

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΦΛΟΓΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΚΑΠΝΟΔΟΧΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΩΝ ΚΑΥΣΗΣ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΖΟΥΛΑΜΟΓΛΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: 1) ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΜΑΥΡΙΔΗΣ
2) ΓΙΑΝΝΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

ΠΑΤΡΑ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και αναφέρεται στη θεωρητική μελέτη συστημάτων καπνοδόχων για χρήση σε εγκαταστάσεις πετρελαϊκές ή/και πετροχημικές που απαιτείται να εξουδετερώνουν αεριοροές υδρογονανθράκων και άλλων επικίνδυνων συστατικών.

Στην αρχή μελετώνται οι διαθέσιμες κατηγορίες των καπνοδόχων και οι παράγοντες που επηρεάζουν το σχεδιασμό τους. Στην συνέχεια περιγράφονται οι θεωρήσεις που πρέπει να γίνουν από έναν σχεδιαστή για το ορθό σχεδιασμό των καπνοδόχων, ο εξοπλισμός μιας συνήθους καπνοδόχου και στο τέλος γίνεται μια μαθηματική περιγραφή για τον υπολογισμό των αποδόσεων εγκαταστάσεων καπνοδόχων.

Ευχαριστώ θερμά τους Επιβλέποντες Καθηγητές μου κ. Κων/νο Μαυρίδη, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολογίας και κ. Ιωάννη Γιαννάκη, Συνεργάτη Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολογίας, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφεραν για την πραγματοποίηση της πτυχιακής αυτής εργασίας και να ολοκληρώσω τις σπουδές μου.

Ζουλάμογλου Παναγιώτης
Ιανουάριος 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αναφέρεται στη θεωρητική μελέτη συστημάτων καπνοδόχων για χρήση σε εγκαταστάσεις πετρελαϊκές ή/και πετροχημικές που απαιτείται να εξουδετερώνουν αεριοροές υδρογονανθράκων και άλλων επικίνδυνων συστατικών.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε πέντε Κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύεται η χρήση των καπνοδόχων, οι εφαρμογές χρήσης τους, οι διαθέσιμοι τύποι και μια αναφορά στα κύρια εξαρτήματα που τους αποτελούν.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο περιγράφονται οι παράγοντες που επηρεάζουν το σχεδιασμό των καπνοδόχων όπως: παροχή, σύνθεση μίγματος αερίων, θερμοκρασία αερίων, πίεση αερίων, ασφάλεια, περιβαλλοντικές επιδράσεις και κοινωνικές απαιτήσεις από τη χρήση τους.

Στο τρίτο Κεφάλαιο περιγράφονται οι παραδοχές και θεωρήσεις που πρέπει να γίνουν από το σχεδιαστή με σκοπό την σωστή μελέτη ενός συστήματος καπνοδόχου.

Στο τέταρτο Κεφάλαιο περιγράφεται ο απαραίτητος εξοπλισμός των συστημάτων καπνοδόχων και των συναφών συστημάτων ασφαλούς λειτουργίας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο μαθηματικό υπολογισμό των αποδόσεων των καπνοδόχων, τον υπολογισμό των εκπομπών των ρύπων και τον υπολογισμό της διασποράς των ρύπων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελίδα
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΠΝΟΔΟΧΩΝ	5
Εφαρμογές καπνοδόχων	7
Τύποι συστημάτων καπνοδόχων	8
Κύρια εξαρτήματα Συστήματος καπνοδόχου	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΠΝΟΔΟΧΩΝ	14
Ρυθμός ροής	14
Σύνθεση αερίων	16
Θερμοκρασία αερίων	18
Διαθέσιμη πίεση αερίων	19
Κόστος εγκατάστασης και διαθεσιμότητα	20
Απαιτήσεις ασφάλειας	21
Απαιτήσεις περιβαλλοντικές	22
Απαιτήσεις κοινωνικές	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΠΝΟΔΟΧΟΥ	25
Αξιόπιστη καύση	26
Υδραυλικά	28
Αφαίρεση υγρών	30
Διείσδυση αέρα	32
Ακτινοβολία φλόγας	34
Καταστολή καπνού	38
Θόρυβος/όραση φλόγας	41
Μίγματα αέρα/αερίων	42

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΠΝΟΔΟΧΟΥ	43
Καυστήρες καπνοδόχου	43
Πιλότοι, αναφλεκτήρες και εποπτεία	58
Τύμπανα εκκενώσεως	65
Υγροί Στεγανοποιητές	68
Εσωτερικοί (εσωκλειόμενοι) καπνοδόχοι	72
Δομές υποστήριξης της καπνοδόχου	75
Έλεγχος καμινάδας	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: Προϊόντα καύσης καπνοδόχου	84
Αποδοτικότητα αντίδρασης	84
Εκπομπές	87
Διασπορά	87
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	90

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΠΝΟΔΟΧΩΝ

Κατά τη λειτουργία πολλών βιομηχανικών εγκαταστάσεων υδρογονανθράκων, υπάρχει η ανάγκη για έλεγχο των συνθηκών λειτουργίας εξαερισμού αερίων ή/και υγρών. Σε επείγουσες περιπτώσεις, βαλβίδες ανακουφίσεως δρουν αυτόματα για να περιορίσουν την υπερπίεση του εξοπλισμού. Για πολλές δεκαετίες του τελευταίου αιώνα, ο εξαερισμός της διεργασίας και οι ροές ανακουφίσεως της πίεσης, ατομικά ή συλλογικά, οδηγούνταν στην ατμόσφαιρα άκαυστες. Αέρια διαχωρισμένα από το παραγόμενο πετρέλαιο επίσης εξαερώνονταν στην ατμόσφαιρα άκαυστα. Η συνήθεια την άκαυστη εξαέρωση άρχισε να αλλάζει γύρω στο 1950 όταν η αυξημένη περιβαλλοντική ενήμερωση και η ανησυχία ασφάλειας δημιούργησε την επιθυμία να μετατραπούν οι εξαερώσεις σε συνεχείς καιγόμενες φλόγες. Η καύση αυτή έφερε την ανάγκη για ενδιαφέρον στους παράγοντες σχεδιασμού και μελέτης που αφορούν ένα σύστημα με φλόγα στην έξοδο. Σε πολλές περιπτώσεις το επιλεχθέν σύστημα αερίων συνοδεύεται από πυκνό μαύρο καπνό όπως φαίνεται στην εικόνα 1. Το πρώτο επιτυχημένο σύστημα καπνοδόχου καυστήρα χωρίς την παρουσία καπνού δημιουργήθηκε στις αρχές του 1950 (Εικόνα 2).

Η μελέτη των καπνοδόχων είναι μια αρκετά δύσκολη εργασία που πρέπει να λάβει υπόψη της σοβαρά τις εξής παραμέτρους:

- Η σύνθεση των αερίων που χειρίζονται από έναν καπνοδόχο συχνά διαφέρει μέσα σε ένα αρκετά ευρύ πεδίο.
- Οι καπνοδόχοι απαιτείται να λειτουργούν σε ένα αρκετά μεγάλο ρυθμό ελάττωσης αερίων (λόγος μέγιστης ροής κινδύνου προς ροή καθαρισμού).
- Ένα σύστημα καπνοδόχου πρέπει να λειτουργεί για μεγάλες χρονικές περιόδους χωρίς συντήρηση.
- Τα συστήματα αυτά πρέπει να λειτουργούν σε υψηλά επίπεδα επιπλέον αέρα σε σχέση με άλλους καυστήρες.
- Πολλά τέτοια συστήματα έχουν ένα ρυθμό έκτακτης ροής ανακουφίσεως που παράγει μια φλόγα δεκάδες μέτρα μακριά με μια πολλή υψηλή απελευθέρωση θερμότητας χιλιάδες Btu/hr (Εικόνα 3).

Με εκτίμηση στην κάθε διαφορετική εφαρμογή, τα συστήματα καπνοδόχων έχουν ένα κοινό κύριο σκοπό: ασφαλή και αποτελεσματική εκκένωση των αερίων και υγρών σε ένα ανεκτό κόστος. Αυτό είναι αρκετά σημαντικό και μια συνεχής υπενθύμιση ότι ο σχεδιασμός συστημάτων καπνοδόχων δεν πρέπει να κάνει ποτέ συμβιβασμό σχετικά με αυτόν τον κύριο σκοπό.



Εικόνα 1: Τυπική απόδοση καπνοδόχου στη δεκαετία του 1950.



Εικόνα 2: Ένα πρώιμο μοντέλο άκαπνης καπνοδόχου.



Εικόνα 3: Κύρια λειτουργίας καπνοδόχου με ύψος περίπου 90m.

Εφαρμογές καπνοδόχων

Μέσα στις βιομηχανίες πετροχημικών και υδρογονανθράκων, από τη περιοχή γεωτρήσεων έως τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας των πετροχημικών προϊόντων και σε πολλά και διαφορετικά ενδιάμεσα σημεία, οι καπνοδόχοι εγκαθίστανται για να επιτύχουν τον κύριο σκοπό για τον οποίο σχεδιάστηκαν. Τα διάφορα συστήματα έχουν ικανότητα που ποικίλει από 100 έως και περισσότερο από 10 εκατομμύρια lb/hr. Το υλικό που απελευθερώνεται μέσα σε ένα τέτοιο σύστημα είναι συχνά ένα μίγμα από αρκετά συστατικά που διαφέρει από υδρογόνο έως βαριά κλάσματα υδρογονανθράκων και μερικές φορές περιλαμβάνονται και αδρανή αέρια. Μερικοί βαρείς υδρογονάνθρακες μπορεί να είναι σε αέρια κατάσταση όταν απελευθερώνονται στο σύστημα αλλά μπορεί και να συμπυκνώνονται επειδή είναι αρκετά ψυχροί.

Οι απαιτήσεις σχεδιασμού για μια δεδομένη εγκατάσταση σπάνια είναι ίδιες με αυτές κάποιας άλλης εγκατάστασης. Αυτή η διαφορετικότητα καθώς επίσης και το μεγάλο πεδίο εφαρμογών των καπνοδόχων και των συνθηκών των εγκαταστάσεων, συχνά απαιτούν σχεδιασμό κατά παραγγελία.

Τύποι συστημάτων καπνοδόχων

Οι καπνοδόχοι για χρήση στις βιομηχανίες πετροχημικών και υδρογονανθράκων γενικά είναι των επόμενων τύπων ή και συνδυασμού τους:

- Μονού σημείου (single point)
- Πολλαπλών-σημείων (multi-point)
- Εσωκλειόμενοι (enclosed)

Συστήματα καπνοδόχων μονού σημείου

Τα συστήματα καπνοδόχων μονού σημείου μπορούν να σχεδιαστούν με ή χωρίς εξοπλισμό καταστολής καπνού και γενικά προσανατολίζονται σε ανοδική φωτιά με σημείο κατάθλιψης σε μια ανυψωμένη θέση σχετικά με τον υπάρχον κοντινό εξοπλισμό (εικόνα 4.) Σε διάφορες περιπτώσεις, τα συστήματα καπνοδόχου μονού σημείου τοποθετούνται στη φωτιά περισσότερο ή λιγότερο οριζόντια, συχνά πάνω ένα ορυχείο ή σημείο ανασκαφής (εικόνα 5). Οι οριζόντιες καπνοδόχοι γενικά αποκλειστικά χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις γεωτρήσεων και εγκαταστάσεων παραγωγής όπου υπάρχει μια υψηλή πιθανότητα ακάλυπτων ρευστών.



Εικόνα 4: Μονού σημείου καπνοδόχος



Εικόνα 5: Τυπική εγκατάσταση καπνοδόχου σε σημείο ανασκαφής

Συστήματα καπνοδόχων πολλαπλών σημείων

Οι καπνοδόχοι πολλαπλών σημείων χρησιμοποιούνται για να επιτύχουν βελτιωμένη καύση με την καθοδήγηση των αερίων ρευμάτων σε μεγάλο αριθμό σημείων καύσης. Για εγκαταστάσεις απόσταξης και πετροχημικές, οι καπνοδόχοι πολλαπλών σημείων συχνά σχεδιάζονται να επιτύχουν άκαπνη καύση όλων των ροών. Τέτοιοι καπνοδόχοι συχνά χωρίζονται τα πολλαπλά σημεία καύσης σε στάδια για να επιτύχουν καλύτερη καύση. Τα πολλαπλά σημεία καύσης μπορούν να τοποθετηθούν σε παρατάξεις τοποθετημένες κοντά σε βαθμίδες της εγκατάστασης (εικόνα 6) ή κοντά σε ανυψωμένη θέση (εικόνα 7).



Εικόνα 6: Σύστημα καπνοδόχου πολλαπλών σημείων



Εικόνα 7: Ανυψωμένο σύστημα καπνοδόχου πολλαπλών σημείων

Συστήματα εσωκλειόμενων καπνοδόχων

Οι εσωκλειόμενοι καπνοδόχοι κατασκευάζονται έτσι ώστε να αποκρύπτουν τη φλόγα από την απευθείας θέασή της. Επιπλέον πλεονεκτήματα μπορούν να είναι η μείωση

στο επίπεδο του θορύβου στη γειτονική περιοχή και ελαχιστοποίηση της ακτινοβολίας. Η ικανότητα μπορεί να είναι η μέγιστη δυνατή, αλλά συχνά, περιορίζεται σε ρυθμούς ροής που επιτρέπουν στην αποκρυφθείσα εγκατάσταση να ξεκινά, να σβήνει και να λειτουργεί σε ημερήσια βάση χωρίς την έκθεση της φλόγας στην καπνοδόχο. Πολλαπλές εσωκλειόμενοι καπνοδόχοι συχνά χρησιμοποιούνται για να επιτύχουν την απαιτούμενη ικανότητα απόκρυψης της φλόγας. Ένα τέτοιο παράδειγμα φαίνεται στην εικόνα 8 που έχει σχεδιαστεί για 100 μετρικούς τόνους ανά ώρα απορριπτόμενου αερίου από κλιβάνους αιθυλενίου κατά τη διάρκεια εκκινήσεων.



Εικόνα 8: Εσωκλειόμενη καπνοδόχος σε μια εγκατάσταση αιθυλενίου

Συνδυασμένα συστήματα καπνοδόχων

Ενας κοινός συνδυασμός ενός εσωκλειόμενου καπνοδόχου περιορισμένης ικανότητας μαζί μια ανυψωμένη καπνοδόχο (εικόνα 9) που είναι διαστασιολογημένη για τη μέγιστη προβλεφθείσα ροή προς το σύστημα. Μια τέτοια σύζευξη δίνει ένα σύστημα καπνοδόχου που έχει μια θεατή φλόγα κατά τη διάρκεια κύριων ενάρξεων ή γεγονότων αποτυχιών (λαθών). Άλλες συζεύξεις, όπως μια ανυψωμένη καπνοδόχος με πολλαπλή καπνοδόχο χρησιμοποιούνται (εικόνα 10).



Εικόνα 9: Συνδυασμένο σύστημα καπνοδόχου.

Κύρια εξαρτήματα Συστήματος καπνοδόχου

Κάθε τύπος συστήματος καπνοδόχου έχει τα δικά του εξαρτήματα. Επιπλέον, τα συστήματα μπορεί να έχουν και εξαρτήματα που παρακάτω περιγράφονται σαν επιλογής ή προαιρετικά. Αυτά τα προαιρετικά εξαρτήματα έχουν ειδικές απαιτήσεις, όπως καταστολή καπνού ή μεταφορά ρευστών. Ο προαιρετικός εξοπλισμός μπορεί να βοηθήσει επίσης στη μείωση του κόστους ή στη υποστήριξη της λειτουργίας του συστήματος της καπνοδόχου. Πρέπει να τονιστεί ότι υπάρχει διαφορά μεταξύ του καυστήρα ή καυστήρων καπνοδόχου που απαιτούνται για κάθε τύπο συστήματος καπνοδόχου.

Συστήματα μονού σημείου

Για καπνοδόχο μονού σημείου, τα κύρια απαραίτητα και προαιρετικά εξαρτήματα είναι:

1. καυστήρας καπνοδόχου με ή χωρίς δυνατότητα καταστολής καπνού:
 - ένα ή περισσότερους οδηγούς καυσίμου ή πιλότους (pilot)
 - αναφλεκτήρα (αναφλεκτήρες) πιλότου
 - ανιχνευτή (ανιχνευτές) φλόγας πιλότου
2. υποστηρικτική δομή, σωληνώσεις και βοηθητικό εξοπλισμό

3. συσκευή μείωσης απόπλυσης (προαιρετική)
4. τύμπανο κρούσης (προαιρετικό)
5. στεγανοποιητής υγρών (προαιρετική)
6. δευτερεύον εξοπλισμός:
 - ελεγκτής καταστολής καπνού (προαιρετική)
 - φυσητήρες (προαιρετικό)
 - ελεγκτής ροής, σύνθεσης, θερμικής τιμής ή καταγραφείς (προαιρετικά)

Συστήματα πολλαπλών σημείων

Για καπνοδόχο πολλαπλών σημείων, τα κύρια απαραίτητα και προαιρετικά εξαρτήματα είναι:

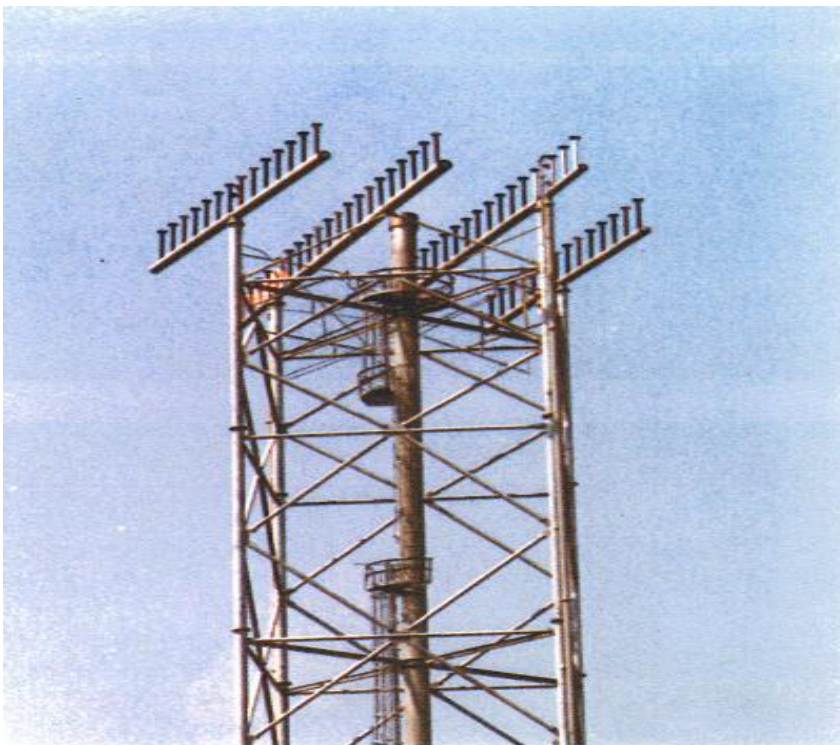
1. δύο ή περισσότερους καυστήρες καπνοδόχου πολλαπλών σημείων
2. πιλότο (πιλότους), αναφλεκτήρα (-ες) πιλότου (-ων) και ανιχνευτή (-ες) φλόγας πιλότου (-ων)
3. εάν υπάρχει ανύψωση, υποστηρικτική δομή και βοηθητικός εξοπλισμός
4. εμπόδιο στη μειωμένη πρόσβαση και μείωση της ακτινοβολίας της φλόγας και ορατότητας (προαιρετικά)
5. τύμπανο κρούσης (προαιρετικό)
6. στεγανοποιητής υγρών (προαιρετική)
7. σωληνώσεις
8. δευτερεύον εξοπλισμός:
 - εξοπλισμός βαθμίδων και όργανα (προαιρετικά)
 - σύστημα καταστολής όπου μεγάλες μειώσεις απαιτούνται
 - ελεγκτής ροής, σύνθεσης, θερμικής τιμής ή καταγραφείς (προαιρετικά)

Συστήματα εσωκλειόμενα

Για καπνοδόχο εσωκλειόμενο, τα κύρια απαραίτητα και προαιρετικά εξαρτήματα είναι:

1. καυστήρες καπνοδόχου με ή χωρίς ικανότητα καταστολής καπνού
2. πιλότο (πιλότους), αναφλεκτήρα (-ες) πιλότου (-ων) και ανιχνευτή (-ες) φλόγας πιλότου (-ων)

3. κατασκευή εγκόπλωσης με προστατευτική γραμμή διάθλασης
4. εμπόδιο για περιορισμένη πρόσβαση
5. τύμπανο κρούσης (προαιρετικό)
6. στεγανοποιητής υγρών (προαιρετική)
7. σωληνώσεις και θερμική προστασία
8. δευτερεύον εξοπλισμός:
 - α. εξοπλισμός βαθμίδων και όργανα (προαιρετικά)
 - β. ελεγκτής ροής, σύνθεσης, θερμικής τιμής ή καταγραφείς (προαιρετικά)



Εικόνα 10: Σύστημα συνδυασμένης καπνοδόχου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΠΝΟΔΟΧΩΝ

Για τον προσδιορισμό ενός συστήματος καπνοδόχου πρέπει να υπάρχει μια ενημέρωση για βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος, την ασφάλεια, τις περιβαλλοντικές ανησυχίες και το κόστος. Κύριοι παράμετροι που επηρεάζουν το σχεδιασμό συστημάτων καπνοδόχων περιλαμβάνουν:

- ρυθμός ροής
- σύνθεση αερίων
- θερμοκρασία αερίων
- διαθέσιμη πίεση αερίων
- κόστος εγκατάστασης και διαθεσιμότητα
- απαιτήσεις ασφάλειας
- απαιτήσεις περιβαλλοντικές
- απαιτήσεις κοινωνικές

Πληροφορίες σχετικές με καθένα από αυτούς τους παράγοντες είναι κανονικά διαθέσιμες στο σχεδιαστή της εγκατάστασης και/ή στον ιδιοκτήτη της εγκατάστασης. Αυτοί οι παράμετροι προσδιορίζουν τις απαιτήσεις του συστήματος καπνοδόχου και πρέπει να είναι διαθέσιμες στον σχεδιαστή του συστήματος όσο το δυνατόν νωρίτερα στη διαδικασία σχεδιασμού. Οι πρώτοι 4 παράμετροι προσδιορίζονται από την πηγή ή πηγές που το αέριο μίγμα οδηγείται στη κεφαλή της καπνοδόχου. Ο επόμενος παράγοντας σχετίζεται με το σχεδιασμό της εγκατάστασης και τη θέση του. Οι περιβαλλοντικές απαιτήσεις, οι απαιτήσεις ασφάλειας και οι κοινωνικές σχετίζονται όλες σε υποχρεωτικού κανονισμούς και νομοθετικές πράξεις, τις βασικές πρακτικές του ιδιοκτήτη και τη σχέση μεταξύ της εγκατάστασης και των γειτονικών περιοχών.

Ρυθμός ροής

Ο σχεδιαστής του συστήματος καπνοδόχου βασίζεται αυστηρά στα δεδομένα ροής που θα του δοθούν. Επομένως, τα δεδομένα αυτά πρέπει ρεαλιστικά να αντιπροσωπεύουν τα ποικίλα σενάρια ροής. Υπερ-εκτίμηση των ροών θα οδηγήσουν σε υπερμεγέθη εξοπλισμό, που αυξάνει μαζί το αρχικό κεφάλαιο και τα κόστη

λειτουργίας και μπορεί να οδηγήσει σε μικρότερη διάρκεια ζωής. Υπο-εκτίμηση θα έχει σαν αποτέλεσμα ένα αναποτελεσματικό ή ανασφαλές σύστημα.

Ο ρυθμός ροής προφανώς επηρεάζει θέματα όπως το μέγεθος του μηχανολογικού εξοπλισμού του συστήματος της καπνοδόχου. Η επίδραση όμως είναι πολύ ευρύτερη. Για παράδειγμα, αυξημένη ροή γενικά οδηγεί σε μια αύξηση στη θερμική ακτινοβολία από μια ανυψωμένη φλόγα καπνοδόχου, κάτι που θα έχει μια απευθείας επίδραση στο ύψος και στη θέση της δέσμης των καπνοδόχων.

Ο μέγιστος ρυθμός ροής ανάγκης μπορεί να συμβεί κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης διαταραχής στην βιομηχανία όπως η ολική απώλεια της ηλεκτρικής ισχύος ή του νερού ψύξης. Όμως, κάποιες διαδικασίες έχουν τον δικό τους μέγιστο ρυθμό ροής κάτω λιγότερο προφανείς συνθήκες όπως μερική απώλεια ηλεκτρικής ισχύος όπως π.χ. οι αντλίες να συνεχίζουν να παρέχουν υλικό σε ένα σταματημένο τμήμα της βιομηχανικής μονάδας.

Η διάρκεια του μέγιστου ρυθμού ροής μπορεί να επηρεάσει το σχεδιασμό του συστήματος της καπνοδόχου με ένα αριθμό τρόπων. Για παράδειγμα, η διάρκεια του χρόνου που ένας εργαζόμενος εκτίθεται στη θερμότητα από τη φλόγα της καπνοδόχου μπορεί να επηρεάσει την επιλογή του επιτρεπόμενου ρυθμού θερμότητας. Συνήθως, μια πολύ μικρή διάρκεια ανακουφίσεως μέσα σε ένα σύστημα καπνοδόχου μπορεί να οδηγήσει σε μια σχετικά υψηλή επιτρεπόμενη ακτινοβολία. Αντίθετα, μια μεγάλη διάρκεια, υψηλή ανακούφιση ροής μπορεί να απαιτεί ένα χαμηλότερο σχεδιασμό επιτρεπόμενου επιπέδου ακτινοβολίας.

Στο παρελθόν, ο μέγιστος ρυθμός ροής προσδιορίζονταν προσθέτοντας τους ρυθμούς ροής καθενός από τις συνδεδεμένες συσκευές ανακουφίσεως. Αυτή η προσέγγιση οδηγούσε σε έναν μη ρεαλιστικό υψηλό ρυθμό ροής επειδή η παραδοχή ότι όλες οι συνδεδεμένες συσκευές ανακουφίζονται ταυτόχρονα είναι συχνά λανθασμένη. Ο σύγχρονος σχεδιασμός βιομηχανικών εγκαταστάσεων και τα εργαλεία ανάλυσης όπως η δυναμική προσομοίωση επιτρέπει στο σχεδιαστή των διαδικασιών να προσδιορίσει περισσότερο κατάλληλα το μέγιστο ρυθμό ροής στην καπνοδόχο. Προσοχή στο σχεδιασμό του ελέγχου των συστημάτων ηλεκτρικής ισχύος μπορεί δραστικά να μειώσει τα φορτία της καπνοδόχου επίσης.

Επιπρόσθετα στις συνθήκες μέγιστης ροής, είναι επίσης σημαντικό να προσδιοριστούν κατηγορηματικά καθεμιά από τις συνθήκες ροής κάτω από τις οποίες μια καπνοδόχος αναμένεται να καίει χωρίς καπνό. Αυτές οι συνθήκες ροής μπορούν να προέλθουν από αναταραχές-βλάβες στην εγκατάσταση, από

περιστατικά όπως το σταμάτημα ενός συμπιεστή ή από διάφορες λειτουργίες της εγκατάστασης περιλαμβάνοντας έναρξη, λήξη ή ξαφνικό σταμάτημα κύριου και συγκεκριμένου εξοπλισμού. Προσπάθειες να μειώσει η βιομηχανία πραγματικά σενάρια καύσης χωρίς καπνό θέτοντας το ρυθμό άκαπνης ροής σαν ποσοστό του μέγιστου ρυθμού ροής ανάγκης μπορεί να οδηγήσει σε απογοήτευση σχετικά με την απαραίτητη σχετική δαπάνη.

Σύνθεση αερίων

Η σύνθεση αερίων μπορεί να επηρεάσει το σχεδιασμό της καπνοδόχου με έναν αριθμό τρόπων. Ο σχεδιαστής πρέπει να έχει υπόψη του τη σύνθεση αερίων για κάθε μια από τις συνθήκες ροής που αναφέρθηκαν παραπάνω και για κάθε ειδικά αέρια που μπορεί να χρησιμοποιηθούν όπως πιλοτικά καύσιμα ή αέρια απόπλυσης. Εξετάζοντας τη σύνθεση των αερίων, τα χαρακτηριστικά της καύσης και η ταυτότητα των εν δυνάμει αερίων συστατικών μπορούν να προσδιοριστούν.

