

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**“Έρευνα και παραμετρική ανάλυση στοιχείων
πυρκαγιάς μετά από ατύχημα”**

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ: 1) ΛΕΒΕΝΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
2) ΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ: 1) ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΜΑΥΡΙΔΗΣ
2) ΙΩΑΝΝΗΣ Σ. ΓΙΑΝΝΑΚΗΣ

ΠΑΤΡΑ- ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας κατά το έτος 2011 και αναφέρεται στην ανάλυση στοιχείων μετά από πρόκληση φωτιάς σε οικήματα και αυτοκίνητα για να διερευνηθούν οι αιτίες από έναν εξειδικευμένο μηχανικό.

Το θέμα είναι αρκετά ενδιαφέρον και δουλέψαμε σε αυτό λόγω του ενδιαφέροντος μας μετά την αποφοίτηση να ασχοληθούμε με τον τομέα των πραγματογνωμοσυιών.

Στην αρχή μελετάται η αναγκαιότητα χρήσης επιστημονικών μεθόδων για την ανάλυση πυρκαγιών και εκρήξεων. Στην συνέχεια σε διαφορετικά κεφάλαια μελετώνται στοιχεία χημείας της καύσης, στοιχεία ανίχνευσης διαρροών, μελέτη στοιχείων για την εύρεση του σημείου έναρξης της φωτιάς, στοιχεία σχετικά με τις εκρήξεις αερίων, και τέλος διερεύνηση στοιχείων σε φωτιά σε αυτοκίνητα.

Ευχαριστούμε θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή κ. Ιωάννη Γιαννάκη, Συνεργάτη του τμήματος Μηχανολογίας καθώς και τον Καθ. Κων/νο Μαυρίδη, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολογίας, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφεραν για την πραγματοποίηση της πτυχιακής εργασίας.

ΛΕΒΕΝΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ- ΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αναφέρεται στην Έρευνα και παραμετρική ανάλυση στοιχείων πυρκαγιάς μετά από ατύχημα και εξετάζονται διάφορα στοιχεία αυτού του αντικειμένου.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε επτά Κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στο αντικείμενο των πραγματογνωμοσυιών και των στοιχείων που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για τη διερεύνηση στοιχείων στο χώρο της μελέτης. Στο δεύτερο Κεφάλαιο αναλύονται στοιχεία της χημείας καύσης και των νόμων που τη διέπουν έτσι ώστε ο εξειδικευμένος μηχανικός να κάνει χρήση για την ορθότερη αντιμετώπιση των επιδράσεων της φωτιάς και της επιστημονικότερης εύρεσης των αιτιών της.

Στο τρίτο Κεφάλαιο αναπτύσσεται η μεθοδολογία ανίχνευσης διαρροών και οσμών που θα μας οδηγήσουν σε πρόληψη ατυχημάτων αλλά και εύρεση των αιτιών τους.

Στο τέταρτο Κεφάλαιο μελετάται ο καθορισμός του σημείου έναρξης της φωτιάς μέσω μεθόδων γραφικών και αναλυτικών.

Το πέμπτο και έκτο Κεφάλαιο αναφέρεται στις εκρήξεις και στην εύρεση του σημείου ανάφλεξης μικρής Έκρηξης.

Το έβδομο κεφάλαιο ασχολείται με ανάλυση των πυρκαγιών σε αυτοκίνητα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

A. Γενικά.....	6
B. Πληροφορίες αυτόπτων μαρτύρων.....	9
Γ. Ποιος ερευνά τις πυρκαγιές και τις εκρήξεις.....	10
Δ. Ο ρόλος στο νομικό σύστημα.....	11
Ε. Εφαρμογή της επιστημονικής μεθόδου στην Μηχανική Ανάλυση των Πυρκαγιών και των Εκρήξεων.....	11

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ : ΧΗΜΕΙΑ ΚΑΥΣΗΣ

A. Γενικά.....	14
B. Περιορισμοί του Νόμου Ιδανικών Αερίων.....	18
Γ. Καύση στον αέρα.....	20
Δ. Ατελής καύση.....	22
Ε. Χρωματισμός Καπνού και Πυρκαγιάς.....	23
ΣΤ. Θερμότητα Σχηματισμού.....	25
Ζ. Θερμότητα Καύσης και ο Νόμος Hess	26
Η. Καύση του Ξύλου.....	28
Θ. Αλλαγή Φάσης.....	30
ΙΚ. Θερμοχωρητικότητα, Ενθαλπία και Εσωτερική Ενέργεια.....	33
Κ. Θερμότητα καύσης.....	40
Λ. Ενέργεια ενεργοποίησης.....	41
Μ. Αδιαβατική θερμοκρασία φλογών.....	42
Ν. Περισσότερο Ατελής Καύση-Διαχωρισμός.....	47
Ξ. Αυτοαναφλέξιμη Χημική Αποικοδόμηση.....	47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ : ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΜΥΡΩΔΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΡΡΟΩΝ

A. Γενικά.....	52
B. Αναγνώριση επιπέδων μυρωδιών και οσμών.....	54
Γ. Οσμωτικά LPG.....	57
Δ. Οσμωτικά φυσικού αερίου.....	58
Ε. Δειγματοληψία LPG για οσμωτικά.....	59
ΣΤ. Ανίχνευση διαρροών.....	61
Ζ. Ταξινόμηση διαρροών.....	66

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΦΩΤΙΑΣ

A. Γενικά.....	68
B. Ταχύτητες καύσης και σχέδια "V".....	69
Γ. Ταχύτητες καύσης και ταχύτητες φλογών.....	71
Δ. Βαθμός διάδοσης Φλογών στα Υλικά.....	73
Ε. Μεταφορά Θερμότητας, Αγωγιμότητα και Μετάδοση Θερμότητας.....	75
ΣΤ. Ακτινοβολία.....	78
Ζ. Αρχική αναγνώριση του τόπου της φωτιάς.....	82
Η. Μέθοδος Κεντροειδούς.....	83
Θ. Πηγές ανάφλεξης.....	85
Ι. Η μέθοδος του κουτιού (Box method).....	86
Κ. Σταθμισμένη μέθοδος κεντροειδούς.....	87
Λ. Δείκτες Εξάπλωσης Πυρκαγιάς - Διαδοχική Ανάλυση.....	89

Μ. Συνδυασμός μεθόδων.....	91
----------------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ: ΕΚΡΗΞΕΙΣ

A. Γενικά.....	92
B. Υψηλής πίεσης εκτόνωσης αερίου.....	93
Γ. Αναφλέξεις και Πυροδοτήσεις.....	95
Δ. Μερικές βασικές παράμετροι.....	98
Ε. Μέτωπο υπερπίεσης.....	99

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ ΜΙΑΣ ΕΚΡΗΞΗΣ

A. Γενικά.....	103
B. Διάχυση και ο νόμος του Fick.....	104
Γ. Μέτωπα Φλογών και Διανύσματα Πυρκαγιάς.....	105
Δ. Διανύσματα πίεσης.....	106
Ε. Το επίκεντρο.....	107
ΣΤ. Ενεργειακές Εκτιμήσεις.....	108

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ: ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΣΕ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ

A. Γενικά.....	110
B. Εμπρησμός οχημάτων και εμπρηστικές πυρκαγιές.....	110
Γ. Σχετικές με τα καύσιμα πυρκαγιές.....	112
Δ. Άλλα είδη πυρκαγιών κάτω από το καπό.....	114
Ε. Ηλεκτρικές πυρκαγιές.....	115
ΣΤ. Μηχανικές και άλλες αιτίες.....	116

Βιβλιογραφία.....	118
-------------------	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Α. Γενικά

Αυτή η εργασία αναφέρεται στη δικανική μηχανική (forensic engineering) καθώς εφαρμόζεται για την ανάλυση των πυρκαγιών και των εκρήξεων.

Ο όρος δικανική μηχανική είναι γενικά κατανοητό ότι σημαίνει την εφαρμογή των αρχών και την μεθοδολογία της μηχανικής για να απαντήσει τα ερωτήματα σε ορισμένα γεγονότα. Συχνά, αυτά τα γεγονότα έχουν νομικές επιπτώσεις.

Όσον αφορά τις πυρκαγιές και τις εκρήξεις, τα πιο συχνά τιθέμενα ερωτήματα είναι: πού έγινε η έναρξη της πυρκαγιάς ή της έκρηξης και τι την προκάλεσε; Οι όροι για αυτές τις ερωτήσεις είναι, αντίστοιχα, ο προσδιορισμός του σημείου προέλευσης και ο προσδιορισμός της αιτίας. Μερικές φορές οι δύο έρευνες αναφέρονται από κοινού ως ο προσδιορισμός της αιτίας και της προέλευσης, που συνήθως γράφονται συντομογραφικά "C/O" ή "C&O," όπου C= cause και O= origin.

Για να καθιερώσει μια ικανή βάση για την ανάλυση, ένας δικανικός μηχανικός βασίζεται κυρίως πάνω στα πραγματικά φυσικά στοιχεία που βρέθηκαν στον τόπο και των αποδεικτικών γεγονότων σχετικών με το θέμα. Η δικανική μηχανική εφαρμόζει έπειτα τις αποδεκτές επιστημονικές μεθοδολογίες και τις αρχές για να ερμηνεύσει τα φυσικά στοιχεία και τα γεγονότα. Συχνά, η ανάλυση των φυσικών στοιχείων και γεγονότων απαιτούν την ταυτόχρονη εφαρμογή περισσότερων του ενός επιστημονικού κλάδου: όσον αφορά αυτό, η πρακτική της δικανικής εφαρμοσμένης μηχανικής είναι ιδιαίτερα διεπιστημονική.

Οι κανόνες που εφαρμόζονται πρώτιστα στην ανάλυση των πυρκαγιών και των εκρήξεων περιλαμβάνουν ανόργανη και οργανική χημεία, υλικά και μεταλλουργία, θερμοδυναμική, φυσική, μεταφορά θερμότητας, στοιχεία μηχανών, δομική μηχανική, σχέδιο συστημάτων κτιρίου, ηλεκτρική μηχανική και εργονομία. Εξοικείωση με τους κώδικες και τα πρότυπα απαιτείται επίσης. Αυτό περιλαμβάνει τους κώδικες οικοδόμησης, κώδικες μηχανικού εξοπλισμού, κώδικες πυρασφάλειας, ηλεκτρικούς κώδικες, προδιαγραφές αποθήκευσης υλικών, κώδικες και προδιαγραφές προϊόντων, μεθοδολογίες εγκατάστασης, και διάφορους κανόνες και κανονισμούς ασφάλειας.

Οπότε, όπως γίνεται αντιληπτό ένας μηχανικός κυρίως ειδικότητας Μηχανολόγου Μηχανικού έχει μεγάλη εμπλοκή στη διενέργεια έρευνας και πιστοποίησης των ευρημάτων μετά από μια καταστροφή που οφείλεται σε πυρκαγιά, στοιχεία που θα δοθούν στα ενδιαφερόμενα μέρη για περαιτέρω ενέργειες.

Στην πράξη ένας δικανικός μηχανικός κάνει τα εξής :

- αυτός/ή εκτιμά τι προϋπήρχε του γεγονότος και σε τι συνθήκες βρισκόταν.
- αυτός/ή εκτιμά τι ευρίσκεται μετά από το γεγονός, και τις συνθήκες στις οποίες βρίσκεται.
- αυτός/ή υποθέτει τους αληθοφανείς τρόπους με τους οποίους οι πριν του γεγονότος συνθήκες μπορούν να οδηγήσουν στις συνθήκες μετά του γεγονότος.
- αυτός/ή ψάχνει για τα στοιχεία που είτε διαψεύδουν είτε στηρίζουν τις υποθέσεις.
- αυτός/ή εφαρμόζει τις μηχανολογικές γνώσεις και ικανότητές του/της για να συσχετίζει διάφορα γεγονότα και στοιχεία σε ένα συνεκτικό σενάριο για το πώς το γεγονός μπορεί να είχε εμφανιστεί.

Αναφερόμενοι στην παραπάνω λίστα το τι ένας δικανικός μηχανικός κάνει είναι η εφαρμογή της λογικής: η λογική παρέχει τη διαταγή και τη συνοχή σε όλα τα διεπιστημονικά γεγονότα, τις αρχές και τις μεθοδολογίες που εμφανίζονται και αφορούν μια ιδιαίτερη περίπτωση.

Στην αρχή μιας περίπτωσης, τα διαθέσιμα γεγονότα και οι πληροφορίες είναι όπως τα κομμάτια ενός γρίφου που βρίσκονται διεσπαρμένα στο πάτωμα : ένα κομμάτι εδώ, ένα κομμάτι εκεί, και ένα ίσως που “έχει γλιστρήσει μυστηριωδώς κάτω από το ψυγείο”. Πρώτα, τα κομμάτια συλλέγονται απλά, μαζεύονται επάνω, και τοποθετούνται σε έναν σωρό στο τραπέζι. Κατόπιν, κάθε ένα κομμάτι προσαρμόζεται με άλλα κομμάτια έως ότου το καθένα κομμάτι ταιριάζει με κάποιο άλλο. Όταν διάφορα κομμάτια ταιριάζουν, ένα μέρος της εικόνας αρχίζει να προκύπτει. Τελικά, όταν εγκατασταθούν μαζί όλα τα κομμάτια, ο γρίφος λύνεται και η εικόνα είναι σαφής να την δει κάποιος.

Για αυτόν τον λόγο λέμε ότι η επιστημονική έρευνα και η ανάλυση μιας πυρκαγιάς ή μιας έκρηξης πρέπει να δομηθούν όπως μια πυραμίδα. Πρέπει να υπάρξει μια θεμελίωση από γεγονότα και στοιχεία στο κατώτατο σημείο, τα οποία υποστηρίζουν μερικά συμπεράσματα στην κορυφή. Τα συμπεράσματα πρέπει να βασιστούν αμέσως επάνω από τα γεγονότα, όχι επάνω σε άλλα συμπεράσματα ή υποθέσεις. Εάν τα γεγονότα τακτοποιούνται λογικά και συστηματικά, τα συμπεράσματα πρέπει να είναι σχεδόν ίδιου είδους. Τα συμπεράσματα που είναι βασισμένα σε άλλα συμπεράσματα ή υποθέσεις, τα οποία διαδοχικά είναι βασισμένα επάνω σε λίγα γεγονότα ή σε πολύ γενικευμένες αρχές, είναι ένα σπίτι από κάρτες. Όταν ένα σημείο αποδεικνύεται λανθασμένο, όλα καταρρίπτονται.

Παραδείγματος χάριν, θεωρήστε την ακόλουθη περίπτωση. Είναι αλήθεια ότι τα συστήματα αερίου προπτανίου είναι συνδεδεμένα με κάποιες εκρήξεις και φωτιές. Σε ένα ειδικό σπίτι που εξοπλίστηκε με ένα σύστημα προπτανίου συνέβη μια έκρηξη και διαδοχικά μια πυρκαγιά. Το επίκεντρο της έκρηξης, το σημείο της μέγιστης πίεσης της έκρηξης, βρέθηκε στο υπόγειο το οποίο περιείχε τον κλίβανο προπτανίου. Από αυτή την πληροφορία, ο ερευνητής καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η έκρηξη και η πυρκαγιά προκλήθηκαν από το σύστημα προπτανίου και ειδικότερα από τον κλίβανο.

Εντούτοις, το συμπέρασμα του ανακριτή είναι βασισμένο σε λάθος λογική. Δεν υπάρχει ικανοποιητική πληροφορία που σταθερά να καταλήγει στο συμπέρασμα ότι το σύστημα προπτανίου ήταν η αιτία της έκρηξης, παρά το γεγονός ότι τα βασικά γεγονότα και η γενικευμένη αρχή στα οποία το συμπέρασμα είναι βασισμένο είναι όλα αληθινά.

Μελετήστε πάλι τα γεγονότα και τις αρχές στο επόμενο παράδειγμα :

Αρχή: Μερικά συστήματα προπτανίου προκαλούν εκρήξεις και πυρκαγιές.

Γεγονός: Αυτό το σπίτι είχε ένα σύστημα προπτανίου.

Γεγονός: Σε αυτό το σπίτι υπήρξε μια πυρκαγιά και μια έκρηξη.

Γεγονός: Η έκρηξη ξεκίνησε από το ίδιο δωμάτιο σε ένα μέρος του εξοπλισμού που χρησιμοποιούσε προπάνιο, τον κλίβανο.

Συμπέρασμα : Η έκρηξη και πυρκαγιά προκλήθηκαν από το σύστημα προπτανίου.

Η αρχή πάνω στην οποία στηρίζεται ολόκληρο το συμπέρασμα υποστηρίζει ότι μόνο μερικά συστήματα προπτανίου προκαλούν εκρήξεις, όχι όλα όμως. Σχετικά με το θέμα του γεγονότος, η πλειοψηφία των συστημάτων προπτανίου είναι αξιόπιστη και λειτουργεί χωρίς πρόκληση έκρηξης ή πυρκαγιάς για όλη τη διάρκεια ζωής του σπιτιού. Συζητώντας από στατιστική σκοπιά, είναι πιο πιθανό ότι ένα σύστημα προπτανίου δεν θα προκαλέσει έκρηξη και πυρκαγιά.

Στο παράδειγμά μας, ο ανακριτής πράγματι δεν έχει ελέγξει ακόμη εάν αυτό το σύστημα προπτανίου λειτουργούσε σωστά ή αν ήταν αυτό που προκάλεσε την έκρηξη και την πυρκαγιά. Συνεπώς, η άμεση σύνδεση μεταξύ της γενικής προϋπόθεσης και της συγκεκριμένης περίπτωσης δεν έχει γίνει, απλά έχει υποθεθεί. Το βήμα επαλήθευσης της λογικής έχει διαγραφεί.

Φυσικά, δεν προκαλούνται όλες οι εκρήξεις και οι πυρκαγιές από τα συστήματα προπτανίου. Τα συστήματα προπτανίου δεν κατέχουν μια σημαντική θέση σε αυτήν την

κατηγορία. Υπάρχει μια ευδιάκριτη πιθανότητα ότι η έκρηξη μπορεί να είχε προκληθεί από κάτι μη σχετικό με το σύστημα προπτανίου, το οποίο είναι άγνωστο στον μηχανικό σε αυτό το σημείο. Το γεγονός ότι η έκρηξη δημιουργήθηκε στο ίδιο δωμάτιο όπου ήταν και ο κλίβανος μπορεί να είναι μόνο μια σύμπτωση.

Χρησιμοποιώντας την ίδια γενική αρχή και τα διαθέσιμα στοιχεία έπειτα, μπορεί εξίσου να βγει ως συμπέρασμα (εντούτοις επίσης ανακριβώς) ότι το σύστημα προπτανίου δεν προκάλεσε την έκρηξη. Γιατί; Επειδή είναι εξίσου αλήθεια ότι μερικά συστήματα προπτανίου δεν προκαλούν ποτέ εκρήξεις και πυρκαγιές. Εφόσον αυτό το σπίτι έχει ένα σύστημα προπτανίου, κατόπιν θα μπορούσε να συναχθεί το συμπέρασμα ότι αυτό το σύστημα προπτανίου δεν θα μπορούσε να είναι η αιτία της έκρηξης και της πυρκαγιάς.

Όπως είναι σαφές, το αδιέξοδό μας στο παράδειγμα οφείλεται στην εφαρμογή μιας γενικής αρχής για την οποία υπάρχουν ανεπαρκείς πληροφορίες για να παρέχουν ένα μοναδικό, λογικό συμπέρασμα. Το συμπέρασμα ότι το σύστημα προπτανίου προκάλεσε την έκρηξη και την πυρκαγιά είναι βασισμένο αναμφιβόλως στο συμπέρασμα ότι η θέση του επίκεντρου της έκρηξης και του κλίβανου προπτανίου δεν είναι σύμπτωση. Είναι περαιτέρω βασισμένο σε ένα άλλο συμπέρασμα ότι το σύστημα προπτανίου είναι ένα από τα συστήματα που προκαλούν εκρήξεις και πυρκαγιές, και όχι ένα από τα συστήματα που δεν προκαλούν ποτέ εκρήξεις. Εν συντομία, στο παράδειγμά μας έχουμε ένα συμπέρασμα, βασισμένο σε ένα συμπέρασμα, βασισμένο σε ένα άλλο συμπέρασμα.

Η λύση σε αυτό το δίλημμα είναι απλή: πρόσθετες πληροφορίες πρέπει να συγκεντρωθούν είτε για να επιβεβαιώσουν απaráμιλλα ότι έφταιγε το σύστημα προπτανίου, είτε για να το αποκλείσουν αυτό σαν αιτία για την έκρηξη και τη φωτιά.

Επιστρέφοντας στο παράδειγμά μας, με τις δοκιμές συμπιεσμένου αέρα στο σκηνικό διαπιστώνεται ότι οι σωληνώσεις προπτανίου που βρέθηκαν μετά την έκρηξη και την φωτιά δεν είχαν διαρροή, παρά όλα όσα υπέστησαν. Από τη στιγμή που οι σωληνώσεις προπτανίου που διαρρέουν πριν από μια έκρηξη δεν αυτό-διορθώνονται έτσι ώστε να μην διαρρέουν και μετά την έκρηξη, αυτή η δοκιμή απορρίπτει τις σωληνώσεις ως ενδεχόμενη αιτία για έκρηξη.

Με την δοκιμή του κλίβανου και των υπόλοιπων συστημάτων διαπιστώνεται ότι όλα είναι σε καλή κατάσταση. Αυτό βάζει τώρα τον εξοπλισμό προπτανίου στην κατηγορία των αυτών που δεν προκαλούν εκρήξεις και πυρκαγιές. Τώρα έχουμε επαληθεύσει ότι το συμπέρασμα που υπέθετε συσχετισμό της αιτίας και της επίδρασης μεταξύ της θέσης του επίκεντρου και της θέσης του κλίβανου προπτανίου ήταν λάθος. Ήταν μια σύμπτωση ότι η έκρηξη εμφανίστηκε στο ίδιο δωμάτιο με τον κλίβανο.

Οι περαιτέρω έλεγχοι από τον μηχανικό ακόμη δείχνουν ότι καθόλου προπάνιο δεν έλειπε από τη δεξαμενή, δεδομένου ότι κάποιος θα ανέμενε να συμβεί στην περίπτωση εάν το προπάνιο διέρρεε. Κατά συνέπεια, τώρα υπάρχει μια συσσώρευση γεγονότων που δείχνουν ότι το σύστημα προπτανίου δεν αναμειγνύεται με την έκρηξη και την πυρκαγιά.

Τέλος, ένας εξονυχιστικός έλεγχος των συντριμμιών στην περιοχή του επίκεντρου ανευρίσκει ότι μέσα στο δωμάτιο που βρισκόταν ο κλίβανος υπήρχαν διάφορα ανοικτά κουτιά διαλυτικής ουσίας χρωμάτων που ο ιδιοκτήτης είχε υποθέσει ότι θα ήταν κενά όταν θα τελείωνε κάποιο χρωμάτισμα. Με μια πιο στενή επιθεώρηση των κουτιών διαπιστώνεται ότι μερικά από αυτά διαστάθηκαν όπως αν είχαν αντέξει σε μια εσωτερική έκρηξη των ατμών τους.

Επάνω στην περαιτέρω εξέταση, ο ιδιοκτήτης θυμάται ότι τα κουτιά τοποθετήθηκαν μόνο μερικά εκατοστά από μια λάμπα βολβού υψηλής ισχύος, η οποία ανοίχτηκε αμέσως πριν την έκρηξη. Μια επιθεώρηση των ετικετών ασφάλειας διαπιστώνει ότι τα κουτιά περιείχαν τους διαλύτες που θα διαμόρφωναν τους εκρηκτικούς ατμούς στη θερμοκρασία του δωματίου ακόμα και όταν το κουτί ήταν από όλες τις πλευρές κενό. Ένας υπολογισμός δείχνει ότι η ποσότητα του παραμένουτος διαλύτη στο κουτί συνολικά θα ήταν

περισσότερη από αρκετή να παρέχει ένα σύννεφο ατμού στο δωμάτιο σε μια συγκέντρωση που υπερβαίνει το χαμηλότερο όριο των ορίων έκρηξης του διαλύτη.

Το ανωτέρω παράδειγμα επιδεικνύει την αξία της μεθόδου έρευνας "πυραμίδα". Όταν μια μεγάλη βάση γεγονότων και πληροφοριών μαζεύεται, το συμπέρασμα προτείνεται σχεδόν. Όταν μόνο μερικά γεγονότα μαζεύτηκαν για να υποστηρίξουν μια πολύ γενικευμένη προϋπόθεση, ο ειδικευμένος μηχανικός μπορεί "να οδηγήσει" το συμπέρασμα σχεδόν όπου θέλει.

B. Πληροφορίες αυτοπτών μαρτύρων

Οι αφηγήσεις αυτοπτών μαρτύρων είναι σημαντικές πηγές πληροφοριών, αλλά πρέπει να διερευνηθούν προσεκτικά και να αξιολογηθούν. Μερικές φορές οι αυτόπτες μάρτυρες διαμορφώνουν τις απόψεις τους και τα συμπεράσματά τους για αυτό που πραγματοποιήθηκε, μπορούν έπειτα να πλέξουν αυτά τα συμπεράσματα και τις απόψεις στον απολογισμό αυτών που λένε ότι παρατήρησαν. Η επιδέξια ανάκριση του αυτόπτη μάρτυρα μπορεί μερικές φορές να χωρίσει τις πραγματικές παρατηρήσεις από τις προσωπικές υποθέσεις.

Μελετήστε το ακόλουθο παράδειγμα. Ένας αυτόπτης μάρτυρας αρχικά αναφέρει ότι είδε τον "X" να φεύγει από το κτίριο αμέσως προτού ξεσπάσει η πυρκαγιά. Εντούτοις, η προσεκτική ανάκριση αποκαλύπτει ότι ο αυτόπτης μάρτυρας δεν είδε πραγματικά τον "X" να φεύγει από το κτίριο καθόλου, ο μάρτυρας είδε απλά κάποιον να οδηγεί μακριά από το κτίριο σε ένα αυτοκίνητο παρόμοιο με του X, και υπέθεσε ότι πρέπει να είναι X. Φυσικά, το πρόσωπο που οδηγούσε το αυτοκίνητο θα μπορούσε να είναι ο X, αλλά θα μπορούσε επίσης να είναι κάποιος με ένα αυτοκίνητο όπως του X, ή κάποιος που είχε δανειστεί το αυτοκίνητο του X.

Φυσικά, μερικοί αυτόπτες μάρτυρες δεν είναι αμερόληπτοι. Μπορούν να είναι συγγενείς, φίλοι, ή εχθροί των προσώπων που συμμετέχουν στο γεγονός. Μπορούν να έχουν έναν προσωπικό οικονομικό συμφέρον στην έκβαση της έρευνας. Παραδείγματος χάριν, δεν είναι ασυνήθιστο για τον εμπρηστή που βάζει την πυρκαγιά να ερωτηθεί ως αυτόπτης μάρτυρας. Ας μην ξεχνάμε τους αυτόπτες μάρτυρες που είναι ψεύτες, ψυχωτικοί, και καυχησιάρηδες. Μπορούν να ορκιστούν σε οτιδήποτε για να επιδειχθούν και να τραβήξουν την προσοχή.

Τι ένας τίμιος και ειδάλλως αμερόληπτος μάρτυρας αναφέρει ότι παρατήρησε μπορεί να είναι συνάρτηση της θέσης του, όσον αφορά το γεγονός. Οι αντιλήψεις του για το γεγονός μπορούν να χρωματιστούν από την εκπαίδευση και την μόρφωσή του, τις εμπειρίες της ζωής του, την φυσική κατάστασή του όπως όραση ή ακοή και τις κοινωνικές ή πολιτιστικές προκαταλήψεις. Για παράδειγμα ο ήχος μιας έκρηξης αερίου μπορεί ποικιλοτρόπως να αναφερθεί ως κρότος διάσπασης φράγματος ήχου, πυροβολισμός, φουρνέλο ή ανατίναξη ρουκέτας (πυραύλου). Λόγω αυτού, οι αυτόπτες μάρτυρες στο ίδιο γεγονός θα διαφωνήσουν μερικές φορές στα πιο θεμελιώδη γεγονότα.

Περαιτέρω, η υποβλητικότητα του αυτόπτη μάρτυρα για απάντηση στα ερωτήματα είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας. Εξετάστε τις ακόλουθες δύο συνομιλίες κατά τη διάρκεια "του ισχυρισμού." Αυτός είναι ένας όρος της διαδικασίας που αναφέρεται στην λήψη συνέντευξης από έναν μάρτυρα για να βρει τι γνωρίζει ο μάρτυρας για το γεγονός. Η συνέντευξη καταγράφεται συχνά σε κάποιο μέσο και αντιγράφεται αργότερα σε μια γραπτή δήλωση. Συνήθως δεν γίνεται κάτω από τον όρκο, αλλά γίνεται συχνά παρουσία των μαρτύρων. Είναι σημαντικό να "παγώσεις" τον απολογισμό ενός μάρτυρα του γεγονότος το συντομότερο δυνατόν μετά από το γεγονός. Ο χρόνος και οι ακόλουθες συνομιλίες με άλλους θα προκαλέσουν συχνά την αλλαγή του απολογισμού των μαρτύρων του γεγονότος. Παρακάτω φαίνεται ένα παράδειγμα.

Συνομιλία I

Ερευνητής: Ακούσατε μια έκρηξη αερίου χτες τη νύχτα περίπου 3 π.μ.;
Μάρτυρας: Ναι, ακριβώς. Άκουσα μια έκρηξη αερίου. Συνέβη στις 3 π.μ.

Συνομιλία II

Ερευνητής: Τι συνέβη χτες τη νύχτα;

Μάρτυρας: Κάτι δυνατό με ξύπνησε.

Ερευνητής: Τι ήταν αυτό;

Μάρτυρας: Δεν ξέρω. Ήμουν κοιμισμένος.

Ερευνητής: Τι ώρα το ακούσατε;

Μάρτυρας: Δεν ξέρω ακριβώς. Ήταν κάπου στη μέση της νύχτας. Στην συνέχεια συνέχισα τον ύπνο μου.

Στην πρώτη συνομιλία, ο ερευνητής πρότεινε τις απαντήσεις στην ερώτησή του. Δεδομένου ότι οι υπονοούμενες απαντήσεις φαίνονται λογικές και δεδομένου ότι ο μάρτυρας μπορεί να υποθέσει ότι ο ερευνητής ξέρει περισσότερα για το γεγονός από ότι ο ίδιος, ο μάρτυρας συμφωνεί με τις προτεινόμενες απαντήσεις. Στη δεύτερη συνομιλία, ο ερευνητής δεν παρείχε καμία ένδειξη για αυτό που έψαχνε, επέτρεψε στο μάρτυρα να βασιστεί στις μνήμες του και δεν πρότεινε καμία.

Γ. Ποιος ερευνά τις πυρκαγιές και τις εκρήξεις

Στην έρευνα για μια πυρκαγιά ή μια έκρηξη, διάφοροι επαγγελματίες ανακριτές μπορούν να αναμιχθούν. Τα ακόλουθα είναι ένας μικρός κατάλογος και περιγραφή των διαφόρων ειδικοτήτων :

1. Δικανικός μηχανικός (πραγματογνώμονας): Συνήθως ένας διπλωματούχος επαγγελματίας μηχανικός, ο δικανικός μηχανικός αποτιμά τις τεχνικές πτυχές μιας πυρκαγιάς ή μιας έκρηξης. Οι δικανικοί μηχανικοί απασχολούνται τυπικά από τις ιδιωτικές μελετητικές εταιρίες, και οι υπηρεσίες τους δεσμεύονται από τους ασφαλιστές, τους πληρεξούσιους δικηγόρους, τους ιδιώτες, τις επιχειρήσεις, και κάποιες φορές από κυβερνητικές υπηρεσίες αλλά και Τεχνικούς Συλλόγους. Στην Ελλάδα ένας τέτοιος μηχανικός πρέπει να είναι μέλος του ΤΕΕ και να έχει πιστοποιημένη εξειδίκευση σε κάποιον από τους τομείς της πραγματογνωμοσύνης και τουλάχιστον 10 έτη προϋπηρεσία.

2. Ανακριτής Πυρκαγιάς Πυροσβεστικής Υπηρεσίας: Αυτός είναι ένας πυροσβέστης με εξειδικευμένη εκπαίδευση και εμπειρία. Συνήθως ο ανακριτής πυρκαγιάς των πυροσβεστικών υπηρεσιών εργάζεται παράλληλα με τους κανονικούς πυροσβέστες, ειδικά κατά τη διάρκεια του ελέγχου για μικρές εστίες μετά το σβήσιμο της πυρκαγιάς, για να καθορίσει το σημείο προέλευσης της πυρκαγιάς, και εάν είναι δυνατόν, την αιτία. Στις μικρές πυροσβεστικές υπηρεσίες, ο ανακριτής πυρκαγιάς μπορεί να είναι ο προϊστάμενος, ή γενικά ένας αξιωματικός. Στις μεγάλες πυροσβεστικές υπηρεσίες, ο ανακριτής πυρκαγιάς μπορεί να έχει μια ειδική αλλά παράλληλη θέση έξω από την κανονική μονάδα προσβολής του πυρός.

3. Δικανικός Χημικός: Κατά κάποιον τρόπο ένας δικανικός χημικός είναι παρόμοιος με έναν δικανικό μηχανικό: και οι δύο κατέχουν πανεπιστημιακού επιπέδου πτυχία σε έναν επιστημονικό κλάδο. Εντούτοις, ο ρόλος ενός δικανικού χημικού στην έρευνα της

πυρκαγιάς ή της έκρηξης περιορίζεται γενικά στην ανίχνευση και τον προσδιορισμό των ουσιών σχετικών με την πυρκαγιά ή την έκρηξη. Κάποιοι δικανικοί χημικοί εργάζονται για ιδιωτικές επιχειρήσεις και μερικοί προσλαμβάνονται σε κυβερνητικά εργαστήρια που παρέχουν υποστήριξη για αυτήν την ειδική έρευνα.

9. Ασφαλιστική Εταιρία: Για να καθορίσει κατά πόσο μια συγκεκριμένη πυρκαγιά ή μια έκρηξη καλύπτεται υπό τους όρους του ασφαλιστήριου συμβολαίου, ένας ασφαλιστικός φορέας ερευνά τι εμφανίστηκε. Μια ασφαλιστική εταιρία θα δεσμεύσει τις υπηρεσίες ενός δικανικού μηχανικού ή ενός δικανικού χημικού για να ερευνήσει την πυρκαγιά ή την έκρηξη εξ ονόματός της.

Δ. Ο ρόλος στο νομικό σύστημα

Κατά διαστήματα, ένα πρόσωπο που κάνει αυτόν τον τύπο μηχανικής ανάλυσης καλείται για να πιστοποιήσει την υπόθεση στο δικαστήριο για τις λεπτομέρειες των συμπερασμάτων του/της. Κανονικά η κατάθεση αποτελείται από τις απαντήσεις στις ερωτήσεις που τίθενται από έναν πληρεξούσιο δικηγόρο για ένα συμβαλλόμενο μέρος. Ο πληρεξούσιος θα ενδιαφερθεί συχνά για τα εξής:

- τα προσόντα του μηχανικού για να κάνει ανάλυση πυρκαγιάς ή έκρηξης,
- τα βασικά γεγονότα και οι υποθέσεις που βασίζονται επάνω στο μηχανικό,
- η λογικότητα των συμπερασμάτων του μηχανικού, και
- εύλογες εναλλακτικές εξηγήσεις για την πυρκαγιά ή την έκρηξη που δεν εξετάζονται από το μηχανικό, οι οποίες συχνά θα είναι η εκδοχή του πελάτη του για το γεγονός.

Εν δυνάμει με κατάλληλη εκπαίδευση και εμπειρία, ένα πρόσωπο μπορεί να είναι κατάλληλο ως "ειδικός μάρτυρας" από το δικαστήριο. Σε μερικά κράτη, ένας τέτοιος ειδικός μάρτυρας είναι το μόνο πρόσωπο που έχει την άδεια για να αποδώσει μια άποψη στο δικαστήριο κατά τη διάρκεια των πρακτικών. Επειδή συχνά το νομικό σύστημα είναι εχθρικό, κάθε πληρεξούσιος δικηγόρος θα προσπαθήσει να αποσπάσει από την ειδική κατάθεση μάρτυρα είτε για το όφελος του πελάτη του, είτε για τη δυσφήμιση του πελάτη του αντιπάλου του.

Σε έναν τέτοιο ρόλο, παρά το γεγονός ότι ένας από τους πληρεξούσιους δικηγόρους μπορεί να πληρώσει την αμοιβή των εμπειρογνομόνων, ο ειδικός μάρτυρας έχει μια υποχρέωση στο δικαστήριο να είναι όσο το δυνατόν αντικειμενικότερος, και να αποφύγει να γίνει συνήγορος. Ο καλύτερος κανόνας για να ακολουθήσει είναι να είναι τίμιος και επαγγελματίας και στην προετοιμασία της αρχικής ανάλυσης, και στην κατάθεση.

Μερικές φορές ο δικανικός μηχανικός που συμμετέχει στην προετοιμασία μιας ανάλυσης πυρκαγιάς ή έκρηξης καλείται να αναθεωρήσει την έκθεση της ανάλυσης του ίδιου γεγονότος από τον ειδικό μάρτυρα για την "άλλη πλευρά." Αυτό πρέπει επίσης να γίνει ειλικρινά και επαγγελματικά. Οι τίμιες διαφωνίες μεταξύ δύο καταρτισμένων εμπειρογνομόνων μπορούν και εμφανίζονται. Όταν τέτοιες διαφωνίες εμφανίζονται, η εστίαση της κριτικής πρέπει να είναι θεωρητική ή πραγματική βάση για τις διαφορές.

Ε. Εφαρμογή της επιστημονικής μεθόδου στην Μηχανική Ανάλυση των Πυρκαγιών και των Εκρήξεων

Σε μια εργαστηριακή έρευνα, είναι συνηθισμένο να σχεδιαστούν πειράματα όπου η μεταβλητή που μελετάται δεν κρύβεται ή περιπλέκεται από άλλα αποτελέσματα που ενεργούν ταυτόχρονα. Η μεταβλητή επιλέγεται για να είναι απαλλαγμένη από άλλες επιρροές. Τα πειράματα διεξάγονται έπειτα για να καθορίσουν τι εμφανίζεται όταν αλλάζει

η μεταβλητή. Οι πολυάριθμες δοκιμές των επιδράσεων της αλλαγής της μεταβλητής παρέχουν μια στατιστική βάση συμπερασματική για το πώς η μεταβλητή συμπεριφέρεται, και προβλέπει τι θα εμφανιστεί κάτω από άλλες περιστάσεις.

Κατ' αυτό τον τρόπο, θεωρητικά, οποιοδήποτε γεγονός πυρκαγιάς ή έκρηξης θα μπορούσε να αντιγραφεί πειραματικά ή να αναδημιουργηθεί. Οι μεταβλητές θα άλλαζαν απλά και θα συνδυάζονταν έως ότου βρεθεί ο "σωστός" συνδυασμός που αναδημιουργεί το γεγονός. Όταν το πραγματικό γεγονός αναπαράγεται πειραματικά, μπορεί να ειπωθεί ότι η αναδημιουργία της πυρκαγιάς ή της έκρηξης έχει λυθεί.

Υπάρχουν προβλήματα με αυτήν την προσέγγιση εντούτοις. Πρώτιστο είναι το γεγονός ότι μια πυρκαγιά ή μια έκρηξη είναι ένα μοναδικό γεγονός. Από τη μελέτη του κόστους και της ασφάλειας, το γεγονός δεν θα επαναληφθεί επανειλημμένως με διαφορετικούς τρόπους έτσι ώστε κάποιος μηχανικός να μπορεί να παίξει με τις μεταβλητές και να κάνει μετρήσεις.

Μπορεί να υποστηριχτεί, εντούτοις, ότι εάν υπάρχει ένα μεγάλο μέγεθος παρατηρούμενων στοιχείων και γεγονότων για μια πυρκαγιά ή μια έκρηξη, αυτό είναι κατάλληλο υποκατάστατο για άμεσα πειραματικά στοιχεία. Μόνο η "σωστή" υπόθεση αναδημιουργίας θα ερμηνεύσει όλες τις παρατηρήσεις, και θα είναι επίσης σύμφωνη με αποδεκτούς επιστημονικούς νόμους και γνώσεις.

Ένα ανάλογο παράδειγμα είναι ο προσδιορισμός μιας αλγεβρικής εξίσωσης από μια γραφική απεικόνιση σημείων σε Καρτεσιανό επίπεδο. Όσα περισσότερα σημεία δεδομένων είναι εκεί στη γραφική παράσταση, τόσο καλύτερο το ταίριασμα της καμπύλης θα είναι. Επαγωγικά, ένας μεγάλος αριθμός σημείων στοιχείων με άριστη αντιστοιχία σε μια ορισμένη καμπύλη ή μια εξίσωση θα ήταν απόδειξη ότι η εφαρμοσμένη καμπύλη ήταν ίση με την αρχική λειτουργία που παρήγαγε τα στοιχεία.

Κατά συνέπεια, η επιστημονική μέθοδος, όπως εφαρμόζεται για την αναδημιουργία των πυρκαγιών και των εκρήξεων, είναι η ακόλουθη.

- μια γενική δουλεμένη υπόθεση η οποία προτείνεται είναι βασισμένη στις επαληθευμένες πληροφορίες.
- όσες περισσότερες πληροφορίες συγκεντρώνονται, η αρχική υπόθεση εργασίας τροποποιείται για να καλύψει το αυξανόμενο σώμα των παρατηρήσεων.
- μετά από έναν ορισμένο χρόνο, η υπόθεση εργασίας θα μπορούσε να εξεταστεί χρησιμοποιώντας την για την πρόβλεψη της παρουσίας αποδεικτικών στοιχείων που μπορεί να μην ήταν προφανή ή αγνοήθηκαν κατά τη διάρκεια της αρχικής προσπάθειας συλλογής πληροφοριών.

Μια υπόθεση θεωρείται μια πλήρης αναδόμηση όταν ικανοποιούνται τα εξής:

- η υπόθεση ερμηνεύει όλες τις επαληθευμένες παρατηρήσεις.
- όταν είναι εφικτό, η υπόθεση προβλέπει επακριβώς την ύπαρξη πρόσθετων στοιχείων προηγούμενως άγνωστων.
- η υπόθεση είναι σύμφωνη με τις αποδεκτές επιστημονικές αρχές, γνώση και μεθοδολογίες.

Η επιστημονική μέθοδος όπως εφαρμόζεται στην αναδημιουργία των πυρκαγιών και των εκρήξεων δεν είναι χωρίς μερικές ατέλειες. Η πραγματικότητα των πυρκαγιών και των εκρήξεων είναι ότι το ίδιο το γεγονός μπορεί να καταστρέψει τα αποδεικτικά στοιχεία. Η αντιστοιχία εκείνου που άρχισε μια πυρκαγιά πιθανώς θα καταστραφεί πλήρως και δεν θα βρεθεί ποτέ. Τα σημαντικά στοιχεία μπορούν να χαθούν ή να κρυφτούν στα συντρίμια. Η προσβολή του πυρός μπορεί αθέλητα να καταστρέψει σημαντικά στοιχεία. Εν ολίγοις, μπορούν να υπάρξουν παρατηρητικά χάσματα.

Χρησιμοποιώντας την προηγούμενη αναλογία γραφικών παραστάσεων, αυτό είναι όπως την κατοχή των περιοχών της γραφικής παράστασης χωρίς τα σημεία στοιχείων, ή λίγα σημεία στοιχείων. Φυσικά. εάν τα σημεία στοιχείων είναι πολύ λίγα, ίσως διάφορες διαφορετικές καμπύλες να εγκατασταθούν στα διαθέσιμα στοιχεία.

Κατά συνέπεια, είναι δυνατό ότι οι διαθέσιμες παρατηρήσεις μπορούν να εξηγηθούν από διάφορες υποθέσεις. Τα χάσματα ή τα ελάχιστα παρατηρητικά στοιχεία μπορούν να μην επιτρέψουν μια μοναδική λύση. Κατ' ουσία, δύο αρμόδιοι και ειδάλως έντιμοι εμπειρογνώμονες θα μπορούσαν να προσφέρουν δύο συγκρουόμενες υποθέσεις αναδόμησης και οι δύο εξίσου σύμφωνες με τα διαθέσιμα στοιχεία.

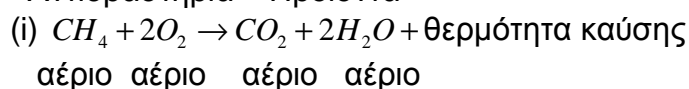
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ : ΧΗΜΕΙΑ ΚΑΥΣΗΣ

A. Γενικά

Η πυρκαγιά ή η καύση είναι βασικά μια χημική αντίδραση και πιο συγκεκριμένα είναι μια γρήγορη, αυτοσυντήρητη διαδικασία οξειδωσης. Προκειμένου να εντοπιστούν οι πυρκαγιές και οι εκρήξεις, ένα πρόσωπο πρέπει να καταλάβει τις βασικές χημικές και θερμοδυναμικές αρχές που περιλαμβάνονται στη διαδικασία πυρκαγιάς. Εάν αυτές οι βασικές αρχές γίνουν κατανοητές, ένα μεγάλο μέρος του μυστηρίου για το πώς και γιατί οι πυρκαγιές εμφανίζονται και διαδίδονται γίνεται σαφές. Η κατανόηση και η εφαρμογή αυτών των αρχών είναι τι χωρίζει την επιστήμη της διάγνωσης των πυρκαγιών και των εκρήξεων από την τέχνη της διάγνωσης των πυρκαγιών και των εκρήξεων.

Στις περισσότερες πυρκαγιές, το φορτίο καυσίμου ή πυρκαγιάς αντιδρά με το οξυγόνο στον αέρα, η θερμότητα και το φως εκπέμπονται και τα προϊόντα της καύσης παράγονται. Ένα απλό παράδειγμα που περιλαμβάνει το μεθάνιο και το καθαρό οξυγόνο δίνεται κατωτέρω :

Αντιδραστήρια Προϊόντα

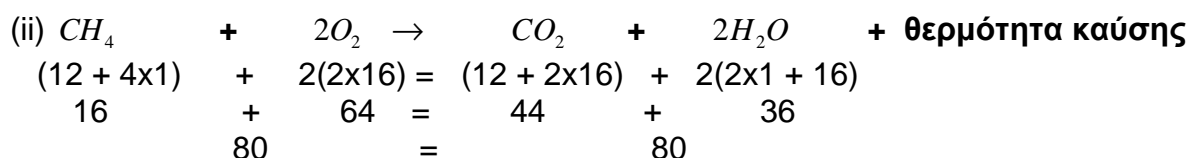


Σε αυτήν την αντίδραση καύσης, το μοναδικό μόριο του μεθανίου οξειδώνεται εντελώς από τα δύο μόρια του οξυγόνου και εκπέμπεται θερμότητα. Τα προκύπτοντα προϊόντα της καύσης είναι ένα μόριο του διοξειδίου του άνθρακα και δύο μόρια υδρατμών.

Στην εξίσωση (i), ο αριθμός και το είδος ατόμων στην αριστερή πλευρά είναι αλγεβρικά ίσος με τον αριθμό και το είδος των ατόμων στη δεξιά πλευρά, έτσι ώστε και οι δύο ποσότητες να συντηρούνται στην αντίδραση. Αυτό είναι, φυσικά, επειδή σε οποιαδήποτε χημική αντίδραση η συνολική μάζα των υλικών πριν από την αντίδραση πρέπει να είναι ίση με τη συνολική μάζα των υλικών μετά από την αντίδραση. Επίσης, η συνολική αρίθμηση οποιουδήποτε ιδιαίτερου τύπου ατόμου πριν από την αντίδραση πρέπει να είναι ίση με τη συνολική αρίθμηση του ίδιου τύπου ατόμου μετά από την αντίδραση. Τα άτομα του υδρογόνου, παραδείγματος χάριν, δεν μετατρέπονται σε άτομα αντιμονίου κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς.

Εν ολίγης, αν και τα αντιδραστήρια που περιλαμβάνονται στην καύση μπορούν να επανασυνδυαστούν σε νέες ενώσεις, να αλλάξουν μορφή και να εμφανιστούν πολύ διαφορετικά μετά από την καύση που έχει πραγματοποιηθεί, όλα τα άτομα που ήταν παρόντα πριν την καύση είναι ακόμα παρόντα και μετά από την καύση.

Εάν το ατομικό βάρος κάθε συστατικού που περιλαμβάνεται στην αντίδραση αθροίζεται και σημειώνεται κάτω από την εξίσωση (i), κατόπιν η ισορροπία της μάζας της αντίδρασης μπορεί να υπολογιστεί. Αυτό παρουσιάζεται κατωτέρω.



Για την ευκολία, οι μονάδες μάζας που χρησιμοποιούνται αρχικά για να οργανώσουν την εξίσωση (ii) είναι οι δεδομένες ατομικές μονάδες βάρους για τα συγκεκριμένα στοιχεία και βρέθηκαν στον περιοδικό πίνακα. Εντούτοις, οι μονάδες που χρησιμοποιούνται στην εξίσωση (ii) είναι αυθαίρετες, και μπορούν να τροποποιηθούν για να ταιριάξουν την κατάσταση. Θα μπορούσαν ακριβώς όπως εύκολα να αντιπροσωπεύουν γραμμάρια, χιλιόγραμμα, λίβρες μάζας. Και εφ' όσον πολλαπλασιάζονται όλα τα στοιχεία στην εξίσωση

με τον ίδιο παράγοντα, μπορούν να διπλασιαστούν, να υποδιπλασιαστούν, να αυξηθούν κατά έναν βαθμό μεγέθους, ή να μειωθούν κατά έναν βαθμό μεγέθους.

Παραδείγματος χάριν, η εξίσωση (ii) δείχνει ότι 16 γραμμάρια μεθανίου θα καούν με 64 γραμμάρια οξυγόνου για να παράγουν 44 γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα και 36 γραμμάρια υδρατμού.

Οι υπολογισμοί της αντίδρασης όπως προηγουμένως, που περιγράφουν τις αριθμητικές σχέσεις μεταξύ των αντιδραστηρίων και των προϊόντων, αποτελούν έναν κλάδο της χημείας που καλείται στοιχειομετρία. Πιο κατάλληλα, η στοιχειομετρία ορίζεται ως η μελέτη των ποσοτικών σχέσεων μεταξύ των αντιδραστηρίων και των προϊόντων μιας αντίδρασης.

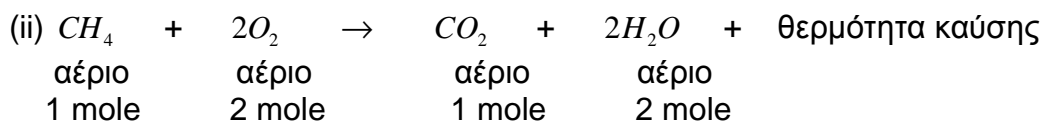
Όπως έχει γίνει στο παράδειγμα καύσης μεθανίου και οξυγόνου, η συνηθισμένη μέθοδος στην οργάνωση μιας χημικής εξίσωσης καύσης είναι η ακόλουθη: κατ' αρχάς, ένας πλήρης κατάλογος των αντιδραστηρίων και των προϊόντων που περιλαμβάνονται στην αντίδραση και οι σχετικές αναλογίες τους, γράφονται κάτω με μορφή χημικής εξίσωσης. Κατόπιν οι σχέσεις μεταξύ των αντιδραστηρίων και των προϊόντων επεξεργάζονται. Η συνολική μάζα των αντιδραστηρίων τίθεται ίση με τη συνολική μάζα των προϊόντων και η συνολική αρίθμηση κάθε είδους ατόμου αντιδραστηρίου τίθεται ίση με τη συνολική αρίθμηση κάθε ίδιου είδους ατόμου προϊόντος. Συνήθως, η σχέση μεταξύ των αντιδραστηρίων και των προϊόντων συνάπτεται χρησιμοποιώντας τις χαμηλότερες πιθανές ακέραιες αναλογίες αριθμών.

Η αρχή της χρήσης της χαμηλότερης αναλογίας ακέραιων αριθμών για να αντιπροσωπεύσει τις σχέσεις αντίδρασης αποκαλείται συχνά ο νόμος του συνδυασμού των βαρών, ή νόμος Dalton των πολλαπλάσιων αναλογιών. Το τελευταίο όνομα είναι στην τιμή John Dalton (1766-1844) που ήταν ένας από τους πρώτους που αναγνώρισε ότι οι χημικές αντιδράσεις που περιλαμβάνουν τις ίδιες ουσίες θα συνδυαστούν στις ίδιες αναλογίες, ότι ποσότητες και να αναμιγνύονται. Με άλλα λόγια, όλα τα στοιχεία και οι ενώσεις συνδυάζουν ή αποσυνθέτουν σε συγκεκριμένες, απλές αναλογίες βάρους και αυτές οι αναλογίες βάρους είναι ακριβώς ανάλογες προς το άθροισμα των μονάδων ατομικής μάζας των ουσιών.

Τυχαία, ο Dalton ήταν ο πρώτος σημαντικός επιστήμονας μετά από τον Δημόκριτο που πρότεινε ότι οι ουσίες αποτελούνται από θεμελιώδη μόρια που διατηρούν τις ίδιες χημικές ιδιότητες με την ουσία στο μεγαλύτερο όγκο. Το θεμελιώδες μόριο ενός στοιχείου είναι ένα άτομο, και το θεμελιώδες μόριο μιας ένωσης είναι ένα μόριο. Τα μόρια αποτελούνται από δύο ή περισσότερα άτομα που έχουν αντιδράσει με το ένα άλλο και έχουν συνδυάσει να κάνουν μια ένωση.

Όταν η αντίδραση περιλαμβάνει κυρίως τα αέρια, ο νόμος του Dalton των πολλαπλάσιων αναλογιών αναφέρεται μερικές φορές σαν νόμος του Gay-Lussac, νόμος του συνδυασμού των όγκων, οι οποίοι μπορούν να δηλωθούν ως εξής: οι όγκοι των αερίων που περιλαμβάνονται σε μια χημική αντίδραση μπορούν να αντιπροσωπευθούν από τις αναλογίες μικρών ακέραιων αριθμών όταν είναι τα αέρια στην ίδια θερμοκρασία και πίεση. Και οι δυο νόμοι, του Gay-Lussac νόμος του συνδυασμού των όγκων και του Dalton ο νόμος των πολλαπλάσιων αναλογιών, είναι βασισμένοι στην ίδια θεμελιώδη αρχή.

Μια πρακτική επέκταση του νόμου του Gay-Lussac νόμου είναι ο νόμος του Avogadro, ο οποίος δηλώνει ότι οι ίσοι όγκοι του αερίου στους ίδιους όρους πίεσης και θερμοκρασίας περιέχουν ίσους αριθμούς ατόμων ή μορίων. Κατά συνέπεια, η ίδια χημική εξίσωση για την αντίδραση καύσης του μεθανίου και του οξυγόνου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει τους όγκους των αερίων που περιλαμβάνονται στην αντίδραση. Αυτό παρουσιάζεται στην ακόλουθη χημική εξίσωση.



Παραδείγματος χάριν, στο μετρικό σύστημα το μοριακό βάρος ενός γραμμαρίου, ή ένα mole, μιας αέριας ουσίας έχει όγκο 22,4 λίτρα σε σταθερές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Οι σταθερές συνθήκες είναι 1.013,3 mbar πίεση, η οποία είναι μια ατμόσφαιρα και 0°C. Κατά συνέπεια, εάν 16 γραμμάρια ή ένα mole μεθανίου χρησιμοποιήθηκαν στην αντίδραση σε σταθερές συνθήκες, το μεθάνιο θα είχε έναν όγκο 22,4 λίτρων.

Ένα αντικείμενο άξιο να λάβουμε υπόψη στην αντίδραση μεθανίου και οξυγόνου είναι ο υδρατμός. Το νερό που παράγεται στην αντίδραση καύσης είναι αρχικά με μορφή αερίου. Εντούτοις, κατά την ψύξη, ο υδρατμός θα συμπυκνωθεί σε υγρό νερό.

Ο νόμος του Dalton των μερικών πιέσεων δηλώνει ότι η συνολική πίεση ενός μίγματος αερίων είναι το άθροισμα των πιέσεων των μεμονωμένων αερίων όπως το καθένα από αυτά να ήταν παρόν υπό τον ίδιο όγκο.

Κατά συνέπεια, εάν ένα mole μεθανίου και δύο mole οξυγόνου τοποθετήθηκαν σε ένα σφραγισμένο δοχείο 67,2 λίτρων σε σταθερές συνθήκες 1.01,3 mbar και 0°C, κατόπιν το μεθάνιο θα ασκούσε μια μερική πίεση 337,8 mbar και το οξυγόνο θα ασκούσε μια μερική πίεση 675,5 mbar.

Αφότου εμφανίζεται η καύση μεταξύ του μεθανίου και του οξυγόνου στο παράδειγμά μας, τα προκύπτοντα προϊόντα της καύσης θα αποτελούνταν από τρία mole-όγκους ενός μίγματος διοξειδίου του άνθρακα και υδρατμού. Συνεπώς, θα υπήρχε ο ίδιος αριθμός μορίων αερίου μετά από την καύση όπως ήταν πριν από την καύση. Εντούτοις, λόγω της θερμότητας που εκπέμπεται κατά τη διάρκεια της αντίδρασης, η πίεση στο σφραγισμένο δοχείο μετά από την καύση θα ήταν υψηλότερη.

Εάν η καύση πραγματοποιείται αρκετά αργά για τη θερμότητα που μεταφέρεται μακριά από το δοχείο κατά τη διάρκεια της διαδικασίας καύσης, κατόπιν η πίεση στο δοχείο αφότου η καύση ολοκληρωθεί μπορεί να υπολογιστεί με τη χρησιμοποίηση του νόμου ιδανικών αερίων. Εάν η θερμοκρασία των προκυπτόντων αερίων κάποιες φορές αφότου ολοκληρώνεται η αντίδραση είναι T_2 , κατόπιν η πίεση εκείνη την περίοδο μπορεί να υπολογιστεί με τον συνδυασμό του νόμου των ιδανικών αερίων και το νόμο του Dalton των μερικών πιέσεων ως εξής:

Νόμος του Dalton των μερικών πιέσεων

$$(iv) \quad P_{1ολικp} = P_{1μεθανίου} + P_{1οξυγίνου} \quad \text{πίεση εσωτερικά του δοχείου πριν την καύση}$$

$$P_{2ολικp} = P_{2διοξειδίου-\acute{\alpha}\nu\theta\rho\alpha\kappa\alpha} + P_{2ατμοϋ} \quad \text{πίεση εσωτερικά του δοχείου μετά την καύση}$$

Νόμος των Ιδανικών Αερίων

$$(v) \quad PV = nRT$$

$$P = [nR/V]T$$

όπου: P = πίεση,

T = απόλυτη θερμοκρασία,

n = αριθμοί moles συγκεκριμένου αερίου, και

R = σταθερά αερίων, 83,14 (millibar-liters)/(g-moles)($^{\circ}K$) ή 8,314 joules/(g-moles)($^{\circ}K$)

Κατά συνέπεια,

$$(vi) \quad P_{1ολικp} = [n_{meq} RT_1 + n_{οξυγίνου} RT_1] / V_1 \quad \text{πριν την καύση}$$

$$P_{2ολικβ} = [n_{diox.anqr} RT_2 + n_{atmoy} RT_2] / V_2 \quad \text{μετά την καύση}$$

Δεδομένου ότι η αντίδραση πραγματοποιείται στο ίδιο δοχείο, τότε $V_1=V_2$. Κατά συνέπεια, οι πριν και μετά πιέσεις μπορούν να συσχετιστούν η μια με την άλλη ως εξής:

$$(vii) \quad \frac{P_{1ολικβ}}{P_{2ολικβ}} = \frac{[n_{μεθανιου} + n_{οξυγονου}]}{[n_{diox.anqr} + n_{atmoy}]} \times \frac{[T_1]}{[T_2]}$$

$$\frac{P_{1ολικβ}}{P_{2ολικβ}} = \frac{[1+2][T_1]}{[1+2][T_2]} = \frac{[T_1]}{[T_2]}$$

Η εξίσωση (vii) δείχνει ότι στην αντίδραση καύση μεθανίου και οξυγόνου, εφ' όσον είναι το νερό σε μορφή ατμού η πίεση μετά την καύση μέσα στο δοχείο είναι ακριβώς μια αναλογία των πριν και μετά της καύσης θερμοκρασιών, δηλ.

$$P_{2ολικβ} = [P_{1ολικβ}][T_2 / T_1]$$

Καθώς το αέριο μίγμα των προϊόντων της καύσης ψύχεται σε σταθερή θερμοκρασία, 0°C ή 273°K, ο υδρατμός συμπυκνώνεται έξω ως υγρό ύδωρ. Κατά συνέπεια, αντί αυτού 3 όγκοι mole των αερίων προϊόντων, υπάρχει μόνο ένα, διοξείδιο του άνθρακα. Η εξίσωση (vii) γίνεται:

$$(viii) \quad \frac{P_{1ολικβ}}{P_{2ολικβ}} = \frac{[n_{μεθ} + n_{οξυγονου} R]}{[n_{diox.anqr} R]} \times \frac{[T_1]}{[T_2]}$$

$$P_{1ολικβ} = [3/1][P_{2ολικβ}][T_1 / T_2]$$

Όταν το σφραγισμένο δοχείο τελικά ψύχεται σε 0°C ή 273°K, η προκύπτουσα πίεση θα είναι 337,8 mbar, ή περίπου το 1/3 της ατμοσφαιρικής πίεσης .

Μέχρι αυτό το σημείο, έχει υποθεθεί ότι η αντίδραση έχει προχωρήσει αργά και η θερμότητα που παράγεται μεταφέρεται ελεύθερα έξω από το δοχείο και στο περιβάλλον λίγο ή πολύ όπως απελευθερώνεται από την αντίδραση. Όταν αυτή η υπόθεση γίνεται, ο ιδανικός νόμος των αερίων είναι εφαρμόσιμος. Αυτοί οι τύποι αντιδράσεων περιγράφονται συχνά ως ισόθερμοι. Εντούτοις, για να κυριολεκτήσουμε, μια ισόθερμη αντίδραση είναι μια που εμφανίζεται σε μια σταθερή θερμοκρασία.

Εντούτοις, υπάρχουν περιπτώσεις όπου αυτή η υπόθεση δεν είναι έγκυρη. Σε περιπτώσεις όπου η αντίδραση προχωρά αρκετά ταχέια όπου δεν έχει υπάρξει αρκετός χρόνος για σπουδαία μεταφορά ενέργειας στο περιβάλλον, ή που υπάρχει αρκετή μόνωση για να αποτρέψει την ταχεία μεταφορά της ενέργειας στο περιβάλλον, η αντίδραση είναι αδιαβατική. Στις αδιαβατικές αντιδράσεις, δεν υπάρχει καμία μεταφορά θερμότητας, όλη η ενέργεια που παράγεται από την αντίδραση κρατείται μέσα στο σύστημα.

Για να προσθέσουμε περαιτέρω στον μερικές φορές κατάλογο σύγχυσης από χημικούς νόμους που έχουν παρουσιαστεί, υπάρχει ένα πόρισμα στο νόμο του Dalton των μερικών πιέσεων που είναι μερικές φορές χρήσιμο να το ξέρουμε. Καλείται νόμος του Amagat· δηλώνει ότι ο συνολικός όγκος ενός μίγματος μεμονωμένων αερίων που όλα έχουν την ίδια θερμοκρασία και πίεση είναι το άθροισμα των όγκων των μεμονωμένων αερίων σε εκείνη την ίδια θερμοκρασία και πίεση. Αν και στο νόμο του Dalton των μερικών πιέσεων οι μεμονωμένες πιέσεις αθροίζονται, στο νόμο του Amagat, οι μεμονωμένοι όγκοι αθροίζονται.

Εάν ένα πρόσωπο θέλει να είναι πιο ακριβολόγος όσον αφορά τη πίεση μετά την καύση στο δοχείο στο παράδειγμα αντίδρασης μεθανίου και οξυγόνου, κατόπιν ο όγκος του υγρού νερού πρέπει να εξηγηθεί. Η μάζα 2 μετρικών mole του υγρού ύδατος είναι 36 γραμμάρια και καταλαμβάνει έναν όγκο περίπου 0,036 λίτρων. Κατά συνέπεια, τα 44,8 λίτρα του υδρατμού που παράγονται στην αντίδραση θα μπορούσαν, επάνω στην ψύξη, να συμπυκνωθούν σε 0,036 λίτρα υγρού ύδατος. Λόγω αυτού, το υπόλοιπο αεριώδες διοξείδιο του άνθρακα δεν θα διαστελλόταν σε ένα δοχείο 67,2 λίτρων, αλλά στο ένα περιέχοντας 67,164 λίτρα. Το υγρό ύδωρ θα καταλάμβανε το υπόλοιπο.

Αυτή η μικρή αλλαγή στο διαθέσιμο όγκο στον οποίο το αεριώδες διοξείδιο του άνθρακα θα διαστελλόταν αλλάζει ελάχιστα την υπολογισμένη πίεση του διοξειδίου του άνθρακα σε 337,9 mbar. Εάν απαιτείται ακόμη περισσότερη ακρίβεια, η πίεση ατμού πάνω από το υγρό ύδωρ πρέπει επίσης να ερμηνευθεί. Στους 0°C, το υγρό ύδωρ έχει μια πίεση ατμού 3,4 mbar. Συνεπώς, η συνολική πίεση στο δοχείο αφότου έχει ψυχθεί στην τυποποιημένη θερμοκρασία είναι 341,3 mbar. Ετσι, μετά από την παραπάνω, οι όγκοι των μη-αερίων μπορούν να αμεληθούν στους υπολογισμούς όγκου.

B. Περιορισμοί του Νόμου Ιδανικών Αερίων

Ένα πλεονέκτημα του νόμου ιδανικών αερίων είναι ότι είναι μια σχετικά απλή αλγεβρική έκφραση. Είναι εύκολο να λυθεί, εύκολο να εφαρμοστεί για τις περισσότερες κοινές εφαρμογές και παρέχει ακριβή αποτελέσματα.

Εντούτοις, ο νόμος ιδανικών αερίων έχει μερικούς περιορισμούς και ο μηχανικός αλλά και ο κάθε ενδιαφερόμενος πρέπει να γνωρίζει. Υποθέτει ότι η έλξη ή η απώθηση μεταξύ των μεμονωμένων μορίων αερίου είναι αμελητέα. Κατά συνέπεια, όταν οι πιέσεις και οι θερμοκρασίες είναι σε τάξη όπου τέτοιες διαμοριακές δυνάμεις είναι χαμηλές, ο νόμος των ιδανικών αερίων είναι ακριβής.

Εάν, εντούτοις, οι πιέσεις και οι θερμοκρασίες είναι σε τάξεις όπου οι διαμοριακές δυνάμεις δεν είναι αμελητέες, όπως όταν το αέριο είναι πολύ πυκνό και ζεστό, ένα καλύτερο πρότυπο για τη συμπεριφορά του αερίου είναι ο νόμος του Van der Waal. Η έκφραση για το νόμο του Van der Waal δίνεται στην ακόλουθη εξίσωση.

$$(ix) \quad \left[P + \frac{n^2 a}{V^2} \right] [V - nb] = nRT \quad \text{Νόμος Van der Waal's}$$

ο νόμος του Van der Waal όπου το a και το b είναι σταθερές και n =ο αριθμός των mole.

Μερικές χαρακτηριστικές τιμές για τις σταθερές " a " και " b " που χρησιμοποιούνται στο νόμο του Van der Waal δίνονται παρακάτω. Οι τιμές δίνονται σε μετρικές μονάδες χρησιμοποιώντας lt και mbar. (Μια ατμόσφαιρα είναι ίση με 1.013,3 mbar). Σημειώστε ότι εάν το " a " και το " b " ήταν και το δύο μηδέν, ο νόμος του Van der Waal θα απλοποιούνταν στον ιδανικό νόμο των αερίων.

Πίνακας 1: Μερικές Σταθερές Van der Waal's

Αέριο	"a"	"b"
O ₂	1378(l ²)(millibars)/(g-mole) ²	0.0318(l)/g-mole
N ₂	1408(l ²)(millibars)/(g-mole) ²	0.0391(l)/g-mole
CO ₂	3638(l ²)(millibars)/(g-mole) ²	0.0427(l)/g-mole
CO	1510(l ²)(millibars)/(g-mole) ²	0.0399(l)/g-mole
C ₃ H ₈	2283(l ²)(millibars)/(g-mole) ²	0.0428(l)/g-mole
CH ₄	8780(l ²)(millibars)/(g-mole) ²	0.0845(l)/g-mole
H ₂ O	5537(l ²)(millibars)/(g-mole) ²	0.0305(l)/g-mole
H ₂	247,7(l ²)(millibars)/(g-mole) ²	0.0266(l)/g-mole

Η τιμή του "a" στην εξίσωση van der Waal είναι ένα μέτρο έλξης μεταξύ των μορίων του αερίου. Ο όρος " b" συσχετίζεται με τον όγκο των ίδιων των μορίων και τα τη σχετική μεταξύ τους ασυμπίεστοτητα. Τα αέρια με τις υψηλές τιμές "a" γενικά υγροποιούνται σε υψηλότερες θερμοκρασίες από αυτά με τις χαμηλότερες τιμές "a" λόγω της μεγαλύτερης διαμοριακής έλξης.

Ομοίως, τα μόρια με χαμηλές τιμές του " b" τείνουν να υγροποιηθούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, λόγω του μικρότερου μεγέθους του μορίου που αποτρέπει τις ελκυστικές δυνάμεις από να αποκτήσουν στην κατοχή τους το παιχνίδι πιο σύντομα εξαιτίας της διαμοριακής απόστασης.

Λόγω των μαθηματικών πλεονεκτημάτων του νόμου ιδανικών αερίων πέρα από το νόμο Van der Waal, άλλη μια σχέση με την απόκλιση της πραγματικής συμπεριφοράς των πραγματικών αερίων από τον νόμο των ιδανικών αερίων έχει αναπτυχθεί, περιλαμβάνοντας τη χρήση ενός παράγοντα διόρθωσης, αποκαλούμενου συχνά παράγοντα συμπίεστοτητας, ο οποίος αντικαθίσταται στον ιδανικό νόμο των αερίων με τον ακόλουθο τρόπο:

$$(x) PV = ZnRT$$

όπου Z = παράγων συμπίεστοτητας.

Σε πιο ειδικούς όρους, ο παράγων Z συμπίεστοτητας είναι ο λόγος του όγκου του πραγματικού αερίου προς τον όγκο του ιδανικού αερίου, όπως προβλέπεται από τον νόμο των ιδανικών αερίων, στις συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Τα θερμοδυναμικά κείμενα αναφοράς έχουν πίνακες, γραφικές παραστάσεις, ή τύπους όπου οι παράγοντες Z μπορούν να επιλεγούν για κάθε τύπο αερίου σε διάφορες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας.

Μια σχετική έννοια, αποκαλούμενη τάση φυγής, χρησιμοποιείται επίσης για να διορθώσει τις αποκλίσεις ενός πραγματικού αερίου από τον νόμο των ιδανικών αερίων. Σε αυτήν τη μέθοδο, μια διορθωμένη πίεση, η πίεση φυγής αντικαθιστά την πίεση "P" στην έκφραση του νόμου των ιδανικών αερίων. Η αντικατάσταση της πίεσης φυγής κάνει τον νόμο των ιδανικών αερίων πιο ακριβές μοντέλο για τη συμπεριφορά του πραγματικού αερίου. Οι αναφορές θερμοδυναμικής παρέχουν τους πίνακες, τις γραφικές παραστάσεις ή τους τύπους που επιτρέπουν τη μετατροπή της πραγματικής πίεσης "P" στην αντίστοιχη πίεση φυγής.

Παρά τις αδυναμίες του νόμου ιδανικών αερίων, στις περισσότερες καταστάσεις που περιλαμβάνουν ανοικτού χώρου-πυρκαγιές η εφαρμογή της είναι ικανοποιητική.

Γ. Καύση στον αέρα

Στο τμήμα Α, η απλή καύση του μεθανίου και του καθαρού οξυγόνου συζητήθηκε. Εντούτοις, στις περισσότερες καταστάσεις πυρκαγιάς, το οξυγόνο δεν είναι διαθέσιμο ως καθαρή ουσία. Στις πυρκαγιές σε ανοιχτούς χώρους, το οξυγόνο παρέχεται στην πυρκαγιά ως συστατικό του αέρα.

Ο πίνακας 2 απαριθμεί τα χαρακτηριστικά συστατικά αέρια που βρίσκονται στον ξηρό αέρα στο επίπεδο της θάλασσας. Τα μολυσματικά αέρια και τα μόρια και ο υδρατμός παραλείπονται από τον κατάλογο, αν και σε μερικές εντοπισμένες περιοχές τα μολυσματικά αέρια και μόρια μπορούν να είναι σημαντικά συστατικά.

Πίνακας 2: Χαρακτηριστική Σύνθεση του Ξηρού Αέρα στο Επίπεδο της Θάλασσας

Συστατικά	κατά βάρος	επί τοις % κατ'όγκο	ppm
N ₂	28	78,08	780.800
O ₂	32	20,95	209.500
Ar	39,9	0,93	9.340
CO ₂	44	0,033	330
Ne	20,2	0,0018	18
He	4	0,0005	5
CH ₄	16	0,0002	2
Kr	83,8	0,0001	1
H ₂	2	0,00005	0,5
NO	30	0,00005	0,5
Xe	131,3	0,000009	0,09

Η ανάλυση του πίνακα 2 βρίσκει ότι τα συστατικά του αέρα μπορούν να διαιρεθούν σε δύο υποομάδες: σημαντικά συστατικά και δευτερεύοντα συστατικά. Το διατομικό άζωτο και οξυγόνο είναι τα σημαντικά συστατικά περιλαμβάνουν 99,03% αέρα κατ' όγκο. Όλα τα άλλα συστατικά που συνδυάζονται περιλαμβάνουν μόνο 0,97% του αέρα κατ' όγκο. Από τον πίνακα 2, μια μικρή εφαρμογή της άλγεβρας διαπιστώνει ότι το σταθμισμένο μέσο ατομικό βάρος του αέρα είναι 28,94.

Εάν η σύνθεση του αέρα τεθεί αυθαίρετα ώστε να είναι 78% άζωτο, 21% οξυγόνο, και 1% αργό και τα άλλα συστατικά αγνοούνται απλά, το σταθμισμένο μέσο ατομικό βάρος του αέρα θα ήταν 28,96.

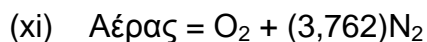
Αυτή η απλοποιημένη υπόθεση εισάγει μόνο ένα λάθος 0,07% όσον αφορά το μέσο ατομικό βάρος του αέρα. Εξετάζοντας τις καθημερινές μεταβολές στο μέσο ατομικό βάρος λόγω της υγρασίας και τις τοπικές συνθήκες, η απώλεια της ακρίβειας που εισάγεται από αυτήν την απλοποιημένη υπόθεση είναι στατιστικά κρυμμένη από άλλες μεταβολές οπωσδήποτε.

Αλλά μια περαιτέρω απλοποίηση μπορεί να γίνει εάν ο αέρας θεωρείται ότι αποτελείται από μόλις 79% άζωτο και 21% οξυγόνο. Με αυτήν την υπόθεση, το σταθμισμένο μέσο ατομικό βάρος του αέρα είναι 28,84. Αυτό ποικίλλει από το "πραγματικό" υπολογισμένο μέσο σταθμισμένο ατομικό βάρος στον πίνακα 2 από μόνο 0,35%.

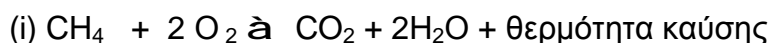
Κατά συνέπεια, για τις περισσότερες περιπτώσεις, είναι πρακτικό να εξεταστεί ο αέρας αποτελούμενος από 21% οξυγόνο και 79% άζωτο και αυτό απλοποιεί πολύ τις χημικές εξισώσεις καύσης χωρίς εισαγωγή σημαντικού λάθους. Εάν απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια, ο αέρας μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από 78% άζωτο, 21% οξυγόνο και 1% αργό. Είναι αμφισβητήσιμο ότι οποιοδήποτε υπολογισμοί που περιλαμβάνουν τις

πυρκαγιές ανοιχτού χώρου θα απαιτούσαν ένα επίπεδο ακρίβειας που θα απαιτούσε τη χρήση ολόκληρης της λίστας των συστατικών του πίνακα 2.

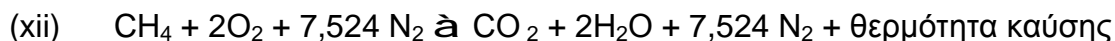
Εφαρμόζοντας τον νόμο Gay-Lussac στην απλουστευμένη εκδοχή του αέρα, διαπιστώνεται ότι για κάθε μόριο του διατομικού οξυγόνου υπάρχουν περίπου 3,762 μόρια του διατομικού αζώτου. Άρα, όποτε ένα mole του οξυγόνου χρησιμοποιείται σε μια χημική αντίδραση, 3,762 mole του διατομικού αζώτου εισάγονται επίσης στην αντίδραση. Εάν ένα αυθαίρετο mole του αέρα υποτίθεται ότι αντιστοιχεί ένα προς ένα με ένα mole οξυγόνου, τότε ένα τέτοιο mole αέρα θα μπορούσε να απεικονιστεί από τα εξής:



Ανακαλώντας τα στο τμήμα A, η χημική εξίσωση για την καύση του μεθανίου με το καθαρό οξυγόνο δόθηκε όπως:



Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (xi), μπορούμε τώρα να τροποποιήσουμε την εξίσωση (i) για να παρουσιάσουμε τη χημική εξίσωση για την καύση του μεθανίου στον αέρα. Η ακόλουθη εξίσωση δείχνει :

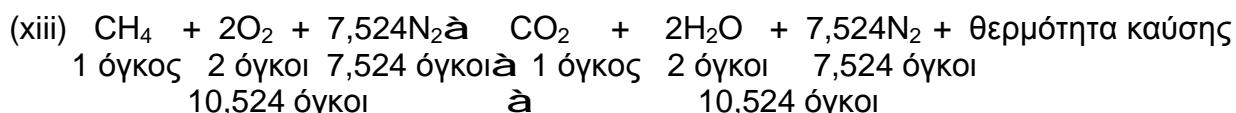


Μια χρήσιμη παράμετρος που αναφέρεται συχνά στις αντιδράσεις καύσης είναι η αναλογία αέρα-καυσίμου. Ο λόγος του αέρα προς το καύσιμο μπορεί να εκφραστεί και σε μονάδες μάζα προς μάζα, ή μονάδες όγκου προς όγκο όταν το καύσιμο είναι αέριο. Η αναλογία αέρα-καυσίμου δείχνει το θεωρητικό ποσό αέρα που θα κάψει ακριβώς μια μονάδα καυσίμων.

Παραδείγματος χάριν, στην εξίσωση (xii) το ατομικό βάρος των καυσίμων είναι 16 και το ατομικό βάρος του αέρα είναι 274,7. Άρα, σε μια αναλογία μαζών, η αναλογία αέρα-καυσίμου του μεθανίου είναι $(274,7)/(16)$ ή 17,17 έως 1. Με βάση την αναλογία όγκων, ο λόγος του αέρα προς το καύσιμο είναι 9,524 έως 1.

Για λόγους αυτής της ανάλυσης, το άζωτο στην εξίσωση καύσης θεωρείται αδρανές. Δεν αντιδρά με κανένα από τα αντιδραστήρια ή τα προϊόντα και δεν χωρίζεται ή μετασχηματίζεται σε μια διαφορετική ένωση. Βασικά, πηγαίνει στη μια πλευρά της αντίδρασης και εξάγεται στην άλλη λίγο πολύ χημικά αμετάβλητο. Εντούτοις, ο συνυπολογισμός του στο αντιδραστήριο και στο μίγμα προϊόντων προκαλεί μερικές ενδιαφέρουσες φυσικές και θερμοδυναμικές αλλαγές στην αντίδραση καύσης.

Για παράδειγμα, εάν υπάρχουν συχνά σημαντικές αλλαγές στις σχέσεις όγκου αντιδραστήριου-προϊόντος. Συγκρίνετε την καύση του μεθανίου στο καθαρό οξυγόνο, όπως φαίνεται στην εξίσωση (i), με την ακόλουθη εξίσωση καύσης του μεθανίου στον αέρα.



Εάν η αντίδραση πραγματοποιείται σε ένα κλειστό δοχείο σε σταθερές συνθήκες όπως πριν, κατόπιν το μεθάνιο ασκεί μια μερική πίεση 96,3 mbar, το οξυγόνο ασκεί μια μερική πίεση 192,6 mbar και το άζωτο ασκεί μια μερική πίεση 724,4 mbar.

Αφότου έχει ολοκληρωθεί η αντίδραση, ο υδρατμός έχει συμπυκνωθεί έξω ως υγρό και τα αέρια προϊόντα έχουν επιστρέψει στην τυποποιημένη θερμοκρασία, η πίεση των προϊόντων θα ήταν περίπου 843 mbar ή περίπου 0,83 ατμόσφαιρες. Κατά συνέπεια, η

συμπύκνωση του ύδατος από τα προϊόντα μιας καύσης μεθανίου και αέρα δεν θα οδηγούσε τόσο σε μια μεγάλη πτώση πίεσης στο δοχείο όπως όταν καίγονται μόνο το μεθάνιο και το καθαρό οξυγόνο.

Επιπρόσθετα στην αλλαγή των σχέσεων όγκου, η παρουσία του αδρανούς διατομικού αζώτου στο μίγμα προϊόντων τείνει να χαμηλώσει τη θερμοκρασία των προϊόντων. Το ποσό θερμότητας που αποδίδεται από την καύση του καυσίμου είναι σταθερό σε βάση ανά γραμμομόριο καυσίμου, ένα μόριο του μεθανίου παράγει μόνο του τόση πολλή θερμότητα όταν οξειδώνεται. Κατά την εξέταση της αντίδρασης μεθανίου και καθαρού οξυγόνου, υπάρχει μόνο διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμός για να απορροφήσει τη θερμότητα μετέπειτα. Η θερμότητα της καύσης που απελευθερώνεται από την αντίδραση χρησιμοποιείται μόνο για να αυξήσει τη θερμοκρασία εκείνων των δύο προϊόντων.

Εντούτοις, όταν χρησιμοποιείται ο αέρας αντί του καθαρού οξυγόνου, τα προϊόντα της καύσης αναμιγνύονται με ένα μεγάλο ποσό αδρανούς αζώτου που θερμαίνεται μαζί με το υπόλοιπο των προϊόντων καύσης. Στην πραγματικότητα, υπάρχει περισσότερο άζωτο κατά βάρος στο μίγμα από οποιοδήποτε άλλο συστατικό. Στην αντίδραση που σημειώνεται στην εξίσωση (xiii), το συνολικό ατομικό βάρος των προϊόντων είναι 290,7. Το ατομικό βάρος του αζώτου είναι μόνο 210,7 ή 72% της συνολικής μάζας. Επειδή το ίδιο ποσό θερμότητας πρέπει τώρα να διανεμηθεί σε 3,63 φορές περισσότερη μάζα, η θερμοκρασία που επιτυγχάνεται από τα προϊόντα αμέσως μετά από την καύση θα είναι σημαντικά λιγότερη.

Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο, όταν επιδιώκονται οι εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες, τα καύσιμα καίγονται στο καθαρό οξυγόνο αντί του αέρα. Εντούτοις, ο αέρας είναι ελεύθερος και το καθαρό οξυγόνο είναι ακριβό. Εκτός αυτού, η λειτουργία στις σημαντικά υψηλότερες θερμοκρασίες καύσης απαιτεί τη χρήση των υψηλής θερμοκρασίας ανθεκτικών υλικών, η οποία είναι επίσης ακριβή. Δεδομένου ότι το καθαρό οξυγόνο είναι ο ίδιος ένας κίνδυνος πυρκαγιάς, ορισμένες προφυλάξεις και κανονισμοί για την ασφάλεια πρέπει να ακολουθηθούν όταν χρησιμοποιείται. Αυτό, φυσικά, εισάγει ένα προστιθέμενο επίπεδο πολυπλοκότητας σχεδίου στον εξοπλισμό καύσης. Δεδομένου ότι μόνο μερικές διαδικασίες μπορούν να δικαιολογήσουν την πρόσθετη δαπάνη που συνδέεται με τη χρησιμοποίηση του καθαρού οξυγόνου, οι περισσότερες βιομηχανικές, εμπορικές και οικιακές καύσεις γίνονται με τον απλό αέρα.

Στις βιομηχανικές καταστροφικές πυρκαγιές, εντούτοις, η αρχή για την καύση που εμφανίζεται με ένα καθαρό οξειδωτικό υλικό πρέπει να εξεταστεί καλά. Εάν εκεί υπάρχει μια πηγή καθαρού οξειδωτικού υλικού μέσα σε μια αποθήκη εμπορευμάτων ή ένα εργοστάσιο, η προκύπτουσα πυρκαγιά όταν εκείνα τα υλικά καούν μπορεί να είναι σημαντικά πιο καυτή και πιο επικίνδυνη. Τέτοιες πυρκαγιές μπορούν να καίνε τόσο μανιωδώς που η θερμότητα από την ακτινοβολία από μόνη της μπορεί να είναι πολύ σφοδρή για τους απροστάτευτους πυροσβέστες ώστε να πλησιάσουν αρκετά κοντά να σβήσουν την πυρκαγιά. Γι' αυτό οι μεγάλες συγκεντρώσεις των παραγόντων οξειδωσης που αποθηκεύονται στις αποθήκες εμπορευμάτων απαιτούν ειδική προστασία για να αποτρέψουν την καύση και απαιτούν ειδικές διαδικασίες όταν διαδικασίες προσβολής του πυρός είναι εν εξελίξει.

Δ. Ατελής καύση

Σε όλες τις εξισώσεις καύσης που εξετάστηκαν μέχρι τώρα, η αντίδραση καύσης υποτίθεται ότι ήταν τέλεια. Υπό αυτή την έννοια, το "τέλεια" χρησιμοποιείται για να σημάνει ότι όλα τα καύσιμα καίγονται, όλο το αντιδραστήριο οξυγόνο καταναλώνεται, όλα τα προϊόντα είναι πλήρως οξειδωμένα και δεν μπορούν να αντιδράσουν περαιτέρω και δεν υπάρχουν κατάλοιπα αντιδραστήρια εκτός από ενδεχομένως κάποιο ατμοσφαιρικό άζωτο

που είναι μαζί στη μεταφορά. Μια τέτοια τέλεια κατάσταση καύσης καλείται συχνά στοιχειομετρική αντίδραση.

Ενώ η ελεγχόμενη καύση σε έναν υψηλής αποδοτικότητας λέβητα, έναν στρόβιλο αερίου, ή έναν κλίβανο μπορεί να φτάσει πολύ κοντά στις στοιχειομετρικές συνθήκες, η ανεξέλεγκτη φωτιά συνήθως όχι. Σε μια ανεξέλεγκτη φωτιά όπου ο αέρας παρέχεται σαν αποτέλεσμα φυσικής μεταφοράς δεν υπάρχει συνήθως αρκετός αέρας για να καεί πλήρως το διαθέσιμο φορτίο καυσίμων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η αντίδραση καύσης συνεχίζει με μόνο τη μερική οξειδωση των καυσίμων.

Για παράδειγμα, υποθέστε ότι μια σταθερή αντίδραση καύσης θα μπορούσε να διατηρηθεί χρησιμοποιώντας μόνο το μισό ποσό αέρα που απαιτήθηκε για τη στοιχειομετρική καύση του μεθανίου. Η εξίσωση καύσης μπορεί να είναι κάτι σαν την εξής :



όπου το w , το x , το y και το z είναι άγνωστοι συντελεστές.

Από τη διατήρηση της μάζας στην ανωτέρω εξίσωση. Είναι γνωστό ότι

$$w + x = 1, \quad y + z = 2 \quad \text{και} \quad w + (x/2) + (y/2) = 1.$$

Μια αλγεβρική παραποίηση βρίσκει τις ακόλουθες πρόσθετες σχέσεις :

$$x = y, \quad w + y = 1, \quad w = z \quad \text{και} \quad z + x = 1.$$

Από τις ακριβώς ανωτέρω εξισώσεις, φαίνεται ότι δεν υπάρχει καμία μοναδική αλγεβρική λύση στο σχηματισμό των προϊόντων της καύσης. Ο μόνος τρόπος να αποκαλυφθεί πραγματικά τι συμβαίνει στην αντίδραση καύσης είναι να σημειωθούν οι συνθήκες της καύσης, να ελέγξουμε δειγματοληπτικά τα προϊόντα της καύσης, να γίνει χημική ανάλυση των δειγματοληψιών και έπειτα να καθορίσουμε τις ποσοτικές σχέσεις μεταξύ των διάφορων προϊόντων.

Εντούτοις, όπως οι ανωτέρω εξισώσεις δείχνουν, εάν ο μοναδικός άγνωστος συντελεστής x όπου καθορίστηκε από τη χημική ανάλυση, οι άλλοι συντελεστές μπορούν να λυθούν αμέσως. Κατά συνέπεια, μια απλή δοκιμή για να καθορίσουμε την αναλογία του διοξειδίου με το μονοξείδιο του άνθρακα θα ήταν επαρκής για να καθορίσει όλα τα άλλα συστατικά στην εξίσωση (xiv).

Η δειγματοληψία αερίων μιας σωλήνας ή μιας καπνοδόχου γίνεται συνήθως προκειμένου να ελεγχθεί η αποδοτικότητα της καύσης των εμπορικών λεβήτων, των κλίβανων και του εξοπλισμού καύσης. Γίνεται με ποικίλο εξοπλισμό δοκιμής. Η πληρέστερη ανάλυση του αερίου σωλήνων γίνεται με μια συσκευή Orsat Apparatus' φυσικά δείγματα αυτών των συσκευών το αέριο σωλήνων και διέρχεται μέσω μιας σειράς αντιδραστήριων. Κάθε αντιδραστήριο απορροφά επιλεκτικά και με αυτόν τον τρόπο ανιχνεύει το ποσό ενός ιδιαίτερου συστατικού μέσα στο αέριο δείγμα σωλήνων. Οι εξειδικευμένες συσκευές είναι επίσης διαθέσιμες που ελέγχουν μεμονωμένα ή σε συνδυασμό για περιεκτικότητα σε οξυγόνο, περιεκτικότητα διοξείδιο του άνθρακα, περιεκτικότητα σε μονοξείδιο του άνθρακα, άκαυτη περιεκτικότητα σε καύσιμο, οξείδια του αζώτου και οξείδια του θείου.

E. Χρωματισμός Καπνού και Πυρκαγιάς

Συνήθως τα σύννεφα του καπνού που φαίνονται σε τεράστια κύματα από μια ανεξέλεγκτη πυρκαγιά χρωματίζονται πρώτιστα από τα μόρια των άκαυστων ή μερικώς

καμένων καυσίμων. Μερικές φορές το χρώμα του καπνού μπορεί να παρέχει μια ένδειξη ως προς τι καίγεται.

Για παράδειγμα, ο καπνός από το κάψιμο της βενζίνης, ελαστικών ροδών, πετρέλαιο ασφάλτου και μηχανής εμφανίζεται συχνά αδιαφανής μαύρος ή γκριζός. Μερικοί τύποι υδραυλικών ρευστών μπορούν να έχουν έναν γκριζό ή άσπρο χρωματισμένο καπνό. Καίγοντας χλώριο μπορεί να εκπέμψει έναν πράσινο ή κιτρινωπό πράσινο καπνό. Το νιτρικό οξύ μπορεί να εμφανιστεί κιτρινωπό καφετί, το βρώμιο μπορεί να εμφανιστεί καφετί, το ιώδιο μπορεί να εμφανιστεί πορφυρό και τα λοιπά.

Ο πίνακας 3 απαριθμεί μερικές ουσίες που μπορούν να χρωματίσουν τον καπνό όταν καίγονται πλήρως ή μερικώς.

Πίνακας 3: Μερικά Μίγματα ή Στοιχεία που Μπορεί να Χρωματίσουν τον Καπνό

Μίγμα / Στοιχείο	Χρώμα Ατμών ή καπνών
Αλουμίνιο	ασπρισμένο, ίσως αστραφτερό
Νιτρικό και νιτρώδες άλας	καφέ
Ιώδιο	βιολετί
Νιτρικό οξύ	κίτρινο ή καφέ
NO ₂ από νιτρικό άλας	καφέ
Ca ⁺⁺ κατιόντα	καφεκόκκινο
Sr ⁺⁺ κατιόντα	βαθύ κόκκινο
Ba ⁺⁺ κατιόντα	πράσινο
K ⁺ κατιόντα	βιολετί
Na ⁺⁺ κατιόντα	κίτρινο
Cu ⁺⁺ κατιόντα άλατος	πράσινο
Άλατα	πράσινο
Μίγματα καισίου	βιολετί
CuCl ₂	μπλε (του καθαρού ουρανού)
CuBr ₂	Μπλε / πράσινο (του καθαρού ουρανού)
Μόλυβδος, αρσενικό	ελαφρύ μπλε
Μίγματα θαλλίου	πράσινο
Μίγματα λιθίου	πράσινο
Fe	καφέ ή κίτρινο (πράσινο σε μια ελαττούμενη φλόγα)
Bi	καφέ ή κίτρινο (γκρι σε μια ελαττούμενη φλόγα)
Λευκός φώσφορος αστραφτερό	ασπρισμένο,

Πριν από την έλευση των σύγχρονων αναλυτικών μεθοδολογιών όπως η χρωματογραφία αερίου, η μαζική φασματοσκοπία και η υπέρυθη φασματοσκοπία, μια κοινή εργαστηριακή τεχνική για τον προσδιορισμό ουσιών ήταν δοκιμή της φωτιάς. Σε αυτήν την διαδικασία, τα δείγματα των ουσιών που προσδιορίζονται τοποθετούνται στη φλόγα ενός καυστήρα Bunsen, συνήθως στο οξειδωτικό κομμάτι της φλόγας και το προκύπτον χρώμα σημειώνεται.

Ένας συνήθως χρησιμοποιούμενος τύπος δοκιμής φλογών καλείται δοκιμή Borax Bead. Σε αυτήν την διαδικασία, ένας βρόγχος καλωδίου θερμαίνεται μέχρι να γίνει κόκκινο καυτό και έπειτα βυθίζεται σε κάποιο τετραβορικό νάτριο (βόρακας). Ο καλυμμένος με βόρακα βρόγχος τοποθετείται έπειτα πίσω στη φλόγα έως ότου λειώσει και διαμορφώσει μια σαφή, διαφανή χάντρα μέσα στο βρόχο καλωδίων. Τα μικρά ποσά δειγμάτων των στοιχείων που εξετάζονται δεσμεύονται και συλλέγονται έπειτα με το άγγιγμα με την καυτή

χάντρα βόρακα. Το υλικό τίθεται έπειτα στην οξειδωτική ζώνη του καυστήρα Bunsen έως ότου συνδυαστούν τα υλικά δειγμάτων μέσα στη χάντρα. Ο προκύπτων χρωματισμός της χάντρας είναι ένας δείκτης από ποιες ουσίες το άγνωστο υλικό μπορεί να έχει συντεθεί.

Οι πίνακες των χρωματισμών που συνδέονται με την εφαρμογή της δοκιμής χαντρών βόρακα παρατίθενται ακόμα σε μερικά κείμενα αναφοράς χημείας. Ενώ παραγκωνίζεται κατά ένα μεγάλο μέρος στο εργαστήριο από περιπλοκότερες τεχνικές προσδιορισμού η δοκιμή χαντρών βόρακα είναι ακόμα ένας τύπος χρήσιμης μεθόδου προσδιορισμού για τις ανόργανες ενώσεις ειδικά όταν είναι ενοχλητικό να κινηθούμε δύσκολα γύρω από έναν χρωματογράφο αερίου, Τα υλικά που απαιτούνται για τη δοκιμή χαντρών βόρακα είναι φτηνά, απλά και εύκολο να παρθούν και η δοκιμή είναι σχετικά εύκολο να γίνει ακόμη και για τα πρόσωπα με λίγη εργαστηριακή εμπειρία.

Εντούτοις, επιστρέφοντας κοντά στο θέμα, στην αναθεώρηση της αντιστοιχίας των διάφορων χρωμάτων στον πίνακα 3 στις σχετικές ουσίες τους, είναι φαινομενικά εκεί ένα σημαντικό πρόβλημα με τη χρησιμοποίηση του χρωματισμού καπνού ή πυρκαγιάς ως προσδιοριστικό. Πρώτα απ' όλα είναι το γεγονός ότι διάφορες ενώσεις και στοιχεία μπορούν να παράγουν τον ίδιο χρωματισμό, ή σχεδόν τον ίδιο. Ο καφέ, παραδείγματος χάριν, είναι ένα κοινό χρώμα που παράγεται από έναν μεγάλο αριθμό συνδυασμών, κατιόντων και στοιχείων. Εν ολίγοις, πολλές διαφορετικές ουσίες μπορούν να παράγουν τον ίδιο χρωματισμό.

Δεύτερον είναι το γεγονός ότι οι περισσότερες από τις πυρκαγιές που απαιτούν έρευνα είναι ανεξέλεγκτες. Σε μια εργαστηριακή τοποθέτηση, μόνο ένα στοιχείο τη φορά της φλόγας δοκιμάζεται. Κατά συνέπεια, ο προκύπτων χρωματισμός αντιστοιχεί σε μόνο μια ουσία. Μια καιγόμενη αποθήκη εμπορευμάτων, εντούτοις, μπορεί να αποτελείται από το ασφάλι, σκυρόδεμα, γυαλί, αλουμίνιο, ξύλο, λινέλαιο, τον πίνακα γύψου και διάφορα υφαντά. Επιπλέον, μπορεί εκατοντάδες διαφορετικών στοιχείων που αποθηκεύονται στον κατάλογο όλα αυτά τα στοιχεία μπορούν να κάψουν ή να οξειδώσουν και τα χρώματα των μεμονωμένων φλογών τους και ο καπνός θα αναμιχθούν σε άγνωστες αναλογίες το ένα με το άλλο.

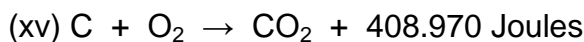
Εν ολίγης, ενώ ο χρωματισμός φλογών ή καπνού μπορεί να παρέχει τις ενδείξεις για τη φύση του φορτίου της πυρκαγιάς, από μόνο του δεν μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστος και μοναδικός δείκτης.

ΣΤ. Θερμότητα Σχηματισμού

Όταν μια ένωση σχηματίζεται ελεύθερα από την αντίδραση δύο ή ενδεχομένως περισσότερων ουσιών, θερμότητα εκπέμπεται κατά τη διάρκεια του σχηματισμού της νέας ένωσης. Αυτή η θερμότητα καλείται θερμότητα σχηματισμού της ουσίας μερικές φορές καλείται επίσης ενθαλπία σχηματισμού. Μια αντίδραση που εκπέμπει θερμότητα καλείται εξώθερμη αντίδραση. Δεδομένου ότι η ενέργεια που εκπέμπεται κατά τη διάρκεια του σχηματισμού μιας ουσίας μπορεί να ποικίλει με την πίεση και τη θερμοκρασία, η μέτρηση της θερμότητας σχηματισμού πρέπει να τυποποιηθεί για να είναι σημαντική. Κατά συνέπεια, η θερμότητα του σχηματισμού ορίζεται πιο κατάλληλα ως η θερμότητα που εκπέμπεται από ένα mole μιας ουσίας όταν σχηματίζεται από τα συνιστώμενα στοιχεία του στις τυποποιημένες συνθήκες στους 25°C και 1013.3mbar πίεση.

Για προφανείς λόγους, όλες οι αντιδράσεις καύσης όπου η καύση είναι αυτοσυντηρούμενη είναι εξώθερμες, διαφορετικά, η φωτιά θα έσβηνε από μόνη της. Οι αντιδράσεις που απαιτούν τη σταθερή προσθήκη της θερμότητας για να πραγματοποιηθούν καλούνται ενδόθερμες αντιδράσεις. Η διάκριση μεταξύ των φυσικά εμφανιζόμενων ενδοθερμικών και εξωθερμικών αντιδράσεων μπορεί να είναι πολύ σημαντική σε περιπτώσεις εμπρησμού. Όταν το αρχικό υλικό που κάηκε δεν μπορεί το ίδιο να στηρίξει την φωτιά χωρίς εξωτερικά καύσιμα ή θερμότητα να εφαρμόζονται σε αυτό, μπορεί να υποδηλώσει ότι "ενισχύθηκε" για να κάψει.

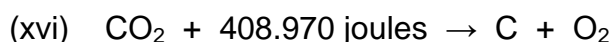
Ο καθαρός άμορφος άνθρακας αντιδρά με το καθαρó οξυγόνο, το προϊόν της αντίδρασης είναι διοξειδίο του άνθρακα, όπως φαίνεται στην εξίσωση (xv) κατωτέρω. Δεδομένου ότι το διοξειδίο του άνθρακα σχηματίζεται από τον άμορφο άνθρακα και το οξυγόνο, η θερμότητα αναπτύσσεται ή εκπέμπεται. Από τα αριθμητικά πειράματα έχει διαπιστωθεί ότι κάθε φορά που σχηματίζεται κατ' αυτό τον τρόπο διοξειδίο του άνθρακα, το ίδιο ποσό θερμότητας αναπτύσσεται ανά γραμμομόριο του άμορφου άνθρακα.



Μόλις αρχίσει, η αντίδραση του άμορφου άνθρακα με το καθαρó οξυγόνο για να σχηματίσει διοξειδίο του άνθρακα θα προχωρήσει από μόνη της έως ότου καταναλωθούν τα αντιδραστήρια. Η θερμότητα που εκπέμπεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας καύσης κρατά τη μετάβαση αντίδρασης. Επίσης, καθώς η θερμότητα απελευθερώνεται και η θερμοκρασία των αντιδραστηρίων αυξάνει, το ίδιο το ποσοστό αντίδρασης θα επιταχύνει.

Αυτό συμβαίνει επειδή το ποσοστό στο οποίο οι αντιδράσεις προχωρούν αυξάνεται καθώς η θερμοκρασία των αντιδραστηρίων αυξάνεται. Κατά συνέπεια, μόλις αρχίσει, μια φωτιά συχνά εμφανίζεται να αυτοτρέφεται και να αυξάνει σε ένταση όσο η παροχή φορτίου και αέρα προσφέρονται.

Εάν επιδιώκεται να δημιουργηθεί διοξειδίο του άνθρακα για να αποσυντεθεί πίσω σε άνθρακα και οξυγόνο, δηλαδή, για να αντιστραφεί η αντίδραση που παρουσιάζεται στην εξίσωση (xv), είναι απαραίτητο να προστεθούν τουλάχιστον 408.970 joule ενέργειας σε έναν γραμμομόριο διοξειδίου του άνθρακα. Αυτή η αντίδραση "αντίστροφης καύσης" είναι ενδοθερμική, επειδή δεν μπορεί να προχωρήσει μόνη της εκτός εάν ένα ελάχιστο συγκεκριμένο ποσό ενέργειας θερμότητας προστεθεί. Η ενδοθερμική εξίσωση της αντίδρασης για την αποσύνθεση του διοξειδίου του άνθρακα παρουσιάζεται παρακάτω.



Οι εξισώσεις (xv) και (xvi) επιδεικνύουν το νόμο του Lavoisier, ο οποίος προτάθηκε αρχικά το 1780. Ο νόμος του Lavoisier δηλώνει ότι το ποσό θερμότητας που αναπτύσσεται στο σχηματισμό μιας ένωσης είναι ίσο με το ποσό θερμότητας που απαιτείται για να αποσυνθέσει την ένωση πίσω στα αρχικά συστατικά της.

Z. Θερμότητα Καύσης και ο Νόμος Hess

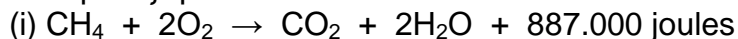
Ο όρος θερμότητα καύσης είναι πολύ παρεμφερής με την έννοια του όρου θερμότητα σχηματισμού. Έτσι, η διαφορά είναι ότι η θερμότητα της καύσης είναι η θερμότητα που αναπτύσσεται όταν μια ουσία οξειδώνεται ή καίγεται η θερμότητα της καύσης είναι πάντα εξωθερμική. Η θερμότητα του σχηματισμού μπορεί να περιγράψει τη θερμότητα είτε που εκπέμπεται είτε που απορροφάτε σε οποιαδήποτε αντίδραση, όχι μόνο σε αντιδράσεις καύσης.

Ένας από τους θεμελιώδεις κανόνες για την εργασία με θερμότητες καύσεως και θερμότητες σχηματισμού θεσπίστηκε πειραματικά το 1840 από τον G.H. Hess. Αρκετά παράξενα, καλείται νόμος του Hess, ή νόμος του Σταθερού Αθροίσματος της Θερμότητας. Δηλώνει ότι σε μια χημική αντίδραση, η αλλαγή στο περιεχόμενο της ενέργειας ή της θερμότητας μεταξύ των αντιδραστηρίων και των προϊόντων είναι σταθερή. Δεν πειράζει εάν η αντίδραση πραγματοποιείται σε ένα βήμα ή διάφορα βήματα.

Τα παρακλάδια του νόμου του Hess είναι πολύ σημαντικά. Σημαίνει ότι οι εξισώσεις της θερμότητας σχηματισμού και οι εξισώσεις της θερμότητας καύσης μπορούν να διαχειριστούν επιδέξια μαζί, αλγεβρικά, για τον ακριβή υπολογισμό των θερμοτήτων

σχηματισμού ή της καύσης των ουσιών των οποίων οι τιμές δεν έχουν καθοριστεί προηγουμένως πειραματικά.

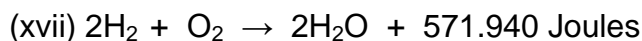
Για να επιδείξει πώς αυτό δουλεύει, θεωρήστε πάλι την καύση του μεθανίου με καθαρό οξυγόνο.



όπου η θερμότητα της καύσης του μεθανίου είναι 887.000 joules ανά γραμμομόριο μεθανίου.

Τώρα εξετάστε τη θερμότητα των εξισώσεων σχηματισμού που συνδέονται με τα προϊόντα της ανωτέρω αντίδρασης καύσης.

Όταν δύο mole του διατομικού υδρογόνου αναμιγνύονται με έναν mole του καθαρού οξυγόνου στην παρουσία ενός σπινθήρα ή μιας μικρής φλόγας, το υδρογόνο θα καεί στο οξυγόνο. Το νερό παράγεται και η θερμότητα αναπτύσσεται. Δεδομένου ότι η θερμότητα σχηματισμού ενός mole του ύδατος είναι 285.970 joules, τότε η χημική εξίσωση για το σχηματισμό του ύδατος δίνεται κατωτέρω.

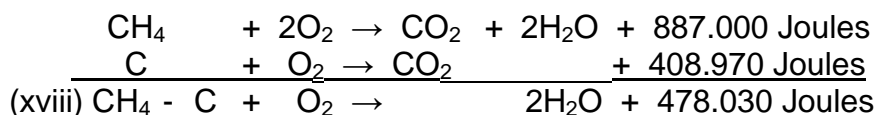


όπου το ύδωρ έχει ψυχθεί σε μια υγρή μορφή στους 25°C.

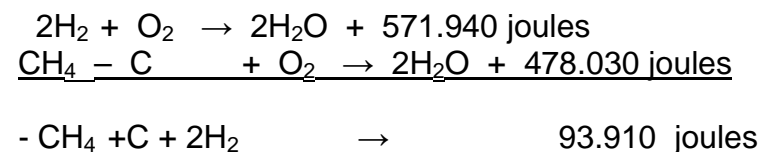
Όπως προηγουμένως συζητήθηκε, η αντίδραση ενός mole άμορφου άνθρακα με ένα mole του οξυγόνου παράγει διοξείδιο του άνθρακα και θερμότητα με τον ακόλουθο τρόπο:



Τώρα, εφαρμόζοντας το νόμο του Hess, εάν η εξίσωση (xv) αφαιρείται από την εξίσωση (i), κατόπιν το ακόλουθο λαμβάνεται :



Εάν η εξίσωση (xviii) αφαιρείται τώρα από την εξίσωση (xvii), το εξής λαμβάνεται:



Ρυθμίζοντας εκ νέου τους όρους, τα ανωτέρω γίνονται:



Η ανωτέρω εξίσωση, που παράγεται από τις εξισώσεις (i), (xv) και (xvii), δείχνει ότι η θερμότητα του σχηματισμού του μεθανίου που γίνεται από έναν mole άμορφου άνθρακα και 2 mole του διατομικού υδρογόνου είναι 93.910 joules ανά γραμμομόριο του μεθανίου. Ένας έλεγχος με την πειραματικά καθορισμένη πληροφορία στα κείμενα αναφοράς επιβεβαιώνει ότι η θερμότητα σχηματισμού για το μεθάνιο από τον άμορφο άνθρακα είναι πράγματι 93.910 joules.

Όταν ο νόμος Hess εφαρμόζεται για να καθορίσει απλά τη θερμότητα σχηματισμού για μια ιδιαίτερη ουσία, μπορεί να απλοποιηθεί στα εξής: η θερμότητα του σχηματισμού

μιας ουσίας είναι ίση με τη θερμότητα της καύσης της ουσίας λιγότερη από το ποσό των θερμότητων σχηματισμού των προϊόντων της καύσης εκείνης της ουσίας. Αλγεβρικά, αυτό εκφράζεται από τα εξής:

$$(xx) Q_f = Q_c - \Sigma(P_f)$$

όπου: Q_f = θερμότητα του σχηματισμού της ουσίας,

Q_c = θερμότητα της καύσης της ίδιας ουσίας, και

P_f = θερμότητα του σχηματισμού των μεμονωμένων προϊόντων της καύσης της ουσίας.

H. Καύση του Ξύλου

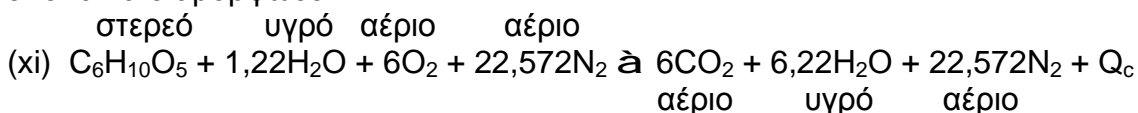
Από την ανάλυση της πρώτης ύλης, το ξύλο έχει την ακόλουθη στοιχειώδη σύνθεση:

υδρογόνο	8%
άνθρακας	38%
οξυγόνο	54%

Επίσης είναι γνωστό ότι το αποξηραμένο σε κλίβανο ξύλο έχει χαρακτηριστικά μια περιεκτικότητα σε ύδωρ 12% κατά βάρος.

Στο βασικό στοιχειώδες περιεχόμενο, η ανωτέρω ανάλυση της περιεχόμενης πρώτης ύλης και υγρασίας για το ξύλο ταιριάζει πολύ με τον εμπειρικό τύπο για την κυτταρίνη που αναμιγνύεται με νερό 12% κατά βάρος, ο οποίος είναι $C_6H_{10}O_5 + (1,22)H_2O$. Σαν παραλειπόμενα, ο εμπειρικός τύπος για την κυτταρίνη είναι επίσης το ίδιο όπως για τα φυτά το άμυλο και τα σάκχαρα, δύο άλλα σημαντικά συστατικά των δέντρων και των φυτών.

Βασισμένος στα ανωτέρω, ένας στοιχειομετρικός τύπος για την καύση του ξύλου μπορεί έπειτα να διαμορφωθεί:



όπου: Q_c = η θερμότητα καύσης.

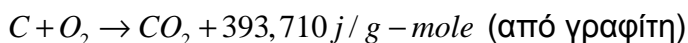
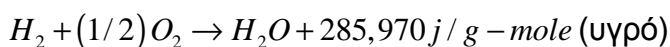
Δεδομένου ότι το χημικό πρότυπό μας για το ξύλο είναι οι πρώτοι δύο όροι στην αριστερή πλευρά της εξίσωσης (xii), κατόπιν το μοριακό βάρος ενός mole του κατάξερου ξύλου είναι 162. Για το ξύλο με μια περιεκτικότητα σε υγρασία 12%, το μοριακό βάρος είναι 184. Από την εξίσωση (xii), φαίνεται ότι περίπου 4,48 χιλιόγραμμα ή 3.479 λίτρα του αέρα απαιτούνται για να καεί κάθε χιλιόγραμμο του ξύλου υγρασίας 12%.

Η επιθεώρηση της εξίσωσης (xii) επίσης διαπιστώνει ότι εάν ο υδρατμός που περιλαμβάνεται στα προϊόντα παρέχεται για να συμπυκνώσει, ο όγκος των προϊόντων των αερίων είναι ο ίδιος με τον όγκο των αερίων των αντιδραστηρίων.

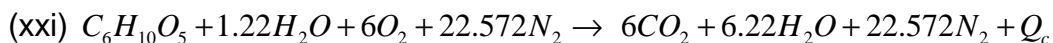
Τα διάφορα κείμενα αναφοράς δείχνουν ότι η θερμότητα της καύσης για ξύλο με μια περιεκτικότητα σε υγρασία 12% κατά βάρος είναι περίπου 4,28 kcal/g. Αυτός ο αριθμός περιλαμβάνει την ανάκτηση της θερμότητας που χρησιμοποιήθηκε στη μετατροπή του υγρού ύδατος σε ατμό και το κάψιμο του ξύλου όσο το δυνατόν πιο πολύ. Αυτό

μετατρέπεται σε 17.916 j/g. Εάν το κατάξερο ξύλο θεωρείται ότι έχει μοριακό βάρος 162, τότε η θερμότητα της καύσης είναι περίπου 2.902.400 joule ανά g κατάξερου ξύλου.

Οι θερμότητες σχηματισμού των προϊόντων της καύσης του ξύλου είναι ως ακολούθως:



Από τα παραπάνω, μια ενεργειακή ισορροπία μπορεί να γίνει για να καθορίσει το σχηματισμό του ξύλου από μόνο του.



$$\text{όπου } 6.22H_2O - 1.22H_2O = 5(285,970 \text{ j})$$

$$6CO_2 = 6(393,710 \text{ j})$$

$$22.572N_2 - 22.572N_2 = 0$$

$$6O_2 = 0$$

$$Q_c = 2,902,400 \text{ j/g - mole}$$

$$C_6H_{10}O_5 = Q_f$$

Στην εξίσωση (xxi), το (1.22)H₂O στην αριστερή πλευρά εξουδετερώνει το ίδιο ποσό νερού στη δεξιά πλευρά. Το διατομικό άζωτο, το οποίο υποτέθηκε ότι είναι αδρανές, ισορροπείται επίσης από την εξίσωση. Εντούτοις, οι θερμότητες σχηματισμού για το διατομικό υδρογόνο, το οξυγόνο, και το άζωτο είναι μηδέν σε κάθε περίπτωση, επειδή είναι τα ίδια τα συνιστώμενα κομμάτια σε 1 ατμόσφαιρα και 25°C. Με άλλα λόγια, σε 1 ατμόσφαιρα και 25°C, το διατομικό οξυγόνο, το υδρογόνο και το άζωτο είναι στη χαμηλότερη εμφανιζόμενη χημικά ενεργειακή έκφρασή τους.

Εφαρμόζοντας το νόμο του Hess υπό την μορφή της εξίσωσης (xx) στους ενεργειακούς τύπους που απαριθμούνται κάτω από την εξίσωση (xxi) παραπάνω και αντικαθιστώντας τις κατάλληλες θερμότητες σχηματισμού και καύσης, τα εξής λαμβάνονται για τη θερμότητα σχηματισμού του ξύλου :

$$(xxii) Q_f = 2,902,400 \text{ j} - [6(393,710 \text{ j}) + 5(285,970 \text{ j})]$$

$$Q_f = -889,700 \text{ j/g-mole} = -212,600 \text{ cal/g-mole} = -1,312 \text{ cal/g} = -5,492 \text{ j/g}$$

για ένα κατά βάση κατάξερο ξύλο.

Τα αποτελέσματα της εξίσωσης (XXII) δείχνουν ότι ο σχηματισμός του ξύλου είναι ενδοθερμικός, η ενέργεια πρέπει να παρασχεθεί για να σχηματίσει το ξύλο από τις βασικές δομικές μονάδες του τον άνθρακα, το υδρογόνο και το οξυγόνο. Όταν ένα γραμμάριο ξύλου σχηματίζεται, περίπου 5.492 Joules θερμότητας παρέχονται στη διαδικασία. Με άλλα λόγια, το ξύλο δεν σχηματίζεται μόνο του με φυσικό τρόπο ακριβώς επειδή οι πρώτες ύλες είναι κοντά.

Φυσικά, αυτό ισχύει για κάθε βιολογικά διαμορφωμένο υλικό. Όπως σημειώθηκε προηγουμένως, η διάκριση μεταξύ των αντιδράσεων που προχωρούν φυσικά λόγω της εξωθερμικής φύσης τους και των αντιδράσεων που μπορούν να προχωρήσουν μόνο όταν τους παρέχεται ενέργεια λόγω της ενδοθερμικής φύσης τους, είναι πολύ σημαντική στην ανάλυση σκηνών πυρκαγιών.

Δεδομένου ότι ο τύπος της πολυμερούς μονάδας για την κυτταρίνη είναι επίσης ο ίδιος τύπος πολυμερούς μονάδας για το άμυλο, η θερμότητα της καύσης για το άμυλο μπορεί να σχηματίσει έναν μάλλον θεωρητικό έλεγχο του μοντέλου κυτταρίνης του ξύλου μας.

Όπως σημειώνεται στα χημικά κείμενα αναφοράς, η θερμότητα της καύσης του αμύλου είναι 4.179 kcal/kg. Μετατρέποντας τις μονάδες και υποθέτοντας πάλι ένα μοριακό βάρος 162, αυτό δίνει μια θερμότητα καύσης για το άμυλο περίπου του 2.834.000 J/g-mole. Δεδομένου ότι η θερμότητα της καύσης για το κατάξερο ξύλο που χρησιμοποιήθηκε στο παράδειγμά μας ήταν 2.902.400 J/g-mole, έπειτα η θερμότητα της καύσης του αμύλου του φυτού ποικίλλει μόνο 2,4% από τη θερμότητα της καύσης του ξύλου που χρησιμοποιείται στο απλό πρότυπό μας. Φαίνεται έπειτα ότι η χρησιμοποίηση κυτταρίνης ή άμυλο φυτού ως πρότυπο για τις εξισώσεις καύσης του ξύλου είναι πολύ λογική.

Η προηγούμενη ανάλυση της καύσης του ξύλου είναι πολύ σημαντική στην κατανόηση των κοινών πυρκαγιών. Χρησιμοποιείται στα περισσότερα είδη ξύλινων προϊόντων όπως κοντραπλακέ, σκεπές, και εφαρμόζεται επίσης για ένα πλήθος ξύλο-παραγόμενων προϊόντων όπως το έγγραφο, το χαρτόνι και ακόμη μερικοί τύποι πλαστικών.

Περαιτέρω, δεδομένου ότι τα αρχικά συστατικά της καύσης του ξύλου είναι η κυτταρίνη, το άμυλο των φυτών και τα σάκχαρα των φυτών, τα οποία έχουν την ίδια ή πολύ παρόμοια στοιχειώδη σύνθεση, η ανάλυση της καύσης του ξύλου ισχύει επίσης εξίσου καλά για τα βαμβακερά υφάσματα, τα παραγόμενα από το λινάρι υφάσματα, τα παραγόμενα από αγαύη υφάσματα, δημητριακά, ορισμένα πλαστικά και άλλα παρόμοια προϊόντα που παράγονται από την ίνα και το άμυλο φυτών.

Επιπλέον, δεδομένου ότι το άμυλο των φυτών είναι ίδιο στον εμπειρικό τύπο του με το ζωικό άμυλο, γλυκογόνο, εφαρμόζεται επίσης για τα προϊόντα και τα στοιχεία που περιέχουν τα σημαντικά ποσά γλυκογόνου και γλυκογονούχα συστατικά.

Ενώ έχει μια μικρή άμεση σχέση επάνω στη διάγνωση των πυρκαγιών, είναι ενδιαφέρον να σημειωθούν οι ομοιότητες μεταξύ της χημείας των φυτών και της ζωικής χημείας. Ο ενδιαφερόμενος μελετητής μπορεί να επιθυμήσει να ελέγξει τις ομοιότητες της δομής του Heme (συστατικό της αιμογλοβίνης) και της χλωροφύλλης.

Θ. Αλλαγή Φάσης

Όταν το ύδωρ θερμαίνεται στην ατμοσφαιρική πίεση από ας πούμε τους 15°C έως ότου διαμορφώσει ατμό, για κάθε 4,186 joules της θερμότητας που προστίθεται σε ένα γραμμάριο ύδατος, η θερμοκρασία ύδατος θα αυξηθεί περίπου 1°C. Επειδή η θερμοκρασία του ύδατος αυξάνεται αναλογικά προς την προστιθέμενη θερμότητα, αυτό αναφέρεται μερικές φορές ως περιοχή αισθητής θερμότητας του ύδατος.

Αυτό ισχύει μέχρι το σημείο βρασμού, 100°C, να επιτευχθεί. Έπειτα από αυτό, η προσθήκη περισσότερης θερμότητας δεν αναγκάζει τη θερμοκρασία να αυξηθεί περαιτέρω, αλλά η θερμοκρασία μένει η ίδια μέχρι όλο το ύδωρ να ατμοποιηθεί, αλλά η πρόσθετη θερμότητα καταναλώνεται από τη διαδικασία της μετατροπής του υγρού ύδωρ σε ατμό.

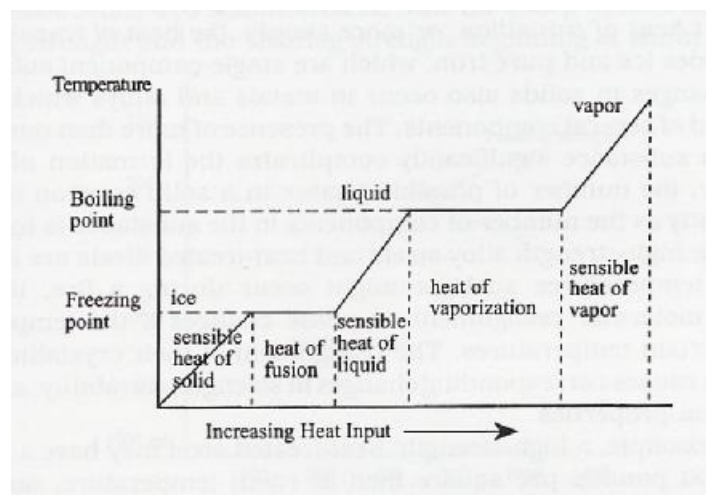
Επειδή η προσθήκη της θερμότητας σε αυτό το σημείο δεν προκαλεί μια αντίστοιχη αύξηση στη θερμοκρασία, αυτό αναφέρεται μερικές φορές ως περιοχή λανθάνουσας θερμότητας του ύδατος. Καλείται λανθάνον επειδή η θερμότητα που τίθεται στο ύδωρ είναι "κρυμμένη", δηλαδή, δεν φανερώνεται από μια αύξηση θερμοκρασίας.

