ύπαρξη των ζώων και των φυτών, ή των περιουσιών ή αλλιώς:

Ατμοσφαιρική Ρύπανση καλείται η παρουσία στην ατμόσφαιρα ρύπων σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια που έχουν ως αποτέλεσμα την αλλοίωση της σύστασης της δομής και των χαρακτηριστικών της ατμόσφαιρας.

Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, οποιοδήποτε στερεό, υγρό ή αέριο που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα σε μια συγκέντρωση η οποία έχει επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία ή/και στο περιβάλλον στο σύνολό του, θεωρείται ως αέριος ρύπος. Οι αέριοι ρύποι διακρίνονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς. Σαν πρωτογενείς χαρακτηρίζονται οι ουσίες που εκπέμπονται απευθείας από την πηγή όπως, μονοξείδιο του άνθρακα (CO), διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), διοξείδιο του θείου (SO₂), οξειδία του αζώτου (NO, NO₂, N₂O), υδρόθειο (H₂S), αμμωνία (NH₃), υδροχλώριο (HCl), υδροφθόριο (HF), καθώς και διάφοροι διαλύτες και υδρογονάνθρακες (αλκάνια, αλκένια, αρωματικοί υδρογονάνθρακες) και διοξίνες. Με την έκλυση αυτών των ρύπων στην ατμόσφαιρα λαμβάνουν χώρα διάφορες αντιδράσεις τόσο μεταξύ των ρύπων όσο και μεταξύ των ρύπων με τα μόρια που απαρτίζουν την καθαρή ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα την παραγωγή νέων οντοτήτων που ονομάζονται δευτερογενείς ρύποι.

Οι περισσότερο γνωστοί δευτερογενείς ρύποι είναι το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), το όζον (O₃), το νιτρικό υπεροξυακετύλιο (PAN) και άλλοι.

Η συγκέντρωση των ρύπων στη ατμόσφαιρα συνήθως εκφράζεται σε μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο (μg/m³) ή σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm).

Αντίθετα με την κοινή αντίληψη, το μεγαλύτερο ποσοστό των παραγόμενων αέριων ρύπων προέρχεται από καθαρά φυσικές πηγές. Με τον όρο φυσικές πηγές αναφερόμαστε στις πηγές εκπομπών αέριων ρύπων που δεν οφείλονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα. Παρ' όλα αυτά οι ανθρωπογενείς εκπομπές είναι επίσης υπεύθυνες για τα μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζει σήμερα ο πλανήτης.

Οι σημαντικότερες φυσικές πηγές είναι:

- Τα ηφαίστεια (κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του θείου, υδρόθειο και μεθάνιο).

- Οι πυρκαγιές δασών (κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, μονοξειδίο και διοξειδίο του άνθρακα).
- Οι ωκεανοί και γενικότερα οι θαλάσσιες εκτάσεις (κυρίως χλωριούχο νάτριο και θειικά άλατα).
- Βιολογική αποσύνθεση των φυτών και των ζώων (κυρίως υδρογονάνθρακες, αμμωνία και υδρόθειο).
- Η αποσάθρωση του εδάφους (αιωρούμενα σωματίδια).
- Τα φυτά και τα δέντρα (κυρίως υδρογονάνθρακες).

Οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές είναι:

- Βιομηχανικές πηγές (καύση, επεξεργασία).
- Παραγωγή και μεταφορά ενέργειας.
- Μεταφορές.
- Κεντρική θέρμανση.

Τα επίπεδα ρύπανσης εκφράζονται συνήθως σε δύο μονάδες συγκέντρωσης, είτε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ είτε μέρη ανά εκατομμύριο όγκου ή απλά μέρη ανά εκατομμύριο (σύντμηση ppmv= Parts Per Million by Volume ή απλά ppm). Συγκέντρωση 1 μέρος ανά εκατομμύριο όγκου σημαίνει ότι αντιστοιχεί μία μονάδα όγκου του ρύπου σε κάθε 10^6 μονάδες όγκου αέρα. Παρ' όλο που συγκέντρωση ίση με 1 ppm ακούγεται μικρή, για πολλούς αέριους ρύπους υπερβαίνει κατά πολύ τις συνηθισμένες τιμές που συναντώνται στην ατμόσφαιρα. Γι αυτό τον λόγο σε πολλές περιπτώσεις οι συγκεντρώσεις ενός ρύπου μετρώνται σε μέρη ανά δισεκατομμύριο όγκου (ή ppb). Οι συγκεντρώσεις των σωματιδιακών ρύπων, αλλά και των αερίων ρύπων μετρώνται σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2. Οι Κυριότεροι ρύποι

Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι:

- Τα οξειδία του θείου (SO_x).
- Τα οξειδία του αζώτου (NO_x).
- Το μονοξειδίο του άνθρακα (CO).
- Ο μόλυβδος (Pb), λόγω της τοξικότητάς του.
- Τα αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου μικρότερης των 10 μm , διότι αυτά εισπνέονται. Διακρίνουμε δύο κατηγορίες: τα $\text{A}\Sigma_{10}$ και τα $\text{A}\Sigma_{2,5}$.
- Το βενζόλιο, λόγω της επικινδυνότητάς του (καρκινογόνο). Ανήκει και στην κατηγορία των Πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC).

- Το όζον O_3 .
- Οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC). Είναι οργανικές ενώσεις με επαρκή πτητικότητα, ώστε να υπάρχουν στην ατμόσφαιρα στην αέρια φάση.
- PAN
- Υδρογονάνθρακες (HCs) - - Ραδόνιο

- **Οξειδία του θείου (SO_x)**

Τα οξειδία του θείου προκαλούνται με την καύση του θείου ή οποιασδήποτε άλλης ουσίας που περιέχει θείο. Η κύρια πηγή είναι η καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ σημαντικά ποσοστά εκπέμπονται από τα διυλιστήρια και την τσιμεντοβιομηχανία. Το πρωτογενές οξείδιο του θείου είναι το διοξείδιο του θείου (SO_2) αλλά μικρές ποσότητες τριοξειδίου του θείου (SO_3) σχηματίζονται επίσης στους κλιβάνους. Το διοξείδιο του θείου οξειδώνεται στην ατμόσφαιρα και είναι η κύρια αιτία σχηματισμού της όξινης βροχής, καθώς και των θειικών ιόντων που περιέχονται στα αιωρούμενα σωματίδια με σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.

Το διοξείδιο του θείου (SO_2): είναι ανόργανη χημική ένωση με τύπο SO_2 . Είναι αέριο, με οσμή «καιόμενου θείου», και πράγματι αποτελεί το κυριότερο προϊόν της καύσεως ουσιών που περιέχουν θείο. Το διοξείδιο του θείου απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα κατά τις εκρήξεις των ηφαιστειών. Παράγεται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων τα οποία περιέχουν θείο. Τέτοια καύσιμα είναι οι γαιάνθρακες (λιγνίτες κλπ) το μαζούτ, διάφοροι τύποι ντίζελ για βιομηχανική κυρίως χρήση. Το ντίζελ κίνησης και θέρμανσης λαμβάνεται πρόνοια για περιβαλλοντικούς λόγους ώστε ύστερα από κατάλληλη αποθείωση να περιέχει θείο <0,3% ενώ και η βενζίνη περιέχει θείο <0,05%. Το θείο περιέχεται στα ορυκτά καύσιμα υπό μορφή χημικών ουσιών και με την καύση μετατρέπεται σε 92-98% SO_2 και το υπόλοιπο σε τριοξείδιο του SO_3 . Το SO_2 είναι

ευδιάλυτο στο νερό (υγρασία) και μετατρέπεται σε θειώδες οξύ (H_2SO_3). Το SO_2 οξειδώνεται επίσης με την επίδραση του ατμοσφαιρικού O_2 και διαφόρων ουσιών που δρουν ως καταλύτες, σε SO_3 με την επίδραση της υγρασίας σχηματίζει θειικό οξύ H_2SO_4 . Τα H_2SO_3 και H_2SO_4 μαζί με τα άλλα οξέα που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα αποτελούν την όξινη βροχή. Η όξινη βροχή αποτελεί παγκόσμιο περιβαλλοντικό πρόβλημα με σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία, τη βλάστηση, τα δάση, τα οικοσυστήματα και τα υλικά και για το λόγο αυτό αναλύεται χωριστά παρακάτω.

- **οξειδία του αζώτου (NO_x)**

Τα οξειδία του αζώτου (NO_x) σχηματίζονται κάθε φορά που ένα καύσιμο καίγεται στην ατμόσφαιρα. Τα οξειδία του αζώτου που απαντώνται σε ίχνη στον ατμοσφαιρικό αέρα είναι επτά: NO, NO₂, NO₃, N₂O, N₂O₃, N₂O₄ και N₂O₅. Από αυτά τα επτά οξειδία του αζώτου, δύο είναι αυτά που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την ατμοσφαιρική ρύπανση, το μονοξείδιο (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), διότι εκπέμπονται σε μεγάλες ποσότητες. Η κυριότερη πηγή των οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα είναι η καύση των ορυκτών καυσίμων. Το μονοξείδιο του αζώτου που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα μετατρέπεται σχετικά γρήγορα σε διοξείδιο, το οποίο αντιδρά με την ηλιακή ακτινοβολία με αποτέλεσμα το σχηματισμό όζοντος και άλλων φωτοχημικών ρύπων που είναι υπεύθυνοι για τους ερεθισμούς των βλεννογόνων των ματιών και του αναπνευστικού κατά την εκδήλωση του φωτοχημικού νέφους.

Το **υποξείδιο του αζώτου (N₂O)** είναι άχρωμο και σχετικά αδρανές. Χρησιμοποιείται ως προωθητικό αέριο στις φιάλες των αεροζόλ σπρέι, δεν σχηματίζεται κατά τη καύση.

Το **μονοξείδιο του αζώτου (NO)** είναι άχρωμο και παράγεται με καύση των ορυκτών καυσίμων. Σε υψηλές θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 1000 °C μετατρέπεται σε NO₂.

Το **διοξείδιο του αζώτου (NO₂)** έχει χρώμα κόκκινο-κίτρινο-καστανό και χαρακτηριστική οσμή. Σχηματίζεται με καύση ορυκτών καυσίμων σε υψηλές θερμοκρασίες και με φωτοχημική οξείδωση του NO.

- **Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)**

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι ένα άχρωμο και άοσμο αέριο, ελάχιστα διαλυτό στο νερό, αναφλέξιμο και ιδιαίτερα τοξικό, λίγο ελαφρύτερο από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Γενικά στις αστικές περιοχές η κύρια ποσότητα του CO προέρχεται από την ατελή καύση των υδρογονανθράκων που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα στα αυτοκίνητα, σε ποσοστό περίπου 71% , ενώ κατά κάποιο μικρότερο ποσοστό συνεισφέρουν και οι μονάδες θέρμανσης, οι βιομηχανικές κατεργασίες και η καύση των στερεών αποβλήτων. Αυτή η ατελής καύση συμβαίνει όταν υπάρχει ανεπαρκής ποσότητα οξυγόνου ή χρόνου για την πλήρη μετατροπή των υδρογονανθράκων και ανθράκων σε CO₂ (πλήρης καύση). Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ουσιαστικά αδρανές στα φυτά και τα υλικά, αλλά μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Είναι πολύ τοξικό για τους ανθρώπους και τα ζώα σε υψηλές συγκεντρώσεις, παρ' όλο που παράγεται σε μικρές ποσότητες από τον κανονικό ζωικό μεταβολισμό και θεωρείται ότι συμμετέχει σε κάποιες φυσιολογικές βιολογικές λειτουργίες. Το CO αντιδρά με την αιμοσφαιρίνη στο αίμα και εμποδίζει τη μεταφορά οξυγόνου. Οι

επιπτώσεις στους ανθρώπους κλιμακώνονται από ελαφρούς πονοκεφάλους, σε ναυτία, σε θάνατο, εξαρτώμενες από τη συγκέντρωση του CO και το χρόνο έκθεσης.

- **Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)** είναι άχρωμο, άοσμο και δεν είναι τοξικό. Δεν θεωρείται ρύπος. Όμως η έκθεση σε μεγάλες συγκεντρώσεις μπορεί να επηρεάσει την αναπνευστική λειτουργία. Θεωρείται ως το σημαντικότερο αέριο που συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

- **Μόλυβδος**

Ο μόλυβδος ανήκει στα βαρέα και τοξικά μέταλλα. Η οριακή τιμή του είναι η χαμηλότερη από όλους τους ρύπους: 0.5 μg/m³. Υψηλότερη τιμή, μέχρι 1μg/m³, επιτρέπεται μόνο στην άμεση γειτνίαση βιομηχανικών πηγών που βρίσκονται σε βιομηχανίες ρυπανθείσες από δεκαετίες βιομηχανικών δραστηριοτήτων. Η κύρια πηγή στη ατμόσφαιρα ήταν η χρήση της βενζίνης Super. Χρησιμοποιούνταν στη βενζίνη ως πρόσθετο υπό μορφή Pb(CH₃)₄, Pb(C₂H₅)₄ για τη βελτίωση του αριθμού οκτανίων (αντικροτικό). Στην ατμόσφαιρα εκλυόταν υπό μορφή ενώσεων PbCl₂, PbBr₂, Pb, PbO κλπ. Επίσης ο Pb χρησιμοποιείται για χρώματα και άλλες εφαρμογές. Λόγω τοξικότητας η χρήση του είναι περιορισμένη.

Η κύρια πηγή μολύβδου στην ατμόσφαιρα είναι οι μεταλλουργικές διεργασίες. Οι διεργασίες αυτές συνήθως λαμβάνουν χώρα σε υψηλές θερμοκρασίες και περιλαμβάνουν απελευθέρωση θερμών απαερίων στην ατμόσφαιρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ψύξη των θερμών απαερίων στη θερμοκρασία του περιβάλλοντα αέρα και τη μετατροπή σημαντικού μέρους της αέριας σε σωματιδιακή φάση, με αποτέλεσμα τη δημιουργία πολύ μικρών-λεπτών σωματιδίων. Τα σωματίδια αυτά είναι πολύ επικίνδυνα για την υγεία, διότι, λόγω του μεγέθους τους, αιωρούνται στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα και εισπνεόμενα κατεισδύουν στους πνεύμονες και ύστερα από τις κυψελίδες των πνευμόνων ο μόλυβδος εισέρχεται στο αίμα.

- **Αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ₁₀ και ΑΣ_{2,5})**

Τα αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ) στην ατμόσφαιρα έχουν διαφορετικά μεγέθη και σχήματα, έτσι χαρακτηρίζονται από την <<αεροδυναμική τους διάμετρο>> που είναι η διάμετρος αντίστοιχης σφαίρας, η οποία έχει τα ίδια αεροδυναμικά χαρακτηριστικά με τα πραγματικά σωματίδια. Η αεροδυναμική τους διάμετρος, που για συντομία αναφέρεται πολλές φορές ως διάμετρος, είναι πολύ μικρή και γι' αυτό την εκφράζουμε σε εκατομμυριοστά του μέτρου η (μm). Τα μεγέθη των αιωρούμενων σωματιδίων κυμαίνονται από 0.0002μm έως 500μm.

Παλαιότερα, δεν υπήρχε η δυνατότητα διαχωρισμού των σωματιδίων κατά μεγέθη από τα όργανα προσδιορισμού των συγκεντρώσεών τους στον ατμοσφαιρικό αέρα. Όμως, η εκτίμηση των επιπτώσεών τους στην υγεία και η εκτίμηση του χρόνου που παραμένουν στην ατμόσφαιρα, οδήγησε στην κατασκευή συσκευών που μας πληροφορούν για τη συγκέντρωση ορισμένων τάξεων μεγεθών των αιωρούμενων σωματιδίων. Έτσι, μιλάμε για σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 10 μm , ώστε να αναφερόμαστε στα ΑΣ₁₀, ή μικρότερη των 2.5 μm , οπότε αναφερόμαστε στα ΑΣ_{2,5}.

Τα σωματίδια που αιωρούνται στα υψηλά στρώματα της ατμόσφαιρας (υψόμετρο~ 10km) χαρακτηρίζονται **Μετεωρική σκόνη**, έχουν μέγεθος 0.05 μm -μερικές δεκάδες μικρά και η χημική τους σύσταση είναι: Na, K, Mg, Al, Si, Ca, Ti, Cr, Fe, Co, Ni. Απορροφούν ηλιακή ενέργεια και ένα μέρος της το ξανά εκπέμπουν στη γη (Απορροφούν ~1/2 της Ηλιακής ενέργειας). Θεωρείται ότι λειτουργούν «σαν κουρτίνα» προστατεύοντας τη γη από την ηλιακή ακτινοβολία. Σε αντίθεση με τη μετεωρική σκόνη τα σωματίδια που αιωρούνται στο στρώμα της ατμόσφαιρας που βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος έχουν μεγάλη σημασία. Τα σωματίδια αυτά είναι γήινης προέλευσης και προέρχονται είτε από **Φυσικές πηγές** όπως: Θάλασσα (MgCl₂, CaCl₂, KBr, NaCl), Πυρκαγιές, Διάβρωση εδαφών, Εκρήξεις ηφαιστειών (ενώσεις S), Βιολογικά υλικά (γύρη-αερόβιες και αναερόβιες διασπάσεις) είτε από:

Ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως: Βιομηχανίες, Μεταλλουργικές βιομηχανίες (Σιδηρούχων και μη σιδηρούχων υλικών). Βιομηχανία οικοδομικών υλικών (Τσιμέντο, μπετόν, γύψος, ασβέστης, κεραμικά υλικά, γυαλί, αμίαντος, εξόρυξη και επεξεργασία αδρανών υλικών). Χημική βιομηχανία ανόργανων υλικών (H₂SO₄, HCl, HNO₃, H₃PO₄, HF, Λιπάσματα). Χημική βιομηχανία Οργανικών υλικών: Διυλιστήρια, πετροχημικά. Επίσης από διάφορες δραστηριότητες όπως έργα οδοποιίας, δομικά έργα, γεωργικές δραστηριότητες, κίνηση οχημάτων, εστίες καύσης, θερμοηλεκτρικοί σταθμοί κλπ. Τα σωματίδια ανάλογα με το μέγεθος και τη φύση τους χαρακτηρίζονται ως:

- Σκόνη από 1 μm μέχρι μερικές εκατοντάδες μm □
- Καπνός <1 μm
- Αεροζόλ οργανικά και ανόργανα σταγονίδια <2 μm

Η χημική τους σύσταση εξαρτάται από τη προέλευση τους και μπορεί να είναι CaCO₃, SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃ κλπ άλατα θειικά νιτρικά φωσφορικά, μέταλλα, άνθρακας (αιθάλη), μεγάλου μοριακού βάρους χημικές ενώσεις. Στην ατμόσφαιρα αιωρούνται σωματίδια μικρότερα από 10 μm και μεταφέρονται με τον άνεμο σε μεγάλες αποστάσεις από το σημείο εκπομπής, ενώ τα μεγαλύτερα καθιζάνουν κοντά στο σημείο εκπομπής.

Τα σωματίδια εκπέμπονται από πολλές διαφορετικές πηγές συμπεριλαμβανομένων των βιομηχανικών διεργασιών με ή χωρίς καύση, των μεταλλευτικών και/ή κατασκευαστικών δραστηριοτήτων και της αποτέφρωσης απορριμμάτων. Η πορώδης επιφάνεια των σωματιδίων έχει την ικανότητα προσρόφησης βαρέων μετάλλων, καρκινογόνων ουσιών και πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (ΠΑΥ) με αποτέλεσμα να προκαλούν ασθένειες και κακοήθειες νεοπλασίες του αναπνευστικού συστήματος.

Οι Υδρογονάνθρακες (HCs): Αναφέρονται και ως Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (Volatile Organic Compounds- VOCs). Στην ατμόσφαιρα έχουν ανιχνευτεί πάνω από 60 είδη υδρογονανθράκων. Μερικοί από αυτούς εκπέμπονται από τα αυτοκίνητα με ατελή καύση ή εξάτμιση του καυσίμου, τη βιομηχανία, τις βιοτεχνικές δραστηριότητες μέσα στη πόλη (πχ καθαριστήρια, βαφεία αυτοκινήτων πρατήρια καυσίμων, γεωργοκτηνοτροφικές δραστηριότητες. Πολλοί από αυτούς σχηματίζονται δευτερογενώς στην ατμόσφαιρα. Οι HCs αποτελούν βασικό συντελεστή δημιουργίας του φωτοχημικού νέφους.

- **Βενζόλιο**

Το βενζόλιο είναι ένα άχρωμο αρωματικό υγρό το οποίο εξατμίζεται κάτω από τις συνήθεις ατμοσφαιρικές συνθήκες και ανήκει στην κατηγορία των Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (ΠΟΕ) ή (VOCs), και είναι τοξικό και καρκινογόνο. Για τους λόγους αυτούς, η οριακή τιμή του στην ατμόσφαιρα είναι πολύ χαμηλή, στα 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Το βενζόλιο παράγεται από την πετροχημική και χημική βιομηχανία. Επίσης, χρησιμοποιείται ως διαλύτης σε διάφορες εφαρμογές, όπως στην παραγωγή πλαστικών, ρητινών, χρωμάτων, βερνικιών κ.λπ. Άλλη σημαντική πηγή εκπομπής είναι τα πρατήρια καυσίμων κατά το γέμισμα των δεξαμενών και την τροφοδοσία των τροχοφόρων με καύσιμα. Η μακροχρόνια έκθεση εργαζομένων σε βενζόλιο έχει συνδεθεί με την εκδήλωση καρκίνων του αίματος, οι οποίοι παρατηρήθηκαν λίγα χρόνια μετά την έκθεσή τους.

- **Όζον (O₃)**

Το όζον (O₃) είναι δευτερογενής ατμοσφαιρικός ρύπος, που παράγεται ως αποτέλεσμα των φωτοχημικών αντιδράσεων μεταξύ υδρογονανθράκων και οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα. Λόγω της οξειδωτικής ικανότητάς του θεωρείται εξαιρετικά επικίνδυνος ρύπος, τόσο για την υγεία του ανθρώπου, όσο και για βλάβες στα φυτά, τα δένδρα και τα υλικά. Το όζον είναι αέριο άχρωμο, βαρύτερο του αέρα με δριμεία οσμή. Είναι ισχυρότατο οξειδωτικό προέρχεται συνήθως από τη δράση των φωτοχημικών αντιδράσεων πάνω στα προϊόντα καύσης κατά το σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους.

PAN (Νιτρικό υπεροξυ-ακετύλιο) είναι δευτερογενής ρύπος που δημιουργείται με την επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας και την αλληλεπίδραση πρωτογενών ρύπων. Οι πρωτογενείς ρύποι και η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας αποτελούν την αιτία για την εμφάνιση της φωτοχημικής ρύπανσης ή του φωτοχημικού νέφους. Η κατακόρυφη παρεμπόδιση της διασποράς των ρυπογόνων ουσιών εξαιτίας της θερμοκρασιακής αναστροφής, της άπνοιας ή των φυσικών εμποδίων ευνοεί την συσσώρευση τους.

Ο μηχανισμός έναρξης των φωτοχημικών αντιδράσεων συνοψίζεται σε τρία στάδια:

I: Το NO_2 απορροφά ηλιακή ακτινοβολία και μετατρέπεται σε NO (φωτόλυση NO_2)

II: Το ατομικό οξυγόνο αντιδρά πολύ γρήγορα με το O_2 τον αέρα και σχηματίζει O_3

III: Παράλληλα το O_3 αντιδρά με το NO και σχηματίζει NO_2

Τα τρία αυτά στάδια αποτελούν το φωτολυτικό κύκλο του NO_2 .

Εφόσον δεν έχουμε άλλους δραστικούς ρύπους ο κύκλος αυτός θα συνεχίζεται χωρίς να έχουμε μεταβολή της συγκέντρωσης του NO_2 .

Όμως υπάρχουν υδρογονάνθρακες που παρεμβάλλονται στον κύκλο με αποτέλεσμα τη δημιουργία δευτερογενών ρύπων όπως το O_3 και το PAN, το HNO_3 κ.λ.π.

Φυσικά ο μηχανισμός σχηματισμού του φωτοχημικού νέφους δεν είναι τόσο απλός. Μελέτες αναφέρουν ότι ο αριθμός των φωτοχημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα είναι πολύ μεγάλος (>80). Τα ενδιάμεσα προϊόντα των αντιδράσεων αυτών είναι εξαιρετικά δραστικά και προκαλούν σημαντικές οχλήσεις.

Κατά τη δημιουργία φωτοχημικού νέφους εκτός από τις επιδράσεις των φωτοχημικών ρύπων όπως CO , SO_2 , τα σωματίδια, οι υδρογονάνθρακες, τα βαριά μέταλλα, οι ίνες αμιάντου κ.λ.π. Επίσης παρατηρείται σημαντική μείωση της ορατότητας.

- **Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC)**

Οι περισσότερες πτητικές οργανικές ενώσεις είναι οργανικές ενώσεις που βρίσκονται υπό τις συνήθεις ατμοσφαιρικές συνθήκες στην αέρια φάση. Ο όρος περιλαμβάνει πάνω από 100 ενώσεις: όλες τις ενώσεις που περιέχουν άνθρακα με εξαίρεση το μονοξείδιο και το διοξείδιο του άνθρακα. Επίσης, πολλές φορές εξαιρείται και το μεθάνιο. Σε αυτές περιλαμβάνονται πολλές τάξεις οργανικών ενώσεων, όπως κεκορεσμένοι, ακόρεστοι αρωματικοί και ελαφρείς πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες, οξυγονούχες και αλογονούχες ενώσεις. Οι πηγές των VOCs είναι οι βιομηχανίες, τα καυσαέρια των οχημάτων, τα πρατήρια υγρών καυσίμων, χρώματα και οικοδομικά υλικά.

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις παίζουν σημαντικό ρόλο στις φωτοχημικές αντιδράσεις και συμβάλλουν στην περιβαλλοντική ρύπανση, λόγω της υψηλής τοξικής και καρκινογόνου δράσης, γι' αυτό και θεωρούνται επικίνδυνες για την υγεία του ανθρώπου.

3. Πηγές ρύπανσης

Οι πηγές ρύπανσης διακρίνονται σε:

Φυσικές (πχ πυρκαγιές δασών, δραστηριότητα ηφαιστειών, διασπορά της γύρης των φυτών, κοσμική ακτινοβολία κ. λ. π) και **ανθρωπογενείς**.

Οι **ανθρωπογενείς πηγές** κατατάσσονται ως εξής:

- Σταθερές σημειακές πηγές καύσης (θερμοηλεκτρικά εργοστάσια κεντρική θέρμανση).
- Σταθερές πηγές (βιομηχανία, βιοτεχνικές δραστηριότητες).
- Κινητές πηγές (αυτοκίνητα, αεροπλάνα, πλοία).
- Εκτέλεση έργων μικρών και μεγάλων (οδοποιίας, σήραγγες, ανεγέρσεις κατοικιών και εγκαταστάσεων κλπ .
- Γεωργικές δραστηριότητες
- Κτηνοτροφικές δραστηριότητες

Επιπτώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων στον άνθρωπο

Οι βλαβερές επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης στους ανθρώπους είναι ο βασικότερος λόγος των προσπαθειών που καταβάλλονται για την πλήρη κατανόηση και τον έλεγχο των πηγών εκπομπής των διαφόρων αερομεταφερόμενων ρύπων.

Αναλυτικά για τους σημαντικότερους ρύπους και τις επιπτώσεις τους στην υγεία και την ευεξία του ανθρώπου είναι γνωστά τα εξής:

Το διοξείδιο του θείου (SO₂)

Είναι γενικά αέριο αποπνικτικό. Επιδρά στο αναπνευστικό σύστημα, ιδιαίτερα όταν συνδυάζεται με υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων και υγρασία. Εισπνεόμενο προκαλεί ερεθισμό του βλεννογόνου, του ρινοφάρυγγα, του λάρυγγα και των βρόγχων. Σε ακραίες καταστάσεις μπορεί να προκληθεί σπασμός του λάρυγγα και πνευμονικό οίδημα.

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Εμφανίζει μεγάλη τάση να ενωθεί με την αιμοσφαιρίνη του αίματος και να σχηματίσει ανθρακοξυ-αιμοσφαιρίνη. Η ένωση αιμοσφαιρίνη-CO είναι 245 φορές πιο σταθερή από την αντίστοιχη με οξυγόνο ελαττώνοντας έτσι την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει ικανή ποσότητα οξυγόνου στους ιστούς με αποτέλεσμα να εμφανίζονται συμπτώματα ανοξίας. Επίσης επηρεάζεται το κεντρικό νευρικό σύστημα, αρχίζοντας από κεφαλαλγίες και

αναπνευστικές δυσκολίες και μπορεί να φτάσει μέχρι το θάνατο. Σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να οδηγήσει σε ανωμαλίες της όρασης, κακή εκτίμηση του χώρου και του χρόνου (απώλεια προσανατολισμού) και σε ακραίες περιπτώσεις σε απώλεια των αισθήσεων και θάνατο.