Για παράδειγμα, η σύνθεση αποκαλύπτει τη σχετική παρουσία υδρογόνου και άνθρακα. Ο λόγος του βάρους του υδρογόνου προς τον άνθρακα σε ένα αέριο είναι μια από τις παραμέτρους που μπορεί να δείξει την τάση καπνού από το αέριο. Η επίδραση του λόγου βάρους υδρογόνου προς άνθρακα συχνά αναφέρεται σαν λόγος H/C στη τάση καπνού που φαίνεται στην εικόνα 11. Η εικόνα 11 δείχνει τη φλόγα που δημιουργήθηκε από τη καύση τριών διαφορετικών αερίων χρησιμοποιώντας τον ίδιο εξοπλισμό καπνοδόχου και συνθήκες λειτουργίας. Η φλόγα που δημιουργήθηκε καίγοντας ένα 25 MW φυσικό αέριο κεφαλής (H/C=0.27) είναι καθαρή όπως φαίνεται στην εικόνα 11α. Η φλόγα στην εικόνα 11β δείχνει τη καύση προπανίου (H/C=0.22). Η φλόγα προπανίου έχει κάποιο καπνό στην άκρη, έχει κίτρινο χρώμα πολύ κοντά στον καυστήρα της καπνοδόχου και είναι πιο αδιαφανής όταν συγκρίνεται με τη φλόγα του φυσικού αερίου. Ο πυκνός μαύρος καπνός και η μαύρη φλόγα που φαίνεται στην εικόνα 11γ παράχθηκε από την καύση προπυλενίου (H/C=0.17). Μια αναλογία της φλόγας καλύπτεται από τον καπνό. Το γεγονός ότι ο καπνός καλύπτει μέρος της φλόγας πρέπει να ληφθεί υπόψη για όταν υπολογίζουμε την ακτινοβολία από τη φλόγα της καπνοδόχου. Η ανάλυση της σύνθεσης μπορεί επίσης να αποκαλύψει την παρουσία μη-υδρογονανθράκων όπως σουλφίδια υδρογόνου. Τέτοια αέρια μπορεί να απαιτούν ειδικούς υπολογισμούς στο σχεδιασμό όπως ανάλυση σύνθεσης στο βασικό επίπεδο. Η σύνθεση συνδυασμένη με το ρυθμό ροής

επιτρέπει τον προσδιορισμό του όγκου ροής ή της μαζική παροχής των αερίων που υπάρχουν στο σύστημα της καπνοδόχου. Η πρακτική του προσδιορισμού ενός ρεύματος αερίων από τις ιδιότητές του μόνο (μοριακό βάρος (MW), χαμηλότερη θερμογόνο τιμή (LHV), υψηλό/χαμηλό όριο αναφλεκτικότητας (UEL/LEL), κ.α) μπορεί να συγκαλύψει κινδύνους ασφάλειας ή πρόληψη μείωσης κόστους εξοπλισμού και λειτουργίας όπως αλλιώς θα αναγνωρίζονταν από τον σχεδιαστή της καπνοδόχου. Για παράδειγμα, ένα 28 έως 30 MW αέριο μπορεί να είναι αιθάνιο, αιθυλένιο, άζωτο, μονοξείδιο του άνθρακα, αέρας ή ακόμα και ένα μίγμα υδρογόνου και ξυλενίου. Ένα σύστημα καπνοδόχου για να μεταχειριστεί κάποια συγκεκριμένη ποσότητα του αερίου των 28MW μπορεί να έχει πολύ διαφορετικό σχεδιασμό και χαρακτηριστικά λειτουργίας εξαρτώμενο από την πραγματική σύνθεση των αερίων που περιλαμβάνονται. Το αιθυλένιο έχει ροπή στον καπνό αλλά παραμένει λεπτό και σταθερό σε υψηλές ταχύτητες εξόδου. Το CO αντίθετα δεν έχει καπνό αλλά είναι δύσκολο να διατηρηθεί λεπτό έστω και σε μέσες έως και χαμηλές ταχύτητες εξόδου. Η ακτινοβολία, ο πιθανός εμπλουτισμός του αερίου ανακουφίσεως, οι απαιτήσεις έκπλυσης και το δυναμικό για συμπύκνωση σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος είναι μερικά παραδείγματα της επιρροής που έχει η σύνθεση του αερίου στο σχεδιασμό της καπνοδόχου.



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 11: Σύγκριση της φλόγας που παράγεται από τη καύση α) 25MW φυσικού αερίου, β) προπανίου και γ) προπυλενίου.

Θερμοκρασία αερίων

Επιπρόσθετα με την επίδραση της θερμοκρασίας ανακουφίσεως του αερίου στη θερμική εκτόνωση, στον όγκο του αερίου και τις μεταλλουργικές απαιτήσεις, υπάρχει μια πιο περίπλοκη επίδραση της θερμοκρασίας αερίων στη δυναμική μερικών στοιχείων του αερίου να συμπυκνωθούν. Πιθανή συμπύκνωση ή διφασική ροή απαιτεί εξοπλισμό μετακίνησης υγρού για να αποφευχθεί μια υψηλότερη ροπή σε καπνό και /ή πιθανότητα μιας βροχής καιόμενου υγρού. Η συμπύκνωση σε χαμηλές ή συνθήκες μη ροής μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία μιας κατάστασης αναρρόφησης στη κεφαλή της καπνοδόχου και το αποτέλεσμα θα είναι να περνά αέρας από το άκρο της καπνοδόχου ή μέσω διαρροών στις σωληνώσεις. Στεγανοποιήσεις υγρών χρησιμοποιούνται μερικές φορές για να αποφύγουν τέτοια προβλήματα. Όμως, η θερμοκρασία των αερίων μπορεί να επηρεάσει το σχεδιασμό των στεγανωτικών υγρού και τη λειτουργία. Θερμά αέρια θα έχουν ροπή να θερμάνουν σε υψηλά επίπεδα το ρευστό στεγανοποίησης μερικές φορές πολύ απότομα. Αντίθετα, εξαιρετικά ψυχρά αέρια παρουσιάζουν ένα σενάριο ψύξης που θα μπορούσε να μπλοκάρει εντελώς τη ροή των απορριπτόμενων αερίων.

Ενώ μια συστοιχία καπνοδόχων μπορεί να εμφανίζεται χωρίς περιορισμούς και επομένως ελεύθερα να εκτονωθεί, υπάρχουν προκλήσεις στο μηχανολογικό σχεδιασμό σαν αποτέλεσμα των μεγάλων μεταβολών των αερίων. Ανάπτυξη των σωληνώσεων της κεφαλής, σχετική κίνηση της εγκατάστασης των σωληνώσεων και ένταση των καλωδίων της συστοιχίας είναι 3 από τις περιοχές όπου προβλήματα μπορούν να εμφανιστούν. Μαζί, υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες έχουν το

δυναμικό να δημιουργήσουν καταστάσεις που επηρεάζουν το σχεδιασμό μιας συστοιχίας. Σε περιπτώσεις όπου η πίεση του αερίου ανακουφίσεως είναι υπερβολικά υψηλή, ο σχεδιαστής της εγκατάστασης πρέπει να υπολογίσει ψύξη μέσω εκτόνωσης κατά μήκος της βαλβίδας ανακουφίσεως ή εξαερισμού.

Όταν η θερμοκρασία του αερίου στην πηγή είναι αρκετά διαφορετική από την περιβάλλοντος, είναι πρόσφορο να εκτιμηθεί η απώλεια θερμότητας ή το κέρδος μέσω του τοιχώματος της κεφαλής της καπνοδόχου από τη πηγή έως τη δέσμη των καπνοδόχων και να προσδιοριστεί η συνολική θερμοκρασία του αερίου στην καπνοδόχο. Προσοχή σε αυτές τις λεπτομέρειες θα οδηγήσουν σε ένα μειωμένο κόστος για τη δέσμη των καπνοδόχων.

Διαθέσιμη πίεση αερίων

Η διαθέσιμη πίεση αερίων για την καπνοδόχο προσδιορίζεται από την υδραυλική ανάλυση της πλήρους πίεσης του συστήματος ανακουφίσεως από της συσκευές εξαερισμού ή πίεσης ανακουφίσεως έως τον καυστήρα της καπνοδόχου. Κάθε κύρια συνθήκη ροής πρέπει να αναλυθεί για να προσδιοριστεί η πίεση σε κάθε ανακούφιση ή εξαερισμό σε κάθε κλάδο της κεφαλής της καπνοδόχου. Αυτή η πίεση συνήθως περιορίζεται από την χαμηλότερη επιτρεπόμενη πίεση σε κάθε βαλβίδα ανακουφίσεως στο σύστημα. Το όριο εφαρμόζεται σε όλες τις συνθήκες ροής, αδιαφορώντας τότε η περιορισμένη βαλβίδα ανακουφίσεως συνεισφέρει στη συνθήκη ροής που εξετάζεται.

Στα περισσότερα συστήματα καπνοδόχων, πολλή από τη πτώση της πίεσης του συστήματος είναι λόγω των απωλειών των σωληνώσεων της κεφαλής της καπνοδόχου με λίγη πτώση πίεσης να παραμένει για τον καυστήρα της καπνοδόχου. Τέτοιοι σχεδιασμοί συστημάτων δεν θα μεγιστοποιήσουν τη τιμή της πίεσης του αερίου προωθώντας άκαπνη καύση. Η άκαπνη καύση μπορεί να ενισχυθεί μετατρέποντας όσο γίνεται περισσότερη από τη διαθέσιμη πίεση αερίου σε ορμή του αερίου. Επιπρόσθετα, ανακατανομή της πτώσης πίεσης του συστήματος θα παρέχει περισσότερη πίεση στο άκρο της καπνοδόχου που μπορεί να μειώσει το συνολικό κόστος του συστήματος.

Άλλο κέρδος λαμβάνοντας μια μεγαλύτερη πτώση πίεσης κατά μήκος του καυστήρα της καπνοδόχου είναι η αύξηση στην πυκνότητα του αερίου στην κεφαλή της καπνοδόχου, κάτι που θα οδηγήσει σε ένα μικρότερο μέγεθος κεφαλής και μειωμένα

κόστη σωληνώσεων. Μεγαλύτερη πίεση στο άκρο της καπνοδόχου γενικά σημαίνει έναν μικρότερο καυστήρα καπνοδόχου και συνεπώς μικρότερες ροές απόπλυσης. Η επαύξηση της άκαπνης καύσης και η μείωση των απαιτήσεων απόπλυσης αερίου θα μειώσουν κάθε μέρα το κόστος λειτουργίας. Μαζί το αρχικό κεφάλαιο και τα κόστη λειτουργίας μπορούν να μειωθούν δραματικά με αυτές τις ρυθμίσεις.

Η διαθέσιμη πίεση αερίου στην καπνοδόχο μπορεί να προσδιοριστεί σαν η συνολική πίεση στην είσοδο της καπνοδόχου, ή σαν η στατική πίεση σε ένα συγκεκριμένου μεγέθους σωλήνα εισόδου. Η στατική πίεση είναι η πίεση που εφαρμόζεται από το αέριο στα τοιχώματα του σωλήνα. Έτσι, η πίεση ανιχνεύεται από ένα μετρητή πίεσης που είναι τοποθετημένος σε ένα απλό μπέκ στη πλευρά του σωλήνα. Αυτή είναι επίσης και η πίεση που προσδιορίζει την πυκνότητα του αερίου. Η συνολική πίεση είναι το άθροισμα της στατικής πίεσης και της δυναμικής πίεσης σε ένα συγκεκριμένο σημείο των σωληνώσεων. Όταν η στατική πίεση χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της διαθέσιμης πίεσης αερίου, σχεδιαστής της εγκατάστασης πρέπει επίσης να προσδιορίσει το προσδοκώμενο μέγεθος εισόδου.

Κόστος εγκατάστασης και διαθεσιμότητα

Σε πολλές περιπτώσεις, η ορμή του ρεύματος του αερίου μόνο δεν είναι ικανή να παρέχει άκαπνη καύση. Σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι απαραίτητο να προστεθεί ένα βοηθητικό μέσο για αύξηση της συνολικής ορμής στο επίπεδο της άκαπνης καύσης. Το πιο συνηθισμένο μέσο είναι ο ατμός, που εγχύεται μέσω ενός ή περισσότερων ομάδων ακροφυσίων (μπέκ). Μια εναλλακτική του ατμού είναι η χρήση ενός μεγάλου όγκου αέρα χαμηλής πίεσης που προμηθεύεται από ένα φουσητήρα. Τοπικά κόστη ενέργειας, διαθεσιμότητα, αξιοπιστία και καιρικές συνθήκες πρέπει να ληφθούν υπόψη για την επιλογή του μέσου καταστολής του καπνού.

Αέρια απόπλυσης και πιλοτικά πρέπει να παρασχεθούν στην καπνοδόχο σε κάθε στιγμή. Η ποσότητα του κάθε αερίου που χρειάζεται σχετίζεται με το μέγεθος του συστήματος της καπνοδόχου. Η σύνθεση του αερίου απόπλυσης και/ή σύνθεση του απορριπτόμενου αερίου μπορεί να επηρεάσει επίσης τις απαιτήσεις του αερίου απόπλυσης. Η συγκέντρωση του πιλοτικού αερίου μπορεί να επηρεαστεί τα χαρακτηριστικά της καύσης των απορριπτόμενων αερίων. Αυτά τα αέρια που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να διατεθούν από την πιο αξιόπιστη πηγή.

Το αέριο απόπλυσης (καθαρισμού) μπορεί να είναι κάθε μη διαβρωτικό αέριο που δεν περιέχει οξυγόνο και δεν κατευθύνεται στο σημείο δρόσου σε κάθε μια από τις αναμενόμενες συνθήκες. Μια δελεαστική λύση για ένα τέτοιο αέριο είναι ένα μίγμα αζώτου και αερίου καυσίμου που δεν περιέχει υδρογόνο όπως το φυσικό αέριο ή προπάνιο. Για παράδειγμα, ένα μίγμα 300 Btu/ft² από άζωτο και προπάνιο μπορεί να είναι αποτελεσματικό σαν ένα μέσο απόπλυσης. Ένα τέτοιο μίγμα παρουσιάζει έναν αριθμό από πλεονεκτήματα όταν συγκρίνεται με ένα αέριο καύσιμο, όπως:

- μειωμένες εκπομπές CO₂
- μικρότερο κόστος εάν το άζωτο είναι φθηνότερο
- υψηλότερη αξιοπιστία επειδή κάθε παροχή ξεχωριστά μπορεί να λειτουργήσει σαν αέριο απόπλυσης
- μειωμένες τριβές και συντηρήσεις στον καυστήρα της καπνοδόχου.

Απαιτήσεις ασφάλειας

Σχεδόν κάθε στάδιο στο σχεδιασμό της καπνοδόχου περιλαμβάνει μερικές ανησυχίες ασφαλείας. Αυτές μπορεί να είναι: θερμική ακτινοβολία από τη φλόγα της καπνοδόχου, αξιόπιστη έναυση, υδραυλική ικανότητα, διείσδυση αέρα και διάχυση αερίου από την έξοδο. Βασικές οπτικές της ασφαλείας καθοδηγούνται από τις πρακτικές του ιδιοκτήτη. Για παράδειγμα, οι πρακτικές ασφαλείας του ιδιοκτήτη συνήθως θέτουν την επιτρεπόμενη ακτινοβολία από τη φλόγα της καπνοδόχου στους ανθρώπους και στον εξοπλισμό. Επομένως, δεν είναι έκπληξη ότι το επιτρεπτό επίπεδο ακτινοβολίας ποικίλει ανάλογα τον ιδιοκτήτη.

Ένα κοινό σημείο της διαφορετικότητας περιλαμβάνει την μεταχείριση της ηλιακής ακτινοβολίας στο επιτρεπτό επίπεδο. Εμπειρία έχει δείξει ότι η ηλιακή ακτινοβολία δεν είναι αναγκαία να λαμβάνεται υπόψη στην πλειονότητα των σχεδιασμών. Στην πράξη, θεώρηση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μια σύνθετη παράμετρος που δεν οδηγεί σε μια απλή λύση. Η ηλιακή ακτινοβολία περιλαμβάνει έναν αριθμό μεταβλητών και είναι σχετική με τη θέση της εγκατάστασης. Π.χ. είναι απαραίτητο να ληφθεί η ηλιακή ακτινοβολία στη βάση του σχεδιασμού εάν υπάρχει μια σημαντική πιθανότητα ένας εργαζόμενος να εκτεθεί σε μια μέγιστη ακτινοβολία καπνοδόχου και η ηλιακή ακτινοβολία είναι ένας επιπλέον παράγοντας βαρύτητας στην όλη κατάσταση.

Υπάρχουν πολλές πηγές για λήψη καθοδήγησης για το επιτρεπτό επίπεδο ακτινοβολίας που καθορίζεται από εθνικούς και διεθνείς οργανισμούς. Η πιο συνήθης και ευρύτερα διαδεδομένη είναι η πρακτική του Αμερικάνικου Ινστιτούτου Πετρελαίου (API). Οι πιο πολλοί κανονισμοί θέτουν ένα μέγιστο επίπεδο ακτινοβολίας των 1500 Btu/hr/ft² (4.73 kW/m²) για συνθήκες κινδύνου. Μερικοί κανονισμοί προσδιορίζουν ένα επιπλέον επίπεδο ακτινοβολίας των 500 Btu/hr/ft² (1.58 kW/m²) για απροστάτευτα άτομα κατά τη διάρκεια μεγάλου χρόνου γεγονότα στις καπνοδόχους. Ειδικά μέτρα πρέπει να ληφθούν σε περιοχές που υπάρχει πιθανή πρόσβαση κοινού κατά μήκος των ορίων της εγκατάστασης όπου έκθεση του κοινού μπορεί να συμβεί.

Αξιόπιστη έναυση στο άκρο της καπνοδόχου είναι μια από τις πιο βασικές απαιτήσεις ασφαλείας, βεβαιώνοντας ότι τα αέρια που απελευθερώνονται στην καπνοδόχο καίγονται στην προσδιορισμένη τοποθεσία. Εξαρτώμενη καύση επίσης διαβεβαιώνει την καταστροφή πιθανώς τοξικών εκλύσεων. Το κύριο αντικείμενο απαιτεί την αξιόπιστη καύση στην καπνοδόχο.

Τα υδραυλικά ενός συστήματος καπνοδόχου προσδιορίζουν την αντίθλιψη στις βάνες ανακουφίσεως. Κατάλληλη διαστασιολόγηση του αρχικού συστήματος ή επικείμενες προσαυξήσεις στα φορτία ανακουφίσεως της καπνοδόχου μπορεί να προλάβει μια μονάδα να φτάσει το μέγιστο ρυθμό ανακουφίσεως όταν είναι απαραίτητο και να δημιουργηθεί ένας κίνδυνος υπερπίεσης στην εγκατάσταση.

Πρόληψη της διείσδυσης του αέρα μπορεί να είναι μια θεώρηση όταν αναπτύσσονται σχέδια λειτουργίας και επισκευής για το σύστημα της καπνοδόχου και τον συνδεδεμένο εξοπλισμό. Πηγές αέρα περιλαμβάνουν: την έξοδο του άκρου της καπνοδόχου, σημεία στεγανοποιήσεων στα δοχεία, χαμηλά σημεία αποχέτευσης, υψηλά σημεία εξαερισμού και φλάντζες.

Απαιτήσεις περιβαλλοντικές

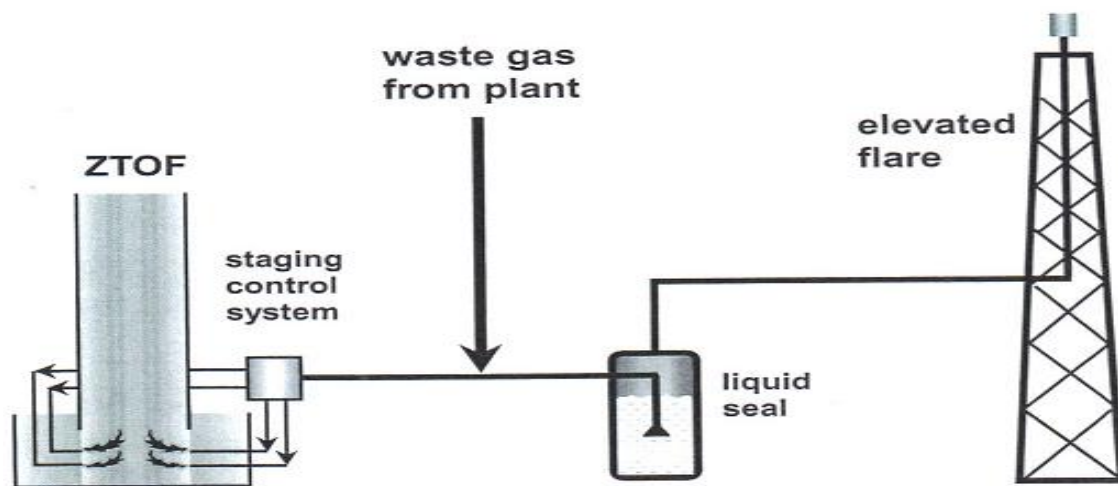
Οι καπνοδόχοι μπορούν να επηρεάσουν το περιβάλλον δημιουργώντας καπνό, θόρυβο ή προϊόντα καύσης. Σχετικοί οργανισμοί προσδιορίζουν τα όρια σε μερικές ή όλες αυτές τις περιοχές. Σε πολλές περιπτώσεις, είναι απαραίτητο να εγχυθεί ένα βοηθητικό μέσο όπως ατμός για να επιτευχθεί άκαπνη καύση και να είναι σύμφωνη με τους κανονισμούς περί εκπομπής καπνού. Η έγχυση του ατμού και η τύρβη που

δημιουργείται από την ανάμιξη του ατμού, του αέρα και του αερίου προκαλεί εκπομπή θορύβου. Το επίπεδο του θορύβου σε πολλά σημεία εσωτερικά και εξωτερικά των ορίων της εγκατάστασης είναι συχνά βάσει των σχετικών κανονισμών. Άλλες περιβαλλοντικές ανησυχίες είναι η απόδοση της αντίδρασης και οι εκπομπές των αερίων από την καπνοδόχο. Ένας καλά σχεδιασμένος και σε σωστή λειτουργία καυστήρας καπνοδόχου θα έχει μια απόδοση καύσης περισσότερο από 98%. Εκπομπές NO_x, CO και UHCs υπάρχουν κατά την καύση και πρέπει να είναι σύμφωνες με τους ισχύοντες κανονισμούς για να παρέχεται η δυνατότητα στη μονάδα να συνεχίζει τη λειτουργία της. Για τις εκπομπές του SO_x συχνά θεωρείται ότι 100% από το διαθέσιμο θείο μετατρέπεται σε SO₂.

Απαιτήσεις κοινωνικές

Τα περισσότερα συστήματα καπνοδόχων περιλαμβάνουν μια στήλη καπνοδόχου που είναι η ψηλότερη ή μια από τις ψηλότερες κατασκευές στην εγκατάσταση. Σαν αποτέλεσμα η φλόγα της καπνοδόχου είναι ορατή από μεγάλες αποστάσεις. Αν και ο ιδιοκτήτης της εγκατάστασης είναι σύμφωνος με τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις, το σύστημα της καπνοδόχου μπορεί να μην πληρεί τις προσδοκίες των γειτόνων της εγκατάστασης. Η αντίληψη του κοινού του σκοπού και της απόδοσης της καπνοδόχου μπορεί να θέσει πιο αυστηρά κριτήρια στο σχεδιασμό της καπνοδόχου. Π.χ. μια άκαπνη φλόγα μπορεί να πληρεί τις νομικές απαιτήσεις αλλά μπορεί να αντιτίθενται οι γείτονες λόγω της λάμψης και του θορύβου.

Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα για την εξάλειψη του θορύβου και της ημερήσιας όρασης της φλόγας της καπνοδόχου. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το σύστημα ZTOF (Zink Thermal Oxidizer Flare) που είναι προσαρμοσμένο στην καπνοδόχο (εικόνα 12). Η στεγανοποίηση του υγρού στο σύστημα δρά στο να διανείμει τη ροή στο ZTOF μέχρι να φτάσει τη μέγιστη ικανότητα του. Κάθε επιπλέον ροή που θα περάσει μέσω της στεγανοποίησης του υγρού θα αναφλέγεται στο ανυψωμένο άκρο της καπνοδόχου. Μια τέτοια διαμόρφωση φαίνεται στο σχήμα 9.



Εικόνα 12: Γενική διαμόρφωση ενός πολυβάθμιου συστήματος καπνοδόχου περιλαμβάνοντας σύστημα ZTOF και ανυψωμένη καπνοδόχο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΠΝΟΔΟΧΟΥ

Έχοντας λάβει πληροφορίες προσδιορισμού των παραμέτρων του συστήματος, ο σχεδιαστής της καπνοδόχου πρέπει τώρα να εφαρμόσει την εξειδίκευσή του στις ακόλουθες σχεδιαστικές υποθέσεις. Ένα δοσμένο πρόβλημα μπορεί να απαιτεί ενσωμάτωση όλων ή μόνο λίγων από αυτά τα σημεία, εξαρτώμενο από τη φύση των πληροφοριών του συστήματος που εμπειρεύονται και το σκοπό του έργου. Ο σχεδιαστής της καπνοδόχου πρέπει να λάβει υπόψη του πως οι αποφάσεις σχετικές με κάθε παράμετρο θα επηρεάσουν όλο το σύστημα της καπνοδόχου όπως και όλες τις άλλες παραμέτρους. Το κύριο μέλημα της ασφάλειας, της αποτελεσματικής απόθεσης των αερίων και των υγρών πρέπει να είναι η οδηγός κατεύθυνση για κάθε κατάλληλη θεώρηση που θα ενσωματωθεί μέσα στο ολικό σχεδιασμό της καπνοδόχου. Οι σχεδιαστικές θεωρήσεις είναι:

- αξιόπιστη καύση
- υδραυλικά
- αφαίρεση υγρών
- διείσδυση αέρα
- ακτινοβολία φλόγας
- καταστολή καπνού
- θόρυβος/όραση φλόγας
- μίγματα αέρα/αερίων

Επιτυχημένη επιλογή και λειτουργία του εξοπλισμού της καπνοδόχου απαιτεί μια καθαρή κατανόηση αυτών των σχεδιαστικών θεωρήσεων. Η επιτυχία και η οικονομική αποτελεσματικότητα στο σχεδιασμό της καπνοδόχου εξαρτάται από τα προσόντα και την εμπειρία του ειδικού στις καπνοδόχους και στην πρόσβασή του σε σχεδιαστικά εργαλεία αιχμής και σχετικό εξοπλισμό. Βασικό εργαλείο-κλειδί ανάπτυξης είναι η ικανότητα να πραγματοποιηθούν δοκιμές καπνοδόχου σε υψηλούς ρυθμούς ροής που παρουσιάζονται σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας της εγκατάστασης. Οι εγκαταστάσεις, ικανές να πραγματοποιήσουν δοκιμές αυτού του μεγέθους (εικόνα 13) αποτελούν μια μεγάλη επένδυση κεφαλαίου και παίρνει τα χαρακτηριστικά ενός πολύπλοκου συστήματος λειτουργίας εγκατάστασης καπνοδόχου.



Εικόνα 13: Εγκατάσταση δοκιμών στην Οκλαχόμα των ΗΠΑ.

Αξιόπιστη καύση

Εξαέρωση απορριπτόμενων αερίων μπορεί να συμβεί οποτεδήποτε κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της εγκατάστασης. Επομένως, ένα ενσωματωμένο σύστημα έναυσης απαιτείται το οποίο άμεσα να μπορεί και εκκινήσει και να παραμένει σε κατάσταση σταθερής καύσης κατά τη διάρκεια της ροής του απορριπτόμενου αερίου. Σταθερή καύση πρέπει να διασφαλίζεται σε όλες τις συνθήκες ροής. Ένα ενσωματωμένο σύστημα έναυσης περιλαμβάνει ένα ή περισσότερους πιλότους καυσίμους, έναν πιλότο έναυσης, επιβλέπτη πιλότων και τα μέσα για τη σταθεροποίηση της φλόγας. Σαν αρχή, όλες οι καπνοδόχοι πρέπει να έχουν μια συνεχή πιλοτική φλόγα για να διασφαλιστεί αξιόπιστη καύση. Αυτό είναι ιδιαίτερα πραγματικό στις εγκαταστάσεις απόσταξης, εγκαταστάσεις πετροχημικών και περιοχές παραγωγής με καπνοδόχους επειδή δεν μπορούν να σταματήσουν τη λειτουργία τους εκτός και έως να κλείσει όλη η εγκατάσταση. Επιπρόσθετα, τέτοιες καπνοδόχοι μπορεί να είναι σε χρήση για εβδομάδες ή μήνες πριν ένα απροσδόκητο γεγονός δημιουργήσει μια άμεση ανάγκη για αξιόπιστη έναυση. Βασικές εξαιρέσεις είναι οι καπνοδόχοι των αγροτικών περιοχών ή οι καπνοδόχοι των βιοαερίων που λειτουργούν συνεχώς σε σημαντικούς ρυθμούς και περιλαμβάνουν συστήματα επίβλεψης της φλόγας που αυτόματα

σταματούν τη ροή του απορριπτόμενου αερίου σε περίπτωση αποτυχίας της φλόγας. Ασυνεχείς πιλότοι μπορούν μόνο να ληφθούν υπόψη σε περιπτώσεις όπου όλες από τις επόμενες συνθήκες ισχύουν:

- η κύρια φλόγα παραμένει λεπτή και σταθερή χωρίς πιλότο σε όλες τις συνθήκες σχεδιασμού
- η κύρια φλόγα επιβλέπεται
- η καπνοδόχος σταματά τη λειτουργία αυτόματα σε κάθε κύρια αποτυχία φλόγας
- το σταμάτημα της λειτουργίας της καπνοδόχου δεν δημιουργεί προβλήματα ασφάλειας στην εγκατάσταση.