Το ποσό θερμότητας που απαιτείται για να ολοκληρώσει την αλλαγή της φάσης από υγρό σε ατμό καλείται λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης, ή απλούστερα η θερμότητα της εξάτμισης. Η θερμότητα της εξάτμισης του ύδατος στο σημείο βρασμού και πίεσης μιας ατμόσφαιρας είναι 2.259 joules ανά γραμμάριο, ή περίπου 40.654 joules ανά g-mole.

Όταν όλο το υγρό ύδωρ μετατραπεί σε ατμό, κατόπιν η θερμοκρασία του ατμού θα αυξηθεί πάλι αναλογικά προς την προστιθέμενη θερμότητα. Αυτό είναι η περιοχή αισθητής θερμότητας του υδρατμού.

Μια παρόμοια επίδραση εμφανίζεται όταν σταθεροποιεί το ύδωρ ή παγώσει. Δεδομένου ότι το νερό ψύχεται από τους 15°C, για κάθε βαθμό Κέλσιου της πτώσης της θερμοκρασίας 4.186 joules θερμότητας πρέπει να εξαχθούν από κάθε γραμμάριο ύδατος. Αυτό ισχύει έως ότου φθάσουμε στους 0°C σε εκείνη την θερμοκρασία, η εξαγωγή περισσότερης θερμότητας από το νερό δεν αναγκάζει τη θερμοκρασία να πέσει άλλο αλλά αντί αυτού, η θερμοκρασία παραμένει η ίδια μέχρι να παγώσει όλο το νερό. Όταν όλο το νερό παγώσει, τότε η εξαγωγή περισσότερης θερμότητας θα αναγκάσει τη θερμοκρασία του πάγου να μειωθεί πάλι αναλογικά προς την αποσπώμενη θερμότητα.

Στο σχήμα 2.1 πιο κάτω είναι μια εξιδανικευμένη γραφική παράσταση για μια ουσία ενός συστατικού που παρουσιάζει αυτά τα αποτελέσματα αλλαγής φάσης. Ο κάθετος άξονας είναι η θερμοκρασία και ο οριζόντιος άξονας είναι η θερμότητα. Σημειώστε ότι στις αισθητές περιοχές η θερμοκρασία αυξάνεται γραμμικά όπως η θερμότητα προστίθεται ή αντίστροφα. Στις λανθάνουσες περιοχές θερμότητας η θερμοκρασία μένει επίπεδη όπως η θερμότητα προστίθεται και συνεχίζει έτσι έως ότου η αλλαγή φάσης ολοκληρωθεί.



Εικόνα 2.1: Διάγραμμα αλλαγής φάσης για ένα μόνο στοιχείο

Οι αλλαγές φάσης σε μια ουσία εμφανίζονται όχι μόνο μεταξύ των προφανώς διαφορετικών μορφών φάσεων, όπως το στερεό στο υγρό, ή του υγρού στο αέριο, αλλά μπορούν επίσης να εμφανιστούν μεταξύ των διαφορετικών τύπων στερεών της ίδιας ουσίας. Αυτό που εμφανίζεται σε τέτοιες στερεές αλλαγές φάσης λύσης είναι ότι η μοριακή δομή του στερεού αλλάζει από μια κρυστάλλινη μορφή σε άλλη.

Ο πάγος, παραδείγματος χάριν, έχει εννέα ξεχωριστές μοριακές διευθετήσεις ή φάσεις σε στερεά κατάσταση οι περισσότερες από τις οποίες είναι δυσδιάκριτες μεταξύ τους από το ανθρώπινο μάτι. Εντούτοις, είναι χαρακτηριστικό για τις διαφορετικές στερεές φάσεις μιας ουσίας να υπάρχουν οι διαφορετικές αναλογίες της εισαγωγής θερμότητας στην άνοδο της θερμοκρασίας και επίσης να υπάρχουν μετρήσιμες διαφορετικές φυσικές ιδιότητες.

Ο καθαρός σίδηρος υποβάλλεται σε τρεις αλλαγές φάσης όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του επάνω από τη θερμοκρασία δωματίου. Στη θερμοκρασία δωματίου και μέχρι τους 910°C, ο σίδηρος είναι στη φάση αποκαλούμενη άλφα-σίδηρο. Τα μόριά του τακτοποιούνται σε αυτό που καλείται χωροκεντρικό κυβικό σύστημα. Εν συντομία, ένα χωροκεντρικό κυβικό κρύσταλλο μοιάζει με ένα κιβώτιο με ένα μόριο σε κάθε γωνία του κιβωτίου συν ένα μόριο στο κέντρο του κιβωτίου.

Από τους 910°C στους 1.391°C, ο σίδηρος είναι γάμμα-σιδήρου φάση, η οποία είναι μια πρόσωπο-κεντροθετημένη κυβική κρυστάλλινη διαμόρφωση. Πρόσωπο-κεντροθετημένο κυβικό είναι ένα κιβώτιο με ένα μόριο σε κάθε γωνία και επίσης ένα μόριο που κεντροθετείται σε κάθε πρόσωπο του κιβωτίου. Από τους 1.391°C στους 1.539°C, ο σίδηρος είναι στη φάση του δέλτα-σιδήρου, όπου επανέρχεται σε μια χώρο-κεντροθετημένη κυβική κρυστάλλινη διαμόρφωση. Επάνω από τους 1.539°C, ο καθαρός σίδηρος λειώνει, η οποία είναι η αρχή της υγρής φάσης.

Όπως πριν, όταν εμφανίζεται μια αλλαγή φάσης σε μια στερεά ουσία, συνοδεύεται από μια περιοχή απορρόφησης λανθάνουσας θερμότητας, όπου μια εισαγωγή θερμότητας δεν προκαλεί μια αντίστοιχη αλλαγή στη θερμοκρασία της ουσίας. Όταν η αλλαγή στη φάση είναι από μια στερεά κρυστάλλινη δομή σε άλλη, η λανθάνουσα θερμότητα που απαιτείται για να ολοκληρώσει την αλλαγή καλείται λανθάνουσα θερμότητα της μετάβασης, ή απλούστερα, θερμότητα της μετάβασης.

Εκτός από τον πάγο και τον καθαρό σίδηρο, που είναι ουσίες ενός συστατικού, η αλλαγή φάσεων στα στερεά εμφανίζεται επίσης στα μέταλλα και τα κράματα που μπορεί να αποτελούνται από διάφορα συστατικά. Η παρουσία περισσότερων του ενός συστατικών σε μια ουσία περιπλέκει σημαντικά το σχηματισμό των φάσεων. Γενικά, ο αριθμός πιθανών φάσεων σε μια στερεά μορφή αυξάνεται σημαντικά όπως αυξάνει ο αριθμός των συστατικών στην ουσία.

Όταν τα υψηλής αντοχής κράματα χάλυβα και οι σε υψηλή θερμοκρασία χάλυβες θερμαίνονται στις ανυψωμένες θερμοκρασίες τέτοιες που μπορεί να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς, μπορεί να υποβληθούν σε μοριακές αλλαγές επανοργάνωσης ή αλλαγές φάσης εάν οι θερμοκρασίες υπερβαίνουν ορισμένες θερμοκρασίες. Η επανοργάνωση της κρυστάλλινης δομής τους προκαλεί συχνά τις αντίστοιχες αλλαγές στη δύναμη, τη διάρκεια και άλλες μηχανικές ιδιότητες.

Παραδείγματος χάριν, ένας υψηλής αντοχής, σε υψηλές θερμοκρασίες χάλυβας μπορεί να έχει μια δύναμη 185.000 λιβρών ανά τετραγωνική ίντσα στη θερμοκρασία δωματίου και μέχρι για 600°F η δύναμή του μπορεί να μην πέσει σημαντικά. Στην πραγματικότητα, για διάφορους λόγους, η δύναμη μπορεί πραγματικά να αυξηθεί ελαφρώς. Εντούτοις, στους 800°F ή παραπάνω, ενώ ο χάλυβας δεν λειώνει, υποβάλλεται "στη μετρίαση" και χάνει τη σημαντικές δύναμη και την ακαμψία. Η μετρίαση είναι ένας τύπος αλλαγής φάσης όπου η εσωτερική κρυστάλλινη δομή αναδιαμορφώνεται εκ νέου.

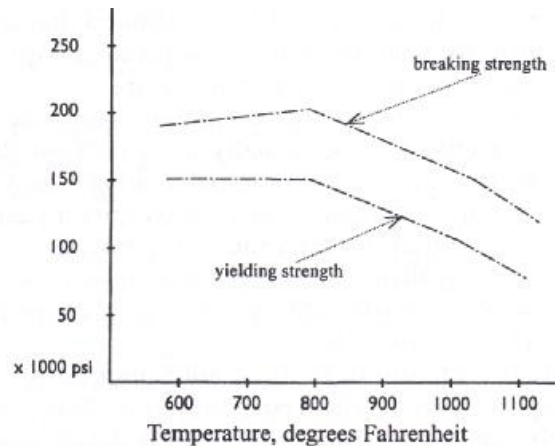
Η μετρίαση δεν είναι ανιχνεύσιμη από την απλή οπτική επιθεώρηση, αλλά μπορεί να ανιχνευθεί στο πεδίο με την χρήση των ελεγκτών σκληρότητας μετάλλων και στο εργαστήριο από διάφορες τεχνικές, συμπεριλαμβανομένης της εξέτασης των ειδικά προετοιμασμένων δειγμάτων κάτω από ένα μικροσκόπιο. Οι ελεγκτές σκληρότητας ελέγχουν πραγματικά τη σκληρότητα του μετάλλου με το χτύπημα αυτού με μικροσκοπικό διαμάντι-αιχμής σαν βελόνα. Το βάθος της διείσδυσης ανά ασκούμενη δύναμη της βελονοειδούς άκρης παρέχει μια ένδειξη της σκληρότητας και της δύναμης του χάλυβα.

Ο υψηλής αντοχής χάλυβας κραμάτων που έχει μετριάσει πλήρως λόγω της έκθεσης σε μια έντονη πυρκαγιά είναι μαλακός και σχετικά αδύνατος σε σύγκριση με τον αρχικό, σε συνθήκες πλήρως υψηλών θερμοκρασιών. Περαιτέρω, η αφαίρεση της πηγής θερμοκρασίας δεν αντιστρέφει τη μετρίαση. Μόλις μετριάσει, το μέταλλο μένει μετριάσμενο η διαδικασία δεν είναι εύκολα αντιστρέψιμη.

Κατά συνέπεια, ο χάλυβας που θα κρατήσει ψηλά ένα πάτωμα στους 500 °F κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς για ώρες στο τέλος, μπορεί να μην είναι σε θέση να κρατήσει ψηλά το ίδιο πάτωμα σε 800 °F για ακόμη και μια ώρα ή λιγότερο. Γι' αυτό οι κώδικες πυρκαγιάς οικοδόμησης απαιτούν συχνά δομικά τις κολώνες στήριξης από ασάλι και τα δοκάρια να τυλιχτούν από σανίδα γύψου ή άλλα υλικά παρακώλυσης της πυρκαγιάς, αυτό επιβραδύνει την πυρκαγιά να πάει στις υποστηρίξεις και τις κρατά κρύες για ένα μεγαλύτερο χρόνο και δίνει στους ανθρώπους περισσότερο χρόνο να βγουν από ένα καιγόμενο κτίριο προτού να καταρρεύσει.

Μερικές φορές το ποσό μετρίασης που έχει εμφανιστεί σε έναν υψηλής αντοχής χάλυβα κραμάτων το καθιστά δυνατό να συμπεράνει την αφαίρεση της θερμοκρασίας που εμφανίστηκε σε εκείνη την περιοχή. Αυτό είναι επειδή το ποσό μετρίασης είναι μια λειτουργία και της θερμοκρασίας και του χρόνου.

Το σχήμα 2.3 παρουσιάζει τη δύναμη συναρτήσεως της μετριάζουσας θερμοκρασίας μιας ικανής προς χρήση θερμότητας, AISI 410 ανοξειδωτός χάλυβας. Σημειώστε την απότομη πτώση και στη δύναμη θραύσεως και στον παράγοντα της δύναμης που ξεκινά στους 800 °F.



Σχήμα 2.2: Δύναμη ως προς τη θερμοκρασία του θερμικά επεξεργασμένου ανοξειδωτού χάλυβα 410

I. Θερμοχωρητικότητα, Ενθαλπία και Εσωτερική Ενέργεια

Εκτός από τη θερμότητα που συνδέεται με τις διαδικασίες αντιδράσεων και καύσης, ένα υλικό περιέχει επίσης ένα ορισμένο ποσό θερμότητας σαν συνέπεια της μάζας του και της θερμοκρασίας του. Παραδείγματος χάριν, ένας πλίνθος στη θερμοκρασία δωματίου έχει προφανώς τη λιγότερη θερμότητα σε αυτό από ένα πλίνθο που έχει ψηθεί σε έναν κλίβανο σε 400 °F για μια ώρα ή δύο. Επίσης, καθένας που έχει βράσει νερό ξέρει από την εμπειρία του ότι παίρνει περισσότερη θερμότητα να θερμάνεις δύο lt ύδατος σε ένα μεγάλο δοχείο από ότι ένα φλιτζάνι ύδατος σε βαθύ τηγάνι.

Το ποσό θερμότητας που μπορεί να κρατήσει μια ουσία σαν αποτέλεσμα της μάζας και της θερμοκρασίας του καλείται θερμοχωρητικότητα. Γενικά, εάν ξέρουμε πόση μάζα μιας ουσίας υπάρχει και σε ποια θερμοκρασία είναι, τότε το ποσό θερμότητας που περιέχει μπορεί να υπολογιστεί από μια απλή αλγεβρική έκφραση ή να διαβαστεί από έναν πίνακα. Χαρακτηριστικά, η αλγεβρική έκφραση για να υπολογίσει το ποσό θερμότητας που η ουσία περιέχει εφαρμόζεται στις περιοχές αισθητής θερμότητας της ουσίας, όπου η προσθήκη ή η εξαγωγή της θερμότητας προκαλεί μια ομαλή, αναλογικά αλλαγή στη θερμοκρασία της ουσίας.

Η μέτρηση του ακριβούς ποσού θερμότητας που μια ουσία περιέχει μπορεί να είναι κάπως αυθαίρετη ή σχετική. Στο παράδειγμά μας που χρησιμοποιεί τους πλίνθους, εάν ένα πρόσωπο προσπαθήσει να κρατήσει το ψημένο τούβλο χωρίς προστατευτικά μαξιλάρια θερμότητας είναι προφανές το ψημένο τούβλο περιέχει περισσότερη θερμότητα από αυτό στη θερμοκρασία δωματίου. Η διαφορά είναι απλά η θερμότητα που προστίθεται στο τούβλο από τον κλίβανο για να το κάνει πιο θερμό από αυτό στη θερμοκρασία δωματίου.

Εάν ένα παρόμοιο τούβλο ήταν τοποθετημένο σε ένα ψυγείο, θα ήταν επίσης προφανές ότι ένας που είχε μπει στο ψυγείο έχει λιγότερη ενέργεια θερμότητας από ακόμη το ένα στη θερμοκρασία δωματίου, ή το ένα που είχε ψηθεί στον κλίβανο. Στην πραγματικότητα, μπορεί να ειπωθεί ότι το τούβλο στο ψυγείο έχει αρνητική θερμότητα,

δεδομένου ότι θα αρχίσει να απορροφά θερμότητα από το περιβάλλον καθώς θερμαίνεται στη θερμοκρασία δωματίου.

Για αυτούς τους λόγους, η ενέργεια θερμότητας μετριέται συνήθως από κάποια κατάλληλη θερμοκρασία αναφοράς, συνήθως 0°C , 15°C ή 25°C . Χρησιμοποιώντας μια τέτοια αναφορά θερμοκρασίας, τι μετριέται πραγματικά είναι η διαφορά στο περιεχόμενο θερμότητας της ουσίας στην τρέχουσα θερμοκρασία της σε σύγκριση με αυτό στη θερμοκρασία αναφοράς.

Εντούτοις, εάν ένα πρόσωπο που επιθυμούσε, η θερμότητα που περιλήφθηκε σε μια ουσία σε οποιαδήποτε θερμοκρασία θα μπορούσε να μετρηθεί έναντι του ποσού που θα περιείχε στο απόλυτο μηδέν, -273.15°C or 0°K .

Εξ ορισμού, το ποσό ενέργειας που μια ουσία περιέχει στο απόλυτο μηδέν είναι είτε μηδέν, είτε λιγότερο του θεωρητικού ποσού. Κατά συνέπεια, η χρησιμοποίηση του απόλυτου μηδενός σαν θερμοκρασία αναφοράς θα πληροφορούσε ένα πρόσωπο για το απόλυτο ποσό ενέργειας θερμότητας που περιέχει μια ουσία παρά ένα σχετικό ποσό. Οι άνθρωποι που απασχολούνται στην κρυογεννητική, στη μελέτη μιας πραγματικά κρύας ουσίας, χρησιμοποιούν τακτικά το απόλυτο μηδέν ως σημείο αναφοράς τους για τις μετρήσεις θερμοχωρητικότητας.

Δεδομένου ότι το νερό και ο αέρας είναι κοινά υλικά, η θερμοχωρητικότητα μιας ουσίας συγκρίνεται συχνά με το νερό ή τον αέρα σε τυποποιημένες συνθήκες. Η αναλογία της θερμοχωρητικότητας μιας ουσίας συγκρινόμενης με το νερό ή τον αέρα καλείται η ειδική θερμότητά του. Γενικά, οι ειδικές θερμότητες των στερεών και των υγρών μετριούνται έναντι του νερού. Οι ειδικές θερμότητες των αερίων επίσης συνήθως μετριούνται έναντι του νερού, αλλά περιστασιακά μετριούνται έναντι του αέρα στις τυποποιημένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Κατά τη χρησιμοποίηση τιμών των ειδικών θερμοτήτων για τα αέρια από τον πίνακα κειμένου αναφοράς, να είστε βέβαιοι να ελέγξετε εάν τα αέρια συγκρίνονται με το νερό ή τον αέρα.

Παραδείγματος χάριν η θερμοχωρητικότητα του νερού ως υγρό στη θερμοκρασία δωματίου είναι γενικά $4,186 \text{ joules ανά } ^{\circ}\text{C ανά γραμμάριο ύδατος}$, ή

$$C_{\text{νερού}} = (4,186 \text{ j})/(^{\circ}\text{Cg})$$

Η θερμοχωρητικότητα του χαλκού στη θερμοκρασία δωματίου είναι:

$$C_{\text{χαλκού}} = (0,386 \text{ j}) / (^{\circ}\text{Cg})$$

Κατά συνέπεια, η ειδική θερμότητα του χαλκού όσον αφορά το ύδωρ είναι:

$$0,386/4,186 = 0,0921$$

Το πλεονέκτημα της κατάταξης σε λίστα των ειδικών θερμοτήτων αντί των θερμοχωρητικοτήτων είναι ότι ο αριθμός αυτός είναι μια αδιάστατη αναλογία, έγκυρη για κάθε ζεύγος σύμφωνων μονάδων. Παραδείγματος χάριν, δεδομένου ότι η συγκεκριμένη θερμότητα του χαλκού από το ανωτέρω παράδειγμα είναι $0,0921$ και είναι γνωστό ότι το νερό στο αγγλικό σύστημα των μονάδων έχει μια θερμοχωρητικότητα $1 \text{ BTU ανά λίβρα του ύδατος ανά βαθμό Fahrenheit}$, κατόπιν η θερμοχωρητικότητα του χαλκού στις αγγλικές μονάδες είναι:

$$C_{\text{χαλκού}} = 0,0921 \text{ BTU/lb } ^{\circ}\text{F}$$

Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι υπάρχουν δύο είδη θερμοχωρητικότητας: ο πρώτος είναι η θερμοχωρητικότητα μιας ουσίας που μετριέται υπό σταθερό όγκο αυτό συμβολίζεται συνήθως με C_v . Ο δεύτερος είναι η θερμοχωρητικότητα μιας ουσίας που

μετρίεται υπό σταθερή πίεση, συνήθως ατμοσφαιρική πίεση αυτή συμβολίζεται με C_p .

Όταν η ενέργεια προστίθεται σε ένα αέριο υπό σταθερή πίεση, όχι μόνο η μάζα του αερίου θερμαίνεται που οφείλεται στην αύξηση θερμοκρασίας, αλλά το αέριο θα εκτονωθεί επίσης και θα λειτουργεί (βλ. τον ιδανικό νόμο αερίου, στο τμήμα Α). Για να διατηρήσει μια σταθερή πίεση καθώς η θερμοκρασία του αερίου αυξάνεται, ο όγκος πρέπει να γίνει μεγαλύτερος.

Όταν το αέριο θερμαίνεται υπό σταθερό όγκο, η πίεση αυξάνεται μέσα στον όγκο, αλλά καμία μεταβολή δεν γίνεται. Αυτό είναι επειδή χωρίς καμία αύξηση στο μέγεθος ή τον όγκο του χώρου που το περιέχει, η δύναμη δεν έχει εφαρμοστεί μέσω απόστασης. Ο όρος απόστασης είναι μηδέν. Κατά συνέπεια, δεδομένου ότι δεν υπάρχει καμία αλλαγή στον όγκο, δεν έχει γίνει καμία μεταβολή "P-V" όταν προστίθεται η θερμότητα στο σταθερό όγκο.

Για αυτόν τον λόγο, οι τιμές για την C_p είναι μεγαλύτερες από τις τιμές για την C_v . Παίρνει περισσότερη θερμότητα για να αυξηθεί η θερμοκρασία ενός αερίου σε σταθερές συνθήκες πίεσης παρά σε συνθήκες σταθερού όγκου, εξαιτίας της επιπρόσθετης θέρμανσης της μάζας του αερίου, η μεταβολή πρέπει να γίνει στην επέκταση του όγκου της.

Συνήθως, όταν εξετάζεται μόνο η ενέργεια που συνδέεται με τη μάζα, αυτή η παράμετρος καλείται εσωτερική ενέργεια. Η εσωτερική ενέργεια ενός ποσού υλικού εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία του. Όταν η ενέργεια της μάζας και η ενέργεια που συνδέεται με την εργασία που γίνεται στην πρόκληση της επέκτασης ή της συστολής του υλικού εξετάζονται, αυτή η παράμετρος καλείται ενθαλπία. Η ενθαλπία ενός υλικού είναι το ποσό της εσωτερικής ενέργειάς του και της εργασίας που γίνεται από την επέκταση του υλικού υπό σταθερή πίεση.

Η αλλαγή στην θερμοχωρητικότητα μιας ουσίας σε σταθερή πίεση από μια θερμοκρασία αναφοράς δίνεται από τη σχέση :

$$(xxiii) \quad dH = (m)(C_p)(T - T_0)$$

όπου H = η θερμότητα που περιλαμβάνεται στην ουσία στη σταθερή πίεση που περιλαμβάνει έναν όρο έργου (δηλ., η ενθαλπία),

m = μάζα της ουσίας,

C_p = συντελεστής θερμοχωρητικότητας υπό σταθερή πίεση,

T = θερμοκρασία, και

T^0 = θερμοκρασία αναφοράς.

Η αλλαγή στην θερμοχωρητικότητα μιας ουσίας υπό σταθερό όγκο σε μια θερμοκρασία αναφοράς δίνεται έπειτα από τη σχέση :

$$(xxiv) \quad dU = (m)(C_v)(T - T_0)$$

όπου U = η θερμότητα που περιλαμβάνεται στην ουσία υπό σταθερό όγκο (δηλ., η εσωτερική ενέργεια).

Επειδή ο όρος C_p περιλαμβάνει και την εσωτερική ενέργεια της ουσίας και την εργασία που έγινε από την ουσία κατ' επέκταση σε μια σταθερή πίεση, η θερμοχωρητικότητα στη σταθερή πίεση είναι σχετική με την θερμοχωρητικότητα στο σταθερό όγκο ως εξής :

$$(xxv) \quad dH = dU + d(PV)$$

Αν κάνουμε αντικατάσταση στις σχέσεις (xxiii) και (xxiv) στην (xxv) έχουμε τα εξής :

$$(xxvi) \quad (m)(C_p)(T - T_0) = (m)(C_v)(T - T_0) + P(V - V_0)$$

$$(C_p)(T - T_0) = (C_v)(T - T_0) + P(V - V_0)/m$$

$$C_p = C_v + (P)(V - V_0)/(m)(T - T_0)$$

Εάν ο νόμος των ιδανικών αερίων, εξίσωση (v), αντικαθίσταται κατάλληλα στον τελευταίο όρο στα δεξιά της εξίσωσης (xxii) και η εξίσωση τίθεται σε μια βάση gram-mole αντί gram μάζας, κατόπιν η ακόλουθη σχέση σημειώνεται :

$$(xxvii) \quad C_p = C_v + R$$

όπου $R =$ σταθερά ιδανικών αερίων, $8.314 \text{ joules}/(\text{g-mole})(^\circ \text{K})$, και C_p και C_v είναι και τα δύο σε μια βάση gram-mole στις μονάδες του $\text{joule}/(\text{g-mole})(^\circ \text{K})$.

Η ανωτέρω σχέση είναι πολύ χρήσιμη, δεδομένου ότι σημαίνει ότι εάν είτε το C_p είτε το C_v είναι γνωστά, το άλλο μπορεί να παραχθεί εύκολα. Φυσικά, η εξίσωση (xxiii) μπορεί επίσης να τεθεί σε μια βάση μάζας γραμμαρίου. Εντούτοις, σε εκείνη την περίπτωση, η σταθερά αερίου R θα πρέπει να έχει ρυθμιστεί για το ατομικό βάρος του συγκεκριμένου αερίου.

Παραδείγματος χάριν, η τιμή της C_p για το διατομικό οξυγόνο σε μια βάση μάζας γραμμαρίου είναι $0,913 \text{ joules}/(\text{g})(^\circ \text{K})$. Ένα gram-mole του διατομικού οξυγόνου είναι 32 grams. Η σταθερά αερίου ή το R για το οξυγόνο σε μια βάση μάζας γραμμαρίου αντί μιας βάσης gram-mole είναι έπειτα περίπου $0,260 \text{ joules}/(\text{g})(^\circ \text{K})$. Κατά συνέπεια η υπολογισμένη τιμή για το C_v όπως εξάγεται από την τιμή της C_p με τη βοήθεια της σταθεράς των ιδανικών αερίων R σε μια βάση μάζας γραμμαρίου είναι περίπου $0,653 \text{ joules}/(\text{g})(^\circ \text{K})$. Αυτή η υπολογισμένη τιμή έχει ακρίβεια τριών-θέσεων των πειραματικά καθορισμένων τιμών της C_v για το διατομικό οξυγόνο.

Τυπικότερα, οι σχέσεις θερμοχωρητικότητας μπορούν να εκφραστούν από τα ακόλουθα διαφορικά:

$$(xxviii) \quad C_v = [dU/dT]_v$$

$$(xxix) \quad C_p = [dH/dT]_p \quad \text{ή} \quad C_p = [dU/dT]_v + [d(PV)/dT]_p$$

όπου: $dH = dU + d(PV)$, και $[dU/dT]_p = [dU/dT]_v$, επειδή το U δεν είναι λειτουργία του V ή του P .

Οι περισσότερες πυρκαγιές και εκρήξεις πραγματοποιούνται σε μεγάλους χώρους όπου η πίεση είναι σταθερή σε περίπου μια ατμόσφαιρα ή 1013.3 mbar. Θεωρητικά, οι εκρήξεις στις πλήρως περιορισμένες περιοχές θα προχωρήσουν αρχικά υπό συνθήκες σταθερού όγκου μέχρι οι τοίχοι ή οτιδήποτε άλλο ανατιναχθεί. Μετά από αυτό, η αντίδραση θα προχωρήσει υπό σταθερές συνθήκες πίεσης.

Δεδομένου ότι στα περισσότερα κτίρια τα πρώτα υλικά που θα εκραγούν είναι τα παράθυρα που σπάζουν όταν υπερβαίνεται η διαφορά πίεσης περίπου 3.5 έως 7.0 kPa, ολόκληρο το γεγονός θεωρείται ότι έχει εμφανιστεί υπό σταθερή πίεση. Εντούτοις, εάν η έκρηξη εμφανίζεται σε ένα κλειστό υπόγειο ή σε παρόμοιο πλήρως περιορισμένο χώρο όπου τα οικοδομικά υλικά αντέχουν σημαντικά σε δοκιμή ενάντια στην έκρηξη και την συγκράτησή της για ένα χρονικό διάστημα, το τμήμα της αντίδρασης υπό σταθερό όγκο

μπορεί να πρέπει να εξεταστεί με ένα βηματικό τρόπο.

Επειδή οι πυρκαγιές εμφανίζονται σε πιο χαμηλά ποσοστά από τις εκρήξεις, υπάρχει συνήθως αρκετός χρόνος για τον αέρα να εισχωρήσει μέσω του κτιρίου για να διατηρήσει την ατμοσφαιρική πίεση. Οι σημαντικές σταθερές συνθήκες όγκου για μια πυρκαγιά είναι σπάνιοι. Όχι μόνο ο χώρος θα έπρεπε να περιοριστεί, αλλά θα έπρεπε επίσης να είναι αεροστεγής. Κατά συνέπεια, οι πυρκαγιές θεωρούνται συνήθως ότι είναι υπό σταθερή πίεση ακόμα και όταν εμφανίζονται κατά τα φαινόμενα κρατημένες εντός των ορίων των χώρων.

Όσον αφορά τη μεταβολή "P-V", τα στερεά και τα υγρά δεν είναι εύκολα εκτιμητέα εκτεινόμενα ή περιοριζόμενα όταν οι θερμοκρασίες τους αυξάνονται ή πέφτουν, αν υποθεθεί ότι δεν υπάρχει αλλαγή φάσης. Οι τιμές C_p και C_v για τα στερεά και τα υγρά είναι ουσιαστικά οι ίδιες συνήθως με μια ακρίβεια τριών σημαντικών ψηφίων. Κατά συνέπεια, για τα στερεά και τα υγρά συχνά μόνο μια τιμή για την θερμοχωρητικότητα δίνεται στους πίνακες αναφοράς. Όταν αυτό γίνεται, υποτίθεται ότι η τιμή που δίνεται είναι για την C_p . Αυτό συμβαίνει επειδή, εκτός αν είναι αλλιώς δηλωμένη, οι περισσότερες πειραματικά καθορισμένες τιμές για την θερμοχωρητικότητα στο εργαστήριο γίνονται υπό σταθερή πίεση.

Ο πίνακας 5 απαριθμεί μερικές τιμές για την C_p για μερικά κοινά αέρια που περιλαμβάνονται στις αντιδράσεις καύσης.

Πίνακας 5: Τιμές "Cp" για Μερικά Κοινά Αέρια σε Θερμοκρασία Δωματίου

Αέριο	"C _p "
CO ₂	0,833 j/g ⁰ K
H ₂	14,27
CO	1,037
N ₂	1,042
O ₂	0,917
Αέρας	1,005
Ατμός @ 100-200 °C	1,98
CH ₄	2,214
C ₃ H ₈	1,667

Μια ενδιαφέρουσα προσέγγιση σχετικά με την θερμοχωρητικότητα ανακαλύφθηκε το 1819 από τους Messrs. Dulong και Petit. Για στοιχεία με ατομικά βάρη μεγαλύτερα από 35 που είναι στερεά στη θερμοκρασία δωματίου, η θερμοχωρητικότητα μπορεί λογικά να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$(xxx) (26 j)/(^{\circ}K)(g - mole) = (C_p)(AW)$$

Στην ουσία, η εξίσωση (xxx) είναι απλά η μετατροπή της θερμοχωρητικότητας από μια βάση ανά γραμμάριο-μάζας, σε βάση ανά γραμμάριο-mole. Οι Dulong και Petit που ανακάλυψαν ότι για τα στερεά στοιχεία βαρύτερα από ατομικό βάρος 35, η θερμοχωρητικότητα στη βάση gram-mole είναι περίπου σταθερή.

Όπως αναφέρθηκε στο τμήμα A αυτού του κεφαλαίου, όταν μια αντίδραση καύσης προχωρά έτσι ώστε να απελευθερώνει ενέργεια, η ενέργεια είναι σε θέση να διαφύγει στο περιβάλλον, η αντίδραση καλείται ισοθερμική. Εντούτοις, όταν η ενέργεια περιλαμβάνεται πλήρως στο σύστημα, καλείται αδιαβατική. Σε μια αδιαβατική αντίδραση, υποτίθεται ότι καμία ενέργεια, ή τουλάχιστον κανένα σημαντικό ποσό ενέργειας, δεν διαφεύγει στο περιβάλλον.

Ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής, ο νόμος της διατήρησης της ενέργειας, εκφράζεται συνήθως από την ακόλουθη εξίσωση:

$$(xxxix) \quad dU = dQ - dW$$

όπου : U = η εσωτερική ενέργεια,

Q = η θερμότητα παρεχόμενη ή παραχθείσα, και

W = εργασία που γίνεται από το σύστημα στο περιβάλλον που περιβάλλει το σύστημα.

Εξ ορισμού, μια αδιαβατική αντίδραση δεν έχει καμία ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον. Στην εξίσωση (xxxix), αυτό σημαίνει ότι dQ είναι μηδέν. Κατά συνέπεια, μια αδιαβατική αντίδραση είναι απλά:

$$(xxxix) \quad dU + dW = 0$$

Με κατάλληλη αντικατάσταση στην εξίσωση (xxxix) των εξισώσεων σχετικών με την εσωτερική ενέργεια, όπως προηγουμένως σημειώθηκε σε αυτό το τμήμα, οδηγεί στην ακόλουθη έκφραση:

$$(xxxix) \quad nC_v(dT) + P(dV) = 0$$

όπου το C_v και το C_p είναι σε μια βάση gram-mole αντί μάζας.

Εάν ο νόμος των ιδανικών αερίων διαφοροποιείται, τα εξής λαμβάνονται:

$$(xxxix) \quad PdV + VdP = nR(dT)$$

Με εκ νέου ρύθμιση, αυτό γίνεται:

$$(xxxix) \quad P(dV/R) + V(dP/R) = n(dT)$$

Εάν υποθεθεί ότι στην εξίσωση (xxxix) το όριο του δV και δT είναι dV και dT καθώς και τα δT και δV προσεγγίζουν το μηδέν, κατόπιν η εξίσωση (xxxix) μπορεί να αντικατασταθεί στην εξίσωση (xxxix) για να αποβάλλει το $n(dT)$. Αυτό παράγει την ακόλουθη έκφραση:

$$(xxxix) \quad C_v[P(dV) + V(dP)] + R[P(dV)] = 0$$

Από την εξίσωση (xxxix) είναι γνωστό ότι :

$$R = C_p - C_v$$

Η αντικατάσταση αυτού στην εξίσωση (xxxix) οδηγεί στα εξής :

$$(xxxix) \quad C_v[P(dV) + V(dP)] + [C_p - C_v][P(dV)] = 0$$

$$V(dP) + [C_p/C_v][P(dV)] = 0$$

Παίρνοντας το $k = [C_p/C_v]$ η εξίσωση (xxxix) γίνεται :

$$(xxxix) \quad V(dP) + k[P(dV)] = 0$$

Οι μεταβλητές στην εξίσωση (xxxviii) μπορούν να χωριστούν και να ενσωματωθούν για να παράγουν τα εξής:

$$(xxxix) \quad PV_k = C \quad \text{όπου το } C = \text{είναι μια σταθερά}$$

Η ανωτέρω εξίσωση έπειτα χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη σχέση πίεσης-όγκου σε μια αδιαβατική αντίδραση όπου καμία θερμότητα δεν διαφεύγει από το σύστημα. Αυτή η εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει τις σχέσεις πίεσης-όγκου από ένα σύνολο όρων σε έναν άλλο ως εξής:

$$(xl) \quad P_1 V_1^k = P_2 V_2^k = C.$$

Ο χειρισμός της εξίσωσης (xl) δίνει:

$$(xli) \quad P_2 V_2 / P V_1 = (V_1 / V_2)^{k-1} = [P_2 / P_1]^{(k-1)/k}$$

Δεδομένου ότι το PV είναι ανάλογο προς τη θερμοκρασία T, τότε

$$(xlii) \quad T_2 / T_1 = (V_1 / V_2)^{k-1}$$

και

$$(xliii) \quad T_2 / T_1 = [P_2 / P_1]^{(k-1)/k}$$

Για τον αέρα, η τιμή του k είναι 1,403. Για άλλα αέρια, οι τιμές k μπορούν να ληφθούν από τον Πίνακα 5 και την εφαρμογή της εξίσωσης (xxvii).

Στην ανάκληση την αντίδραση καύσης μεθανίου και οξυγόνου που συζητήθηκε στο τμήμα A, η αντίδραση εμφανίστηκε σε ένα κλειστό δοχείο. Εάν είτε το δοχείο ήταν καλά απομονωμένο έτσι ώστε καμία θερμότητα να μην μπορεί να διαφύγει, ή η αντίδραση ήταν να εμφανιστεί κατά τρόπο εκρηκτικό έτσι ώστε να μην υπάρξει χρόνος για τη θερμότητα να διαφύγει από το σύστημα, κατόπιν η εξίσωση (xliii) θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει την εσωτερική πίεση του δοχείου εάν η θερμοκρασία των αερίων αμέσως αφότου εμφανίστηκε η καύση ήταν γνωστή.

Αντιστρόφως, εάν το δοχείο ήταν εξοπλισμένο με έναν μετρητή πίεσης για να διαβάσει τη μέγιστη πίεση που παρήχθη κατά τη διάρκεια της έκρηξης του μεθανίου και του οξυγόνου, η μέγιστη πίεση ανάγνωσης θα μπορούσε να αντικατασταθεί στην εξίσωση (xliii) για να υπολογίσει την αντίστοιχη μέγιστη θερμοκρασία που εμφανίστηκε κατά τη διάρκεια της αντίδρασης. Αυτό μπορεί να είναι ένα χρήσιμο να το κάνουμε δεδομένου ότι οι μετρητές πίεσης ανταποκρίνονται συχνά στις γρήγορες αλλαγές παρά στις συστηματικές έρευνες θερμοκρασίας.

Η εξίσωση (xl) και οι άλλες που προκύπτουν από αυτή εξηγούν γιατί η άνοδος πίεσης σε μια έκρηξη είναι τόσο πολύ μεγαλύτερη από ότι εάν το ίδιο ποσό ενέργειας θερμότητας ελευθερωθεί σε μια αργή πυρκαγιά. Σε μια έκρηξη, η διαδικασία καύσης είναι τόσο γρήγορη που η αντίδραση είναι αδιαβατική. Λόγω αυτού, η σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας και της πίεσης είναι μη γραμμική. Εντούτοις, σε μια αργή πυρκαγιά, η αντίδραση είναι αρκετά αργή ώστε να επιτρέψει την πλήρη μεταφορά της θερμότητας στο περιβάλλον. Η αντίδραση είναι ισόθερμη και η σχέση της θερμοκρασίας και της πίεσης είναι γραμμική σύμφωνα με τον νόμο των ιδανικών αερίων.

Η εξίσωση (xxxix), η εξίσωση για τη διατήρηση της ενέργειας, μπορεί επίσης να εφαρμοστεί για να δείξουν γιατί ο νόμος των ιδανικών αερίων ισχύει για την περίπτωση των ισόθερμων διαδικασιών. Σε μια ισόθερμη διαδικασία, εξ ορισμού η εσωτερική ενέργεια μένει η ίδια. Κατά συνέπεια, η εξίσωση (xxxix) γίνεται:

$$(xlv) \quad 0 = dQ - dW \quad \text{ή} \quad dQ + dW = 0$$

Αν $\delta W = P(\delta V)$ και εφόσον $PV = nRT$, τότε

$$(xlv) \quad dW = P(dV) = (nRT/V)(dV) = P[-nRT(dP)/(P^2)]$$

Η ολοκλήρωση της ανωτέρω εξίσωσης δίνει τα εξής:

$$(xlv) \quad W = nRT[\ln(V_2/V_1)] = nRT[\ln(P_1/P_2)] = -Q$$

$$(xlvii) \quad V_2/V_1 = P_1/P_2 \quad \text{ή} \quad P_1V_1 = P_2V_2$$

η οποία είναι μια έκδοση του νόμου ιδανικών αερίων.

Κ. Θερμότητα καύσης

Στα περισσότερα κείμενα αναφοράς, η θερμότητα της καύσης ενός καυσίμου δίνεται είτε ως η υψηλότερη αξία θέρμανσης, HHV, είτε χαμηλότερη αξία θέρμανσης, LHV. Η HHV υποθέτει ότι τα προϊόντα της καύσης έχουν ψυχθεί και υποχωρούν στην αρχική θερμοκρασία και ότι το νερό που παράγεται στην καύση έχει συμπυκνωθεί σε υγρό. Κατά συνέπεια, η HHV είναι ένα μέτρο του συνολικού ποσού θερμότητας που εκπέμπεται από την αντίδραση καύσης όταν τα προϊόντα της καύσης ψύχονται στην αρχική θερμοκρασία των αντιδραστηρίων. HHV είναι η μέγιστη ποσότητα θερμότητας που μπορεί να ληφθεί από τα συγκεκριμένα καύσιμα με κανονική καύση.

Γενικά, η HHV και η LHV συσχετίζονται η μια με την άλλη με τον ακόλουθο τρόπο:

$$(xlviii) \quad LHV = HHV - m(h_{1,s})$$

όπου m = μάζα του νερού που παράγεται από την αντίδραση, και

$h_{1,s}$ = λανθάνουσα και αισθητή θερμότητα του ύδατος ανά μονάδα μάζας όπως μετριέται από τη θερμοκρασία δωματίου στη θερμοκρασία στην οποία απομακρύνθηκε ως ατμός.

Οι θερμότητες καύσης για μερικά κοινά καύσιμα παρατίθενται στον πίνακα 6.

Πίνακας 6: Θερμότητες Καύσης Μερικών Κοινών Καυσίμων

Καύσιμο	HHV (j/g)	HHV (j/g-mole)	LHV (j/g)	LHV (j/gmole)
C	32.700	392.400	δεν παράγεται νερό	
CO	10.085	282.400	δεν παράγεται νερό	
H ₂	141.700	283.400	119.770	239.540
CH ₄	55.390	886.240	49.870	797.920
C ₃ H ₁₀	50.270	2.312.000	46.250	2.128.000
Οκτάνιο	48.133	5.487.000	44.670	5.092.000
Ξύλο	17.907	2.901.000	16.220	2.627.000

Λ. Ενέργεια ενεργοποίησης

Οι περισσότεροι άνθρωποι ξέρουν από την άμεση εμπειρία ότι το ξύλο δεν εκρήγνυται εύκολα στις φλόγες όταν εκτίθενται απλά στον αέρα. Επιπλέον, το φυσικό αέριο δεν πιάνει την πυρκαγιά ακριβώς επειδή αναμιγνύεται με μερικό αέρα. Και στις δύο περιπτώσεις, κάποιος τύπος εισαγωγής αρχικής ενέργειας απαιτείται για να γίνει η μετάβαση της αντίδρασης. Μόλις αρχίσει, η αντίδραση παράγει έπειτα υπερβολική ενέργεια για να γίνει αυτοσυντηρούμενη. Η απαραίτητη ενέργεια για να ενεργοποιηθεί μια μεταβολή καλείται ενέργεια ενεργοποίησης.

Η ενέργεια ενεργοποίησης για μια ιδιαίτερη αντίδραση καύσης μπορεί να παρασχεθεί με διάφορες μορφές. Η απλή θέρμανση είναι ένας τρόπος. Άλλοι τρόποι περιλαμβάνουν τους ηλεκτρικούς σπινθήρες, τους σπινθήρες τριβής, την ακτινοβολία, τις αυτοαναφλέξιμες και τις εύκολα αναφλέξιμες χημικές αντιδράσεις και την αδιαβατική συμπίεση. Κατά συνέπεια, υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους η ενέργεια ενεργοποίησης μπορεί να ποσοτικοποιηθεί.

Στην περίπτωση της απλής θέρμανσης, η ενέργεια ενεργοποίησης καθορίζεται συνήθως από την θερμοκρασία ανάφλεξης αυτή είναι η θερμοκρασία στην οποία το υλικό καύσιμο θα εκραγεί στις φλόγες. Δεδομένου ότι ολόκληρο το υλικό θερμαίνεται ή τουλάχιστον ολόκληρο το υλικό σε μια ορισμένη περιοχή του καυσίμου, αυτή η ενέργεια ενεργοποίησης μετρημένη σε μονάδες θερμοκρασίας αντί για αυστηρά μονάδες ενέργειας. Εντούτοις, γίνεται κατανοητό ότι αυτό είναι το ποσό ενέργειας ενεργοποίησης απαραίτητο να αυξήσει τη θερμοκρασία του καυσίμου σε μια ορισμένη θερμοκρασία.

Παραδείγματος χάριν, η θερμοκρασία ανάφλεξης του εμπορικού ξύλου είναι περίπου 260°C και η θερμοκρασία ανάφλεξης του φυσικού αερίου ή του μεθανίου είναι 540°C . Και στις δύο περιπτώσεις, ένα ποσό θερμότητας προστίθεται στο καύσιμο για να αυξήσει τη θερμοκρασία του, σύμφωνα με την ιδιαίτερη θερμοχωρητικότητα του, έως ότου επιτευχθεί η θερμοκρασία ανάφλεξής της.

Ο όρος αυτανάφλεξη ή ελάχιστη θερμοκρασία αυτανάφλεξης είναι μια πιο ειδική εργαστηριακή μονάδα μέτρησης της γενικής θερμοκρασίας ανάφλεξης. Ένα μικρό δείγμα του καυσίμου είναι τοποθετημένο σε ένα θερμαινόμενο δοχείο και όλοι οι παράμετροι καύσης βελτιστοποιούνται για να καθορίσουν την ελάχιστη δυνατή θερμοκρασία στην οποία μπορεί να αρχίσει χωρίς φλόγα ή την παρουσία σπινθήρα. Οι μονάδες μέτρησης της θερμοκρασίας αυτανάφλεξης συμπεριλαμβάνουν τα αποτελέσματα του όγκου και της εσωτερικής περιοχής επιφάνειας του θαλάμου δοκιμών. Συνήθως η θερμοκρασία αυτό-ανάφλεξης θα είναι αρκετά μικρότερη από την θερμοκρασία ανάφλεξης.

Γενικά, η ελάχιστη ενέργεια ανάφλεξης ενός καυσίμου ποικίλλει ανάλογα με την πίεση, την περιβαλλοντική θερμοκρασία και την αναλογία μιγμάτων αέρα-καυσίμου. Ανάλογα με αυτούς τους παράγοντες, το ποσό της απαιτούμενης ενέργειας του σπινθήρα για να αρχίσει την καύση μπορεί να είναι τόσο χαμηλό όσο τα δέκατα ενός mJoule, ή τόσο μεγάλο όσο το άπειρο όταν προσεγγίζονται είτε το μέγιστο είτε το ελάχιστο όριο αναλογίας ευφλεκτότητας αέρα-καυσίμου.

Μια λίγο εκτιμηθείσα πηγή ενέργειας ενεργοποίησης για τις πυρκαγιές και τις εκρήξεις είναι η στατική ηλεκτρική ενέργεια, ή η παραγωγή της ηλεκτρικής φόρτισης από τριβηλεκτρισμό. Αυτό είναι η σταδιακή ανάπτυξη στατικού ηλεκτρισμού που προκλήθηκε από την τριβή μεταξύ δύο ηλεκτρικά ανόμοιων υλικών, τα οποία μπορεί να είναι στερεά, υγρά ή αέρια. Γενικά, το υλικό που είναι ο πιο φτωχός αγωγός είναι αυτό που θα συσσωρεύσει τη στατική ηλεκτρική φόρτιση.

Η επίδραση του τριβηλεκτρισμού εμφανίζεται συχνά όταν αντλούνται υγρά από ένα δοχείο σε άλλο, όταν τα υγρά που αποθηκεύονται σε ένα δοχείο χύνονται σε ένα άλλο (ειδικά όταν είναι ένας πλαστικός κάδος), ή όταν περιλαμβάνονται πλαστικά υλικά στις σχετικές διαδικασίες. Το τελευταίο είναι επειδή ορισμένα πλαστικά έχουν τη δυνατότητα να

αποθηκεύσουν ηλεκτρικό φορτίο όπως ένας πυκνωτής λόγω των άριστων διηλεκτρικών ιδιοτήτων τους.

Είναι ακόμα και δυνατό για ανθρώπους να συσσωρεύσουν αρκετό στατικό φορτίο στα σώματά τους για να παρέχουν την ενέργεια ενεργοποίησης για να αρχίσει μια έκρηξη αερίου. Ένα πρόσωπο με μια χωρητικότητα περίπου 200 έως 400 pfarads μπορεί να συσσωρεύσει μια τάση στατικού φορτίου τουλάχιστον 10.000 volt και αυτή είναι αρκετή να παρέχει την απαραίτητη ενέργεια για να αναφλέξει το φυσικό αέριο ή το προπάνιο που υπάρχουν σε εκρηκτικά επίπεδα σε ένα δωμάτιο.

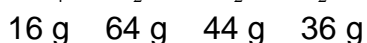
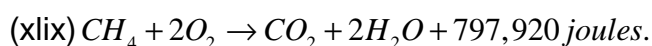
M. Αδιαβατική θερμοκρασία φλογών

Χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που παρουσιάστηκαν ήδη, είναι δυνατό να υπολογιστεί η θερμοκρασία που μια συγκεκριμένη αντίδραση καύσης θα φθάσει. Προκειμένου να γίνει αυτό είναι πρώτα απαραίτητο να προσδιοριστεί η χημική εξίσωση, που συμπεριλαμβάνει όλα τα αντιδραστήρια και τα προϊόντα και τις σχετικές αναλογίες τους του ενός με το άλλο και οι συνθήκες της καύσης όπως η αρχική θερμοκρασία και είτε υπό σταθερή πίεση είτε υπό σταθερό όγκο συνθήκες.

Όταν υποτίθεται ότι όλη η ενέργεια καύσης που εκπέμπεται κατά τη διάρκεια της καύσης διατηρείται στα προϊόντα, η προκύπτουσα θερμοκρασία καλείται αδιαβατική θερμοκρασία φλόγας. Αυτή η θερμοκρασία υπολογίζεται με τη λήψη όλης της ενέργειας που περιλαμβάνεται στα αντιδραστήρια πριν από την καύση και το προσθέτουμε στην ενέργεια καύσης που απελευθερώνεται και έπειτα διανέμει το συνολικό ποσό ενέργειας μεταξύ των προϊόντων έτσι ώστε φθάνουν στην ίδια θερμοκρασία ισορροπίας.

Συχνά, η αδιαβατική θερμοκρασία της φλόγας χρησιμοποιείται για να αναφερθεί στη μέγιστη θερμοκρασία όπου μια ιδιαίτερη αντίδραση καύσης θα φθάσει. Αυτό εμφανίζεται συνήθως όταν η αντίδραση είναι ή βρίσκεται κοντά στους στοιχειομετρικούς όρους.

Παραδείγματος χάριν, ας βασιστούμε πάλι στην απλή καύση του μεθανίου και του καθαρού οξυγόνου σε στοιχειομετρικούς όρους.



Σε αυτήν την κατάσταση, η χαμηλότερη τιμή θέρμανσης (LHV) για το μεθάνιο έχει χρησιμοποιηθεί, δεδομένου ότι υποτίθεται ότι το ύδωρ στα προϊόντα είναι ήδη με μορφή ατμού.

Εάν η διαδικασία της καύσης έχει πραγματοποιηθεί σε σταθερούς όρους πίεσης, τότε η ενέργεια των αντιδραστηρίων πριν από την καύση είναι απλά η ενθαλπία τους σε θερμοκρασία δωματίου. Υποθέτοντας μια θερμοκρασία δωματίου 300°K και μια θερμοκρασία αναφοράς 273°K, έπειτα η εισαγόμενη ενέργεια σε αυτήν την αντίδραση είναι η ακόλουθη:

(i) αντιδραστήριο	C_p	ποσότητα	$mC_p(T-T_r)$ ενέργεια ενθαλπίας
CH ₄	2,21 j/g°K	16 g	954,7 joules
2O ₂	0,917 j/g°K	64 g	1.584,6 joules
τελική ενέργεια αντιδραστηρίων			2.539 joules

Τώρα, αφότου έχει εμφανιστεί η καύση, υπάρχει μια "λίμνη" ενέργειας διαθέσιμη για να θερμάνει τα προϊόντα. Αυτή η "λίμνη" αποτελείται από τη συνολική αρχική ενέργεια των αντιδραστηρίων όπως υπολογίζεται στον πίνακα ανωτέρω και η θερμότητα της καύσης που έχει απελευθερωθεί κατά τη διάρκεια της αντίδρασης. Κατά συνέπεια, η συνολική διαθέσιμη ενέργεια για να διανεμηθεί μεταξύ των αντιδραστηρίων είναι

$$(ii) \quad E_{total} = \text{ενέργεια των αντιδραστηρίων} + \text{ενέργεια καύσης}$$

$$E_{total} = 2,539\text{joules} + 797,920\text{joules} = 800,459\text{joules}$$

Η συνολική ενέργεια που σημειώνεται ανωτέρω διανέμεται τώρα μεταξύ των προϊόντων. Μια αλγεβρική έκφραση για την ενέργεια των προϊόντων κατασκευάζεται με την ανώτερη θερμοκρασία που αφήνεται ως άγνωστη. Η εξίσωση τίθεται έπειτα ίση με τη συνολική ενέργεια όπως σημειώνεται στην εξίσωση (lii) κατωτέρω.

$$(lii) \quad E_{total} = mC_p(T - T_r) + mC_p(T - 373^0 K)$$

διοξείδιο του άνθρακα ατμοί νερού

$$800,459 \text{ joules} = (44 g)(1.427 \text{ j} / \text{g}^0 K)(T - 273^0 K) + (36 g)(3.107 \text{ j} / \text{g}^0 K)(T - 373^0 K)$$

Στην παραπάνω εξίσωση, δεδομένου ότι η χαμηλότερη τιμή θέρμανσης χρησιμοποιήθηκε για τη θερμότητα της καύσης, το σημείο αναφοράς για τον υδρατμό ήταν το σημείο βρασμού στις ατμοσφαιρικές συνθήκες, ή 373°K. Λύνοντας την εξίσωση (lii) ως προς T, η αδιαβατική θερμοκρασία της φλόγας, δίνει :

$$(liiii) \quad T = 4,920^0 K = 4,647^0 C$$

Οι τιμές C_p που χρησιμοποιούνται για το διοξείδιο του άνθρακα, τον υδρατμό και το διατομικό αέριο άζωτο δεν ταιριάζουν με αυτές που δίνονται στον πίνακα 5 αυτού του κεφαλαίου. Οι τιμές σύμφωνες με μια θερμοκρασία 3,000°K χρησιμοποιήθηκαν στην εξίσωση (liiii) ανωτέρω.

Στην εξίσωση (liiii), μια αρχική εικασία έγινε ως προς τη θερμοκρασία για χρήση για τις τιμές του C_p για τα διάφορα προϊόντα της καύσης. Η εικασία ήταν 3.000°K και η υπολογισμένη τιμή που παράχθηκε ήταν 4.920°K. Δεδομένου ότι η αρχική εικασία είναι κάπως διαφορετική από την υπολογισμένη θερμοκρασία, μια νέα εικασία πρέπει να γίνει και οι εξισώσεις πρέπει να λυθούν πάλι μέχρι οι δύο θερμοκρασίες, η "υποτιθέμενη" και η υπολογιζόμενη, να συγκλίνουν αρκετά. Κατά συνέπεια, μια δεύτερη λύση γίνεται χρησιμοποιώντας την "υποθεμένη" θερμοκρασία 4.200°K, ως εξής:

$$(liv) \quad E_{total} = mC_p(T - T_r) + mC_p(T - 373^0 K)$$

διοξείδιο άνθρακα ατμοί νερού

$$800,459 \text{ joules} = (44 g)(1.427 \text{ j} / \text{g}^0 K)(T - 273^0 K) + (36 g)(3.107 \text{ j} / \text{g}^0 K)(T - 373^0 K)$$

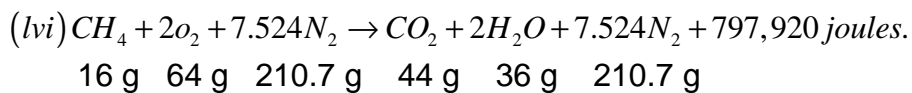
Η επίλυση της (liv) δίνει:

$$(Iv) \quad T = 4,833^{\circ}K \quad \text{ή} \quad 4,560^{\circ}C$$

Αυτή είναι μια πραγματικά υψηλή θερμοκρασία όσον αφορά την καύση. Εντούτοις, όπως σημειώνεται από πριν, όταν καίγεται ένα καύσιμο στο καθαρό οξυγόνο, η πυρκαγιά είναι πολύ πιο θερμή από όταν χρησιμοποιείται αέρας. Αυτό είναι, φυσικά, γιατί το καθαρό οξυγόνο χρησιμοποιείται συχνά στα ειδικά χυτήρια κραμάτων, στις οξυγονοκολλήσεις και σε παρόμοιες εφαρμογές που περιλαμβάνουν υλικά με πολύ υψηλές θερμοκρασίες τήξης.

Ένα σημείο για παρατήρηση σε αυτήν την περίπτωση όσον αφορά τη λύση της αδιαβατικής εξίσωσης θερμοκρασίας φλογών είναι ότι αυτή η θερμοκρασία καύσης δεν επιτυγχάνεται πραγματικά στην πράξη, λόγω των αποτελεσμάτων διαχωρισμού που αρχίζουν να γίνονται σημαντικά στους $2.500^{\circ}C$. Σε θερμοκρασίες σαν αυτές και υψηλότερες, μερικό από το διοξείδιο του άνθρακα και το άζωτο θα διαχωριστούν και θα σχηματίσουν άλλες ενώσεις και αυτή η διαδικασία απορροφά μερική από τη διαθέσιμη ενέργεια και μειώνει την αδιαβατική θερμοκρασία των φλογών. Κατά συνέπεια, η ανωτέρω λύση στην εξίσωση (Iv) καλείται συχνά αδιαβατική θερμοκρασία παγωμένης φλόγας για να δηλώσει ότι έχει θεωρηθεί ότι κανένα αποτέλεσμα διαχωρισμού μεταξύ των προϊόντων δεν έχει ληφθεί υπόψη.

Θα εξεταστεί τώρα ο ίδιος τύπος αντίδρασης καύσης χρησιμοποιώντας τον αέρα αντί του καθαρού οξυγόνου. Η στοιχειομετρική αντίδραση της καύσης για το μεθάνιο στον αέρα είναι η ακόλουθη:



Αυτή τη φορά η ενέργεια που περιλαμβάνεται στα αντιδραστήρια πρέπει να περιλάβει το διατομικό άζωτο. Η ενέργεια των αντιδραστηρίων υπολογίζεται όπως παρουσιάζεται κατωτέρω:

(Ivii) αντιδραστήριο	C_p	ποσότητα	$mC_p(T-T_r)$ ενέργεια ενθαλπίας
CH ₄	2,21 j/g°K	16 g	954,7 joules
2O ₂	0,917 j/g°K	64 g	1.584,6 joules
7.524N ₂	1,042 j/g°K	210,7 g	5.927,8 joules
τελική ενέργεια αντιδραστηρίων			8.476 joules

Η εξίσωση για τον καθορισμό του T παριστάνεται όπως πριν, εκτός από το ότι συμπεριλαμβάνεται τώρα το διατομικό άζωτο.

$$(Iviii) \quad E_{total} = mC_p(T - T_r) + mC_p(T - 373^{\circ}K) + mC_p(T - T_r)$$

διοξείδιο άνθρακα ατμοί νερού άζωτο

$$806,387 \text{ joules} = (44g)(1.393 \text{ j/g}^{\circ}K)(T - 273^{\circ}K) +$$

$$(36g)(2.93 \text{ j/g}^{\circ}K)(T - 373^{\circ}K) + (210.7g)(1.298 \text{ j/g}^{\circ}K)(T - 273^{\circ}K)$$

Η επίλυση ως προς T η εξίσωση (Ivii) παραπάνω δίνει:

$$(Ixi) \quad T = 2,128^{\circ}K \quad \text{ή} \quad 1,855^{\circ}C.$$

Δεδομένου ότι η θερμοκρασία είναι αρκετά κάτω από 3.000°C, κανένα σημαντικό αποτέλεσμα διαχωρισμού δεν αναμένεται να εμφανιστεί και η υπολογισμένη θερμοκρασία πρέπει να είναι κοντά στην πραγματική θερμοκρασία.

Οι πραγματικές μετρήσεις της αδιαβατικής θερμοκρασίας φλογών του μεθανίου σε στοιχειομετρικές συνθήκες βρήκαν μια θερμοκρασία φλογών 1.875°C. Ο αριθμός που προκύπτει από την εξίσωση (Iviii), 1.855°C, διαφέρει μόνο 20°C ή 0,9% στην απόλυτη κλίμακα από την πραγματική μετρημένη αξία.

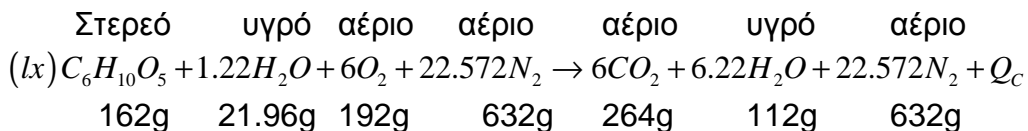
Η σύγκριση της αδιαβατικής θερμοκρασίας φλογών του καιγόμενου μεθανίου στον αέρα με αυτό του καιγόμενου μεθανίου στο καθαρό οξυγόνο δείχνει ότι η επίδραση ψύξης του αζώτου είναι ουσιαστική. Αυτό είναι, φυσικά, γιατί οι διαδικασίες οξυγονοκόλλησης και συγκόλλησης των μετάλλων συνήθως χρησιμοποιούν καθαρό οξυγόνο αντί του αέρα.

Είναι αξιοσημείωτο ότι η μέγιστη θερμοκρασία που επιτυγχάνεται με την καύση του φυσικού αερίου στον αέρα, 1.895°C ή 3.378°F, είναι ακριβώς μόλις επάνω από το σημείο τήξης του μαλακού χάλυβα, το οποίο είναι 2.800°F ή περισσότερο. Κάτω από κανονικές περιστάσεις, οι χαρακτηριστικές απώλειες θερμότητας και η ανικανότητα καύσης εμποδίζουν το φυσικό αέριο να μπορέσει να λειώσει μέρη του μαλακού χάλυβα. Η μέγιστη αδιαβατική θερμοκρασία φλογών υποθέτει τους στοιχειομετρικούς όρους, οι οποίοι είναι σπάνιο ακόμη και να προσεγγίζονται στις ανεξέλεγκτες πυρκαγιές. Όταν υπάρχει πάρα πολύς αέρας ή πολύ λίγος αέρας, η θερμοκρασία της φλόγας πέφτει σημαντικά.

Εξαιρέσεις στα ανωτέρω εμφανίζονται όταν τα μέρη του μαλακού χάλυβα είναι πολύ λεπτά, το οποίο ελαχιστοποιεί τις αγωγίμες απώλειες στον μαλακό χάλυβα και τα μέρη είναι πολύ κοντά στο θερμότερο μέρος των φλογών. Και η θερμότητα από την καύση του φυσικού αερίου είναι περισσότερο από επαρκής, υποθέτοντας ακόμη και μερικές απώλειες, για να λειώσει το χαλκό (1.083°C) ή το αλουμίνιο (660°C) εάν οι φλόγες, είναι σε άμεση επαφή με τα μέταλλα.

Όπως έχει γίνει με το μεθάνιο, θεωρήστε τώρα ακόμα μια φορά την καύση του ξύλου για να καθορίσετε τη μέγιστη θερμοκρασία φλογών του.

Όπως πριν, η αντίδραση καύσης του ξύλου διαμορφώνεται ως εξής:



Η θερμότητα της καύσης για το ξύλο είναι 2.902.400 joule. Εντούτοις, αντίθετα από την προηγούμενη ανάλυση της καύσης μεθανίου, θα είναι απαραίτητο σε αυτήν την περίπτωση να εξεταστούν και η αισθητή και η λανθάνουσα θερμότητα του ύδατος στα προϊόντα της καύσης. Αυτό συμβαίνει επειδή η θερμότητα της καύσης που δίνεται ανωτέρω για την καύση του ξύλου είναι η υψηλότερη τιμή θέρμανσης. Η υψηλότερη τιμή θέρμανσης δεν περιλαμβάνει τη θερμότητα που απαιτείται για να μετατρέψει το ύδωρ θερμοκρασίας δωματίου σε ατμό σε κάποια ανυψωμένη θερμοκρασία.

Για διευκόλυνσή μας, εντούτοις, εάν υποθέσουμε ότι η θερμοκρασία αναφοράς είναι η θερμοκρασία δωματίου, ή 296°K, κατόπιν η ενέργεια των αντιδραστηρίων δεν είναι απαραίτητο να υπολογιστεί. Εξ ορισμού, είναι μηδέν στη θερμοκρασία αναφοράς.

Όπως πριν, μια εξίσωση κατασκευάζεται για την ενέργεια που περιέχεται στα προϊόντα της καύσης. Δίνεται ως εξής:

$$(Ixi) \quad Q_C = mC_p(T - T_r) + mC_p(T - 373^0 K) + mC_p(73^0 K) + mh_1 + mC_p(T - T_r)$$

διοξειδίο του άνθρακα	ατμοί νερού	νερό	λανθάνουσα θερμ. νερού	άζωτο
--------------------------	-------------	------	---------------------------	-------

Αντικαθιστώντας τους αριθμούς και παραλείποντας τις μονάδες για συντομία, η εξίσωση (Ixii) είναι έπειτα:

$$(Ixii) Q_c = (264)(1.393)(T - 296) + (112)(2.928)(T - 373) + (112)(4.186) - \\ (73) + (112)(2.260) + 632(1.298)(T - 296) = 2,902,400$$

Ο αναγνώστης θα διαπιστώσει ότι οι τιμές του C_p για το διοξείδιο του άνθρακα και το διατομικό άζωτο έχουν αλλάξει από πριν. Αυτό συμβαίνει επειδή οι τιμές C_p για μια θερμοκρασία 2.222°K έχουν επιλεγεί. Η επίλυση ως προς T διαπιστώνει ότι :

$$(Ixiii) T = 2.060^\circ K \text{ ή } 1.787^\circ C$$

Κατά συνέπεια, η μέγιστη πιθανή θερμοκρασία φλογών του ξύλου, που καίγεται υπό τους ιδανικότερους όρους, είναι ακριβώς λίγο μικρότερη από αυτή του μεθανίου. Εντούτοις, το ξύλο είναι στερεό καύσιμο συνήθως δεν κονιορτοποιείται αλλά καίγεται σε μεγάλα χοντρά τεμάχια. Κατά συνέπεια, το ξύλο καίει συνήθως σε συνθήκες στέρξης αέρα, επειδή το μέγεθος των ξύλινων κομματιών περιορίζει την πρόσβαση του αέρα στην αντίδραση που εμφανίζεται στην επιφάνεια του ξύλου. Αυτό είναι σε αντίθεση με το αέριο μεθάνιο που μπορεί να αναμιχθεί με τον αέρα και μπορεί να αντιδράσει με τον αέρα με όλες τις πλευρές.

Επίσης, ενώ η αντίδραση από μόνη της στερείται αέρα, υπάρχει πολύς αέρας κοντά στην αντίδραση ο οποίος διαποτίζει ένα σημαντικό τμήμα της θερμότητας καύσης και την μεταφέρει μακριά χωρίς να αναμιγνύεται άμεσα στην αντίδραση. Αυτό συμβαίνει εν μέρει επειδή η καύση του ξύλου προχωρά με ένα πιο αργό ρυθμό από αυτόν του μεθανίου, που δίνει περισσότερο χρόνο για τα αποτελέσματα μεταφοράς θερμότητας να μπουν στο παιχνίδι. Μια γρήγορη αντίδραση, όπως η καύση του μεθανίου που αναμιγνύεται καλά με τον αέρα, πραγματοποιείται γρήγορα και επιτρέπει για λίγο χρόνο η μεταφορά θερμότητας να εμφανιστεί. Κατά συνέπεια, η καύση του μεθανίου μπορεί να πλησιάσει περισσότερο τις αδιαβατικές συνθήκες από ότι μπορεί η καύση του ξύλου.

Μια φωτιά ξύλου είναι έπειτα και στερημένη από αέρα και πλούσια από αέρα συγχρόνως. Αυτό σημαίνει ότι η θερμοκρασία της φλόγας μειώνεται λόγω μιας έλλειψης αέρα ικανής να φτάσει στην περιοχή καύσης και η θερμοκρασία της φλόγας μειώνεται επίσης λόγω του υπερβολικού αέρα που "κλέβει" μερική από τη διαθέσιμη ενέργεια καύσης. Συνεπώς, μια χαρακτηριστική θερμοκρασία φλόγας του ξύλου στην καύση στον ανοιχτό αέρα είναι συχνά στο πεδίο των 550°C μέχρι 900°C. Κατά γενικό κανόνα, όσο περισσότερος καπνός παράγεται σε μια φωτιά ξύλων, τόσο πιο "κρύα" η θερμοκρασία των φλογών του καψίματος.

Πάλι, διαπιστώνεται ότι τα σημεία τήξης του μαλακού χάλυβα, του χαλκού και του αλουμινίου είναι αντίστοιχα 1.538°C ή μεγαλύτερο, 1.083° και 660°C. Υποθέτοντας τις χαρακτηριστικές απώλειες θερμότητας και τις αναποτελεσματικές καύσεις, μια ανοιχτή φωτιά ξύλου δεν θα λειώσει τον χάλυβα και εκτός από ειδικές περιπτώσεις, δεν θα λειώσει τον χαλκό. Ετσι, μόλις τοποθετηθούν, οι περισσότερες πυρκαγιές που καίνε αιτιολογημένα ξύλο μπορούν να λειώσουν το αλουμίνιο.

Γι' αυτό η καλωδίωση χαλκού θα επιζήσει συνήθως μιας πυρκαγιάς σπιτιού με μόνες ζημιές την οξειδωση και την σκλήρυνση, ενώ η καλωδίωση αλουμινίου βρίσκεται συχνά λειωμένη από την πυρκαγιά σε διάφορα σημεία όπου η πυρκαγιά περιορίστηκε.

N. Περισσότερο Ατελής Καύση-Διαχωρισμός

Όπως εν συντομία συζητήθηκε στο προηγούμενο τμήμα, όταν είναι η θερμοκρασία φλογών 2.500°C ή μεγαλύτερη, μια διαδικασία αποκαλούμενη διαχωρισμός γίνεται σημαντική. Ο διαχωρισμός εμφανίζεται όπου υπάρχει αρκετή ενέργεια για να προκαλέσει τη διακοπή δημιουργίας του διοξειδίου του άνθρακα και του ύδατος στα προϊόντα της καύσης. Το διοξείδιο του άνθρακα χωρίζεται σε μονοξείδιο άνθρακα και διατομικό οξυγόνο το νερό χωρίζεται σε διατομικό υδρογόνο και οξυγόνο.

Παραδείγματος χάριν, στους 2.000°C, περίπου το 10% του διοξειδίου του άνθρακα που σχηματίζεται κανονικά στην καύση θα διαχωριστεί σε μονοξείδιο του άνθρακα και οξυγόνο. Αυτό θα απορροφήσει περίπου 10.104joule ανά γραμμάριο του CO που σχηματίζεται. Στην ίδια θερμοκρασία, περίπου 3% του υδρατμού θα διαχωριστεί σε υδρογόνο και οξυγόνο. Αυτό θα απορροφήσει περίπου 142.100joule ανά γραμμάριο του H₂ που σχηματίζεται.

Γι' αυτό στις υψηλές θερμοκρασίες καύσης η πραγματική θερμοκρασία της φλόγας θα είναι συνήθως μικρότερη από την υπολογισμένη αδιαβατική θερμοκρασία της φλόγας, εκτός εάν οι όροι διαχωρισμού προστίθενται στην ενεργειακή ισορροπία. Η διαδικασία διαχωρισμού θα απορροφήσει μερική από τη διαθέσιμη ενέργεια και θα μειώσει τη γενική θερμοκρασία των προϊόντων.

Δεδομένου ότι τα προϊόντα καύσης ψύχονται, οι χωρισμένες ενώσεις θα μετασχηματιστούν στις αρχικές ενώσεις τους και η ενέργεια που απορροφήθηκε θα απελευθερωθεί πάλι. Αυτό αναγκάζει τα ψυχόμενα αέρια για να παρουσιάσουν μια σχεδόν λανθάνουσα επίδραση θερμότητας.

Ξ. Αυτοαναφλέξιμη Χημική Αποικοδόμηση

Όπως εν συντομία σημειώνεται πριν, το ξύλο αποτελείται πρώτιστα από την κυτταρίνη, λιγνίνη και παρόμοιες οργανικές συνθέσεις. Περίπου το 25% των περισσότερων τύπων ξύλου είναι λιγνίνη και το 30% ή περισσότερο είναι κυτταρίνη. Ο χημικός τύπος για την κυτταρίνη είναι (C₆H₁₀O₅)_n όπου ο δείκτης "n" δείχνει ότι η βασική χημική μονάδα μέσα στις παρενθέσεις επαναλαμβάνεται στις μακριές αλυσίδες. Ο βασικός χημικός τύπος για τη λιγνίνη είναι μεταβλητός, αλλά ο εμπειρικός τύπος του είναι παρόμοιος με αυτόν της κυτταρίνης.

Το ξύλο που χρησιμοποιείται στην εργασία κατασκευής είναι γενικά ψημένο σε φούρνο ξηρό σε ένα επίπεδο υγρασίας περίπου 12% κατά βάρος. Τα περισσότερα κατασκευαστικά-ταξινομημένα ξύλα θα αναφλεχτούν σε θερμοκρασίες στο πεδίο τιμών των 260°C μέχρι 430°C (500°F μέχρι 806°F).

Όταν το ξύλο εκτίθεται παραπάνω σε μια πηγή θερμότητας, δύο αποτελέσματα εμφανίζονται που επηρεάζουν την θερμοκρασία ανάφλεξης του: η πρώτη επίδραση είναι ότι το ξύλο που εκτίθεται άμεσα στην πηγή θερμότητας στεγνώνει. Δεδομένου ότι η περιεκτικότητα σε υγρασία στο ξύλο μειώνεται, η θερμοκρασία ανάφλεξης πέφτει. Αυτό είναι επειδή λιγότερη θερμότητα καταναλώνεται στην ατμοποίηση της υγρασίας που παγιδεύεται στο ξύλο.

Μια πληρέστερη εξήγηση αυτής της επίδρασης είναι η ακόλουθη: το ξύλο καίει στις θερμοκρασίες αρκετά παραπάνω από το σημείο βρασμού του ύδατος. Εάν το ξύλο πρόκειται να αναφλεχθεί, η υγρασία που παγιδεύεται στο ξύλο πρέπει να θερμανθεί επάνω από το σημείο βρασμού της. Η παγιδευμένη υγρασία θα μετατραπεί σε ατμό προτού να εμφανιστεί η ανάφλεξη του ξύλου και αυτή η αλλαγή φάσης του υγρού σε ατμό καταναλώνει ένα μεγάλο ποσό θερμότητας. Η θερμότητα που απαιτείται για αυτήν την αλλαγή φάσης "κλέβεται" από τη θερμότητα καύσης. Εάν αρκετή θερμότητα "κλέβεται", η αντίδραση καύσης δεν μπορεί να διατηρηθεί από μόνη της και σταματά.

Φυσικά, οι περισσότεροι άνθρωποι που έχουν ανάψει φωτιές σε κάμπινγκ προσκόπων εξοικειώνονται με το πρόβλημα της χρήσης "πράσινου" ξύλου σε μια φωτιά. Το πράσινο ξύλο είναι ξύλο που έχει κοπεί πρόσφατα και έχει υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία. Εάν το ξύλο είναι πάρα πολύ πράσινο, αυτό σημαίνει ότι περιέχει πάρα πολλή υγρασία, το ξύλο δεν θα καεί. Εάν είχε κάποιο χρόνο να ξεραθεί ή είναι αναμιγμένο με κάποιο ξηρό ξύλο, μια φωτιά μπορεί ίσως να διατηρηθεί. Εντούτοις, το ξύλο θα ανοίξει και ακόμη θα εκραγεί. Ο ατμός θα σκάσει τις άκρες των κούτσουρων, η πυρκαγιά θα καίει με πολύ καπνό και η πυρκαγιά δεν θα παράγει πολλή ζεστασιά.

Η δεύτερη επίδραση λόγω της έκθεσης σε μια πηγή θερμότητας παραπάνω του απαιτούμενου χρόνου είναι μια γενική αποσύνθεση του ίδιου του ξύλου. Μια ήπια μορφή καταστρεπτικής απόσταξης ή πυρόλυσης εμφανίζεται. Οι πλευρικές αλυσίδες είναι οξειδωμένες στο οινόπνευμα του ξύλου και στα προϊόντα τύπου τερπενίου και οι μακριές αλυσίδες της κυτταρίνης και της λιγνίνης χωρίζονται. Καθώς αυτό εμφανίζεται, η επηρεασμένη περιοχή του ξύλου σκουραίνει. Εάν η διαδικασία συνεχίζεται, η επηρεασμένη περιοχή απανθρακώνεται τελικά. Αυτή η δεύτερη επίδραση χαμηλώνει επίσης τη θερμοκρασία ανάφλεξης. Το κάρβουνο ή το ανθρακωμένο ξύλο είναι ευκολότερα οξειδωμένο από το κανονικό ξύλο.

Εμφανιζόμενα μαζί ή μεμονωμένα, αυτά τα δύο αποτελέσματα καλούνται συχνά αυτοαναφλέξιμη υποβάθμιση. Το ξύλο που έχει υποβληθεί στην αυτοαναφλέξιμη υποβάθμιση μπορεί να αναφλεχθεί σε θερμοκρασίες τόσο χαμηλές όπως 150°C (~300°F). Οι πυρκαγιές προκαλούνται μερικές φορές από την αυτοαναφλέξιμη υποβάθμιση με τον ακόλουθο τρόπο: το ξύλο τοποθετείται κοντά σε μια πηγή θερμότητας ή αντίστροφα. Η ίδια η πηγή θερμότητας από μόνη της δεν είναι επαρκής για να αυξήσει τη θερμοκρασία του ξύλου μέχρι το συνηθισμένο πεδίο θερμοκρασιών ανάφλεξης. Εντούτοις, η πηγή θερμότητας είναι επαρκής για να αρχίσει την αυτοαναφλέξιμη υποβάθμιση. Με το πέρασμα του χρόνου, η θερμοκρασία ανάφλεξης του τομέα προσβολής του ξύλου μειώνεται. Όταν η θερμοκρασία ανάφλεξης από τα προσβαλλόμενα ξύλα μειώνεται κάτω από τη θερμοκρασία που παράγεται από την πηγή θερμότητας, το ξύλο μπορεί να αναφλεγεί.

Οι πυρκαγιές που προκαλούνται από την αυτοαναφλέξιμη υποβάθμιση μπορεί να είναι εντελώς δόλιες. Η διαδικασία μπορεί να εμφανιστεί πάνω από μια χρονική περίοδο όχι πλέον από λεπτά όταν η πηγή θερμότητας είναι συνεχής και η θερμοκρασία του ξύλου είναι ακριβώς κάτω από το φυσιολογικό σημείο ανάφλεξης. Εντούτοις, η διαδικασία μπορεί επίσης να εμφανιστεί σε μια χρονική περίοδο που μετρείται σε μήνες ή ακόμα και έτη, όταν η πηγή θερμότητας είναι επαρκώς διακοπτόμενη και η θερμοκρασία του ξύλου είναι κοντά στην ελάχιστη θερμοκρασία ανάφλεξης περίπου στους 150°C.

Σε μερικές περιπτώσεις, εάν η πηγή θερμότητας είναι αρκετά διακοπτόμενη και οι θερμοκρασίες που παράγονται στο ξύλο είναι σχετικά χαμηλές, είναι δυνατό ότι οποιαδήποτε αποτελέσματα ξήρανσης στο ξύλο μπορεί να αντιστραφεί από φυσική διάχυση. Κατά τη διάρκεια αυτής της χρονικής περιόδου, η θερμότητα από την συσκευή μπορεί να ξηράνει το ξύλο. Αλλά εάν η ξήρανση είναι ασήμαντη και κανένα σπουδαίο αποτέλεσμα πυρόλυσης δεν έχει εμφανιστεί ακόμα, είναι δυνατό για το ξύλο να ξαναγεμίσει την υγρασία του από τον πολύ υγρό αέρα ή άλλες πηγές κατά τη διάρκεια της περιόδου. Εάν η χρήση της συσκευής είναι συχνότερη, το ξύλο μπορεί έπειτα να μην έχει ούτε μια ευκαιρία να επανακτήσει την υγρασία του και η αυτοαναφλέξιμη υποβάθμιση μπορεί να ακολουθήσει. Κατά συνέπεια, μια συσκευή που δεν προκάλεσε ποτέ πριν πρόβλημα όταν χρησιμοποιείται περιστασιακά, μπορεί να αρχίσει μια πυρκαγιά εάν χρησιμοποιείται για μια ασυνήθιστα μακριά χρονική περίοδο.

Ένα παράδειγμα μιας περίπτωσης αυτοαναφλέξιμης υποβάθμισης περιελάμβανε ένα συνδυασμό μιας αντλίας θερμότητας και μιας μονάδας κλιματισμού. Λόγω ορισμένων τεχνικών περιορισμών, οι αντλίες θερμότητας δεν λειτουργούν αποτελεσματικά κατωτέρω των -2°C (~28°F). Για αυτόν τον λόγο, οι μονάδες αντλιών θερμότητας είναι συνήθως εξοπλισμένες με άμεσες σπείρες αντίστασης θέρμανσης στον αγωγό ανεφοδιασμού. Οι

σπείρες συμβάλλουν όταν η εξωτερική θερμοκρασία του αέρα είναι μικρότερη από περίπου -2°C ($\sim 28^{\circ}\text{F}$) και η αντλία θερμότητας κλείνει. Οι σπείρες θέρμανσης τοποθετούνται σε σωρό συνήθως όσο το δυνατόν πιο κοντά στη έξοδο ανεφοδιασμού ζεστού αέρα για να ελαχιστοποιήσουν τις απώλειες.

Σε αυτήν την περίπτωση, ο συνδυασμός της αντλίας θερμότητας και της μονάδας κλιματισμού ήταν εγκατεστημένα έτσι ώστε οι άμεσες σπείρες αντίστασης ήταν πολύ κοντά στον ξύλινο σκελετό γύρω από το άνοιγμα του τοίχου ανεφοδιασμού ζεστού αέρα.

Όταν χρησιμοποιούνται, οι άμεσες σπείρες αντίστασης θέρμανσης, θερμάνανε το ξύλο μέχρι ίσως $175\text{-}185^{\circ}\text{C}$ από τη μεταφορά θερμότητας δια ακτινοβολίας. Ενώ το τμήμα του συστήματος, αντλία θερμότητας, χρησιμοποιήθηκε συχνά, λόγω του κλίματος, οι άμεσες σπείρες αντίστασης από μόνες τους χρησιμοποιήθηκαν σπάνια. Λόγω αυτών των περιστάσεων, η αυτοαναφλέξιμη υποβάθμιση προχώρησε αργά. Η ανάφλεξη του ξύλου και καταστροφές της πυρκαγιάς στη δομή δεν εμφανίστηκαν μέχρι σχεδόν $2\frac{1}{2}$ χρόνια μετά την εγκατάσταση της μονάδας.

Επειδή διάφορες ίδιες μονάδες είχαν εγκατασταθεί όμοιως στο κτίριο, ήταν δυνατό να ελεγχθούν οι άκαυτες μονάδες για στοιχεία της "διαδικασίας" αυτοαναφλέξιμης υποβάθμισης. Αυτό έγινε και διαπιστώθηκε ότι κάθε μια από τις άκαυτες μονάδες παρουσίασε κάποια απανθράκωση του ξύλινου σκελετού γύρω από το άνοιγμα των τοίχων ανεφοδιασμού ζεστού αέρα.

Μερικές κοινές θέσεις όπου η αυτοαναφλέξιμη υποβάθμιση εμφανίζεται είναι :

- γύρω από τους φούρνους πατωμάτων,
- γύρω από τις εστίες, καπνοδόχους και τζάκια,
- γύρω από τους κεραμικούς κλιβάνους και παρόμοιες συσκευές παραγωγής θερμότητας,
- τις θερμάστρες χώρου που τοποθετούνται κοντά στους τοίχους, ξύλινα υλικά ή κουρτίνες,
- στη χαρτόδετη μόνωση που τοποθετείται εσφαλμένα πάνω από την αντίσταση ρύθμισης ρεύματος του φωτός φθορισμού ή τύπου φωτισμού υψηλής έντασης ,
- γύρω από λαμπτήρες επώασης πουλερικών, λαμπτήρες θερμότητας και φωτισμό υψηλής έντασης,
- γύρω από προβληματικά φώτα υψηλής ισχύος που έχουν τοποθετηθεί σε εύφλεκτα υλικά,
- γύρω από τους μονότοιχους σωλήνες καπνοδόχων τοποθετούνται στα ξύλινα υλικά και
- στα ντουλάπια γενικής χρήσης όπου τα αποθηκευμένα υλικά είναι κοντά στα ενδεικτικά φώτα λειτουργίας, τους καυστήρες ή τους λαμπτήρες.

Μερικές φορές ένας φούρνος πατωμάτων ή σωλήνας καπνοδόχου που εγκαθίσταται κοντά σε ξύλινα ή καύσιμα υλικά μπορεί να παρέχει έτη υπηρεσίας χωρίς κανένα πρόβλημα. Κατόπιν μια ημέρα μια πυρκαγιά μπορεί απροσδόκητα να εμφανιστεί, αρχίζοντας στο ξύλο γύρω από το σκελετό του φούρνου ή τον σωλήνα της καπνοδόχου λόγω της αυτοαναφλέξιμης υποβάθμισης. Γιατί μια τέτοια πυρκαγιά περιμένει τόσο πολύ να συμβεί; Εμφανιζόταν η αυτοαναφλέξιμη υποβάθμιση ανέκαθεν, αλλά εξαιρετικά αργά;

Σε τέτοιες περιπτώσεις, λίγο περαιτέρω "κάψιμο" μπορεί να αποκαλύψει ότι μια πρόσφατη θύελλα ή ένας υψηλός αέρας μετακίνησε τον σωλήνα της καπνοδόχου και τον μετατόπισε σε μια νέα θέση, ελαφρώς πιο κοντά στο ξύλινο πλαίσιο. Ομοίως, μπορεί να ανακαλυφθεί ότι το έπιπλο μετακινήθηκε πρόσφατα πέρα από το κιγκλίδωμα του φούρνου πατωμάτων, αναγκάζοντας το να μετατοπιστεί ελαφρώς πιο κοντά στο ξύλινο πλαίσιο. Η διαφορά μεταξύ της αυτοαναφλέξιμης υποβάθμισης που εμφανίζεται ή που δεν εμφανίζεται μπορεί να είναι ακριβώς ένα εκατοστόμετρο της πρόσθετης απόστασης μεταξύ του ξύλου και της πηγής θερμότητας.

Εκτός από τα υλικά ξύλινου τύπου, τα παρόμοια αυτοαναφλέξιμα αποτελέσματα υποβάθμισης μπορούν να εμφανιστούν στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, ειδικά βαμβάκι και φυσικές ίνες, χαρτιά, χαρτόνι, ορισμένα πλαστικά και άλλοι τύποι οργανικών

υλικών. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι πολλά από τα στοιχεία στον προηγούμενο κατάλογο αποτελούνται από μεγάλα ποσά κυτταρίνης, λιγνίνης, ή άλλες ενώσεις κυτταρίνης-όπως τα πολυμερή.

Μια διαφορετική μορφή της αυτοαναφλέξιμης υποβάθμισης εμφανίζεται μερικές φορές σε βαθιά-χοντρά σκεύη τηγανίσματος όπως χρησιμοποιούνται στα εστιατόρια γρήγορου γεύματος για τις τηγανιτές πατάτες ή το κοτόπουλο. Τα περισσότερα τέτοια σκεύη τηγανίσματος ελέγχουν θερμοστατικά τη θερμοκρασία μαγειρέματος του ελαίου ή του λίπους. Εκτός της χειροκίνητης τοποθέτησης θερμοστάτη, υπάρχει επίσης ένας διακόπτης υψηλού ορίου θερμότητας που τοποθετείται στη βάση του τηγανιού για καλό μαγείρεμα.

Ο σκοπός του υψηλού ορίου θερμότητας είναι να κλείσει η συσκευή προτού η θερμοκρασία του ελαίου γίνει τόσο υψηλή που βράζει ή αναφλέγεται. Το καθορισμένο σημείο του διακόπτη υψηλού ορίου θερμότητας είναι συνήθως ελαφρώς μικρότερο από τη δημοσιευμένη θερμοκρασία βρασμού του ελαίου ή της λιπαρής ουσίας που συστήνεται για τη συσκευή.

Εντούτοις, όταν θερμαίνεται συνεχώς το έλαιο ή το μαγειρευμένο λίπος, το λάδι διαλύεται τελικά. Οι μεγάλες λιπαρές πολυμερείς αλυσίδες χωρίζονται σε μικρότερες. Κατά γενικό κανόνα, τα μικρά οργανικά μόρια βράζουν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από τα μεγάλα οργανικά μόρια. Γι' αυτό οι μικρότερες μοριακά ουσίες αναφέρονται μερικές φορές ως "ελαφριά αποστάγματα".

Σε μια διαδικασία απόσταξης, οι ελαφριές ουσίες αποστάγματος βράζουν και φεύγουν πρώτα από τις παχύτερες, πυκνότερες ουσίες αποκαλούμενες μερικές φορές οι "βαριές άκρες". Κατά συνέπεια, εάν ένα σκεύος τηγανίσματος έχει αφεθεί ανοιγμένο σε μια υψηλή θερμοκρασία μαγειρέματος για πολύ, το λάδι μπορεί να χωριστεί έτσι ώστε μπορεί να βράσει και να αναφλεχτεί ενδεχομένως σε θερμοκρασίες κάτω από το καθορισμένο σημείο του διακόπτη υψηλού ορίου θερμότητας.

Μια χαρακτηριστική φωτιά σε τηγάνι μπορεί να εμφανιστεί όπως αυτό: την ώρα κλεισίματος, το τηγάνι αφήνεται τυχαία επάνω σε μια υψηλή θερμοκρασία μαγειρέματος. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, το έλαιο θερμαίνεται συνεχώς στην υψηλή θερμοκρασία και το έλαιο χωρίζεται σε ελαφρύτερες οργανικές ουσίες. Σε κάποιο σημείο όταν η αποσύνθεση είναι ικανοποιητική, το σημείο βρασμού του υποβιβασμένου ελαίου είναι το ίδιο ή μικρότερο από τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του θερμοστάτη. Όταν αυτό εμφανίζεται, το έλαιο στο τηγάνι βράζει και φεύγει έξω από αυτό. Αυτή η ενέργεια μπορεί να οδηγήσει σε μια πυρκαγιά με διάφορους τρόπους:

- το λάδι που βράζει και φεύγει έξω μπορεί να ρεύσει επάνω στις αντιστάσεις που βρίσκονται από κάτω και να αναφλεγεί,
- το λάδι μπορεί να τρέξει πλευρικά πέρα από τις κορυφές των μετρητών, των σχαρών, ή άλλων κοντινών συσκευών και να αναφλεγεί από την επαφή με τις αντιστάσεις, ή τα ενδεικτικά φώτα τους, κ.λπ., ή
- αρκετό λάδι μπορεί να βράσει έξω από το τηγάνι γιατί τα ανώτερα τμήματα των σπειρών θέρμανσης εκτίθενται στον αέρα. Δεδομένου ότι ο αέρας είναι ένας φτωχός αγωγός θερμότητας, η σπείρα θερμαίνεται γρήγορα έως ότου το λάδι που βράζει γύρω από αυτή αναφλεχθεί.
- το τελευταίο σενάριο είναι ενδιαφέρον και αξίζει πρόσθετη συζήτηση. Ο διακόπτης υψηλού ορίου θερμότητας συνήθως δεν θα σταματήσει την εμφάνιση πυρκαγιάς σε αυτήν την περίπτωση λόγω του ακόλουθου.

Ο διακόπτης υψηλού ορίου θερμότητας βρίσκεται χαρακτηριστικά στο 1/3 του μαγειρικού σκεύους. Αυτό αισθάνεται τη θερμοκρασία του λαδιού, και όχι της σπείρας θέρμανσης. Η σπείρα σχεδιάζεται για να περιβληθεί από το έλαιο, το οποίο άγει μακριά αποτελεσματικά τη θερμότητα που παράγεται στη σπείρα. Ο αέρας είναι ένας φτωχός αγωγός της θερμότητας. Εάν η σπείρα περιβάλλεται από αέρα και όχι το έλαιο, η

θερμοκρασία της σπείρας αυξάνεται γρήγορα· δεν μπορεί να απομακρύνει τη θερμότητα αρκετά γρήγορα για να μείνει κρύο.

Επειδή ο διακόπτης υψηλού ορίου θερμότητας μετρά τη θερμοκρασία του ελαίου και όχι της σπείρας, η θερμοκρασία της σπείρας μπορεί γρήγορα να γίνει υψηλότερη από τη θερμοκρασία ανάφλεξης του ελαίου προτού να θερμανθεί το έλαιο του μαγειρέματος αρκετά επάνω ώστε να αναγκάσει τον διακόπτη υψηλού ορίου θερμότητας να ανοίξει το κύκλωμα.

Όταν μια πυρκαγιά εμφανιστεί σε μια φριτέζα και το λάδι έβραζε έξω ακριβώς πριν από την πυρκαγιά, αυτό μπορεί συνήθως να καθοριστεί από την οπτική επιθεώρηση. Κατ' αρχάς, μπορεί να υπάρξει πολύ λάδι στο πάτωμα και στις περιβάλλουσες συσκευές λόγω του πλεονάζοντα βρασμού. Αφετέρου, η πυρκαγιά στο μαγείρεμα θα κάψει αρχικά επάνω από το επίπεδο του λαδιού, αφήνοντας ένδειξη μαυρίσματος στις πλευρές του φρεατίου. Κατά συνέπεια, η κάπνα και η ανθράκωση μέσα στο φρεάτιο μαγειρέματος θα τεκμηριώσουν το επίπεδο του ελαίου όταν ξέσπασε η ανάφλεξη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ : ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΜΥΡΩΔΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΡΡΟΩΝ

Α. Γενικά

Ορισμένα αέρια καύσιμα όπως το μεθάνιο, το αιθάνιο, το βουτάνιο και το προπάνιο είναι άχρωμα και δεν έχουν καμία εύκολα αναγνωρίσιμη μυρωδιά. Εάν οι ανόθευτοι ατμοί μεθανίου, αιθανίου, βουτανίου ή προπανίου βρίσκονται σε ένα δωμάτιο σε εκρηκτικές συγκεντρώσεις, ένα αβοήθητο πρόσωπο δεν θα αντιλαμβανόταν τον κίνδυνο-που δεν θα μπορούσε να δει, να δοκιμάσει ή να μυρίσει χρησιμοποιώντας μόνο τις αισθήσεις του. Τα ανόθευτα αέρια καύσιμα υδρογονανθράκων σαν αυτά μπορούν να είναι μια μοιραία συναλλαγή, μια αόρατη απειλή.

Παρά αυτό το πρόβλημα ασφάλειας, τα αέρια καύσιμα όπως το μεθάνιο, το βουτάνιο και το προπάνιο είναι πολύ επιθυμητά για το σπίτι, την επιχείρηση και τη βιομηχανική χρήση. Καίνε καθαρά και έχουν μια υψηλής ενέργειας πυκνότητα, η οποία είναι, ένα υψηλό ποσό της απελευθερωμένης καύσιμης ενέργειας ανά μονάδα της μάζας. Δεν αφήνουν κανένα υπόλειμμα τέφρας που απαιτεί τη διάθεση. Είναι υπαγόμενα στη θερμότητα στις "απαιτήσεις" των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης. Ένας λέβητας αερίου, ένας φούρνος αερίου, ή μια σύμπα αερίου ανοίγουν και κλείνουν λιγότερο ή περισσότερο ακαριαία χωρίς χρόνο αναμονής όπως με το ξύλο ή τον άνθρακα. Οι συσκευές αερίου δεν χρειάζονται τις αντλίες όπως τα υγρά καύσιμα. Επίσης δεν έχουν τα προβλήματα χειρισμού υλικών σωμάτων μεγάλου μεγέθους όπως στον άνθρακα ή το ξύλο και είναι σχετικά φτηνοί.

Τα αεριώδη καύσιμα όπως το μεθάνιο και το προπάνιο διανέμονται από σωλήνες φτιαγμένους από σίδηρο, χάλυβα, πλαστικό, χαλκό ή αργίλιο. Υπερωριακά, η εργασία σε σωλήνες αερίου μπορεί να διαβρώσει και να χαλάσει την ποιότητα. Περιστασιακά, η εργασία σε σωλήνες αερίου βλάπτεται ακούσια από τις προκληθείσες μηχανικές δονήσεις, τη μετακίνηση σωληνώσεων και τη γενική απροσεξία.

Από μια θέση ασφάλειας, ένας σχεδιαστής ή ένας διευθυντής συστημάτων πρέπει να υποθέσει ότι οι εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν τα αέρια καύσιμα υδρογονανθράκων θα έχουν τελικά διαρροές. Δεδομένου ότι οι διαρροές εμφανίζονται συχνά στις ενώσεις και τις συνδέσεις, εξετάστε το ακόλουθο. Για ένα μικρό σπίτι, δεν θα ήταν ασυνήθιστο να υπάρχουν ίσως δέκα χωριστές ενώσεις και συνδέσεις στις σωληνώσεις που εξυπηρετεί έναν απλό φούρνο και μια δεξαμενή ζεστού ύδατος. Εάν κάθε ημέρα μια επισφαλής διαρροή αναπτυσσόταν σε χίλιες τέτοιες συνδέσεις, ένα καθημερινό ποιοτικό ποσοστό 99.9%, κατόπιν κάθε ημέρα σε ένα σπίτι από τα 100 θα εμφανιζόταν μια επισφαλής διαρροή. Εκατό σπίτια είναι το μέγεθος μιας μικρής γειτονιάς.

Εάν το ποιοτικό ποσοστό μπορούσε να βελτιωθεί από ένα πολλαπλάσιο της χιλιάδας, αυτό θα προκαλούσε μια καθημερινή επισφαλής διαρροή σε ένα σπίτι σε κάθε 100.000.

Πρόσωπα εξοικειωμένα με στατιστικές σχετικές με τον ποιοτικό έλεγχο κατασκευής μπορούν να αναγνωρίσουν ότι ένα καθημερινό ποιοτικό ποσοστό 99.9999% αντιστοιχεί για μια τιμή του "σ" σχεδόν 4.0. Πολλές επιχειρήσεις που συμμετέχουν στην εφαρμογή του ISO 9000 διεθνές ποιοτικό πρότυπο κατασκευής αντιμάχονται πολύ σκληρά μόνο για να φθάσουν σε ένα "σ" 3.08 ή 99.9%. Σε μια πόλη, με πληθυσμό περίπου 300.000 χιλιάδες σπίτια και με επιχειρήσεις που χρησιμοποιούν μεθάνιο ή προπάνιο υπάρχουν εκατοντάδες χιλιόμετρα σωλήνων αερίου και πολλές χιλιάδες ενώσεις και συνδέσεις. Οι γραμμές αερίου και οι εγκαταστάσεις συσκευών γίνονται από ποικίλες επιχειρήσεις, υπεργολάβους και τεχνικούς με ποικίλες δεξιότητες, γνώση και εμπειρία.

Επίσης, αυτές οι ίδιες γραμμές αερίου και συσκευές διατηρούνται και φροντίζονται σε ένα ευρύ φάσμα της εγρήγορσης. Αυτό περιλαμβάνει να μην κάνει τίποτα, μια δημοφιλής επιλογή, στην παραγωγή κανονικών ελέγχων σύμφωνα με τα αναγνωρισμένα

προγράμματα συντήρησης. Είναι ανέφικτο, εάν όχι αδύνατο και από νομική και οικονομική πτυχή, να ελέγξει τακτικά κάθε εγκατάσταση και ένωση.

Συλλογιζόμενοι την διαδικασία, ένα πρόσωπο μπορεί να υποθέσει με κάποια σιγουριά ότι οι πυρκαγιές και οι εκρήξεις θα εμφανιστούν με κάποια στατιστική ομαλότητα ως αποτέλεσμα των διαρροών αερίου. Είναι αδύνατο λαμβάνοντας υπόψη τις ανωτέρω περιστάσεις να υπάρξει ένα "ελεύθερο διαρροών" σύστημα παράδοσης που είναι απολύτως ασφαλές για τον καθένα και όλη την σχετική ιδιοκτησία.

Λαμβάνοντας υπόψη τώρα το προφανές σημείο ότι οι σωλήνες αερίου διαρρέουν μερικές φορές, το επόμενο σημείο που εξετάζουμε είναι πώς να στείλουμε μια προειδοποίηση σε πρόσωπα που δεν εξοπλίζονται με τεχνικές συσκευές δοκιμών ότι υπάρχει ένα άχρωμο, άοσμο και επικίνδυνο αέριο στην περιοχή. Ένας τρόπος μπορεί να είναι να χρωματιστεί το αέριο έτσι ώστε να εμφανιστεί μπλε, κόκκινο, ή κάποιο άλλο ευδιάκριτο χρώμα. Εντούτοις, αυτό δεν είναι ένα εύκολο πράγμα να γίνει.

Το φυσικό αέριο, ή το μεθάνιο, έχει κάτω όριο ευφλεκτότητας 5% και το προπάνιο έχει κάτω όριο ευφλεκτότητας 2,4%. Για να κάνει ένα φυσικά άχρωμο αέριο όπως το μεθάνιο ή το προπάνιο ορατό σε μια συγκέντρωση σημαντικά λιγότερο από 2.4% απαιτείται είτε ότι το αέριο περιέχει ένα υψηλό ποσοστό της χρωστικής ουσίας, είτε ότι η χρωστική ουσία θα είναι αξιοσημείωτα πυκνή και συγκεντρωμένη. Δεδομένου ότι η κατοχή ενός καύσιμου αερίου είναι ότι το καύσιμο, που έχει ένα υψηλό ποσοστό της χρωστικής ουσίας είναι ανεπιθύμητο.

Περαιτέρω, οποιαδήποτε χρωστική ουσία που προστίθεται στο αέριο δεν πρέπει να αντιδρά με τον σωλήνα ή το ίδιο το αέριο οφείλει να καεί με τα καύσιμα μετριοπαθώς καλά και πρέπει να μείνει περιορισμένη μέσα στο αέριο. Εντούτοις, οι βαφές και οι χρωστικές ουσίες που είναι αρκετά πυκνές για να καταστήσουν χαμηλές συγκεντρώσεις αερίου ορατές συχνά είναι πάρα πολύ βαριές για να ρεύσουν με το αέριο. Λόγω αυτών των προβλημάτων, μέχρι σήμερα δεν είναι πρακτικά αποδεικτό να χρωματιστεί το μεθάνιο ή το προπάνιο.

Εντούτοις, είναι ένα εύκολο πράγμα να κάνεις το μεθάνιο ή το προπάνιο να μυρίζει με την προσθήκη λίγου οσμωτικού. Έτσι αυτό μυρίζει αρκετά άσχημα ακόμα και όταν υπάρχει μόνο λίγο αέριο γύρω, οι άνθρωποι θα το παρατηρήσουν. Περαιτέρω, μια πραγματικά βρώμικη, αηδιαστική μυρωδιά μπορεί να παρατηρηθεί σε ένα σκοτεινό δωμάτιο, σε ένα θορυβώδες δωμάτιο ή και από τυφλούς ή κωφούς ανθρώπους. Μπορεί ακόμη και να είναι αρκετά βρώμικο ώστε να ξυπνήσει τα πρόσωπα που κοιμούνται.

Εν ολίγοις, δεδομένου ότι κάποιο ποσό διαρροής αερίου αναμένεται να εμφανιστεί κατά διαστήματα, οι άνθρωποι στην περιοχή μπορούν να προειδοποιηθούν στην παρουσία του εάν οι ατμοί μυρίζουν στην ατμόσφαιρα. Εάν η δυσωδία είναι αρκετά ισχυρή, οι άνθρωποι θα μυρίσουν τους ατμούς προτού να φθάσουν οι ατμοί στο χαμηλότερο όριο ευφλεκτότητας και αυτό επιτρέπει στις διορθώσεις να γίνουν προτού η κατάσταση γίνει επικίνδυνη.

Για αυτούς τους λόγους, απαιτείται γενικά από το νόμο να μυρίζουν τα αέρια καύσιμα. Εντούτοις, τα άοσμα αέρια καύσιμα επιτρέπονται ακόμα να διοχετεύονται από σωλήνες και να διανέμονται υπό ορισμένες συνθήκες. Εάν η προσθήκη μυρωδιάς είναι επιζήμια στην επεξεργασία του αερίου καυσίμου, ή εάν η μυρωδιά δεν χρησιμεύει για κανέναν σκοπό ως ένας πράκτορας προειδοποίησης, κατόπιν η χρήση μυρωδικού δεν απαιτείται.

Ως κανόνας, εντούτοις, τα αέρια καυσίμων όπως το μεθάνιο, το βουτάνιο και το προπάνιο μυρίζουν όταν τίθενται στο εμπορικό σύστημα διανομής. Με το μεθάνιο, αυτό γίνεται κανονικά προτού να αποσταλεί το αέριο στο τοπικό σύστημα σωληνώσεων διανομής. Με το βουτάνιο ή το προπάνιο, αυτό γίνεται συνήθως στο τοπικό ή περιφερειακό έργο διαχείρισης διανομής.

B. Αναγνώριση επιπέδων μυρωδιών και οσμών

Κανονικά, τα αέρια καύσιμα έχουν οσμές έτσι ώστε ένας άνθρωπος να μπορεί ευδιάκριτα να τα μυρίσει σε μια συγκέντρωση του ενός πέμπτου ή λιγότερο του χαμηλότερου ορίου ευφλεκτότητά τους. Κατά συνέπεια, θα μυρίσει την οσμή πολύ προτού το αέριο συσσωρευτεί σε επικίνδυνα επίπεδα. Εάν το αέριο είναι συσσωρευμένο λόγω μιας διαρροής, αυτό δίνει σε ένα πρόσωπο κάποιο χρόνο να καθαρίσει την περιοχή και να αποκλείσει την κοντινότερη βαλβίδα.

Δεδομένου ότι το χαμηλότερο όριο ευφλεκτότητας του μεθανίου είναι περίπου 5% κατ' όγκο, ένας άνθρωπος θα παρατηρήσει την οσμή όταν η συγκέντρωση φυσικού αερίου είναι περίπου 1% (10.000 ppm) ή λιγότερο. Δεδομένου ότι το χαμηλότερο όριο της ευφλεκτότητας του προπανίου είναι 2,4%, ένας άνθρωπος θα παρατηρήσει την οσμή όταν η συγκέντρωση προπανίου είναι περίπου 0,5% (5.000 ppm) ή λιγότερο.

Η φράση "ή λιγότερο" προστίθεται στα ανωτέρω επειδή πολλοί διανομείς φυσικού αερίου και του υγροποιημένου προπανίου χρησιμοποιούν πιο μεγάλο όριο οσμής από ότι απαιτείται. Δεν είναι ασυνήθιστη μια υπερβολή της τάξης του 25-50% να χρησιμοποιηθεί.

Γενικά, η αντιληπτή ένταση μιας οσμής κατά την συγκέντρωσή της στον αέρα ακολουθεί την εξίσωση Webber-Fechner που δίνεται ως εξής:

$$(i) I = k \ln(C)$$

όπου: I = η ένταση της οσμής,

k = μια σταθερά για την συγκεκριμένη χημική οσμή, και

C = συγκέντρωση του χημικού στον αέρα.

Η εκ νέου ρύθμιση της εξίσωσης (i) για την εύρεση της συγκέντρωσης δίνει τα εξής:

$$(ii) C = e^{I/k}$$

όπου: $e = 2,7182$.

Εάν η εξίσωση (ii) διαφορίζεται ως προς I , η ένταση της οσμής, λαμβάνεται ως ακολούθως, και η οποία συσχετίζει την αλλαγή στη συγκέντρωση με την αλλαγή στην αντιληπτή ένταση οσμής:

$$(iii) \quad dC/dI = (I/k)e^{I/k}$$

Από την εξίσωση (ii) φαίνεται ότι εάν ένα πρόσωπο είναι έμπειρο με τις οσμές, μια εκτίμηση της συγκέντρωσης της οσμής στον αέρα μπορεί να γίνει απλά από την όσφρηση. Περαιτέρω η εξίσωση (iii) δείχνει ότι στις χαμηλές συγκεντρώσεις η κλίση της αλλαγής της συγκέντρωσης ως προς την αλλαγή στην ένταση της οσμής είναι μικρή, αλλά στις υψηλές συγκεντρώσεις η κλίση είναι υψηλή. Αυτό σημαίνει ότι ο υπολογισμός της συγκέντρωσης από την οσμή είναι πιο ακριβής στις χαμηλές συγκεντρώσεις από ότι στις υψηλές συγκεντρώσεις. Μόλις φτάσει μια ένταση οσμής σε ένα "ισχυρό" επίπεδο, είναι δυσκολότερο για μια ανθρώπινη μύτη να ξεχωρίσει τις μικρές μεταβολές από τις "ισχυρές".

Για να δούμε πώς τα παραπάνω λειτουργούν, εξετάζουμε τα εξής: είναι γενικά αναμενόμενο ότι το όριο για την αναγνώριση της μυρωδιάς της αιθυλικής μερκαπτανής στον αέρα είναι 0.001ppm. Το συνήθως αποδεκτό ανώτερο όριο ανοχής ή έκθεσης για τους ανθρώπους για αιθυλική μερκαπτανή στον αέρα είναι 0.500ppm θεωρήστε το χαμηλότερο κατώτατο όριο αναγνώρισης ως βασική μονάδα για τη συγκέντρωση οσμών. Κατά συνέπεια, 0.001ppm = 1 μονάδα συγκέντρωσης οσμών και 0.500 = 500 μονάδες συγκέντρωσης οσμών. Τελικά, ως καθορίσουμε μια αυθαίρετη κλίμακα για την ένταση της οσμής όπου $I = 100$ για το ανώτερο όριο ανοχής.

Εάν αυτές οι τιμές αντικατασταθούν στην εξίσωση (i), το ακόλουθο λαμβάνεται:

$$I = k \ln(C)$$

$$100 = k \ln(500) \text{ @ πάνω όριο ανοχής}$$

$$k = 16,09$$

Όταν το $C = 1$, τότε:

$$I = 16,09 \ln(1) = 0$$

Κατά συνέπεια, εξ ορισμού, η ένταση της οσμής στο επίπεδο κατώτατων ορίων είναι 0 και στην ανώτερη έκθεση το όριο είναι 100.

Ο ακόλουθος πίνακας απαριθμεί διάφορες αντιπροσωπευτικές τιμές που παρουσιάζουν τη σχέση μεταξύ της έντασης οσμής, ανά αυθαίρετη κλίμακα που σημειώνεται ανωτέρω και τα επίπεδα συγκέντρωσης.

Πίνακας 1: Ένταση της οσμής ανάλογα με τη συγκέντρωση οσμών για το αιθυλικό μερκαπτάνιο.

Συγκέντρωση (ppm στον αέρα)	Συγκέντρωση (αυθαίρετες μονάδες μυρωδιών)	Ένταση μυρωδιάς
0,001	1	0
0,002	2	11
0,003	3	18
0,004	4	22
0,005	5	26
0,010	10	37
0,050	50	63
0,080	80	71
0,100	100	74
0,500	500	100

Η μέση κλίση της αλλαγής στη συγκέντρωση (στις αυθαίρετες μονάδες οσμών) ως προς την ένταση της οσμής για τις πρώτες δύο τιμές του πίνακα είναι $1/11 = 0,0909$. Για τις δεύτερες και τρίτες τιμές είναι $1/9 = 0,1111$. Εντούτοις, η μέση κλίση μεταξύ των τελευταίων δύο τιμών είναι $400/26 = 15,38$.

Όπως συζητήθηκε προηγουμένως, όταν η συγκέντρωση είναι χαμηλή, μια μικρή αλλαγή στην αντιληπτή ένταση οσμής δείχνει μια μικρή αλλαγή στη συγκέντρωση. Αντιστρόφως, όταν η συγκέντρωση είναι υψηλή, μια μικρή αλλαγή στην αντιληπτή ένταση οσμής μπορεί να δείξει μια σχετικά μεγάλη αλλαγή στη συγκέντρωση.

Ο πίνακας 1 μπορεί να ρυθμιστεί εκ νέου σε πέντε γενικά επίπεδα οσμής στην ενίσχυση της εκτίμησης των επιπέδων συγκέντρωσης. Αυτή η εναλλακτική ρύθμιση παρουσιάζεται στον πίνακα .

Πίνακας 2: Επίπεδα οσμής πίνακα 2 ως προς την συγκέντρωση αιθυλικής μερκαπτάνης

Επίπεδα Οσμής	Ένταση οσμής (σύμφωνα με τον πίνακα 1) (σε ppm στον αέρα)	Συγκέντρωση
ίχνος	0-11	0,001-0,002
αδύναμο	18-35	0,003-0,009
μεσαίο	37-63	0,010-0,050
ισχυρό *	63-100	0,050-0,500
πανίσχυρο	100 +	> 0,500

Με την χρήση του πίνακα 2, είναι δυνατό για ακόμη και άπειρα πρόσωπα να υπολογίσουν κατά προσέγγιση τις συγκεντρώσεις των οσμών στον αέρα εάν η δυνατότητα μυρωδιάς τους είναι κανονική.

Παρόμοιοι πίνακες μπορούν να παραχθούν για τα άλλα οσμωτικά και κατ' αυτό τον τρόπο είναι δυνατό να υπολογιστεί κατά προσέγγιση η συγκέντρωση μιας οσμής από την απλή μυρωδιά. Η τεχνική μπορεί να είναι πολύ χρήσιμη κατά την εξέταση δηλώσεων ή πληροφοριών συνέντευξης.

Παραδείγματος χάριν, υποθέστε ότι μια μικρή έκρηξη εμφανίστηκε σε μια αποθήκη εμπορευμάτων. Πριν από την έκρηξη, διάφοροι υπάλληλοι ανέφεραν ότι μύρισαν το αέριο. Εάν η θέση των υπαλλήλων όταν μύρισαν το αέριο μπορεί να μαθευτεί και μπορούν να θυμηθούν πόσο ισχυρή ήταν η οσμή, μπορεί να είναι δυνατό να σχεδιαστεί ένα περίγραμμα των επιπέδων συγκέντρωσης αερίου ακριβώς πριν από την έκρηξη πέρα από το γενικό σχέδιο της αποθήκης εμπορευμάτων. Αυτό μπορεί να παρέχει μερικά χρήσιμα στοιχεία στον καθορισμό της προέλευσης του αερίου και το μονοπάτι διασποράς του.

Από την εμπειρία έχει παρατηρηθεί ότι μερικοί βαριοί καπνιστές καπνών συχνά δεν μυρίζουν το οσμωτικό αέριο τόσο εύκολα όσο οι μη καπνιστές. Με τον ίδιο τρόπο που το κάπνισμα εξασθενίζει μερικές φορές την αίσθηση της γεύσης, επίσης φαινομενικά εξασθενίζει την αίσθηση της όσφρησης. Το ακόλουθο είναι σενάριο που έχει σημειωθεί για να εμφανιστεί κάπως τακτικά.

Η κα Υ, μια μη καπνίστρια, βάζει πλυντήριο στο υπόγειο όταν σκέφτεται ότι μυρίζει αέριο. Επειδή δεν είναι σίγουρη, πηγαίνει επάνω και ζητά από το σύζυγό της να το ελέγξει. Ο κος Χ, ένας βαριά καπνιστής, πηγαίνει κάτω και μυρίζει. Δεν παρατηρεί οποιαδήποτε οσμή αερίου και λέει στη σύζυγό του ότι την φαντάστηκε, ή μπέρδεψε κάποια άλλη μυρωδιά με το αέριο.

Μερικές ημέρες αργότερα, μια έκρηξη εμφανίζεται στο υπόγειο. Όταν τους πήραν συνέντευξη, ο κος Χ δηλώνει ότι δεν παρατήρησε οποιαδήποτε οσμή αερίου πριν από την έκρηξη. Όταν πήραν συνέντευξη ομοίως, η κα Υ επίσης συμφωνεί ότι δεν υπήρξε καμία οσμή αερίου πριν από την έκρηξη. Είναι απρόθυμη να διαφωνήσει δημόσια με το σύζυγό της, ειδικά δεδομένου ότι της είπε προηγουμένως ότι αυτή είχε φανταστεί τη οσμή αερίου.

Εκτός από το κάπνισμα, υπάρχουν άλλοι λόγοι για τους οποίους ένα πρόσωπο δεν μπορεί να μυρίσει εύκολα την μυρωδιά αερίου καυσίμου. Μερικοί άνθρωποι λόγω ασθένειας ή τραυματισμού έχουν χάσει την αίσθηση της όσφρησης. Μερικοί άνθρωποι, αν και πολύ λίγοι, γεννιούνται με μειωμένη την αίσθηση της όσφρησης ή χωρίς καμία αίσθηση οσμής. Μερικοί άνθρωποι μπορεί να εργάζονται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας, εργοστάσια ή διυλιστήρια όπου η αίσθηση της όσφρησης τους βομβαρδίζεται κάθε ημέρα από ισχυρές οσμές και οι μύτες τους μπορούν να μην "καθαριστούν" αρκετές ώρες μετά από όταν πάνε σπίτι.

Έχει σημειωθεί σε κάποια ερευνητική εργασία ότι η ικανότητα οσμής μικραίνει επίσης με την ηλικία. Σε μια άλλη μελέτη που αναφέρεται στο ίδιο θέμα της Τεχνολογίας Πυρκαγιάς, διαπιστώθηκε ότι σχεδόν οι μισοί από τους ανθρώπους που εξετάστηκαν οι

οποίοι ήταν πάνω από 60 ετών απέτυχαν να μυρίσουν αξιόπιστα την αιθυλική μερκαπτάνη στα LPG που ήταν αρωματισμένα σύμφωνα με τα τρέχοντα πρότυπα. Το λογικό συμπέρασμα αυτής της μελέτης είναι ότι τα ηλικιωμένα άτομα διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο για ατυχήματα από LPG.

Επιπλέον, μερικά σπίτια και κτίρια υπόκεινται σε ισχυρές οσμές που μπορούν να καλύψουν τη οσμή του οσμωτικού αερίου καυσίμου. Οι μυρωδιές που παράγονται από κατοικίδια ζώα, λίπασμα, οχετούς ή άλλες παρόμοιες αιτίες που μπορούν να καλύψουν την οσμή του οσμωτικού αερίου καυσίμου. Οι οσμές που συνδέονται με ιατρικές εγκαταστάσεις και οίκους ευγηρίας μπορούν επίσης να είναι πάρα πολύ ισχυρές για ένα πρόσωπο για να παρατηρήσει οποιαδήποτε παρουσία οσμής αερίου καυσίμου.

Οι οσμές που παράγονται από κοντινά σφαγεία, μέρη εκτροφών, βόθρους, δεξαμενές βιολογικού καθαρισμού, εγκαταστάσεις ζύμωσης, κ.λ.π., μπορούν να παρασυρθούν στα κοντινά σπίτια και κτίρια και να τα καλύψουν με οσμή σε περιστασιακή ή κανονική βάση. Οι κακώς διατηρημένες και ακάλυπτες κατοικίες μπορούν επίσης να αναπτύξουν αρκετά αποκρουστικές μυρωδιές από οποιαδήποτε οσμή οσμωτικού αερίου καυσίμων που χάνεται στο καυτό μίγμα.

Ενώ δεν είναι κοινοποιημένες ως ανιχνευτές καπνού, οι οικιακές συσκευές είναι διαθέσιμες μέσω ταχυδρομικών παραγγελιών κατ' οίκων και επινοητικών καταστημάτων υλικού που θα ανιχνεύουν την παρουσία φυσικού αερίου ή LPG. Αυτές οι συσκευές δεν εξαρτώνται από την παρουσία ενός οσμωτικού, αλλά ανιχνεύουν το βασικό αέριο υδρογονανθράκων άμεσα. Λειτουργούν κατά τρόπο παρόμοιο με έναν συναγερμό καπνού οικίας. Όταν μια ορισμένη συγκέντρωση κατώτατων ορίων του αερίου ανιχνεύεται, ένας ευδιάκριτος συναγερμός κάνει χαρακτηριστικό θόρυβο. Για τους βαρήκοους, θα ήταν ένα εύκολο θέμα να συνδεθεί το σήμα συναγερμών με ένα αστραπιαίο φως. Όταν οι κάτοχοι ενός σπιτιού έχουν εξασθενημένη ικανότητα όσφρησης, ή ίσως δεν μπορούν φυσικά να πάνε στο υπόγειο λόγω προβλημάτων πρόσβασης αναπηρικών καρεκλών, αυτές οι συσκευές μπορούν να αντέξουν μερική γνώση.

Γ. Οσμωτικά LPG

Τρεις τύποι χημικών ουσιών ταξινομούνται και είναι οι αιθυλικές βρωμύλες, το θειοφένιο και η αμυλική βρωμύλη. Ευρύτατα χρησιμοποιημένο οσμωτικό είναι η αιθυλική βρωμύλη.

Τα LPG μπορεί να είναι μίγμα διάφορων αερίων υδρογονανθράκων. Από τους κανονισμούς, το LPG είναι οποιοδήποτε υλικό που αποτελείται κυρίως από οποιαδήποτε από τα εξής: προπάνιο, προπυλένιο, κανονικό βουτάνιο, ισοβουτάνιο και βουτυλένιο. Οι ακριβείς προδιαγραφές για τα LPG διατυπώνονται στο ASTM D1835, Προδιαγραφές Υγροποιημένου Αερίου Πετρελαίου. Γενικά, το εμπορικό LPG είναι ένας συνδυασμός προπανίου και βουτανίου. Για το σπίτι και την αγροτική χρήση όπου η υψηλή πτητικότητα απαιτείται, τα περισσότερα LPG είναι κυρίως προπάνιο, με ίσως 5-10% βουτάνιο ή μερικά από τα άλλα αέρια. Για τις χρήσεις όπου η χαμηλή πτητικότητα είναι αναγκαία, συνήθως βιομηχανικές καταστάσεις, τα περισσότερα LPG είναι κυρίως βουτάνιο, με ίσως 5-10% όντας προπάνιο ή μερικά από τα άλλα αέρια.