Το διοξείδιο του αζώτου (NO₂)

Φαίνεται να ασκεί παράλληλη δράση με το διοξείδιο του θείου αλλά εντονότερη. Το μονοξείδιο και το διοξείδιο του αζώτου προκαλούν έντονο ερεθισμό του τραχειοβρογχικού βλεννογόνου και του αναπνευστικού επιθηλίου. Χαρακτηριστικό για τους νιτρώδεις ατμούς είναι ότι αν η συγκέντρωση τους δεν είναι πολύ μεγάλη τα συμπτώματα από την εισπνοή δεν είναι άμεσα αλλά εμφανίζονται μετά από μερικές ώρες.

Το όζον (O₃)

Είναι εξαιρετικά τοξικό αέριο. Η παρουσία του στην στρατόσφαιρα συμβάλλει αποφασιστικά στην προστασία των ανθρώπων, ζώων και φυτών από την υπεριώδη ακτινοβολία, αντίθετα όμως στην χαμηλότερη ατμόσφαιρα το όζον αποτελεί ένα ισχυρό και ερεθιστικό ρύπο ο οποίος βλάπτει την ανθρώπινη υγεία, τις αγροτικές καλλιέργειες ακόμη και τα δομικά υλικά. Προκαλεί ελάττωση των πνευμονικών λειτουργιών, βήχα, δύσπνοια, άσθμα. Έκθεση του ατόμου σε εξαιρετικά υψηλές συγκεντρώσεις (>9 ppm) μπορεί να προκαλέσει ζάλη εμετούς κ. ά. Οι ερευνητές πιστεύουν ότι το όζον είναι η δεύτερη μεγαλύτερη αιτία των πνευμονικών νοσημάτων μετά από τα μικρά σωματίδια, από το κάπνισμα - ενεργητικό και παθητικό – τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων και την καύση του ξύλου.

Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀)

Σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι επιβλαβή για τους πνεύμονες του ανθρώπου, προκαλούν βρογχίτιδες, ερεθισμό των ματιών, δερματικές παθήσεις και αύξηση του αριθμού των θανάτων ιδιαίτερα όταν οι αιωρούμενες ουσίες είναι τοξικές.

Το βενζόλιο (C₆H₆)

Το βενζόλιο είναι ένας πολύ τοξικός και καρκινογόνος ρύπος. Παράγωγα του βενζολίου χρησιμοποιούνται στην αμόλυβδη βενζίνη για τη βελτίωση του αριθμού οκτανίων (Αρωματικό κλάσμα της βενζίνης). Έχει το υψηλότερο δείκτη επικινδυνότητας και δραστηριότητας σε σχέση με άλλες ενώσεις σύμφωνα με τον κατάλογο που έχει συντάξει η Ευρωπαϊκή Ένωση.

Μόλυβδος

Είναι τοξικός σε όλες τις μορφές του και μπορεί να εισαχθεί στον οργανισμό τόσο από την πεπτική όσο και την αναπνευστική οδό. Χαρακτηριστική είναι η αθροιστική δράση του και η εκλεκτική απόθεσή του στα οστά. Μπορεί να προκαλέσει χρόνια δηλητηρίαση (μολυβδίαση). Έντονα συμπτώματα εμφανίζονται όταν ο μόλυβδος στο αίμα είναι πάνω από 60-100μg, οπότε δημιουργούνται προβλήματα στο ρυθμό παραγωγής του αίματος. Ασκεί μεγαλύτερη επίδραση σε άτομα μικρής ηλικίας προκαλώντας ανωμαλίες στις λειτουργίες των κυττάρων, διαταραχές στις νεφρικές λειτουργίες, καθώς και νευρικές ανωμαλίες.

Πίνακας 1: Επιπτώσεις στην υγεία από ρυπαντικές ουσίες

Ρυπαντική ουσία στον αέρα	Βαθμολογία*	Επιπτώσεις στην υγεία
Βενζόλη	9	Καρκινογόνο, προκαλεί αναιμία
1,3 Βουταδιένιο	8	Καρκινογόνο ουσία
Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες	8	Καρκινογόνος ουσία, αντοχή στο περιβάλλον
Αρσενικό και στοιχεία	8	Καρκινογόνος ουσία, αντοχή στο περιβάλλον
Χρώμιο και στοιχεία	8	Καρκινογόνος ουσία
Νικέλιο και στοιχεία	8	Καρκινογόνος ουσία, μπορεί να επηρεάσει το αναπνευστικό σύστημα, αντοχή στο περιβάλλον
Κάδμιο και στοιχεία	7	Καρκινογόνος ουσία που συνδέεται με τον καρκίνο του προστάτη και των νεφρών άνθρωπο και επίσης, καρκίνο του πνεύμονα και των όρχεων στα ζώα. Ο καπνός από το κάψιμο του καδμίου ή του οξειδίου του καδμίου μπορεί σε βαριά περιστατικά, να επιδράσει στο αναπνευστικό σύστημα, αντοχή στο περιβάλλον.
Διοξίνες και φουράριο	7	Καρκινογόνος ουσία, ασθένεια του δέρματος, αντοχή στο περιβάλλον και βιολογικά συσσωρεύσιμο.
Υδράργυρος	7	Μπορεί να προκαλέσει αναπαραγωγικά προβλήματα, αντοχή στο περιβάλλον και βιολογικά συσσωρεύσιμο.

Διχλωρομεθάνιο	5	Πιθανός καρκινογόνος ουσία, μέτρια αντοχή στο περιβάλλον. Οι υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσουν αναισθησία και θάνατο. Η έκθεση μπορεί να ερεθίσει τους πνεύμονες, να προκαλέσει οίδημα στους πνεύμονες και καρδιακή αρρυθμία. Η μακροπρόθεσμη έκθεση σε υψηλά επίπεδα μπορεί να καταστρέψει το συκώτι η τον εγκέφαλο.
Φορμαλδεΐδη	5	Καρκινογόνος ουσία, ερεθίζει το δέρμα, τα μάτια και το αναπνευστικό σύστημα, μπορεί να παροξύνει σε άσθμα.
Στυρένιο	5	Πιθανός καρκινογόνος ουσία.
1,4 διχλωροβενζόλη	3	Πιθανός καρκινογόνος ουσία, μέτρια αντοχή στο περιβάλλον.
Τετραχλωροαιθυλένιο	3	Πιθανός καρκινογόνος ουσία.
Στοιχεία μαγνησίου	3	Μπορεί να επηρεάσει την εγκεφαλική λειτουργία

**Η υψηλή βαθμολογία αποτελεί ένδειξη για μεγαλύτερη ανησυχία. Πηγή: EPAV (1999c)*

Αιωρούμενα σωματίδια (PM)

Τα σωματίδια με την εισπνοή μεταφέρονται στη ρινική κοιλότητα όπου τα χονδρά (>2μm) ενώ τα λεπτά <0,2 μm ακολουθούν τη ροή του αέρα και πολλά από αυτά τα διαπηδήσουν τις αναπνευστικές μεμβράνες και να φράσουν στους πνεύμονες και το αίμα. Στην επιφάνεια των σωματιδίων μπορεί να προσροφηθούν τοξικές ουσίες που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα και να μεταφερθούν στους πνεύμονες και το αίμα. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι επιβλαβή για τους πνεύμονες του ανθρώπου, προκαλούν βρογχίτιδες, ερεθισμό των ματιών, δερματικές παθήσεις και αύξηση του αριθμού των θανάτων ιδιαίτερα όταν τα σωματίδια προέρχονται από περιβάλλον που υπάρχουν αιωρούμενες τοξικές ουσίες.

PAN

Είναι δευτερογενείς φωτοχημικός ρύπος. Προκαλεί προβλήματα στο αναπνευστικό σύστημα και στα μάτια.

Ραδόνιο

Είναι άχρωμο, άοσμο, ραδιενεργό αέριο το οποίο δημιουργείται από τη φυσική διάσπαση του Ουρανίου που περιέχεται στα υλικά με τα οποία κτίζονται τα κτίρια. Η παγίδευση του μέσα στα κτίρια σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να οδηγήσει σε καρκίνο των πνευμόνων. Μεγάλοι Οργανισμοί Υγείας θεωρούν το Ραδόνιο υπεύθυνο για χιλιάδες περιπτώσεις καρκίνου των πνευμόνων που θα μπορούσαν να είχαν αποφευχθεί. Επιπλέον αν το άτομο που εκτίθεται σε υψηλές συγκεντρώσεις Ραδονίου στο σπίτι ή στο χώρο εργασίας του, είναι ταυτόχρονα καπνιστής, τότε ο κίνδυνος είναι ακόμη μεγαλύτερος.

Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOCs)

Οι VOCs έχουν ερεθιστική, ναρκωτική και, καρκινογενή δράση κ.λ.π. Οι ενοχλήσεις για το περισσότερο από το 75% του πληθυσμού με συμπτώματα όπως πονοκέφαλοι, ερεθισμοί δέρματος και ματιών, χρόνια κόπωση, οφείλονται στην έκθεσή του σε υψηλές συγκεντρώσεις οργανικών ενώσεων. Πάνω από 50% του πληθυσμού με τακτική έκθεση στο βενζόλιο παρουσίασε προβλήματα, ενώ περισσότερες από 3000 περιπτώσεις λευχαιμίας αποδίδονται στο βενζόλιο. Οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες έχουν επιπτώσεις στο νευρικό σύστημα, προκαλούν ερεθισμούς των ματιών, της μύτης και των πνευμόνων καθώς και καταστροφές του δέρματος, του ήπατος και των νεφρών. Η δράση τους είναι συνδυαστική έτσι ώστε το αποτέλεσμα να είναι αθροιστικά και σοβαρότερο.

Πολυχλωριωμένες οργανικές ενώσεις (PCBs)

Οι **πολυχλωριωμένες οργανικές ενώσεις** (διοξίνες, διβενζοφουράνια, πολυχλωριωμένα διφαινύλια, PCBs) είναι αέριοι ρύποι που περιέχονται στα καυσαέρια καύσης ορυκτών καυσίμων (πχ καυσαέρια οχημάτων, κατά τις πυρκαγιές, από τη καύση πλαστικών, από τα υγρά ηλεκτρικά μονωτικά, από τη χρήση φυτοφαρμάκων κλπ.

Τα PCBs χρησιμοποιούνταν ως διηλεκτρικά υγρά σε μετασχηματιστές (μέχρι την απαγόρευση τους το 1985). Είναι ουσίες που δεν βιοδιασπώνται και βιοσυσσωρεύονται μέσω της τροφικής αλυσίδας. Για το λόγο αυτό καταβάλλεται μεγάλη προσπάθεια στο περιορισμό η/και εξάλειψη της χρήσης τους Η συνθήκη της Στοκχόλμης για τα POPs (Persistent Organic Pollutants) έχει ως σκοπό τον περιορισμό των χρήσεων και εκπομπών πολυχλωριωμένων ουσιών. Ουσίες όπως Aldrin, Dieldrin, Endrin, Chlordane, Heptachlor, Hexachlorobenzene, Mirex, Toxaphene, Polychlorinated Biphenyls, Dioxins, Furans) είναι σε διαδικασία περιορισμού ή και πλήρους απαγόρευσης της χρήσης τους.

4. Επιπτώσεις ατμοσφαιρικών ρυπαντών στην φύση

Στο παρελθόν, το κλίμα της γης έχει πολλές φορές αλλάξει σαν αποτέλεσμα φυσικών αιτιών. Όμως, οι αλλαγές που παρατηρούνται τα τελευταία χρόνια και αυτές που προβλέπονται στο μέλλον, οφείλονται κυρίως στην ανθρώπινη συμπεριφορά. Από την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης, οι άνθρωποι ξεκίνησαν να καίνε ορυκτά καύσιμα σε μαζικές ποσότητες για να κινήσουν οχήματα, να θερμάνουν τις κατοικίες τους, να εκτελέσουν τις επαγγελματικές τους δραστηριότητες, να τροφοδοτήσουν τα εργοστάσια με ενέργεια. Οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιούν άνθρακα και πετρέλαιο για να παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια που χρειαζόμαστε για να θερμάνουμε και να φωτίσουμε τα σπίτια μας και γενικά να καλύψουμε τις ανάγκες μας σε ενέργεια. Με την καύση των ορυκτών καυσίμων έχουμε αύξηση της συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων.

Έτσι η αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα οδηγεί στον εγκλωβισμό υπερβολικής ποσότητας θερμότητας. Αυτό προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας της γης (**υπερθέρμανση του πλανήτη**), η οποία με τη σειρά της οδηγεί στην αλλαγή του κλίματος.

Όξινη βροχή

Οι όξινοι ρύποι μπορούν να αποτεθούν από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της Γης σε υγρή ή ξηρή μορφή. Ο κοινός όρος για να περιγράψει αυτή τη διαδικασία είναι η εναπόθεση ή καθίζηση όξινων ουσιών. Ο όρος **όξινη βροχή** χρησιμοποιείται για να περιγράψει συγκεκριμένη μορφή υγρής όξινης ρύπανσης η οποία κατακρημνίζεται στο έδαφος με τη βροχή, το χιονόνερο, το χιόνι, την ομίχλη, και τα σύννεφα ατμού.

Ως οξύ μπορεί να οριστεί κάθε ουσία η οποία όταν διαλύεται στο νερό δίδεται και δίνει κατιόντα υδρογόνου. Το νερό της βροχής έχει συνήθως ένα PH μεταξύ 5,0 - 5,6, λόγω των φυσικών ατμοσφαιρικών αντιδράσεων που σχετίζονται με το διοξείδιο του άνθρακα. Για λόγους σύγκρισης, το αποσταγμένο νερό δηλαδή το νερό που είναι καθαρό από οποιαδήποτε άλλη ουσία, έχει pH 7,0. Το νερό της βροχής θεωρείται ότι είναι όξινο, όταν το pH του πέσει κάτω από 5. 6 (το οποίο είναι 25 φορές πιο όξινο από το καθαρό αποσταγμένο νερό). Μερικές περιοχές στην ανατολική Βόρεια Αμερική έχουν βροχοπτώσεις με pH τόσο χαμηλό όπως 2-3 ή περίπου 1000 φορές περισσότερο όξινο από το φυσικό.

Οι Όξινες εναποθέσεις δεν είναι πρόσφατο φαινόμενο. Τον 17ο αιώνα, οι επιστήμονες παρατήρησαν τις επιπτώσεις στη βλάστηση και τους ανθρώπους της από τις εκπομπές των βιομηχανιών. Ωστόσο, ο όρος όξινη βροχή χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά δύο αιώνες αργότερα, όταν Angus Smith ο οποίος το 1872 δημοσίευσε ένα βιβλίο με τίτλο «όξινη βροχή». Στη δεκαετία του 1960, τα προβλήματα που συνδέονται με τις όξινες εναποθέσεις έγιναν ένα διεθνές πρόβλημα, όταν ψαράδες παρατήρησαν μείωση της ποσότητας των

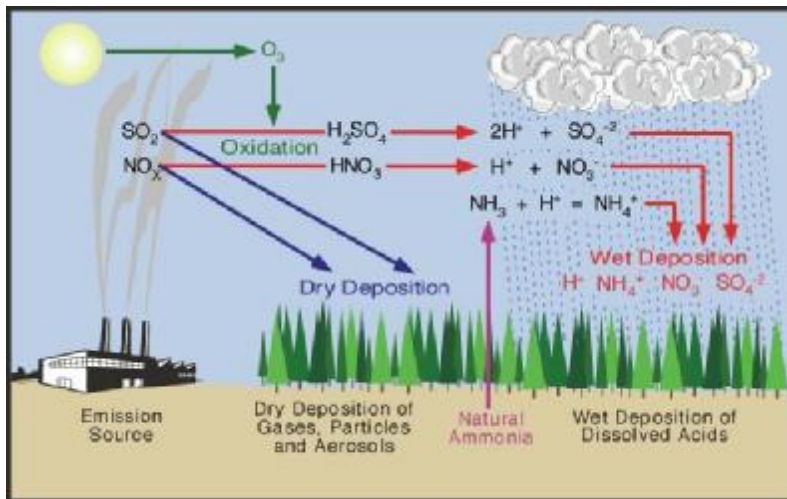
ψαριών και τις ποικιλομορφίας τους σε πολλές λίμνες σε όλη η τη Βόρεια Αμερική και την Ευρώπη.

Σχηματισμός όξινων εναποθέσεων

Όξινες εναποθέσεις μπορεί να σχηματιστούν ως αποτέλεσμα δύο διεργασιών. Έτσι έχουμε τις «υγρές όξινες εναποθέσεις» και «ξηρές όξινες εναποθέσεις». Σε ορισμένες περιπτώσεις οφείλονται στο υδροχλωρικό οξύ και τα άλλα οξέα που μπορεί να εκλυθούν άμεσα στην ατμόσφαιρα από εργοστάσια χημικής βιομηχανίας. Συνήθως οφείλονται σε δευτερογενείς ρύπους που προκύπτουν από την οξειδωση των οξειδίων του αζώτου (NO_x) και διοξειδίου του θείου (SO₂) που εκλύονται στην ατμόσφαιρα. Όταν οι ρύποι αυτοί αντιδρούν στην ατμόσφαιρα με την υγρασία μετατρέπονται σε θειικό, νιτρικό και υδροχλωρικό οξύ.

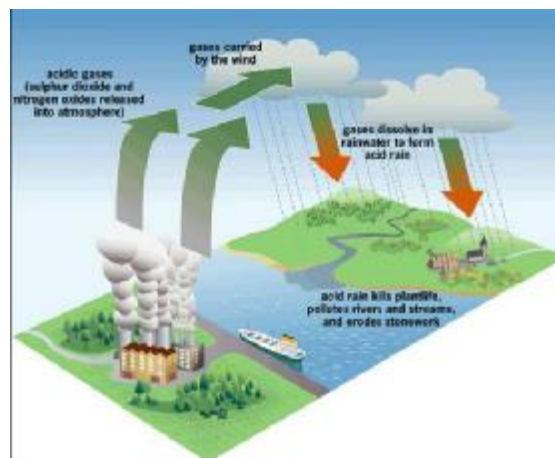
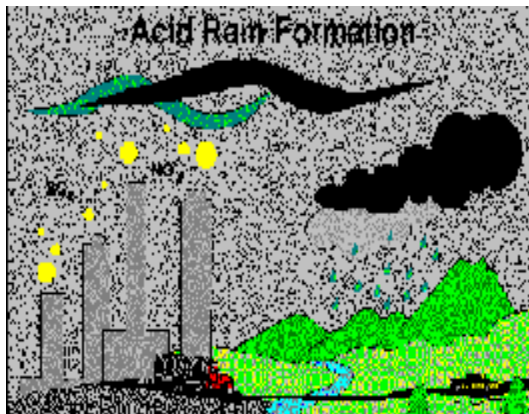
Τα υδατοδιαλυτά αυτά οξέα παρασύρονται από το νερό της βροχής, το χιόνι, το χαλάζι και εναποτίθενται στο έδαφος και στους υδάτινους αποδέκτες. Με τη διαδικασία αυτή έχουμε **υγρή όξινη εναπόθεση**. Όταν οι όξινες χημικές ουσίες (ρύποι) προσροφώνται στην επιφάνεια των αιωρούμενων στην ατμόσφαιρα στερεών ξηρών σωματιδίων, ενώ πολλές φορές τα ίδια τα αιωρούμενα στον αέρα, σωματίδια περιέχουν στη σύσταση τους όξινα συστατικά. Όταν τα σωματίδια αυτά λόγω μεγέθους αλλά και των μετεωρολογικών συνθηκών κατακρημνίζονται (καθιζάνουν), διαλύονται και αντιδρούν με το νερό του υδάτινου οικοσυστήματος και δίνουν οξέα. Με τη διαδικασία αυτή έχουμε **«ξηρές όξινες εναποθέσεις»**

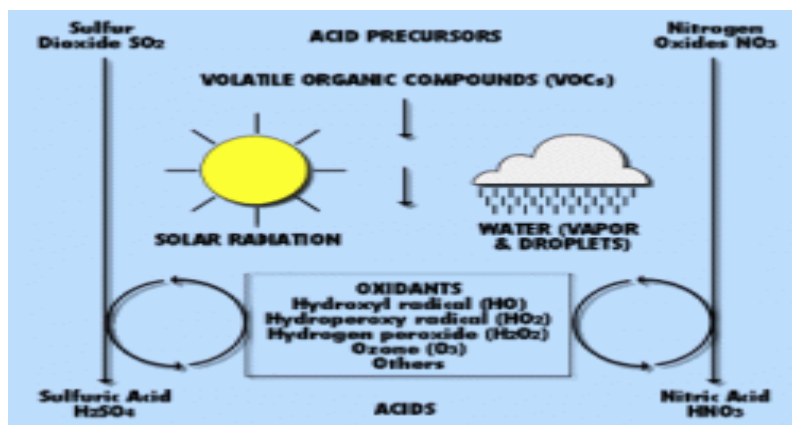
Συμπερασματικά ως **όξινη βροχή** ονομάζονται όλες οι ατμοσφαιρικές εναποθέσεις (δηλ. η βροχή, το χιόνι, το χαλάζι) οι οποίες έχουν pH χαμηλότερο από το pH της κανονικής βροχής, δηλαδή οι εναποθέσεις αυτές είναι πιο όξινες από την κανονική βροχή. Η διαδικασία οξειδωσης των οξειδίων και η μετατροπή τους σε υγρή ή ξηρή όξινη εναπόθεση μπορεί να διαρκέσει αρκετές ημέρες. Έτσι κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής οι ρύποι διαχέονται στην ατμόσφαιρα και μεταφέρονται από τα ρεύματα αέρα ανάλογα με τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν. Μπορεί να μεταφερθούν εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά από την αρχική πηγή εκπομπής. Συχνά η ρύπανση αυτή μπορεί να μεταφερθεί και πέραν των συνόρων μιας χώρας και να επηρεάσει γειτονικές και όχι μόνο χώρες. Αυτό αποκαλείται διασυνοριακή ρύπανση.



Σχήμα 1: Διαδικασίες σχηματισμού όξινων εναποθέσεων.

Οι εκπομπές του διοξειδίου του θείου είναι υπεύθυνες για το 60-70% των όξινων εναποθέσεων που εμφανίζονται σε παγκόσμιο επίπεδο. Περισσότερο από το 90% του θείου στην ατμόσφαιρα είναι ανθρώπινης προελεύσεως. Οι υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου (SO_2) και οξειδίων του αζώτου (NO_x) στην ατμόσφαιρα δημιουργούν το φαινόμενο της όξινης βροχής (Σχήμα 2).





Σχήμα 2: Παραστάσεις δημιουργίας όξινης βροχής.

5. Θεσμικό πλαίσιο για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα.

Κατά τη νέα οδηγία του 2010 της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις βιομηχανικές εκπομπές, όλα τα νέα εργοστάσια θα πρέπει να προσαρμοστούν και να ανταποκριθούν στις προδιαγραφές για νέες εγκαταστάσεις. Όλες οι εγκαταστάσεις επιτρέπεται να λειτουργούν μόνο εάν διαθέτουν άδεια η οποία περιλαμβάνει τις τιμές των ορίων εκπομπής, αυστηρά σε συμφωνία με τα όρια- επίπεδα εκπομπών που συνδέονται με τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές.

Ελληνικό Πρότυπο Ποιότητας Αέρα

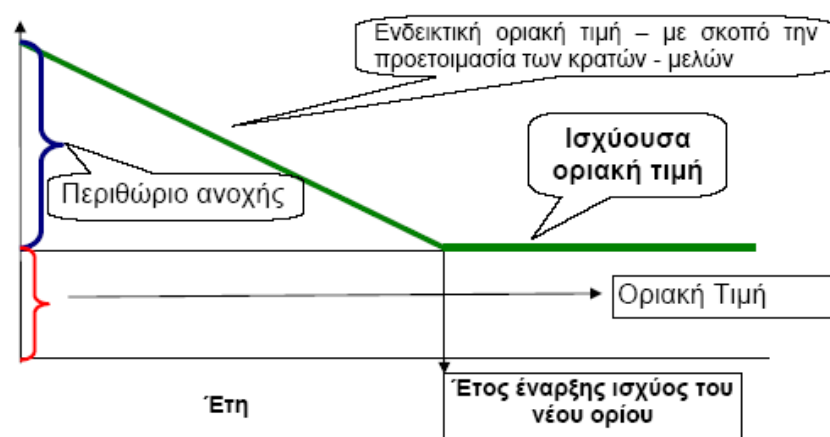
Η Ελλάδα ως μέλος της Ε.Ε υιοθέτησε την Οδηγία της Ε.Ε. 2008/50/Ε.Ε για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, με την Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) 14122/549/Ε.103/2011 (ΦΕΚ. 488/Β/30.03.11). Η Νομοθεσία θέτει όρια ποιότητας του αέρα για NO_x, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, Βενζόλιο, Pb, O₃, και CO, τα πρότυπα της οποίας τέθηκαν σε ισχύ από την 1η Ιανουαρίου 2010.

Οδηγία	Πλαίσιο αναφοράς
Κ.Υ.Α 11824/1993	Σχέδιο δράσης για την αντιμετώπιση επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Όρια εκτάκτων μέτρων για τον περιορισμό της ρύπανσης σε περιπτώσεις που κυρίως λόγω εξαιρετικά δυσμενών μετεωρολογικών συνθηκών, αναμένεται αύξηση των τιμών ρύπανσης. Τα μέτρα λαμβάνονται όταν οι μετρούμενες τιμές υπερβούν ή προσεγγίσουν τα όρια εκτάκτων μέτρων (συναγερμού) και ταυτόχρονα υπάρχει πρόβλεψη

	για συνθήκες που ευνοούν την διατήρηση ή αύξηση των τιμών ρύπανσης τις επόμενες ή την επόμενη μέρα.
Οδηγία 1996/62/ΕΚ	Εκτίμηση και διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος - Ενσωμάτωση στο Ελληνικό Δίκαιο με την ΚΥΑ 3277/209/2000, ΦΕΚ 180/Β/17-2-2000
Οδηγία 1999/30ΕΚ	Οριακές τιμές διοξειδίου του θείου, οξειδίων του αζώτου, σωματιδίων και μολύβδου, στον αέρα του περιβάλλοντος – Ενσωμάτωση στο Ελληνικό Δίκαιο με την ΠΥΣ 34/30-5-2002, ΦΕΚ 125/Α/5-6-2002
Οδηγία 2000/69/ΕΚ	Όζον και ατμοσφαιρικός αέρας – Ενσωμάτωση στο Ελληνικό Δίκαιο με την ΚΥΑ 38638/2016, ΦΕΚ 1334/Β/21-9-2005
Οδηγία 2002/3/ΕΚ	Θέσπιση ορίων για τις τιμές του όζοντος
Οδηγία 2004/107/ΕΚ	Αρσενικό, Κάδμιο, Υδράργυρος, Νικέλιο και Πολυκυκλικούς υδρογονάνθρακες στον ατμοσφαιρικό αέρα

* Για τα αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ₁₀) δεν προβλέπεται από την κείμενη νομοθεσία τόσο την Ευρωπαϊκή όσο και την Ελληνική όριο συναγερμού.

Με τις οδηγίες αυτές για κάθε ρύπο ορίζεται μία οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας, με το αντίστοιχο έτος έναρξης ισχύος της. Παράλληλα δίνεται και ένα περιθώριο ανοχής, το οποίο αθροίζεται στην οριακή τιμή, δίνοντας έτσι την ενδεικτική οριακή τιμή, η οποία ισχύει στο μεσοδιάστημα έως τη θέση σε ισχύ της οριακής τιμής. Το περιθώριο ανοχής κάθε χρόνο μειώνεται, έτσι ώστε στην ημερομηνία ισχύος του νέου ορίου να μηδενιστεί. Επιπρόσθετα, τα κράτη μέλη πρέπει να εκπονούν και να υλοποιούν σχέδια δράσης για την προετοιμασία τους όσον αφορά στην επίτευξη και τήρηση των ορίων. Στο σχήμα 3 παρουσιάζεται μια επεξήγηση της τιμής στόχου και της οριακής τιμής, όπως αυτές ορίζονται στις οδηγίες της Ε.Ε.



Σχήμα 3: Επεξήγηση της εφαρμογής της τιμής στόχου και οριακής τιμής με βάση τις οδηγίες της Ε.Ε.

Στοιχεία εκπομπών για την Ελλάδα

Με βάση και τα εθνικά στοιχεία για το 2004 της Εκθεσης EPER-2 του 2006 και της απογραφής εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (www.eionet.europa.eu/cdr) οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις με τη σημαντικότερη, αθροιστικά, συμβολή στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) της χώρας (συνολικά 104,6 εκατομμύρια τόνοι για το 2004, οι 74,4 από τον βιομηχανικό τομέα) ουσιαστικά ανήκουν στους κλάδους της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (51,1%), της παραγωγής τσιμέντου και μη μεταλλικών ορυκτών (10,6%), των διυλιστηρίων (3,2%) και της μεταλλουργίας (1,9%).

Ιδιαίτερα για τις εκπομπές CO₂ από τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις που εντάσσονται στο Εθνικό Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου, οι κλάδοι με τις αναλογικά μεγαλύτερες εκπομπές (με βάση τα κατανομημένα δικαιώματα εκπομπών για την περίοδο 2005-07, ανερχόμενα σε 71,3 εκατομμύρια τόνους) είναι αυτοί της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (73,1% του συνόλου), της παραγωγής τσιμέντου (15,5%), των διυλιστηρίων (4,8%), της παραγωγής μη μεταλλικών ορυκτών (2,4%) και της μεταλλουργίας (2,3%).