Ο αριθμός των πιλότων που απαιτούνται διαφέρει και εξαρτάται από το μέγεθος και τον τύπο του καυστήρα της καπνοδόχου και της σκοπούμενης χρήσης του. Οι πιλότοι της καπνοδόχου είναι συνήθως καυστήρες πρόμιξης σχεδιασμένοι έτσι ώστε το αέριο του πιλότου και ο αέρας να διατίθενται μέσω ενός σωλήνα στην άκρη του πιλότου για καύση. Αυτό εγγυάται ότι η φλόγα του πιλότου δεν επηρεάζεται από συνθήκες στην έξοδο του καυστήρα της καπνοδόχου (π.χ. παρουσία ατμού, αερίων καπνοδόχου κ.α.). Η κατανάλωση αερίου στον πιλότο διαφέρει σύμφωνα με τις ειδικές απαιτήσεις της καπνοδόχου. Όμως, υπάρχει ένα πρακτικό κατώτερο όριο για την κατανάλωση του αερίου στον πιλότο.

Μια επίβλεψη του πιλότου συχνά απαιτείται για να επιβεβαιώνει τη φλόγα του πιλότου. Σαν μια θεώρηση ασφαλείας, η έναυση του πιλότου συνήθως πραγματοποιείται από μια απομακρυσμένη θέση από τη στήλη της καπνοδόχου. Είτε μια γεννήτρια φλόγας ή απευθείας έναυση με σπινθήρα του πιλότου μπορεί να χρησιμοποιηθεί εξαρτώμενο από τις απαιτήσεις του συστήματος.

Υπάρχει μια περίπλοκη σχέση μεταξύ της ταχύτητας εξόδου στην άκρη της καπνοδόχου, κατανάλωση αερίου, σχεδιασμός άκρου και διαμόρφωσης σταθερής καύσης. Υπάρχει ένας αριθμός πλεονεκτημάτων για τη χρήση της υψηλότερης δυνατής ταχύτητας εξόδου, περιλαμβάνοντας ελάχιστο μέγεθος εξοπλισμού και βέλτιστο σχήμα φλόγας. Επιπρόσθετα, επειδή μεγάλη ταχύτητα καταθλίψεως τείνει να βελτιώσει την ανάμιξη του αέρα με μια αποτελεσματική μείωση της δημιουργίας αιθάλης, μεγιστοποιώντας την ταχύτητα κατάθλιψης μπορεί να δοθεί βοήθεια στη βελτίωση της απόδοσης άκαπνης καύσης. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η

ταχύτητα κατάθλιψης μπορεί να εμποδιστεί από την διαθέσιμη πίεση του αερίου ή τις ανησυχίες για την σταθερότητα της φλόγας.

Σε μερικές περιπτώσεις, όπως στο έλεγχο των VOCs, η ταχύτητα κατάθλιψης μπορεί να ορίζεται από κανονισμούς. Παλιότερες έρευνες στο σχεδιασμό του συστήματος της καπνοδόχου συνιστούν ορισμένη ταχύτητα κατάθλιψης σε 0.2 Mach λόγω των ανησυχιών σταθερότητας φλόγας. Με νέες έρευνες προτείνεται μια ταχύτητα κατάθλιψης περίπου σε 0.5 Mach ή υψηλότερη εφόσον κατάλληλες τεχνικές σταθεροποίησης της φλόγας χρησιμοποιούνται. Τέτοιες τεχνικές έχουν επιτυχημένα χρησιμοποιηθεί για ταχύτητες εξόδου Mach 1 και περισσότερο.

Η κατανάλωση απορριπτόμενου αερίου μπορεί σημαντικά να επηρεάσει την επιτρεπόμενη ταχύτητα εξόδου. Π.χ. ένας προσεκτικά σχεδιασμένος καυστήρα καπνοδόχου μπορεί να διατηρεί σταθερή καύση προπανίου σε Mach 1 και περισσότερο. Αντίθετα, εάν το προπάνιο αναμιχθεί με μια μεγάλη ποσότητα αδρανούς αερίου, η μέγιστη ταχύτητα εξόδου πρέπει να είναι περιορισμένη σε έναν πολύ χαμηλότερο αριθμό Mach για να διασφαλιστεί σταθερή καύση.

Υδραυλικά

Τα περισσότερα συστήματα καπνοδόχων αποτελούνται από πολλαπλές βαλβίδες ανακουφίσεως κατάθλιψης σε μια κοινή πολλαπλή καπνοδόχου ή επικεφαλής σύστημα. Σημείο κλειδί επηρεασμού του σχεδιασμού του συστήματος είναι η επιτρεπόμενη πίεση αντίθλιψης της βαλβίδας ανακουφίσεως. Η πτώση πίεσης του συστήματος από κάθε βαλβίδα ανακουφίσεως καταθλίβεται μέσω του άκρου της καπνοδόχου και δεν πρέπει να ξεπερνά την επιτρεπόμενη πίεση αντίθλιψης της βαλβίδας ανακουφίσεως για όλες τις συνθήκες ροής του συστήματος. Η επιτρεπόμενη πίεση αντίθλιψης είναι τυπικά περιορισμένη στο 10% της ελάχιστης ανωστικής πίεσης για τις κλασσικές βαλβίδες ανακουφίσεως. Η τιμή αυτή μπορεί να αυξηθεί με τη χρήση βαλβίδων ανακουφίσεως ισορροπημένης πίεσης, και τότε το ποσοστό μπορεί να φτάσει και το 30% της ανωστικής πίεσης. Αν και υπάρχει μεγάλη ποικιλία τέτοιων βαλβίδων, είναι πιο οικονομική η χρήση ξεχωριστών κεφαλών υψηλής και χαμηλής πίεσης.

Αυξάνοντας την επιτρεπόμενη πίεση αντίθλιψης μπορεί να έχουμε πολλές επιπτώσεις στα συστατικά του συστήματος καπνοδόχου περιλαμβάνοντας:

- μικρότερη πολλαπλή και σωληνώσεις κορυφής
- μικρότερες κρούσεις και τύμπανα στεγανοποιήσεως υγρών
- μικρότερο μέγεθος καπνοδόχου δίνοντας χαμηλότερους ρυθμούς απορροής και ενισχυμένη ζωή λειτουργίας
- σημαντική μείωση ή εξάλειψη των εγκαταστάσεων που απαιτούνται για άκαπνη καύση μέσω της εδραίωσης της αυξημένης ενέργειας πίεσης στο άκρο της καπνοδόχου.

Όπως σημειώθηκε πριν κάθε κύρια συνθήκη ροής πρέπει να αναλυθεί για να επιβεβαιωθεί ότι καμία πηγή ανακουφίσεως είναι σε υπερπίεση. Σε μερικές εφαρμογές, ένας μεγάλος αριθμός από διαφορετικές συνθήκες ροής μπορεί να συμβεί. Για να απλοποιηθεί η διαδικασία του προσδιορισμού τέτοιων περιπτώσεων οι οποίες είναι πιθανό να οδηγούν τα υδραυλικά, μια συγκριτική μέτρηση των ρυθμών ροής είναι χρήσιμη. Το ογκομετρικό ισοδύναμο ή V_{eq} , είναι μια μέτρηση που χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει την υδραυλικά ελεγχόμενη περίπτωση:

$$V_{eq} = Q \sqrt{\frac{MW}{29} \times \frac{T}{520}} \quad (1)$$

όπου: V_{eq} = ογκομετρικό ισοδύναμο, SCFH

Q = ροή απορριπτόμενου αερίου

MW = μοριακό βάρος του απορριπτόμενου αερίου

T = θερμοκρασία του απορριπτόμενου αερίου, R.

Η V_{eq} είναι η ογκομετρική ροή του αέρα που μπορεί να παράγει την ίδια δυναμική πίεση όσο η ροή του απορριπτόμενου αερίου στην ίδια γραμμή μεγέθους. Ενώ αυτή η μέθοδος δίνει γενική κατεύθυνση, δεν αντικαθιστά μια πιο εμπειριστατωμένη υδραυλική ανάλυση.

Κατάλληλα διαμορφωμένο, μια υψηλότερη επιτρεπόμενη πτώση πίεσης για το σύστημα της καπνοδόχου παρέχει μια ευκαιρία για μείωση του κεφαλαιακού κόστους, κόστος λειτουργίας και αυξημένη ζωή του εξοπλισμού. Αν και το κεφαλαιακό κόστος είναι πιο σημαντικό σε ένα νέο σύστημα καπνοδόχου, όλα τα άλλα κόστη μπορούν να ληφθούν σοβαρά υπόψη σε υπάρχοντα συστήματα.

Αφαίρεση υγρών

Σύμφυτο σε πολλά συστήματα καπνοδόχων είναι το δυναμικό για είτε εισαγωγή υγρών σε αυτά, ή τη δημιουργία υδρογονανθράκων ή ατμός νερού συμπυκνωμένος στην κορυφή της καπνοδόχου. Επιτρέποντας την υγρή φάση να φτάσει τη ζώνη καύσης μπορεί να κάνει τη λειτουργία περισσότερο δύσκολη. Π.χ. σταγονίδια υδρογονανθράκων μικρά αρκετά να εισαχθούν με το απορριπτόμενο αέριο και να μεταφερθούν μέσα στη φλόγα, συνήθως καίγονται ατελώς παράγοντας αιθάλη και σαν αποτέλεσμα μειώνουν την ικανότητα άκαπνης καύσης στη καπνοδόχο. Εάν τα σταγονίδια γίνουν αρκετά μεγάλα, μπορούν να βγούν από το κύριο φάκελο της φλόγας.

Η εικόνα 14 δείχνει μια offshore καπνοδόχο που λαμβάνει υγρά με τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω. Οι δύο τελευταίες φωτογραφίες β και γ λήφθηκαν λίγα λεπτά ξεχωριστά και παρουσιάζουν πόσο γρήγορα αυτή η κατάσταση μπορεί να χειροτερεύσει.



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 14: Offshore ανυψωμένη καπνοδόχος. (α) έναρξη της καπνοδόχου, β) πτώση υγρών και βροχή φλογών από τη καπνοδόχο, γ) καιόμενο υγρό εγκολλώνεται στη σειρά των καπνοδόχων.

Η ενσωμάτωση ενός κατάλληλα σχεδιασμένου και λειτουργικού κρουστικού τυμπάνου μέσα στο σύστημα της καπνοδόχου μπορεί να μειώσει αυτά τα προβλήματα. Υπάρχουν 3 βασικοί τύποι τέτοιων τυμπάνων που μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα σύστημα καπνοδόχου: οριζόντιο, κάθετο και κυκλωνικός διασκορπιστής.

Ξέχωρα από την ιδέα του κρουστικού τυμπάνου, η ικανότητα συγκράτησης του τυμπάνου πρέπει να μελετηθεί προσεκτικά. Ένα παραγεμισμένο τύμπανο μπορεί να εμποδίζει τη ροή αερίου στην καπνοδόχο, οδηγώντας σε υπερπίεση στα ανάντι συστήματα. Σε ακραία περίπτωση ένα υπερ-γεμάτο κρουστικό τύμπανο μπορεί να οδηγήσει σε φυσά μεγάλους όγκους υγρών πάνω στη στήλη της καπνοδόχου. Προσοχή λοιπόν θα πρέπει να δίνεται στην πρόληψη τέτοιου περιστατικού. Επιπρόσθετα, μια υποστηρικτική αντλία και μέσα μετάδοσης κινήσεως μπορούν να ληφθούν υπόψη. Το υγρό που θα προέλθει από το κρουστικό τύμπανο πρέπει προσεκτικά να αποθηκευτεί ή να απορριφθεί. Οι σωληνώσεις της κεφαλής της καπνοδόχου πρέπει να έχουν μια κατάλληλη κλίση για να προλάβουν σε χαμηλά σημεία θύλακες όπου τα υγρά μπορούν να συσσωρευτούν.

Διείσδυση αέρα

Η διείσδυση αέρα μέσα σε ένα σύστημα καπνοδόχου μπορεί να οδηγήσει σε φλόγα από καύση προς τα πίσω το οποίο μπορεί να ξεκινήσει μια καταστροφική πυροκρότηση του συστήματος. Συχνά, η προς τα πίσω καύση μπορεί να παρατηρηθεί νύκτα. Αέρας μπορεί να εισαχθεί στο σύστημα της καπνοδόχου με ένα ή περισσότερα από τα επόμενα σενάρια:

- μέσω της εξόδου της στήλης με ανταλλαγή άνωσης, δράση αέρα ή συστολή.
- Μέσω διαρροών στις συνδέσεις των σωληνώσεων
- Σαν συστατικό του απορριπτόμενου αερίου.

Πρόληψη πρέπει να ληφθεί για να αντιμετωπιστούν οι μηχανισμοί διείσδυσης του αέρα. Αέριο απόπλυσης συχνά εγχύεται στο σύστημα της καπνοδόχου για να προληφθεί η διείσδυση του αέρα μέσω της εξόδου της στήλης. Η ποσότητα του αερίου απόπλυσης που απαιτείται εξαρτάται από το μέγεθος και το σχεδιασμό της καπνοδόχου, τη σύνθεση του αερίου αυτού και τη σύνθεση κάθε απορριπτόμενου αερίου που μπορεί να είναι παρών στο σύστημα ακολουθώντας ένα γεγονός εισαγωγής ή ανακούφισης.

Γενικά, η χαμηλότερη η πυκνότητα του αερίου στη δέσμη της καπνοδόχου, η μεγαλύτερη η ποσότητα του αερίου απόπλυσης που είναι απαραίτητη για την ασφάλεια του συστήματος. Η απαίτηση για αυτό το αέριο μπορεί να μειωθεί χρησιμοποιώντας μια συσκευή συντήρησης (αεροπαγίδα ή μοριακό στεγανοποιητή). Το κόστος και η διαθεσιμότητα αυτού του αερίου θα προσδιορίσει την επιλογή αυτών των συσκευών.

Η συστολή του αερίου στο σύστημα της καπνοδόχου συμβαίνει λόγω της ψύξης που ακολουθεί την λάμψη των ζεστών αερίων. Ο ρυθμός της συστολής μπορεί να επιταχυνθεί δραματικά εάν η ψύξη οδηγεί σε συμπύκνωση των συστατικών του περιεχόμενου αερίου. Ο κίνδυνος της συστολής μπορεί να ελατωθεί με τη χρήση συστήματος Tempurge. Αυτό το σύστημα ανιχνεύει τις συνθήκες στη κεφαλή της καπνοδόχου και ξεκινά την εισαγωγή επιπλέον αερίου απόπλυσης για να αποφευχθεί η συστολή.

Μια ανυψωμένη στήλη καπνοδόχου γεμάτη από αέριο ελαφρύτερο από το αέρα θα έχει μια αρνητική πίεση στη βάση που δημιουργείται από τη διαφορά στην πυκνότητα

μεταξύ του αερίου στήλης και του αέρα του περιβάλλοντος. Η πυκνότητα του αερίου στη στήλη είναι σχετική με το μοριακό βάρος του αερίου και την θερμοκρασία του. Η εξίσωση 2 προσδιορίζει την πίεση στη βάση της στήλης σε πολύ χαμηλές συνθήκες ροής όπως με το αέριο απόπλυσης.

$$P_{base} = \frac{27.7H(r_{gas} - r_{amb})}{144} \quad (2)$$

όπου: P_{base} = στατική πίεση στη βάση της στήλης, in. w.c.

H = ύψος της στήλης πάνω από την είσοδο, ft

ρ_{gas} = πυκνότητα αερίου στη στήλη, lb-m/ft³

ρ_{amb} = πυκνότητα ατμοσφαιρικού αέρα, lb-m/ft³

Εάν υπάρχει αρνητική στατική πίεση στη βάση της στήλης, κατόπιν σε χαμηλές ροές ολόκληρο το σύστημα της κορυφής της καπνοδόχου θα είναι υπό αρνητική πίεση. Η λειτουργία του συστήματος της καπνοδόχου κάτω από αρνητική πίεση θα αυξήσει δραματικά την τάση της διείσδυσης αέρα στο σύστημα της κορυφής μέσω διαρροών, ανοικτών βαλβίδων ή φλαντζών ή μέσω της άκρης εξόδου παρακαμάζοντας στη στήλη. Τέτοια διαρροή είναι γνωστό να έχει συμβεί κατά τη διάρκεια διορθώσεων των βαλβίδων ανακουφίσεως.

Η εγκατάσταση στεγανοποίησης υγρών στο σύστημα μπορεί να παράγει θετική πίεση στη κεφαλή της καπνοδόχου αν και η πίεση του κάτω ρεύματος της στεγανοποίησης είναι αρνητικό. Αυτό μειώνει σημαντικά την δυναμική διαρροής αέρα στο σύστημα. Επειδή μια στεγανοποίηση υγρού είναι επίσης ένα εμπόδιο στο αέρα να εισέλθει στην κεφαλή από τη στήλη της καπνοδόχου, τοποθετώντας την στεγανοποίηση στη βάση της στήλης συχνά μεγιστοποιείται η προστασία του επικεφαλής συστήματος. Σε αυτή τη θέση, η στεγανοποίηση του υγρού μπορεί επίσης να σχεδιαστεί να απομονώσει την πηγή έναυσης στην καπνοδόχο από τη κεφαλή της καπνοδόχου και τις μονάδες διαδικασιών.

Τα αέρια που περιέχουν οξυγόνο πρέπει να απομονωθούν από το κύριο σύστημα της καπνοδόχου. Τα απορριπτόμενα αέρια που περιέχουν οξυγόνο παρουσιάζουν μια ειδική πρόκληση σχεδιασμού. Ο κίνδυνος της λάμψης (flashback) στα συστήματα που χειρίζονται τέτοια αέρια μπορεί να ελαχιστοποιηθεί μέσω της χρήσης παγίδων φλόγας/έκρηξης, ειδικούς στεγανοποιητές υγρών, και/ή χρήση εξειδικευμένων καυστήρων καπνοδόχων. Η παρουσία περισσότερου από ίχνη ποσότητας οξυγόνου

(περισσότερο από 1% σε όγκο) στο ρεύμα του απορριπτόμενου αερίου δημιουργεί μια ξεχωριστή σχεδιαστική θεώρηση που θα αναπτυχθεί παρακάτω.

Ακτινοβολία φλόγας

Καθώς τα απορριπτόμενα αέρια καίγονται, μια ποσότητα θερμότητας που παράγεται μεταφέρεται στους γύρω χώρους μέσω θερμικής ακτινοβολίας. Ασφαλής σχεδιασμός της καπνοδόχου απαιτεί προσεκτική θεώρηση της θερμικής ακτινοβολίας. Τα όρια της ακτινοβολίας μπορούν να γίνουν η βάση για προσδιορισμό του ύψους της καπνοδόχου και της θέσης του. Για ένα δοσμένο σέτ συνθηκών ροής στην καπνοδόχο, τα όρια της ακτινοβολίας μπορούν συνήθως να τηρηθούν με τη ρύθμιση του συνολικού ύψους της στήλης της καπνοδόχου και/ή χρήση περιορισμένης περιοχής πρόσβασης γύρω από τη στήλη. Το ύψος της καπνοδόχου και/ή το μέγεθος της περιοχής περιορισμού της καπνοδόχου μπορεί να επηρεάσει τα οικονομικά στοιχεία της εγκατάστασης. Για εγκαταστάσεις με περιορισμένες περιοχές χρήσης (ή για πλοία) μια εσώκλειστη καπνοδόχος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τηρήσει τους περιορισμούς της ακτινοβολίας.

Κουρτίνες δεσμών νερού έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της ακτινοβολίας offshore πλατφορμών.

Η ακτινοβολία από μια φλόγα σε άλλο αντικείμενο προσδιορίζεται από:

- Θερμοκρασία φλόγας
- Συγκέντρωση των ακτινοβόλων εκπομπών στη φλόγα (π.χ. CO₂, H₂O και αιθάλη).
- Μέγεθος, σχήμα και θέση της φλόγας
- Θέση και προσανατολισμός του αντικειμένου στόχου σχετικά με τη φλόγα
- Χαρακτηριστικά του ενδιάμεσου χώρου μεταξύ της φλόγας και του αντικειμένου.

Οι υπολογισμοί βασιζόμενοι στη θεωρία μπορεί να είναι επαρκείς μέσα στους καλά προσδιορισμένους περιορισμούς ενός κλιβάνου που λειτουργεί σε σταθερή κατάσταση. Δυστυχώς, πολλοί από αυτούς τους παράγοντες δεν μπορούν να προσδιοριστούν επακριβώς για τη φλόγα καπνοδόχου στον ανοικτό αέρα.

Η θερμοκρασία στις εξισώσεις της ακτινοβολίας αν και είναι ο κυρίαρχος παράγοντας, είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστεί και να εκτιμηθεί σε μια καπνοδόχο. Ένα λάθος του 10% στην απόλυτη θερμοκρασία επηρεάζει την υπολογισθείσα μεταφορά θερμότητας από ακτινοβολία πάνω από 40%. Παρατηρητές σημείωσαν μεταβολές στην τοπική θερμοκρασία φλόγας έως και 1000°C (1800°F) μεταξύ του πυρήνα και της εξωτερικής επιφάνειας ψύξης μιας ανοικτής φλόγας καύσης. Η εικόνα 15 δείχνει ένα θερμογράφημα μιας φλόγας καπνοδόχου. Σε αυτό με άσπρο αναπαρίσταται η υψηλότερη θερμοκρασία και με βαθύ γαλάζιο η χαμηλότερη. Έτσι, μόνο η μικρή έντονη κίτρινη ζώνη είναι σε υψηλή θερμοκρασία. Η θερμοκρασία μειώνεται δραστικά καθώς πλησιάζετε η εξωτερική άκρη του φακέλου της φλόγας.

Η θερμοκρασία μιας φλόγας επηρεάζεται από την αλληλεπίδραση με τις γειτονικές περιοχές. Η διαθεσιμότητα του αέρα περιβάλλοντος προκαλεί τις εξωτερικές θέσεις του φακέλου της φλόγας σε ψύχος. Επιπρόσθετα, η φλόγα μπορεί να ακτινοβολεί μαζί και σε ψυχρό εξωτερικό χώρο αλλά και σε σχετικά θερμά σώματα στη γή. Επομένως, δεν είναι έκπληξη ότι οι παρατηρήσεις προσδιορίζουν μέγιστες θερμοκρασίες φλόγας στη καπνοδόχο πολύ μικρότερες από την υπολογισμένη θερμοκρασία αδιαβατικής φλόγας. Για να προσεγγιστεί η ακτινοβολία σε καπνοδόχο από θεωρητική βάση, τοπικές θερμοκρασίες φλόγας, που ποικίλλουν σημαντικά μέσα στη φλόγα της καπνοδόχου, είναι αναγκαίο να προβλεφθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια από ότι τα συνήθη εργαλεία επιτρέπουν.

Οι άλλοι παράγοντες είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστούν. Οι συγκεντρώσεις των ουσιών που είναι ακτινοβόλες εκπομπές διαφέρουν πολύ από σημείο σε σημείο μέσα στη φλόγα της καπνοδόχου, που δημιουργεί προβλήματα στην πρόβλεψη του μήκους της στήλης και την εκπομπή. Το ακριβές σχήμα της φλόγας είναι περισσότερο ελικοειδές και χαοτικό από ότι μια γεωμετρική προσέγγιση μπορεί να αναπαραστήσει. Μεταπτώσεις του αέρα προκαλούν τη φλόγα να κινηθεί σταθερά, έτσι οι συγκεντρώσεις, η θερμοκρασία και οι σχετικές θέσεις αλλάζουν συνεχώς. Ατμοσφαιρική απορροφητικότητα και διασκορπισμός εξαρτώνται από μεταβατικές και απρόβλεπτες καιρικές συνθήκες όπως η θερμοκρασία περιβάλλοντος, υγρασία, ομίχλη, βροχή κ.α.

Για να υπερκεραστούν αυτές οι δυσκολίες, οι μηχανικοί εκτίμησαν την ακτινοβολία θεωρώντας τις φλόγες καπνοδόχου σαν σημειακές πηγές, κάνοντας χρήση της θερμικής αποβολής σαν βάση για την ισχύ εκπομπής και εμπειρικά στοιχεία σε σχέση με την πραγματική εκπεμπόμενη ακτινοβολία. Η εικόνα 16 δείχνει τις γενικές

γεωμετρικές παραδοχές που επηρεάζουν την προσέγγιση της σημειακής πηγής. Η κλασική εξίσωση ακτινοβολίας της API παρουσιάζει αυτή την προσέγγιση στην απλούστερη μορφή:

$$K = \frac{tFQ}{4pD^2} \quad (3)$$

όπου: K = ακτινοβολία, Btu/hr-ft²

t = ατμοσφαιρική εκπομπή

F = κλάσμα ακτινοβολίας

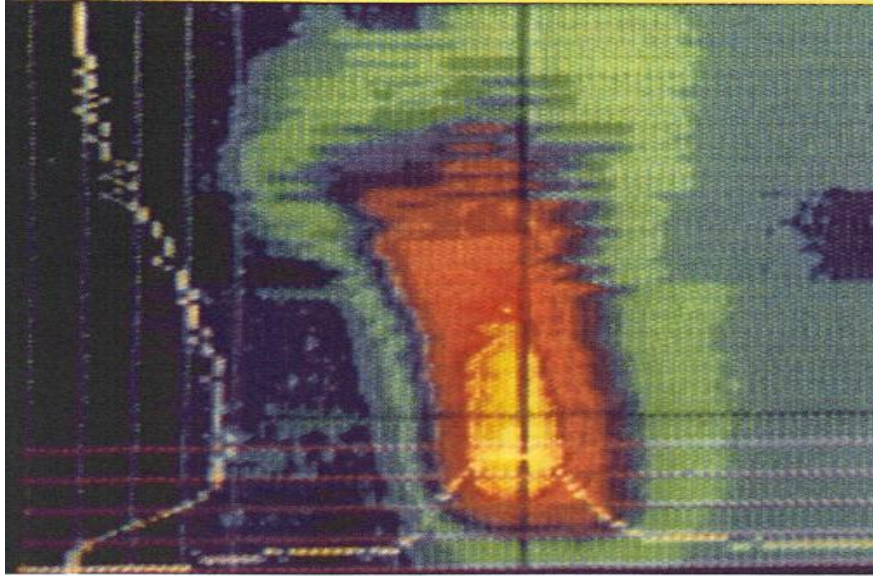
Q = απελευθέρωση θερμότητας, Btu/hr

D = απόσταση από τα επίκεντρο της θερμότητας στο αντικείμενο, ft.

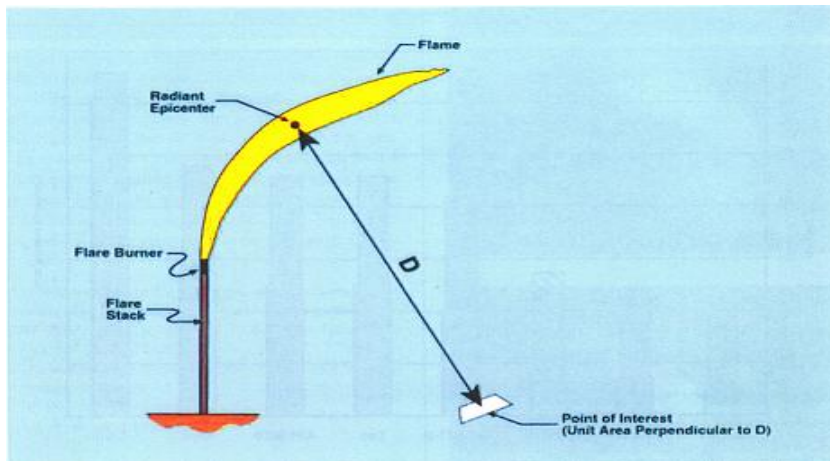
Πολλές από τις περιπλοκές της πλήρους θεωρητικής ανάλυσης οφείλονται στο εμπειρικά προσδιορισμένο κλάσμα ακτινοβολίας. Αυτός ο παράγοντας περιλαμβάνει τα αποτελέσματα της θερμοκρασίας φλόγας, εκπομπή αερίων και αιθάλης, μέσο μήκος δέσμης και άλλες σχετικές με το σχήμα θέσεις. Ο παράγοντας της απόστασης ξεχωρίζει έναν αριθμό από προσεγγίσεις που προκύπτουν σαν αποτέλεσμα της πρόβλεψης του σχήματος της φλόγας περιλαμβάνοντας το μήκος της φλόγας, τη τροχιά της φλόγας και τη θέση του θερμικού επικέντρου. Αυτή η προσέγγιση έχει χρησιμοποιηθεί στη μια μορφή ή σε άλλη για την εκτίμηση της ακτινοβολίας από φλόγες της καπνοδόχου.