Οι κανονισμοί επιτρέπουν σε άλλους τύπους χημικών ουσιών να χρησιμοποιηθούν ως μυρωδικά αντί των τριών που απαριθμούνται. Οποιοδήποτε μυρωδικό είναι αποδεκτό εάν έχει μια διακριτική μυρωδιά όταν οι ατμοί αερίου είναι το ένα πέμπτο της συγκέντρωσης του χαμηλότερου ορίου ευφλεκτότητάς του.

Σαν πρακτικό θέμα, εντούτοις, κανένας δεν κάνει σημαντική χρήση αυτού του κανονισμού. Στο παρόν κλίμα, καμία επιχείρηση αερίου δεν θα ήθελε να χρησιμοποιήσει έναν νέο τύπο μυρωδικού αντί του προτύπου, τα κυβερνητικά εγκεκριμένα.

Ο όρος βρωμύλες είναι κάπως μια αρχαϊκή λαθεμένη χρήση ονόματος. Οι βρωμύλες είναι ένας παλαιότερος χημικός όρος που προέρχεται από το λατινικό «mercurtum

captans», το οποίο σημαίνει κυριολεκτικά "σύλληψη υδραργύρου". Οι βρωμύλες αντιδρούν με το οξειδίο του υδραργύρου για να σχηματίσουν διάφορες κρυσταλλικές ενώσεις. Η ομάδα των χημικών ουσιών των βρωμυλών καλείται επίσης θειοαλκοόλες, θειο-οινοπνεύματα, υδροσουλφίδια, και θειόλες. Ο τελευταίος όρος, θειόλες, είναι ο πιο σύγχρονος χαρακτηρισμός για αυτήν την ομάδα, αλλά περιλαμβάνει επίσης τους θειούχους αιθέρες, τα σουλφίδια και τα θειοφένια.

Γενικά, οι βρωμύλες είναι μια οργανική ένωση παρόμοια με το οινόπνευμα, αλλά έχει το οξυγόνο στην ομάδα υδροξυλίου που αντικαθίσταται από ένα άτομο θείου. Σημειώστε την ομοιότητα του εμπειρικού τύπου για την αιθυλική βρωμύλη, C_2H_5SH με αυτό του αιθυλικού οινοπνεύματος, C_2H_5OH .

Αιθυλική βρωμύλη καλείται επίσης η θειόλη του αιθανίου, και το αιθύλιο του σουλφιδίου. Είναι μια από τις πιο πικάντικες, βρώμικες και επίμονες γνωστές μυρωδιές. Είναι η ουσία της δυσωδίας του νεφτιού. Φυσικά, είναι ένα άχρωμο υγρό που βράζει στους $36^\circ C$ και παγώνει στους $-121^\circ C$. Έχει μια ειδική βαρύτητα περίπου 0,84. Είναι μόνο ελαφρώς διαλυτό στο ύδωρ, αλλά είναι διαλυτό και στο αιθυλικό οινόπνευμα και στον αιθέρα. Το σημείο ανάφλεξης είναι κάτω από $26^\circ C$ και αυτοαναφλέγεται στους $299^\circ C$. Το ανθρώπινο όριο ανοχής είναι μόνο 0.5ppm στον αέρα.

Η αμυλική βρωμύλη καλείται επίσης πεντανοθειόλη. Ο εμπειρικός της τύπος είναι $C_5H_{11}SH$. Η αμυλική βρωμύλη δεν είναι μια καθαρή ουσία, αλλά είναι συχνά ένα μίγμα που αποτελείται από τα διάφορα ισομερή της ένωσης. Φυσικά, έχει ένα μικρό ήλεκτρο ή ανοικτό κίτρινο χρώμα με μια συγκεκριμένη πυκνότητα από 0.83 έως 0.84. Είναι αδιάλυτο στο νερό, αλλά διαλυτό στο αιθυλικό οινόπνευμα. Το σημείο ανάφλεξης των ανοιχτών φλιτζανιών είναι $18^\circ C$. Επειδή είναι ένα μίγμα ισομερών, το σημείο βρασμού του κυμαίνεται μεταξύ $104^\circ C$ και $130^\circ C$.

Το θειοφένιο, αποκαλούμενο επίσης τετραϋδροφένιο, είναι το πιο ελάχιστα χρησιμοποιημένο μυρωδικό για τα LPG. Ο εμπειρικός τύπος του είναι C_4H_7SH . Εμφανίζεται καθαρά όπως το νερό και έχει την ίδια ειδική πυκνότητα όπως το νερό, 1,0. Έχοντας μερικά ισομερή, αυτό βράζει σε μια κλίμακα των $115^\circ C$ με $124,4^\circ C$.

Δ. Οσμωτικά φυσικού αερίου

Στα συστήματα φυσικού αερίου, το οσμωτικό εγχέεται στη ροή των σωληνώσεων σαν ψεκάσμος αερολύματος. Η δειγματοληψία γίνεται έπειτα, συνήθως σε διάφορα σημεία στο σύστημα σωληνώσεων αρκετά προς την κατεύθυνση του ρεύματος στο σημείο έγχυσης, για να εγγυηθεί την κατάλληλη διασπορά και συγκέντρωση μυρωδικού μέσα στο σύστημα διανομής.

Αντίθετα από τις απαιτήσεις μυρωδικών του LPG, οι κανονισμοί σχετικά με τον οσμωτισμό του φυσικού αερίου είναι λιγότερο συγκεκριμένοι. Εκτός αν εφαρμόζονται συγκεκριμένοι κρατικοί νόμοι, οι σκοπιμότητες του φυσικού αερίου μπορούν να χρησιμοποιήσουν οποιοδήποτε μυρωδικό σε οποιοδήποτε ποσό εφόσον καλύπτονται από τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- "Το οσμωτικό όταν αναμιγνύεται με το αέριο στο διευκρινισμένο ποσό δεν θα είναι επιβλαβές στους ανθρώπους ή στα υλικά που παρευρίσκονται στο σύστημα αερίου και δεν θα είναι διαλυτό στο νερό σε μια μεγαλύτερη έκταση από $2\frac{1}{2}$ μέρη του μυρωδικού για 100 μέρη του νερού κατά βάρος."
- "Τα προϊόντα της καύσης από το οσμωτικό θα είναι μη τοξικά στους ανθρώπους που αναπνέουν τον αέρα που περιέχει τα προϊόντα της καύσης και δεν θα είναι διαβρωτικά ή επιβλαβή στα υλικά με τα οποία τέτοια προϊόντα της καύσης θα έρχονταν συνήθως σε επαφή."
- "Η καύση του μυρωδικού και της φυσικής μυρωδιάς του αερίου θα παράσχει μια διακριτική οσμή έτσι ώστε όταν το αέριο είναι παρόν στον αέρα σε συγκέντρωση

τουλάχιστον 1% κατ' όγκο, η οσμή να είναι εύκολα ανιχνεύσιμη από ένα άτομο με μια κανονική αίσθηση όσφρησης."

Συχνά, είτε μεθυλική βρωμύλη είτε αιθυλική βρωμύλη χρησιμοποιείται για να αρωματίσει το φυσικό αέριο, μερικές φορές και οι δύο ουσίες χρησιμοποιούνται σε κάποιο τύπο μίγματος. Δεδομένου ότι μερικές από τις ιδιότητες της αιθυλικής βρωμύλης έχουν συζητηθεί ήδη στο προηγούμενο τμήμα για τα LPG μυρωδικά, μόνο η μεθυλική βρωμύλη θα συζητηθεί σε αυτό το τμήμα.

Η μεθυλική βρωμύλη, που καλείται επίσης μεθανοθειόλη, CH_3SH , είναι άσπρη σαν νερό όταν είναι υγρή και άχρωμη ως αέριο. Είναι ελαφρώς διαλυτή στο νερό και βράζει περίπου στους 6°C . Το σημείο ανάφλεξης της είναι κάτω από τους 0°C . Το χαμηλότερο όριο ευφλεκτότητας της είναι 3,9% και το ανώτερο όριο ευφλεκτότητας της είναι 21,8%, το οποίο είναι παρόμοιο με αυτό του φυσικού αερίου.

Η μεθυλική βρωμύλη έχει ένα μοριακό βάρος 48, περίπου τρεις φορές αυτό του φυσικού αερίου, CH_4 , που είναι 16. Αυτή η διαφορά οφείλεται πρώτιστα στο πρόσθετο άτομο θείου στην μεθυλική βρωμύλη. Δομικά, η μεθυλική βρωμύλη είναι απλά ένα μόριο μεθανίου με μια -SH ρίζα που αντικαθιστά ένα από τα άτομα υδρογόνου.

Σαν αέριο, η μεθυλική βρωμύλη είναι τοξική, είναι ένα ισχυρό ερεθιστικό και μυρίζει υπερβολικά. Ένα ανώτερο όριο ανοχής από 0,5ppm για την ανθρώπινη έκθεση στον αέρα έχει καθιερωθεί. Η αποδεκτή συγκέντρωση αναγνώρισης κατώτατων ορίων για ένα πρόσωπο με την φυσιολογική δυνατότητα μυρωδιάς είναι 0,002ppm στον αέρα.

E. Δειγματοληψία LPG για οσμωτικά

Όπως σημειώθηκε προηγουμένως, μυρωδικό προστίθεται στο LPG για ασφάλεια από τον τοπικό διανομέα. Η παρουσία του προορίζεται να προειδοποιήσει τα πρόσωπα που είναι στην περιοχή ότι υπάρχουν επικίνδυνοι ατμοί LPG παρόντες. Μερικοί άνθρωποι μπορεί ακόμη και να θεωρήσουν το μυρωδικό ότι είναι η πρώτη γραμμή υπεράσπισης ενάντια στις διαρροές αερίου.

Έχουν υπάρξει περιπτώσεις πυρκαγιών και εκρήξεων όπου διαπιστώθηκε ότι η οσμή του LPG δεν ήταν επαρκής για ένα πρόσωπο στην περιοχή της διαρροής για να ανιχνεύσει την παρουσία του. Σε μερικές περιπτώσεις, μεγάλες αποζημιώσεις έχουν απονεμηθεί από τα δικαστήρια ενάντια στους διανομείς LPG βασισμένοι σε μια διαπίστωση ότι τα LPG που παρέχονταν από το διανομέα ήταν ανεπαρκώς μυρωδικά. Η εισαγωγική παρουσίαση είναι ότι εάν το μυρωδικό ήταν ικανοποιητικό, ο ενάγων θα το είχε μυρίσει, η διαρροή θα είχε ανιχνευθεί έπειτα και η πυρκαγιά ή η έκρηξη θα μπορούσε να έχει αποτραπεί.

Για αυτούς τους λόγους, όποτε μια πυρκαγιά ή μια έκρηξη περιλαμβάνει τα LPG τα ενδιαφερόμενα μέρη μπορούν να επιθυμούν να καθορίσουν το επίπεδο μυρωδιάς στα LPG. Αυτό μπορεί να γίνει με τρεις διαφορετικούς τρόπους: μυρωδιά μιας μικρής εκπομπής αερίων, αέριο δειγματοληψίας από τις γραμμές και υγρό δειγματοληψίας από τη δεξαμενή.

Η πρώτη μέθοδος είναι απλή. Ένα μικρό ποσό αερίου LPG αποδεδεσμεύεται σε μια ήρεμη περιοχή από τη γραμμή αερίου και έπειτα την οσφραίνεται ένα ή περισσότερα άτομα με φυσιολογική δυνατότητα όσφρησης. Η οσμή μπορεί να εκτιμηθεί από τα πρόσωπα αυτά ως αποπνικτική, ισχυρή, μέση, αδύνατη, ή ως ίχνος. Φυσικά, δεδομένου ότι το LPG είναι εύφλεκτο, υποτέθηκε ότι μόνο μικρά ποσά απελευθερώνεται σε μια περιοχή χωρίς σπινθήρες και φλόγες. Περαιτέρω υποτίθεται ότι τα μικρά ποσά αερίου LPG αποδεδεσμεύονται σε περιοχές όπου το αέριο μπορεί να διαλυθεί εύκολα με φρέσκο αέρα.

Εάν απαιτείται, η μέθοδος της "όσφρησης" μπορεί πραγματικά να οργανωθεί για να είναι πιο ποσοτική σύμφωνα με τις απαιτήσεις για τα κατώτατα όρια ανίχνευσης. Εάν χρειαστεί, διάφοροι ελεγκτές μπορούν να μυρίσουν τα περιεχόμενα για να αναπτύξουν μια μικρή στατιστική βάση δειγματοληψιών. Ενώ αυτό δεν είναι μια επίσημα εγκεκριμένη

μέθοδος για την δοκιμή του επιπέδου του μυρωδικού του LPG, μπορεί κατά προσέγγιση να δείξει έτσι κι αλλιώς το επίπεδο του οσμωτικού αν συμφωνεί με τις απαιτήσεις.

Μια δεύτερη μέθοδος ελέγχου του περιεχόμενου μυρωδικού του LPG είναι να ληφθεί ένα υγρό δείγμα άμεσα από τη δεξαμενή. Αυτό απαιτεί ένα ειδικό δοχείο για να κρατήσει το υγρό δείγμα να αποτελείται από υλικά που δεν θα αντιδράσουν με το μυρωδικό. Οι περισσότερες δεξαμενές LPG έχουν μια σύνδεση στην κορυφή, κάτω από το προστατευτικό κάλυμμα, η οποία επιτρέπει σε ένα υγρό δείγμα να εξαχθεί από τη δεξαμενή. Συνήθως, ο τοπικός διανομέας LPG έχει τις προσαρμογές που θα κάνουν τη σύνδεση μεταξύ της δεξαμενής και του κλωβού μεταφοράς υγρών δειγμάτων LPG. Το υγρό δείγμα μεταφέρεται έπειτα σε ένα εργαστήριο όπου η συγκέντρωση του οσμωτικού στο υγρό καθορίζεται, συνήθως από τη χρωματογραφία του αερίου. Αυτή θεωρείται συνήθως η πιο ακριβής μέθοδος για τον καθορισμό του περιεχόμενου οσμωτικού.

Μια τρίτη μέθοδος περιλαμβάνει τη λήψη δειγμάτων από το ίδιο το αέριο LPG. Ένας ειδικός LPG δειγματοληπτικός κύλινδρος συνδέεται με τη γραμμή αερίου και το αέριο ρέει μέσα στον κύλινδρο έως ότου έχει απαλλαχθεί ο κύλινδρος από τον αέρα. Ο κύλινδρος είναι έπειτα κλειστός, παγιδεύοντας κατά συνέπεια ένα δείγμα του αερίου LPG στον κύλινδρο. Το δείγμα αερίου στον κύλινδρο μεταφέρεται έπειτα σε ένα εργαστήριο και αναλύεται με έναν χρωματογράφο αερίου για το περιεχόμενο της μυρουδιάς του. Εξαιτίας του γεγονότος ότι τα οσμωτικά αντιδρούν συχνά με τους κυλίνδρους που είναι καθαρά από χάλυβα, είναι σημαντικό να χρησιμοποιηθεί ένας κύλινδρος που σχεδιάστηκε για αυτό το σκοπό.

Υπάρχει επίσης μια εναλλακτική μέθοδος για τον έλεγχο του αερίου LPG για μυρωδικό η οποία παρέχει άμεσες εκτιμήσεις στον τομέα χωρίς περίπλοκη εργαστηριακή εργασία. Σε αυτήν την μέθοδο, μια εξάρτηση ανίχνευσης αερίου τομέα χρησιμοποιείται. Το αέριο από τη δεξαμενή LPG απελευθερώνεται σε ένα δειγματοληπτικό μπαλόνι ή τσάντα. Αρκετό αέριο απελευθερώνεται στην τσάντα ή το μπαλόνι για να μας εξασφαλίσει ότι οποιοσδήποτε διαμένων αέρας καθαρίστηκε, έτσι ώστε να μην υπάρχει τίποτα στην τσάντα ή το μπαλόνι εκτός από το αέριο LPG. Μια χειραντλία, που είναι όπως μια αντίστροφη αντλία ποδηλάτου, χρησιμοποιείται έπειτα για να εξάγει το αέριο LPG μέσω ενός λεπτού γυαλιού φιαλιδίου που περιέχει ένα χημικά επεξεργασμένο υλικό φίλτρων. Καθώς το αέριο LPG περνά δια μέσω του φιαλιδίου, οποιοδήποτε παρουσία μυρωδικού αντιδρά με τις χημικές ουσίες που εγκαθίστανται στο φίλτρο και το φίλτρο αλλάζει χρώμα σύμφωνα με μια κλιμακωτή γραμμή.

Φυσικά, όσο μεγαλύτερη η αλλαγή χρώματος που γίνεται κατά μήκος του φιαλιδίου, τόσο υψηλότερη η συγκέντρωση του οσμωτικού στο δείγμα. Η συγκέντρωση του οσμωτικού βρίσκεται έπειτα με τη μέτρηση του μήκους της αλλαγής χρώματος κατά μήκος του φιαλιδίου και κάνοντας έλεγχο ενός διαγράμματος για την αντίστοιχη συγκέντρωση του μυρωδικού.

Γενικά, η ακρίβεια αυτής της μεθόδου σε μια μόνο δοκιμή είναι ίσως $\pm 10\%$. Οι αρχάριοι που χρησιμοποιούν αυτήν την μέθοδο υποτιμούν συχνά το ποσό της παρουσίας μυρωδικού στο αέριο LPG επειδή είναι ένα κοινό λάθος να μην εκκαθαρίζεται επιμελώς η τσάντα ή το μπαλόνι του εναπομένου αέρα. Οποιοσδήποτε αέρας που αναμιγνύεται με το LPG, φυσικά, αναγκάζει την υποδεδειγμένη συγκέντρωση μυρωδικού να μειωθεί. Αυτό συμβαίνει επειδή το ποσό της παρουσίας αερίου μυρωδικού συγκρίνεται με το συνολικό όγκο του αερίου που εξάγεται μέσω του φιαλιδίου για να λάβει τη συγκέντρωση ανά όγκο.

Εξετάζοντας την ευκολία και τη λιτότητα της δοκιμής, εντούτοις, διάφορες δοκιμές μπορούν να γίνουν με συνοπτική σειρά για να αναπτυχθεί μια στατιστική βάση για ακρίβεια καλύτερη από μια μόνο δοκιμή. Επειδή αυτή η μέθοδος παρέχει μια άμεση μέτρηση της συγκέντρωσης μυρωδικού, αξίζει πραγματικά δεδομένου ότι, ειδικά όταν το μυρωδικό περιεχόμενο είναι αρκετά παραπάνω από τις συγκεντρώσεις απαίτησης.

Μια κοινή διαδικασία είναι να χρησιμοποιηθεί αυτή η μέθοδος για να υπολογίσουμε πρώτα το ποσό της παρουσίας μυρωδικού. Εάν η συγκέντρωση μυρωδικού είναι αρκετά

παραπάνω από τις απαιτήσεις, έτσι ώστε η κλίμακα της ακρίβειας της μεθόδου να μην επικαλύπτει την απαραίτητη συγκέντρωση μυρωδικού, μπορεί να μην είναι απαραίτητο να ληφθεί ένα δείγμα υγρού ή αερίου για την εργαστηριακή ανάλυση. Εάν η συγκέντρωση είναι κοντά στην απαίτηση, εντούτοις, κατόπιν οι ακριβέστερες μέθοδοι δειγματοληψίας και εργαστηρίων μπορούν να απαιτηθούν.

Διάφορες επιχειρήσεις κάνουν αυτές τις συσκευές και τα φιαλίδια δειγματοληψίας αερίου. Εκτός από να είσαι σε θέση να εξετάσεις την παρουσία μυρωδικού LPG, αυτός ο εξοπλισμός είναι επίσης χρήσιμος για άλλα αέρια. Ο ίδιος εξοπλισμός, παραδείγματος χάριν, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξετάσει τις συγκεντρώσεις CO, CO₂, CH₄, των αλδευδών, ή άλλων κοινών αερίων στον αέρα. Η μόνη αλλαγή στον εξοπλισμό είναι το φιαλίδιο: ένα φιαλίδιο ευαίσθητο στο συγκεκριμένο αέριο ψαχνόταν για να χρησιμοποιηθεί. Όπως πριν, οι χημικές ουσίες στο υλικό των φίλτρων στο φιαλίδιο θα δείξουν από την αλλαγή χρώματός τους εάν το ιδιαίτερο αέριο είναι παρόν καθώς το δείγμα εξάγεται μέσω του φιαλιδίου από τη δράση της χειραντλίας.

Υπάρχει ένα εξαιρετικά σημαντικό σημείο να θυμηθούμε όσον αφορά την αξιολόγηση είτε των υγρών είτε των αερίων δειγμάτων του LPG. Η συγκέντρωση του μυρωδικού σε ένα υγρό δείγμα LPG θα είναι γενικά διαφορετική από τη συγκέντρωσή της σε ένα αέριο δείγμα από το ίδιο LPG, επειδή το ποσοστό εξάτμισης του μυρωδικού δεν είναι το ίδιο με το ποσοστό εξάτμισης των LPG.

ΣΤ. Ανίχνευση διαρροών

Πρέπει να σημειωθεί ότι ένας από τους απλούστερους τρόπους να ανιχνευθούν οι διαρροές είναι με τη μυρωδιά. Εντούτοις, οι μυρωδιές μπορούν μερικές φορές να συγχέονται. Ενώ τα άτομα που τις μυρίζουν είναι εύλογα ευαίσθητα, δεν είναι συχνά οξυδερκείς. Η μυρωδιά των ακαθαρσιών κοτόπουλου, ατμοί καμένων κιβωτίων, αποσυντεθημένο σιτάρι, βενζίνη και παρόμοια είναι μερικές φορές συγκεχυμένος με το φυσικό αέριο ή τα μυρωδικά του LPG.

Μια απλή και ευαίσθητη μέθοδος για την εύρεση διαρροών στις σωληνώσεις όπου το αέριο είναι ακόμα σε κίνηση είναι μια δοκιμή φυσαλίδων. Σε αυτήν την δοκιμή, ένα διάλυμα μεταλλικού άλατος λιπαρού οξέος ικανό να σχηματίζει φυσαλίδες ψεκάζεται ή τοποθετείται στις ενώσεις κατά μήκος του σωλήνα. Όπου υπάρχει μια διαρροή, το διάλυμα του μεταλλικού άλατος θα διαμορφώσει τις φυσαλίδες που θα φουσκώσουν το διαφεύγων αέριο.

Είναι συνήθως βολικό να χρησιμοποιηθεί ένα κενό μπουκάλι ψεκασμού για αυτόν το λόγο, ή ίσως ένα κενό πιεστικό δοχείο.

Εάν είναι απαραίτητο, ο ογκομετρικός ρυθμός διαρροών μπορεί να υπολογιστεί με ένα χρονόμετρο και ένα μικρό χάρακα ή μια κλίμακα. Δεδομένου ότι η φυσαλίδα αυξάνεται, η διάμετρός της μπορεί να μετρηθεί. Αν υποθέσουμε ότι η φυσαλίδα είναι μια σφαίρα και η γνώση του χρόνου που παίρνει για να φθάσει στη μετρούμενη διάμετρο επιτρέπει μια εκτίμηση του ρυθμού διαρροών που πρέπει να γίνουν.

$$(iv) \quad Q = (l/6)(\pi)(D^3)/t$$

όπου: Q = ποσοστό διαρροών, όγκος ανά χρόνο,

D = η διάμετρος της φυσαλίδας στο χρόνο t, και

t = ο καταγραφών χρόνος για την διαμόρφωση φυσαλίδας διαμέτρου D

Όταν διατίθεται, μια βιντεοκάμερα είναι πολύ χρήσιμη στην καταγραφή της αύξησης των φυσαλίδων σε πραγματικό χρόνο, έτσι ώστε οι μετρήσεις χρόνος-ως προς-διάμετρο μπορούν να γίνουν στον ελεύθερο χρόνο. Αυτό είναι ένα πραγματικό πλεονέκτημα που ελέγχεται και κυλά με αργό ρυθμό στο χώρο ενός σπιτιού. Φυσικά, είναι ακόμα απαραίτητο

να παρασχεθεί μια κλίμακα στην καταγραφή σύμφωνα με την οποία οι διάμετροι των φυσαλίδων μπορούν να μετρηθούν.

Μια κοινή μέθοδος που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση διαρροών είναι της οσμής ή ανιχνευτές καυσίμου αερίου. Αυτές οι συσκευές ανιχνεύουν τους ατμούς καυσίμου αερίου και είναι όχι μόνο χρήσιμες στην εντόπιση των διαρροών αερίου, αλλά μπορούν επίσης να είναι χρήσιμες στην εύρεση των επιταχυντικών ατμών από τα αποστάγματα πετρελαίου.

Οι συσκευές έχουν ποικίλες μορφές. Μερικές έχουν εσωτερικές ηλεκτρικές αντλίες που απορροφούν το αέριο δείγμα στο τέλος ενός ελέγχου και διευθύνουν το αέριο στην αίθουσα δοκιμής του οργάνου. Άλλοι τύποι στηρίζονται επάνω στις χειραντλίες ή συμπιέζουν τους βολβούς για να δειγματίσουν τον αέρα. Οι περισσότερες από αυτές λειτουργούν με την ανάφλεξη του δείγματος του αέρα που περιέχει τα καύσιμα αέρια και έπειτα αισθάνεται τη θερμότητα, το φως, ή το βαθμό ιονισμού που παράγεται από την καύση. Το αποτέλεσμα μπορεί να είναι ένας δείκτης μετρητών, μια ψηφιακή ανάγνωση, ή ένα ευδιάκριτο σήμα. Στην τελευταία περίπτωση, το σήμα ηχεί συχνότερα όταν η συγκέντρωση είναι υψηλή.

Συχνά, τα δοχεία αερολύματος των προμιγμένων καυσίμων αερίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν έτσι ώστε οι διάφοροι "μετρητές οσμής" να μπορούν να βαθμονομηθούν για ένα ιδιαίτερο αέριο.

Οι μετρητές οσμής μπορούν να χρησιμοποιηθούν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Παραδείγματος χάριν, μπορούν να ανακαλύψουν τις διαρροές κατά μήκος των σωληνώσεων. Από τη δοκιμαστική δειγματοληψία και τα λανθασμένα δείγματα σε πολλές τοποθεσίες, το ίχνος μιας διαρροής μπορεί να ακολουθηθεί από την αύξηση της συγκέντρωσης πίσω στην πηγή του. Εντούτοις, χάνουν τη χρησιμότητά τους για τις έρευνες επιφάνειας όταν έχει δυνατό αέρα, το έδαφος καλύπτεται με πάγο, ή υπάρχει υπερβολική εδαφική υγρασία.

Με τη χρήση του εξοπλισμού διάτρησης, οι μετρητές οσμής μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τις έρευνες κάτω από την επιφάνεια. Μερικές φορές αυτές καλούνται έρευνες τρύπας ράβδων. Μια τρύπα ανοίγεται με τρυπάνι κάτω σε μια τάφρο σωλήνων ή άλλους υπόγειους χώρους ύποπτους κατοχής αερίου και μερικές φορές επιτρέπεται για κάποιο υπόγειο αέριο να διασκορπιστεί στην τρύπα. Λαμβάνεται δείγμα αέρα από την τρύπα έπειτα για τα καύσιμα αέρια. Συνήθως, ο μετρητής οσμής θα συνδέεται με μια ράβδο στο τέλος του για αυτόν το λόγο, η οποία ράβδος είναι βασικά μια επέκταση η ένας μακρύς σωλήνας του μετρητή οσμής έτσι ώστε να επιλέγεται μόνο ο αέρας από την τρύπα.

Το κύριο μειονέκτημα των μετρητών οσμής είναι συνήθως άνευ διακρίσεως όσον αφορά τον τύπο καυσίμου αερίου που ανιχνεύεται. Ενώ οι περισσότεροι είναι βαθμονομημένοι για το μεθάνιο, θα αποκριθούν επίσης στις ποικίλες ευαισθησίες στα περισσότερα εύφλεκτα αέρια, μερικές φορές συμπεριλαμβανομένης και της αμμωνίας (π.χ. το προσωπικό εταιρίας αερίου να νομίζει ότι έχει εντοπίσει μια κάτω από την επιφάνεια διαρροή αερίου, και στο τέλος αφού σκάψουν να βρουν μόνο ότι είχαν εντοπίσει μια θαμμένη κρύπτη της αποσυντεθειμένης ακαθαρσίας από διαρροή συστήματος αποχέτευσης.

Περαιτέρω, είναι επίσης δυνατό "να δηλητηριαστούν" μερικοί τύποι μετρητών ροής με τα βαριά μέταλλα. Παραδείγματος χάριν, ο τετραϊθυλικός μόλυβδος που βρίσκονταν σε παλαιότερους τύπους βενζινών μπορεί να καλύψει τον καταλύτη, που είναι συνήθως από λευκόχρυσο, μέσα στην αίθουσα δοκιμής. Κατά συνέπεια, μετά από την έκθεση στους ατμούς που περιέχουν τα βαριά μέταλλα, η ευαισθησία μετρητή οσμής μπορεί να μειωθεί σημαντικά. Μερικά από αυτά τα προβλήματα μπορούν να μετριαστούν με την χρήση προ-δειγματοληπτικών φίλτρων στο τέλος του σωλήνα. Τέτοια φίλτρα μπορούν να κρατήσουν έξω μερικά από τα μόρια σκόνης, ή τα μόρια βαριών μετάλλων.

Ένα πεπιεσμένο αέριο που δραπτετεύει παράγει συνήθως έναν ήχο. Οι περισσότεροι από μας έχουν ακούσει το θόρυβο που συνδέεται με τη διαφυγή του αέρα από έναν εύκαμπτο αεραγωγό ή από κάτι παρόμοιο. Ο ήχος παράγεται επίσης υπερηχητικά, αυτό είναι πάνω από το φάσμα της ανθρώπινης ακοής. Η μέγιστη δυνατότητα ακοής του ανθρώπου είναι συνήθως στα 20.000 Hertz. Χρησιμοποιώντας αυτήν την βασική αρχή, οι υπέργιοι σωλήνες μπορούν συχνά να ελεγχθούν για διαρροές χρησιμοποιώντας τους ανιχνευτές υπερήχων. Καταρχήν, όσο το μέγεθος της πίεσης του αερίου αυξάνεται, η ενέργεια υπερήχων που παράγεται από τις διαρροές αυξάνεται επίσης.

Η αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου εξαρτάται από την ησυχία της σωληνώσεως, και το ποσό μείωσης του υπερήχου από τα τμήματα των σωληνώσεων. Παραδείγματος χάριν, ένα ευρύ φάσμα του θορύβου που δημιουργείται από τα μηχανήματα που συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με τις σωληνώσεις μπορεί να καλύψει το σήμα του υπερήχου από μια διαρροή. Σωλήνες Pitot, σωλήνες Venturi ή μικρές βαλβίδες που είναι μερικώς ανοικτές μπορούν επίσης να παραγάγουν υπέρηχο παρόμοιο με αυτόν μιας διαρροής. Στην πραγματικότητα, αν υπάρχουν ταυτόχρονες διαρροές μπορεί να δημιουργηθεί ικανοποιητικός θόρυβος ώστε να καταστήσει την εργασία ανίχνευσης δύσκολη.

Μερικά συστήματα σωληνώσεων έχουν εξαρτήματα που μπορούν να καταπνίξουν τον υπέρηχο που δημιουργείται από τη διαρροή. Αλλά συστήματα σωληνώσεων μπορεί "να αντανakλούν" τον υπέρηχο έτσι ώστε μια ενιαία διαρροή να εμφανίζεται ότι προέρχεται από διάφορες κατευθύνσεις. Ένας συνδυασμός των παραπάνω, μπορεί να αναγκάσει το χειριστή να δώσει μια λανθασμένη κατεύθυνση ως προς τη θέση της διαρροής, εκτός αν γίνει μια λεπτομερής έρευνα στις σωληνώσεις.

Γενικά, απαιτείται ότι όταν καθορίζεται το σημείο της διαρροής χρησιμοποιώντας τον υπέρηχο, να χρησιμοποιείται μια δεύτερη μέθοδος ως επιβεβαίωση.

Ένας άλλος τρόπος δοκιμής είναι όταν ένα τμήμα του σωλήνα απομονώνεται από το σύστημα και διατηρείται υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση ή με την παροχή σε αυτόν ενός αερίου όπως το άζωτο. Το διατηρημένο υπό σταθερή πίεση τμήμα σωλήνων ελέγχεται έπειτα περιοδικά για την απώλεια πίεσης.

Συχνά η πίεση που χρησιμοποιείται για τη δοκιμή είναι τουλάχιστον αυτή που οι σωληνώσεις θα μπορούσαν κανονικά να φέρουν, συνήθως είναι υψηλότερη. Συχνά, οι ίδιες βασικές παράμετροι δοκιμής για την πίεση και για τον χρόνο χρησιμοποιούνται για την πιστοποίηση των πρόσφατα εγκατεστημένων σωληνώσεων όσο αφορά τις διαρροές. Εάν υπάρχει μια πτώση πίεσης που υποδεικνύει μια διαρροή, το ποσοστό πτώσης στο χρόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστεί το μέγεθος της διαρροής (ω) από τις βασικές εκτιμήσεις του νόμου των αερίων.

Παραδείγματος χάριν, υποθέστε ότι ένας σωλήνας μήκους L με μια εσωτερική διάμετρο D είναι κλειστός και από τις δύο άκρες, και είναι πεπιεσμένος με αέρα σε πίεση P_2 . Το τμήμα του σωλήνα αφήνεται έπειτα για μεγάλο χρονικό διάστημα ώστε να έρθει σε ισορροπία με τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Ο όγκος του τμήματος του σωλήνα είναι:

$$(v) V = \pi(D^2/4)L$$

Στην πίεση P_2 το ποσό αερίου, σε μονάδες μάζας, στο κλεισμένο τμήμα του σωλήνα θα ήταν:

$$(vi) m_2 = (P_2V)/(RT) = (P_2)\pi(D^2/4)L/(RT)$$

η οποία είναι μια απλή εφαρμογή του νόμου ιδανικών αερίων, όπου το R είναι η σταθερά του αερίου για τον αέρα (ή οποιοδήποτε άλλο αέριο χρησιμοποιείται), και το T είναι θερμοκρασία.

Μετά από το πέρασμα ενός ορισμένου χρόνου t, η πίεση πέφτει στο P₁. Κατά συνέπεια η μάζα στο κλεισμένο τμήμα του σωλήνα που χάθηκε από τη διαρροή κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου καθορίζεται ως εξής:

$$(vii) m_2 - m_1 = (P_1 - P_2)V / (RT)$$

Τα ανωτέρω υποθέτουν ότι η θερμοκρασία μέσα στο τμήμα του σωλήνα δεν έχει αλλάξει σημαντικά κατά τη διάρκεια της χρονικής διαρροής που έχει εμφανιστεί, και ότι το ποσό που διέρρευσε είναι μικρό όσον αφορά τον όγκο μέσα στο σωλήνα έτσι ώστε η ισορροπία του αερίου μέσα στο σωλήνα να διατηρείται η ίδια με τον περιβαλλοντικό, στην ουσία είναι μια ισόθερμη διαδικασία.

Το ποσοστό της διαρροής της ροής της μάζας είναι το ακόλουθο:

$$(viii) (m_2 - m_1 / t) = (P_2 - P_1)V / (RT)t = [(P_2 - P_1)p(D^2 / 4) / L] / [(RT)t]$$

Εάν είναι απαραίτητο να μετατραπεί αυτό το ποσοστό διαρροής της ροής της μάζας σε ένα ογκομετρικό ποσοστό ροής διαρροών σε σταθερές συνθήκες, ο νόμος ιδανικών αερίων μπορεί να ξαναεφαρμοστεί για κανονικές συνθήκες.

$$(ix) [(m_2 - m_1) / t] RT_s / P_s = Q$$

όπου Q = όγκος της διαρροής του αερίου σε σταθερές συνθήκες ως προς τον χρόνο, και ο δείκτης s υποδεικνύει για σταθερές συνθήκες.

Με το όριο της εξίσωσης (viii), φαίνεται ότι ισχύουν τα ακόλουθα:

$$(x) dm / dt = [p(D^2 / 4)L / (RT)] [dT / dt].$$

Από την αντικατάσταση, λαμβάνεται ο ακόλουθος τύπος:

$$(xi) Q = [dm / dt] RT_s / P_s$$

$$Q = [p(D^2 / 4)L(T_s) / P_s(T)] [dP / dt].$$

Το μέγεθος της τρύπας που προκαλεί τη διαρροή μπορεί έπειτα να υπολογιστεί με την εφαρμογή της εξίσωσης συνέχειας:

$$(xii) [dm / dt] = Avr$$

όπου: A = εμβαδόν της τρύπας,

v = ταχύτητα του αερίου που δραπετεύει μέσω της τρύπας, και

ρ = P/RT ή πυκνότητα του αερίου στην τρύπα, η οποία σε αυτήν την περίπτωση θα αντιστοιχούσε στις συνθήκες μέσα στο τμήμα σωλήνων.

Τώρα, η ταχύτητα διαφυγής του αερίου στην τρύπα προέρχεται από την Ενεργειακή Εξίσωση Ροής του Bernoulli για ένα συμπιεσμένο αέριο:

$$(xiii) v = C [2J(h_2 - h_1)]^{1/2}$$

όπου : h_2 και h_1 , είναι οι ενθαλπίες του αερίου αντίστοιχα μέσα στο σωλήνα, και κατόπιν έξω από το σωλήνα,

J = παράγοντας μετατροπής ενθαλπίας για να μετατρέψει θερμικές μονάδες σε έργο, και

C = συντελεστής στομίου, ο οποίος λαμβάνεται συνήθως να είναι 0,98.

Έπειτα από την αντικατάσταση, το εμβαδόν της τρύπας της διαρροής μπορεί να υπολογιστεί από τα εξής:

$$(xiv) A = [dm/dt][1/v][RT/P_2]$$

$$A = [p(D^2/4)L/(RT)][dP/dt][RT/P_2]/C[2J(h_2 - h_1)]^{1/2}$$

$$A = [p(D^2/4)L][dP/dt]/P_2C[2J(h_2 - h_1)]^{1/2}$$

Η ανωτέρω εκτίμηση για το μέγεθος της διαρροής μπορεί να είναι χρήσιμη στην απόφαση για το σε ποια τάξη ανήκει η διαρροή.

Είναι χρήσιμο εάν μια πίεση ξεπερνά μόλις την κανονική πίεση εργασίας και μια άλλη ακριβώς κάτω από την κανονική πίεση εργασίας. Αυτό παρέχει το " $P_2 - P_1$ ", που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει τη συγκεκριμένη μάζα ή την ογκομετρική ποσοστό ροής της διαρροής μεταξύ των δύο πιέσεων, δηλ., στην πίεση εργασίας. Αυτό μπορεί να είναι σημαντικό για να γίνει γνωστό εάν αυτή η ιδιαίτερη διαρροή θα μπορούσε ή όχι να έχει προκαλέσει την πυρκαγιά ή την έκρηξη, λαμβάνοντας υπόψη την προκύπτουσα ζημιά και το σχετικό χρονικό διάστημα.

Τα τεστ απομόνωσης είναι αποτελεσματικότερα για δόκιμες σε θαμμένες σωληνώσεις, ή για δόκιμες σε μεγάλα, σύνθετα συστήματα σωληνώσεων. Εάν δεν υπάρχει καμία διαρροή, ένα και μόνο τεστ απομόνωσης μπορεί να μας δώσει έναν καθαρό λογαριασμό της υγείας των σωληνώσεων που ειδάλλως θα ήταν δαπανηρό να σκαφτεί, ή να ελεγχθεί με τη χρήση της δοκιμής φουσαλίδων ή ενός ανιχνευτή αερίων καύσιμων. Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου απομόνωσης είναι ότι δεν μπορεί από μόνο του να εντοπίσει συγκεκριμένα τη διαρροή. Απλά δείχνει εάν οι διαρροές είναι παρούσες και είναι συγκεκριμένο για το ποσοστό των διαρροών. Η μέθοδος απομόνωσης απαιτεί επίσης βοηθητικό εξοπλισμό και προετοιμασία.

Μετά από μια φωτιά ή μια έκρηξη, μια δοκιμή μπορεί να είναι πολύ χρήσιμη για να ελέγξει ότι δεν υπάρχει καμία διαρροή σε ένα συγκεκριμένο τμήμα των σωληνώσεων. Εάν καμία διαρροή δεν βρίσκεται μετά από μια φωτιά ή μια έκρηξη, μπορεί να συμπεράνουμε ότι δεν υπήρξε καμία αιτία για την φωτιά ή την έκρηξη. Εντούτοις, εάν η κλειστή δοκιμή υποδεικνύει ότι υπάρχουν διαρροές, δεν μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι οι διαρροές ήταν παρούσες πριν από την πυρκαγιά. Ειδικά σε μια έκρηξη, είναι δυνατό η μετακίνηση του κτηρίου κατά τη διάρκεια ή μετά το γεγονός του ατυχήματος να προκαλέσει τις διαρροές στις σωληνώσεις. Σε τέτοιες περιπτώσεις, θα είναι απαραίτητο να εξεταστούν οι συγκεκριμένες περιοχές διαρροών για να καθορίσει από άλλα τα στοιχεία εάν οι διαρροές εμφανίστηκαν πριν ή μετά από το γεγονός του ατυχήματος.

Συμπερασματικά αυτού του καταλόγου μεθόδων για τις διαρροές, υπάρχει μια μεθοδολογία που δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί: δοκιμή φλογών. Μερικοί από τους παλαιότερους υδραυλικούς και τους τεχνικούς HVAC, και μερικοί από τους νεώτερους, χρησιμοποιούν μια μικρή φλόγα για να ελέγξουν τις διαρροές του αερίου. Η ιδέα είναι ότι η φλόγα θα αναφλεγεί από οποιοδήποτε περιπλανώμενο αέριο και θα προκαλέσει μια φλόγα

που θα υποδείξει το σημείο της διαρροής. Το σημείο της διαρροής μπορεί έπειτα να επισημανθεί από τη φλόγα, ή από την κατεύθυνση της λάμψης κατά μήκος του σωλήνα.

Ενώ αυτή η μέθοδος μπορεί να λειτουργήσει, είναι επικίνδυνα επισφαλής. Κατ' αρχάς, εάν ο τεχνικός συναντήσει ένα μεγαλύτερο ποσό διαρροής από το αναμενόμενο, μπορεί να θέσει την έκρηξη που επιδίωκε να αποτρέψει. Φυσικά, κατά τη διάρκεια της έρευνας μετά την έκρηξη, η θέση του σώματος του τεχνικού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει κατά προσέγγιση τη σημειακή θέση του ορίου του οστικού κύματος του αερίου.

Αφετέρου, συχνά το φυσικό αέριο μπορεί να καεί χωρίς να φανεί φλόγα. Είναι δυνατό μ' αυτό τον τρόπο να αναφλεχτεί τυχαία το αέριο που προέρχεται από ένα σημείο διαρροών, και έπειτα να μην είναι σε θέση να βρεθεί. Λαμβάνοντας υπόψη το χρόνο, η φλόγα μπορεί να δημιουργήσει μια τρύπα διαρροής στο σωλήνα και να πάρει μεγαλύτερες διαστάσεις με την τήξη του, ή μπορεί να αναγκάσει έναν σύνδεσμο χαμηλής θερμοκρασίας να κλείσει αφήνοντας χαλαρώσει λόγω τις θερμότητας στο σωλήνα. Εάν η φλόγα δεν ανακαλύπτεται και σβηστή, μπορεί τελικά να προκαλέσει μια εκτεταμένη πυρκαγιά. Φυσικά, δεδομένου ότι μπορεί να υπάρξει κάποια χρονική καθυστέρηση από το όταν ο τεχνικός ήταν παρών στη μονάδα από την στιγμή που ανακαλύφθηκε η πυρκαγιά, ο τεχνικός θα πει ότι το λάθος δεν ήταν δικό του.

Z. Ταξινόμηση διαρροών

Διεθνώς έχει καθιερωθεί ένα σύστημα ταξινόμησης στο οποίο οι εύφλεκτες διαρροές αερίων είναι ταξινομημένες. Οι κατηγορίες είναι οι ακόλουθες:

- **Βαθμός 1:** Αυτή είναι μια διαρροή που ένας πιθανός κίνδυνος για πρόσωπα ή ιδιοκτησίες. Η διαρροή 1^{ου} βαθμού απαιτεί την άμεση επισκευή ή προληπτικά μέτρα έως ότου δεν είναι πλέον επικίνδυνη.
- **Βαθμός 2:** Αυτή είναι μια διαρροή που μπορεί να μην είναι επικίνδυνη αυτήν τη στιγμή, αλλά θα μπορούσε να αναπτύξει επικίνδυνες συνθήκες με το πέρασμα του χρόνου. Ο 2^{ος} βαθμός διαρροής απαιτεί τη συχνή συντήρηση έτσι ώστε η διαρροή να μην γίνει επικίνδυνη.
- **Βαθμός 3:** Αυτή είναι μια διαρροή που δεν είναι επικίνδυνη, και μπορεί λογικά να παραμείνει ακίνδυνη.

Μερικά παραδείγματα διαρροής 1^{ου} δίνονται κατωτέρω:

- Το αέριο που δραπέτεύει έχει αναφλεγεί.
- Αέριο που έχει μεταναστεύσει μέσα ή κάτω από ένα κτήριο.
- Οποιαδήποτε μέτρηση συγκέντρωσης καύσιμου αερίου που παρουσιάζει το εύφλεκτο αέριο κατά 80% χαμηλότερα από το κατώτερο όριο ανάφλεξης του σε μια περιορισμένη περιοχή.

Μερικά παραδείγματα διαρροής 2^{ου} δίνονται κατωτέρω:

- Μια μέτρηση συγκέντρωσης αερίου καύσιμου που παρουσιάζει το εύφλεκτο αέριο κατά 40% ή περισσότερο από το χαμηλότερο όριο ανάφλεξης του κάτω από ένα πεζοδρόμιο.
- Μια μέτρηση συγκέντρωσης αερίου καύσιμου που παρουσιάζει το εύφλεκτο αέριο κατά 80% ή περισσότερο από το χαμηλότερο όριο ανάφλεξης του στην υποδομές που σχετίζονται με το αέριο.
- Οποιαδήποτε μέτρηση συγκέντρωσης αερίου καύσιμου που παρουσιάζει το εύφλεκτο αέριο κατά 20%-80% χαμηλότερο από το χαμηλότερο όριο ανάφλεξης του σε μια περιορισμένη περιοχή.

Μερικά παραδείγματα διαρροής 3^{ου} δίνονται κατωτέρω:

- Οποιαδήποτε μέτρηση συγκέντρωσης αερίου καύσιμου που παρουσιάζει εύφλεκτο αέριο από 20% ή λιγότερο σε μια περιορισμένη περιοχή.
- Οποιαδήποτε διαρροή κάτω από μια οδό ή ένα πεζοδρόμιο στις περιοχές χωρίς πεζοδρόμιο από τοίχο σε τοίχο όπου είναι απίθανο το αέριο να μεταναστεύσει σε ένα κτήριο.

Φυσικά, δεν μπορούν όλες οι διαρροές που βρίσκονται στις σωληνώσεις αυτόματα να συνδεθούν με την αιτία της φωτιάς ή της έκρηξης. Μερικές διαρροές μπορούν απλά να είναι συμπτωματικές. Είναι επομένως σημαντικό να καθοριστεί ότι εάν οποιεσδήποτε διαρροές που βρέθηκαν κατά τη διάρκεια μιας έρευνας είναι 1^{ου} βαθμού διαρροές ή όχι. Εξ ορισμού, θα χρειαζόταν μια 1^{ου} βαθμού διαρροή για να προκαλέσει μια φωτιά ή μια έκρηξη.

Παράδειγμα: Ένας εμπρηστής θέτει φωτιά στο σπίτι του χρησιμοποιώντας τη δοκιμασμένη και επαληθευμένη μέθοδο χύνοντας βενζίνη στο πάτωμα. Κατά τη διάρκεια της έρευνας μετά τη φωτιά, διαπιστώνεται ότι το σύστημα LPG έχει διάφορες διαρροές στις σωληνώσεις του. Ο πληρεξούσιος δικηγόρος του εμπρηστή χρησιμοποιεί αυτή την πληροφορία για να ισχυριστεί ότι η φωτιά δεν προκλήθηκε από τον πελάτη του, αλλά από μια διαρροή στο σύστημα LPG. Μπορεί ακόμη και ίσως να υποβάλει μήνυση στον τοπικό διανομέα τις LPG.

Το σημαντικό σημείο σε αυτό το σενάριο είναι ότι ο δικηγόρος του εμπρηστή έχει τώρα μερικά στοιχεία που μπορεί να τα παρουσιάσει στο δικαστήριο για να ενισχύσει τη θεωρία του για το πώς άρχισε η φωτιά, δηλ ότι η φωτιά ήταν τυχαία και προκλήθηκε από το σύστημα LPG. Στο ελάχιστο, ο δικηγόρος μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτές τις πληροφορίες για να συγχύσει τους δικαστές. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο κατηγορούμενος δεν είναι απαραίτητο να αποδείξει ακριβώς τι έγινε για να βρεθεί αθώος, αυτό που πρέπει να κάνει είναι να δείξει ότι υπάρχει σημαντική αμφιβολία ως προς το τι συνέβη.

Κατά συνέπεια είναι πολύ σημαντικό, όταν βρίσκονται τέτοιες διαρροές, να ερευνηθεί εάν οι διαρροές προκλήθηκαν ή όχι κατά τη διάρκεια ή μετά από τη φωτιά, σε αντιδιαστολή με την ύπαρξη τους πριν από την φωτιά.. Εάν οι διαρροές ήταν παρούσες πριν από την πυρκαγιά, είναι σημαντικό να πιστοποιηθεί ποιος σε ποιο βαθμό διαρροής ήταν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΦΩΤΙΑΣ

A. Γενικά

Όπως σημειώνεται στο κεφάλαιο 2, η φωτιά είναι ένας τύπος χημικής αντίδρασης. Είναι μια γρήγορη αυτοϋποστηριζόμενη αντίδραση οξειδωσης όπου παράγονται η θερμότητα, το φως και άλλα υποπροϊόντα. Για να πραγματοποιηθεί μια φωτιά πρέπει να υπάρχουν τρία πράγματα παρόντα:

- καύσιμα σε επαρκή ποσότητα,
- ικανοποιητικός αέρας ή ένας φορέας οξειδωσης για να αντιδράσει με το καύσιμο, και
- μια πηγή ενέργειας, ή μια δράση που να είναι επαρκής για να διευκολύνει την ανάφλεξη.

Αυτές είναι οι θεμελιώδεις αρχές για τον προσδιορισμό του σημείου προέλευσης μιας πυρκαγιάς. Το σημείο προέλευσης πρέπει να είναι εκεί όπου και τα τρία συστατικά απαραίτητα για το ξεκίνημα της πυρκαγιάς ήταν παρόντα την ίδια στιγμή και στον ίδιο χώρο όταν άρχισε η πυρκαγιά.

Κατά γενική ομολογία, μερικοί τύποι πυρκαγιών μπορούν να ξεσπούν από μόνες τους κατά την άποψη της ενέργειας ενεργοποίησης. Απλά φέρνοντας ορισμένα υλικά στην επαφή το ένα με το άλλο, όπως τον αέρα και τον άσπρο φώσφορο στους 30°C, μπορεί να ξεσπάσει φωτιά. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η φωτιά δεν αρχίζει από έναν σπινθήρα ή μια φλόγα, αλλά από κάποιο είδος αντίδρασης που επιτρέπει στα αντιδραστήρια να έρθουν σε φυσική επαφή το ένα με το άλλο.

Υπάρχουν επίσης υλικά που μπορούν να αναφλεγούν όταν προστίθεται σε αυτά μια τρίτη χημική ουσία στα δύο πρώτα, τα οποία είναι σε επαφή το ένα με το άλλο. Η τρίτη χημική ουσία, ή ο καταλύτης, δεν αντιδρά με καθεμία εκ των άλλων δύο χημικών ουσιών για να ξεσπάσει η φωτιά, εντούτοις, αντιδρά με αυτά με έναν τρόπο που χαμηλώνει το ενεργειακό κατώτατο όριο ενεργοποίησης μεταξύ των δύο. Λόγω αυτού, η αντίδραση οξειδωσης μεταξύ των δύο υλικών μπορεί να αρχίσει σε μια χαμηλότερη θερμοκρασία, ή με σημαντικά λιγότερη αρχική ενέργεια απ' ό τι συνήθως. Κατά συνέπεια, δύο χημικές ουσίες που από μόνες τους δεν θα αναφλέγονταν συνήθως ή μια με την άλλη μπορούν όμως να αναφλέγουν εάν ένας ορισμένος καταλύτης προστίθεται στο μίγμα. Εντούτοις, επιστρέφοντας στο βασικό σημείο, υπάρχει άφθονο οξυγόνο στον αέρα για να υποστηρίξει την καύση σχεδόν παντού όπου υπάρχουν κτήρια και άνθρωποι. Κατά συνέπεια η μεγάλη συγκέντρωση οξυγόνου δεν είναι συνήθως πρόβλημα, εκτός ίσως στους υπόγειους θαλάμους, τις κενές αίθουσες, ή άλλες ασυνήθιστες αεροστεγείς δομές.

Ομοίως, τα περισσότερα κτήρια, σπίτια και κατασκευαστικές εγκαταστάσεις περιέχουν άφθονα ποσά καύσιμων υλικών. Κάποτε, ήταν δημοφιλές να διαφημίζεται ότι μια αποθήκη ή ένα ξενοδοχείο ήταν "αντιπυρικά". Αυτή η αξίωση γινόταν επειδή το ίδιο το κτήριο ήταν φτιαγμένο από τσιμέντο, χάλυβα, και άλλα άφλεκτα υλικά. Εντούτοις, αυτά τα κτήρια περιείχαν μεγάλα ποσά επίπλων, ιματισμού, διακοσμήσεων, χαρτικής ύλης, κιβωτίων, και άλλων υλικών τα οποία θα μπορούσαν να καούν.

Φυσικά, ακριβώς επειδή ένα υλικό που δεν μπορεί να καεί δεν μπορεί να σημάνει ότι είναι και "αντιπυρικό". Το τσιμέντο και ο χάλυβας επηρεάζονται και τα δύο αρνητικά από την φωτιά. Είναι καταπληκτικό από τα πόσα από τα αποκαλούμενα "αντιπυρικά" ξενοδοχεία και αποθήκες έχουν καεί ολοσχερώς κατά τη διάρκεια των ετών.

Κατά συνέπεια, δύο από τα τρία συστατικά απαραίτητα για μια πυρκαγιά να εμφανιστεί είναι χαρακτηριστικά ήδη παρόντα στα περισσότερα μέρη, και είναι παρόντα για μεγάλο χρονικό διάστημα για εμφάνιση πυρκαγιάς. Συνεπώς, το κλειδί για την επίλυση του σημείου προέλευσης μιας πυρκαγιάς και της αιτιολογίας της, περιστρέφεται συχνά

γύρω από τον καθορισμό της φύσης του τρίτου συστατικού που είναι απαραίτητο για την πυρκαγιά: η ενέργεια ανάφλεξης.

B. Ταχύτητες καύσης και σχέδια "V"

Από την περιστασιακή παρατήρηση είναι προφανές ότι η πυρκαγιά διαδίδεται σε διαφορετικές αποστάσεις ανάλογα με το υλικό και τον προσανατολισμό της. Όσον αφορά τον προσανατολισμό, παραδείγματος χάριν, είναι κοινώς γνωστό σε καθέναν που έχει χρησιμοποιήσει σπύρτα ότι η φωτιά καίει γρηγορότερα ένα σπύρτο προς τα πάνω από ότι καίει προς τα κάτω. Είναι επίσης κοινός γνωστό ότι όταν ένα σπύρτο κρατιέται οριζόντια, η ακτίνα καύσης του είναι κάπου ενδιάμεσα.

Ας δούμε το εξής απλό πείραμα. Ένα κοινό ξύλινο σπύρτο κουζίνας είναι περίπου 50mm, αποκλείοντας το κεφάλι, και περίπου 2,5 mm X 2,5mm στο διαγώνιο τμήμα. Εάν η χρονομέτρηση αρχίσει μετά από το ανάφλεξη του κεφαλιού και το ξύλινο τμήμα αρχίζει να καίγεται, χρειάζονται περίπου 30 δευτερόλεπτα για το σπύρτο να καεί εντελώς όταν αυτό κρατιέται οριζόντια. Ομοίως, χρειάζεται 6 δευτερόλεπτα για το σπύρτο να καεί εντελώς όταν αυτό κρατιέται κάθετα με το μέρος που αναφλέγεται προς τα κάτω. Όταν το αναφλεγόμενο μέρος του σπύρτου κρατιέται προς τα πάνω, στις περισσότερες περιπτώσεις το σπύρτο σβήνει αφού έχει διανύσει 15mm. από το κεφαλή προς τα κάτω σε έναν μέσο χρόνο 35 δευτερολέπτων.

Χρησιμοποιώντας παραμετρικές εξισώσεις, οι ανωτέρω πληροφορίες μπορούν να εκφραστούν ως εξής:

$$(i) z = (50mm / 6 \text{ sec})t = (8.67mm / \text{sec})t$$

$$x = (50mm / 30 \text{ sec})t = (1.67mm / \text{sec})t$$

$$z_d = (15mm / 35 \text{ sec})t = (0.43mm / \text{sec})t$$

όπου: z = η απόσταση του ταξιδιού της φωτιάς στην ανοδική κάθετη κατεύθυνση,

x = η απόσταση του ταξιδιού της φωτιάς στην οριζόντια θέση, και το

z_d = η απόσταση του ταξιδιού της φωτιάς στην καθοδική κάθετη κατεύθυνση.

Η επιθεώρηση των ανωτέρω τριών εξισώσεων για την ταχύτητα καύσης σε ένα ξύλινο σπύρτο διαπιστώνετε ότι:

- η ταχύτητα καύσης είναι περίπου πέντε φορές μεγαλύτερη ανοδικά από ότι πλευρικά,
- η ταχύτητα καύσης είναι περίπου τέσσερις φορές γρηγορότερη πλευρικά απ' ότι καθοδικά,
- η ταχύτητα καύσης είναι περίπου είκοσι φορές γρηγορότερη ανοδικά από ότι καθοδικά.

Λόγω των ανωτέρω, όταν επιτρέπεται σε μια φωτιά να κάψει μια κάθετη επιφάνεια τοίχου, θα δημιουργήσει ένα διαμορφωμένο σχέδιο μορφής "V" και αυτό επειδή καθώς η φωτιά καίει προς τα πάνω, συγχρόνως θα διαδοθεί και πλευρικά, αλλά σε ένα πιο αργό ποσοστό. Εάν το πλευρικό ποσοστό καύσης ήταν ίσο με το ανοδικό ποσοστό καύσης, η γωνία "V" με την κατακόρυφο θα ήταν 45°, και η γωνία στην εγκοπή του "V" θα ήταν μια γωνία, 90°. Για αυτόν το λόγο, οι ανοδικές κινούμενες φωτιές έχουν μια γωνία "V" 90° ή μικρότερη. Λόγω των διαδικασιών μεταφοράς, τα πλευρικά ποσοστά καύσης δεν είναι ποτέ ίσα ή δεν υπερβαίνουν τα ανοδικά ποσοστά καύσης. Εάν η γωνία "V" είναι περισσότερη από 90° η φωτιά δεν έκαψε προς τα πάνω.

Τι συμβαίνει εάν η φωτιά καίει προς τα κάτω: Υποθέστε ότι μια φωτιά αρχίζει κάπου στην οροφή, και έπειτα διαδίδεται προς τα κάτω κατά μήκος ενός κάθετου τοίχου. Το

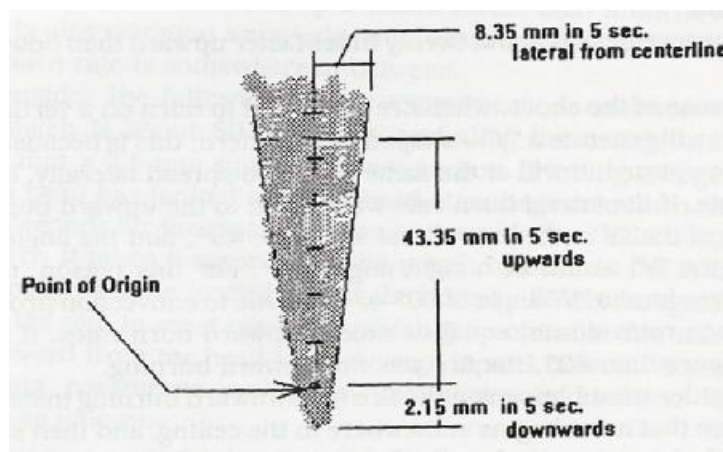
αρχικό σημείο των εγκαυμάτων σε εκείνο τον τοίχο αρχίζει από το μέσο στη κορυφή του τοίχου.

Επειδή το ποσοστό της καύσης είναι αρκετές φορές γρηγορότερο πλευρικά παρά καθοδικά, η μορφή του προς τα κάτω σχεδίου είναι μια πλάγια γωνία, και όχι μια οξεία γωνία "V". Παραδείγματος χάριν, χρησιμοποιώντας τους προηγούμενους αριθμούς για τα ποσοστά σε λεπτά ξύλινα σπέρτα, το πλευρικό ποσοστό είναι περίπου τέσσερις φορές γρηγορότερο από το καθοδικό ποσοστό. Αυτό θα αναγκάσει την φωτιά να διαδώσει πλευρικά κατά 4 μονάδες μήκους προς τα αριστερά, και 4 μονάδες μήκους προς τα δεξιά, καθώς κατεβαίνει μια μονάδα μήκους προς τα κάτω. Αυτό είναι μια γωνία 76° με την κατακόρυφο, και θα δημιουργήσει ένα "V" με μια γωνία περίπου 152° στην εγκοπή του "V". Κατά συνέπεια, οι καθοδικές φωτιές δεν δημιουργούν σχέδια "V" με μια οξεία γωνία αλλά δημιουργούν σχέδια εγκαυμάτων που έχουν πλάγιες τις γωνίες τους στην εγκοπή του "V."

Με τη μέτρηση της γωνίας του σχεδίου "V", η αναλογία του ανοδικού ποσοστού καύσης με το πλευρικό ποσοστό καύσης μπορεί να καθοριστεί. Παραδείγματος χάριν, εάν η γωνία στην εγκοπή του "V" ήταν 45° , η γωνία με την κατακόρυφο θα ήταν $22,5^\circ$. Η εφαπτομένη των $22,5^\circ$ είναι 0,414. Κατά συνέπεια, το μέσο ποσοστό στην πλευρική κατεύθυνση θα είναι το 41% του ποσοστού στην ανοδική κατεύθυνση, ή το ανοδικό ποσοστό θα είναι 2,4 φορές μεγαλύτερο από το πλευρικό ποσοστό.

Επειδή θα υπάρχουν επίσης κάποια καθοδικά ποσοστά, το πραγματικό σημείο όπου η πυρκαγιά άρχισε δεν βρίσκεται πάντα ακριβώς στην εγκοπή του "V". Συχνά αυτό θα βρεθεί ελαφρώς πιο πάνω από τη χαμηλότερη καμένη περιοχή του σχεδίου "V".

Παραδείγματος χάριν, χρησιμοποιώντας τους αριθμούς ταχύτητας της φωτιάς που σημειώθηκαν προηγουμένως για το ξερό, λεπτό ξύλο που χρησιμοποιείται στα σπέρτα, εάν υπήρχε ένας κάθετος τοίχος φτιαγμένος από ίδιο υλικό και η φωτιά είχε αρχίσει σε κάποιο σημείο σε εκείνο τον τοίχο και της επιτράπη να κάψει για 5 δευτερόλεπτα, το αποτέλεσμα του σχεδίου θα ήταν κάτι παρεμφερές με αυτό που απεικονίζεται στην ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 4.1 Χαρακτηριστικό σχέδιο "V" σε λεπτό, ξηρό ξύλο καπλαμά σε κάθετη θέση.

Σε αυτήν την περίπτωση, η αναλογία της ανοδικής προς την πλευρική ταχύτητα είναι 5,2 προς 1, αυτό δημιουργεί μια γωνία 11° με την κατακόρυφο, ή μια γωνία στην εγκοπή "V" 22° . Επειδή υπήρχαν και κάποια καθοδικά εγκαύματα, το πραγματικό σημείο προέλευσης των εγκαυμάτων βρίσκεται 2,15mm πάνω από το χαμηλότερο σημείο του "V."

Φυσικά, οι συγκεκριμένες παράμετροι ταχύτητας των φλογών θα αλλάξουν από υλικό σε υλικό. Εντούτοις, η γενική αρχή είναι η ίδια: η ανοδική διάδοση τις φωτιάς είναι σημαντικά γρηγορότερη από την πλευρική διάδοση, και η πλευρική διάδοση είναι σημαντικά γρηγορότερη από την καθοδική διάδοση. Δεν είναι ασυνήθιστο σε μερικά υλικά τα ανοδικά ποσοστά εγκαυμάτων να είναι τουλάχιστον 20 φορές γρηγορότερα από ότι τα

πλευρικά εγκαύματα, ή τα ανοδικά ποσοστά εγκαυμάτων να είναι τουλάχιστον 50 φορές γρηγορότερα από τα καθοδικά ποσοστά εγκαυμάτων.

Γι' αυτούς τους λόγους οι ερευνητές πυρκαγιών ψάχνουν συχνά για το χαμηλότερο σημείο της σημαντικής ζημιάς εγκαυμάτων, αποκαλούμενο συχνά ως χαμηλό σημείο, και παρατηρούν εάν η ζημιά τις φωτιάς γίνεται πλευρικά και ανοδικά από αυτό το σημείο. Μερικές φορές το σημείο προέλευσης της φωτιάς βρίσκεται στο χαμηλό σημείο.

Γ. Ταχύτητες καύσης και ταχύτητες φλογών

Υπάρχει μια σημαντική εξαίρεση στην προηγούμενη αναφορά των σχεδίων "V", και αυτή η εξαίρεση περιλαμβάνει τη χρήση υγρών επιταχυντών. Όταν ένα επιταχυντικό υγρό, ειδικά κάποιου που το σημείο ανάφλεξης του είναι κάτω από τη θερμοκρασία δωματίου, βρέχεται πάνω σε ένα τοίχο και αναφλέγεται, η φωτιά ταξιδεύει γρήγορα σε όλη την παρακείμενη περιοχή που έχει βραχεί από το επιταχυντικό: καθοδικά, ανοδικά, και πλευρικά. Όσον αφορά τη καύση μέσα στη βρεγμένη περιοχή, οι κατευθυντήριες ταχύτητες της φωτιάς είναι σχεδόν οι ίδιες για όλους τους πρακτικούς λόγους.

Αυτό γίνεται επειδή η φωτιά διαδίδεται πραγματικά από την ανάφλεξη των εύφλεκτων ατμών που βρίσκονται κοντά στο υγρό στρώμα του επιταχυντικού. Γι' αυτό, όταν αναφλέγονται οι ατμοί ενός εύφλεκτου επιταχυντικού υγρού, πιάνουν συχνά φωτιά με ένα ξαφνικό "χους" ή "χουμπ" ήχο καθώς το μέτωπο τις φλόγας διαδίδεται γρήγορα όπως μια έκρηξη. Ανεπιβεβαίωτες "εκρήξεις" ατμών αυτού του τύπου καλούνται συχνά "puffers."

Δεδομένου ότι οι ατμοί εκπέμπονται από το επιταχυντικό υγρό και αναμειγνύονται με το διαθέσιμο αέρα, θα υπάρξουν πέντε βασικές ζώνες ευφλεκτότητας κοντά στην επιφάνεια της βρεγμένης περιοχής:

1. Η πιο ακραία ζώνη είναι όπου οι ατμοί είναι πάρα πολύ αραιοί ή διάχυτοι για να υποστηρίξουν την ανάφλεξη. Καμία ανάφλεξη δεν εμφανίζεται εδώ ακόμα κι αν μερικοί εύφλεκτοι ατμοί είναι παρόντες.
2. Η ακριβώς επόμενη ζώνη, είναι όπου η συγκέντρωση ατμών είναι περισσότερη από τη χαμηλότερη αναλογία ορίου καύσιμου-αέρα που είναι απαραίτητη για την ανάφλεξη να εμφανιστεί, αλλά είναι λιγότερη από τους στοιχειομετρικούς όρους.
3. Η τρίτη ζώνη είναι όπου η αναλογία καυσίμου-αέρα είναι στους στοιχειομετρικούς όρους, και τα αποτελέσματα της καύσης είναι μέγιστα. Αυτή δεν είναι μια συνεχής γραμμή ή ένα όριο, αλλά συνήθως είναι μια λεπτή, ασταθής περιοχή υποκείμενη στις ασάφειες της διάχυσης και τις εκ μεταφοράς τύρβης μεταξύ του αέρα και των ατμών καυσίμων.
4. Η τέταρτη ζώνη είναι όπου η αναλογία καύσιμου-αέρα είναι περισσότερη από τους στοιχειομετρικούς όρους, αλλά όχι και τόσο υψηλή ώστε να αναφλεγεί με την υπέρβαση του μέγιστου ορίου ευφλεκτότητας.
5. Η πέμπτη ζώνη, είναι αυτή που βρίσκεται ακριβώς δίπλα στη βρεγμένη επιφάνεια, όπου τα ποσοστά καύσιμου σε αναλογία με τον αέρα είναι πάρα πολύ υψηλά για την εμφάνιση της ανάφλεξης. Για αυτόν τον λόγο, σε μια επιφάνεια ενός ιδιαίτερα πτητικού εύφλεκτου υγρού, μερικές φορές οι φλόγες φαίνονται να καίνε ελαφρώς πιο πάνω από την επιφάνεια του υγρού.

Φυσικά, μόλις αναφλεγούν οι ατμοί, η θερμότητα που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της ανάφλεξης αναγκάζει τα αέρια να επεκταθούν και να φύγουν μακριά από έναν κάθετο τοίχο που έχει σαν αποτέλεσμα να επεκτείνει τις ζώνες. Τα αέρια κινούνται αρχικά εξωτερικά του δωματίου, και έπειτα ανοδικά λόγω της επίδρασης μεταφοράς. Κατά συνέπεια, οι ατμοί του εύφλεκτου υγρού μπορούν να υπερβούν την περίμετρο της περιοχής η οποία είναι βρεγμένη από το επιταχυντικό.

Όπως σημειώθηκε πριν, η ταχύτητα καύσης λεπτού ξύλου που χρησιμοποιείται για σπέρτα είναι περίπου 1,67mm ανά δευτερόλεπτο όταν το σπέρτο κρατιέται οριζοντίως. Υπό

τους παρόμοιους οριζόντιους όρους καύσης, η μέγιστη ταχύτητα καύσης της ακετόνης είναι 425mm ανά δευτερόλεπτο. Ομοίως, η μεθανόλη καίγεται σε 570mm ανά δευτερόλεπτο, και το οξείδιο του αιθυλενίου σε 890mm ανά δευτερόλεπτο. Αντίστοιχα, τα ποσοστά καύσης αυτών των επιταχυντικών είναι 254.341 και 533 φορές το ποσοστό καύσης ενός σπύρτου.

Εντούτοις, μια απλή σύγκριση των ταχυτήτων καύσης δεν είναι ολόκληρη η ιστορία. Ο καθορισμός της "ταχύτητας καύσης" όσον αφορά τα αέρια καύσιμα είναι: η ταχύτητα με την οποία ένα ελαστικό μέτωπο καύσης διαδίδεται μέσω ενός εύφλεκτου μίγματος σχετικά με το άκαυτο μίγμα. Στην ουσία, η ταχύτητα καύσης μετριέται με τα ίδια τα καύσιμα ως σημείο αναφοράς. Τα αποτελέσματα επέκτασης ή μεταφοράς του αερίου μίγματος αγνοούνται.

Με άλλα λόγια, η "ταχύτητα καύσης" αερίων καυσίμων δεν λαμβάνει υπόψη το γεγονός ότι ολόκληρο το αέριο μίγμα μπορεί να κινηθεί, ανοδικά, καθοδικά ή πλευρικά σχετικά με ένα στάσιμο αντικείμενο, όπως ένας τοίχος.

Όταν τέτοια αποτελέσματα επέκτασης ή μεταφοράς λαμβάνονται υπόψη, ο όρος που χρησιμοποιείται είναι "ταχύτητα της φλόγας." Η ταχύτητα της φλόγας είναι η ταχύτητα κατά την οποία η ίδια η φωτιά φαίνεται να κινείται σχετικά με τα άλλα στάσιμα αντικείμενα.

Η φωτιά ή η ταχύτητα της φλόγας που συνδέεται με την ανάφλεξη των ατμών του εύφλεκτου υγρού είναι πολύ γρηγορότερη από την ταχύτητα καύσης ενός υπάρχοντος στερεού καυσίμου που έχουν βραχεί από ένα επιταχυντικό.

Αυτό πρέπει να είναι αναμενόμενο δεδομένου ότι οι ταχύτητες της φωτιάς είναι μια συνάρτηση διάφορων παραγόντων, που περιλαμβάνουν: την ενέργεια ενεργοποίησης που χρειάζεται για να γίνει η καύση, και η προκύπτουσα μετάδοση και μεταφορά της θερμότητας, καίει τα αέρια μακριά από το σημείο της ανάφλεξης. Όταν η ενέργεια ενεργοποίησης που απαιτείται για την ανάφλεξη είναι χαμηλή, όταν η θερμότητα της καύσης ανά γραμμάριο είναι σχετικά υψηλή, και το ποσοστό ενεργειακής απελευθέρωσης στη καύση είναι υψηλό, η ταχύτητα της φλογών είναι αντίστοιχα υψηλή.

Γενικά, η ταχύτητα της φλογών συσχετίζεται με την ταχύτητα καύσης με τον ακόλουθο τρόπο:

$$(ii) V_f = V_b + V_g$$

όπου: V_f = ταχύτητα φλόγας,

V_b = ταχύτητα καύσης, και

V_g = η ταχύτητα του μίγματος του αερίου σχετικά με ένα στάσιμο αντικείμενο.

Εάν ισχύουν οι παραπάνω στοιχειομετρικές συνθήκες, και επίσης ισχύει ότι οι φλόγες δεν είναι τυρβώδεις, η μέγιστη ταχύτητα της φλόγας των περισσότερων καυσίμων αερίων είναι κατά προσέγγιση οκτώ φορές η ταχύτητα καύσης. Ο αριθμός οκτώ προέρχεται από το γεγονός ότι αυτό είναι το μέσο ποσό επέκτασης ενός αερίου καυσίμου όταν αυτό καίγεται στον αέρα υπό τις βέλτιστες συνθήκες. (Οι περισσότερες εκρήξεις ανάφλεξης φθάνουν σε μια μέγιστη πίεση "8 x ατμοσφαιρική πίεση" σε στοιχειομετρικές συνθήκες).

Κατά συνέπεια, οι κάθετες ταχύτητες φλογών των καυσίμων αερίων μπορούν να είναι τουλάχιστον οκτώ φορές της ταχύτητας καύσεως τους. Αυτό θα σήμαινε, παραδείγματος χάριν, ότι το κάθετο ποσοστό καύσης ενός ξύλινου σπύρτου είναι περίπου 8,67mm ανά δευτερόλεπτο, θα ήταν σχεδόν 392 φορές μικρότερο από την κάθετη ταχύτητα φλόγας της ακετόνης, η οποία είναι περίπου 3.400mm ανά δευτερόλεπτο σε στοιχειομετρικές συνθήκες.

Ουσιαστικά, το επιταχυντικό καίγεται πολύ γρηγορότερα απ' ό τι το ξύλο η οποιοδήποτε άλλο υλικό, η φωτιά διαδίδεται σε όλη τη βρεγμένη περιοχή προτού οποιαδήποτε άλλα στερεά, μπορεί να αναφλεγεί και να καεί από μόνο του. Κατά συνέπεια η φωτιά στο στερεό φαίνεται να αρχίζει βασικά εντελώς ξαφνικά στην βρεγμένη από το επιταχυντικό περιοχή. Ολόκληρη η βρεγμένη περιοχή εμφανίζεται να είναι το σημείο προέλευσης, το οποίο όταν ένα άτομο το σκέφτεται, είναι ακριβώς αληθινό.

Μόλις αρχίσει να καίγεται το στερεό και το επιταχυντήριο καταναλώνεται κατά ένα μεγάλο μέρος του, η φωτιά για άλλη μια φορά θα ακολουθήσει τους "κανονικούς" κανόνες όσον αφορά τα σχέδια "V". Αυτό είναι ένας από τους λόγους για τους οποίους όταν μια φωτιά δεν εμφανίζεται να ακολουθεί τους κανονικούς κανόνες, μπορεί να είναι λόγω της ανθρώπινης επέμβασης σε εκείνους τους κανόνες.

Δ. Βαθμός διάδοσης φλογών στα υλικά

Τα σχετικά ποσοστά διάδοσης φλογών στα υλικά που χρησιμοποιούνται στα κτήρια δίνονται συχνά σε ορισμένους κτιριακούς κώδικες και προδιαγραφές, ειδικά όσον αφορά το εσωτερικό τους τελείωμα. Αυτό, φυσικά, γίνεται για να αποτραπεί η χρήση υλικών που μπορούν να επιτρέψουν ασυνήθιστα γρήγορο και θανάσιμο τρόπο επέκτασης της φωτιάς σε περιοχές διαβίωσης. Οι όροι που χρησιμοποιούνται σε σχέση με τα σχετικά ποσοστά καύσης των υλικών είναι "ποσοστό διάδοσης της φλόγας".

Μια από τις πιο κοινές δοκιμές που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό του ποσοστού της διάδοσης της φλόγας ενός υλικού είναι η δοκιμή σήραγγας Steiner. Ένα δείγμα υλικού με 0,565 m πλάτος και 7,32 m μήκος καίγεται και χρονομετρείται, και ο χρόνος που απαιτείται για να καεί το υλικό συσχετίζεται με μια σχετική ποσότητα. Μερικά κοινά υλικά για το εσωτερικό τελείωμα που εκτιμώνται μ' αυτή την μέθοδο παρατίθενται στον πίνακα 1.

Όπως σημειώνεται στον πίνακα 1, τα αντικείμενα που δεν καίγονται καθόλου τους δίνεται 0 ποσοστό καύσης. Μερικά αντικείμενα που συνήθως δεν θεωρούνται σαν εύφλεκτα, όπως οι σμαλτωμένες μεταλλικές επιφάνειες, μπορούν εκπληκτικά να καούν και να διαδώσουν την φωτιά, αν και είναι φτωχά έναντι των αντικειμένων όπως την ξύλινη επένδυση.

Επειδή δεν είναι εύκολο να ληφθεί ένα συνεχόμενο δείγμα που είναι περίπου 7,32 m ή 24 ft από μια πυρκαγιά, ένας εναλλακτικός τύπος δοκιμής γίνεται συχνά με υλικά που λαμβάνονται από το τόπο της πυρκαγιάς.

Για τους τάπητες και τις κουβέρτες υπάρχει μια συγκεκριμένη δοκιμή για να καθορίσει το σχετικό σημείο ανάφλεξης του. Αυτή η δοκιμή μετρά την αναφλεξιμότητα των ταπήτων και των κουβερτών από μικρές πηγές ανάφλεξης όπως είναι τα πεταμένα τσιγάρα και σπύρα.

Πίνακας 1: Βαθμός διάδοσης φλογών σύμφωνα με ASTM E84 υλικό εκτίμηση .

Ασβεστοκονίαμα γύψου στην οροφή	0
Σμαλτωμένο μέταλλο στην οροφή	0-20
Ξύλινη οροφή με κεραμίδια με αντιπυρική προστασία	20-75
Ξύλινο οροφή με κεραμίδια χωρίς αντιπυρική προστασία	75-300
Τοίχοι από τούβλο, σκυρόδεμα, ή ασβεστοκονίαμα	0
Μεταλλικοί τοίχοι	10-20
Τοίχος από γύψο	20-75
½ ίντσας παχύ ξύλο	70-200
Φύλλα φελλού	100-250
Μη επεξεργασμένη σύνθετη σανίδα	200-500
Ξυλεπένδυση κοντραπλακέ	70-300

Τελείωμα στην ξυλεπένδυση	> 500
Τσιμεντένιο πάτωμα	0
Λινέλαιο	50-600

Όσον αφορά τα δομικά στοιχεία ενός κτηρίου, η αντίσταση στη φωτιά των υλικών δίνεται στις εκτιμήσεις "ώρας" σύμφωνα με τις εξεταστικές διαδικασίες που περιλαμβάνονται σε "τυποποιημένες μέθοδοι δοκιμών πυρκαγιάς σε οικοδομές και υλικά."

Σε αυτήν την δοκιμή, τα δομικά υλικά ή τα στοιχεία, όπως είναι μια δέσμη ή μια στήλη, τοποθετούνται σε έναν ειδικό φούρνο δοκιμών και η θερμοκρασία των υλικών στην προστατευμένη πλευρά ή διάστημα σχεδιάζεται ενάντια στον ανάλογο χρόνο. Η προκύπτουσα καμπύλη καλείται "σταθερά αντοχής σε φωτιά χρόνου-θερμοκρασίας καμπύλης". Η δοκιμή συνεχίζεται έως ότου εμφανιστεί η αποτυχία. Η αποτυχία θα ήταν μια από την ακόλουθες:

- ανικανότητα να φερθεί το εκτιμημένο φορτίο,
- ραγίσματα, καμπές ή άλλη σημαντική διασταλτική αποτυχία στο υλικό,
- απώλεια συνοχής επιφάνειας έτσι ώστε οι φλόγες ή τα καυτά αέρια μπορούν να περάσουν μέσω του υλικού. Μπορεί να απομακρυνθεί εύκολα από μια δέσμη νερού, ή
- απώλεια ικανότητας μόνωσης έτσι ώστε η θερμοκρασία στην άλλη πλευρά να ανέρχεται σε περισσότερο από 250°F.

Ενώ μερικά υλικά όπως τα ξύλινα και φυσικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα είναι πραγματικά εύφλεκτα, συχνά μπορούν να αντιμετωπιστούν χημικά για να μειώσουν την ικανότητα τους σε ανάφλεξη. Η κυτταρίνη και οι υφαντικές ίνες, παραδείγματος χάριν, μπορούν να αντιμετωπιστούν με ένα διάλυμα βορικού οξέος για να μειώσουν το ποσοστό καύσης τους. Το ξύλο αντιμετωπίζεται συχνά από τη διαπότιση μέσω πίεσης με ορυκτά άλατα για να μειωθούν τα ποσοστά καύσης του.

Όταν γίνουν αυτές οι επεξεργασίες, το υλικό χαρακτηρίζεται συχνά ως ανθεκτικό στη φωτιά ή επιβραδύνουν τη φωτιά. Μερικές φορές τα υλικά που έχουν επεξεργαστεί με φωτιά μπορούν να αντικατασταθούν όλα ή ένα τμήμα τους από σανίδες γύψου όταν αυτό απαιτείται από τον κώδικα για μια ορισμένη πυρκαγιά διάρκειας μιας ώρας. Παραδείγματος χάριν, σε μερικές περιπτώσεις η χρήση επιβραδυντικά επεξεργασμένου ξύλου με μη επεξεργασμένο πλαίσιο με ένα πίνακα γύψου αντοχής μιας ώρας σε φωτιά από κάτω μπορεί να αντικατασταθεί από έναν δυο ορών αντοχής σε φωτιά πίνακα οροφής από γύψο μη επεξεργασμένου πλαισίου.

Εντούτοις, όταν χρησιμοποιούνται οι χημικές ουσίες που επιβραδύνουν την φωτιά, μερικές φορές αλλάζουν τις βασικές ιδιότητες του υλικού. Παραδείγματος χάριν, όταν το ξύλο επεξεργάζεται με επιβραδυντικά υλικά, η δομική δύναμή του μπορεί να μειωθεί σημαντικά, και αυτή η απώλεια δύναμης πρέπει να εξεταστεί και να ληφθεί υπόψη για τον αρχικό σχεδιασμό. Μια απλή αντικατάσταση των επιβραδυντικών στη φωτιά πλαισίων ή στηλών με μη επεξεργασμένα πλαίσια ή στήλες χωρίς κατάλληλη εκτίμηση στο σχεδίου θα μπορούσε να οδηγήσει στην απαράδεκτη δομική αδυναμία του κτηρίου. Κατά συνέπεια, η χρήση τέτοιων υλικών πρέπει να είναι μια σχεδιαστική απόφαση από τον αρμόδιο αρχιτέκτονα ή μηχανικό.

Λόγω των αποτελεσμάτων μερικών χημικών ουσιών που επιβραδύνουν την φωτιά στο ξύλο, μπορούν να υπάρξουν γεωγραφικοί ή περιβαλλοντικοί περιορισμοί θερμοκρασίας για τη χρήση τέτοιου επεξεργασμένου ξύλου. Παραδείγματος χάριν, τα ξύλινα πλαίσια που επεξεργάστηκαν με έναν τύπο επιβραδυντικού ως προς την φωτιάς υλικού μπορεί να απαγορεύονται σε περιοχές όπου η μέση υγρασία είναι χαμηλή, μακριά από παράκτιες περιοχές, ή όπου οι θερμοκρασίες σοφίτας δεν υπερβαίνουν τους 140°F.

Τελικά, οι χημικές ουσίες που επιβραδύνουν την φωτιά μπορούν μερικές φορές να χαθούν από ένα υλικό όταν εκτεθεί στο νερό ή σε διαλυτές, από την επαναλαμβανόμενη πλύση, ή από την αμελή έκθεση του σε άλλες χημικές ουσίες που μπορούν να αντιδράσουν με αυτές. Όταν αυτό εμφανίζεται, είναι δυνατό η προστασία που πιστεύαμε ότι ήταν παρούσα με την χρήση επιβραδυντικών στη φωτιά υλικών να έχει χαθεί.

Με το επεξεργασμένο με φωτιά ξύλο, παραδείγματος χάριν, η υψηλή υγρασία και οι υψηλές περιβαλλοντικές θερμοκρασίες μπορούν να απομακρύνουν τα ορυκτά άλατα. Με τα επεξεργασμένα επιβραδυντικά στην φωτιά παιδικά ρούχα, η επαναλαμβανόμενη πλύση με καυτό νερό ή με απορρυπαντικά που περιέχουν χλώριο μπορεί να απομακρύνουν ή να αντιδράσουν με τις επιβραδυντικά στην φωτιά ουσίες. Γι' αυτό τέτοια ρούχα θα πρέπει να φέρουν ετικέτες για να προειδοποιούν τον ιδιοκτήτη ενάντια στην ακατάλληλη πλύση, και για να του παρέχει τις κατάλληλες οδηγίες πλύσης.

E. Μεταφορά Θερμότητας, Αγωγιμότητα και Μετάδοση Θερμότητας

Για να καταλάβουμε πλήρως πώς διαδίδεται η φωτιά, είναι πρώτα απαραίτητο να γίνουν κατανοητές μερικές βασικές αρχές της μεταφοράς θερμότητας. Γενικά, η θερμότητα μπορεί να μεταφερθεί από ένα σημείο σε άλλο με μόνο τρία μέσα: αγωγιμότητα, μετάδοση, και ακτινοβολία. Σε οποιοδήποτε από τους τρεις τρόπους θα πρέπει να υπάρχει μια διαφορά ή μια μεταβολή θερμοκρασίας μεταξύ των δύο σημείων για να πραγματοποιηθεί η μεταφορά της θερμότητας. Η θερμότητα θα μεταφερθεί από την περιοχή ή το σημείο όπου η θερμοκρασία είναι υψηλότερη στην περιοχή ή το σημείο όπου η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη.

Μια χρήσιμη αναλογία μεταξύ της ροής θερμότητας και της ροής του νερού μπορεί να γίνει. Ας υποθέσουμε ότι η θερμοκρασία είναι ανάλογη με το ύψος, και η θερμότητα είναι ανάλογη του νερού. Με τον ίδιο τρόπο όπως το νερό θα τρέξει προς τα κάτω από τις μεταβολές του ύψους και θα συλλεγεί στα χαμηλά σημεία, έτσι και η ροή της θερμότητας θα κινηθεί προς τα κάτω από τις μεταβολές της θερμοκρασίας και θα συλλεγεί στα δροσερότερα σημεία. Όπως το ύψος έτσι και η θερμοκρασία θα είναι ένα μέτρο δυναμικής. Όταν δεν υπάρχει καμία διαφορά στη δυναμική, υπάρχει απουσία ροής είτε στο νερό είτε στη θερμοκρασία.

Η μεταφορά συμβαίνει όταν η θερμότητα μεταφέρεται μέσω ενός υλικού από τη διάχυση της θερμικής κινητικής ενέργειας του υλικού. Η εξίσωση που περιγράφει τη μονοδιάστατη αγωγιμότητα μέσω ενός υλικού δίνεται από την κατωτέρω εξίσωση (iii):

$$(iii) \ q = -kA[dT/dx]$$

όπου: q = ποσοστό της θερμότητας που μεταφέρεται (ενέργεια ανά χρόνο),

k = θερμική αγωγιμότητα του υλικού (ενέργεια/ χρόνος x απόσταση x θερμοκρασία),

A = η περιοχή της πορείας που είναι κάθετη στη κατεύθυνση της ροής της θερμότητας, και

dT/dx = η μεταβολή της θερμοκρασίας στην κατεύθυνση, η οποία είναι η κατεύθυνση της ροής της θερμότητας.

Από την εξίσωση (iii), φαίνεται ότι:

- όταν η περιοχή A αυξάνεται, η μεταφορά της θερμότητας αυξάνεται ,
- όταν αυξάνεται η θερμική αγωγιμότητα k , αυξάνεται και η μεταφορά θερμότητας,
- όταν η διαφορά θερμοκρασίας dT ανεβαίνει, αυξάνεται και η μεταφορά θερμότητας,
- όταν το πάχος του υλικού dx μειώνεται, η μεταφορά θερμότητας αυξάνεται.

Γενικά, υλικά που έχουν υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα έχουν επίσης υψηλή θερμική αγωγιμότητα. Κατά συνέπεια, υλικά όπως ο χαλκός και το αλουμίνιο που είναι άριστοι ηλεκτρικοί αγωγοί είναι επίσης και άριστοι θερμικοί αγωγοί. Ομοίως, υλικά όπως το σκυρόδεμα ή η πορσελάνη που είναι κακοί ηλεκτρικοί αγωγοί είναι επίσης κακοί θερμικοί αγωγοί.

Ο δεύτερος τρόπος μεταφοράς θερμότητας, είναι πραγματικά ένας ειδικός τύπος αγωγιμότητας ο οποίος πραγματοποιείται μεταξύ ενός στερεού υλικού και ενός κινούμενου ρευστού. Όπως με την κανονική αγωγιμότητα, για τη θερμότητα να μεταφερθεί, πρέπει να υπάρξει μια σημαντική διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του στερεού υλικού και του κινούμενου ρευστού. Το ρευστό θερμαίνεται ή ψύχεται, καθώς περνά πάνω από την επιφάνεια του στερεού υλικού. Από την κίνησή του αυτή, το ρευστό μεταφέρει τη θερμότητα ή το κρύο προς ένα άλλο κατώτερο σημείο. Νέο ρευστό αντικαθιστά έπειτα το παλαιό ρευστό που έχει προχωρήσει, και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Στη φύση ή στην ελεύθερη μεταφορά, το ρευστό τίθεται σε κίνηση από την επίδραση της άνωσης. Η πυκνότητα σχεδόν κάθε ρευστού εξαρτάται από τη θερμοκρασία του.

Όταν ένα μικρό μέρος του ρευστού είτε θερμαίνεται είτε ψήχεται, εκείνη το μικρό μέρος του γίνεται είτε πιο ελαφρύ είτε λιγότερο ελαφρύ όσον αφορά το υπόλοιπο του ρευστού. Οι δυνάμεις άνωσης αναγκάζουν έπειτα το ρευστό να απομακρυνθεί από την επιφάνεια, και το παλαιό μέρος του ρευστού να αντικατασταθεί από ένα νέο μέρος του ρευστού.

Όταν ένα μέρος του ρευστού περνά πάνω από την επιφάνεια ενός στερεού υλικού, αυτό ρέει μακριά, και έπειτα επιστρέφει στην επιφάνεια για να επαναλάβει τη διαδικασία ξανά και ξανά, η επαναλαμβανόμενη εργασία καλείται κελί κυκλοφορίας. Εάν το σύστημα είναι σε ισορροπία έτσι ώστε οι θερμοκρασίες σε συγκεκριμένες θέσεις στο σύστημα παραμένουν σχεδόν οι ίδιες κατά τη διάρκεια του χρόνου, αναπτύσσεται μια σταθερή κυκλοφορία ρευστού.

Παραδείγματος χάριν, φανταστείτε ένα παλιό θερμαντικό σώμα ατμού σε ένα κλειστό δωμάτιο όταν έξω κάνει κρύο. Όταν το θερμαντικό σώμα είναι καυτό, ο αέρας που έρχεται σε επαφή με αυτό θερμαίνεται και ανεβαίνει προς τα πάνω. Καθώς ανεβαίνει στην οροφή, ο αέρας αρχίζει να ψύχεται. Όταν συναντά την οροφή, κινείται πλευρικά και εξαπλώνεται κατά μήκος της οροφής, και ψύχεται ακόμη περισσότερο. Όταν ψυχθεί αρκετά, βαραίνει και αρχίζει να βυθίζεται προς το πάτωμα. Καθώς βυθίζεται, έλκεται από το ρεύμα του αέρα που ρέει προς το θερμαντικό σώμα. Ο αέρας τότε έρχεται ξανά σε επαφή με το θερμαντικό σώμα, και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Στην εξαναγκασμένη μετάδοση, τα φυσικά αποτελέσματα μετάδοσης ενισχύονται από τους ανεμιστήρες ή τις αντλίες η οποίες εξαναγκάζουν τη ροή του ρευστού πέρα από την επιφάνεια του στερεού. Στην εξαναγκασμένη μετάδοση, συνήθως η ταχύτητα του ρευστού είναι τέτοια ώστε τα ελεύθερα ή τα φυσικά αποτελέσματα μεταφοράς δεν είναι σημαντικά και παραβλέπονται. Με άλλα λόγια, η ταχύτητα του ρευστού, όταν τεθεί σε κίνηση από έναν ανεμιστήρα ή μια αντλία, είναι συνήθως πολλές φορές μεγαλύτερη από τη ταχύτητα του ρευστού όταν αυτό τίθεται σε κίνηση από τα φυσικά αποτελέσματα μετάδοσης.

Δεδομένου ότι η πυρκαγιά σε ένα σπίτι ή μια επιχείρηση διαδίδεται γενικά περισσότερο μέσω μετάδοσης παρά από τους άλλους δύο τρόπους, μερικές φορές ένας εμπρηστής θα ανοίξει τους ανεμιστήρες, τον εξαερισμό, ή θα ανοίξει στρατηγικά παράθυρα για να δημιουργήσει σκόπιμα ρεύματα αέρα για να βοηθήσει τη διάδοση της πυρκαγιάς. Στην ουσία, προσπαθεί να δημιουργήσει μια εξαναγκασμένη μετάδοση παρά μια ελεύθερη μετάδοση. Η εξαναγκασμένη μετάδοση όχι μόνο θα αναγκάσει την πυρκαγιά να διαδοθεί γρηγορότερα, αλλά μπορεί και να χρησιμοποιηθεί για να κατευθύνει τη διάδοση της πυρκαγιάς σε συγκεκριμένες περιοχές στο κτήριο.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της ελεύθερης μετάδοσης είναι ότι υπάρχει πάντα ένα λεπτό στρώμα ρευστού δίπλα στην επιφάνεια του στερεού που δεν κινείται. Ουσιαστικά,

αυτό το λεπτό στρώμα είναι "κολλημένο" στην εξωτερική επιφάνεια του στερεού. Αυτό το λεπτό στρώμα ονομάζεται οριακό στρώμα. Η θερμότητα από τη στερεά επιφάνεια διευθύνεται πραγματικά μέσω αυτού του λεπτού οριακού στρώματος στο ρεύμα της κίνησης του ρευστού. Στην εξαναγκασμένη μετάδοση, εντούτοις, αυτό το οριακό στρώμα είναι συνήθως σε μια συνεχή κατάσταση αφαίρεσης και αντικατάστασης, ειδικά όταν η ροή είναι εξαιρετικά τυρβώδης.

Η εξίσωση που περιγράφει τον τύπο τη μετάδοσης της θερμότητας είναι:

$$(iv) q = hA (\Delta T)$$

όπου: q = ποσοστό της ροής της θερμότητας,

A = η περιοχή που περιλαμβάνεται στη μεταφορά θερμότητας,

ΔT = Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της στερεάς επιφάνειας και του ρευστού, και

h = συντελεστής μεταφοράς της θερμότητας.

Ο συντελεστής h μεταφοράς θερμότητας για εξαναγκασμένη μετάδοση δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$(v) h = [D/k] = K [Dur/m]^a [C_p m/k]^b$$

όπου: D = η διάσταση που συνδέεται με το μήκος της περιοχής μεταφοράς θερμότητας,

k = αγωγιμότητα του ρευστού

K = μια πειραματικά καθορισμένη σταθερά,

ρ = πυκνότητα του ρευστού,

u = ταχύτητα του ρευστού,

C_p = θερμική ικανότητα του ρευστού

μ = ιξώδες του ρευστού,

α = πειραματικά καθορισμένος εκθετικός συντελεστής, και

β = πειραματικά καθορισμένος εκθετικός συντελεστής.

Είναι αξιοσημείωτο ότι η ανωτέρω εξίσωση έχει τακτοποιηθεί σε ομάδες αδιάστατων παραμέτρων με τρόπο σύμφωνο με το θεώρημα του Buckingham ή π για τη διαμόρφωση όμοιων ρευστών συστημάτων. Για τους μελετητές που μπορεί να ενδιαφέρονται να εξομοιώσουν πυρκαγιές και ζημιές πυρκαγιών με την χρήση εργαστηριακών προτύπων, η γνώση της ομοιότητας και του θεωρήματος του Buckingham ή π επιβάλλεται.

Στη ρευστομηχανική και στη μεταφορά θερμότητας, κάθε αδιάστατη παράμετρος στην εξίσωση (v) έχει το όνομά της. Αυτό συμβαίνει γιατί αυτοί οι ίδιοι ομαδικοί σχηματισμοί των μεταβλητών εμφανίζονται συνήθως στη μαθηματική περιγραφή της ροής των ρευστών. Τα ονόματα των παραμέτρων σημειώνονται κατωτέρω:

$h[D/k]$ αριθμός Nusselt,

$[Dur/m]$ αριθμός Reynolds και

$[C_p m/k]$ αριθμός Prandtl .

Ο συντελεστής h μεταφοράς θερμότητας για την ελεύθερη ή φυσική μετάδοση δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$(vi) h[D/k] = K [D^3 g \alpha (\Delta T) / m^2]^a [C_p m/k]^b$$

όπου: g = βαρύτητα, και
 a = συντελεστής πυκνότητας της θερμοκρασίας.

Όπως πριν, η εξίσωση (vi) έχει τακτοποιηθεί σε ομάδες αδιάστατων παραμέτρων. Η νέα παράμετρος, αυτή στη μέση του δεξιού όρου που αντικατέστησε τον αριθμό Reynolds στην εξαναγκασμένη εξίσωση μετάδοσης, καλείται Grashof ή ελεύθερος αριθμός μετάδοσης. Συγκρίνοντας τις εξισώσεις (v) και (vi), μόνο η μεσαία παράμετρος είναι διαφορετική.

Γενικά, οι ανωτέρω εξισώσεις μπορούν να χωριστούν στις ακόλουθες χαρακτηριστικές σχέσεις:

(vii) $q = C_1 A (\Delta T) u^{6/5}$ εξαναγκασμένη μετάδοση.

(viii) $q = C_2 A (\Delta T) u^{5/4}$ ελεύθερη μετάδοση όπου ο αριθμός Reynolds είναι λιγότερος από 2.000 (στρωτή ροή).

(ix) $q = C_3 A (\Delta T) u^{4/3}$ ελεύθερη μετάδοση όπου ο αριθμός Reynolds είναι περισσότερος από 4.000 (τυρβώδης ροή).

όπου το C_1 , C_2 και το C_3 είναι αυθαίρετες σταθερές που καθορίζονται από το πείραμα και το A είναι η περιοχή μεταφοράς θερμότητας.

Εξέταση των εξισώσεων (v), (vi), (vii), (viii), και (ix) βρίσκουν τις ακόλουθες γενικές αρχές:

1. Αυξάνοντας την διαφορά θερμοκρασίας αυξάνεται και η διαφορά θερμότητας
2. Αυξάνοντας την περιοχή της μεταφοράς θερμότητας αυξάνεται και μεταφορά θερμότητας
3. Αυξάνοντας την ροή του ρευστού σε εξαναγκασμένη μετάδοση αυξάνεται και η μεταφορά θερμότητας.
4. Αυξάνοντας την τύρβη σε μια ελεύθερη μετάδοση αυξάνεται και η μεταφορά θερμότητας.

Στις περισσότερες πυρκαγιές τα αποτελέσματα μετάδοσης είναι υπεύθυνα για την μεγαλύτερη εξάπλωση της πυρκαγιάς. Η ανοδική ταχύτητα της φωτιάς σε ένα τοίχο είναι πολλές φορές μεγαλύτερη καθοδικά και αυτό γιατί ο βασικός μηχανισμός του ταξιδιού της ανοδικής φωτιάς είναι η μετάδοση ενώ ο βασικός μηχανισμός του ταξιδιού της καθοδικής φωτιάς είναι η αγωγιμότητα.

Δεδομένου ότι οι περισσότεροι τοίχοι αποτελούνται από υλικά μόνωσης, η μετάδοση της θερμότητας μέσω του υλικού των τοίχων είναι φτωχή. Στην πραγματικότητα, τα περισσότερα κοινά υλικά που καίγονται σε μια φωτιά όπως αυτή του ξύλου, της χαρτικής ύλης, των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, και άλλων παρόμοιων υλικών είναι φτωχοί αγωγοί της θερμότητας. Γι' αυτό το καθοδικό ταξίδι της φωτιάς είναι γενικά τόσο αργό, εκτός εάν παρεμβάλλονται επιταχυντικά ή αλλά παρόμοια υλικά που καίγονται γρήγορα.

ΣΤ. Ακτινοβολία

Ο τρίτος τρόπος ενεργειακής μεταφοράς, η ακτινοβολία, παρουσιάζεται όταν η θερμότητα μεταφέρεται από ένα σημείο σε άλλο με ηλεκτρομαγνητικά κύματα, χαρακτηριστικά στη απόσταση μήκους κύματος από 0,1 έως 100 microns. Κανένα ενδιάμεσο υλικό δεν απαιτείται. Στην πραγματικότητα, όταν υπάρχουν ενδιάμεσα υλικά όπως αέρια ή η σκόνη, το ποσό θερμότητας που μεταφέρεται με ακτινοβολία μειώνεται λόγω της απορρόφησης της θερμότητας από το αέριο ή τη σκόνη.

Σε αυτή τη μέθοδο μεταφοράς θερμότητας, το ποσό ενέργειας που ακτινοβολείται από ένα σώμα μέσα σε ένα χώρο είναι ανάλογο προς την τέταρτη δύναμη της θερμοκρασίας επιφάνειάς του. Το ποσό της θερμότητας ή της ενέργειας που εκπέμπεται με αυτόν τον τρόπο δίνεται από το Νόμο του Stefan- Boltzmann, από την κατωτέρω εξίσωση (x):

$$(x) \quad q = \epsilon A T^4$$

όπου: q = το ποσό θερμότητας ή ενέργειας που εκπέμπεται,
 $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Watts/m}^2 (\text{°K}^4)$, η σταθερά του Stefan- Boltzmann,
 A = περιοχή της ακτινοβολουμένης επιφάνειας,
 T = η θερμοκρασία τις επιφάνειας σε απόλυτες μονάδες, και
 ϵ = ικανότητα ακτινοβολίας, δηλαδή η αποδοτικότητα της επιφάνειας όσον αφορά ένα μαύρο σώμα ή ένα τέλειο θερμαντικό σώμα.

Για τέλεια θερμαντικά σώματα ή μαύρα σώματα, η τιμή του ϵ είναι ίση με ένα. Αυτό σημαίνει ότι η ακτινοβόλουσα επιφάνεια είναι 100% αποδοτική στο να επιτρέπει στην ενέργεια να ακτινοβολείται από την επιφάνεια. Εναλλακτικά, ένας άλλος ορισμός για το μαύρο σώμα είναι αυτός που απορροφά όλη την ακτινοβολουμένη ενέργεια που δέχεται και δεν αντανακλά μακριά οποιαδήποτε ακτινοβολία.

Η απορροφητικότητα και η ικανότητα ακτινοβολίας είναι ουσιαστικά το ίδιο πράγμα, η μόνη διαφορά είναι η κατεύθυνση της ροής της ακτινοβολίας. Η ικανότητα ακτινοβολίας τυπικά αναφέρεται στην ακτινοβολία που φεύγει από μια επιφάνεια ενώ η απορροφητικότητα αναφέρεται στην ακτινοβολία την οποία δέχεται από την επιφάνεια. Αριθμητικά, και οι δύο παράμετροι είναι οι ίδιες, οι οποίες είναι γνωστές και συνθήκη του Kirchoff. Τυπικότερα, δηλώνεται: η ικανότητα ακτινοβολίας και η απορροφητικότητα ενός σώματος είναι ίσες στην ίδια θερμοκρασία.

Όταν η ακτινοβολία χτυπά μια επιφάνεια, υπάρχουν μόνο τρία πράγματα που μπορούν να συμβούν σε αυτή. Μπορεί να απορροφηθεί, μπορεί να αντανακλαστεί μακριά όταν αυτή η επιφάνεια είναι ένας καλά γυαλισμένος τύπος καθρέφτη ή μπορεί να διαβιβαστεί στο υλικό το οποίο παρευρίσκεται μαζί με το γυαλί.

Ο Πίνακας 2 απεικονίζει μερικές αντιπροσωπευτικές τιμές για την απορροφητικότητα μερικών κοινών υλικών στη θερμοκρασία δωματίου εκτός από αυτές τις οποίες σημειώνεται. Η συγκεκριμένη ικανότητα ακτινοβολίας ενός υλικού αλλάζει με τη θερμοκρασία.

Πίνακας 2: Απορροφητικότητες, μερικών κοινών υλικών

Υλικό	Απορροφητικότητα
Νερό	0,96
τραχύ κόκκινο τούβλο	0,93
σκυρόδεμα	0,63
φύλλο αλουμινίου	0,087
γυαλισμένο ασήμι	0,02
καυτή ίνα βολφραμίου, 6.000°F	0,40
καλά οξειδωμένος χάλυβας	0,95
σμάλτο χρώμα, οποιοδήποτε χρώματος	0,90
πυρότουβλο	0,70
λειωμένος χάλυβας	0,30
γυαλισμένο φύλλο χάλυβα	0,55
σκληρό λάστιχο	0,95
χαρτί οροφών	0,92
ατμός @ 540°F & 1 atm, 1 ft πυκνός	0,28

Όταν δύο σώματα που εκπέμπουν ακτινοβολία "βλέπουν" το ένα το άλλο, και τα δύο θα μεταφέρουν ενέργεια από το ένα στο άλλο. Υποθέτοντας ότι δεν υπάρχουν ενεργειακές απώλειες λόγω απορροφητικότητας της ενέργειας από τον αέρα, τους υδρατμούς, κ.λ.π., το πλέγμα της ενέργειας που ανταλλάσσεται μεταξύ των δύο σωμάτων δίνεται από τη λύση της εξίσωσης Stefan -Boltzmann και για τα δύο σώματα που ακτινοβολούν:

$$(xi) q_{net} = \sigma \epsilon C A [T_1^4 - T_2^4]$$

όπου: C = ο παράγοντας που υπολογίζει τη σχετική θέση και γεωμετρία των δύο επιφανειών σχετικά η μια με την άλλη,

A = η περιοχή της επιφάνειας στην οποία έχουν γίνει οι μετρήσεις της ροής της θερμότητας,

ϵ = σχετική ικανότητα ακτινοβολίας / απορροφητικότητα της επιφάνειας στην οποία έχουν γίνει οι μετρήσεις της ροής της θερμότητας.

Παραδείγματος χάριν, μια μικρή ηλεκτρική θερμάστρα χρησιμοποιείται για να παρέχει ζεστασιά σε ένα σημείο ενός ψυχρού δωματίου. Η θερμάστρα χρησιμοποιεί 1.500 Watt. Εάν υποθέσουμε ότι η περιοχή των σπειρών θέρμανσης είναι $0,01m^2$, η ικανότητα ακτινοβολίας της είναι 0,55, και η θερμοκρασία τις επιφάνειας των σπειρών τις αντίστασης είναι περίπου $1.000^\circ K$ κατά τη λειτουργία, κατόπιν το ποσοστό της ενέργειας εισαγωγής που μετατρέπεται σε ακτινοβολούμενη ενέργεια μπορεί να υπολογιστεί από την εφαρμογή της σχέσης του Stefan- Boltzmann:

$$q = \sigma \epsilon T^4$$

$$q = [5.67 \times 10^{-8} \text{ watt} / m^2 (^\circ K^4)] [0.55] [0.01m^2] [1,000^\circ K]^4$$

$$q = 312 \text{ watts.}$$

Κατά συνέπεια, 312 Watt ή $312/1.500 = 21\%$ της ενέργειας εισαγωγής στη θερμάστρα καταλήγουν ως ακτινοβολούμενη θερμότητα. Το υπόλοιπο της ενέργειας απελευθερώνεται με μεταφορά θερμότητας.

Παράδειγμα της μεταφοράς ακτινοβολούμενης θερμότητας από την οροφή ενός δωματίου στο πάτωμά του: έστω ολόκληρη η οροφή έχει πιάσει φωτιά, έτσι ώστε οι φλόγες να δημιουργούν ένα βαθύ, φωτεινό στρώμα κατά μήκος της οροφής. Η οροφή είναι $7m \times 10m$, και η απόσταση από το πάτωμα με το στρώμα των φλογών είναι $2,25m$. Υπό αυτούς τους όρους, ο παράγοντας C που αποτελεί τη γεωμετρία και τη θέση είναι ίσος με 0.7.

Εάν οι φωτεινές φλόγες είναι σχετικά καυτές και καίνε σε θερμοκρασία περίπου $1.350^\circ K$, και τα αντικείμενα από χαρτί στο πάτωμα που καίγονται σε μια θερμοκρασία $550^\circ K$ έχουν αναφλεγεί, τότε η μεταφορά θερμότητας από την οροφή στο πάτωμα είναι η ακόλουθη:

$$q = \sigma \epsilon C A [T_1^4 - T_2^4]$$

$$q_{net} = [5.67 \times 10^{-8} \text{ watt} / m^2 (^\circ K^4)] [0.65] [0.70] [70m^2] [(1,350^\circ K)^4 - (550^\circ K)^4]$$

$$q_{net} = 6,163,000 \text{ watt} \quad \eta$$

$$q_{net} / A = 88,100 \text{ watt} / m^2.$$

Κατά συνέπεια, για τη φωτιά στην οροφή "να μεταπηδήσει" και να προκαλέσει την ανάφλεξη των αντικειμένων στο πάτωμα μέσω ακτινοβολούμενης θερμότητας, είναι απαραίτητο για τη φωτιά στην οροφή να είναι $1.350^\circ K$, που είναι περίπου $1.970^\circ F$, ή

σχεδόν τόσο καυτός όπως απαιτείται για να λειώσει το χαλκό, και το ποσοστό μεταφοράς ακτινοβολούμενης θερμότητας να είναι 88.100 watts/m^2 .

Αυτό είναι ένα ποσοστό θερμότητας κατά προσέγγιση ισοδύναμο με το κάψιμο 120 γραμμαρίων υγρής βενζίνης τύπου οκτανίων ανά λεπτό ανά τετραγωνικό μέτρο της οροφής και έχοντας όλη την απελευθερωμένη ενέργεια να είναι υπό μορφή ακτινοβολούμενης ενέργειας. Φυσικά, στην πραγματικότητα, θα χρειαζόταν για αυτό πέντε έως είκοσι πέντε φορές περισσότερα καύσιμα γιατί μόνο ένα μικρό μέρος της απελευθερωμένης ενέργειας θα μετατραπεί σε ακτινοβολούμενη θερμότητα. Το μεγαλύτερο μέρος της απελευθερωμένης ενέργειας θα έχει απορροφηθεί από τα αποτελέσματα μεταφοράς και μεταφοράς.

Ένα ενδιαφέρον σημείο που θα πρέπει να υπογραμμιστεί όσον αφορά την "μεταπήδηση" της ακτινοβολίας είναι ότι εμφανίζεται συχνά όταν υπάρχει μια φωτεινή σφαίρα φωτιάς ή ένα στρώμα φωτεινών φλογών στην οροφή παρά στο πάτωμα. Με άλλα λόγια, οι μεταπήδησεις εμφανίζονται συχνότερα όταν η μεταφορά της ακτινοβολούμενης θερμότητας γίνεται από την οροφή προς το πάτωμα παρά αντίστροφα.

Όταν οι περισσότερες φωτιές καίνε, οι αναθυμιάσεις περιέχουν άφθονα ποσά υδρατμών και άκαυτων μορίων. Αυτοί είναι συνήθως αιθάλη. Και τα δύο αυτά υλικά είναι πολύ καλοί απορροφητές της ακτινοβολούμενης ενέργειας. Κατά συνέπεια, όταν το βλέπουμε από πάνω, μια καυτή, φωτεινή φωτιά στο πάτωμα δεν είναι εύκολα ορατή λόγω των αναθυμιάσεων των υδρατμών και των μορίων αιθάλης οι οποίες απορροφούν ένα μεγάλο μέρος της ακτινοβολούμενης ενέργειας προτού να μπορέσει να φθάσει στην οροφή.

Αφ' ετέρου, όταν η φωτιά βρίσκεται στο ταβάνι, "το πίσω μέρος" των φλογών μπορούν να διαπεράσουν το σύννεφο των αναθυμιάσεων. Αυτό φυσικά συμβαίνει, επειδή οι φλόγες είναι πραγματικά καυτά επεκτεινόμενα αέρια τα οποία ωθούνται μακριά από την οροφή. Όταν η επέκταση εξαντλείται, οι καπνοί απλά γυρίζουν και αρχίζουν να ανεβαίνουν πάλι προς την οροφή.

Όταν η ακτινοβολία αφήνει ένα καυτό, φωτεινό αντικείμενο, εκτός αν καθοδηγείται, περιορίζεται ή ειδάλλως κατευθύνεται σε κάποιο σημείο, θα χάσει την ένταση της σύμφωνα με τον νόμο αντίστροφων τετραγώνων:

$$(xii) I_1 / I_2 = r_2^2 / r_1^2 \quad \text{ή} \quad I_1 r_1^2 = I_2 r_2^2 = K$$

όπου: I = ένταση της ακτινοβολούμενης ενέργειας σε watts/m^2 ,

r = απόσταση από την πηγή της ακτινοβολούμενης ενέργειας,

K = σταθερά ίση με την παραγωγή ακτινοβολούμενης ενέργειας στην πηγή.

Κατά συνέπεια, εάν η ένταση της ακτινοβολούμενης ενέργειας που μετριέται σε απόσταση 1m από την πηγή είναι 100 watts/m^2 , τότε στα 4m η ένταση ακτινοβολούμενης ενέργειας θα είναι:

$$[100 \text{ w/m}^2] / I_2 = 16 \text{ m}^2 / 1 \text{ m}^2$$

$$I_2 = 6.25 \text{ w/m}^2 \quad \text{και} \quad K = 100 \text{ w}$$

Μια φωτεινή φωτιά είναι πραγματικά ένα σύννεφο από εύφλεκτα μόρια. Η θερμοκρασία ενός καιγόμενου σύννεφου και η ικανότητα ακτινοβολίας του, μπορεί να μετρηθεί σε μια απόσταση με την χρήση ενός οργάνου αποκαλούμενου οπτικό πυρόμετρο. Γενικά, όταν οι θερμοκρασίες είναι μεγαλύτερες από τους 600°C , τα πυρόμετρα καλούνται για να μετρήσουν τη θερμοκρασία.

Η λειτουργία του οπτικού πυρομέτρου είναι η σύγκριση του χρώματος των φλογών με αυτό μιας καυτής πυρακτωμένης ίνας. Η ίνα τοποθετείται ενάντια στο φωτεινό σύννεφο

και το ρεύμα που περνά μέσα από την ίνα ρυθμίζεται έως ότου το χρώμα της ίνας να ταιριάζει το χρώμα του σύννεφου. Το ρεύμα που περνά μέσα από την ίνα είναι έτσι βαθμολογημένο για να αντιστοιχεί στις διάφορες θερμοκρασίες της ίνας.

Στα πυρόμετρα ολικής ακτινοβολίας, η ακτινοβολία μετριέται απευθείας από έναν φωτοβολταϊκό στοιχείο ημιαγώγιμου τύπου. Το ποσό της ακτινοβολούμενης θερμότητας που πέφτει πάνω σε ένα ημιαγωγό μετατρέπεται σε ένα ρεύμα, και το ρεύμα βαθμονομείται για να δείξει το ποσό της απορροφούμενης προσπίπτουσας ακτινοβολίας και τη θερμοκρασία του ακτινοβολούντος σώματος.

Όταν ο χάλυβας θερμαίνεται σε μια θερμοκρασία περίπου 1.000°F, αρχίζει να πυρακτώνεται με ένα πολύ θαμπό κόκκινο χρώμα. Καθώς θερμαίνεται περισσότερο ο χάλυβας, το χρώμα του μετατρέπεται από κόκκινο σε πορτοκάλι, και έπειτα σε κίτρινο. Κοντά στο σημείο τήξης στους περίπου 2.800°F, ο χάλυβας θα ακτινοβολεί σχεδόν με ένα υπόλευκο χρώμα. Κατά συνέπεια, λαμβάνοντας υπόψη τις σωστές συνθήκες, η θερμοκρασία μερικών ουσιών όπως ο χάλυβας μπορεί να υπολογιστεί από το φαινομενικό του, ορατό ακτινοβόλο χρώμα τους.

Z. Αρχική αναγνώριση του τόπου της φωτιάς

Παρατηρώντας, έναν τόπο φωτιάς για πρώτη φορά, συνήθως καλό είναι να μην ερευνήσουμε κατευθείαν τις κατεστραμμένες περιοχές σε αναζήτηση της προέλευσης. Οι περισσότεροι πραγματογνώμονες επιθεωρούν τον τόπο της φωτιάς για να παρατηρήσουν ποιες περιοχές δεν έχουν καεί.

Αυτό είναι σημαντικό για δύο λόγους: ο πρώτος και προφανής λόγος είναι το γεγονός ότι οι περιοχές που δεν κήκαν δεν περιέχουν το σημείο έναρξης τις φωτιάς. Συχνά, γνωρίζοντας τι δεν κήκε, μας επιτρέπει να αποκλείσουμε άλλα πιθανά σημεία προέλευσης. Ο δεύτερος λόγος είναι να προσδιορίσουμε την έκταση της ζημιάς στο κτίριο και να εξετάσουμε προσεκτικά την δομική ακεραιότητα πριν μπούμε μέσα σ' αυτό. Ένα κατεστραμμένο κτίριο μπορεί να είναι μια παγίδα θανάτου για τον απρόσεκτο επιθεωρητή.

Στο τελευταίο σημείο δεν μπορεί να δοθεί μεγαλύτερη έμφαση. Είναι συνετό να εξετάζουμε αρχικά τη κατεστραμμένη κατασκευή πριν μπούμε μέσα σ' αυτή για να δούμε που έχει εξασθενήσει δομικά, ή κινδυνεύει να καταρρεύσει. Κατόπιν, εάν κρίνεται αναγκαίο, μπορεί κάποιος να προμηθευτεί τον κατάλληλο εξοπλισμό για να εργαστεί με ασφάλεια. Γενικά, ανεξάρτητα από το πόσο κατεστραμμένο είναι ένα κτήριο με λίγη σκέψη και φαντασία, μπορεί να εξεταστεί με ασφάλεια χωρίς να διακινδυνεύσουμε την ζωή ανθρώπων.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, πολλοί εμπειρογνώμονες θα αναζητήσουν το "χαμηλό σημείο" της πυρκαγιάς. Αυτό μπορεί να είναι εμφανές από τα ευδιάκριτα δισδιάστατα σχέδια V πάνω στους τοίχους, ή ίσως λιγότερο αναγνωρίσιμα τρισδιάστατα σχέδια V (ή κωνικά σχήματα) στους σωρούς από υλικά. Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, η φωτιά εξαπλώνεται εν γένει κυρίως με μεταφορά παρά με αγωγή. Κατά συνέπεια το χαμηλότερο σημείο της πυρκαγιάς σε ένα κτήριο που έχει καεί θα είναι συχνά και το σημείο προέλευσης.

Εντούτοις, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, όταν μια φωτιά οφείλεται στην ακτινοβολία, μπορεί να προκαλέσει ένα ψεύτικο χαμηλό σημείο. Παραδείγματος χάριν, εάν το ταβάνι γέμιζε με φωτεινές φλόγες επαρκείς ικανές να ακτινοβολήσουν θερμότητα προς τα κάτω, πάνω στα έπιπλα και στα χαλιά, θα μπορούσαν να πάρουν και αυτά φωτιά.

Ευτυχώς, τέτοιες ακτινοβολίες θερμότητας συνήθως αναγνωρίζονται εύκολα και έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- 1.Θα υπάρχει μια σημειακή πηγή ή μια περιοχή της ακτινοβόλου θερμότητας. Αυτή θα είναι μια περιοχή η οποία έχει υποστεί μια πολύ θερμή φωτιά, συνήθως πέρα από μια εκτεταμένη περιοχή όπως μια οροφή ή ένα τοίχο.
- 2.Θα υπάρχουν διάφορες περιοχές ανάφλεξης "χαμηλού σημείου" ακτινοβόλου θερμότητας και θα είναι τοποθετημένες έτσι ώστε "να βλέπουν" το σημείο της πηγής η την περιοχή της ακτινοβόλου θερμότητας.
- 3.Αλλα στοιχεία μας δείχνουν ότι αυτές οι περιοχές άρχισαν να καίγονται καλά αφού άλλα μέρη του κτηρίου η της κατασκευής είχαν ήδη καεί.

Άλλα λανθασμένα χαμηλά σημεία μπορούν να προκληθούν από την πτώση συντριμμιών. Η κατάρρευση είναι ένας όρος ο οποίος χρησιμοποιείται για να υποδείξει τα υλικά τα οποία έχουν μετατοπιστεί σε νέες θέσεις, γενικώς στα δάπεδα, λόγω της ζημιάς από τη φωτιά.

Παραδείγματος χάριν, σε μια ιδιαίτερως σοβαρή πυρκαγιά, τα ξύλα της στέγης μπορεί να πέσουν στο χώρο του υπογείου επειδή η πυρκαγιά έχει καταναλώσει τις υποστηρικτικές δομές μεταξύ της στέγης και του υπογείου. Τα φλεγόμενα κομμάτια ξύλου μπορεί να αναφλέξουν μικρές, δευτερεύουσες πυρκαγιές στο υπόγειο ενδεχομένως προκαλώντας ακόμη και προφανή τύπου V. Αυτά τα δευτερεύοντα σχέδια εγκαυμάτων, ακόμα κι αν μπορούν τεχνικά να είναι τα χαμηλότερα σχέδια εγκαυμάτων στη δομή, δεν είναι το σημείο προέλευσης της πυρκαγιάς. Αυτά είναι απλά τα δευτερεύοντα σημεία της προέλευσης της πυρκαγιάς τα οποία προκλήθηκαν από τα φλεγόμενα συντρίμια. Εντούτοις, μερικές φορές μπορούν εσφαλμένα να ληφθούν για το αρχικό σημείο προέλευσης.