Αναφορικά με τους κλασικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους και τις εγκαταστάσεις που εμπίπτουν στις διατάξεις της Οδηγίας 2008/1/EK (IPPCD για τον ολοκληρωμένο έλεγχο και την πρόληψη της βιομηχανικής ρύπανσης), οι κλάδοι με τις αναλογικά μεγαλύτερες εκπομπές που υπερβαίνουν τον κατά ρύπο ποσοστό (Απόφαση 2000/479/EK) είναι:

- για το SO₂ (συνολικά 548,3 χιλιάδες τόνοι για το 2004) αυτοί της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (71,1% των εθνικών εκπομπών), των διυλιστηρίων (4,9%) και της μεταλλουργίας (3,1%)

- για τα NO_x (συνολικά 359,4 χιλιάδες τόνοι για το 2004) αυτοί της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (32,6%), της παραγωγής τσιμέντου και μη μεταλλικών ορυκτών (7,2%) και των διυλιστηρίων (1,2%)
- για τα VOCs (συνολικά 327,9 χιλιάδες τόνοι για το 2004) αυτός των διυλιστηρίων (2,5%)
- για τα σωματίδια είναι αυτοί της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (38.900 τόνοι για το 2004), της παραγωγής τσιμέντου και μη μεταλλικών ορυκτών (1.900 τόνοι) και της μεταλλουργίας (700 τόνοι).

Από τα προαναφερθέντα προκύπτει ότι ο κλάδος με τις αναλογικά μεγαλύτερες εκπομπές στην ατμόσφαιρα είναι αυτός της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (λογικά αναμενόμενο δεδομένης και της μη χρήσης πυρηνικής ενέργειας στη χώρα) και συνεπώς αποτελεί, κατ' αρχήν, αυτόν στον οποίο πρέπει να επικεντρωθούν οι προσπάθειες περιορισμού των εκπομπών, ιδίως του SO₂ και των σωματιδίων.

Από τα τέλη της δεκαετίας του '90 ξεκίνησε στη χώρα μας η χρήση του φυσικού αερίου στον άξονα Θεσσαλονίκη-Αθήνα με προεκτάσεις προς τη Θράκη και με την προοπτική επέκτασής του έως την Πελοπόννησο, ενώ εξαγγέλθηκε και η χρήση του αερίου και στη νήσο Κρήτη.

Πρόκειται για εξελίξεις που παράλληλα με την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου οδηγούν και σε δραστική μείωση των εκπομπών σωματιδίων και SO₂ από τις εγκαταστάσεις που υποκαθιστούν άλλα καύσιμα (στερεά, υγρά) με φυσικό αέριο.

Αναφορά στην Οδηγία 2008/1/EK

Η Οδηγία 2008/1/EK (κωδικοποίηση της Οδηγίας 96/61/EK) για τον ολοκληρωμένο έλεγχο και την πρόληψη της ρύπανσης, γνωστή και ως IPPCD, θέτει το πλαίσιο της περιβαλλοντικής αδειοδότησης (πρβλ. έκδοση Απόφασης έγκρισης περιβαλλοντικών όρων) εγκαταστάσεων που ανήκουν στους σημαντικότερους κλάδους (παραγωγή ενέργειας, τροφίμων, ορυκτών και χημικών προϊόντων, μεταλλουργία, διαχείριση αποβλήτων κ.ά.) και, κατά κανόνα, υπερβαίνουν μια, συγκεκριμένη κατά περίπτωση, δυναμικότητα. Προβλέπει διαδικασίες και προϋποθέσεις για την αδειοδότηση, οι κυριότερες από τις οποίες είναι οι ακόλουθες που κάλλιστα μπορούν να αποτελέσουν θετικά στοιχεία μιας περιβαλλοντικής πολιτικής για τον έλεγχο των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων από τη βιομηχανία:

- Η προστασία του περιβάλλοντος πρέπει κατ' αρχήν να έχει προληπτικό χαρακτήρα και να πραγματοποιείται με ολοκληρωμένο τρόπο,
- για μια σειρά ατμοσφαιρικών ρύπων επιβάλλονται οριακές τιμές εκπομπής, χωρίς να προσδιορίζονται συγκεκριμένες τεχνικές αντιρρύπανσης

- οι επιβαλλόμενες από τις αρμόδιες Αρχές οριακές τιμές εκπομπής βασίζονται στις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές (ΒΔΤ), που επιτυγχάνουν σημαντικές μειώσεις των εκπομπών, λαμβανομένων υπόψη και τεχνικοοικονομικών στοιχείων
- επιβάλλονται μέτρα προστασίας και αποκατάστασης του περιβάλλοντος για μετά την οριστική παύση λειτουργίας των εγκαταστάσεων και
- επιβάλλεται η καταγραφή των εκπομπών μιας σειράς ατμοσφαιρικών ρύπων, όταν υπερβαίνονται συγκεκριμένα επίπεδα εκφρασμένα σε kg/έτος. Τα στοιχεία καταχωρούνται σε σχετικό Μητρώο Εκπομπών προσπελάσιμο μέσω του Διαδικτύου.

Η Οδηγία αποτελεί βασικό κοινοτικό νομοθέτημα και

- επηρεάζει σημαντικά το κύκλωμα της περιβαλλοντικής αδειοδότησης, αλλά και τον τρόπο σκέψης και δράσης της Διοίκησης και των επιχειρήσεων
- υποχρεώνει τις εγκαταστάσεις να προσαρμοσθούν σε ένα σαφώς πιο περιοριστικό και δαπανηρότερο πλαίσιο, όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιδόσεις τους και
- ωθεί τις επιχειρήσεις να ενσωματώσουν στην πολιτική τους και την έννοια της, με καθαρά οικονομικά κριτήρια, μη ανταποδοτικής δαπάνης περιβαλλοντικού χαρακτήρα

Στην ιστοσελίδα του Ευρωπαϊκού γραφείου για την Οδηγία IPPC (<http://eippcb.jrc.es>) είναι αναρτημένα τα πλέον των 30 κείμενα αναφοράς (BREFs) για όλους τους κλάδους που εμπίπτουν στις διατάξεις της Οδηγίας 2008/1/EK καθώς και τα λεγόμενα οριζόντια που αφορούν περισσότερους κλάδους (για τη ψύξη και την παρακολούθηση των εγκαταστάσεων (monitoring)).

Προβλήματα Εφαρμογής

Όμως, πέρα από την θεωρία και τις αγαθές προθέσεις μπορεί να προκύψουν προβλήματα εφαρμογής, όπως, ενδεικτικά, τα ακόλουθα:

Θεωρητικά, τα λεγόμενα BREFs (BAT References) μπορεί να αποτελούν ένα χρήσιμο “εγχειρίδιο” για την επιλογή τεχνικών αντιρρύπανσης, όμως το ενδιαφέρον εστιάζεται στον καθορισμό των οριακών τιμών εκπομπής διαφόρων κατά περίπτωση ρύπων (ειδικά για τις εκπομπές βαρέων μετάλλων, συνήθως οι εκπομπές τους μειώνονται μέσω της μείωσης των εκπομπών σωματιδίων, στα οποία βρίσκονται εγκλωβισμένα). Για να χαρακτηρισθούν οι διάφορες τεχνικές ως Βέλτιστες Διαθέσιμες προϋποθέτουν την επίτευξη “χαμηλών επιπέδων εκπομπών”, διατύπωση σχετικά νεφελώδης. Οι κλαδικές εργασίες προσδιορίζουν, όχι με εξαντλητικό τρόπο, τις ΒΔΤ, χωρίς όμως να προτείνουν συγκεκριμένες κατά περίπτωση οριακές τιμές εκπομπών, αλλά εύρος τιμών.

Με δεδομένο ότι ο καθορισμός των οριακών τιμών εκπομπών εναπόκειται τελικά στις αρμόδιες Αρχές αυτή η εξέλιξη, φαινομενικά ευνοϊκότερη, μπορεί να αποτελέσει σημείο τριβής, ιδίως στην περίπτωση μη αποδοχής της Απόφασης της Διοίκησης από την τοπική κοινωνία.

Πηγή προβληματισμού μπορεί να αποτελεί η κατάρτιση των λεγομένων ισοδύναμου αποτελέσματος εθνικών σχεδίων για τον έλεγχο εκπομπών που επιτρέπουν χαλαρότερη αντιμετώπιση ορισμένων εγκαταστάσεων με αντιστάθμισμα αυστηρότερη αντιμετώπιση ορισμένων άλλων (Οδηγία 2001/80/ΕΚ για τις Μεγάλες Εγκαταστάσεις Καύσης και Οδηγία 2008/1/ΕΚ (IPPC)).

Αν για τις νέες εγκαταστάσεις οι κανόνες του παιχνιδιού, γνωστοί εκ των προτέρων, μπορούν να επηρεάσουν τις όποιες επιχειρηματικές επιλογές εν τη γεννέσει τους, ο καθορισμός των οριακών τιμών εκπομπών μπορεί να επηρεάσει ακόμη και τη βιωσιμότητα μιας υφιστάμενης εγκατάστασης στην περίπτωση του εκσυγχρονισμού ή/ και της προσαρμογής της. Είναι ένα πιθανότατο σημείο τριβών Διοίκησης, επιχειρήσεων και της τοπικής και μη τοπικής κοινωνίας.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά συγκεκριμένης εγκατάστασης, η γεωγραφική θέση και οι τοπικές περιβαλλοντικές συνθήκες που θα μπορούσαν να λαμβάνονται υπόψη για τον καθορισμό των οριακών τιμών εκπομπής προσφέρονται για το ενδεχόμενο ποικιλίας απόψεων των ενδιαφερομένων.

Σε κάθε περίπτωση, τίθενται θέματα αυξημένων απαιτήσεων των υποβαλλόμενων μελετών περιβαλλοντικών επιπτώσεων και αριθμητικής επάρκειας και εξειδίκευσης του προσωπικού των Υπηρεσιών που απασχολούνται με την αδειοδότηση, ώστε αυτή να ολοκληρώνεται εγκαίρως.

Επιπλέον, είναι απαραίτητος ο συντονισμός των Κεντρικών και των Περιφερειακών Υπηρεσιών, ιδίως σε θέματα ερμηνείας των νομοθετικών διατάξεων και επιλογής, των κατά περίπτωση, βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών αντιρρύπανσης.

Οι αρμόδιες Υπηρεσίες ελέγχου των εγκαταστάσεων θα πρέπει να διαθέτουν επαρκές πλήθος εξειδικευμένων ατόμων και κατάλληλο εξοπλισμό, ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις για ελέγχους, περιοδικούς (με βάση τον εθνικό/ περιφερειακό σχεδιασμό) ή εκτάκτους, και να συμβάλλουν ουσιαστικά στον περιορισμό της υποβάθμισης του περιβάλλοντος, να μην καταντούν τυποποιημένες εξετάσεις γραφειοκρατικού χαρακτήρα. Αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση η λειτουργία των εγκαταστάσεων να καλύπτεται από αδειοδοτικά έγγραφα (Απόφαση έγκρισης περιβαλλοντικών όρων) σε ισχύ, ώστε να είναι εφικτός και ο έλεγχος της περιβαλλοντικής επίδοσης των εγκαταστάσεων και ο εντοπισμός αποκλίσεων περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος.

Η εφαρμογή εθελοντικού χαρακτήρα συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης (ενδεικτικά, EN ISO 14001) μπορεί να συμβάλει στην περιβαλλοντικά ορθότερη λειτουργία των εγκαταστάσεων, χωρίς βεβαίως αυτό να σημαίνει ότι αυτές δεν πρέπει να ελέγχονται.

Αντιμετώπιση επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Με την Κ.Υ.Α 11824/1993 θεσμοθετείται σχέδιο δράσης για την αντιμετώπιση επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης και τίθενται “όρια εκτάκτων μέτρων” για τον περιορισμό της ρύπανσης σε περιπτώσεις που κυρίως λόγω εξαιρετικά δυσμενών μετεωρολογικών συνθηκών, αναμένεται αύξηση των τιμών ρύπανσης.

Τα μέτρα λαμβάνονται όταν οι μετρούμενες τιμές υπερβούν ή προσεγγίσουν τα όρια εκτάκτων μέτρων (συναγερμού) και ταυτόχρονα υπάρχει πρόβλεψη για συνθήκες που ευνοούν τη διατήρηση ή αύξηση των τιμών ρύπανσης για τις επόμενες ή την επόμενη ημέρα.

Τα αρχικά όρια για η λήψη εκτάκτων μέτρων, που αναφέρονται στην παραπάνω ΚΥΑ, τροποποιήθηκαν για τους ρύπους NO₂, SO₂ και O₃ με την εφαρμογή των Οδηγιών 1999/30/ΕΚ (ενσωμάτωση στο Εθνικό Δίκαιο με την Π.Υ.Σ. 34/30.5.2002) και 2002/3/ΕΚ.

Το μέλλον

Έχοντας εντοπίσει διάφορα προβλήματα κατά την εφαρμογή της η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει προτείνει την αναθεώρηση της Οδηγίας 2008/1/ΕΚ με βασικό σκοπό την πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης και των επιπτώσεών της που οφείλονται στις βιομηχανικές δραστηριότητες, ώστε να επιτευχθεί ένα υψηλό επίπεδο προστασίας της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος με τον πλέον οικονομικό και αποδοτικό τρόπο.

Επί μέρους στόχοι της πρότασης (και πηγή έμπνευσης) είναι:

- η επαρκέστερη εφαρμογή των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών (θα είναι δεσμευτικές οι προτεινόμενες από τα BREFs τιμές εκπομπής ρύπων;)
- η επαρκέστερη εφαρμογή της περιβαλλοντικής νομοθεσίας (ενίσχυση του περιβαλλοντικού ελέγχου, των εκθέσεων συμμόρφωσης και της αναθεώρησης της περιβαλλοντικής άδειας) και ενίσχυση της τεχνολογικής καινοτομίας - ο περιορισμός περιττών διοικητικών διαδικασιών και η απλοποίηση της ισχύουσας νομοθεσίας (ενσωματώνονται στην Οδηγία 6 ισχύουσες κλαδικές Οδηγίες)

η διευκόλυνση της πιθανής μελλοντικής χρήσης συστημάτων, όπως της εμπορίας εκπομπών SO₂ και NO_x, κατ’ αναλογία αυτού για το CO₂.

6. Τεχνολογίες αντιμετώπισης επίδρασης αερίων ρύπων

Στην ενότητα αυτή γίνεται αναφορά στις τεχνολογίες αντιμετώπισης της ρύπανσης από σωματίδια και αέριες εκπομπές που εφαρμόζονται σε διάφορες βιομηχανικές εγκαταστάσεις και για διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες.

Σε γενικές γραμμές, οι εφαρμοζόμενες τεχνολογίες αντιρρύπανσης για τα αιωρούμενα σωματίδια επιτρέπουν την ανάκτηση του «απομακρυσμένου ρύπου» - πρακτική που συχνά ακολουθείται από τη βιομηχανία. Αντίθετα, σε ό,τι αφορά τις αέριες εκπομπές, οργανικές ή ανόργανες, η συνήθης πρακτική είναι η εφαρμογή μέτρων για τη μείωση εκπομπών στην πηγή με κατάλληλες βελτιστοποιήσεις στην παραγωγική διαδικασία, καθώς η ανάκτηση ουσιών μετά την εφαρμογή της αννιρρυπαντικής τεχνολογίας είναι είτε δύσκολη είτε αδύνατη, καθώς ο ρύπος μπορεί να έχει υποστεί διάσπαση ή χημική μετατροπή σε άλλα βλαβερά για το περιβάλλον, συστατικά. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται ενδεικτικά μερικές τεχνολογίες ελέγχου αέριας ρύπανσης.

Πίνακας 2 : Τεχνολογίες ελέγχου αέριας ρύπανσης

❖ Συστήματα απομάκρυνσης σωματιδίων	<ul style="list-style-type: none">◆ Στατικοί διαχωριστές ή θάλαμοι καθίζησης (αποκονίωσης) με βαρύτητα◆ Κυκλώνες◆ Διαχωριστές πρόσκρουσης (ή συλλέκτες αχλύος)◆ Φίλτρα στρώματος ή κλίνης διηθητικού υλικού◆ Σακκόφιλτρα◆ Ηλεκτρόφιλτρα◆ Πλυντρίδες
❖ Συστήματα απομάκρυνσης αερίων ρύπων	<ul style="list-style-type: none">◆ Πλυντρίδες◆ Συστήματα απορρόφησης◆ Συστήματα προσρόφησης (π.χ. κλίνη ενεργού άνθρακα)◆ Συμπυκνωτήρες◆ Πυρσός◆ Συστήματα καύσης - καταλυτικοί μετατροπείς

Σχεδιασμός της διεργασίας

Τα σημαντικότερα βήματα στην αλληλουχία σχεδιασμού είναι ο προκαταρκτικός προσδιορισμός του προβλήματος και μια σειρά από σημεία λήψης αποφάσεων τα οποία αποτελούνται από τις εναλλακτικές λύσεις και τα σχετιζόμενα με αυτά τα επιμέρους προβλήματα.

Σε κάθε στάδιο λήψης απόφασης, πρέπει να αξιολογηθούν οι εναλλακτικές λύσεις και να επιλεγεί αυτή η οποία είναι η πιο εφικτή τεχνικά και οικονομικά. Η λεπτομερής αξιολόγηση της κάθε εναλλακτικής λύσης σε κάθε σημείο λήψης απόφαση απαιτεί την επίλυση όλων των επιμέρους προβλημάτων που σχετίζονται με αυτή την εναλλακτική λύση.

Πριν τον σχεδιασμό οποιαδήποτε συσκευής απομάκρυνσης, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη πληροφορίες σχετικά με τα αιωρούμενα σωματίδια, το ρεύμα του αερίου και τις συνθήκες τις διεργασίας.

Τα χαρακτηριστικά εκείνα των αερίων σωματιδίων που αφορούν είναι:

1. Μέγεθος
2. Κατανομή μεγέθους
3. Σχήμα
4. Πυκνότητα
5. Κολλώδεις υφή
6. Διαβρωτική ικανότητα
7. Αντιδραστικότητα
8. Τοξικότητα

Τα χαρακτηριστικά του αερίου ρεύματος είναι:

1. Πίεση
2. Θερμοκρασία
3. Ιξώδες
4. Υγρασία,
5. Χημική σύσταση
6. Ευφλεκτότητα

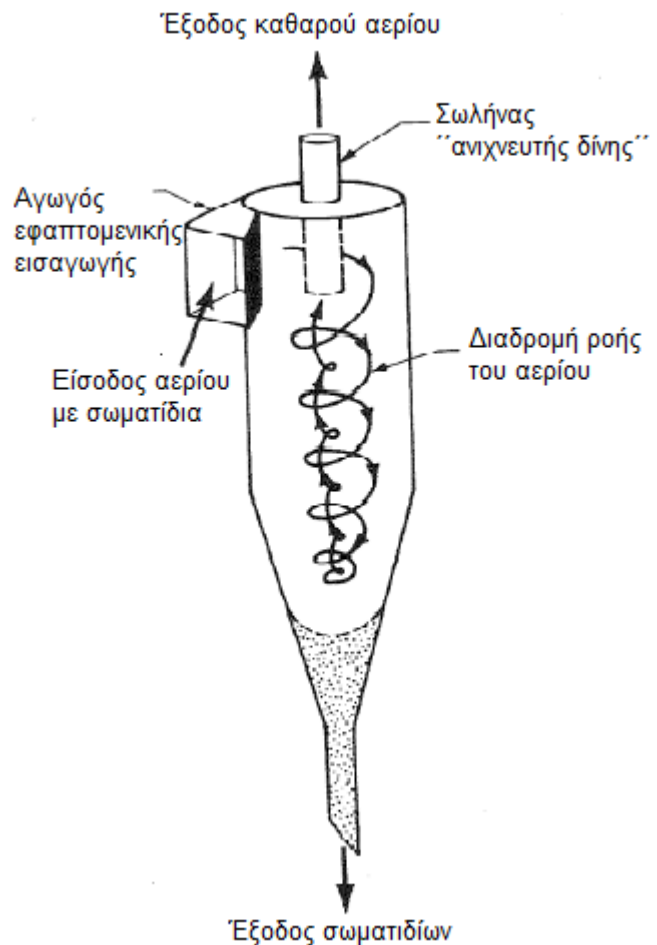
Στις συνθήκες της διεργασίας, συνήθως περιλαμβάνονται:

1. Παροχή αερίου
2. Φόρτιση σε σωματίδια
3. Απαιτήσεις για την απόδοση απομάκρυνσης
4. Επιτρεπόμενη πτώση πίεσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΚΥΚΛΩΝΕΣ

2.1 Εισαγωγή

Οι κυκλώνες χρησιμοποιούνται για το διαχωρισμό και την ανάκτηση βιομηχανικής σκόνης από τον αέρα ή από αέρια διεργασιών. Για παράδειγμα, χρησιμοποιούνται για ανάκτηση και ανακύκλωση κάποιων καταλυτών σε διυλιστήρια πετρελαίου και για ανάκτηση καφέ που έχουν ξηραθεί με ψύξη σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας τροφίμων. Ο συνηθισμένος τύπος κυκλώνα είναι απλός στην κατασκευή και έχει πολύ χαμηλό αρχικό κόστος από τους άλλους τύπους εξοπλισμού συλλογής σκόνης. Το αέριο που είναι φορτισμένο με σωματίδια εισέρχεται εφαπτομενικά στο πάνω μέρος του κυκλώνα και αναγκάζεται η ροή του σε μια σπείρα προς τα κάτω απλώς λόγω του σχήματος του κυκλώνα και της εφαπτομενικής εισαγωγής, όπως φαίνεται στο σχήμα. Άλλος τύπος είναι ο αξονικός κυκλώνας με πτερύγια, ο οποίος έχει αξονική είσοδο με σταθερά στραμμένα πτερύγια για να επιτυγχάνεται η σπειροειδής ροή. Τα σωματίδια προσκρούουν στο εξωτερικό τοίχωμα λόγω φυγοκεντρικής δύναμης και της αδράνειας και ύστερα ολισθαίνουν προς το κάτω μέρος του κυκλώνα, εκεί το αέριο αναστρέφει την κάτω σπείρα του και κινείται προς τα πάνω σε μια μικρότερη εσωτερική του. Το καθαρισμένο αέριο εξέρχεται από το πάνω μέρος περνώντας από σωλήνα και τα σωματίδια από κάτω μέσω ενός κλεισμένου αγωγού από μια πτερυγοβαλβίδα με ελατήριο ή από μία περιστροφική βαλβίδα. Η γεωμετρία του κυκλώνα ποικίλει αλλά οι τύποι κωνικοί-κυλινδρικοί αντίστροφης ροής είναι οι πλέον συνηθισμένοι. Γενικά, οι κυκλώνες δεν είναι επαρκείς από μόνοι τους, αλλά το χαμηλό κόστος αρχικού κεφαλαίου και η σχεδόν χωρίς ανάγκη για συντήρηση λειτουργία τους, τους καθιστούν ιδανικούς για χρήση ως συσκευές αρχικού καθαρισμού για την απομάκρυνση μεγάλης διαμέτρου σωματιδίων,



πριν από σακόφιλτρα, πλυντρίδες ή ηλεκτροστατικά φίλτρα. Με καλό σχεδιασμό οι κυκλώνες είναι πολύ αποτελεσματικοί στην απομάκρυνση σωματιδίων με διάμετρο μεγαλύτερη των 10 μm ($2.73 \cdot 10^{-6}$ in.). Σε μικρότερα σωματίδια η απόδοση μειώνεται αισθητά. Οι κυκλώνες μπορούν να χειριστούν μεγάλα εύρη παροχών που κυμαίνονται από 50 m³/hr έως 50000 m³/hr . Συνήθως όμως, όταν η παροχή υπερβαίνει τα 20000 m³/hr το αέριο ρεύμα διαχωρίζεται σε κυκλώνες οι οποίοι είναι τοποθετημένοι εν παραλλήλω (ή αλλιώς πολυκυκλώνες) για την αποφυγή προβλημάτων που σχετίζονται με ανεμιστήρες και το λοιπό βοηθητικό εξοπλισμό. Επιπλέον, οι μικροί σε διάμετρο κυκλώνες είναι πιο αποδοτικοί και λειτουργούν σε μικρότερες πτώσεις πίεσης.

2.2 Θεωρία

Το αέριο κατά την είσοδό του στο κυλινδρικό τμήμα του κυκλώνα στροβιλίζεται κινούμενο προς τα κάτω σχηματίζοντας ένα φυγόκεντρικό πεδίο, στο οποίο η μεγαλύτερη δύναμη ασκείται στο κωνικό τμήμα του κυκλώνα, ωθώντας τα σωματίδια προς τα τοιχώματα της συσκευής. Σε αυτό το σημείο η ταχύτητα είναι μηδενική (σημείο ηρεμίας όπου η πίεση έχει τη μεγαλύτερη τιμή), επιτρέποντας την πτώση των σωματιδίων στο δοχείο συλλογής που βρίσκεται στη βάση του κυκλώνα.

Η φυγόκεντρη δύναμη (F) που ασκείται σε ένα σωματίδιο στον κυκλώνα μπορεί να εκφραστεί ως:

$$F = \frac{r_p d_p^3 V_p^2}{R} \quad (2.1)$$

Όπου: ρ_p η πυκνότητα του σωματιδίου, Kg /m³ ή (lb/ft³)

d_p η διάμετρος του σωματιδίου, μm ή (in.)

V_p η οριακή ταχύτητα του σωματιδίου στην ακτινική διεύθυνση, m/hr ή (ft / hr)

R η ακτίνα του σώματος του κυκλώνα, m ή (ft)

Η εξίσωση (2.1) εξηγεί αρκετά από τα χαρακτηριστικά των κυκλώνων. Για παράδειγμα το γινόμενο $r_p * d_p^3$ είναι ανάλογο της μάζας του σωματιδίου. Όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα, τόσο μεγαλύτερη είναι η δύναμη που ασκείται στο σωματίδιο. Ως συνέπεια, η τάση κίνησης προς τα τοιχώματα αυξάνεται και τα σωματίδια συλλέγονται ευκολότερα. Η εξίσωση (2.1) επίσης εξηγεί γιατί οι μικρότεροι κυκλώνες είναι αποδοτικότεροι στη συλλογή σωματιδίων,

καθώς η μείωση της ακτίνας του σώματος του κυκλώνα οδηγεί σε αύξηση της φυγόκεντρης δύναμης.

Αντίθετα από τη φυγόκεντρη δύναμη δρα μια δύναμη αντίστασης, η οποία προκαλείται από τη σπειροειδή κίνηση του αερίου προς τον κεντρικό άξονα του κυκλώνα και την τύρβη του ρεύματος, και έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά των μη συλλεγόμενων σωματιδίων στην έξοδο της συσκευής.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η κίνηση του αερίου περιλαμβάνει μία εξωτερική καθοδική σπείρα και μία εσωτερική ανοδική σπείρα. Η περιοχή ανάμεσα στις δύο σπείρες καθορίζει τον κεντρικό άξονα του κυκλώνα με ύψος και διάμετρο Z_c ή L^m και d_c , αντιστοίχως και εξαρτάται από τις διαμέτρους των εξόδων D_d και D_e . Στην εξωτερική σπείρα η οριακή ταχύτητα του σωματιδίου στην ακτινική διεύθυνση αυξάνεται με τη μείωση της ακτινικής θέσης σε μια μέγιστη τιμή (V_{max}) και στην εσωτερική σπείρα η οριακή ταχύτητα του σωματιδίου στην ακτινική διεύθυνση μειώνεται, καθώς το σωματίδιο πλησιάζει προς το κέντρο.