Πολλές δημοσιευμένες μέθοδοι είναι διαθέσιμοι για προκαταρκτική εκτίμηση της ακτινοβολίας της καπνοδόχου και των υψών της στήλης. Η εικόνα 17 παρουσιάζει μια οπτική σύγκριση των υψών της στήλης που προσδιορίζεται από καθεμιά από τις μεθόδους και τον σχετικό κόστος του εξοπλισμού που σχετίζεται με το ύψος της κάθε στήλης.

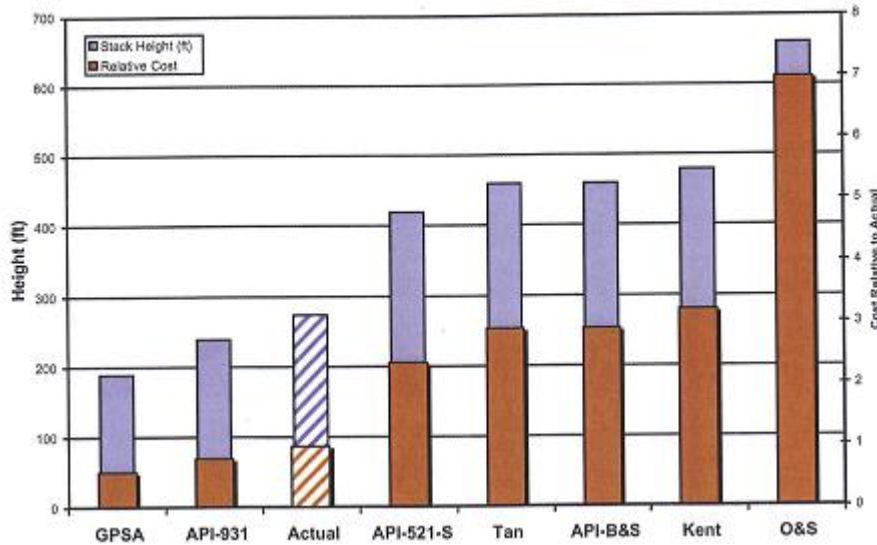
Οι τελευταίες μέθοδοι πρόβλεψης που χρησιμοποιούνται συγκρατούν την επίδραση του σχεδιασμού του καυστήρα της καπνοδόχου, τη ποσότητα του αερίου και τη σύνθεση του, πολλές αδράνειες, ρυθμό άκαπνης καύσης και δημιουργία καπνού στο σχήμα της φλόγας και τελευταία τα χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας.



Εικόνα 15: Θερμογράφημα μιας φλόγας καπνοδόχου.



Εικόνα 16: Γεωμετρία για υπολογισμό ακτινοβολίας



Εικόνα 17: Σύγκριση του ύψους της καπνοδόχου και του σχετικού κόστους για διάφορες μεθόδους υπολογισμού της αντινοβολίας.

Καταστολή καπνού

Η άκαπνη καύση είναι μια σύνθετη περίπτωση που περιλαμβάνει πολλούς από τους προσδιοριστικούς παράγοντες του συστήματος. Επιλέγοντας την καλύτερη μέθοδο καταστολής, ο σχεδιαστής της καπνοδόχου καθοδηγείται από την εμπειρία του στη μετάφραση των σχετικών πληροφοριών που έλαβε σχετικά με καθέναν από αυτούς τους παράγοντες.

Άκαπνη καύση προκαλείται όταν η ορμή που παράγεται από όλα τις πηγές ενέργειας αποβάλλει και αναμιγνύει ικανό αέρα με το αποβαλλόμενο αέριο. Για αυτή τη καύση σημείο κλειδί είναι η ορμή του αερίου που απορρίπτεται όταν βγαίνει από τον καυστήρα της καπνοδόχου. Σε μερικές περιπτώσεις το αποβαλλόμενο αέριο είναι διαθέσιμο σε τέτοια πίεση που εάν μετατραπεί σωστά μπορεί να δώσει την απαιτούμενη ορμή. Εάν δεν είναι η κατάλληλη πίεση του αερίου για άκαπνη καύση, ο σχεδιαστής θα πρέπει να χρησιμοποιήσει βοήθεια από άλλη ενεργειακή πηγή (π.χ. ατμό ή αέρα χαμηλής πίεσης). Σε μερικές περιπτώσεις, ένας συνδυασμός ενεργειακών πηγών μπορεί να είναι αποτελεσματικός.

Συνοπτικά, η μετατροπή ενέργειας περιλαμβάνει μετατροπή της εσωτερικής ενέργειας του αερίου σε κινητική ενέργεια.

Η έγχυση ατμού είναι η πιο συνήθης τεχνική για πρόσθεση ορμής σε αέρια χαμηλής πίεσης. Επιπρόσθετα, για να αυξήσεις την ορμή, ο ατμός παρέχει επίσης τα

πλεονεκτήματα της αραίωσης του αερίου και συμμετοχή στη χημεία της διαδικασίας καύσης. Η αποτελεσματικότητα του ατμού παρουσιάζεται στην εικόνα 18.



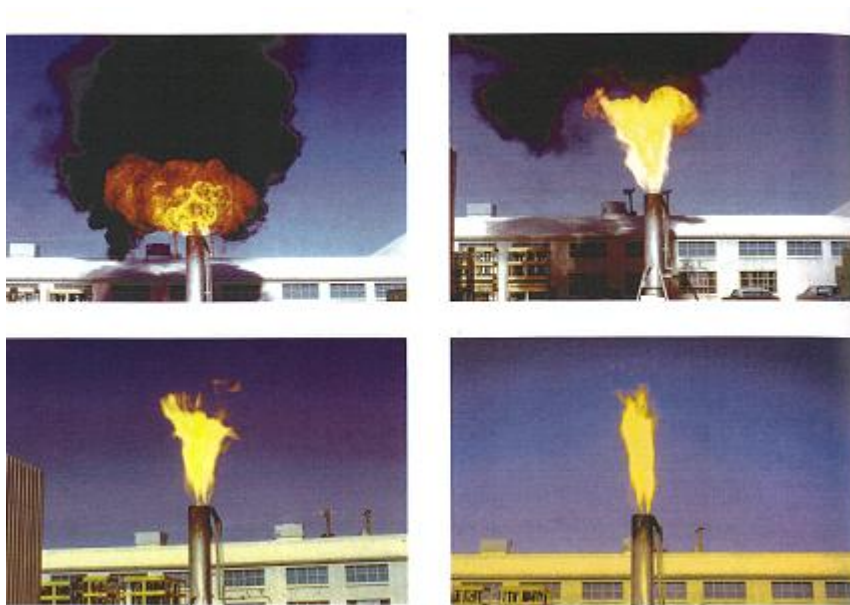
Εικόνα 18: Αποτελεσματικότητα του ατμού σε καταστολή καπνού: α) χωρίς ατμό, β) ξεκίνημα καπνού και γ) χωρίς καπνό.

Μερικές εγκαταστάσεις έχουν ατμό διαθέσιμο σε πολλά διαφορετικά επίπεδα πίεσης. Υπάρχει ένα πλεονεκτικό κόστος λειτουργίας για τη χρήση ατμού χαμηλής πίεσης (2 με 3.5 atm). Ο σχεδιαστής της εγκατάστασης θα πρέπει να ισορροπήσει αυτό το κόστος λειτουργίας έναντι του αυξημένου κόστους σωληνώσεων σχετικών με τον ατμό χαμηλής πίεσης.

Επίσης, ενώ η καπνοδόχος θα επιτύχει το ρυθμό σχεδιασμού άκαπνης καύσης στη μέγιστη πίεση ατμού, η κατανάλωση του ατμού κάτω από το μέγιστο μπορεί να είναι υψηλότερη από όσο αναμένεται.

Επειδή τα περισσότερα γεγονότα περιλαμβάνουν σχετικά χαμηλούς ρυθμούς ροής, η απόδοση κάτω από μεταβλητές συνθήκες πρέπει προσεκτικά να εξεταστούν.

Χαμηλή πίεση αέρα (0.1-0.2 atm) χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου η πίεση του αερίου είναι χαμηλή και ατμός δεν είναι διαθέσιμος. Ο παρεχόμενος αέρας προσθέτει ορμή και είναι μια ποσότητα από τον απαιτούμενο αέρα καύσης. Η φωτογραφία 19 δείχνει εικόνες που παρουσιάζουν την επίδραση της βοήθειας του αέρα. Το α δείχνει την καπνοδόχο χωρίς βοηθητικό αέρα. Ο φουσητήρας ενεργοποιείται στο β αλλά επειδή απαιτείται κάποια ώρα να φτάσει σε πλήρη ταχύτητα, το τελικό αποτέλεσμα της έγχυσης του αέρα δεν φαίνεται έως το δ στιγμιότυπο. Το αέριο που μπαίνει σε αυτή την περίπτωση είναι προπυλένιο.



Εικόνα 19: Αποτελεσματικότητα αέρα στην καταστολή καπνού: α) χωρίς αέρα, β) εκκίνηση φουσητήρα, γ) η ροή αέρα αυξάνεται και δ) χωρίς καπνό.

Γενικά, ο φουσητήρας παρέχει μόνο κλάσμα του αέρα καύσης που απαιτείται από τις συνθήκες άκαπνης ροής. Για τους περισσότερους σχεδιασμούς, 15% έως 50% της απαίτησης του στοιχειομετρικού αέρα που απαιτείται εγχύεται μέσα στη φλόγα. Ο υπόλοιπος απαιτούμενος αέρας εισάγεται κατά μήκος της φλόγας της καπνοδόχου.

Θόρυβος/όραση φλόγας

Η ενέργεια που απελευθερώνεται στην καύση στην καπνοδόχο παράγει θερμότητα, ιονισμένα αέρια, λάμψη και θόρυβο. Οι περισσότερες εγκαταστάσεις είναι εξοπλισμένες με ανυψωμένες καπνοδόχους, έτσι με τη φύση τους μεταδίδουν το θόρυβο στην εγκατάσταση και στις περιβάλλουσες γειτονικές περιοχές. Σε μερικές περιπτώσεις, το επίπεδο του θορύβου γίνεται δυσάρεστο και μελέτη μείωσης του θορύβου επιβάλλεται. Ο θόρυβος στην καπνοδόχο παράγεται με τουλάχιστον τρεις μηχανισμούς:

- Από την αέρια δέσμη καθώς αυτή εξέρχεται από τον καυστήρα της καπνοδόχου και αναμιγνύεται με τον περιβάλλον αέρα.
- Από την καταστολή έγχυσης καπνού και τη σχετική ανάμιξη
- Από τη καύση.

Οι σωληνώσεις και οι βαλβίδες που σχετίζονται με τη πηγή του αερίου ανακουφίσεως πρέπει να δημιουργούν σημαντικά επίπεδα θορύβου τα οποία μεταφέρονται κατά μήκος της κεφαλής της καπνοδόχου και εξέρχονται μέσω του άκρου της καπνοδόχου. Ο θόρυβος που παράγεται από το δεύτερο μηχανισμό μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη χρήση χαμηλού θορύβου εγχυτών, σιλανσιέ και προσεκτική κατανομή του κατασταλτικού. Ο καυστήρας της καπνοδόχου που φαίνεται στην εικόνα 20 είναι σχεδιασμού χαμηλού θορύβου με επιπλέον μείωση θορύβου να προέρχεται από σιλανσιέ που πρώτα σχεδιάστηκε για χρήση σε εσωτερικές καπνοδόχους εδάφους. Κατάλληλοι σχεδιασμοί μπορούν να μειώσουν τα επίπεδα θορύβου καπνοδόχου μέχρι 75% ή και περισσότερο (6dB ή και περισσότερο).

Όταν η λάμψη από ένα σύστημα καπνοδόχου είναι ενοχλητική, μια εσωτερική καπνοδόχος είναι μια καλή επιλογή. Μια κατάλληλα σχεδιασμένη τέτοια καπνοδόχος μπορεί να εξαφανίσει την ορατή φλόγα σε όλες τις περιπτώσεις εκτός έκτακτων αναγκών. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα μιας τέτοιας καπνοδόχου είναι και η μείωση του θορύβου.



Εικόνα 20: Καπνοδόχος χωρίς καπνό με υποβοήθηση ατμού.

Μίγματα αέρα/αερίων

Ρεύματα αποβλήτου αερίου που περιέχει μίγματα αέρα και αερίων μπορεί γενικά να χωριστούν σε δύο τύπους. Ο πρώτος τύπος περιλαμβάνει συστήματα που αναμένεται να περιέχουν μίγματα αέρα/αερίων. Παραδείγματα περιλαμβάνουν σταθμούς φόρτωσης πετρελαίου και εγκαταστάσεις αποστείρωσης ιατρικού εξοπλισμού. Ο δεύτερος τύπος είναι δυνητικά πιο επικίνδυνος και σε αυτόν ο αέρας δεν αναμένεται στη σύνθεση των σωληνώσεων και των ανακουφίσεων. Ένα παράδειγμα είναι η έξοδος αέρα από δεξαμενή ή δοχείο στην έναρξη της προεργασίας του κύκλου καθαρισμού.

Τα συστήματα καπνοδόχων που χειρίζονται μίγματα αέρα/αερίων συνήθως περιλαμβάνουν έναν αριθμό από ειδικές θεωρήσεις ασφάλειας. Αυτές οι ειδικές θεωρήσεις που σχετίζονται βασικά με τον αυξημένο κίνδυνο του φαινομένου του flashback (αναλαμπής) περιλαμβάνουν:

- Αυτόματο σταμάτημα σε διαρροή αερίου καθαρισμού ή πιλοτικών φλογών
- Υψηλότερες από το κανονικό ροές αερίων καθαρισμού για ρύθμιση ταχύτητας εξόδου στον καυστήρα για πρόληψη του flashback
- Χρήση εκτόνωσης και/ή παγίδες φλόγας
- Ειδικές πρακτικές λειτουργίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΠΝΟΔΟΧΟΥ

Ενώ εξετάζουμε τις γενικές θεωρήσεις σχεδιασμού, ο ειδικός σχεδιαστής της καπνοδόχου πρέπει να δώσει έμφαση και στην επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού για την εγκατάσταση. Οι συνολικές θεωρήσεις σχεδιασμού και η επιλογή του ειδικού εξοπλισμού είναι σχετιζόμενες όψεις της διαδικασίας σχεδιασμού του συστήματος μιας καπνοδόχου για συγκεκριμένη εφαρμογή. Τα κύρια συστατικά των συστημάτων αυτών που αναφέρθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο θα αναλυθούν με πιο μεγάλη λεπτομέρεια.

Καυστήρες καπνοδόχου

Αν και εγκαθίστανται στο τέλος του συστήματος της καπνοδόχου, οι καυστήρες είναι μεταξύ των πρώτων αντικειμένων που μελετώνται στο σχεδιασμό του συστήματος. Πρέπει να γίνει σαφές ότι υπάρχουν αρκετά οφέλη από τη χρήση της μέγιστης διαθέσιμης πίεσης στον καυστήρα της καπνοδόχου. Η έξοδος του καυστήρα της καπνοδόχου είναι το σημείο όπου η ροή προσδιορίζει την πτώση πίεσης που συνήθως συμβαίνει. Οι σχεδιασμοί ποικίλουν από απλές εγκαταστάσεις καπνοδόχων έως εσωτερικές πολλαπλών σημείων πολλών σταδίων συστημάτων και από μη βοηθούμενες έως πολλαπλών εγχυτήρων ατμού και πολλαπλών σχεδιασμών βοηθητικού αέρα με χρήση φυσητήρων. Εκτός του σχεδιασμού της άκρης, επαρκής καύση πρέπει να είναι διαθέσιμη για την εξασφάλιση του κύριου στόχου της όλης εγκατάστασης.

α) Χωρίς βοήθεια (υποστήριξη) (Non-assisted)

Οι πιο απλοί τύποι είναι οι χωρίς βοήθεια (υποστήριξη) καυστήρες καπνοδόχου. Αυτοί οι καυστήρες αποτελούνται βασικά από ένα κυλινδρικό βαρέλι με επισυνάψεις για επαύξηση της σταθερότητας της φλόγας και πιλότους για την έναρξη και ρύθμιση της έναυσης των αερίων ανακουφίσεως. Μια τυπική τέτοια εγκατάσταση φαίνεται στη φωτογραφία 21. Αυτές οι καπνοδόχοι συνήθως εγκαθίστανται λόγω ευκολίας αντικατάστασης. Οι οριζόντια τοποθετημένες εκδόσεις τους συνήθως σαν άκρα κοιλότητας καύσης καπνοδόχου (εικόνα 5). Και στις δύο περιπτώσεις, μια τυρβώδης φλόγα διάχυσης παράγεται. Η ταχύτητα εξόδου στον καυστήρα της καπνοδόχου εξαρτάται από τη σύνθεση του απορριπτόμενου αερίου, τον ειδικό σχεδιασμό του καυστήρα και την επιτρεπόμενη πτώση πίεσης. Σε μερικές

περιπτώσεις, η ταχύτητα εξόδου μπορεί με ασφάλεια να φτάσει τον Mach 1, δηλαδή σε ηχητική ροή. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι μερικές καπνοδόχοι είναι βασισμένες σε κανονισμούς που ορίζουν την ταχύτητα εξόδου.

Προαιρετικά χαρακτηριστικά που αυξάνουν την διάρκεια ζωής του εξοπλισμού περιλαμβάνουν ανεμοθώρακες και επένδυση διάθλασης. Ένα τέτοιο σύστημα φαίνεται στην εικόνα 22 που χρησιμοποιεί επένδυση διάθλασης εσωτερικά και εξωτερικά για την προστασία του άκρου από την εσωτερική καύση και το σταμάτημα της φλόγας έξω από το άκρο. Εναλλακτικά, ατμός στο κέντρο πολλές φορές χρησιμοποιείται για να βοηθήσει στην αποφυγή εσωτερικής καύσης αντί μιας επένδυσης διάθλασης έτσι ώστε να αυξηθεί το όριο ζωής του άκρου. Αυτή η προσέγγιση είναι αποτελεσματική σε κλίματα όπου η ψύξη δεν είναι ένα σημαντικό θέμα. Ο ατμός στο κέντρο είναι σχετικά ένα ανεπαρκές μέσο για έλεγχο του καπνού επειδή δεν εισάγει αέρα που είναι κανονικά ένα βασικό κομμάτι κάθε στρατηγικής καταστολή του καπνού.



Εικόνα 21: Τυπική καπνοδόχος χωρίς υποβοήθηση



Εικόνα 22: Διπλής διάθλασης άκρο καπνοδόχου πολλαπλών χρήσεων.

β) Με βοήθεια ατμού

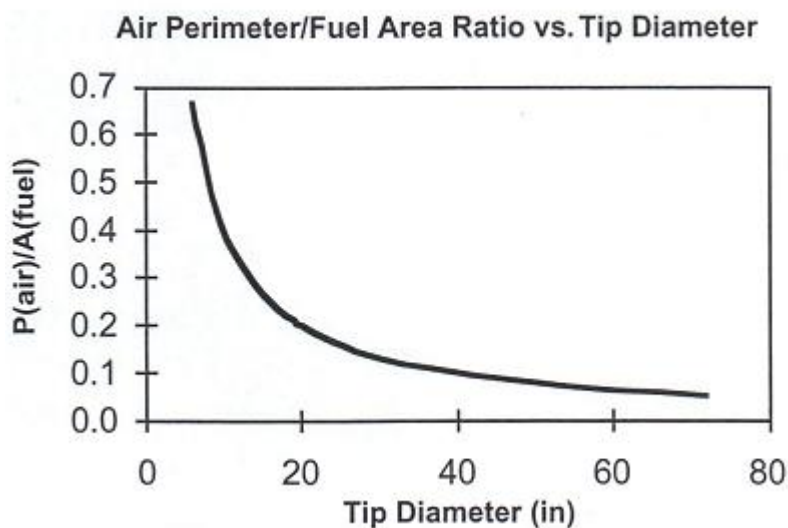
Ο βασικός σχεδιασμός βελτιώθηκε με τα χρόνια με μπέκ πολλαπλών εισόδων για μείωση του θορύβου έγχυσης ατμού, βελτιστοποίηση τρόπων έγχυσης για βελτίωση της απόδοσης του ατμού και προαιρετική έγχυση ατμού στο κέντρο για μείωση εσωτερικών βλαβών λόγω επανακαύσεων. Η εικόνα 23 δείχνει ένα μοντέρνο παράδειγμα αυτού του σχεδιασμού. Μια πολλαπλή ατμού ή αλλιώς δακτύλιος ατμού τοποθετείται κοντά στην έξοδο του άκρου της καπνοδόχου. Αυτός ο δακτύλιος ατμού μπορεί να σχεδιαστεί για πιέσεις παροχής ατμού που κανονικά κυμαίνονται από 2atm έως 10atm. Πολλοί εγχυτήρες ατμού υπάρχουν από την πολλαπλή και καθοδηγούν δέσμες ατμού στο απορριπτόμενο αέριο καθώς εξέρχεται του άκρου της καπνοδόχου. Οι δέσμες ατμού γεμίζουν τον αέρα από την περιβάλλουσα ατμόσφαιρα και τον εγχύουν μέσα στο αέριο με υψηλά επίπεδα τύρβης. Αυτές οι δέσμες επίσης δρουν και καθοδηγούν τα αέρια που εξέρχονται από την άκρη της καπνοδόχου. Αυτό προλαμβάνει τον άνεμο από πρόκληση σβησίματος της φλόγας γύρω από το άκρο της καπνοδόχου.

Ο ατμός εγχύσεως, ο αποβαλλόμενος αέρας και το αέριο ανακουφίσεως συνδυάζονται στο σχηματισμό μίγματος που καίει το αέριο ανακουφίσεως χωρίς καπνό. Ο μέγιστος ρυθμός άκαπνης καύσης που μπορεί να επιτευχθεί με έναν δεδομένο καυστήρα καπνοδόχου εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων

περιλαμβανομένων της σύνθεσης των αερίων, τη διαθέσιμη ποσότητα ατμού και τις πιέσεις του αερίου και του ατμού.



Εικόνα 23: Απλή καπνοδόχος με υποβοήθηση ατμού.



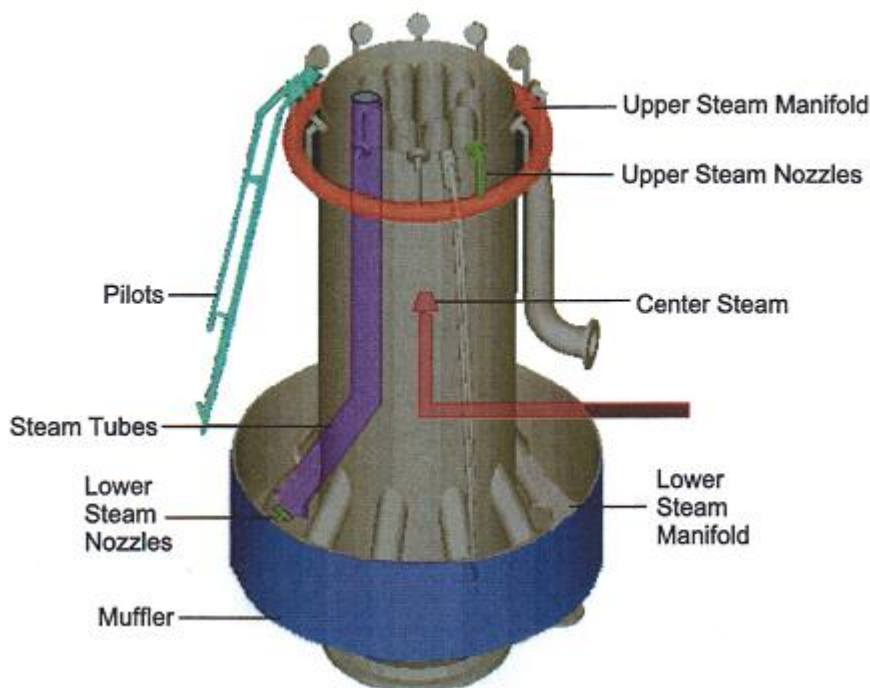
Εικόνα 24: Λόγος περιμέτρου/επιφάνειας σαν συνάρτηση του μεγέθους του άκρου για μια απλή καπνοδόχο με υποβοήθηση ατμού.

Όμως, υπάρχουν περιορισμοί στο σχεδιασμό αυτού του τύπου άκρου καπνοδόχου. Οι εγχυτές ατμού τοποθετούνται κοντά στην έξοδο του άκρου της καπνοδόχου, έτσι είναι πολύ δύσκολο να εξαφανίσεις το θόρυβο από τον ατμό που παράγεται από της υψηλής πίεσης δέσμες. Επιπλέον, καθώς το μέγεθος του άκρου αυξάνει, γίνεται πιο δύσκολο για τα μίγματα ατμού/αέρα να φτάσουν το κέντρο της φλόγας. Επιπλέον, η περίμετρος του άκρου της καπνοδόχου αυξάνεται μόνο γραμμικά με το μέγεθος του άκρου ενώ η επιφάνεια ροής του άκρου αυξάνεται με το τετράγωνο του μεγέθους του

άκρου όπως φαίνεται στην εικόνα 24. Επομένως, καθώς το μέγεθος του άκρου της καπνοδόχου αυξάνεται, η ανάγκη για αέρα (συνάρτηση της επιφάνειας ροής) γρήγορα ξεπερνά την ικανότητα αποβολής αέρα (συνάρτηση της περιμέτρου).

γ) Βελτιωμένης βοήθειας ατμός

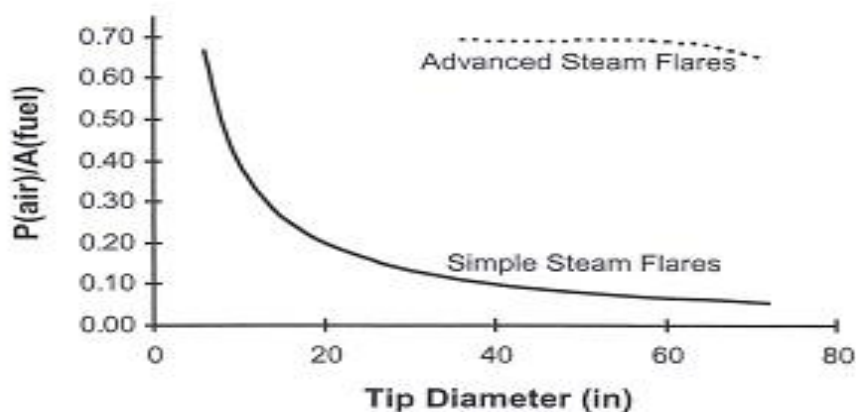
Για να ξεπεραστούν οι περιορισμοί του προηγούμενου σχεδιασμού, μια προηγμένη καπνοδόχος με βοήθεια ατμού σχεδιάστηκε που χρησιμοποιεί πολλαπλά σημεία έγχυσης ατμού. Επιπλέον της πολλαπλής ατμού στο πάνω μέρος, μια σειρά από εσωτερικούς και εξωτερικούς σωλήνες τοποθετούνται για να διανέμουν το μίγμα ατμού/αέρα στον πυρήνα της εξόδου του απορριπτόμενου αερίου (εικόνα 25). Η παρουσία αυτών των σωλήνων, προσεκτικά κατανεμημένων κατά μήκος της εξόδου του άκρου, αυξάνει την αποτελεσματική διαθέσιμη περίμετρο για την πρόσβαση του αέρα στο απορριπτόμενο αέριο (εικόνα 26).



Εικόνα 25: Παράσταση μιας καπνοδόχου με σύστημα βελτιωμένης υποβοήθησης ατμού.

Οι σωλήνες αυτοί ξεκινούν εξωτερικά του τοιχώματος του άκρου της καπνοδόχου, περνούν μέσω των ανοιγμάτων του τοιχώματος και οδηγούνται προς τα επάνω μέχρι την έξοδο του άκρου της καπνοδόχου. Δέσμες ατμού εγχύουν ατμό μέσα στην είσοδο

αυτών των σωληνώσεων, καθοδηγώντας μεγάλες ποσότητες αέρα. Το μίγμα ατμού/αέρα εξέρχεται από τους σωλήνες με μεγάλη ταχύτητα, δίνοντας ορμή, ατμό αραίωσης, αέρα καύσης και τύρβη στη βάση της φλόγας. Πρόσφατες ανακαλύψεις έχουν αυξήσει την αποτελεσματικότητα των σωλήνων επιτρέποντας μεγαλύτερες δυνατότητες άκαπνης καύσης. Νέοι ενσωματωμένοι εγχυτές ατμού έχουν αυξήσει την απόδοση του αποβαλλόμενου αέρα. Προς τα πάνω έγχυση ατμού βοηθά στην βελτίωση της άκαπνης καύσης μέσω αυξημένης τύρβης και ανάμιξης και αντιμετωπίζοντας ικανοποιητικά τις επιδράσεις του ανέμου.