Γενικά, τέτοια δευτερεύοντα σημεία προέλευσης μπορούν να διακριθούν από το αρχικό σημείο προέλευσης από τα παρακάτω:

1. Δεδομένου ότι εμφανίζονται αργότερα στην πυρκαγιά, η πλευρική επέκταση από αυτά είναι μικρότερη και πιο περιορισμένη. Η επέκταση της φωτιάς από την δευτερεύουσα πηγή μπορεί ούτε καν να μην είναι πλησίον της κύριας ζημιάς από την πυρκαγιά.
2. Μερικές φορές το κομμάτι που έπεσε και το οποίο προκάλεσε την δευτερεύουσα φωτιά βρίσκεται εκεί κοντά και είναι αναγνωρίσιμο.
3. Η φωτιά σε αυτό το σημείο δεν θα έχει άλλη πηγή ανάφλεξης εκτός από το κομμάτι που έχει πέσει, το οποίο κανονικά δεν θα συνδεόταν με την ανάφλεξη. Για παράδειγμα, δεν είναι λογικό η ξυλεία που βρισκόταν στη σοφίτα να είναι η αρχική πηγή ανάφλεξης μιας φωτιάς που ξεκίνησε στο υπόγειο.
4. Η περίπτωση της δευτερεύουσας φωτιάς δεν συμφωνεί με τις απαραίτητες συνθήκες ώστε να είναι αυτό το σημείο της ανάφλεξης: Το αρχικό σημείο θα πρέπει να βρίσκεται εκεί που και τα τρία απαραίτητα συστατικά για το ξεκίνημα μιας φωτιάς ήταν παρόν την ίδια χρονική στιγμή και στον ίδιο χώρο όταν ξεκίνησε η φωτιά.

H. Μέθοδος Κεντροειδούς

Φανταστείτε ότι ένα μεγάλο κομμάτι χαρτονιού κρατιέται οριζοντίως. Τώρα φανταστείτε κάποιο σημείο στην επιφάνεια του χαρτονιού κοντά στο κέντρο να αναφλέγεται. Η προκύπτουσα φωτιά θα κάψει το χαρτόνι από το αρχικό σημείο ανάφλεξης λίγο έως πολύ εξίσου προς όλες τις κατευθύνσεις. Εάν η πυρκαγιά σβηνόταν προτού να φθάσει στις άκρες του χαρτονιού, η φωτιά θα είχε κάψει μια κυκλική τρύπα στο χαρτόνι. Φυσικά, το κέντρο της τρύπας είναι το σημείο προέλευσης εκείνης της φωτιάς.

Το ανωτέρω είναι ένα παράδειγμα της αρχής που εκφράζει την μέθοδο κεντροειδούς για τον προσδιορισμό του σημείου προέλευσης μιας φωτιάς. Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερως χρήσιμη σε ίδιου τύπου πυρκαγιές, όπου το κτήριο είναι λίγο έως πολύ κατασκευασμένο από τα ίδια υλικά και έχει από άκρο σε άκρο τον ίδιο τύπο κατασκευής.

Αυτή η ομοιότητα των υλικών και κατασκευής έχει σαν αποτέλεσμα την κατά πλάτος επέκταση της φωτιάς θα είναι η ίδια προς όλες τις κατευθύνσεις.

Βασικά, η μέθοδος λειτουργεί όπως φαίνεται στο ανωτέρω παράδειγμα. Η έκταση της ζημιάς στην κατασκευή που προκλήθηκε από την φωτιά, μπορεί να σημειωθεί ή να σχεδιαστεί υπό κλίμακα σε ένα σχέδιο. Έτσι προσδιορίζεται το κέντρο ζημιάς. Αυτό μπορεί να γίνει και με το μάτι, για αυτούς που μπορούν να το κάνουν ή με ποιο εξεζητημένες μεθόδους όπως με γραφική ολοκλήρωση και με μαθηματική ανάλυση.

Η γραφική ολοκλήρωση περιλαμβάνει τη χρήση ενός οργάνου αποκαλούμενου επιπεδόμετρο, μαζί με ένα λεπτομερές κλιμακωτό σχέδιο των περιοχών που καταστράφηκαν από τη φωτιά. Το σχέδιο γίνεται σε ένα καρτεσιανό σύστημα αξόνων X-Y και επιλέγεται ένα κατάλληλο σημείο προέλευσης. Το σχέδιο της περιοχής που έχει καταστραφεί από τη φωτιά τεμαχίζεται σε μικρότερες περιοχές. Το επιπεδόμετρο χρησιμοποιείται για την μέτρηση της επίπεδης περιοχής που περιστοιχίζεται από την καταστροφή της φωτιάς σε διάφορους τομείς. Έπειτα μετριοούνται οι αποστάσεις από το κέντρο αυτών των μικρότερων περιοχών στο αντίστοιχο προέλευση πλέγμα X και Y.

Η θέση της καταστροφής από την φωτιά υπολογίζεται με την χρήση εξισώσεων για τον καθορισμό των συντεταγμένων για το επίπεδο κεντροειδούς, τα οποία δίνονται παρακάτω. Τότε η προέλευση της φωτιάς είναι εκεί κοντά ή στην τοποθεσία στο κέντρο της κατεστραμμένης περιοχής. Οι εξισώσεις για τον καθορισμό του κεντροειδούς είναι οι ακόλουθες:

$$(xiii) \quad x_c = \frac{\int (x) dA}{\int dA}$$

$$y_c = \frac{\int (y) dA}{\int dA}$$

όπου: dA = διαφορικό της καμένης περιοχής,
 (x) = απόσταση από τον άξονα y ,
 (y) = απόσταση από τον άξονα x ,
 x_c = συντεταγμένη x , του κεντροειδούς και
 y_c = συντεταγμένη y , του κεντροειδούς

Δεδομένου ότι οι περισσότερες καμένες περιοχές από φωτιά δεν είναι συνηθισμένες και εύκολα διαμορφώσιμες από μια λειτουργία ολοκλήρωσης, μπορεί το σχέδιο εγκαυμάτων να παρασταθεί γραφικά από ένα πλεγματοκό σύστημα, και οι περιοχές μπορούν να καθοριστούν από το να μετρήσουμε τα τετράγωνα πλέγματος, ή τις μερίδες επ' αυτού. Τα ολοκληρώματα μπορούν να προσεγγιστούν με αριθμητική αξιολόγηση ως εξής:

$$(xiv) \quad x_c = \frac{\int (x) dA}{\int dA}$$

$$y_c = \frac{\sum y_i (\Delta A_i)}{\sum (\Delta A_i)}$$

όπου: x_i = η απόσταση από τον άξονα y στο τμήμα της περιοχής.
 y_i = η απόσταση από τον άξονα x στο τμήμα της περιοχής, και
 ΔA_i = επαυξηθηκό τμήμα της περιοχής.

Κάποια διακριτικότητα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για να επιτραπεί η εφαρμογή της μεθόδου κεντροειδούς σε φωτιές που αρχίζουν κοντά σε μια άκρη ή σε μια γωνία. Στο παράδειγμα που χρησιμοποιεί ένα κομμάτι χαρτονιού, η φωτιά είχε την αφθονία του υλικού για να κάψει προς κάθε κατεύθυνση του ταξιδιού της στο επίπεδο, και σβήστηκε προτού να φθάσει στην άκρη. Κατά συνέπεια, η φωτιά ήταν σε θέση να κινηθεί πλευρικά μακριά από το σημείο προέλευσης προς όλες τις κατευθύνσεις.

Εντούτοις, εάν η φωτιά είχε αρχίσει σε μια άκρη ή μια γωνία, θα είχε κάψει μακριά από εκείνο το σημείο σε μια λοξή συμμετρική μορφή. Η άκρη ή η γωνία θα απέτρεπε την φωτιά από να κάψει περαιτέρω σε εκείνη την κατεύθυνση η πυρκαγιά θα μπορούσε έπειτα μόνο να κάψει στις κατευθύνσεις μακριά από την άκρη ή τη γωνία. Παραδείγματος χάριν, μια πυρκαγιά που αρχίζει σε μια άκρη θα κάψει μακριά από εκείνη την άκρη σε ένα ημικυκλικό σχέδιο. Μια πυρκαγιά, που αρχίζει σε μια γωνία, καίει μακριά από τη γωνία σε ένα σχέδιο τέταρτου του κύκλου. Εν ολίγοις, η ακτινωτή συμμετρία που παράγεται από ένα λίγο πολύ ίσο ποσοστό ταξιδιού πυρκαγιάς στην πλευρική κατεύθυνση επηρεάζεται όταν πρέπει η πυρκαγιά να σταματήσει σε ένα όριο ελλείψει των καυσίμων.

Αυτή η ανεπάρκεια μπορεί να υπερνικηθεί με την χρήση της συμμετρίας καθρέπτη. Παραδείγματος χάριν, υποθέστε ότι μια πυρκαγιά άρχισε στο κέντρο του ανατολικού τοίχου ενός τετραγωνικού διαμορφωμένου κτηρίου, και τέθηκε έξω προτού να διαδώσει περισσότερο από μισή στο δυτικό τοίχο. Το σχέδιο πυρκαγιάς στο κτήριο θα εμφανιζόταν έπειτα κατά προσέγγιση ημισέληνος που διαμορφώνεται κατά την πλάγια όψη. Με την τοποθέτηση ενός καθρέφτη παράλληλα με την ανατολική άκρη του σχεδίου οικοδόμησης, η καμένη περιοχή "απεικονίζεται" στον καθρέφτη και ένα στρογγυλό σχέδιο εγκαυμάτων παρατηρείται. Η μέθοδος κεντροειδούς εφαρμόζεται έπειτα και στα δύο μέρη: η "πραγματική" πλευρά και η "εικονική" ή πλευρά καθρεφτών. Για μια πυρκαγιά γωνιών, δύο καθρέφτες ή δύο μαθηματικές αντανάκλασεις απαιτούνται.

Όταν μια πυρκαγιά αρχίζει κοντά σε έναν τοίχο ή μια γωνία αλλά όχι ακριβώς στον τοίχο ή τη γωνία, η τεχνική συμμετρίας καθρεφτών που περιγράφεται ανωτέρω έχει ανεπάρκειες. Σε μια τέτοια περίπτωση, το εικονικό μέρος της ζημιάς της πυρκαγιάς πρέπει να υπολογιστεί. Η εικονική ζημιά πυρκαγιάς είναι εκείνο το μέρος που θα είχε κάψει εάν το κτήριο ή το υλικό ήταν απείρως συνεχές οριζόντιο επίπεδο. Στην ουσία, η ζημιά της πυρκαγιάς που θα είχε εμφανιστεί αν η πυρκαγιά συνεχιστεί μπορεί να εκτιμηθεί, και το κέντρο καθορίζεται λαμβάνοντας υπόψη και την πραγματική και εικονική ζημιά.

Θ. Πηγές ανάφλεξης

Όταν η μέθοδος κεντροειδούς ολοκληρωθεί, και το σημείο ή ο τομέας της αρχικής προέλευσης της πυρκαγιάς έχει καθοριστεί, αυτή η περιοχή πρέπει έπειτα να εξεταστεί και να απογραφεί για τις πιθανές ενεργειακές πηγές ανάφλεξης. Τέτοιες πηγές ενέργειας περιλαμβάνουν συνήθως τα πειραματικά φώτα, θερμάστρες, ηλεκτρικές συσκευές, λάμπες φθορισμού, τζάκια, καπνοδόχοι, καπνίζοντα υλικά, μαγειρικός εξοπλισμός, λαμπτήρες, ηλεκτρικές καλωδιώσεις και πρίζες, και τα λοιπά.

Περιστασιακά, η ανάφλεξη μπορεί να είναι τυχαία, αλλά αυτό περιλαμβάνει συνήθως τα οργανικά έλαια ή υλικά που μπορούν εύκολα να υποβληθούν στην αποσύνθεση. Συνήθως υποτίθεται ότι ένας σωρός από κουρέλια εμποτισμένα με έλαια μπορεί να πιάσει φωτιά από μόνος του, αυτό δεν ισχύει όταν το έλαιο είναι παράγωγο πετρελαίου. Στην πραγματικότητα, αυτό συμβαίνει μόνο όταν το έλαιο προέρχεται από μια οργανική πηγή, όπως το έλαιο λιναρόσπορου. Αυτά τα οργανικά έλαια περιέχουν μεγάλα ποσά οργανικών οξέων, τα οποία μπορούν να αντιδράσουν με τον αέρα στη θερμοκρασία δωματίου. Τα πετρέλαια και τα λιπαντικά μηχανών γενικά δεν αναφλέγονται αυθόρμητα και είναι πολύ σταθερά.

Όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 1, τα αποσυντεθημένα περιπτώματα που καλύπτονται με άχυρο και χωρίς άμεση πρόσβαση σε αέρα μπορεί αυθόρμητα να αναφλέγουν. Επίσης, ο υγρός σανός ή υγραμένα φυτικά υλικά μπορούν επίσης αυθόρμητα να αναφλέγουν όταν αποθηκευτούν σε μεγάλη ποσότητα. Εντούτοις, η αυθόρμητη καύση είναι μια πολλαπλών βημάτων διαδικασία που περιλαμβάνει τη βακτηριδιακή αποσύνθεση. Εμφανίζεται χαρακτηριστικά στις σιταποθήκες, τα σιλό τροφών, ή σε ζωικές μάνδρες, οι οποίες δεν έχουν καθαριστεί για αρκετό χρονικό διάστημα.

Η καύση που σιγοκαίει μπερδεύεται συχνά με την αυθόρμητη καύση. Σε μια καύση που καίει αργά τα καύσιμα υλικά μερικές φορές έχουν ανάγκη για αέρα, και έτσι η αντίδραση της καύσης γίνεται αργά. Αυτή η επίδραση εμφανίζεται συνήθως σε υφασμένο ή πορώδες υλικό.

Εντούτοις, μερικοί τύποι σιγανής καύσης είναι απλά μια λειτουργία του υλικού. Παρά τον ικανοποιητικό αέρα, η καύση για μερικά υλικά προχωρά πολύ αργά. Αυτό είναι χαρακτηριστικό μερικών πλαστικών και οργανικών υλικών και ινών φτιαγμένα από τον άνθρωπο.

Γενικά, η σιγανή καύση είναι οποιοσδήποτε τύπος διαδικασίας καύσης όπου η αιχμή της ζώνης καύσης κινείται μόνο περίπου 1-5cm ανά ώρα. Λόγω αυτού, η σιγανή καύση παράγει μέτρια θερμότητα και καπνό, και είναι δύσκολο να ανιχνευθεί όταν είναι υπό εξέλιξη. Οι σιγανές καύσεις μπορεί να είναι επικίνδυνες όχι μόνο λόγω του προφανούς κινδύνου πυρκαγιάς τους, αλλά και επειδή δεν μπορούν να ανιχνευθούν, μπορούν να απελευθερώσουν τοξικά αέρια όπως το μονοξειδίο ή ακόμα και το κυανίδιο του άνθρακα, τα οποία μπορούν αργά να δηλητηριάσουν την ατμόσφαιρα του κατειλημμένου δωματίου.

Όταν η καύση που σιγοκαίει και που έχει ανάγκη για οξυγόνο φθάνει σε ένα σημείο όπου υπάρχει άφθονος αέρας, μπορεί να πάρει φωτιά. Ομοίως, όταν η αιχμή της φωτιάς ενός σιγοκαίόμενου υλικού φτάσει σε ένα ευκολότερα εύφλεκτο υλικό, επίσης μπορεί ξαφνικά να πάρει φωτιά. Και στις δύο περιπτώσεις, η προκύπτουσα πυρκαγιά μπορεί να εμφανιστεί "αυτανάφλεξη" όπου η σιγανή καύση τελικά ξέσπασε σε φλόγες.

Μερικά υλικά, όταν θερμαίνονται σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, αποσυνθέτονται και έπειτα αντιδρούν για να παράγουν περισσότερη θερμότητα, η οποία προκαλεί τελικά την ανάφλεξη του υλικού. Αυτή η επίδραση επίσης μπερδεύεται με την αυθόρμητη καύση. Ο αφρός πολυουρεθάνιου είναι ένα υλικό που εμφανίζει αυτήν την συμπεριφορά. Όταν θερμαίνεται, ίσως από την καυτή καλωδίωση ή τον καυτό σωλήνα νερού, ο αφρός πολυουρεθάνιου υποβάλλεται σε χημική αποσύνθεση. Οι χημικές ουσίες που είναι παρούσες αφότου εμφανιστεί η αποσύνθεση αντιδρούν η μια με την άλλη και εκπέμπουν θερμότητα. Εάν η θερμότητα δεν μπορεί να δραπετεύσει, μπορεί να συσσωρευτεί αρκετά ώστε να αναφλέξει το υπόλοιπο του αφρού.

I. Η μέθοδος του κουτιού (Box method)

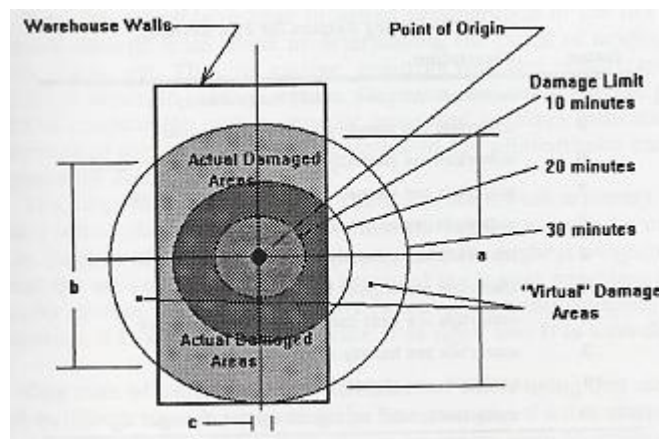
Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει χαρακτηριστικό σχέδιο ζημιάς μίας πυρκαγιάς, η οποία εμφανίζεται συχνά σε αποθήκες εμπορευμάτων μονοεπίπεδου τύπου. Η πυρκαγιά διαδίδεται σε ένα ακτινωτό σχέδιο στην περιοχή της οροφής και φθάνει πρώτα σε έναν περιμετρικό τοίχο, και έπειτα στον άλλον. Ο περιμετρικός τοίχος, όπου η πυρκαγιά φθάνει πρώτα, θα εκτεθεί στην περισσότερη ζημιά κατά μήκος του μήκους του. Ο τοίχος, που η πυρκαγιά φθάνει δεύτερο, θα εκτεθεί στη δεύτερη περισσότερη ζημιά από την πυρκαγιά, κ.λ.π. Οι "εικονικές" περιοχές, όπου θα έβλαπτε η πυρκαγιά, θα είναι αυτές όπου η πυρκαγιά θα είχε εξαπλωθεί αν το κτήριο ήταν μεγαλύτερο στο οριζόντιο επίπεδο, και οι οποίες παρουσιάζονται επίσης.

Φαίνεται ότι εάν ένα πρόσωπο διχοτομήσει απλά τη ζημιά τοίχων στη δεξιά πλευρά και επεκτείνει μια κάθετη γραμμή στον τοίχο μέσα στο κτήριο, η γραμμή θα διχοτομή το σημείο πρόελευσης. Με το να κάνουν αυτό επίσης στην αριστερή πλευρά, και στο δάπεδο, τρεις γραμμές μπορούν να χαραχθούν που όλες θα διχοτομούν το σημείο ή τον τομέα

προέλευσης. Εάν η πυρκαγιά είχε διαδοθεί στην οροφή, μια τέταρτη γραμμή θα μπορούσε επίσης να έχει χαραχθεί.

Στις αποθήκες εμπορευμάτων και παρόμοια ορθογώνια κτήρια, το σημείο προέλευσης μπορεί να είναι γρήγορα, και συνήθως με ακρίβεια, υπολογίσιμο με αυτό τον τρόπο. Αυτή η τεχνική καλείται μερικές φορές μέθοδος "κιβωτίων" ή μέθοδος "αποθηκών εμπορευμάτων" για τον προσδιορισμό του σημείου προέλευσης. Λειτουργεί ιδιαίτερα καλά στα κτήρια όπου η πυρκαγιά έχει φθάσει στην οροφή, και η περιοχή της οροφής είναι γενικά εύκολο στην πυρκαγιά διαδοθεί.

Στην ουσία, η μέθοδος απαιτεί απλά την παρατήρηση της ζημιάς της πυρκαγιάς κατά μήκος του εξωτερικού των περιμετρικών τοίχων, και την παραγωγή των κάθετων γραμμών, οι οποίες διχοτομούν τη κατεστραμμένη περιοχή. Αυτό είναι ιδιαίτερα εύκολο για να γίνει όταν οι εξωτερικοί τοίχοι καλύπτονται από μέταλλο, και το χρώμα έχει ξεφτίσει όπου η πυρκαγιά έχει προσκρούσει άμεσα στην εσωτερική πλευρά.



Εικόνα 4.2 : Η φωτιά του κουτιού : Πραγματικές και «εικονικές» κατεστραμμένες περιοχές

Η μέθοδος του κουτιού για τον καθορισμό του σημείου προέλευσης μίας πυρκαγιάς και η μέθοδος κεντροειδούς είναι ουσιαστικά η ίδια τεχνική. Και οι δύο υποθέτουν ότι το πλευρικό ποσοστό εγκαυμάτων είναι σχεδόν το ίδιο σε όλες τις οριζόντιες κατευθύνσεις, και ότι η πυρκαγιά θα έκαιγε σε ένα κυκλικό σχέδιο ζημιάς με το σημείο προέλευση στο κέντρο.

Κ. Σταθμισμένη μέθοδος κεντροειδούς

Αυτή η μέθοδος είναι παρόμοια με τη βασική μέθοδο κεντροειδούς εκτός από το ότι αυτή η μέθοδος υποθέτει ότι το σημείο, το οποίο υπόκειται στην πιο μακρόχρονη διάρκεια της πυρκαγιάς, και έχει υποστεί συνεπώς την περισσότερη ζημιά, είναι το σημείο προέλευσης. Για αυτόν τον λόγο, στις περιοχές που έχουν σοβαρότερα βλαφθεί από την πυρκαγιά, δίνεται περισσότερο βάρος για τον καθορισμό του κεντροειδούς από τις περιοχές που έχουν τη λιγότερο σοβαρή ζημιά. Όπως πριν, η μέθοδος υποθέτει μια γενικά ομοιογενή δομή από την άποψη του εύφλεκτων υλικών και της κατασκευής.

Παραδείγματος χάριν, οι διάφορες περιοχές που έχουν βλαφθεί από τη πυρκαγιά μπορούν να χωρισθούν σε ζώνες δριμύτητας, με τις ζώνες όπου έχουν υποστεί την περισσότερη ζημιά από την πυρκαγιά να δίνεται ένας σταθμισμένος παράγοντας 10. Περιοχές με τη λιγότερη δριμύτητα της πυρκαγιάς στη ζημιά ορίζονται ως χαμηλός-σταθμισμένοι παράγοντες όπως παρουσιάζεται παρακάτω. Περιοχές χωρίς ζημιά από την πυρκαγιά ορίζονται από έναν σταθμισμένο παράγοντα 0 και την αποφυγή από οποιεσδήποτε εξισώσεις.

Πίνακας 2. Παράγοντες στάθμισης για τη δριμύτητα πυρκαγιάς

Συντελεστής	Περιγραφή
10	τα υλικά καταστρέφονται, πλήρως αποτεφρωμένα
9	τα περισσότερα υλικά καταστρέφονται, κάποια παραμένουν
8	τα υλικά μερικώς καταστρέφονται, παραμένουν αναγνωρίσιμα
7	τα υλικά καίγονται ολόκληρα αλλά η μορφή τους είναι άθικτη
6	τα υλικά σχεδόν καταστρέφονται
5	τα υλικά καίγονται μερικώς
4	τα υλικά καίγονται ελαφρώς
3	τα υλικά βλάπτονται από την θερμότητα παρακείμενης φωτιάς
2	τα υλικά βλάπτονται πολύ από τον καπνό
1	τα υλικά βλάπτονται λίγο από τον καπνό
0	τα υλικά δεν παρουσιάζουν καμία σημαντική ζημιά από την φωτιά

Ένα σκίτσο του κτηρίου μπορεί να γίνει με τις διάφορες περιοχές σημειωμένες μέσα σε αυτό. Όταν οι παράγοντες στάθμισης εφαρμόζονται στις διάφορες περιοχές το προκύπτουν σκίτσο ζημιάς από την φωτιά θα εμφανιστεί κάπως όπως ένας τοπογραφικός χάρτης με τις γραμμές περιγράμματος. Εκτιμώντας ότι οι γραμμές περιγράμματος σε έναν "τοπογραφικό" χάρτη υποδεικνύουν την ανύψωση, οι γραμμές περιγράμματος στο σκίτσο της πυρκαγιάς υποδεικνύουν τη δριμύτητα πυρκαγιάς.

Το επίκεντρο της περιοχής που ζημιώθηκε από την πυρκαγιά μπορεί έπειτα να βρεθεί με την εφαρμογή των παραγόντων στάθμισης στις διάφορες περιοχές που επηρεάστηκαν από αυτή. Οι εξισώσεις για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων του επίκεντρου θα ήταν οι ακόλουθες:

$$(xv) \quad x_c = \frac{\sum x_i (\Delta A_i) f_w}{\sum (\Delta A_i)}$$
$$y_c = \frac{\sum y_i (\Delta A_i) f_w}{\sum (\Delta A_i)}$$

όπου: f_w = παράγων στάθμισης

x_i = απόσταση από τον άξονα y στο τμήμα περιοχής.

y_i = απόσταση από τον άξονα x στο τμήμα περιοχής, και

ΔA_i = επαυξητικό τμήμα περιοχής.

Όπως με τη βασική μέθοδο κεντροειδούς, αυτή η μέθοδος γίνεται συχνά με το μάτι από έναν πεπειραμένο ερευνητή πυρκαγιών. Εντούτοις, η μέθοδος προσφέρεται για περιπλοκότερη υπολογιστική ανάλυση. Στην πραγματικότητα, ανέξοδα με τη βοήθεια υπολογιστή και με τα διάφορα προγράμματα σχεδίου (CAD) που είναι διαθέσιμα, επιτρέπουν στο σχέδιο οικοδόμησης να σχεδιαστεί σε μια οθόνη υπολογιστή και τις περιοχές που έχουν ζημιωθεί από την πυρκαγιά να τοποθετηθούν μετά ως επικάλυψη. Μερικά προγράμματα μπορούν έπειτα αυτόματα να βρουν το κεντροειδές μιας περιοχής.

Είναι επίσης δυνατό να ανιχνεύσει σε πραγματικές φωτογραφίες του τόπου της φωτιάς και να εργαστεί άμεσα από αυτές για τον καθορισμό του σημείου προέλευσης, των περιοχών δριμύτητας εγκαυμάτων, κ.λ.π. Αυτό, φυσικά, απαιτεί οι φωτογραφίες να λαμβάνονται από στρατηγικά σημεία. Εντούτοις, η χρήση της πραγματικής φωτογραφίας από κοινού με τις παραγόμενες από υπολογιστή επικαλύψεις που δείχνουν τη σημασία

των σχεδίων ζημιάς ορατών στις φωτογραφίες μπορούν να είναι ένα πολύ ισχυρό αποδεικτικό εργαλείο.

Το σύστημα των 10-σημείων που απεικονίζεται στον πίνακα 2 είναι κάπως αυθαίρετο. Πραγματικά, οποιαδήποτε λογική μέθοδος στις περιοχές που έχουν ζημιωθεί από την πυρκαγιά μπορεί να χρησιμοποιηθεί εφ' όσον ορίζεται στον τομέα της σοβαρότερης ζημιάς ο υψηλότερος παράγοντας στάθμισης, και στον τομέα λιγότερης ζημιάς ορίζεται ο χαμηλότερος παράγοντας στάθμισης. Ένα απλούστερο σύστημα, που χρησιμοποιεί 1-2-3 είναι πρακτικότερο για τους υπολογισμούς με το χέρι. Σε αυτό το σύστημα, το 3 είναι σοβαρή, το 2 είναι μέτρια, το 1 είναι ελαφριά, και το 0 είναι μια περιοχή με καθόλου ζημιά.

Μια σημείωση, θα πρέπει να παρατηρηθεί προσεκτικά κατά χρησιμοποίηση αυτής της μεθόδου: δεν καίγονται όλα τα κτήρια ομοιογενώς. Παραδείγματος χάριν, εάν μια πυρκαγιά που αρχίζει σε μια κουζίνα και διαδίδεται έπειτα σε μια αποθήκη όπου υπάρχει ένα ανοικτό βαρέλι αποθηκευμένου ελαίου, η σοβαρότερη ζημιά από την πυρκαγιά θα ήταν στην περιοχή αποθήκευσης, και όχι στην κουζίνα. Κατά συνέπεια, η αρχική αναγνώριση της ζημιάς πρέπει να σημειωθεί εκεί όπου υπήρξαν συγκεντρώσεις καυσίμων οι οποίες μπορεί διέστρεψαν τη στάθμιση.

Λ. Δείκτες Εξάπλωσης Πυρκαγιάς - Διαδοχική Ανάλυση

Το σημείο προέλευσης μιας πυρκαγιάς μπορεί επίσης να βρεθεί απλά με το να ακολουθηθεί αντίστροφα το ίχνος της ζημιάς της πυρκαγιάς από εκεί που τελειώνει μέχρι εκεί που άρχισε. Όπου διάφορα τέτοια ίχνη συγκλίνουν αυτό είναι το σημείο προέλευσης της πυρκαγιάς. Στην ουσία, αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει τον καθορισμό αυτού που έκαψε στο τέλος, αυτού που έκαψε δίπλα στο τελευταίο, κ.λπ., έως ότου βρεθεί το αντικείμενο που έκαψε πρώτο.

Με τον ίδιο τρόπο όπως ένας ιχνηλάτης ερμηνεύει τα σημάδια και σημεία για να ακολουθήσει ένα ίχνος του θηράματος, έτσι και ένας ερευνητής πυρκαγιών ψάχνει τα σημάδια και τα ίχνη, τα οποία μπορούν να τον οδηγήσουν στο σημείο προέλευσης. Παραδείγματος χάριν, μια πολύ γρήγορη, και πολύ ανάμιξη. Μια πιο αδύναμη, πιο αργή φωτιά θα παραγάγει ανάμιξη με μικρότερο διάστημα και έναν σαφώς πιο θαμπό προσροφητικό άνθρακα. Το διαπέρασμα μιας πυρκαγιάς ή η παραβίαση μιας μονόωρης εκτιμημένης αντιπυρικής ζώνης θα πάρει πιθανώς περισσότερο από να διαπεράσει η φωτιά έναν ξυλεπενδυμένο τοίχο.

Όπως σημειώθηκε, ο ξύλινος προσροφητικός άνθρακας και ανάμιξη σχέδια είναι χρήσιμοι δείκτες. Ο αναγνώστης μπορεί να θυμηθεί ότι το εμπορικό ξύλο περιέχει περίπου 12% νερό του βάρους του. Δεδομένου ότι η θερμότητα προσκρούει σε ένα κομμάτι του ξύλου, το νερό στην επιφάνεια του θα εξατμιστεί και θα δραπέτεύσει από το ξύλο. Η γρήγορη απώλεια του νερού στην επιφάνεια του συνοδεύεται επίσης από μια γρήγορη απώλεια όγκου, ο όγκος που το ύδωρ κατελάμβανε στο παρελθόν. Έπειτα η ξύλινη επιφάνεια βρίσκεται σε ένταση καθώς η απώλεια ύδατος αναγκάζει το ξύλο για να συρρικνωθεί. Αυτό είναι ο λόγος για τον οποίο το ξύλο ραγίζει όταν εκτίθεται στην υψηλή θερμότητα ή στεγνώνει απλά κατά τη διάρκεια του χρόνου.

Φυσικά, εάν η θερμότητα είναι πολύ έντονη, περισσότερη από αυτή του σημείου βρασμού του νερού, το ράγισμα ή το μίγμα είναι σοβαρότερο. Όταν τη θερμότητα εφαρμόζεται γρήγορα και σταματάει έπειτα, υπάρχει ακριβώς αρκετός χρόνος για την επιφάνεια να επηρεαστεί. Όταν η θερμότητα εφαρμόζεται για αρκετό διάστημα, υπάρχει αρκετός χρόνος για το ξύλο να επηρεαστεί σε μεγαλύτερο βάθος.

Άλλοι δείκτες της θερμότητας και της φωτιάς που διαδίδονται περιλαμβάνουν το φινίρισμα χρώματος, επιστρώματα και ο όρος των διάφορων υλικών (π.χ., που λειώνουν, που απανθρακώνονται, που στρεβλώνονται, που μαλακώνουν, που οξειδώνονται, που υποβάλλονται σε ανόπτηση, κ.λπ.).

Παραδείγματος χάριν, το φινιρισμένο χρώμα σε έναν φούρνο είναι ένας πολύτιμος δείκτης της κατανομής της θερμοκρασίας στο φούρνο. Καθώς ότι η θερμοκρασία αυξάνεται ίσως μέχρι τους 250-400°F, το πρώτο πράγμα που θα εμφανιστεί θα είναι ο αποχρωματισμός του χρώματος. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται πέρα από τους 350-400°F, το χρώμα θα βράσει, και θα ξεφλουδίσει εκθέτοντας το υπόστρωμα. Καθώς η θερμοκρασία ανέρχεται πάλι περισσότερους από 400-450°F, το χρώμα θα απομακρυνθεί, και το υπόστρωμα θα ζαρώσει, με αποτέλεσμα να εκτεθεί σε οξειδωση. Και καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται ακόμα περισσότερο, ίσως πέρα από τους 786°F, το υπόστρωμα θα λειώσει και θα απομακρυνθεί αφήνοντας γυμνό το μέταλλο, το οποίο από μόνο του θα οξειδωθεί.

Συχνά είναι ευκολότερο να καθοριστεί οπτικά το θερμότερο σημείο στο φούρνο ή τη συσκευή αρκετές ημέρες μετά από την φωτιά. Οι περιοχές όπου όλο το χρώμα, το υπόστρωμα, και το γαλβανισμένο υπόστρωμα έχουν αφαιρεθεί από την υψηλή έκθεση σε θερμότητα θα έχουν ανοιχτό κόκκινο χρώμα όπου τα γυμνά φύλλα από χάλυβα έχουν οξειδωθεί από την φωτιά.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι οι μεταλλικοί αγωγοί εξαερισμού. Οι μεταλλικοί αγωγοί εξαερισμού είναι συνήθως από γαλβανισμένο χάλυβα, δηλαδή χάλυβας με ένα λεπτό επίστρωμα του ψευδάργυρου. Ο γαλβανισμένος χάλυβας, που είναι κανονικά λαμπρός, θα θαμπώσει αρχικά και θα σκουρύνει σε έκθεση στη θερμότητα. Όταν οι θερμοκρασίες αυξάνονται επάνω από τους 500°F, ο ψευδάργυρος αρχίζει να οξειδώνεται σημαντικά και παίρνει ένα υπόλευκο χρώμα. Δεδομένου ότι ο ψευδάργυρος θερμαίνεται μετά από τους 500°F, λευκαίνει όλο και περισσότερο. Εντούτοις, όταν η θερμοκρασία προσεγγίσει τους 786°F, ο ανοξειδωτος ψευδάργυρος λειώνει και απομακρύνεται, με αποτέλεσμα να αφήνουν το γυμνό χάλυβα εκτεθειμένο. (Το ίδιο το οξείδιο του ψευδάργυρου δεν θα λειώσει πραγματικά έως ότου φτάσει σε μια θερμοκρασία περίπου 3.600°F, αλλά συνήθως απομακρύνεται μαζί με τον ανοξειδωτο ψευδάργυρο που βρίσκεται κάτω από αυτόν.) Έτσι, τα καυτότερα σημεία στον αγωγό εξαερισμού είναι επίσης τα κόκκινα σημεία, όπου ο εκτεθειμένος χάλυβας έχει οξειδωθεί μέχρι σκουριάς.

Οι ερμηνείες πολλών τέτοιων δεικτών, σχεδίων, κ.λ.π. συνδυάζονται έπειτα σε ένα λογικό κατασκεύασμα της πορείας πυρκαγιάς. Μια αγαπημένη δοκιμή που χρησιμοποιείται στη μέθοδο της διαδοχικής ανάλυσης είναι η ερώτηση: "Ποιο καίγεται περισσότερο, το υλικό σε αυτήν την πλευρά ή σε εκείνη την πλευρά;" Η απάντηση σε αυτήν την ερώτηση παρέχει ένα κατευθυντικό διάνυσμα για την διάδοση της πυρκαγιάς, και το διάνυσμα μεταφέρεται σε μια άλλη θέση όπου η ερώτηση τίθεται πάλι. Από μία άποψη, η παρακολούθηση ενός ίχνους των δεικτών είναι όπως το παιχνίδι των είκοσι ερωτήσεων.

Προκειμένου να αποφευχθεί ένα λανθασμένο ίχνος λόγω κατάρρευσης, είναι κοινό να επανακολουθηθούν τα διάφορα ίχνη της πυρκαγιάς από το τέλος στην αρχή. Όταν διάφορα τέτοια ανεξάρτητα ίχνη συγκλίνουν σε ένα κοινό σημείο προέλευσης, η βεβαιότητα για το σωστό της απάντησης αυξάνεται πολύ.

Το πλεονέκτημα της διαδοχικής μεθόδου είναι ότι καμία ειδική υπόθεση δεν χρειάζεται να γίνει σχετικά με τη δομική ομοιογένεια. Τα μειονεκτήματα είναι διπλάσια. Πρώτα, στηρίζεται στη μεμονωμένη ικανότητα και τη γνώση του ερευνητή για να βρει και να ερμηνεύσει κατάλληλα τις ενδείξεις. Δεν έχουν όλοι οι ερευνητές πυρκαγιών την ίδια γνώση για τα υλικά, τη χημεία φωτιάς, τη μεταφορά θερμότητας, κ.λ.π. Ένας ερευνητής πυρκαγιών μπορεί να επισημάνει μια σημαντική ένδειξη που άλλος είδε επίσης αλλά αγνόησε.

Αφετέρου, υποθέτει ότι αρκετές ενδείξεις είναι παρούσες για τη διάγνωση της πυρκαγιάς και οι οποίες μπορούν να βρεθούν; αυτό δεν είναι πάντα αυτό που ζητάμε. Μερικές φορές η δριμύτητα της πυρκαγιάς ή οι δραστηριότητες προσβολής της πυρκαγιάς, καταστρέφουν τα σημαντικά σημάδια και ενδείξεις. Επίσης, μερικές φορές οι ενδείξεις μπορούν να είναι παρούσες αλλά χάνονται μέσα στους σορούς των συντριμμιών. Κατά

συνέπεια, μερικές φορές υπάρχουν κενά στα στοιχεία, και η προκύπτουσα διαδοχική ανάλυση είναι ασυνεχής.

M. Συνδυασμός μεθόδων

Λίγες πυρκαγιές παραχωρούνται για πλήρη ανάλυση με μόνο μια από τις μεθόδους που περιγράφονται; πολλές απαιτούν έναν συνδυασμό μεθοδολογιών. Παραδείγματος χάριν, είναι κοινό να καθοριστεί μια γενική περιοχή όπου η πυρκαγιά άρχισε, με μια από τις μεθόδους κεντραρίσματος, και έπειτα να καθορίσει ένα συγκεκριμένο σημείο προέλευσης χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό ενδείξεων εξάπλωσης της πυρκαγιάς και μια εξέταση των διαθέσιμων ενεργειακών πηγών ανάφλεξης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ: ΕΚΡΗΞΕΙΣ

Α. Γενικά

Μια έκρηξη είναι μια ξαφνική, βίαιη απελευθέρωση της ενέργειας. Συνοδεύεται συνήθως από έναν δυνατό θόρυβο και ένα κύμα πίεσης αερίου που εξαπλώνεται. Η πίεση του αερίου μειώνεται με την απόσταση από το σημείο προέλευσης ή το επίκεντρο. Οι εκρήξεις που έχουν σαν αποτέλεσμα την ανάφλεξη εύφλεκτων υλικών μπορούν επίσης να συνοδευτούν από μια υψηλής θερμοκρασίας μπάλα φωτιάς, η οποία μπορεί να αναφλέξει καύσιμα υλικά στην πορεία της.

Οι εκρήξεις που προκαλούνται από την ξαφνική απελευθέρωση χημικής ενέργειας είναι ταξινομημένες σε δύο κύριους τύπους: εκρήξεις ανάφλεξης και εκρήξεις με πυροδότηση.

Μια έκρηξη ανάφλεξης χαρακτηρίζεται από ένα σχετικά αργό, προοδευτικό ποσοστό καψίματος του εκρηκτικού υλικού. Η προοδευτική απελευθέρωση και η διασπορά της ενέργειας μέσω του εκρηκτικού υλικού σε μια έκρηξη ανάφλεξης επιτυγχάνεται από τους μηχανισμούς ομαλής μεταφοράς θερμότητας. Λόγω αυτού, η μετάδοση της ενέργειας μέσω του εκρηκτικού υλικού εξαρτάται από εξωτερικούς παράγοντες όπως οι όροι περιβαλλοντικής πίεσης και θερμοκρασίας.

Γενικά οι εκρήξεις ανάφλεξης προκαλούν ζημιά με την ώθηση αντικειμένων λόγω των διαφορών πίεσης. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν τους τοίχους, τις οροφές, τα πατώματα, τα μεγάλα κομμάτια επίπλων, κ.λ.π. Όταν ένα αέριο υψηλότερης πίεσης εξαπλώνεται από μια έκρηξη και χτυπά ένα αντικείμενο που έχει ένα αέριο χαμηλότερης πίεσης από την άλλη πλευρά, η διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο πλευρών έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία μιας δύναμης σαν δίχτυ, η οποία μπορεί να είναι αρκετή ώστε να κινήσει το αντικείμενο, ή να το κομματιάσει από την αρχική του κατάσταση.

Οι αναφλέξεις έχουν γενικά χαμηλή δυνατότητα να προκαλέσουν ζημιές με κομματιασμένα αντικείμενα. Τα μικρά αντικείμενα κοντά στο επίκεντρο της ανάφλεξης παραμένουν άθικτα καθώς το κύμα πίεσης περνά γύρω από αυτά. Οι διαφορές πίεσης στις επιφάνειές τους είναι συχνά ανεπαρκείς για να προκαλέσουν τη θραύση.

Μια έκρηξη πυροδότησης χαρακτηρίζεται από ένα σχετικά γρήγορο ποσοστό εγκαυμάτων, απελευθέρωση υψηλής ενέργειας σε μεγάλη ακτίνα, και υψηλή μέγιστη πίεση έκρηξης. Η προοδευτική απελευθέρωση και η διασπορά της ενέργειας μέσω του εκρηκτικού υλικού, επιτυγχάνεται από τα κύματα κλονισμού και τις σχετικές δυνάμεις πίεσής τους. Για αυτόν τον λόγο, η μετάδοση της ενέργειας μέσω της πυροδότησης του υλικού δεν εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες της πίεσης ή της θερμοκρασίας.

Οι πυροδοτούμενες εκρήξεις έχουν υψηλότερη δυνατότητα θραύσης από τις αναφλέξεις. Είναι αυτή η δυνατότητα που τις καθιστά χρήσιμες για εργασία τέτοιου είδους. Αντικείμενα κοντά στο επίκεντρο μιας πυροδοτούμενης έκρηξης διαλύονται, συχνά όπως όσο το σπασμένο γυαλί, λόγω της μετάδοσης των έντονων κυμάτων κλονισμού μέσω του υλικού τους.

Μερικά υλικά πυροδότησης έχουν αρκετά υψηλές ιδιότητες θραύσης και τα οποία χρησιμοποιούνται ακόμη και για να κόψουν μεγάλα κομμάτια από χάλυβα. Ένα μικρό ποσοστό του υλικού, υπό μορφή στόκου, τοποθετείται απλά κατά μήκος της γραμμής κοπής της ακτίνας του χάλυβα. Το κύμα κλονισμού που παράγεται από την πυροδότηση του είναι τόσο έντονη ώστε να αναγκάσει το χάλυβα να σπάσει στα δυο, εκεί όπου τοποθετήθηκε η εκρηκτική ύλη.

Μια γενική διάκριση μεταξύ των εκρήξεων ανάφλεξης και των πυροδοτούμενων εκρήξεων είναι ότι τα πρώτες έχουν υποηχητικά ποσοστά διάδοσης της πίεσης μέσα στο εκρηκτικό υλικό ενώ τα τελευταίες έχουν υπερηχητικά ποσοστά διάδοσης της πίεσης.

Εκτός από τις εκρήξεις αναφλέξεις και τις πυροδοτούμενες εκρήξεις υπάρχει μια τρίτη κατηγορία εκρήξεων, που περιλαμβάνει την ξαφνική εκτόνωση υψηλής πίεσεως αέριων, τα οποία μπορούν να εμφανιστούν από ένα σπασμένο δοχείο υψηλής πίεσεως ή έναν σωλήνα. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει επίσης την ξαφνική εκτόνωση πεπιεσμένων υγρών σε αέριο, όπως θα εμφανιζόταν όταν ένας λέβητας μετατρέπει το νερό σε ατμό όταν χαμηλωθεί ξαφνικά η πίεση. Αυτή η κατηγορία έκρηξης θα θεωρηθεί πρώτη.

B. Υψηλής πίεσης εκτόνωσης αερίου

Η τρίτη κατηγορία έκρηξης που αναφέρεται στο προηγούμενο τμήμα είναι μερικές φορές ταξινομημένη ως πολυτροπική εκτόνωση. Αυτός ο τύπος έκρηξης δεν περιλαμβάνει την απελευθέρωση της χημικής ενέργειας μέσω μιας χημικής αντίδρασης, περιλαμβάνει απλά τη γρήγορη εκτόνωση των διατηρημένων σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση αερίων στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Στην ουσία, είναι η μετατροπή της ενέργειας ενθαλπίας σε αμετάκλητο έργο "P-V", με την τελική κατάσταση του αερίου σε ισορροπία με τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Οι πολυτροπικές εκτονώσεις περιλαμβάνουν μια αλλαγή της κατάστασης, η οποία αντιπροσωπεύεται συνήθως από τη γενική έκφραση:

$$(i) PV^n = \text{σταθερά}$$

όπου: P = πίεση,

V = όγκος, και

n = πολυτροπική σταθερά αερίου.

Όταν $n=1$, η εκτόνωση εμφανίζεται σε ισόθερμες συνθήκες, και η συμπεριφορά αερίου προσαρμόζεται στον Νόμο Ιδανικών Αερίων. Φυσικά, όταν αυτό εμφανίζεται, η απελευθέρωση δεν είναι ξαφνική. Προκειμένου να ολοκληρωθεί η ισόθερμη εκτόνωση, η απελευθέρωση θα πρέπει να είναι πολύ αργή κατά τρόπο σχεδόν αντιστρέψιμη. Αυτό δεν είναι μια έκρηξη: το πολύ-πολύ να είναι μια μικρή, αργή διαρροή σε μια χαμηλή ταχύτητα διαφυγής όπου η διαφορά πίεσης είναι μικρή.

Όταν $n = \kappa$, όπου $\kappa = (C_p / C_v)$, η εκτόνωση εμφανίζεται με αδιαβατικές συνθήκες.

Όταν εμφανίζεται μια διαδικασία πολύ γρήγορα, δεν υπάρχει διαθέσιμος χρόνος για τη μεταφορά της θερμότητας στο περιβάλλον, και ως εκ τούτου η διαδικασία είναι αδιαβατική. Αυτό είναι το μαθηματικό πρότυπο, το οποίο αντιστοιχεί στις εκρήξεις.

Όταν το n είναι ενδιάμεσης αξίας μεταξύ 1 και κ η αντίστοιχη θερμοδυναμική διαδικασία είναι επίσης ενδιάμεση μεταξύ μιας αδιαβατικής και ισόθερμης διαδικασίας, ή ίσως κάποιος συνδυασμός των δύο. Αυτό δεν είναι επίσης ένα πρότυπο για μια έκρηξη, αλλά μπορεί να διαμορφώσει ορισμένες διαδικασίες που εμφανίζονται λιγότερο γρήγορα από μια έκρηξη. Θα μπορούσε επίσης, ίσως να διαμορφώσει μια διαδικασία δύο ή τριών βημάτων όπου ένα από τα βήματα περιλαμβάνει μια γρήγορη αδιαβατική εκτόνωση.

Όταν ένα αέριο σε μια δεξαμενή υπό υψηλή πίεση απελευθερώνεται ξαφνικά σε ένα περιβάλλον χαμηλότερης πίεσης μέσω μιας τρύπας ή μιας ρωγμής, η ταχύτητα του δραπέτευοντος αερίου καθορίζεται με την εξίσωση της αλλαγής στην ενθαλπία, από την κατάσταση υψηλής πίεσεως σε κατάσταση χαμηλής πίεσεως στην τρύπα σαν αντίτιμο της κινητικής ενέργειάς της. Στην ουσία, αυτό είναι μια απλή μετατροπή της ενεργειακής εξίσωσης, όπως παρουσιάζεται κατωτέρω.

$$(ii) \Delta(\text{ενθαλπία}) = \Delta(\text{κινητική ενέργεια}) = \Delta(\text{ενέργεια μεταξύ καταστάσεων})$$

$$m(h_2 - h_1) = (1/2)mv^2 = \Delta E$$

$$v = [2(h_2 - h_1)]^{1/2}$$

όπου: h = ειδική ενθαλπία του αερίου.

m = μάζα

v = ταχύτητα, και

ΔE = συνολική ενεργειακή αλλαγή.

Στην ανωτέρω εξίσωση, υποτίθεται ότι η ταχύτητα v που δραπετεύει είναι είτε ίση ή λίγο μικρότερη από την ταχύτητα του ήχου. Για διάφορους λόγους, δεν θα υπερβεί το Mach 1, ή την ταχύτητα του ήχου του αερίου υπό αυτές τις συνθήκες.

Επειδή η μορφή της τρύπας στο σημείο της ρήξης μπορεί να έχει επιπτώσεις στην αποδοτικότητα της ανωτέρω διαδικασίας, ένας διορθωτικός παράγοντας C προστίθεται συχνά στην εξίσωση όπως παρουσιάζεται κατωτέρω.

$$(iii) v = C[2(h_2 - h_1)]^{1/2}$$

όπου: C = συντελεστής για την εκτίμηση της μορφής της τρύπας και τα αποτελέσματα της συστολής venturi.

Γενικά, οι τιμές για το C είναι πλησίον του 0,6 όταν τα αέρια που δραπετεύουν περνούν μέσω μιας τρύπας. Αυτό υποθέτει ότι το αέριο που δραπετεύει έχει υψηλό αριθμό Reynolds, ο οποίος είναι ένα σχετικά υψηλό ποσοστό ροής. Όταν το δοχείο διαλύεται και υπάρχει απουσία ροής μέσω της τρύπας, το C είναι απλά ίσο με 1,0.

Η εξίσωση (III) μπορεί να μετατραπεί στην ακόλουθη έκφραση για τα αέρια, υπό τον όρο ότι καμία συμπύκνωση δεν εμφανίζεται στο αέριο κατά τη διάρκεια της διαφυγής.

$$(iv) v = C \left\{ 2[P_1 V_1] [k(k-1)] \left[1 - (P_2 / P_1)^{(k-1)/k} \right] \right\}^{1/2}$$

όπου: v = η ταχύτητα της διαφυγής του αερίου,

C = ο συντελεστής για το άνοιγμα, \

P_2 = η πίεση έξω από το σκεύος,

P_1 = η πίεση μέσα στο σκεύος ($P_1 > P_2$),

k = η σταθερά αερίου, C_p/C_v , και

V_1 = ο συγκεκριμένος όγκος του αερίου μέσα στο σκεύος σε P_1

Φυσικά, η συνολική εκτόνωση του απελευθερωμένου αερίου μπορεί να υπολογιστεί με το να υποθέσουμε ότι η συνολική μάζα συντηρείται και υποβάλλεται σε μια αλλαγή κατάστασης από τους όρους (T_1, P_1, V_1) σε (T_2, P_2, V_2),

Γενικά, η ξαφνική απελευθέρωση του συμπιεσμένου αερίου έχει επιπτώσεις μόνο στο χώρο μέσα στον οποίο το αέριο εκτονώνεται στην περιβαλλοντική πίεση. Από πολλές απόψεις, τα αποτελέσματα της απότομης εκτόνωσης ή της έκρηξης μιας πολυτροπικής εκτόνωσης είναι σχεδόν ίδια όπως μιας έκρηξης ανάφλεξης, λαμβάνοντας υπόψη τις ίσες αρχικές πιέσεις και θερμοκρασίες. Εντούτοις, σε μια πολυτροπική εκτόνωση, γενικώς δεν υπάρχει μπάλα φωτιάς ούτε και μετωπικά αποτελέσματα προς εξέταση.

Γ. Αναφλέξεις και Πυροδοτήσεις

Στη μελέτη των πυρκαγιών και των εκρήξεων, κατά πολύ ο πιο κοινός τύπος έκρηξης που αντιμετωπίζεται είναι η ανάφλεξη. Οι αναφλέξεις εμφανίζονται συχνά όταν συσσωρευτούν τα εύφλεκτα αέρια ή ύλες σε επίπεδα πάνω από τα χαμηλότερα όρια ευφλεκτότητας τους. Τα παραδείγματα για τις εκρηκτικές ύλες περιλαμβάνουν:

- Εκρηκτικά μίγματα φυσικού αερίου και αέρα σε συνθήκες δωματίου.
- Η αποσύνθεση του νιτρικού άλατος κυτταρίνης, μια ασταθής ένωση που χρησιμοποιείται συχνά στους προωθητές.
- Μαύρο μπαρούτι.
- Σκόνη δημητριακών.

Οι πυροδοτήσεις αντιμετωπίζονται συχνά σε περιπτώσεις εμπρησμού ή δολιοφθοράς. Περιστασιακά, οι τυχαίες πυροδοτήσεις εμφανίζονται, συνήθως σε κατασκευαστικές εργασίες, σε λατομεία, ή σε παρόμοιες εργασίες. Τα παραδείγματα για τις πυροδοτούμενες εκρηκτικές ύλες περιλαμβάνουν:

- Δυναμίτη
- Νιτρογλυκερίνη
- Εκρηκτικό υδράργυρο
- Τρινιτρολουένιο (TNT)
- Νιτρικό Αμμώνιο και πετρέλαιο

Υπό τους ειδικούς όρους, μια κανονικά αναφλεγόμενη εκρηκτική ύλη μπορεί να πυροδοτηθεί. Τέτοιοι ειδικοί όροι περιλαμβάνουν την εφαρμογή των υψηλών πιέσεων, των ισχυρών πηγών ανάφλεξης, και τη ραγδαία ανάπτυξη φλογών σε μεγάλες αποστάσεις. Με μια εξαίρεση του τελευταίου κανόνα στις ανεξέλεγκτες πυρκαγιές και εκρήξεις οι αναφλέξεις παραμένουν αναφλέξεις.

Όταν μια έκρηξη λαμβάνει χώρα σε μια απροσδιόριστη ανοιχτή περιοχή το κύμα πίεσης θα εξαπλωθεί χωρίς να προκαλέσει ζημιές και θα συνεχιστεί μέχρι η πίεση να γίνει αμελητέα. Όταν μια έκρηξη λαμβάνει χώρα σε ένα καθορισμένο χώρο το κύμα πίεσης θα ωθηθεί εναντίον της καθορισμένης κατασκευής. Εντούτοις όταν μια μικρή ποσότητα πυρίτιδας χαλαρά τυλιγμένη αναφλεχθεί, απλά θα καεί με ένα μέτριο σφύριγμα. Ενώ αν η ίδια ποσότητα πυρίτιδας είναι τυλιγμένη στενά σε ένα χάρτινο δοχείο και αναφλεχθεί, αυτό μετατρέπεται σε μια εξαιρετικά θορυβώδη κροτίδα και εκρήγνυται.

Όταν μια έκρηξη εμφανίζεται μέσα σε ένα τυπικό κτήριο, το κτήριο παθαίνει γενικές ζημιές. Ενώ οι περισσότεροι κτιριακοί κανόνες απαιτούν τα κτήρια ή οι κατοικημένες κατασκευές να είναι σε θέση να αντισταθούν στα εξωτερικά εφαρμοσμένα κάθετα φορτία λόγω του χιονιού, της βροχής, του πάγου, και του αέρα, κτιριακοί κανόνες δεν απαιτούν οι δομές να είναι σε θέση να αντισταθούν τα φαινομενικώς κατευθυνόμενα φορτία που παράγονται από μια έκρηξη που βρίσκεται μέσα ή δίπλα στη κατασκευή.

Στα κτήρια, πολλές τυχαίες εκρήξεις προκαλούνται χαρακτηριστικά από μερικά από τα εξής:

- Ανάφλεξη διαρροής φυσικού αερίου.
- Ανάφλεξη των ατμών από εσφαλμένα αποθηκευμένη βενζίνη, τους καθαριστικούς διαλύτες, τις χημικές ουσίες μηχανών, ή άλλα πτητικά εύφλεκτα υγρά.
- Ανάφλεξη των υγρών ατμών προπανίου (LP), οι οποίοι έχουν διαρρεύσει.
- Ανάφλεξη της σκόνης δημητριακών, της σκόνης άνθρακα, της σκόνης αλευριού, της υφαντικής σκόνης, και άλλων τύπων σκονών από καύσιμα υλικά.

- Ανάφλεξη ορισμένων τύπων λεπτών μεταλλικών σκονών, όπως το αλουμίνιο και το μαγνήσιο.
- Ανάφλεξη των ψεκαζόμενων εύφλεκτων υγρών.

Από μελέτες έχει διαπιστωθεί ότι τα περισσότερα ατυχήματα από εκρήξεις που εμφανίζονται στα κτήρια είναι τύπου ανάφλεξης.

Τα υλικά που περιλαμβάνονται στις εκρήξεις ανάφλεξης μπορούν να αναφλεχτούν με διάφορους τρόπους. Η πιο κοινή πηγή ανάφλεξης είναι ένας ηλεκτρικός σπινθήρας. Όπως σημειώθηκε στο κεφάλαιο 2, ο μικρότερος σπινθήρας, που μπορεί να προκαλέσει την ανάφλεξη των καύσιμων ατμών, καλείται ελάχιστη ενέργεια ανάφλεξης (EEA). Συνήθως ο σπινθήρας όπως μετριέται στις εργαστηριακές δοκιμές παρέχεται από έναν πυκνωτή, μέσο ενός κενού αέρα στα καύσιμα. Η βέλτιστη απόσταση κενού αέρα, που μπορεί να προκαλέσει την ανάφλεξη, αναφέρεται ως ελάχιστη απόσταση απόσβεσης ανάφλεξης.

Ο ακόλουθος πίνακας απαριθμεί τις τιμές EEA για τους ατμούς διάφορων καυσίμων σε στοιχειομετρικούς όρους στον αέρα.

Πίνακας 1. Ελάχιστες Ενέργειες Ανάφλεξης για τα αέρια καύσιμα στον αέρα

Καύσιμο	EEA
Φυσικού Αερίου	0,00030 joule
Προπάνιο	0,00026 joule
Αμμωνία	> 1,00 joule
Μεθανόλη	0,00014 joule
Κανονικό Βουτάνιο	0,00026 joule
Τριχλωροαιθυλένιο	0,300 joule

Ένας από τους λόγους για τους οποίους πρόσθετες προφυλάξεις πρέπει να ληφθούν γύρω από περιοχές όπου υπάρχει συγκεντρωμένο οξυγόνο, όπως στα νοσοκομεία, είναι ότι το EEA του καθαρού οξυγόνου μπορεί να είναι πολλές φορές λιγότερο από αυτό του EEA στον αέρα. Ο πίνακας 2 απαριθμεί τις τιμές EEA για τα ίδια καύσιμα στους στοιχειομετρικούς όρους στο καθαρό οξυγόνο αντί του αέρα.

Πίνακας 2. Ελάχιστες Ενέργειες Ανάφλεξης για τα αέρια καύσιμα στο οξυγόνο

Καύσιμα	EEA
Φυσικό αερίου	0,000003 joule
Προπάνιο	0,000002 joule
Αμμωνία	μη διαθέσιμη
Μεθανόλη	μη διαθέσιμη
Κανονικά βουτάνιο	0,000009 joule
Τριχλωροαιθυλένιο	0,0128 joule

Μια σύγκριση των πινάκων 1 και 2 δείχνει ότι μερικοί από τους καύσιμους ατμούς θα αναφλεγούν στο οξυγόνο σε επίπεδα EEA δύο μεγέθη λιγότερο απ' ό,τι στον αέρα.

Αυτή η ακραία ευαισθησία του καθαρού οξυγόνου ακόμη και στο μικρότερο σπινθήρα είναι ένας όλεθρος για τη NASA. Ένας μικρός σπινθήρας σε μια πλούσια σε οξυγόνο ατμόσφαιρα είναι αυτό που προκάλεσε την πυρκαγιά στο Απόλλων 1, όταν σκοτώθηκαν τρεις αστροναύτες. Την ατμόσφαιρα αναπνοής μέσα στην κάψουλα την αποτελούσε ένα πλούσιο σε οξυγόνο μίγμα. Στις πιο πρόσφατες αποστολές αυτό το μίγμα το άλλαξαν για να μειώσουν τον κίνδυνο.

Η ευαισθησία του οξυγόνου στο να προκαλεί ανάφλεξη ήταν επίσης η αιτία της έκρηξης, η οποία καθιστούσε ανίκανο το Απόλλων 13 που ήταν καθ' οδόν στο φεγγάρι.

Υπήρξαν ρωγμές στη μόνωση μερικών ηλεκτρικών καλωδίων σε μια δεξαμενή οξυγόνου στην πλευρά του σκάφους ελέγχου. Όταν η δεξαμενή χρησιμοποιήθηκε και το οξυγόνο ήρθε σε επαφή με τα καλώδια, η έκρηξη αποκόλλησε από τη θέση που ήταν ένα ολόκληρο πλαίσιο. Μόνο με την πολύ αξιοπρόσεκτη ομαδική εργασία και κάποια έξυπνη σκέψη εκ μέρους των ανθρώπων και στο έδαφος και στο διαστημικό σκάφος σώθηκαν οι ζωές των αστροναυτών.

Ο ακόλουθος είναι ένας μερικός κατάλογος συνηθισμένων πηγών ηλεκτρικών σπινθήρων στα σπίτια και τις εμπορικές επιχειρήσεις που μπορούν να προκαλέσουν την ανάφλεξη των αέριων καύσιμων.

Κοινές πηγές ηλεκτρικών σπινθήρων που προκαλούν εκρήξεις:

- **Ηλεκτρικές μηχανές:** η επαφή των δαχτυλιδιών ολίσθησης σε γεννήτρια συνεχούς ρεύματος. Οι αντλίες φρεατίων είναι διάσημες για την ανάφλεξη των ατμών προπανίου, οι οποίοι είχαν συσσωρευτεί στα υπόγεια.
- **Χαλαρά ηλεκτρικά κυκλώματα στις πρίζες των τοίχων.** Όταν η συσκευή ανοίγει, οι πρίζες μπορούν να σχηματίσουν τόξο στις επαφές. Αυτό εμφανίζεται στα ψυγεία και τους ψυκτήρες όπου η συσκευή ανοίγει και κλείνει περιοδικά.
- **Στατική αποφόρτιση λόγω της τριβής μεταξύ δύο ηλεκτρικά ανόμοιων υλικών.** Η επίδραση καλείται ηλεκτρισμός λόγω της τριβής, και μπορεί να εμφανιστεί μεταξύ οποιωνδήποτε συνδυασμών αερίου, υγρού, και στερεού. Μια ιδιαίτερα επικίνδυνη κατάσταση είναι η μεταφορά του εύφλεκτου υγρού από ένα κιβώτιο σε άλλο, ειδικά όταν κάποιο από αυτά είναι από πλαστικό.
- **Ηλεκτρονόμοι και διακόπτες.** Και οι δύο θα βγάλουν σπίθες όταν οι επαφές ανοίγουν και κλείνουν.
- **Αστραπή.**
- **Ηλεκτρικοί καταστροφείς ζωυφίων.** Η υψηλή τάση που χρειάζεται για να σκοτώσει ένα ζώο μπορεί επίσης μια δημιουργήσει μια έκρηξη εάν υπάρχουν εύφλεκτοι ατμοί τριγύρω.
- **Θερμοστάτες** και αυτοί έχουν επίσης τα ανοικτά και κλειστά σημεία επαφής, αν και οι περισσότεροι λειτουργούν σε χαμηλές τάσεις.
- **Παλαιού τύπου κουδούνια πόρτας.** Ουσιαστικά, αυτό είναι απλά μια άλλη έκδοση ενός ηλεκτρονόμου, εκτός από το ότι ο σπινθήρας είναι συνεχόμενος ενώ το κουδούνι λειτουργεί.

Εκτός από τους σπινθήρες, οι εκρήξεις ανάφλεξης μπορούν επίσης να προκληθούν από τον ακόλουθο κατάλογο κοινών πηγών ανάφλεξης.

Πηγές ανάφλεξης χωρίς την παρουσία σπινθήρα που προκαλούν εκρήξεις:

§ **Πιλοτικά φώτα** σε καυτές δεξαμενές νερού, φούρνους, θερμάστρες, σόμπες και στεγνωτήρες αερίου.

§ **Καπνίζοντα υλικά:** τσιγάρα, σπίρτα, πούρα, αναπτήρες, κ.λ.π. Σε μερικές περιπτώσεις είναι γνωστό, αναπτήρες να πέφτουν σε στενές περιοχές και να σφηνώνουν εκεί, επιτρέποντας στο βουτάνιο που περιέχουν να απελευθερωθεί κοντά σε μια άλλη πηγή ανάφλεξης όπως έναν ανεμιστήρα. Αυτό έχει εμφανιστεί σε οχήματα όπου οι άνθρωποι αφήνουν τους αναπτήρες στο ταμπλό, και στην συνέχεια αυτοί καταλήγουν μέσω των ανοιγμάτων του εξαερισμού στο σύστημα εξαερισμού.

§ **Σπινθήρες από την τριβή των μετάλλων ή των λιπαντικών.** Τα παραδείγματα αυτά περιλαμβάνουν τους τροχούς άλεσης, τις οξυγονοκολλήσεις, τους πυρόλιθους αναπτήρων, τις σμίλες μετάλλων, και τα σιδηροπρίονα.

§ **Ηλεκτρικοί αναφλεκτήρες σομπών ή φούρνων.**

§ **Καυτές επιφάνειες**, όπως τα ηλεκτρικά στοιχεία θερμαστρών.

§ **Ακτινοβολούμενη ενέργεια**. Μερικές χημικές ουσίες πρέπει μόνο να εκτεθούν στο φως του ήλιου για να εκραγούν. Αυτές περιέρχονται σε μια ειδική υποκατηγορία των φωτοενεργών χημικών ουσιών.

§ **Θερμότητα από τις χημικές αντιδράσεις**, ή μεταξύ των στοιχείων που αναμιγνύονται.

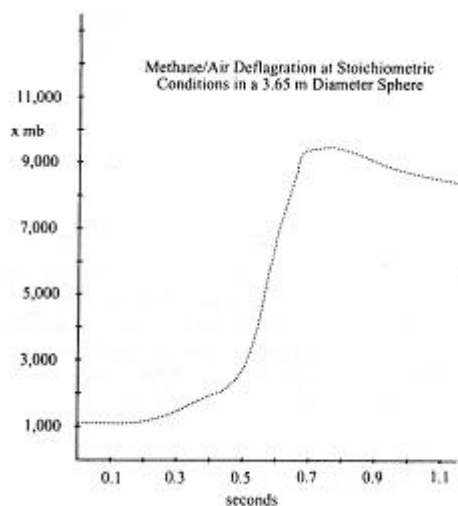
§ **Κινούμενα οχήματα** ή άλλες μηχανές εσωτερικής καύσεως, ειδικά όταν είναι περιορισμένες σε γκαράζ.

Δ. Μερικές βασικές παράμετροι

Και στην ανάφλεξη και στην πυροδότηση των εκρήξεων, η μέγιστη πίεση εμφανίζεται όταν περιορίζεται πλήρως η έκρηξη, η οποία είναι μια διαδικασία σταθερού όγκου, και το εκρηκτικό μίγμα είναι κοντά στις στοιχειομετρικές συγκεντρώσεις. Η μέγιστη πίεση για πολλά βασισμένα στον υδρογονάνθρακα εκρηκτικά μίγματα είναι μεταξύ, επτά και εννέα φορές της περιβαλλοντικής πίεσης. Η χαρακτηριστική μέγιστη πίεση για μια πυροδοτούμενη έκρηξη αερίου θα είναι σχεδόν διπλή από αυτή μιας εκρηκτικής ανάφλεξης υπό τις ίδιες συνθήκες.

Κατά συνέπεια, εάν η περιβαλλοντική πίεση είναι 1.013,3 mb, 1 τυποποιημένη ατμόσφαιρα, η μέγιστη πίεση για μια χαρακτηριστική έκρηξη ανάφλεξης θα μπορούσε να κυμανθεί από 7.100 mb ως 9.120 mb. Μια πυροδοτούμενη έκρηξη αερίου μέγιστης πίεσης μπορεί να είναι από 14.200 mb μέχρι 18.240 mb

Η ακόλουθη γραφική παράσταση στο σχήμα 1 παρουσιάζει την άνοδο της πίεσης σε αναλογία του χρόνου όπως αυτή μετρείται στην απόλυτη πίεση μιας έκρηξης ανάφλεξης μεθανίου και αέρα σε στοιχειομετρικό μίγμα, 1.013,3 mb περιβαλλοντικής πίεσης, και 25°C. Η έκρηξη έγινε σε ένα εργαστηριακό δοχείο που ήταν 3,65 μέτρα στη διάμετρο και η έκρηξη πραγματοποιήθηκε υπό σταθερό όγκο. Είναι ευδιάκριτο ότι η μέγιστη πίεση που επιτεύχθηκε στην έκρηξη, ήταν 8.600 mb, και πραγματοποιήθηκε σε λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο.



Σχήμα 5.1 Πίεση ως προς το χρόνο

Στις εκρήξεις ανάφλεξης, υπάρχει κανονικά μια απόσταση μεταξύ των μιγμάτων των καυσίμων και του αέρα στην οποία οι εκρήξεις είναι δυνατές. Παραδείγματος χάριν, το μεθάνιο ή το φυσικό αέριο θα εκραγεί όταν η συγκέντρωση είναι μεταξύ του 5% και 15% στον όγκο του αέρα. Εάν η συγκέντρωση είναι μικρότερη του 5% ή μεγαλύτερη του 15%, καμία έκρηξη δεν θα πραγματοποιηθεί. Η αναλογία του αέρα στα καύσιμα θα είναι τέτοια που η διάδοση των φλογών να κατασταλεί από μόνη της.

Ενώ μια έκρηξη ανάφλεξης μεθανίου και αέρα μπορεί να φθάσει σε πιέσεις των 8.600 millibars εύρους πιέσεων όταν το μίγμα βελτιστοποιείται για μέγιστη πίεση, που συνήθως εμφανίζεται κοντά ή στο στοιχειομετρικό μίγμα, η πίεση της έκρηξης ελαττώνεται γρήγορα στις συγκεντρώσεις μιγμάτων λίγο πολύ σε σχέση με το βέλτιστο σημείο.

Παραδείγματος χάριν, σε μια συγκέντρωση μεθανίου 5%, το χαμηλότερο όριο για το μεθάνιο και τις εκρήξεις αέρα, η πίεση της έκρηξης θα φθάσει μόνο περίπου τα 3.200 mb. Στο ανώτερο όριο του 15%, η πίεση της έκρηξης θα φθάσει μόνο περίπου τα 3.900 mb. Ομοίως, η θερμοκρασία των φλογών της έκρηξης, που είναι μέγιστη ή πολύ κοντά στους στοιχειομετρικούς όρους, πέφτει σημαντικά όταν το μίγμα είναι είτε λιγότερο είτε περισσότερο από το βέλτιστο μίγμα.

Ο ακόλουθος πίνακας απαριθμεί μερικά από τα κοινά αναφλέγοντα καύσιμα και τα εκρηκτικά όριά τους.

Πίνακας 3: Εκρηκτικά όρια μερικών κοινών αερίων

Καυσίμων	Όρια(% v/v)
Μεθάνιο	5,0 - 15,0
Αιθάνιο	3,0 - 12,4
Προπάνιο	2,1 - 9,5
Ακετόνη	2,6 - 13,0
Αμμωνία	15,0 - 28,0
Βενζίνη	1,3 - 6,0
Κοβάλτιο	12,5 - 74,0
Μεθανόλη	6,7 - 12,0

Για σκόνες όπως το αλεύρι και τα δημητριακά, τα χαμηλότερα εκρηκτικά όρια είναι περίπου 40-50 gr/m³ αέρα. Εντούτοις, μερικά στοιχεία, όπως η σκόνη φλοιών ξύλου, έχουν το χαμηλότερο εκρηκτικό όριο σε 20 gr/m³ αέρα. Οι σκόνες ασφαλτούχου άνθρακα και λιγνίτη έχουν παρόμοιους χαμηλούς εκρηκτικούς βαθμούς ορίων όπως οι γεωργικές σκόνες. Τα ανώτερα εκρηκτικά όρια και για τους δύο τύπους τέτοιων σκονών δεν καθορίζονται σαφώς.

Ο κάτωθι πίνακας 6 απαριθμεί τα χαμηλότερα εκρηκτικά όρια για μερικές σκόνες μετάλλων. Όπως και με τις σκόνες δημητριακών, τα ανώτερα εκρηκτικά όρια για τις σκόνες μετάλλων δεν καθορίζονται σαφώς.

Πίνακας 4: Τα χαμηλότερα εκρηκτικά όρια για τις σκόνες μετάλλων

Υλικό	Χαμηλότερο όριο (γραμμάρια ανά κυβικό μέτρο)
Αλουμίνιο	80
Σίδηρος	120
Μαγνήσιο	30
Μαγγάνιο	120
Θείο	35
Ουράνιο	60
Ψευδάργυρος	480

E. Μέτωπο υπερπίεσης

Η υπερπίεση είναι το ποσό της πίεσης παραπάνω από τη συνηθισμένη περιβαλλοντική πίεση. Οι μηχανικοί συνήθως το ονομάζουν μετρητική πίεση και την διακρίνουν από την απόλυτη πίεση, η οποία είναι η πίεση που μετρείται στο κενό. Στο

αγγλικό σύστημα, η μετρητική πίεση μετριέται rounds ανά τετραγωνική ίντσα (psig), και η απόλυτη πίεση μετριέται σε rounds ανά τετραγωνική ίντσα απόλυτη (psia). Όταν η σύντμηση "psi" χρησιμοποιείται, η μετρητική πίεση είναι συχνά υπονοούμενη.

Ένα λογικό πρότυπο για τον υπολογισμό της πίεσης στο μέτωπο της έκρηξης, το όριο όπου η πίεση έκρηξης είναι η μέγιστη, είναι ο κανόνας των αντίστροφων τετραγώνων. Αυτό γίνεται επειδή ο φάκελος της πίεσης που εκτονώνεται εξωτερικά από το επίκεντρο είναι τρισδιάστατος, και η πίεση ενός αερίου είναι μια λειτουργία του όγκου της. Η γενική εξίσωση παρουσιάζεται κατωτέρω:

$$(v) P_r = K [I / r^3]$$

όπου: P_r = η πίεση στο μέτωπο της έκρηξης σε απόσταση r από επίκεντρο.

K = αυθαίρετη σταθερά για τη μετατροπή των μονάδων και της αποδοτικότητας από την έκρηξη.

I = η ένταση έκρηξης, η ποσότητα εκρηκτικής ύλης. ή το ποσό ενεργειακής απελευθέρωσης,

r = η απόσταση από την έκρηξη.

Όταν η πίεση σε ένα σημείο είναι γνωστή, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση (v) για να υπολογίσουμε τις πιέσεις σε άλλες θέσεις.

(vi) $P_1 = C$, μια γνωστή ποσότητα σε απόσταση r_1 .

$$P_1 [r_1^3] = KI$$

$$P_2 [r_2^3] = KI$$

$$P_2 = P_1 [r_1^3 / r_2^3]$$

Οι δείκτες ζημιών μπορούν συχνά να βοηθήσουν στη λύση της εξίσωσης (vi). Παραδείγματος χάριν, αυτό είναι γνωστό ότι τα γυάλινα παράθυρα σπάνε όταν η υπερπίεση είναι 0,5 έως 0,1 psig (34,46 έως 68,9mb). Εν τω μεταξύ, όταν είναι γνωστή η απώτατη απόσταση στην οποία τα παράθυρα σπάνε, μπορεί να γίνει μια εκτίμηση της πίεσης για τα διάφορα σημεία κατά μήκος της διάβασης του μετώπου έκρηξης.

Άλλοι δείκτες, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογίσουν την πίεση μιας έκρηξης ανάφλεξης σε ένα συγκεκριμένο σημείο, είναι:

§ Τα αντικείμενα, τα οποία έχουν ανυψωθεί και των οποίων το βάρος είναι γνωστό ή μπορεί να υπολογιστεί, όπως στέγες, οροφές, κ.λπ.

§ Τα αντικείμενα που έχουν εκσφενδονιστεί από την περιοχή της έκρηξης Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι δυνατόν να υπολογιστούν οι παράμετροι ταχύτητας που συνδέονται με την τροχιά τους, και από αυτήν υπολογιστεί η αρχική κινητική ενέργεια που μεταδόθηκε στο αντικείμενο από την έκρηξη. Δεδομένου ότι η αλλαγή στην κινητική ενέργεια είναι ίση με την εργασία που γίνεται πάνω στο αντικείμενο, ένα μέτρο της πίεσης που ανάγκασε το αντικείμενο να εκσφενδονιστεί μπορεί να είναι υπολογίσιμο εξισώνοντας το έργο "PV" που γίνεται στο στοιχείο με την κινητική του ενέργεια όπως παρουσιάζεται κατωτέρω:

$$\text{Έργο} = [P_2 V_2 - P_1 V_1] / (1 - k) = \Delta KE = (1/2) m v^2$$

§ Στοιχεία, τα οποία έχουν ωθηθεί σε μια γνωστή απόσταση ή αναποδογυριστεί έτσι ώστε το έργο που απαιτείται για αυτό να ολοκληρωθεί μπορεί να καθοριστεί και να εξισωθεί στο έργο "P-V".

Στην πυροδότηση των εκρηκτικών υλικών όπως δυναμίτη, η διασπορά των συντριμμιών των αντικειμένων μπορεί να σχετίζεται κατά προσέγγιση με την εκρηκτική παραγωγή από την ακόλουθη σχέση:

$$(vii) W_E = [r^3] / K$$

όπου: r = η απόσταση από το επίκεντρο της απώτατης διασποράς των συντριμμιών.

W_E = ποσό εκρηκτικής παραγωγής σε ισοδύναμα χιλιόγραμμα TNT και

K = παράγοντας κλίμακας. 91.000 m³/kg.

Πρέπει να υπογραμμιστεί ότι η ανωτέρω σχέση πρόκειται μόνο να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη εκτίμηση περικοπών του ποσού εκρηκτικής ύλης.

Η εκρηκτική παραγωγή είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τις πυροδοτήσεις για να δείξει την ποσότητα της εκρηκτικής επίδρασης που παράχθηκε. Συνήθως, η έκρηξη υπό εξέταση συγκρίνεται με την ισοδύναμη ποσότητα TNT, η οποία θα προκαλούσε το ίδιο επίπεδο ζημιάς ή επίδρασης. Το TNT χρησιμοποιείται συχνά ως πρότυπο για την μέτρηση των εκρήξεων, και αυτό γιατί υπάρχουν τόσοι πολλοί διαφορετικοί τύποι και παραλλαγές των εκρηκτικών υλών.

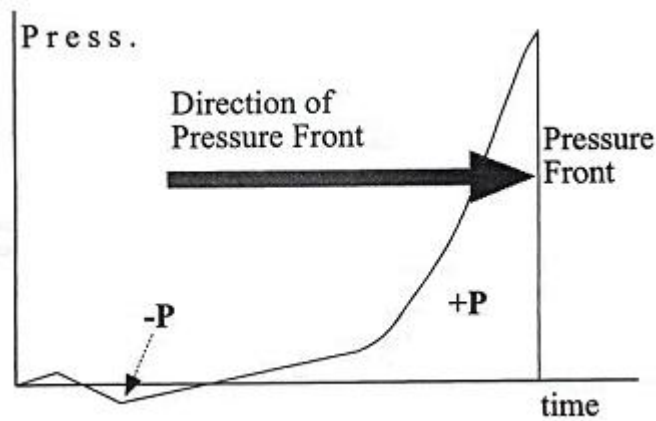
Ένα γραμμάριο του TNT παράγει περίπου 4.680 joule εκρηκτικής ενέργειας. Εντούτοις, η ενεργειακή ισοδυναμία δεν είναι όλη η ιστορία, είναι μόνο ένας τραχύς δείκτης της εκρηκτικής επίδρασης. Η επίδραση της εκρηκτικής ισοδυναμίας πρέπει επίσης να λάβει υπόψη την ταχύτητα πυροδότησης και τα αποτελέσματα θραύσης.

Όσον αφορά την ισοδύναμη εκρηκτική απόδοση, είναι ακατάλληλη να οριστεί σε μια έκρηξη ανάφλεξης σαν ισοδύναμη απόδοση από TNT. Είναι απλά μια "σύγκριση μήλων και πορτοκαλιών". Πολλοί ερευνητές ξοδεύουν συνήθως ένα σημαντικό χρονικό διάστημα υπολογίζοντας την ισοδύναμη εκρηκτική απόδοση σε χιλιόγραμμα TNT για τις εκρήξεις φυσικού αερίου, εκρήξεις αμμωνίας, και τα λοιπά. Σε μια προεξέχουσα περίπτωση που περιλαμβάνει μια βλάβη λέβητα, η έκρηξη σαν αποτέλεσμα της απότομης εκτόνωσης του καυτού πεπιεσμένου νερού από τον λέβητα και από τους σπασμένους σωλήνες εξισώθηκε ακόμη και σε τόσα πολλά χιλιόγραμμα TNT.

Αυτός ο υπολογισμός ισοδυναμίας γίνεται συνήθως με το να εξισωθεί το ενεργειακό περιεχόμενο τόσων πολλών χιλιόγραμμων TNT στην ενέργεια που απελευθερώνεται από την ανάφλεξη τόσων πολλών χιλιόγραμμων φυσικού αερίου, αμμωνίας, κ.λπ. Φυσικά, προφανώς μπορεί να υπάρξει μια ενεργειακή ισοδυναμία σε μια βάση joule προς joule μεταξύ των δύο, ακριβώς όπως μπορεί να υπάρξει μια ισοδυναμία joule προς joule μεταξύ της ηλεκτρικής ενέργειας σε μια μπαταρία φακών και σε κάποιο ποσό βενζίνης. Εντούτοις, αυτό δεν είναι βεβαίως η βάση για μια ισοδυναμία της εκρηκτικής επίδρασης.

Κατά συνέπεια, η εξέταση της ζημιάς μιας έκρηξης σε ένα σημείο που έχει προκληθεί από μια ανάφλεξη και να την εξισώσουν σε τόσες πολλές ράβδους δυναμίτη ή λίβρες TNT δεν είναι μια ιδιαίτερα έγκυρη σύγκριση. Δυστυχώς, οι δικηγόροι, οι δημοσιογράφοι, οι δημόσιοι ανώτεροι υπάλληλοι και οι ερευνητές επιμένουν να γίνεται αυτή η ισοδυναμία ως παράγοντας "κατάπληξης" για το δικαστήριο, για το αναγνωστικό κοινό εφημερίδων, κριτικών επιτροπών, ακροατήριο εξέτασης, ή οποιοσδήποτε, παρά την αμφισβητήσιμη επιστημονική αξία της.

Το κύμα ή το μέτωπο πίεσης, που διαδίδεται από το επίκεντρο της έκρηξης, παρουσιάζει κατανομή πίεσης κατά τη διάρκεια του χρόνου παρόμοια με αυτήν, στο κατωτέρω σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2 : Προφίλ του κύματος ή του μετώπου πίεσης

Όπως φαίνεται στον αριθμό, το αρχικό μέτωπο πίεσης είναι ένας "τοίχος", ή "ακίδα." Η πίεση στη μια πλευρά της ακίδα είναι η περιβαλλοντική πίεση, και ακριβώς ή ελαφρώς πίσω από την ακίδα, η πίεση είναι μέγιστη για εκείνη την απόσταση από την προέλευση της έκρηξης.

Καθώς το μέτωπο περνά από ένα ορισμένο σημείο, το επίπεδο πίεσης μειώνεται. Σε κάποιο χρόνο αφότου το μέτωπο έχει περάσει, η πίεση μειώνεται ακόμη και πιο κάτω από την περιβαλλοντική και ένα μικρό μέτωπο χαμηλής πίεσεως εμφανίζεται. Στις ταινίες που παρουσιάζουν τη μετάβαση των μετώπων πίεσης στις πραγματικές εκρήξεις, αυτή η "αρνητική" περιοχή πίεσης μοιάζει μερικές φορές με ένα μικρό αντίστροφο κύμα, ειδικά μετά αφού έχουμε παρατηρήσει την κύρια μπροστινή ώθηση της πίεσης να κατευθύνεται με μεγάλη καταστρεπτική δύναμη. Αφότου υποχωρεί η αρνητική πίεση, η πίεση σταθεροποιείται πάλι σε περιβαλλοντική.

Για αυτό τόσο πολλή προσοχή δίνεται στον προσδιορισμό της μέγιστης πίεσης. Η καταστρεπτική δύναμη μιας έκρηξης περιλαμβάνεται βασικά στο μέτωπο πίεσής της. Εάν μια δομή μπορεί να επιζήσει αυτής, είναι πιθανό ότι θα είναι σε θέση να επιζήσει μιας χαμηλότερης επιπέδου ζώνης πίεσης που θα ακολουθήσει.

Φυσικά, η ανωτέρω κατάσταση υποθέτει ότι η έκρηξη έχει πραγματοποιηθεί στο ύπαιθρο. Η παρουσία κτηρίων, λόφων, κοιλάδων, και άλλων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων μπορεί να περιπλέξει το σχεδιάγραμμα του κύματος πίεσης λόγω των αντανακλάσεων, των διαθλάσεων, και των σκιάσεων. Το κύμα πίεσης μιας έκρηξης μπορεί "να ανακλαστεί" ή να εκτραπεί από τα κτήρια και τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως τα κύματα σε μια λίμνη που αναπηδούν από την πλευρά μιας βάρκας. Μπορεί ακόμη και να υπάρξει καταστρεπτική και εποικοδομητική παρέμβαση σε ορισμένες καταστάσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ ΜΙΑΣ ΕΚΡΗΞΗΣ

A. Γενικά

Τα εκρηκτικά όρια αερίων καυσίμων είναι χρήσιμα στον υπολογισμό του ποσού καυσίμων, το οποίο μπορεί να είχε αναμιχθεί σε μια έκρηξη. Εάν το δωμάτιο ή ο χώρος στον οποίο έλαβε χώρα η έκρηξη είναι γνωστός, ο δύναμη της μπορεί να καθοριστεί. Εάν ο τύπος αερίου, που τροφοδότησε την έκρηξη, είναι γνωστός ή υποτιθέμενος, το ποσό καυσίμων που ήταν απαραίτητο για να προκαλέσει την έκρηξη μπορεί να υπολογιστεί από τα χαμηλότερα εκρηκτικά όριά του.

Παράδειγμα: υποθέστε ότι μια έκρηξη έλαβε χώρα σε μια μικρή κρεβατοκάμαρα, 12 ft. x 10 ft. x 8 ft, στην οποία βρισκόταν μια θερμάστρα χώρου φυσικού αερίου. Η έκρηξη πραγματοποιήθηκε όταν ένας διακόπτης στη θέση στο μέσο ενός τοίχου των 8 ft ανοίχτηκε αφότου το δωμάτιο ήταν κλειστό για δύο ώρες. Ίχνη φωτιάς βρέθηκαν στην οροφή και τους τοίχους πάνω από τον διακόπτη, και όχι τόσο κάτω από αυτόν. Πόσο αέριο διέρρευσε, σε ποιο ποσοστό είχε διαρρεύσει, και ποιο το μέγεθος της διαρροής ήταν η απαραίτητη αιτία της έκρηξης;

Δεδομένου ότι το φυσικό αέριο είναι ελαφρύτερο από τον αέρα, ένα μεγάλο μέρος του αερίου θα μαζευόταν αρχικά στο ταβάνι και θα γέμιζε και το χώρο από το ταβάνι προς τα κάτω, όπως ένα κύπελλο. Η έκρηξη θα μπορούσε μόνο να πραγματοποιηθεί εάν η συγκέντρωση αερίου στον διακόπτη ήταν τουλάχιστον 5% ή περισσότερο. Υποθέτοντας ότι για ένα "σύννεφο", μεθανίου 5% και αέρα στο ανώτερο μέρος του δωματίου, θα απαιτούνταν περίπου 24 ft³ μεθανίου. Δεδομένου ότι το δωμάτιο ήταν κλειστό για δύο ώρες, το ποσοστό διαρροής θα πρέπει να ήταν περίπου 0,2 cu.ft./min.

Επειδή τα περισσότερα συστήματα οικιακού φυσικού αερίου λειτουργούν σε μια πίεση περίπου 0,5 psig, η εφαρμογή της εξίσωσης Bernoulli διαπιστώνει ότι η ταχύτητα διαφυγής του φυσικού αερίου από τις γραμμές αερίου ή της θερμάστρας θα ήταν 2,32 ft/sec. Για να υπάρχει μια ποσοστό διαρροών 0,2 cu.ft./min απαιτείται μια περιοχή διαρροής 0,21 sq.in.. Κατά συνέπεια, αυτή η εκτίμηση του μεγέθους διαρροής μας δίνει έναν υπαινιγμό ως προς ποιο μεγέθους ήταν η τρύπα ή το άνοιγμα ώστε να ψάξουμε στις γραμμές αερίου και τα εξαρτήματα γύρω από τη θερμάστρα χώρου.

B. Διάχυση και ο νόμος του Fick

Συνήθως θεωρείται ότι όταν εισάγεται ένα ελαφρύ αέριο σε ένα δωμάτιο γεμάτο με αέρα, το αέριο θα επιπλέει στην οροφή και δημιουργήσει ένα ευδιάκριτο στρώμα. Αυτό ισχύει μερικές φορές εντούτοις, δεν είναι αληθινό κατά τη διάρκεια του χρόνου. Λαμβάνοντας υπόψη το πέρασμα αρκετού χρόνου, το αέριο θα διασκορπιστεί μέσω του αέρα του δωματίου έως ότου η συγκέντρωση στην κορυφή του δωματίου δεν είναι σημαντικά διαφορετική από το κατώτατο σημείο του δωματίου.

Εάν τα αέρια δημιουργούσαν στρώματα σύμφωνα με τις συγκεκριμένες σχετικές πυκνότητές τους, η γήινη ατμόσφαιρα θα ήταν πολύ διαφορετική από είναι τώρα. Κοντά στο έδαφος θα ήταν τα βαρύτερα αέρια που βρίσκονται στον αέρα: το αργό και το διοξείδιο του άνθρακα, ακριβώς επάνω από αυτό θα ήταν ένα σχετικά παχύ στρώμα οξυγόνου και πάνω από το οξυγόνο, αρκετά παραπάνω από των περισσότερων ανθρώπων τα κεφάλια και κορυφές των κτηρίων, θα ήταν ένα στρώμα αζώτου. Και τελικά, το κορυφαίο στρώμα θα αποτελούταν από υδρατμούς, μεθάνιο, και τα άλλα ελαφρύτερα αέρια.

Εντούτοις, η από πρώτο χέρι εμπειρία μας, μας λέει ότι αυτό δεν είναι η υπόθεση: τα ελαφρύτερα αέρια δεν ανέρχονται στο ανώτατο σημείο, και τα βαριά αέρια δεν βυθίζονται στο κατώτατο σημείο. Λαμβάνοντας υπόψη το χρόνο, τα αέρια ανακατεύονται έως ότου η σύνθεση είναι η ίδια στο ανώτατο όπως στο κατώτατο σημείο. Αυτό ισχύει επίσης για τα υγρά μίγματα όταν ο διαλύτης και η διαλυτή ουσία είναι αναμίξιμοι μεταξύ τους.

Σε μια δεδομένη θερμοκρασία, τα ποσοστά στα οποία τα διαφορετικά αέρια είναι διάχυτα είναι αντιστρόφως ανάλογα προς την τετραγωνική ρίζα των μοριακών βαρών τους. Αυτή η παρατήρηση είναι σύμφωνη με την Κινητική Θεωρία των Αερίων, όπου η πίεση, ή η συγκέντρωση ενός αερίου, είναι ανάλογες προς τη μέση κινητική ενέργειά της.

$$(i) P = C \left[(1/2) m v_{ave}^2 \right] = (3/2) C k T$$

όπου: C = μια αυθαίρετη σταθερά που ενσωματώνει επίσης τον αριθμό μορίων ανά μονάδα όγκου.

v = μέση ταχύτητα του μορίου του αερίου,

m = βάρος του μορίου του αερίου,

k = σταθερά Boltzman, $1,38 \times 10^{-23}$ joule /°K. και

T = απόλυτη θερμοκρασία, °K.

Η διάχυση είναι μια λειτουργία της μέσης ταχύτητας του αερίου καθώς περιπλανιέται, συγκρουόμενο με τα διάφορα άλλα μόρια αερίων.

Αέρια με υψηλή μέση ταχύτητα διαχέονται πιο γρήγορα από αέρια με χαμηλή μέση ταχύτητα. Κατά συνέπεια, ο αλγεβρικός χειρισμός της εξίσωσης (i) διαπιστώνει ότι:

$$(ii) m_1 / m_2 = v_2^2 / v_1^2$$

$$\text{ή } v_2 / v_1 = [m_1 / m_2]^{1/2}$$

Παραδείγματος χάριν, εάν ένα mole του αερίου υδρογόνου απελευθερώθηκε σε ένα δωμάτιο γεμάτο με αέρα, ποιο θα ήταν το ποσοστό διάχυσής του σε σύγκριση με ένα mole μεθανίου που απελευθερώνεται στη ίδια δωμάτιο;

Ένα mole υδρογόνου έχει μοριακό βάρος 2. Ένα mole μεθανίου έχει μοριακό βάρος 16. Κατά συνέπεια, το υδρογόνο θα διασκορπιστεί στο γεμάτο με αέρα δωμάτιο σε ποσοστό 2,83 φορές γρηγορότερα από το μεθάνιο.

Στην περίπτωση ενός μίγματος αερίων όπου η συγκέντρωση δεν είναι ομοιόμορφη, η διάχυση του αερίου διαλυτή στο διαλυτικό αέριο από μια περιοχή της υψηλής

συγκεντρώσεως σε μια περιοχή χαμηλής συγκεντρώσεως διαμορφώνεται από τον Νόμο του Fick, ο οποίος δίνεται κατωτέρω για την μονοδιάστατη περίπτωση:

$$(iii) \frac{dm}{dt} = -DA \left[\frac{dc}{dx} \right]$$

όπου: $\frac{dm}{dt}$ = η μάζα του αέριου διαλύτη που διαχέεται ανά μονάδα χρόνου.

-D = η σταθερά διάχυσης για το ιδιαίτερο διαλυτικό αέριο σε μια δεδομένη θερμοκρασία.

A = η διατομή της ροής διάχυσης, και

$\frac{dc}{dx}$ = η κλίση συγκέντρωσης στην κατεύθυνση x κάθετη στη διατομή A.

Από το Νόμο Fick, η διάχυση του υλικού πέρα από το όριο σταματά όταν $\frac{dc}{dx} = 0$, δηλαδή όταν η συγκέντρωση του αέριου διαλύτη στο διαλυτικό αέριο είναι η ίδια παντού μέσα στο χώρο.

Παραδείγματος χάριν, έστω ένα δωμάτιο που είναι 3 m πλάτος, 4 m μάκρος και 3 m ύψος. Στο κατώτατο σημείο του δωματίου είναι ένα στρώμα των ατμών αιθανόλης. Το στρώμα είναι περίπου 50 cm παχύ, η συγκέντρωση που είναι μηδέν στο σημείο επαφής αέρα / αιθανόλης, και το μέγιστο πλησιέστερα στο πάτωμα. Είναι γνωστό ότι 92 γραμμάρια αιθανόλης (2 moles) έχουν εξατμιστεί για να διαμορφώσουν αυτό το στρώμα. Ποιο θα ήταν το ποσοστό διάχυσης αιθανόλης στο υπόλοιπο του δωματίου όταν η θερμοκρασία είναι 40°C;

Σε αυτήν την περίπτωση:

$$A = (300 \text{ cm})(400 \text{ cm}) = 120.000 \text{ cm}^2$$

$$D = 0,137 \text{ cm}^2/\text{sec} @ 40^\circ\text{C}$$

$$\frac{dc}{dx} = \left[\frac{2 \text{ moles}}{(300 \text{ cm} \times 400 \text{ cm} \times 50 \text{ cm})} \right] / [50 \text{ cm}] = 6,67 \times 10^{-9} \text{ mole/cm}^4$$

$$\frac{dm}{dt} = -DA \left[\frac{dc}{dx} \right] = - [0,137 \text{ cm}^2/\text{sec}] [120.000 \text{ cm}^2] [6,67 \times 10^{-9} \text{ mole/cm}^4]$$

$$\frac{dm}{dt} = 0,0001 \text{ mole/sec} \text{ ή } 0,0046 \text{ gram/sec}$$

Μια ενδιαφέρουσα σημείωση για αυτήν την μορφή του Νόμου του Fick είναι ότι είναι πολύ παρόμοια με τη μονοδιάστατη εξίσωση για τη θερμική αγωγιμότητα. Σημειώστε τις συγκρίσεις κατωτέρω:

$$(iv) \frac{dm}{dt} = -DA \left[\frac{dc}{dx} \right]$$
$$\frac{dq}{dt} = -KA \left[\frac{dt}{dx} \right]$$

Νόμος του Fick
θερμική αγωγιμότητα

Οι λόγοι για την ομοιότητα αυτή βρίσκονται στα θεμελιώδη αποτελέσματα που περιλαμβάνονται και στις δύο διαδικασίες. Και οι δύο περιλαμβάνουν την ανταλλαγή κινητικής ενέργειας από μόριο σε μόριο, και οι δύο εξαρτώνται από μια απλή πιθανή μεταβολή για να προχωρήσει η διαδικασία. Στην περίπτωση του νόμου αγωγής, η πιθανή μεταβολή είναι η αλλαγή της θερμοκρασίας ανά απόσταση κατά μήκος του υλικού. Στην περίπτωση του Νόμου του Fick, η πιθανή μεταβολή είναι η αλλαγή της συγκεντρώσεως ανά απόσταση κατά μήκος του αέριου διαλύτη.

Περαιτέρω, και οι δύο διαδικασίες περιλαμβάνουν τις θεμελιώδεις πτυχές της ιδιότητας που αποκαλείται εντροπία. Ενώ η έννοια της εντροπίας δεν έχει εξεταστεί στην εργασία εν τούτοις περιπλέκεται μέσα σε αυτό.

Γ. Μέτωπα Φλογών και Διανύσματα Πυρκαγιάς

Όταν μια έκρηξη λαμβάνει χώρα, ειδικά μια έκρηξη ανάφλεξης, είναι συχνή η περίπτωση της ώθησης μέρος των καύσιμων μαζί ή μπροστά από το μέτωπο πίεσης και

θα δημιουργήσει μια μπάλα φωτιάς ή ένα μέτωπο φλογών. Συχνά τα καύσιμα φλέγονται ακόμα και μέσα στο αέριο μίγμα ενώ η έκρηξη είναι υπό εξέλιξη. Το μέτωπο φλογών θα εξασθενήσει τελικά όταν είτε η θερμοκρασία πέσει κάτω από το σημείο ανάφλεξης ή τα καύσιμα εξαντληθούν.

Καθώς το κύμα πίεσης κινείται εξωτερικά και επεκτείνεται, η θερμοκρασία του καιγόμενου αερίου θα πέσει. Καθώς η πίεση πέφτει ανά τετράγωνο της απόστασης, η θερμοκρασία του μετώπου φλογών μειώνεται επίσης γρήγορα. Συνήθως το μέτωπο φλογών θα χαθεί πολύ πιο πριν το μέτωπο πίεσης επεκταθεί επικίνδυνα.

Κατά συνέπεια, σε πολλές αναφλέξεις υπάρχει μια μεγάλη γενική περιοχή ζημιάς από την πίεση, μέσα στην οποία βρίσκεται μια μικρότερη περιοχή που περιέχει τη ζημιά καψάλισματος ή πυρκαγιάς.

Καθώς μια μπάλα φωτιάς περνά μέσω μιας περιοχής, θα προσκρούσει στην πλευρά ενός αντικειμένου κάθετα στη γραμμή ταξιδιού της, αλλά δεν θα προσκρούσει στην πίσω πλευρά του αντικειμένου. Η επίδραση είναι παρόμοια με αυτήν ενός κύματος επιφανείας στις υποστηρίξεις μιας αποβάθρας. Καθώς το κύμα πλησιάζει την κάθετη υποστήριξη, το κύμα θα συντρίβει σε μια πλευρά, αλλά μόνο ελαφρώς θα επηρεάσει την πίσω πλευρά, ή "πλευρά σκιών".

Στην από την πυρκαγιά επηρεασμένη περιοχή μιας έκρηξης θα υπάρξουν αντικείμενα που υφίστανται ζημιά από τη θερμότητα ή καψάλισμα σε μια πλευρά, την πλευρά που αντιμετώπισε άμεσα την έκρηξη. Αυτά τα αντικείμενα ενεργούν ως κατευθυντήρια διανύσματα, και μας δείχνουν από ποια κατεύθυνση ήρθε η μπάλα φωτιάς. Η χαρτογράφηση αυτών των διάφορων "διανυσμάτων" και της έντασης του εγκαύματος ή του καψάλισματος που συνδέεται με το καθένα, παρέχει έναν έτοιμο χάρτη του μετώπου πίεσης της έκρηξης, και της έντασης της θερμοκρασίας της. Συνολικά, αυτά τα διανύσματα θα σχεδιάσουν την επέκταση του μετώπου πίεσης, και θα οδηγήσουν πίσω στο σημείο της ανάφλεξης της έκρηξης.

Λόγω του πολύ σύντομου διαθέσιμου χρόνου για τη μεταφορά θερμότητας από το μέτωπο φλογών στο αντικείμενο, τα αντικείμενα με την υψηλότερη θερμική αδράνεια θα επηρεαστούν λιγότερο από το στιγμιαίο μέτωπο φλογών.

Δ. Διανύσματα πίεσης

Όταν το μέτωπο πίεσης κινείται μέσω μιας περιοχής και προκαλεί ζημιές, μπορεί να γίνει μια κατά προσέγγιση εκτίμηση του μετώπου πίεσης σε εκείνη την θέση και μπορεί να γίνει από τον τύπο της ζημιάς ή τραυματισμού που εμφανίστηκε εκεί. Ο πίνακας 1 απαριθμεί μερικές αντιπροσωπευτικές τιμές πίεσης και τις συνηθισμένες σχετικές ζημιές τους.

Πίνακας 1: Ένταση πίεσης συναρτήσει του Τύπου της Ζημιάς ή του Τραυματισμού.

Επίπεδο πίεσης	Τύπος της Ζημιάς ή του Τραυματισμού
0,5- 1,0 psig > 1,0 psig 1.0 > 2,0 psig 2.0- 3,0 psig	θραύση των γυάλινων παραθύρων. ρίχνει τους ανθρώπους κάτω. ζημιά στα αυλακωτά πλαίσια ή τα ξύλινα πλαίσια. κατάρρευση των μη-ενισχυμένων τοίχων από τσιμεντόλιθους.
5.0- 6,0 psig > 5,0 psig > 15,0 psig > 35 psig > 50 psig > 65 psig	ώθηση των ξύλινων τηλεφωνικών στύλων. ρήξη των τυμπάνων των αυτιών. ζημιά στους πνεύμονες. στο όριο για μοιραίους τραυματισμούς το ποσοστό των μοιραίων περιστατικών στο 50% το ποσοστό των μοιραίων περιστατικών στο 99%

Όπως ένα μέτωπο φλογών, το μέτωπο πίεσης θα προσκρούσει εντονότερα στις κανονικές επιφάνειες στην πορεία του ταξιδιού του. Κατά συνέπεια, η μετακίνηση ή η μετατόπιση των αντικειμένων από τις κανονικές τους θέσεις από το πέρασμα του κύματος πίεσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επισημάνει την πορεία του μετώπου πίεσης πίσω στο επίκεντρό της.

Παραδείγματος χάριν, εάν μια έκρηξη έλαβε χώρα σε ένα ορισμένο δωμάτιο μέσα στο σπίτι, θα αναμενόταν ότι στο δωμάτιο:

§ Και οι τέσσερις τοίχοι θα είχαν ωθηθεί προς τα έξω και μακριά από το δωμάτιο.

§ Το πάτωμα μπορεί να είχε ωθηθεί προς τα κάτω, ίσως να καταρρεύσει ακόμη και στο υπόγειο.

§ Το ταβάνι θα μπορούσε να είχε ωθηθεί προς τα πάνω, ίσως ακόμη και να ανυψωθεί η στέγη ή το ανώτερο πάτωμα προς τα πάνω.

§ Μεταλλικά επίπλα ή σωληνώσεις να λυγίσουν προς το εσωτερικό της πλευράς που αντιμετώπισε το επίκεντρο.

Αφ' ετέρου, εάν η έκρηξη είχε λάβει χώρα στο υπόγειο, θα παρατηρούνταν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

§ Εάν οι τοίχοι του υπογείου είναι από τούβλα, οι τοίχοι έχουν μετακινηθεί προς τα έξω δημιουργώντας ένα χάσμα μεταξύ του τοίχου και του περιβάλλοντος εδάφους.

§ Το πάτωμα πάνω από το υπόγειο θα μπορούσε να έχει ανυψωθεί προς τα πάνω, και να είχε καταρρεύσει έπειτα προς το εσωτερικό του.

§ Οι σωληνώσεις θα μπορούσαν να λυγίσουν προς τα μέσα στην πλευρά που αντιμετώπιζε το επίκεντρο.

§ Ράφια που στέκονται ελεύθερα δίπλα στους τοίχους μπορεί να έχουν ωθηθεί μέσα στους τοίχους και να είχαν πέσει στο πάτωμα.

E. Το επίκεντρο

Όταν εμφανίζεται μια διαρροή αερίου, το αέριο θα δημιουργήσει αρχικά ένα ακανόνιστο διαμορφωμένο σύννεφο καυσίμων το οποίο διασκορπίζεται μακριά από τη διαρροή. Εάν το αέριο είναι μεθάνιο και ο αέρας είναι λίγο πολύ ήρεμος, το αέριο θα ανέλθει αργά πρώτα στο ταβάνι και θα συσσωρευτεί στις υψηλότερες περιοχές. Εάν το αέριο είναι προπάνιο, θα βυθίσει στο πάτωμα και θα συσσωρευτεί στις χαμηλές περιοχές.

Δεδομένου ότι το σύννεφο καυσίμων διασκορπίζεται και απομακρύνεται από το σημείο της διαρροής, το όριο του "σύννεφου" καυσίμων μπορεί να έρθει σε επαφή με μια πηγή ενέργειας ικανή να αναφλέξει τα καύσιμα, υπό τον όρο ότι το σύννεφο καυσίμων είναι επάνω από το χαμηλότερο όριο ανάφλεξης στον αέρα. Με την πρώτη επαφή, το σύννεφο καυσίμων πιθανό δεν θα έχει ικανοποιητική συγκέντρωση για να αναφλεγεί, αλλά με τον

ανάλογο χρόνο και τις σωστές συνθήκες, η συγκέντρωση του σύννεφου κοντά στην πηγή ενέργειας μπορεί να αυξηθεί αρκετά ώστε να πραγματοποιηθεί η ανάφλεξη.

Σε περιπτώσεις όπου η πηγή ανάφλεξης είναι σταθερή, όπως μια λάμπα φωτισμού, το σύννεφο καυσίμων θα αναφλεχθεί μόλις υπερβεί η συγκέντρωσή του το χαμηλότερο όριο του εύφλεκτου. Εάν η πηγή ενέργειας είναι διακοπτόμενη, όπως ένας ηλεκτρονόμος ή ένας διακόπτης, το σύννεφο μπορεί να αναφλεγεί αφού περικυκλώσει την πηγή ανάφλεξης.

Όπως σημειώνεται στα προηγούμενα κεφάλαια, το σημείο της ανάφλεξης μπορεί να καθοριστεί από τα διανύσματα ζημιάς της πυρκαγιάς και της πίεσης. Η αποτύπωση αυτών των κατευθυντήριων διανυσμάτων της πυρκαγιάς σε ένα σκίτσο θα δείξει συλλογικά το επίκεντρο της έκρηξης, την προέλευση της μπάλας φωτιάς και τα μέτωπα πίεσης. Αυτό είναι ο αρχικός λόγος για τον οποίο η τεκμηρίωση της διασποράς συντριμμιών μετά από μια έκρηξη είναι σημαντική.

Εντούτοις, οι τοίχοι, οι διάδρομοι και τα άλλα χαρακτηριστικά γνωρίσματα μέσα σε ένα κτήριο μπορούν να κατευθύνουν και να αλλάξουν την πορεία των σφαιρών φωτιάς και μέτωπα πίεσης. Κατά συνέπεια ο ερευνητής δεν πρέπει να υποθέσει ότι όλα τα κατευθυντήρια διανύσματα θα δείξουν ακτινωτά προς το εσωτερικό ενός επίκεντρου. Μερικά θα δείξουν ότι το μέτωπο πίεσης ακολούθησε μη ακτινωτές διαβάσεις από το επίκεντρο, που έχουν καθοδηγηθεί από τους ισχυρούς τοίχους ή τα περάσματα. Κατά συνέπεια, τα διανύσματα ζημιάς μπορούν να δημιουργήσουν ένα μονοπάτι. Η οπισθοδρόμηση διάφορων ιχνών, που συγκλίνουν προς την ίδια τοποθεσία συνήθως, δείχνει ότι το επίκεντρο έχει βρεθεί επιτυχώς.

ΣΤ. Ενεργειακές Εκτιμήσεις

Το ποσό της ενέργειας που περιλαμβάνεται σε μια έκρηξη είναι μια άμεση λειτουργία του τύπου του καυσίμου, το ποσό του διαστήματος στο οποίο είναι περιορισμένο και η συγκέντρωση του καυσίμου. Γενικά, η ενέργεια μιας έκρηξης αποτελείται από τις ακόλουθες μορφές:

- § Ακουστική: ο ήχος της έκρηξης.
- § Κινητική: η μετατόπιση αντικειμένων μακριά από το σημείο προέλευσης της έκρηξης.
- § Την θερμότητα και επέκταση της ενέργειας που χάνεται στα πέριξ.
- § Τη θραύση: η διάδοση των έντονων κυμάτων κλονισμού δια μέσου των κοντινών υλικών με συνέπεια το σπάσιμό τους.

Οι ανωτέρω περιπτώσεις 1-3 συνήθως ισχύουν για τις αναφλέξεις, επειδή λίγη ενέργεια απελευθερώνεται στις αναφλέξεις με θραυστικά αποτελέσματα. Εντούτοις, οι περιπτώσεις 1-4 ισχύουν για τις εκπυροσφορήσεις με ισχυρές εκρηκτικές ύλες, όπου οι περιπτώσεις 2 και 4 μπορούν να αποτελέσουν τα αρχικά μέσα της ενεργειακής απώλειας.

Μια γρήγορη αναγνώριση της σκηνής της έκρηξης κοντά στο επίκεντρο μπορεί συνήθως να παρέχει στοιχεία για το εάν υπήρξαν σημαντικά αποτελέσματα θραύσης. Εάν υπήρξε, είναι ενδεδωμένο να ληφθούν δείγματα των υλικών στα οποία το μέτωπο της έκρηξης θα είχε προσκρούσει κοντά στο επίκεντρο, επειδή οι ισχυρές εκρηκτικές ύλες θα αφήνουν συχνά μικρά μόρια εκρηκτικού υλικού στις κοντινές επιφάνειες, όπως μικρές σφαίρες. Αυτά τα μόρια μπορούν να ανιχνευθούν με εργαστηριακές δοκιμές, και να προσδιοριστεί σαφώς το εκρηκτικό υλικό. Σε μερικές περιπτώσεις, λόγω των ιχνοστοιχείων που προστίθενται στις ισχυρές εκρηκτικές ύλες, μπορεί επίσης να καθοριστεί η τοποθεσία κατασκευής της εκρηκτικής ύλης. Αυτό είναι συνήθως μια σημαντική αφετηρία για τον εντοπισμό του εκρηκτικού υλικού, από τον αρχικό παραγωγό μέχρι τον τελευταίο χρήστη.

Επειδή ένα κύμα πίεσης καταστρέφει, σε αναλογία με το τετράγωνο της απόστασης από το φάκελο της σφοδρότητας της έκρηξης, εάν η πίεση έπρεπε να ανυψώσει μια οροφή, να ωθήσει έναν τοίχο, ή να σπάσει ένα τζάμι ενός παράθυρου πέρα από ένα δρόμο μπορεί να καθοριστεί, κατόπιν η πίεση της έκρηξης στα όρια της, μπορεί να υπολογιστεί ή να εκτιμηθεί.

Γνωρίζοντας το δωμάτιο ή τον χώρο όπου η έκρηξη έλαβε χώρα, μπορεί να είναι δυνατό να μειωθεί ο κατάλογος των πιθανών καυσίμων. Εν ολίγοις, είναι δυνατό να μετρηθεί το ενεργειακό περιεχόμενο μιας έκρηξης και να συναχθεί κάτι για τη φύση των καυσίμων, τα οποία προκάλεσαν την έκρηξη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ: ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΣΕ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ

Α. Γενικά

Οι πυρκαγιές στα αυτοκίνητα, τα φορτηγά, και μικρά φορτηγά εμπίπτουν σε μια από τις ακόλουθες έξι κατηγορίες αιτιών, οι οποίες παρατίθενται κατά προσέγγιση κατά σειρά σπουδαιότητα ή τη συχνότητα:

1. **Σχετικές με τα καύσιμα πυρκαγιές.** Η πυρκαγιά προκαλείται από τη διαρροή καυσίμων επάνω στα καυτά μηχανικά μέρη, συνήθως στο διαμέρισμα της μηχανής, ή κατά μήκος του συστήματος εξάτμισης.
2. **Πυρκαγιές που σχετίζονται με τα ηλεκτρικά μέρη.** Αυτό περιλαμβάνει τα μικρά κυκλώματα, την υπερθέρμανση των καλωδιώσεων, και την ηλεκτρική δυσλειτουργία των εξαρτημάτων όπως οι ανεμιστήρες, οι εξαεριστήρες, οι θερμάστρες, κ.λπ.
3. **Εμπρησμός.**
4. **Πυρκαγιές σε γκαράζ,** ή παρόμοιες. Γκαράζ είναι το μέρος μέσα στο οποίο φυλάγεται το αυτοκίνητο και όταν πιάνει πυρκαγιά καίει το αυτοκίνητο ή το φορτηγό. Σε μερικές περιπτώσεις, η αιτία της πυρκαγιάς στο γκαράζ είναι πλήρως ανεξάρτητη από το όχημα. Σε άλλες περιπτώσεις, μπορεί να υπάρξει μια αιτιώδης συνάφεια, π.χ. υδρατμοί βενζίνης που αναφλέγονται από ένα λαμπτήρα που βρίσκεται στο πάτωμα.
5. **Πεταγμένα τσιγάρα και καπνίζοντα υλικά.**
6. Και φυσικά, η πάντα δημοφιλής, "**όλες οι άλλες αιτίες.**" Αυτό περιλαμβάνει τις πυρκαγιές στις επενδύσεις των φρένων, πυρκαγιές λόγω διαρροής των υδραυλικών υγρών, εκρήξεις μπαταριών, διάφοροι τύποι μηχανικών αποτυχιών, επαφή του καταλύτη με τα καύσιμα, και τα λοιπά.

Στατιστικά, οι πρώτες τρεις κατηγορίες αντιπροσωπεύουν την πλειοψηφία όλων των πυρκαγιών που περιλαμβάνουν τα οχήματα. Εκπληκτικά, οι πυρκαγιές στα οχήματα λόγω των συγκρούσεων και ανατροπών είναι χαμηλές σε αριθμό. Στα ατυχήματα αυτοκινήτων στα οποία ξεσπά πυρκαγιά αποτελούν χαρακτηριστικά λιγότερο από το 1% τέτοιων ατυχημάτων. Παρά τον δραματικό τρόπο με τον οποίο αυτά εμφανίζονται στους κινηματογράφους και τα μυθιστορήματα, λίγα αυτοκίνητα ανατινάζονται πραγματικά και πιάνουν φωτιά όταν καταστρέφονται.

Β. Εμπρησμός οχημάτων και εμπρηστικές πυρκαγιές

Υπάρχουν σχεδόν τόσες πυρκαγιές, περιπτώσεις του εμπρησμού, και εμπρηστικές πυρκαγιές στα προσωπικά οχήματα όσα είναι τα αναλογούμενα σπίτια. Τα πιο κοινά κίνητρα για τις εμπρηστικές πυρκαγιές στα προσωπικά οχήματα περιλαμβάνουν:

1. **Προβλήματα ρευστότητας.** Ο ιδιοκτήτης δεν μπορεί να αντέξει οικονομικά τις πληρωμές και βρίσκεται σε κίνδυνο κατάσχεσης.
2. **Η αξία του αυτοκινήτου.** Αυτή η κατάσταση δημιουργείται όταν οι υπόλοιπες πληρωμές για το αυτοκίνητο είναι συνολικά περισσότερες από την επί τις εκατό αξία του αυτοκινήτου. Παραδείγματος χάριν, ένα αυτοκίνητο που είναι κακώς φροντισμένο και κακομεταχειρισμένο μπορεί να αποσυρθεί μετά από ακριβώς δύο έτη. Εντούτοις, εάν ο ιδιοκτήτης πλήρωνε το αυτοκίνητο για τέσσερα ή ακόμα και πέντε έτη, μπορεί ακόμα να έχει να πληρώσει χιλιάδες ευρώ για ένα κομμάτι παλιοσίδερα.

3. **Κλοπή.** Είναι κοινή πρακτική για μερικούς κλέφτες αυτοκινήτων και λάτρες της ταχύτητας να βάζουν φωτιά σε ένα όχημα σε μια απομακρυσμένη περιοχή αφότου έχουν τελειώσει με αυτό. Το αυτοκίνητο ήταν πιθανό να μην κλάπηκε από επαγγελματίες, αλλά από μέλη συμμοριών ή εφήβους που το χρησιμοποίησαν απλά για να περάσουν καλά.

Φυσικά, ο ανωτέρω κατάλογος δεν είναι πλήρης απλά αντιπροσωπεύει τα πιο κοινά κίνητρα.

Οι εμπρηστικές φωτιές αυτοκινήτων των οποίων αρχικό κίνητρο είναι η εκδίκηση ή η ζηλοτυπία συμβαίνουν, αλλά είναι σπάνιες έναντι των άλλων αιτιών.

Ένα κοινό στοιχείο στις εμπρηστικές φωτιές οχημάτων είναι ότι δεν υπάρχει συχνά κανένας μάρτυρας, είτε μόνο ένας μάρτυρας, ο ιδιοκτήτης. Όταν δεν υπάρχει κανένας μάρτυρας, η πυρκαγιά συχνά θα λάβει χώρα σε μια απομακρυσμένη περιοχή, ή σε μια κρυμμένη περιοχή όπως ένα απομονωμένο γκαράζ, όπου οι περαστικοί δεν μπορούν να παρατηρήσουν την έναρξη της φωτιάς. Σε μια φωτιά αυτοκινήτου χωρίς μάρτυρα, ο ιδιοκτήτης δεν θα έχει καμία ιδέα πώς η πυρκαγιά άρχισε, και θα πει ότι δεν είχε χρησιμοποιήσει το αυτοκίνητο για κάποιο χρόνο πριν από την φωτιά. Αυτό πρόκειται να δώσει στο αυτοκίνητο αρκετό χρόνο να καεί εντελώς.

Όταν υπάρχει μόνο ένας μάρτυρας, ο ιδιοκτήτης, συχνά θα δηλώσει ότι η πυρκαγιά άρχισε ενώ οδηγούσε το όχημα και ότι έπρεπε να εγκαταλείψει το όχημα και να περπατήσει "x" απόσταση για να φτάσει σε ένα τηλέφωνο ενώ το όχημα καιγόταν. Αυτή η πράξη παρέχει επίσης το χρόνο για το όχημα να καεί πλήρως από την φωτιά. Δεν θα ωφελούσε έναν εμπρηστή εάν η φωτιά ήταν ορατή, είχε αναφερθεί, και σβήστηκε αμέσως, αφήνοντας το αυτοκίνητο επισκευάσιμο.

Ένα από τα πιο κοινά χαρακτηριστικά που προδίδει έναν εμπρηστή είναι όταν το σημείο προέλευσης της φωτιάς είναι στα καθίσματα, το πάτωμα ή την ταπετσαρία του αυτοκινήτου. Στα τελευταίου τύπου αυτοκίνητα, τα περισσότερα από τα εσωτερικά υλικά αποτελούνται από ανθεκτικά στη φωτιά ή επεξεργασμένα με φωτιά υλικά για να αποτρέψουν την πυρκαγιά από το να διαδοθεί γρήγορα μέσω ενός κατειλημμένου από φωτιά αυτοκινήτου. Τα περισσότερα από τα υλικά που χρησιμοποιούνται τώρα δεν θα υποστηρίξουν τις φλόγες από μόνα τους, και απαιτούν μια εξωτερική πηγή θερμότητας.

Εντούτοις, αυτό δεν ίσχυε στο παρελθόν. Στα παλαιότερα αυτοκίνητα, το ύφασμα, τα καλύμματα, η γέμιση των καθισμάτων, και οι τάπητες θα μπορούσαν να υποστηρίξουν την καύση, και μερικές φορές να καούν μανιωδώς.

Όταν ένα τσιγάρο πέσει στο κάθισμα ενός τελευταίου μοντέλου αυτοκινήτου, το τσιγάρο θα κάψει μια τρύπα με τη μορφή ενός κώνου στο κάθισμα, και θα σβήσει έπειτα όταν εξαντληθεί το τσιγάρο. Οι τέτοιου τύπου φωτιές από τσιγάρα έχουν συχνά τα σημεία προέλευσης κάτω από το κάθισμα, όπου ένα τσιγάρο έχει κυλήσει, στη ρωγμή του καθίσματος, ή από το ίδιο το τασάκι. Τα τασάκια αυτοκινήτων που είναι γεμάτα με παλιά αποτσίγαρα μπορούν να θέσουν μια ωραία φωτιά στη μέση του ταμπλό.