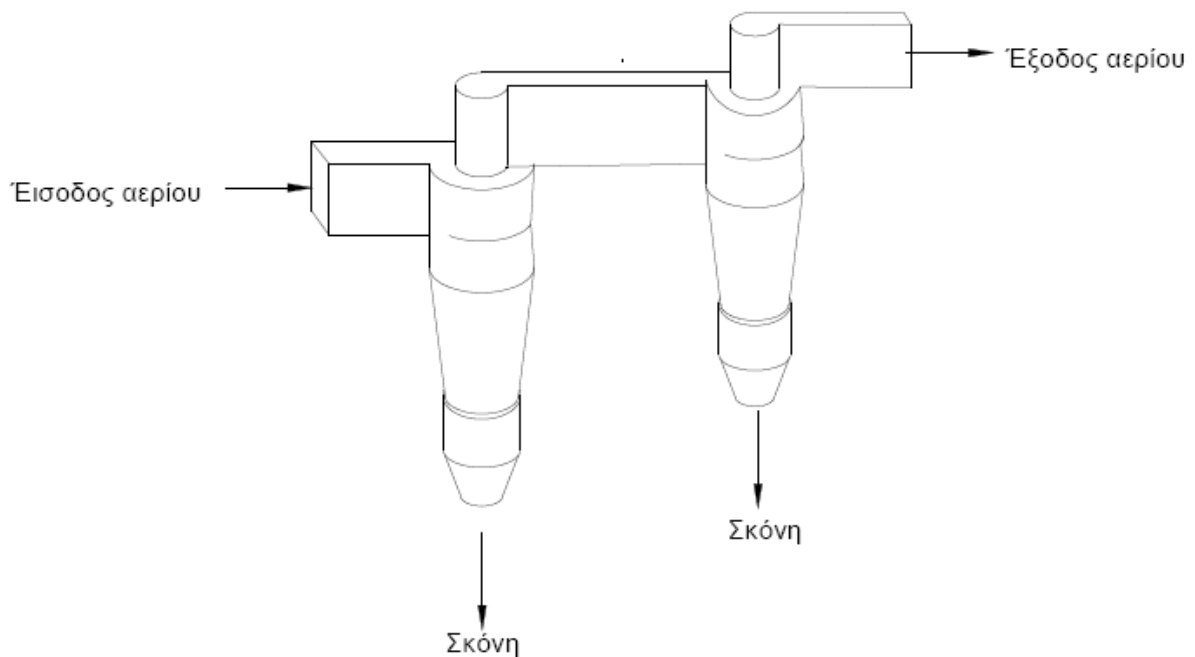
Όπως έχει προαναφερθεί, οι μικρής διαμέτρου κυκλώνες επιτυγχάνουν υψηλότερες αποδόσεις απομάκρυνσης σωματιδίων. Στα μειονεκτήματά τους συγκαταλέγονται η υψηλή πτώση πίεσης και η αδυναμία τους να χειριστούν μεγάλες ογκομετρικές παροχές. Όταν οι κυκλώνες τοποθετούνται σε σειρά ή εν παραλλήλω τα προβλήματα αυτά εξαλείφονται, όμως αυτού του είδους οι διατάξεις έχουν αυξημένο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας. Επιπροσθέτως οι κυκλώνες που τοποθετούνται εν παραλλήλω τείνουν να «βουλώνουν» ευκολότερα.

Το σχήμα 2.1 απεικονίζει μια τυπική διάταξη κυκλώνων σε σειρά. Συνήθως ο πρώτος κυκλώνας στη διάταξη έχει μεγαλύτερη διάμετρο σώματος και συλλέγει τα μεγαλύτερα σωματίδια. Ο κυκλώνας που ακολουθεί έχει μικρότερη διάμετρο σώματος και είναι πιο αποδοτικός στη συλλογή των μικρότερων σωματιδίων. Σε αυτή τη διάταξη επιτυγχάνουμε μείωση της σωματιδιακής φόρτισης στην είσοδο του δεύτερου κυκλώνα και αποφεύγουμε προβλήματα από την τριβή των σωματιδίων στη συσκευή. Επίσης, ακόμη και στην περίπτωση που ο πρώτος κυκλώνας βουλώσει, ο δεύτερος θα απομακρύνει μέρος των σωματιδίων. Ένα από τα μειονεκτήματα είναι ότι η πτώση πίεσης που προκαλείται στον δεύτερο κυκλώνα προστίθεται σε αυτή του πρώτου, αυξάνοντας τη συνολική πτώση πίεσης του συστήματος.

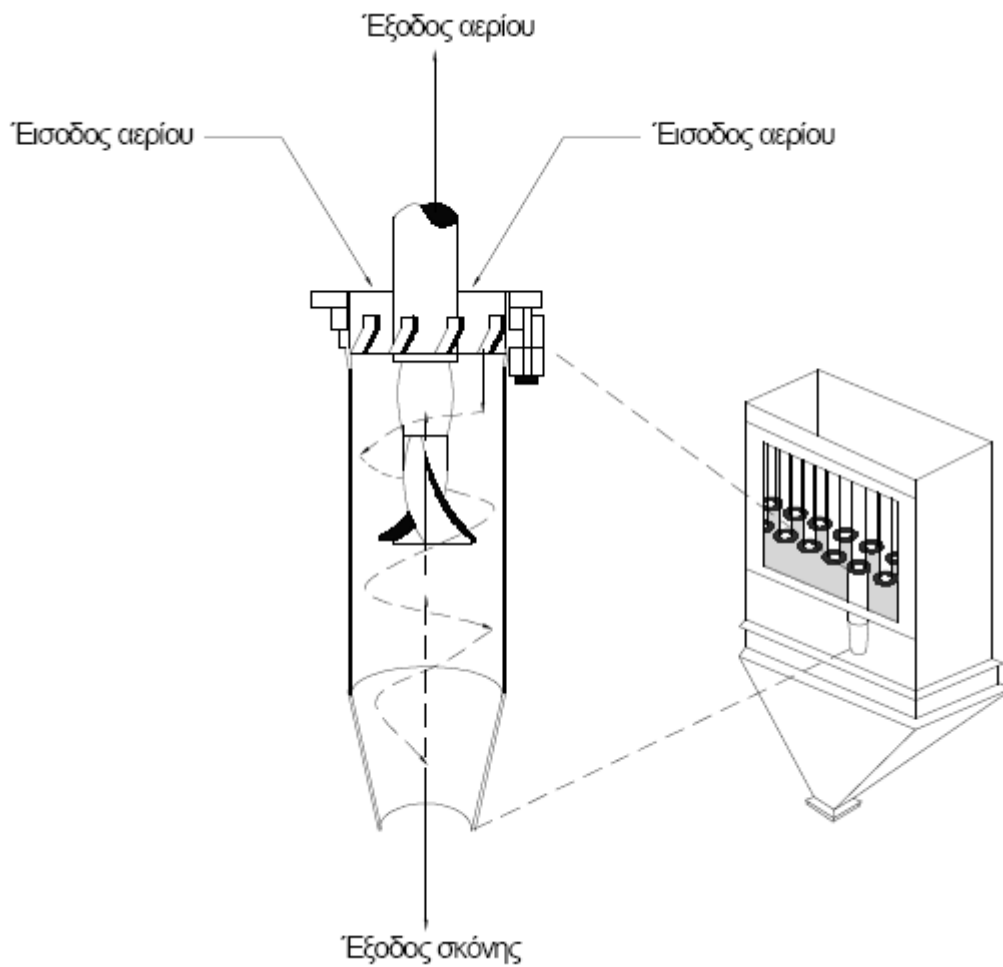
Ένας από τους διαφορετικούς τύπους κυκλώνων εν παραλλήλω που έχουν σχεδιαστεί απεικονίζονται στο σχήμα 2.2. Καθώς οι συστοιχίες των κυκλώνων στην εν λόγω διάταξη

έχουν μια κοινή είσοδο για το αέριο ρεύμα, μπορούν να χειριστούν μεγάλες παροχές σε σχετικά χαμηλές πτώσεις πίεσης.

Σε διατάξεις όπου χρησιμοποιείται κοινό δοχείο συλλογής των σωματιδίων (σχήμα 2.2), κάθε κυκλώνας θα πρέπει να έχει την ίδια πτώση πίεσης. Σε διαφορετική περίπτωση το αέριο ρεύμα θα ρέει μέσω ορισμένων μόνο από τους κυκλώνες.

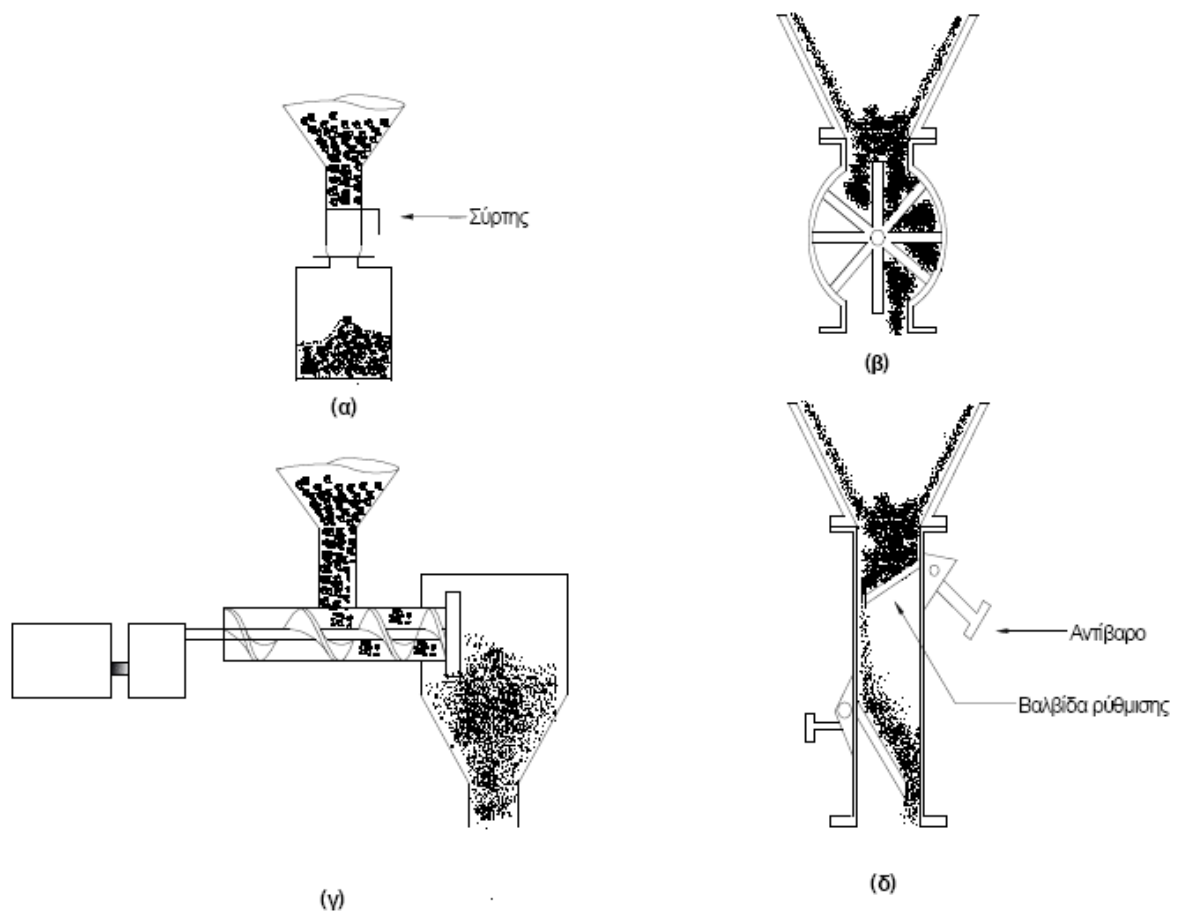


Σχήμα 2.1: Κυκλώνες σε σειρά



Σχήμα 2.2: Κυκλώνες εν παραλλήλω

Προσοχή επίσης απαιτείται κατά τον σχεδιασμό/επιλογή του δοχείου συλλογής των σωματιδίων καθώς θα πρέπει να αποφευχθεί η είσοδος αερίου ρεύματος στον κυκλώνα. Συστήνεται η χρήση μεγάλου βάθους ώστε η σκόνη που συλλέγεται να βρίσκεται κάτω από το σημείο όπου η σπείρα αρχίζει την ανοδική της πορεία. Η προσθήκη μηχανικού εμβόλου για την περιοδική απομάκρυνση της σκόνης είναι η πλέον αποδεδειγμένη λύση. Το σχήμα 2.3 απεικονίζει μερικές από τις διαφορετικές επιλογές.



Σχήμα 2.3: Δοχεία συλλογής

2.3 Σχεδιασμός

Αρκετές θεωρίες έχουν προταθεί τα τελευταία 60 χρόνια, σε μια προσπάθεια πρόβλεψης των δύο κύριων παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τη λειτουργία ενός κυκλώνα, της απόδοσης συλλογής (η) και της πτώσης πίεσης (ΔP) κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. Οι παράμετροι αυτοί σχετίζονται με τις διαστάσεις του κυκλώνα, τις φυσικοχημικές ιδιότητες των σωματιδίων και του αερίου ρεύματος και τις συνθήκες λειτουργίας όπως την ταχύτητα του αερίου στην είσοδο, τη θερμοκρασία και την πίεση.

2.3.1 Διαστασιολόγηση

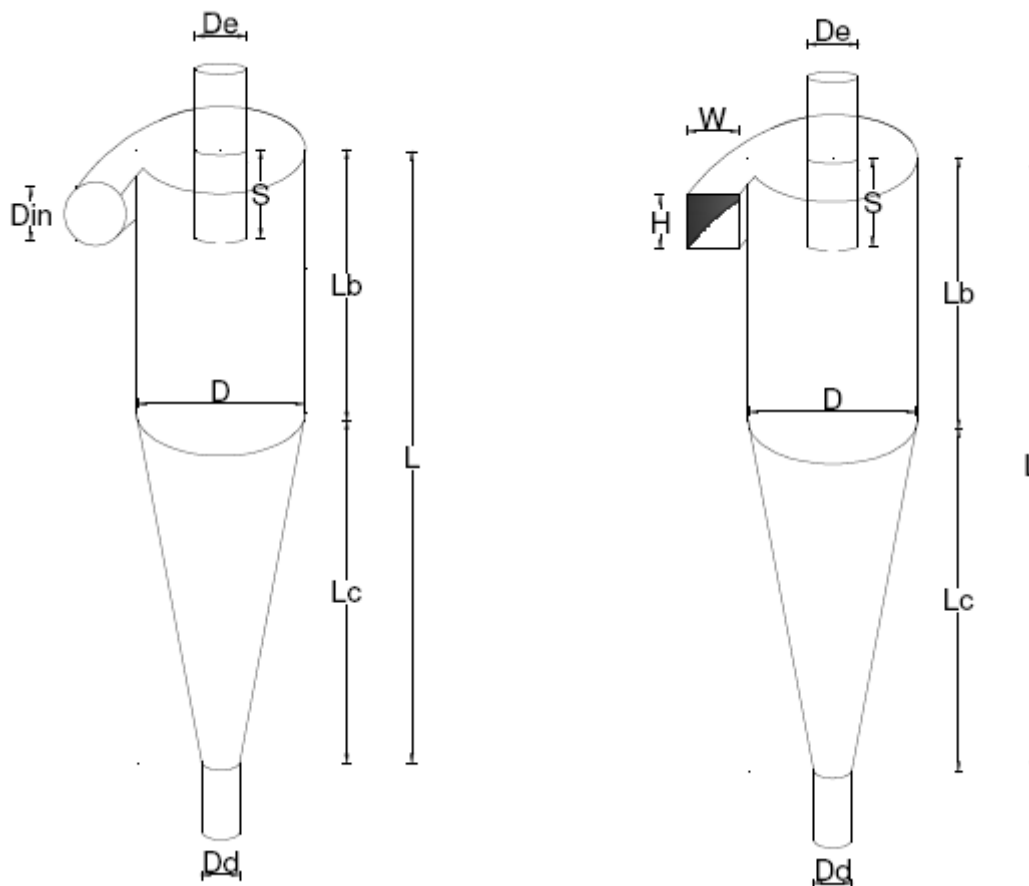
Ο σχεδιασμός των κυκλώνων βασίζεται σε επτά γεωμετρικές σχέσεις που προσδιορίζουν τις «βέλτιστες» διαστάσεις. Όλες οι διαστάσεις σχετίζονται με τη διάμετρο του σώματος του κυκλώνα και συνοψίζονται στον πίνακα 2.1 για τρεις μεγάλες κατηγορίες: υψηλής απόδοσης, συμβατικούς και υψηλής δυναμικότητας.

Κατά κανόνα, οι κυκλώνες υψηλής απόδοσης έχουν μικρότερες εισόδους και εξόδους, μικρότερη διάμετρο σώματος και μεγαλύτερο συνολικό μήκος. Η διάμετρο σώματος συνήθως δεν ξεπερνά τα 0.9 m (3 ft), και η πτώση πίεσης κυμαίνεται από 250 έως 4000 Pa (1–16 in. H₂O). Η διάμετρο σώματος ενός συμβατικού κυκλώνα συνήθως είναι μεγαλύτερη των 0.9 m (3 ft), και η πτώση πίεσης κυμαίνεται από 250 έως 3500 Pa (1–14 in. H₂O).

Σε αυτό το κεφάλαιο έχουμε εστιάσει στους κυκλώνες τύπου αντιθέτου ροής με επαπτομενική εισαγωγή καθώς αποτελούν την συνηθέστερη γεωμετρία που απαντάται στην πράξη. Οι κυριότερες διαστάσεις επεξηγούνται στο σχήμα 2.4 και θα χρησιμοποιούνται ως ακολούθως: Το κυλινδρικό σώμα έχει διάμετρο D και ύψος L_b . Το κωνικό τμήμα έχει ύψος L_c και καταλήγει στην έξοδο των σωματιδίων με διάμετρο D_d . Η είσοδος του αερίου μπορεί να είναι είτε κυκλική (με διάμετρο D_{in}) είτε ορθογώνια (με ύψος H και πλάτος W). Η διάμετρος εξόδου του αερίου (γνωστή και ως ανιχνευτής δίνης) έχει διάμετρο D_e και μήκος S , ενώ ο κυκλώνας έχει συνολικό ύψος L .

Πίνακας 2.1: Διαστάσεις τυπικού κυκλώνα

	Τύπος Κυκλώνα					
	Υψηλής Απόδοσης		Συμβατικός		Υψηλής Δυναμικότητας	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Διάμετρος Σώματος D / D	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Ύψος Στομίου Εισόδου H / D	0.5	0.44	0.5	0.5	0.75	0.8
Πλάτος Στομίου Εισόδου W / D	0.2	0.21	0.25	0.25	0.375	0.35
Διάμετρος Εξόδου Αερίου D_e / D	0.5	0.4	0.5	0.5	0.75	0.75
Μήκος Ανιχνευτή Δίνης S / D	0.5	0.5	0.625	0.6	0.875	0.85
Μήκος Σώματος L_b / D	1.5	1.4	2.0	1.75	1.5	1.7
Μήκος Κώνου L_c / D	2.5	2.5	2.0	2.0	2.5	2.0
Συνολικό Ύψος Κυκλώνα $L = (L_b + L_c)$	4.0	3.9	4.0	3.75	4.0	3.7
Διάμετρος Εξόδου Σωματιδίων D_d / D	0.375	0.4	0.25	0.4	0.375	0.4



Σχήμα 2.4 : Διαστάσεις ενός τυπικού κυκλώνα

2.3.2 Απόδοση Συλλογής

Αρκετές διαφορετικές θεωρίες έχουν προταθεί στην προσπάθεια πρόβλεψης της απόδοσης (η) ενός κυκλώνα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι καμία θεωρία δεν μπορεί να καλύψει όλους τους διαφορετικούς τύπους κυκλώνων καθώς τροποποιήσεις στην είσοδο/έξοδο του αερίου ρεύματος, προσθέσεις ελίκων κτλ, δυσκολεύουν τη θεωρητική προσέγγιση. Η παλαιότερη και ίσως δημοφιλέστερη μέθοδος υπολογισμού για τον καθορισμό της απόδοσης συλλογής ενός κυκλώνα προτάθηκε από τον Lapple. Ο Lapple αρχικά υπολόγισε το λόγο d_{pj} / d_{pc} δηλαδή τη διάμετρο του σωματιδίου προς τη διάμετρο αποκοπής και συμπέρανε ότι για ένα τυπικό κυκλώνα, η απόδοση συλλογής αυξάνει με την αύξηση του λόγου.

Η «διάμετρος αποκοπής (d_{pc})» ορίζεται ως η διάμετρος των σωματιδίων που συλλέχθηκαν με απόδοση 50%.

Η συνηθέστερη έκφραση αυτής της σχέσης είναι:

$$d_{pc} = \left[\frac{9mW}{2pN_e V_i (r_p - r_g)} \right]^{1/2} \quad (2.2)$$

Όπου: μ = ιξώδες αερίου, Kg/m^3 ή (lb/ft^3)

W = πλάτος στομίου εισόδου, m ή (ft)

N_e = αριθμός πραγματικών περιστροφών, αδιάστατος

V_i = ταχύτητα εισαγωγής του αερίου, m/sec ή (ft / sec)

ρ_g = πυκνότητα αερίου, Kg/m^3 ή (lb/ft^3)

ρ_p = πυκνότητα του σωματιδίου, Kg/m^3 ή (lb/ft^3)

Ο αριθμός πραγματικών περιστροφών αναφέρεται στον στροβιλισμό του αερίου στην εξωτερική δίνη και μπορεί εύκολα να υπολογιστεί από την εξίσωση (2.3). Οι τιμές κυμαίνονται από 1-10, οι συνηθέστερες όμως είναι 5-6.

$$N_e = \frac{1}{H} \left[L_b + \frac{L_c}{2} \right] \quad (2.3)$$

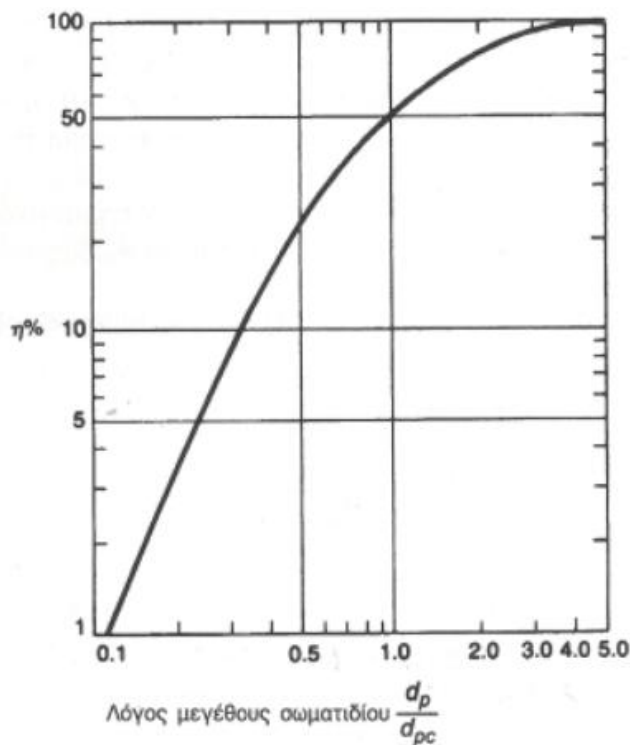
όπου H = ύψος στομίου εισόδου, m ή (ft)

L_b = μήκος του σώματος του κυκλώνα, m ή (ft)

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

Σε κυκλώνες υψηλής απόδοσης η διάμετρος αποκοπής κυμαίνεται συνήθως από 5-10 μm . Όπως είναι φυσικό, μια αύξηση του αριθμού περιστροφών, της ταχύτητας εισόδου του αερίου ή της πυκνότητας των σωματιδίων, θα οδηγήσει σε μείωση της διαμέτρου αποκοπής (δηλαδή θα έχουμε συλλογή μικρότερων σωματιδίων). Μείωση του ιξώδους θα οδηγήσει σε μείωση της δύναμης αντίστασης στη φυγόκεντρο, άρα και πάλι θα έχουμε μείωση της διαμέτρου αποκοπής. Ακολουθώντας, ο Lapple ανέπτυξε μια γενική καμπύλη για τυπικούς

συμβατικούς κυκλώνες, για τον υπολογισμό της απόδοσης συλλογής για οποιοδήποτε εύρος μεγέθους σωματιδίων (Σχήμα 2.5) .



Σχήμα 2.5: Απόδοση συλλογής σωματιδίων έναντι του λόγου μεγέθους σωματιδίου για τυπικούς συμβατικούς κυκλώνες.

Οι Theodore & De Paola προσάρμοσαν μια αλγεβρική εξίσωση πάνω στην καμπύλη του Lapple, καθιστώντας έτσι την προσέγγισή του πιο ακριβή. Η απόδοση συλλογής οποιοδήποτε μεγέθους σωματιδίου δίνεται από:

$$n_j = \frac{1}{1 + (d_{pc} / \bar{d}_{pj})^2} \quad (2.4)$$

όπου n_j = απόδοση συλλογής για το j εύρος του μεγέθους των σωματιδίων.

\bar{d}_{pj} = χαρακτηριστική διάμετρος στο j εύρος του μεγέθους των σωματιδίων, μm (in.)

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

$$n_o = \sum n_j m_j \quad (2.5)$$

όπου n_o = συνολική απόδοση συλλογής

m_j = κλάσμα μάζας των σωματιδίων στο j εύρος μεγέθους

Κατά συνέπεια η συγκέντρωση στην έξοδο της συσκευής μπορεί να υπολογιστεί ως ακολούθως:

$$C_{ex} = (1 - n_o)C_{eis} \quad (2.6)$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι πολλές και πιο ακριβείς μέθοδοι υπολογισμού απόδοσης συλλογής από αυτή του Lapple έχουν δημοσιευθεί, αλλά απαιτούν σημαντικά περισσότερη προσπάθεια για να χρησιμοποιηθούν. Παρ' όλα αυτά, το μοντέλο του Lapple είναι αρκετά αποδεκτό σε πολλές εργασίες.

2.3.3 Πτώση πίεσης

Η πτώση πίεσης είναι μια σημαντική παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό ή την αγορά κυκλώνων. Πολλές προσπάθειες έχουν καταβληθεί για την πρόβλεψη της, καθώς η αυξημένη πτώση πίεσης απαιτεί αυξημένο έργο από τον ανεμιστήρα για την προώθηση του αερίου ρεύματος μέσω του κυκλώνα (μεγαλώνοντας έτσι το κόστος λειτουργίας της συσκευής), αλλά συνήθως σημαίνει αυξημένη απόδοση συλλογής. Εξαιρέση αποτελεί η χρήση συσκευών επανάκτησης της πίεσης, οι οποίες τοποθετούνται στην έξοδο του αερίου ρεύματος και επιτυγχάνουν μείωση της πτώσης πίεσης χωρίς να επηρεάζουν την απόδοση συλλογής. Πολλά και διάφορα μοντέλα έχουν αναπτυχθεί για την πτώση πίεσης, αλλά το πιο απλό και ακριβές είναι αυτό των Shepherd και Lapple.

Η εξίσωση των Shepherd και Lapple μας δίνει την παράμετρο πτώσης πίεσης H_u , εκφρασμένη σε αριθμούς πιεζομετρικού ύψους, όπως φαίνεται παρακάτω:

$$H_u = K \frac{HW}{D_e^2} \quad (2.7)$$

Όπου:

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

Θεωρητικά η σταθερά 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 12-18.

Ο αριθμός πιεζομετρικού ύψους ταχύτητας εισαγωγής υπολογισμένος από την προηγούμενη εξίσωση μπορεί να μετατραπεί σε πτώση στατικής πίεσης ως εξής:

$$\Delta P = \frac{1}{2} r_g V_i^2 H_u \quad (2.8)$$

όπου

ΔP = πτώση πίεσης, N / m^2 ή Pa

r_g = πυκνότητα αερίου, Kg / m^3

V_i = ταχύτητα εισαγωγής αερίου, m/s

Στην συνέχεια, αφού θα έχει υπολογιστεί η πτώση πίεσης μπορούμε να βρούμε την απαίτηση σε ισχύ για το ρευστό από την σχέση:

$$\dot{W}_f = Q \Delta P \quad (2.9)$$

όπου

\dot{W}_f = ρυθμός εισόδου έργου στο ρευστό (ισχύς ρευστού), W

Q = ογκομετρική παροχή, m^3/s

Η πραγματική απαιτούμενη ισχύς είναι η ισχύς του ρευστού διαιρεμένη με ένα συνδυασμένο βαθμό απόδοσης ανεμιστήρα/κινητήρα.

2.4 Άλλα ζητήματα

Η απόδοση συλλογής δεν επηρεάζεται από τον τρόπο τοποθέτησης του κυκλώνα (κάθετα, οριζόντια ή ακόμη και ανάποδα), λόγω του ότι, η επίδραση της βαρύτητας στο διαχωρισμό των σωματιδίων είναι πολύ μικρή. Πρόβλημα μπορεί να προκύψει από χονδρόκοκκα σωματίδια καθώς αυτά μπορεί να παγιωθούν στο κωνικό τμήμα και να περιστρέφονται χωρίς να μπορούν να διαφύγουν. Αν και το πρόβλημα μπορεί να προκύψει ανεξαρτήτως τρόπου τοποθέτησης του κυκλώνα, είναι λιγότερο συνηθισμένο όταν αυτοί τοποθετούνται κατακόρυφα.

Για να εξασφαλιστεί η σωστή λειτουργία τους οι κυκλώνες θα πρέπει να είναι αεροστεγείς, κατά συνέπεια η χρήση φλαντζών ή άλλων στεγανοποιητικών υλικών είναι επιβεβλημένη. Σε κυκλώνες όπου η είσοδος είναι αξονική πρέπει να σφραγίζονται χωρίς να προκληθεί κάποια ζημιά στις συγκολλήσεις. Οι ενέργειες αυτές είναι απαραίτητες καθώς ακόμη και μικρές διαρροές θα μπορούσαν να οδηγήσουν στην είσοδο στον κυκλώνα από αιωρούμενα σωματίδια που βρίσκονται στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Η απόδοση συλλογής σε ένα κυκλώνα καθορίζεται από την πτώση πίεσης ή/και την ταχύτητα εισαγωγής του αερίου ρεύματος. Η πτώση πίεσης μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί είτε αλλάζοντας τη διάμετρο του κυκλώνα είτε αλλάζοντας την παροχή του αερίου ρεύματος (με την εγκατάσταση πολुकυκλώνων). Αν η ογκομετρική παροχή είναι πολύ χαμηλή, συστήνεται η χρήση ανεμιστήρων ώστε να αυξηθεί η ταχύτητα εισαγωγής του αερίου.