Σχήμα 26: Σύγκριση λόγου περιμέτρου/επιφάνειας με διάμετρο άκρου για καπνοδόχο απλή και με βελτιωμένη υποβοήθηση ατμού.

Αυτό το σύστημα ενσωματώνει πολλές στρατηγικές καταστολής καπνού: αυξημένη περίμετρος, υψηλή ορμή, περισσότερος αέρας καύσης, υψηλότερη τύρβη για ανάμιξη, αραίωση και χημική αντίδραση μέσω ατμού και επικόλληση της φλόγας για αντίσταση στις επιδράσεις του ανέμου. Καθεμιά από αυτές τις στρατηγικές βοηθά στη μείωση του καπνού. Εάν συνδυαστούν μπορούν να παράγουν μερικούς από τους υψηλότερους ρυθμούς άκαπνης καύσης διαθέσιμους για καπνοδόχους μονού σημείου.

Τα νέα συστήματα καπνοδόχων μπορούν να επιτύχουν ρυθμούς άκαπνης καύσης περισσότερο από 230,000 Kg/hr αερίων που είναι γενικά δύσκολο να καούν καθαρά. Ένα παράδειγμα αυτού του σχεδιασμού φαίνεται στην εικόνα 27.



Εικόνα 27: Υψηλής τεχνολογίας καυστήρας καπνοδόχου και σιλανσιέ.

Βελτιωμένα σχέδια σιλανσιέ και επαναδιανομής του ατμού μπορούν να δώσουν επίπεδα θορύβου πολύ χαμηλότερα από τα προηγούμενα μοντέλα. Σε μερικές περιπτώσεις, ο θόρυβος της δέσμης ατμού μπορεί ολικά να ουδετεροποιηθεί μέσω σχεδιασμού εγχυτήρα και τη χρήση νέων τεχνικών σιλανσιέ.

Καθώς η ικανότητα, το μέγεθος και η δυνατότητας άκαπνης καύσης των καυστήρων της καπνοδόχου αυξάνεται, περισσότερη έμφαση μπορεί να δοθεί σε προχωρημένα σχεδιαστικά εργαλεία τα οποία μπορούν να προγνώσουν το θόρυβο και την απόδοση ακάπνιας. Σχεδιαστικά τέτοια εργαλεία μπορούν να αναπτυχθούν και να πιστοποιηθούν χρησιμοποιώντας μεγάλης κλίμακας ελέγχους σε μια εγκατάσταση όπως δείχνει η εικόνα 13.

δ) Υποστήριξη χαμηλής πίεσης αέρα

Όλες οι μονάδες δεν έχουν μεγάλες ποσότητες ατμού διαθέσιμες για χρήση από την καπνοδόχο. Μερικές μονάδες προτιμούν να μην χρησιμοποιούν ατμό για να αποφεύγουν προβλήματα ψύξης, άλλες δεν μπορούν να δεσμεύσουν νερό για την παραγωγή ατμού για έλεγχο του καπνού και άλλες επιλέγουν να μην εγκαταστήσουν

ένα μπόιλερ. Για να καλυφθούν αυτές οι ανάγκες μια σειρά από βοηθητικά συστήματα υποστήριξης αέρα έχουν δημιουργηθεί.

Γενικά, ο υποβοηθούμενος με αέρα καυστήρας καπνοδόχου αποτελείται από έναν καυστήρα αερίου τοποθετημένο με πληρότητα αέρα στο πάνω μέρος της καπνοδόχου (εικόνα 28). Αέριο ανακουφίσεως διανέμεται στο καυστήρα μέσω σωλήνα ομοαξονικού στο κέντρο της καπνοδόχου. Χαμηλής πίεσης αέρας διανέμεται στον καυστήρα από έναν ή περισσότερους φυσητήρες τοποθετημένους κοντά στη βάση της δέσμης καπνοδόχων. Ο αέρας ρέει ανοδικά μέσω του χώρου μεταξύ της δέσμης καπνοδόχων και του παροχετευτή αερίου.



Εικόνα 28: Άκαπνη καπνοδόχος με υποβοήθηση αέρα με δύο φυσητήρες στο διυλιστήριο.

Οι πρώτες τέτοιες εγκαταστάσεις σχετίζονται με λειτουργίες σε μερική απόσταση από την κύρια μονάδα ή ολικά αποκεντρωμένες από την υποστήριξη της κεντρικής εγκατάστασης. Η επιτυχία αυτών των συστημάτων οδήγησε στη χρήση αέρα υποβοήθησης στις καπνοδόχους μεγαλύτερης ικανότητας.

Σήμερα, τέτοιοι σχεδιασμοί είναι εύκολα διαθέσιμοι με όριο ζωής του άκρου να κυμαίνεται από 5 σε 10 χρόνια. Ρυθμοί άκαπνης ροής πάνω από $150 \times 10^6 \text{ ft}^3/\text{day}$ (SCFD) είναι διαθέσιμοι για κορεσμένους υδρογονάνθρακες όπως οι παραγωγές αερίων ανακουφίσεως των εγκαταστάσεων.

Η εικόνα 29 δείχνει ένα παράδειγμα ενός σχεδιασμού καπνοδόχου αέρα. Το απορριπτόμενο αέριο εγκαταλείπει τον καυστήρα μέσω ενός ή περισσοτέρων στενών δεσμών καθεμιά περιβαλλόμενη από αέρα υποβοήθησης. Αυτός ο σχεδιασμός κάνει καλή χρήση της περιμέτρου.



Εικόνα 29: Δακτυλιοειδής καπνοδόχος αέρα.

ε) Μετατροπή ενέργειας

Στις άκαπνες καπνοδόχους που μελετήθηκαν παραπάνω, εστιασμός έγινε στη πρόσθεση ενέργειας από εξωτερική πηγή για ώθηση του επιπέδου συνολικής ενέργειας αρκετά υψηλά έτσι ώστε να επιτευχθεί άκαπνη καύση. Ένα πλεονέκτημα κερδίζεται εάν μια εξωτερική πηγή δεν απαιτείται. Αυτή είναι η περίπτωση των καυστήρων καπνοδόχου με μετατροπή ενέργειας. Αυτοί οι καυστήρες επίσης αναφέρονται σαν υψηλής πίεσης καυστήρες καπνοδόχου ή πολλαπλού σημείου καυστήρες καπνοδόχου. Όπου αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν, δίνουν ένα σημαντικό όφελος μέσω της μείωσης του λειτουργικού κόστους της καπνοδόχου.

Υπάρχουν δύο διακριτά είδη καυστήρων μετατροπής ενέργειας. Η πρώτη κατηγορία έχει μια μόνη είσοδο και σχετικά κοντινά σημεία απορροής του απορριπτόμενου

αερίου. Η άλλη κατηγορία χρησιμοποιεί ένα μέσο πέρα από τη μετατροπή ενέργειας για να επιτύχει καύση χωρίς καπνό στην καπνοδόχο. Και στις δύο κατηγορίες, η αρχή είναι η μετατροπή της στατικής πίεσης του απορριπτόμενου αερίου, στον καυστήρα, σε ταχύτητα δέσμης και τελικά σε ορμή.

Εφαρμογές των καυστήρων καπνοδόχου που χρησιμοποιούν μετατροπή ενέργειας για να επιτύχουν άκαπνη καύση απαιτούν ειδική προσοχή σε περιπτώσεις σταματήματος ροής. Αυτές οι καπνοδόχοι, συνήθως αυτές που σχετίζονται με δραστηριότητες παραγωγής πετρελαίου, λειτουργούν σε ή κοντά στο μέγιστο σχεδιασμό ροής τις περισσότερες φορές. Μια τέτοια εγκατάσταση που είναι εμπορικά διαθέσιμη φαίνεται στην εικόνα 30 και προσφέρει ένα ελεγχόμενο σχήμα φλόγας και μειωμένη ακτινοβολία φλόγας. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι ειδικά ελκυστικά για καπνοδόχους που είναι ενσωματωμένες σε πλατφόρμες.



Εικόνα 30: Καυστήρας καπνοδόχου σε μια υπεράκτια τοποθεσία.

Το αντίθετο συνήθως αληθές για καυστήρες καπνοδόχων που χρησιμοποιούνται σε διυλιστήρια και πετροχημικές βιομηχανίες. Αυτές οι καπνοδόχοι έχουν ένα χαμηλό φορτίο με περιπτώσεις χαμηλής διάρκειας μέσων φορτίων. Στις καπνοδόχους μετατροπής ενέργειας, η πίεση του αερίου σε αντίθεση με τα χαρακτηριστικά της

ροής ακολουθούν τους ίδιους κανόνες σαν ένα στόμιο. Πάνω από την κρίσιμη πτώση πίεσης, η χαρακτηριστική ροής/πίεσης μεταβάλλεται με το λόγο των απολύτων πιέσεων. Ακριβώς ή κάτω την κρίσιμη πτώση πίεσης η χαρακτηριστική ροής/πίεσης ακολουθεί μια σχέση τετραγώνου. Π.χ. μια μείωση ροής 50% θα μειώσει την πτώση πίεσης του αερίου στο 25% της πλήρους τιμής ροής.

Οι λόγοι μείωσης που παρουσιάζονται στις καπνοδόχους των διυλιστηρίων και των πετροχημικών βιομηχανιών μπορούν να ελαττώσουν την πίεση του αερίου σε τέτοιο βαθμό που ενέργεια για άκαπνη καύση δεν θα είναι διαθέσιμη. Αυτό το πρόβλημα αντιμετωπίζεται χρησιμοποιώντας μια ιδέα με στάδια που χωρίζει τους καυστήρες σε στάδια ή ομάδες με τα πρώτα στάδια να έχουν μικρότερο αριθμό καυστήρων από ότι τα τελευταία στάδια. Η ροή σε κάθε στάδιο ή ομάδα καυστήρων ελέγχεται μέσω βαλβίδας που λειτουργεί σε διαδικασία on/off (ανοικτό/κλειστό) και καθοδηγείται από ένα σύστημα ελέγχου. Η βαλβίδα στο πρώτο στάδιο συνήθως είναι ανοικτή όλη την ώρα.

Η αρχή του συστήματος ελέγχου είναι η αντιστοιχία των αριθμών των καυστήρων που είναι σε λειτουργία με τη ροή του αερίου. Αυτό επιτρέπει στους καυστήρες να λειτουργούν μέσα σε καθορισμένα πεδία πιέσεων (εικόνα 31) έτσι ώστε το ελάχιστο επίπεδο ενέργειας για άκαπνη καύση να είναι πάντα διαθέσιμο. Στη φωτογραφία αυτή φαίνεται η προσθήκη σταδίων καυστήρα καθώς το αέριο ρέει στη καπνοδόχο. Στο τελευταίο στιγμιότυπο η καπνοδόχος επιτυγχάνει ένα ρυθμό άκαπνης ροής πάνω από 250,000 Kg/hr.

Συνήθως τέτοια συστήματα περιβάλλονται με προστατευτικούς φράκτες που αποκλείουν την πρόσβαση σε ανθρώπους και ζώα από την περιοχή της καπνοδόχου για λόγους ασφαλείας. Σε τέτοιες περιπτώσεις όπου η διαθέσιμη περιοχή γής είναι ελάχιστη ένας εσωτερικός φράκτης χρησιμοποιείται για να μειώσει την ακτινοβολία στις περιβάλλουσες περιοχές και να μειώσει την ορατότητα και το θόρυβο.

Το μεγαλύτερο τέτοιο σύστημα στο κόσμο μπορεί να χειρίζεται πάνω από 1,000,000 Kg/hr χωρίς καπνό και βρίσκεται στις ΗΠΑ σε βιομηχανία πετροχημικών.

Ο σχεδιασμός ενός τέτοιου συστήματος καπνοδόχου είτε μονού σημείου είτε πολλαπλού σημείου, περιλαμβάνει δεδομένα που δεν θα χρειάζονταν στους σχεδιασμούς άλλων τύπων καυστήρων καπνοδόχου. Ερωτήσεις για τον καυστήρα και την απόσταση των δεσμών αερίου πρέπει να λυθούν. Π.χ. η ικανότητα ενός καυστήρα να είναι ελαφρύς και η ακτινοβολία στα γειτονικά σημεία είναι μεγάλης σημασίας.



Εικόνα 31: Σταδιακή διαδικασία κατά τη διάρκεια ενός γεγονότος καύσης από την έναρξη (α) (πάνω αριστερή εικόνα) έως πλήρες φορτίο (ζ) (κάτω δεξιά εικόνα).

Αυτοί οι καυστήρες βασισμένοι στη διασταυρούμενη ακτινοβολία πρέπει να περιορίζουν την ροή αέρα και να παρεμποδίζουν την άκαπνη καύση. Οι ιδιότητες του αερίου είναι ακόμα πιο κρίσιμες όταν ο σχεδιασμός εξαρτάται από τη μεταβολή ενέργειας μαζί με την επίτευξη άκαπνης καύσης.

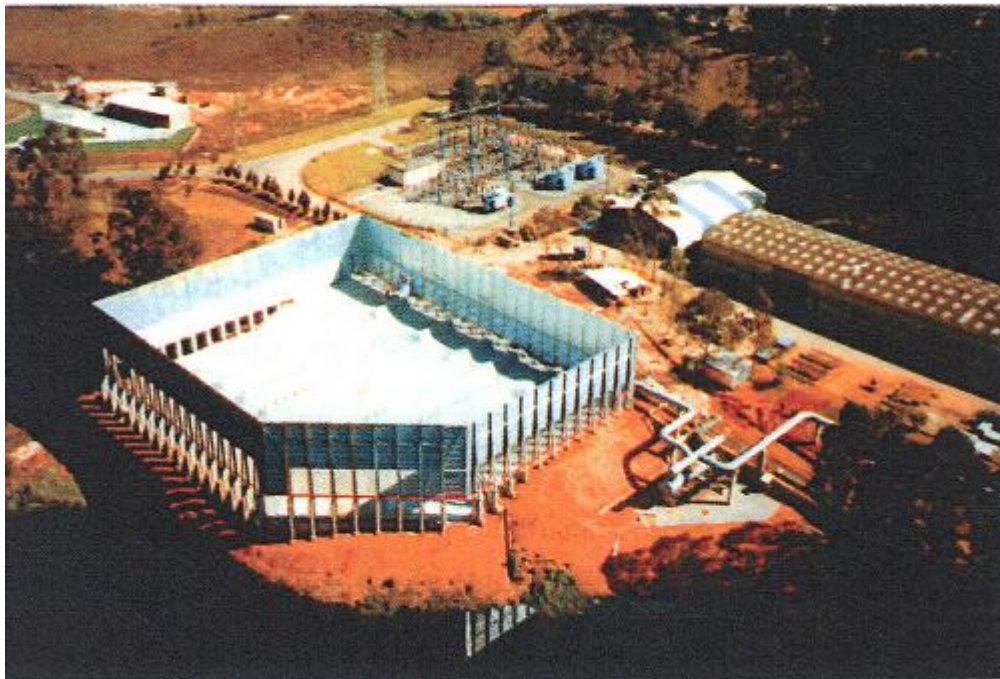
στ) Ενδοθερμικό

Μερικές εφαρμογές καπνοδόχων περιλαμβάνουν αέρια με υψηλό περιεχόμενο αδρανών αερίων. Όταν το αδρανές περιεχόμενο είναι αρκετά υψηλό, η αντίδραση καύσης γίνεται ενδοθερμική, που σημαίνει ότι μερική εξωτερική πηγή θερμότητας απαιτείται για να διατηρηθεί η αντίδραση. Ανάκτηση αργού πετρελαίου από έγχυση CO₂, περάσματα κλινών, κλίβανοι γαιανθράκων και εγκαταστάσεις επεξεργασίας ατσαλιού είναι παραδείγματα δραστηριοτήτων που παράγουν αέρια που απαιτούν επιπλέον καύσιμο για τη διατήρηση της φλόγας του κύριου καυστήρα. Τέτοια αέρια συχνά περιέχουν μεγάλες ποσότητες τοξικών υλικών όπως H₂S, NH₃, CO ή ποικίλα

αέρια που κανονικά οδηγούνται σε κλίβανο (αποτεφρωτή). Η καύση σε καπνοδόχο αναγνωρίζεται για πολλά χρόνια σαν επαρκής μέθοδος καταστροφής αυτών των αερίων. Ικανή πλήρης καταστροφή αυτών των αερίων προστατεύει την ανθρώπινη κοινότητα και το περιβάλλον.

Οι πρώτες ενδοθερμικές καπνοδόχοι αποτελούνταν από απλά προσαρμοσμένα άκρα στην καπνοδόχο με εμπλουτισμό αερίου καυσίμου από τα απορριπτόμενα αέρια ανοδικά της καπνοδόχου για τη διασφάλιση ότι το μίγμα που φτάνει στο άκρο είναι αναφλέξιμο. Αυτό το σύστημα είναι απλό αλλά δημιουργεί ένα υψηλό κόστος καυσίμου στην εγκατάσταση. Ένας εναλλακτικός σχεδιασμός παρέχει ένα μίγμα προμιγμένου καυσίμου/αέρα στη στεφάνη γύρω από το άκρο της καπνοδόχου. Η καύση αυτού του μίγματος παρέχει θερμότητα και έναυση στο απορριπτόμενο αέριο καθώς εξέρχεται από το άκρο της καπνοδόχου. Αυτός ο σχεδιασμός έχει μια ελάχιστη παροχή αερίου καυσίμου πριν η καύση πραγματοποιηθεί στη στεφάνη, έτσι απαιτεί μια πλήρη λειτουργία on ή off του παρεχόμενου αερίου.

Τα σημερινά υψηλά ενεργειακά κόστη παρέχουν ένα κίνητρο για μείωση τέτοιας χρήσης καυσίμου.



Εικόνα 32: Πολλαπλών σημείων σύστημα με φράκτη ακτινοβολίας.

Στην εικόνα 33 φαίνεται ένας καυστήρας καπνοδόχου που είναι μια σύγχρονη ενδοθερμική καπνοδόχος με παροχή υποβοηθούμενου αέρα καυστήρα αερίου που καλύπτει την έξοδο του απορριπτόμενου αερίου.



Εικόνα 33: Ενδοθερμική καπνοδόχος

Χρησιμοποιώντας βοηθητικό καύσιμο για να χτιστεί μια δυνατή φλόγα έναυσης, το ποσό του αερίου εμπλουτισμού που απαιτείται για τη διατήρηση της έναυσης μειώνεται. Το ποσό του αερίου εμπλουτισμού που απαιτείται εξαρτάται από το μέγεθος του καυστήρα της καπνοδόχου και τη υποστήριξη βλαβών.

Υπάρχουν αρκετά εμπορικά διαθέσιμα τέτοια συστήματα διεθνώς και για σωστή χρήση απαιτείται ανάλογα με το σύστημα που θα επιλεγεί εμπλουτισμός των αερίων ανακουφίσεως σε τιμή LHV από 180-300 Btu/ft².

ζ) Ειδικόί τύποι

Εκτός των παραπάνω τύπων καπνοδόχων που παρουσιάστηκαν υπάρχουν άλλοι καπνοδόχοι που είναι σχεδιασμένοι να καίνε υγρούς υδρογονάνθρακες ή να χρησιμοποιούν ένα υγρό σαν κατασταλτικό του καπνού. Μερικά παραδείγματα δίνονται παρακάτω. Οι εικόνες 34 και 35 δείχνουν δύο παραδείγματα καπνοδόχων υγρών που έχουν σχετικά διαφορετικούς σχεδιασμούς. Η καπνοδόχος στη φωτογραφία 34 έχει πολλαπλούς καυστήρες που συνδυάζονται σε μια μονάδα. Τη στιγμή της φωτογραφίσεως, η καπνοδόχος καίει πετρέλαιο με απελευθέρωση

θερμότητας περίπου 1,000,000 Btu/hr. Τα άκρα της καπνοδόχου επιτρέπουν μια ποσοτική προσέγγιση για σχεδιασμό ειδικής ικανότητας.



Εικόνα 34: Δοκιμή καύσης σε καπνοδόχο υγρών με ρυθμό 150 gr/min.

Επιπλέον, ένα ευρύ σταμάτημα μπορεί να επιτευχθεί απλά κλείνοντας τη ροή σε μερικά από τα άκρα. Τυπικές εφαρμογές είναι εγκαταστάσεις ελέγχου ορυχείων πετρελαίου και καθαρισμός υπερχειλίσεων πετρελαίου.

Η άλλη καπνοδόχος (εικόνα 35) χρησιμοποιεί έναν ή περισσότερους καυστήρες και είναι εξοπλισμένη με ένα φυσητήρα για τη βελτίωση ανάμιξης για άκαπνη καύση. Αυτή η καπνοδόχος χρησιμοποιείται για την καταστροφή πλεόνασμα ή εκτός προδιαγραφών προϊόντος ή απορριπτόμενο πετρέλαιο.



Εικόνα 35: Καπνοδόχος υγρού με βεβιασμένη ροή.

Η επιτυχία του ατμού σαν κατασταλτικό καπνού οδήγησε τη χρήση του νερού για την πρόληψη καπνού. Κατά τη διάρκεια των ετών, ένας αριθμός σχεδιασμών χρησιμοποιώντας νερό για καταστολή καπνού έχει δημιουργηθεί. Σε μερικές περιπτώσεις, το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί με μεγάλα οφέλη, και μια τέτοια περίπτωση φαίνεται στην εικόνα 36.



Εικόνα 36: Καπνοδόχος με υποβοήθηση νερού.

Αυτή η καπνοδόχος χρησιμοποιεί νερό για την επίτευξη άκαπνης καύσης, μείωση θερμικής ακτινοβολίας και μείωσης θορύβου. Αυτή η εγκατάσταση πέτυχε την μείωση σε θόρυβο κατά 13 dBA και 50% πτώση στην ακτινοβολία συγκρινόμενη με προηγούμενη συνήθη καπνοδόχο που χρησιμοποιούνταν.

Πιλότοι, αναφλεκτήρες και εποπτεία

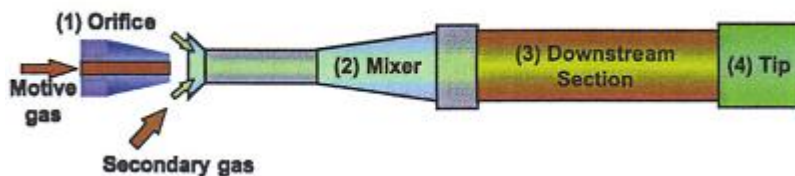
Πριν το 1947, ο εξαερισμός των άκαυστων υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα ήταν βιομηχανική πρακτική. Μετά το 1947, οι κανονισμοί απαιτούσαν οι υδρογονάνθρακες να καούν ή να οδηγηθούν μέσω καπνοδόχου στην ατμόσφαιρα. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνταν παλιά δεν ήταν αξιόπιστες και ασφαλείς μιας και ποσότητες έφευγαν στην ατμόσφαιρα αλλά υπήρχε και κίνδυνος εκρήξεων και σοβαρών ατυχημάτων του προσωπικού σε τέτοιες εγκαταστάσεις λόγω ελλείψεως γνώσεων για την εξάλειψη επικίνδυνων αερίων μέσω αντιδράσεων που πραγματοποιούνταν εν αγνοία των υπευθύνων.

Κατά το 1950 αμερικάνικες εταιρείες ανέπτυξαν τον πρώτο πιλότο που μειώνει και συνεχώς καίει τα εκπεμπόμενα αέρια από τη καπνοδόχο. Κατόπιν, υπήρξαν και υπάρχουν συνεχείς βελτιώσεις στο σχεδιασμό του πιλότου, την ανάφλεξη και την εποπτεία των συστημάτων αυτών.

A) Πιλότοι

Ένας πιλότος καπνοδόχου είναι ένα σύστημα καυστήρα πρόμιξης σχεδιασμένο να λειτουργεί πάνω από ένα στενό πεδίο απελευθέρωσης θερμότητας. Σαν καυστήρας, ο πιλότος πρέπει (1) μετρά το καύσιμο και τον αέρα, (2) αναμιγνύει το καύσιμο με τον αέρα, (3) δημιουργεί το απαιτούμενο σχήμα της φλόγας και (4) δημιουργεί σταθερότητα φλόγας.

Τυπικά, οι πιλότοι αποτελούνται από 4 βασικά μέρη: έναν αναμίκτη ή σωλήνα venture, ένα στόμιο αερίου, μια καθοδική διάταξη που συνδέει τον αναμίκτη και το άκρο και το άκρο όπως φαίνεται στην εικόνα 37.



Εικόνα 37: Βασικά μέρη πιλότου.

Όλα τα συστατικά του πιλότου είναι προσεκτικά σχεδιασμένα να λειτουργούν μαζί σαν σύστημα για την επίτευξη της κατάλληλης απόδοσης. Μια αλλαγή σε καθένα συστατικό θα επηρεάσει την ισορροπία του συστήματος και έτσι τη λειτουργία του πιλότου.

Σε λειτουργία, η ενέργεια πίεσης του καυσίμου του πιλότου χρησιμοποιείται για οδήγηση περιβαλλοντικού αέρα μέσα στην είσοδο του αναμίκτη, ανάμιξη αέρα και αερίου και καθοδήγηση του μίγματος μέσω της καθοδικής περιοχής και έξοδο από το άκρο του πιλότου.

Τα κύρια χαρακτηριστικά για έναν σωστά σχεδιασμένο πιλότο είναι:

- Ικανός για αξιόπιστη έναυση
- Παροχή σταθερότητας στη φλόγα του πιλότου
- Πρόληψη του σβησίματος της φλόγας του πιλότου
- Παροχή μεγάλης διάρκειας ζωής

Ένα βασικό κέρδος του πιλότου είναι να πραγματοποιεί έναυση στο απορριπτόμενο αέριο που εξέρχεται του καυστήρα της καπνοδόχου.

Εάν ο όγκος του αέρα που οδηγείται στον πιλότο είναι εκτός των ορίων αναφλεξιμότητας του αερίου καυσίμου του πιλότου, ο πιλότος δεν θα λειτουργεί σωστά. Π.χ. το μεθάνιο απαιτεί 5.7 έως 19 όγκους αέρα ανά όγκο καυσίμου για να καεί. Εάν ο πιλότος λειτουργεί κάτω από αυτό το ογκομετρικό όριο του λόγου αέρα/καυσίμου, εξωτερικός αέρας στον πιλότο πρέπει να είναι διαθέσιμος για να καεί το καύσιμο. Εάν το άκρο του πιλότου είναι εγκλωβισμένο με αδρανή αέρια από την καπνοδόχο, τότε ο πιλότος δεν θα μπορεί να λειτουργήσει με σκοπό την καύση. Εάν ο πιλότος λειτουργεί έστω με μεθάνιο και ο ογκομετρικός λόγος αέρα/καυσίμου είναι πάνω ή κοντά στο 19, ο πιλότος θα είναι δύσκολο να λειτουργήσει και μπορεί να είναι ασταθής σε συνθήκες ανέμου.

Το περιβάλλον λειτουργίας του πιλότου της καπνοδόχου απαιτεί ο πιλότος να μπορεί να είναι ικανός στην αντιμετώπιση της βροχής, του ανέμου, τη θερμότητα από τη φλόγα της καπνοδόχου και την άμεση επαφή με τη φλόγα. Συνήθη προβλήματα πιλότων είναι η αποτυχία έναυσης και καύσης με σταθερή φλόγα και παρουσία του φαινομένου flashback.

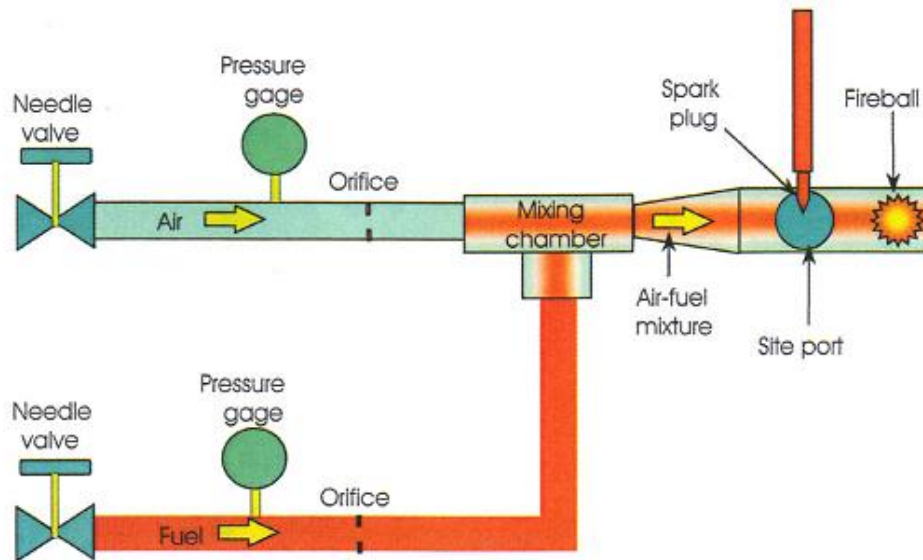
Η πιο συνήθης μέθοδος έναυσης ανοδικών πιλότων καπνοδόχων είναι η χρήση της γεννήτριας έμπροσθεν φλόγας (FFG, flame front generator). Ένα FFG είναι μια συσκευή σχεδιασμένη να παράγει μια φλογόμπαλα που ταξιδεύει μέσω ενός αγωγού από το σημείο της έναυσης στο πιλότο, επομένως εκκινεί τον πιλότο. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι FFG: συμβατικός, ολίσθησης ρεύματος και αυτοσυμπλήρωσης.