Μια κοινή μέθοδος εμπρηστικής φωτιάς που είναι συνηθισμένη είναι το ρίξιμο υγρού για αναπτήρες στα ανοίγματα του εξαερισμού στο ταμπλό του αυτοκινήτου. Αυτό είναι μια προσπάθεια για να φανεί η φωτιά σαν αιτία της καλωδίωσης κάτω από το ταμπλό. Μερικές φορές δεν καίγονται όταν τα κυκλώματα στην συγκεκριμένη περιοχή ήταν σε λειτουργία κατά την διάρκεια της φωτιάς. Ο εμπρηστής έπειτα ανάβει το εμπρηστικό υλικό και κλείνει την πόρτα, ή το ανάβει με το παράθυρο της πόρτας ανοικτό μια ίντσα ή δύο για να παρέχει αέρα. Εάν το αυτοκίνητο μπορεί να εξεταστεί αμέσως μετά από την πυρκαγιά, υπολείμματα από το ρευστό μπορούν συνήθως να βρεθούν εύκολα στον τάπητα κάτω από την περιοχή της πυρκαγιάς όπου είχε στάξει.

Μια άλλη κοινή τεχνική είναι το ρίξιμο εύφλεκτου υγρού στο διαμέρισμα της μηχανής και το ανάβει κλείνοντας το καπό πολύ γρήγορα. Αυτό είναι επίσης εύκολο να ανιχνευθεί επειδή η προέλευση της φωτιάς θα είναι μη συγκεκριμένη, και η αυστηρότερη ζημιά

εγκαυμάτων θα καλύπτει ένα ευρύ χώρο, και κανένα ιδιαίτερο μέρος που σχετίζεται με τα καύσιμα δεν θα καεί σοβαρότερα από άλλα.

Γ. Σχετικές με τα καύσιμα πυρκαγιές

Κατά πολύ η μεγαλύτερη κατηγορία πυρκαγιάς σε αυτοκίνητα περιλαμβάνει συνήθως τη διαρροή καυσίμων πάνω σε ένα καυτό εξάρτημα της μηχανής. Η περιοχή της μηχανής, και ειδικά η πολλαπλή εξάτμιση και η εξάτμιση, είναι μια έτοιμη πηγή ενέργειας ανάφλεξης αφότου η μηχανή ήταν αναμμένη για ένα χρονικό διάστημα. Τα καύσιμα μπορούν να διαρρεύσουν πάνω στη μηχανή από πολλές θέσεις. Στις σύγχρονες μηχανές, δεν υπάρχουν μόνο η κύρια γραμμή καυσίμων από τη δεξαμενή καυσίμων στη μηχανή, αλλά υπάρχουν επίσης και γραμμές επιστροφής καυσίμων που συνδέονται με το σύστημα ελέγχου ατμού, το σύστημα εκπομπών ρύπων, και τις χωριστές γραμμές καυσίμων από τους ψεκαστήρες στους κυλίνδρους.

Στα νεώτερα οχήματα, μια από τις πιο κοινές θέσεις για να εμφανιστούν διαρροές είναι στις συνδέσεις των σωληνώσεων. Εάν οι διάφορες συνδέσεις των σωληνώσεων των καυσίμων δεν στερεώνονται κατάλληλα, τα καύσιμα μπορούν να διαρρεύσουν από τη σύνδεση. Οι ανακλήσεις πολλών κατασκευαστών για τα συστήματα καυσίμων συσχετίζονται με την αποτυχία των συνδετήρων ή των συνδέσμων για την εξασφάλιση των σωληνώσεων των καυσίμων και την αποτροπή τους από τη διαρροή. Στα παλαιότερα αυτοκίνητα, ειδικά σε αυτά με σωληνώσεις καυσίμων λαστιχένιου τύπου ή ελαστομετρικού τύπου, οι σωληνώσεις καυσίμων μπορούν να ραγίσουν στις κάμψεις και τις γωνίες, και τα καύσιμα να διαρρεύσουν από αυτές τις ρωγμές.

Μερικά οχήματα χρησιμοποιούν μεταλλικές σωληνώσεις καυσίμων. Οι μεταλλικές σωληνώσεις ειδικά οι σωληνώσεις από χάλυβα, φαίνονται να είναι ανώτερες από άλλους τύπους επειδή όταν καίγεται η βενζίνη δεν λειώνει το χάλυβα. Οι επενδυμένες με καουτσούκ σωληνώσεις θα καούν μαζί τα καύσιμα, και θα ενεργήσουν λίγο σαν πύραυλος όταν τα καύσιμα πιάσουν φωτιά. Η φωτιά θα ακολουθήσει τη διαρροή πίσω στο σημείο που ξεκίνησε, και θα εισχωρήσει στο λαστιχένιο σωλήνα. Στο τέλος ο σωλήνας θα σπάσει και επιτρέψει στην φωτιά να κάψει το υπόλοιπο καύσιμο μέσα στο σωλήνα, ακολουθώντας τον μέχρι την αντλία. Οι σωληνώσεις αλουμινίου λειώνουν εύκολα κατά τη διάρκεια μιας φωτιάς καυσίμων. Οι σωληνώσεις χαλκού μπορούν να λειώσουν όταν υπάρχει άμεση επαφή μεταξύ του χαλκού και των καυγόμενου καυσίμου, το οποίο είναι σύνηθες.

Για να ελαχιστοποιηθεί η μεταφορά των κραδασμών από τη μηχανή στο σώμα των αυτοκινήτων, μερικοί κατασκευαστές χρησιμοποιούν ένα μικρό κομμάτι λάστιχου μεταξύ της σύνδεσης στη μηχανή και των μεταλλικών σωληνώσεων. Αυτά τα μικρά κομμάτια λάστιχου είναι τα σημεία όπου εμφανίζονται συχνά οι διαρροές καυσίμων, επειδή αποσυνδέονται συχνά και επανασυνδέονται κατά τη διάρκεια της μηχανικής εργασίας, και ως εκ τούτου υπάρχει μια ευκαιρία για λάθος στην επανασύνδεση τους. Επίσης, οι επενδυμένες με καουτσούκ περιοχές των σωληνώσεων υπόκεινται σε περισσότερη καταπόνηση μετά από μεγάλες περιόδους λειτουργίας, ή όταν η μηχανή είχε ένα υψηλό ποσοστό δονήσεων.

Δεδομένου ότι μια σταλαγματιά μπορεί συχνά να ακολουθήσει μια γραμμή για αρκετές ίντσες πριν από την πτώση της πάνω στη μηχανή ή στην εξάτμιση, το σημείο της διαρροής δεν είναι πάντα το ίδιο με αυτό του σημείου ανάφλεξης των καυσίμων. Είναι συνηθισμένο για την φωτιά να ακολουθηθεί η διαρροή πίσω στην πηγή. Κατά συνέπεια, μπορεί να υπάρξει ένα ίχνος της φωτιάς από το σημείο της ανάφλεξης πίσω στο σημείο της διαρροής.

Όταν οι φωτιές καυσίμων εμφανίζονται στο διαμέρισμα μηχανών, όπως συμβαίνει συνήθως κάνουν τα ίχνη της ζημιάς από τη φωτιά στο καπό μπορεί να είναι πολύ

χρήσιμο. Δεδομένου ότι πολλές φωτιές καυσίμων εμφανίζονται στα ανώτερα μέρη του διαμερίσματος των μηχανών, οι φλόγες συχνά προσκρούουν άμεσα στην εσωτερική πλευρά του καπνό. Το καπνό θα αποτελεί συχνά ένα μικρό σχεδιάγραμμα της φωτιάς και της εξάπλωσης της στο διαμέρισμα της μηχανής. Οι θερμότεροι τομείς της φωτιάς θα παρουσιάζονται με την πλήρη απώλεια χρώματος, και οποιοδήποτε γαλβανικών επιστρωμάτων. Στο τέλος οι πιο δροσερές περιοχές θα έχουν αντίστοιχα τη λιγότερο σοβαρή ζημιά.

Σε μια μηχανή με καρμπιλατέρ, εάν μια φωτιά αρχίσει σε μια σύνδεση παράλληλα με το καρμπιλατέρ λόγω της διαρροής, το καρμπιλατέρ θα λειώσει σε εκείνη την πλευρά. Τα περισσότερα καρμπιλατέρ αποτελούνται τώρα από αλουμίνιο, και έτσι λειώνει εύκολα όταν έρχεται σε επαφή με το καύσιμο που καίγεται. Εάν η φωτιά άρχισε μέσα στο καρμπιλατέρ λόγω μιας αποτυχίας ή μιας πλημμυρισμένης κατάστασης, το καρμπιλατέρ θα έχει καταρρεύσει από το κέντρο του, με τον ίδιο τρόπο όπως καταρρέουν οι πλευρές ενός μεγάλου κεριού μακριά από το καυτό φυτίλι. Εάν η πυρκαγιά είναι απλά καυτή, και έχει αρχίσει αλλού, το καρμπιλατέρ θα λευκάνει ή θα οξειδώσει στην πλευρά από την οποία προέρχεται η θερμότητα. Εάν η θερμότητα είναι σοβαρή, το καρμπιλατέρ μπορεί να λειώσει ή να καταρρεύσει στην πλευρά από την οποία προέρχεται η θερμότητα.

Εάν το μεταλλικό κουτί φίλτρων αέρα του καρμπιλατέρ αποτελείται από το χάλυβα, το μεταλλικό κουτί φίλτρων αέρα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να κάνει διακρίσεις μεταξύ μιας φωτιάς που δημιουργείται σε μια σύνδεση του καρμπιλατέρ, ή από μέσα από το λαιμό του καρμπιλατέρ. Η φωτιά στο λαιμό του καρμπιλατέρ θα αυξηθεί στο μεταλλικό κουτί φίλτρων αέρα και ίσως να κάψει άμεσα το φίλτρο. Η φωτιά παράλληλα με το καρμπιλατέρ θα κάψει την κάτω πλευρά του μεταλλικού κουτιού, και θα αφήσει το κέντρο του μεταλλικού κουτιού λίγο πολύ άθικτο, και θα "μαγειρέψει" ή θα απανθρακώσει το φίλτρο.

Σε μερικές περιπτώσεις, το μέρος που διέρρευσε πραγματικά το καύσιμο θα είναι το μέρος που θα λείπει. Πολλά μέρη μέσα στο σύστημα καυσίμων σε μια σύγχρονη μηχανή αποτελούνται από αλουμίνιο, πλαστικό, ή ελαστομερές. Η άμεση επαφή με το φλεγόμενο καύσιμο συνήθως καταστρέφει αυτά τα μέρη.

Σε ένα σύγχρονο όχημα, η αντιπυρική ζώνη της μηχανής δεν εμποδίζει την φωτιά από την είσοδο της στον χώρο των επιβατών από το διαμέρισμα της μηχανής καθώς όπως στα παλαιότερα αυτοκίνητα. Σε αναγνώριση αυτού του γεγονότος, μερικές εταιρίες αυτοκινήτων δεν χρησιμοποιούν πλέον τον όρο αντιπυρική ζώνη, και την καλούν άντ' αυτού διάφραγμα. Αυτό γιατί υπάρχουν τόσα πολλά ανοίγματα στο διάφραγμα για τον εξαερισμό, την καλωδίωση, και άλλα παρόμοια. Τα περισσότερα από αυτά τα ανοίγματα είναι για τους πλαστικούς αγωγούς εξαερισμού, τις επενδυμένες με καουτσούκ σωληνώσεις, και την μονωμένη με πλαστικό καλωδίωση. Όταν η φωτιά φθάνει σε αυτά τα μέρη, αυτά καταρρέουν γρήγορα ή καταστρέφονται, αφήνοντας την τρύπα ανοικτή για την φωτιά να περάσει στο χώρο των επιβατών. Κατά συνέπεια, όταν μια φωτιά σε μια μηχανή είναι σοβαρή, είναι συνηθισμένο για την φωτιά να περάσει μέσω του διαφράγματος στο εσωτερικό χώρο του οχήματος.

Στα οχήματα όπου οι αντλίες καυσίμων λειτουργούν ηλεκτρικά από την μπαταρία, είναι δυνατό για τις αντλίες καυσίμων να συνεχίσουν να λειτουργούν για έναν χρονικό διάστημα ενώ η φωτιά συνεχίζεται, ακόμα κι αν η μηχανή έχει σταματήσει. Αυτό εμφανίζεται συνήθως όταν η φωτιά αρχίζει ενώ το αυτοκίνητο βρίσκεται εν κινήσει, και ο οδηγός βγαίνει από αυτό αλλά δεν σβήνει τη μηχανή. Συχνά, ο οδηγός το κάνει αυτό για να ερευνήσει την πηγή του καπνού που παρατηρείται να εισέρχεται μέσω του δαπέδου στο εσωτερικό του οχήματος.

Όταν μια μηχανή αυτοκινήτου λειτουργήσει για μια στιγμή και έπειτα κλειστεί, είναι συνηθισμένο να αυξηθεί η θερμοκρασία του φράγματος της μηχανής αμέσως μετά το κλείσιμο της. Αυτό συμβαίνει όταν σταματά η λειτουργία της μηχανής, το καύσιμο σταματά

να κυκλοφορεί, το ψυκτικό μέσο σταματά να κυκλοφορεί, ο ανεμιστήρας θερμαντικών σωμάτων μπορεί να πάψει να λειτουργεί, και το αυτοκίνητο δεν κινείται πλέον. Τα τελευταία δύο στοιχεία παρέχουν την αναγκασμένη ψύξη μεταφοράς στο θερμαντικό σώμα. Κατά συνέπεια, η θερμότητα από τις τελευταίες καύσεις της μηχανής είναι παγιδευμένες στη μηχανή, και δεν μπορούν να μεταφερθούν.

Για να ανακουφιστεί αυτή η άνοδος της θερμοκρασίας, που μικραίνει τη ζωή μιας μηχανής, πολλά σύγχρονα αυτοκίνητα έχουν ένα θερμοστάτη που αναγκάζει τον ανεμιστήρα του ψυγείου να λειτουργήσει ακόμη και αν η μηχανή δεν είναι σε λειτουργία. Αυτό δεν μπορεί εντελώς να ξεφορτωθεί την άνοδο της θερμοκρασίας, αλλά μπορεί σημαντικά να τη μειώσει.

Πρέπει να κατανοηθεί ότι η επίδραση της ανόδου της θερμοκρασίας είναι σημαντική επειδή πολλές φωτιές σε αυτοκίνητα αρχίζουν όταν το αυτοκίνητο παύει να λειτουργεί, ακόμα κι αν η διαρροή δημιουργήθηκε ενώ το αυτοκίνητο βρισκόταν εν κινήσει. Ενώ το αυτοκίνητο βρίσκεται εν κινήσει, η θερμοκρασία της μηχανής πέφτει, και το καύσιμο που διαρρέει μπορεί να απομακρυνθεί μακριά από τη μηχανή με τη βοήθεια του κινούμενου αέρα. Τα περισσότερα αυτοκίνητα και φορτηγά σχεδιάζονται έτσι ώστε ο κινούμενος αέρας να περνά μέσω του ψυγείου και να απομακρύνει τη θερμότητα από τη μηχανή.

Όταν ένα αυτοκίνητο σταματά να λειτουργεί, η μηχανή παύει να λειτουργεί και η θερμοκρασία ανεβαίνει, και η διαρροή του καυσίμου δεν μπορεί να απομακρυνθεί από τον κινούμενο αέρα. Έτσι το καύσιμο μπορεί να στάξει ανενόχλητο πάνω στην καυτή μηχανή, ή την εξάτμιση της μηχανής, και να αναφλεγεί. Επιπλέον, χωρίς την κίνηση του αέρα, η φωτιά μπορεί να οπισθοδρομήσει και να ακολουθήσει την πορεία διαρροής πίσω στην πηγή της με τα ανάλογα επακόλουθα. Για αυτό το λόγο οι φωτιές σε οχήματα ξεσπούν συχνά αμέσως αφότου έχει σταματήσει να λειτουργεί η μηχανή, ή όταν ο οδηγός έχει μόλις σταματήσει το όχημα.

Σε μερικές περιπτώσεις, εάν η διαρροή είναι στον κύριο σωλήνα καυσίμου, μπορεί να προκαλέσει μια μικρή πτώση πίεσης στην πίεση στον σωλήνα καυσίμου και αυτή η πτώση πίεσης μπορεί να είναι επαρκής για να αναγκάσει τη μηχανή να βγάξει έναν ακατάληπτο θόρυβο ή να χρονοτριβεί κατά την αναρρίχηση ενός λόφου, ή ειδάλως να λειτουργεί σε ένα υψηλότερο φορτίο. Εάν ο οδηγός θυμάται τότε εμφανίστηκε αυτό μπορεί να δώσει μια χρήσιμη ένδειξη ως προς το από πότε ήταν γνωστή η διαρροή του καυσίμου στη μηχανή.

Δ. Άλλα είδη πυρκαγιών κάτω από το καπό

Ενώ οι σχετικές με καύσιμα πυρκαγιές ξεπερνούν αριθμητικώς εύκολα όλες τις υπόλοιπες, οι φωτιές κάτω από το καπό μπορούν επίσης να προκληθούν και από άλλα εύφλεκτα υγρά που διαρρέουν πάνω στις καυτές επιφάνειες.

Αυτό περιλαμβάνει:

- § υγρό φρένων που διαρρέει από μια κακή σφράγιση ή σύνδεση σωλήνα,
- § υδραυλικό υγρό που διαρρέει από ένα σφράγισμα πάνω στο σύστημα μετάδοσης κίνησης,
- § πετρέλαιο μηχανών που διαρρέει από το κάλυμμα μιας βαλβίδας,
- § έλαιο μετάδοσης που βράζει και βγαίνει από το σημείο το οποίο βρίσκεται όταν υπερθερμαίνεται η αυτόματη μετάδοση,
- § έλαιο συμπίεσης κλιματιστικών μηχανημάτων που διαρρέει από την πλευρά υψηλής πίεσης του βρόχου ψυκτικών ουσιών, και
- § κάποιοι τύποι ψυκτικών μέσων μηχανών που διαρρέουν από κάποια θερμαντικά σώματα μπορούν επίσης να πάρουν φωτιά.

Παραδείγματος χάριν, η γλυκόλη αιθυλενίου, ένα από τα κοινά ψυκτικά μέσα που χρησιμοποιούνται στα θερμαντικά σώματα, έχει ένα σημείο ανάφλεξης τους 241 °F και αναφλέγεται στους 775°F. Ενώ δεν είναι σχεδόν τόσο επικίνδυνη όσον αφορά την φωτιά όσο η βενζίνη, μπορεί ακόμα να κάψει και να αποτεφρώσει ένα αυτοκίνητο κάτω από τις σωστές περιστάσεις. Μερικοί τύποι επενδυμένων με καουτσούκ σωλήνων μπορούν ακόμη και να πιάσουν φωτιά εάν μετατοπιστούν και έρθουν σε επαφή με την εξάτμιση ή άλλα καυτά μέρη του τμήματος της μηχανής.

E. Ηλεκτρικές πυρκαγιές

Η πλειοψηφία των ηλεκτρικών πυρκαγιών σε ένα όχημα προκαλείται από τα εξής:

- § καλώδια που έχουν κοπεί από γδάρσιμο και δεν είναι πια γειωμένα,
- § καλώδια που έχουν μετατοπιστεί και έχουν έρθει σε επαφή με τα καυτά μέρη της μηχανής,
- § καλώδια που έχουν απλά υπερθερμανθεί κάτι που οφείλεται σε υπερφόρτωση
- § συσκευές οι οποίες είναι ελαττωματικές και είναι εύκολο να δημιουργήσουν βραχυκύκλωμα
- § Συνήθως οι ζημιές που σχετίζονται με ηλεκτρικές φωτιές εμφανίζονται είτε στο διαχωριστικό τοίχωμα ή στο προστατευτικό τοίχο από τη φωτιά. Βεβαίως αυτό συμβαίνει γιατί οι περισσότερες καλωδιώσεις βρίσκονται σε εκείνο το σημείο. Επειδή ολόκληρος ο εξοπλισμός της μηχανής βρίσκεται στο ίδιο σημείο, είναι πιθανό μια φωτιά που προκλήθηκε από τα ηλεκτρικά μέρη να μετατραπεί σε φωτιά από τα καύσιμα. Αν η φωτιά από τα καύσιμα είναι αρκετά σοβαρή, μπορεί να αποκρύψει τα ηλεκτρικά αίτια της φωτιάς.

Μια ηλεκτρική φωτιά κάτω από το "ταμπλό" θα δημιουργήσει συνήθως τις ζημιές από το εσωτερικό προς το εξωτερικό, δηλαδή οι ζημιές θα είναι σοβαρότερες στο εσωτερικό, και των οποίων η δριμύτητα θα μικραίνει προς το εξωτερικό ή την περίμετρο της περιοχής. Επειδή η καλωδίωση βρίσκεται συνήθως ακριβώς κάτω από το ταμπλό, η περιοχή θα έχει μια "βαθουλωμένη" εμφάνιση.

Τα περισσότερα από τα πλαστικά υλικά που χρησιμοποιούνται στα ταμπλό των σύγχρονων αυτοκινήτων δεν υποστηρίζουν εύκολα μια φλόγα ή μια φωτιά. Εντούτοις, θα λειώσουν, θα απανθρακωθούν, και θα εκπέμπουν άφθονο πυκνό καπνό, και μπορούν να υποστηρίξουν φλόγες και φωτιά εφ' όσον το ηλεκτρικό βραχυκύκλωμα παρέχει ενέργεια θερμότητας.

Μια εξέταση των υπολειμμάτων θα παράγει συχνά τις πληροφορίες ως προς τις ποιες ομάδες του εξοπλισμού περιλήφθηκαν στο ελάττωμα. Κατόπιν το σημείο προέλευσης θα πρέπει να ανακαλυφθεί όπως οποιοδήποτε άλλο ηλεκτρικό ελάττωμα. Εντούτοις, σε ένα αυτοκίνητο, ένα βραχυκύκλωμα μπορεί να εμφανιστεί σε οποιαδήποτε στιγμή που η γυμνή καλωδίωση μπορεί να έρθει σε επαφή με το μεταλλικό πλαίσιο ή τα μέρη ενός αυτοκινήτου, δεδομένου ότι στο μεταλλικό πλαίσιο βρίσκονται τα καλώδια επιστροφής για τα περισσότερα κυκλώματα. Οι αρνητικές πλευρές όλων των κυκλωμάτων στο όχημα οργανώνονται μέσω του μεταλλικού πλαισίου ως κοινή επιστροφή. Κατά συνέπεια, μόλις φθάσει η θερμότητα σε μια ομάδα καλωδίων που είναι τοποθετημένα σε ένα κιγκλίδωμα μετάλλων ή σε ένα διάφραγμα και λειώσει η μόνωση, είναι δυνατό για σχεδόν όλα τα καλώδια να βραχυκυκλώσουν λίγο πολύ στον ίδιο χρόνο στην ίδια θέση.

Η εγκατάσταση εξοπλισμού που δεν ανήκει στο όχημα μπορεί συχνά να προκαλέσει ηλεκτρικές φωτιές στο όχημα αυτό. Αυτός που τοποθετεί αυτόν τον εξοπλισμό συχνά δεν γνωρίζει τα κυκλώματα, και απλά τον συνδέει στο καταλληλότερο καλώδιο που μπορεί να βρεί. Συνήθως, το προστατευτικό φράγμα παρακάμπτεται, έτσι το νέο στοιχείο δεν μπορεί να ωφεληθεί από την τρέχουσα προστασία. Περαιτέρω, το καλώδιο στο νέο στοιχείο θα είναι χαλαρό, και συχνά θα πτυχώνεται απλά αόριστα κάτω από τον τάπητα, ή να τοποθετηθεί γύρω από μεταλλικά μέρη που μπορούν τελικά να το τρίψουν και να κόψουν στη μόνωση.

Επειδή ένα αυτοκίνητο δονείται συνεχώς όταν είναι εν κινήσει, η χαλαρή καλωδίωση έχει υψηλότερη πιθανότητα να τριφτεί στις κοντινές άκρες ή τις τραχιές επιφάνειες. Αυτό είναι ένας λόγος για τον οποίο ο κατασκευαστής ομαδοποιεί την καλωδίωση σε λουριά. Μερικές φορές, όταν γίνεται εργασία επισκευής σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα θεωρείται μεγάλο πρόβλημα για το μηχανικό να βάλει ένα καλώδιο πίσω στη δέσμη του όπως ήταν πριν. Μπορεί απλά να το πτυχωσει μέσα σε ένα κατάλληλο σημείο, ή να το δέσει με ταινία πάνω σε κάτι κοντινό για να το κρατήσει σταθερό.

Φυσικά, η χαλαρή καλωδίωση στο διαμέρισμα της μηχανής μπορεί επίσης τελικά να έρθει σε επαφή με την πολλαπλή της μηχανής. Δεδομένου ότι ένα μεγάλο μέρος της καλωδίωσης είναι τυλιγμένο σε σχετικά χαμηλής θερμοκρασίας πλαστική μόνωση, το να έρθει κοντά στα καυτά μέρη μπορεί να είναι αρκετό για να βλάψει τη μόνωση και να επιτρέψει στο κύκλωμα να βραχυκυκλώσει.

ΣΤ. Μηχανικές και άλλες αιτίες

Οι φωτιές σε αυτοκίνητα προκαλούνται επίσης, αλλά λιγότερο συχνά, από μηχανική βλάβη. Τα ρουλεμάν των τροχών, τα φρένα και τα τμήματα της εξάτμισης είναι οι πιο κοινοί ένοχοι.

Όταν περιλαμβάνονται τα φρένα, συνήθως οι μεμονωμένοι κύλινδροι φρένων των τροχών έχουν χάσει τα καπάκια τους και το υγρό φρένων έχει διαρρεύσει στο τύμπανο ή το δίσκο όπου παράγονται υψηλές θερμοκρασίες από την τριβή φρεναρίσματος αναφλέγοντας το. Το σημείο προέλευσης στον τροχό είναι συνήθως εύκολο να βρεθεί.

Οι περισσότεροι άξονες και τροχοί χρησιμοποιούν ένα βαρύ λάδι ή γράσο για τη λίπανση. Η απώλεια των ρουλεμάν των τροχών μπορεί να επιτρέψει σε αυτά τα λιπαντικά να διαρρεύσουν ή να στάξουν στα φρένα, ή η αποτυχία του ίδιου του ρουλεμάν μπορεί να παραγάγει ικανοποιητική θερμότητα για να εμφανιστεί η ανάφλεξη.

Μερικές φωτιές προκαλούνται από τον καταλύτη. Οι περισσότερες τοποθετούνται σε μια από δύο παρακάτω ομάδες :

1. Όπου η φωτιά προκαλείται από τον καταλύτη όταν αυτός έρχεται σε επαφή με χόρτα ή την ξερή χλόη όταν αυτός καίει ακόμα, και τα άλλα αναφλεγόμενα υλικά που βρίσκονται εξωτερικά του αυτοκινήτου. Στην περίπτωση αυτή, το όχημα καίγεται από τη χλόη ή τα άλλα αναφλεγόμενα υλικά που βρίσκονται κάτω από αυτό.
2. Το μίγμα καυσίμων της μηχανής είναι πάρα πολύ πλούσιο, και φράζει τον καταλύτη με αποτέλεσμα αυτός να λειτουργεί σε πολύ μεγάλη θερμοκρασία. Μια φωτιά μπορεί έπειτα να ξεσπάσει μέσα στον ίδιο τον καταλύτη.

Φυσικά, ένας καταλύτης είναι ένα μέρος όπου πάντα υπάρχει φωτιά. Ο καταλύτης απλά καίει αργά τα άκαυστα καύσιμα μέσα στο τμήμα της εξάτμισης έτσι ώστε λιγότερες άκαυστες ενώσεις άνθρακα να φεύγουν από το σωλήνα της εξάτμισης. Αυτό το αργό κάψιμο ολοκληρώνεται με την χρήση ενός καταλύτη επιφανείας, συνήθως μια ένωση πλατίνας, η οποία αναγκάζει τα καύσιμα να οξειδωθούν σε θερμοκρασίες και συνθήκες χαμηλότερες από αυτές που συνήθως οξειδώνονται.

Λόγω αυτού, οι καταλύτες είναι οι πιο δροσεροί όταν το όχημα βρίσκεται εν κινήσει μαζί με την αποδοτικότητα της μηχανής όταν είναι σε υψηλό επίπεδο. Αυτό εμφανίζεται κανονικά όταν το όχημα ταξιδεύει στην εθνική οδό. Ο κινούμενος αέρας κάτω από το όχημα βοηθά επίσης στο να τον κρατάει δροσερό.

Οι καταλύτες λειτουργούν σε μεγάλες θερμοκρασίες όταν το αυτοκίνητο είναι ακίνητο. Η μηχανή λειτουργεί κάτω από την πολύ φτωχή θερμοδυναμική αποδοτικότητα και έπειτα δεν υπάρχει κινούμενος αέρας για την εξαναγκασμένη μεταφορά. Εάν το όχημα έπειτα σταθμευθεί και αφεθεί να λειτουργεί σε μια πυκνή, ξηρή, και ψηλή βλάστηση ή φυλλώματα, το φυτικό υλικό μπορεί όχι μόνο να απομονώσει το κατώτατο σημείο του οχήματος, να αποτρέψει την κίνηση του αέρα κάτω από το όχημα αλλά και να επιδεινώσει την περαιτέρω

μεταφορά θερμότητας, αλλά επίσης μπορεί άμεσα να έρθει σε επαφή με το καυτό μέταλλο του καταλύτη. Ο συνδυασμός αυτών των παραγόντων μπορεί να οδηγήσει στην ανάφλεξη της καύσιμης βλάστησης κάτω από το όχημα.

Μια αιτία φωτιάς που εμφανίζεται περιστασιακά είναι αμέσως μετά από τον ανεφοδιασμό του οχήματος με καύσιμα. Η αμελής τροφοδότηση με καύσιμα του οχήματος μπορεί συχνά να αφήσει ένα μικρό ποσό βενζίνης παγιδευμένο στο μέρος ανεφοδιασμού των καύσιμων. Αυτό έπειτα μπορεί πέσει πάνω στην εξάτμιση και αναφλεγεί, ειδικά εάν το αυτοκίνητο έχει αφεθεί να λειτουργεί και ο σωλήνας της εξάτμισης είναι καυτός. Οι φλόγες έπειτα καταλαμβάνουν όλες τις περιοχές που έχουν βραχεί από την βενζίνη, και οι οποίες είναι συνήθως γύρω από το σημείο ανεφοδιασμού καύσιμων ή την πόρτα. Γι' αυτό τα βενζινάδικα πάντα έχουν ταμπέλες στις οποίες αναγράφονται τα εξής: "Κλείνεται τη μηχανή όταν ανεφοδιάξετε με καύσιμα" ή κάτι παρόμοιο. Αυτός ο τύπος φωτιάς είναι ίσως λίγο πιο επικρατέστερος τώρα απ' ό,τι παλιότερα λόγω του πολλαπλασιασμού των βενζινάδικων αυτοεξυπηρέτησης. Πολλοί οδηγοί δεν είναι ιδιαίτερα προσεκτικοί στο χειρισμό της βενζίνης γύρω από τις αντλίες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. NFPA, Basic methodology in Fire and Explosioin Investigations, Boston, 2008
2. Underdown, G. W., Practical Fire Precaution, 2nd ed., Bower press, Farmborough, England, 2004
3. Kirk, P.L., Fire Investigation, John Wiley & Sons, New York, 1992
4. Versteeg, H.K., Malalasekera, W., An introduction to CFD, 2nd edition, Prentice Hall,2007
- 5.Keating, E. L., Applied Combustion, 2nd edition, CRC press,2007
6. Roblee, C.L., McKechnie, A.J., The Investigation of Fires, Prentice Hall, 1981
7. Heidl,J. H., Hazardous Materials Handbook, Glencoe Press, 2001
8. Lewis, B., Von Elbe, G., Combustion, Flames and Explosions of Gases, 2nd edition, Academic press, New York, 1999.
9. NFPA 921 Standard
10. NFPA 1033 Standard
11. NFPA Handbook, 7nd edition, 2005
12. DeHann, J.D., Fire Investigation, 3nd edition, Brady: A Prentice Hall Division, 1993
13. Saferstein, R., An introduction to Forensic Science, 2nd edition, Prentice Hall, 1999
14. Πληροφορίες από ποικίλες διευθύνσεις του διαδικτύου (Ελληνικές και Ξενόγλωσσες)
15. Πληροφορίες από δημοσιευμένο υλικό του ΤΕΕ
16. Πληροφορίες από εταιρίες πραγματογνωμοσυνών.

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**“Έρευνα και παραμετρική ανάλυση στοιχείων
πυρκαγιάς μετά από ατύχημα”**

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ: 1) ΛΕΒΕΝΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
2) ΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ: 1) ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΜΑΥΡΙΔΗΣ
2) ΙΩΑΝΝΗΣ Σ. ΓΙΑΝΝΑΚΗΣ

ΠΑΤΡΑ- ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας κατά το έτος 2011 και αναφέρεται στην ανάλυση στοιχείων μετά από πρόκληση φωτιάς σε οικήματα και αυτοκίνητα για να διερευνηθούν οι αιτίες από έναν εξειδικευμένο μηχανικό.

Το θέμα είναι αρκετά ενδιαφέρον και δουλέψαμε σε αυτό λόγω του ενδιαφέροντος μας μετά την αποφοίτηση να ασχοληθούμε με τον τομέα των πραγματογνωμοσυιών.

Στην αρχή μελετάται η αναγκαιότητα χρήσης επιστημονικών μεθόδων για την ανάλυση πυρκαγιών και εκρήξεων. Στην συνέχεια σε διαφορετικά κεφάλαια μελετώνται στοιχεία χημείας της καύσης, στοιχεία ανίχνευσης διαρροών, μελέτη στοιχείων για την εύρεση του σημείου έναρξης της φωτιάς, στοιχεία σχετικά με τις εκρήξεις αερίων, και τέλος διερεύνηση στοιχείων σε φωτιά σε αυτοκίνητα.

Ευχαριστούμε θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή κ. Ιωάννη Γιαννάκη, Συνεργάτη του τμήματος Μηχανολογίας καθώς και τον Καθ. Κων/νο Μαυρίδη, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολογίας, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφεραν για την πραγματοποίηση της πτυχιακής εργασίας.

ΛΕΒΕΝΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ- ΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αναφέρεται στην Έρευνα και παραμετρική ανάλυση στοιχείων πυρκαγιάς μετά από ατύχημα και εξετάζονται διάφορα στοιχεία αυτού του αντικειμένου.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε επτά Κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στο αντικείμενο των πραγματογνωμοσυιών και των στοιχείων που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για τη διερεύνηση στοιχείων στο χώρο της μελέτης. Στο δεύτερο Κεφάλαιο αναλύονται στοιχεία της χημείας καύσης και των νόμων που τη διέπουν έτσι ώστε ο εξειδικευμένος μηχανικός να κάνει χρήση για την ορθότερη αντιμετώπιση των επιδράσεων της φωτιάς και της επιστημονικότερης εύρεσης των αιτιών της.

Στο τρίτο Κεφάλαιο αναπτύσσεται η μεθοδολογία ανίχνευσης διαρροών και οσμών που θα μας οδηγήσουν σε πρόληψη ατυχημάτων αλλά και εύρεση των αιτιών τους.

Στο τέταρτο Κεφάλαιο μελετάται ο καθορισμός του σημείου έναρξης της φωτιάς μέσω μεθόδων γραφικών και αναλυτικών.

Το πέμπτο και έκτο Κεφάλαιο αναφέρεται στις εκρήξεις και στην εύρεση του σημείου ανάφλεξης μικρής Έκρηξης.

Το έβδομο κεφάλαιο ασχολείται με ανάλυση των πυρκαγιών σε αυτοκίνητα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

A. Γενικά.....	6
B. Πληροφορίες αυτόπτων μαρτύρων.....	9
Γ. Ποιος ερευνά τις πυρκαγιές και τις εκρήξεις.....	10
Δ. Ο ρόλος στο νομικό σύστημα.....	11
Ε. Εφαρμογή της επιστημονικής μεθόδου στην Μηχανική Ανάλυση των Πυρκαγιών και των Εκρήξεων.....	11

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ : ΧΗΜΕΙΑ ΚΑΥΣΗΣ

A. Γενικά.....	14
B. Περιορισμοί του Νόμου Ιδανικών Αερίων.....	18
Γ. Καύση στον αέρα.....	20
Δ. Ατελής καύση.....	22
Ε. Χρωματισμός Καπνού και Πυρκαγιάς.....	23
ΣΤ. Θερμότητα Σχηματισμού.....	25
Ζ. Θερμότητα Καύσης και ο Νόμος Hess.....	26
Η. Καύση του Ξύλου.....	28
Θ. Αλλαγή Φάσης.....	30
ΙΚ. Θερμοχωρητικότητα, Ενθαλπία και Εσωτερική Ενέργεια.....	33
Κ. Θερμότητα καύσης.....	40
Λ. Ενέργεια ενεργοποίησης.....	41
Μ. Αδιαβατική θερμοκρασία φλογών.....	42
Ν. Περισσότερο Ατελής Καύση-Διαχωρισμός.....	47
Ξ. Αυτοαναφλέξιμη Χημική Αποικοδόμηση.....	47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ : ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΜΥΡΩΔΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΡΡΟΩΝ

A. Γενικά.....	52
B. Αναγνώριση επιπέδων μυρωδιών και οσμών.....	54
Γ. Οσμωτικά LPG.....	57
Δ. Οσμωτικά φυσικού αερίου.....	58
Ε. Δειγματοληψία LPG για οσμωτικά.....	59
ΣΤ. Ανίχνευση διαρροών.....	61
Ζ. Ταξινόμηση διαρροών.....	66

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΦΩΤΙΑΣ

A. Γενικά.....	68
B. Ταχύτητες καύσης και σχέδια "V".....	69
Γ. Ταχύτητες καύσης και ταχύτητες φλογών.....	71
Δ. Βαθμός διάδοσης Φλογών στα Υλικά.....	73
Ε. Μεταφορά Θερμότητας, Αγωγιμότητα και Μετάδοση Θερμότητας.....	75
ΣΤ. Ακτινοβολία.....	78
Ζ. Αρχική αναγνώριση του τόπου της φωτιάς.....	82
Η. Μέθοδος Κεντροειδούς.....	83
Θ. Πηγές ανάφλεξης.....	85
Ι. Η μέθοδος του κουτιού (Box method).....	86
Κ. Σταθμισμένη μέθοδος κεντροειδούς.....	87
Λ. Δείκτες Εξάπλωσης Πυρκαγιάς - Διαδοχική Ανάλυση.....	89

M. Συνδυασμός μεθόδων.....	91
----------------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ: ΕΚΡΗΞΕΙΣ

A. Γενικά.....	92
B. Υψηλής πίεσης εκτόνωσης αερίου.....	93
Γ. Αναφλέξεις και Πυροδοτήσεις.....	95
Δ. Μερικές βασικές παράμετροι.....	98
Ε. Μέτωπο υπερπίεσης.....	99

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ ΜΙΑΣ ΕΚΡΗΞΗΣ

A. Γενικά.....	103
B. Διάχυση και ο νόμος του Fick.....	104
Γ. Μέτωπα Φλογών και Διανύσματα Πυρκαγιάς.....	105
Δ. Διανύσματα πίεσης.....	106
Ε. Το επίκεντρο.....	107
ΣΤ. Ενεργειακές Εκτιμήσεις.....	108

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ: ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΣΕ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ

A. Γενικά.....	110
B. Εμπρησμός οχημάτων και εμπρηστικές πυρκαγιές.....	110
Γ. Σχετικές με τα καύσιμα πυρκαγιές.....	112
Δ. Άλλα είδη πυρκαγιών κάτω από το καπό.....	114
Ε. Ηλεκτρικές πυρκαγιές.....	115
ΣΤ. Μηχανικές και άλλες αιτίες.....	116

Βιβλιογραφία.....	118
-------------------	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Α. Γενικά

Αυτή η εργασία αναφέρεται στη δικανική μηχανική (forensic engineering) καθώς εφαρμόζεται για την ανάλυση των πυρκαγιών και των εκρήξεων.

Ο όρος δικανική μηχανική είναι γενικά κατανοητό ότι σημαίνει την εφαρμογή των αρχών και την μεθοδολογία της μηχανικής για να απαντήσει τα ερωτήματα σε ορισμένα γεγονότα. Συχνά, αυτά τα γεγονότα έχουν νομικές επιπτώσεις.

Όσον αφορά τις πυρκαγιές και τις εκρήξεις, τα πιο συχνά τιθέμενα ερωτήματα είναι: πού έγινε η έναρξη της πυρκαγιάς ή της έκρηξης και τι την προκάλεσε; Οι όροι για αυτές τις ερωτήσεις είναι, αντίστοιχα, ο προσδιορισμός του σημείου προέλευσης και ο προσδιορισμός της αιτίας. Μερικές φορές οι δύο έρευνες αναφέρονται από κοινού ως ο προσδιορισμός της αιτίας και της προέλευσης, που συνήθως γράφονται συντομογραφικά "C/O" ή "C&O," όπου C= cause και O= origin.

Για να καθιερώσει μια ικανή βάση για την ανάλυση, ένας δικανικός μηχανικός βασίζεται κυρίως πάνω στα πραγματικά φυσικά στοιχεία που βρέθηκαν στον τόπο και των αποδεικτικών γεγονότων σχετικών με το θέμα. Η δικανική μηχανική εφαρμόζει έπειτα τις αποδεκτές επιστημονικές μεθοδολογίες και τις αρχές για να ερμηνεύσει τα φυσικά στοιχεία και τα γεγονότα. Συχνά, η ανάλυση των φυσικών στοιχείων και γεγονότων απαιτούν την ταυτόχρονη εφαρμογή περισσότερων του ενός επιστημονικού κλάδου: όσον αφορά αυτό, η πρακτική της δικανικής εφαρμοσμένης μηχανικής είναι ιδιαίτερα διεπιστημονική.

Οι κανόνες που εφαρμόζονται πρώτιστα στην ανάλυση των πυρκαγιών και των εκρήξεων περιλαμβάνουν ανόργανη και οργανική χημεία, υλικά και μεταλλουργία, θερμοδυναμική, φυσική, μεταφορά θερμότητας, στοιχεία μηχανών, δομική μηχανική, σχέδιο συστημάτων κτιρίου, ηλεκτρική μηχανική και εργονομία. Εξοικείωση με τους κώδικες και τα πρότυπα απαιτείται επίσης. Αυτό περιλαμβάνει τους κώδικες οικοδόμησης, κώδικες μηχανικού εξοπλισμού, κώδικες πυρασφάλειας, ηλεκτρικούς κώδικες, προδιαγραφές αποθήκευσης υλικών, κώδικες και προδιαγραφές προϊόντων, μεθοδολογίες εγκατάστασης, και διάφορους κανόνες και κανονισμούς ασφάλειας.

Οπότε, όπως γίνεται αντιληπτό ένας μηχανικός κυρίως ειδικότητας Μηχανολόγου Μηχανικού έχει μεγάλη εμπλοκή στη διενέργεια έρευνας και πιστοποίησης των ευρημάτων μετά από μια καταστροφή που οφείλεται σε πυρκαγιά, στοιχεία που θα δοθούν στα ενδιαφερόμενα μέρη για περαιτέρω ενέργειες.

Στην πράξη ένας δικανικός μηχανικός κάνει τα εξής :

- αυτός/ή εκτιμά τι προϋπήρχε του γεγονότος και σε τι συνθήκες βρισκόταν.
- αυτός/ή εκτιμά τι ευρίσκεται μετά από το γεγονός, και τις συνθήκες στις οποίες βρίσκεται.
- αυτός/ή υποθέτει τους αληθοφανείς τρόπους με τους οποίους οι πριν του γεγονότος συνθήκες μπορούν να οδηγήσουν στις συνθήκες μετά του γεγονότος.
- αυτός/ή ψάχνει για τα στοιχεία που είτε διαψεύδουν είτε στηρίζουν τις υποθέσεις.
- αυτός/ή εφαρμόζει τις μηχανολογικές γνώσεις και ικανότητές του/της για να συσχετίζει διάφορα γεγονότα και στοιχεία σε ένα συνεκτικό σενάριο για το πώς το γεγονός μπορεί να είχε εμφανιστεί.

Αναφερόμενοι στην παραπάνω λίστα το τι ένας δικανικός μηχανικός κάνει είναι η εφαρμογή της λογικής: η λογική παρέχει τη διαταγή και τη συνοχή σε όλα τα διεπιστημονικά γεγονότα, τις αρχές και τις μεθοδολογίες που εμφανίζονται και αφορούν μια ιδιαίτερη περίπτωση.

Στην αρχή μιας περίπτωσης, τα διαθέσιμα γεγονότα και οι πληροφορίες είναι όπως τα κομμάτια ενός γρίφου που βρίσκονται διεσπαρμένα στο πάτωμα : ένα κομμάτι εδώ, ένα κομμάτι εκεί, και ένα ίσως που “έχει γλιστρήσει μυστηριωδώς κάτω από το ψυγείο”. Πρώτα, τα κομμάτια συλλέγονται απλά, μαζεύονται επάνω, και τοποθετούνται σε έναν σωρό στο τραπέζι. Κατόπιν, κάθε ένα κομμάτι προσαρμόζεται με άλλα κομμάτια έως ότου το καθένα κομμάτι ταιριάζει με κάποιο άλλο. Όταν διάφορα κομμάτια ταιριάζουν, ένα μέρος της εικόνας αρχίζει να προκύπτει. Τελικά, όταν εγκατασταθούν μαζί όλα τα κομμάτια, ο γρίφος λύνεται και η εικόνα είναι σαφής να την δει κάποιος.

Για αυτόν τον λόγο λέμε ότι η επιστημονική έρευνα και η ανάλυση μιας πυρκαγιάς ή μιας έκρηξης πρέπει να δομηθούν όπως μια πυραμίδα. Πρέπει να υπάρξει μια θεμελίωση από γεγονότα και στοιχεία στο κατώτατο σημείο, τα οποία υποστηρίζουν μερικά συμπεράσματα στην κορυφή. Τα συμπεράσματα πρέπει να βασιστούν αμέσως επάνω από τα γεγονότα, όχι επάνω σε άλλα συμπεράσματα ή υποθέσεις. Εάν τα γεγονότα τακτοποιούνται λογικά και συστηματικά, τα συμπεράσματα πρέπει να είναι σχεδόν ίδιου είδους. Τα συμπεράσματα που είναι βασισμένα σε άλλα συμπεράσματα ή υποθέσεις, τα οποία διαδοχικά είναι βασισμένα επάνω σε λίγα γεγονότα ή σε πολύ γενικευμένες αρχές, είναι ένα σπίτι από κάρτες. Όταν ένα σημείο αποδεικνύεται λανθασμένο, όλα καταρρίπτονται.

Παραδείγματος χάριν, θεωρήστε την ακόλουθη περίπτωση. Είναι αλήθεια ότι τα συστήματα αερίου προπανίου είναι συνδεδεμένα με κάποιες εκρήξεις και φωτιές. Σε ένα ειδικό σπίτι που εξοπλίστηκε με ένα σύστημα προπανίου συνέβη μια έκρηξη και διαδοχικά μια πυρκαγιά. Το επίκεντρο της έκρηξης, το σημείο της μέγιστης πίεσης της έκρηξης, βρέθηκε στο υπόγειο το οποίο περιείχε τον κλίβανο προπανίου. Από αυτή την πληροφορία, ο ερευνητής καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η έκρηξη και η πυρκαγιά προκλήθηκαν από το σύστημα προπανίου και ειδικότερα από τον κλίβανο.

Εντούτοις, το συμπέρασμα του ανακριτή είναι βασισμένο σε λάθος λογική. Δεν υπάρχει ικανοποιητική πληροφορία που σταθερά να καταλήγει στο συμπέρασμα ότι το σύστημα προπανίου ήταν η αιτία της έκρηξης, παρά το γεγονός ότι τα βασικά γεγονότα και η γενικευμένη αρχή στα οποία το συμπέρασμα είναι βασισμένο είναι όλα αληθινά.

Μελετήστε πάλι τα γεγονότα και τις αρχές στο επόμενο παράδειγμα :

Αρχή: Μερικά συστήματα προπανίου προκαλούν εκρήξεις και πυρκαγιές.

Γεγονός: Αυτό το σπίτι είχε ένα σύστημα προπανίου.

Γεγονός: Σε αυτό το σπίτι υπήρξε μια πυρκαγιά και μια έκρηξη.

Γεγονός: Η έκρηξη ξεκίνησε από το ίδιο δωμάτιο σε ένα μέρος του εξοπλισμού που χρησιμοποιούσε προπάνιο, τον κλίβανο.

Συμπέρασμα : Η έκρηξη και πυρκαγιά προκλήθηκαν από το σύστημα προπανίου.

Η αρχή πάνω στην οποία στηρίζεται ολόκληρο το συμπέρασμα υποστηρίζει ότι μόνο μερικά συστήματα προπανίου προκαλούν εκρήξεις, όχι όλα όμως. Σχετικά με το θέμα του γεγονότος, η πλειοψηφία των συστημάτων προπανίου είναι αξιόπιστη και λειτουργεί χωρίς πρόκληση έκρηξης ή πυρκαγιάς για όλη τη διάρκεια ζωής του σπιτιού. Συζητώντας από στατιστική σκοπιά, είναι πιο πιθανό ότι ένα σύστημα προπανίου δεν θα προκαλέσει έκρηξη και πυρκαγιά.

Στο παράδειγμά μας, ο ανακριτής πράγματι δεν έχει ελέγξει ακόμη εάν αυτό το σύστημα προπανίου λειτουργούσε σωστά ή αν ήταν αυτό που προκάλεσε την έκρηξη και την πυρκαγιά. Συνεπώς, η άμεση σύνδεση μεταξύ της γενικής προϋπόθεσης και της συγκεκριμένης περίπτωσης δεν έχει γίνει, απλά έχει υποθεθεί. Το βήμα επαλήθευσης της λογικής έχει διαγραφεί.

Φυσικά, δεν προκαλούνται όλες οι εκρήξεις και οι πυρκαγιές από τα συστήματα προπανίου. Τα συστήματα προπανίου δεν κατέχουν μια σημαντική θέση σε αυτήν την

κατηγορία. Υπάρχει μια ευδιάκριτη πιθανότητα ότι η έκρηξη μπορεί να είχε προκληθεί από κάτι μη σχετικό με το σύστημα προπανίου, το οποίο είναι άγνωστο στον μηχανικό σε αυτό το σημείο. Το γεγονός ότι η έκρηξη δημιουργήθηκε στο ίδιο δωμάτιο όπου ήταν και ο κλίβανος μπορεί να είναι μόνο μια σύμπτωση.

Χρησιμοποιώντας την ίδια γενική αρχή και τα διαθέσιμα στοιχεία έπειτα, μπορεί εξίσου να βγει ως συμπέρασμα (εντούτοις επίσης ανακριβώς) ότι το σύστημα προπανίου δεν προκάλεσε την έκρηξη. Γιατί; Επειδή είναι εξίσου αλήθεια ότι μερικά συστήματα προπανίου δεν προκαλούν ποτέ εκρήξεις και πυρκαγιές. Εφόσον αυτό το σπίτι έχει ένα σύστημα προπανίου, κατόπιν θα μπορούσε να συναχθεί το συμπέρασμα ότι αυτό το σύστημα προπανίου δεν θα μπορούσε να είναι η αιτία της έκρηξης και της πυρκαγιάς.

Όπως είναι σαφές, το αδιέξοδό μας στο παράδειγμα οφείλεται στην εφαρμογή μιας γενικής αρχής για την οποία υπάρχουν ανεπαρκείς πληροφορίες για να παρέχουν ένα μοναδικό, λογικό συμπέρασμα. Το συμπέρασμα ότι το σύστημα προπανίου προκάλεσε την έκρηξη και την πυρκαγιά είναι βασισμένο αναμφιβόλως στο συμπέρασμα ότι η θέση του επίκεντρου της έκρηξης και του κλίβανου προπανίου δεν είναι σύμπτωση. Είναι περαιτέρω βασισμένο σε ένα άλλο συμπέρασμα ότι το σύστημα προπανίου είναι ένα από τα συστήματα που προκαλούν εκρήξεις και πυρκαγιές, και όχι ένα από τα συστήματα που δεν προκαλούν ποτέ εκρήξεις. Εν συντομία, στο παράδειγμά μας έχουμε ένα συμπέρασμα, βασισμένο σε ένα συμπέρασμα, βασισμένο σε ένα άλλο συμπέρασμα.

Η λύση σε αυτό το δίλημμα είναι απλή: πρόσθετες πληροφορίες πρέπει να συγκεντρωθούν είτε για να επιβεβαιώσουν απaráμιλλα ότι έφταιγε το σύστημα προπανίου, είτε για να το αποκλείσουν αυτό σαν αιτία για την έκρηξη και τη φωτιά.

Επιστρέφοντας στο παράδειγμά μας, με τις δοκιμές συμπιεσμένου αέρα στο σκηνικό διαπιστώνεται ότι οι σωληνώσεις προπανίου που βρέθηκαν μετά την έκρηξη και την φωτιά δεν είχαν διαρροή, παρά όλα όσα υπέστησαν. Από τη στιγμή που οι σωληνώσεις προπανίου που διαρρέουν πριν από μια έκρηξη δεν αυτό-διορθώνονται έτσι ώστε να μην διαρρέουν και μετά την έκρηξη, αυτή η δοκιμή απορρίπτει τις σωληνώσεις ως ενδεχόμενη αιτία για έκρηξη.

Με την δοκιμή του κλίβανου και των υπόλοιπων συστημάτων διαπιστώνεται ότι όλα είναι σε καλή κατάσταση. Αυτό βάζει τώρα τον εξοπλισμό προπανίου στην κατηγορία των αυτών που δεν προκαλούν εκρήξεις και πυρκαγιές. Τώρα έχουμε επαληθεύσει ότι το συμπέρασμα που υπέθετε συσχετισμό της αιτίας και της επίδρασης μεταξύ της θέσης του επίκεντρου και της θέσης του κλίβανου προπανίου ήταν λάθος. Ήταν μια σύμπτωση ότι η έκρηξη εμφανίστηκε στο ίδιο δωμάτιο με τον κλίβανο.

Οι περαιτέρω έλεγχοι από τον μηχανικό ακόμη δείχνουν ότι καθόλου προπάνιο δεν έλειπε από τη δεξαμενή, δεδομένου ότι κάποιος θα ανέμενε να συμβεί στην περίπτωση εάν το προπάνιο διέρρεε. Κατά συνέπεια, τώρα υπάρχει μια συσσώρευση γεγονότων που δείχνουν ότι το σύστημα προπανίου δεν αναμειγνύεται με την έκρηξη και την πυρκαγιά.

Τέλος, ένας εξονυχιστικός έλεγχος των συντριμμιών στην περιοχή του επίκεντρου ανευρίσκει ότι μέσα στο δωμάτιο που βρισκόταν ο κλίβανος υπήρχαν διάφορα ανοικτά κουτιά διαλυτικής ουσίας χρωμάτων που ο ιδιοκτήτης είχε υποθέσει ότι θα ήταν κενά όταν θα τελείωνε κάποιο χρωμάτισμα. Με μια πιο στενή επιθεώρηση των κουτιών διαπιστώνεται ότι μερικά από αυτά διαστάλθηκαν όπως αν είχαν αντέξει σε μια εσωτερική έκρηξη των ατμών τους.

Επάνω στην περαιτέρω εξέταση, ο ιδιοκτήτης θυμάται ότι τα κουτιά τοποθετήθηκαν μόνο μερικά εκατοστά από μια λάμπα βολβού υψηλής ισχύος, η οποία ανοίχτηκε αμέσως πριν την έκρηξη. Μια επιθεώρηση των ετικετών ασφάλειας διαπιστώνει ότι τα κουτιά περιείχαν τους διαλύτες που θα διαμόρφωναν τους εκρηκτικούς ατμούς στη θερμοκρασία του δωματίου ακόμα και όταν το κουτί ήταν από όλες τις πλευρές κενό. Ένας υπολογισμός δείχνει ότι η ποσότητα του παραμένουτος διαλύτη στο κουτί συνολικά θα ήταν

περισσότερη από αρκετή να παρέχει ένα σύννεφο ατμού στο δωμάτιο σε μια συγκέντρωση που υπερβαίνει το χαμηλότερο όριο των ορίων έκρηξης του διαλύτη.

Το ανωτέρω παράδειγμα επιδεικνύει την αξία της μεθόδου έρευνας "πυραμίδα". Όταν μια μεγάλη βάση γεγονότων και πληροφοριών μαζεύεται, το συμπέρασμα προτείνεται σχεδόν. Όταν μόνο μερικά γεγονότα μαζεύτηκαν για να υποστηρίξουν μια πολύ γενικευμένη προϋπόθεση, ο ειδικευμένος μηχανικός μπορεί "να οδηγήσει" το συμπέρασμα σχεδόν όπου θέλει.

B. Πληροφορίες αυτοπτών μαρτύρων

Οι αφηγήσεις αυτοπτών μαρτύρων είναι σημαντικές πηγές πληροφοριών, αλλά πρέπει να διερευνηθούν προσεκτικά και να αξιολογηθούν. Μερικές φορές οι αυτόπτες μάρτυρες διαμορφώνουν τις απόψεις τους και τα συμπεράσματά τους για αυτό που πραγματοποιήθηκε, μπορούν έπειτα να πλέξουν αυτά τα συμπεράσματα και τις απόψεις στον απολογισμό αυτών που λένε ότι παρατήρησαν. Η επιδέξια ανάκριση του αυτόπτη μάρτυρα μπορεί μερικές φορές να χωρίσει τις πραγματικές παρατηρήσεις από τις προσωπικές υποθέσεις.

Μελετήστε το ακόλουθο παράδειγμα. Ένας αυτόπτης μάρτυρας αρχικά αναφέρει ότι είδε τον "X" να φεύγει από το κτίριο αμέσως προτού ξεσπάσει η πυρκαγιά. Εντούτοις, η προσεκτική ανάκριση αποκαλύπτει ότι ο αυτόπτης μάρτυρας δεν είδε πραγματικά τον "X" να φεύγει από το κτίριο καθόλου, ο μάρτυρας είδε απλά κάποιον να οδηγεί μακριά από το κτίριο σε ένα αυτοκίνητο παρόμοιο με του X, και υπέθεσε ότι πρέπει να είναι X. Φυσικά, το πρόσωπο που οδηγούσε το αυτοκίνητο θα μπορούσε να είναι ο X, αλλά θα μπορούσε επίσης να είναι κάποιος με ένα αυτοκίνητο όπως του X, ή κάποιος που είχε δανειστεί το αυτοκίνητο του X.

Φυσικά, μερικοί αυτόπτες μάρτυρες δεν είναι αμερόληπτοι. Μπορούν να είναι συγγενείς, φίλοι, ή εχθροί των προσώπων που συμμετέχουν στο γεγονός. Μπορούν να έχουν έναν προσωπικό οικονομικό συμφέρον στην έκβαση της έρευνας. Παραδείγματος χάριν, δεν είναι ασυνήθιστο για τον εμπρηστή που βάζει την πυρκαγιά να ερωτηθεί ως αυτόπτης μάρτυρας. Ας μην ξεχνάμε τους αυτόπτες μάρτυρες που είναι ψεύτες, ψυχωτικοί, και καυχησιάρηδες. Μπορούν να ορκιστούν σε οτιδήποτε για να επιδειχθούν και να τραβήξουν την προσοχή.

Τι ένας τίμιος και ειδάλλως αμερόληπτος μάρτυρας αναφέρει ότι παρατήρησε μπορεί να είναι συνάρτηση της θέσης του, όσον αφορά το γεγονός. Οι αντιλήψεις του για το γεγονός μπορούν να χρωματιστούν από την εκπαίδευση και την μόρφωσή του, τις εμπειρίες της ζωής του, την φυσική κατάστασή του όπως όραση ή ακοή και τις κοινωνικές ή πολιτιστικές προκαταλήψεις. Για παράδειγμα ο ήχος μιας έκρηξης αερίου μπορεί ποικιλοτρόπως να αναφερθεί ως κρότος διάσπασης φράγματος ήχου, πυροβολισμός, φουρνέλο ή ανατίναξη ρουκέτας (πυραύλου). Λόγω αυτού, οι αυτόπτες μάρτυρες στο ίδιο γεγονός θα διαφωνήσουν μερικές φορές στα πιο θεμελιώδη γεγονότα.

Περαιτέρω, η υποβλητικότητα του αυτόπτη μάρτυρα για απάντηση στα ερωτήματα είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας. Εξετάστε τις ακόλουθες δύο συνομιλίες κατά τη διάρκεια "του ισχυρισμού." Αυτός είναι ένας όρος της διαδικασίας που αναφέρεται στην λήψη συνέντευξης από έναν μάρτυρα για να βρει τι γνωρίζει ο μάρτυρας για το γεγονός. Η συνέντευξη καταγράφεται συχνά σε κάποιο μέσο και αντιγράφεται αργότερα σε μια γραπτή δήλωση. Συνήθως δεν γίνεται κάτω από τον όρκο, αλλά γίνεται συχνά παρουσία των μαρτύρων. Είναι σημαντικό να "παγώσεις" τον απολογισμό ενός μάρτυρα του γεγονότος το συντομότερο δυνατόν μετά από το γεγονός. Ο χρόνος και οι ακόλουθες συνομιλίες με άλλους θα προκαλέσουν συχνά την αλλαγή του απολογισμού των μαρτύρων του γεγονότος. Παρακάτω φαίνεται ένα παράδειγμα.

Συνομιλία I

Ερευνητής: Ακούσατε μια έκρηξη αερίου χτες τη νύχτα περίπου 3 π.μ.;
Μάρτυρας: Ναι, ακριβώς. Άκουσα μια έκρηξη αερίου. Συνέβη στις 3 π.μ.

Συνομιλία II

Ερευνητής: Τι συνέβη χτες τη νύχτα;

Μάρτυρας: Κάτι δυνατό με ξύπνησε.

Ερευνητής: Τι ήταν αυτό;

Μάρτυρας: Δεν ξέρω. Ήμουν κοιμισμένος.

Ερευνητής: Τι ώρα το ακούσατε;

Μάρτυρας: Δεν ξέρω ακριβώς. Ήταν κάπου στη μέση της νύχτας. Στην συνέχεια συνέχισα τον ύπνο μου.

Στην πρώτη συνομιλία, ο ερευνητής πρότεινε τις απαντήσεις στην ερώτησή του. Δεδομένου ότι οι υπονοούμενες απαντήσεις φαίνονται λογικές και δεδομένου ότι ο μάρτυρας μπορεί να υποθέσει ότι ο ερευνητής ξέρει περισσότερα για το γεγονός από ότι ο ίδιος, ο μάρτυρας συμφωνεί με τις προτεινόμενες απαντήσεις. Στη δεύτερη συνομιλία, ο ερευνητής δεν παρείχε καμία ένδειξη για αυτό που έψαχνε, επέτρεψε στο μάρτυρα να βασιστεί στις μνήμες του και δεν πρότεινε καμία.

Γ. Ποιος ερευνά τις πυρκαγιές και τις εκρήξεις

Στην έρευνα για μια πυρκαγιά ή μια έκρηξη, διάφοροι επαγγελματίες ανακριτές μπορούν να αναμιχθούν. Τα ακόλουθα είναι ένας μικρός κατάλογος και περιγραφή των διαφόρων ειδικοτήτων :

1. Δικανικός μηχανικός (πραγματογνώμονας): Συνήθως ένας διπλωματούχος επαγγελματίας μηχανικός, ο δικανικός μηχανικός αποτιμά τις τεχνικές πτυχές μιας πυρκαγιάς ή μιας έκρηξης. Οι δικανικοί μηχανικοί απασχολούνται τυπικά από τις ιδιωτικές μελετητικές εταιρίες, και οι υπηρεσίες τους δεσμεύονται από τους ασφαλιστές, τους πληρεξούσιους δικηγόρους, τους ιδιώτες, τις επιχειρήσεις, και κάποιες φορές από κυβερνητικές υπηρεσίες αλλά και Τεχνικούς Συλλόγους. Στην Ελλάδα ένας τέτοιος μηχανικός πρέπει να είναι μέλος του ΤΕΕ και να έχει πιστοποιημένη εξειδίκευση σε κάποιον από τους τομείς της πραγματογνωμοσύνης και τουλάχιστον 10 έτη προϋπηρεσία.

2. Ανακριτής Πυρκαγιάς Πυροσβεστικής Υπηρεσίας: Αυτός είναι ένας πυροσβέστης με εξειδικευμένη εκπαίδευση και εμπειρία. Συνήθως ο ανακριτής πυρκαγιάς των πυροσβεστικών υπηρεσιών εργάζεται παράλληλα με τους κανονικούς πυροσβέστες, ειδικά κατά τη διάρκεια του ελέγχου για μικρές εστίες μετά το σβήσιμο της πυρκαγιάς, για να καθορίσει το σημείο προέλευσης της πυρκαγιάς, και εάν είναι δυνατόν, την αιτία. Στις μικρές πυροσβεστικές υπηρεσίες, ο ανακριτής πυρκαγιάς μπορεί να είναι ο προϊστάμενος, ή γενικά ένας αξιωματικός. Στις μεγάλες πυροσβεστικές υπηρεσίες, ο ανακριτής πυρκαγιάς μπορεί να έχει μια ειδική αλλά παράλληλη θέση έξω από την κανονική μονάδα προσβολής του πυρός.

3. Δικανικός Χημικός: Κατά κάποιον τρόπο ένας δικανικός χημικός είναι παρόμοιος με έναν δικανικό μηχανικό: και οι δύο κατέχουν πανεπιστημιακού επιπέδου πτυχία σε έναν επιστημονικό κλάδο. Εντούτοις, ο ρόλος ενός δικανικού χημικού στην έρευνα της

πυρκαγιάς ή της έκρηξης περιορίζεται γενικά στην ανίχνευση και τον προσδιορισμό των ουσιών σχετικών με την πυρκαγιά ή την έκρηξη. Κάποιοι δικανικοί χημικοί εργάζονται για ιδιωτικές επιχειρήσεις και μερικοί προσλαμβάνονται σε κυβερνητικά εργαστήρια που παρέχουν υποστήριξη για αυτήν την ειδική έρευνα.

9. Ασφαλιστική Εταιρία: Για να καθορίσει κατά πόσο μια συγκεκριμένη πυρκαγιά ή μια έκρηξη καλύπτεται υπό τους όρους του ασφαλιστήριου συμβολαίου, ένας ασφαλιστικός φορέας ερευνά τι εμφανίστηκε. Μια ασφαλιστική εταιρία θα δεσμεύσει τις υπηρεσίες ενός δικανικού μηχανικού ή ενός δικανικού χημικού για να ερευνήσει την πυρκαγιά ή την έκρηξη εξ ονόματός της.

Δ. Ο ρόλος στο νομικό σύστημα

Κατά διαστήματα, ένα πρόσωπο που κάνει αυτόν τον τύπο μηχανικής ανάλυσης καλείται για να πιστοποιήσει την υπόθεση στο δικαστήριο για τις λεπτομέρειες των συμπερασμάτων του/της. Κανονικά η κατάθεση αποτελείται από τις απαντήσεις στις ερωτήσεις που τίθενται από έναν πληρεξούσιο δικηγόρο για ένα συμβαλλόμενο μέρος. Ο πληρεξούσιος θα ενδιαφερθεί συχνά για τα εξής:

- τα προσόντα του μηχανικού για να κάνει ανάλυση πυρκαγιάς ή έκρηξης,
- τα βασικά γεγονότα και οι υποθέσεις που βασίζονται επάνω στο μηχανικό,
- η λογικότητα των συμπερασμάτων του μηχανικού, και
- εύλογες εναλλακτικές εξηγήσεις για την πυρκαγιά ή την έκρηξη που δεν εξετάζονται από το μηχανικό, οι οποίες συχνά θα είναι η εκδοχή του πελάτη του για το γεγονός.

Εν δυνάμει με κατάλληλη εκπαίδευση και εμπειρία, ένα πρόσωπο μπορεί να είναι κατάλληλο ως "ειδικός μάρτυρας" από το δικαστήριο. Σε μερικά κράτη, ένας τέτοιος ειδικός μάρτυρας είναι το μόνο πρόσωπο που έχει την άδεια για να αποδώσει μια άποψη στο δικαστήριο κατά τη διάρκεια των πρακτικών. Επειδή συχνά το νομικό σύστημα είναι εχθρικό, κάθε πληρεξούσιος δικηγόρος θα προσπαθήσει να αποσπάσει από την ειδική κατάθεση μάρτυρα είτε για το όφελος του πελάτη του, είτε για τη δυσφήμιση του πελάτη του αντιπάλου του.

Σε έναν τέτοιο ρόλο, παρά το γεγονός ότι ένας από τους πληρεξούσιους δικηγόρους μπορεί να πληρώσει την αμοιβή των εμπειρογνομόνων, ο ειδικός μάρτυρας έχει μια υποχρέωση στο δικαστήριο να είναι όσο το δυνατόν αντικειμενικότερος, και να αποφύγει να γίνει συνήγορος. Ο καλύτερος κανόνας για να ακολουθήσει είναι να είναι τίμιος και επαγγελματίας και στην προετοιμασία της αρχικής ανάλυσης, και στην κατάθεση.

Μερικές φορές ο δικανικός μηχανικός που συμμετέχει στην προετοιμασία μιας ανάλυσης πυρκαγιάς ή έκρηξης καλείται να αναθεωρήσει την έκθεση της ανάλυσης του ίδιου γεγονότος από τον ειδικό μάρτυρα για την "άλλη πλευρά." Αυτό πρέπει επίσης να γίνει ειλικρινά και επαγγελματικά. Οι τίμιες διαφωνίες μεταξύ δύο καταρτισμένων εμπειρογνομόνων μπορούν και εμφανίζονται. Όταν τέτοιες διαφωνίες εμφανίζονται, η εστίαση της κριτικής πρέπει να είναι θεωρητική ή πραγματική βάση για τις διαφορές.

Ε. Εφαρμογή της επιστημονικής μεθόδου στην Μηχανική Ανάλυση των Πυρκαγιών και των Εκρήξεων

Σε μια εργαστηριακή έρευνα, είναι συνηθισμένο να σχεδιαστούν πειράματα όπου η μεταβλητή που μελετάται δεν κρύβεται ή περιπλέκεται από άλλα αποτελέσματα που ενεργούν ταυτόχρονα. Η μεταβλητή επιλέγεται για να είναι απαλλαγμένη από άλλες επιρροές. Τα πειράματα διεξάγονται έπειτα για να καθορίσουν τι εμφανίζεται όταν αλλάζει

η μεταβλητή. Οι πολυάριθμες δοκιμές των επιδράσεων της αλλαγής της μεταβλητής παρέχουν μια στατιστική βάση συμπερασματική για το πώς η μεταβλητή συμπεριφέρεται, και προβλέπει τι θα εμφανιστεί κάτω από άλλες περιστάσεις.

Κατ' αυτό τον τρόπο, θεωρητικά, οποιοδήποτε γεγονός πυρκαγιάς ή έκρηξης θα μπορούσε να αντιγραφεί πειραματικά ή να αναδημιουργηθεί. Οι μεταβλητές θα άλλαζαν απλά και θα συνδυάζονταν έως ότου βρεθεί ο "σωστός" συνδυασμός που αναδημιουργεί το γεγονός. Όταν το πραγματικό γεγονός αναπαράγεται πειραματικά, μπορεί να ειπωθεί ότι η αναδημιουργία της πυρκαγιάς ή της έκρηξης έχει λυθεί.

Υπάρχουν προβλήματα με αυτήν την προσέγγιση εντούτοις. Πρώτιστο είναι το γεγονός ότι μια πυρκαγιά ή μια έκρηξη είναι ένα μοναδικό γεγονός. Από τη μελέτη του κόστους και της ασφάλειας, το γεγονός δεν θα επαναληφθεί επανειλημμένως με διαφορετικούς τρόπους έτσι ώστε κάποιος μηχανικός να μπορεί να παίξει με τις μεταβλητές και να κάνει μετρήσεις.

Μπορεί να υποστηριχτεί, εντούτοις, ότι εάν υπάρχει ένα μεγάλο μέγεθος παρατηρούμενων στοιχείων και γεγονότων για μια πυρκαγιά ή μια έκρηξη, αυτό είναι κατάλληλο υποκατάστατο για άμεσα πειραματικά στοιχεία. Μόνο η "σωστή" υπόθεση αναδημιουργίας θα ερμηνεύσει όλες τις παρατηρήσεις, και θα είναι επίσης σύμφωνη με αποδεκτούς επιστημονικούς νόμους και γνώσεις.

Ένα ανάλογο παράδειγμα είναι ο προσδιορισμός μιας αλγεβρικής εξίσωσης από μια γραφική απεικόνιση σημείων σε Καρτεσιανό επίπεδο. Όσα περισσότερα σημεία δεδομένων είναι εκεί στη γραφική παράσταση, τόσο καλύτερο το ταίριασμα της καμπύλης θα είναι. Επαγωγικά, ένας μεγάλος αριθμός σημείων στοιχείων με άριστη αντιστοιχία σε μια ορισμένη καμπύλη ή μια εξίσωση θα ήταν απόδειξη ότι η εφαρμοσμένη καμπύλη ήταν ίση με την αρχική λειτουργία που παρήγαγε τα στοιχεία.

Κατά συνέπεια, η επιστημονική μέθοδος, όπως εφαρμόζεται για την αναδημιουργία των πυρκαγιών και των εκρήξεων, είναι η ακόλουθη.

- μια γενική δουλεμένη υπόθεση η οποία προτείνεται είναι βασισμένη στις επαληθευμένες πληροφορίες.
- όσες περισσότερες πληροφορίες συγκεντρώνονται, η αρχική υπόθεση εργασίας τροποποιείται για να καλύψει το αυξανόμενο σώμα των παρατηρήσεων.
- μετά από έναν ορισμένο χρόνο, η υπόθεση εργασίας θα μπορούσε να εξεταστεί χρησιμοποιώντας την για την πρόβλεψη της παρουσίας αποδεικτικών στοιχείων που μπορεί να μην ήταν προφανή ή αγνοήθηκαν κατά τη διάρκεια της αρχικής προσπάθειας συλλογής πληροφοριών.

Μια υπόθεση θεωρείται μια πλήρης αναδόμηση όταν ικανοποιούνται τα εξής:

- η υπόθεση ερμηνεύει όλες τις επαληθευμένες παρατηρήσεις.
- όταν είναι εφικτό, η υπόθεση προβλέπει επακριβώς την ύπαρξη πρόσθετων στοιχείων προηγούμενως άγνωστων.
- η υπόθεση είναι σύμφωνη με τις αποδεκτές επιστημονικές αρχές, γνώση και μεθοδολογίες.

Η επιστημονική μέθοδος όπως εφαρμόζεται στην αναδημιουργία των πυρκαγιών και των εκρήξεων δεν είναι χωρίς μερικές ατέλειες. Η πραγματικότητα των πυρκαγιών και των εκρήξεων είναι ότι το ίδιο το γεγονός μπορεί να καταστρέψει τα αποδεικτικά στοιχεία. Η αντιστοιχία εκείνου που άρχισε μια πυρκαγιά πιθανώς θα καταστραφεί πλήρως και δεν θα βρεθεί ποτέ. Τα σημαντικά στοιχεία μπορούν να χαθούν ή να κρυφτούν στα συντρίμια. Η προσβολή του πυρός μπορεί αθέλητα να καταστρέψει σημαντικά στοιχεία. Εν ολίγοις, μπορούν να υπάρξουν παρατηρητικά χάσματα.

Χρησιμοποιώντας την προηγούμενη αναλογία γραφικών παραστάσεων, αυτό είναι όπως την κατοχή των περιοχών της γραφικής παράστασης χωρίς τα σημεία στοιχείων, ή λίγα σημεία στοιχείων. Φυσικά, εάν τα σημεία στοιχείων είναι πολύ λίγα, ίσως διάφορες διαφορετικές καμπύλες να εγκατασταθούν στα διαθέσιμα στοιχεία.

Κατά συνέπεια, είναι δυνατό ότι οι διαθέσιμες παρατηρήσεις μπορούν να εξηγηθούν από διάφορες υποθέσεις. Τα χάσματα ή τα ελάχιστα παρατηρητικά στοιχεία μπορούν να μην επιτρέψουν μια μοναδική λύση. Κατ' ουσία, δύο αρμόδιοι και ειδάλως έντιμοι εμπειρογνώμονες θα μπορούσαν να προσφέρουν δύο συγκρουόμενες υποθέσεις αναδόμησης και οι δύο εξίσου σύμφωνες με τα διαθέσιμα στοιχεία.

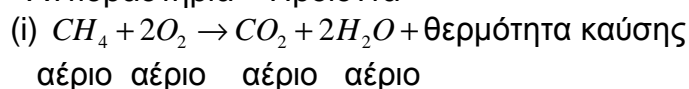
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ : ΧΗΜΕΙΑ ΚΑΥΣΗΣ

A. Γενικά

Η πυρκαγιά ή η καύση είναι βασικά μια χημική αντίδραση και πιο συγκεκριμένα είναι μια γρήγορη, αυτοσυντήρητη διαδικασία οξειδωσης. Προκειμένου να εντοπιστούν οι πυρκαγιές και οι εκρήξεις, ένα πρόσωπο πρέπει να καταλάβει τις βασικές χημικές και θερμοδυναμικές αρχές που περιλαμβάνονται στη διαδικασία πυρκαγιάς. Εάν αυτές οι βασικές αρχές γίνουν κατανοητές, ένα μεγάλο μέρος του μυστηρίου για το πώς και γιατί οι πυρκαγιές εμφανίζονται και διαδίδονται γίνεται σαφές. Η κατανόηση και η εφαρμογή αυτών των αρχών είναι τι χωρίζει την επιστήμη της διάγνωσης των πυρκαγιών και των εκρήξεων από την τέχνη της διάγνωσης των πυρκαγιών και των εκρήξεων.

Στις περισσότερες πυρκαγιές, το φορτίο καυσίμου ή πυρκαγιάς αντιδρά με το οξυγόνο στον αέρα, η θερμότητα και το φως εκπέμπονται και τα προϊόντα της καύσης παράγονται. Ένα απλό παράδειγμα που περιλαμβάνει το μεθάνιο και το καθαρό οξυγόνο δίνεται κατωτέρω :

Αντιδραστήρια Προϊόντα

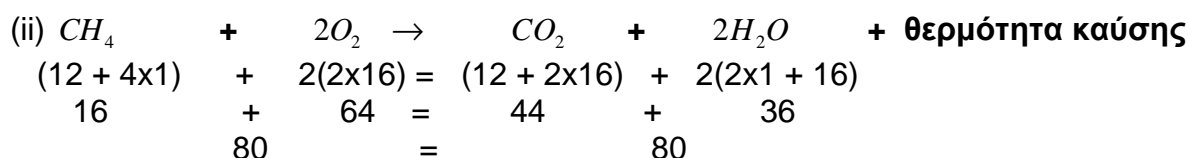


Σε αυτήν την αντίδραση καύσης, το μοναδικό μόριο του μεθανίου οξειδώνεται εντελώς από τα δύο μόρια του οξυγόνου και εκπέμπεται θερμότητα. Τα προκύπτοντα προϊόντα της καύσης είναι ένα μόριο του διοξειδίου του άνθρακα και δύο μόρια υδρατμών.

Στην εξίσωση (i), ο αριθμός και το είδος ατόμων στην αριστερή πλευρά είναι αλγεβρικά ίσος με τον αριθμό και το είδος των ατόμων στη δεξιά πλευρά, έτσι ώστε και οι δύο ποσότητες να συντηρούνται στην αντίδραση. Αυτό είναι, φυσικά, επειδή σε οποιαδήποτε χημική αντίδραση η συνολική μάζα των υλικών πριν από την αντίδραση πρέπει να είναι ίση με τη συνολική μάζα των υλικών μετά από την αντίδραση. Επίσης, η συνολική αρίθμηση οποιουδήποτε ιδιαίτερου τύπου ατόμου πριν από την αντίδραση πρέπει να είναι ίση με τη συνολική αρίθμηση του ίδιου τύπου ατόμου μετά από την αντίδραση. Τα άτομα του υδρογόνου, παραδείγματος χάριν, δεν μετατρέπονται σε άτομα αντιμονίου κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς.

Εν ολίγης, αν και τα αντιδραστήρια που περιλαμβάνονται στην καύση μπορούν να επανασυνδυαστούν σε νέες ενώσεις, να αλλάξουν μορφή και να εμφανιστούν πολύ διαφορετικά μετά από την καύση που έχει πραγματοποιηθεί, όλα τα άτομα που ήταν παρόντα πριν την καύση είναι ακόμα παρόντα και μετά από την καύση.

Εάν το ατομικό βάρος κάθε συστατικού που περιλαμβάνεται στην αντίδραση αθροίζεται και σημειώνεται κάτω από την εξίσωση (i), κατόπιν η ισορροπία της μάζας της αντίδρασης μπορεί να υπολογιστεί. Αυτό παρουσιάζεται κατωτέρω.



Για την ευκολία, οι μονάδες μάζας που χρησιμοποιούνται αρχικά για να οργανώσουν την εξίσωση (ii) είναι οι δεδομένες ατομικές μονάδες βάρους για τα συγκεκριμένα στοιχεία και βρέθηκαν στον περιοδικό πίνακα. Εντούτοις, οι μονάδες που χρησιμοποιούνται στην εξίσωση (ii) είναι αυθαίρετες, και μπορούν να τροποποιηθούν για να ταιριάξουν την κατάσταση. Θα μπορούσαν ακριβώς όπως εύκολα να αντιπροσωπεύουν γραμμάρια, χιλιόγραμμα, λίβρες μάζας. Και εφ' όσον πολλαπλασιάζονται όλα τα στοιχεία στην εξίσωση

με τον ίδιο παράγοντα, μπορούν να διπλασιαστούν, να υποδιπλασιαστούν, να αυξηθούν κατά έναν βαθμό μεγέθους, ή να μειωθούν κατά έναν βαθμό μεγέθους.

Παραδείγματος χάριν, η εξίσωση (ii) δείχνει ότι 16 γραμμάρια μεθανίου θα καούν με 64 γραμμάρια οξυγόνου για να παράγουν 44 γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα και 36 γραμμάρια υδρατμού.

Οι υπολογισμοί της αντίδρασης όπως προηγουμένως, που περιγράφουν τις αριθμητικές σχέσεις μεταξύ των αντιδραστηρίων και των προϊόντων, αποτελούν έναν κλάδο της χημείας που καλείται στοιχειομετρία. Πιο κατάλληλα, η στοιχειομετρία ορίζεται ως η μελέτη των ποσοτικών σχέσεων μεταξύ των αντιδραστηρίων και των προϊόντων μιας αντίδρασης.

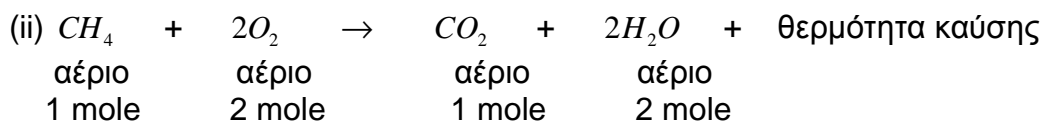
Όπως έχει γίνει στο παράδειγμα καύσης μεθανίου και οξυγόνου, η συνηθισμένη μέθοδος στην οργάνωση μιας χημικής εξίσωσης καύσης είναι η ακόλουθη: κατ' αρχάς, ένας πλήρης κατάλογος των αντιδραστηρίων και των προϊόντων που περιλαμβάνονται στην αντίδραση και οι σχετικές αναλογίες τους, γράφονται κάτω με μορφή χημικής εξίσωσης. Κατόπιν οι σχέσεις μεταξύ των αντιδραστηρίων και των προϊόντων επεξεργάζονται. Η συνολική μάζα των αντιδραστηρίων τίθεται ίση με τη συνολική μάζα των προϊόντων και η συνολική αρίθμηση κάθε είδους ατόμου αντιδραστηρίου τίθεται ίση με τη συνολική αρίθμηση κάθε ίδιου είδους ατόμου προϊόντος. Συνήθως, η σχέση μεταξύ των αντιδραστηρίων και των προϊόντων συνάπτεται χρησιμοποιώντας τις χαμηλότερες πιθανές ακέραιες αναλογίες αριθμών.

Η αρχή της χρήσης της χαμηλότερης αναλογίας ακέραιων αριθμών για να αντιπροσωπεύσει τις σχέσεις αντίδρασης αποκαλείται συχνά ο νόμος του συνδυασμού των βαρών, ή νόμος Dalton των πολλαπλάσιων αναλογιών. Το τελευταίο όνομα είναι στην τιμή John Dalton (1766-1844) που ήταν ένας από τους πρώτους που αναγνώρισε ότι οι χημικές αντιδράσεις που περιλαμβάνουν τις ίδιες ουσίες θα συνδυαστούν στις ίδιες αναλογίες, ότι ποσότητες και να αναμιγνύονται. Με άλλα λόγια, όλα τα στοιχεία και οι ενώσεις συνδυάζουν ή αποσυνθέτουν σε συγκεκριμένες, απλές αναλογίες βάρους και αυτές οι αναλογίες βάρους είναι ακριβώς ανάλογες προς το άθροισμα των μονάδων ατομικής μάζας των ουσιών.

Τυχαία, ο Dalton ήταν ο πρώτος σημαντικός επιστήμονας μετά από τον Δημόκριτο που πρότεινε ότι οι ουσίες αποτελούνται από θεμελιώδη μόρια που διατηρούν τις ίδιες χημικές ιδιότητες με την ουσία στο μεγαλύτερο όγκο. Το θεμελιώδες μόριο ενός στοιχείου είναι ένα άτομο, και το θεμελιώδες μόριο μιας ένωσης είναι ένα μόριο. Τα μόρια αποτελούνται από δύο ή περισσότερα άτομα που έχουν αντιδράσει με το ένα άλλο και έχουν συνδυάσει να κάνουν μια ένωση.

Όταν η αντίδραση περιλαμβάνει κυρίως τα αέρια, ο νόμος του Dalton των πολλαπλάσιων αναλογιών αναφέρεται μερικές φορές σαν νόμος του Gay-Lussac, νόμος του συνδυασμού των όγκων, οι οποίοι μπορούν να δηλωθούν ως εξής: οι όγκοι των αερίων που περιλαμβάνονται σε μια χημική αντίδραση μπορούν να αντιπροσωπευθούν από τις αναλογίες μικρών ακέραιων αριθμών όταν είναι τα αέρια στην ίδια θερμοκρασία και πίεση. Και οι δυο νόμοι, του Gay-Lussac νόμος του συνδυασμού των όγκων και του Dalton ο νόμος των πολλαπλάσιων αναλογιών, είναι βασισμένοι στην ίδια θεμελιώδη αρχή.

Μια πρακτική επέκταση του νόμου του Gay-Lussac νόμου είναι ο νόμος του Avogadro, ο οποίος δηλώνει ότι οι ίσοι όγκοι του αερίου στους ίδιους όρους πίεσης και θερμοκρασίας περιέχουν ίσους αριθμούς ατόμων ή μορίων. Κατά συνέπεια, η ίδια χημική εξίσωση για την αντίδραση καύσης του μεθανίου και του οξυγόνου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει τους όγκους των αερίων που περιλαμβάνονται στην αντίδραση. Αυτό παρουσιάζεται στην ακόλουθη χημική εξίσωση.



Παραδείγματος χάριν, στο μετρικό σύστημα το μοριακό βάρος ενός γραμμαρίου, ή ένα mole, μιας αέριας ουσίας έχει όγκο 22,4 λίτρα σε σταθερές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Οι σταθερές συνθήκες είναι 1.013,3 mbar πίεση, η οποία είναι μια ατμόσφαιρα και 0°C. Κατά συνέπεια, εάν 16 γραμμάρια ή ένα mole μεθανίου χρησιμοποιήθηκαν στην αντίδραση σε σταθερές συνθήκες, το μεθάνιο θα είχε έναν όγκο 22,4 λίτρων.

Ένα αντικείμενο άξιο να λάβουμε υπόψη στην αντίδραση μεθανίου και οξυγόνου είναι ο υδρατμός. Το νερό που παράγεται στην αντίδραση καύσης είναι αρχικά με μορφή αερίου. Εντούτοις, κατά την ψύξη, ο υδρατμός θα συμπυκνωθεί σε υγρό νερό.

Ο νόμος του Dalton των μερικών πιέσεων δηλώνει ότι η συνολική πίεση ενός μίγματος αερίων είναι το άθροισμα των πιέσεων των μεμονωμένων αερίων όπως το καθένα από αυτά να ήταν παρόν υπό τον ίδιο όγκο.

Κατά συνέπεια, εάν ένα mole μεθανίου και δύο mole οξυγόνου τοποθετήθηκαν σε ένα σφραγισμένο δοχείο 67,2 λίτρων σε σταθερές συνθήκες 1.01,3 mbar και 0°C, κατόπιν το μεθάνιο θα ασκούσε μια μερική πίεση 337,8 mbar και το οξυγόνο θα ασκούσε μια μερική πίεση 675,5 mbar.

Αφότου εμφανίζεται η καύση μεταξύ του μεθανίου και του οξυγόνου στο παράδειγμά μας, τα προκύπτοντα προϊόντα της καύσης θα αποτελούνταν από τρία mole-όγκους ενός μίγματος διοξειδίου του άνθρακα και υδρατμού. Συνεπώς, θα υπήρχε ο ίδιος αριθμός μορίων αερίου μετά από την καύση όπως ήταν πριν από την καύση. Εντούτοις, λόγω της θερμότητας που εκπέμπεται κατά τη διάρκεια της αντίδρασης, η πίεση στο σφραγισμένο δοχείο μετά από την καύση θα ήταν υψηλότερη.

Εάν η καύση πραγματοποιείται αρκετά αργά για τη θερμότητα που μεταφέρεται μακριά από το δοχείο κατά τη διάρκεια της διαδικασίας καύσης, κατόπιν η πίεση στο δοχείο αφότου η καύση ολοκληρωθεί μπορεί να υπολογιστεί με τη χρησιμοποίηση του νόμου ιδανικών αερίων. Εάν η θερμοκρασία των προκυπτόντων αερίων κάποιες φορές αφότου ολοκληρώνεται η αντίδραση είναι T_2 , κατόπιν η πίεση εκείνη την περίοδο μπορεί να υπολογιστεί με τον συνδυασμό του νόμου των ιδανικών αερίων και το νόμο του Dalton των μερικών πιέσεων ως εξής:

Νόμος του Dalton των μερικών πιέσεων

$$(iv) \quad P_{1ολικp} = P_{1μεθανίου} + P_{1οξυγίνου} \quad \text{πίεση εσωτερικά του δοχείου πριν την καύση}$$

$$P_{2ολικp} = P_{2διοξειδίου-άνθρακα} + P_{2ατμογ} \quad \text{πίεση εσωτερικά του δοχείου μετά την καύση}$$

Νόμος των Ιδανικών Αερίων

$$(v) \quad PV = nRT$$

$$P = [nR/V]T$$

όπου: P = πίεση,

T = απόλυτη θερμοκρασία,

n = αριθμοί moles συγκεκριμένου αερίου, και

R = σταθερά αερίων, 83,14 (millibar-liters)/(g-moles)($^{\circ}K$) ή 8,314 joules/(g-moles)($^{\circ}K$)

Κατά συνέπεια,

$$(vi) \quad P_{1ολικp} = [n_{meq} RT_1 + n_{οξυγίνου} RT_1] / V_1 \quad \text{πριν την καύση}$$

$$P_{2ολικβ} = [n_{diox.anqr} RT_2 + n_{atmoy} RT_2] / V_2 \quad \text{μετά την καύση}$$

Δεδομένου ότι η αντίδραση πραγματοποιείται στο ίδιο δοχείο, τότε $V_1=V_2$. Κατά συνέπεια, οι πριν και μετά πιέσεις μπορούν να συσχετιστούν η μια με την άλλη ως εξής:

$$(vii) \quad \frac{P_{1ολικβ}}{P_{2ολικβ}} = \frac{[n_{μεθανιου} + n_{οξυγονου}]}{[n_{diox.anqr} + n_{atmoy}]} \times \frac{[T_1]}{[T_2]}$$

$$\frac{P_{1ολικβ}}{P_{2ολικβ}} = \frac{[1+2][T_1]}{[1+2][T_2]} = \frac{[T_1]}{[T_2]}$$

Η εξίσωση (vii) δείχνει ότι στην αντίδραση καύση μεθανίου και οξυγόνου, εφ' όσον είναι το νερό σε μορφή ατμού η πίεση μετά την καύση μέσα στο δοχείο είναι ακριβώς μια αναλογία των πριν και μετά της καύσης θερμοκρασιών, δηλ.

$$P_{2ολικβ} = [P_{1ολικβ}][T_2 / T_1]$$

Καθώς το αέριο μίγμα των προϊόντων της καύσης ψύχεται σε σταθερή θερμοκρασία, 0°C ή 273°K, ο υδρατμός συμπυκνώνεται έξω ως υγρό ύδωρ. Κατά συνέπεια, αντί αυτού 3 όγκοι mole των αερίων προϊόντων, υπάρχει μόνο ένα, διοξείδιο του άνθρακα. Η εξίσωση (vii) γίνεται:

$$(viii) \quad \frac{P_{1ολικβ}}{P_{2ολικβ}} = \frac{[n_{μεθ} + n_{οξυγονου} R]}{[n_{diox.anqr} R]} \times \frac{[T_1]}{[T_2]}$$

$$P_{1ολικβ} = [3/1][P_{2ολικβ}][T_1 / T_2]$$

Όταν το σφραγισμένο δοχείο τελικά ψύχεται σε 0°C ή 273°K, η προκύπτουσα πίεση θα είναι 337,8 mbar, ή περίπου το 1/3 της ατμοσφαιρικής πίεσης .

Μέχρι αυτό το σημείο, έχει υποθεθεί ότι η αντίδραση έχει προχωρήσει αργά και η θερμότητα που παράγεται μεταφέρεται ελεύθερα έξω από το δοχείο και στο περιβάλλον λίγο ή πολύ όπως απελευθερώνεται από την αντίδραση. Όταν αυτή η υπόθεση γίνεται, ο ιδανικός νόμος των αερίων είναι εφαρμόσιμος. Αυτοί οι τύποι αντιδράσεων περιγράφονται συχνά ως ισόθερμοι. Εντούτοις, για να κυριολεκτήσουμε, μια ισόθερμη αντίδραση είναι μια που εμφανίζεται σε μια σταθερή θερμοκρασία.

Εντούτοις, υπάρχουν περιπτώσεις όπου αυτή η υπόθεση δεν είναι έγκυρη. Σε περιπτώσεις όπου η αντίδραση προχωρά αρκετά ταχεία όπου δεν έχει υπάρξει αρκετός χρόνος για σπουδαία μεταφορά ενέργειας στο περιβάλλον, ή που υπάρχει αρκετή μόνωση για να αποτρέψει την ταχεία μεταφορά της ενέργειας στο περιβάλλον, η αντίδραση είναι αδιαβατική. Στις αδιαβατικές αντιδράσεις, δεν υπάρχει καμία μεταφορά θερμότητας, όλη η ενέργεια που παράγεται από την αντίδραση κρατείται μέσα στο σύστημα.

Για να προσθέσουμε περαιτέρω στον μερικές φορές κατάλογο σύγχυσης από χημικούς νόμους που έχουν παρουσιαστεί, υπάρχει ένα πόρισμα στο νόμο του Dalton των μερικών πιέσεων που είναι μερικές φορές χρήσιμο να το ξέρουμε. Καλείται νόμος του Amagat· δηλώνει ότι ο συνολικός όγκος ενός μίγματος μεμονωμένων αερίων που όλα έχουν την ίδια θερμοκρασία και πίεση είναι το άθροισμα των όγκων των μεμονωμένων αερίων σε εκείνη την ίδια θερμοκρασία και πίεση. Αν και στο νόμο του Dalton των μερικών πιέσεων οι μεμονωμένες πιέσεις αθροίζονται, στο νόμο του Amagat, οι μεμονωμένοι όγκοι αθροίζονται.

Εάν ένα πρόσωπο θέλει να είναι πιο ακριβολόγος όσον αφορά τη πίεση μετά την καύση στο δοχείο στο παράδειγμα αντίδρασης μεθανίου και οξυγόνου, κατόπιν ο όγκος του υγρού νερού πρέπει να εξηγηθεί. Η μάζα 2 μετρικών mole του υγρού ύδατος είναι 36 γραμμάρια και καταλαμβάνει έναν όγκο περίπου 0,036 λίτρων. Κατά συνέπεια, τα 44,8 λίτρα του υδρατμού που παράγονται στην αντίδραση θα μπορούσαν, επάνω στην ψύξη, να συμπυκνωθούν σε 0,036 λίτρα υγρού ύδατος. Λόγω αυτού, το υπόλοιπο αεριώδες διοξείδιο του άνθρακα δεν θα διαστελλόταν σε ένα δοχείο 67,2 λίτρων, αλλά στο ένα περιέχοντας 67,164 λίτρα. Το υγρό ύδωρ θα καταλάμβανε το υπόλοιπο.

Αυτή η μικρή αλλαγή στο διαθέσιμο όγκο στον οποίο το αεριώδες διοξείδιο του άνθρακα θα διαστελλόταν αλλάζει ελάχιστα την υπολογισμένη πίεση του διοξειδίου του άνθρακα σε 337,9 mbar. Εάν απαιτείται ακόμη περισσότερη ακρίβεια, η πίεση ατμού πάνω από το υγρό ύδωρ πρέπει επίσης να ερμηνευθεί. Στους 0°C, το υγρό ύδωρ έχει μια πίεση ατμού 3,4 mbar. Συνεπώς, η συνολική πίεση στο δοχείο αφότου έχει ψυχθεί στην τυποποιημένη θερμοκρασία είναι 341,3 mbar. Ετσι, μετά από την παραπάνω, οι όγκοι των μη-αερίων μπορούν να αμεληθούν στους υπολογισμούς όγκου.

B. Περιορισμοί του Νόμου Ιδανικών Αερίων

Ένα πλεονέκτημα του νόμου ιδανικών αερίων είναι ότι είναι μια σχετικά απλή αλγεβρική έκφραση. Είναι εύκολο να λυθεί, εύκολο να εφαρμοστεί για τις περισσότερες κοινές εφαρμογές και παρέχει ακριβή αποτελέσματα.

Εντούτοις, ο νόμος ιδανικών αερίων έχει μερικούς περιορισμούς και ο μηχανικός αλλά και ο κάθε ενδιαφερόμενος πρέπει να γνωρίζει. Υποθέτει ότι η έλξη ή η απώθηση μεταξύ των μεμονωμένων μορίων αερίου είναι αμελητέα. Κατά συνέπεια, όταν οι πιέσεις και οι θερμοκρασίες είναι σε τάξη όπου τέτοιες διαμοριακές δυνάμεις είναι χαμηλές, ο νόμος των ιδανικών αερίων είναι ακριβής.

Εάν, εντούτοις, οι πιέσεις και οι θερμοκρασίες είναι σε τάξεις όπου οι διαμοριακές δυνάμεις δεν είναι αμελητέες, όπως όταν το αέριο είναι πολύ πυκνό και ζεστό, ένα καλύτερο πρότυπο για τη συμπεριφορά του αερίου είναι ο νόμος του Van der Waal. Η έκφραση για το νόμο του Van der Waal δίνεται στην ακόλουθη εξίσωση.

$$(ix) \quad [P + n^2a/V^2][V - nb] = nRT \quad \text{Νόμος Van der Waal's}$$

ο νόμος του Van der Waal όπου το a και το b είναι σταθερές και n =ο αριθμός των mole.

Μερικές χαρακτηριστικές τιμές για τις σταθερές " a " και " b " που χρησιμοποιούνται στο νόμο του Van der Waal δίνονται παρακάτω. Οι τιμές δίνονται σε μετρικές μονάδες χρησιμοποιώντας lt και mbar. (Μια ατμόσφαιρα είναι ίση με 1.013,3 mbar). Σημειώστε ότι εάν το " a " και το " b " ήταν και το δύο μηδέν, ο νόμος του Van der Waal θα απλοποιούνταν στον ιδανικό νόμο των αερίων.

Πίνακας 1: Μερικές Σταθερές Van der Waal's

Αέριο	"a"	"b"
O ₂	1378(l ²)(millibars)/(g-mole) ²	0.0318(l)/g-mole
N ₂	1408(l ²)(millibars)/(g-mole) ²	0.0391(l)/g-mole
CO ₂	3638(l ²)(millibars)/(g-mole) ²	0.0427(l)/g-mole
CO	1510(l ²)(millibars)/(g-mole) ²	0.0399(l)/g-mole
C ₃ H ₈	2283(l ²)(millibars)/(g-mole) ²	0.0428(l)/g-mole
CH ₄	8780(l ²)(millibars)/(g-mole) ²	0.0845(l)/g-mole
H ₂ O	5537(l ²)(millibars)/(g-mole) ²	0.0305(l)/g-mole
H ₂	247,7(l ²)(millibars)/(g-mole) ²	0.0266(l)/g-mole

Η τιμή του "a" στην εξίσωση van der Waal είναι ένα μέτρο έλξης μεταξύ των μορίων του αερίου. Ο όρος " b" συσχετίζεται με τον όγκο των ίδιων των μορίων και τα τη σχετική μεταξύ τους ασυμπίεστοτητα. Τα αέρια με τις υψηλές τιμές "a" γενικά υγροποιούνται σε υψηλότερες θερμοκρασίες από αυτά με τις χαμηλότερες τιμές "a" λόγω της μεγαλύτερης διαμοριακής έλξης.

Ομοίως, τα μόρια με χαμηλές τιμές του " b" τείνουν να υγροποιηθούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, λόγω του μικρότερου μεγέθους του μορίου που αποτρέπει τις ελκυστικές δυνάμεις από να αποκτήσουν στην κατοχή τους το παιχνίδι πιο σύντομα εξαιτίας της διαμοριακής απόστασης.

Λόγω των μαθηματικών πλεονεκτημάτων του νόμου ιδανικών αερίων πέρα από το νόμο Van der Waal, άλλη μια σχέση με την απόκλιση της πραγματικής συμπεριφοράς των πραγματικών αερίων από τον νόμο των ιδανικών αερίων έχει αναπτυχθεί, περιλαμβάνοντας τη χρήση ενός παράγοντα διόρθωσης, αποκαλούμενου συχνά παράγοντα συμπίεστοτητας, ο οποίος αντικαθίσταται στον ιδανικό νόμο των αερίων με τον ακόλουθο τρόπο:

$$(x) PV = ZnRT$$

όπου Z = παράγων συμπίεστοτητας.

Σε πιο ειδικούς όρους, ο παράγων Z συμπίεστοτητας είναι ο λόγος του όγκου του πραγματικού αερίου προς τον όγκο του ιδανικού αερίου, όπως προβλέπεται από τον νόμο των ιδανικών αερίων, στις συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Τα θερμοδυναμικά κείμενα αναφοράς έχουν πίνακες, γραφικές παραστάσεις, ή τύπους όπου οι παράγοντες Z μπορούν να επιλεγούν για κάθε τύπο αερίου σε διάφορες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας.

Μια σχετική έννοια, αποκαλούμενη τάση φυγής, χρησιμοποιείται επίσης για να διορθώσει τις αποκλίσεις ενός πραγματικού αερίου από τον νόμο των ιδανικών αερίων. Σε αυτήν τη μέθοδο, μια διορθωμένη πίεση, η πίεση φυγής αντικαθιστά την πίεση "P" στην έκφραση του νόμου των ιδανικών αερίων. Η αντικατάσταση της πίεσης φυγής κάνει τον νόμο των ιδανικών αερίων πιο ακριβές μοντέλο για τη συμπεριφορά του πραγματικού αερίου. Οι αναφορές θερμοδυναμικής παρέχουν τους πίνακες, τις γραφικές παραστάσεις ή τους τύπους που επιτρέπουν τη μετατροπή της πραγματικής πίεσης "P" στην αντίστοιχη πίεση φυγής.

Παρά τις αδυναμίες του νόμου ιδανικών αερίων, στις περισσότερες καταστάσεις που περιλαμβάνουν ανοικτού χώρου-πυρκαγιές η εφαρμογή της είναι ικανοποιητική.

Γ. Καύση στον αέρα

Στο τμήμα Α, η απλή καύση του μεθανίου και του καθαρού οξυγόνου συζητήθηκε. Εντούτοις, στις περισσότερες καταστάσεις πυρκαγιάς, το οξυγόνο δεν είναι διαθέσιμο ως καθαρή ουσία. Στις πυρκαγιές σε ανοιχτούς χώρους, το οξυγόνο παρέχεται στην πυρκαγιά ως συστατικό του αέρα.

Ο πίνακας 2 απαριθμεί τα χαρακτηριστικά συστατικά αέρια που βρίσκονται στον ξηρό αέρα στο επίπεδο της θάλασσας. Τα μολυσματικά αέρια και τα μόρια και ο υδρατμός παραλείπονται από τον κατάλογο, αν και σε μερικές εντοπισμένες περιοχές τα μολυσματικά αέρια και μόρια μπορούν να είναι σημαντικά συστατικά.

Πίνακας 2: Χαρακτηριστική Σύνθεση του Ξηρού Αέρα στο Επίπεδο της Θάλασσας

Συστατικά	κατά βάρος	επί τοις % κατ'όγκο	ppm
N ₂	28	78,08	780.800
O ₂	32	20,95	209.500
Ar	39,9	0,93	9.340
CO ₂	44	0,033	330
Ne	20,2	0,0018	18
He	4	0,0005	5
CH ₄	16	0,0002	2
Kr	83,8	0,0001	1
H ₂	2	0,00005	0,5
NO	30	0,00005	0,5
Xe	131,3	0,000009	0,09

Η ανάλυση του πίνακα 2 βρίσκει ότι τα συστατικά του αέρα μπορούν να διαιρεθούν σε δύο υποομάδες: σημαντικά συστατικά και δευτερεύοντα συστατικά. Το διατομικό άζωτο και οξυγόνο είναι τα σημαντικά συστατικά περιλαμβάνουν 99,03% αέρα κατ' όγκο. Όλα τα άλλα συστατικά που συνδυάζονται περιλαμβάνουν μόνο 0,97% του αέρα κατ' όγκο. Από τον πίνακα 2, μια μικρή εφαρμογή της άλγεβρας διαπιστώνει ότι το σταθμισμένο μέσο ατομικό βάρος του αέρα είναι 28,94.

Εάν η σύνθεση του αέρα τεθεί αυθαίρετα ώστε να είναι 78% άζωτο, 21% οξυγόνο, και 1% αργό και τα άλλα συστατικά αγνοούνται απλά, το σταθμισμένο μέσο ατομικό βάρος του αέρα θα ήταν 28,96.

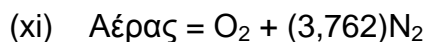
Αυτή η απλοποιημένη υπόθεση εισάγει μόνο ένα λάθος 0,07% όσον αφορά το μέσο ατομικό βάρος του αέρα. Εξετάζοντας τις καθημερινές μεταβολές στο μέσο ατομικό βάρος λόγω της υγρασίας και τις τοπικές συνθήκες, η απώλεια της ακρίβειας που εισάγεται από αυτήν την απλοποιημένη υπόθεση είναι στατιστικά κρυμμένη από άλλες μεταβολές οπωσδήποτε.

Αλλά μια περαιτέρω απλοποίηση μπορεί να γίνει εάν ο αέρας θεωρείται ότι αποτελείται από μόλις 79% άζωτο και 21% οξυγόνο. Με αυτήν την υπόθεση, το σταθμισμένο μέσο ατομικό βάρος του αέρα είναι 28,84. Αυτό ποικίλλει από το "πραγματικό" υπολογισμένο μέσο σταθμισμένο ατομικό βάρος στον πίνακα 2 από μόνο 0,35%.

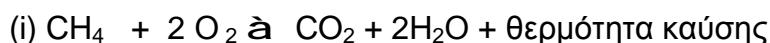
Κατά συνέπεια, για τις περισσότερες περιπτώσεις, είναι πρακτικό να εξεταστεί ο αέρας αποτελούμενος από 21% οξυγόνο και 79% άζωτο και αυτό απλοποιεί πολύ τις χημικές εξισώσεις καύσης χωρίς εισαγωγή σημαντικού λάθους. Εάν απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια, ο αέρας μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από 78% άζωτο, 21% οξυγόνο και 1% αργό. Είναι αμφισβητήσιμο ότι οποιοδήποτε υπολογισμοί που περιλαμβάνουν τις

πυρκαγιές ανοιχτού χώρου θα απαιτούσαν ένα επίπεδο ακρίβειας που θα απαιτούσε τη χρήση ολόκληρης της λίστας των συστατικών του πίνακα 2.

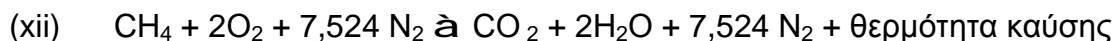
Εφαρμόζοντας τον νόμο Gay-Lussac στην απλουστευμένη εκδοχή του αέρα, διαπιστώνεται ότι για κάθε μόριο του διατομικού οξυγόνου υπάρχουν περίπου 3,762 μόρια του διατομικού αζώτου. Άρα, όποτε ένα mole του οξυγόνου χρησιμοποιείται σε μια χημική αντίδραση, 3,762 mole του διατομικού αζώτου εισάγονται επίσης στην αντίδραση. Εάν ένα αυθαίρετο mole του αέρα υποτίθεται ότι αντιστοιχεί ένα προς ένα με ένα mole οξυγόνου, τότε ένα τέτοιο mole αέρα θα μπορούσε να απεικονιστεί από τα εξής:



Ανακαλώντας τα στο τμήμα A, η χημική εξίσωση για την καύση του μεθανίου με το καθαρό οξυγόνο δόθηκε όπως:



Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (xi), μπορούμε τώρα να τροποποιήσουμε την εξίσωση (i) για να παρουσιάσουμε τη χημική εξίσωση για την καύση του μεθανίου στον αέρα. Η ακόλουθη εξίσωση δείχνει :

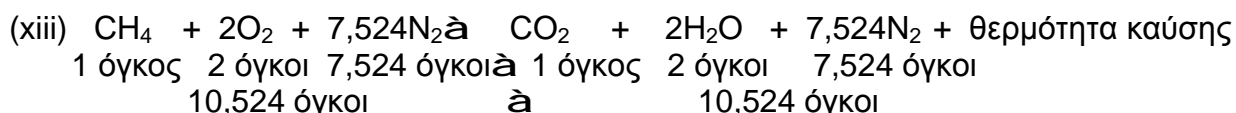


Μια χρήσιμη παράμετρος που αναφέρεται συχνά στις αντιδράσεις καύσης είναι η αναλογία αέρα-καυσίμου. Ο λόγος του αέρα προς το καύσιμο μπορεί να εκφραστεί και σε μονάδες μάζα προς μάζα, ή μονάδες όγκου προς όγκο όταν το καύσιμο είναι αέριο. Η αναλογία αέρα-καυσίμου δείχνει το θεωρητικό ποσό αέρα που θα κάψει ακριβώς μια μονάδα καυσίμων.

Παραδείγματος χάριν, στην εξίσωση (xii) το ατομικό βάρος των καυσίμων είναι 16 και το ατομικό βάρος του αέρα είναι 274,7. Άρα, σε μια αναλογία μαζών, η αναλογία αέρα-καυσίμου του μεθανίου είναι $(274,7)/(16)$ ή 17,17 έως 1. Με βάση την αναλογία όγκων, ο λόγος του αέρα προς το καύσιμο είναι 9,524 έως 1.

Για λόγους αυτής της ανάλυσης, το άζωτο στην εξίσωση καύσης θεωρείται αδρανές. Δεν αντιδρά με κανένα από τα αντιδραστήρια ή τα προϊόντα και δεν χωρίζεται ή μετασχηματίζεται σε μια διαφορετική ένωση. Βασικά, πηγαίνει στη μια πλευρά της αντίδρασης και εξάγεται στην άλλη λίγο πολύ χημικά αμετάβλητο. Εντούτοις, ο συνυπολογισμός του στο αντιδραστήριο και στο μίγμα προϊόντων προκαλεί μερικές ενδιαφέρουσες φυσικές και θερμοδυναμικές αλλαγές στην αντίδραση καύσης.

Για παράδειγμα, εάν υπάρχουν συχνά σημαντικές αλλαγές στις σχέσεις όγκου αντιδραστήριου-προϊόντος. Συγκρίνετε την καύση του μεθανίου στο καθαρό οξυγόνο, όπως φαίνεται στην εξίσωση (i), με την ακόλουθη εξίσωση καύσης του μεθανίου στον αέρα.



Εάν η αντίδραση πραγματοποιείται σε ένα κλειστό δοχείο σε σταθερές συνθήκες όπως πριν, κατόπιν το μεθάνιο ασκεί μια μερική πίεση 96,3 mbar, το οξυγόνο ασκεί μια μερική πίεση 192,6 mbar και το άζωτο ασκεί μια μερική πίεση 724,4 mbar.

Αφότου έχει ολοκληρωθεί η αντίδραση, ο υδρατμός έχει συμπυκνωθεί έξω ως υγρό και τα αέρια προϊόντα έχουν επιστρέψει στην τυποποιημένη θερμοκρασία, η πίεση των προϊόντων θα ήταν περίπου 843 mbar ή περίπου 0,83 ατμόσφαιρες. Κατά συνέπεια, η

συμπύκνωση του ύδατος από τα προϊόντα μιας καύσης μεθανίου και αέρα δεν θα οδηγούσε τόσο σε μια μεγάλη πτώση πίεσης στο δοχείο όπως όταν καίγονται μόνο το μεθάνιο και το καθαρό οξυγόνο.

Επιπρόσθετα στην αλλαγή των σχέσεων όγκου, η παρουσία του αδρανούς διατομικού αζώτου στο μίγμα προϊόντων τείνει να χαμηλώσει τη θερμοκρασία των προϊόντων. Το ποσό θερμότητας που αποδίδεται από την καύση του καυσίμου είναι σταθερό σε βάση ανά γραμμομόριο καυσίμου, ένα μόριο του μεθανίου παράγει μόνο του τόση πολλή θερμότητα όταν οξειδώνεται. Κατά την εξέταση της αντίδρασης μεθανίου και καθαρού οξυγόνου, υπάρχει μόνο διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμός για να απορροφήσει τη θερμότητα μετέπειτα. Η θερμότητα της καύσης που απελευθερώνεται από την αντίδραση χρησιμοποιείται μόνο για να αυξήσει τη θερμοκρασία εκείνων των δύο προϊόντων.

Εντούτοις, όταν χρησιμοποιείται ο αέρας αντί του καθαρού οξυγόνου, τα προϊόντα της καύσης αναμιγνύονται με ένα μεγάλο ποσό αδρανούς αζώτου που θερμαίνεται μαζί με το υπόλοιπο των προϊόντων καύσης. Στην πραγματικότητα, υπάρχει περισσότερο άζωτο κατά βάρος στο μίγμα από οποιοδήποτε άλλο συστατικό. Στην αντίδραση που σημειώνεται στην εξίσωση (xiii), το συνολικό ατομικό βάρος των προϊόντων είναι 290,7. Το ατομικό βάρος του αζώτου είναι μόνο 210,7 ή 72% της συνολικής μάζας. Επειδή το ίδιο ποσό θερμότητας πρέπει τώρα να διανεμηθεί σε 3,63 φορές περισσότερη μάζα, η θερμοκρασία που επιτυγχάνεται από τα προϊόντα αμέσως μετά από την καύση θα είναι σημαντικά λιγότερη.

Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο, όταν επιδιώκονται οι εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες, τα καύσιμα καίγονται στο καθαρό οξυγόνο αντί του αέρα. Εντούτοις, ο αέρας είναι ελεύθερος και το καθαρό οξυγόνο είναι ακριβό. Εκτός αυτού, η λειτουργία στις σημαντικά υψηλότερες θερμοκρασίες καύσης απαιτεί τη χρήση των υψηλής θερμοκρασίας ανθεκτικών υλικών, η οποία είναι επίσης ακριβή. Δεδομένου ότι το καθαρό οξυγόνο είναι ο ίδιος ένας κίνδυνος πυρκαγιάς, ορισμένες προφυλάξεις και κανονισμοί για την ασφάλεια πρέπει να ακολουθηθούν όταν χρησιμοποιείται. Αυτό, φυσικά, εισάγει ένα προστιθέμενο επίπεδο πολυπλοκότητας σχεδίου στον εξοπλισμό καύσης. Δεδομένου ότι μόνο μερικές διαδικασίες μπορούν να δικαιολογήσουν την πρόσθετη δαπάνη που συνδέεται με τη χρησιμοποίηση του καθαρού οξυγόνου, οι περισσότερες βιομηχανικές, εμπορικές και οικιακές καύσεις γίνονται με τον απλό αέρα.

Στις βιομηχανικές καταστροφικές πυρκαγιές, εντούτοις, η αρχή για την καύση που εμφανίζεται με ένα καθαρό οξειδωτικό υλικό πρέπει να εξεταστεί καλά. Εάν εκεί υπάρχει μια πηγή καθαρού οξειδωτικού υλικού μέσα σε μια αποθήκη εμπορευμάτων ή ένα εργοστάσιο, η προκύπτουσα πυρκαγιά όταν εκείνα τα υλικά καούν μπορεί να είναι σημαντικά πιο καυτή και πιο επικίνδυνη. Τέτοιες πυρκαγιές μπορούν να καίνε τόσο μανιωδώς που η θερμότητα από την ακτινοβολία από μόνη της μπορεί να είναι πολύ σφοδρή για τους απροστάτευτους πυροσβέστες ώστε να πλησιάσουν αρκετά κοντά να σβήσουν την πυρκαγιά. Γι' αυτό οι μεγάλες συγκεντρώσεις των παραγόντων οξειδωσης που αποθηκεύονται στις αποθήκες εμπορευμάτων απαιτούν ειδική προστασία για να αποτρέψουν την καύση και απαιτούν ειδικές διαδικασίες όταν διαδικασίες προσβολής του πυρός είναι εν εξελίξει.

Δ. Ατελής καύση

Σε όλες τις εξισώσεις καύσης που εξετάστηκαν μέχρι τώρα, η αντίδραση καύσης υποτίθεται ότι ήταν τέλεια. Υπό αυτή την έννοια, το "τέλεια" χρησιμοποιείται για να σημάνει ότι όλα τα καύσιμα καίγονται, όλο το αντιδραστήριο οξυγόνο καταναλώνεται, όλα τα προϊόντα είναι πλήρως οξειδωμένα και δεν μπορούν να αντιδράσουν περαιτέρω και δεν υπάρχουν κατάλοιπα αντιδραστήρια εκτός από ενδεχομένως κάποιο ατμοσφαιρικό άζωτο

που είναι μαζί στη μεταφορά. Μια τέτοια τέλεια κατάσταση καύσης καλείται συχνά στοιχειομετρική αντίδραση.

Ενώ η ελεγχόμενη καύση σε έναν υψηλής αποδοτικότητας λέβητα, έναν στρόβιλο αερίου, ή έναν κλίβανο μπορεί να φτάσει πολύ κοντά στις στοιχειομετρικές συνθήκες, η ανεξέλεγκτη φωτιά συνήθως όχι. Σε μια ανεξέλεγκτη φωτιά όπου ο αέρας παρέχεται σαν αποτέλεσμα φυσικής μεταφοράς δεν υπάρχει συνήθως αρκετός αέρας για να καεί πλήρως το διαθέσιμο φορτίο καυσίμων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η αντίδραση καύσης συνεχίζει με μόνο τη μερική οξειδωση των καυσίμων.

Για παράδειγμα, υποθέστε ότι μια σταθερή αντίδραση καύσης θα μπορούσε να διατηρηθεί χρησιμοποιώντας μόνο το μισό ποσό αέρα που απαιτήθηκε για τη στοιχειομετρική καύση του μεθανίου. Η εξίσωση καύσης μπορεί να είναι κάτι σαν την εξής :



όπου το w , το x , το y και το z είναι άγνωστοι συντελεστές.

Από τη διατήρηση της μάζας στην ανωτέρω εξίσωση. Είναι γνωστό ότι

$$w + x = 1, \quad y + z = 2 \quad \text{και} \quad w + (x/2) + (y/2) = 1.$$

Μια αλγεβρική παραποίηση βρίσκει τις ακόλουθες πρόσθετες σχέσεις :

$$x = y, \quad w + y = 1, \quad w = z \quad \text{και} \quad z + x = 1.$$

Από τις ακριβώς ανωτέρω εξισώσεις, φαίνεται ότι δεν υπάρχει καμία μοναδική αλγεβρική λύση στο σχηματισμό των προϊόντων της καύσης. Ο μόνος τρόπος να αποκαλυφθεί πραγματικά τι συμβαίνει στην αντίδραση καύσης είναι να σημειωθούν οι συνθήκες της καύσης, να ελέγξουμε δειγματοληπτικά τα προϊόντα της καύσης, να γίνει χημική ανάλυση των δειγματοληψιών και έπειτα να καθορίσουμε τις ποσοτικές σχέσεις μεταξύ των διάφορων προϊόντων.

Εντούτοις, όπως οι ανωτέρω εξισώσεις δείχνουν, εάν ο μοναδικός άγνωστος συντελεστής x όπου καθορίστηκε από τη χημική ανάλυση, οι άλλοι συντελεστές μπορούν να λυθούν αμέσως. Κατά συνέπεια, μια απλή δοκιμή για να καθορίσουμε την αναλογία του διοξειδίου με το μονοξείδιο του άνθρακα θα ήταν επαρκής για να καθορίσει όλα τα άλλα συστατικά στην εξίσωση (xiv).

Η δειγματοληψία αερίων μιας σωλήνας ή μιας καπνοδόχου γίνεται συνήθως προκειμένου να ελεγχθεί η αποδοτικότητα της καύσης των εμπορικών λεβήτων, των κλίβανων και του εξοπλισμού καύσης. Γίνεται με ποικίλο εξοπλισμό δοκιμής. Η πληρέστερη ανάλυση του αερίου σωλήνων γίνεται με μια συσκευή Orsat Apparatus' φυσικά δείγματα αυτών των συσκευών το αέριο σωλήνων και διέρχεται μέσω μιας σειράς αντιδραστήριων. Κάθε αντιδραστήριο απορροφά επιλεκτικά και με αυτόν τον τρόπο ανιχνεύει το ποσό ενός ιδιαίτερου συστατικού μέσα στο αέριο δείγμα σωλήνων. Οι εξειδικευμένες συσκευές είναι επίσης διαθέσιμες που ελέγχουν μεμονωμένα ή σε συνδυασμό για περιεκτικότητα σε οξυγόνο, περιεκτικότητα διοξείδιο του άνθρακα, περιεκτικότητα σε μονοξείδιο του άνθρακα, άκαυτη περιεκτικότητα σε καύσιμο, οξείδια του αζώτου και οξείδια του θείου.