2.4.1 Επίδραση των μεταβολών στα χαρακτηριστικά και τις συνθήκες λειτουργίας στην απόδοση, πτώση πίεσης και κόστος ενός κυκλώνα

Η απόδοση συλλογής ενός κυκλώνα εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του αερίου ρεύματος και των σωματιδίων. Στα χαρακτηριστικά του αερίου ρεύματος συγκαταλέγονται η πίεση, η θερμοκρασία και η σύνθεση του. Τα χαρακτηριστικά των σωματιδίων αφορούν το μέγεθος, την κατανομή μεγέθους, το σχήμα, την πυκνότητα καθώς και την φόρτιση.

Αύξηση στη θερμοκρασία του αερίου οδηγεί σε μείωση της πυκνότητας του αλλά ταυτόχρονα αυξάνει το ιξώδες. Καθώς η πυκνότητα του αερίου είναι πολύ μικρή σε σχέση με αυτή του σωματιδίου, η επίδραση στην απόδοση είναι πρακτικά μηδενική. Αύξηση στη θερμοκρασία επίσης οδηγεί σε αύξηση της ταχύτητας εισαγωγής του αερίου ρεύματος (λόγω αύξησης της ογκομετρικής παροχής) και άρα της ταχύτητας του σωματιδίου καθώς κινείται προς τα τοιχώματα της συσκευής. Ταυτόχρονα όμως, η αύξηση του ιξώδους οδηγεί σε μείωση της ταχύτητας του σωματιδίου. Στην πράξη, στις συνήθεις θερμοκρασίες λειτουργίας ενός κυκλώνα (40-700°F) τα παραπάνω αφήνουν την απόδοση ανεπηρέαστη. Αν όμως η θερμοκρασία λειτουργίας ξεπεράσει τους 1000°F η επίδραση του ιξώδους κυριαρχεί, με

αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης λειτουργίας. Το ιξώδες και η πυκνότητα μπορούν επίσης να επηρεαστούν από τη σύνθεση του αερίου ρεύματος.

Οι πίνακες 2.2 και 2.3 που παρουσιάζονται παρακάτω συνοψίζουν τις επιπτώσεις των μεταβολών στα χαρακτηριστικά και τις συνθήκες λειτουργίας στην απόδοση, πτώση πίεσης και κόστος ενός κυκλώνα.

Πίνακας 2.2: Επιπτώσεις των μεταβολών στα χαρακτηριστικά λειτουργίας στην απόδοση συλλογής και πτώση πίεσης του κυκλώνα.

Μεταβολές στον κυκλώνα και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας	Πτώση πίεσης	Απόδοση συλλογής	Κόστος
Αύξηση στη διάμετρο σώματος (D)	Μείωση	Μείωση	Αύξηση
Επιμήκυνση του κυλινδρικού τμήματος	Μείωση	Μείωση	Αύξηση
Επιμήκυνση του κωνικού τμήματος	Μείωση	Αύξηση	Αύξηση
Αύξηση της διαμέτρου εξόδου των σωματιδίων	Μείωση	Μείωση	Αύξηση
Αύξηση της διαμέτρου εισόδου του αερίου ρεύματος και διατήρηση της προηγούμενης ταχύτητας	Αύξηση	Μείωση	Μείωση
Αύξηση της ταχύτητας	Αύξηση	Αύξηση	Αύξηση του κόστους λειτουργίας
Αύξηση της θερμοκρασίας και διατήρηση της προηγούμενης ταχύτητας	Μείωση	Μείωση	Δεν υπάρχει αλλαγή
Αύξηση της σωματιδιακής φόρτισης	Μειώνεται σε μεγάλες αυξήσεις	Αύξηση	Δεν υπάρχει αλλαγή
Αύξηση της διαμέτρου των σωματιδίων και/ή της πυκνότητας τους	Δεν υπάρχει αλλαγή	Αύξηση	Δεν υπάρχει αλλαγή

Πίνακας 2.3: Επιπτώσεις των μεταβολών στις συνθήκες λειτουργίας στην απόδοση συλλογής και πτώση πίεσης του κυκλώνα

Μεταβλητή	Επίδραση στην απόδοση συλλογής	Επίδραση στην πτώση πίεσης
Παροχή αερίου	$\frac{1-n_1}{1-n_2} = \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^{0.5}$	$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \left(\frac{Q_1^2 r_1}{T_1}\right) \times \left(\frac{T_2}{Q_2^2 r_2}\right)$
Πυκνότητα αερίου	$\frac{1-n_1}{1-n_2} = \left[\frac{r_g - r_2}{r_g - r_1}\right]^{0.5}$	Όπως παραπάνω
Πυκνότητα σωματιδίου	$\frac{1-n_1}{1-n_2} = \left[\frac{r_p - r_2}{r_p - r_1}\right]^{0.5}$	Μηδενική
Ιξώδες αερίου	$\frac{1-n_1}{1-n_2} = \left(\frac{m_1}{m_2}\right)^{0.5}$	Μηδενική
Σωματιδιακή φόρτιση	$\frac{1-n_1}{1-n_2} = \left(\frac{L_2}{L_1}\right)^{0.5}$	$\frac{\Delta P_d}{\Delta P_c} = \frac{1}{0.013L^{0.5} + 1}$

2.5 Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα

Στα πλεονεκτήματα των κυκλώνων περιλαμβάνονται:

- Το μικρό κόστος κεφαλαίου
- Η Δυνατότητα να λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες
- Οι Χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης εξαιτίας της απουσίας κινούμενων μερών

Στα μειονεκτήματα των κυκλώνων περιλαμβάνονται:

- Οι Χαμηλές αποδόσεις για τα πολύ μικρά σωματίδια
- Το Υψηλό κόστος λειτουργίας λόγω της αυξημένης πτώσης πίεσης

2.6 Κόστος

Το κόστος κεφαλαίου για τους απλούς κυκλώνες είναι μια τάξη μεγέθους μικρότερο από τις συσκευές τελικού ελέγχου όπως τα σακόφιλτρα και τα ηλεκτροστατικά φίλτρα. Το κόστος προμήθειας εξαρτάται από την απόδοση συλλογής, τη διακινούμενη ποσότητα αερίου, την πτώση πίεσης σχεδιασμού και τα υλικά κατασκευής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

3.1 Εισαγωγή

Ως ηλεκτροστατική κατακρήμνιση ορίζεται η χρήση των ηλεκτροστατικών δυνάμεων για την άρση των στερεών σωματιδίων ή σταγονίδια από υγρά και αέρια ρεύματα, στην οποία τα σωματίδια ή σταγονίδια μεταφέρονται σε αναστολή. Το πρώτο επιτυχημένο εμπορικά ηλεκτροστατικό φίλτρο (ESP) αναπτύχθηκε από τον Δρ.F.G.Cottrell το 1907, το οποίο εγκαταστάθηκε σε ένα εργοστάσιο κατασκευής χημικών στην Καλιφόρνια. Είναι μία από τις πιο δημοφιλής και πιο αποτελεσματικές συσκευές ελέγχου σωματιδίων με αποδόσεις συλλογής που φτάνουν το 99% των σωματιδίων του επεξεργασμένου αερίου.

Η διεργασία του διαχωρισμού με ηλεκτροστατικό φίλτρο (ή ηλεκτροστατικό κατακρημνιστή) περιλαμβάνει τρία στάδια:

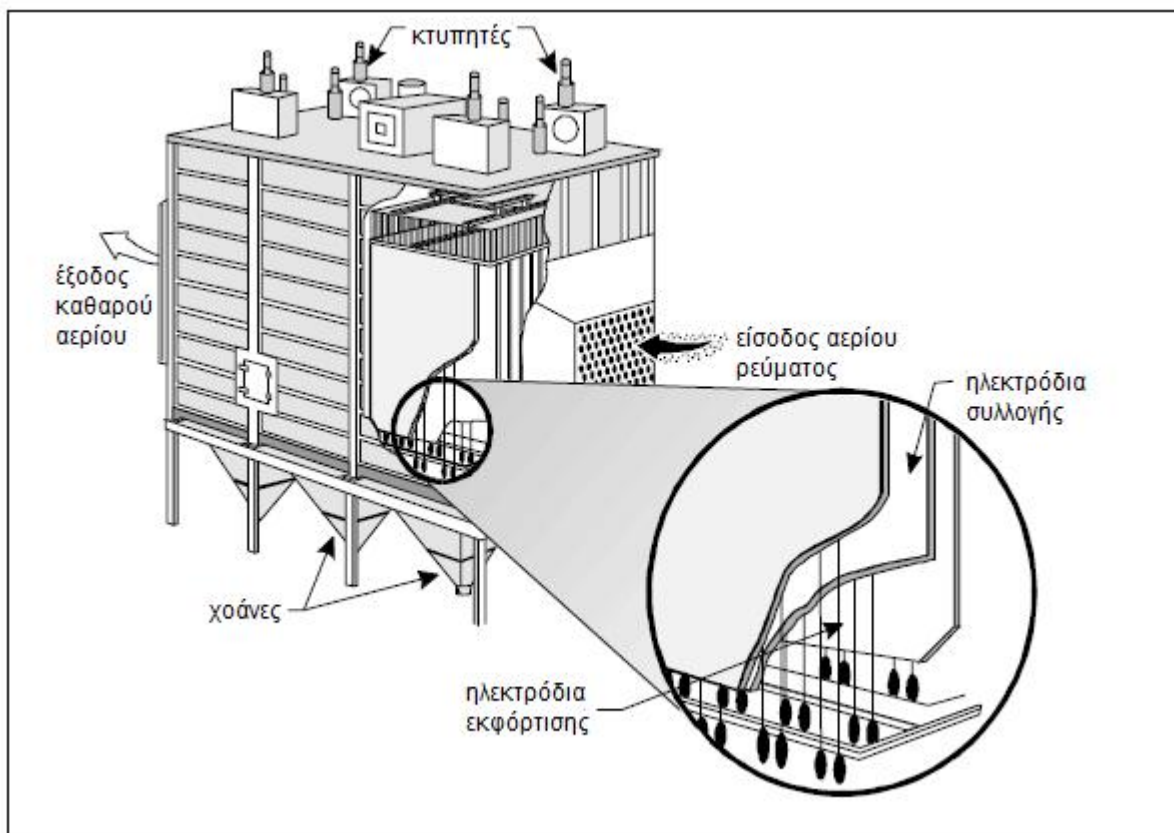
- Τον ιονισμό του αέρα με το ρυπαντικό φορτίο που ρέει ανάμεσα στα ηλεκτρόδια.
- Τη φόρτιση, τη μετακίνηση και τη συλλογή του ρυπαντικού φορτίου (σωματίδια) στις αντίθετα φορισμένες πλάκες.
- Την απομάκρυνση των σωματιδίων από τις πλάκες.

Ο αέρας ρέει μέσω του ηλεκτροστατικού φίλτρου, αλλά τα σωματίδια αποτίθενται πίσω πάνω στις πλάκες. Το υλικό τινάζεται ή ξεπλένεται από τις πλάκες και συγκεντρώνεται στη βάση του ESP. Το ESP είναι μοναδικό ανάμεσα στις άλλες συσκευές ελέγχου αέριας ρύπανσης και αυτό οφείλεται στο ότι οι δυνάμεις συλλογής δρουν αποκλειστικά και μόνο στα σωματίδια και όχι σε ολόκληρο το ρεύμα αέρα. Μια άλλη κατηγορία ηλεκτροστατικού φίλτρου είναι το υγρό ηλεκτροστατικό φίλτρο (WESP ή υγρή ESP), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν υπάρχει το ενδεχόμενο έκρηξης, όταν τα σωματίδια είναι κολλώδη ή είναι υγρά σταγονίδια, ή όταν η ξηρή σκόνη έχει υπερβολικά υψηλή ειδική αντίσταση. Ένα είδος WESP χρησιμοποιεί έναν κάθετο κυλινδρικό σωλήνα με κεντρικά ηλεκτρόδιο σύρμα με σπρέι νερού για να καθαρίζεται η συλλογή σωματιδίων από την επιφάνεια συλλογής (πλάκες, σωλήνες).

3.2 Αρχές λειτουργίας

Μια συσκευή ESP διαχωρίζει τα σωματίδια ύλης από ένα ρεύμα αερίου, αρχικά φορτίζοντάς τα σε ένα αρνητικό δυναμικό περίπου 50,000V και κατόπιν προσκολλώντας τα πάνω σε ειδικά ηλεκτρόδια συλλογής επίπεδης γεωμετρίας. Τελικά η συσσωρευμένη σωματιδιακή ύλη συλλέγεται σε μια χοάνη. Μια τυπική συσκευή ESP παρουσιάζεται στο

Σχήμα 3.1. 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 περίπου στο μέσον της απόστασης των πλακών που αποτελούν τα γειωμένα ηλεκτρόδια. Όπως προαναφέρθηκε, για να φορτιστούν τα σωματίδια πρέπει να δημιουργηθεί ένα αρνητικό πεδίο φόρτισης (κορόνα). Η υψηλή αρνητική τάση που εφαρμόζεται δημιουργεί ηλεκτρόνια που ιονίζουν τα μόρια του αερίου. Τα ηλεκτρόνια συγκρούονται και προσκολλώνται πάνω στα ηλεκτροαρνητικά αέρια, δημιουργώντας αρνητικά ιόντα.



Σχήμα 3.1: Όψη σε τομή ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου (ESP).

Τα αρνητικά ιόντα που παράγονται, κατευθύνονται από το ηλεκτρικό πεδίο πάνω στα σωματίδια της σκόνης προσδίδοντας σε αυτά ένα αρνητικό φορτίο. Τα φορτισμένα σωματίδια στη συνέχεια μετακινούνται προς τα γειωμένα ηλεκτρόδια (πλάκες) συλλογής. Αυτός ο μηχανισμός φόρτισης είναι περισσότερο αποτελεσματικός για σωματίδια μεγαλύτερα από ένα μικρό (μm). Σωματίδια μικρότερα από $0.2 \mu\text{m}$ περίπου, φορτίζονται περισσότερο αποτελεσματικά με φόρτιση διάχυσης. Η φόρτιση διάχυσης σχετίζεται με την τυχαία κίνηση των ιόντων αερίου λόγω θερμικών επιδράσεων: όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία, τόσο

περισσότερη κίνηση. Τα ιόντα του αερίου συγκρούονται με τα σωματίδια εξαιτίας των τυχαίων θερμικών κινήσεων τους και προσδίδουν ένα φορτίο σε αυτά.

Όταν ένα φορτισμένο σωματίδιο φθάσει στα γειωμένα ηλεκτρόδια συλλογής, το φορτίο του σωματιδίου έχει μερικώς χαθεί. Το φορτίο διαρρέει αργά προς τις γειωμένες πλάκες συλλογής. Ένα μέρος του φορτίου διατηρείται και συμβάλλει στην διαμοριακή πρόσφυση και τις συνεκτικές δυνάμεις που συγκρατούν τα σωματίδια στις πλάκες. Οι δυνάμεις πρόσφυσης προκαλούν στα σωματίδια να κρατηθούν φυσικά επί του άλλου, λόγω των ανόμοιων επιφανειών τους. Τα νέα σωματίδια που φθάνουν συγκρατούνται στα συλλεγόμενα σωματίδια από συνεκτικές δυνάμεις· σωματίδια προσελκύονται και συγκρατούνται μεταξύ τους μοριακά. Το στρώμα σκόνης αφήνεται να δημιουργηθεί στην πλάκα στο επιθυμητό πάχος και στη συνέχεια ο κύκλος απομάκρυνσης των σωματιδίων ξεκινά.

Η σκόνη που έχει συσσωρευτεί σε ένα ορισμένο πάχος επί του ηλεκτροδίου συλλογής απομακρύνεται ανάλογα με το τύπο των ηλεκτροδίων συλλογής, που μπορεί να είναι πλάκες ή σωλήνες, με τις πλάκες να είναι πιο σύνηθες. Οι σωλήνες συνήθως καθαρίζονται με σπρέι νερού, ενώ οι πλάκες με περιοδικό κτύπημα ή τινάγμα. Οι πλάκες κτυπιούνται όταν το συσσωρευμένο στρώμα σκόνης είναι σχετικά παχύ (0.08 – 1.27 cm ή 0.03 έως 0.5 ίντσες). Στους περισσότερους Αμερικανικούς τύπους, οι πλάκες δέχονται κτύπημα από ένα καταπίπτων βάρος. Η ένταση του κτυπήματος ρυθμίζεται ανάλογα με το ύψος από το οποίο πέφτει το βάρος, ή ρυθμίζοντας την ισχύ του πεδίου επιτάχυνσης. Κατά τους Ευρωπαϊκούς τύπους, το τινάγμα πραγματοποιείται με περιστρεφόμενες σφύρες σταθερού μεγέθους. Επομένως για να ρυθμιστεί η ένταση του τινάγματος, πρέπει να γίνει φυσική αντικατάσταση των σφυρών. Γενικά, μία μονάδα τινάγματος εγκαθίσταται για κάθε 1200 έως 1600 τετραγωνικά πόδια επιφάνειας συλλογής. Και οι δύο σχεδιασμοί επιτρέπουν κατάλληλη ρύθμιση των διαστημάτων τινάγματος, τα οποία μπορεί να μεταβάλλονται από 1 έως 10 λεπτά. Η σκόνη που αποσπάται από τις πλάκες πέφτει μέσα στους συλλεκτήρες (χοάνες) και στη συνέχεια μεταφέρεται μέσω πνευματικών σωλήνων ή κοχλιομεταφορέων σε μία εγκατάσταση φόρτωσης. Ο συλλεκτήρας (χοάνη) είναι ένας απλός κάδος συλλογής με κεκλιμένες πλευρές περίπου 50 έως 70 μοίρες για να μην επιτρέπει στη σκόνη τη δημιουργία κρούστας και γεφυρών στα τοιχώματα του, αλλά να ρέει ελεύθερα από την κορυφή του προς το άνοιγμα εκκενώσεως.

3.3 Απόδοση συλλογής

Για να προσδιοριστεί η απόδοση συλλογής του ηλεκτροστατικού φίλτρου χρησιμοποιείται η εξίσωση Deutsch:

$$n = 1 - e^{(-wA/Q)} \quad (3.1)$$

όπου h = απόδοση συλλογής της συσκευής

w = ταχύτητα πλαγιολίσθησης, ft/s (m/s)

A = συνολική επιφάνεια συλλογής, ft² (m²)

Q = ογκομετρική παροχή αερίου, ft³/s (m³/s)

Η ταχύτητα πλαγιολίσθησης μπορεί να εκφραστεί με την εξίσωση:

$$w = \frac{d_p E_0 E_p}{4(\rho)m} \quad (3.2)$$

όπου d_p = διάμετρος σωματιδίου, μm

E_0 = ένταση ηλεκτρικά φορτισμένου πεδίου, V/m

E_p = ένταση πεδίου συλλογής, V/m

m = ιξώδες του αερίου, Pa · s

Η ταχύτητα πλαγιολίσθησης εξαρτάται πολύ από την τάση δεδομένου ότι το ηλεκτρικό πεδίο εμφανίζεται δύο φορές στην εξίσωση (3.2). Ως εκ τούτου, το ESP πρέπει να έχει σχεδιαστεί χρησιμοποιώντας το μέγιστο ηλεκτρικό πεδίο για μέγιστη απόδοση συλλογής. Η ταχύτητα πλαγιολίσθησης εξαρτάται επίσης από το μέγεθος των σωματιδίων· γενικά, τα μεγαλύτερα σωματίδια συλλέγονται πιο εύκολα από ό, τι τα μικρότερα.

Η ταχύτητα πλαγιολίσθησης των σωματιδίων μπορεί επίσης να προσδιοριστεί με την ακόλουθη εξίσωση:

$$w = \frac{q_p E_p}{6(\rho)m r} \quad (3.3)$$

όπου q_p = ηλεκτρικό φορτίο στο σωματίδιο, coulombs (C)

E_p = ένταση πεδίου συλλογής, V/m

m = ιξώδες του αερίου, Pa · s

r = ακτίνα του σωματιδίου, μm

Ωστόσο, η θεωρητική ταχύτητα πλαγιολίσθησης κρίνεται αναξιόπιστη για χρήση στην εξίσωση (3.1) για το σχεδιασμό ενός ESP και αποκτάται από πιλοτικές μελέτες ή από προηγούμενη εμπειρία με παρόμοιες εφαρμογές. Τυπικές τιμές της ταχύτητας μετακίνησης σωματιδίου όπως αναφέρονται στον πίνακα 3.1 έχουν δημοσιευτεί από διάφορους πωλητές ESP. Αυτές οι τιμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκτιμηθεί η απόδοση συλλογής του ESP.

Πίνακας 3.1 Τυπικές τιμές της ταχύτητας πλαγιολίσθησης για διάφορες εφαρμογές

Εφαρμογή	ταχύτητα πλαγιολίσθησης σωματιδίου	
	(ft/s)	(cm/s)
Ιπτάμενη τέφρα γενικής χρήσης	0.13–0.67	4.0–20.4
Ιπτάμενη τέφρα κονιορτοποιημένου άνθρακα	0.33–0.44	10.1–13.4
Χαρτοπολτός	0.21–0.31	6.4–9.5
Νεφώματα θειικών οξέων	0.19–0.25	5.8–7.62
Τσιμέντο (υγρής διεργασίας)	0.33–0.37	10.1–11.3
Τσιμέντο (ξηράς διεργασίας)	0.19–0.23	6.4–7.0
Γύψος	0.52–0.64	15.8–19.5
Σκόνη από χυτήριο	0.06	1.8
Κλίβανο ανοικτής εστίας	0.16–0.19	4.9–5.8
Σκόνες από υψικάμινους	0.20–0.46	6.1–14.0
Ζεστού φωσφόρου	0.09	2.7
Ψηστήρα φλόγας	0.25	7.6
Ψηστήρα πολλαπλών εστιών	0.26	7.9
Σκόνη καταλύτη	0.25	7.6
Σκόνη από φρεατοκάμινο	0.10–0.12	3.0–3.7

3.4 Διαστασιολόγηση πλακών

Οι πλάκες σε μια συσκευή ESP είναι τυπικά ψηλότερες σε σχέση με το μήκος τους και τοποθετούνται εν παραλλήλω σε ξεχωριστά τμήματα. Η επιφάνεια που χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό του ESP είναι η ενεργή επιφάνεια της πλάκας και όχι η συνολική. Αν θεωρήσουμε ένα τμήμα με (n) πλάκες εν παραλλήλω κατά πλάτος του συνολικού εύρους του ηλεκτροστατικού φίλτρου, επειδή το αέριο ρέει διαμέσου των “αγωγών” (διαστήματα μεταξύ των πλακών), θα έχουμε $(n-2)$ εσωτερικές πλάκες που θα έχουν και τις δυο πλευρές “ενεργές” ενώ κάθε μία από τις δύο εξωτερικές πλάκες θα χρησιμοποιούν μόνο τη μία πλευρά. Επομένως, θα υπάρχουν $(n-1)$ ενεργές πλάκες σε αυτό το τμήμα. Για ένα ESP με N_s τμήματα στη διεύθυνση της ροής, η συνολική επιφάνεια συλλογής είναι ο συνολικός αριθμός των ενεργών πλακών επί την επιφάνεια της διπλής πλευράς για κάθε πλάκα:

$$A = A_p (n - 1) N_s = A_p (N - N_s) \quad (3.4)$$

όπου A_p = επιφάνεια πλάκας με διπλή πλευρά ($= 2HL_p$)

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

N = συνολικός αριθμός πλακών στο ESP

N_s = αριθμός τμημάτων στη διεύθυνση της ροής

Η εξίσωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του αριθμού των πλακών που απαιτούνται δοθέντων των διαστάσεων της μιας πλάκας.

3.5 Ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σωματιδίων

Η ειδική αντίσταση ενός σωματιδίου είναι ένα μέτρο της αντίστασής του στην ηλεκτρική αγωγιμότητα και παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση συλλογής των κατακρημνιστών. Από την στιγμή που θα συλληθούν, τα σωματίδια αρχίζουν να χάνουν το φορτίο τους στην πλάκα. Η μεταβίβαση των ηλεκτροστατικών φορτίων κλείνει το ηλεκτρικό κύκλωμα, παράγει τρέχουσα ροή, και επιτρέπει τη διατήρηση της πτώσης τάσης ανάμεσα στα ηλεκτρόδια εκφόρτισης και τις πλάκες συλλογής. Η ειδική αντίσταση ενός υλικού μπορεί να προσδιοριστεί πειραματικά με τη θέσπιση τρέχουσας ροής ηλεκτρικού ρεύματος μέσω μιας

πλάκας από το υλικό. Είναι σημαντικό να γίνουν μετρήσεις της αντίστασης από πρόσφατα σωματίδια που έχουν συλλεγεί σε πραγματική ροή του αερίου. Επομένως, οι μετρήσεις θα πρέπει να σημειωθούν στο πεδίο και όχι στο εργαστήριο. Οι μετρήσεις στο εργαστήριο για ίδια σωματίδια μπορεί να είναι από 100 έως 1000 φορές μεγαλύτερες από τις ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις στο πεδίο.

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση P είναι απλώς η αντίσταση επί την κάθετη επιφάνεια στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος διαιρεμένη με το μήκος της διαδρομής, όπως φαίνεται από την εξίσωση:

$$P = \frac{RA}{l} = \frac{V}{i} \frac{A}{l} \quad (3.5)$$

όπου :

P = ειδική ηλεκτρική αντίσταση, $\Omega \cdot \text{cm}$

R = αντίσταση, Ω

A = κάθετη επιφάνεια στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος, cm^2

l = μήκος διαδρομής στη διεύθυνση της ροής του ηλεκτρικού ρεύματος, cm

V = τάση, V

i = ηλεκτρικό ρεύμα, A

Η ειδική αντίσταση των υλικών γενικά κυμαίνεται από 10^{-3} έως 10^{14} $\Omega\text{-cm}$, ενώ η καλύτερη σειρά της αντίστασης για τη συλλογή σωματιδίων σε ένα ESP είναι 10^7 έως 10^{10} $\Omega\text{-cm}$. Σε γενικές γραμμές, ο σχεδιασμός και η λειτουργία ενός ESP είναι δυσχερής για ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις πάνω από 10^{11} $\Omega\text{-cm}$.

Ρυθμίζοντας την θερμοκρασία και την περιεκτικότητα σε υγρασία του ρεύματος αερίου μπορούμε να μειώσουμε την αντίσταση. Η αντίσταση μειώνεται όταν η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή ή πολύ χαμηλή ή όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε υγρασία του ρεύματος του αερίου.

3.6 Εσωτερική διαμόρφωση

Ο σχεδιασμός της εσωτερικής διαμόρφωσης του ESP είναι μεγάλης σημασίας. Η ομοιόμορφη κατανομή της ροής του αερίου μέσω των αγωγών είναι πολύ κρίσιμη για την ορθή λειτουργία του ESP, όπως είναι τα ομοιόμορφα διαστήματα μεταξύ των πλακών, η κατάλληλη διάταξη των ηλεκτροδίων, η πιστότητα των πλακών, οι κλίσεις των συλλεκτών, ο

επαρκής αριθμός συλλεκτών και ηλεκτρικών τμημάτων καθώς και άλλα χαρακτηριστικά στο εσωτερικό του ESP.

Πίνακας 3.2 Επιλεγμένες παράμετροι σχεδιασμού για ESP ιπτάμενης τέφρας και τυπικές τιμές

Παράμετροι	Εύρος Τιμών
Ταχύτητα Πλαγιολίσθησης w_e	1.0 – 10 m/min
Πλάτος Καναλιού (Αγωγού) D	15 – 40 cm
Ειδική Επιφάνεια Συλλογής SCA (Επιφάνεια Πλάκας / Παροχή Αερίου)	0.25 – 2.1 m ² /(m ³ /min)
Ταχύτητα Αερίου u	1.2 – 2.5 m/s (70 – 150 m/min)
Αναλογία Διαστάσεων R (Μήκος Αγωγού / Ύψος Πλάκας)	0.5 – 1.5 (όχι μικρότ. από 1.0 για $\eta > 99\%$)
Λόγος Ισχύος Κορόνας P/Q (Ισχύς Κορόνας / Παροχή Αερίου)	1.75 – 17.5 W/(m ³ /min)
Λόγος Ρεύματος Κορόνας I/A (Ρεύμα Κορόνας / Επιφάνεια Πλάκας)	50 – 750 $\mu\text{A}/\text{m}^2$
Πυκνότητα Ισχύος έναντι της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης	
<u>Ειδική Ηλεκτρική Αντίσταση Τέφρας, ohm-cm</u>	<u>Πυκνότητα Ισχύος, W/m²</u>
$10^4 - 10^7$	43
$10^7 - 10^8$	32
$10^9 - 10^{10}$	27
10^{11}	22
10^{12}	16
10^{13}	10.8
Επιφάνεια Πλάκας ανά Ηλεκτρική Διάταξη A_s	460 – 7400 m ²
Αριθμός Ηλεκτρικών Τμημάτων	
α. Στη Διεύθυνση της Ροής του Αερίου, N_s	2 – 8
β. Συνολικά, N_t	1 – 10 τμήματα / (1000 m ³ /min)

Χρησιμοποιώντας τις πρακτικές παραμέτρους σχεδιασμού ενός ESP που αναφέρονται στον Πίνακα 3.2 και μία βασική κατανόηση της διαμόρφωσης του, μπορούμε να καθορίσουμε τη γεωμετρία του.