Συμβατικός FFG

Ενας συμβατικός παρουσιάζεται στην εικόνα 38. Ενας συνδυασμένος θάλαμος αναμίκτη venture και εκκινήτη συνδέονται με σωλήνα στον πιλότο. Το μήκος του σωλήνα μπορεί να είναι 1500m ή και περισσότερο αλλά ο αγωγός συνήθως δεν ξεπερνά τη 1 in.

Η διαδικασία έναυσης ξεκινά με την ροή αέρα και αερίου στο αναμίκτη βεντούρι. Σε αυτό το σύστημα, οι ρυθμοί ροής του αέρα και του αερίου ελέγχονται και εποπτεύονται χρησιμοποιώντας μια βελονοειδή βαλβίδα και μετρητή πίεσης. Ο θάλαμος έναυσης είναι τοποθετημένος αμμέσως καθοδικά από τη ζώνη ανάμιξης. Ενας σπινθηριστής στο θάλαμο έναυσης μπορεί να εκκινήσει το μίγμα

αέρα/καυσίμου. Η φλογόμπαλα που δημιουργείται ταξιδεύει μέσω του σωλήνα μέχρι να φτάσει τον πιλότο. Η φλογόμπαλα τότε εκκινεί το μίγμα αέρα/καυσίμου που δημιουργείται από τον πιλότο καθώς εξέρχεται από το άκρο του πιλότου.



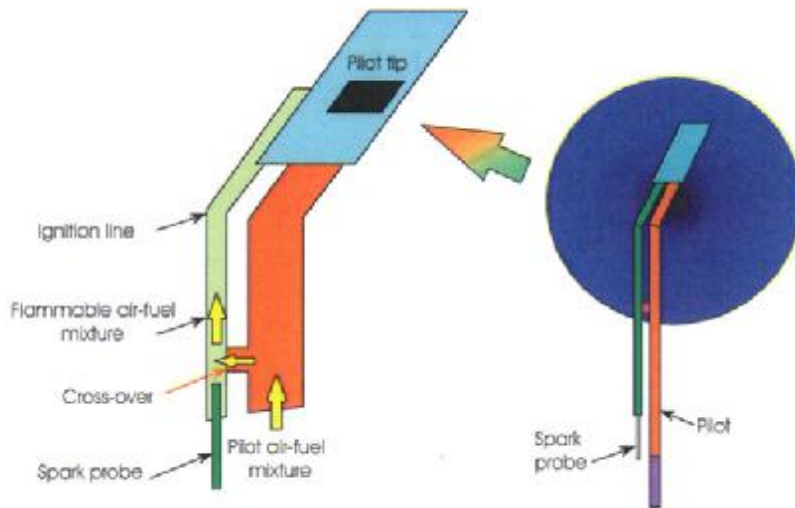
Εικόνα 38: Συμβατικός FFG

Είναι σημαντικό να επιτραπεί στη γραμμή FFG να γεμίσει εντελώς με αναφλέξιμο μίγμα αέρα/καυσίμου πριν ο σπινθήρας δημιουργηθεί. Εάν αυτό δε γίνει, η φλογόμπαλα θα σβήσει πριν φτάσει τον πιλότο και δεν θα εκκινήσει τον πιλότο. Μεγάλες γραμμές FFG μπορεί να χρειαστούν λεπτά για να γεμίσουν εντελώς με αναφλέξιμο μίγμα αέρα/καυσίμου εξαρτώμενες από το ρυθμό ροής και το μήκος της γραμμής του FFG. Π.χ. εάν η ταχύτητα του μίγματος στη γραμμή FFG είναι 15m/s και το μήκος της γραμμής είναι 300m, το μίγμα θα χρειαστεί 20-30 secs πριν δοκιμάσει να εκκινήσει τον πιλότο. Κάθε προσπάθεια για έναυση του πιλότου θα χρειάζεται 20-30 secs για τη γραμμή να ξαναγεμίσει με το μίγμα αέρα/καυσίμου.

Ολίσθησης ρεύματος FFG

Αυτή καθοδηγεί μια ποσότητα μίγματος αέρα/καυσίμου που παράγεται από το βεντούρι του πιλότου σε έναν αγωγό που είναι συνεχόμενος με τον πιλότο όπως φαίνεται στην εικόνα 39. Το ρεύμα ολίσθησης ταξιδεύει μέσω του σωλήνα και εξέρχεται κοντά στο άκρο του πιλότου. Ένας υψηλής ενέργειας εκκινητής εκροής χρησιμοποιείται για την έναυση του μίγματος, δημιουργώντας μια φλογόμπαλα μέσα στη γραμμή ολίσθησης ρεύματος που έτσι εκκινεί τον πιλότο. Τα κύρια

πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος έναντι του συμβατικού είναι η ταχεία επανέναυση του πιλότου, δεν υπάρχουν έμπροσθεν γραμμές φλόγας και καθόλου συμπιεσμένος αέρας δεν απαιτείται.



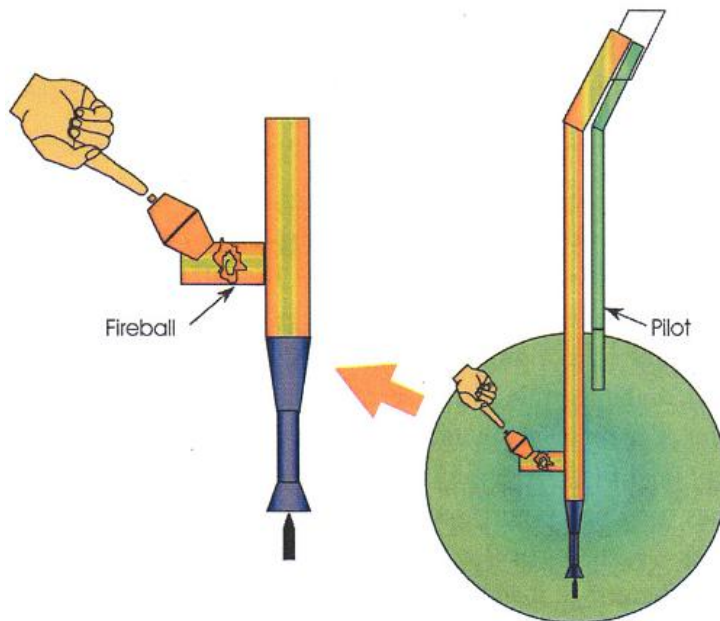
Εικόνα 39: Ολίσθησης FFG

Τα κύρια μειονεκτήματα είναι ότι κρίσιμα συστατικά στοιχεία είναι τοποθετημένα στην άκρη της καπνοδόχου και επομένως είναι μη προσβάσιμα χωρίς σταμάτημα της καπνοδόχου και ότι το ηλεκτρικό καλώδιο που οδηγεί από τον μετατροπέα στον εκκινητή είναι έως συγκεκριμένο μήκος (συνήθως έως 250 m). Πολλά τέτοια συστήματα είναι εφοδιασμένα και με συμβατικό FFG σύστημα και έτσι σε κάθε περίπτωση το συμβατικό χρησιμοποιείται σαν ένα υποστηρικτικό σύστημα έναυσης.

Αυτοσυμπλήρωσης FFG

Σε αυτό το σύστημα το μίγμα αέρα/καυσίμου δημιουργείται σε βαθμό κάνοντας χρήση συστήματος εγχυτήρα όπως φαίνεται στην εικόνα 40. Αυτός ο εγχυτήρας είναι ξέχωρα από το κύριο αναμίκτη βεντούρι του πιλότου. Ενας σπινθήρας δημιουργείται μόλις καθοδικά του εγχυτήρα του εκκινητή, δημιουργεί μια φλογόμπαλα μέσα στη γραμμή έναυσης που οδηγεί στο άκρο του πιλότου. Το κύριο πλεονέκτημα αυτού του συστήματος έναντι του συμβατικού συστήματος είναι ότι συμπιεσμένος αέρας δεν απαιτείται. Το πλεονέκτημα έναντι του συστήματος ολίσθησης ρεύματος είναι ότι κρίσιμα μέρη είναι προσβάσιμα κατά τη λειτουργία της καπνοδόχου. Το μειονέκτημα

αυτού του συστήματος είναι η μέγιστη απόσταση από τη γραμμή εκκίνησης είναι έως και 60m στα συνήθη συστήματα.



Εικόνα 40: Αυτοσυμπλήρωσης FFG.

Βέβαια, η ακριβής απόσταση ποικίλει αρκετά εξαρτώμενη από τη διαθέσιμη πίεση του καυσίμου, τη σύνθεση του καυσίμου, τη διάμετρο και τη τραχύτητα του τοιχώματος της γραμμής έναυσης και την πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα.

B) Ελεγχος-εποπτεία

Η επιβεβαίωση ότι ένας πιλότος της καπνοδόχου είναι εν λειτουργία είναι ένα σημαντικό και σε μερικές περιπτώσεις αναγκαία απαίτηση. Η απομακρυσμένη θέση του πιλότου και η μη προσβασιμότητα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της καπνοδόχου κάνει την επιβεβαίωση της φλόγας δύσκολη. Μια σύντομη περιγραφή των μεθόδων εποπτείας των πιλότων καπνοδόχων παρουσιάζει τις δυσκολίες.

Τα περισσότερα καύσιμα πιλότων παράγουν μια χαμηλής φωτεινότητας φλόγα επειδή το αέριο μίγμα στο άκρο του πιλότου περιέχει κοντά στο 100% του απαιτούμενου αέρα από το καύσιμο. Έτσι είναι πολύ δύσκολο να παρατηρήσεις φλόγα από πιλότο κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ η θέαση τη νύκτα είναι γενικά πιο επιτυχής. Εάν ο πιλότος εκκινείται χρησιμοποιώντας συμβατική FFG, ανοίγοντας τη βαλβίδα του αερίου του FFG μπορεί να επιτευχθεί ορατή θέαση μέρα και νύκτα. Το επιπρόσθετο καύσιμο θα παράγει μια μεγαλύτερη και πιο φωτεινή φλόγα στο

πιλότο. Εφόσον, η φλόγα του πιλότου γίνει ορατή, το επιπλέον καύσιμο μπορεί να σταματήσει να παρέχεται.

Από τη φύση, η φλόγα σχετίζεται με την θερμότητα. Στην πραγματικότητα, μια φλόγα παράγει θερμότητα, ιονισμένο αέριο, λάμψη, και θόρυβο. Η τεχνική για προσδιορισμό μια φλόγα πιλότου με την ανίχνευση της θερμότητας από την δημιουργούμενη φλόγα με ένα θερμοζεύγος χρησιμοποιείται πολλά χρόνια. Στη τεχνική με το θερμοζεύγος, τοποθετείται το θερμοζεύγος στη θέση που επιθυμούμε να ανιχνεύσουμε τη θερμότητα που δημιουργείται από τη φλόγα του πιλότου. Το θερμοζεύγος συνδέεται σε έναν διακόπτη θερμοκρασίας ή σε Η/Υ που προσδιορίζει την αποτυχία του πιλότου εάν η θερμοκρασία πέσει κάτω από ένα σημείο θέσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, σταμάτημα απαιτείται για αλλαγή θερμοζεύγους εάν δεν λειτουργεί σωστά ή δεν είναι το κατάλληλο για την εφαρμογή μας.

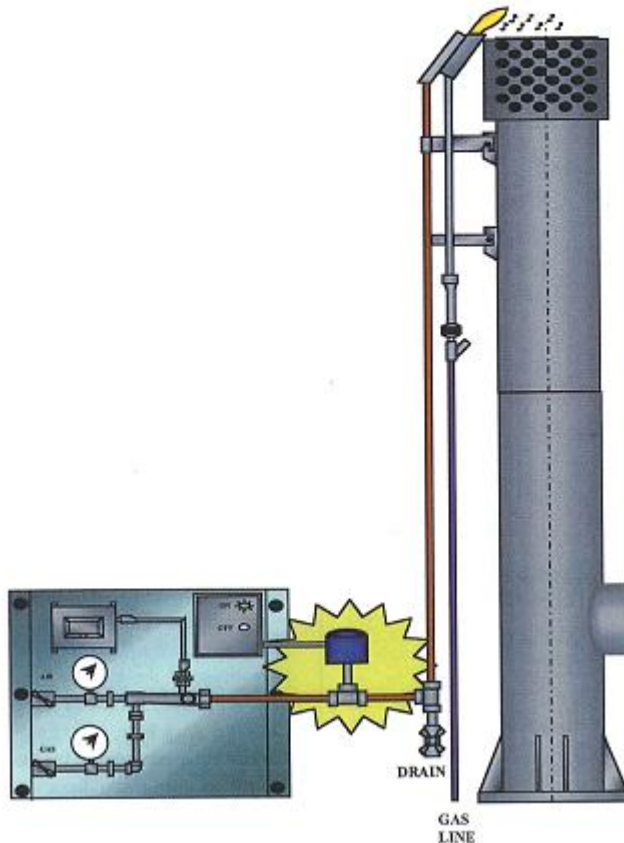
Άλλες τεχνικές χρησιμοποιούνται για προσδιορισμό της φλόγας χρησιμοποιώντας ιονισμό φλόγας και οπτική ανίχνευση. Η μέθοδος ιονισμού της φλόγας απαιτεί δύο στοιχεία που τοποθετούνται στη φλόγα του πιλότου. Η παρουσία ή απουσία της φλόγας προσδιορίζεται από την αλλαγή στην αντίσταση μεταξύ των στοιχείων. Όπως και με το θερμοζεύγος, αυτά τα στοιχεία δεν μπορούν να υποστηριχθούν κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της καπνοδόχου. Η χρήση του ιονισμού της φλόγας για εποπτεία των πιλότων καπνοδόχου είναι περιορισμένη σαν μέθοδος.

Η Οπτική ανίχνευση βοηθά από μια τοποθεσία με σημαντικό βαθμό προσβασιμότητας. Οι περισσότεροι οπτικοί αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στους πιλότους καπνοδόχων χρησιμοποιούν μία ή περισσότερες μπάντες υπέρυθρων κυμάτων για την ανίχνευση της παρουσίας της φλόγας. Οι υπεριώδεις ανιχνευτές, που συνήθως χρησιμοποιούνται στους καυστήρες των μπόιλερ και στους καυστήρες βιομηχανικών λειτουργιών, γενικά δεν χρησιμοποιούνται σε εσωτερικές καπνοδόχους εδάφους. Οι οπτικές μέθοδοι μπορεί να είναι ανάκανες και διαχωρίσουν πιλότους από την κύρια φλόγα ή έναν πιλότο από τον άλλο. Επιπλέον, το οπτικό μονοπάτι μπορεί να εμποδίζεται από βαριά βροχή, ομίχλη, χιόνι ή την κίνηση του πάνω μέρους της δέσμης καμινάδων που μπορεί να οδηγούν τη φλόγα έξω από το πεδίο θέασης του αισθητήρα.

Η πιο καινούργια τεχνική εποπτείας φλόγας ανιχνεύει τη φλόγα του πιλότου από απόσταση κάνοντας χρήση του παραβλεπόμενου χαρακτηριστικού της φλόγας, τη παραγωγή ήχου. Αυτό το σύστημα αποτελείται από έναν ακουστικό αισθητήρα και έναν επεξεργαστή σήματος. Ο αισθητήρας ακούει τους ήχους του πιλότου μέσω της

γραμμής της γεννήτριας έμπροσθεν φλόγας όπως ένας γιατρός χρησιμοποιεί ένα στηθοσκόπιο να ακούσει την καρδιά.

Τα ακουστικά δεδομένα οδηγούνται από τον αισθητήρα στον επεξεργαστή σήματος μέσω καλωδίου. Ο επεξεργαστής σήματος αναλύει τα ακουστικά δεδομένα και σήματα της κατάστασης της φλόγας του πιλότου. Ένα τέτοιο σύστημα δείχνεται στην εικόνα 41.



Εικόνα 41: Εποπτεία μέσω ήχου πιλότου.

Ένας ακουστικός ελεγκτής πιλότου μπορεί να ξεχωρίσει τον συνδεδεμένο πιλότο από κοντινές πηγές ήχου όπως άλλους πιλότους, έγχυση ατμού και καύση στην καπνοδόχο. Οι καιρικές συνθήκες δεν επηρεάζουν σημαντικά την εποπτεία.

Τύμπανα εκκενώσεως

Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι τυμπάνων εκκενώσεως που μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα σύστημα καπνοδόχου: οριζόντιο, κατακόρυφο και κυκλωνικός διαχωριστής.

Τα οριζόντια τύμπανα εκκενώσεως είναι μεγάλα τύμπανα μέσα στα οποία τα σταγονίδια έχουν αρκετό επιτρεπόμενο χρόνο παραμονής για να διαχωριστούν από το αέριο μέσω βαρύτητας. Η εικόνα 42 δείχνει ένα τυπικό παράδειγμα αυτού του σχεδιασμού. Η πτώση πίεσης κατά μήκος αυτών των τυμπάνων είναι σχετικά χαμηλή. Τύμπανα αυτού του τύπου είναι ειδικά χρήσιμα για μετακίνηση υγρών μέσα ή κοντά στις λειτουργικές μονάδες που στέλνουν υγρά στη κεφαλή της καπνοδόχου. Είναι συνηθισμένο για το μέγιστο επίπεδο υγρού να είναι στην κεντρική γραμμή του τυμπάνου, έτσι επιτρέποντας 50% του συνολικού όγκου του δοχείου να χρησιμοποιείται για προσωρινή αποθήκευση υγρού κατά τη διάρκεια της ανακουφίσεως των αερίων.



Εικόνα 42: Οριζόντια τοποθετημένο τύμπανο στη βάση μιας με αέρα υποβοηθούμενης καπνοδόχου.

Τα κάθετα τύμπανα λειτουργούν με παρόμοια τρόπο. Προσοχή στο σχεδιασμό αυτών των τυμπάνων πρέπει να δοθεί στην τελική ταχύτητα των σταγονιδίων επειδή αυτή η ταχύτητα προσδιορίζει τη διάμετρο του τυμπάνου. Επίσης, ο διαθέσιμος όγκος για την αποθήκευση του υγρού κατά τη διάρκεια της ανακουφίσεως είναι περιορισμένος από την ανύψωση των σωληνώσεων της κεφαλής της καπνοδόχου.

Κάθε μικρή σταγόνα που περνά μέσω του τυμπάνου εκκενώσεως μπορεί να συσσωρευτεί για να δημιουργήσει μεγαλύτερες σταγόνες στο σύστημα της

καπνοδόχου καθοδικά του τυμπάνου εκκενώσεως. Τοποθετώντας το τύμπανο πολύ κοντά στη βάση της σειράς καπνοδόχων ή ενσωματώνοντας το μέσα στη βάση της σειράς των καπνοδόχων μπορεί να περιοριστεί το πρόβλημα. Αν και η πτώση πίεσης που απαιτείται για τα τύμπανα είναι γενικά χαμηλή, η απαιτούμενη διάμετρος του τυμπάνου μπορεί να γίνει μη πρακτική εάν ο ρυθμός ροής είναι υψηλός.

Εξαφάνιση των πολύ μικρών σταγονιδίων υγρού δεν μπορεί να επιτευχθεί μέσω μιας μικρής μείωσης στη ταχύτητα του ρεύματος αερίου.

Κυκλωνικός διαχωρισμός είναι καλύτερος για μετακίνηση μικρών σταγονιδίων. Μειωτές ομίχλης σταγονιδίων, κάνοντας χρήση της φυγοκεντρικής δύναμης, μπορεί να είναι αποτελεσματικοί όταν ενσωματώνονται μέσα στη βάση της δέσμης καπνοδόχων. Είναι μικρότεροι σε διάμετρο από τις άλλες μορφές τυμπάνων και συνήθως παρέχουν υψηλή αποδοτικότητα μετακίνησης υγρού με κόστος της μεγαλύτερης πτώσης πίεσης. Αυτή η μορφή παρουσιάζεται στην εικόνα 43.



Εικόνα 43: Κυκλωνικός διαχωριστής

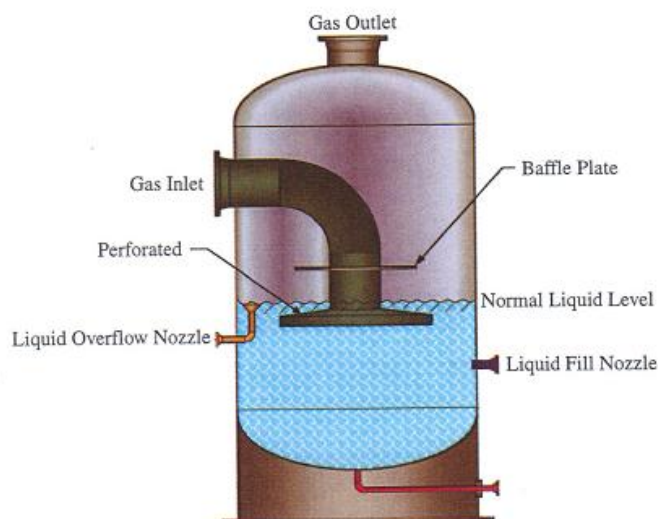
Συσσωμάτωση σταγονιδίων καθοδικά του κυκλωνικού διαχωριστή είναι γενικά μικρό πρόβλημα σε σχέση με τους άλλους σχεδιασμούς. Ένα τυπικό τέτοιο τύμπανο είναι σχεδιασμένο να μετακινεί σταγονίδια μεγαλύτερα από 300 έως 600μ στο ρυθμό άκαπνης ροής. Τα μεγέθη των σταγονιδίων στο μέγιστο ρυθμό ροής μπορεί να είναι πάνω από 1000μ σε κάποιες περιπτώσεις. Σε σύγκριση, οι σταγόνες που εξέρχονται τον κυκλώνα είναι πολύ μικρότερες, τυπικά 20 έως 40μ και το μέγεθος των σταγονιδίων παραμένει χαμηλό κατά τη διάρκεια της διαδικασίας λειτουργίας.

Όμως, ο διαθέσιμος όγκος για την αποθήκευση του υγρού σε έναν κυκλωνικό διαχωριστή είναι γενικά μικρό συγκρινόμενο με το κάθετο τύμπανο επειδή σημαντικό μήκος απαιτείται για την χώρο αεριοποίησης σε αυτό το σχεδιασμό.

Όταν σημαντικά φορτία υγρών πρέπει να αντιμετωπιστούν, τα οριζόντια τύμπανα συνήθως παρέχονται στο ανοδικό τέλος της κεφαλής της καπνοδόχου για να εγκλωβίσει το περισσότερο από τον όγκο του υγρού. Ο εξολοθρευτής (μειωτής) της ομίχλης των σταγονιδίων στη βάση της σειράς καπνοδόχων μετακινεί το εναπομείναν υγρό και ελαττώνει τα προβλήματα με τη συσσωμάτωση σταγονιδίων.

Υγροί Στεγανοποιητές

Ενας υγρός στεγανοποιητής είναι μια συσκευή που χρησιμοποιεί ένα υγρό, όπως νερό ή μίγμα γλυκόλης/νερού σαν μέσο παροχής διαχωρισμού αγωγού αερίου (ή ατμού) μέσα σε ανοδική ή καθοδική περιοχή. Μια τέτοια τυπική εγκατάσταση φαίνεται στην εικόνα 44.



Εικόνα 44: Παράσταση ενός κάθετου υγρού στεγανοποιητή.

Τέτοιες συσκευές υπάρχουν σε πολλούς τύπους συστημάτων καύσης που περιλαμβάνουν και καπνοδόχους, εξαιτίας του γεγονότος ότι οι υγροί στεγανοποιητές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πραγματοποίηση καθενός από ποικιλία επιδιώξεων, όπως:

- Προλαμβάνοντας ρευστά στη καθοδική πλευρά να επηρεάσουν ή μολύνουν αυτά στην ανοδική πλευρά: μια από τις πιο συχνές χρήσεις είναι η πρόληψη εισαγωγής αέρα στην καθοδική πλευρά από την διάδοση στην ανοδική πλευρά. Έτσι παρέχεται μια προστασία εναντίον της σύνθεσης εκρηκτικού μίγματος στην κεφαλή της καπνοδόχου ενεργώντας σαν εμπόδιο στο οπισθοχώρηση της ροής.
- Ύπαρξη σύνθλιψης της ανοδικής πλευράς: όπως γνωρίζουμε μια αρνητική πίεση μπορεί να υπάρχει στη βάση της δέσμης των καπνοδόχων σε συνθήκες χαμηλής ροής. Εγχύοντας αέριο καθαρισμού ανοδικά της στεγανοποίησης, η πλευρά αυτή συμπιέζεται σε πολλή μεγάλο βαθμό έως το βάθος κατακλυσμού. Σαν αποτέλεσμα, κάποια διαρροή στην ανοδική πλευρά θα οδηγήσει να ρεύσει το αέριο εκτός κεφαλής καπνοδόχου αντί του αέρα μέσα στην κεφαλή.
- Παροχέτευση ροής αερίου: οι στεγανοποιητές συχνά χρησιμοποιούνται για την παροχέτευση ροής αερίου σε προτιμώμενη κατεύθυνση. Ένα παράδειγμα είναι ένα σύστημα καπνοδόχου με βαθμίδες περιλαμβάνοντας μια εσωτερική καπνοδόχο και μια ανυψωμένη καπνοδόχο όπως αυτές που φαίνονται στην εικόνα 12. Ο υγρός στεγανοποιητής στη γραμμή της ανυψωμένης καπνοδόχου παροχετεύει όλες τις ροές στο εσωτερικό σύστημα καπνοδόχου μέχρι η πτώση πίεσης που προκαλείται από τη ροή αερίου μέσω του συστήματος εσωτερικής καπνοδόχου ξεπεράσει το βάθος υπερχειλίσεως.
- Παροχή ασφαλούς περάσματος ανακουφίσεως γύρω από βαλβίδα ελέγχου: μια βαλβίδα ελέγχου στη κεφαλή της καπνοδόχου μπορεί να αναπαριστά μια ασφάλεια κινδύνου που μπορεί να αποτύχει να λειτουργήσει όταν απαιτηθεί. Μια παράκαμψη ενός υγρού στεγανοποιητή γύρω από τη βαλβίδα ελέγχου προστατεύει την εγκατάσταση ενάντια σε πιθανή αποτυχία της βαλβίδας ελέγχου να ανοίξει κατά τη διάρκεια της ανακουφίσεως των αερίων προς απομάκρυνση.
- Σύλληψη έμπροσθεν φλόγας ή εκτόνωσης: οι υγροί στεγανοποιητές που χρησιμοποιούνται σαν κατακρατητές φλόγας γενικά χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, τις εξής:

1. τους στεγανοποιητές που χειρίζονται εισερχόμενα αέρια καύσης που δεν περιέχουν αέρα (ή οξυγόνο). π.χ. καπνοδόχος διυλιστηρίου
2. τους στεγανοποιητές σχεδιασμένους να χειρίζονται εισερχόμενα ρεύματα ατμού που περιέχουν μίγμα αερίων καύσης και αέρα (ή οξυγόνο).
3. τους στεγανοποιητές σχεδιασμένους να χειρίζονται οξείδιο του αιθυλενίου ή ασετυλίνη.

Παράγοντες σχεδιασμού

Μιας και εξηγήθηκε ο ρόλος των υγρών στεγανοποιητών, ο σχεδιαστής πρέπει να παράγει το σχέδιο του κατάλληλου κατά περίπτωση υγρού στεγανοποιητή. Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν το σχεδιασμό, μερικοί από αυτούς είναι:

- προσανατολισμός δοχείου στεγανοποίησης (οριζόντιο ή κάθετο)
- διάμετρος δοχείου στεγανοποίησης
- διαμόρφωση της στεγανοποίησης (άκρο και κεφαλή)
- διάστημα πάνω από το επίπεδο του υγρού
- τύπος και μέγεθος εξόδου
- επιλογή ρευστού στεγανοποίησης.