E. Χρωματισμός Καπνού και Πυρκαγιάς

Συνήθως τα σύννεφα του καπνού που φαίνονται σε τεράστια κύματα από μια ανεξέλεγκτη πυρκαγιά χρωματίζονται πρώτιστα από τα μόρια των άκαυστων ή μερικώς

καμένων καυσίμων. Μερικές φορές το χρώμα του καπνού μπορεί να παρέχει μια ένδειξη ως προς τι καίγεται.

Για παράδειγμα, ο καπνός από το κάψιμο της βενζίνης, ελαστικών ροδών, πετρέλαιο ασφάλτου και μηχανής εμφανίζεται συχνά αδιαφανής μαύρος ή γκριζός. Μερικοί τύποι υδραυλικών ρευστών μπορούν να έχουν έναν γκριζό ή άσπρο χρωματισμένο καπνό. Καίγοντας χλώριο μπορεί να εκπέμψει έναν πράσινο ή κιτρινωπό πράσινο καπνό. Το νιτρικό οξύ μπορεί να εμφανιστεί κιτρινωπό καφετί, το βρώμιο μπορεί να εμφανιστεί καφετί, το ιώδιο μπορεί να εμφανιστεί πορφυρό και τα λοιπά.

Ο πίνακας 3 απαριθμεί μερικές ουσίες που μπορούν να χρωματίσουν τον καπνό όταν καίγονται πλήρως ή μερικώς.

Πίνακας 3: Μερικά Μίγματα ή Στοιχεία που Μπορεί να Χρωματίσουν τον Καπνό

Μίγμα / Στοιχείο	Χρώμα Ατμών ή καπνών
Αλουμίνιο	ασπρισμένο, ίσως αστραφτερό
Νιτρικό και νιτρώδες άλας	καφέ
Ιώδιο	βιολετί
Νιτρικό οξύ	κίτρινο ή καφέ
NO ₂ από νιτρικό άλας	καφέ
Ca ⁺⁺ κατιόντα	καφεκόκκινο
Sr ⁺⁺ κατιόντα	βαθύ κόκκινο
Ba ⁺⁺ κατιόντα	πράσινο
K ⁺ κατιόντα	βιολετί
Na ⁺⁺ κατιόντα	κίτρινο
Cu ⁺⁺ κατιόντα άλατος	πράσινο
Άλατα	πράσινο
Μίγματα καισίου	βιολετί
CuCl ₂	μπλε (του καθαρού ουρανού)
CuBr ₂	Μπλε / πράσινο (του καθαρού ουρανού)
Μόλυβδος, αρσενικό	ελαφρύ μπλε
Μίγματα θαλλίου	πράσινο
Μίγματα λιθίου	πράσινο
Fe	καφέ ή κίτρινο (πράσινο σε μια ελαττούμενη φλόγα)
Bi	καφέ ή κίτρινο (γκρι σε μια ελαττούμενη φλόγα)
Λευκός φώσφορος αστραφτερό	ασπρισμένο,

Πριν από την έλευση των σύγχρονων αναλυτικών μεθοδολογιών όπως η χρωματογραφία αερίου, η μαζική φασματοσκοπία και η υπέρυθη φασματοσκοπία, μια κοινή εργαστηριακή τεχνική για τον προσδιορισμό ουσιών ήταν δοκιμή της φωτιάς. Σε αυτήν την διαδικασία, τα δείγματα των ουσιών που προσδιορίζονται τοποθετούνται στη φλόγα ενός καυστήρα Bunsen, συνήθως στο οξειδωτικό κομμάτι της φλόγας και το προκύπτον χρώμα σημειώνεται.

Ένας συνήθως χρησιμοποιούμενος τύπος δοκιμής φλογών καλείται δοκιμή Borax Bead. Σε αυτήν την διαδικασία, ένας βρόγχος καλωδίου θερμαίνεται μέχρι να γίνει κόκκινο καυτό και έπειτα βυθίζεται σε κάποιο τετραβορικό νάτριο (βόρακας). Ο καλυμμένος με βόρακα βρόγχος τοποθετείται έπειτα πίσω στη φλόγα έως ότου λειώσει και διαμορφώσει μια σαφή, διαφανή χάντρα μέσα στο βρόχο καλωδίων. Τα μικρά ποσά δειγμάτων των στοιχείων που εξετάζονται δεσμεύονται και συλλέγονται έπειτα με το άγγιγμα με την καυτή

χάντρα βόρακα. Το υλικό τίθεται έπειτα στην οξειδωτική ζώνη του καυστήρα Bunsen έως ότου συνδυαστούν τα υλικά δειγμάτων μέσα στη χάντρα. Ο προκύπτων χρωματισμός της χάντρας είναι ένας δείκτης από ποιες ουσίες το άγνωστο υλικό μπορεί να έχει συντεθεί.

Οι πίνακες των χρωματισμών που συνδέονται με την εφαρμογή της δοκιμής χαντρών βόρακα παρατίθενται ακόμα σε μερικά κείμενα αναφοράς χημείας. Ενώ παραγκωνίζεται κατά ένα μεγάλο μέρος στο εργαστήριο από περιπλοκότερες τεχνικές προσδιορισμού η δοκιμή χαντρών βόρακα είναι ακόμα ένας τύπος χρήσιμης μεθόδου προσδιορισμού για τις ανόργανες ενώσεις ειδικά όταν είναι ενοχλητικό να κινηθούμε δύσκολα γύρω από έναν χρωματογράφο αερίου. Τα υλικά που απαιτούνται για τη δοκιμή χαντρών βόρακα είναι φτηνά, απλά και εύκολο να παρθούν και η δοκιμή είναι σχετικά εύκολο να γίνει ακόμη και για τα πρόσωπα με λίγη εργαστηριακή εμπειρία.

Εντούτοις, επιστρέφοντας κοντά στο θέμα, στην αναθεώρηση της αντιστοιχίας των διάφορων χρωμάτων στον πίνακα 3 στις σχετικές ουσίες τους, είναι φαινομενικά εκεί ένα σημαντικό πρόβλημα με τη χρησιμοποίηση του χρωματισμού καπνού ή πυρκαγιάς ως προσδιοριστικό. Πρώτα απ' όλα είναι το γεγονός ότι διάφορες ενώσεις και στοιχεία μπορούν να παράγουν τον ίδιο χρωματισμό, ή σχεδόν τον ίδιο. Ο καφέ, παραδείγματος χάριν, είναι ένα κοινό χρώμα που παράγεται από έναν μεγάλο αριθμό συνδυασμών, κατιόντων και στοιχείων. Εν ολίγοις, πολλές διαφορετικές ουσίες μπορούν να παράγουν τον ίδιο χρωματισμό.

Δεύτερον είναι το γεγονός ότι οι περισσότερες από τις πυρκαγιές που απαιτούν έρευνα είναι ανεξέλεγκτες. Σε μια εργαστηριακή τοποθέτηση, μόνο ένα στοιχείο τη φορά της φλόγας δοκιμάζεται. Κατά συνέπεια, ο προκύπτων χρωματισμός αντιστοιχεί σε μόνο μια ουσία. Μια καιγόμενη αποθήκη εμπορευμάτων, εντούτοις, μπορεί να αποτελείται από το ασφάλι, σκυρόδεμα, γυαλί, αλουμίνιο, ξύλο, λινέλαιο, τον πίνακα γύψου και διάφορα υφαντά. Επιπλέον, μπορεί εκατοντάδες διαφορετικών στοιχείων που αποθηκεύονται στον κατάλογο όλα αυτά τα στοιχεία μπορούν να κάψουν ή να οξειδώσουν και τα χρώματα των μεμονωμένων φλογών τους και ο καπνός θα αναμιχθούν σε άγνωστες αναλογίες το ένα με το άλλο.

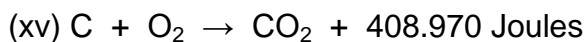
Εν ολίγης, ενώ ο χρωματισμός φλογών ή καπνού μπορεί να παρέχει τις ενδείξεις για τη φύση του φορτίου της πυρκαγιάς, από μόνο του δεν μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστος και μοναδικός δείκτης.

ΣΤ. Θερμότητα Σχηματισμού

Όταν μια ένωση σχηματίζεται ελεύθερα από την αντίδραση δύο ή ενδεχομένως περισσότερων ουσιών, θερμότητα εκπέμπεται κατά τη διάρκεια του σχηματισμού της νέας ένωσης. Αυτή η θερμότητα καλείται θερμότητα σχηματισμού της ουσίας μερικές φορές καλείται επίσης ενθαλπία σχηματισμού. Μια αντίδραση που εκπέμπει θερμότητα καλείται εξώθερμη αντίδραση. Δεδομένου ότι η ενέργεια που εκπέμπεται κατά τη διάρκεια του σχηματισμού μιας ουσίας μπορεί να ποικίλει με την πίεση και τη θερμοκρασία, η μέτρηση της θερμότητας σχηματισμού πρέπει να τυποποιηθεί για να είναι σημαντική. Κατά συνέπεια, η θερμότητα του σχηματισμού ορίζεται πιο κατάλληλα ως η θερμότητα που εκπέμπεται από ένα mole μιας ουσίας όταν σχηματίζεται από τα συνιστώμενα στοιχεία του στις τυποποιημένες συνθήκες στους 25°C και 1013.3mbar πίεση.

Για προφανείς λόγους, όλες οι αντιδράσεις καύσης όπου η καύση είναι αυτοσυντηρούμενη είναι εξώθερμες, διαφορετικά, η φωτιά θα έσβηνε από μόνη της. Οι αντιδράσεις που απαιτούν τη σταθερή προσθήκη της θερμότητας για να πραγματοποιηθούν καλούνται ενδόθερμες αντιδράσεις. Η διάκριση μεταξύ των φυσικά εμφανιζόμενων ενδοθερμικών και εξωθερμικών αντιδράσεων μπορεί να είναι πολύ σημαντική σε περιπτώσεις εμπρησμού. Όταν το αρχικό υλικό που κάηκε δεν μπορεί το ίδιο να στηρίξει την φωτιά χωρίς εξωτερικά καύσιμα ή θερμότητα να εφαρμόζονται σε αυτό, μπορεί να υποδηλώσει ότι "ενισχύθηκε" για να κάψει.

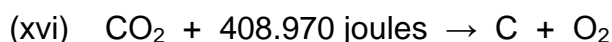
Ο καθαρός άμορφος άνθρακας αντιδρά με το καθαρó οξυγόνο, το προϊόν της αντίδρασης είναι διοξειδίο του άνθρακα, όπως φαίνεται στην εξίσωση (xv) κατωτέρω. Δεδομένου ότι το διοξειδίο του άνθρακα σχηματίζεται από τον άμορφο άνθρακα και το οξυγόνο, η θερμότητα αναπτύσσεται ή εκπέμπεται. Από τα αριθμητικά πειράματα έχει διαπιστωθεί ότι κάθε φορά που σχηματίζεται κατ' αυτό τον τρόπο διοξειδίο του άνθρακα, το ίδιο ποσό θερμότητας αναπτύσσεται ανά γραμμομόριο του άμορφου άνθρακα.



Μόλις αρχίσει, η αντίδραση του άμορφου άνθρακα με το καθαρó οξυγόνο για να σχηματίσει διοξειδίο του άνθρακα θα προχωρήσει από μόνη της έως ότου καταναλωθούν τα αντιδραστήρια. Η θερμότητα που εκπέμπεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας καύσης κρατά τη μετάβαση αντίδρασης. Επίσης, καθώς η θερμότητα απελευθερώνεται και η θερμοκρασία των αντιδραστηρίων αυξάνει, το ίδιο το ποσοστό αντίδρασης θα επιταχύνει.

Αυτό συμβαίνει επειδή το ποσοστό στο οποίο οι αντιδράσεις προχωρούν αυξάνεται καθώς η θερμοκρασία των αντιδραστηρίων αυξάνεται. Κατά συνέπεια, μόλις αρχίσει, μια φωτιά συχνά εμφανίζεται να αυτοτρέφεται και να αυξάνει σε ένταση όσο η παροχή φορτίου και αέρα προσφέρονται.

Εάν επιδιώκεται να δημιουργηθεί διοξειδίο του άνθρακα για να αποσυντεθεί πίσω σε άνθρακα και οξυγόνο, δηλαδή, για να αντιστραφεί η αντίδραση που παρουσιάζεται στην εξίσωση (xv), είναι απαραίτητο να προστεθούν τουλάχιστον 408.970 joule ενέργειας σε έναν γραμμομόριο διοξειδίου του άνθρακα. Αυτή η αντίδραση "αντίστροφης καύσης" είναι ενδοθερμική, επειδή δεν μπορεί να προχωρήσει μόνη της εκτός εάν ένα ελάχιστο συγκεκριμένο ποσό ενέργειας θερμότητας προστεθεί. Η ενδοθερμική εξίσωση της αντίδρασης για την αποσύνθεση του διοξειδίου του άνθρακα παρουσιάζεται παρακάτω.



Οι εξισώσεις (xv) και (xvi) επιδεικνύουν το νόμο του Lavoisier, ο οποίος προτάθηκε αρχικά το 1780. Ο νόμος του Lavoisier δηλώνει ότι το ποσό θερμότητας που αναπτύσσεται στο σχηματισμό μιας ένωσης είναι ίσο με το ποσό θερμότητας που απαιτείται για να αποσυνθέσει την ένωση πίσω στα αρχικά συστατικά της.

Z. Θερμότητα Καύσης και ο Νόμος Hess

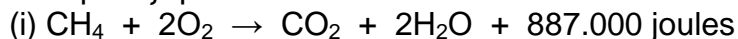
Ο όρος θερμότητα καύσης είναι πολύ παρεμφερής με την έννοια του όρου θερμότητα σχηματισμού. Έτσι, η διαφορά είναι ότι η θερμότητα της καύσης είναι η θερμότητα που αναπτύσσεται όταν μια ουσία οξειδώνεται ή καίγεται η θερμότητα της καύσης είναι πάντα εξωθερμική. Η θερμότητα του σχηματισμού μπορεί να περιγράψει τη θερμότητα είτε που εκπέμπεται είτε που απορροφάτε σε οποιαδήποτε αντίδραση, όχι μόνο σε αντιδράσεις καύσης.

Ένας από τους θεμελιώδεις κανόνες για την εργασία με θερμότητες καύσεως και θερμότητες σχηματισμού θεσπίστηκε πειραματικά το 1840 από τον G.H. Hess. Αρκετά παράξενα, καλείται νόμος του Hess, ή νόμος του Σταθερού Αθροίσματος της Θερμότητας. Δηλώνει ότι σε μια χημική αντίδραση, η αλλαγή στο περιεχόμενο της ενέργειας ή της θερμότητας μεταξύ των αντιδραστηρίων και των προϊόντων είναι σταθερή. Δεν πειράζει εάν η αντίδραση πραγματοποιείται σε ένα βήμα ή διάφορα βήματα.

Τα παρακλάδια του νόμου του Hess είναι πολύ σημαντικά. Σημαίνει ότι οι εξισώσεις της θερμότητας σχηματισμού και οι εξισώσεις της θερμότητας καύσης μπορούν να διαχειριστούν επιδέξια μαζί, αλγεβρικά, για τον ακριβή υπολογισμό των θερμοτήτων

σχηματισμού ή της καύσης των ουσιών των οποίων οι τιμές δεν έχουν καθοριστεί προηγουμένως πειραματικά.

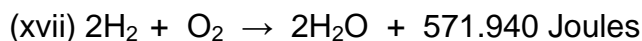
Για να επιδείξει πώς αυτό δουλεύει, θεωρήστε πάλι την καύση του μεθανίου με καθαρό οξυγόνο.



όπου η θερμότητα της καύσης του μεθανίου είναι 887.000 joules ανά γραμμομόριο μεθανίου.

Τώρα εξετάστε τη θερμότητα των εξισώσεων σχηματισμού που συνδέονται με τα προϊόντα της ανωτέρω αντίδρασης καύσης.

Όταν δύο mole του διατομικού υδρογόνου αναμιγνύονται με έναν mole του καθαρού οξυγόνου στην παρουσία ενός σπινθήρα ή μιας μικρής φλόγας, το υδρογόνο θα καεί στο οξυγόνο. Το νερό παράγεται και η θερμότητα αναπτύσσεται. Δεδομένου ότι η θερμότητα σχηματισμού ενός mole του ύδατος είναι 285.970 joules, τότε η χημική εξίσωση για το σχηματισμό του ύδατος δίνεται κατωτέρω.

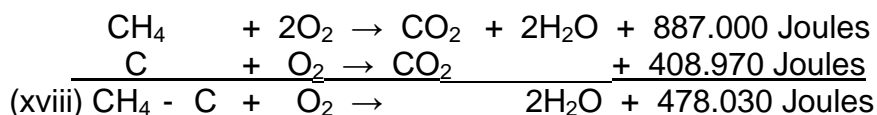


όπου το ύδωρ έχει ψυχθεί σε μια υγρή μορφή στους 25°C.

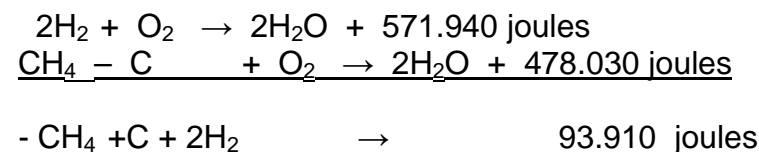
Όπως προηγουμένως συζητήθηκε, η αντίδραση ενός mole άμορφου άνθρακα με ένα mole του οξυγόνου παράγει διοξείδιο του άνθρακα και θερμότητα με τον ακόλουθο τρόπο:



Τώρα, εφαρμόζοντας το νόμο του Hess, εάν η εξίσωση (xv) αφαιρείται από την εξίσωση (i), κατόπιν το ακόλουθο λαμβάνεται :



Εάν η εξίσωση (xviii) αφαιρείται τώρα από την εξίσωση (xvii), το εξής λαμβάνεται:



Ρυθμίζοντας εκ νέου τους όρους, τα ανωτέρω γίνονται:



Η ανωτέρω εξίσωση, που παράγεται από τις εξισώσεις (i), (xv) και (xvii), δείχνει ότι η θερμότητα του σχηματισμού του μεθανίου που γίνεται από έναν mole άμορφου άνθρακα και 2 mole του διατομικού υδρογόνου είναι 93.910 joules ανά γραμμομόριο του μεθανίου. Ένας έλεγχος με την πειραματικά καθορισμένη πληροφορία στα κείμενα αναφοράς επιβεβαιώνει ότι η θερμότητα σχηματισμού για το μεθάνιο από τον άμορφο άνθρακα είναι πράγματι 93.910 joules.

Όταν ο νόμος Hess εφαρμόζεται για να καθορίσει απλά τη θερμότητα σχηματισμού για μια ιδιαίτερη ουσία, μπορεί να απλοποιηθεί στα εξής: η θερμότητα του σχηματισμού

μιας ουσίας είναι ίση με τη θερμότητα της καύσης της ουσίας λιγότερη από το ποσό των θερμότητων σχηματισμού των προϊόντων της καύσης εκείνης της ουσίας. Αλγεβρικά, αυτό εκφράζεται από τα εξής:

$$(xx) Q_f = Q_c - \Sigma(P_f)$$

όπου: Q_f = θερμότητα του σχηματισμού της ουσίας,

Q_c = θερμότητα της καύσης της ίδιας ουσίας, και

P_f = θερμότητα του σχηματισμού των μεμονωμένων προϊόντων της καύσης της ουσίας.

H. Καύση του Ξύλου

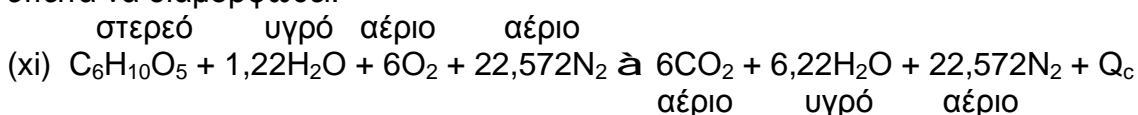
Από την ανάλυση της πρώτης ύλης, το ξύλο έχει την ακόλουθη στοιχειώδη σύνθεση:

υδρογόνο	8%
άνθρακας	38%
οξυγόνο	54%

Επίσης είναι γνωστό ότι το αποξηραμένο σε κλίβανο ξύλο έχει χαρακτηριστικά μια περιεκτικότητα σε ύδωρ 12% κατά βάρος.

Στο βασικό στοιχειώδες περιεχόμενο, η ανωτέρω ανάλυση της περιεχόμενης πρώτης ύλης και υγρασίας για το ξύλο ταιριάζει πολύ με τον εμπειρικό τύπο για την κυτταρίνη που αναμιγνύεται με νερό 12% κατά βάρος, ο οποίος είναι $C_6H_{10}O_5 + (1,22)H_2O$. Σαν παραλειπόμενα, ο εμπειρικός τύπος για την κυτταρίνη είναι επίσης το ίδιο όπως για τα φυτά το άμυλο και τα σάκχαρα, δύο άλλα σημαντικά συστατικά των δέντρων και των φυτών.

Βασισμένος στα ανωτέρω, ένας στοιχειομετρικός τύπος για την καύση του ξύλου μπορεί έπειτα να διαμορφωθεί:



όπου: Q_c = η θερμότητα καύσης.

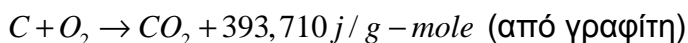
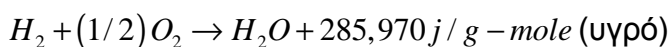
Δεδομένου ότι το χημικό πρότυπό μας για το ξύλο είναι οι πρώτοι δύο όροι στην αριστερή πλευρά της εξίσωσης (xix), κατόπιν το μοριακό βάρος ενός mole του κατάξερου ξύλου είναι 162. Για το ξύλο με μια περιεκτικότητα σε υγρασία 12%, το μοριακό βάρος είναι 184. Από την εξίσωση (xix), φαίνεται ότι περίπου 4,48 χιλιόγραμμα ή 3.479 λίτρα του αέρα απαιτούνται για να καεί κάθε χιλιόγραμμο του ξύλου υγρασίας 12%.

Η επιθεώρηση της εξίσωσης (xix) επίσης διαπιστώνει ότι εάν ο υδρατμός που περιλαμβάνεται στα προϊόντα παρέχεται για να συμπυκνώσει, ο όγκος των προϊόντων των αερίων είναι ο ίδιος με τον όγκο των αερίων των αντιδραστηρίων.

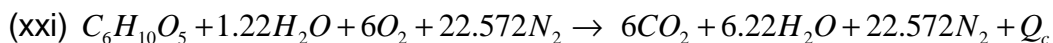
Τα διάφορα κείμενα αναφοράς δείχνουν ότι η θερμότητα της καύσης για ξύλο με μια περιεκτικότητα σε υγρασία 12% κατά βάρος είναι περίπου 4,28 kcal/g. Αυτός ο αριθμός περιλαμβάνει την ανάκτηση της θερμότητας που χρησιμοποιήθηκε στη μετατροπή του υγρού ύδατος σε ατμό και το κάψιμο του ξύλου όσο το δυνατόν πιο πολύ. Αυτό

μετατρέπεται σε 17.916 j/g. Εάν το κατάξερο ξύλο θεωρείται ότι έχει μοριακό βάρος 162, τότε η θερμότητα της καύσης είναι περίπου 2.902.400 joule ανά g κατάξερου ξύλου.

Οι θερμότητες σχηματισμού των προϊόντων της καύσης του ξύλου είναι ως ακολούθως:



Από τα παραπάνω, μια ενεργειακή ισορροπία μπορεί να γίνει για να καθορίσει το σχηματισμό του ξύλου από μόνο του.



$$\text{όπου } 6.22H_2O - 1.22H_2O = 5(285,970 \text{ j})$$

$$6CO_2 = 6(393,710 \text{ j})$$

$$22.572N_2 - 22.572N_2 = 0$$

$$6O_2 = 0$$

$$Q_c = 2,902,400 \text{ j/g - mole}$$

$$C_6H_{10}O_5 = Q_f$$

Στην εξίσωση (xxi), το (1.22)H₂O στην αριστερή πλευρά εξουδετερώνει το ίδιο ποσό νερού στη δεξιά πλευρά. Το διατομικό άζωτο, το οποίο υποτέθηκε ότι είναι αδρανές, ισορροπείται επίσης από την εξίσωση. Εντούτοις, οι θερμότητες σχηματισμού για το διατομικό υδρογόνο, το οξυγόνο, και το άζωτο είναι μηδέν σε κάθε περίπτωση, επειδή είναι τα ίδια τα συνιστώμενα κομμάτια σε 1 ατμόσφαιρα και 25°C. Με άλλα λόγια, σε 1 ατμόσφαιρα και 25°C, το διατομικό οξυγόνο, το υδρογόνο και το άζωτο είναι στη χαμηλότερη εμφανιζόμενη χημικά ενεργειακή έκφρασή τους.

Εφαρμόζοντας το νόμο του Hess υπό την μορφή της εξίσωσης (xx) στους ενεργειακούς τύπους που απαριθμούνται κάτω από την εξίσωση (xxi) παραπάνω και αντικαθιστώντας τις κατάλληλες θερμότητες σχηματισμού και καύσης, τα εξής λαμβάνονται για τη θερμότητα σχηματισμού του ξύλου :

$$(xxii) Q_f = 2,902,400 \text{ j} - [6(393,710 \text{ j}) + 5(285,970 \text{ j})]$$

$$Q_f = -889,700 \text{ j/g-mole} = -212,600 \text{ cal/g-mole} = -1,312 \text{ cal/g} = -5,492 \text{ j/g}$$

για ένα κατά βάση κατάξερο ξύλο.

Τα αποτελέσματα της εξίσωσης (XXII) δείχνουν ότι ο σχηματισμός του ξύλου είναι ενδοθερμικός, η ενέργεια πρέπει να παρασχεθεί για να σχηματίσει το ξύλο από τις βασικές δομικές μονάδες του τον άνθρακα, το υδρογόνο και το οξυγόνο. Όταν ένα γραμμάριο ξύλου σχηματίζεται, περίπου 5.492 Joules θερμότητας παρέχονται στη διαδικασία. Με άλλα λόγια, το ξύλο δεν σχηματίζεται μόνο του με φυσικό τρόπο ακριβώς επειδή οι πρώτες ύλες είναι κοντά.

Φυσικά, αυτό ισχύει για κάθε βιολογικά διαμορφωμένο υλικό. Όπως σημειώθηκε προηγουμένως, η διάκριση μεταξύ των αντιδράσεων που προχωρούν φυσικά λόγω της εξωθερμικής φύσης τους και των αντιδράσεων που μπορούν να προχωρήσουν μόνο όταν τους παρέχεται ενέργεια λόγω της ενδοθερμικής φύσης τους, είναι πολύ σημαντική στην ανάλυση σκηνών πυρκαγιών.

Δεδομένου ότι ο τύπος της πολυμερούς μονάδας για την κυτταρίνη είναι επίσης ο ίδιος τύπος πολυμερούς μονάδας για το άμυλο, η θερμότητα της καύσης για το άμυλο μπορεί να σχηματίσει έναν μάλλον θεωρητικό έλεγχο του μοντέλου κυτταρίνης του ξύλου μας.

Όπως σημειώνεται στα χημικά κείμενα αναφοράς, η θερμότητα της καύσης του αμύλου είναι 4.179 kcal/kg. Μετατρέποντας τις μονάδες και υποθέτοντας πάλι ένα μοριακό βάρος 162, αυτό δίνει μια θερμότητα καύσης για το άμυλο περίπου του 2.834.000 J/g-mole. Δεδομένου ότι η θερμότητα της καύσης για το κατάξερο ξύλο που χρησιμοποιήθηκε στο παράδειγμά μας ήταν 2.902.400 J/g-mole, έπειτα η θερμότητα της καύσης του αμύλου του φυτού ποικίλλει μόνο 2,4% από τη θερμότητα της καύσης του ξύλου που χρησιμοποιείται στο απλό πρότυπό μας. Φαίνεται έπειτα ότι η χρησιμοποίηση κυτταρίνης ή άμυλο φυτού ως πρότυπο για τις εξισώσεις καύσης του ξύλου είναι πολύ λογική.

Η προηγούμενη ανάλυση της καύσης του ξύλου είναι πολύ σημαντική στην κατανόηση των κοινών πυρκαγιών. Χρησιμοποιείται στα περισσότερα είδη ξύλινων προϊόντων όπως κοντραπλακέ, σκεπές, και εφαρμόζεται επίσης για ένα πλήθος ξύλο-παραγόμενων προϊόντων όπως το έγγραφο, το χαρτόνι και ακόμη μερικοί τύποι πλαστικών.

Περαιτέρω, δεδομένου ότι τα αρχικά συστατικά της καύσης του ξύλου είναι η κυτταρίνη, το άμυλο των φυτών και τα σάκχαρα των φυτών, τα οποία έχουν την ίδια ή πολύ παρόμοια στοιχειώδη σύνθεση, η ανάλυση της καύσης του ξύλου ισχύει επίσης εξίσου καλά για τα βαμβακερά υφάσματα, τα παραγόμενα από το λινάρι υφάσματα, τα παραγόμενα από αγαύη υφάσματα, δημητριακά, ορισμένα πλαστικά και άλλα παρόμοια προϊόντα που παράγονται από την ίνα και το άμυλο φυτών.

Επιπλέον, δεδομένου ότι το άμυλο των φυτών είναι ίδιο στον εμπειρικό τύπο του με το ζωικό άμυλο, γλυκογόνο, εφαρμόζεται επίσης για τα προϊόντα και τα στοιχεία που περιέχουν τα σημαντικά ποσά γλυκογόνου και γλυκογονούχα συστατικά.

Ενώ έχει μια μικρή άμεση σχέση επάνω στη διάγνωση των πυρκαγιών, είναι ενδιαφέρον να σημειωθούν οι ομοιότητες μεταξύ της χημείας των φυτών και της ζωικής χημείας. Ο ενδιαφερόμενος μελετητής μπορεί να επιθυμήσει να ελέγξει τις ομοιότητες της δομής του Heme (συστατικό της αιμογλοβίνης) και της χλωροφύλλης.

Θ. Αλλαγή Φάσης

Όταν το ύδωρ θερμαίνεται στην ατμοσφαιρική πίεση από ας πούμε τους 15°C έως ότου διαμορφώσει ατμό, για κάθε 4,186 joules της θερμότητας που προστίθεται σε ένα γραμμάριο ύδατος, η θερμοκρασία ύδατος θα αυξηθεί περίπου 1°C. Επειδή η θερμοκρασία του ύδατος αυξάνεται αναλογικά προς την προστιθέμενη θερμότητα, αυτό αναφέρεται μερικές φορές ως περιοχή αισθητής θερμότητας του ύδατος.

Αυτό ισχύει μέχρι το σημείο βρασμού, 100°C, να επιτευχθεί. Έπειτα από αυτό, η προσθήκη περισσότερης θερμότητας δεν αναγκάζει τη θερμοκρασία να αυξηθεί περαιτέρω, αλλά η θερμοκρασία μένει η ίδια μέχρι όλο το ύδωρ να ατμοποιηθεί, αλλά η πρόσθετη θερμότητα καταναλώνεται από τη διαδικασία της μετατροπής του υγρού ύδωρ σε ατμό.

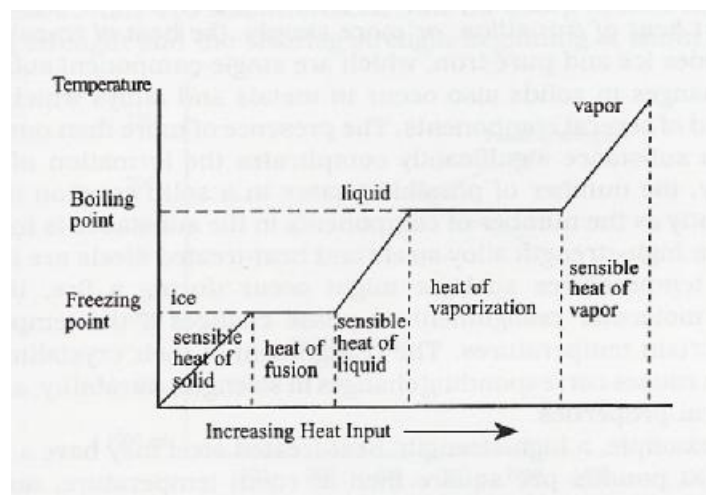
Επειδή η προσθήκη της θερμότητας σε αυτό το σημείο δεν προκαλεί μια αντίστοιχη αύξηση στη θερμοκρασία, αυτό αναφέρεται μερικές φορές ως περιοχή λανθάνουσας θερμότητας του ύδατος. Καλείται λανθάνον επειδή η θερμότητα που τίθεται στο ύδωρ είναι "κρυμμένη", δηλαδή, δεν φανερώνεται από μια αύξηση θερμοκρασίας.

Το ποσό θερμότητας που απαιτείται για να ολοκληρώσει την αλλαγή της φάσης από υγρό σε ατμό καλείται λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης, ή απλούστερα η θερμότητα της εξάτμισης. Η θερμότητα της εξάτμισης του ύδατος στο σημείο βρασμού και πίεσης μιας ατμόσφαιρας είναι 2.259 joules ανά γραμμάριο, ή περίπου 40.654 joules ανά g-mole.

Όταν όλο το υγρό ύδωρ μετατραπεί σε ατμό, κατόπιν η θερμοκρασία του ατμού θα αυξηθεί πάλι αναλογικά προς την προστιθέμενη θερμότητα. Αυτό είναι η περιοχή αισθητής θερμότητας του υδρατμού.

Μια παρόμοια επίδραση εμφανίζεται όταν σταθεροποιεί το ύδωρ ή παγώσει. Δεδομένου ότι το νερό ψύχεται από τους 15°C, για κάθε βαθμό Κέλσιου της πτώσης της θερμοκρασίας 4.186 joules θερμότητας πρέπει να εξαχθούν από κάθε γραμμάριο ύδατος. Αυτό ισχύει έως ότου φθάσουμε στους 0°C σε εκείνη την θερμοκρασία, η εξαγωγή περισσότερης θερμότητας από το νερό δεν αναγκάζει τη θερμοκρασία να πέσει άλλο αλλά αντί αυτού, η θερμοκρασία παραμένει η ίδια μέχρι να παγώσει όλο το νερό. Όταν όλο το νερό παγώσει, τότε η εξαγωγή περισσότερης θερμότητας θα αναγκάσει τη θερμοκρασία του πάγου να μειωθεί πάλι αναλογικά προς την αποσπώμενη θερμότητα.

Στο σχήμα 2.1 πιο κάτω είναι μια εξιδανικευμένη γραφική παράσταση για μια ουσία ενός συστατικού που παρουσιάζει αυτά τα αποτελέσματα αλλαγής φάσης. Ο κάθετος άξονας είναι η θερμοκρασία και ο οριζόντιος άξονας είναι η θερμότητα. Σημειώστε ότι στις αισθητές περιοχές η θερμοκρασία αυξάνεται γραμμικά όπως η θερμότητα προστίθεται ή αντίστροφα. Στις λανθάνουσες περιοχές θερμότητας η θερμοκρασία μένει επίπεδη όπως η θερμότητα προστίθεται και συνεχίζει έτσι έως ότου η αλλαγή φάσης ολοκληρωθεί.



Εικόνα 2.1: Διάγραμμα αλλαγής φάσης για ένα μόνο στοιχείο

Οι αλλαγές φάσης σε μια ουσία εμφανίζονται όχι μόνο μεταξύ των προφανώς διαφορετικών μορφών φάσεων, όπως το στερεό στο υγρό, ή του υγρού στο αέριο, αλλά μπορούν επίσης να εμφανιστούν μεταξύ των διαφορετικών τύπων στερεών της ίδιας ουσίας. Αυτό που εμφανίζεται σε τέτοιες στερεές αλλαγές φάσης λύσης είναι ότι η μοριακή δομή του στερεού αλλάζει από μια κρυστάλλινη μορφή σε άλλη.

Ο πάγος, παραδείγματος χάριν, έχει εννέα ξεχωριστές μοριακές διευθετήσεις ή φάσεις σε στερεά κατάσταση οι περισσότερες από τις οποίες είναι δυσδιάκριτες μεταξύ τους από το ανθρώπινο μάτι. Εντούτοις, είναι χαρακτηριστικό για τις διαφορετικές στερεές φάσεις μιας ουσίας να υπάρχουν οι διαφορετικές αναλογίες της εισαγωγής θερμότητας στην άνοδο της θερμοκρασίας και επίσης να υπάρχουν μετρήσιμες διαφορετικές φυσικές ιδιότητες.

Ο καθαρός σίδηρος υποβάλλεται σε τρεις αλλαγές φάσης όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του επάνω από τη θερμοκρασία δωματίου. Στη θερμοκρασία δωματίου και μέχρι τους 910°C, ο σίδηρος είναι στη φάση αποκαλούμενη άλφα-σίδηρο. Τα μόριά του τακτοποιούνται σε αυτό που καλείται χωροκεντρικό κυβικό σύστημα. Εν συντομία, ένα χωροκεντρικό κυβικό κρύσταλλο μοιάζει με ένα κιβώτιο με ένα μόριο σε κάθε γωνία του κιβωτίου συν ένα μόριο στο κέντρο του κιβωτίου.

Από τους 910°C στους 1.391°C, ο σίδηρος είναι γάμμα-σιδήρου φάση, η οποία είναι μια πρόσωπο-κεντροθετημένη κυβική κρυστάλλινη διαμόρφωση. Πρόσωπο-κεντροθετημένο κυβικό είναι ένα κιβώτιο με ένα μόριο σε κάθε γωνία και επίσης ένα μόριο που κεντροθετείται σε κάθε πρόσωπο του κιβωτίου. Από τους 1.391°C στους 1.539°C, ο σίδηρος είναι στη φάση του δέλτα-σιδήρου, όπου επανέρχεται σε μια χώρο-κεντροθετημένη κυβική κρυστάλλινη διαμόρφωση. Επάνω από τους 1.539°C, ο καθαρός σίδηρος λειώνει, η οποία είναι η αρχή της υγρής φάσης.

Όπως πριν, όταν εμφανίζεται μια αλλαγή φάσης σε μια στερεά ουσία, συνοδεύεται από μια περιοχή απορρόφησης λανθάνουσας θερμότητας, όπου μια εισαγωγή θερμότητας δεν προκαλεί μια αντίστοιχη αλλαγή στη θερμοκρασία της ουσίας. Όταν η αλλαγή στη φάση είναι από μια στερεά κρυστάλλινη δομή σε άλλη, η λανθάνουσα θερμότητα που απαιτείται για να ολοκληρώσει την αλλαγή καλείται λανθάνουσα θερμότητα της μετάβασης, ή απλούστερα, θερμότητα της μετάβασης.

Εκτός από τον πάγο και τον καθαρό σίδηρο, που είναι ουσίες ενός συστατικού, η αλλαγή φάσεων στα στερεά εμφανίζεται επίσης στα μέταλλα και τα κράματα που μπορεί να αποτελούνται από διάφορα συστατικά. Η παρουσία περισσότερων του ενός συστατικών σε μια ουσία περιπλέκει σημαντικά το σχηματισμό των φάσεων. Γενικά, ο αριθμός πιθανών φάσεων σε μια στερεά μορφή αυξάνεται σημαντικά όπως αυξάνει ο αριθμός των συστατικών στην ουσία.

Όταν τα υψηλής αντοχής κράματα χάλυβα και οι σε υψηλή θερμοκρασία χάλυβες θερμαίνονται στις ανυψωμένες θερμοκρασίες τέτοιες που μπορεί να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς, μπορεί να υποβληθούν σε μοριακές αλλαγές επανοργάνωσης ή αλλαγές φάσης εάν οι θερμοκρασίες υπερβαίνουν ορισμένες θερμοκρασίες. Η επανοργάνωση της κρυστάλλινης δομής τους προκαλεί συχνά τις αντίστοιχες αλλαγές στη δύναμη, τη διάρκεια και άλλες μηχανικές ιδιότητες.

Παραδείγματος χάριν, ένας υψηλής αντοχής, σε υψηλές θερμοκρασίες χάλυβας μπορεί να έχει μια δύναμη 185.000 λιβρών ανά τετραγωνική ίντσα στη θερμοκρασία δωματίου και μέχρι για 600°F η δύναμή του μπορεί να μην πέσει σημαντικά. Στην πραγματικότητα, για διάφορους λόγους, η δύναμη μπορεί πραγματικά να αυξηθεί ελαφρώς. Εντούτοις, στους 800°F ή παραπάνω, ενώ ο χάλυβας δεν λειώνει, υποβάλλεται "στη μετρίαση" και χάνει τη σημαντικές δύναμη και την ακαμψία. Η μετρίαση είναι ένας τύπος αλλαγής φάσης όπου η εσωτερική κρυστάλλινη δομή αναδιαμορφώνεται εκ νέου.

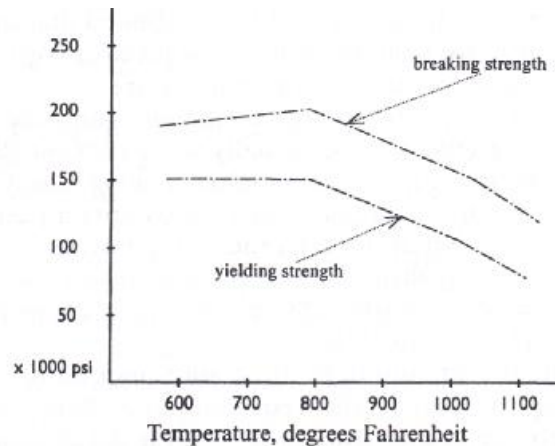
Η μετρίαση δεν είναι ανιχνεύσιμη από την απλή οπτική επιθεώρηση, αλλά μπορεί να ανιχνευθεί στο πεδίο με την χρήση των ελεγκτών σκληρότητας μετάλλων και στο εργαστήριο από διάφορες τεχνικές, συμπεριλαμβανομένης της εξέτασης των ειδικά προετοιμασμένων δειγμάτων κάτω από ένα μικροσκόπιο. Οι ελεγκτές σκληρότητας ελέγχουν πραγματικά τη σκληρότητα του μετάλλου με το χτύπημα αυτού με μικροσκοπικό διαμάντι-αιχμής σαν βελόνα. Το βάθος της διείσδυσης ανά ασκούμενη δύναμη της βελονοειδούς άκρης παρέχει μια ένδειξη της σκληρότητας και της δύναμης του χάλυβα.

Ο υψηλής αντοχής χάλυβας κραμάτων που έχει μετριάσει πλήρως λόγω της έκθεσης σε μια έντονη πυρκαγιά είναι μαλακός και σχετικά αδύνατος σε σύγκριση με τον αρχικό, σε συνθήκες πλήρως υψηλών θερμοκρασιών. Περαιτέρω, η αφαίρεση της πηγής θερμοκρασίας δεν αντιστρέφει τη μετρίαση. Μόλις μετριάσει, το μέταλλο μένει μετριάσμενο η διαδικασία δεν είναι εύκολα αντιστρέψιμη.

Κατά συνέπεια, ο χάλυβας που θα κρατήσει ψηλά ένα πάτωμα στους 500 °F κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς για ώρες στο τέλος, μπορεί να μην είναι σε θέση να κρατήσει ψηλά το ίδιο πάτωμα σε 800 °F για ακόμη και μια ώρα ή λιγότερο. Γι' αυτό οι κώδικες πυρκαγιάς οικοδόμησης απαιτούν συχνά δομικά τις κολώνες στήριξης από ασάλι και τα δοκάρια να τυλιχτούν από σανίδα γύψου ή άλλα υλικά παρακώλυσης της πυρκαγιάς, αυτό επιβραδύνει την πυρκαγιά να πάει στις υποστηρίξεις και τις κρατά κρύες για ένα μεγαλύτερο χρόνο και δίνει στους ανθρώπους περισσότερο χρόνο να βγουν από ένα καιγόμενο κτίριο προτού να καταρρεύσει.

Μερικές φορές το ποσό μετρίασης που έχει εμφανιστεί σε έναν υψηλής αντοχής χάλυβα κραμάτων το καθιστά δυνατό να συμπεράνει την αφαίρεση της θερμοκρασίας που εμφανίστηκε σε εκείνη την περιοχή. Αυτό είναι επειδή το ποσό μετρίασης είναι μια λειτουργία και της θερμοκρασίας και του χρόνου.

Το σχήμα 2.3 παρουσιάζει τη δύναμη συναρτήσεως της μετριάζουσας θερμοκρασίας μιας ικανής προς χρήση θερμότητας, AISI 410 ανοξειδωτός χάλυβας. Σημειώστε την απότομη πτώση και στη δύναμη θραύσεως και στον παράγοντα της δύναμης που ξεκινά στους 800 °F.



Σχήμα 2.2: Δύναμη ως προς τη θερμοκρασία του θερμικά επεξεργασμένου ανοξειδωτού χάλυβα 410

I. Θερμοχωρητικότητα, Ενθαλπία και Εσωτερική Ενέργεια

Εκτός από τη θερμότητα που συνδέεται με τις διαδικασίες αντιδράσεων και καύσης, ένα υλικό περιέχει επίσης ένα ορισμένο ποσό θερμότητας σαν συνέπεια της μάζας του και της θερμοκρασίας του. Παραδείγματος χάριν, ένας πλίνθος στη θερμοκρασία δωματίου έχει προφανώς τη λιγότερη θερμότητα σε αυτό από ένα πλίνθο που έχει ψηθεί σε έναν κλίβανο σε 400 °F για μια ώρα ή δύο. Επίσης, καθένας που έχει βράσει νερό ξέρει από την εμπειρία του ότι παίρνει περισσότερη θερμότητα να θερμάνεις δύο lt ύδατος σε ένα μεγάλο δοχείο από ότι ένα φλιτζάνι ύδατος σε βαθύ τηγάνι.

Το ποσό θερμότητας που μπορεί να κρατήσει μια ουσία σαν αποτέλεσμα της μάζας και της θερμοκρασίας του καλείται θερμοχωρητικότητα. Γενικά, εάν ξέρουμε πόση μάζα μιας ουσίας υπάρχει και σε ποια θερμοκρασία είναι, τότε το ποσό θερμότητας που περιέχει μπορεί να υπολογιστεί από μια απλή αλγεβρική έκφραση ή να διαβαστεί από έναν πίνακα. Χαρακτηριστικά, η αλγεβρική έκφραση για να υπολογίσει το ποσό θερμότητας που η ουσία περιέχει εφαρμόζεται στις περιοχές αισθητής θερμότητας της ουσίας, όπου η προσθήκη ή η εξαγωγή της θερμότητας προκαλεί μια ομαλή, αναλογικά αλλαγή στη θερμοκρασία της ουσίας.

Η μέτρηση του ακριβούς ποσού θερμότητας που μια ουσία περιέχει μπορεί να είναι κάπως αυθαίρετη ή σχετική. Στο παράδειγμά μας που χρησιμοποιεί τους πλίνθους, εάν ένα πρόσωπο προσπαθήσει να κρατήσει το ψημένο τούβλο χωρίς προστατευτικά μαξιλάρια θερμότητας είναι προφανές το ψημένο τούβλο περιέχει περισσότερη θερμότητα από αυτό στη θερμοκρασία δωματίου. Η διαφορά είναι απλά η θερμότητα που προστίθεται στο τούβλο από τον κλίβανο για να το κάνει πιο θερμό από αυτό στη θερμοκρασία δωματίου.

Εάν ένα παρόμοιο τούβλο ήταν τοποθετημένο σε ένα ψυγείο, θα ήταν επίσης προφανές ότι ένας που είχε μπει στο ψυγείο έχει λιγότερη ενέργεια θερμότητας από ακόμη το ένα στη θερμοκρασία δωματίου, ή το ένα που είχε ψηθεί στον κλίβανο. Στην πραγματικότητα, μπορεί να ειπωθεί ότι το τούβλο στο ψυγείο έχει αρνητική θερμότητα,

δεδομένου ότι θα αρχίσει να απορροφά θερμότητα από το περιβάλλον καθώς θερμαίνεται στη θερμοκρασία δωματίου.

Για αυτούς τους λόγους, η ενέργεια θερμότητας μετριέται συνήθως από κάποια κατάλληλη θερμοκρασία αναφοράς, συνήθως 0°C , 15°C ή 25°C . Χρησιμοποιώντας μια τέτοια αναφορά θερμοκρασίας, τι μετριέται πραγματικά είναι η διαφορά στο περιεχόμενο θερμότητας της ουσίας στην τρέχουσα θερμοκρασία της σε σύγκριση με αυτό στη θερμοκρασία αναφοράς.

Εντούτοις, εάν ένα πρόσωπο που επιθυμούσε, η θερμότητα που περιλήφθηκε σε μια ουσία σε οποιαδήποτε θερμοκρασία θα μπορούσε να μετρηθεί έναντι του ποσού που θα περιείχε στο απόλυτο μηδέν, -273.15°C or 0°K .

Εξ ορισμού, το ποσό ενέργειας που μια ουσία περιέχει στο απόλυτο μηδέν είναι είτε μηδέν, είτε λιγότερο του θεωρητικού ποσού. Κατά συνέπεια, η χρησιμοποίηση του απόλυτου μηδενός σαν θερμοκρασία αναφοράς θα πληροφορούσε ένα πρόσωπο για το απόλυτο ποσό ενέργειας θερμότητας που περιέχει μια ουσία παρά ένα σχετικό ποσό. Οι άνθρωποι που απασχολούνται στην κρυογεννητική, στη μελέτη μιας πραγματικά κρύας ουσίας, χρησιμοποιούν τακτικά το απόλυτο μηδέν ως σημείο αναφοράς τους για τις μετρήσεις θερμοχωρητικότητας.

Δεδομένου ότι το νερό και ο αέρας είναι κοινά υλικά, η θερμοχωρητικότητα μιας ουσίας συγκρίνεται συχνά με το νερό ή τον αέρα σε τυποποιημένες συνθήκες. Η αναλογία της θερμοχωρητικότητας μιας ουσίας συγκρινόμενης με το νερό ή τον αέρα καλείται η ειδική θερμότητά του. Γενικά, οι ειδικές θερμότητες των στερεών και των υγρών μετριούνται έναντι του νερού. Οι ειδικές θερμότητες των αερίων επίσης συνήθως μετριούνται έναντι του νερού, αλλά περιστασιακά μετριούνται έναντι του αέρα στις τυποποιημένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Κατά τη χρησιμοποίηση τιμών των ειδικών θερμοτήτων για τα αέρια από τον πίνακα κειμένου αναφοράς, να είστε βέβαιοι να ελέγξετε εάν τα αέρια συγκρίνονται με το νερό ή τον αέρα.

Παραδείγματος χάριν η θερμοχωρητικότητα του νερού ως υγρό στη θερμοκρασία δωματίου είναι γενικά $4,186 \text{ joules ανά } ^{\circ}\text{C ανά γραμμάριο ύδατος}$, ή

$$C_{\text{νερού}} = (4,186 \text{ j})/(^{\circ}\text{Cg})$$

Η θερμοχωρητικότητα του χαλκού στη θερμοκρασία δωματίου είναι:

$$C_{\text{χαλκού}} = (0,386 \text{ j}) / (^{\circ}\text{Cg})$$

Κατά συνέπεια, η ειδική θερμότητα του χαλκού όσον αφορά το ύδωρ είναι:

$$0,386/4,186 = 0,0921$$

Το πλεονέκτημα της κατάταξης σε λίστα των ειδικών θερμοτήτων αντί των θερμοχωρητικοτήτων είναι ότι ο αριθμός αυτός είναι μια αδιάστατη αναλογία, έγκυρη για κάθε ζεύγος σύμφωνων μονάδων. Παραδείγματος χάριν, δεδομένου ότι η συγκεκριμένη θερμότητα του χαλκού από το ανωτέρω παράδειγμα είναι $0,0921$ και είναι γνωστό ότι το νερό στο αγγλικό σύστημα των μονάδων έχει μια θερμοχωρητικότητα $1 \text{ BTU ανά λίβρα του ύδατος ανά βαθμό Fahrenheit}$, κατόπιν η θερμοχωρητικότητα του χαλκού στις αγγλικές μονάδες είναι:

$$C_{\text{χαλκού}} = 0,0921 \text{ BTU/lb } ^{\circ}\text{F}$$

Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι υπάρχουν δύο είδη θερμοχωρητικότητας: ο πρώτος είναι η θερμοχωρητικότητα μιας ουσίας που μετριέται υπό σταθερό όγκο αυτό συμβολίζεται συνήθως με C_v . Ο δεύτερος είναι η θερμοχωρητικότητα μιας ουσίας που

μετρίεται υπό σταθερή πίεση, συνήθως ατμοσφαιρική πίεση αυτή συμβολίζεται με C_p .

Όταν η ενέργεια προστίθεται σε ένα αέριο υπό σταθερή πίεση, όχι μόνο η μάζα του αερίου θερμαίνεται που οφείλεται στην αύξηση θερμοκρασίας, αλλά το αέριο θα εκτονωθεί επίσης και θα λειτουργεί (βλ. τον ιδανικό νόμο αερίου, στο τμήμα Α). Για να διατηρήσει μια σταθερή πίεση καθώς η θερμοκρασία του αερίου αυξάνεται, ο όγκος πρέπει να γίνει μεγαλύτερος.

Όταν το αέριο θερμαίνεται υπό σταθερό όγκο, η πίεση αυξάνεται μέσα στον όγκο, αλλά καμία μεταβολή δεν γίνεται. Αυτό είναι επειδή χωρίς καμία αύξηση στο μέγεθος ή τον όγκο του χώρου που το περιέχει, η δύναμη δεν έχει εφαρμοστεί μέσω απόστασης. Ο όρος απόστασης είναι μηδέν. Κατά συνέπεια, δεδομένου ότι δεν υπάρχει καμία αλλαγή στον όγκο, δεν έχει γίνει καμία μεταβολή "P-V" όταν προστίθεται η θερμότητα στο σταθερό όγκο.

Για αυτόν τον λόγο, οι τιμές για την C_p είναι μεγαλύτερες από τις τιμές για την C_v . Παίρνει περισσότερη θερμότητα για να αυξηθεί η θερμοκρασία ενός αερίου σε σταθερές συνθήκες πίεσης παρά σε συνθήκες σταθερού όγκου, εξαιτίας της επιπρόσθετης θέρμανσης της μάζας του αερίου, η μεταβολή πρέπει να γίνει στην επέκταση του όγκου της.

Συνήθως, όταν εξετάζεται μόνο η ενέργεια που συνδέεται με τη μάζα, αυτή η παράμετρος καλείται εσωτερική ενέργεια. Η εσωτερική ενέργεια ενός ποσού υλικού εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία του. Όταν η ενέργεια της μάζας και η ενέργεια που συνδέεται με την εργασία που γίνεται στην πρόκληση της επέκτασης ή της συστολής του υλικού εξετάζονται, αυτή η παράμετρος καλείται ενθαλπία. Η ενθαλπία ενός υλικού είναι το ποσό της εσωτερικής ενέργειάς του και της εργασίας που γίνεται από την επέκταση του υλικού υπό σταθερή πίεση.

Η αλλαγή στην θερμοχωρητικότητα μιας ουσίας σε σταθερή πίεση από μια θερμοκρασία αναφοράς δίνεται από τη σχέση :

$$(xxiii) \quad dH = (m)(C_p)(T - T_0)$$

όπου H = η θερμότητα που περιλαμβάνεται στην ουσία στη σταθερή πίεση που περιλαμβάνει έναν όρο έργου (δηλ., η ενθαλπία),

m = μάζα της ουσίας,

C_p = συντελεστής θερμοχωρητικότητας υπό σταθερή πίεση,

T = θερμοκρασία, και

T^0 = θερμοκρασία αναφοράς.

Η αλλαγή στην θερμοχωρητικότητα μιας ουσίας υπό σταθερό όγκο σε μια θερμοκρασία αναφοράς δίνεται έπειτα από τη σχέση :

$$(xxiv) \quad dU = (m)(C_v)(T - T_0)$$

όπου U = η θερμότητα που περιλαμβάνεται στην ουσία υπό σταθερό όγκο (δηλ., η εσωτερική ενέργεια).

Επειδή ο όρος C_p περιλαμβάνει και την εσωτερική ενέργεια της ουσίας και την εργασία που έγινε από την ουσία κατ' επέκταση σε μια σταθερή πίεση, η θερμοχωρητικότητα στη σταθερή πίεση είναι σχετική με την θερμοχωρητικότητα στο σταθερό όγκο ως εξής :

$$(xxv) \quad dH = dU + d(PV)$$

Αν κάνουμε αντικατάσταση στις σχέσεις (xxiii) και (xxiv) στην (xxv) έχουμε τα εξής :

$$(xxvi) \quad (m)(C_p)(T - T_0) = (m)(C_v)(T - T_0) + P(V - V_0)$$

$$(C_p)(T - T_0) = (C_v)(T - T_0) + P(V - V_0)/m$$

$$C_p = C_v + (P)(V - V_0)/(m)(T - T_0)$$

Εάν ο νόμος των ιδανικών αερίων, εξίσωση (v), αντικαθίσταται κατάλληλα στον τελευταίο όρο στα δεξιά της εξίσωσης (xxii) και η εξίσωση τίθεται σε μια βάση gram-mole αντί gram μάζας, κατόπιν η ακόλουθη σχέση σημειώνεται :

$$(xxvii) \quad C_p = C_v + R$$

όπου $R =$ σταθερά ιδανικών αερίων, $8.314 \text{ joules}/(\text{g-mole})(^\circ \text{K})$, και C_p και C_v είναι και τα δύο σε μια βάση gram-mole στις μονάδες του $\text{joule}/(\text{g-mole})(^\circ \text{K})$.

Η ανωτέρω σχέση είναι πολύ χρήσιμη, δεδομένου ότι σημαίνει ότι εάν είτε το C_p είτε το C_v είναι γνωστά, το άλλο μπορεί να παραχθεί εύκολα. Φυσικά, η εξίσωση (xxiii) μπορεί επίσης να τεθεί σε μια βάση μάζας γραμμαρίου. Εντούτοις, σε εκείνη την περίπτωση, η σταθερά αερίου R θα πρέπει να έχει ρυθμιστεί για το ατομικό βάρος του συγκεκριμένου αερίου.

Παραδείγματος χάριν, η τιμή της C_p για το διατομικό οξυγόνο σε μια βάση μάζας γραμμαρίου είναι $0,913 \text{ joules}/(\text{g})(^\circ \text{K})$. Ένα gram-mole του διατομικού οξυγόνου είναι 32 grams. Η σταθερά αερίου ή το R για το οξυγόνο σε μια βάση μάζας γραμμαρίου αντί μιας βάσης gram-mole είναι έπειτα περίπου $0,260 \text{ joules}/(\text{g})(^\circ \text{K})$. Κατά συνέπεια η υπολογισμένη τιμή για το C_v όπως εξάγεται από την τιμή της C_p με τη βοήθεια της σταθεράς των ιδανικών αερίων R σε μια βάση μάζας γραμμαρίου είναι περίπου $0,653 \text{ joules}/(\text{g})(^\circ \text{K})$. Αυτή η υπολογισμένη τιμή έχει ακρίβεια τριών-θέσεων των πειραματικά καθορισμένων τιμών της C_v για το διατομικό οξυγόνο.

Τυπικότερα, οι σχέσεις θερμοχωρητικότητας μπορούν να εκφραστούν από τα ακόλουθα διαφορικά:

$$(xxviii) \quad C_v = [dU/dT]_v$$

$$(xxix) \quad C_p = [dH/dT]_p \quad \text{ή} \quad C_p = [dU/dT]_v + [d(PV)/dT]_p$$

όπου: $dH = dU + d(PV)$, και $[dU/dT]_p = [dU/dT]_v$, επειδή το U δεν είναι λειτουργία του V ή του P .

Οι περισσότερες πυρκαγιές και εκρήξεις πραγματοποιούνται σε μεγάλους χώρους όπου η πίεση είναι σταθερή σε περίπου μια ατμόσφαιρα ή 1013.3 mbar. Θεωρητικά, οι εκρήξεις στις πλήρως περιορισμένες περιοχές θα προχωρήσουν αρχικά υπό συνθήκες σταθερού όγκου μέχρι οι τοίχοι ή οτιδήποτε άλλο ανατιναχθεί. Μετά από αυτό, η αντίδραση θα προχωρήσει υπό σταθερές συνθήκες πίεσης.

Δεδομένου ότι στα περισσότερα κτίρια τα πρώτα υλικά που θα εκραγούν είναι τα παράθυρα που σπάζουν όταν υπερβαίνεται η διαφορά πίεσης περίπου 3.5 έως 7.0 kPa, ολόκληρο το γεγονός θεωρείται ότι έχει εμφανιστεί υπό σταθερή πίεση. Εντούτοις, εάν η έκρηξη εμφανίζεται σε ένα κλειστό υπόγειο ή σε παρόμοιο πλήρως περιορισμένο χώρο όπου τα οικοδομικά υλικά αντέχουν σημαντικά σε δοκιμή ενάντια στην έκρηξη και την συγκράτησή της για ένα χρονικό διάστημα, το τμήμα της αντίδρασης υπό σταθερό όγκο

μπορεί να πρέπει να εξεταστεί με ένα βηματικό τρόπο.

Επειδή οι πυρκαγιές εμφανίζονται σε πιο χαμηλά ποσοστά από τις εκρήξεις, υπάρχει συνήθως αρκετός χρόνος για τον αέρα να εισχωρήσει μέσω του κτιρίου για να διατηρήσει την ατμοσφαιρική πίεση. Οι σημαντικές σταθερές συνθήκες όγκου για μια πυρκαγιά είναι σπάνιοι. Όχι μόνο ο χώρος θα έπρεπε να περιοριστεί, αλλά θα έπρεπε επίσης να είναι αεροστεγής. Κατά συνέπεια, οι πυρκαγιές θεωρούνται συνήθως ότι είναι υπό σταθερή πίεση ακόμα και όταν εμφανίζονται κατά τα φαινόμενα κρατημένες εντός των ορίων των χώρων.

Όσον αφορά τη μεταβολή "P-V", τα στερεά και τα υγρά δεν είναι εύκολα εκτιμητέα εκτεινόμενα ή περιοριζόμενα όταν οι θερμοκρασίες τους αυξάνονται ή πέφτουν, αν υποθεθεί ότι δεν υπάρχει αλλαγή φάσης. Οι τιμές C_p και C_v για τα στερεά και τα υγρά είναι ουσιαστικά οι ίδιες συνήθως με μια ακρίβεια τριών σημαντικών ψηφίων. Κατά συνέπεια, για τα στερεά και τα υγρά συχνά μόνο μια τιμή για την θερμοχωρητικότητα δίνεται στους πίνακες αναφοράς. Όταν αυτό γίνεται, υποτίθεται ότι η τιμή που δίνεται είναι για την C_p . Αυτό συμβαίνει επειδή, εκτός αν είναι αλλιώς δηλωμένη, οι περισσότερες πειραματικά καθορισμένες τιμές για την θερμοχωρητικότητα στο εργαστήριο γίνονται υπό σταθερή πίεση.

Ο πίνακας 5 απαριθμεί μερικές τιμές για την C_p για μερικά κοινά αέρια που περιλαμβάνονται στις αντιδράσεις καύσης.

Πίνακας 5: Τιμές "Cp" για Μερικά Κοινά Αέρια σε Θερμοκρασία Δωματίου

Αέριο	"C _p "
CO ₂	0,833 j/g ⁰ K
H ₂	14,27
CO	1,037
N ₂	1,042
O ₂	0,917
Αέρας	1,005
Ατμός @ 100-200 °C	1,98
CH ₄	2,214
C ₃ H ₈	1,667

Μια ενδιαφέρουσα προσέγγιση σχετικά με την θερμοχωρητικότητα ανακαλύφθηκε το 1819 από τους Messrs. Dulong και Petit. Για στοιχεία με ατομικά βάρη μεγαλύτερα από 35 που είναι στερεά στη θερμοκρασία δωματίου, η θερμοχωρητικότητα μπορεί λογικά να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$(xxx) (26 j)/(^{\circ}K)(g - mole) = (C_p)(AW)$$

Στην ουσία, η εξίσωση (xxx) είναι απλά η μετατροπή της θερμοχωρητικότητας από μια βάση ανά γραμμάριο-μάζας, σε βάση ανά γραμμάριο-mole. Οι Dulong και Petit που ανακάλυψαν ότι για τα στερεά στοιχεία βαρύτερα από ατομικό βάρος 35, η θερμοχωρητικότητα στη βάση gram-mole είναι περίπου σταθερή.

Όπως αναφέρθηκε στο τμήμα A αυτού του κεφαλαίου, όταν μια αντίδραση καύσης προχωρά έτσι ώστε να απελευθερώνει ενέργεια, η ενέργεια είναι σε θέση να διαφύγει στο περιβάλλον, η αντίδραση καλείται ισοθερμική. Εντούτοις, όταν η ενέργεια περιλαμβάνεται πλήρως στο σύστημα, καλείται αδιαβατική. Σε μια αδιαβατική αντίδραση, υποτίθεται ότι καμία ενέργεια, ή τουλάχιστον κανένα σημαντικό ποσό ενέργειας, δεν διαφεύγει στο περιβάλλον.

Ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής, ο νόμος της διατήρησης της ενέργειας, εκφράζεται συνήθως από την ακόλουθη εξίσωση:

$$(xxxix) \quad dU = dQ - dW$$

όπου : U = η εσωτερική ενέργεια,

Q = η θερμότητα παρεχόμενη ή παραχθείσα, και

W = εργασία που γίνεται από το σύστημα στο περιβάλλον που περιβάλλει το σύστημα.

Εξ ορισμού, μια αδιαβατική αντίδραση δεν έχει καμία ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον. Στην εξίσωση (xxxix), αυτό σημαίνει ότι dQ είναι μηδέν. Κατά συνέπεια, μια αδιαβατική αντίδραση είναι απλά:

$$(xxxix) \quad dU + dW = 0$$

Με κατάλληλη αντικατάσταση στην εξίσωση (xxxix) των εξισώσεων σχετικών με την εσωτερική ενέργεια, όπως προηγουμένως σημειώθηκε σε αυτό το τμήμα, οδηγεί στην ακόλουθη έκφραση:

$$(xxxix) \quad nC_v(dT) + P(dV) = 0$$

όπου το C_v και το C_p είναι σε μια βάση gram-mole αντί μάζας.

Εάν ο νόμος των ιδανικών αερίων διαφοροποιείται, τα εξής λαμβάνονται:

$$(xl) \quad PdV + VdP = nR(dT)$$

Με εκ νέου ρύθμιση, αυτό γίνεται:

$$(xli) \quad P(dV/R) + V(dP/R) = n(dT)$$

Εάν υποθεθεί ότι στην εξίσωση (xli) το όριο του δV και δT είναι dV και dT καθώς και τα δT και δV προσεγγίζουν το μηδέν, κατόπιν η εξίσωση (xli) μπορεί να αντικατασταθεί στην εξίσωση (xli) για να αποβάλλει το $n(dT)$. Αυτό παράγει την ακόλουθη έκφραση:

$$(xlii) \quad C_v[P(dV) + V(dP)] + R[P(dV)] = 0$$

Από την εξίσωση (xlii) είναι γνωστό ότι :

$$R = C_p - C_v$$

Η αντικατάσταση αυτού στην εξίσωση (xlii) οδηγεί στα εξής :

$$(xliii) \quad C_v[P(dV) + V(dP)] + [C_p - C_v][P(dV)] = 0$$

$$V(dP) + [C_p/C_v][P(dV)] = 0$$

Παίρνοντας το $k = [C_p/C_v]$ η εξίσωση (xliii) γίνεται :

$$(xliv) \quad V(dP) + k[P(dV)] = 0$$

Οι μεταβλητές στην εξίσωση (xxxviii) μπορούν να χωριστούν και να ενσωματωθούν για να παράγουν τα εξής:

$$(xxxix) \quad PV_k = C \quad \text{όπου το } C = \text{είναι μια σταθερά}$$

Η ανωτέρω εξίσωση έπειτα χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη σχέση πίεσης-όγκου σε μια αδιαβατική αντίδραση όπου καμία θερμότητα δεν διαφεύγει από το σύστημα. Αυτή η εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει τις σχέσεις πίεσης-όγκου από ένα σύνολο όρων σε έναν άλλο ως εξής:

$$(xl) \quad P_1 V_1^k = P_2 V_2^k = C.$$

Ο χειρισμός της εξίσωσης (xl) δίνει:

$$(xli) \quad P_2 V_2 / P V_1 = (V_1 / V_2)^{k-1} = [P_2 / P_1]^{(k-1)/k}$$

Δεδομένου ότι το PV είναι ανάλογο προς τη θερμοκρασία T, τότε

$$(xlii) \quad T_2 / T_1 = (V_1 / V_2)^{k-1}$$

και

$$(xliii) \quad T_2 / T_1 = [P_2 / P_1]^{(k-1)/k}$$

Για τον αέρα, η τιμή του k είναι 1,403. Για άλλα αέρια, οι τιμές k μπορούν να ληφθούν από τον Πίνακα 5 και την εφαρμογή της εξίσωσης (xxvii).

Στην ανάκληση την αντίδραση καύσης μεθανίου και οξυγόνου που συζητήθηκε στο τμήμα A, η αντίδραση εμφανίστηκε σε ένα κλειστό δοχείο. Εάν είτε το δοχείο ήταν καλά απομονωμένο έτσι ώστε καμία θερμότητα να μην μπορεί να διαφύγει, ή η αντίδραση ήταν να εμφανιστεί κατά τρόπο εκρηκτικό έτσι ώστε να μην υπάρξει χρόνος για τη θερμότητα να διαφύγει από το σύστημα, κατόπιν η εξίσωση (xliii) θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει την εσωτερική πίεση του δοχείου εάν η θερμοκρασία των αερίων αμέσως αφότου εμφανίστηκε η καύση ήταν γνωστή.

Αντιστρόφως, εάν το δοχείο ήταν εξοπλισμένο με έναν μετρητή πίεσης για να διαβάσει τη μέγιστη πίεση που παρήχθη κατά τη διάρκεια της έκρηξης του μεθανίου και του οξυγόνου, η μέγιστη πίεση ανάγνωσης θα μπορούσε να αντικατασταθεί στην εξίσωση (xliii) για να υπολογίσει την αντίστοιχη μέγιστη θερμοκρασία που εμφανίστηκε κατά τη διάρκεια της αντίδρασης. Αυτό μπορεί να είναι ένα χρήσιμο να το κάνουμε δεδομένου ότι οι μετρητές πίεσης ανταποκρίνονται συχνά στις γρήγορες αλλαγές παρά στις συστηματικές έρευνες θερμοκρασίας.

Η εξίσωση (xl) και οι άλλες που προκύπτουν από αυτή εξηγούν γιατί η άνοδος πίεσης σε μια έκρηξη είναι τόσο πολύ μεγαλύτερη από ότι εάν το ίδιο ποσό ενέργειας θερμότητας ελευθερωθεί σε μια αργή πυρκαγιά. Σε μια έκρηξη, η διαδικασία καύσης είναι τόσο γρήγορη που η αντίδραση είναι αδιαβατική. Λόγω αυτού, η σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας και της πίεσης είναι μη γραμμική. Εντούτοις, σε μια αργή πυρκαγιά, η αντίδραση είναι αρκετά αργή ώστε να επιτρέψει την πλήρη μεταφορά της θερμότητας στο περιβάλλον. Η αντίδραση είναι ισόθερμη και η σχέση της θερμοκρασίας και της πίεσης είναι γραμμική σύμφωνα με τον νόμο των ιδανικών αερίων.

Η εξίσωση (xxxix), η εξίσωση για τη διατήρηση της ενέργειας, μπορεί επίσης να εφαρμοστεί για να δείξουν γιατί ο νόμος των ιδανικών αερίων ισχύει για την περίπτωση των ισόθερμων διαδικασιών. Σε μια ισόθερμη διαδικασία, εξ ορισμού η εσωτερική ενέργεια μένει η ίδια. Κατά συνέπεια, η εξίσωση (xxxix) γίνεται:

$$(xlv) \quad 0 = dQ - dW \quad \text{ή} \quad dQ + dW = 0$$

Αν $\delta W = P(\delta V)$ και εφόσον $PV = nRT$, τότε

$$(xlv) \quad dW = P(dV) = (nRT/V)(dV) = P[-nRT(dP)/(P^2)]$$

Η ολοκλήρωση της ανωτέρω εξίσωσης δίνει τα εξής:

$$(xlv) \quad W = nRT[\ln(V_2/V_1)] = nRT[\ln(P_1/P_2)] = -Q$$

$$(xlvii) \quad V_2/V_1 = P_1/P_2 \quad \text{ή} \quad P_1V_1 = P_2V_2$$

η οποία είναι μια έκδοση του νόμου ιδανικών αερίων.

Κ. Θερμότητα καύσης

Στα περισσότερα κείμενα αναφοράς, η θερμότητα της καύσης ενός καυσίμου δίνεται είτε ως η υψηλότερη αξία θέρμανσης, HHV, είτε χαμηλότερη αξία θέρμανσης, LHV. Η HHV υποθέτει ότι τα προϊόντα της καύσης έχουν ψυχθεί και υποχωρούν στην αρχική θερμοκρασία και ότι το νερό που παράγεται στην καύση έχει συμπυκνωθεί σε υγρό. Κατά συνέπεια, η HHV είναι ένα μέτρο του συνολικού ποσού θερμότητας που εκπέμπεται από την αντίδραση καύσης όταν τα προϊόντα της καύσης ψύχονται στην αρχική θερμοκρασία των αντιδραστηρίων. HHV είναι η μέγιστη ποσότητα θερμότητας που μπορεί να ληφθεί από τα συγκεκριμένα καύσιμα με κανονική καύση.

Γενικά, η HHV και η LHV συσχετίζονται η μια με την άλλη με τον ακόλουθο τρόπο:

$$(xlviii) \quad LHV = HHV - m(h_{1,s})$$

όπου m = μάζα του νερού που παράγεται από την αντίδραση, και

$h_{1,s}$ = λανθάνουσα και αισθητή θερμότητα του ύδατος ανά μονάδα μάζας όπως μετριέται από τη θερμοκρασία δωματίου στη θερμοκρασία στην οποία απομακρύνθηκε ως ατμός.

Οι θερμότητες καύσης για μερικά κοινά καύσιμα παρατίθενται στον πίνακα 6.

Πίνακας 6: Θερμότητες Καύσης Μερικών Κοινών Καυσίμων

Καύσιμο	HHV (j/g)	HHV (j/g-mole)	LHV (j/g)	LHV (j/gmole)
C	32.700	392.400	δεν παράγεται νερό	
CO	10.085	282.400	δεν παράγεται νερό	
H ₂	141.700	283.400	119.770	239.540
CH ₄	55.390	886.240	49.870	797.920
C ₃ H ₁₀	50.270	2.312.000	46.250	2.128.000
Οκτάνιο	48.133	5.487.000	44.670	5.092.000
Ξύλο	17.907	2.901.000	16.220	2.627.000

Λ. Ενέργεια ενεργοποίησης

Οι περισσότεροι άνθρωποι ξέρουν από την άμεση εμπειρία ότι το ξύλο δεν εκρήγνυται εύκολα στις φλόγες όταν εκτίθενται απλά στον αέρα. Επιπλέον, το φυσικό αέριο δεν πιάνει την πυρκαγιά ακριβώς επειδή αναμιγνύεται με μερικό αέρα. Και στις δύο περιπτώσεις, κάποιος τύπος εισαγωγής αρχικής ενέργειας απαιτείται για να γίνει η μετάβαση της αντίδρασης. Μόλις αρχίσει, η αντίδραση παράγει έπειτα υπερβολική ενέργεια για να γίνει αυτοσυντηρούμενη. Η απαραίτητη ενέργεια για να ενεργοποιηθεί μια μεταβολή καλείται ενέργεια ενεργοποίησης.

Η ενέργεια ενεργοποίησης για μια ιδιαίτερη αντίδραση καύσης μπορεί να παρασχεθεί με διάφορες μορφές. Η απλή θέρμανση είναι ένας τρόπος. Άλλοι τρόποι περιλαμβάνουν τους ηλεκτρικούς σπινθήρες, τους σπινθήρες τριβής, την ακτινοβολία, τις αυτοαναφλέξιμες και τις εύκολα αναφλέξιμες χημικές αντιδράσεις και την αδιαβατική συμπίεση. Κατά συνέπεια, υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους η ενέργεια ενεργοποίησης μπορεί να ποσοτικοποιηθεί.

Στην περίπτωση της απλής θέρμανσης, η ενέργεια ενεργοποίησης καθορίζεται συνήθως από την θερμοκρασία ανάφλεξης αυτή είναι η θερμοκρασία στην οποία το υλικό καύσιμο θα εκραγεί στις φλόγες. Δεδομένου ότι ολόκληρο το υλικό θερμαίνεται ή τουλάχιστον ολόκληρο το υλικό σε μια ορισμένη περιοχή του καυσίμου, αυτή η ενέργεια ενεργοποίησης μετρημένη σε μονάδες θερμοκρασίας αντί για αυστηρά μονάδες ενέργειας. Εντούτοις, γίνεται κατανοητό ότι αυτό είναι το ποσό ενέργειας ενεργοποίησης απαραίτητο να αυξήσει τη θερμοκρασία του καυσίμου σε μια ορισμένη θερμοκρασία.

Παραδείγματος χάριν, η θερμοκρασία ανάφλεξης του εμπορικού ξύλου είναι περίπου 260°C και η θερμοκρασία ανάφλεξης του φυσικού αερίου ή του μεθανίου είναι 540°C . Και στις δύο περιπτώσεις, ένα ποσό θερμότητας προστίθεται στο καύσιμο για να αυξήσει τη θερμοκρασία του, σύμφωνα με την ιδιαίτερη θερμοχωρητικότητα του, έως ότου επιτευχθεί η θερμοκρασία ανάφλεξής της.

Ο όρος αυτανάφλεξη ή ελάχιστη θερμοκρασία αυτανάφλεξης είναι μια πιο ειδική εργαστηριακή μονάδα μέτρησης της γενικής θερμοκρασίας ανάφλεξης. Ένα μικρό δείγμα του καυσίμου είναι τοποθετημένο σε ένα θερμαινόμενο δοχείο και όλοι οι παράμετροι καύσης βελτιστοποιούνται για να καθορίσουν την ελάχιστη δυνατή θερμοκρασία στην οποία μπορεί να αρχίσει χωρίς φλόγα ή την παρουσία σπινθήρα. Οι μονάδες μέτρησης της θερμοκρασίας αυτανάφλεξης συμπεριλαμβάνουν τα αποτελέσματα του όγκου και της εσωτερικής περιοχής επιφάνειας του θαλάμου δοκιμών. Συνήθως η θερμοκρασία αυτό-ανάφλεξης θα είναι αρκετά μικρότερη από την θερμοκρασία ανάφλεξης.

Γενικά, η ελάχιστη ενέργεια ανάφλεξης ενός καυσίμου ποικίλλει ανάλογα με την πίεση, την περιβαλλοντική θερμοκρασία και την αναλογία μιγμάτων αέρα-καυσίμου. Ανάλογα με αυτούς τους παράγοντες, το ποσό της απαιτούμενης ενέργειας του σπινθήρα για να αρχίσει την καύση μπορεί να είναι τόσο χαμηλό όσο τα δέκατα ενός mJoule, ή τόσο μεγάλο όσο το άπειρο όταν προσεγγίζονται είτε το μέγιστο είτε το ελάχιστο όριο αναλογίας ευφλεκτότητας αέρα-καυσίμου.

Μια λίγο εκτιμηθείσα πηγή ενέργειας ενεργοποίησης για τις πυρκαγιές και τις εκρήξεις είναι η στατική ηλεκτρική ενέργεια, ή η παραγωγή της ηλεκτρικής φόρτισης από τριβηλεκτρισμό. Αυτό είναι η σταδιακή ανάπτυξη στατικού ηλεκτρισμού που προκλήθηκε από την τριβή μεταξύ δύο ηλεκτρικά ανόμοιων υλικών, τα οποία μπορεί να είναι στερεά, υγρά ή αέρια. Γενικά, το υλικό που είναι ο πιο φτωχός αγωγός είναι αυτό που θα συσσωρεύσει τη στατική ηλεκτρική φόρτιση.

Η επίδραση του τριβηλεκτρισμού εμφανίζεται συχνά όταν αντλούνται υγρά από ένα δοχείο σε άλλο, όταν τα υγρά που αποθηκεύονται σε ένα δοχείο χύνονται σε ένα άλλο (ειδικά όταν είναι ένας πλαστικός κάδος), ή όταν περιλαμβάνονται πλαστικά υλικά στις σχετικές διαδικασίες. Το τελευταίο είναι επειδή ορισμένα πλαστικά έχουν τη δυνατότητα να

αποθηκεύσουν ηλεκτρικό φορτίο όπως ένας πυκνωτής λόγω των άριστων διηλεκτρικών ιδιοτήτων τους.

Είναι ακόμα και δυνατό για ανθρώπους να συσσωρεύσουν αρκετό στατικό φορτίο στα σώματά τους για να παρέχουν την ενέργεια ενεργοποίησης για να αρχίσει μια έκρηξη αερίου. Ένα πρόσωπο με μια χωρητικότητα περίπου 200 έως 400 pfarads μπορεί να συσσωρεύσει μια τάση στατικού φορτίου τουλάχιστον 10.000 volt και αυτή είναι αρκετή να παρέχει την απαραίτητη ενέργεια για να αναφλέξει το φυσικό αέριο ή το προπάνιο που υπάρχουν σε εκρηκτικά επίπεδα σε ένα δωμάτιο.

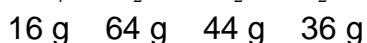
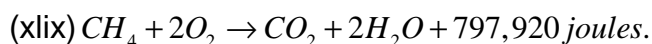
M. Αδιαβατική θερμοκρασία φλογών

Χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που παρουσιάστηκαν ήδη, είναι δυνατό να υπολογιστεί η θερμοκρασία που μια συγκεκριμένη αντίδραση καύσης θα φθάσει. Προκειμένου να γίνει αυτό είναι πρώτα απαραίτητο να προσδιοριστεί η χημική εξίσωση, που συμπεριλαμβάνει όλα τα αντιδραστήρια και τα προϊόντα και τις σχετικές αναλογίες τους του ενός με το άλλο και οι συνθήκες της καύσης όπως η αρχική θερμοκρασία και είτε υπό σταθερή πίεση είτε υπό σταθερό όγκο συνθήκες.

Όταν υποτίθεται ότι όλη η ενέργεια καύσης που εκπέμπεται κατά τη διάρκεια της καύσης διατηρείται στα προϊόντα, η προκύπτουσα θερμοκρασία καλείται αδιαβατική θερμοκρασία φλόγας. Αυτή η θερμοκρασία υπολογίζεται με τη λήψη όλης της ενέργειας που περιλαμβάνεται στα αντιδραστήρια πριν από την καύση και το προσθέτουμε στην ενέργεια καύσης που απελευθερώνεται και έπειτα διανέμει το συνολικό ποσό ενέργειας μεταξύ των προϊόντων έτσι ώστε φθάνουν στην ίδια θερμοκρασία ισορροπίας.

Συχνά, η αδιαβατική θερμοκρασία της φλόγας χρησιμοποιείται για να αναφερθεί στη μέγιστη θερμοκρασία όπου μια ιδιαίτερη αντίδραση καύσης θα φθάσει. Αυτό εμφανίζεται συνήθως όταν η αντίδραση είναι ή βρίσκεται κοντά στους στοιχειομετρικούς όρους.

Παραδείγματος χάριν, ας βασιστούμε πάλι στην απλή καύση του μεθανίου και του καθαρού οξυγόνου σε στοιχειομετρικούς όρους.



Σε αυτήν την κατάσταση, η χαμηλότερη τιμή θέρμανσης (LHV) για το μεθάνιο έχει χρησιμοποιηθεί, δεδομένου ότι υποτίθεται ότι το ύδωρ στα προϊόντα είναι ήδη με μορφή ατμού.

Εάν η διαδικασία της καύσης έχει πραγματοποιηθεί σε σταθερούς όρους πίεσης, τότε η ενέργεια των αντιδραστηρίων πριν από την καύση είναι απλά η ενθαλπία τους σε θερμοκρασία δωματίου. Υποθέτοντας μια θερμοκρασία δωματίου 300°K και μια θερμοκρασία αναφοράς 273°K, έπειτα η εισαγόμενη ενέργεια σε αυτήν την αντίδραση είναι η ακόλουθη:

(i) αντιδραστήριο	C_p	ποσότητα	$mC_p(T-T_r)$ ενέργεια ενθαλπίας
CH ₄	2,21 j/g°K	16 g	954,7 joules
2O ₂	0,917 j/g°K	64 g	1.584,6 joules
τελική ενέργεια αντιδραστηρίων			2.539 joules

Τώρα, αφότου έχει εμφανιστεί η καύση, υπάρχει μια "λίμνη" ενέργειας διαθέσιμη για να θερμάνει τα προϊόντα. Αυτή η "λίμνη" αποτελείται από τη συνολική αρχική ενέργεια των αντιδραστηρίων όπως υπολογίζεται στον πίνακα ανωτέρω και η θερμότητα της καύσης που έχει απελευθερωθεί κατά τη διάρκεια της αντίδρασης. Κατά συνέπεια, η συνολική διαθέσιμη ενέργεια για να διανεμηθεί μεταξύ των αντιδραστηρίων είναι

$$(ii) \quad E_{total} = \text{ενέργεια των αντιδραστηρίων} + \text{ενέργεια καύσης}$$

$$E_{total} = 2,539\text{joules} + 797,920\text{joules} = 800,459\text{joules}$$

Η συνολική ενέργεια που σημειώνεται ανωτέρω διανέμεται τώρα μεταξύ των προϊόντων. Μια αλγεβρική έκφραση για την ενέργεια των προϊόντων κατασκευάζεται με την ανώτερη θερμοκρασία που αφήνεται ως άγνωστη. Η εξίσωση τίθεται έπειτα ίση με τη συνολική ενέργεια όπως σημειώνεται στην εξίσωση (lii) κατωτέρω.

$$(lii) \quad E_{total} = mC_p(T - T_r) + mC_p(T - 373^0 K)$$

διοξείδιο του άνθρακα ατμοί νερού

$$800,459 \text{ joules} = (44g)(1.427 \text{ j} / \text{g}^0 K)(T - 273^0 K) + (36g)(3.107 \text{ j} / \text{g}^0 K)(T - 373^0 K)$$

Στην παραπάνω εξίσωση, δεδομένου ότι η χαμηλότερη τιμή θέρμανσης χρησιμοποιήθηκε για τη θερμότητα της καύσης, το σημείο αναφοράς για τον υδρατμό ήταν το σημείο βρασμού στις ατμοσφαιρικές συνθήκες, ή 373°K. Λύνοντας την εξίσωση (lii) ως προς T, η αδιαβατική θερμοκρασία της φλόγας, δίνει :

$$(liiii) \quad T = 4,920^0 K = 4,647^0 C$$

Οι τιμές C_p που χρησιμοποιούνται για το διοξείδιο του άνθρακα, τον υδρατμό και το διατομικό αέριο άζωτο δεν ταιριάζουν με αυτές που δίνονται στον πίνακα 5 αυτού του κεφαλαίου. Οι τιμές σύμφωνες με μια θερμοκρασία 3,000°K χρησιμοποιήθηκαν στην εξίσωση (liiii) ανωτέρω.

Στην εξίσωση (liiii), μια αρχική εικασία έγινε ως προς τη θερμοκρασία για χρήση για τις τιμές του C_p για τα διάφορα προϊόντα της καύσης. Η εικασία ήταν 3.000°K και η υπολογισμένη τιμή που παράχθηκε ήταν 4.920°K. Δεδομένου ότι η αρχική εικασία είναι κάπως διαφορετική από την υπολογισμένη θερμοκρασία, μια νέα εικασία πρέπει να γίνει και οι εξισώσεις πρέπει να λυθούν πάλι μέχρι οι δύο θερμοκρασίες, η "υποτιθέμενη" και η υπολογιζόμενη, να συγκλίνουν αρκετά. Κατά συνέπεια, μια δεύτερη λύση γίνεται χρησιμοποιώντας την "υποθεμένη" θερμοκρασία 4.200°K, ως εξής:

$$(liv) \quad E_{total} = mC_p(T - T_r) + mC_p(T - 373^0 K)$$

διοξείδιο άνθρακα ατμοί νερού

$$800,459 \text{ joules} = (44g)(1.427 \text{ j} / \text{g}^0 K)(T - 273^0 K) + (36g)(3.107 \text{ j} / \text{g}^0 K)(T - 373^0 K)$$

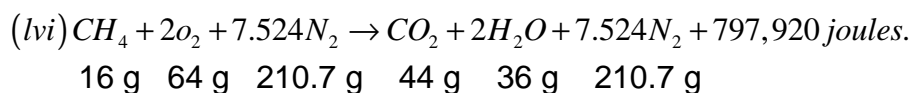
Η επίλυση της (liv) δίνει:

$$(Iv) \quad T = 4,833^{\circ}K \quad \text{ή} \quad 4,560^{\circ}C$$

Αυτή είναι μια πραγματικά υψηλή θερμοκρασία όσον αφορά την καύση. Εντούτοις, όπως σημειώνεται από πριν, όταν καίγεται ένα καύσιμο στο καθαρό οξυγόνο, η πυρκαγιά είναι πολύ πιο θερμή από όταν χρησιμοποιείται αέρας. Αυτό είναι, φυσικά, γιατί το καθαρό οξυγόνο χρησιμοποιείται συχνά στα ειδικά χυτήρια κραμάτων, στις οξυγονοκολλήσεις και σε παρόμοιες εφαρμογές που περιλαμβάνουν υλικά με πολύ υψηλές θερμοκρασίες τήξης.

Ένα σημείο για παρατήρηση σε αυτήν την περίπτωση όσον αφορά τη λύση της αδιαβατικής εξίσωσης θερμοκρασίας φλογών είναι ότι αυτή η θερμοκρασία καύσης δεν επιτυγχάνεται πραγματικά στην πράξη, λόγω των αποτελεσμάτων διαχωρισμού που αρχίζουν να γίνονται σημαντικά στους $2.500^{\circ}C$. Σε θερμοκρασίες σαν αυτές και υψηλότερες, μερικό από το διοξείδιο του άνθρακα και το άζωτο θα διαχωριστούν και θα σχηματίσουν άλλες ενώσεις και αυτή η διαδικασία απορροφά μερική από τη διαθέσιμη ενέργεια και μειώνει την αδιαβατική θερμοκρασία των φλογών. Κατά συνέπεια, η ανωτέρω λύση στην εξίσωση (Iv) καλείται συχνά αδιαβατική θερμοκρασία παγωμένης φλόγας για να δηλώσει ότι έχει θεωρηθεί ότι κανένα αποτέλεσμα διαχωρισμού μεταξύ των προϊόντων δεν έχει ληφθεί υπόψη.

Θα εξεταστεί τώρα ο ίδιος τύπος αντίδρασης καύσης χρησιμοποιώντας τον αέρα αντί του καθαρού οξυγόνου. Η στοιχειομετρική αντίδραση της καύσης για το μεθάνιο στον αέρα είναι η ακόλουθη:



Αυτή τη φορά η ενέργεια που περιλαμβάνεται στα αντιδραστήρια πρέπει να περιλάβει το διατομικό άζωτο. Η ενέργεια των αντιδραστηρίων υπολογίζεται όπως παρουσιάζεται κατωτέρω:

(Ivii) αντιδραστήριο	C_p	ποσότητα	$mC_p(T-T_r)$ ενέργεια ενθαλπίας
CH ₄	2,21 j/g°K	16 g	954,7 joules
2O ₂	0,917 j/g°K	64 g	1.584,6 joules
7.524N ₂	1,042 j/g°K	210,7 g	5.927,8 joules
τελική ενέργεια αντιδραστηρίων			8.476 joules

Η εξίσωση για τον καθορισμό του T παριστάνεται όπως πριν, εκτός από το ότι συμπεριλαμβάνεται τώρα το διατομικό άζωτο.

$$(Iviii) \quad E_{total} = mC_p(T-T_r) + mC_p(T-373^{\circ}K) + mC_p(T-T_r)$$

διοξείδιο άνθρακα ατμοί νερού άζωτο

$$806,387 \text{ joules} = (44g)(1.393 \text{ j/g}^{\circ}K)(T-273^{\circ}K) +$$

$$(36g)(2.93 \text{ j/g}^{\circ}K)(T-373^{\circ}K) + (210.7g)(1.298 \text{ j/g}^{\circ}K)(T-273^{\circ}K)$$

Η επίλυση ως προς T η εξίσωση (Ivii) παραπάνω δίνει:

$$(Ixi) \quad T = 2,128^{\circ}K \quad \text{ή} \quad 1,855^{\circ}C.$$

Δεδομένου ότι η θερμοκρασία είναι αρκετά κάτω από 3.000°C, κανένα σημαντικό αποτέλεσμα διαχωρισμού δεν αναμένεται να εμφανιστεί και η υπολογισμένη θερμοκρασία πρέπει να είναι κοντά στην πραγματική θερμοκρασία.

Οι πραγματικές μετρήσεις της αδιαβατικής θερμοκρασίας φλογών του μεθανίου σε στοιχειομετρικές συνθήκες βρήκαν μια θερμοκρασία φλογών 1.875°C. Ο αριθμός που προκύπτει από την εξίσωση (Iviii), 1.855°C, διαφέρει μόνο 20°C ή 0,9% στην απόλυτη κλίμακα από την πραγματική μετρημένη αξία.

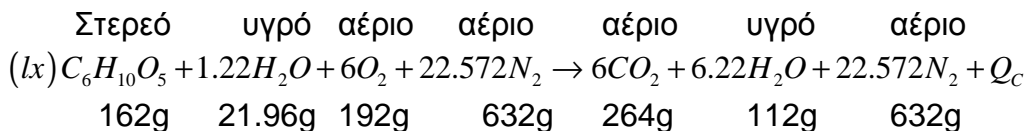
Η σύγκριση της αδιαβατικής θερμοκρασίας φλογών του καιγόμενου μεθανίου στον αέρα με αυτό του καιγόμενου μεθανίου στο καθαρό οξυγόνο δείχνει ότι η επίδραση ψύξης του αζώτου είναι ουσιαστική. Αυτό είναι, φυσικά, γιατί οι διαδικασίες οξυγονοκόλλησης και συγκόλλησης των μετάλλων συνήθως χρησιμοποιούν καθαρό οξυγόνο αντί του αέρα.

Είναι αξιοσημείωτο ότι η μέγιστη θερμοκρασία που επιτυγχάνεται με την καύση του φυσικού αερίου στον αέρα, 1.895°C ή 3.378°F, είναι ακριβώς μόλις επάνω από το σημείο τήξης του μαλακού χάλυβα, το οποίο είναι 2.800°F ή περισσότερο. Κάτω από κανονικές περιστάσεις, οι χαρακτηριστικές απώλειες θερμότητας και η ανικανότητα καύσης εμποδίζουν το φυσικό αέριο να μπορέσει να λειώσει μέρη του μαλακού χάλυβα. Η μέγιστη αδιαβατική θερμοκρασία φλογών υποθέτει τους στοιχειομετρικούς όρους, οι οποίοι είναι σπάνιο ακόμη και να προσεγγίζονται στις ανεξέλεγκτες πυρκαγιές. Όταν υπάρχει πάρα πολύς αέρας ή πολύ λίγος αέρας, η θερμοκρασία της φλόγας πέφτει σημαντικά.

Εξαιρέσεις στα ανωτέρω εμφανίζονται όταν τα μέρη του μαλακού χάλυβα είναι πολύ λεπτά, το οποίο ελαχιστοποιεί τις αγωγίμες απώλειες στον μαλακό χάλυβα και τα μέρη είναι πολύ κοντά στο θερμότερο μέρος των φλογών. Και η θερμότητα από την καύση του φυσικού αερίου είναι περισσότερο από επαρκής, υποθέτοντας ακόμη και μερικές απώλειες, για να λειώσει το χαλκό (1.083°C) ή το αλουμίνιο (660°C) εάν οι φλόγες, είναι σε άμεση επαφή με τα μέταλλα.

Όπως έχει γίνει με το μεθάνιο, θεωρήστε τώρα ακόμα μια φορά την καύση του ξύλου για να καθορίσετε τη μέγιστη θερμοκρασία φλογών του.

Όπως πριν, η αντίδραση καύσης του ξύλου διαμορφώνεται ως εξής:



Η θερμότητα της καύσης για το ξύλο είναι 2.902.400 joule. Εντούτοις, αντίθετα από την προηγούμενη ανάλυση της καύσης μεθανίου, θα είναι απαραίτητο σε αυτήν την περίπτωση να εξεταστούν και η αισθητή και η λανθάνουσα θερμότητα του ύδατος στα προϊόντα της καύσης. Αυτό συμβαίνει επειδή η θερμότητα της καύσης που δίνεται ανωτέρω για την καύση του ξύλου είναι η υψηλότερη τιμή θέρμανσης. Η υψηλότερη τιμή θέρμανσης δεν περιλαμβάνει τη θερμότητα που απαιτείται για να μετατρέψει το ύδωρ θερμοκρασίας δωματίου σε ατμό σε κάποια ανυψωμένη θερμοκρασία.

Για διευκόλυνσή μας, εντούτοις, εάν υποθέσουμε ότι η θερμοκρασία αναφοράς είναι η θερμοκρασία δωματίου, ή 296°K, κατόπιν η ενέργεια των αντιδραστηρίων δεν είναι απαραίτητο να υπολογιστεί. Εξ ορισμού, είναι μηδέν στη θερμοκρασία αναφοράς.

Όπως πριν, μια εξίσωση κατασκευάζεται για την ενέργεια που περιέχεται στα προϊόντα της καύσης. Δίνεται ως εξής:

$$(Ixi) \quad Q_C = mC_p(T - T_r) + mC_p(T - 373^0 K) + mC_p(73^0 K) + mh_1 + mC_p(T - T_r)$$

διοξειδίο του	ατμοί νερού	νερό	λανθάνουσα	άζωτο
άνθρακα			θερμ. νερού	

Αντικαθιστώντας τους αριθμούς και παραλείποντας τις μονάδες για συντομία, η εξίσωση (Ixii) είναι έπειτα:

$$(Ixii) Q_c = (264)(1.393)(T - 296) + (112)(2.928)(T - 373) + (112)(4.186) - \\ (73) + (112)(2.260) + 632(1.298)(T - 296) = 2,902,400$$

Ο αναγνώστης θα διαπιστώσει ότι οι τιμές του C_p για το διοξείδιο του άνθρακα και το διατομικό άζωτο έχουν αλλάξει από πριν. Αυτό συμβαίνει επειδή οι τιμές C_p για μια θερμοκρασία 2.222°K έχουν επιλεγεί. Η επίλυση ως προς T διαπιστώνει ότι :

$$(Ixiii) T = 2.060^\circ\text{K} \text{ ή } 1.787^\circ\text{C}$$

Κατά συνέπεια, η μέγιστη πιθανή θερμοκρασία φλογών του ξύλου, που καίγεται υπό τους ιδανικότερους όρους, είναι ακριβώς λίγο μικρότερη από αυτή του μεθανίου. Εντούτοις, το ξύλο είναι στερεό καύσιμο συνήθως δεν κονιορτοποιείται αλλά καίγεται σε μεγάλα χοντρά τεμάχια. Κατά συνέπεια, το ξύλο καίει συνήθως σε συνθήκες στέρξης αέρα, επειδή το μέγεθος των ξύλινων κομματιών περιορίζει την πρόσβαση του αέρα στην αντίδραση που εμφανίζεται στην επιφάνεια του ξύλου. Αυτό είναι σε αντίθεση με το αέριο μεθάνιο που μπορεί να αναμιχθεί με τον αέρα και μπορεί να αντιδράσει με τον αέρα με όλες τις πλευρές.

Επίσης, ενώ η αντίδραση από μόνη της στερείται αέρα, υπάρχει πολύς αέρας κοντά στην αντίδραση ο οποίος διαποτίζει ένα σημαντικό τμήμα της θερμότητας καύσης και την μεταφέρει μακριά χωρίς να αναμιγνύεται άμεσα στην αντίδραση. Αυτό συμβαίνει εν μέρει επειδή η καύση του ξύλου προχωρά με ένα πιο αργό ρυθμό από αυτόν του μεθανίου, που δίνει περισσότερο χρόνο για τα αποτελέσματα μεταφοράς θερμότητας να μπούνε στο παιχνίδι. Μια γρήγορη αντίδραση, όπως η καύση του μεθανίου που αναμιγνύεται καλά με τον αέρα, πραγματοποιείται γρήγορα και επιτρέπει για λίγο χρόνο η μεταφορά θερμότητας να εμφανιστεί. Κατά συνέπεια, η καύση του μεθανίου μπορεί να πλησιάσει περισσότερο τις αδιαβατικές συνθήκες από ότι μπορεί η καύση του ξύλου.

Μια φωτιά ξύλου είναι έπειτα και στερημένη από αέρα και πλούσια από αέρα συγχρόνως. Αυτό σημαίνει ότι η θερμοκρασία της φλόγας μειώνεται λόγω μιας έλλειψης αέρα ικανής να φτάσει στην περιοχή καύσης και η θερμοκρασία της φλόγας μειώνεται επίσης λόγω του υπερβολικού αέρα που "κλέβει" μερική από τη διαθέσιμη ενέργεια καύσης. Συνεπώς, μια χαρακτηριστική θερμοκρασία φλόγας του ξύλου στην καύση στον ανοιχτό αέρα είναι συχνά στο πεδίο των 550°C μέχρι 900°C. Κατά γενικό κανόνα, όσο περισσότερος καπνός παράγεται σε μια φωτιά ξύλων, τόσο πιο "κρύα" η θερμοκρασία των φλογών του καψίματος.

Πάλι, διαπιστώνεται ότι τα σημεία τήξης του μαλακού χάλυβα, του χαλκού και του αλουμινίου είναι αντίστοιχα 1.538°C ή μεγαλύτερο, 1.083° και 660°C. Υποθέτοντας τις χαρακτηριστικές απώλειες θερμότητας και τις αναποτελεσματικές καύσεις, μια ανοιχτή φωτιά ξύλου δεν θα λειώσει τον χάλυβα και εκτός από ειδικές περιστάσεις, δεν θα λειώσει τον χαλκό. Ετσι, μόλις τοποθετηθούν, οι περισσότερες πυρκαγιές που καίνε αιτιολογημένα ξύλο μπορούν να λειώσουν το αλουμίνιο.

Γι' αυτό η καλωδίωση χαλκού θα επιζήσει συνήθως μιας πυρκαγιάς σπιτιού με μόνες ζημιές την οξειδωση και την σκλήρυνση, ενώ η καλωδίωση αλουμινίου βρίσκεται συχνά λειωμένη από την πυρκαγιά σε διάφορα σημεία όπου η πυρκαγιά περιορίστηκε.

N. Περισσότερο Ατελής Καύση-Διαχωρισμός

Όπως εν συντομία συζητήθηκε στο προηγούμενο τμήμα, όταν είναι η θερμοκρασία φλογών 2.500°C ή μεγαλύτερη, μια διαδικασία αποκαλούμενη διαχωρισμός γίνεται σημαντική. Ο διαχωρισμός εμφανίζεται όπου υπάρχει αρκετή ενέργεια για να προκαλέσει τη διακοπή δημιουργίας του διοξειδίου του άνθρακα και του ύδατος στα προϊόντα της καύσης. Το διοξείδιο του άνθρακα χωρίζεται σε μονοξείδιο άνθρακα και διατομικό οξυγόνο το νερό χωρίζεται σε διατομικό υδρογόνο και οξυγόνο.

Παραδείγματος χάριν, στους 2.000°C, περίπου το 10% του διοξειδίου του άνθρακα που σχηματίζεται κανονικά στην καύση θα διαχωριστεί σε μονοξείδιο του άνθρακα και οξυγόνο. Αυτό θα απορροφήσει περίπου 10.104joule ανά γραμμάριο του CO που σχηματίζεται. Στην ίδια θερμοκρασία, περίπου 3% του υδρατμού θα διαχωριστεί σε υδρογόνο και οξυγόνο. Αυτό θα απορροφήσει περίπου 142.100joule ανά γραμμάριο του H₂ που σχηματίζεται.

Γι' αυτό στις υψηλές θερμοκρασίες καύσης η πραγματική θερμοκρασία της φλόγας θα είναι συνήθως μικρότερη από την υπολογισμένη αδιαβατική θερμοκρασία της φλόγας, εκτός εάν οι όροι διαχωρισμού προστίθενται στην ενεργειακή ισορροπία. Η διαδικασία διαχωρισμού θα απορροφήσει μερική από τη διαθέσιμη ενέργεια και θα μειώσει τη γενική θερμοκρασία των προϊόντων.

Δεδομένου ότι τα προϊόντα καύσης ψύχονται, οι χωρισμένες ενώσεις θα μετασχηματιστούν στις αρχικές ενώσεις τους και η ενέργεια που απορροφήθηκε θα απελευθερωθεί πάλι. Αυτό αναγκάζει τα ψυχόμενα αέρια για να παρουσιάσουν μια σχεδόν λανθάνουσα επίδραση θερμότητας.

Ξ. Αυτοαναφλέξιμη Χημική Αποικοδόμηση

Όπως εν συντομία σημειώνεται πριν, το ξύλο αποτελείται πρώτιστα από την κυτταρίνη, λιγνίνη και παρόμοιες οργανικές συνθέσεις. Περίπου το 25% των περισσότερων τύπων ξύλου είναι λιγνίνη και το 30% ή περισσότερο είναι κυτταρίνη. Ο χημικός τύπος για την κυτταρίνη είναι (C₆H₁₀O₅)_n όπου ο δείκτης "n" δείχνει ότι η βασική χημική μονάδα μέσα στις παρενθέσεις επαναλαμβάνεται στις μακριές αλυσίδες. Ο βασικός χημικός τύπος για τη λιγνίνη είναι μεταβλητός, αλλά ο εμπειρικός τύπος του είναι παρόμοιος με αυτόν της κυτταρίνης.

Το ξύλο που χρησιμοποιείται στην εργασία κατασκευής είναι γενικά ψημένο σε φούρνο ξηρό σε ένα επίπεδο υγρασίας περίπου 12% κατά βάρος. Τα περισσότερα κατασκευαστικά-ταξινομημένα ξύλα θα αναφλεχτούν σε θερμοκρασίες στο πεδίο τιμών των 260°C μέχρι 430°C (500°F μέχρι 806°F).

Όταν το ξύλο εκτίθεται παραπάνω σε μια πηγή θερμότητας, δύο αποτελέσματα εμφανίζονται που επηρεάζουν την θερμοκρασία ανάφλεξης του: η πρώτη επίδραση είναι ότι το ξύλο που εκτίθεται άμεσα στην πηγή θερμότητας στεγνώνει. Δεδομένου ότι η περιεκτικότητα σε υγρασία στο ξύλο μειώνεται, η θερμοκρασία ανάφλεξης πέφτει. Αυτό είναι επειδή λιγότερη θερμότητα καταναλώνεται στην ατμοποίηση της υγρασίας που παγιδεύεται στο ξύλο.

Μια πληρέστερη εξήγηση αυτής της επίδρασης είναι η ακόλουθη: το ξύλο καίει στις θερμοκρασίες αρκετά παραπάνω από το σημείο βρασμού του ύδατος. Εάν το ξύλο πρόκειται να αναφλεχθεί, η υγρασία που παγιδεύεται στο ξύλο πρέπει να θερμανθεί επάνω από το σημείο βρασμού της. Η παγιδευμένη υγρασία θα μετατραπεί σε ατμό προτού να εμφανιστεί η ανάφλεξη του ξύλου και αυτή η αλλαγή φάσης του υγρού σε ατμό καταναλώνει ένα μεγάλο ποσό θερμότητας. Η θερμότητα που απαιτείται για αυτήν την αλλαγή φάσης "κλέβεται" από τη θερμότητα καύσης. Εάν αρκετή θερμότητα "κλέβεται", η αντίδραση καύσης δεν μπορεί να διατηρηθεί από μόνη της και σταματά.

Φυσικά, οι περισσότεροι άνθρωποι που έχουν ανάψει φωτιές σε κάμπινγκ προσκόπων εξοικειώνονται με το πρόβλημα της χρήσης "πράσινου" ξύλου σε μια φωτιά. Το πράσινο ξύλο είναι ξύλο που έχει κοπεί πρόσφατα και έχει υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία. Εάν το ξύλο είναι πάρα πολύ πράσινο, αυτό σημαίνει ότι περιέχει πάρα πολλή υγρασία, το ξύλο δεν θα καεί. Εάν είχε κάποιο χρόνο να ξεραθεί ή είναι αναμιγμένο με κάποιο ξηρό ξύλο, μια φωτιά μπορεί ίσως να διατηρηθεί. Εντούτοις, το ξύλο θα ανοίξει και ακόμη θα εκραγεί. Ο ατμός θα σκάσει τις άκρες των κούτσουρων, η πυρκαγιά θα καίει με πολύ καπνό και η πυρκαγιά δεν θα παράγει πολλή ζεστασιά.

Η δεύτερη επίδραση λόγω της έκθεσης σε μια πηγή θερμότητας παραπάνω του απαιτούμενου χρόνου είναι μια γενική αποσύνθεση του ίδιου του ξύλου. Μια ήπια μορφή καταστρεπτικής απόσταξης ή πυρόλυσης εμφανίζεται. Οι πλευρικές αλυσίδες είναι οξειδωμένες στο οινόπνευμα του ξύλου και στα προϊόντα τύπου τερπενίου και οι μακριές αλυσίδες της κυτταρίνης και της λιγνίνης χωρίζονται. Καθώς αυτό εμφανίζεται, η επηρεασμένη περιοχή του ξύλου σκουραίνει. Εάν η διαδικασία συνεχίζεται, η επηρεασμένη περιοχή απανθρακώνεται τελικά. Αυτή η δεύτερη επίδραση χαμηλώνει επίσης τη θερμοκρασία ανάφλεξης. Το κάρβουνο ή το ανθρακωμένο ξύλο είναι ευκολότερα οξειδωμένο από το κανονικό ξύλο.

Εμφανιζόμενα μαζί ή μεμονωμένα, αυτά τα δύο αποτελέσματα καλούνται συχνά αυτοαναφλέξιμη υποβάθμιση. Το ξύλο που έχει υποβληθεί στην αυτοαναφλέξιμη υποβάθμιση μπορεί να αναφλεχθεί σε θερμοκρασίες τόσο χαμηλές όπως 150°C (~300°F). Οι πυρκαγιές προκαλούνται μερικές φορές από την αυτοαναφλέξιμη υποβάθμιση με τον ακόλουθο τρόπο: το ξύλο τοποθετείται κοντά σε μια πηγή θερμότητας ή αντίστροφα. Η ίδια η πηγή θερμότητας από μόνη της δεν είναι επαρκής για να αυξήσει τη θερμοκρασία του ξύλου μέχρι το συνηθισμένο πεδίο θερμοκρασιών ανάφλεξης. Εντούτοις, η πηγή θερμότητας είναι επαρκής για να αρχίσει την αυτοαναφλέξιμη υποβάθμιση. Με το πέρασμα του χρόνου, η θερμοκρασία ανάφλεξης του τομέα προσβολής του ξύλου μειώνεται. Όταν η θερμοκρασία ανάφλεξης από τα προσβαλλόμενα ξύλα μειώνεται κάτω από τη θερμοκρασία που παράγεται από την πηγή θερμότητας, το ξύλο μπορεί να αναφλεγεί.

Οι πυρκαγιές που προκαλούνται από την αυτοαναφλέξιμη υποβάθμιση μπορεί να είναι εντελώς δόλιες. Η διαδικασία μπορεί να εμφανιστεί πάνω από μια χρονική περίοδο όχι πλέον από λεπτά όταν η πηγή θερμότητας είναι συνεχής και η θερμοκρασία του ξύλου είναι ακριβώς κάτω από το φυσιολογικό σημείο ανάφλεξης. Εντούτοις, η διαδικασία μπορεί επίσης να εμφανιστεί σε μια χρονική περίοδο που μετρείται σε μήνες ή ακόμα και έτη, όταν η πηγή θερμότητας είναι επαρκώς διακοπτόμενη και η θερμοκρασία του ξύλου είναι κοντά στην ελάχιστη θερμοκρασία ανάφλεξης περίπου στους 150°C.

Σε μερικές περιπτώσεις, εάν η πηγή θερμότητας είναι αρκετά διακοπτόμενη και οι θερμοκρασίες που παράγονται στο ξύλο είναι σχετικά χαμηλές, είναι δυνατό ότι οποιαδήποτε αποτελέσματα ξήρανσης στο ξύλο μπορεί να αντιστραφεί από φυσική διάχυση. Κατά τη διάρκεια αυτής της χρονικής περιόδου, η θερμότητα από την συσκευή μπορεί να ξηράνει το ξύλο. Αλλά εάν η ξήρανση είναι ασήμαντη και κανένα σπουδαίο αποτέλεσμα πυρόλυσης δεν έχει εμφανιστεί ακόμα, είναι δυνατό για το ξύλο να ξαναγεμίσει την υγρασία του από τον πολύ υγρό αέρα ή άλλες πηγές κατά τη διάρκεια της περιόδου. Εάν η χρήση της συσκευής είναι συχνότερη, το ξύλο μπορεί έπειτα να μην έχει ούτε μια ευκαιρία να επανακτήσει την υγρασία του και η αυτοαναφλέξιμη υποβάθμιση μπορεί να ακολουθήσει. Κατά συνέπεια, μια συσκευή που δεν προκάλεσε ποτέ πριν πρόβλημα όταν χρησιμοποιείται περιστασιακά, μπορεί να αρχίσει μια πυρκαγιά εάν χρησιμοποιείται για μια ασυνήθιστα μακριά χρονική περίοδο.

Ένα παράδειγμα μιας περίπτωσης αυτοαναφλέξιμης υποβάθμισης περιελάμβανε ένα συνδυασμό μιας αντλίας θερμότητας και μιας μονάδας κλιματισμού. Λόγω ορισμένων τεχνικών περιορισμών, οι αντλίες θερμότητας δεν λειτουργούν αποτελεσματικά κατωτέρω των -2°C (~28°F). Για αυτόν τον λόγο, οι μονάδες αντλιών θερμότητας είναι συνήθως εξοπλισμένες με άμεσες σπείρες αντίστασης θέρμανσης στον αγωγό ανεφοδιασμού. Οι

σπείρες συμβάλλουν όταν η εξωτερική θερμοκρασία του αέρα είναι μικρότερη από περίπου -2°C ($\sim 28^{\circ}\text{F}$) και η αντλία θερμότητας κλείνει. Οι σπείρες θέρμανσης τοποθετούνται σε σωρό συνήθως όσο το δυνατόν πιο κοντά στη έξοδο ανεφοδιασμού ζεστού αέρα για να ελαχιστοποιήσουν τις απώλειες.

Σε αυτήν την περίπτωση, ο συνδυασμός της αντλίας θερμότητας και της μονάδας κλιματισμού ήταν εγκατεστημένα έτσι ώστε οι άμεσες σπείρες αντίστασης ήταν πολύ κοντά στον ξύλινο σκελετό γύρω από το άνοιγμα του τοίχου ανεφοδιασμού ζεστού αέρα.

Όταν χρησιμοποιούνται, οι άμεσες σπείρες αντίστασης θέρμανσης, θερμάνανε το ξύλο μέχρι ίσως $175-185^{\circ}\text{C}$ από τη μεταφορά θερμότητας δια ακτινοβολίας. Ενώ το τμήμα του συστήματος, αντλία θερμότητας, χρησιμοποιήθηκε συχνά, λόγω του κλίματος, οι άμεσες σπείρες αντίστασης από μόνες τους χρησιμοποιήθηκαν σπάνια. Λόγω αυτών των περιστάσεων, η αυτοαναφλέξιμη υποβάθμιση προχώρησε αργά. Η ανάφλεξη του ξύλου και καταστροφές της πυρκαγιάς στη δομή δεν εμφανίστηκαν μέχρι σχεδόν $2\frac{1}{2}$ χρόνια μετά την εγκατάσταση της μονάδας.

Επειδή διάφορες ίδιες μονάδες είχαν εγκατασταθεί όμοιως στο κτίριο, ήταν δυνατό να ελεγχθούν οι άκαυτες μονάδες για στοιχεία της "διαδικασίας" αυτοαναφλέξιμης υποβάθμισης. Αυτό έγινε και διαπιστώθηκε ότι κάθε μια από τις άκαυτες μονάδες παρουσίασε κάποια απανθράκωση του ξύλινου σκελετού γύρω από το άνοιγμα των τοίχων ανεφοδιασμού ζεστού αέρα.

Μερικές κοινές θέσεις όπου η αυτοαναφλέξιμη υποβάθμιση εμφανίζεται είναι :

- γύρω από τους φούρνους πατωμάτων,
- γύρω από τις εστίες, καπνοδόχους και τζάκια,
- γύρω από τους κεραμικούς κλιβάνους και παρόμοιες συσκευές παραγωγής θερμότητας,
- τις θερμάστρες χώρου που τοποθετούνται κοντά στους τοίχους, ξύλινα υλικά ή κουρτίνες,
- στη χαρτόδετη μόνωση που τοποθετείται εσφαλμένα πάνω από την αντίσταση ρύθμισης ρεύματος του φωτός φθορισμού ή τύπου φωτισμού υψηλής έντασης ,
- γύρω από λαμπτήρες επώασης πουλερικών, λαμπτήρες θερμότητας και φωτισμό υψηλής έντασης,
- γύρω από προβληματικά φώτα υψηλής ισχύος που έχουν τοποθετηθεί σε εύφλεκτα υλικά,
- γύρω από τους μονότοιχους σωλήνες καπνοδόχων τοποθετούνται στα ξύλινα υλικά και
- στα ντουλάπια γενικής χρήσης όπου τα αποθηκευμένα υλικά είναι κοντά στα ενδεικτικά φώτα λειτουργίας, τους καυστήρες ή τους λαμπτήρες.

Μερικές φορές ένας φούρνος πατωμάτων ή σωλήνας καπνοδόχου που εγκαθίσταται κοντά σε ξύλινα ή καύσιμα υλικά μπορεί να παρέχει έτη υπηρεσίας χωρίς κανένα πρόβλημα. Κατόπιν μια ημέρα μια πυρκαγιά μπορεί απροσδόκητα να εμφανιστεί, αρχίζοντας στο ξύλο γύρω από το σκελετό του φούρνου ή τον σωλήνα της καπνοδόχου λόγω της αυτοαναφλέξιμης υποβάθμισης. Γιατί μια τέτοια πυρκαγιά περιμένει τόσο πολύ να συμβεί; Εμφανιζόταν η αυτοαναφλέξιμη υποβάθμιση ανέκαθεν, αλλά εξαιρετικά αργά;

Σε τέτοιες περιπτώσεις, λίγο περαιτέρω "κάψιμο" μπορεί να αποκαλύψει ότι μια πρόσφατη θύελλα ή ένας υψηλός αέρας μετακίνησε τον σωλήνα της καπνοδόχου και τον μετατόπισε σε μια νέα θέση, ελαφρώς πιο κοντά στο ξύλινο πλαίσιο. Ομοίως, μπορεί να ανακαλυφθεί ότι το έπιπλο μετακινήθηκε πρόσφατα πέρα από το κιγκλίδωμα του φούρνου πατωμάτων, αναγκάζοντας το να μετατοπιστεί ελαφρώς πιο κοντά στο ξύλινο πλαίσιο. Η διαφορά μεταξύ της αυτοαναφλέξιμης υποβάθμισης που εμφανίζεται ή που δεν εμφανίζεται μπορεί να είναι ακριβώς ένα εκατοστόμετρο της πρόσθετης απόστασης μεταξύ του ξύλου και της πηγής θερμότητας.

Εκτός από τα υλικά ξύλινου τύπου, τα παρόμοια αυτοαναφλέξιμα αποτελέσματα υποβάθμισης μπορούν να εμφανιστούν στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, ειδικά βαμβάκι και φυσικές ίνες, χαρτιά, χαρτόνι, ορισμένα πλαστικά και άλλοι τύποι οργανικών

υλικών. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι πολλά από τα στοιχεία στον προηγούμενο κατάλογο αποτελούνται από μεγάλα ποσά κυτταρίνης, λιγνίνης, ή άλλες ενώσεις κυτταρίνης-όπως τα πολυμερή.

Μια διαφορετική μορφή της αυτοαναφλέξιμης υποβάθμισης εμφανίζεται μερικές φορές σε βαθιά-χοντρά σκεύη τηγανίσματος όπως χρησιμοποιούνται στα εστιατόρια γρήγορου γεύματος για τις τηγανιτές πατάτες ή το κοτόπουλο. Τα περισσότερα τέτοια σκεύη τηγανίσματος ελέγχουν θερμοστατικά τη θερμοκρασία μαγειρέματος του ελαίου ή του λίπους. Εκτός της χειροκίνητης τοποθέτησης θερμοστάτη, υπάρχει επίσης ένας διακόπτης υψηλού ορίου θερμότητας που τοποθετείται στη βάση του τηγανιού για καλό μαγείρεμα.

Ο σκοπός του υψηλού ορίου θερμότητας είναι να κλείσει η συσκευή προτού η θερμοκρασία του ελαίου γίνει τόσο υψηλή που βράζει ή αναφλέγεται. Το καθορισμένο σημείο του διακόπτη υψηλού ορίου θερμότητας είναι συνήθως ελαφρώς μικρότερο από τη δημοσιευμένη θερμοκρασία βρασμού του ελαίου ή της λιπαρής ουσίας που συστήνεται για τη συσκευή.

Εντούτοις, όταν θερμαίνεται συνεχώς το έλαιο ή το μαγειρευμένο λίπος, το λάδι διαλύεται τελικά. Οι μεγάλες λιπαρές πολυμερείς αλυσίδες χωρίζονται σε μικρότερες. Κατά γενικό κανόνα, τα μικρά οργανικά μόρια βράζουν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από τα μεγάλα οργανικά μόρια. Γι' αυτό οι μικρότερες μοριακά ουσίες αναφέρονται μερικές φορές ως "ελαφριά αποστάγματα".

Σε μια διαδικασία απόσταξης, οι ελαφριές ουσίες αποστάγματος βράζουν και φεύγουν πρώτα από τις παχύτερες, πυκνότερες ουσίες αποκαλούμενες μερικές φορές οι "βαριές άκρες". Κατά συνέπεια, εάν ένα σκεύος τηγανίσματος έχει αφεθεί ανοιγμένο σε μια υψηλή θερμοκρασία μαγειρέματος για πολύ, το λάδι μπορεί να χωριστεί έτσι ώστε μπορεί να βράσει και να αναφλεχτεί ενδεχομένως σε θερμοκρασίες κάτω από το καθορισμένο σημείο του διακόπτη υψηλού ορίου θερμότητας.