Το συνολικό πλάτος του κατακρημνιστή ισούται σχεδόν με τον αριθμό των αγωγών για τη ροή του αερίου επί το πλάτος του αγωγού (κανάλι), αυξημένο κατά λίγο για το πλάτος των ιδίων των πλακών και για τα διάκενα μεταξύ των εξωτερικών πλακών και τοιχωμάτων.

Ο αριθμός των αγωγών μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση:

$$N_d = \frac{Q}{uDH} \quad (3.6)$$

όπου :

N_d = αριθμός αγωγών

Q = συνολική ογκομετρική παροχή αερίου στο ESP, m³/min

u = γραμμική ταχύτητα αερίου στο ESP, m/min

D = πλάτος καναλιού (διαχωρισμός πλάκων), m

H = ύψος πλάκας, m

Το συνολικό μήκος του κρημιστή δίνεται ως εξής:

$$L_o = N_s L_p + (N_s - 1)L_s + L_{en} + L_{ex} \quad (3.7)$$

όπου :

L_o = συνολικό μήκος, m

N_s = αριθμός ηλεκτρικών τμημάτων στη διεύθυνση της ροής

L_p = μήκος πλάκας, m

L_s = διάκενο ανάμεσα στα ηλεκτρικά τμήματα, m

L_{en} = μήκος τμήματος εισόδου, m

L_{ex} = μήκος τμήματος εξόδου, m

Το διάκενο ανάμεσα στα τμήματα μπορεί να είναι από 0.5 έως 1.5 μέτρα. Οι πλάκες για μεγάλες συσκευές κατακρήμισης είναι συνήθως από 6 έως 12 μέτρα ύψος και 1 έως 4 μέτρα μήκος στη διεύθυνση της ροής του αερίου. Το συνολικό ύψος του ESP μπορεί να είναι 1.5 έως 3 φορές το ύψος της πλάκας εξαιτίας των συλλεκτών, της υπερκατασκευής, του ελέγχου και ούτω καθ' εξής.

Ο αριθμός των ηλεκτρικών τμημάτων εξαρτάται από την αναλογία των διαστάσεων (λόγος συνολικού μήκους πλάκων με ύψος πλάκας) και τις διαστάσεις της πλάκας. Ωστόσο, ο αριθμός των ηλεκτρικών τμημάτων πρέπει να είναι επαρκής για να παρέχει την ελάχιστη συνολική επιφάνεια συλλογής που απαιτείται και όχι μία μεγάλη υπέρβαση της επιφάνειας.

Ο αριθμός των τμημάτων μπορεί να εκτιμηθεί από την σχέση:

$$N_s = RH / L_p \quad (3.8)$$

όπου

N_s = αριθμός τμημάτων στη διεύθυνση της ροής

R = αναλογία διαστάσεων

Στην συνέχεια, αφού έχει καθοριστεί ο αριθμός των αγωγών και των τμημάτων μπορεί να υπολογιστεί η πραγματική επιφάνεια συλλογής από:

$$A_a = 2HL_p N_s N_d \quad (3.9)$$

όπου A_a = η πραγματική επιφάνεια συλλογής, m^2

Η απόδοση ενός ESP βελτιώνεται με την αύξηση της τμηματοποίησης, δηλαδή την ομαδοποίηση των παράλληλων πλακών στο εύρος του ESP σε δύο ή περισσότερα τμήματα, καθώς και στην αύξηση του αριθμού των τμημάτων στη διεύθυνση της ροής. Υπάρχουν σημαντικοί λόγοι για τη βελτίωση αυτή, όπως η ευθυγράμμιση των ηλεκτροδίων που είναι πιο ακριβής για μικρότερα τμήματα. Οι μεγάλοι αριθμοί τμημάτων επιτρέπουν την ικανοποίηση των στόχων συνολικής απόδοσης ακόμη και εάν ένα ή περισσότερα τμήματα είναι ακατάλληλο για χρήση. Η αύξηση όμως των τμημάτων αυξάνει και το κόστος κεφαλαίου.

3.7 Συστήματα ηλεκτροδίων

Ο καλός σχεδιασμός του φίλτρου προβλέπει συγκεκριμένες διαρθρωτικές σχέσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων φόρτισης και συλλογής. Ο τύπος και η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων εκφόρτισης και συλλογής (πλάκες) είναι σημαντικοί παράγοντες στη λειτουργία και συντήρηση ενός κατακρημνιστή. Οι πλάκες συνήθως είναι ελάσματα χάλυβα με νεύρα ενίσχυσης. Για την μείωση της τύρβης στη γειτονιά των πλακών τοποθετούνται διαφράγματα. Οι πλάκες θα πρέπει να είναι ευθείς και να αναρτώνται κάθετα και παράλληλα.

Τα ηλεκτρόδια εκφόρτισης είναι λεπτά, στρογγυλά σύρματα που κυμαίνονται από 0.13 έως 0.38 cm (0.05 έως 0.15 ίντσες) σε διάμετρο. Τα σύρματα είναι κρεμασμένα κατακόρυφα, υποστηριζόμενα στην κορυφή από ένα πλαίσιο για την εξάλειψη θραύσης από μηχανική

καταπόνηση και κρατιούνται τεντωμένα με ένα βαρίδι στο κάτω μέρος. Συνήθως είναι κατασκευασμένα από χάλυβα υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα αλλά υπάρχουν επίσης από ανοξείδωτο χάλυβα, χαλκό, κράμα τιτανίου και αλουμινίου. Τα βάρη στο κάτω μέρος του σύρματος τοποθετούνται μέσω οδηγών για την διατήρηση της ευθυγράμμισης του σύρματος και την αποφυγή πτώσης στην χοάνη σε περίπτωση που σπάσει το σύρμα. Το επάνω και κάτω μέρος κάθε σύρματος συνήθως καλύπτονται με ένα περιτύλιγμα από χαλύβδινους σωλήνες για να εξασφαλιστεί η καλή ηλεκτρική επαφή και να αντιστέκονται στις μηχανικές και ηλεκτρικές διαβρώσεις. Κατά το παρελθόν, ορισμένοι Ευρωπαϊκοί σχεδιασμοί χρησιμοποίησαν άκαμπτες, τύπου - ιστού στηρίξεις για τα σύρματα καθώς και σύρματα με ακίδες, οδοντωτά ή άλλων διαμορφώσεων. Στις μέρες μας, πολλές εταιρίες χρησιμοποιούν άκαμπτα ηλεκτρόδια γιατί έχουν πλεονεκτήματα σε σχέση με τα σύρματα ή τα τύπου ιστού ηλεκτρόδια.

3.8 Κατανάλωση ενέργειας

Οι απαιτήσεις σε ισχύ για ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο ποικίλουν ανάλογα με την απόδοση συλλογής των σωματιδίων. Τα στοιχεία αυτά αναπτύσσονται πειραματικά για κάθε τύπο εφαρμογής και για διαφορετικές ιδιότητες των σωματιδίων. Για να εξασφαλιστεί η συνεχής μέγιστη απόδοση συλλογής χρησιμοποιούνται συνήθως, οι αυτόματοι ρυθμιστές τάσης, ακόμη και κάτω από πολύ διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Λειτουργικά η κατανάλωση ενέργειας σε ένα ESP προέρχεται κυρίως από την ισχύ της κορόνας και με την ενέργεια της κορόνας να είναι η κύρια αιτία. Παρόλο που η πτώση πίεσης του αερίου είναι χαμηλή, ο όγκος της ροής του αερίου είναι υψηλός.

Η ηλεκτρική ενέργεια για την κορόνα μπορεί να προσεγγιστεί από την εξίσωση:

$$P_c = I_c V_{avg} \quad (3.10)$$

Όπου:

P_c =ηλεκτρική ενέργεια κορόνας, W

I_c = ηλεκτρικό ρεύμα κορόνας, A

V_{avg} μέσος όρος τάσης, V

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΣΑΚΟΦΙΛΤΡΑ

4.1 Εισαγωγή

Τα σακόφιλτρα είναι συλλέκτες με τις περισσότερες εφαρμογές στην απομάκρυνση ξηρών (άνυδρων) σωματιδίων από ένα ρεύμα εκπομπών. Κατά το φιλτράρισμα με ύφασμα, η σκόνη παγιδεύεται από τη μία πλευρά του υφάσματος, δηλαδή από εκείνη της εισόδου του αέριου ρεύματος, ενώ από τα διάκενα περνά το καθαρό αέριο. Η ικανότητα του φίλτρου να συλλέγει πολύ μικρά σωματίδια είναι αποτέλεσμα της συνεχούς ενίσχυσης αυτής της ικανότητας από το πορώδες στρώμα σωματιδίων που σχηματίζεται στην πλευρά της συλλογής. Το στρώμα αυτό, φράσσει προοδευτικά τα μεγαλύτερα σε διαστάσεις διάκενα, αιχμαλωτίζοντας όλο και πιο λεπτόκοκκα σωματίδια.

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι υφασμάτων, διαφορετικοί τρόποι ύφανσής τους σε διάφορα μεγέθη σάκων, διαφορετικοί τρόποι διαμόρφωσης των σάκων σε ένα σακόφιλτρο και διαφορετικοί τρόποι ροής του αέρα μέσα από τους σάκους.

Τρεις τύποι σακόφιλτρων χρησιμοποιούνται συνήθως:

- με ρεύμα αέρα αντίθετης ροής
- με μηχανική δόνηση
- δόνησης με αέρα υπό πίεση

4.2 Θεωρία

Η συνολική πτώση πίεσης, ΔP , σε ένα σακόφιλτρο δίνεται:

$$\Delta P = \Delta P_f + \Delta P_p + \Delta P_s \quad (4.1)$$

όπου ΔP_f = πτώση πίεσης λόγω του υφάσματος

ΔP_p = πτώση πίεσης λόγω του στρώματος των σωματιδίων και

ΔP_s = πτώση πίεσης λόγω της κατασκευής του σακόφιλτρου

Η πτώση πίεσης λόγω κατασκευής είναι μικρή και δεν θα τη λάβουμε υπόψη παρακάτω.

Από την εξίσωση του Darcy για ροή σε πορώδη μέσα:

$$\Delta P_f = \frac{D_f mV}{60K_f} \quad (4.2)$$

και

$$\Delta P_p = \frac{D_p m V}{60 K_p} \quad (4.3)$$

Όπου: $\Delta P_f, \Delta P_p =$ πτώση πίεσης σε Pa (N/m^2)

$D_f, D_p =$ βάθος του φίλτρου και του στρώματος αντίστοιχα (m)

$\mu =$ ιξώδες αερίου ($kg / m \cdot s$)

$V =$ επιφανειακή ταχύτητα διήθησης, λόγος αέρα/υφάσματος

[= ογκομετρική παροχή αερίου / επιφάνεια υφάσματος] (m/s)

$K_f, K_p =$ διαπερατότητα του και του στρώματος (m^2)

Καθώς το φίλτρο λειτουργεί το D_p αυξάνει. Για σταθερή ταχύτητα και συγκέντρωση το D_p αυξάνει γραμμικά με το χρόνο, δηλαδή

$$D_p = \frac{LVt}{r_L} \quad (4.4)$$

Από τις παραπάνω εξισώσεις με αντικατάσταση λαμβάνουμε:

$$\Delta P = \left(\frac{D_f m}{60 K_f} \right) V + \left(\frac{m}{60 K_p r_L} \right) (LVt)V \quad (4.5)$$

Στη συνέχεια διαιρώντας με το V και ορίζοντας τις παραμέτρους:

$$S = \frac{\Delta P}{V}, \quad S = \text{αντίσταση του φίλτρου } (N \cdot s / m^3) \quad \text{και}$$

$$W = LVt, \quad W = \text{τοπική πυκνότητα σκόνης } (kg / m^2)$$

$$\text{Λαμβάνουμε } S = K_1 + K_2 W \quad (4.6)$$

$$\text{όπου } K_1 = \frac{D_f m}{60 K_f} \quad \text{και} \quad K_2 = \frac{m}{60 K_p r_L}$$

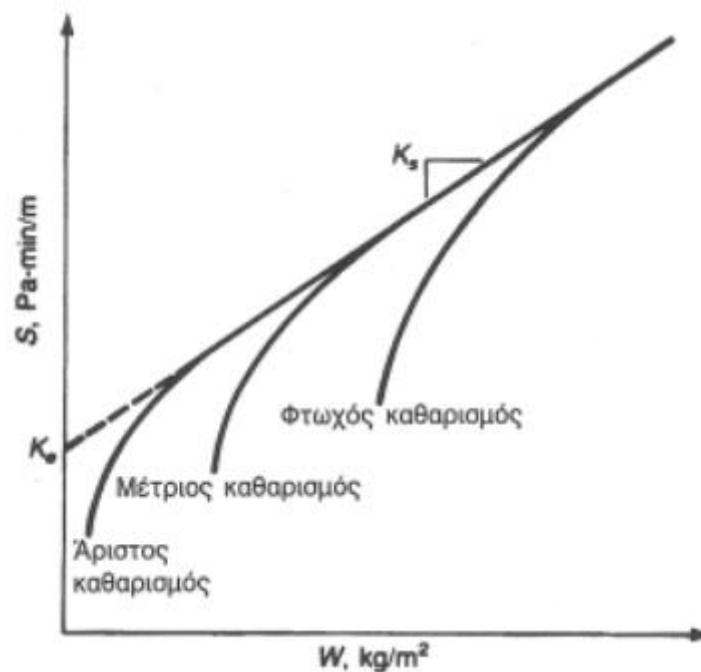
Η γραμμική εξίσωση (4.6) καλείται μοντέλο αντίστασης φίλτρου. Τα K_1 και K_2 είναι δύσκολο να προσδιοριστούν. Ως εκ τούτου, για πρακτικά προβλήματα η εξίσωση του μοντέλου αντίστασης φίλτρου μπορεί να επαναδιατυπωθεί ως:

$$S = K_e + K_s W \quad (4.7)$$

όπου K_e = προεκτεταμένη αντίσταση φίλτρου από καθαρό ύφασμα ($N \cdot s / m^3$)

K_s = «κλίση» σταθερή για συγκεκριμένο αέριο, σκόνη και ύφασμα ($N \cdot s / kg \cdot m$)

Τα K_e και K_s προσδιορίζονται εμπειρικά με πιλοτικές δοκιμές σε αέριο με σκόνη παρόμοια με τη σκόνη της βιομηχανίας. Στο σχήμα 4.1 παρουσιάζονται τυπικές γραφικές παραστάσεις της αντίστασης του φίλτρου συναρτήσει με την πυκνότητα της σκόνης για διάφορους βαθμούς καθαρισμού. Το K_s μεταβάλλεται με την τετραγωνική ρίζα του V .



Σχήμα 4.1:

Τυπικές καμπύλες της αντίστασης φίλτρου σε σχέση με την πυκνότητα της σκόνης για διάφορους βαθμούς καθαρισμού.

4.3 Σακόφιλτρα με ρεύμα αέρα αντιθέτου ροής και με μηχανική δόνηση

Η μηχανική δόνηση ήταν η δημοφιλής μέθοδος καθαρισμού για πολλά χρόνια εξαιτίας της απλότητάς της καθώς και της αποτελεσματικότητάς της. Σε συνήθη λειτουργία το αέριο που περιέχει σκόνη εισέρχεται μέσω του αγωγού εισόδου στο σακόφιλτρο δονούμενου καθαρισμού και πολύ μεγάλα σωματίδια απομακρύνονται από το ρεύμα όταν αυτά προσκρούουν στο διάφραγμα στον αγωγό εισόδου και πέφτουν στη χοάνη. Το αέριο με τα σωματίδια έλκεται από το κάτω μέρος μιας κυψελοειδούς πλάκας στο πάτωμα και μέσα στα σακόφιλτρα. Το αέριο προχωρά από το εσωτερικό των σάκων προς το εξωτερικό και μέσω του αγωγού εξόδου. Τα σωματίδια συλλέγονται στην εσωτερική επιφάνεια των σάκων και συσσωρεύεται μια κρούστα. Στις μονάδες μηχανικής δόνησης, οι κορυφές των σάκων προσαρμόζονται σε μια δοκό δόνησης, η οποία κινείται ζωηρά (συνήθως σε οριζόντια κατεύθυνση) για τον καθαρισμό των σάκων. Οι δοκοί δόνησης λειτουργούν με μηχανικούς κινητήρες ή με το χέρι, σε εφαρμογές όπου ο καθαρισμός δεν απαιτείται να είναι συχνός.

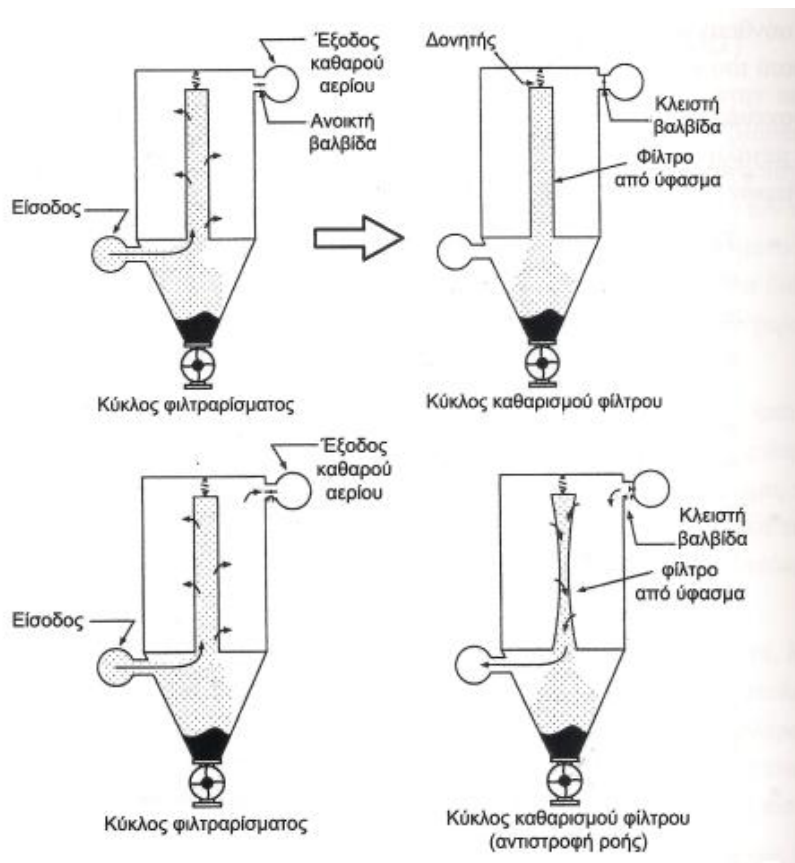
Η παλμική μέθοδος καθαρισμού είναι παρόμοια με τις μονάδες μηχανικής δόνησης. Αυτή χρησιμοποιεί πνευματική κίνηση υψηλής συχνότητας, χαμηλού εύρους παλμού του πλαισίου του σάκου για τον καθαρισμό των σάκων. Η μέθοδος αυτή έχει περιορισμένη εφαρμογή η οποία οφείλεται στη χαμηλή ενέργεια καθαρισμού και στο σχεδιασμό μικρότερων σακόφιλτρων.

Ο καθαρισμός με ρεύμα αέρα αντιθέτου ροής είναι μια δημοφιλής μέθοδος καθαρισμού που έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς και βελτιούμενος για πολλά χρόνια. Είναι ένας ήπιος αλλά μερικές φορές λιγότερο αποτελεσματικός μηχανισμός καθαρισμού από τον μηχανικό καθαρισμό. Τα περισσότερα σακόφιλτρα με καθαρισμό αντίστροφης ροής λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο με αυτά του μηχανικού καθαρισμού. Τυπικά, οι σάκοι είναι ανοικτοί στην βάση και κλειστοί στην κορυφή και η ροή του αερίου είναι από το εσωτερικό προς το εξωτερικό των σάκων με την σκόνη να δεσμεύεται εσωτερικά του σάκου. Εντούτοις, σε μερικούς σχεδιασμούς αυτού του τύπου σακόφιλτρων η σκόνη συλλέγεται στο εξωτερικό μέρος των σάκων. Και στους δύο σχεδιασμούς ο καθαρισμός αντιθέτου ροής ρεύματος αέρα γίνεται κατευθύνοντας τον καθαρό αέρα σε αντίθετη κατεύθυνση από αυτή του ρυπασμένου αέρα. Η αλλαγή κατεύθυνσης της του αερίου προκαλεί την κάμψη του σάκου και το σκάσιμο της κρούστας. Στην εσωτερική συλλογή κρούστας επιτρέπεται η κατάρρευση των σάκων σε κάποιο βαθμό κατά την διάρκεια του καθαρισμού με αντίθετη ροή αέρα. Συνήθως, η κατάρρευση των σάκων προλαμβάνεται πλήρως από κάποιο είδος στήριξης όπως δακτύλιοι που είναι ραμμένοι στους σάκους. Τα στηρίγματα δίνουν τη δυνατότητα στην κρούστα να μειωθεί από τους σάκους και να οδηγηθεί στη χοάνη. Η απελευθέρωση της κρούστας βοηθιέται από την αντίθετη ροή του αερίου. Επειδή στα τσόχινα υφάσματα παραμένει σκόνη περισσότερο από τα υφάσματα με πλέξη, ο καθαρισμός τους είναι πιο δύσκολος και

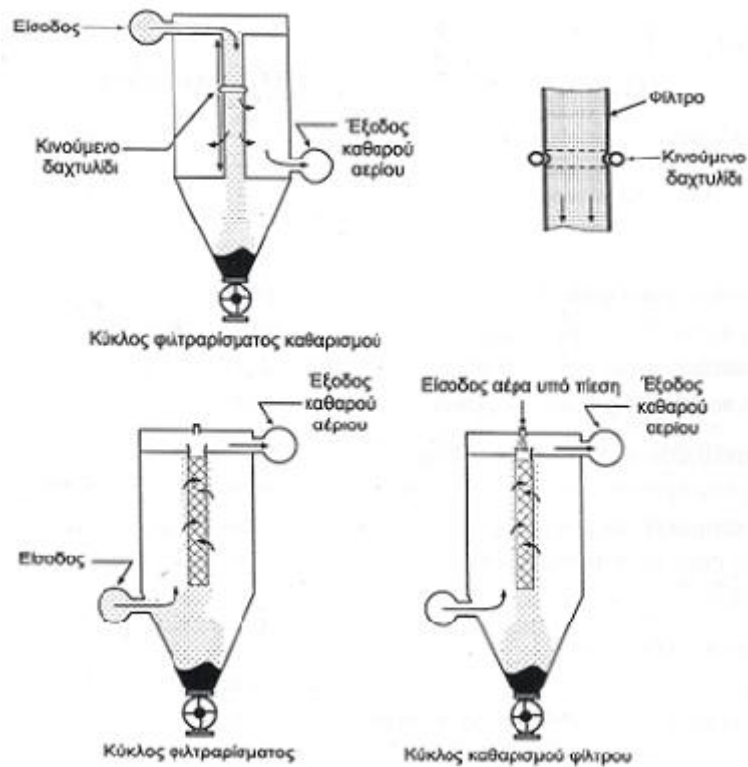
συνεπώς τα τσόχινα υφάσματα δεν χρησιμοποιούνται στα συστήματα καθαρισμού με αντιστροφή ροή αέρα.

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι αντιστροφής της ροής του αέρα μέσα από τα φίλτρα. Όπως και με τα συστήματα καθαρισμού με μηχανική δόνηση, η πιο κοινή προσέγγιση είναι η ύπαρξη χωριστών τμημάτων στο σακόφίλτρο έτσι ώστε κάθε τμήμα να μπορεί να απομονωθεί και να καθαριστεί χωριστά ενώ τα άλλα τμήματα συνεχίζουν να καθαρίζουν το ρυπασμένο αέρα. Μια μέθοδος αντιστροφής ροή αέρα είναι με τη χρήση δεύτερου ανεμιστήρα ή καθαρισμένου αέρα από τα άλλα τμήματα. Ο καθαρισμός με αντιστροφή του αέρα χρησιμοποιείται μόνον στις περιπτώσεις όπου η σκόνη απομακρύνεται εύκολα από το φίλτρο. Σε πολλά παραδείγματα, η αντιστροφή αέρα χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με δόνηση ή υπό πίεση ή με ηχητικές χοάνες.

Παρακάτω φαίνονται διάφοροι τύποι σακόφιλτρων με διάφορους τρόπους καθαρισμού του φίλτρου.



Σχήμα 4.2 (α) Σακόφιλτρα με μηχανική δόνηση και αντιστροφή ροής



Σχήμα 4.2 (β) Σακόφιλτρα με κινούμενο δαχτυλίδι και αέρα υπό πίεση

Πριν αρχίσουμε ένα πρόβλημα σχεδιασμού ενός σακόφιλτρου θα πρέπει να επιλέξουμε την ταχύτητα διήθησης V . Από τον Πίνακα 4.1 επιλέγουμε την μέγιστη ταχύτητα διήθησης για ένα σακόφιλτρο, η οποία θα είναι V_{N-1} για $N-1$ διαμερίσματα αφού ένα διαμέρισμα θα είναι εκτός λειτουργίας για καθαρισμό.

Πίνακας 4.1 Μέγιστες ταχύτητες διήθησης για διάφορες σκόνες σε σακόφιλτρα με μηχανική δόνηση και ρεύμα αέρα αντίθετου ροής.

Σκόνες	Μέγιστη Ταχύτητα Διήθησης, cfm/ft ² ή ft/min
Ενεργοποιημένος Ξυλάνθρακας, Μαύρος Άνθρακας, Απορρυπαντικά, Ατμοί Μετάλλων	1.50
Οξειδίο του Αλουμινίου, Άνθρακας, Λιπάσματα, Γραφίτης, Μετάλλευμα Σιδήρου, Οξειδίο του Ασβεστίου, Χρώματα, Ιπτάμενη Τέφρα, Χρωστικές Ουσίες	2.0
Αργίλιο, Άργιλος, Κόκ, Ξυλάνθρακας, Κακάο, Οξειδίο του Μολύβδου, Μαρμαρυγία, Σαπούνι, Ζάχαρη, Τάλκης	2.25
Βωξίτης, Κεραμικά, Ορυκτό Χρώμιο, Άστριος, Αλεύρι, Πυρόλιθος, Γυαλί, Γύψος, Πλαστικά, Τσιμέντο	2.50
Αμιάντος, Ασβεστόλιθος, Χαλαζίας, Διοξειδίο του Πυριτίου, Φελλός, Ζωοτροφές και Δημητριακά, Μάρμαρο, Κέλυφος Οστρέων, Αλάτι	2.75 3.0-3.25
Δέρμα, Χαρτί, Καπνός, Ξύλο	3.50

Στο σύστημα του ρεύματος αέρα με αντίθετη ροή, ο καθαρός αέρας εμφυσάται μέσω των σάκων στο απομονωμένο διαμέρισμα με κατεύθυνση αντίθετη αυτής της κανονικής ροής για να αποσπασθεί το στρώμα των σωματιδίων. Σε ένα σακόφιλτρο με μηχανική δόνηση, οι σάκοι τινάζονται για να αποσπασθεί η προηγούμενη συλλεγμένη σκόνη. Και στις δύο περιπτώσεις, μεγάλα κομμάτια και συσσωματώματα πέφτουν μέσα σε ένα συλλεκτήρα στο κάτω μέρος του διαμερίσματος. Η σκόνη περιοδικά απομακρύνεται από το συλλεκτήρα και διατίθεται η επαναχρησιμοποιείται εάν είναι δυνατόν.

Πίνακας 4.2 Αριθμός διαμερισμάτων ως συνάρτηση της καθαρής επιφάνειας υφάσματος

Καθαρή Επιφ. Υφάσμ. ft ²	Αριθμός Διαμερισμάτων
1-4000	2
4000-12,000	3
12,000-25,000	4-5
25,000-40,000	6-7
40,000-60,000	8-10
60,000-80,000	11-13
80,000-110,000	14-16
110,000-150,000	17-20
>150,000	>20

Ο αριθμός των διαμερισμάτων που επιλέγεται για τον σχεδιασμό εξαρτάται από τη συνολική ροή που θα διηθηθεί, τη διαθέσιμη μέγιστη πτώση πίεσης ΔP_m , το χρόνο διήθησης t_f που είναι ο χρόνος που περνάει από τη στιγμή που ένα διαμέρισμα επιστρέφει σε λειτουργία μέχρις ότου το ίδιο διαμέρισμα απομονωθεί και πάλι για καθαρισμό αφού όλα τα άλλα διαμερίσματα έχουν καθαριστεί κυκλικά. Ο χρόνος διήθησης δίνεται από την σχέση:

$$t_f = N(t_r + t_c) - t_c \quad (4.8)$$

όπου

t_f = χρόνος διήθησης, min

t_r = χρόνος λειτουργίας, min

t_c = χρόνος καθαρισμού, min

N = συνολικός αριθμός διαμερισμάτων

Όπως φαίνεται από την εξ.(4.8) ο χρόνος διήθησης εξαρτάται από τον χρόνο λειτουργίας και το χρόνο καθαρισμού.