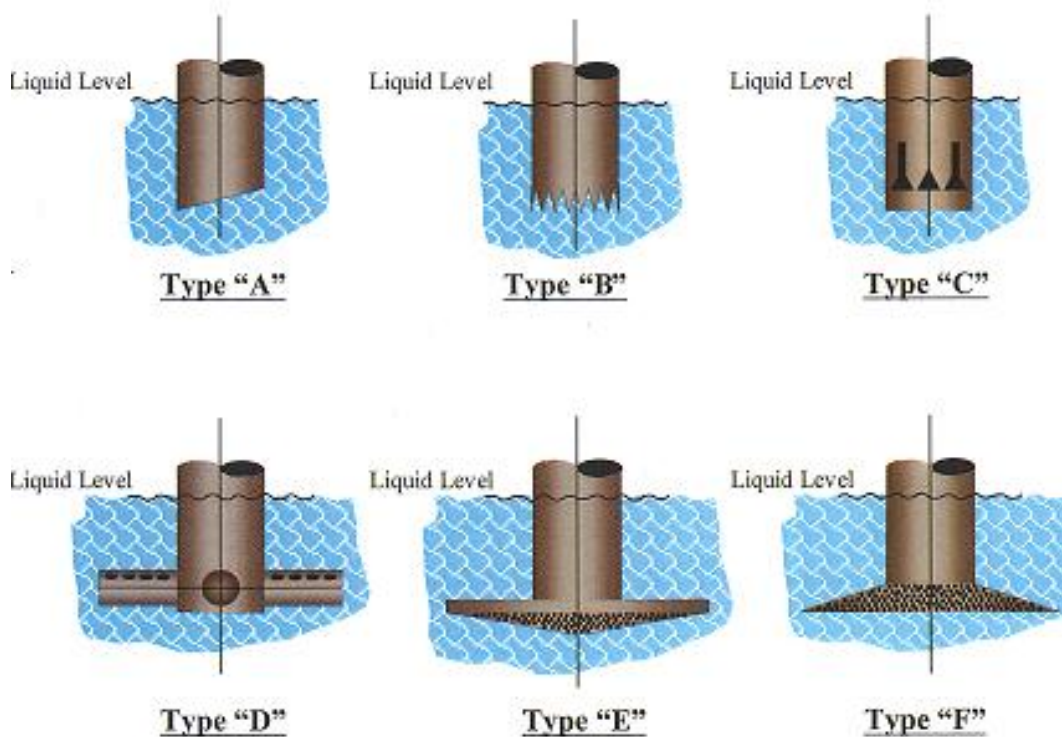
Οι υγροί στεγανοποιητές προκαλούν παλμικές ροές στις καπνοδόχους. Η παλμική ροή κάνει τον έλεγχο του καπνού δύσκολο και δημιουργεί διακυμαινόμενο θόρυβο και πηγή λάμψης που γίνεται ενοχλητικός για τους γείτονες. Η εικόνα 45 δείχνει το αποτέλεσμα του «σινιάλου καπνού» που μπορεί να συμβεί σε ειδικές περιπτώσεις τέτοιων μορφών ροής. Η βασική αιτία παλμικής ροής είναι η δύο κατευθύνσεων ροή που συμβαίνει όταν το εκτοπιζόμενο υγρό στο δοχείο μετακινείται για να αντικαταστήσει τις απελευθερωμένες φουσκάλες στην έξοδο του αερίου της κεφαλής στεγανοποίησης ή του σωλήνα εισόδου.

Προσεκτικά σχεδιασμένα εσωτερικά σημεία της συσκευής μπορούν να μειώσουν τέτοιους παλμούς με τον έλεγχο της δι-κατευθυντικής ροής αερίου και μετακίνηση του υγρού. Πολλοί σχεδιασμοί φαίνονται στην εικόνα 46.

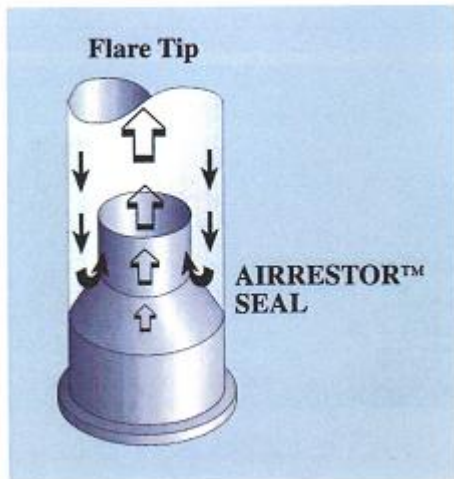
Τα δύο ρευστά που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι νερό και μίξη γλυκόλης/νερού. Όποτε είναι δυνατό, το νερό προτιμάται. Η χρήση υγρών υδρογονανθράκων δεν ενθαρρύνεται καθόλου.



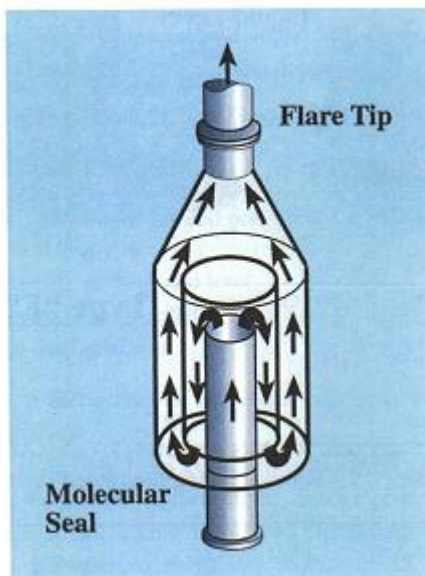
Εικόνα 45: Σινιάλα καπνού από απότομη εκροή με υγρό στεγανοποιητή.



Εικόνα 46: Ποικίλοι τύποι κεφαλών υγρών στεγανοποιητών.



Εικόνα 47: Συλλέκτης τύπου ταχύτητας στεγανοποιητής



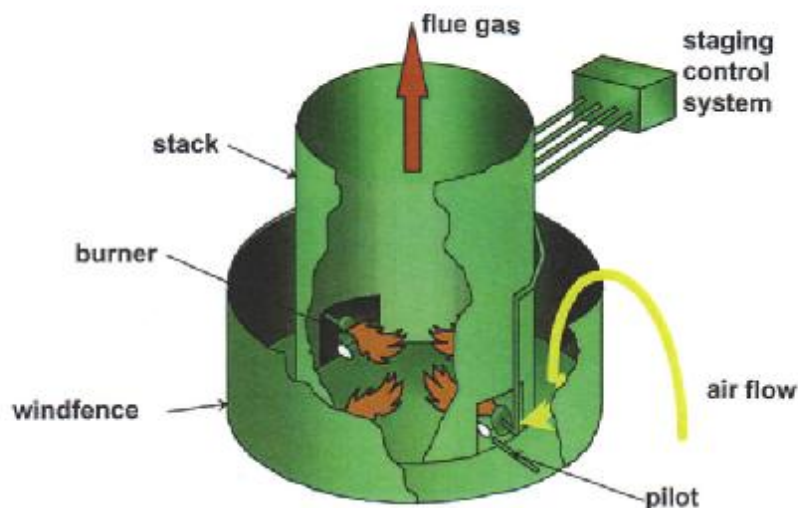
Εικόνα 48: Μοριακός τύπου πυκνότητας στεγανοποιητής.

Εσωτερικοί (εσωκλειόμενοι) καπνοδόχοι

Στα αρχικά στάδια δημιουργίας αυτών των καπνοδόχων τα λάθη στο σχεδιασμό τους δημιούργησαν πολλά προβλήματα κατά τη λειτουργία τους όπως π.χ. η δημιουργία υπερβολικών ποσοτήτων καπνού που είχε σαν αποτέλεσμα να κλείσουν για λόγους ασφαλείας δρόμοι στη περιοχή αλλά και ο θόρυβος ήταν πολύ δυνατός που έσπασε τζάμια σε αρκετή απόσταση από την εγκατάσταση των καπνοδόχων.

Αλλαγές στο σχεδιασμό των εσωκλειόμενων καπνοδόχων έγιναν γύρω στο 1970 όπου τα παραπάνω προβλήματα μειώθηκαν και μέχρι και σήμερα έχει υπάρξει πολλή μεγάλη βελτίωση αφού υπάρχουν αρκετά διαφορετικές μορφές για κάθε εγκατάσταση που θα χρειαστεί να εγκατασταθεί.

Οι εσωτερικοί καπνοδόχοι εδάφους χρησιμοποιούν έναν θάλαμο καύσης διάθλασης που περιέχει όλη τη φλόγα, και την κάνει αόρατη στις γειτονικές περιοχές. Ένα τέτοιο διάγραμμα καπνοδόχου φαίνεται στην εικόνα 49. Ο θάλαμος καύσης είναι γενικά κυλινδρικός αλλά μπορεί να είναι ορθογώνιος, εξάγωνος ή άλλων σχημάτων που έχει διαμορφωθεί από επίπεδα πάνελ υλικού. Οι κυλινδρικής μορφής είναι συνήθως οι πιο χρησιμοποιούμενοι. Επίπεδα πάνελ χρησιμοποιούνται σε κάποιες περιπτώσεις για να μειωθεί το κόστος μεταφοράς ή για τη βελτιστοποίηση της συναρμολόγησης στο χώρο της εγκατάστασης.



Εικόνα 49: Παράσταση καπνοδόχου θερμικής οξειδωσης.

Αέρας απαιτείται για την καύση και οι αυξανόμενες θερμοκρασίες στο θάλαμο καύσης μειώνουν την πυκνότητα των αερίων μέσα στην καπνοδόχο και παράγουν ρεύμα αερίων. Αυτό το ρεύμα είναι η κινητήριος δύναμη που οδηγεί τα προϊόντα της καύσης έξω στο πάνω μέρος της δέσμης καμινάδων και οδηγεί αέρα μέσα από τα ανοίγματα του καυστήρα. Βελτιστοποιώντας τη χρήση της απαραίτητης ενέργειας είναι ένα σημαντικό μέρος του σωστού σχεδιασμού για τις καπνοδόχους αυτές.

Οι περισσότερες τέτοιες καπνοδόχοι είναι σχεδιασμένες να χειρίζονται πολύ περισσότερο από τον στοιχειομετρικό αέρα που απαιτείται. Ο επιπλέον αέρας

χρησιμοποιείται για να μειώσει τη θερμοκρασία της φλόγας. Αυτό μειώνει το απαιτούμενο επίπεδο θερμοκρασίας για τη γραμμή (επένδυση) διάθλασης, κάτι που είναι σημαντικό μέρος του συνολικού κόστους του συστήματος. Αν και η θερμοκρασία του αερίου στη καπνοδόχο μπορεί να είναι 900° C ή λιγότερο, η επένδυση διάθλασης κυρίως στο κάτω μέρος της δέσμης καμινάδας, πρέπει να επιλεγεί για υψηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας επειδή οι τοπικές θερμοκρασίες μπορεί να είναι υψηλότερες από ότι η τελική θερμοκρασία του αερίου της καμινάδας.

Εάν χρησιμοποιείται μια τέτοια καμινάδα θερμικής οξειδωσης σαν πρώτο στάδιο του συστήματος καμινάδας, υπάρχει η πιθανότητα να παρέχεται περισσότερο απορριπτόμενο αέριο από ότι έχει σχεδιαστεί να χειρίζεται συνήθως. Εάν αυτό συμβαίνει, θα οδηγήσει σε φλόγα και/ή καπνό έξω στο πάνω μέρος της δέσμης της καμινάδας. Υπάρχουν συνήθως δύο συστήματα για να προλάβουν αυτή την κατάσταση. Πρώτα, όταν η πτώση πίεσης που δημιουργείται από το αέριο μέσω του συστήματος της καμινάδας θερμικής οξειδωσης περάσει το σημείο αναφοράς, τότε επιπλέον αέριο αυτόματα ρέει στην ανυψωμένη καπνοδόχο. Δεύτερο, οι περισσότερες τέτοιες καμινάδες είναι εξοπλισμένες με θερμοζεύγη για να εποπτεύουν τη θερμοκρασία της δέσμης καμινάδων. Όταν η εξωτερική θερμοκρασία της δέσμης ξεπεράσει το επίπεδο σχεδιασμού, ένας διακόπτης θερμοκρασίας ενεργοποιεί ένα αυτόματο σταμάτημα είτε μερικά είτε συνολικά του συστήματος της καμινάδας θερμικής οξειδωσης. Η ροή του αερίου στέλνεται σε άλλα μέρη του συστήματος της καμινάδας της εγκατάστασης μέχρι η αιτία της κατάστασης αυτής να βρεθεί και να διορθωθεί.

Τέτοιες εγκαταστάσεις καμινάδων έχουν συνήθως σχεδιαστεί για δυνατότητες που κυμαίνονται από 45kg/hr σε περισσότερο από 100 μετρικούς tons/hr. Οι θάλαμοι καύσης κυμαίνονται από 1m μέχρι 15m σε πλάτος και περισσότερο από 30m σε ύψος.

Για μεγιστοποίηση του οφέλους του διαθέσιμου όγκου καύσης, αυτές οι καπνοδόχοι είναι εξοπλισμένες συνήθως με συστήματα καυστήρα πολλαπλών σημείων.

Εάν σε αυτά τα συστήματα καπνοδόχων χρησιμοποιηθούν καυστήρες με υποβοήθηση ατμού, οι αποδόσεις του ατμού είναι υψηλότερες από ότι των ανοικτών στον αέρα καπνοδόχων, θα οδηγήσει σε μικρότερη καθημερινή κατανάλωση ατμού.

Σε μικρές μονάδες, ρυθμίζοντας τα ανοίγματα του αέρα, τροφοδοτείται αέρας μέσα στο θάλαμο καύσης κάτι το οποίο θα ελέγχει τη θερμοκρασία στο θάλαμο καύσης. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας είναι κοινό χαρακτηριστικό σε καμινάδες ανοικτών

εγκαταστάσεων, καμινάδες εγκαταστάσεων βιοαερίου και καυστήρων εξάτμισης σε τερματικούς σταθμούς φόρτωσης πετρελαίου. Σωστός έλεγχος της θερμοκρασίας ελαχιστοποιεί τις εκπομπές από αυτές τις μονάδες, που σε μερικές περιπτώσεις λειτουργούν συνεχώς.

Ο ανεμοφράκτης χρησιμοποιείται για να διευθύνει τη ροή του αέρα μέσα στο θάλαμο καύσης μπορεί να σχεδιαστεί να σβήνει την καύση και το θόρυβο του παραγόμενου ατμού από τους καυστήρες. Επίσης η επένδυση διάθλασης του θαλάμου καύσης πρέπει να απορροφά επίσης υψηλόσυχο θόρυβο και να μπλοκάρει τη μεταφορά του θορύβου από τις φλόγες στην καμινάδα.

Με την παροχή καθαρής, ήσυχης και αόρατης απορροής αερίων καθημερινά μέσω της χρήσης ενός σωστά σχεδιασμένου συστήματος θερμικής οξειδωσης καμινάδας, θα υπάρχει αρμονία στη λειτουργία της μονάδας με τις περιβάλλουσες περιοχές.

Δομές υποστήριξης της καπνοδόχου

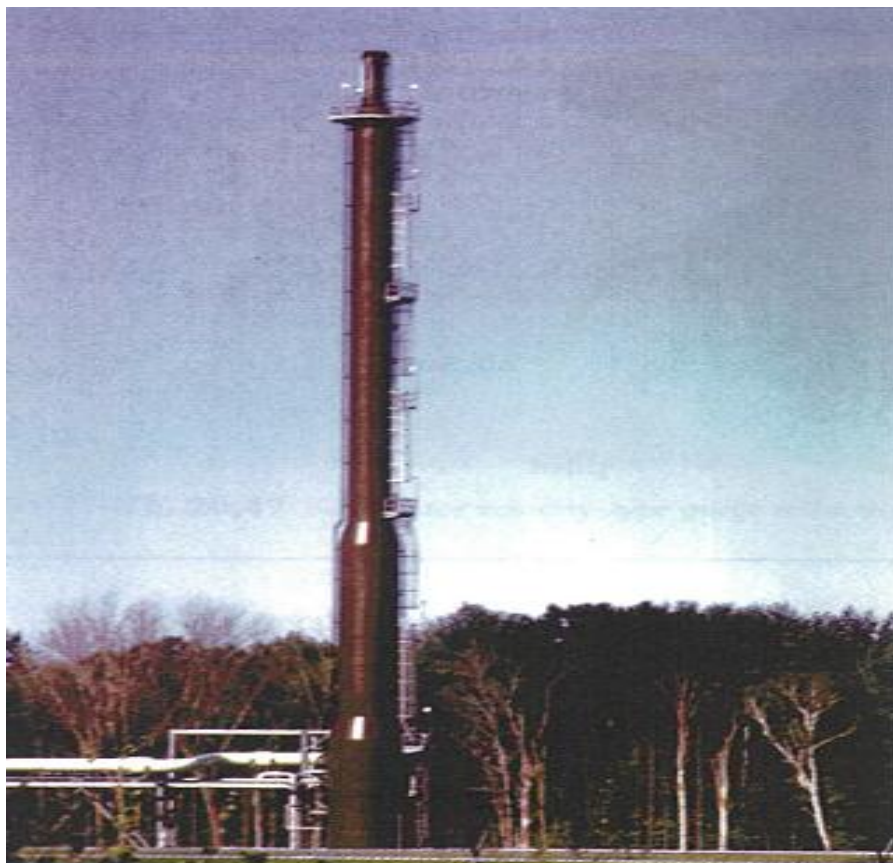
Εφόσον το ύψος είναι καθορισμένο βάσει κανονισμών αλλά και της άδειας για λειτουργία που έχει ληφθεί, ο σχεδιασμός πρέπει να εστιάσει στην επιλογή του τύπου της δομής υποστήριξης της καπνοδόχου που θα χρησιμοποιηθεί.

Υπάρχουν τρεις βασικές μορφές τέτοιων συστημάτων και μια μεταβλητή που μπορεί να είναι πολύ χρήσιμη σε δεδομένες συνθήκες λειτουργίας.

Αυτά τα συστήματα είναι τα ακόλουθα:

- αυτό-υποστηριζόμενα
- υποστήριξη με στηρίγματα στύλου μέσω συρμάτων καλωδίων
- υποστηριζόμενα με μπίγα
- υποστηριζόμενα μέσω μπίγας με πρόβλεψη χαμηλώματος του ανυψωτή και του καυστήρα της καπνοδόχου.

Το πρώτο σύστημα (εικόνα 50) απαιτεί το μικρότερο διαθέσιμο χώρο εδάφους και μπορεί εύκολα να διευκολύνει εγκαταστάσεις υγρής στεγανοποίησης ή τυμπάνου εκκένωσης ή και τα δύο στη βάση του. Μεταβάλλοντας τη διάμετρο και το πάχος της δομής σε ποικίλα ύψη απορροφώνται τα φορτία του ανέμου. Πιθανοί κραδασμοί χωρίς απόσβεση αποφεύγονται μεταβάλλοντας το μήκος και τη διάμετρο μερών της δομής. Γενικά, αυτές οι δομές είναι οικονομικές σε ύψη πάνω από 75m.



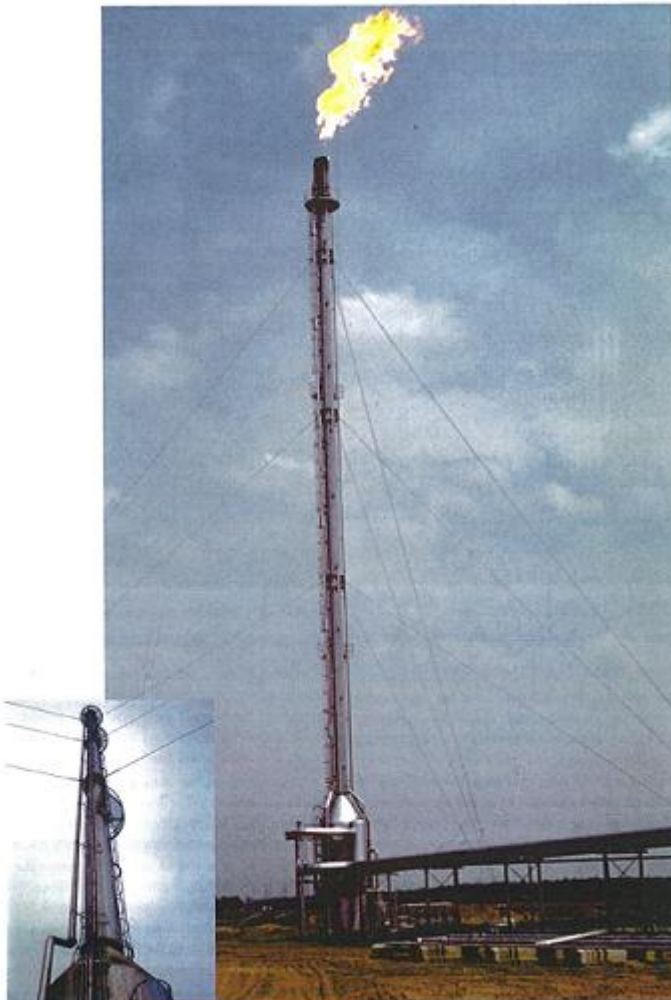
Εικόνα 50: Αυτο-υποστηριζόμενη καπνοδόχος.

Πιθανώς το πιο κοινό σύστημα είναι το δεύτερο που φαίνεται στην εικόνα 51. Συνήθως υπάρχουν τρία σέτ από συρμάτινα καλώδια που είναι σε απόσταση 120° το καθένα. Ο αριθμός των καλωδίων που ρυθμίζεται κάθετα σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία εξαρτάται από το ύψος της δομής, τα φορτία του ανέμου και τη διάμετρο του ανυψωτή. Αυτά τα συστήματα απαιτούν το μεγαλύτερο χώρο εδάφους και τα συνολικά ύψη μπορεί να είναι και πάνω από 200m.

Όταν η περιοχή εδάφους είναι ακριβή ή η διαθεσιμότητά της μειωμένη μια δομή με μπίγα μπορεί να χρησιμοποιηθεί (εικόνα 52). Η μπίγα δρά σαν οδηγός για να κρατήσει τον ανυψωτή σε γραμμή. Γενικά οι κατασκευές αυτές είναι σχεδιασμένες με τρεις ή τέσσερις πλευρές και χρησιμοποιούνται για ύψη μεγαλύτερα των 200m.

Καυστήρες καπνοδόχων σε πολύ ψηλές υποστηρικτικές δομές και καπνοδόχοι τοποθετημένες σε μακρινές περιοχές είναι δύσκολο να εγκατασταθούν ή αντικατασταθούν λόγω του περιορισμένου αριθμού γερανών που θα βοηθήσουν την απαιτούμενη ανύψωση. Σε τέτοιες περιπτώσεις, συχνά μια μπίγα με δυνατότητα μονταρίσματος-ξεμονταρίσματος χρησιμοποιείται (εικόνα 53). Μια τέτοια

εγκατάσταση έχει τη δυνατότητα να υποστηρίζει και περισσότερους από έναν πλήρους μεγέθους ανυψωτές.



Εικόνα 51: Υποστήριξη μέσω συρμάτινων καλωδίων.

Με εξαίρεση την τελευταία κατηγορία κάθε υποστηρικτική δομή καυστήρα καπνοδόχου με ύψος πάνω από 15m χρειάζεται μια πλατφόρμα 360° κατά τη διάρκεια των επιδιορθώσεων και των ελέγχων. Αυτή η πλατφόρμα συνήθως τοποθετείται μόλις από κάτω από τη πατούρα (φλάντζα) εγκατάστασης της καπνοδόχου. Η δομή επίσης θα παρέχει υποστήριξη σε σκάλες, απαιτούμενες πλατφόρμες εργασίας και εγκαταστάσεις σωληνώσεων. Μερικές κατασκευές καπνοδόχων, εξαιτίας του ύψους τους και της θέσης τους, απαιτούν προειδοποιητικά σήματα για αεροσκάφη όπως ειδικοί χρωματισμοί και φώτα.

Μια σειρά από παράγοντες χρειάζονται για τη σωστή επιλογή της δομής: φυσικά φορτία, συνθήκες λειτουργίας, χώρος εδάφους διαθέσιμος, κόστος γής, διαθεσιμότητα γερανών και το αριθμό των ανυψωτών που θα χρειαστούν. Η

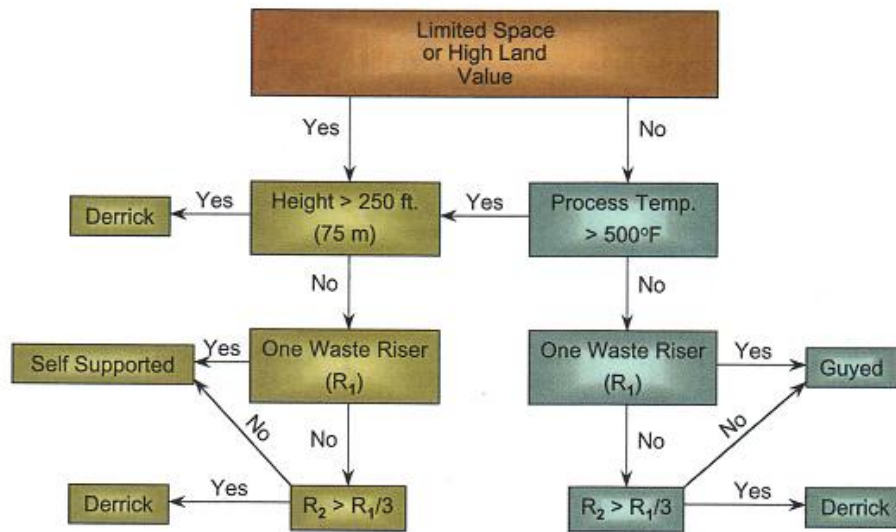
διαδικασία επιλογής μπορεί να απλοποιηθεί κάνοντας χρήση του οδηγού που φαίνεται στην εικόνα 54. Ο οδηγός κάνοντας σειρά ερωτήσεων που μπορούν να απαντηθούν με ναι ή όχι, και η απάντηση σε οδηγεί στην επόμενη ερώτηση. Ο οδηγός αυτός αναφέρεται σε περιπτώσεις στις οποίες υπάρχει ένας ανυψωτής απορριπτόμενου αερίου (R1) ή δύο ανυψωτές απορριπτόμενου αερίου (R1 και R2). Περιπτώσεις που περιέχουν περισσότερους από δύο ανυψωτές είναι υποψήφιες για χρήση υποστηρικτικής δομής μπίγας με δυνατότητα μονταρίσματος.



Εικόνα 52: Με μπίγα



Εικόνα 53: Με συναρμολόγηση



Εικόνα 54: Οδηγός επιλογής δομής υποστήριξης καπνοδόχου.

Έλεγχος καμινάδας

Τα συστήματα καπνοδόχου είναι συχνά συνδεδεμένα με κεφαλές καπνοδόχων που συλλέγουν αέρια που εκρέουν από βαλβίδες ανακουφίσεως και άλλες πηγές. Μια καπνοδόχος καλείται να λειτουργεί σωστά κατά τη διάρκεια βλαβών και έκτακτων συνθηκών που έχουν επίπτωση στα συστήματα ελέγχου σε όλη την εγκατάσταση περιλαμβάνοντας αποτυχία ισχύος και αποτυχία οργάνων αέρα.

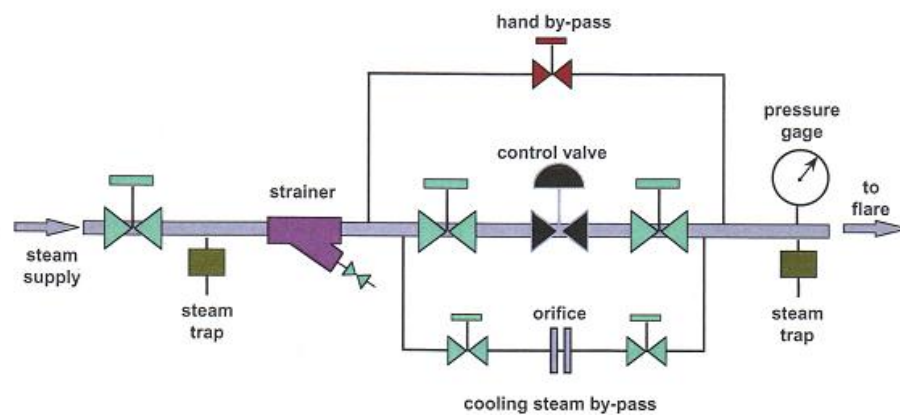
Επομένως, έλεγχος στα συστήματα καπνοδόχων πρέπει να γίνεται με διακριτικότητα έτσι ώστε να διασφαλίζεται ότι θα συνεχίζουν να λειτουργούν με ασφάλεια ακόμα και αν ο έλεγχος αποτύχει. Ο έλεγχος των καπνοδόχων μπορεί να βοηθήσει παρέχοντας αποτελεσματική απόδοση άκαπνης καύσης, λειτουργία με χαμηλό θόρυβο και άλλα χαρακτηριστικά κατά τη διάρκεια μιας συνηθισμένης καθημερινής λειτουργίας.

Πολλά από αυτά τα συστήματα που χρησιμοποιούνται σχετίζονται με τους πιλότους, εκκινητές και εποπτεία πιλότων.