Μια χαρακτηριστική φωτιά σε τηγάνι μπορεί να εμφανιστεί όπως αυτό: την ώρα κλεισίματος, το τηγάνι αφήνεται τυχαία επάνω σε μια υψηλή θερμοκρασία μαγειρέματος. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, το έλαιο θερμαίνεται συνεχώς στην υψηλή θερμοκρασία και το έλαιο χωρίζεται σε ελαφρύτερες οργανικές ουσίες. Σε κάποιο σημείο όταν η αποσύνθεση είναι ικανοποιητική, το σημείο βρασμού του υποβιβασμένου ελαίου είναι το ίδιο ή μικρότερο από τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του θερμοστάτη. Όταν αυτό εμφανίζεται, το έλαιο στο τηγάνι βράζει και φεύγει έξω από αυτό. Αυτή η ενέργεια μπορεί να οδηγήσει σε μια πυρκαγιά με διάφορους τρόπους:

- το λάδι που βράζει και φεύγει έξω μπορεί να ρεύσει επάνω στις αντιστάσεις που βρίσκονται από κάτω και να αναφλεγεί,
- το λάδι μπορεί να τρέξει πλευρικά πέρα από τις κορυφές των μετρητών, των σχαρών, ή άλλων κοντινών συσκευών και να αναφλεγεί από την επαφή με τις αντιστάσεις, ή τα ενδεικτικά φώτα τους, κ.λπ., ή
- αρκετό λάδι μπορεί να βράσει έξω από το τηγάνι γιατί τα ανώτερα τμήματα των σπειρών θέρμανσης εκτίθενται στον αέρα. Δεδομένου ότι ο αέρας είναι ένας φτωχός αγωγός θερμότητας, η σπείρα θερμαίνεται γρήγορα έως ότου το λάδι που βράζει γύρω από αυτή αναφλεχθεί.
- το τελευταίο σενάριο είναι ενδιαφέρον και αξίζει πρόσθετη συζήτηση. Ο διακόπτης υψηλού ορίου θερμότητας συνήθως δεν θα σταματήσει την εμφάνιση πυρκαγιάς σε αυτήν την περίπτωση λόγω του ακόλουθου.

Ο διακόπτης υψηλού ορίου θερμότητας βρίσκεται χαρακτηριστικά στο 1/3 του μαγειρικού σκεύους. Αυτό αισθάνεται τη θερμοκρασία του λαδιού, και όχι της σπείρας θέρμανσης. Η σπείρα σχεδιάζεται για να περιβληθεί από το έλαιο, το οποίο άγει μακριά αποτελεσματικά τη θερμότητα που παράγεται στη σπείρα. Ο αέρας είναι ένας φτωχός αγωγός της θερμότητας. Εάν η σπείρα περιβάλλεται από αέρα και όχι το έλαιο, η

θερμοκρασία της σπείρας αυξάνεται γρήγορα· δεν μπορεί να απομακρύνει τη θερμότητα αρκετά γρήγορα για να μείνει κρύο.

Επειδή ο διακόπτης υψηλού ορίου θερμότητας μετρά τη θερμοκρασία του ελαίου και όχι της σπείρας, η θερμοκρασία της σπείρας μπορεί γρήγορα να γίνει υψηλότερη από τη θερμοκρασία ανάφλεξης του ελαίου προτού να θερμανθεί το έλαιο του μαγειρέματος αρκετά επάνω ώστε να αναγκάσει τον διακόπτη υψηλού ορίου θερμότητας να ανοίξει το κύκλωμα.

Όταν μια πυρκαγιά εμφανιστεί σε μια φριτέζα και το λάδι έβραζε έξω ακριβώς πριν από την πυρκαγιά, αυτό μπορεί συνήθως να καθοριστεί από την οπτική επιθεώρηση. Κατ' αρχάς, μπορεί να υπάρξει πολύ λάδι στο πάτωμα και στις περιβάλλουσες συσκευές λόγω του πλεονάζοντα βρασμού. Αφετέρου, η πυρκαγιά στο μαγείρεμα θα κάψει αρχικά επάνω από το επίπεδο του λαδιού, αφήνοντας ένδειξη μαυρίσματος στις πλευρές του φρεατίου. Κατά συνέπεια, η κάπνα και η ανθράκωση μέσα στο φρεάτιο μαγειρέματος θα τεκμηριώσουν το επίπεδο του ελαίου όταν ξέσπασε η ανάφλεξη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ : ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΜΥΡΩΔΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΡΡΟΩΝ

A. Γενικά

Ορισμένα αέρια καύσιμα όπως το μεθάνιο, το αιθάνιο, το βουτάνιο και το προπάνιο είναι άχρωμα και δεν έχουν καμία εύκολα αναγνωρίσιμη μυρωδιά. Εάν οι ανόθευτοι ατμοί μεθανίου, αιθανίου, βουτανίου ή προπανίου βρίσκονται σε ένα δωμάτιο σε εκρηκτικές συγκεντρώσεις, ένα αβοήθητο πρόσωπο δεν θα αντιλαμβανόταν τον κίνδυνο-που δεν θα μπορούσε να δει, να δοκιμάσει ή να μυρίσει χρησιμοποιώντας μόνο τις αισθήσεις του. Τα ανόθευτα αέρια καύσιμα υδρογονανθράκων σαν αυτά μπορούν να είναι μια μοιραία συναλλαγή, μια αόρατη απειλή.

Παρά αυτό το πρόβλημα ασφάλειας, τα αέρια καύσιμα όπως το μεθάνιο, το βουτάνιο και το προπάνιο είναι πολύ επιθυμητά για το σπίτι, την επιχείρηση και τη βιομηχανική χρήση. Καίνε καθαρά και έχουν μια υψηλής ενέργειας πυκνότητα, η οποία είναι, ένα υψηλό ποσό της απελευθερωμένης καύσιμης ενέργειας ανά μονάδα της μάζας. Δεν αφήνουν κανένα υπόλειμμα τέφρας που απαιτεί τη διάθεση. Είναι υπαγόμενα στη θερμότητα στις "απαιτήσεις" των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης. Ένας λέβητας αερίου, ένας φούρνος αερίου, ή μια σύμπα αερίου ανοίγουν και κλείνουν λιγότερο ή περισσότερο ακαριαία χωρίς χρόνο αναμονής όπως με το ξύλο ή τον άνθρακα. Οι συσκευές αερίου δεν χρειάζονται τις αντλίες όπως τα υγρά καύσιμα. Επίσης δεν έχουν τα προβλήματα χειρισμού υλικών σωμάτων μεγάλου μεγέθους όπως στον άνθρακα ή το ξύλο και είναι σχετικά φτηνοί.

Τα αεριώδη καύσιμα όπως το μεθάνιο και το προπάνιο διανέμονται από σωλήνες φτιαγμένους από σίδηρο, χάλυβα, πλαστικό, χαλκό ή αργίλιο. Υπερωριακά, η εργασία σε σωλήνες αερίου μπορεί να διαβρώσει και να χαλάσει την ποιότητα. Περιστασιακά, η εργασία σε σωλήνες αερίου βλάπτεται ακούσια από τις προκληθείσες μηχανικές δονήσεις, τη μετακίνηση σωληνώσεων και τη γενική απροσεξία.

Από μια θέση ασφάλειας, ένας σχεδιαστής ή ένας διευθυντής συστημάτων πρέπει να υποθέσει ότι οι εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν τα αέρια καύσιμα υδρογονανθράκων θα έχουν τελικά διαρροές. Δεδομένου ότι οι διαρροές εμφανίζονται συχνά στις ενώσεις και τις συνδέσεις, εξετάστε το ακόλουθο. Για ένα μικρό σπίτι, δεν θα ήταν ασυνήθιστο να υπάρχουν ίσως δέκα χωριστές ενώσεις και συνδέσεις στις σωληνώσεις που εξυπηρετεί έναν απλό φούρνο και μια δεξαμενή ζεστού ύδατος. Εάν κάθε ημέρα μια επισφαλής διαρροή αναπτυσσόταν σε χίλιες τέτοιες συνδέσεις, ένα καθημερινό ποιοτικό ποσοστό 99.9%, κατόπιν κάθε ημέρα σε ένα σπίτι από τα 100 θα εμφανιζόταν μια επισφαλής διαρροή. Εκατό σπίτια είναι το μέγεθος μιας μικρής γειτονιάς.

Εάν το ποιοτικό ποσοστό μπορούσε να βελτιωθεί από ένα πολλαπλάσιο της χιλιάδας, αυτό θα προκαλούσε μια καθημερινή επισφαλής διαρροή σε ένα σπίτι σε κάθε 100.000.

Πρόσωπα εξοικειωμένα με στατιστικές σχετικές με τον ποιοτικό έλεγχο κατασκευής μπορούν να αναγνωρίσουν ότι ένα καθημερινό ποιοτικό ποσοστό 99.9999% αντιστοιχεί για μια τιμή του "σ" σχεδόν 4.0. Πολλές επιχειρήσεις που συμμετέχουν στην εφαρμογή του ISO 9000 διεθνές ποιοτικό πρότυπο κατασκευής αντιμάχονται πολύ σκληρά μόνο για να φθάσουν σε ένα "σ" 3.08 ή 99.9%. Σε μια πόλη, με πληθυσμό περίπου 300.000 χιλιάδες σπίτια και με επιχειρήσεις που χρησιμοποιούν μεθάνιο ή προπάνιο υπάρχουν εκατοντάδες χιλιόμετρα σωλήνων αερίου και πολλές χιλιάδες ενώσεις και συνδέσεις. Οι γραμμές αερίου και οι εγκαταστάσεις συσκευών γίνονται από ποικίλες επιχειρήσεις, υπεργολάβους και τεχνικούς με ποικίλες δεξιότητες, γνώση και εμπειρία.

Επίσης, αυτές οι ίδιες γραμμές αερίου και συσκευές διατηρούνται και φροντίζονται σε ένα ευρύ φάσμα της εγρήγορσης. Αυτό περιλαμβάνει να μην κάνει τίποτα, μια δημοφιλής επιλογή, στην παραγωγή κανονικών ελέγχων σύμφωνα με τα αναγνωρισμένα

προγράμματα συντήρησης. Είναι ανέφικτο, εάν όχι αδύνατο και από νομική και οικονομική πτυχή, να ελέγξει τακτικά κάθε εγκατάσταση και ένωση.

Συλλογιζόμενοι την διαδικασία, ένα πρόσωπο μπορεί να υποθέσει με κάποια σιγουριά ότι οι πυρκαγιές και οι εκρήξεις θα εμφανιστούν με κάποια στατιστική ομαλότητα ως αποτέλεσμα των διαρροών αερίου. Είναι αδύνατο λαμβάνοντας υπόψη τις ανωτέρω περιστάσεις να υπάρξει ένα "ελεύθερο διαρροών" σύστημα παράδοσης που είναι απολύτως ασφαλές για τον καθένα και όλη την σχετική ιδιοκτησία.

Λαμβάνοντας υπόψη τώρα το προφανές σημείο ότι οι σωλήνες αερίου διαρρέουν μερικές φορές, το επόμενο σημείο που εξετάζουμε είναι πώς να στείλουμε μια προειδοποίηση σε πρόσωπα που δεν εξοπλίζονται με τεχνικές συσκευές δοκιμών ότι υπάρχει ένα άχρωμο, άοσμο και επικίνδυνο αέριο στην περιοχή. Ένας τρόπος μπορεί να είναι να χρωματιστεί το αέριο έτσι ώστε να εμφανιστεί μπλε, κόκκινο, ή κάποιο άλλο ευδιάκριτο χρώμα. Εντούτοις, αυτό δεν είναι ένα εύκολο πράγμα να γίνει.

Το φυσικό αέριο, ή το μεθάνιο, έχει κάτω όριο ευφλεκτότητας 5% και το προπάνιο έχει κάτω όριο ευφλεκτότητας 2,4%. Για να κάνει ένα φυσικά άχρωμο αέριο όπως το μεθάνιο ή το προπάνιο ορατό σε μια συγκέντρωση σημαντικά λιγότερο από 2.4% απαιτείται είτε ότι το αέριο περιέχει ένα υψηλό ποσοστό της χρωστικής ουσίας, είτε ότι η χρωστική ουσία θα είναι αξιοσημείωτα πυκνή και συγκεντρωμένη. Δεδομένου ότι η κατοχή ενός καύσιμου αερίου είναι ότι το καύσιμο, που έχει ένα υψηλό ποσοστό της χρωστικής ουσίας είναι ανεπιθύμητο.

Περαιτέρω, οποιαδήποτε χρωστική ουσία που προστίθεται στο αέριο δεν πρέπει να αντιδρά με τον σωλήνα ή το ίδιο το αέριο οφείλει να καεί με τα καύσιμα μετριοπαθώς καλά και πρέπει να μείνει περιορισμένη μέσα στο αέριο. Εντούτοις, οι βαφές και οι χρωστικές ουσίες που είναι αρκετά πυκνές για να καταστήσουν χαμηλές συγκεντρώσεις αερίου ορατές συχνά είναι πάρα πολύ βαριές για να ρεύσουν με το αέριο. Λόγω αυτών των προβλημάτων, μέχρι σήμερα δεν είναι πρακτικά αποδεικτό να χρωματιστεί το μεθάνιο ή το προπάνιο.

Εντούτοις, είναι ένα εύκολο πράγμα να κάνεις το μεθάνιο ή το προπάνιο να μυρίζει με την προσθήκη λίγου οσμωτικού. Έτσι αυτό μυρίζει αρκετά άσχημα ακόμα και όταν υπάρχει μόνο λίγο αέριο γύρω, οι άνθρωποι θα το παρατηρήσουν. Περαιτέρω, μια πραγματικά βρώμικη, αηδιαστική μυρωδιά μπορεί να παρατηρηθεί σε ένα σκοτεινό δωμάτιο, σε ένα θορυβώδες δωμάτιο ή και από τυφλούς ή κωφούς ανθρώπους. Μπορεί ακόμη και να είναι αρκετά βρώμικο ώστε να ξυπνήσει τα πρόσωπα που κοιμούνται.

Εν ολίγοις, δεδομένου ότι κάποιο ποσό διαρροής αερίου αναμένεται να εμφανιστεί κατά διαστήματα, οι άνθρωποι στην περιοχή μπορούν να προειδοποιηθούν στην παρουσία του εάν οι ατμοί μυρίζουν στην ατμόσφαιρα. Εάν η δυσωδία είναι αρκετά ισχυρή, οι άνθρωποι θα μυρίσουν τους ατμούς προτού να φθάσουν οι ατμοί στο χαμηλότερο όριο ευφλεκτότητας και αυτό επιτρέπει στις διορθώσεις να γίνουν προτού η κατάσταση γίνει επικίνδυνη.

Για αυτούς τους λόγους, απαιτείται γενικά από το νόμο να μυρίζουν τα αέρια καύσιμα. Εντούτοις, τα άοσμα αέρια καύσιμα επιτρέπονται ακόμα να διοχετεύονται από σωλήνες και να διανέμονται υπό ορισμένες συνθήκες. Εάν η προσθήκη μυρωδιάς είναι επιζήμια στην επεξεργασία του αερίου καυσίμου, ή εάν η μυρωδιά δεν χρησιμεύει για κανέναν σκοπό ως ένας πράκτορας προειδοποίησης, κατόπιν η χρήση μυρωδικού δεν απαιτείται.

Ως κανόνας, εντούτοις, τα αέρια καυσίμων όπως το μεθάνιο, το βουτάνιο και το προπάνιο μυρίζουν όταν τίθενται στο εμπορικό σύστημα διανομής. Με το μεθάνιο, αυτό γίνεται κανονικά προτού να αποσταλεί το αέριο στο τοπικό σύστημα σωληνώσεων διανομής. Με το βουτάνιο ή το προπάνιο, αυτό γίνεται συνήθως στο τοπικό ή περιφερειακό έργο διαχείρισης διανομής.

B. Αναγνώριση επιπέδων μυρωδιών και οσμών

Κανονικά, τα αέρια καύσιμα έχουν οσμές έτσι ώστε ένας άνθρωπος να μπορεί ευδιάκριτα να τα μυρίσει σε μια συγκέντρωση του ενός πέμπτου ή λιγότερο του χαμηλότερου ορίου ευφλεκτότητά τους. Κατά συνέπεια, θα μυρίσει την οσμή πολύ προτού το αέριο συσσωρευτεί σε επικίνδυνα επίπεδα. Εάν το αέριο είναι συσσωρευμένο λόγω μιας διαρροής, αυτό δίνει σε ένα πρόσωπο κάποιο χρόνο να καθαρίσει την περιοχή και να αποκλείσει την κοντινότερη βαλβίδα.

Δεδομένου ότι το χαμηλότερο όριο ευφλεκτότητας του μεθανίου είναι περίπου 5% κατ' όγκο, ένας άνθρωπος θα παρατηρήσει την οσμή όταν η συγκέντρωση φυσικού αερίου είναι περίπου 1% (10.000 ppm) ή λιγότερο. Δεδομένου ότι το χαμηλότερο όριο της ευφλεκτότητας του προπανίου είναι 2,4%, ένας άνθρωπος θα παρατηρήσει την οσμή όταν η συγκέντρωση προπανίου είναι περίπου 0,5% (5.000 ppm) ή λιγότερο.

Η φράση "ή λιγότερο" προστίθεται στα ανωτέρω επειδή πολλοί διανομείς φυσικού αερίου και του υγροποιημένου προπανίου χρησιμοποιούν πιο μεγάλο όριο οσμής από ότι απαιτείται. Δεν είναι ασυνήθιστη μια υπερβολή της τάξης του 25-50% να χρησιμοποιηθεί.

Γενικά, η αντιληπτή ένταση μιας οσμής κατά την συγκέντρωσή της στον αέρα ακολουθεί την εξίσωση Webber-Fechner που δίνεται ως εξής:

$$(i) I = k \ln(C)$$

όπου: I = η ένταση της οσμής,

k = μια σταθερά για την συγκεκριμένη χημική οσμή, και

C = συγκέντρωση του χημικού στον αέρα.

Η εκ νέου ρύθμιση της εξίσωσης (i) για την εύρεση της συγκέντρωσης δίνει τα εξής:

$$(ii) C = e^{I/k}$$

όπου: $e = 2,7182$.

Εάν η εξίσωση (ii) διαφορίζεται ως προς I , η ένταση της οσμής, λαμβάνεται ως ακολούθως, και η οποία συσχετίζει την αλλαγή στη συγκέντρωση με την αλλαγή στην αντιληπτή ένταση οσμής:

$$(iii) \quad dC/dI = (I/k)e^{I/k}$$

Από την εξίσωση (ii) φαίνεται ότι εάν ένα πρόσωπο είναι έμπειρο με τις οσμές, μια εκτίμηση της συγκέντρωσης της οσμής στον αέρα μπορεί να γίνει απλά από την όσφρηση. Περαιτέρω η εξίσωση (iii) δείχνει ότι στις χαμηλές συγκεντρώσεις η κλίση της αλλαγής της συγκέντρωσης ως προς την αλλαγή στην ένταση της οσμής είναι μικρή, αλλά στις υψηλές συγκεντρώσεις η κλίση είναι υψηλή. Αυτό σημαίνει ότι ο υπολογισμός της συγκέντρωσης από την οσμή είναι πιο ακριβής στις χαμηλές συγκεντρώσεις από ότι στις υψηλές συγκεντρώσεις. Μόλις φτάσει μια ένταση οσμής σε ένα "ισχυρό" επίπεδο, είναι δυσκολότερο για μια ανθρώπινη μύτη να ξεχωρίσει τις μικρές μεταβολές από τις "ισχυρές".

Για να δούμε πώς τα παραπάνω λειτουργούν, εξετάζουμε τα εξής: είναι γενικά αναμενόμενο ότι το όριο για την αναγνώριση της μυρωδιάς της αιθυλικής μερκαπτάνης στον αέρα είναι 0.001ppm. Το συνήθως αποδεκτό ανώτερο όριο ανοχής ή έκθεσης για τους ανθρώπους για αιθυλική μερκαπτάνη στον αέρα είναι 0.500ppm θεωρήστε το χαμηλότερο κατώτατο όριο αναγνώρισης ως βασική μονάδα για τη συγκέντρωση οσμών. Κατά συνέπεια, 0.001ppm = 1 μονάδα συγκέντρωσης οσμών και 0.500 = 500 μονάδες συγκέντρωσης οσμών. Τελικά, ως καθορίσουμε μια αυθαίρετη κλίμακα για την ένταση της οσμής όπου $I = 100$ για το ανώτερο όριο ανοχής.

Εάν αυτές οι τιμές αντικατασταθούν στην εξίσωση (i), το ακόλουθο λαμβάνεται:

$$I = k \ln(C)$$

$$100 = k \ln(500) \text{ @ πάνω όριο ανοχής}$$

$$k = 16,09$$

Όταν το $C = 1$, τότε:

$$I = 16,09 \ln(1) = 0$$

Κατά συνέπεια, εξ ορισμού, η ένταση της οσμής στο επίπεδο κατώτατων ορίων είναι 0 και στην ανώτερη έκθεση το όριο είναι 100.

Ο ακόλουθος πίνακας απαριθμεί διάφορες αντιπροσωπευτικές τιμές που παρουσιάζουν τη σχέση μεταξύ της έντασης οσμής, ανά αυθαίρετη κλίμακα που σημειώνεται ανωτέρω και τα επίπεδα συγκέντρωσης.

Πίνακας 1: Ένταση της οσμής ανάλογα με τη συγκέντρωση οσμών για το αιθυλικό μερκαπτάνιο.

Συγκέντρωση (ppm στον αέρα)	Συγκέντρωση (αυθαίρετες μονάδες μυρωδιών)	Ένταση μυρωδιάς
0,001	1	0
0,002	2	11
0,003	3	18
0,004	4	22
0,005	5	26
0,010	10	37
0,050	50	63
0,080	80	71
0,100	100	74
0,500	500	100

Η μέση κλίση της αλλαγής στη συγκέντρωση (στις αυθαίρετες μονάδες οσμών) ως προς την ένταση της οσμής για τις πρώτες δύο τιμές του πίνακα είναι $1/11 = 0,0909$. Για τις δεύτερες και τρίτες τιμές είναι $1/9 = 0,1111$. Εντούτοις, η μέση κλίση μεταξύ των τελευταίων δύο τιμών είναι $400/26 = 15,38$.

Όπως συζητήθηκε προηγουμένως, όταν η συγκέντρωση είναι χαμηλή, μια μικρή αλλαγή στην αντιληπτή ένταση οσμής δείχνει μια μικρή αλλαγή στη συγκέντρωση. Αντιστρόφως, όταν η συγκέντρωση είναι υψηλή, μια μικρή αλλαγή στην αντιληπτή ένταση οσμής μπορεί να δείξει μια σχετικά μεγάλη αλλαγή στη συγκέντρωση.

Ο πίνακας 1 μπορεί να ρυθμιστεί εκ νέου σε πέντε γενικά επίπεδα οσμής στην ενίσχυση της εκτίμησης των επιπέδων συγκέντρωσης. Αυτή η εναλλακτική ρύθμιση παρουσιάζεται στον πίνακα .

Πίνακας 2: Επίπεδα οσμής πίνακα 2 ως προς την συγκέντρωση αιθυλικής μερκαπτάνης

Επίπεδα Οσμής	Ένταση οσμής (σύμφωνα με τον πίνακα 1) (σε ppm στον αέρα)	Συγκέντρωση
ίχνος	0-11	0,001-0,002
αδύναμο	18-35	0,003-0,009
μεσαίο	37-63	0,010-0,050
ισχυρό *	63-100	0,050-0,500
πανίσχυρο	100 +	> 0,500

Με την χρήση του πίνακα 2, είναι δυνατό για ακόμη και άπειρα πρόσωπα να υπολογίσουν κατά προσέγγιση τις συγκεντρώσεις των οσμών στον αέρα εάν η δυνατότητα μυρωδιάς τους είναι κανονική.

Παρόμοιοι πίνακες μπορούν να παραχθούν για τα άλλα οσμωτικά και κατ' αυτό τον τρόπο είναι δυνατό να υπολογιστεί κατά προσέγγιση η συγκέντρωση μιας οσμής από την απλή μυρωδιά. Η τεχνική μπορεί να είναι πολύ χρήσιμη κατά την εξέταση δηλώσεων ή πληροφοριών συνέντευξης.

Παραδείγματος χάριν, υποθέστε ότι μια μικρή έκρηξη εμφανίστηκε σε μια αποθήκη εμπορευμάτων. Πριν από την έκρηξη, διάφοροι υπάλληλοι ανέφεραν ότι μύρισαν το αέριο. Εάν η θέση των υπαλλήλων όταν μύρισαν το αέριο μπορεί να μαθευτεί και μπορούν να θυμηθούν πόσο ισχυρή ήταν η οσμή, μπορεί να είναι δυνατό να σχεδιαστεί ένα περίγραμμα των επιπέδων συγκέντρωσης αερίου ακριβώς πριν από την έκρηξη πέρα από το γενικό σχέδιο της αποθήκης εμπορευμάτων. Αυτό μπορεί να παρέχει μερικά χρήσιμα στοιχεία στον καθορισμό της προέλευσης του αερίου και το μονοπάτι διασποράς του.

Από την εμπειρία έχει παρατηρηθεί ότι μερικοί βαριοί καπνιστές καπνών συχνά δεν μυρίζουν το οσμωτικό αέριο τόσο εύκολα όσο οι μη καπνιστές. Με τον ίδιο τρόπο που το κάπνισμα εξασθενίζει μερικές φορές την αίσθηση της γεύσης, επίσης φαινομενικά εξασθενίζει την αίσθηση της όσφρησης. Το ακόλουθο είναι σενάριο που έχει σημειωθεί για να εμφανιστεί κάπως τακτικά.

Η κα Υ, μια μη καπνίστρια, βάζει πλυντήριο στο υπόγειο όταν σκέφτεται ότι μυρίζει αέριο. Επειδή δεν είναι σίγουρη, πηγαίνει επάνω και ζητά από το σύζυγό της να το ελέγξει. Ο κος Χ, ένας βαριά καπνιστής, πηγαίνει κάτω και μυρίζει. Δεν παρατηρεί οποιαδήποτε οσμή αερίου και λέει στη σύζυγό του ότι την φαντάστηκε, ή μπέρδεψε κάποια άλλη μυρωδιά με το αέριο.

Μερικές ημέρες αργότερα, μια έκρηξη εμφανίζεται στο υπόγειο. Όταν τους πήραν συνέντευξη, ο κος Χ δηλώνει ότι δεν παρατήρησε οποιαδήποτε οσμή αερίου πριν από την έκρηξη. Όταν πήραν συνέντευξη ομοίως, η κα Υ επίσης συμφωνεί ότι δεν υπήρξε καμία οσμή αερίου πριν από την έκρηξη. Είναι απρόθυμη να διαφωνήσει δημόσια με το σύζυγό της, ειδικά δεδομένου ότι της είπε προηγουμένως ότι αυτή είχε φανταστεί τη οσμή αερίου.

Εκτός από το κάπνισμα, υπάρχουν άλλοι λόγοι για τους οποίους ένα πρόσωπο δεν μπορεί να μυρίσει εύκολα την μυρωδιά αερίου καυσίμου. Μερικοί άνθρωποι λόγω ασθένειας ή τραυματισμού έχουν χάσει την αίσθηση της όσφρησης. Μερικοί άνθρωποι, αν και πολύ λίγοι, γεννιούνται με μειωμένη την αίσθηση της όσφρησης ή χωρίς καμία αίσθηση οσμής. Μερικοί άνθρωποι μπορεί να εργάζονται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας, εργοστάσια ή διυλιστήρια όπου η αίσθηση της όσφρησης τους βομβαρδίζεται κάθε ημέρα από ισχυρές οσμές και οι μύτες τους μπορούν να μην "καθαριστούν" αρκετές ώρες μετά από όταν πάνε σπίτι.

Έχει σημειωθεί σε κάποια ερευνητική εργασία ότι η ικανότητα οσμής μικραίνει επίσης με την ηλικία. Σε μια άλλη μελέτη που αναφέρεται στο ίδιο θέμα της Τεχνολογίας Πυρκαγιάς, διαπιστώθηκε ότι σχεδόν οι μισοί από τους ανθρώπους που εξετάστηκαν οι

οποίοι ήταν πάνω από 60 ετών απέτυχαν να μυρίσουν αξιόπιστα την αιθυλική μερκαπτάνη στα LPG που ήταν αρωματισμένα σύμφωνα με τα τρέχοντα πρότυπα. Το λογικό συμπέρασμα αυτής της μελέτης είναι ότι τα ηλικιωμένα άτομα διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο για ατυχήματα από LPG.

Επιπλέον, μερικά σπίτια και κτίρια υπόκεινται σε ισχυρές οσμές που μπορούν να καλύψουν τη οσμή του οσμωτικού αερίου καυσίμου. Οι μυρωδιές που παράγονται από κατοικίδια ζώα, λίπασμα, οχετούς ή άλλες παρόμοιες αιτίες που μπορούν να καλύψουν την οσμή του οσμωτικού αερίου καυσίμου. Οι οσμές που συνδέονται με ιατρικές εγκαταστάσεις και οίκους ευγηρίας μπορούν επίσης να είναι πάρα πολύ ισχυρές για ένα πρόσωπο για να παρατηρήσει οποιαδήποτε παρουσία οσμής αερίου καυσίμου.

Οι οσμές που παράγονται από κοντινά σφαγεία, μέρη εκτροφών, βόθρους, δεξαμενές βιολογικού καθαρισμού, εγκαταστάσεις ζύμωσης, κ.λ.π., μπορούν να παρασυρθούν στα κοντινά σπίτια και κτίρια και να τα καλύψουν με οσμή σε περιστασιακή ή κανονική βάση. Οι κακώς διατηρημένες και ακάλυπτες κατοικίες μπορούν επίσης να αναπτύξουν αρκετά αποκρουστικές μυρωδιές από οποιαδήποτε οσμή οσμωτικού αερίου καυσίμων που χάνεται στο καυτό μίγμα.

Ενώ δεν είναι κοινοποιημένες ως ανιχνευτές καπνού, οι οικιακές συσκευές είναι διαθέσιμες μέσω ταχυδρομικών παραγγελιών κατ' οίκων και επινοητικών καταστημάτων υλικού που θα ανιχνεύουν την παρουσία φυσικού αερίου ή LPG. Αυτές οι συσκευές δεν εξαρτώνται από την παρουσία ενός οσμωτικού, αλλά ανιχνεύουν το βασικό αέριο υδρογονανθράκων άμεσα. Λειτουργούν κατά τρόπο παρόμοιο με έναν συναγερμό καπνού οικίας. Όταν μια ορισμένη συγκέντρωση κατώτατων ορίων του αερίου ανιχνεύεται, ένας ευδιάκριτος συναγερμός κάνει χαρακτηριστικό θόρυβο. Για τους βαρήκοους, θα ήταν ένα εύκολο θέμα να συνδεθεί το σήμα συναγερμών με ένα αστραπιαίο φως. Όταν οι κάτοχοι ενός σπιτιού έχουν εξασθενημένη ικανότητα όσφρησης, ή ίσως δεν μπορούν φυσικά να πάνε στο υπόγειο λόγω προβλημάτων πρόσβασης αναπηρικών καρεκλών, αυτές οι συσκευές μπορούν να αντέξουν μερική γνώση.

Γ. Οσμωτικά LPG

Τρεις τύποι χημικών ουσιών ταξινομούνται και είναι οι αιθυλικές βρωμύλες, το θειοφένιο και η αμυλική βρωμύλη. Ευρύτατα χρησιμοποιημένο οσμωτικό είναι η αιθυλική βρωμύλη.

Τα LPG μπορεί να είναι μίγμα διάφορων αερίων υδρογονανθράκων. Από τους κανονισμούς, το LPG είναι οποιοδήποτε υλικό που αποτελείται κυρίως από οποιαδήποτε από τα εξής: προπάνιο, προπυλένιο, κανονικό βουτάνιο, ισοβουτάνιο και βουτυλένιο. Οι ακριβείς προδιαγραφές για τα LPG διατυπώνονται στο ASTM D1835, Προδιαγραφές Υγροποιημένου Αερίου Πετρελαίου. Γενικά, το εμπορικό LPG είναι ένας συνδυασμός προπανίου και βουτανίου. Για το σπίτι και την αγροτική χρήση όπου η υψηλή πτητικότητα απαιτείται, τα περισσότερα LPG είναι κυρίως προπάνιο, με ίσως 5-10% βουτάνιο ή μερικά από τα άλλα αέρια. Για τις χρήσεις όπου η χαμηλή πτητικότητα είναι αναγκαία, συνήθως βιομηχανικές καταστάσεις, τα περισσότερα LPG είναι κυρίως βουτάνιο, με ίσως 5-10% όντας προπάνιο ή μερικά από τα άλλα αέρια.

Οι κανονισμοί επιτρέπουν σε άλλους τύπους χημικών ουσιών να χρησιμοποιηθούν ως μυρωδικά αντί των τριών που απαριθμούνται. Οποιοδήποτε μυρωδικό είναι αποδεκτό εάν έχει μια διακριτική μυρωδιά όταν οι ατμοί αερίου είναι το ένα πέμπτο της συγκέντρωσης του χαμηλότερου ορίου ευφλεκτότητάς του.

Σαν πρακτικό θέμα, εντούτοις, κανένας δεν κάνει σημαντική χρήση αυτού του κανονισμού. Στο παρόν κλίμα, καμία επιχείρηση αερίου δεν θα ήθελε να χρησιμοποιήσει έναν νέο τύπο μυρωδικού αντί του προτύπου, τα κυβερνητικά εγκεκριμένα.

Ο όρος βρωμύλες είναι κάπως μια αρχαϊκή λαθεμένη χρήση ονόματος. Οι βρωμύλες είναι ένας παλαιότερος χημικός όρος που προέρχεται από το λατινικό «mercurtum

captans», το οποίο σημαίνει κυριολεκτικά "σύλληψη υδραργύρου". Οι βρωμύλες αντιδρούν με το οξειδίο του υδραργύρου για να σχηματίσουν διάφορες κρυσταλλικές ενώσεις. Η ομάδα των χημικών ουσιών των βρωμυλών καλείται επίσης θειοαλκοόλες, θειοοινοπνεύματα, υδροσουλφίδια, και θειόλες. Ο τελευταίος όρος, θειόλες, είναι ο πιο σύγχρονος χαρακτηρισμός για αυτήν την ομάδα, αλλά περιλαμβάνει επίσης τους θειούχους αιθέρες, τα σουλφίδια και τα θειοφένια.

Γενικά, οι βρωμύλες είναι μια οργανική ένωση παρόμοια με το οινόπνευμα, αλλά έχει το οξυγόνο στην ομάδα υδροξυλίου που αντικαθίσταται από ένα άτομο θείου. Σημειώστε την ομοιότητα του εμπειρικού τύπου για την αιθυλική βρωμύλη, C_2H_5SH με αυτό του αιθυλικού οινόπνευματος, C_2H_5OH .

Αιθυλική βρωμύλη καλείται επίσης η θειόλη του αιθανίου, και το αιθύλιο του σουλφιδίου. Είναι μια από τις πιο πικάντικες, βρώμικες και επίμονες γνωστές μυρωδιές. Είναι η ουσία της δυσωδίας του νεφτιού. Φυσικά, είναι ένα άχρωμο υγρό που βράζει στους $36^\circ C$ και παγώνει στους $-121^\circ C$. Έχει μια ειδική βαρύτητα περίπου 0,84. Είναι μόνο ελαφρώς διαλυτό στο ύδωρ, αλλά είναι διαλυτό και στο αιθυλικό οινόπνευμα και στον αιθέρα. Το σημείο ανάφλεξης είναι κάτω από $26^\circ C$ και αυτοαναφλέγεται στους $299^\circ C$. Το ανθρώπινο όριο ανοχής είναι μόνο 0.5ppm στον αέρα.

Η αμυλική βρωμύλη καλείται επίσης πεντανοθειόλη. Ο εμπειρικός της τύπος είναι $C_5H_{11}SH$. Η αμυλική βρωμύλη δεν είναι μια καθαρή ουσία, αλλά είναι συχνά ένα μίγμα που αποτελείται από τα διάφορα ισομερή της ένωσης. Φυσικά, έχει ένα μικρό ήλεκτρο ή ανοικτό κίτρινο χρώμα με μια συγκεκριμένη πυκνότητα από 0.83 έως 0.84. Είναι αδιάλυτο στο νερό, αλλά διαλυτό στο αιθυλικό οινόπνευμα. Το σημείο ανάφλεξης των ανοιχτών φλιτζανιών είναι $18^\circ C$. Επειδή είναι ένα μίγμα ισομερών, το σημείο βρασμού του κυμαίνεται μεταξύ $104^\circ C$ και $130^\circ C$.

Το θειοφένιο, αποκαλούμενο επίσης τετραϋδροφένιο, είναι το πιο ελάχιστα χρησιμοποιημένο μυρωδικό για τα LPG. Ο εμπειρικός τύπος του είναι C_4H_7SH . Εμφανίζεται καθαρά όπως το νερό και έχει την ίδια ειδική πυκνότητα όπως το νερό, 1,0. Έχοντας μερικά ισομερή, αυτό βράζει σε μια κλίμακα των $115^\circ C$ με $124,4^\circ C$.

Δ. Οσμωτικά φυσικού αερίου

Στα συστήματα φυσικού αερίου, το οσμωτικό εγχέεται στη ροή των σωληνώσεων σαν ψεκάσμος αερολύματος. Η δειγματοληψία γίνεται έπειτα, συνήθως σε διάφορα σημεία στο σύστημα σωληνώσεων αρκετά προς την κατεύθυνση του ρεύματος στο σημείο έγχυσης, για να εγγυηθεί την κατάλληλη διασπορά και συγκέντρωση μυρωδικού μέσα στο σύστημα διανομής.

Αντίθετα από τις απαιτήσεις μυρωδικών του LPG, οι κανονισμοί σχετικά με τον οσμωτισμό του φυσικού αερίου είναι λιγότερο συγκεκριμένοι. Εκτός αν εφαρμόζονται συγκεκριμένοι κρατικοί νόμοι, οι σκοπιμότητες του φυσικού αερίου μπορούν να χρησιμοποιήσουν οποιοδήποτε μυρωδικό σε οποιοδήποτε ποσό εφόσον καλύπτονται από τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- "Το οσμωτικό όταν αναμιγνύεται με το αέριο στο διευκρινισμένο ποσό δεν θα είναι επιβλαβές στους ανθρώπους ή στα υλικά που παρευρίσκονται στο σύστημα αερίου και δεν θα είναι διαλυτό στο νερό σε μια μεγαλύτερη έκταση από $2\frac{1}{2}$ μέρη του μυρωδικού για 100 μέρη του νερού κατά βάρος."
- "Τα προϊόντα της καύσης από το οσμωτικό θα είναι μη τοξικά στους ανθρώπους που αναπνέουν τον αέρα που περιέχει τα προϊόντα της καύσης και δεν θα είναι διαβρωτικά ή επιβλαβή στα υλικά με τα οποία τέτοια προϊόντα της καύσης θα έρχονταν συνήθως σε επαφή."
- "Η καύση του μυρωδικού και της φυσικής μυρωδιάς του αερίου θα παράσχει μια διακριτική οσμή έτσι ώστε όταν το αέριο είναι παρόν στον αέρα σε συγκέντρωση

τουλάχιστον 1% κατ' όγκο, η οσμή να είναι εύκολα ανιχνεύσιμη από ένα άτομο με μια κανονική αίσθηση όσφρησης."

Συχνά, είτε μεθυλική βρωμύλη είτε αιθυλική βρωμύλη χρησιμοποιείται για να αρωματίσει το φυσικό αέριο, μερικές φορές και οι δύο ουσίες χρησιμοποιούνται σε κάποιο τύπο μίγματος. Δεδομένου ότι μερικές από τις ιδιότητες της αιθυλικής βρωμύλης έχουν συζητηθεί ήδη στο προηγούμενο τμήμα για τα LPG μυρωδικά, μόνο η μεθυλική βρωμύλη θα συζητηθεί σε αυτό το τμήμα.

Η μεθυλική βρωμύλη, που καλείται επίσης μεθανοθειόλη, CH_3SH , είναι άσπρη σαν νερό όταν είναι υγρή και άχρωμη ως αέριο. Είναι ελαφρώς διαλυτή στο νερό και βράζει περίπου στους 6°C . Το σημείο ανάφλεξης της είναι κάτω από τους 0°C . Το χαμηλότερο όριο ευφλεκτότητας της είναι 3,9% και το ανώτερο όριο ευφλεκτότητας της είναι 21,8%, το οποίο είναι παρόμοιο με αυτό του φυσικού αερίου.

Η μεθυλική βρωμύλη έχει ένα μοριακό βάρος 48, περίπου τρεις φορές αυτό του φυσικού αερίου, CH_4 , που είναι 16. Αυτή η διαφορά οφείλεται πρώτιστα στο πρόσθετο άτομο θείου στην μεθυλική βρωμύλη. Δομικά, η μεθυλική βρωμύλη είναι απλά ένα μόριο μεθανίου με μια -SH ρίζα που αντικαθιστά ένα από τα άτομα υδρογόνου.

Σαν αέριο, η μεθυλική βρωμύλη είναι τοξική, είναι ένα ισχυρό ερεθιστικό και μυρίζει υπερβολικά. Ένα ανώτερο όριο ανοχής από 0,5ppm για την ανθρώπινη έκθεση στον αέρα έχει καθιερωθεί. Η αποδεκτή συγκέντρωση αναγνώρισης κατώτατων ορίων για ένα πρόσωπο με την φυσιολογική δυνατότητα μυρωδιάς είναι 0,002ppm στον αέρα.

E. Δειγματοληψία LPG για οσμωτικά

Όπως σημειώθηκε προηγουμένως, μυρωδικό προστίθεται στο LPG για ασφάλεια από τον τοπικό διανομέα. Η παρουσία του προορίζεται να προειδοποιήσει τα πρόσωπα που είναι στην περιοχή ότι υπάρχουν επικίνδυνοι ατμοί LPG παρόντες. Μερικοί άνθρωποι μπορεί ακόμη και να θεωρήσουν το μυρωδικό ότι είναι η πρώτη γραμμή υπεράσπισης ενάντια στις διαρροές αερίου.

Έχουν υπάρξει περιπτώσεις πυρκαγιών και εκρήξεων όπου διαπιστώθηκε ότι η οσμή του LPG δεν ήταν επαρκής για ένα πρόσωπο στην περιοχή της διαρροής για να ανιχνεύσει την παρουσία του. Σε μερικές περιπτώσεις, μεγάλες αποζημιώσεις έχουν απονεμηθεί από τα δικαστήρια ενάντια στους διανομείς LPG βασισμένοι σε μια διαπίστωση ότι τα LPG που παρέχονταν από το διανομέα ήταν ανεπαρκώς μυρωδικά. Η εισαγωγική παρουσίαση είναι ότι εάν το μυρωδικό ήταν ικανοποιητικό, ο ενάγων θα το είχε μυρίσει, η διαρροή θα είχε ανιχνευθεί έπειτα και η πυρκαγιά ή η έκρηξη θα μπορούσε να έχει αποτραπεί.

Για αυτούς τους λόγους, όποτε μια πυρκαγιά ή μια έκρηξη περιλαμβάνει τα LPG τα ενδιαφερόμενα μέρη μπορούν να επιθυμούν να καθορίσουν το επίπεδο μυρωδιάς στα LPG. Αυτό μπορεί να γίνει με τρεις διαφορετικούς τρόπους: μυρωδιά μιας μικρής εκπομπής αερίων, αέριο δειγματοληψίας από τις γραμμές και υγρό δειγματοληψίας από τη δεξαμενή.

Η πρώτη μέθοδος είναι απλή. Ένα μικρό ποσό αερίου LPG αποδεδεσμεύεται σε μια ήρεμη περιοχή από τη γραμμή αερίου και έπειτα την οσφραίνεται ένα ή περισσότερα άτομα με φυσιολογική δυνατότητα όσφρησης. Η οσμή μπορεί να εκτιμηθεί από τα πρόσωπα αυτά ως αποπνικτική, ισχυρή, μέση, αδύνατη, ή ως ίχνος. Φυσικά, δεδομένου ότι το LPG είναι εύφλεκτο, υποτέθηκε ότι μόνο μικρά ποσά απελευθερώνεται σε μια περιοχή χωρίς σπινθήρες και φλόγες. Περαιτέρω υποτίθεται ότι τα μικρά ποσά αερίου LPG αποδεδεσμεύονται σε περιοχές όπου το αέριο μπορεί να διαλυθεί εύκολα με φρέσκο αέρα.

Εάν απαιτείται, η μέθοδος της "όσφρησης" μπορεί πραγματικά να οργανωθεί για να είναι πιο ποσοτική σύμφωνα με τις απαιτήσεις για τα κατώτατα όρια ανίχνευσης. Εάν χρειαστεί, διάφοροι ελεγκτές μπορούν να μυρίσουν τα περιεχόμενα για να αναπτύξουν μια μικρή στατιστική βάση δειγματοληψιών. Ενώ αυτό δεν είναι μια επίσημα εγκεκριμένη

μέθοδος για την δοκιμή του επιπέδου του μυρωδικού του LPG, μπορεί κατά προσέγγιση να δείξει έτσι κι αλλιώς το επίπεδο του οσμωτικού αν συμφωνεί με τις απαιτήσεις.

Μια δεύτερη μέθοδος ελέγχου του περιεχόμενου μυρωδικού του LPG είναι να ληφθεί ένα υγρό δείγμα άμεσα από τη δεξαμενή. Αυτό απαιτεί ένα ειδικό δοχείο για να κρατήσει το υγρό δείγμα να αποτελείται από υλικά που δεν θα αντιδράσουν με το μυρωδικό. Οι περισσότερες δεξαμενές LPG έχουν μια σύνδεση στην κορυφή, κάτω από το προστατευτικό κάλυμμα, η οποία επιτρέπει σε ένα υγρό δείγμα να εξαχθεί από τη δεξαμενή. Συνήθως, ο τοπικός διανομέας LPG έχει τις προσαρμογές που θα κάνουν τη σύνδεση μεταξύ της δεξαμενής και του κλωβού μεταφοράς υγρών δειγμάτων LPG. Το υγρό δείγμα μεταφέρεται έπειτα σε ένα εργαστήριο όπου η συγκέντρωση του οσμωτικού στο υγρό καθορίζεται, συνήθως από τη χρωματογραφία του αερίου. Αυτή θεωρείται συνήθως η πιο ακριβής μέθοδος για τον καθορισμό του περιεχόμενου οσμωτικού.

Μια τρίτη μέθοδος περιλαμβάνει τη λήψη δειγμάτων από το ίδιο το αέριο LPG. Ένας ειδικός LPG δειγματοληπτικός κύλινδρος συνδέεται με τη γραμμή αερίου και το αέριο ρέει μέσα στον κύλινδρο έως ότου έχει απαλλαχθεί ο κύλινδρος από τον αέρα. Ο κύλινδρος είναι έπειτα κλειστός, παγιδεύοντας κατά συνέπεια ένα δείγμα του αερίου LPG στον κύλινδρο. Το δείγμα αερίου στον κύλινδρο μεταφέρεται έπειτα σε ένα εργαστήριο και αναλύεται με έναν χρωματογράφο αερίου για το περιεχόμενο της μυρουδιάς του. Εξαιτίας του γεγονότος ότι τα οσμωτικά αντιδρούν συχνά με τους κυλίνδρους που είναι καθαρά από χάλυβα, είναι σημαντικό να χρησιμοποιηθεί ένας κύλινδρος που σχεδιάστηκε για αυτό το σκοπό.

Υπάρχει επίσης μια εναλλακτική μέθοδος για τον έλεγχο του αερίου LPG για μυρωδικό η οποία παρέχει άμεσες εκτιμήσεις στον τομέα χωρίς περίπλοκη εργαστηριακή εργασία. Σε αυτήν την μέθοδο, μια εξάρτηση ανίχνευσης αερίου τομέα χρησιμοποιείται. Το αέριο από τη δεξαμενή LPG απελευθερώνεται σε ένα δειγματοληπτικό μπαλόνι ή τσάντα. Αρκετό αέριο απελευθερώνεται στην τσάντα ή το μπαλόνι για να μας εξασφαλίσει ότι οποιοσδήποτε διαμένων αέρας καθαρίστηκε, έτσι ώστε να μην υπάρχει τίποτα στην τσάντα ή το μπαλόνι εκτός από το αέριο LPG. Μια χειραντλία, που είναι όπως μια αντίστροφη αντλία ποδηλάτου, χρησιμοποιείται έπειτα για να εξάγει το αέριο LPG μέσω ενός λεπτού γυαλιού φιαλιδίου που περιέχει ένα χημικά επεξεργασμένο υλικό φίλτρων. Καθώς το αέριο LPG περνά δια μέσω του φιαλιδίου, οποιοδήποτε παρουσία μυρωδικού αντιδρά με τις χημικές ουσίες που εγκαθίστανται στο φίλτρο και το φίλτρο αλλάζει χρώμα σύμφωνα με μια κλιμακωτή γραμμή.

Φυσικά, όσο μεγαλύτερη η αλλαγή χρώματος που γίνεται κατά μήκος του φιαλιδίου, τόσο υψηλότερη η συγκέντρωση του οσμωτικού στο δείγμα. Η συγκέντρωση του οσμωτικού βρίσκεται έπειτα με τη μέτρηση του μήκους της αλλαγής χρώματος κατά μήκος του φιαλιδίου και κάνοντας έλεγχο ενός διαγράμματος για την αντίστοιχη συγκέντρωση του μυρωδικού.

Γενικά, η ακρίβεια αυτής της μεθόδου σε μια μόνο δοκιμή είναι ίσως $\pm 10\%$. Οι αρχάριοι που χρησιμοποιούν αυτήν την μέθοδο υποτιμούν συχνά το ποσό της παρουσίας μυρωδικού στο αέριο LPG επειδή είναι ένα κοινό λάθος να μην εκκαθαρίζεται επιμελώς η τσάντα ή το μπαλόνι του εναπομένοντος αέρα. Οποιοσδήποτε αέρας που αναμιγνύεται με το LPG, φυσικά, αναγκάζει την υποδεδειγμένη συγκέντρωση μυρωδικού να μειωθεί. Αυτό συμβαίνει επειδή το ποσό της παρουσίας αερίου μυρωδικού συγκρίνεται με το συνολικό όγκο του αερίου που εξάγεται μέσω του φιαλιδίου για να λάβει τη συγκέντρωση ανά όγκο.

Εξετάζοντας την ευκολία και τη λιτότητα της δοκιμής, εντούτοις, διάφορες δοκιμές μπορούν να γίνουν με συνοπτική σειρά για να αναπτυχθεί μια στατιστική βάση για ακρίβεια καλύτερη από μια μόνο δοκιμή. Επειδή αυτή η μέθοδος παρέχει μια άμεση μέτρηση της συγκέντρωσης μυρωδικού, αξίζει πραγματικά δεδομένου ότι, ειδικά όταν το μυρωδικό περιεχόμενο είναι αρκετά παραπάνω από τις συγκεντρώσεις απαίτησης.

Μια κοινή διαδικασία είναι να χρησιμοποιηθεί αυτή η μέθοδος για να υπολογίσουμε πρώτα το ποσό της παρουσίας μυρωδικού. Εάν η συγκέντρωση μυρωδικού είναι αρκετά

παραπάνω από τις απαιτήσεις, έτσι ώστε η κλίμακα της ακρίβειας της μεθόδου να μην επικαλύπτει την απαραίτητη συγκέντρωση μυρωδικού, μπορεί να μην είναι απαραίτητο να ληφθεί ένα δείγμα υγρού ή αερίου για την εργαστηριακή ανάλυση. Εάν η συγκέντρωση είναι κοντά στην απαίτηση, εντούτοις, κατόπιν οι ακριβέστερες μέθοδοι δειγματοληψίας και εργαστηρίων μπορούν να απαιτηθούν.

Διάφορες επιχειρήσεις κάνουν αυτές τις συσκευές και τα φιαλίδια δειγματοληψίας αερίου. Εκτός από να είσαι σε θέση να εξετάσεις την παρουσία μυρωδικού LPG, αυτός ο εξοπλισμός είναι επίσης χρήσιμος για άλλα αέρια. Ο ίδιος εξοπλισμός, παραδείγματος χάριν, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξετάσει τις συγκεντρώσεις CO, CO₂, CH₄, των αλδευδών, ή άλλων κοινών αερίων στον αέρα. Η μόνη αλλαγή στον εξοπλισμό είναι το φιαλίδιο: ένα φιαλίδιο ευαίσθητο στο συγκεκριμένο αέριο ψαχνόταν για να χρησιμοποιηθεί. Όπως πριν, οι χημικές ουσίες στο υλικό των φίλτρων στο φιαλίδιο θα δείξουν από την αλλαγή χρώματός τους εάν το ιδιαίτερο αέριο είναι παρόν καθώς το δείγμα εξάγεται μέσω του φιαλιδίου από τη δράση της χειραντλίας.

Υπάρχει ένα εξαιρετικά σημαντικό σημείο να θυμηθούμε όσον αφορά την αξιολόγηση είτε των υγρών είτε των αερίων δειγμάτων του LPG. Η συγκέντρωση του μυρωδικού σε ένα υγρό δείγμα LPG θα είναι γενικά διαφορετική από τη συγκέντρωσή της σε ένα αέριο δείγμα από το ίδιο LPG, επειδή το ποσοστό εξάτμισης του μυρωδικού δεν είναι το ίδιο με το ποσοστό εξάτμισης των LPG.

ΣΤ. Ανίχνευση διαρροών

Πρέπει να σημειωθεί ότι ένας από τους απλούστερους τρόπους να ανιχνευθούν οι διαρροές είναι με τη μυρωδιά. Εντούτοις, οι μυρωδιές μπορούν μερικές φορές να συγχέονται. Ενώ τα άτομα που τις μυρίζουν είναι εύλογα ευαίσθητα, δεν είναι συχνά οξυδερκείς. Η μυρωδιά των ακαθαρσιών κοτόπουλου, ατμοί καμένων κιβωτίων, αποσυντεθημένο σιτάρι, βενζίνη και παρόμοια είναι μερικές φορές συγκεχυμένος με το φυσικό αέριο ή τα μυρωδικά του LPG.

Μια απλή και ευαίσθητη μέθοδος για την εύρεση διαρροών στις σωληνώσεις όπου το αέριο είναι ακόμα σε κίνηση είναι μια δοκιμή φυσαλίδων. Σε αυτήν την δοκιμή, ένα διάλυμα μεταλλικού άλατος λιπαρού οξέος ικανό να σχηματίζει φυσαλίδες ψεκάζεται ή τοποθετείται στις ενώσεις κατά μήκος του σωλήνα. Όπου υπάρχει μια διαρροή, το διάλυμα του μεταλλικού άλατος θα διαμορφώσει τις φυσαλίδες που θα φουσκώσουν το διαφεύγων αέριο.

Είναι συνήθως βολικό να χρησιμοποιηθεί ένα κενό μπουκάλι ψεκασμού για αυτόν το λόγο, ή ίσως ένα κενό πιεστικό δοχείο.

Εάν είναι απαραίτητο, ο ογκομετρικός ρυθμός διαρροών μπορεί να υπολογιστεί με ένα χρονόμετρο και ένα μικρό χάρακα ή μια κλίμακα. Δεδομένου ότι η φυσαλίδα αυξάνεται, η διάμετρός της μπορεί να μετρηθεί. Αν υποθέσουμε ότι η φυσαλίδα είναι μια σφαίρα και η γνώση του χρόνου που παίρνει για να φθάσει στη μετρούμενη διάμετρο επιτρέπει μια εκτίμηση του ρυθμού διαρροών που πρέπει να γίνουν.

$$(iv) \quad Q = (l/6)(\pi)(D^3)/t$$

όπου: Q = ποσοστό διαρροών, όγκος ανά χρόνο,

D = η διάμετρος της φυσαλίδας στο χρόνο t, και

t = ο καταγραφών χρόνος για την διαμόρφωση φυσαλίδας διαμέτρου D

Όταν διατίθεται, μια βιντεοκάμερα είναι πολύ χρήσιμη στην καταγραφή της αύξησης των φυσαλίδων σε πραγματικό χρόνο, έτσι ώστε οι μετρήσεις χρόνος-ως προς-διάμετρο μπορούν να γίνουν στον ελεύθερο χρόνο. Αυτό είναι ένα πραγματικό πλεονέκτημα που ελέγχεται και κυλά με αργό ρυθμό στο χώρο ενός σπιτιού. Φυσικά, είναι ακόμα απαραίτητο

να παρασχεθεί μια κλίμακα στην καταγραφή σύμφωνα με την οποία οι διάμετροι των φυσαλίδων μπορούν να μετρηθούν.

Μια κοινή μέθοδος που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση διαρροών είναι της οσμής ή ανιχνευτές καυσίμου αερίου. Αυτές οι συσκευές ανιχνεύουν τους ατμούς καυσίμου αερίου και είναι όχι μόνο χρήσιμες στην εντόπιση των διαρροών αερίου, αλλά μπορούν επίσης να είναι χρήσιμες στην εύρεση των επιταχυντικών ατμών από τα αποστάγματα πετρελαίου.

Οι συσκευές έχουν ποικίλες μορφές. Μερικές έχουν εσωτερικές ηλεκτρικές αντλίες που απορροφούν το αέριο δείγμα στο τέλος ενός ελέγχου και διευθύνουν το αέριο στην αίθουσα δοκιμής του οργάνου. Άλλοι τύποι στηρίζονται επάνω στις χειραντλίες ή συμπιέζουν τους βολβούς για να δειγματίσουν τον αέρα. Οι περισσότερες από αυτές λειτουργούν με την ανάφλεξη του δείγματος του αέρα που περιέχει τα καύσιμα αέρια και έπειτα αισθάνεται τη θερμότητα, το φως, ή το βαθμό ιονισμού που παράγεται από την καύση. Το αποτέλεσμα μπορεί να είναι ένας δείκτης μετρητών, μια ψηφιακή ανάγνωση, ή ένα ευδιάκριτο σήμα. Στην τελευταία περίπτωση, το σήμα ηχεί συχνότερα όταν η συγκέντρωση είναι υψηλή.

Συχνά, τα δοχεία αερολύματος των προμιγμένων καυσίμων αερίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν έτσι ώστε οι διάφοροι "μετρητές οσμής" να μπορούν να βαθμονομηθούν για ένα ιδιαίτερο αέριο.

Οι μετρητές οσμής μπορούν να χρησιμοποιηθούν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Παραδείγματος χάριν, μπορούν να ανακαλύψουν τις διαρροές κατά μήκος των σωληνώσεων. Από τη δοκιμαστική δειγματοληψία και τα λανθασμένα δείγματα σε πολλές τοποθεσίες, το ίχνος μιας διαρροής μπορεί να ακολουθηθεί από την αύξηση της συγκέντρωσης πίσω στην πηγή του. Εντούτοις, χάνουν τη χρησιμότητά τους για τις έρευνες επιφάνειας όταν έχει δυνατό αέρα, το έδαφος καλύπτεται με πάγο, ή υπάρχει υπερβολική εδαφική υγρασία.

Με τη χρήση του εξοπλισμού διάτρησης, οι μετρητές οσμής μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τις έρευνες κάτω από την επιφάνεια. Μερικές φορές αυτές καλούνται έρευνες τρύπας ράβδων. Μια τρύπα ανοίγεται με τρυπάνι κάτω σε μια τάφρο σωλήνων ή άλλους υπόγειους χώρους ύποπτους κατοχής αερίου και μερικές φορές επιτρέπεται για κάποιο υπόγειο αέριο να διασκορπιστεί στην τρύπα. Λαμβάνεται δείγμα αέρα από την τρύπα έπειτα για τα καύσιμα αέρια. Συνήθως, ο μετρητής οσμής θα συνδέεται με μια ράβδο στο τέλος του για αυτόν το λόγο, η οποία ράβδος είναι βασικά μια επέκταση η ένας μακρύς σωλήνας του μετρητή οσμής έτσι ώστε να επιλέγεται μόνο ο αέρας από την τρύπα.

Το κύριο μειονέκτημα των μετρητών οσμής είναι συνήθως άνευ διακρίσεως όσον αφορά τον τύπο καυσίμου αερίου που ανιχνεύεται. Ενώ οι περισσότεροι είναι βαθμονομημένοι για το μεθάνιο, θα αποκριθούν επίσης στις ποικίλες ευαισθησίες στα περισσότερα εύφλεκτα αέρια, μερικές φορές συμπεριλαμβανομένης και της αμμωνίας (π.χ. το προσωπικό εταιρίας αερίου να νομίζει ότι έχει εντοπίσει μια κάτω από την επιφάνεια διαρροή αερίου, και στο τέλος αφού σκάψουν να βρουν μόνο ότι είχαν εντοπίσει μια θαμμένη κρύπτη της αποσυντεθειμένης ακαθαρσίας από διαρροή συστήματος αποχέτευσης.

Περαιτέρω, είναι επίσης δυνατό "να δηλητηριαστούν" μερικοί τύποι μετρητών ροής με τα βαριά μέταλλα. Παραδείγματος χάριν, ο τετραϊθυλικός μόλυβδος που βρίσκονταν σε παλαιότερους τύπους βενζινών μπορεί να καλύψει τον καταλύτη, που είναι συνήθως από λευκόχρυσο, μέσα στην αίθουσα δοκιμής. Κατά συνέπεια, μετά από την έκθεση στους ατμούς που περιέχουν τα βαριά μέταλλα, η ευαισθησία μετρητή οσμής μπορεί να μειωθεί σημαντικά. Μερικά από αυτά τα προβλήματα μπορούν να μετριαστούν με την χρήση προ-δειγματοληπτικών φίλτρων στο τέλος του σωλήνα. Τέτοια φίλτρα μπορούν να κρατήσουν έξω μερικά από τα μόρια σκόνης, ή τα μόρια βαριών μετάλλων.

Ένα πεπιεσμένο αέριο που δραπτετεύει παράγει συνήθως έναν ήχο. Οι περισσότεροι από μας έχουν ακούσει το θόρυβο που συνδέεται με τη διαφυγή του αέρα από έναν εύκαμπτο αεραγωγό ή από κάτι παρόμοιο. Ο ήχος παράγεται επίσης υπερηχητικά, αυτό είναι πάνω από το φάσμα της ανθρώπινης ακοής. Η μέγιστη δυνατότητα ακοής του ανθρώπου είναι συνήθως στα 20.000 Hertz. Χρησιμοποιώντας αυτήν την βασική αρχή, οι υπέργιοι σωλήνες μπορούν συχνά να ελεγχθούν για διαρροές χρησιμοποιώντας τους ανιχνευτές υπερήχων. Καταρχήν, όσο το μέγεθος της πίεσης του αερίου αυξάνεται, η ενέργεια υπερήχων που παράγεται από τις διαρροές αυξάνεται επίσης.

Η αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου εξαρτάται από την ησυχία της σωληνώσεως, και το ποσό μείωσης του υπερήχου από τα τμήματα των σωληνώσεων. Παραδείγματος χάριν, ένα ευρύ φάσμα του θορύβου που δημιουργείται από τα μηχανήματα που συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με τις σωληνώσεις μπορεί να καλύψει το σήμα του υπερήχου από μια διαρροή. Σωλήνες Pitot, σωλήνες Venturi ή μικρές βαλβίδες που είναι μερικώς ανοικτές μπορούν επίσης να παραγάγουν υπέρηχο παρόμοιο με αυτόν μιας διαρροής. Στην πραγματικότητα, αν υπάρχουν ταυτόχρονες διαρροές μπορεί να δημιουργηθεί ικανοποιητικός θόρυβος ώστε να καταστήσει την εργασία ανίχνευσης δύσκολη.

Μερικά συστήματα σωληνώσεων έχουν εξαρτήματα που μπορούν να καταπνίξουν τον υπέρηχο που δημιουργείται από τη διαρροή. Αλλά συστήματα σωληνώσεων μπορεί "να αντανakλούν" τον υπέρηχο έτσι ώστε μια ενιαία διαρροή να εμφανίζεται ότι προέρχεται από διάφορες κατευθύνσεις. Ένας συνδυασμός των παραπάνω, μπορεί να αναγκάσει το χειριστή να δώσει μια λανθασμένη κατεύθυνση ως προς τη θέση της διαρροής, εκτός αν γίνει μια λεπτομερής έρευνα στις σωληνώσεις.

Γενικά, απαιτείται ότι όταν καθορίζεται το σημείο της διαρροής χρησιμοποιώντας τον υπέρηχο, να χρησιμοποιείται μια δεύτερη μέθοδος ως επιβεβαίωση.

Ένας άλλος τρόπος δοκιμής είναι όταν ένα τμήμα του σωλήνα απομονώνεται από το σύστημα και διατηρείται υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση ή με την παροχή σε αυτόν ενός αερίου όπως το άζωτο. Το διατηρημένο υπό σταθερή πίεση τμήμα σωλήνων ελέγχεται έπειτα περιοδικά για την απώλεια πίεσης.

Συχνά η πίεση που χρησιμοποιείται για τη δοκιμή είναι τουλάχιστον αυτή που οι σωληνώσεις θα μπορούσαν κανονικά να φέρουν, συνήθως είναι υψηλότερη. Συχνά, οι ίδιες βασικές παράμετροι δοκιμής για την πίεση και για τον χρόνο χρησιμοποιούνται για την πιστοποίηση των πρόσφατα εγκατεστημένων σωληνώσεων όσο αφορά τις διαρροές. Εάν υπάρχει μια πτώση πίεσης που υποδεικνύει μια διαρροή, το ποσοστό πτώσης στο χρόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστεί το μέγεθος της διαρροής (ω) από τις βασικές εκτιμήσεις του νόμου των αερίων.

Παραδείγματος χάριν, υποθέστε ότι ένας σωλήνας μήκους L με μια εσωτερική διάμετρο D είναι κλειστός και από τις δύο άκρες, και είναι πεπιεσμένος με αέρα σε πίεση P_2 . Το τμήμα του σωλήνα αφήνεται έπειτα για μεγάλο χρονικό διάστημα ώστε να έρθει σε ισορροπία με τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Ο όγκος του τμήματος του σωλήνα είναι:

$$(v) V = \pi(D^2/4)L$$

Στην πίεση P_2 το ποσό αερίου, σε μονάδες μάζας, στο κλεισμένο τμήμα του σωλήνα θα ήταν:

$$(vi) m_2 = (P_2V)/(RT) = (P_2)\pi(D^2/4)L/(RT)$$

η οποία είναι μια απλή εφαρμογή του νόμου ιδανικών αερίων, όπου το R είναι η σταθερά του αερίου για τον αέρα (ή οποιοδήποτε άλλο αέριο χρησιμοποιείται), και το T είναι θερμοκρασία.

Μετά από το πέρασμα ενός ορισμένου χρόνου t, η πίεση πέφτει στο P₁. Κατά συνέπεια η μάζα στο κλεισμένο τμήμα του σωλήνα που χάθηκε από τη διαρροή κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου καθορίζεται ως εξής:

$$(vii) m_2 - m_1 = (P_1 - P_2)V / (RT)$$

Τα ανωτέρω υποθέτουν ότι η θερμοκρασία μέσα στο τμήμα του σωλήνα δεν έχει αλλάξει σημαντικά κατά τη διάρκεια της χρονικής διαρροής που έχει εμφανιστεί, και ότι το ποσό που διέρρευσε είναι μικρό όσον αφορά τον όγκο μέσα στο σωλήνα έτσι ώστε η ισορροπία του αερίου μέσα στο σωλήνα να διατηρείται η ίδια με τον περιβαλλοντικό, στην ουσία είναι μια ισόθερμη διαδικασία.

Το ποσοστό της διαρροής της ροής της μάζας είναι το ακόλουθο:

$$(viii) (m_2 - m_1 / t) = (P_2 - P_1)V / (RT)t = [(P_2 - P_1)p(D^2 / 4) / L] / [(RT)t]$$

Εάν είναι απαραίτητο να μετατραπεί αυτό το ποσοστό διαρροής της ροής της μάζας σε ένα ογκομετρικό ποσοστό ροής διαρροών σε σταθερές συνθήκες, ο νόμος ιδανικών αερίων μπορεί να ξαναεφαρμοστεί για κανονικές συνθήκες.

$$(ix) [(m_2 - m_1) / t] RT_s / P_s = Q$$

όπου Q = όγκος της διαρροής του αερίου σε σταθερές συνθήκες ως προς τον χρόνο, και ο δείκτης s υποδεικνύει για σταθερές συνθήκες.

Με το όριο της εξίσωσης (viii), φαίνεται ότι ισχύουν τα ακόλουθα:

$$(x) dm / dt = [p(D^2 / 4)L / (RT)] [dT / dt].$$

Από την αντικατάσταση, λαμβάνεται ο ακόλουθος τύπος:

$$(xi) Q = [dm / dt] RT_s / P_s$$

$$Q = [p(D^2 / 4)L(T_s) / P_s(T)] [dP / dt].$$

Το μέγεθος της τρύπας που προκαλεί τη διαρροή μπορεί έπειτα να υπολογιστεί με την εφαρμογή της εξίσωσης συνέχειας:

$$(xii) [dm / dt] = Avr$$

όπου: A = εμβαδόν της τρύπας,

v = ταχύτητα του αερίου που δραπετεύει μέσω της τρύπας, και

ρ = P/RT ή πυκνότητα του αερίου στην τρύπα, η οποία σε αυτήν την περίπτωση θα αντιστοιχούσε στις συνθήκες μέσα στο τμήμα σωλήνων.

Τώρα, η ταχύτητα διαφυγής του αερίου στην τρύπα προέρχεται από την Ενεργειακή Εξίσωση Ροής του Bernoulli για ένα συμπιεσμένο αέριο:

$$(xiii) v = C [2J (h_2 - h_1)]^{1/2}$$

όπου : h_2 και h_1 , είναι οι ενθαλπίες του αερίου αντίστοιχα μέσα στο σωλήνα, και κατόπιν έξω από το σωλήνα,

J = παράγοντας μετατροπής ενθαλπίας για να μετατρέψει θερμικές μονάδες σε έργο, και

C = συντελεστής στομίου, ο οποίος λαμβάνεται συνήθως να είναι 0,98.

Έπειτα από την αντικατάσταση, το εμβαδόν της τρύπας της διαρροής μπορεί να υπολογιστεί από τα εξής:

$$(xiv) A = [dm / dt] [1 / v] [RT / P_2]$$

$$A = [p (D^2 / 4) L / (RT)] [dP / dt] [RT / P_2] / C [2J (h_2 - h_1)]^{1/2}$$

$$A = [p (D^2 / 4) L] [dP / dt] / P_2 C [2J (h_2 - h_1)]^{1/2}$$

Η ανωτέρω εκτίμηση για το μέγεθος της διαρροής μπορεί να είναι χρήσιμη στην απόφαση για το σε ποια τάξη ανήκει η διαρροή.

Είναι χρήσιμο εάν μια πίεση ξεπερνά μόλις την κανονική πίεση εργασίας και μια άλλη ακριβώς κάτω από την κανονική πίεση εργασίας. Αυτό παρέχει το " $P_2 - P_1$ ", που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει τη συγκεκριμένη μάζα ή την ογκομετρική ποσοστό ροής της διαρροής μεταξύ των δύο πιέσεων, δηλ., στην πίεση εργασίας. Αυτό μπορεί να είναι σημαντικό για να γίνει γνωστό εάν αυτή η ιδιαίτερη διαρροή θα μπορούσε ή όχι να έχει προκαλέσει την πυρκαγιά ή την έκρηξη, λαμβάνοντας υπόψη την προκύπτουσα ζημιά και το σχετικό χρονικό διάστημα.

Τα τεστ απομόνωσης είναι αποτελεσματικότερα για δόκιμες σε θαμμένες σωληνώσεις, ή για δόκιμες σε μεγάλα, σύνθετα συστήματα σωληνώσεων. Εάν δεν υπάρχει καμία διαρροή, ένα και μόνο τεστ απομόνωσης μπορεί να μας δώσει έναν καθαρό λογαριασμό της υγείας των σωληνώσεων που ειδάλλως θα ήταν δαπανηρό να σκαφτεί, ή να ελεγχθεί με τη χρήση της δοκιμής φουσαλίδων ή ενός ανιχνευτή αερίων καύσιμων. Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου απομόνωσης είναι ότι δεν μπορεί από μόνο του να εντοπίσει συγκεκριμένα τη διαρροή. Απλά δείχνει εάν οι διαρροές είναι παρούσες και είναι συγκεκριμένο για το ποσοστό των διαρροών. Η μέθοδος απομόνωσης απαιτεί επίσης βοηθητικό εξοπλισμό και προετοιμασία.

Μετά από μια φωτιά ή μια έκρηξη, μια δοκιμή μπορεί να είναι πολύ χρήσιμη για να ελέγξει ότι δεν υπάρχει καμία διαρροή σε ένα συγκεκριμένο τμήμα των σωληνώσεων. Εάν καμία διαρροή δεν βρίσκεται μετά από μια φωτιά ή μια έκρηξη, μπορεί να συμπεράνουμε ότι δεν υπήρξε καμία αιτία για την φωτιά ή την έκρηξη. Εντούτοις, εάν η κλειστή δοκιμή υποδεικνύει ότι υπάρχουν διαρροές, δεν μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι οι διαρροές ήταν παρούσες πριν από την πυρκαγιά. Ειδικά σε μια έκρηξη, είναι δυνατό η μετακίνηση του κτηρίου κατά τη διάρκεια ή μετά το γεγονός του ατυχήματος να προκαλέσει τις διαρροές στις σωληνώσεις. Σε τέτοιες περιπτώσεις, θα είναι απαραίτητο να εξεταστούν οι συγκεκριμένες περιοχές διαρροών για να καθορίσει από άλλα τα στοιχεία εάν οι διαρροές εμφανίστηκαν πριν ή μετά από το γεγονός του ατυχήματος.

Συμπερασματικά αυτού του καταλόγου μεθόδων για τις διαρροές, υπάρχει μια μεθοδολογία που δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί: δοκιμή φλογών. Μερικοί από τους παλαιότερους υδραυλικούς και τους τεχνικούς HVAC, και μερικοί από τους νεώτερους, χρησιμοποιούν μια μικρή φλόγα για να ελέγξουν τις διαρροές του αερίου. Η ιδέα είναι ότι η φλόγα θα αναφλεγεί από οποιοδήποτε περιπλανώμενο αέριο και θα προκαλέσει μια φλόγα

που θα υποδείξει το σημείο της διαρροής. Το σημείο της διαρροής μπορεί έπειτα να επισημανθεί από τη φλόγα, ή από την κατεύθυνση της λάμψης κατά μήκος του σωλήνα.

Ενώ αυτή η μέθοδος μπορεί να λειτουργήσει, είναι επικίνδυνα επισφαλής. Κατ' αρχάς, εάν ο τεχνικός συναντήσει ένα μεγαλύτερο ποσό διαρροής από το αναμενόμενο, μπορεί να θέσει την έκρηξη που επιδίωκε να αποτρέψει. Φυσικά, κατά τη διάρκεια της έρευνας μετά την έκρηξη, η θέση του σώματος του τεχνικού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει κατά προσέγγιση τη σημειακή θέση του ορίου του οστικού κύματος του αερίου.

Αφετέρου, συχνά το φυσικό αέριο μπορεί να καεί χωρίς να φανεί φλόγα. Είναι δυνατό μ' αυτό τον τρόπο να αναφλεχτεί τυχαία το αέριο που προέρχεται από ένα σημείο διαρροών, και έπειτα να μην είναι σε θέση να βρεθεί. Λαμβάνοντας υπόψη το χρόνο, η φλόγα μπορεί να δημιουργήσει μια τρύπα διαρροής στο σωλήνα και να πάρει μεγαλύτερες διαστάσεις με την τήξη του, ή μπορεί να αναγκάσει έναν σύνδεσμο χαμηλής θερμοκρασίας να κλείσει αφότου χαλαρώσει λόγω τις θερμότητας στο σωλήνα. Εάν η φλόγα δεν ανακαλύπτεται και σβηστή, μπορεί τελικά να προκαλέσει μια εκτεταμένη πυρκαγιά. Φυσικά, δεδομένου ότι μπορεί να υπάρξει κάποια χρονική καθυστέρηση από το όταν ο τεχνικός ήταν παρών στη μονάδα από την στιγμή που ανακαλύφθηκε η πυρκαγιά, ο τεχνικός θα πει ότι το λάθος δεν ήταν δικό του.

Z. Ταξινόμηση διαρροών

Διεθνώς έχει καθιερωθεί ένα σύστημα ταξινόμησης στο οποίο οι εύφλεκτες διαρροές αερίων είναι ταξινομημένες. Οι κατηγορίες είναι οι ακόλουθες:

- **Βαθμός 1:** Αυτή είναι μια διαρροή που ένας πιθανός κίνδυνος για πρόσωπα ή ιδιοκτησίες. Η διαρροή 1^{ου} βαθμού απαιτεί την άμεση επισκευή ή προληπτικά μέτρα έως ότου δεν είναι πλέον επικίνδυνη.
- **Βαθμός 2:** Αυτή είναι μια διαρροή που μπορεί να μην είναι επικίνδυνη αυτήν τη στιγμή, αλλά θα μπορούσε να αναπτύξει επικίνδυνες συνθήκες με το πέρασμα του χρόνου. Ο 2^{ος} βαθμός διαρροής απαιτεί τη συχνή συντήρηση έτσι ώστε η διαρροή να μην γίνει επικίνδυνη.
- **Βαθμός 3:** Αυτή είναι μια διαρροή που δεν είναι επικίνδυνη, και μπορεί λογικά να παραμείνει ακίνδυνη.

Μερικά παραδείγματα διαρροής 1^{ου} δίνονται κατωτέρω:

- Το αέριο που δραπέτεύει έχει αναφλεγεί.
- Αέριο που έχει μεταναστεύσει μέσα ή κάτω από ένα κτήριο.
- Οποιαδήποτε μέτρηση συγκέντρωσης καύσιμου αερίου που παρουσιάζει το εύφλεκτο αέριο κατά 80% χαμηλότερα από το κατώτερο όριο ανάφλεξης του σε μια περιορισμένη περιοχή.

Μερικά παραδείγματα διαρροής 2^{ου} δίνονται κατωτέρω:

- Μια μέτρηση συγκέντρωσης αερίου καύσιμου που παρουσιάζει το εύφλεκτο αέριο κατά 40% ή περισσότερο από το χαμηλότερο όριο ανάφλεξης του κάτω από ένα πεζοδρόμιο.
- Μια μέτρηση συγκέντρωσης αερίου καύσιμου που παρουσιάζει το εύφλεκτο αέριο κατά 80% ή περισσότερο από το χαμηλότερο όριο ανάφλεξης του στην υποδομές που σχετίζονται με το αέριο.
- Οποιαδήποτε μέτρηση συγκέντρωσης αερίου καύσιμου που παρουσιάζει το εύφλεκτο αέριο κατά 20%-80% χαμηλότερο από το χαμηλότερο όριο ανάφλεξης του σε μια περιορισμένη περιοχή.

Μερικά παραδείγματα διαρροής 3^{ου} δίνονται κατωτέρω:

- Οποιαδήποτε μέτρηση συγκέντρωσης αερίου καύσιμου που παρουσιάζει εύφλεκτο αέριο από 20% ή λιγότερο σε μια περιορισμένη περιοχή.
- Οποιαδήποτε διαρροή κάτω από μια οδό ή ένα πεζοδρόμιο στις περιοχές χωρίς πεζοδρόμιο από τοίχο σε τοίχο όπου είναι απίθανο το αέριο να μεταναστεύσει σε ένα κτήριο.

Φυσικά, δεν μπορούν όλες οι διαρροές που βρίσκονται στις σωληνώσεις αυτόματα να συνδεθούν με την αιτία της φωτιάς ή της έκρηξης. Μερικές διαρροές μπορούν απλά να είναι συμπτωματικές. Είναι επομένως σημαντικό να καθοριστεί ότι εάν οποιεσδήποτε διαρροές που βρέθηκαν κατά τη διάρκεια μιας έρευνας είναι 1^{ου} βαθμού διαρροές ή όχι. Εξ ορισμού, θα χρειαζόταν μια 1^{ου} βαθμού διαρροή για να προκαλέσει μια φωτιά ή μια έκρηξη.

Παράδειγμα: Ένας εμπρηστής θέτει φωτιά στο σπίτι του χρησιμοποιώντας τη δοκιμασμένη και επαληθευμένη μέθοδο χύνοντας βενζίνη στο πάτωμα. Κατά τη διάρκεια της έρευνας μετά τη φωτιά, διαπιστώνεται ότι το σύστημα LPG έχει διάφορες διαρροές στις σωληνώσεις του. Ο πληρεξούσιος δικηγόρος του εμπρηστή χρησιμοποιεί αυτή την πληροφορία για να ισχυριστεί ότι η φωτιά δεν προκλήθηκε από τον πελάτη του, αλλά από μια διαρροή στο σύστημα LPG. Μπορεί ακόμη και ίσως να υποβάλει μήνυση στον τοπικό διανομέα τις LPG.

Το σημαντικό σημείο σε αυτό το σενάριο είναι ότι ο δικηγόρος του εμπρηστή έχει τώρα μερικά στοιχεία που μπορεί να τα παρουσιάσει στο δικαστήριο για να ενισχύσει τη θεωρία του για το πώς άρχισε η φωτιά, δηλ ότι η φωτιά ήταν τυχαία και προκλήθηκε από το σύστημα LPG. Στο ελάχιστο, ο δικηγόρος μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτές τις πληροφορίες για να συγχύσει τους δικαστές. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο κατηγορούμενος δεν είναι απαραίτητο να αποδείξει ακριβώς τι έγινε για να βρεθεί αθώος, αυτό που πρέπει να κάνει είναι να δείξει ότι υπάρχει σημαντική αμφιβολία ως προς το τι συνέβη.

Κατά συνέπεια είναι πολύ σημαντικό, όταν βρίσκονται τέτοιες διαρροές, να ερευνηθεί εάν οι διαρροές προκλήθηκαν ή όχι κατά τη διάρκεια ή μετά από τη φωτιά, σε αντιδιαστολή με την ύπαρξη τους πριν από την φωτιά.. Εάν οι διαρροές ήταν παρούσες πριν από την πυρκαγιά, είναι σημαντικό να πιστοποιηθεί ποιος σε ποιο βαθμό διαρροής ήταν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΦΩΤΙΑΣ

A. Γενικά

Όπως σημειώνεται στο κεφάλαιο 2, η φωτιά είναι ένας τύπος χημικής αντίδρασης. Είναι μια γρήγορη αυτοϋποστηριζόμενη αντίδραση οξειδωσης όπου παράγονται η θερμότητα, το φως και άλλα υποπροϊόντα. Για να πραγματοποιηθεί μια φωτιά πρέπει να υπάρχουν τρία πράγματα παρόντα:

- καύσιμα σε επαρκή ποσότητα,
- ικανοποιητικός αέρας ή ένας φορέας οξειδωσης για να αντιδράσει με το καύσιμο, και
- μια πηγή ενέργειας, ή μια δράση που να είναι επαρκής για να διευκολύνει την ανάφλεξη.

Αυτές είναι οι θεμελιώδεις αρχές για τον προσδιορισμό του σημείου προέλευσης μιας πυρκαγιάς. Το σημείο προέλευσης πρέπει να είναι εκεί όπου και τα τρία συστατικά απαραίτητα για το ξεκίνημα της πυρκαγιάς ήταν παρόντα την ίδια στιγμή και στον ίδιο χώρο όταν άρχισε η πυρκαγιά.

Κατά γενική ομολογία, μερικοί τύποι πυρκαγιών μπορούν να ξεσπούν από μόνες τους κατά την άποψη της ενέργειας ενεργοποίησης. Απλά φέρνοντας ορισμένα υλικά στην επαφή το ένα με το άλλο, όπως τον αέρα και τον άσπρο φώσφορο στους 30°C, μπορεί να ξεσπάσει φωτιά. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η φωτιά δεν αρχίζει από έναν σπινθήρα ή μια φλόγα, αλλά από κάποιο είδος αντίδρασης που επιτρέπει στα αντιδραστήρια να έρθουν σε φυσική επαφή το ένα με το άλλο.

Υπάρχουν επίσης υλικά που μπορούν να αναφλεγούν όταν προστίθεται σε αυτά μια τρίτη χημική ουσία στα δύο πρώτα, τα οποία είναι σε επαφή το ένα με το άλλο. Η τρίτη χημική ουσία, ή ο καταλύτης, δεν αντιδρά με καθεμία εκ των άλλων δύο χημικών ουσιών για να ξεσπάσει η φωτιά, εντούτοις, αντιδρά με αυτά με έναν τρόπο που χαμηλώνει το ενεργειακό κατώτατο όριο ενεργοποίησης μεταξύ των δύο. Λόγω αυτού, η αντίδραση οξειδωσης μεταξύ των δύο υλικών μπορεί να αρχίσει σε μια χαμηλότερη θερμοκρασία, ή με σημαντικά λιγότερη αρχική ενέργεια απ' ό,τι συνήθως. Κατά συνέπεια, δύο χημικές ουσίες που από μόνες τους δεν θα αναφλέγονταν συνήθως ή μια με την άλλη μπορούν όμως να αναφλέγουν εάν ένας ορισμένος καταλύτης προστίθεται στο μίγμα. Εντούτοις, επιστρέφοντας στο βασικό σημείο, υπάρχει άφθονο οξυγόνο στον αέρα για να υποστηρίξει την καύση σχεδόν παντού όπου υπάρχουν κτήρια και άνθρωποι. Κατά συνέπεια η μεγάλη συγκέντρωση οξυγόνου δεν είναι συνήθως πρόβλημα, εκτός ίσως στους υπόγειους θαλάμους, τις κενές αίθουσες, ή άλλες ασυνήθιστες αεροστεγείς δομές.

Ομοίως, τα περισσότερα κτήρια, σπίτια και κατασκευαστικές εγκαταστάσεις περιέχουν άφθονα ποσά καύσιμων υλικών. Κάποτε, ήταν δημοφιλές να διαφημίζεται ότι μια αποθήκη ή ένα ξενοδοχείο ήταν "αντιπυρικά". Αυτή η αξίωση γινόταν επειδή το ίδιο το κτήριο ήταν φτιαγμένο από τσιμέντο, χάλυβα, και άλλα άφλεκτα υλικά. Εντούτοις, αυτά τα κτήρια περιείχαν μεγάλα ποσά επίπλων, ιματισμού, διακοσμήσεων, χαρτικής ύλης, κιβωτίων, και άλλων υλικών τα οποία θα μπορούσαν να καούν.

Φυσικά, ακριβώς επειδή ένα υλικό που δεν μπορεί να καεί δεν μπορεί να σημάνει ότι είναι και "αντιπυρικό". Το τσιμέντο και ο χάλυβας επηρεάζονται και τα δύο αρνητικά από την φωτιά. Είναι καταπληκτικό από τα πόσα από τα αποκαλούμενα "αντιπυρικά" ξενοδοχεία και αποθήκες έχουν καεί ολοσχερώς κατά τη διάρκεια των ετών.

Κατά συνέπεια, δύο από τα τρία συστατικά απαραίτητα για μια πυρκαγιά να εμφανιστεί είναι χαρακτηριστικά ήδη παρόντα στα περισσότερα μέρη, και είναι παρόντα για μεγάλο χρονικό διάστημα για εμφάνιση πυρκαγιάς. Συνεπώς, το κλειδί για την επίλυση του σημείου προέλευσης μιας πυρκαγιάς και της αιτιολογίας της, περιστρέφεται συχνά

γύρω από τον καθορισμό της φύσης του τρίτου συστατικού που είναι απαραίτητο για την πυρκαγιά: η ενέργεια ανάφλεξης.

B. Ταχύτητες καύσης και σχέδια "V"

Από την περιστασιακή παρατήρηση είναι προφανές ότι η πυρκαγιά διαδίδεται σε διαφορετικές αποστάσεις ανάλογα με το υλικό και τον προσανατολισμό της. Όσον αφορά τον προσανατολισμό, παραδείγματος χάριν, είναι κοινώς γνωστό σε καθέναν που έχει χρησιμοποιήσει σπύρτα ότι η φωτιά καίει γρηγορότερα ένα σπύρτο προς τα πάνω από ότι καίει προς τα κάτω. Είναι επίσης κοινός γνωστό ότι όταν ένα σπύρτο κρατιέται οριζόντια, η ακτίνα καύσης του είναι κάπου ενδιάμεσα.

Ας δούμε το εξής απλό πείραμα. Ένα κοινό ξύλινο σπύρτο κουζίνας είναι περίπου 50mm, αποκλείοντας το κεφάλι, και περίπου 2,5 mm X 2,5mm στο διαγώνιο τμήμα. Εάν η χρονομέτρηση αρχίσει μετά από το ανάφλεξη του κεφαλιού και το ξύλινο τμήμα αρχίζει να καίγεται, χρειάζονται περίπου 30 δευτερόλεπτα για το σπύρτο να καεί εντελώς όταν αυτό κρατιέται οριζόντια. Ομοίως, χρειάζεται 6 δευτερόλεπτα για το σπύρτο να καεί εντελώς όταν αυτό κρατιέται κάθετα με το μέρος που αναφλέγεται προς τα κάτω. Όταν το αναφλεγόμενο μέρος του σπύρτου κρατιέται προς τα πάνω, στις περισσότερες περιπτώσεις το σπύρτο σβήνει αφού έχει διανύσει 15mm. από το κεφαλή προς τα κάτω σε έναν μέσο χρόνο 35 δευτερολέπτων.

Χρησιμοποιώντας παραμετρικές εξισώσεις, οι ανωτέρω πληροφορίες μπορούν να εκφραστούν ως εξής:

$$(i) z = (50mm / 6sec)t = (8.67mm / sec)t$$

$$x = (50mm / 30sec)t = (1.67mm / sec)t$$

$$z_d = (15mm / 35sec)t = (0.43mm / sec)t$$

όπου: z = η απόσταση του ταξιδιού της φωτιάς στην ανοδική κάθετη κατεύθυνση,

x = η απόσταση του ταξιδιού της φωτιάς στην οριζόντια θέση, και το

z_d = η απόσταση του ταξιδιού της φωτιάς στην καθοδική κάθετη κατεύθυνση.

Η επιθεώρηση των ανωτέρω τριών εξισώσεων για την ταχύτητα καύσης σε ένα ξύλινο σπύρτο διαπιστώνετε ότι:

- η ταχύτητα καύσης είναι περίπου πέντε φορές μεγαλύτερη ανοδικά από ότι πλευρικά,
- η ταχύτητα καύσης είναι περίπου τέσσερις φορές γρηγορότερη πλευρικά απ' ότι καθοδικά,
- η ταχύτητα καύσης είναι περίπου είκοσι φορές γρηγορότερη ανοδικά από ότι καθοδικά.

Λόγω των ανωτέρω, όταν επιτρέπεται σε μια φωτιά να κάψει μια κάθετη επιφάνεια τοίχου, θα δημιουργήσει ένα διαμορφωμένο σχέδιο μορφής "V" και αυτό επειδή καθώς η φωτιά καίει προς τα πάνω, συγχρόνως θα διαδοθεί και πλευρικά, αλλά σε ένα πιο αργό ποσοστό. Εάν το πλευρικό ποσοστό καύσης ήταν ίσο με το ανοδικό ποσοστό καύσης, η γωνία "V" με την κατακόρυφο θα ήταν 45°, και η γωνία στην εγκοπή του "V" θα ήταν μια γωνία, 90°. Για αυτόν το λόγο, οι ανοδικές κινούμενες φωτιές έχουν μια γωνία "V" 90° ή μικρότερη. Λόγω των διαδικασιών μεταφοράς, τα πλευρικά ποσοστά καύσης δεν είναι ποτέ ίσα ή δεν υπερβαίνουν τα ανοδικά ποσοστά καύσης. Εάν η γωνία "V" είναι περισσότερη από 90° η φωτιά δεν έκαψε προς τα πάνω.

Τι συμβαίνει εάν η φωτιά καίει προς τα κάτω: Υποθέστε ότι μια φωτιά αρχίζει κάπου στην οροφή, και έπειτα διαδίδεται προς τα κάτω κατά μήκος ενός κάθετου τοίχου. Το

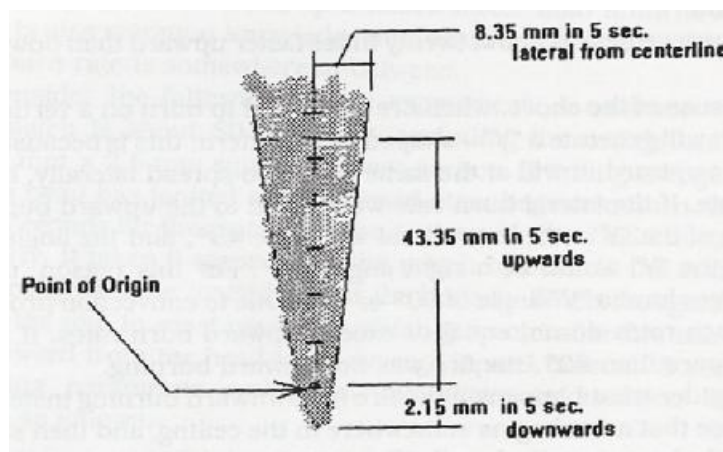
αρχικό σημείο των εγκαυμάτων σε εκείνο τον τοίχο αρχίζει από το μέσο στη κορυφή του τοίχου.

Επειδή το ποσοστό της καύσης είναι αρκετές φορές γρηγορότερο πλευρικά παρά καθοδικά, η μορφή του προς τα κάτω σχεδίου είναι μια πλάγια γωνία, και όχι μια οξεία γωνία "V". Παραδείγματος χάριν, χρησιμοποιώντας τους προηγούμενους αριθμούς για τα ποσοστά σε λεπτά ξύλινα σπέρτα, το πλευρικό ποσοστό είναι περίπου τέσσερις φορές γρηγορότερο από το καθοδικό ποσοστό. Αυτό θα αναγκάσει την φωτιά να διαδώσει πλευρικά κατά 4 μονάδες μήκους προς τα αριστερά, και 4 μονάδες μήκους προς τα δεξιά, καθώς κατεβαίνει μια μονάδα μήκους προς τα κάτω. Αυτό είναι μια γωνία 76° με την κατακόρυφο, και θα δημιουργήσει ένα "V" με μια γωνία περίπου 152° στην εγκοπή του "V". Κατά συνέπεια, οι καθοδικές φωτιές δεν δημιουργούν σχέδια "V" με μια οξεία γωνία αλλά δημιουργούν σχέδια εγκαυμάτων που έχουν πλάγιες τις γωνίες τους στην εγκοπή του "V."

Με τη μέτρηση της γωνίας του σχεδίου "V", η αναλογία του ανοδικού ποσοστού καύσης με το πλευρικό ποσοστό καύσης μπορεί να καθοριστεί. Παραδείγματος χάριν, εάν η γωνία στην εγκοπή του "V" ήταν 45° , η γωνία με την κατακόρυφο θα ήταν $22,5^\circ$. Η εφαπτομένη των $22,5^\circ$ είναι 0,414. Κατά συνέπεια, το μέσο ποσοστό στην πλευρική κατεύθυνση θα είναι το 41% του ποσοστού στην ανοδική κατεύθυνση, ή το ανοδικό ποσοστό θα είναι 2,4 φορές μεγαλύτερο από το πλευρικό ποσοστό.

Επειδή θα υπάρχουν επίσης κάποια καθοδικά ποσοστά, το πραγματικό σημείο όπου η πυρκαγιά άρχισε δεν βρίσκεται πάντα ακριβώς στην εγκοπή του "V". Συχνά αυτό θα βρεθεί ελαφρώς πιο πάνω από τη χαμηλότερη καμένη περιοχή του σχεδίου "V".

Παραδείγματος χάριν, χρησιμοποιώντας τους αριθμούς ταχύτητας της φωτιάς που σημειώθηκαν προηγουμένως για το ξερό, λεπτό ξύλο που χρησιμοποιείται στα σπέρτα, εάν υπήρχε ένας κάθετος τοίχος φτιαγμένος από ίδιο υλικό και η φωτιά είχε αρχίσει σε κάποιο σημείο σε εκείνο τον τοίχο και της επιτράπη να κάψει για 5 δευτερόλεπτα, το αποτέλεσμα του σχεδίου θα ήταν κάτι παρεμφερές με αυτό που απεικονίζεται στην ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 4.1 Χαρακτηριστικό σχέδιο "V" σε λεπτό, ξηρό ξύλο καπλαμά σε κάθετη θέση.

Σε αυτήν την περίπτωση, η αναλογία της ανοδικής προς την πλευρική ταχύτητα είναι 5,2 προς 1, αυτό δημιουργεί μια γωνία 11° με την κατακόρυφο, ή μια γωνία στην εγκοπή "V" 22° . Επειδή υπήρχαν και κάποια καθοδικά εγκαύματα, το πραγματικό σημείο προέλευσης των εγκαυμάτων βρίσκεται 2,15mm πάνω από το χαμηλότερο σημείο του "V."

Φυσικά, οι συγκεκριμένες παράμετροι ταχύτητας των φλογών θα αλλάξουν από υλικό σε υλικό. Εντούτοις, η γενική αρχή είναι η ίδια: η ανοδική διάδοση της φωτιάς είναι σημαντικά γρηγορότερη από την πλευρική διάδοση, και η πλευρική διάδοση είναι σημαντικά γρηγορότερη από την καθοδική διάδοση. Δεν είναι ασυνήθιστο σε μερικά υλικά τα ανοδικά ποσοστά εγκαυμάτων να είναι τουλάχιστον 20 φορές γρηγορότερα από ότι τα

πλευρικά εγκαύματα, ή τα ανοδικά ποσοστά εγκαυμάτων να είναι τουλάχιστον 50 φορές γρηγορότερα από τα καθοδικά ποσοστά εγκαυμάτων.

Γι' αυτούς τους λόγους οι ερευνητές πυρκαγιών ψάχνουν συχνά για το χαμηλότερο σημείο της σημαντικής ζημιάς εγκαυμάτων, αποκαλούμενο συχνά ως χαμηλό σημείο, και παρατηρούν εάν η ζημιά τις φωτιάς γίνεται πλευρικά και ανοδικά από αυτό το σημείο. Μερικές φορές το σημείο προέλευσης της φωτιάς βρίσκεται στο χαμηλό σημείο.

Γ. Ταχύτητες καύσης και ταχύτητες φλογών

Υπάρχει μια σημαντική εξαίρεση στην προηγούμενη αναφορά των σχεδίων "V", και αυτή η εξαίρεση περιλαμβάνει τη χρήση υγρών επιταχυντών. Όταν ένα επιταχυντικό υγρό, ειδικά κάποιου που το σημείο ανάφλεξης του είναι κάτω από τη θερμοκρασία δωματίου, βρέχεται πάνω σε ένα τοίχο και αναφλέγεται, η φωτιά ταξιδεύει γρήγορα σε όλη την παρακείμενη περιοχή που έχει βραχεί από το επιταχυντικό: καθοδικά, ανοδικά, και πλευρικά. Όσον αφορά τη καύση μέσα στη βρεγμένη περιοχή, οι κατευθυντήριες ταχύτητες της φωτιάς είναι σχεδόν οι ίδιες για όλους τους πρακτικούς λόγους.

Αυτό γίνεται επειδή η φωτιά διαδίδεται πραγματικά από την ανάφλεξη των εύφλεκτων ατμών που βρίσκονται κοντά στο υγρό στρώμα του επιταχυντικού. Γι' αυτό, όταν αναφλέγονται οι ατμοί ενός εύφλεκτου επιταχυντικού υγρού, πιάνουν συχνά φωτιά με ένα ξαφνικό "χους" ή "χουμπ" ήχο καθώς το μέτωπο τις φλόγας διαδίδεται γρήγορα όπως μια έκρηξη. Ανεπιβεβαίωτες "εκρήξεις" ατμών αυτού του τύπου καλούνται συχνά "puffers."

Δεδομένου ότι οι ατμοί εκπέμπονται από το επιταχυντικό υγρό και αναμειγνύονται με το διαθέσιμο αέρα, θα υπάρξουν πέντε βασικές ζώνες ευφλεκτότητας κοντά στην επιφάνεια της βρεγμένης περιοχής:

1. Η πιο ακραία ζώνη είναι όπου οι ατμοί είναι πάρα πολύ αραιοί ή διάχυτοι για να υποστηρίξουν την ανάφλεξη. Καμία ανάφλεξη δεν εμφανίζεται εδώ ακόμα κι αν μερικοί εύφλεκτοι ατμοί είναι παρόντες.
2. Η ακριβώς επόμενη ζώνη, είναι όπου η συγκέντρωση ατμών είναι περισσότερη από τη χαμηλότερη αναλογία ορίου καύσιμου-αέρα που είναι απαραίτητη για την ανάφλεξη να εμφανιστεί, αλλά είναι λιγότερη από τους στοιχειομετρικούς όρους.
3. Η τρίτη ζώνη είναι όπου η αναλογία καυσίμου-αέρα είναι στους στοιχειομετρικούς όρους, και τα αποτελέσματα της καύσης είναι μέγιστα. Αυτή δεν είναι μια συνεχής γραμμή ή ένα όριο, αλλά συνήθως είναι μια λεπτή, ασταθής περιοχή υποκείμενη στις ασάφειες της διάχυσης και τις εκ μεταφοράς τύρβης μεταξύ του αέρα και των ατμών καυσίμων.
4. Η τέταρτη ζώνη είναι όπου η αναλογία καύσιμου-αέρα είναι περισσότερη από τους στοιχειομετρικούς όρους, αλλά όχι και τόσο υψηλή ώστε να αναφλεγεί με την υπέρβαση του μέγιστου ορίου ευφλεκτότητας.
5. Η πέμπτη ζώνη, είναι αυτή που βρίσκεται ακριβώς δίπλα στη βρεγμένη επιφάνεια, όπου τα ποσοστά καύσιμου σε αναλογία με τον αέρα είναι πάρα πολύ υψηλά για την εμφάνιση της ανάφλεξης. Για αυτόν τον λόγο, σε μια επιφάνεια ενός ιδιαίτερα πτητικού εύφλεκτου υγρού, μερικές φορές οι φλόγες φαίνονται να καίνε ελαφρώς πιο πάνω από την επιφάνεια του υγρού.

Φυσικά, μόλις αναφλεγούν οι ατμοί, η θερμότητα που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της ανάφλεξης αναγκάζει τα αέρια να επεκταθούν και να φύγουν μακριά από έναν κάθετο τοίχο που έχει σαν αποτέλεσμα να επεκτείνει τις ζώνες. Τα αέρια κινούνται αρχικά εξωτερικά του δωματίου, και έπειτα ανοδικά λόγω της επίδρασης μεταφοράς. Κατά συνέπεια, οι ατμοί του εύφλεκτου υγρού μπορούν να υπερβούν την περίμετρο της περιοχής η οποία είναι βρεγμένη από το επιταχυντικό.

Όπως σημειώθηκε πριν, η ταχύτητα καύσης λεπτού ξύλου που χρησιμοποιείται για σπέρτα είναι περίπου 1,67mm ανά δευτερόλεπτο όταν το σπέρτο κρατιέται οριζοντίως. Υπό

τους παρόμοιους οριζόντιους όρους καύσης, η μέγιστη ταχύτητα καύσης της ακετόνης είναι 425mm ανά δευτερόλεπτο. Ομοίως, η μεθανόλη καίγεται σε 570mm ανά δευτερόλεπτο, και το οξείδιο του αιθυλενίου σε 890mm ανά δευτερόλεπτο. Αντίστοιχα, τα ποσοστά καύσης αυτών των επιταχυντικών είναι 254.341 και 533 φορές το ποσοστό καύσης ενός σπύρτου.

Εντούτοις, μια απλή σύγκριση των ταχυτήτων καύσης δεν είναι ολόκληρη η ιστορία. Ο καθορισμός της "ταχύτητας καύσης" όσον αφορά τα αέρια καύσιμα είναι: η ταχύτητα με την οποία ένα ελαστικό μέτωπο καύσης διαδίδεται μέσω ενός εύφλεκτου μίγματος σχετικά με το άκαυτο μίγμα. Στην ουσία, η ταχύτητα καύσης μετριέται με τα ίδια τα καύσιμα ως σημείο αναφοράς. Τα αποτελέσματα επέκτασης ή μεταφοράς του αερίου μίγματος αγνοούνται.

Με άλλα λόγια, η "ταχύτητα καύσης" αερίων καυσίμων δεν λαμβάνει υπόψη το γεγονός ότι ολόκληρο το αέριο μίγμα μπορεί να κινηθεί, ανοδικά, καθοδικά ή πλευρικά σχετικά με ένα στάσιμο αντικείμενο, όπως ένας τοίχος.

Όταν τέτοια αποτελέσματα επέκτασης ή μεταφοράς λαμβάνονται υπόψη, ο όρος που χρησιμοποιείται είναι "ταχύτητα της φλόγας." Η ταχύτητα της φλόγας είναι η ταχύτητα κατά την οποία η ίδια η φωτιά φαίνεται να κινείται σχετικά με τα άλλα στάσιμα αντικείμενα.

Η φωτιά ή η ταχύτητα της φλόγας που συνδέεται με την ανάφλεξη των ατμών του εύφλεκτου υγρού είναι πολύ γρηγορότερη από την ταχύτητα καύσης ενός υπάρχοντος στερεού καυσίμου που έχουν βραχεί από ένα επιταχυντικό.

Αυτό πρέπει να είναι αναμενόμενο δεδομένου ότι οι ταχύτητες της φωτιάς είναι μια συνάρτηση διάφορων παραγόντων, που περιλαμβάνουν: την ενέργεια ενεργοποίησης που χρειάζεται για να γίνει η καύση, και η προκύπτουσα μετάδοση και μεταφορά της θερμότητας, καίει τα αέρια μακριά από το σημείο της ανάφλεξης. Όταν η ενέργεια ενεργοποίησης που απαιτείται για την ανάφλεξη είναι χαμηλή, όταν η θερμότητα της καύσης ανά γραμμάριο είναι σχετικά υψηλή, και το ποσοστό ενεργειακής απελευθέρωσης στη καύση είναι υψηλό, η ταχύτητα της φλογών είναι αντίστοιχα υψηλή.

Γενικά, η ταχύτητα της φλογών συσχετίζεται με την ταχύτητα καύσης με τον ακόλουθο τρόπο:

$$(ii) V_f = V_b + V_g$$

όπου: V_f = ταχύτητα φλόγας,

V_b = ταχύτητα καύσης, και

V_g = η ταχύτητα του μίγματος του αερίου σχετικά με ένα στάσιμο αντικείμενο.

Εάν ισχύουν οι παραπάνω στοιχειομετρικές συνθήκες, και επίσης ισχύει ότι οι φλόγες δεν είναι τυρβώδεις, η μέγιστη ταχύτητα της φλόγας των περισσότερων καυσίμων αερίων είναι κατά προσέγγιση οκτώ φορές η ταχύτητα καύσης. Ο αριθμός οκτώ προέρχεται από το γεγονός ότι αυτό είναι το μέσο ποσό επέκτασης ενός αερίου καυσίμου όταν αυτό καίγεται στον αέρα υπό τις βέλτιστες συνθήκες. (Οι περισσότερες εκρήξεις ανάφλεξης φθάνουν σε μια μέγιστη πίεση "8 x ατμοσφαιρική πίεση" σε στοιχειομετρικές συνθήκες).

Κατά συνέπεια, οι κάθετες ταχύτητες φλογών των καυσίμων αερίων μπορούν να είναι τουλάχιστον οκτώ φορές της ταχύτητας καύσεως τους. Αυτό θα σήμαινε, παραδείγματος χάριν, ότι το κάθετο ποσοστό καύσης ενός ξύλινου σπύρτου είναι περίπου 8,67mm ανά δευτερόλεπτο, θα ήταν σχεδόν 392 φορές μικρότερο από την κάθετη ταχύτητα φλόγας της ακετόνης, η οποία είναι περίπου 3.400mm ανά δευτερόλεπτο σε στοιχειομετρικές συνθήκες.

Ουσιαστικά, το επιταχυντικό καίγεται πολύ γρηγορότερα απ' ό τι το ξύλο η οποιοδήποτε άλλο υλικό, η φωτιά διαδίδεται σε όλη τη βρεγμένη περιοχή προτού οποιαδήποτε άλλα στερεά, μπορεί να αναφλεγεί και να καεί από μόνο του. Κατά συνέπεια η φωτιά στο στερεό φαίνεται να αρχίζει βασικά εντελώς ξαφνικά στην βρεγμένη από το επιταχυντικό περιοχή. Ολόκληρη η βρεγμένη περιοχή εμφανίζεται να είναι το σημείο προέλευσης, το οποίο όταν ένα άτομο το σκέφτεται, είναι ακριβώς αληθινό.

Μόλις αρχίσει να καίγεται το στερεό και το επιταχυντήριο καταναλώνεται κατά ένα μεγάλο μέρος του, η φωτιά για άλλη μια φορά θα ακολουθήσει τους "κανονικούς" κανόνες όσον αφορά τα σχέδια "V". Αυτό είναι ένας από τους λόγους για τους οποίους όταν μια φωτιά δεν εμφανίζεται να ακολουθεί τους κανονικούς κανόνες, μπορεί να είναι λόγω της ανθρώπινης επέμβασης σε εκείνους τους κανόνες.

Δ. Βαθμός διάδοσης φλογών στα υλικά

Τα σχετικά ποσοστά διάδοσης φλογών στα υλικά που χρησιμοποιούνται στα κτήρια δίνονται συχνά σε ορισμένους κτιριακούς κώδικες και προδιαγραφές, ειδικά όσον αφορά το εσωτερικό τους τελείωμα. Αυτό, φυσικά, γίνεται για να αποτραπεί η χρήση υλικών που μπορούν να επιτρέψουν ασυνήθιστα γρήγορο και θανάσιμο τρόπο επέκτασης της φωτιάς σε περιοχές διαβίωσης. Οι όροι που χρησιμοποιούνται σε σχέση με τα σχετικά ποσοστά καύσης των υλικών είναι "ποσοστό διάδοσης της φλόγας".

Μια από τις πιο κοινές δοκιμές που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό του ποσοστού της διάδοσης της φλόγας ενός υλικού είναι η δοκιμή σήραγγας Steiner. Ένα δείγμα υλικού με 0,565 m πλάτος και 7,32 m μήκος καίγεται και χρονομετρείται, και ο χρόνος που απαιτείται για να καεί το υλικό συσχετίζεται με μια σχετική ποσότητα. Μερικά κοινά υλικά για το εσωτερικό τελείωμα που εκτιμώνται μ' αυτή την μέθοδο παρατίθενται στον πίνακα 1.

Όπως σημειώνεται στον πίνακα 1, τα αντικείμενα που δεν καίγονται καθόλου τους δίνεται 0 ποσοστό καύσης. Μερικά αντικείμενα που συνήθως δεν θεωρούνται σαν εύφλεκτα, όπως οι σμαλτωμένες μεταλλικές επιφάνειες, μπορούν εκπληκτικά να καούν και να διαδώσουν την φωτιά, αν και είναι φτωχά έναντι των αντικειμένων όπως την ξύλινη επένδυση.

Επειδή δεν είναι εύκολο να ληφθεί ένα συνεχόμενο δείγμα που είναι περίπου 7,32 m ή 24 ft από μια πυρκαγιά, ένας εναλλακτικός τύπος δοκιμής γίνεται συχνά με υλικά που λαμβάνονται από το τόπο της πυρκαγιάς.

Για τους τάπητες και τις κουβέρτες υπάρχει μια συγκεκριμένη δοκιμή για να καθορίσει το σχετικό σημείο ανάφλεξης του. Αυτή η δοκιμή μετρά την αναφλεξιμότητα των ταπήτων και των κουβερτών από μικρές πηγές ανάφλεξης όπως είναι τα πεταμένα τσιγάρα και σπύρα.

Πίνακας 1: Βαθμός διάδοσης φλογών σύμφωνα με ASTM E84 υλικό εκτίμηση .

Ασβεστοκονίαμα γύψου στην οροφή	0
Σμαλτωμένο μέταλλο στην οροφή	0-20
Ξύλινη οροφή με κεραμίδια με αντιπυρική προστασία	20-75
Ξύλινο οροφή με κεραμίδια χωρίς αντιπυρική προστασία	75-300
Τοίχοι από τούβλο, σκυρόδεμα, ή ασβεστοκονίαμα	0
Μεταλλικοί τοίχοι	10-20
Τοίχος από γύψο	20-75
½ ίντσας παχύ ξύλο	70-200
Φύλλα φελλού	100-250
Μη επεξεργασμένη σύνθετη σανίδα	200-500
Ξυλεπένδυση κοντραπλακέ	70-300

Τελείωμα στην ξυλεπένδυση	> 500
Τσιμεντένιο πάτωμα	0
Λινέλαιο	50-600

Όσον αφορά τα δομικά στοιχεία ενός κτηρίου, η αντίσταση στη φωτιά των υλικών δίνεται στις εκτιμήσεις "ώρας" σύμφωνα με τις εξεταστικές διαδικασίες που περιλαμβάνονται σε "τυποποιημένες μέθοδοι δοκιμών πυρκαγιάς σε οικοδομές και υλικά."

Σε αυτήν την δοκιμή, τα δομικά υλικά ή τα στοιχεία, όπως είναι μια δέσμη ή μια στήλη, τοποθετούνται σε έναν ειδικό φούρνο δοκιμών και η θερμοκρασία των υλικών στην προστατευμένη πλευρά ή διάστημα σχεδιάζεται ενάντια στον ανάλογο χρόνο. Η προκύπτουσα καμπύλη καλείται "σταθερά αντοχής σε φωτιά χρόνου-θερμοκρασίας καμπύλης". Η δοκιμή συνεχίζεται έως ότου εμφανιστεί η αποτυχία. Η αποτυχία θα ήταν μια από την ακόλουθες:

- ανικανότητα να φερθεί το εκτιμημένο φορτίο,
- ραγίσματα, καμπές ή άλλη σημαντική διασταλτική αποτυχία στο υλικό,
- απώλεια συνοχής επιφάνειας έτσι ώστε οι φλόγες ή τα καυτά αέρια μπορούν να περάσουν μέσω του υλικού. Μπορεί να απομακρυνθεί εύκολα από μια δέσμη νερού, ή
- απώλεια ικανότητας μόνωσης έτσι ώστε η θερμοκρασία στην άλλη πλευρά να ανέρχεται σε περισσότερο από 250°F.

Ενώ μερικά υλικά όπως τα ξύλινα και φυσικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα είναι πραγματικά εύφλεκτα, συχνά μπορούν να αντιμετωπιστούν χημικά για να μειώσουν την ικανότητα τους σε ανάφλεξη. Η κυτταρίνη και οι υφαντικές ίνες, παραδείγματος χάριν, μπορούν να αντιμετωπιστούν με ένα διάλυμα βορικού οξέος για να μειώσουν το ποσοστό καύσης τους. Το ξύλο αντιμετωπίζεται συχνά από τη διαπότιση μέσω πίεσης με ορυκτά άλατα για να μειωθούν τα ποσοστά καύσης του.

Όταν γίνουν αυτές οι επεξεργασίες, το υλικό χαρακτηρίζεται συχνά ως ανθεκτικό στη φωτιά ή επιβραδύνουν τη φωτιά. Μερικές φορές τα υλικά που έχουν επεξεργαστεί με φωτιά μπορούν να αντικατασταθούν όλα ή ένα τμήμα τους από σανίδες γύψου όταν αυτό απαιτείται από τον κώδικα για μια ορισμένη πυρκαγιά διάρκειας μιας ώρας. Παραδείγματος χάριν, σε μερικές περιπτώσεις η χρήση επιβραδυντικά επεξεργασμένου ξύλου με μη επεξεργασμένο πλαίσιο με ένα πίνακα γύψου αντοχής μιας ώρας σε φωτιά από κάτω μπορεί να αντικατασταθεί από έναν δυο ορών αντοχής σε φωτιά πίνακα οροφής από γύψο μη επεξεργασμένου πλαισίου.

Εντούτοις, όταν χρησιμοποιούνται οι χημικές ουσίες που επιβραδύνουν την φωτιά, μερικές φορές αλλάζουν τις βασικές ιδιότητες του υλικού. Παραδείγματος χάριν, όταν το ξύλο επεξεργάζεται με επιβραδυντικά υλικά, η δομική δύναμή του μπορεί να μειωθεί σημαντικά, και αυτή η απώλεια δύναμης πρέπει να εξεταστεί και να ληφθεί υπόψη για τον αρχικό σχεδιασμό. Μια απλή αντικατάσταση των επιβραδυντικών στη φωτιά πλαισίων ή στηλών με μη επεξεργασμένα πλαίσια ή στήλες χωρίς κατάλληλη εκτίμηση στο σχεδίου θα μπορούσε να οδηγήσει στην απαράδεκτη δομική αδυναμία του κτηρίου. Κατά συνέπεια, η χρήση τέτοιων υλικών πρέπει να είναι μια σχεδιαστική απόφαση από τον αρμόδιο αρχιτέκτονα ή μηχανικό.

Λόγω των αποτελεσμάτων μερικών χημικών ουσιών που επιβραδύνουν την φωτιά στο ξύλο, μπορούν να υπάρξουν γεωγραφικοί ή περιβαλλοντικοί περιορισμοί θερμοκρασίας για τη χρήση τέτοιου επεξεργασμένου ξύλου. Παραδείγματος χάριν, τα ξύλινα πλαίσια που επεξεργάστηκαν με έναν τύπο επιβραδυντικού ως προς την φωτιάς υλικού μπορεί να απαγορεύονται σε περιοχές όπου η μέση υγρασία είναι χαμηλή, μακριά από παράκτιες περιοχές, ή όπου οι θερμοκρασίες σοφίτας δεν υπερβαίνουν τους 140°F.

Τελικά, οι χημικές ουσίες που επιβραδύνουν την φωτιά μπορούν μερικές φορές να χαθούν από ένα υλικό όταν εκτεθεί στο νερό ή σε διαλυτές, από την επαναλαμβανόμενη πλύση, ή από την αμελή έκθεση του σε άλλες χημικές ουσίες που μπορούν να αντιδράσουν με αυτές. Όταν αυτό εμφανίζεται, είναι δυνατό η προστασία που πιστεύαμε ότι ήταν παρούσα με την χρήση επιβραδυντικών στη φωτιά υλικών να έχει χαθεί.

Με το επεξεργασμένο με φωτιά ξύλο, παραδείγματος χάριν, η υψηλή υγρασία και οι υψηλές περιβαλλοντικές θερμοκρασίες μπορούν να απομακρύνουν τα ορυκτά άλατα. Με τα επεξεργασμένα επιβραδυντικά στην φωτιά παιδικά ρούχα, η επαναλαμβανόμενη πλύση με καυτό νερό ή με απορρυπαντικά που περιέχουν χλώριο μπορεί να απομακρύνουν ή να αντιδράσουν με τις επιβραδυντικά στην φωτιά ουσίες. Γι' αυτό τέτοια ρούχα θα πρέπει να φέρουν ετικέτες για να προειδοποιούν τον ιδιοκτήτη ενάντια στην ακατάλληλη πλύση, και για να του παρέχει τις κατάλληλες οδηγίες πλύσης.

E. Μεταφορά Θερμότητας, Αγωγιμότητα και Μετάδοση Θερμότητας

Για να καταλάβουμε πλήρως πώς διαδίδεται η φωτιά, είναι πρώτα απαραίτητο να γίνουν κατανοητές μερικές βασικές αρχές της μεταφοράς θερμότητας. Γενικά, η θερμότητα μπορεί να μεταφερθεί από ένα σημείο σε άλλο με μόνο τρία μέσα: αγωγιμότητα, μετάδοση, και ακτινοβολία. Σε οποιοδήποτε από τους τρεις τρόπους θα πρέπει να υπάρχει μια διαφορά ή μια μεταβολή θερμοκρασίας μεταξύ των δύο σημείων για να πραγματοποιηθεί η μεταφορά της θερμότητας. Η θερμότητα θα μεταφερθεί από την περιοχή ή το σημείο όπου η θερμοκρασία είναι υψηλότερη στην περιοχή ή το σημείο όπου η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη.

Μια χρήσιμη αναλογία μεταξύ της ροής θερμότητας και της ροής του νερού μπορεί να γίνει. Ας υποθέσουμε ότι η θερμοκρασία είναι ανάλογη με το ύψος, και η θερμότητα είναι ανάλογη του νερού. Με τον ίδιο τρόπο όπως το νερό θα τρέξει προς τα κάτω από τις μεταβολές του ύψους και θα συλλεγεί στα χαμηλά σημεία, έτσι και η ροή της θερμότητας θα κινηθεί προς τα κάτω από τις μεταβολές της θερμοκρασίας και θα συλλεγεί στα δροσερότερα σημεία. Όπως το ύψος έτσι και η θερμοκρασία θα είναι ένα μέτρο δυναμικής. Όταν δεν υπάρχει καμία διαφορά στη δυναμική, υπάρχει απουσία ροής είτε στο νερό είτε στη θερμοκρασία.

Η μεταφορά συμβαίνει όταν η θερμότητα μεταφέρεται μέσω ενός υλικού από τη διάχυση της θερμικής κινητικής ενέργειας του υλικού. Η εξίσωση που περιγράφει τη μονοδιάστατη αγωγιμότητα μέσω ενός υλικού δίνεται από την κατωτέρω εξίσωση (iii):

$$(iii) \ q = -kA[dT/dx]$$

όπου: q = ποσοστό της θερμότητας που μεταφέρεται (ενέργεια ανά χρόνο),

k = θερμική αγωγιμότητα του υλικού (ενέργεια/ χρόνος x απόσταση x θερμοκρασία),

A = η περιοχή της πορείας που είναι κάθετη στη κατεύθυνση της ροής της θερμότητας, και

dT/dx = η μεταβολή της θερμοκρασίας στην κατεύθυνση, η οποία είναι η κατεύθυνση της ροής της θερμότητας.

Από την εξίσωση (iii), φαίνεται ότι:

- όταν η περιοχή A αυξάνεται, η μεταφορά της θερμότητας αυξάνεται ,
- όταν αυξάνεται η θερμική αγωγιμότητα k , αυξάνεται και η μεταφορά θερμότητας,
- όταν η διαφορά θερμοκρασίας dT ανεβαίνει, αυξάνεται και η μεταφορά θερμότητας,
- όταν το πάχος του υλικού dx μειώνεται, η μεταφορά θερμότητας αυξάνεται.

Γενικά, υλικά που έχουν υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα έχουν επίσης υψηλή θερμική αγωγιμότητα. Κατά συνέπεια, υλικά όπως ο χαλκός και το αλουμίνιο που είναι άριστοι ηλεκτρικοί αγωγοί είναι επίσης και άριστοι θερμικοί αγωγοί. Ομοίως, υλικά όπως το σκυρόδεμα ή η πορσελάνη που είναι κακοί ηλεκτρικοί αγωγοί είναι επίσης κακοί θερμικοί αγωγοί.

Ο δεύτερος τρόπος μεταφοράς θερμότητας, είναι πραγματικά ένας ειδικός τύπος αγωγιμότητας ο οποίος πραγματοποιείται μεταξύ ενός στερεού υλικού και ενός κινούμενου ρευστού. Όπως με την κανονική αγωγιμότητα, για τη θερμότητα να μεταφερθεί, πρέπει να υπάρξει μια σημαντική διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του στερεού υλικού και του κινούμενου ρευστού. Το ρευστό θερμαίνεται ή ψύχεται, καθώς περνά πάνω από την επιφάνεια του στερεού υλικού. Από την κίνησή του αυτή, το ρευστό μεταφέρει τη θερμότητα ή το κρύο προς ένα άλλο κατώτερο σημείο. Νέο ρευστό αντικαθιστά έπειτα το παλαιό ρευστό που έχει προχωρήσει, και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Στη φύση ή στην ελεύθερη μεταφορά, το ρευστό τίθεται σε κίνηση από την επίδραση της άνωσης. Η πυκνότητα σχεδόν κάθε ρευστού εξαρτάται από τη θερμοκρασία του.