Κατά την διάρκεια του χρονικού διαστήματος t_j ($t_j = t_f - t_r = (N - 1)(t_r + t_c)$) το ύφασμα στο διαμέρισμα j έχει συσσωρεύσει μία τοπική πυκνότητα σκόνης W_j , η οποία δίνεται από:

$$W_j = (N - 1)(V_N L t_r + V_{N-1} L t_c) \quad (4.9)$$

όπου

W_j = τοπική πυκνότητα σκόνης, lb_m / ft^2

L = φορτίο σε σωματίδια, lb_m / ft^3

Κατά συνέπεια, η αντίσταση του φίλτρου στο διαμέρισμα j είναι:

$$S_j = K_e + K_s W_j \quad (4.10)$$

όπου

S_j = αντίσταση φίλτρου, $\frac{in. H_2O \cdot min}{ft}$

Με τη βοήθεια του Πίνακα 4.3 μπορούμε να εκτιμήσουμε την πραγματική ταχύτητα διήθησης ως

$$V_j = f_N V_{N-1} \quad (4.11)$$

όπου

V_j = πραγματική ταχύτητα διήθησης στο διαμέρισμα j στο χρονικό διάστημα

$$t_j, \frac{ft}{\min}$$

f_N = συντελεστής διόρθωσης

Τέλος, μπορούμε να υπολογίσουμε την ΔP_j , η οποία είναι ίση με τη μέγιστη επιτρεπόμενη πτώση πίεσης ΔP_m :

$$\Delta P_j = \Delta P_m = S_j V_j \quad (4.12)$$

όπου ΔP_j = πτώση πίεσης στο διαμέρισμα j , *in. H₂O*

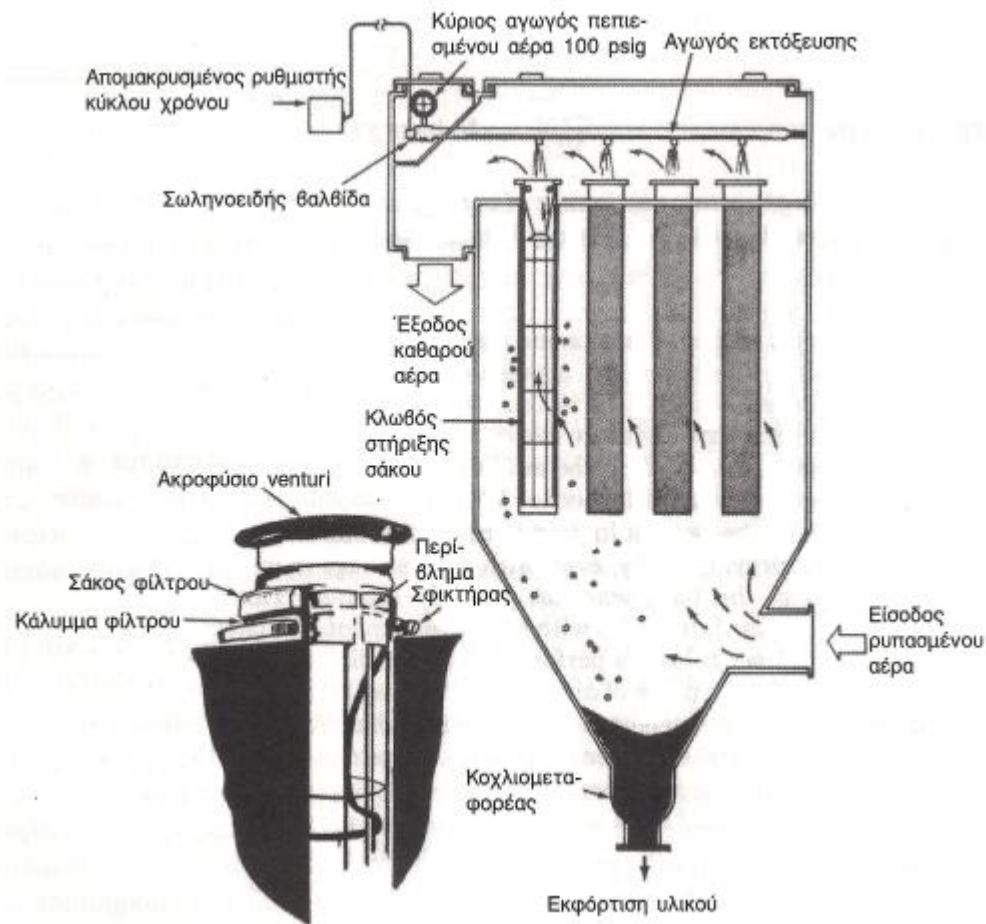
Πίνακας 4.3 Λόγος της πραγματικής ταχύτητας διήθησης V_j προς τη Μέση ταχύτητα διήθησης V_{N-1} σε Σακόφιλτρο Πολλαπλών διαμερισμάτων.

Συνολικός Αριθμός Διαμερισμάτων, N	$f_N = V_j / V_{N-1}$
3	0.87
4	0.80
5	0.76
7	0.71
10	0.67
12	0.65
15	0.64
20	0.62

4.4 Σακόφιλτρα δόνησης με αέρα υπό πίεση

Ο καθαρισμός των σακόφιλτρων με παλμούς πεπιεσμένου αέρα είναι σχετικά νέος σε σύγκριση με τους άλλους τύπους σακόφιλτρων, αφού έχει χρησιμοποιηθεί μόνον τα τελευταία 45 χρόνια περίπου. Αυτός ο μηχανισμός καθαρισμού έχει σταθερά αναπτυσσόμενη αναγνώριση επειδή μπορεί να χειριστεί μεγάλες φορτίσεις σκόνης, λειτουργεί σε σταθερή πίεση και καταλαμβάνει λιγότερο χώρο από τους άλλους τύπους σακόφιλτρων. Τα σακόφιλτρα με παλμούς πεπιεσμένου αέρα μπορούν να λειτουργήσουν μόνον ως συσκευές με εξωτερική συλλογή κρούστας. Οι σάκοι είναι κλειστοί στον πυθμένα και ανοικτοί στην κορυφή και στηρίζονται με εσωτερικά συστήματα συγκράτησης, τους κλωβούς. Το ρεύμα αερίου με τα σωματίδια οδηγείται στους σάκους, χρησιμοποιώντας συχνά διαχυτήρες για πρόληψη καταστροφής των σάκων από υπερμεγέθη σωματίδια. Το αέριο ρέει από την εξωτερική πλευρά των σάκων προς την εσωτερική και στην συνέχεια εξέρχονται τα απαέρια. Τα σωματίδια συλλέγονται στην εξωτερική επιφάνεια των σάκων και πέφτουν μέσα σε μια χοάνη που βρίσκεται στο κάτω μέρος του σακόφιλτρου.

Κατά τη διάρκεια καθαρισμού με παλμούς πεπιεσμένου αέρα, μια μικρή ριπή αέρα, διάρκειας 0.03 έως 0.1 δευτερολέπτων, υψηλής πίεσης (415 έως 830 kPa) εισάγεται μέσα στους σάκους. Ο παλμός μεταφέρεται με ακροφύσιο Venturi στην κορυφή των σάκων και δημιουργεί ένα κύμα έκρηξης που μεταφέρεται μέχρι τον πυθμένα του σάκου. Το κύμα κάμπει το ύφασμα, σπρώχνοντάς το μακριά από το κλωβό και στην συνέχεια το ξαναφέρει πίσω απομακρύνοντας την κρούστα σκόνης. Ο κύκλος καθαρισμού ρυθμίζεται από έναν απομακρυσμένο χρονοδιακόπτη που είναι συνδεδεμένος με μαγνητικό επιστόμιο. Η ριπή αέρα ελέγχεται από το μαγνητικό επιστόμιο και απελευθερώνεται στους αγωγούς οι οποίοι έχουν ακροφύσια που είναι τοποθετημένα ακριβώς πάνω από τους σάκους. Οι σάκοι συνήθως καθαρίζονται κατά σειρά. Στο σχήμα 4.3 παρουσιάζεται σχηματικά η μέθοδος της δόνησης με αέρα υπό πίεση.



Σχήμα 4.3 Σχηματικό διάγραμμα ενός σακόφιλτρου με πεπιεσμένο αέρα.

Υπάρχουν αρκετά μοναδικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα του καθαρισμού με παλμούς πεπιεσμένου αέρα. Επειδή ο παλμός είναι πολύ βραχύβιος, η ροή του ρυπασμένου αερίου δεν σταματάει κατά τη διάρκεια του καθαρισμού. Οι άλλοι σάκοι συνεχίζουν το φιλτράρισμα, αναλαμβάνοντας την πρόσθετη υποχρέωση εξαιτίας του καθαρισμού των σάκων. Γενικά, δεν υπάρχει αλλαγή στην πτώση πίεσης του σακόφιλτρου ή στη λειτουργία εξαιτίας του καθαρισμού με παλμούς πεπιεσμένου αέρα. Αυτό καθιστά το συγκεκριμένο τύπο σακόφιλτρων να λειτουργούν συνεχώς με μαγνητικό επιστόμιο ως το μοναδικό σημαντικό κινούμενο τμήμα. Ο καθαρισμός με παλμούς πεπιεσμένου αέρα είναι επίσης πολύ έντονος και πραγματοποιείται με τη μεγαλύτερη συχνότητα από τις άλλες μεθόδους καθαρισμού των σακόφιλτρων. Αυτός ο έντονος καθαρισμός απελευθερώνει σχεδόν όλη την κρούστα σκόνης κάθε φορά που πάλλεται ο σάκος. Αποτέλεσμα αυτού είναι το φιλτράρισμα στα σακόφιλτρα με παλμούς πεπιεσμένου αέρα να μην βασίζεται στην κρούστα σκόνης. Τσόχια (χωρίς πλέξη) υφάσματα χρησιμοποιούνται στα σακόφιλτρα με παλμούς πεπιεσμένου αέρα επειδή δεν απαιτείται η ύπαρξη κρούστας σκόνης για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων συλλογής. Βρέθηκε ότι υφάσματα με πλέξη που χρησιμοποιήθηκαν με σακόφιλτρα αυτού του τύπου, μεγάλο μέρος της σκόνης διαφεύγει μετά από τον καθαρισμό τους.

Επειδή οι σάκοι που καθαρίζονται με τη μέθοδο παλμών πεπιεσμένου αέρα δεν έχουν ανάγκη να βρίσκονται απομονωμένα για τον καθαρισμό, τα σακόφιλτρα αυτά δεν έχουν ανάγκη για πρόσθετα τμήματα προκειμένου να διατηρήσουν το φιλτράρισμα σε ικανοποιητικό επίπεδο κατά τη διάρκεια καθαρισμού. Επίσης, εξαιτίας της έντονης και συχνής φύσης του καθαρισμού, είναι δυνατή η επεξεργασία υψηλότερων παροχών αερίου με υψηλότερες φορτίσεις σκόνης. Συνεπώς, τα συγκεκριμένα σακόφιλτρα δύναται να είναι μικρότερα από άλλους τύπους σακόφιλτρων για την επεξεργασία της ίδιας ποσότητας αερίου και σκόνης, επιτυγχάνοντας μεγαλύτερους λόγους αερίου προς ύφασμα.

Η πτώση πίεσης μέσω ενός σακόφιλτρου δόνησης με αέρα υπό πίεση έχει συσχετιστεί με την ταχύτητα διήθησης, την πίεση του παλμού και την τοπική πυκνότητα της αποτιθέμενης σκόνης κατά τη διάρκεια ενός κύκλου φιλτραρίσματος. Ένα μοντέλο που αναπτύχθηκε για την ιπτάμενη τέφρα που συλλέγεται σε πολυεστερικούς σάκους, είναι

$$\Delta P = 2.72 \Delta W^{0.45} P^{-1.38} V^{2.34} \quad (4.13)$$

Όπου:

ΔP = πτώση πίεσης λόγω του σάκου και της εναπόθεσης σκόνης, cm H₂O

V = ταχύτητα διήθησης, cm/s

ΔW = τοπική πυκνότητα σκόνης που προστίθεται μεταξύ δύο διαδοχικών καθαρισμών ($\Delta W = LVt_f$), mg / cm²

P = πίεση παλμού, atm

Ο παρακάτω πίνακας μας δίνει μερικά στοιχεία για τις ταχύτητες διήθησης για εφαρμογές δόνησης με αέρα υπό πίεση.

Πίνακας 4.4 Μέγιστες ταχύτητες διήθησης* για διάφορες σκόνες ή καπνούς σε Σακόφιλτρα δόνησης με αέρα υπό πίεση

Σκόνες ή Καπνοί	Μέγιστη Ταχύτητα Διήθησης, cfm/ft ² ή ft/min
Ανθρακας, Γραφίτης, Ατμοί Μεταλλουργίας, Σαπούνι, Καθαριστικά, Οξείδιο Ψευδαργύρου	5 – 6
Τσιμέντο (Ακατέργαστο), Αργίλος (Πράσινη), Πλαστικά, Χρωστικές Ουσίες, Αμυλο, Ζάχαρη, Ξυλόσκονη, Ψευδάργυρος (Μεταλλικός)	7 – 8
Οξείδιο Αλουμινίου, Τσιμέντο (Φινιρισμένο), Αργίλος (υαλοποιημένη), Ασβεστος, Ασβεστόλιθος, Γύψος, Μαρμαρυγίας, Χαλαζίας, Σπόρος Σόγιας, Τάλκης	9 – 11
Κακάο, Σοκολάτα, Αλεύρι, Σπόροι, Σκόνη Δέρματος, Πριονίδι, Καπνός	12 – 14

* Μειώστε τις ταχύτητες κατά 1 ft/min εάν το φορτίο είναι υψηλό ή εάν τα σωματίδια είναι πάρα πολύ μικρά.

4.5 Πλεονεκτήματα / Μειονεκτήματα

Στα πλεονεκτήματα των σακόφιλτρων περιλαμβάνονται τα εξής:

- Έχουν πολύ υψηλές αποδόσεις συλλογής (99%), ακόμη και για πολύ μικρά σωματίδια.
- Απαιτούν σχετικά χαμηλές πτώσεις πίεσης.
- Η λειτουργία τους είναι σχετικά απλή.
- Μπορούν να επεξεργαστούν μεγάλο εύρος ογκομετρικών παροχών.
- Αποτελούνται από επιμέρους στοιχεία που μπορούν να συναρμολογηθούν στη μονάδα.
- Μπορούν να λειτουργήσουν με διάφορα είδη σωματιδίων.

Στα μειονεκτήματα των σακόφιλτρων περιλαμβάνονται τα εξής:

- Απαιτούν μεγάλες επιφάνειες της στερεής έδρασης.
- Τα υφάσματα μπορούν να πάθουν ζημιά από την υψηλή θερμοκρασία και από διαβρωτικά μέσα.
- Δεν λειτουργούν σε περιβάλλον με υγρασία (τα φίλτρα γίνονται «τυφλά»).
- Υπάρχει πιθανότητα έκρηξης ή φωτιάς.
- Η διάρκεια ζωής του υφάσματος μπορεί να μικρύνει σε υψηλές θερμοκρασίες και στην παρουσία όξινων ή αλκαλικών σωματιδίων.

- Απαιτείται αναπνευστική προστασία για το προσωπικό της συντήρησης όταν αντικαθίστανται τα φίλτρα.

4.6 Κόστος

Η εγκατάσταση και η λειτουργία ενός σακόφιλτρου με ύφασμα είναι αρκετά υψηλό. Η δαπάνη για την ισχύ του ανεμιστήρα είναι περίπου 15%, οι αγορές για την εγκατάσταση των σάκων είναι περίπου 15% και τα εργατικά για τη λειτουργία και τη συντήρηση είναι περίπου 35%. Η συλλεγμένη σκόνη μπορεί να ανακυκλωθεί μέσα στο προϊόν ή, ίσως, να πωληθεί σε κάποια άλλη βιομηχανία. Σε αυτή την περίπτωση πρέπει να λαμβάνεται ένα πιστωτικό ποσό στον υπολογισμό του κόστους λειτουργίας, ενώ εάν η σκόνη δεν ξαναχρησιμοποιηθεί πρέπει να ληφθούν υπόψη οι δαπάνες απόθεσης, που μπορεί να είναι και σημαντικές λόγω των επικίνδυνων συστατικών της σκόνης. Το κόστος εξαρτάται από το αν το σακόφιλτρο είναι με μηχανική δόνηση, με αντίθετο ρεύμα αέρα ή με δόνηση με πεπιεσμένο αέρα, από το αν είναι κατασκευασμένο από μαλακό ή ανοξείδωτο χάλυβα, από το πόσο μεγάλο είναι και από το αν είναι εξωτερικά μονωμένο ή όχι. Αυτά που κατασκευάζονται από προκατασκευασμένα στοιχεία είναι λιγότερο ακριβά από τα κατά παραγγελία σχεδιασμένα συστήματα. Το κόστος επένδυσης εκτιμάται βάση της συνολικής επιφάνειας του υφάσματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

5.1 Εισαγωγή

Στα τέλη της δεκαετίας του 1940 ανακαλύφθηκε ότι ένα συγκεκριμένο είδος νέφους προέρχονταν από αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα η οποία περιείχε οξείδια του αζώτου και ενεργούς υδρογονάνθρακες. Οι δύο σπουδαιότεροι ρύποι που εκπέμπονται σε μεγάλες ποσότητες είναι το NO (μονοξείδιο του αζώτου) και NO₂ (διοξείδιο του αζώτου). Ο όρος NO_x αναφέρεται σε όλα τα οξείδια του αζώτου. Περίπου το 95% όλων των NO_x από σταθερές πηγές καύσης εκπέμπεται ως NO. Το μονοξείδιο του αζώτου σχηματίζεται είτε ως θερμικό NO_x είτε ως καύσιμο NO_x. Το θερμικό σχηματίζεται από αντιδράσεις αζώτου και οξυγόνου, ενώ το καύσιμο από καύσιμα που περιέχουν οργανικό άζωτο. Σταθερές πηγές καύσης είναι η βιομηχανία, εμπόριο, κατοικία, ηλεκτρική ενέργεια. Οι λέβητες των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες NO_x. Οι εκπομπές NO_x ποικίλουν και εξαρτώνται από το είδος του καυσίμου και της τροφοδότησης της φωτιάς. Ο έλεγχος των NO_x είναι ακόμη ένα ερευνητικό πεδίο πολύ ενεργό. Στο παρελθόν ήταν οι πιο δύσκολοι και δαπανηροί ρύποι για να ελεγχθούν.

5.2 Χημεία σχηματισμού των NO_x

- **Θερμικό NO_x**

Η θερμοδυναμική (ισορροπία) και η κινητική (ρυθμός) πληροφορία είναι σημαντική για τη κατανόηση του σχηματισμού των NO_x. Οι κύριες χημικές αντιδράσεις που είναι υπεύθυνες για τον σχηματισμό αυτών είναι (σύμφωνα με τον Zeldovich το 1946):



και συμπληρώνεται από την αντίδραση:



Υποτίθεται ότι σε αυτές τις αντιδράσεις της καύσης έχουν φτάσει στην ισορροπία και ότι οι συγκεντρώσεις των O, H και OH μπορούν να περιγραφούν από εξισώσεις ισορροπίας.

Εάν όμως εξετάσουμε μόνο τη θερμοδυναμική του σχηματισμού των NO_x θα έχουμε τις στοιχειομετρικές εξισώσεις:



Ένας άλλος κύριος παράγοντας που επηρεάζει τις πραγματικές συγκεντρώσεις των NO_x είναι ο ρυθμός σχηματισμού του NO . Ο ρυθμός είναι ισχυρή συνάρτηση της θερμοκρασίας, καθώς και των συγκεντρώσεων του αζώτου και του οξυγόνου. Οι συγκεντρώσεις των O , H και OH είναι σε επίπεδα ισορροπίας, και επειδή τα ελεύθερα άτομα αζώτου είναι πολύ περισσότερο ενεργά από το NO , τα άτομα αζώτου καταναλώνονται τόσο γρήγορα όσο γρήγορα δημιουργούνται. Αρκετοί ερευνητές παρατήρησαν πειραματικά ότι οι συγκεντρώσεις NO στη ζώνη φλόγας είναι πολύ μεγαλύτερες από εκείνες που θα μπορούσαν να είχαν σχηματιστεί με το μηχανισμό του Zeldovich.

Πιθανόν αυτό να οφείλεται στην υπέρ-ισορροπία των ριζών που μπορεί να υπάρχουν στις φλόγες των υδρογονανθράκων. Η δυσκολία ήταν στην προσπάθεια να παρθεί δείγμα από πολύ γρήγορες αντιδράσεις στην αέρια φάση σε χρόνους παραμονής αντιδραστήρα λιγότερο από τέσσερα χιλιοστά του δευτερολέπτου.

Ο Mackinnon μελέτησε πειραματικά θερμά μίγματα N_2, O_2 και Ar καθώς και αέρα. Οι συγκεντρώσεις NO αυξάνουν γρήγορα με το χρόνο έως περίπου 4-5 sec, μετά τον οποίο δεν παρατηρείται περαιτέρω αύξηση. Ο Mackinnon ανέπτυξε μια μαθηματική έκφραση του ρυθμού για τον σχηματισμό NO από τα πειραματικά του αποτελέσματα στην οποία η συγκέντρωση NO είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας, των συγκεντρώσεων αζώτου και οξυγόνου και του χρόνου. Έτσι, εξηγούνται οι διαφορές μεταξύ παρατηρούμενων και αναμενόμενων συγκεντρώσεων NO_x . Τα αέρια είναι μόνον για πολύ λίγο χρόνο στη ζώνη φλόγας. Αν και οι πραγματικές συγκεντρώσεις δεν φθάνουν τις συγκεντρώσεις ισορροπίας, σχηματίζεται μία υπολογίσιμη ποσότητα NO_x που οφείλεται στους πολύ γρήγορους ρυθμούς των αντιδράσεων. Από τη στιγμή που τα αέρια απομακρυνθούν από τη θερμή ζώνη φλόγας, αυτά ψύχονται γρήγορα, μειώνοντας τους ρυθμούς των αντιδράσεων κατά τάξης μεγέθους και “παγώνουν” αποτελεσματικά τις συγκεντρώσεις των NO και NO_2 στα επίπεδα που σχηματίστηκαν αρχικά. Η οξειδωση του NO σε NO_2 είναι λιγότερο ευαίσθητη στη θερμοκρασία από το σχηματισμό του NO . Όταν τα αέρια φεύγουν μακριά από το πλέον θερμό μέρος της ζώνης καύσης, η θερμοκρασία πέφτει γρήγορα και οι ρυθμοί αντίδρασης μειώνονται τόσο πολύ που η εκπεμπόμενη ποσότητα NO είναι ουσιαστικά εκείνη η οποία αρχικά σχηματίστηκε. Η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας θα πρέπει να μειωθεί, ο χρόνος παραμονής του αερίου στη μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας θα πρέπει επίσης να μειωθεί,

καθώς και η συγκέντρωση του οξυγόνου στη ζώνη της υψηλότερης θερμοκρασίας θα πρέπει να μειωθεί.

- **Καύσιμο NO_x**

Όταν ένα καύσιμο περιέχει οργανικά δεσμευμένο άζωτο τότε η συνολική παραγωγή NO_x είναι σημαντική. Το άζωτο του καυσίμου μπορεί να οξειδωθεί σε NO. Η οξείδωση του καυσίμου αζώτου σε NO εξαρτάται από τον λόγο αέρα/καυσίμου. Πειράματα σε εργαστήριο και σε εξοπλισμό με πλήρες μέγεθος έδειξαν ότι στο άζωτο του καυσίμου μπορεί να αποδοθεί περισσότερο από το 50% του συνολικού NO_x. Μικρές θερμοκρασιακές αλλαγές δεν φαίνεται να επηρεάζουν την παραγωγή NO_x από το άζωτο του καυσίμου, σε αντίθεση με την παραγωγή θερμικού NO_x, η οποία είναι πολύ ευαίσθητη στη θερμοκρασία.

5.3 Έλεγχος NO_x: Σταθερές πηγές

Οι δύο κύριες κατηγορίες ελέγχων των NO_x είναι οι μεταβολές στην καύση και οι τεχνικές επεξεργασίας αερίων καύσης. Οι μεταβολές στην καύση χρησιμοποιούνται για να περιορίσουν το σχηματισμό NO_x κατά τη διάρκεια της πραγματικής καύσης. Οι τεχνικές επεξεργασίας των αερίων καύσης χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των NO_x από τα αέρια καύσης αφού έχουν ήδη σχηματιστεί τα NO_x.

5.3.1 Μεταβολές στην καύση

Οι αλλαγές στη διεργασία καύσης μπορούν να επιτευχθούν με μεταβολή των συνθηκών λειτουργίας σε υπάρχοντες κλιβάνους ή με την αγορά και εγκατάσταση νέων σχεδιασμών καυστήρων και /ή κλιβάνων. Και οι δύο αυτές διεργασίες, στηρίζονται στις παρακάτω έννοιες για την μείωση των εκπομπών NO_x.

- Μείωση των μέγιστων θερμοκρασιών με:

- χρήση πλούσιου καυσίμου αρχικά στη ζώνη φλόγας
- αύξηση του ρυθμού ψύξης της φλόγας
- μείωση της αδιαβατικής θερμοκρασίας της φλόγας με αραίωση

- Μείωση του χρόνου παραμονής στο πιο ζεστό τμήμα της ζώνης φλόγας με

- αλλαγή της μορφής της ζώνης της φλόγας
- χρήση των βημάτων του καταλόγου της Στρατηγικής 1

- Μείωση του περιεχόμενου οξυγόνου στη ζώνη φλόγας με

- μείωση των παροχών της ολικής περίσσειας αέρα
- έλεγχο του μίγματος καυσίμου και αέρα
- χρήση πλούσιου καυσίμου στη βασική ζώνη φλόγας

Οι τακτικές που χρησιμοποιούνται για τη μείωση του σχηματισμού NO_x είναι:

1. Χαμηλή περίσσεια αέρα στην καύση (LEA)
2. Μη στοιχειομετρική καύση (OSC)
3. Ανακύκλωση αερίων καύσης (FGR)
4. Επανάκαυση αερίου
5. Μείωση προθέρμανσης αέρα και/ή μείωση ρυθμών καύσης
6. Προσθήκη νερού με πίεση

Η χαμηλή περίσσεια αέρα (LEA) στη καύση είναι ακόμη μια πολύ απλή αποτελεσματική τεχνική. Μειώνοντας την ποσότητα του πλεονάσματος του οξυγόνου στο τμήμα της φλόγας του καυστήρα, μειώνουμε τις εκπομπές των NO_x από την καύση. Μετά από δοκιμές σε διάφορους λέβητες με διάφορα καύσιμα, έγινε αντιληπτό ότι μπορεί να επιτευχθεί κατά μέσο όρο 19% μείωση των NO_x με μείωση του ποσοστού της περίσσειας του αέρα από 20% σε 14% κατά μέσο όρο.

Στη μη στοιχειομετρική καύση (OSC) το καύσιμο καίγεται σε δύο ή περισσότερα στάδια. Η αρχική ζώνη φλόγας είναι πλούσια σε καύσιμο και οι ακολουθούσες ζώνες είναι φτωχές σε καύσιμο. Μη στοιχειομετρική καύση μπορεί να επιτευχθεί με την ανάφλεξη μερικών καυστήρων που είναι πλούσιοι σε καύσιμο και οι υπόλοιποι φτωχοί σε καύσιμο, ή βάζοντας κάποιους καυστήρες χωρίς συντήρηση να επιτρέπουν μόνον την είσοδο αέρα στον κλίβανο, ή με την ανάφλεξη όλων των καυστήρων πλούσιων σε καύσιμο και επιτρέποντας την παραμονή του αέρα στο πάνω μέρος της ζώνης της φλόγας. Με τη μέθοδο αυτή, πρέπει να γίνεται προσεκτική παρακολούθηση των αερίων καύσης για την προστασία στο CO , στην αιθάλη και στην πιθανή δημιουργία σκουριάς.