Εδώ θα αναλυθούν συνοπτικά ο έλεγχος του ατμού, οι βαθμίδες του καυστήρες, ο έλεγχος του επιπέδου και ο έλεγχος της εκπλύσεως.

Α) Τυπική βαλβίδα ελέγχου ατμού

Αξιόπιστος έλεγχος του ατμού είναι ένα σημαντικό μέρος της στρατηγικής καταστολής του καπνού για υποβοηθούμενες με ατμό καπνοδόχους. Το απλούστερο σύστημα ελέγχου ατμού αποτελείται από μια χειροκίνητη βαλβίδα που μπορεί ένας χειριστής να χρησιμοποιεί για να ρυθμίζει την ροή ατμού στο άκρο της καπνοδόχου. Πολλές εγκαταστάσεις δεν δεσμεύουν χειριστή για να κάνει αυτή την εργασία αλλά οι βαλβίδες αυτές είναι εξοπλισμένες με συσκευές ελέγχου εξ αποστάσεως που επιτρέπει σε ένα χειριστή στο δωμάτιο ελέγχου να ρυθμίζει τη ροή ατμού ενώ πραγματοποιεί και άλλα καθήκοντα. Η εικόνα 55 δείχνει ένα τέτοιο σύστημα.

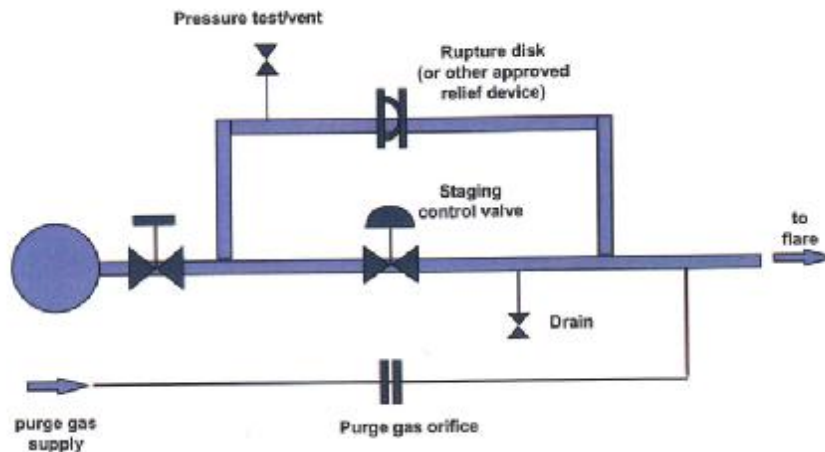


Εικόνα 55: Σταθμός βαλβίδας ελέγχου ατμού.

Μια τέτοια βαλβίδα μπορεί να λειτουργεί συνεχώς για μεγάλες χρονικές περιόδους και σαν αποτέλεσμα χρειάζεται επισκευή όταν πάψει να λειτουργεί σωστά λόγω χρήσης. Επειδή η εγκατάσταση δεν μπορεί να σταματήσει για να αλλαχτεί μια ή περισσότερες τέτοιες βαλβίδες συνηθίζεται η χρήση βαλβίδων μπλοκαρίσματος ανοδικά και καθοδικά της βαλβίδας ελέγχου. Και έτσι για να λειτουργεί η καπνοδόχος χωρίς καπνό κατά τη διάρκεια της επισκευής μια γραμμή παρακαμπτήριο με μια χειροκίνητη βαλβίδα εγκαθίσταται γύρω από τη βαλβίδα ελέγχου και τις βαλβίδες μπλοκαρίσματος. Ένας μετρητής πίεσης είναι επιβεβλημένο να τοποθετηθεί καθοδικά της βαλβίδας ελέγχου για να παρέχει στο χειριστή ένα εργαλείο διάγνωσης και ελέγχου και οδηγό για χειροκίνητη λειτουργία όταν χρειάζεται.

Επειδή ο χειριστής έστω και αν έχει μεγάλη εμπειρία μπορεί να κάνει λάθος εκτίμηση έστω και εάν μέσω κάμερας βλέπει στοιχεία και δεδομένα για τον ατμό που χρειάζεται, μπορεί να υπάρχουν περιπτώσεις που γίνονται αργοπορημένα ενέργειες και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα παρουσία καπνού ή/και υψηλής στάθμης θόρυβο με μεγάλη κατανάλωση ατμού.

Οπτικά συστήματα ανίχνευσης είναι διαθέσιμα για να επιτηρούν τη συνθήκη της φλόγας της καπνοδόχου και να ρυθμίζουν τη ροή ατμού συνεχώς. Αυτόματος εξοπλισμός μπορεί αποτελεσματικά να ελέγξει τη ροή ατμού έτσι ώστε να επιτευχθεί συμπαγής παρουσία φλόγας με ελάχιστη χρήση ατμού και ελάχιστο θόρυβο.



Εικόνα 56: Τυπική συνδεσμολογία βαλβίδας βαθμωτού ελέγχου.

B) Έλεγχος στάθμης

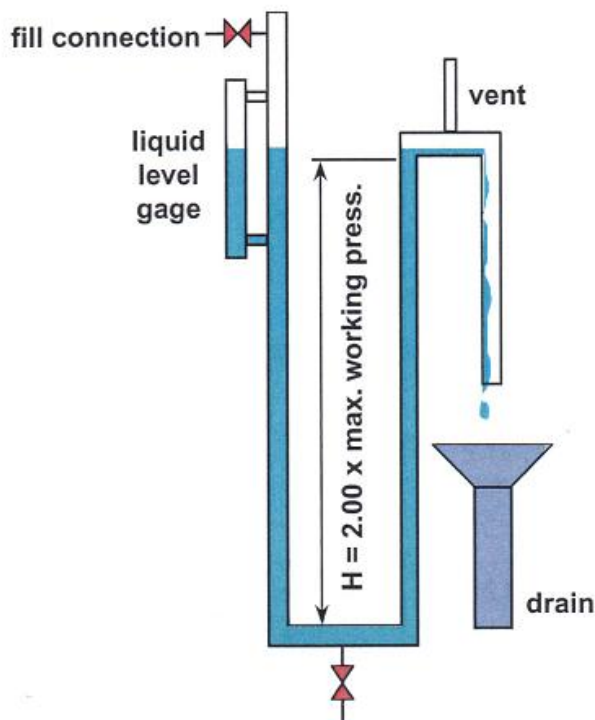
Τα συστήματα καπνοδόχων συχνά περιλαμβάνουν δοχεία σαν τύμπανα εκκενώσεως ή υγρούς στεγανοποιητές που μπορούν να περιέχουν στάθμες υγρού και πρέπει να ελέγχονται και να ρυθμίζονται για ασφαλή λειτουργία. Το επίπεδο του υγρού στα τύμπανα εκκενώσεως ρυθμίζεται για να προληφθεί ή υπερχειλίση. Σε μερικές περιπτώσεις είναι σημαντικό να προληφθεί και το πολύ χαμηλό επίπεδο στάθμης. Όταν όλο το υγρό στο τύμπανο εκκενώσεως μετακινηθεί, είναι πολύ πιθανό για τα απορριπτόμενα αέρια στη κεφαλή της καπνοδόχου να εισέλθουν στο σύστημα απορροής δημιουργώντας πιθανό εκρηκτικό μίγμα και σοβαρά προβλήματα ασφάλειας.

Ο εξοπλισμός συνίσταται από έναν ή πολλούς διακόπτες ασφαλείας ή αναμεταδότες συχνά ενωμένους με ειδικά γυαλιά για απλοποίηση των ρυθμίσεων του σημείου αναφοράς και να επιτρέπουν τον οπτικό έλεγχο και χειροκίνητη λειτουργία του συστήματος.

Οι υγροί στεγανοποιητές μπορούν να συσσωρεύουν μια ποσότητα συμπυκνωμάτων υδρογονανθράκων τα οποία είναι ελαφρύτερα από το νερό και επηρεάζουν τον έλεγχο της στάθμης και την ασφάλεια της λειτουργίας της όλης εγκατάστασης. Η

παρουσία τους μπορεί να δημιουργήσει το δυναμικό να δημιουργηθούν σταγόνες υδρογονανθράκων στο απορριπτόμενο αέριο που ρέει στο άκρο της καπνοδόχου και αυτό είναι ένα επικίνδυνο συμβάν. Για προστασία απέναντι σε αυτό τον κίνδυνο, αυτά τα συστήματα είναι συχνά εξοπλισμένα με συστήματα ξαφρίσματος υδρογονανθράκων που μετακινούν τα συμπυκνώματα από την επιφάνεια του υγρού και σε μερικές περιπτώσεις αυτόματα.

Δακτύλιοι στεγανοποίησης χρησιμοποιούνται για να προλάβουν τα αέρια να διαφύγουν από το δοχείο ενώ επιτρέπουν στα υγρά να απομακρυνθούν αυτόματα. Συστήματα ξαφρίσματος υδρογονανθράκων σε υγρούς στεγανοποιητές στις καπνοδόχους συχνά χρησιμοποιούν δακτυλίους στεγανοποίησης όπως φαίνεται στη εικόνα 57 για να παρέχουν σταθερή μετακίνηση υγρών.

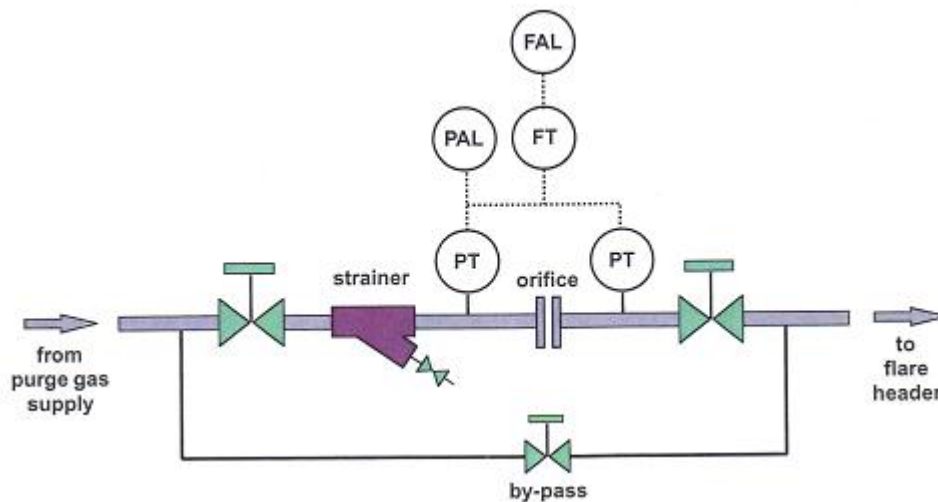


Εικόνα 57: Δακτύλιοι στεγανοποίησης.

Γ) Έλεγχος εκπλύσεως (καθαρισμός)

Η έγχυση αερίου εκπλύσεως είναι μια από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά ασφάλειας σε ένα σύστημα καπνοδόχου. Μια κοινή μέθοδος για τη ρύθμιση της ροής του αερίου εκπλύσεως είναι η χρήση μετρητικού στομίου και η παροχή αερίου με συγκεκριμένη ρυθμισμένη πίεση.

Μια τυπική τέτοια διαμόρφωση φαίνεται στην εικόνα 58. Χαρακτηριστικά ασφαλείας θα πρέπει να περιέχουν έναν αποτελεσματικό στραγγιστή για πρόληψη φραγής του μετρητικού στομίου, έναν μεταδότη ροής με συναγερμό για περίπτωση χαμηλής ροής και μια παροχή πίεσης σημαντικά αυξημένη σε σχέση με κάθε αναμενόμενη πίεση της κεφαλής της καπνοδόχου.



Εικόνα 58: Σταθμός ελέγχου εκπλύσεως.

Δ) Συλλέκτες

Ξηροί συλλέκτες όπως συλλέκτες φλόγας ή εκτόνωσης έχουν περιορισμένη εφαρμογή σε εγκατάσταση ή συστήματα καπνοδόχων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα μικρά περάσματα ενός συλλέκτη μπορούν να φραγούν οδηγώντας σε αυξημένη πίεση στη πηγή εξαερισμού. Στη χειρότερη περίπτωση η πηγή θα υπόκειται σε υπερπίεση.

Υπάρχουν μερικές περιορισμένες περιπτώσεις όπου μπορεί να είναι αποδεκτή η χρήση αυτών των συσκευών. Π.χ. μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας ξηρός συλλέκτης σε συστήματα που χειρίζονται σχετικά καθαρό ξηρό υλικό ή συστήματα που μπορούν εύκολα να διακόψουν τη λειτουργία τους για συντήρηση εάν μια υπερπίεση ανιχνευθεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: Προϊόντα καύσης καπνοδόχου

Μια βιομηχανική καπνοδόχος είναι η πιο κατάλληλη και ευρέως διαδεδομένη τεχνολογία για απορροή μεγάλων ποσοτήτων οργανικών ατμών. Έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες και έλεγχοι για τον καθορισμό της απόδοσης καύσης μιας καπνοδόχου κάτω από συνήθεις συνθήκες λειτουργίας και έχουν παρουσιαστεί στοιχεία για τον ορθό σχεδιασμό μιας καπνοδόχου.

Αποδοτικότητα αντίδρασης

Οι όροι απόδοση καύσης (combustion efficiency) και απόδοση καταστροφής (εξάλειψης) (destruction efficiency) συχνά και λανθασμένα θεωρούνται συνώνυμοι. Στην πραγματικότητα οι δύο όροι είναι διαφορετικοί. Μια καπνοδόχος μπορεί να λειτουργεί με απόδοση καύσης 98% και να επιτυγχάνει απόδοση καταστροφής πάνω από 99,5%.

Απόδοση εξάλειψης είναι μια μέτρηση πόσοι από τους αρχικούς υδρογονάνθρακες έχουν καταστραφεί, και έχουν διασπαστεί σε μορφές ενώσεων μη-υδρογονανθράκων ειδικά μονοξείδιο του άνθρακα (CO), διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και ατμό νερού (H₂O). Η απόδοση καταστροφής μπορεί να υπολογιστεί με τη χρήση της ισορροπίας άνθρακα, ως εξής:

$$\%DE = \frac{CO_2 + CO}{CO_2 + CO + UHC} \times 100 \quad (4)$$

Ο όρος %DE είναι το ποσοστό απόδοσης καταστροφής και οι υπόλοιποι όροι είναι οι συγκεντρώσεις όγκου των ενώσεων αυτών στο πλούμιο της φλόγας στο τέλος της φλόγας της καπνοδόχου. Ο όρος UHC είναι οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες (όπως μεθάνιο) και εάν δεν υπάρχουν σαν ποσό τότε η απόδοση καταστροφή είναι 100%.

Η απόδοση της καύσης είναι μια μέτρηση πόσοι από τους αρχικούς υδρογονάνθρακες κήκαν εντελώς σε διοξείδιο του άνθρακα και ατμό νερού. Χρησιμοποιώντας την προσέγγιση της ισορροπίας του άνθρακα, η απόδοση καύσης μπορεί να υπολογιστεί σαν:

$$\%CE = \frac{CO_2}{CO_2 + CO + UHC} \times 100 \quad (5)$$

Ο όρος %CE είναι το ποσοστό της απόδοσης καύσης. Εστω και αν καθόλου άκαυστοι υδρογονάνθρακες δεν διαφύγουν από τη φλόγα, η απόδοση καύσης μπορεί να είναι μικρότερη από 100% επειδή το CO παριστάνει την ατελή καύση. Έτσι από τις δύο παραπάνω εξισώσεις είναι προφανές ότι η απόδοση καύσης είναι πάντα μικρότερη ή το πολύ ίση από την απόδοση καταστροφής.

Έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές έρευνες για το σχεδιασμό των καπνοδόχων και κυρίως για τον προσδιορισμό των εκπομπών των καπνοδόχων που λειτουργούν υπό κανονικές συνθήκες και συνθήκες πραγματικές. Ποικίλα μίγματα ακατέργαστου προπυλενίου και αζώτου έχουν χρησιμοποιηθεί σαν κύριο καύσιμο με LHVs του απορριπτόμενου αερίου να κυμαίνονται από 80-2200 Btu/ft² και ρυθμοί ροής έως 3000lb/hr. Δοκιμές πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας καπνοδόχους με υποβοήθηση ατμού, υποβοήθηση αέρα και χωρίς υποβοήθηση. Αυτές οι δοκιμές έδειξαν σαν συμπέρασμα ότι οι καπνοδόχοι που λειτουργούν με κανονική και σταθερή φλόγα επιτυγχάνουν αποδόσεις καύσης μεγαλύτερες ή ίσες από άλλες διαθέσιμες τεχνολογίες ελέγχου των αερολυμάτων.

Ο αμερικάνικος οργανισμός περιβάλλοντος που οι περισσότερες χώρες ακολουθούν τις προσεγγίσεις του, δέχεται ότι μια καπνοδόχος μπορεί να πετύχει απόδοση καύσης 98% ή μεγαλύτερη εάν η ταχύτητα εξόδου του ρεύματος του οργανικού ρύπου στο άκρο της καπνοδόχου είναι μέσα στα ακόλουθα προτεινόμενα όρια:

- Μη-υποβοηθούμενες και υποβοηθούμενες με ατμό καπνοδόχοι:

1) Εάν $200\text{Btu/ft}^2 < \text{LHV} < 300\text{Btu/ft}^2$

$$V_{\max} (ft / s) = 60 \times \left(\frac{T(^{\circ}F) + 460}{520} \right) \quad (6)$$

2) Εάν $300\text{Btu/ft}^2 < \text{LHV} < 1000 \text{ Btu/ft}^2$

$$V_{\max} (ft / s) = \text{anti log}_{10} \times \left(\frac{\text{LHV} + 1209.6}{849.1} \right) \times \left(\frac{T(^{\circ}F) + 460}{520} \right) \quad (7)$$

3) Εάν $LHV > 1000 \text{ Btu/ft}^2$

$$V_{\max} (ft/s) = 400 \times \left(\frac{T(^{\circ}F) + 460}{520} \right) \quad (8)$$

- Υποβοηθούμενη με αέρα καπνοδόχος:

$$V_{\max} (ft/s) = \left(\frac{LHV + 329.5}{11.53} \right) \times \left(\frac{T(^{\circ}F) + 460}{520} \right) \quad (9)$$

Εμπλουτισμός Υδρογόνου

Επειδή το υδρογόνο έχει χαμηλότερη ογκομετρική τιμή LHV από τα οργανικά αέρια που συχνότερα καίγονται στις καπνοδόχους, υπάρχουν κανονισμοί για την περιεκτικότητα σε υδρογόνο του συνολικού περιεχομένου. Οι διεθνείς μελέτες δείχνουν ότι καπνοδόχοι γεμάτοι με υδρογόνο που καλύπτουν την παρακάτω οριακή τιμή μέγιστης ταχύτητας, μπορούν να έχουν απόδοση καύσης 98% και περισσότερο.

Η συνθήκη που δίνει τη μέγιστη ταχύτητα δίνεται ακολούθως:

$$V_{\max} (m/s) = (X_{H_2} - K_1) \times K_2 \times \left(\frac{T(^{\circ}C) + 273}{293} \right) \quad (10)$$

Όπου:

V_{\max} = μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα, m/s

K_1 = σταθερό, 6.0 vol% υδρογόνου

K_2 = σταθερό, 3.9(m/s)/ vol% υδρογόνου

X_{H_2} = Vol% υδρογόνου σε βάση ξηρή.

Η τελευταία σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε καπνοδόχους με διάμετρο 1m ή μεγαλύτερες, είναι μη υποβοηθούμενες και έχουν περιεκτικότητα σε υδρογόνο 8% (σε όγκο) ή περισσότερο.

Εκπομπές

Οι καπνοδόχοι πρέπει να ακολουθούν την κείμενη νομοθεσία με σκοπό τη μείωση των ρύπων στην ατμόσφαιρα και εφόσον θεωρήσουμε σαν όριο της απόδοσης καύσης το 98% ή περισσότερο, η καπνοδόχος είναι αποδεκτό να εκπέμπει UHC, CO και NO_x στους ακόλουθους ρυθμούς:

- UHC = 0.14 lb/MMBtu
- CO = 0.37 lb/MMBtu
- NO_x = 0.068 lb/MMBtu

Η νομοθεσία αλλάζει σε τακτά χρονικά διαστήματα με σκοπό την περαιτέρω ελάττωση της επίδρασης της βιομηχανικής δραστηριότητας στο περιβάλλον και στο συνολικό παγκόσμιο πρόβλημα της υπερθέρμανσης και του φαινομένου του θερμοκηπίου.

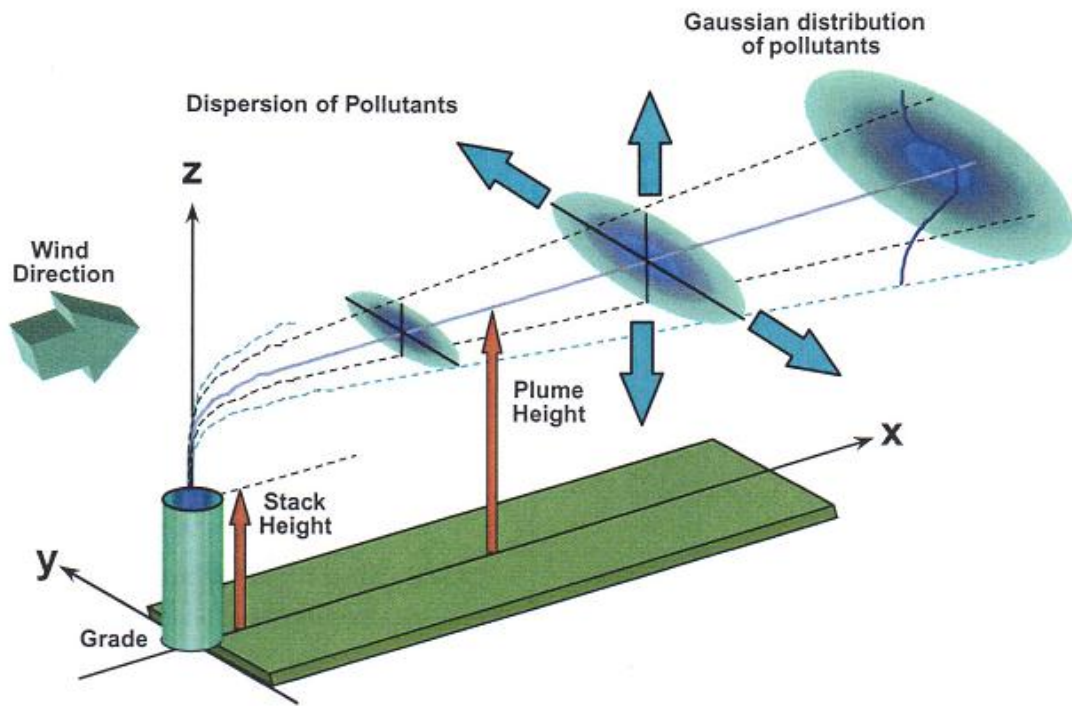
Διασπορά

Εάν μια καπνοδόχος αποτύχει να καταστρέψει σωστά τοξικούς, διαβρωτικούς ή αναφλέξιμους ατμούς, ίσως να προκαλέσει σοβαρό κίνδυνο στην υγεία στο προσωπικό και στη κοινότητα που ίσως να γειτνιάζει με αυτήν την απελευθέρωση των ρύπων. Είναι σημαντικό για τους υπευθύνους της εγκατάστασης να έχουν πραγματοποιήσει μια ανάλυση διασποράς για την λειτουργούσα καπνοδόχο.

Μια ανάλυση διασποράς είναι μια στατιστική μέθοδος που χρησιμοποιείται για να εκτιμήσει τη συγκέντρωση του αερίου που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα ή διαφεύγει από μια φλόγα καπνοδόχου. Μοντέλα διασποράς χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην βιομηχανία και έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για να εκτιμήσουν το μέγεθος και το ύψος των καπνοδόχων, να εκτιμήσουν τα χειρότερα πιθανά σενάρια από εκπομπές ανάγκης και να προσδιορίσουν πιθανά προβλήματα οσμών.

Η μαθηματική μοντελοποίηση άρχισε λίγο μετά το 1930, και τα μοντέλα ήταν αρκετά απλοποιημένα. Σήμερα, λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης των Η/Υ, αυτά τα μοντέλα έχουν γίνει πιο περίπλοκα και ικανά να συλλάβουν πολύ περισσότερη πληροφορία για το πρόβλημα της διασποράς.

Όταν ένας ρύπος εκπέμπεται από μια καπνοδόχο, διασπείρεται καθώς μετακινείται μαζί με την ατμοσφαιρική τύρβη και σε μικρότερο μέγεθος με μοριακή διάχυση όπως φαίνεται στην εικόνα 59.



Εικόνα 59: Γεωμετρία για τους υπολογισμούς της διασποράς.

Η συγκέντρωση στο επίπεδο του εδάφους ενός ρύπου εξαρτάται του πόσο γρήγορα ο ρύπος απλώνεται κάθετα στην κατεύθυνση του ανέμου και στο ύψος του πλουμίου πάνω από το έδαφος.

Ο ρυθμός που ο ρύπος διασπείρεται εξαρτάται από παράγοντες όπως η ταχύτητα του ανέμου, χρόνος της ημέρας, νέφωση και είδος του εδάφους.

Το μοντέλο διασποράς Gauss ήταν ένα από τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν για να εκτιμήσουν την συγκέντρωση στο επίπεδο του εδάφους ενός ρύπου και είναι το παρακάτω:

$$C = \left(\frac{Q}{U s_z s_y p} \right) \exp \left[\frac{-H^2}{2s_z^2} \right] \exp \left(\frac{-y^2}{2s_y^2} \right) \quad (11)$$

Όπου:

C = πρόβλεψη συγκέντρωσης ρύπου στο επίπεδο του εδάφους, g/m^3

Q = ρυθμός εκπομπής από τη πηγή, g/s

U = οριζόντια ταχύτητα του ανέμου στο ύψος της κεντρικής γραμμής του πλουμίου, m/s

σ_y, σ_z = Μέσες παρεκκλίσεις των κατανομών συγκέντρωσης στην σύμφωνα με τον άνεμο και κάθετες διευθύνσεις αντίστοιχα, m

y = διανυθείσα απόσταση μέσω του ανέμου, m .

Αυτό το μοντέλο διασποράς μπορεί να χρησιμοποιηθεί υποθέτοντας ένα συνεχές ανωστικό πλούμιο, πηγή μονού σημείου και επίπεδο έδαφος. Η ακρίβεια του μοντέλου εξαρτάται από το πόσο καλά μπορεί να εκτιμηθεί το ύψος του πλουμίου H σε κάθε δοσμένη απόσταση και οι συντελεστές σ_y, σ_z .

Υπάρχουν πολλές επιλογές μοντέλων διασποράς πια διαθέσιμες στη διεθνή βιβλιογραφία, πολλές εξειδικευμένες λόγω των πολλαπλών απαιτήσεων από τις εταιρίες που χρησιμοποιούν καπνοδόχους για την καταστροφή των ρυπογόνων ουσιών και των αερολυμάτων από τις βιομηχανικές λειτουργίες τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. R.E. Schwartz, S.G. Kang, Effective design of emergency flaring systems, Hydrocarbon Engineering, 2008.
2. S.H. Kwon et al, Improve flare management, Hydrocarbon processing, 2007.
3. API RP-521, 4TH ed, American Petroleum Institute, Washington DC, 1997.
4. J.S. Zink, R.D. Reed and R.E. Schwartz, Temperature-Pressure Activated Purge Gas Flow System for flares, 2009.
5. R.D. Reed, R.K. Noble and R.E. Schwartz, Air Powered Smokeless Flare, 2008.
6. R.D. Reed, Furnace Operations, 4th Edition, Gulf Publishing, 2001
7. W.R. Bussman, D. Knott, Unique concept for noise and radiation reduction in high-pressure flaring, Offshore Technology Conference, Houston, TX, 2000.
8. R.E. Schwartz, L.D. Berg and W. Bussman, Flame Detection Apparatus and Methods, 2008.
9. Chemical Manufacturers Association, A report on Flare efficiency, 2009.
10. N.I. Sax, R.J. Lewis Sr., Dangerous Properties of Industrial Materials, 9th edition, 2007.
11. N. Συρίμπεης, Σημειώσεις σε εστίες και κλιβάνους βιομηχανιών, Τμ. Μηχ/γων Μηχανικών Παν. Πατρών.
12. E. Μαραζιώτης, Σημειώσεις σε ατμοσφαιρική ρύπανση, Τμ. Μηχ/γων Μηχανικών Παν. Πατρών.
13. Π. Κούτμος, Σημειώσεις σε καύση, Τμ. Μηχ/γων Μηχανικών Παν. Πατρών.
14. M. Miller, R. Liles, Air modeling, Environmental Protection, 2005.
15. M. Beychok, Error propagation in stack gas dispersion models, The National Environmental Journal, 2006.
16. B. Turner, Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates, 2007.
17. C. Seigneur, understanding the basics of air quality modeling, Chemical Engineering Progress, 2002.