Η ανακύκλωση αερίων καύσης (FGR) είναι η επιστροφή μέρους των αερίων καύσης από την έξοδο της μονάδας εξοικονόμησης ενέργειας στον κλίβανο. Έτσι η θερμοκρασία του αέρα και η συγκέντρωση του οξυγόνου στον κλίβανο μειώνονται ταυτόχρονα. Η (FGR) απαιτεί μεγαλύτερες δαπάνες κεφαλαίου από τη χαμηλή περίσσεια αέρα και αυτό φαίνεται από τους μεγάλους αγωγούς, χώρους και σε άλλες τροποποιήσεις στα συστήματα ελέγχου που χρειάζονται για την ανακυκλοφορία του αερίου. Επίσης, ορισμένα λειτουργικά προβλήματα μπορεί να εμφανιστούν χρησιμοποιώντας την (FGR)

Η επανάκαυση αερίου περιλαμβάνει την είσοδο υπό πίεση φυσικού αερίου στον λέβητα πάνω από τους κύριους καυστήρες με παροχή ίση περίπου με το 10-25% της συνολικής εισερχόμενης θερμότητας. Αυτό δημιουργεί μια ζώνη επανάκαυσης στην οποία οδηγούνται, τα βεβαρημένα με NO_x αέρια καύσης και αναμιγνύονται σε περιβάλλον πλούσιο σε καύσιμο με τα αέρια της επανάκαυσης, το καύσιμο καίγεται ομοιόμορφα σε όλο το χώρο της ζώνης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΑΥΣΗΣ VOC

6.1 Εισαγωγή

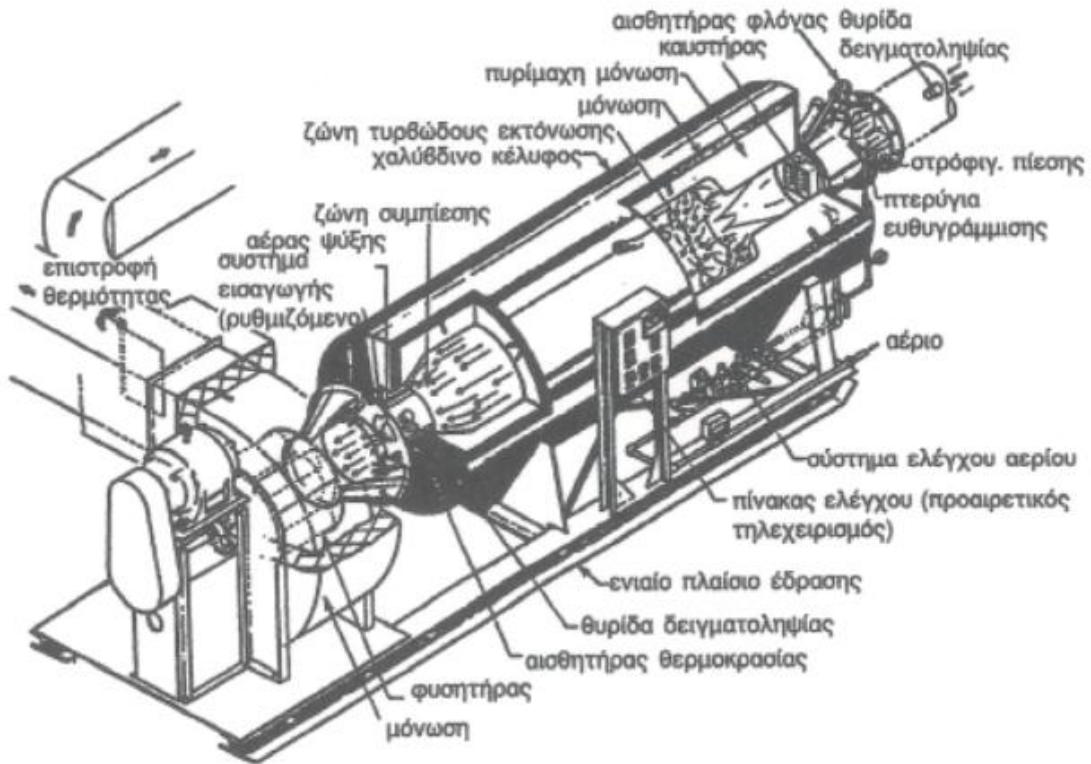
Οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) αποτελούν κύρια κατηγορία ρύπων του αέρα. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει όλες τις οργανικές ενώσεις που έχουν μια υπολογίσιμη τάση ατμών. Μερικά VOCs όπως για παράδειγμα το προπυλένιο αντιδρούν στην ατμόσφαιρα, ενώ άλλα είναι αδρανή. Δεδομένου ότι το μεθάνιο είναι αδρανές και δε συμμετέχει σε φωτοχημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα, έχει καθιερωθεί ο διαχωρισμός του από όλες τις υπόλοιπες οργανικές ενώσεις τις οποίες ονομάζουμε πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs). Κάποια VOCs μπορεί να είναι καθαροί υδρογονάνθρακες (περιέχουν μόνο υδρογόνο και άνθρακα), άλλα μπορεί να είναι μερικώς οξειδωμένοι υδρογονάνθρακες (αλδεΐδες, κετόνες, κλπ) ή οργανικές ουσίες που περιέχουν χλώριο, θείο, άζωτο, ή άλλα άτομα στο μόριο. Υπάρχουν εκατοντάδες ανεξάρτητες οργανικές ενώσεις στην ατμόσφαιρα με κάθε μια να έχει τις δικές της ιδιότητες και τα δικά της χαρακτηριστικά. Το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι όλες είναι οργανικές ενώσεις με επαρκή πτητικότητα, ώστε να υπάρχουν ως ατμοί στην ατμόσφαιρα.

Η κύρια πηγή των VOCs είναι οι εκπομπές των αυτοκινήτων, αποτέλεσμα της ατελούς καύσης των βενζινών και πετρελαίου. Άλλες πηγές είναι οι καύσεις διαφόρων καυσίμων (ξύλων, αποβλήτων, άνθρακα, κλπ), τα εργοστάσια διύλισης υγρών καυσίμων και γενικότερα οι εκπομπές από διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες.

Διάφορες τεχνολογίες κατεργασίας VOC έχουν αναπτυχθεί με σκοπό την μείωση των εκπομπών τους. Η καύση είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδος για τον έλεγχο των εκπομπών VOC. Η καύση χρησιμοποιείται για την καταστροφή των τοξικά επικίνδυνων αερίων, τον έλεγχο των οσμών και γενικά για τη μείωση όλων των φωτοχημικά ενεργών VOCs που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Οι ατμοί των VOC μπορεί να βρίσκονται σε πυκνά ρεύματα ή σε αραιό μίγμα αέρα. Για μεγάλο όγκο, διακοπτόμενων (αλλά πυκνών) ρευμάτων VOC, χρησιμοποιούνται υπερυψωμένοι πυρσοί. Στην περίπτωση που έχουμε αραιό ατμό στον αέρα, δύο μέθοδοι καύσης υπάρχουν: 1) η άμεση θερμική οξείδωση και 2) η καταλυτική οξείδωση. Οι μονάδες καύσης ατμών, με τις οποίες θα ασχοληθούμε σε αυτό το κεφάλαιο, ονομάζονται και μονάδες θερμικής οξείδωσης ή μετακαυστήρες. Στο σχήμα 6.1 παρουσιάζεται σε τομή ένας μετακαυστήρας άμεσης φλόγας.

Με την καύση μπορούμε να επιτύχουμε μείωση της συγκέντρωσης των αερίων εκπομπής σε οποιοδήποτε επιθυμητό βαθμό αν εφαρμοστεί ικανοποιητικός χρόνος παραμονής σε μια ικανοποιητικά υψηλή θερμοκρασία. Υπάρχουν αρκετές πηγές VOC σε παραγωγικές εγκαταστάσεις, οι εκπομπές των οποίων συλλέγονται από αεριοσυλλέκτες και διαμέσου ενός συστήματος αγωγών οδηγούνται στην μονάδα θερμικής οξείδωσης. Η συνολική μείωση των

εκπομπών δεν εξαρτάται μόνο από την απόδοση καταστροφής της μονάδας καύσης, αλλά και από την απόδοση του συστήματος συλλογής. Ο βαθμός απόδοσης του συστήματος συλλογής ορίζεται ως το κλάσμα των VOCs που εκπέμπονται από τη διεργασία και συλλέγονται από τους αεριοσυλλέκτες ή τις άλλες συσκευές συλλογής και οδηγούνται στο μετακαυστήρα. Οι εκπομπές που δεν συλλέγονται καλούνται διαφεύγουσες.



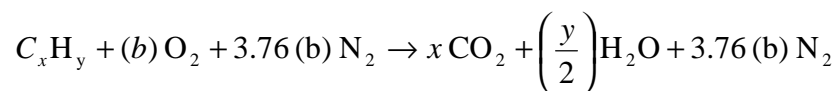
Σχήμα 6.1 Όψη τομής μετακαυστήρα άμεσης φλόγας

6.2 Θεωρία

6.2.1 Χημεία της Οξειδωσης

Για απλούστευση στην χημεία των αντιδράσεων, θεωρήσαμε μόνο την περίπτωση προαναμιγμένου αραιού ρεύματος καθαρού υδρογονάνθρακα (HC) στον αέρα.

Η στοιχειομετρία πλήρους καύσης είναι:



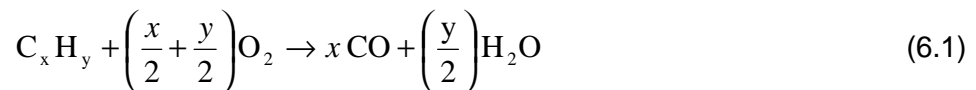
όπου C_xH_y = ο γενικός τύπος για κάθε υδρογονάνθρακα

$b = x + (y/4)$, ο στοιχειομετρικός αριθμός των moles οξυγόνου που απαιτούνται ανά

mole C_xH_y

3.76 = ο αριθμός των moles αζώτου στον αέρα για κάθε mole οξυγόνου

Στην παραπάνω εξίσωση, συμπεριλάβαμε το άζωτο για να υπενθυμίσουμε ότι όταν στην καύση χρησιμοποιείται αέρας, είναι παρόν περισσότερο πρόσθετο αέριο (δηλ. άζωτο). Για περισσότερη ευκολία, στις ακόλουθες εξισώσεις δεν θα λάβουμε υπόψη μας το άζωτο. Επειδή, οι μηχανισμοί της καύσης είναι περίπλοκοι και δεν πραγματοποιούνται σ' ένα απλό στάδιο, υιοθετήθηκε η προσεγγιστική λύση με το ολικό μοντέλο. Το ολικό μοντέλο για την οξειδωση HC είναι ένα μοντέλο δύο σταδίων, όπως φαίνεται παρακάτω:



Υπενθυμίζουμε ότι οι αντιδράσεις δεν πραγματοποιούνται σ' ένα απλό στάδιο όπως φαίνεται στις παραπάνω εξισώσεις. Ακολουθώντας το ολικό μοντέλο σε όλες τις κινητικές οξειδωσης των ατμών VOC, προκύπτει το ολικό κινητικό μοντέλο πρώτης τάξης για κάθε αντιδρών, όπως φαίνεται στις παρακάτω εξισώσεις ρυθμού:

$$r_{HC} = -k_1[HC][O_2] \quad (6.3)$$

$$r_{CO} = xk_1[HC][O_2] - k_2[CO][O_2] \quad (6.4)$$

όπου r_i = ρυθμός σχηματισμού του συστατικού i , (mol/L-s)

[] = συγκέντρωση (mol/L)

HC = γενικό σύμβολο για κάθε υδρογονάνθρακα

k = σταθερά ρυθμού (s^{-1} , L/mol-s)

Παρουσία περίσσειας O_2 , οι εξισώσεις ρυθμού μετατρέπονται σε

$$r_{HC} = -k_1[HC] \quad (6.5)$$

$$r_{CO} = xk_1[HC] - k_2[CO] \quad (6.6)$$

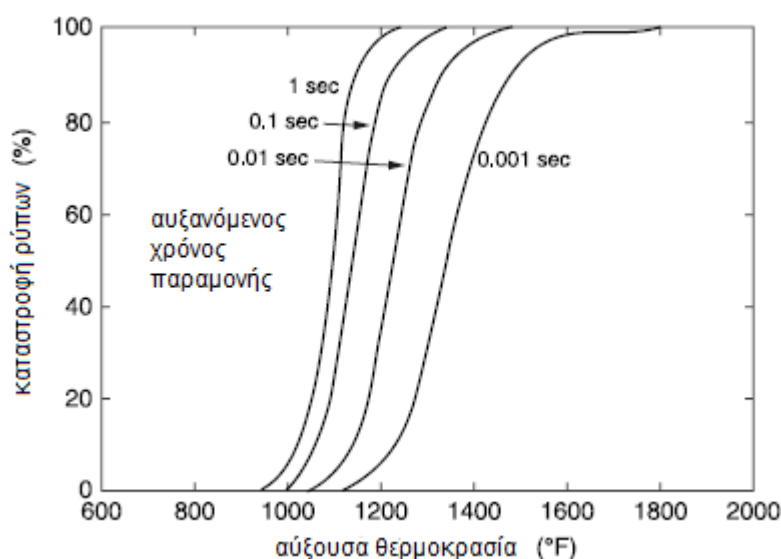
Το γραμμομοριακό κλάσμα του οξυγόνου είναι 0.1-0.15 και το γραμμομοριακό κλάσμα HC είναι 0.001, έτσι οι εξισώσεις (6.5), (6.6) είναι εφαρμόσιμες. Επίσης, θα μπορούσε να γραφεί και μια τρίτη εξίσωση για το ρυθμό παραγωγής του CO_2 ,

$$r_{CO_2} = k_2[CO] \quad (6.7)$$

6.2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την καύση (Θ-Χ-Τ)

Οι τρεις παράμετροι που επηρεάζουν την καύση είναι η θερμοκρασία, ο χρόνος παραμονής και η τύρβη. Με τη μείωση ενός από αυτούς τους παράγοντες, θα πρέπει να υπάρξει αύξηση των άλλων δύο για να εξασφαλιστεί ο ίδιος βαθμός <<πληρότητας>> της καύσης. Με υψηλότερη θερμοκρασία, μπορούμε να επιτύχουμε τον ίδιο βαθμό οξειδωσης με μικρότερο χρόνο παραμονής. Όπως επίσης, ισχύει και το αντίστροφο, ένας υψηλότερος χρόνος παραμονής μας επιτρέπει τη χρήση μιας χαμηλότερης θερμοκρασίας. Το αποτέλεσμα αυτό περιγράφεται σε γραφική μορφή στο σχήμα 6.2. Η τύρβη μας εξασφαλίζει ικανοποιητική ανάμιξη οξυγόνου και VOCs κατά τη διάρκεια της διεργασίας.

Ο Danielson πρότεινε ότι για ικανοποιητική καταστροφή, θα πρέπει οι μετακαυστήρες να σχεδιαστούν για θερμοκρασίες $T=500-700^{\circ}\text{C}$, χρόνο παραμονής $t=0.3-0.5$ sec και ταχύτητες ροής $u=7-14$ m/sec. Πρόσφατα, αυτές οι οδηγίες τροποποιήθηκαν περιλαμβάνοντας μεγαλύτερες θερμοκρασίες (T) και μεγαλύτερους χρόνους παραμονής (t) για μια πιο αποτελεσματική καταστροφή των VOCs.



Σχήμα 6.2 Συνδυασμός επιδράσεων θερμοκρασίας και χρόνου στο ρυθμό οξειδωσης ρύπων

Οι παράμετροι (Θ-Χ-Τ) σχετίζονται με τρεις χαρακτηριστικούς χρόνους, χρόνος αντίδρασης, χρόνος παραμονής και χρόνος ανάμιξης, και δίνονται από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$t_c = 1/k \quad (6.8)$$

$$t_r = V/Q = L/u \quad (6.9)$$

$$t_m = L^2/D_e \quad (6.10)$$

όπου t_c, t_r, t_m = οι χρόνοι αντίδρασης, παραμονής και ανάμιξης, (sec)

V = όγκος ζώνης αντίδρασης, m^3

Q = ογκομετρική παροχή (m^3/s), (σε συγκεκριμένη θερμοκρασία στο μετακαυστήρα)

L = μήκος ζώνης αντίδρασης, m

u = ταχύτητα αερίου στο μετακαυστήρα, m/s

D_e = αποτελεσματικός συντελεστής διάχυσης, m^2/s

k = σταθερά ρυθμού (s^{-1})

Ο λόγος του χρόνου ανάμιξης προς το χρόνο παραμονής ονομάζεται αριθμός *Peclet* (Pe) και ο λόγος του χρόνου παραμονής προς το χρόνο αντίδρασης ονομάζεται αριθμός *Damkohler* (Da).

Σύμφωνα με τους Barnes, Putnam, και Barrett, εάν ο Pe είναι μεγάλος και ο Da μικρός τότε η ανάμιξη καθορίζει το ρυθμό στο μετακαυστήρα, ενώ εάν ο Pe είναι μικρός και ο Da μεγάλος, τότε η χημική κινητική είναι ο περιοριστικός παράγοντας του ρυθμού.

6.2.3 Πρόβλεψη της κινητικής των VOC

Τα κινητικά δεδομένα είναι σημαντικά για το σχεδιασμό του μετακαυστήρα, αλλά σπάνια, δύσκολα και κοστίζουν για να ληφθούν από πιλοτικές μελέτες. Η θερμοκρασία σχεδιασμού ή λειτουργίας της μονάδας καύσης πρέπει να είναι αρκετές εκατοντάδες βαθμούς ($^{\circ}F$) πάνω από την θερμοκρασία αυτανάφλεξης των VOC. Σε αυτή τη θερμοκρασία τα εύφλεκτα μίγματα των VOC παθαίνουν ανάφλεξη στον αέρα χωρίς εξωτερική πηγή. Για την πρόβλεψη των απαιτούμενων θερμοκρασιών, ο Lee και οι συνεργάτες πρότειναν ένα καθαρά στατιστικό μοντέλο σε έναν ισοθερμοκρασιακό μετακαυστήρα εμβολικής ροής. Το μοντέλο τους εξαρτάται από έναν αριθμό ιδιοτήτων των VOC και η μέθοδος τους δίνει άριστους συντελεστές συσχέτισης. Δύο από αυτές τις εξισώσεις είναι:

$$T_{99.9} = 594 - 12.2W_1 + 117.0W_2 + 71.6W_3 + 80.2W_4 + 0.592W_5 - 20.2W_6 - 420.3W_7 + 87.1W_8 - 66.8W_9 + 92.8W_{10} - 75.3W_{11} \quad (6.11)$$

$$T_{99} = 577 - 10.0W_1 + 110.2W_2 + 67.1W_3 + 72.6W_4 + 0.586W_5 - 23.4W_6 - 430.9W_7 + 85.2W_8 - 82.2W_9 + 65.5W_{10} - 76.1W_{11} \quad (6.12)$$

Όπου:

$T_{99.9}$ = θερμοκρασία για 99.9% απόδοση καταστροφής, °F

T_{99} = θερμοκρασία για 99% απόδοση καταστροφής, °F

W_1 = αριθμός ατόμων άνθρακα

W_2 = αναγνωριστικό για αρωματική ένωση (0=όχι, 1=ναι)

W_3 = αναγνωριστικό C = C (διπλός δεσμός) – δεν υπολογίζεται ο αρωματικός δακτύλιος - (0=όχι, 1=ναι)

W_4 = αριθμός ατόμων αζώτου

W_5 = θερμοκρασία αυτανάφλεξης

W_6 = αριθμός ατόμων οξυγόνου

W_7 = αριθμός ατόμων θείου

W_8 = λόγος υδρογόνου / άνθρακα

W_9 = αλλύλιο (2-προπενύλιο) αναγνωριστικό ένωσης (0=όχι, 1=ναι)

W_{10} = αλληλεπίδραση άνθρακα-διπλός δεσμός- χλώριο (0=όχι, 1=ναι)

W_{11} = φυσικός λογάριθμος του χρόνου παραμονής (sec)

Για να έχουμε τη θερμοκρασία σχεδιασμού, χρειαζόμαστε μια αποτελεσματική σταθερά ρυθμού k όπου

$$k = Ae^{-E/RT} \quad (6.13)$$

με E = ενέργεια ενεργοποίησης, cal/mol

A = προεκθετικός παράγοντας, s^{-1}

R = σταθερά του νόμου των ιδανικών αερίων, $1.987 cal/mol \cdot K$

T = απόλυτη θερμοκρασία, K

Ο προεκθετικός παράγοντας δίδεται από τον τύπο:

$$A = \frac{Z'Sy_{O_2}P}{R'} \quad (6.14)$$

όπου

Z' = συντελεστής ρυθμού συγκρούσεων

S = στερεοχημικός παράγοντας

y_{O_2} = μοριακό κλάσμα οξυγόνου στον μετακαυστήρα

P = απόλυτη πίεση, atm

R' = σταθερά αερίων, L · atm/mol · K

Επίσης, ο στερεοχημικός παράγοντας S δίνεται από:

$$S = \frac{16}{MW} \quad (6.15)$$

όπου MW = μοριακό βάρος υδρογονάνθρακα

Η ενέργεια ενεργοποίησης E (σε $Kcal/mol$) υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$E = -0.00966(MW) + 46.1 \quad (6.16)$$

Ο συντελεστής ρυθμού συγκρούσεων Z' μπορεί να υπολογιστεί από το Σχήμα 8.3 για τρεις κατηγορίες ενώσεων.

Σε κάθε ισοθερμοκρασιακό αντιδραστήρα εμβολικής ροής, η απόδοση της καταστροφής HC, η σταθερά ρυθμού και ο χρόνος παραμονής είναι ανεξάρτητα και συνδέονται:

$$h = 1 - \frac{[HC]_{out}}{[HC]_{in}} = 1 - e^{-k\tau} \quad (6.17)$$

Η προσέγγιση αυτή είναι χρήσιμη για την ιδανική περίπτωση ενός ισοθερμοκρασιακού αντιδραστήρα εμβολικής ροής, μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί και στο σχεδιασμό μη – ισοθερμοκρασιακού μετακαυστήρα, ο οποίος είναι περισσότερο αντιπροσωπευτικός των πραγματικών συνθηκών.

6.3 Ζητήματα Σχεδιασμού

6.3.1 Μονάδες θερμικής οξείδωσης

Στο σχεδιασμό της διεργασίας μονάδας θερμικής οξείδωσης ή μετακαυστήρα VOC περιλαμβάνεται ο καθορισμός της θερμοκρασίας λειτουργίας μαζί με τον επιθυμητό χρόνο παραμονής. Η επιλογή κατάλληλου εξοπλισμού εξαρτάται από παράγοντες όπως, ο τρόπος λειτουργίας (συνεχής ή διαλείπουσα), η περιεκτικότητα σε οξυγόνο, η συγκέντρωση των VOC και με προσπάθεια ελαχιστοποίησης του κόστους. Γι' αυτό, είναι επιθυμητό να διατηρηθεί ο όγκος του ρεύματος που θα υποστεί τη θερμική επεξεργασία όσο το δυνατόν μικρότερος. Οι μονάδες θερμικής οξείδωσης παίζουν ρόλο κλειδί στην καύση των επικίνδυνων αποβλήτων. Οι ισχύοντες κανονισμοί απαιτούν 99.9% απόδοση καταστροφής και απομάκρυνσης των κύριων επικίνδυνων οργανικών συστατικών. Κατά τη διάρκεια σχεδιασμού της διεργασίας, εκτελούνται τα ισοζύγια μάζας και ενέργειας για τη μονάδα προκειμένου να υπολογιστεί η παροχή του καυσίμου που απαιτείται για να αυξήσει τη θερμοκρασία συγκεκριμένης παροχής αέρα στη καθορισμένη θερμοκρασία. Έχουμε δύο προσεγγίσεις στο πρόβλημα του σχεδιασμού μετακαυστήρα. Η μία είναι παραδοσιακή και στηρίζεται στην υπόθεση ισοθερμοκρασιακού αντιδραστήρα εμβολικής ροής, μαθηματικός εύκολη αλλά προσεγγιστική στα αποτελέσματα. Η άλλη λαμβάνει υπόψη της μη ισοθερμοκρασιακές συνθήκες και απαιτεί χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Σε ένα τυπικό σχεδιαστικό πρόβλημα δεν είναι διαθέσιμη η πληροφορία σχετικά με τις σχέσεις μεταξύ χρόνου, θερμοκρασίας και απόδοσης καταστροφής για τον ατμό που πρόκειται να καεί. Το θέμα είναι να μπορεί να υπολογιστεί η αναμενόμενη θερμοκρασία, όταν έχουμε συγκεκριμένες παροχές καυσίμου και ρυπασμένου ρεύματος αέρα. Το συνολικό ισοζύγιο μάζας στη μόνιμη κατάσταση μετατρέπεται σε

$$0 = \dot{M}_G + \dot{M}_{PA} + \dot{M}_{BA} - \dot{M}_E \quad (6.18)$$

όπου το \dot{M} είναι η παροχή μάζας και οι δείκτες:

G = αέριο καύσιμο

PA = Ρυπασμένος αέρας

BA = αέρας καυστήρα

E = καυσαέρια

Το ισοζύγιο της ενθαλπίας στη μόνιμη κατάσταση είναι:

$$0 = \dot{M}_{PA} h_{PA} + \dot{M}_G h_G + \dot{M}_{BA} h_{BA} - \dot{M}_E h_E + \dot{M}_G (\Delta H_c)_G + \sum \dot{M}_{VOC_i} (\Delta H_c)_{VOC_i} X_i - q_L \quad (6.19)$$

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Μελάς Δ., «Διασπορά Αερίων Ρύπων», Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Μυτιλήνη, 1997
2. Χουσιάδας Χ., «Φυσική και Δυναμική των Αιωρούμενων Σωματιδίων», Θερινό Σχολείο «Δημοκρίτου», 2005
3. Μαραζιώτης Ευάγγελος, Σημειώσεις Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης, Παν. Πατρών, Τμήμα Μηχ/γων Μηχ/κών, 2007.
4. Μελάς Δ. , Αλεξανδροπούλου Α. , Αμοιρίδης Β. , Κακαρίδου Μ. , Σουλακέλλης Ν., 2000, Ατμοσφαιρική ρύπανση, Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων, σελ. 1-53
5. Τσεβρένης Γ., «Ανάπτυξη Λογισμικού για τον σχεδιασμό ατιρρυπαντικών τεχνολογιών ελέγχου αέριας ρύπανσης», Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Μακεδονίας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Τεχνολογιών Αντιρρύπανσης, Κοζάνη, 2010
6. Χατζηδάκης Δ., «Ατμοσφαιρική ρύπανση από βιομηχανικές δραστηριότητες – Τεχνολογίες Αντιρρύπανσης», 1ο Ελληνοκινεζικό φόρουμ για το περιβάλλον, ΤΕΕ, Αθήνα, 2009
7. Χατουτσίδου Σ., «Κατανομή Αιωρούμενων Σωματιδίων στην Ανατολική Μεσόγειο: Σχηματισμός νέων σωματιδίων και δυναμική τους», Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων», Χανιά, 2010
8. Μπίσκοκ Γ., «Αεροζόλ, Κλιματική Αλλαγή, Δημόσια Υγεία και Νανοτεχνολογία», Αθήνα, 2009
9. Παπαχατζής Π., «Ατμοσφαιρική Ρύπανση και Ελληνική Ακτοπλοΐα», Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών, 2010
10. Ρεμουντάκη Ε., «Μηχανισμοί κινητικότητας ρύπων», Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Τομέας Μεταλλουργίας και Τεχνολογίας Υλικών, Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνολογίας Προστασίας Περιβάλλοντος στη Μεταλλουργία και Τεχνολογία Υλικών

Ιστοσελίδες

1. Ιστοσελίδες του ΥΠΕΧΩΔΕ σχετικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση.

a) *Εθνικά όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας*

<http://www.minenv.gr/1/12/122/12205/g1220509.html>

b) *Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα*

<http://www.minenv.gr/1/12/122/12205/g1220501.html>

c) *Μέτρα της πολιτείας για την ελάττωση της ρύπανσης από κεντρική θέρμανση και άλλες πηγές*

<http://www.minenv.gr/1/12/122/12203/g1220303.html>

d) *Τι μπορούμε να κάνουμε για να βοηθήσουμε στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης*

<http://www.minenv.gr/1/12/122/12203/g1220304.html>

2. Ιστοσελίδα της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος (ΕΕΑ) - Περιβαλλοντικά Θέματα:

Πηγές Αέριας Ρύπανσης

<http://themes.eea.eu.int:80/showpage.php?pg=39344>

3. Ευρωπαϊκό Κέντρο για τις Αέριες Εκπομπές - CORINAIR 90 Δεδομένα Εκπομπών.

<http://www.aeat.co.uk/netcen/corinair/corinair.html>

4. Ευρωπαϊκό Θεματικό Κέντρο Ποιότητας Αέρα (European Topic Centre on Air Quality)

<http://www.etcaq.rivm.nl/>

5. Ιστοσελίδα της Υπηρεσίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (EPA - Office of Air and Radiation) με λεπτομερειακό υλικό για την αέρια ρύπανση.

<http://www.epa.gov/oar/aqtrnd95/sixpoll.html>

6. <http://www.epa.gov/acidrain/effects/envben.html>

7. <http://www.epa.gov/iaq/pubs/insidest.html>

8. http://www.epa.gov/oar/oaqps/peg_caa/pegcaain.html

9. <http://www.epa.gov/Region2/health/humanhlth.htm>

10. <http://www.epa.gov/children/air.htm>

11. <http://www.epa.gov/epaoswer/osw/hazwaste.htm>

12. <http://www.ehjournal.net>

13. www.atsdr.sdc.gov/tfacts22.html.

14. <http://threatsummary.forestthreats.org>

15. www.who.int

16. www.ndsu.edu

17. <http://faculty.plattsburgh.edu>

18. <http://web.worldbank.org>

19. <http://ec.europa.eu>

20. <http://hiliomatis.wordpress.com>

21. <http://pubs.acs.org>

22. <http://www.perivallontiki.com.cy>

23. <http://greenliving.nationalgeographic.com>

24. www.greenpeace.org
25. www.equalearth.org
26. www.stuffintheair.com
27. www.aip.org
28. www.naturegrid.org.uk
29. www.ecifm.rdg.ac.uk
30. www.physicalgeography.net
31. www.agronomist.gr
32. www.pollutionissues.com