Όταν ένα μικρό μέρος του ρευστού είτε θερμαίνεται είτε ψήχεται, εκείνη το μικρό μέρος του γίνεται είτε πιο ελαφρύ είτε λιγότερο ελαφρύ όσον αφορά το υπόλοιπο του ρευστού. Οι δυνάμεις άνωσης αναγκάζουν έπειτα το ρευστό να απομακρυνθεί από την επιφάνεια, και το παλαιό μέρος του ρευστού να αντικατασταθεί από ένα νέο μέρος του ρευστού.

Όταν ένα μέρος του ρευστού περνά πάνω από την επιφάνεια ενός στερεού υλικού, αυτό ρέει μακριά, και έπειτα επιστρέφει στην επιφάνεια για να επαναλάβει τη διαδικασία ξανά και ξανά, η επαναλαμβανόμενη εργασία καλείται κελί κυκλοφορίας. Εάν το σύστημα είναι σε ισορροπία έτσι ώστε οι θερμοκρασίες σε συγκεκριμένες θέσεις στο σύστημα παραμένουν σχεδόν οι ίδιες κατά τη διάρκεια του χρόνου, αναπτύσσεται μια σταθερή κυκλοφορία ρευστού.

Παραδείγματος χάριν, φανταστείτε ένα παλιό θερμαντικό σώμα ατμού σε ένα κλειστό δωμάτιο όταν έξω κάνει κρύο. Όταν το θερμαντικό σώμα είναι καυτό, ο αέρας που έρχεται σε επαφή με αυτό θερμαίνεται και ανεβαίνει προς τα πάνω. Καθώς ανεβαίνει στην οροφή, ο αέρας αρχίζει να ψύχεται. Όταν συναντά την οροφή, κινείται πλευρικά και εξαπλώνεται κατά μήκος της οροφής, και ψύχεται ακόμη περισσότερο. Όταν ψυχθεί αρκετά, βαραίνει και αρχίζει να βυθίζεται προς το πάτωμα. Καθώς βυθίζεται, έλκεται από το ρεύμα του αέρα που ρέει προς το θερμαντικό σώμα. Ο αέρας τότε έρχεται ξανά σε επαφή με το θερμαντικό σώμα, και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Στην εξαναγκασμένη μετάδοση, τα φυσικά αποτελέσματα μετάδοσης ενισχύονται από τους ανεμιστήρες ή τις αντλίες η οποίες εξαναγκάζουν τη ροή του ρευστού πέρα από την επιφάνεια του στερεού. Στην εξαναγκασμένη μετάδοση, συνήθως η ταχύτητα του ρευστού είναι τέτοια ώστε τα ελεύθερα ή τα φυσικά αποτελέσματα μεταφοράς δεν είναι σημαντικά και παραβλέπονται. Με άλλα λόγια, η ταχύτητα του ρευστού, όταν τεθεί σε κίνηση από έναν ανεμιστήρα ή μια αντλία, είναι συνήθως πολλές φορές μεγαλύτερη από τη ταχύτητα του ρευστού όταν αυτό τίθεται σε κίνηση από τα φυσικά αποτελέσματα μετάδοσης.

Δεδομένου ότι η πυρκαγιά σε ένα σπίτι ή μια επιχείρηση διαδίδεται γενικά περισσότερο μέσω μετάδοσης παρά από τους άλλους δύο τρόπους, μερικές φορές ένας εμπρηστής θα ανοίξει τους ανεμιστήρες, τον εξαερισμό, ή θα ανοίξει στρατηγικά παράθυρα για να δημιουργήσει σκόπιμα ρεύματα αέρα για να βοηθήσει τη διάδοση της πυρκαγιάς. Στην ουσία, προσπαθεί να δημιουργήσει μια εξαναγκασμένη μετάδοση παρά μια ελεύθερη μετάδοση. Η εξαναγκασμένη μετάδοση όχι μόνο θα αναγκάσει την πυρκαγιά να διαδοθεί γρηγορότερα, αλλά μπορεί και να χρησιμοποιηθεί για να κατευθύνει τη διάδοση της πυρκαγιάς σε συγκεκριμένες περιοχές στο κτήριο.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της ελεύθερης μετάδοσης είναι ότι υπάρχει πάντα ένα λεπτό στρώμα ρευστού δίπλα στην επιφάνεια του στερεού που δεν κινείται. Ουσιαστικά,

αυτό το λεπτό στρώμα είναι "κολλημένο" στην εξωτερική επιφάνεια του στερεού. Αυτό το λεπτό στρώμα ονομάζεται οριακό στρώμα. Η θερμότητα από τη στερεά επιφάνεια διευθύνεται πραγματικά μέσω αυτού του λεπτού οριακού στρώματος στο ρεύμα της κίνησης του ρευστού. Στην εξαναγκασμένη μετάδοση, εντούτοις, αυτό το οριακό στρώμα είναι συνήθως σε μια συνεχή κατάσταση αφαίρεσης και αντικατάστασης, ειδικά όταν η ροή είναι εξαιρετικά τυρβώδης.

Η εξίσωση που περιγράφει τον τύπο τη μετάδοσης της θερμότητας είναι:

$$(iv) q = hA (\Delta T)$$

όπου: q = ποσοστό της ροής της θερμότητας,

A = η περιοχή που περιλαμβάνεται στη μεταφορά θερμότητας,

ΔT = Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της στερεάς επιφάνειας και του ρευστού, και

h = συντελεστής μεταφοράς της θερμότητας.

Ο συντελεστής h μεταφοράς θερμότητας για εξαναγκασμένη μετάδοση δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$(v) h = [D/k] = K [Dur/m]^a [C_p m/k]^b$$

όπου: D = η διάσταση που συνδέεται με το μήκος της περιοχής μεταφοράς θερμότητας,

k = αγωγιμότητα του ρευστού

K = μια πειραματικά καθορισμένη σταθερά,

ρ = πυκνότητα του ρευστού,

u = ταχύτητα του ρευστού,

C_p = θερμική ικανότητα του ρευστού

μ = ιξώδες του ρευστού,

α = πειραματικά καθορισμένος εκθετικός συντελεστής, και

β = πειραματικά καθορισμένος εκθετικός συντελεστής.

Είναι αξιοσημείωτο ότι η ανωτέρω εξίσωση έχει τακτοποιηθεί σε ομάδες αδιάστατων παραμέτρων με τρόπο σύμφωνο με το θεώρημα του Buckingham ή π για τη διαμόρφωση όμοιων ρευστών συστημάτων. Για τους μελετητές που μπορεί να ενδιαφέρονται να εξομοιώσουν πυρκαγιές και ζημιές πυρκαγιών με την χρήση εργαστηριακών προτύπων, η γνώση της ομοιότητας και του θεωρήματος του Buckingham ή π επιβάλλεται.

Στη ρευστομηχανική και στη μεταφορά θερμότητας, κάθε αδιάστατη παράμετρος στην εξίσωση (v) έχει το όνομά της. Αυτό συμβαίνει γιατί αυτοί οι ίδιοι ομαδικοί σχηματισμοί των μεταβλητών εμφανίζονται συνήθως στη μαθηματική περιγραφή της ροής των ρευστών. Τα ονόματα των παραμέτρων σημειώνονται κατωτέρω:

$h[D/k]$ αριθμός Nusselt,

$[Dur/m]$ αριθμός Reynolds και

$[C_p m/k]$ αριθμός Prandtl .

Ο συντελεστής h μεταφοράς θερμότητας για την ελεύθερη ή φυσική μετάδοση δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$(vi) h[D/k] = K [D^3 g a (\Delta T) / m^2]^a [C_p m/k]^b$$

όπου: g = βαρύτητα, και
 a = συντελεστής πυκνότητας της θερμοκρασίας.

Όπως πριν, η εξίσωση (vi) έχει τακτοποιηθεί σε ομάδες αδιάστατων παραμέτρων. Η νέα παράμετρος, αυτή στη μέση του δεξιού όρου που αντικατέστησε τον αριθμό Reynolds στην εξαναγκασμένη εξίσωση μετάδοσης, καλείται Grashof ή ελεύθερος αριθμός μετάδοσης. Συγκρίνοντας τις εξισώσεις (v) και (vi), μόνο η μεσαία παράμετρος είναι διαφορετική.

Γενικά, οι ανωτέρω εξισώσεις μπορούν να χωριστούν στις ακόλουθες χαρακτηριστικές σχέσεις:

(vii) $q = C_1 A (\Delta T) u^{6/5}$ εξαναγκασμένη μετάδοση.

(viii) $q = C_2 A (\Delta T) u^{5/4}$ ελεύθερη μετάδοση όπου ο αριθμός Reynolds είναι λιγότερος από 2.000 (στρωτή ροή).

(ix) $q = C_3 A (\Delta T) u^{4/3}$ ελεύθερη μετάδοση όπου ο αριθμός Reynolds είναι περισσότερος από 4.000 (τυρβώδης ροή).

όπου το C_1 , C_2 και το C_3 είναι αυθαίρετες σταθερές που καθορίζονται από το πείραμα και το A είναι η περιοχή μεταφοράς θερμότητας.

Εξέταση των εξισώσεων (v), (vi), (vii), (viii), και (ix) βρίσκουν τις ακόλουθες γενικές αρχές:

1. Αυξάνοντας την διαφορά θερμοκρασίας αυξάνεται και η διαφορά θερμότητας
2. Αυξάνοντας την περιοχή της μεταφοράς θερμότητας αυξάνεται και μεταφορά θερμότητας
3. Αυξάνοντας την ροή του ρευστού σε εξαναγκασμένη μετάδοση αυξάνεται και η μεταφορά θερμότητας.
4. Αυξάνοντας την τύρβη σε μια ελεύθερη μετάδοση αυξάνεται και η μεταφορά θερμότητας.

Στις περισσότερες πυρκαγιές τα αποτελέσματα μετάδοσης είναι υπεύθυνα για την μεγαλύτερη εξάπλωση της πυρκαγιάς. Η ανοδική ταχύτητα της φωτιάς σε ένα τοίχο είναι πολλές φορές μεγαλύτερη καθοδικά και αυτό γιατί ο βασικός μηχανισμός του ταξιδιού της ανοδικής φωτιάς είναι η μετάδοση ενώ ο βασικός μηχανισμός του ταξιδιού της καθοδικής φωτιάς είναι η αγωγιμότητα.

Δεδομένου ότι οι περισσότεροι τοίχοι αποτελούνται από υλικά μόνωσης, η μετάδοση της θερμότητας μέσω του υλικού των τοίχων είναι φτωχή. Στην πραγματικότητα, τα περισσότερα κοινά υλικά που καίγονται σε μια φωτιά όπως αυτή του ξύλου, της χαρτικής ύλης, των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, και άλλων παρόμοιων υλικών είναι φτωχοί αγωγοί της θερμότητας. Γι' αυτό το καθοδικό ταξίδι της φωτιάς είναι γενικά τόσο αργό, εκτός εάν παρεμβάλλονται επιταχυντικά ή αλλά παρόμοια υλικά που καίγονται γρήγορα.

ΣΤ. Ακτινοβολία

Ο τρίτος τρόπος ενεργειακής μεταφοράς, η ακτινοβολία, παρουσιάζεται όταν η θερμότητα μεταφέρεται από ένα σημείο σε άλλο με ηλεκτρομαγνητικά κύματα, χαρακτηριστικά στη απόσταση μήκους κύματος από 0,1 έως 100 microns. Κανένα ενδιάμεσο υλικό δεν απαιτείται. Στην πραγματικότητα, όταν υπάρχουν ενδιάμεσα υλικά όπως αέρια ή η σκόνη, το ποσό θερμότητας που μεταφέρεται με ακτινοβολία μειώνεται λόγω της απορρόφησης της θερμότητας από το αέριο ή τη σκόνη.

Σε αυτή τη μέθοδο μεταφοράς θερμότητας, το ποσό ενέργειας που ακτινοβολείται από ένα σώμα μέσα σε ένα χώρο είναι ανάλογο προς την τέταρτη δύναμη της θερμοκρασίας επιφάνειάς του. Το ποσό της θερμότητας ή της ενέργειας που εκπέμπεται με αυτόν τον τρόπο δίνεται από το Νόμο του Stefan- Boltzmann, από την κατωτέρω εξίσωση (x):

$$(x) \quad q = \epsilon A T^4$$

όπου: q = το ποσό θερμότητας ή ενέργειας που εκπέμπεται,
 $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Watts/m}^2 (\text{°K}^4)$, η σταθερά του Stefan- Boltzmann,
 A = περιοχή της ακτινοβολουμένης επιφάνειας,
 T = η θερμοκρασία τις επιφάνειας σε απόλυτες μονάδες, και
 ϵ = ικανότητα ακτινοβολίας, δηλαδή η αποδοτικότητα της επιφάνειας όσον αφορά ένα μαύρο σώμα ή ένα τέλειο θερμαντικό σώμα.

Για τέλεια θερμαντικά σώματα ή μαύρα σώματα, η τιμή του ϵ είναι ίση με ένα. Αυτό σημαίνει ότι η ακτινοβολουσα επιφάνεια είναι 100% αποδοτική στο να επιτρέπει στην ενέργεια να ακτινοβολείται από την επιφάνεια. Εναλλακτικά, ένας άλλος ορισμός για το μαύρο σώμα είναι αυτός που απορροφά όλη την ακτινοβολουμένη ενέργεια που δέχεται και δεν αντανακλά μακριά οποιαδήποτε ακτινοβολία.

Η απορροφητικότητα και η ικανότητα ακτινοβολίας είναι ουσιαστικά το ίδιο πράγμα, η μόνη διαφορά είναι η κατεύθυνση της ροής της ακτινοβολίας. Η ικανότητα ακτινοβολίας τυπικά αναφέρεται στην ακτινοβολία που φεύγει από μια επιφάνεια ενώ η απορροφητικότητα αναφέρεται στην ακτινοβολία την οποία δέχεται από την επιφάνεια. Αριθμητικά, και οι δύο παράμετροι είναι οι ίδιες, οι οποίες είναι γνωστές και συνθήκη του Kirchoff. Τυπικότερα, δηλώνεται: η ικανότητα ακτινοβολίας και η απορροφητικότητα ενός σώματος είναι ίσες στην ίδια θερμοκρασία.

Όταν η ακτινοβολία χτυπά μια επιφάνεια, υπάρχουν μόνο τρία πράγματα που μπορούν να συμβούν σε αυτή. Μπορεί να απορροφηθεί, μπορεί να αντανακλαστεί μακριά όταν αυτή η επιφάνεια είναι ένας καλά γυαλισμένος τύπος καθρέφτη ή μπορεί να διαβιβαστεί στο υλικό το οποίο παρευρίσκεται μαζί με το γυαλί.

Ο Πίνακας 2 απεικονίζει μερικές αντιπροσωπευτικές τιμές για την απορροφητικότητα μερικών κοινών υλικών στη θερμοκρασία δωματίου εκτός από αυτές τις οποίες σημειώνεται. Η συγκεκριμένη ικανότητα ακτινοβολίας ενός υλικού αλλάζει με τη θερμοκρασία.

Πίνακας 2: Απορροφητικότητες, μερικών κοινών υλικών

Υλικό	Απορροφητικότητα
Νερό	0,96
τραχύ κόκκινο τούβλο	0,93
σκυρόδεμα	0,63
φύλλο αλουμινίου	0,087
γυαλισμένο ασήμι	0,02
καυτή ίνα βολφραμίου, 6.000°F	0,40
καλά οξειδωμένος χάλυβας	0,95
σμάλτο χρώμα, οποιοδήποτε χρώματος	0,90
πυρότουβλο	0,70
λειωμένος χάλυβας	0,30
γυαλισμένο φύλλο χάλυβα	0,55
σκληρό λάστιχο	0,95
χαρτί οροφών	0,92
ατμός @ 540°F & 1 atm, 1 ft πυκνός	0,28

Όταν δύο σώματα που εκπέμπουν ακτινοβολία "βλέπουν" το ένα το άλλο, και τα δύο θα μεταφέρουν ενέργεια από το ένα στο άλλο. Υποθέτοντας ότι δεν υπάρχουν ενεργειακές απώλειες λόγω απορροφητικότητας της ενέργειας από τον αέρα, τους υδρατμούς, κ.λ.π., το πλέγμα της ενέργειας που ανταλλάσσεται μεταξύ των δύο σωμάτων δίνεται από τη λύση της εξίσωσης Stefan -Boltzmann και για τα δύο σώματα που ακτινοβολούν:

$$(xi) q_{net} = \sigma \epsilon C A [T_1^4 - T_2^4]$$

όπου: C = ο παράγοντας που υπολογίζει τη σχετική θέση και γεωμετρία των δύο επιφανειών σχετικά η μια με την άλλη,

A = η περιοχή της επιφάνειας στην οποία έχουν γίνει οι μετρήσεις της ροής της θερμότητας,

ϵ = σχετική ικανότητα ακτινοβολίας / απορροφητικότητα της επιφάνειας στην οποία έχουν γίνει οι μετρήσεις της ροής της θερμότητας.

Παραδείγματος χάριν, μια μικρή ηλεκτρική θερμάστρα χρησιμοποιείται για να παρέχει ζεστασιά σε ένα σημείο ενός ψυχρού δωματίου. Η θερμάστρα χρησιμοποιεί 1.500 Watt. Εάν υποθέσουμε ότι η περιοχή των σπειρών θέρμανσης είναι $0,01m^2$, η ικανότητα ακτινοβολίας της είναι 0,55, και η θερμοκρασία τις επιφάνειας των σπειρών τις αντίστασης είναι περίπου $1.000^\circ K$ κατά τη λειτουργία, κατόπιν το ποσοστό της ενέργειας εισαγωγής που μετατρέπεται σε ακτινοβολούμενη ενέργεια μπορεί να υπολογιστεί από την εφαρμογή της σχέσης του Stefan- Boltzmann:

$$q = \sigma \epsilon T^4$$

$$q = [5.67 \times 10^{-8} \text{ watt} / m^2 (^\circ K^4)] [0.55] [0.01m^2] [1,000^\circ K]^4$$

$$q = 312 \text{ watts.}$$

Κατά συνέπεια, 312 Watt ή $312/1.500 = 21\%$ της ενέργειας εισαγωγής στη θερμάστρα καταλήγουν ως ακτινοβολούμενη θερμότητα. Το υπόλοιπο της ενέργειας απελευθερώνεται με μεταφορά θερμότητας.

Παράδειγμα της μεταφοράς ακτινοβολούμενης θερμότητας από την οροφή ενός δωματίου στο πάτωμά του: έστω ολόκληρη η οροφή έχει πιάσει φωτιά, έτσι ώστε οι φλόγες να δημιουργούν ένα βαθύ, φωτεινό στρώμα κατά μήκος της οροφής. Η οροφή είναι $7m \times 10m$, και η απόσταση από το πάτωμα με το στρώμα των φλογών είναι $2,25m$. Υπό αυτούς τους όρους, ο παράγοντας C που αποτελεί τη γεωμετρία και τη θέση είναι ίσος με 0.7.

Εάν οι φωτεινές φλόγες είναι σχετικά καυτές και καίνε σε θερμοκρασία περίπου $1.350^\circ K$, και τα αντικείμενα από χαρτί στο πάτωμα που καίγονται σε μια θερμοκρασία $550^\circ K$ έχουν αναφλεγεί, τότε η μεταφορά θερμότητας από την οροφή στο πάτωμα είναι η ακόλουθη:

$$q = \sigma \epsilon C A [T_1^4 - T_2^4]$$

$$q_{net} = [5.67 \times 10^{-8} \text{ watt} / m^2 (^\circ K^4)] [0.65] [0.70] [70m^2] [(1,350^\circ K)^4 - (550^\circ K)^4]$$

$$q_{net} = 6,163,000 \text{ watt} \quad \eta$$

$$q_{net} / A = 88,100 \text{ watt} / m^2.$$

Κατά συνέπεια, για τη φωτιά στην οροφή "να μεταπηδήσει" και να προκαλέσει την ανάφλεξη των αντικειμένων στο πάτωμα μέσω ακτινοβολούμενης θερμότητας, είναι απαραίτητο για τη φωτιά στην οροφή να είναι $1.350^\circ K$, που είναι περίπου $1.970^\circ F$, ή

σχεδόν τόσο καυτός όπως απαιτείται για να λειώσει το χαλκό, και το ποσοστό μεταφοράς ακτινοβολούμενης θερμότητας να είναι 88.100 watts/m^2 .

Αυτό είναι ένα ποσοστό θερμότητας κατά προσέγγιση ισοδύναμο με το κάψιμο 120 γραμμαρίων υγρής βενζίνης τύπου οκτανίων ανά λεπτό ανά τετραγωνικό μέτρο της οροφής και έχοντας όλη την απελευθερωμένη ενέργεια να είναι υπό μορφή ακτινοβολούμενης ενέργειας. Φυσικά, στην πραγματικότητα, θα χρειαζόταν για αυτό πέντε έως είκοσι πέντε φορές περισσότερα καύσιμα γιατί μόνο ένα μικρό μέρος της απελευθερωμένης ενέργειας θα μετατραπεί σε ακτινοβολούμενη θερμότητα. Το μεγαλύτερο μέρος της απελευθερωμένης ενέργειας θα έχει απορροφηθεί από τα αποτελέσματα μεταφοράς και μεταφοράς.

Ένα ενδιαφέρον σημείο που θα πρέπει να υπογραμμιστεί όσον αφορά την "μεταπήδηση" της ακτινοβολίας είναι ότι εμφανίζεται συχνά όταν υπάρχει μια φωτεινή σφαίρα φωτιάς ή ένα στρώμα φωτεινών φλογών στην οροφή παρά στο πάτωμα. Με άλλα λόγια, οι μεταπήδησεις εμφανίζονται συχνότερα όταν η μεταφορά της ακτινοβολούμενης θερμότητας γίνεται από την οροφή προς το πάτωμα παρά αντίστροφα.

Όταν οι περισσότερες φωτιές καίνε, οι αναθυμιάσεις περιέχουν άφθονα ποσά υδρατμών και άκαυτων μορίων. Αυτοί είναι συνήθως αιθάλη. Και τα δύο αυτά υλικά είναι πολύ καλοί απορροφητές της ακτινοβολούμενης ενέργειας. Κατά συνέπεια, όταν το βλέπουμε από πάνω, μια καυτή, φωτεινή φωτιά στο πάτωμα δεν είναι εύκολα ορατή λόγω των αναθυμιάσεων των υδρατμών και των μορίων αιθάλης οι οποίες απορροφούν ένα μεγάλο μέρος της ακτινοβολούμενης ενέργειας προτού να μπορέσει να φθάσει στην οροφή.

Αφ' ετέρου, όταν η φωτιά βρίσκεται στο ταβάνι, "το πίσω μέρος" των φλογών μπορούν να διαπεράσουν το σύννεφο των αναθυμιάσεων. Αυτό φυσικά συμβαίνει, επειδή οι φλόγες είναι πραγματικά καυτά επεκτεινόμενα αέρια τα οποία ωθούνται μακριά από την οροφή. Όταν η επέκταση εξαντλείται, οι καπνοί απλά γυρίζουν και αρχίζουν να ανεβαίνουν πάλι προς την οροφή.

Όταν η ακτινοβολία αφήνει ένα καυτό, φωτεινό αντικείμενο, εκτός αν καθοδηγείται, περιορίζεται ή ειδαίλλως κατευθύνεται σε κάποιο σημείο, θα χάσει την ένταση της σύμφωνα με τον νόμο αντίστροφων τετραγώνων:

$$(xii) I_1 / I_2 = r_2^2 / r_1^2 \quad \text{ή} \quad I_1 r_1^2 = I_2 r_2^2 = K$$

όπου: I = ένταση της ακτινοβολούμενης ενέργειας σε watts/m^2 ,

r = απόσταση από την πηγή της ακτινοβολούμενης ενέργειας,

K = σταθερά ίση με την παραγωγή ακτινοβολούμενης ενέργειας στην πηγή.

Κατά συνέπεια, εάν η ένταση της ακτινοβολούμενης ενέργειας που μετριέται σε απόσταση 1m από την πηγή είναι 100 watts/m^2 , τότε στα 4m η ένταση ακτινοβολούμενης ενέργειας θα είναι:

$$[100 \text{ w/m}^2] / I_2 = 16 \text{ m}^2 / 1 \text{ m}^2$$

$$I_2 = 6.25 \text{ w/m}^2 \quad \text{και} \quad K = 100 \text{ w}$$

Μια φωτεινή φωτιά είναι πραγματικά ένα σύννεφο από εύφλεκτα μόρια. Η θερμοκρασία ενός καιγόμενου σύννεφου και η ικανότητα ακτινοβολίας του, μπορεί να μετρηθεί σε μια απόσταση με την χρήση ενός οργάνου αποκαλούμενου οπτικό πυρόμετρο. Γενικά, όταν οι θερμοκρασίες είναι μεγαλύτερες από τους 600°C , τα πυρόμετρα καλούνται για να μετρήσουν τη θερμοκρασία.

Η λειτουργία του οπτικού πυρομέτρου είναι η σύγκριση του χρώματος των φλογών με αυτό μιας καυτής πυρακτωμένης ίνας. Η ίνα τοποθετείται ενάντια στο φωτεινό σύννεφο

και το ρεύμα που περνά μέσα από την ίνα ρυθμίζεται έως ότου το χρώμα της ίνας να ταιριάζει το χρώμα του σύννεφου. Το ρεύμα που περνά μέσα από την ίνα είναι έτσι βαθμολογημένο για να αντιστοιχεί στις διάφορες θερμοκρασίες της ίνας.

Στα πυρόμετρα ολικής ακτινοβολίας, η ακτινοβολία μετρίεται απευθείας από έναν φωτοβολταϊκό στοιχείο ημιαγώγιμου τύπου. Το ποσό της ακτινοβολούμενης θερμότητας που πέφτει πάνω σε ένα ημιαγωγό μετατρέπεται σε ένα ρεύμα, και το ρεύμα βαθμονομείται για να δείξει το ποσό της αποροφούμενης προσπίπτουσας ακτινοβολίας και τη θερμοκρασία του ακτινοβολούντος σώματος.

Όταν ο χάλυβας θερμαίνεται σε μια θερμοκρασία περίπου 1.000°F, αρχίζει να πυρακτώνεται με ένα πολύ θαμπό κόκκινο χρώμα. Καθώς θερμαίνεται περισσότερο ο χάλυβας, το χρώμα του μετατρέπεται από κόκκινο σε πορτοκάλι, και έπειτα σε κίτρινο. Κοντά στο σημείο τήξης στους περίπου 2.800°F, ο χάλυβας θα ακτινοβολεί σχεδόν με ένα υπόλευκο χρώμα. Κατά συνέπεια, λαμβάνοντας υπόψη τις σωστές συνθήκες, η θερμοκρασία μερικών ουσιών όπως ο χάλυβας μπορεί να υπολογιστεί από το φαινομενικό του, ορατό ακτινοβόλο χρώμα τους.

Z. Αρχική αναγνώριση του τόπου της φωτιάς

Παρατηρώντας, έναν τόπο φωτιάς για πρώτη φορά, συνήθως καλό είναι να μην ερευνήσουμε κατευθείαν τις κατεστραμμένες περιοχές σε αναζήτηση της προέλευσης. Οι περισσότεροι πραγματογνώμονες επιθεωρούν τον τόπο της φωτιάς για να παρατηρήσουν ποιες περιοχές δεν έχουν καεί.

Αυτό είναι σημαντικό για δύο λόγους: ο πρώτος και προφανής λόγος είναι το γεγονός ότι οι περιοχές που δεν κήκαν δεν περιέχουν το σημείο έναρξης τις φωτιάς. Συχνά, γνωρίζοντας τι δεν κήκε, μας επιτρέπει να αποκλείσουμε άλλα πιθανά σημεία προέλευσης. Ο δεύτερος λόγος είναι να προσδιορίσουμε την έκταση της ζημιάς στο κτίριο και να εξετάσουμε προσεκτικά την δομική ακεραιότητα πριν μπούμε μέσα σ' αυτό. Ένα κατεστραμμένο κτίριο μπορεί να είναι μια παγίδα θανάτου για τον απρόσεκτο επιθεωρητή.

Στο τελευταίο σημείο δεν μπορεί να δοθεί μεγαλύτερη έμφαση. Είναι συνετό να εξετάζουμε αρχικά τη κατεστραμμένη κατασκευή πριν μπούμε μέσα σ' αυτή για να δούμε που έχει εξασθενήσει δομικά, ή κινδυνεύει να καταρρεύσει. Κατόπιν, εάν κρίνεται αναγκαίο, μπορεί κάποιος να προμηθευτεί τον κατάλληλο εξοπλισμό για να εργαστεί με ασφάλεια. Γενικά, ανεξάρτητα από το πόσο κατεστραμμένο είναι ένα κτήριο με λίγη σκέψη και φαντασία, μπορεί να εξεταστεί με ασφάλεια χωρίς να διακινδυνεύσουμε την ζωή ανθρώπων.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, πολλοί εμπειρογνώμονες θα αναζητήσουν το "χαμηλό σημείο" της πυρκαγιάς. Αυτό μπορεί να είναι εμφανές από τα ευδιάκριτα δισδιάστατα σχέδια V πάνω στους τοίχους, ή ίσως λιγότερο αναγνωρίσιμα τρισδιάστατα σχέδια V (ή κωνικά σχήματα) στους σωρούς από υλικά. Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, η φωτιά εξαπλώνεται εν γένει κυρίως με μεταφορά παρά με αγωγή. Κατά συνέπεια το χαμηλότερο σημείο της πυρκαγιάς σε ένα κτήριο που έχει καεί θα είναι συχνά και το σημείο προέλευσης.

Εντούτοις, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, όταν μια φωτιά οφείλεται στην ακτινοβολία, μπορεί να προκαλέσει ένα ψεύτικο χαμηλό σημείο. Παραδείγματος χάριν, εάν το ταβάνι γέμιζε με φωτεινές φλόγες επαρκείς ικανές να ακτινοβολήσουν θερμότητα προς τα κάτω, πάνω στα έπιπλα και στα χαλιά, θα μπορούσαν να πάρουν και αυτά φωτιά.

Ευτυχώς, τέτοιες ακτινοβολίες θερμότητας συνήθως αναγνωρίζονται εύκολα και έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- 1.Θα υπάρχει μια σημειακή πηγή ή μια περιοχή της ακτινοβόλου θερμότητας. Αυτή θα είναι μια περιοχή η οποία έχει υποστεί μια πολύ θερμή φωτιά, συνήθως πέρα από μια εκτεταμένη περιοχή όπως μια οροφή ή ένα τοίχο.
- 2.Θα υπάρχουν διάφορες περιοχές ανάφλεξης "χαμηλού σημείου" ακτινοβόλου θερμότητας και θα είναι τοποθετημένες έτσι ώστε "να βλέπουν" το σημείο της πηγής η την περιοχή της ακτινοβόλου θερμότητας.
- 3.Αλλα στοιχεία μας δείχνουν ότι αυτές οι περιοχές άρχισαν να καίγονται καλά αφού άλλα μέρη του κτηρίου η της κατασκευής είχαν ήδη καεί.

Άλλα λανθασμένα χαμηλά σημεία μπορούν να προκληθούν από την πτώση συντριμμιών. Η κατάρρευση είναι ένας όρος ο οποίος χρησιμοποιείται για να υποδείξει τα υλικά τα οποία έχουν μετατοπιστεί σε νέες θέσεις, γενικώς στα δάπεδα, λόγω της ζημιάς από τη φωτιά.

Παραδείγματος χάριν, σε μια ιδιαίτερως σοβαρή πυρκαγιά, τα ξύλα της στέγης μπορεί να πέσουν στο χώρο του υπογείου επειδή η πυρκαγιά έχει καταναλώσει τις υποστηρικτικές δομές μεταξύ της στέγης και του υπογείου. Τα φλεγόμενα κομμάτια ξύλου μπορεί να αναφλέξουν μικρές, δευτερεύουσες πυρκαγιές στο υπόγειο ενδεχομένως προκαλώντας ακόμη και προφανή τύπου V. Αυτά τα δευτερεύοντα σχέδια εγκαυμάτων, ακόμα κι αν μπορούν τεχνικά να είναι τα χαμηλότερα σχέδια εγκαυμάτων στη δομή, δεν είναι το σημείο προέλευσης της πυρκαγιάς. Αυτά είναι απλά τα δευτερεύοντα σημεία της προέλευσης της πυρκαγιάς τα οποία προκλήθηκαν από τα φλεγόμενα συντρίμια. Εντούτοις, μερικές φορές μπορούν εσφαλμένα να ληφθούν για το αρχικό σημείο προέλευσης.

Γενικά, τέτοια δευτερεύοντα σημεία προέλευσης μπορούν να διακριθούν από το αρχικό σημείο προέλευσης από τα παρακάτω:

1. Δεδομένου ότι εμφανίζονται αργότερα στην πυρκαγιά, η πλευρική επέκταση από αυτά είναι μικρότερη και πιο περιορισμένη. Η επέκταση της φωτιάς από την δευτερεύουσα πηγή μπορεί ούτε καν να μην είναι πλησίον της κύριας ζημιάς από την πυρκαγιά.
2. Μερικές φορές το κομμάτι που έπεσε και το οποίο προκάλεσε την δευτερεύουσα φωτιά βρίσκεται εκεί κοντά και είναι αναγνωρίσιμο.
3. Η φωτιά σε αυτό το σημείο δεν θα έχει άλλη πηγή ανάφλεξης εκτός από το κομμάτι που έχει πέσει, το οποίο κανονικά δεν θα συνδεόταν με την ανάφλεξη. Για παράδειγμα, δεν είναι λογικό η ξυλεία που βρισκόταν στη σοφίτα να είναι η αρχική πηγή ανάφλεξης μιας φωτιάς που ξεκίνησε στο υπόγειο.
4. Η περίπτωση της δευτερεύουσας φωτιάς δεν συμφωνεί με τις απαραίτητες συνθήκες ώστε να είναι αυτό το σημείο της ανάφλεξης: Το αρχικό σημείο θα πρέπει να βρίσκεται εκεί που και τα τρία απαραίτητα συστατικά για το ξεκίνημα μιας φωτιάς ήταν παρόν την ίδια χρονική στιγμή και στον ίδιο χώρο όταν ξεκίνησε η φωτιά.

H. Μέθοδος Κεντροειδούς

Φανταστείτε ότι ένα μεγάλο κομμάτι χαρτονιού κρατιέται οριζοντίως. Τώρα φανταστείτε κάποιο σημείο στην επιφάνεια του χαρτονιού κοντά στο κέντρο να αναφλέγεται. Η προκύπτουσα φωτιά θα κάψει το χαρτόνι από το αρχικό σημείο ανάφλεξης λίγο έως πολύ εξίσου προς όλες τις κατευθύνσεις. Εάν η πυρκαγιά σβηνόταν προτού να φθάσει στις άκρες του χαρτονιού, η φωτιά θα είχε κάψει μια κυκλική τρύπα στο χαρτόνι. Φυσικά, το κέντρο της τρύπας είναι το σημείο προέλευσης εκείνης της φωτιάς.

Το ανωτέρω είναι ένα παράδειγμα της αρχής που εκφράζει την μέθοδο κεντροειδούς για τον προσδιορισμό του σημείου προέλευσης μιας φωτιάς. Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερως χρήσιμη σε ίδιου τύπου πυρκαγιές, όπου το κτήριο είναι λίγο έως πολύ κατασκευασμένο από τα ίδια υλικά και έχει από άκρο σε άκρο τον ίδιο τύπο κατασκευής.

Αυτή η ομοιότητα των υλικών και κατασκευής έχει σαν αποτέλεσμα την κατά πλάτος επέκταση της φωτιάς θα είναι η ίδια προς όλες τις κατευθύνσεις.

Βασικά, η μέθοδος λειτουργεί όπως φαίνεται στο ανωτέρω παράδειγμα. Η έκταση της ζημιάς στην κατασκευή που προκλήθηκε από την φωτιά, μπορεί να σημειωθεί ή να σχεδιαστεί υπό κλίμακα σε ένα σχέδιο. Έτσι προσδιορίζεται το κέντρο ζημιάς. Αυτό μπορεί να γίνει και με το μάτι, για αυτούς που μπορούν να το κάνουν ή με ποιο εξεζητημένες μεθόδους όπως με γραφική ολοκλήρωση και με μαθηματική ανάλυση.

Η γραφική ολοκλήρωση περιλαμβάνει τη χρήση ενός οργάνου αποκαλούμενου επιπεδόμετρο, μαζί με ένα λεπτομερές κλιμακωτό σχέδιο των περιοχών που καταστράφηκαν από τη φωτιά. Το σχέδιο γίνεται σε ένα καρτεσιανό σύστημα αξόνων X-Y και επιλέγεται ένα κατάλληλο σημείο προέλευσης. Το σχέδιο της περιοχής που έχει καταστραφεί από τη φωτιά τεμαχίζεται σε μικρότερες περιοχές. Το επιπεδόμετρο χρησιμοποιείται για την μέτρηση της επίπεδης περιοχής που περιστοιχίζεται από την καταστροφή της φωτιάς σε διάφορους τομείς. Έπειτα μετριοούνται οι αποστάσεις από το κέντρο αυτών των μικρότερων περιοχών στο αντίστοιχο προέλευση πλέγμα X και Y.

Η θέση της καταστροφής από την φωτιά υπολογίζεται με την χρήση εξισώσεων για τον καθορισμό των συντεταγμένων για το επίπεδο κεντροειδούς, τα οποία δίνονται παρακάτω. Τότε η προέλευση της φωτιάς είναι εκεί κοντά ή στην τοποθεσία στο κέντρο της κατεστραμμένης περιοχής. Οι εξισώσεις για τον καθορισμό του κεντροειδούς είναι οι ακόλουθες:

$$(xiii) \quad x_c = \frac{\int (x) dA}{\int dA}$$

$$y_c = \frac{\int (y) dA}{\int dA}$$

όπου: dA = διαφορικό της καμένης περιοχής,
 (x) = απόσταση από τον άξονα y ,
 (y) = απόσταση από τον άξονα x ,
 x_c = συντεταγμένη x , του κεντροειδούς και
 y_c = συντεταγμένη y , του κεντροειδούς

Δεδομένου ότι οι περισσότερες καμένες περιοχές από φωτιά δεν είναι συνηθισμένες και εύκολα διαμορφώσιμες από μια λειτουργία ολοκλήρωσης, μπορεί το σχέδιο εγκαυμάτων να παρασταθεί γραφικά από ένα πλεγματοειδές σύστημα, και οι περιοχές μπορούν να καθοριστούν από το να μετρήσουμε τα τετράγωνα πλέγματος, ή τις μερίδες επ' αυτού. Τα ολοκληρώματα μπορούν να προσεγγιστούν με αριθμητική αξιολόγηση ως εξής:

$$(xiv) \quad x_c = \frac{\int (x) dA}{\int dA}$$

$$y_c = \frac{\sum y_i (\Delta A_i)}{\sum (\Delta A_i)}$$

όπου: x_i = η απόσταση από τον άξονα y στο τμήμα της περιοχής.
 y_i = η απόσταση από τον άξονα x στο τμήμα της περιοχής, και
 ΔA_i = επαυξηθηκό τμήμα της περιοχής.

Κάποια διακριτικότητα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για να επιτραπεί η εφαρμογή της μεθόδου κεντροειδούς σε φωτιές που αρχίζουν κοντά σε μια άκρη ή σε μια γωνία. Στο παράδειγμα που χρησιμοποιεί ένα κομμάτι χαρτονιού, η φωτιά είχε την αφθονία του υλικού για να κάψει προς κάθε κατεύθυνση του ταξιδιού της στο επίπεδο, και σβήστηκε προτού να φθάσει στην άκρη. Κατά συνέπεια, η φωτιά ήταν σε θέση να κινηθεί πλευρικά μακριά από το σημείο προέλευσης προς όλες τις κατευθύνσεις.

Εντούτοις, εάν η φωτιά είχε αρχίσει σε μια άκρη ή μια γωνία, θα είχε κάψει μακριά από εκείνο το σημείο σε μια λοξή συμμετρική μορφή. Η άκρη ή η γωνία θα απέτρεπε την φωτιά από να κάψει περαιτέρω σε εκείνη την κατεύθυνση η πυρκαγιά θα μπορούσε έπειτα μόνο να κάψει στις κατευθύνσεις μακριά από την άκρη ή τη γωνία. Παραδείγματος χάριν, μια πυρκαγιά που αρχίζει σε μια άκρη θα κάψει μακριά από εκείνη την άκρη σε ένα ημικυκλικό σχέδιο. Μια πυρκαγιά, που αρχίζει σε μια γωνία, καίει μακριά από τη γωνία σε ένα σχέδιο τέταρτου του κύκλου. Εν ολίγοις, η ακτινωτή συμμετρία που παράγεται από ένα λίγο πολύ ίσο ποσοστό ταξιδιού πυρκαγιάς στην πλευρική κατεύθυνση επηρεάζεται όταν πρέπει η πυρκαγιά να σταματήσει σε ένα όριο ελλείψει των καυσίμων.

Αυτή η ανεπάρκεια μπορεί να υπερνικηθεί με την χρήση της συμμετρίας καθρέπτη. Παραδείγματος χάριν, υποθέστε ότι μια πυρκαγιά άρχισε στο κέντρο του ανατολικού τοίχου ενός τετραγωνικού διαμορφωμένου κτηρίου, και τέθηκε έξω προτού να διαδώσει περισσότερο από μισή στο δυτικό τοίχο. Το σχέδιο πυρκαγιάς στο κτήριο θα εμφανιζόταν έπειτα κατά προσέγγιση ημισέληνος που διαμορφώνεται κατά την πλάγια όψη. Με την τοποθέτηση ενός καθρέφτη παράλληλα με την ανατολική άκρη του σχεδίου οικοδόμησης, η καμένη περιοχή "απεικονίζεται" στον καθρέφτη και ένα στρογγυλό σχέδιο εγκαυμάτων παρατηρείται. Η μέθοδος κεντροειδούς εφαρμόζεται έπειτα και στα δύο μέρη: η "πραγματική" πλευρά και η "εικονική" ή πλευρά καθρεφτών. Για μια πυρκαγιά γωνιών, δύο καθρέφτες ή δύο μαθηματικές αντανάκλασεις απαιτούνται.

Όταν μια πυρκαγιά αρχίζει κοντά σε έναν τοίχο ή μια γωνία αλλά όχι ακριβώς στον τοίχο ή τη γωνία, η τεχνική συμμετρίας καθρεφτών που περιγράφεται ανωτέρω έχει ανεπάρκειες. Σε μια τέτοια περίπτωση, το εικονικό μέρος της ζημιάς της πυρκαγιάς πρέπει να υπολογιστεί. Η εικονική ζημιά πυρκαγιάς είναι εκείνο το μέρος που θα είχε κάψει εάν το κτήριο ή το υλικό ήταν απείρως συνεχές οριζόντιο επίπεδο. Στην ουσία, η ζημιά της πυρκαγιάς που θα είχε εμφανιστεί αν η πυρκαγιά συνεχιστεί μπορεί να εκτιμηθεί, και το κέντρο καθορίζεται λαμβάνοντας υπόψη και την πραγματική και εικονική ζημιά.

Θ. Πηγές ανάφλεξης

Όταν η μέθοδος κεντροειδούς ολοκληρωθεί, και το σημείο ή ο τομέας της αρχικής προέλευσης της πυρκαγιάς έχει καθοριστεί, αυτή η περιοχή πρέπει έπειτα να εξεταστεί και να απογραφεί για τις πιθανές ενεργειακές πηγές ανάφλεξης. Τέτοιες πηγές ενέργειας περιλαμβάνουν συνήθως τα πειραματικά φώτα, θερμάστρες, ηλεκτρικές συσκευές, λάμπες φθορισμού, τζάκια, καπνοδόχοι, καπνίζοντα υλικά, μαγειρικός εξοπλισμός, λαμπτήρες, ηλεκτρικές καλωδιώσεις και πρίζες, και τα λοιπά.

Περιστασιακά, η ανάφλεξη μπορεί να είναι τυχαία, αλλά αυτό περιλαμβάνει συνήθως τα οργανικά έλαια ή υλικά που μπορούν εύκολα να υποβληθούν στην αποσύνθεση. Συνήθως υποτίθεται ότι ένας σωρός από κουρέλια εμποτισμένα με έλαια μπορεί να πιάσει φωτιά από μόνος του, αυτό δεν ισχύει όταν το έλαιο είναι παράγωγο πετρελαίου. Στην πραγματικότητα, αυτό συμβαίνει μόνο όταν το έλαιο προέρχεται από μια οργανική πηγή, όπως το έλαιο λιναρόσπορου. Αυτά τα οργανικά έλαια περιέχουν μεγάλα ποσά οργανικών οξέων, τα οποία μπορούν να αντιδράσουν με τον αέρα στη θερμοκρασία δωματίου. Τα πετρέλαια και τα λιπαντικά μηχανών γενικά δεν αναφλέγονται αυθόρμητα και είναι πολύ σταθερά.

Όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 1, τα αποσυντεθημένα περιπτώματα που καλύπτονται με άχυρο και χωρίς άμεση πρόσβαση σε αέρα μπορεί αυθόρμητα να αναφλέγουν. Επίσης, ο υγρός σανός ή υγραμένα φυτικά υλικά μπορούν επίσης αυθόρμητα να αναφλέγουν όταν αποθηκευτούν σε μεγάλη ποσότητα. Εντούτοις, η αυθόρμητη καύση είναι μια πολλαπλών βημάτων διαδικασία που περιλαμβάνει τη βακτηριδιακή αποσύνθεση. Εμφανίζεται χαρακτηριστικά στις σιταποθήκες, τα σιλό τροφών, ή σε ζωικές μάνδρες, οι οποίες δεν έχουν καθαριστεί για αρκετό χρονικό διάστημα.

Η καύση που σιγοκαίει μπερδεύεται συχνά με την αυθόρμητη καύση. Σε μια καύση που καίει αργά τα καύσιμα υλικά μερικές φορές έχουν ανάγκη για αέρα, και έτσι η αντίδραση της καύσης γίνεται αργά. Αυτή η επίδραση εμφανίζεται συνήθως σε υφασμένο ή πορώδες υλικό.

Εντούτοις, μερικοί τύποι σιγανής καύσης είναι απλά μια λειτουργία του υλικού. Παρά τον ικανοποιητικό αέρα, η καύση για μερικά υλικά προχωρά πολύ αργά. Αυτό είναι χαρακτηριστικό μερικών πλαστικών και οργανικών υλικών και ινών φτιαγμένα από τον άνθρωπο.

Γενικά, η σιγανή καύση είναι οποιοσδήποτε τύπος διαδικασίας καύσης όπου η αιχμή της ζώνης καύσης κινείται μόνο περίπου 1-5cm ανά ώρα. Λόγω αυτού, η σιγανή καύση παράγει μέτρια θερμότητα και καπνό, και είναι δύσκολο να ανιχνευθεί όταν είναι υπό εξέλιξη. Οι σιγανές καύσεις μπορεί να είναι επικίνδυνες όχι μόνο λόγω του προφανούς κινδύνου πυρκαγιάς τους, αλλά και επειδή δεν μπορούν να ανιχνευθούν, μπορούν να απελευθερώσουν τοξικά αέρια όπως το μονοξειδίο ή ακόμα και το κυανίδιο του άνθρακα, τα οποία μπορούν αργά να δηλητηριάσουν την ατμόσφαιρα του κατειλημμένου δωματίου.

Όταν η καύση που σιγοκαίει και που έχει ανάγκη για οξυγόνο φθάνει σε ένα σημείο όπου υπάρχει άφθονος αέρας, μπορεί να πάρει φωτιά. Ομοίως, όταν η αιχμή της φωτιάς ενός σιγοκαίόμενου υλικού φτάσει σε ένα ευκολότερα εύφλεκτο υλικό, επίσης μπορεί ξαφνικά να πάρει φωτιά. Και στις δύο περιπτώσεις, η προκύπτουσα πυρκαγιά μπορεί να εμφανιστεί "αυτανάφλεξη" όπου η σιγανή καύση τελικά ξέσπασε σε φλόγες.

Μερικά υλικά, όταν θερμαίνονται σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, αποσυνθέτονται και έπειτα αντιδρούν για να παράγουν περισσότερη θερμότητα, η οποία προκαλεί τελικά την ανάφλεξη του υλικού. Αυτή η επίδραση επίσης μπερδεύεται με την αυθόρμητη καύση. Ο αφρός πολυουρεθάνιου είναι ένα υλικό που εμφανίζει αυτήν την συμπεριφορά. Όταν θερμαίνεται, ίσως από την καυτή καλωδίωση ή τον καυτό σωλήνα νερού, ο αφρός πολυουρεθάνιου υποβάλλεται σε χημική αποσύνθεση. Οι χημικές ουσίες που είναι παρούσες αφότου εμφανιστεί η αποσύνθεση αντιδρούν η μια με την άλλη και εκπέμπουν θερμότητα. Εάν η θερμότητα δεν μπορεί να δραπετεύσει, μπορεί να συσσωρευτεί αρκετά ώστε να αναφλέξει το υπόλοιπο του αφρού.

I. Η μέθοδος του κουτιού (Box method)

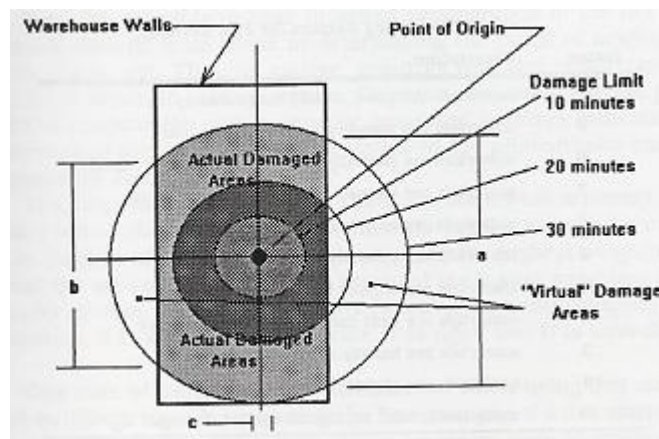
Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει χαρακτηριστικό σχέδιο ζημιάς μίας πυρκαγιάς, η οποία εμφανίζεται συχνά σε αποθήκες εμπορευμάτων μονοεπίπεδου τύπου. Η πυρκαγιά διαδίδεται σε ένα ακτινωτό σχέδιο στην περιοχή της οροφής και φθάνει πρώτα σε έναν περιμετρικό τοίχο, και έπειτα στον άλλον. Ο περιμετρικός τοίχος, όπου η πυρκαγιά φθάνει πρώτα, θα εκτεθεί στην περισσότερη ζημιά κατά μήκος του μήκους του. Ο τοίχος, που η πυρκαγιά φθάνει δεύτερο, θα εκτεθεί στη δεύτερη περισσότερη ζημιά από την πυρκαγιά, κ.λ.π. Οι "εικονικές" περιοχές, όπου θα έβλαπτε η πυρκαγιά, θα είναι αυτές όπου η πυρκαγιά θα είχε εξαπλωθεί αν το κτήριο ήταν μεγαλύτερο στο οριζόντιο επίπεδο, και οι οποίες παρουσιάζονται επίσης.

Φαίνεται ότι εάν ένα πρόσωπο διχοτομήσει απλά τη ζημιά τοίχων στη δεξιά πλευρά και επεκτείνει μια κάθετη γραμμή στον τοίχο μέσα στο κτήριο, η γραμμή θα διχοτομή το σημείο πρόελευσης. Με το να κάνουν αυτό επίσης στην αριστερή πλευρά, και στο δάπεδο, τρεις γραμμές μπορούν να χαραχθούν που όλες θα διχοτομούν το σημείο ή τον τομέα

προέλευσης. Εάν η πυρκαγιά είχε διαδοθεί στην οροφή, μια τέταρτη γραμμή θα μπορούσε επίσης να έχει χαραχθεί.

Στις αποθήκες εμπορευμάτων και παρόμοια ορθογώνια κτήρια, το σημείο προέλευσης μπορεί να είναι γρήγορα, και συνήθως με ακρίβεια, υπολογίσιμο με αυτό τον τρόπο. Αυτή η τεχνική καλείται μερικές φορές μέθοδος "κιβωτίων" ή μέθοδος "αποθηκών εμπορευμάτων" για τον προσδιορισμό του σημείου προέλευσης. Λειτουργεί ιδιαίτερα καλά στα κτήρια όπου η πυρκαγιά έχει φθάσει στην οροφή, και η περιοχή της οροφής είναι γενικά εύκολο στην πυρκαγιά διαδοθεί.

Στην ουσία, η μέθοδος απαιτεί απλά την παρατήρηση της ζημιάς της πυρκαγιάς κατά μήκος του εξωτερικού των περιμετρικών τοίχων, και την παραγωγή των κάθετων γραμμών, οι οποίες διχοτομούν τη κατεστραμμένη περιοχή. Αυτό είναι ιδιαίτερα εύκολο για να γίνει όταν οι εξωτερικοί τοίχοι καλύπτονται από μέταλλο, και το χρώμα έχει ξεφτίσει όπου η πυρκαγιά έχει προσκρούσει άμεσα στην εσωτερική πλευρά.



Εικόνα 4.2 : Η φωτιά του κουτιού : Πραγματικές και «εικονικές» κατεστραμμένες περιοχές

Η μέθοδος του κουτιού για τον καθορισμό του σημείου προέλευσης μίας πυρκαγιάς και η μέθοδος κεντροειδούς είναι ουσιαστικά η ίδια τεχνική. Και οι δύο υποθέτουν ότι το πλευρικό ποσοστό εγκαυμάτων είναι σχεδόν το ίδιο σε όλες τις οριζόντιες κατευθύνσεις, και ότι η πυρκαγιά θα έκαιγε σε ένα κυκλικό σχέδιο ζημιάς με το σημείο προέλευση στο κέντρο.

Κ. Σταθμισμένη μέθοδος κεντροειδούς

Αυτή η μέθοδος είναι παρόμοια με τη βασική μέθοδο κεντροειδούς εκτός από το ότι αυτή η μέθοδος υποθέτει ότι το σημείο, το οποίο υπόκειται στην πιο μακρόχρονη διάρκεια της πυρκαγιάς, και έχει υποστεί συνεπώς την περισσότερη ζημιά, είναι το σημείο προέλευσης. Για αυτόν τον λόγο, στις περιοχές που έχουν σοβαρότερα βλαφθεί από την πυρκαγιά, δίνεται περισσότερο βάρος για τον καθορισμό του κεντροειδούς από τις περιοχές που έχουν τη λιγότερο σοβαρή ζημιά. Όπως πριν, η μέθοδος υποθέτει μια γενικά ομοιογενή δομή από την άποψη του εύφλεκτων υλικών και της κατασκευής.

Παραδείγματος χάριν, οι διάφορες περιοχές που έχουν βλαφθεί από τη πυρκαγιά μπορούν να χωρισθούν σε ζώνες δριμύτητας, με τις ζώνες όπου έχουν υποστεί την περισσότερη ζημιά από την πυρκαγιά να δίνεται ένας σταθμισμένος παράγοντας 10. Περιοχές με τη λιγότερη δριμύτητα της πυρκαγιάς στη ζημιά ορίζονται ως χαμηλός-σταθμισμένοι παράγοντες όπως παρουσιάζεται παρακάτω. Περιοχές χωρίς ζημιά από την πυρκαγιά ορίζονται από έναν σταθμισμένο παράγοντα 0 και την αποφυγή από οποιεσδήποτε εξισώσεις.

Πίνακας 2. Παράγοντες στάθμισης για τη δριμύτητα πυρκαγιάς

Συντελεστής	Περιγραφή
10	τα υλικά καταστρέφονται, πλήρως αποτεφρωμένα
9	τα περισσότερα υλικά καταστρέφονται, κάποια παραμένουν
8	τα υλικά μερικώς καταστρέφονται, παραμένουν αναγνωρίσιμα
7	τα υλικά καίγονται ολόκληρα αλλά η μορφή τους είναι άθικτη
6	τα υλικά σχεδόν καταστρέφονται
5	τα υλικά καίγονται μερικώς
4	τα υλικά καίγονται ελαφρώς
3	τα υλικά βλάπτονται από την θερμότητα παρακείμενης φωτιάς
2	τα υλικά βλάπτονται πολύ από τον καπνό
1	τα υλικά βλάπτονται λίγο από τον καπνό
0	τα υλικά δεν παρουσιάζουν καμία σημαντική ζημιά από την φωτιά

Ένα σκίτσο του κτηρίου μπορεί να γίνει με τις διάφορες περιοχές σημειωμένες μέσα σε αυτό. Όταν οι παράγοντες στάθμισης εφαρμόζονται στις διάφορες περιοχές το προκύπτουν σκίτσο ζημιάς από την φωτιά θα εμφανιστεί κάπως όπως ένας τοπογραφικός χάρτης με τις γραμμές περιγράμματος. Εκτιμώντας ότι οι γραμμές περιγράμματος σε έναν "τοπογραφικό" χάρτη υποδεικνύουν την ανύψωση, οι γραμμές περιγράμματος στο σκίτσο της πυρκαγιάς υποδεικνύουν τη δριμύτητα πυρκαγιάς.

Το επίκεντρο της περιοχής που ζημιώθηκε από την πυρκαγιά μπορεί έπειτα να βρεθεί με την εφαρμογή των παραγόντων στάθμισης στις διάφορες περιοχές που επηρεάστηκαν από αυτή. Οι εξισώσεις για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων του επίκεντρου θα ήταν οι ακόλουθες:

$$(xv) \quad x_c = \frac{\sum x_i (\Delta A_i) f_w}{\sum (\Delta A_i)}$$
$$y_c = \frac{\sum y_i (\Delta A_i) f_w}{\sum (\Delta A_i)}$$

όπου: f_w = παράγων στάθμισης

x_i = απόσταση από τον άξονα y στο τμήμα περιοχής.

y_i = απόσταση από τον άξονα x στο τμήμα περιοχής, και

ΔA_i = επαυξητικό τμήμα περιοχής.

Όπως με τη βασική μέθοδο κεντροειδούς, αυτή η μέθοδος γίνεται συχνά με το μάτι από έναν πεπειραμένο ερευνητή πυρκαγιών. Εντούτοις, η μέθοδος προσφέρεται για περιπλοκότερη υπολογιστική ανάλυση. Στην πραγματικότητα, ανέξοδα με τη βοήθεια υπολογιστή και με τα διάφορα προγράμματα σχεδίου (CAD) που είναι διαθέσιμα, επιτρέπουν στο σχέδιο οικοδόμησης να σχεδιαστεί σε μια οθόνη υπολογιστή και τις περιοχές που έχουν ζημιωθεί από την πυρκαγιά να τοποθετηθούν μετά ως επικάλυψη. Μερικά προγράμματα μπορούν έπειτα αυτόματα να βρουν το κεντροειδές μιας περιοχής.

Είναι επίσης δυνατό να ανιχνεύσει σε πραγματικές φωτογραφίες του τόπου της φωτιάς και να εργαστεί άμεσα από αυτές για τον καθορισμό του σημείου προέλευσης, των περιοχών δριμύτητας εγκαυμάτων, κ.λ.π. Αυτό, φυσικά, απαιτεί οι φωτογραφίες να λαμβάνονται από στρατηγικά σημεία. Εντούτοις, η χρήση της πραγματικής φωτογραφίας από κοινού με τις παραγόμενες από υπολογιστή επικαλύψεις που δείχνουν τη σημασία

των σχεδίων ζημιάς ορατών στις φωτογραφίες μπορούν να είναι ένα πολύ ισχυρό αποδεικτικό εργαλείο.

Το σύστημα των 10-σημείων που απεικονίζεται στον πίνακα 2 είναι κάπως αυθαίρετο. Πραγματικά, οποιαδήποτε λογική μέθοδος στις περιοχές που έχουν ζημιωθεί από την πυρκαγιά μπορεί να χρησιμοποιηθεί εφ' όσον ορίζεται στον τομέα της σοβαρότερης ζημιάς ο υψηλότερος παράγοντας στάθμισης, και στον τομέα λιγότερης ζημιάς ορίζεται ο χαμηλότερος παράγοντας στάθμισης. Ένα απλούστερο σύστημα, που χρησιμοποιεί 1-2-3 είναι πρακτικότερο για τους υπολογισμούς με το χέρι. Σε αυτό το σύστημα, το 3 είναι σοβαρή, το 2 είναι μέτρια, το 1 είναι ελαφριά, και το 0 είναι μια περιοχή με καθόλου ζημιά.

Μια σημείωση, θα πρέπει να παρατηρηθεί προσεκτικά κατά χρησιμοποίηση αυτής της μεθόδου: δεν καίγονται όλα τα κτήρια ομοιογενώς. Παραδείγματος χάριν, εάν μια πυρκαγιά που αρχίζει σε μια κουζίνα και διαδίδεται έπειτα σε μια αποθήκη όπου υπάρχει ένα ανοικτό βαρέλι αποθηκευμένου ελαίου, η σοβαρότερη ζημιά από την πυρκαγιά θα ήταν στην περιοχή αποθήκευσης, και όχι στην κουζίνα. Κατά συνέπεια, η αρχική αναγνώριση της ζημιάς πρέπει να σημειωθεί εκεί όπου υπήρξαν συγκεντρώσεις καυσίμων οι οποίες μπορεί διέστρεψαν τη στάθμιση.

Λ. Δείκτες Εξάπλωσης Πυρκαγιάς - Διαδοχική Ανάλυση

Το σημείο προέλευσης μιας πυρκαγιάς μπορεί επίσης να βρεθεί απλά με το να ακολουθηθεί αντίστροφα το ίχνος της ζημιάς της πυρκαγιάς από εκεί που τελειώνει μέχρι εκεί που άρχισε. Όπου διάφορα τέτοια ίχνη συγκλίνουν αυτό είναι το σημείο προέλευσης της πυρκαγιάς. Στην ουσία, αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει τον καθορισμό αυτού που έκαψε στο τέλος, αυτού που έκαψε δίπλα στο τελευταίο, κ.λπ., έως ότου βρεθεί το αντικείμενο που έκαψε πρώτο.

Με τον ίδιο τρόπο όπως ένας ιχνηλάτης ερμηνεύει τα σημάδια και σημεία για να ακολουθήσει ένα ίχνος του θηράματος, έτσι και ένας ερευνητής πυρκαγιών ψάχνει τα σημάδια και τα ίχνη, τα οποία μπορούν να τον οδηγήσουν στο σημείο προέλευσης. Παραδείγματος χάριν, μια πολύ γρήγορη, και πολύ ανάμιξη. Μια πιο αδύναμη, πιο αργή φωτιά θα παραγάγει ανάμιξη με μικρότερο διάστημα και έναν σαφώς πιο θαμπό προσροφητικό άνθρακα. Το διαπέρασμα μιας πυρκαγιάς ή η παραβίαση μιας μονόωρης εκτιμημένης αντιπυρικής ζώνης θα πάρει πιθανώς περισσότερο από να διαπεράσει η φωτιά έναν ξυλεπενδυμένο τοίχο.

Όπως σημειώθηκε, ο ξύλινος προσροφητικός άνθρακας και ανάμιξη σχέδια είναι χρήσιμοι δείκτες. Ο αναγνώστης μπορεί να θυμηθεί ότι το εμπορικό ξύλο περιέχει περίπου 12% νερό του βάρους του. Δεδομένου ότι η θερμότητα προσκρούει σε ένα κομμάτι του ξύλου, το νερό στην επιφάνεια του θα εξατμιστεί και θα δραπέτεύσει από το ξύλο. Η γρήγορη απώλεια του νερού στην επιφάνεια του συνοδεύεται επίσης από μια γρήγορη απώλεια όγκου, ο όγκος που το ύδωρ κατελάμβανε στο παρελθόν. Έπειτα η ξύλινη επιφάνεια βρίσκεται σε ένταση καθώς η απώλεια ύδατος αναγκάζει το ξύλο για να συρρικνωθεί. Αυτό είναι ο λόγος για τον οποίο το ξύλο ραγίζει όταν εκτίθεται στην υψηλή θερμότητα ή στεγνώνει απλά κατά τη διάρκεια του χρόνου.

Φυσικά, εάν η θερμότητα είναι πολύ έντονη, περισσότερη από αυτή του σημείου βρασμού του νερού, το ράγισμα ή το μίγμα είναι σοβαρότερο. Όταν τη θερμότητα εφαρμόζεται γρήγορα και σταματάει έπειτα, υπάρχει ακριβώς αρκετός χρόνος για την επιφάνεια να επηρεαστεί. Όταν η θερμότητα εφαρμόζεται για αρκετό διάστημα, υπάρχει αρκετός χρόνος για το ξύλο να επηρεαστεί σε μεγαλύτερο βάθος.

Άλλοι δείκτες της θερμότητας και της φωτιάς που διαδίδονται περιλαμβάνουν το φινίρισμα χρώματος, επιστρώματα και ο όρος των διάφορων υλικών (π.χ., που λειώνουν, που απανθρακώνονται, που στρεβλώνονται, που μαλακώνουν, που οξειδώνονται, που υποβάλλονται σε ανόπτηση, κ.λπ.).

Παραδείγματος χάριν, το φινιρισμένο χρώμα σε έναν φούρνο είναι ένας πολύτιμος δείκτης της κατανομής της θερμοκρασίας στο φούρνο. Καθώς ότι η θερμοκρασία αυξάνεται ίσως μέχρι τους 250-400°F, το πρώτο πράγμα που θα εμφανιστεί θα είναι ο αποχρωματισμός του χρώματος. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται πέρα από τους 350-400°F, το χρώμα θα βράσει, και θα ξεφλουδίσει εκθέτοντας το υπόστρωμα. Καθώς η θερμοκρασία ανέρχεται πάλι περισσότερους από 400-450°F, το χρώμα θα απομακρυνθεί, και το υπόστρωμα θα ζαρώσει, με αποτέλεσμα να εκτεθεί σε οξειδωση. Και καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται ακόμα περισσότερο, ίσως πέρα από τους 786°F, το υπόστρωμα θα λειώσει και θα απομακρυνθεί αφήνοντας γυμνό το μέταλλο, το οποίο από μόνο του θα οξειδωθεί.

Συχνά είναι ευκολότερο να καθοριστεί οπτικά το θερμότερο σημείο στο φούρνο ή τη συσκευή αρκετές ημέρες μετά από την φωτιά. Οι περιοχές όπου όλο το χρώμα, το υπόστρωμα, και το γαλβανισμένο υπόστρωμα έχουν αφαιρεθεί από την υψηλή έκθεση σε θερμότητα θα έχουν ανοιχτό κόκκινο χρώμα όπου τα γυμνά φύλλα από χάλυβα έχουν οξειδωθεί από την φωτιά.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι οι μεταλλικοί αγωγοί εξαερισμού. Οι μεταλλικοί αγωγοί εξαερισμού είναι συνήθως από γαλβανισμένο χάλυβα, δηλαδή χάλυβας με ένα λεπτό επίστρωμα του ψευδάργυρου. Ο γαλβανισμένος χάλυβας, που είναι κανονικά λαμπρός, θα θαμπώσει αρχικά και θα σκουρύνει σε έκθεση στη θερμότητα. Όταν οι θερμοκρασίες αυξάνονται επάνω από τους 500°F, ο ψευδάργυρος αρχίζει να οξειδώνεται σημαντικά και παίρνει ένα υπόλευκο χρώμα. Δεδομένου ότι ο ψευδάργυρος θερμαίνεται μετά από τους 500°F, λευκαίνει όλο και περισσότερο. Εντούτοις, όταν η θερμοκρασία προσεγγίσει τους 786°F, ο ανοξειδωτος ψευδάργυρος λειώνει και απομακρύνεται, με αποτέλεσμα να αφήνουν το γυμνό χάλυβα εκτεθειμένο. (Το ίδιο το οξείδιο του ψευδάργυρου δεν θα λειώσει πραγματικά έως ότου φτάσει σε μια θερμοκρασία περίπου 3.600°F, αλλά συνήθως απομακρύνεται μαζί με τον ανοξειδωτο ψευδάργυρο που βρίσκεται κάτω από αυτόν.) Έτσι, τα καυτότερα σημεία στον αγωγό εξαερισμού είναι επίσης τα κόκκινα σημεία, όπου ο εκτεθειμένος χάλυβας έχει οξειδωθεί μέχρι σκουριάς.

Οι ερμηνείες πολλών τέτοιων δεικτών, σχεδίων, κ.λ.π. συνδυάζονται έπειτα σε ένα λογικό κατασκεύασμα της πορείας πυρκαγιάς. Μια αγαπημένη δοκιμή που χρησιμοποιείται στη μέθοδο της διαδοχικής ανάλυσης είναι η ερώτηση: "Ποιο καίγεται περισσότερο, το υλικό σε αυτήν την πλευρά ή σε εκείνη την πλευρά;" Η απάντηση σε αυτήν την ερώτηση παρέχει ένα κατευθυντικό διάνυσμα για την διάδοση της πυρκαγιάς, και το διάνυσμα μεταφέρεται σε μια άλλη θέση όπου η ερώτηση τίθεται πάλι. Από μία άποψη, η παρακολούθηση ενός ίχνους των δεικτών είναι όπως το παιχνίδι των είκοσι ερωτήσεων.

Προκειμένου να αποφευχθεί ένα λανθασμένο ίχνος λόγω κατάρρευσης, είναι κοινό να επανακολουθηθούν τα διάφορα ίχνη της πυρκαγιάς από το τέλος στην αρχή. Όταν διάφορα τέτοια ανεξάρτητα ίχνη συγκλίνουν σε ένα κοινό σημείο προέλευσης, η βεβαιότητα για το σωστό της απάντησης αυξάνεται πολύ.

Το πλεονέκτημα της διαδοχικής μεθόδου είναι ότι καμία ειδική υπόθεση δεν χρειάζεται να γίνει σχετικά με τη δομική ομοιογένεια. Τα μειονεκτήματα είναι διπλάσια. Πρώτα, στηρίζεται στη μεμονωμένη ικανότητα και τη γνώση του ερευνητή για να βρει και να ερμηνεύσει κατάλληλα τις ενδείξεις. Δεν έχουν όλοι οι ερευνητές πυρκαγιών την ίδια γνώση για τα υλικά, τη χημεία φωτιάς, τη μεταφορά θερμότητας, κ.λ.π. Ένας ερευνητής πυρκαγιών μπορεί να επισημάνει μια σημαντική ένδειξη που άλλος είδε επίσης αλλά αγνόησε.

Αφετέρου, υποθέτει ότι αρκετές ενδείξεις είναι παρούσες για τη διάγνωση της πυρκαγιάς και οι οποίες μπορούν να βρεθούν; αυτό δεν είναι πάντα αυτό που ζητάμε. Μερικές φορές η δριμύτητα της πυρκαγιάς ή οι δραστηριότητες προσβολής της πυρκαγιάς, καταστρέφουν τα σημαντικά σημάδια και ενδείξεις. Επίσης, μερικές φορές οι ενδείξεις μπορούν να είναι παρούσες αλλά χάνονται μέσα στους σορούς των συντριμμιών. Κατά

συνέπεια, μερικές φορές υπάρχουν κενά στα στοιχεία, και η προκύπτουσα διαδοχική ανάλυση είναι ασυνεχής.

M. Συνδυασμός μεθόδων

Λίγες πυρκαγιές παραχωρούνται για πλήρη ανάλυση με μόνο μια από τις μεθόδους που περιγράφονται; πολλές απαιτούν έναν συνδυασμό μεθοδολογιών. Παραδείγματος χάριν, είναι κοινό να καθοριστεί μια γενική περιοχή όπου η πυρκαγιά άρχισε, με μια από τις μεθόδους κεντραρίσματος, και έπειτα να καθορίσει ένα συγκεκριμένο σημείο προέλευσης χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό ενδείξεων εξάπλωσης της πυρκαγιάς και μια εξέταση των διαθέσιμων ενεργειακών πηγών ανάφλεξης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ: ΕΚΡΗΞΕΙΣ

Α. Γενικά

Μια έκρηξη είναι μια ξαφνική, βίαιη απελευθέρωση της ενέργειας. Συνοδεύεται συνήθως από έναν δυνατό θόρυβο και ένα κύμα πίεσης αερίου που εξαπλώνεται. Η πίεση του αερίου μειώνεται με την απόσταση από το σημείο προέλευσης ή το επίκεντρο. Οι εκρήξεις που έχουν σαν αποτέλεσμα την ανάφλεξη εύφλεκτων υλικών μπορούν επίσης να συνοδευτούν από μια υψηλής θερμοκρασίας μπάλα φωτιάς, η οποία μπορεί να αναφλέξει καύσιμα υλικά στην πορεία της.

Οι εκρήξεις που προκαλούνται από την ξαφνική απελευθέρωση χημικής ενέργειας είναι ταξινομημένες σε δύο κύριους τύπους: εκρήξεις ανάφλεξης και εκρήξεις με πυροδότηση.

Μια έκρηξη ανάφλεξης χαρακτηρίζεται από ένα σχετικά αργό, προοδευτικό ποσοστό καψίματος του εκρηκτικού υλικού. Η προοδευτική απελευθέρωση και η διασπορά της ενέργειας μέσω του εκρηκτικού υλικού σε μια έκρηξη ανάφλεξης επιτυγχάνεται από τους μηχανισμούς ομαλής μεταφοράς θερμότητας. Λόγω αυτού, η μετάδοση της ενέργειας μέσω του εκρηκτικού υλικού εξαρτάται από εξωτερικούς παράγοντες όπως οι όροι περιβαλλοντικής πίεσης και θερμοκρασίας.

Γενικά οι εκρήξεις ανάφλεξης προκαλούν ζημιά με την ώθηση αντικειμένων λόγω των διαφορών πίεσης. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν τους τοίχους, τις οροφές, τα πατώματα, τα μεγάλα κομμάτια επίπλων, κ.λ.π. Όταν ένα αέριο υψηλότερης πίεσης εξαπλώνεται από μια έκρηξη και χτυπά ένα αντικείμενο που έχει ένα αέριο χαμηλότερης πίεσης από την άλλη πλευρά, η διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο πλευρών έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία μιας δύναμης σαν δίχτυ, η οποία μπορεί να είναι αρκετή ώστε να κινήσει το αντικείμενο, ή να το κομματιάσει από την αρχική του κατάσταση.

Οι αναφλέξεις έχουν γενικά χαμηλή δυνατότητα να προκαλέσουν ζημιές με κομματιασμένα αντικείμενα. Τα μικρά αντικείμενα κοντά στο επίκεντρο της ανάφλεξης παραμένουν άθικτα καθώς το κύμα πίεσης περνά γύρω από αυτά. Οι διαφορές πίεσης στις επιφάνειές τους είναι συχνά ανεπαρκείς για να προκαλέσουν τη θραύση.

Μια έκρηξη πυροδότησης χαρακτηρίζεται από ένα σχετικά γρήγορο ποσοστό εγκαυμάτων, απελευθέρωση υψηλής ενέργειας σε μεγάλη ακτίνα, και υψηλή μέγιστη πίεση έκρηξης. Η προοδευτική απελευθέρωση και η διασπορά της ενέργειας μέσω του εκρηκτικού υλικού, επιτυγχάνεται από τα κύματα κλονισμού και τις σχετικές δυνάμεις πίεσής τους. Για αυτόν τον λόγο, η μετάδοση της ενέργειας μέσω της πυροδότησης του υλικού δεν εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες της πίεσης ή της θερμοκρασίας.

Οι πυροδοτούμενες εκρήξεις έχουν υψηλότερη δυνατότητα θραύσης από τις αναφλέξεις. Είναι αυτή η δυνατότητα που τις καθιστά χρήσιμες για εργασία τέτοιου είδους. Αντικείμενα κοντά στο επίκεντρο μιας πυροδοτούμενης έκρηξης διαλύονται, συχνά όπως όσο το σπασμένο γυαλί, λόγω της μετάδοσης των έντονων κυμάτων κλονισμού μέσω του υλικού τους.

Μερικά υλικά πυροδότησης έχουν αρκετά υψηλές ιδιότητες θραύσης και τα οποία χρησιμοποιούνται ακόμη και για να κόψουν μεγάλα κομμάτια από χάλυβα. Ένα μικρό ποσοστό του υλικού, υπό μορφή στόκου, τοποθετείται απλά κατά μήκος της γραμμής κοπής της ακτίνας του χάλυβα. Το κύμα κλονισμού που παράγεται από την πυροδότηση του είναι τόσο έντονη ώστε να αναγκάσει το χάλυβα να σπάσει στα δυο, εκεί όπου τοποθετήθηκε η εκρηκτική ύλη.

Μια γενική διάκριση μεταξύ των εκρήξεων ανάφλεξης και των πυροδοτούμενων εκρήξεων είναι ότι τα πρώτες έχουν υποηχητικά ποσοστά διάδοσης της πίεσης μέσα στο εκρηκτικό υλικό ενώ τα τελευταίες έχουν υπερηχητικά ποσοστά διάδοσης της πίεσης.

Εκτός από τις εκρήξεις αναφλέξεις και τις πυροδοτούμενες εκρήξεις υπάρχει μια τρίτη κατηγορία εκρήξεων, που περιλαμβάνει την ξαφνική εκτόνωση υψηλής πίεσεως αέριων, τα οποία μπορούν να εμφανιστούν από ένα σπασμένο δοχείο υψηλής πίεσεως ή έναν σωλήνα. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει επίσης την ξαφνική εκτόνωση πεπιεσμένων υγρών σε αέριο, όπως θα εμφανιζόταν όταν ένας λέβητας μετατρέπει το νερό σε ατμό όταν χαμηλωθεί ξαφνικά η πίεση. Αυτή η κατηγορία έκρηξης θα θεωρηθεί πρώτη.

B. Υψηλής πίεσης εκτόνωσης αερίου

Η τρίτη κατηγορία έκρηξης που αναφέρεται στο προηγούμενο τμήμα είναι μερικές φορές ταξινομημένη ως πολυτροπική εκτόνωση. Αυτός ο τύπος έκρηξης δεν περιλαμβάνει την απελευθέρωση της χημικής ενέργειας μέσω μιας χημικής αντίδρασης, περιλαμβάνει απλά τη γρήγορη εκτόνωση των διατηρημένων σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση αερίων στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Στην ουσία, είναι η μετατροπή της ενέργειας ενθαλπίας σε αμετάκλητο έργο "P-V", με την τελική κατάσταση του αερίου σε ισορροπία με τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Οι πολυτροπικές εκτονώσεις περιλαμβάνουν μια αλλαγή της κατάστασης, η οποία αντιπροσωπεύεται συνήθως από τη γενική έκφραση:

$$(i) PV^n = \text{σταθερά}$$

όπου: P = πίεση,
V = όγκος, και
n = πολυτροπική σταθερά αερίου.

Όταν $n=1$, η εκτόνωση εμφανίζεται σε ισόθερμες συνθήκες, και η συμπεριφορά αερίου προσαρμόζεται στον Νόμο Ιδανικών Αερίων. Φυσικά, όταν αυτό εμφανίζεται, η απελευθέρωση δεν είναι ξαφνική. Προκειμένου να ολοκληρωθεί η ισόθερμη εκτόνωση, η απελευθέρωση θα πρέπει να είναι πολύ αργή κατά τρόπο σχεδόν αντιστρέψιμη. Αυτό δεν είναι μια έκρηξη: το πολύ-πολύ να είναι μια μικρή, αργή διαρροή σε μια χαμηλή ταχύτητα διαφυγής όπου η διαφορά πίεσης είναι μικρή.

Όταν $n = \kappa$, όπου $\kappa = (C_p / C_v)$, η εκτόνωση εμφανίζεται με αδιαβατικές συνθήκες.

Όταν εμφανίζεται μια διαδικασία πολύ γρήγορα, δεν υπάρχει διαθέσιμος χρόνος για τη μεταφορά της θερμότητας στο περιβάλλον, και ως εκ τούτου η διαδικασία είναι αδιαβατική. Αυτό είναι το μαθηματικό πρότυπο, το οποίο αντιστοιχεί στις εκρήξεις.

Όταν το n είναι ενδιάμεσης αξίας μεταξύ 1 και κ η αντίστοιχη θερμοδυναμική διαδικασία είναι επίσης ενδιάμεση μεταξύ μιας αδιαβατικής και ισόθερμης διαδικασίας, ή ίσως κάποιος συνδυασμός των δύο. Αυτό δεν είναι επίσης ένα πρότυπο για μια έκρηξη, αλλά μπορεί να διαμορφώσει ορισμένες διαδικασίες που εμφανίζονται λιγότερο γρήγορα από μια έκρηξη. Θα μπορούσε επίσης, ίσως να διαμορφώσει μια διαδικασία δύο ή τριών βημάτων όπου ένα από τα βήματα περιλαμβάνει μια γρήγορη αδιαβατική εκτόνωση.

Όταν ένα αέριο σε μια δεξαμενή υπό υψηλή πίεση απελευθερώνεται ξαφνικά σε ένα περιβάλλον χαμηλότερης πίεσης μέσω μιας τρύπας ή μιας ρωγμής, η ταχύτητα του δραπέτευοντα αερίου καθορίζεται με την εξίσωση της αλλαγής στην ενθαλπία, από την κατάσταση υψηλής πίεσεως σε κατάσταση χαμηλής πίεσεως στην τρύπα σαν αντίτιμο της κινητικής ενέργειάς της. Στην ουσία, αυτό είναι μια απλή μετατροπή της ενεργειακής εξίσωσης, όπως παρουσιάζεται κατωτέρω.

$$(ii) \Delta(\text{ενθαλπία}) = \Delta(\text{κινητική ενέργεια}) = \Delta(\text{ενέργεια μεταξύ καταστάσεων})$$

$$m(h_2 - h_1) = (1/2)mv^2 = \Delta E$$

$$v = [2(h_2 - h_1)]^{1/2}$$

όπου: h = ειδική ενθαλπία του αερίου.

m = μάζα

v = ταχύτητα, και

ΔE = συνολική ενεργειακή αλλαγή.

Στην ανωτέρω εξίσωση, υποτίθεται ότι η ταχύτητα v που δραπετεύει είναι είτε ίση ή λίγο μικρότερη από την ταχύτητα του ήχου. Για διάφορους λόγους, δεν θα υπερβεί το Mach 1, ή την ταχύτητα του ήχου του αερίου υπό αυτές τις συνθήκες.

Επειδή η μορφή της τρύπας στο σημείο της ρήξης μπορεί να έχει επιπτώσεις στην αποδοτικότητα της ανωτέρω διαδικασίας, ένας διορθωτικός παράγοντας C προστίθεται συχνά στην εξίσωση όπως παρουσιάζεται κατωτέρω.

$$(iii) \quad v = C [2(h_2 - h_1)]^{1/2}$$

όπου: C = συντελεστής για την εκτίμηση της μορφής της τρύπας και τα αποτελέσματα της συστολής venturi.

Γενικά, οι τιμές για το C είναι πλησίον του 0,6 όταν τα αέρια που δραπετεύουν περνούν μέσω μιας τρύπας. Αυτό υποθέτει ότι το αέριο που δραπετεύει έχει υψηλό αριθμό Reynolds, ο οποίος είναι ένα σχετικά υψηλό ποσοστό ροής. Όταν το δοχείο διαλύεται και υπάρχει απουσία ροής μέσω της τρύπας, το C είναι απλά ίσο με 1,0.

Η εξίσωση (III) μπορεί να μετατραπεί στην ακόλουθη έκφραση για τα αέρια, υπό τον όρο ότι καμία συμπύκνωση δεν εμφανίζεται στο αέριο κατά τη διάρκεια της διαφυγής.

$$(iv) \quad v = C \left\{ 2 [P_1 V_1] [k(k-1)] \left[1 - (P_2 / P_1)^{(k-1)/k} \right] \right\}^{1/2}$$

όπου: v = η ταχύτητα της διαφυγής του αερίου,

C = ο συντελεστής για το άνοιγμα, \

P_2 = η πίεση έξω από το σκεύος,

P_1 = η πίεση μέσα στο σκεύος ($P_1 > P_2$),

k = η σταθερά αερίου, C_p/C_v , και

V_1 = ο συγκεκριμένος όγκος του αερίου μέσα στο σκεύος σε P_1

Φυσικά, η συνολική εκτόνωση του απελευθερωμένου αερίου μπορεί να υπολογιστεί με το να υποθέσουμε ότι η συνολική μάζα συντηρείται και υποβάλλεται σε μια αλλαγή κατάστασης από τους όρους (T_1, P_1, V_1) σε (T_2, P_2, V_2) ,

Γενικά, η ξαφνική απελευθέρωση του συμπιεσμένου αερίου έχει επιπτώσεις μόνο στο χώρο μέσα στον οποίο το αέριο εκτονώνεται στην περιβαλλοντική πίεση. Από πολλές απόψεις, τα αποτελέσματα της απότομης εκτόνωσης ή της έκρηξης μιας πολυτροπικής εκτόνωσης είναι σχεδόν ίδια όπως μιας έκρηξης ανάφλεξης, λαμβάνοντας υπόψη τις ίσες αρχικές πιέσεις και θερμοκρασίες. Εντούτοις, σε μια πολυτροπική εκτόνωση, γενικώς δεν υπάρχει μπάλα φωτιάς ούτε και μετωπικά αποτελέσματα προς εξέταση.

Γ. Αναφλέξεις και Πυροδοτήσεις

Στη μελέτη των πυρκαγιών και των εκρήξεων, κατά πολύ ο πιο κοινός τύπος έκρηξης που αντιμετωπίζεται είναι η ανάφλεξη. Οι αναφλέξεις εμφανίζονται συχνά όταν συσσωρευτούν τα εύφλεκτα αέρια ή ύλες σε επίπεδα πάνω από τα χαμηλότερα όρια ευφλεκτότητας τους. Τα παραδείγματα για τις εκρηκτικές ύλες περιλαμβάνουν:

- Εκρηκτικά μίγματα φυσικού αερίου και αέρα σε συνθήκες δωματίου.
- Η αποσύνθεση του νιτρικού άλατος κυτταρίνης, μια ασταθής ένωση που χρησιμοποιείται συχνά στους προωθητές.
- Μαύρο μπαρούτι.
- Σκόνη δημητριακών.

Οι πυροδοτήσεις αντιμετωπίζονται συχνά σε περιπτώσεις εμπρησμού ή δολιοφθοράς. Περιστασιακά, οι τυχαίες πυροδοτήσεις εμφανίζονται, συνήθως σε κατασκευαστικές εργασίες, σε λατομεία, ή σε παρόμοιες εργασίες. Τα παραδείγματα για τις πυροδοτούμενες εκρηκτικές ύλες περιλαμβάνουν:

- Δυναμίτη
- Νιτρογλυκερίνη
- Εκρηκτικό υδράργυρο
- Τρινιτρολουένιο (TNT)
- Νιτρικό Αμμώνιο και πετρέλαιο

Υπό τους ειδικούς όρους, μια κανονικά αναφλεγόμενη εκρηκτική ύλη μπορεί να πυροδοτηθεί. Τέτοιοι ειδικοί όροι περιλαμβάνουν την εφαρμογή των υψηλών πιέσεων, των ισχυρών πηγών ανάφλεξης, και τη ραγδαία ανάπτυξη φλογών σε μεγάλες αποστάσεις. Με μια εξαίρεση του τελευταίου κανόνα στις ανεξέλεγκτες πυρκαγιές και εκρήξεις οι αναφλέξεις παραμένουν αναφλέξεις.

Όταν μια έκρηξη λαμβάνει χώρα σε μια απροσδιόριστη ανοιχτή περιοχή το κύμα πίεσης θα εξαπλωθεί χωρίς να προκαλέσει ζημιές και θα συνεχιστεί μέχρι η πίεση να γίνει αμελητέα. Όταν μια έκρηξη λαμβάνει χώρα σε ένα καθορισμένο χώρο το κύμα πίεσης θα ωθηθεί εναντίον της καθορισμένης κατασκευής. Εντούτοις όταν μια μικρή ποσότητα πυρίτιδας χαλαρά τυλιγμένη αναφλεχθεί, απλά θα καεί με ένα μέτριο σφύριγμα. Ενώ αν η ίδια ποσότητα πυρίτιδας είναι τυλιγμένη στενά σε ένα χάρτινο δοχείο και αναφλεχθεί, αυτό μετατρέπεται σε μια εξαιρετικά θορυβώδη κροτίδα και εκρήγνυται.

Όταν μια έκρηξη εμφανίζεται μέσα σε ένα τυπικό κτήριο, το κτήριο παθαίνει γενικές ζημιές. Ενώ οι περισσότεροι κτιριακοί κανόνες απαιτούν τα κτήρια ή οι κατοικημένες κατασκευές να είναι σε θέση να αντισταθούν στα εξωτερικά εφαρμοσμένα κάθετα φορτία λόγω του χιονιού, της βροχής, του πάγου, και του αέρα, κτιριακοί κανόνες δεν απαιτούν οι δομές να είναι σε θέση να αντισταθούν τα φαινομενικώς κατευθυνόμενα φορτία που παράγονται από μια έκρηξη που βρίσκεται μέσα ή δίπλα στη κατασκευή.

Στα κτήρια, πολλές τυχαίες εκρήξεις προκαλούνται χαρακτηριστικά από μερικά από τα εξής:

- Ανάφλεξη διαρροής φυσικού αερίου.
- Ανάφλεξη των ατμών από εσφαλμένα αποθηκευμένη βενζίνη, τους καθαριστικούς διαλύτες, τις χημικές ουσίες μηχανών, ή άλλα πτητικά εύφλεκτα υγρά.
- Ανάφλεξη των υγρών ατμών προπανίου (LP), οι οποίοι έχουν διαρρεύσει.
- Ανάφλεξη της σκόνης δημητριακών, της σκόνης άνθρακα, της σκόνης αλευριού, της υφαντικής σκόνης, και άλλων τύπων σκονών από καύσιμα υλικά.

- Ανάφλεξη ορισμένων τύπων λεπτών μεταλλικών σκονών, όπως το αλουμίνιο και το μαγνήσιο.
- Ανάφλεξη των ψεκαζόμενων εύφλεκτων υγρών.

Από μελέτες έχει διαπιστωθεί ότι τα περισσότερα ατυχήματα από εκρήξεις που εμφανίζονται στα κτήρια είναι τύπου ανάφλεξης.

Τα υλικά που περιλαμβάνονται στις εκρήξεις ανάφλεξης μπορούν να αναφλεχτούν με διάφορους τρόπους. Η πιο κοινή πηγή ανάφλεξης είναι ένας ηλεκτρικός σπινθήρας. Όπως σημειώθηκε στο κεφάλαιο 2, ο μικρότερος σπινθήρας, που μπορεί να προκαλέσει την ανάφλεξη των καύσιμων ατμών, καλείται ελάχιστη ενέργεια ανάφλεξης (EEA). Συνήθως ο σπινθήρας όπως μετριέται στις εργαστηριακές δοκιμές παρέχεται από έναν πυκνωτή, μέσο ενός κενού αέρα στα καύσιμα. Η βέλτιστη απόσταση κενού αέρα, που μπορεί να προκαλέσει την ανάφλεξη, αναφέρεται ως ελάχιστη απόσταση απόσβεσης ανάφλεξης.

Ο ακόλουθος πίνακας απαριθμεί τις τιμές EEA για τους ατμούς διάφορων καυσίμων σε στοιχειομετρικούς όρους στον αέρα.

Πίνακας 1. Ελάχιστες Ενέργειες Ανάφλεξης για τα αέρια καύσιμα στον αέρα

Καύσιμο	EEA
Φυσικού Αερίου	0,00030 joule
Προπάνιο	0,00026 joule
Αμμωνία	> 1,00 joule
Μεθανόλη	0,00014 joule
Κανονικό Βουτάνιο	0,00026 joule
Τριχλωροαιθυλένιο	0,300 joule

Ένας από τους λόγους για τους οποίους πρόσθετες προφυλάξεις πρέπει να ληφθούν γύρω από περιοχές όπου υπάρχει συγκεντρωμένο οξυγόνο, όπως στα νοσοκομεία, είναι ότι το EEA του καθαρού οξυγόνου μπορεί να είναι πολλές φορές λιγότερο από αυτό του EEA στον αέρα. Ο πίνακας 2 απαριθμεί τις τιμές EEA για τα ίδια καύσιμα στους στοιχειομετρικούς όρους στο καθαρό οξυγόνο αντί του αέρα.

Πίνακας 2. Ελάχιστες Ενέργειες Ανάφλεξης για τα αέρια καύσιμα στο οξυγόνο

Καύσιμα	EEA
Φυσικό αερίου	0,000003 joule
Προπάνιο	0,000002 joule
Αμμωνία	μη διαθέσιμη
Μεθανόλη	μη διαθέσιμη
Κανονικά βουτάνιο	0,000009 joule
Τριχλωροαιθυλένιο	0,0128 joule

Μια σύγκριση των πινάκων 1 και 2 δείχνει ότι μερικοί από τους καύσιμους ατμούς θα αναφλεγούν στο οξυγόνο σε επίπεδα EEA δύο μεγέθη λιγότερο απ' ό,τι στον αέρα.

Αυτή η ακραία ευαισθησία του καθαρού οξυγόνου ακόμη και στο μικρότερο σπινθήρα είναι ένας όλεθρος για τη NASA. Ένας μικρός σπινθήρας σε μια πλούσια σε οξυγόνο ατμόσφαιρα είναι αυτό που προκάλεσε την πυρκαγιά στο Απόλλων 1, όταν σκοτώθηκαν τρεις αστροναύτες. Την ατμόσφαιρα αναπνοής μέσα στην κάψουλα την αποτελούσε ένα πλούσιο σε οξυγόνο μίγμα. Στις πιο πρόσφατες αποστολές αυτό το μίγμα το άλλαξαν για να μειώσουν τον κίνδυνο.

Η ευαισθησία του οξυγόνου στο να προκαλεί ανάφλεξη ήταν επίσης η αιτία της έκρηξης, η οποία καθιστούσε ανίκανο το Απόλλων 13 που ήταν καθ' οδόν στο φεγγάρι.

Υπήρξαν ρωγμές στη μόνωση μερικών ηλεκτρικών καλωδίων σε μια δεξαμενή οξυγόνου στην πλευρά του σκάφους ελέγχου. Όταν η δεξαμενή χρησιμοποιήθηκε και το οξυγόνο ήρθε σε επαφή με τα καλώδια, η έκρηξη αποκόλλησε από τη θέση που ήταν ένα ολόκληρο πλαίσιο. Μόνο με την πολύ αξιοπρόσεκτη ομαδική εργασία και κάποια έξυπνη σκέψη εκ μέρους των ανθρώπων και στο έδαφος και στο διαστημικό σκάφος σώθηκαν οι ζωές των αστροναυτών.

Ο ακόλουθος είναι ένας μερικός κατάλογος συνηθισμένων πηγών ηλεκτρικών σπινθήρων στα σπίτια και τις εμπορικές επιχειρήσεις που μπορούν να προκαλέσουν την ανάφλεξη των αέριων καύσιμων.

Κοινές πηγές ηλεκτρικών σπινθήρων που προκαλούν εκρήξεις:

- **Ηλεκτρικές μηχανές:** η επαφή των δαχτυλιδιών ολίσθησης σε γεννήτρια συνεχούς ρεύματος. Οι αντλίες φρεατίων είναι διάσημες για την ανάφλεξη των ατμών προπανίου, οι οποίοι είχαν συσσωρευτεί στα υπόγεια.
- **Χαλαρά ηλεκτρικά κυκλώματα στις πρίζες των τοίχων.** Όταν η συσκευή ανοίγει, οι πρίζες μπορούν να σχηματίσουν τόξο στις επαφές. Αυτό εμφανίζεται στα ψυγεία και τους ψυκτήρες όπου η συσκευή ανοίγει και κλείνει περιοδικά.
- **Στατική αποφόρτιση λόγω της τριβής μεταξύ δύο ηλεκτρικά ανόμοιων υλικών.** Η επίδραση καλείται ηλεκτρισμός λόγω της τριβής, και μπορεί να εμφανιστεί μεταξύ οποιωνδήποτε συνδυασμών αερίου, υγρού, και στερεού. Μια ιδιαίτερα επικίνδυνη κατάσταση είναι η μεταφορά του εύφλεκτου υγρού από ένα κιβώτιο σε άλλο, ειδικά όταν κάποιο από αυτά είναι από πλαστικό.
- **Ηλεκτρονόμοι και διακόπτες.** Και οι δύο θα βγάλουν σπίθες όταν οι επαφές ανοίγουν και κλείνουν.
- **Αστραπή.**
- **Ηλεκτρικοί καταστροφείς ζωυφίων.** Η υψηλή τάση που χρειάζεται για να σκοτώσει ένα ζώο μπορεί επίσης μια δημιουργήσει μια έκρηξη εάν υπάρχουν εύφλεκτοι ατμοί τριγύρω.
- **Θερμοστάτες** και αυτοί έχουν επίσης τα ανοικτά και κλειστά σημεία επαφής, αν και οι περισσότεροι λειτουργούν σε χαμηλές τάσεις.
- **Παλαιού τύπου κουδούνια πόρτας.** Ουσιαστικά, αυτό είναι απλά μια άλλη έκδοση ενός ηλεκτρονόμου, εκτός από το ότι ο σπινθήρας είναι συνεχόμενος ενώ το κουδούνι λειτουργεί.

Εκτός από τους σπινθήρες, οι εκρήξεις ανάφλεξης μπορούν επίσης να προκληθούν από τον ακόλουθο κατάλογο κοινών πηγών ανάφλεξης.

Πηγές ανάφλεξης χωρίς την παρουσία σπινθήρα που προκαλούν εκρήξεις:

§ **Πιλοτικά φώτα** σε καυτές δεξαμενές νερού, φούρνους, θερμάστρες, σόμπες και στεγνωτήρες αερίου.

§ **Καπνίζοντα υλικά:** τσιγάρα, σπίρτα, πούρα, αναπτήρες, κ.λ.π. Σε μερικές περιπτώσεις είναι γνωστό, αναπτήρες να πέφτουν σε στενές περιοχές και να σφηνώνουν εκεί, επιτρέποντας στο βουτάνιο που περιέχουν να απελευθερωθεί κοντά σε μια άλλη πηγή ανάφλεξης όπως έναν ανεμιστήρα. Αυτό έχει εμφανιστεί σε οχήματα όπου οι άνθρωποι αφήνουν τους αναπτήρες στο ταμπλό, και στην συνέχεια αυτοί καταλήγουν μέσω των ανοιγμάτων του εξαερισμού στο σύστημα εξαερισμού.

§ **Σπινθήρες από την τριβή των μετάλλων ή των λιπαντικών.** Τα παραδείγματα αυτά περιλαμβάνουν τους τροχούς άλεσης, τις οξυγονοκολλήσεις, τους πυρόλιθους αναπτήρων, τις σμίλες μετάλλων, και τα σιδηροπρίονα.

§ **Ηλεκτρικοί αναφλεκτήρες σομπών ή φούρνων.**

§ **Καυτές επιφάνειες**, όπως τα ηλεκτρικά στοιχεία θερμοαστρών.

§ **Ακτινοβολούμενη ενέργεια**. Μερικές χημικές ουσίες πρέπει μόνο να εκτεθούν στο φως του ήλιου για να εκραγούν. Αυτές περιέρχονται σε μια ειδική υποκατηγορία των φωτοενεργών χημικών ουσιών.

§ **Θερμότητα από τις χημικές αντιδράσεις**, ή μεταξύ των στοιχείων που αναμιγνύονται.

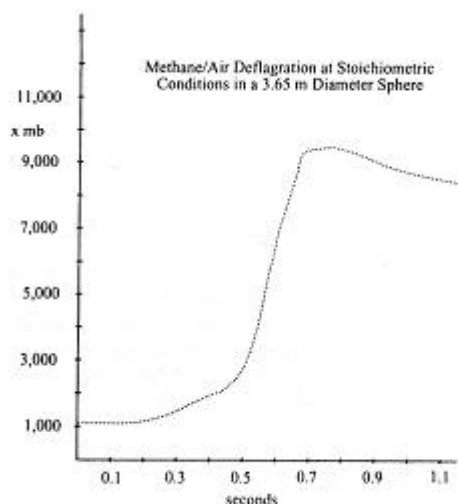
§ **Κινούμενα οχήματα** ή άλλες μηχανές εσωτερικής καύσεως, ειδικά όταν είναι περιορισμένες σε γκαράζ.

Δ. Μερικές βασικές παράμετροι

Και στην ανάφλεξη και στην πυροδότηση των εκρήξεων, η μέγιστη πίεση εμφανίζεται όταν περιορίζεται πλήρως η έκρηξη, η οποία είναι μια διαδικασία σταθερού όγκου, και το εκρηκτικό μίγμα είναι κοντά στις στοιχειομετρικές συγκεντρώσεις. Η μέγιστη πίεση για πολλά βασισμένα στον υδρογονάνθρακα εκρηκτικά μίγματα είναι μεταξύ, επτά και εννέα φορές της περιβαλλοντικής πίεσης. Η χαρακτηριστική μέγιστη πίεση για μια πυροδοτούμενη έκρηξη αερίου θα είναι σχεδόν διπλή από αυτή μιας εκρηκτικής ανάφλεξης υπό τις ίδιες συνθήκες.

Κατά συνέπεια, εάν η περιβαλλοντική πίεση είναι 1.013,3 mb, 1 τυποποιημένη ατμόσφαιρα, η μέγιστη πίεση για μια χαρακτηριστική έκρηξη ανάφλεξης θα μπορούσε να κυμανθεί από 7.100 mb ως 9.120 mb. Μια πυροδοτούμενη έκρηξη αερίου μέγιστης πίεσης μπορεί να είναι από 14.200 mb μέχρι 18.240 mb

Η ακόλουθη γραφική παράσταση στο σχήμα 1 παρουσιάζει την άνοδο της πίεσης σε αναλογία του χρόνου όπως αυτή μετρείται στην απόλυτη πίεση μιας έκρηξης ανάφλεξης μεθανίου και αέρα σε στοιχειομετρικό μίγμα, 1.013,3 mb περιβαλλοντικής πίεσης, και 25°C. Η έκρηξη έγινε σε ένα εργαστηριακό δοχείο που ήταν 3,65 μέτρα στη διάμετρο και η έκρηξη πραγματοποιήθηκε υπό σταθερό όγκο. Είναι ευδιάκριτο ότι η μέγιστη πίεση που επιτεύχθηκε στην έκρηξη, ήταν 8.600 mb, και πραγματοποιήθηκε σε λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο.



Σχήμα 5.1 Πίεση ως προς το χρόνο

Στις εκρήξεις ανάφλεξης, υπάρχει κανονικά μια απόσταση μεταξύ των μιγμάτων των καυσίμων και του αέρα στην οποία οι εκρήξεις είναι δυνατές. Παραδείγματος χάριν, το μεθάνιο ή το φυσικό αέριο θα εκραγεί όταν η συγκέντρωση είναι μεταξύ του 5% και 15% στον όγκο του αέρα. Εάν η συγκέντρωση είναι μικρότερη του 5% ή μεγαλύτερη του 15%, καμία έκρηξη δεν θα πραγματοποιηθεί. Η αναλογία του αέρα στα καύσιμα θα είναι τέτοια που η διάδοση των φλογών να κατασταλεί από μόνη της.

Ενώ μια έκρηξη ανάφλεξης μεθανίου και αέρα μπορεί να φθάσει σε πιέσεις των 8.600 millibars εύρους πιέσεων όταν το μίγμα βελτιστοποιείται για μέγιστη πίεση, που συνήθως εμφανίζεται κοντά ή στο στοιχειομετρικό μίγμα, η πίεση της έκρηξης ελαττώνεται γρήγορα στις συγκεντρώσεις μιγμάτων λίγο πολύ σε σχέση με το βέλτιστο σημείο.

Παραδείγματος χάριν, σε μια συγκέντρωση μεθανίου 5%, το χαμηλότερο όριο για το μεθάνιο και τις εκρήξεις αέρα, η πίεση της έκρηξης θα φθάσει μόνο περίπου τα 3.200 mb. Στο ανώτερο όριο του 15%, η πίεση της έκρηξης θα φθάσει μόνο περίπου τα 3.900 mb. Ομοίως, η θερμοκρασία των φλογών της έκρηξης, που είναι μέγιστη ή πολύ κοντά στους στοιχειομετρικούς όρους, πέφτει σημαντικά όταν το μίγμα είναι είτε λιγότερο είτε περισσότερο από το βέλτιστο μίγμα.

Ο ακόλουθος πίνακας απαριθμεί μερικά από τα κοινά αναφλέγοντα καύσιμα και τα εκρηκτικά όριά τους.

Πίνακας 3: Εκρηκτικά όρια μερικών κοινών αερίων

Καυσίμων	Όρια(% v/v)
Μεθάνιο	5,0 - 15,0
Αιθάνιο	3,0 - 12,4
Προπάνιο	2,1 - 9,5
Ακετόνη	2,6 - 13,0
Αμμωνία	15,0 - 28,0
Βενζίνη	1,3 - 6,0
Κοβάλτιο	12,5 - 74,0
Μεθανόλη	6,7 - 12,0

Για σκόνες όπως το αλεύρι και τα δημητριακά, τα χαμηλότερα εκρηκτικά όρια είναι περίπου 40-50 gr/m³ αέρα. Εντούτοις, μερικά στοιχεία, όπως η σκόνη φλοιών ξύλου, έχουν το χαμηλότερο εκρηκτικό όριο σε 20 gr/m³ αέρα. Οι σκόνες ασφαλτούχου άνθρακα και λιγνίτη έχουν παρόμοιους χαμηλούς εκρηκτικούς βαθμούς ορίων όπως οι γεωργικές σκόνες. Τα ανώτερα εκρηκτικά όρια και για τους δύο τύπους τέτοιων σκονών δεν καθορίζονται σαφώς.

Ο κάτωθι πίνακας 6 απαριθμεί τα χαμηλότερα εκρηκτικά όρια για μερικές σκόνες μετάλλων. Όπως και με τις σκόνες δημητριακών, τα ανώτερα εκρηκτικά όρια για τις σκόνες μετάλλων δεν καθορίζονται σαφώς.

Πίνακας 4: Τα χαμηλότερα εκρηκτικά όρια για τις σκόνες μετάλλων

Υλικό	Χαμηλότερο όριο (γραμμάρια ανά κυβικό μέτρο)
Αλουμίνιο	80
Σίδηρος	120
Μαγνήσιο	30
Μαγγάνιο	120
Θείο	35
Ουράνιο	60
Ψευδάργυρος	480

E. Μέτωπο υπερπίεσης

Η υπερπίεση είναι το ποσό της πίεσης παραπάνω από τη συνηθισμένη περιβαλλοντική πίεση. Οι μηχανικοί συνήθως το ονομάζουν μετρητική πίεση και την διακρίνουν από την απόλυτη πίεση, η οποία είναι η πίεση που μετρείται στο κενό. Στο

αγγλικό σύστημα, η μετρητική πίεση μετριέται rounds ανά τετραγωνική ίντσα (psig), και η απόλυτη πίεση μετριέται σε rounds ανά τετραγωνική ίντσα απόλυτη (psia). Όταν η σύντμηση "psi" χρησιμοποιείται, η μετρητική πίεση είναι συχνά υπονοούμενη.

Ένα λογικό πρότυπο για τον υπολογισμό της πίεσης στο μέτωπο της έκρηξης, το όριο όπου η πίεση έκρηξης είναι η μέγιστη, είναι ο κανόνας των αντίστροφων τετραγώνων. Αυτό γίνεται επειδή ο φάκελος της πίεσης που εκτονώνεται εξωτερικά από το επίκεντρο είναι τρισδιάστατος, και η πίεση ενός αερίου είναι μια λειτουργία του όγκου της. Η γενική εξίσωση παρουσιάζεται κατωτέρω:

$$(v) P_r = K [I / r^3]$$

όπου: P_r = η πίεση στο μέτωπο της έκρηξης σε απόσταση r από επίκεντρο.

K = αυθαίρετη σταθερά για τη μετατροπή των μονάδων και της αποδοτικότητας από την έκρηξη.

I = η ένταση έκρηξης, η ποσότητα εκρηκτικής ύλης. ή το ποσό ενεργειακής απελευθέρωσης,

r = η απόσταση από την έκρηξη.

Όταν η πίεση σε ένα σημείο είναι γνωστή, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση (v) για να υπολογίσουμε τις πιέσεις σε άλλες θέσεις.

(vi) $P_1 = C$, μια γνωστή ποσότητα σε απόσταση r_1 .

$$P_1 [r_1^3] = KI$$

$$P_2 [r_2^3] = KI$$

$$P_2 = P_1 [r_1^3 / r_2^3]$$

Οι δείκτες ζημιών μπορούν συχνά να βοηθήσουν στη λύση της εξίσωσης (vi). Παραδείγματος χάριν, αυτό είναι γνωστό ότι τα γυάλινα παράθυρα σπάνε όταν η υπερπίεση είναι 0,5 έως 0,1 psig (34,46 έως 68,9mb). Εν τω μεταξύ, όταν είναι γνωστή η απώτατη απόσταση στην οποία τα παράθυρα σπάνε, μπορεί να γίνει μια εκτίμηση της πίεσης για τα διάφορα σημεία κατά μήκος της διάβασης του μετώπου έκρηξης.

Άλλοι δείκτες, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογίσουν την πίεση μιας έκρηξης ανάφλεξης σε ένα συγκεκριμένο σημείο, είναι:

§ Τα αντικείμενα, τα οποία έχουν ανυψωθεί και των οποίων το βάρος είναι γνωστό ή μπορεί να υπολογιστεί, όπως στέγες, οροφές, κ.λπ.

§ Τα αντικείμενα που έχουν εκσφενδονιστεί από την περιοχή της έκρηξης Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι δυνατόν να υπολογιστούν οι παράμετροι ταχύτητας που συνδέονται με την τροχιά τους, και από αυτήν υπολογιστεί η αρχική κινητική ενέργεια που μεταδόθηκε στο αντικείμενο από την έκρηξη. Δεδομένου ότι η αλλαγή στην κινητική ενέργεια είναι ίση με την εργασία που γίνεται πάνω στο αντικείμενο, ένα μέτρο της πίεσης που ανάγκασε το αντικείμενο να εκσφενδονιστεί μπορεί να είναι υπολογίσιμο εξισώνοντας το έργο "PV" που γίνεται στο στοιχείο με την κινητική του ενέργεια όπως παρουσιάζεται κατωτέρω:

$$\text{Έργο} = [P_2 V_2 - P_1 V_1] / (1 - k) = \Delta KE = (1/2) m v^2$$

§ Στοιχεία, τα οποία έχουν ωθηθεί σε μια γνωστή απόσταση ή αναποδογυριστεί έτσι ώστε το έργο που απαιτείται για αυτό να ολοκληρωθεί μπορεί να καθοριστεί και να εξισωθεί στο έργο "P-V".

Στην πυροδότηση των εκρηκτικών υλικών όπως δυναμίτη, η διασπορά των συντριμμιών των αντικειμένων μπορεί να σχετίζεται κατά προσέγγιση με την εκρηκτική παραγωγή από την ακόλουθη σχέση:

$$(vii) W_E = [r^3] / K$$

όπου: r = η απόσταση από το επίκεντρο της απώτατης διασποράς των συντριμμιών.

W_E = ποσό εκρηκτικής παραγωγής σε ισοδύναμα χιλιόγραμμα TNT και

K = παράγοντας κλίμακας. 91.000 m³/kg.

Πρέπει να υπογραμμιστεί ότι η ανωτέρω σχέση πρόκειται μόνο να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη εκτίμηση περικοπών του ποσού εκρηκτικής ύλης.

Η εκρηκτική παραγωγή είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τις πυροδοτήσεις για να δείξει την ποσότητα της εκρηκτικής επίδρασης που παράχθηκε. Συνήθως, η έκρηξη υπό εξέταση συγκρίνεται με την ισοδύναμη ποσότητα TNT, η οποία θα προκαλούσε το ίδιο επίπεδο ζημιάς ή επίδρασης. Το TNT χρησιμοποιείται συχνά ως πρότυπο για την μέτρηση των εκρήξεων, και αυτό γιατί υπάρχουν τόσοι πολλοί διαφορετικοί τύποι και παραλλαγές των εκρηκτικών υλών.

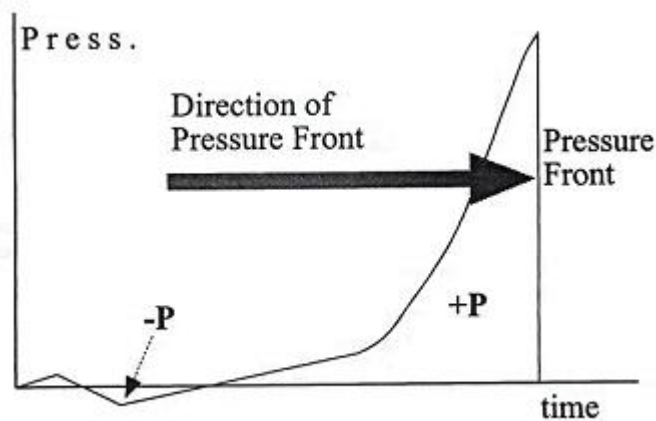
Ένα γραμμάριο του TNT παράγει περίπου 4.680 joule εκρηκτικής ενέργειας. Εντούτοις, η ενεργειακή ισοδυναμία δεν είναι όλη η ιστορία, είναι μόνο ένας τραχύς δείκτης της εκρηκτικής επίδρασης. Η επίδραση της εκρηκτικής ισοδυναμίας πρέπει επίσης να λάβει υπόψη την ταχύτητα πυροδότησης και τα αποτελέσματα θραύσης.

Όσον αφορά την ισοδύναμη εκρηκτική απόδοση, είναι ακατάλληλη να οριστεί σε μια έκρηξη ανάφλεξης σαν ισοδύναμη απόδοση από TNT. Είναι απλά μια "σύγκριση μήλων και πορτοκαλιών". Πολλοί ερευνητές ξοδεύουν συνήθως ένα σημαντικό χρονικό διάστημα υπολογίζοντας την ισοδύναμη εκρηκτική απόδοση σε χιλιόγραμμα TNT για τις εκρήξεις φυσικού αερίου, εκρήξεις αμμωνίας, και τα λοιπά. Σε μια προεξέχουσα περίπτωση που περιλαμβάνει μια βλάβη λέβητα, η έκρηξη σαν αποτέλεσμα της απότομης εκτόνωσης του καυτού πεπιεσμένου νερού από τον λέβητα και από τους σπασμένους σωλήνες εξισώθηκε ακόμη και σε τόσα πολλά χιλιόγραμμα TNT.

Αυτός ο υπολογισμός ισοδυναμίας γίνεται συνήθως με το να εξισωθεί το ενεργειακό περιεχόμενο τόσων πολλών χιλιόγραμμων TNT στην ενέργεια που απελευθερώνεται από την ανάφλεξη τόσων πολλών χιλιόγραμμων φυσικού αερίου, αμμωνίας, κ.λπ. Φυσικά, προφανώς μπορεί να υπάρξει μια ενεργειακή ισοδυναμία σε μια βάση joule προς joule μεταξύ των δύο, ακριβώς όπως μπορεί να υπάρξει μια ισοδυναμία joule προς joule μεταξύ της ηλεκτρικής ενέργειας σε μια μπαταρία φακών και σε κάποιο ποσό βενζίνης. Εντούτοις, αυτό δεν είναι βεβαίως η βάση για μια ισοδυναμία της εκρηκτικής επίδρασης.

Κατά συνέπεια, η εξέταση της ζημιάς μιας έκρηξης σε ένα σημείο που έχει προκληθεί από μια ανάφλεξη και να την εξισώσουν σε τόσες πολλές ράβδους δυναμίτη ή λίβρες TNT δεν είναι μια ιδιαίτερα έγκυρη σύγκριση. Δυστυχώς, οι δικηγόροι, οι δημοσιογράφοι, οι δημόσιοι ανώτεροι υπάλληλοι και οι ερευνητές επιμένουν να γίνεται αυτή η ισοδυναμία ως παράγοντας "κατάπληξης" για το δικαστήριο, για το αναγνωστικό κοινό εφημερίδων, κριτικών επιτροπών, ακροατήριο εξέτασης, ή οποιοσδήποτε, παρά την αμφισβητήσιμη επιστημονική αξία της.

Το κύμα ή το μέτωπο πίεσης, που διαδίδεται από το επίκεντρο της έκρηξης, παρουσιάζει κατανομή πίεσης κατά τη διάρκεια του χρόνου παρόμοια με αυτήν, στο κατωτέρω σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2 : Προφίλ του κύματος ή του μετώπου πίεσης

Όπως φαίνεται στον αριθμό, το αρχικό μέτωπο πίεσης είναι ένας "τοίχος", ή "ακίδα." Η πίεση στη μια πλευρά της ακίδα είναι η περιβαλλοντική πίεση, και ακριβώς ή ελαφρώς πίσω από την ακίδα, η πίεση είναι μέγιστη για εκείνη την απόσταση από την προέλευση της έκρηξης.

Καθώς το μέτωπο περνά από ένα ορισμένο σημείο, το επίπεδο πίεσης μειώνεται. Σε κάποιο χρόνο αφότου το μέτωπο έχει περάσει, η πίεση μειώνεται ακόμη και πιο κάτω από την περιβαλλοντική και ένα μικρό μέτωπο χαμηλής πίεσεως εμφανίζεται. Στις ταινίες που παρουσιάζουν τη μετάβαση των μετώπων πίεσης στις πραγματικές εκρήξεις, αυτή η "αρνητική" περιοχή πίεσης μοιάζει μερικές φορές με ένα μικρό αντίστροφο κύμα, ειδικά μετά αφού έχουμε παρατηρήσει την κύρια μπροστινή ώθηση της πίεσης να κατευθύνεται με μεγάλη καταστρεπτική δύναμη. Αφότου υποχωρεί η αρνητική πίεση, η πίεση σταθεροποιείται πάλι σε περιβαλλοντική.

Για αυτό τόσο πολλή προσοχή δίνεται στον προσδιορισμό της μέγιστης πίεσης. Η καταστρεπτική δύναμη μιας έκρηξης περιλαμβάνεται βασικά στο μέτωπο πίεσής της. Εάν μια δομή μπορεί να επιζήσει αυτής, είναι πιθανό ότι θα είναι σε θέση να επιζήσει μιας χαμηλότερης επιπέδου ζώνης πίεσης που θα ακολουθήσει.

Φυσικά, η ανωτέρω κατάσταση υποθέτει ότι η έκρηξη έχει πραγματοποιηθεί στο ύπαιθρο. Η παρουσία κτηρίων, λόφων, κοιλάδων, και άλλων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων μπορεί να περιπλέξει το σχεδιάγραμμα του κύματος πίεσης λόγω των αντανακλάσεων, των διαθλάσεων, και των σκιάσεων. Το κύμα πίεσης μιας έκρηξης μπορεί "να ανακλαστεί" ή να εκτραπεί από τα κτήρια και τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως τα κύματα σε μια λίμνη που αναπηδούν από την πλευρά μιας βάρκας. Μπορεί ακόμη και να υπάρξει καταστρεπτική και εποικοδομητική παρέμβαση σε ορισμένες καταστάσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ ΜΙΑΣ ΕΚΡΗΞΗΣ

A. Γενικά

Τα εκρηκτικά όρια αερίων καυσίμων είναι χρήσιμα στον υπολογισμό του ποσού καυσίμων, το οποίο μπορεί να είχε αναμιχθεί σε μια έκρηξη. Εάν το δωμάτιο ή ο χώρος στον οποίο έλαβε χώρα η έκρηξη είναι γνωστός, ο δύναμη της μπορεί να καθοριστεί. Εάν ο τύπος αερίου, που τροφοδότησε την έκρηξη, είναι γνωστός ή υποτιθέμενος, το ποσό καυσίμων που ήταν απαραίτητο για να προκαλέσει την έκρηξη μπορεί να υπολογιστεί από τα χαμηλότερα εκρηκτικά όριά του.

Παράδειγμα: υποθέστε ότι μια έκρηξη έλαβε χώρα σε μια μικρή κρεβατοκάμαρα, 12 ft. x 10 ft. x 8 ft, στην οποία βρισκόταν μια θερμάστρα χώρου φυσικού αερίου. Η έκρηξη πραγματοποιήθηκε όταν ένας διακόπτης στη θέση στο μέσο ενός τοίχου των 8 ft ανοίχτηκε αφότου το δωμάτιο ήταν κλειστό για δύο ώρες. Ίχνη φωτιάς βρέθηκαν στην οροφή και τους τοίχους πάνω από τον διακόπτη, και όχι τόσο κάτω από αυτόν. Πόσο αέριο διέρρευσε, σε ποιο ποσοστό είχε διαρρεύσει, και ποιο το μέγεθος της διαρροής ήταν η απαραίτητη αιτία της έκρηξης;

Δεδομένου ότι το φυσικό αέριο είναι ελαφρύτερο από τον αέρα, ένα μεγάλο μέρος του αερίου θα μαζευόταν αρχικά στο ταβάνι και θα γέμιζε και το χώρο από το ταβάνι προς τα κάτω, όπως ένα κύπελλο. Η έκρηξη θα μπορούσε μόνο να πραγματοποιηθεί εάν η συγκέντρωση αερίου στον διακόπτη ήταν τουλάχιστον 5% ή περισσότερο. Υποθέτοντας ότι για ένα "σύννεφο", μεθανίου 5% και αέρα στο ανώτερο μέρος του δωματίου, θα απαιτούνταν περίπου 24 ft³ μεθανίου. Δεδομένου ότι το δωμάτιο ήταν κλειστό για δύο ώρες, το ποσοστό διαρροής θα πρέπει να ήταν περίπου 0,2 cu.ft./min.

Επειδή τα περισσότερα συστήματα οικιακού φυσικού αερίου λειτουργούν σε μια πίεση περίπου 0,5 psig, η εφαρμογή της εξίσωσης Bernoulli διαπιστώνει ότι η ταχύτητα διαφυγής του φυσικού αερίου από τις γραμμές αερίου ή της θερμάστρας θα ήταν 2,32 ft/sec. Για να υπάρχει μια ποσοστό διαρροών 0,2 cu.ft./min απαιτείται μια περιοχή διαρροής 0,21 sq.in.. Κατά συνέπεια, αυτή η εκτίμηση του μεγέθους διαρροής μας δίνει έναν υπαινιγμό ως προς ποιο μεγέθους ήταν η τρύπα ή το άνοιγμα ώστε να ψάξουμε στις γραμμές αερίου και τα εξαρτήματα γύρω από τη θερμάστρα χώρου.

B. Διάχυση και ο νόμος του Fick

Συνήθως θεωρείται ότι όταν εισάγεται ένα ελαφρύ αέριο σε ένα δωμάτιο γεμάτο με αέρα, το αέριο θα επιπλέει στην οροφή και δημιουργήσει ένα ευδιάκριτο στρώμα. Αυτό ισχύει μερικές φορές εντούτοις, δεν είναι αληθινό κατά τη διάρκεια του χρόνου. Λαμβάνοντας υπόψη το πέρασμα αρκετού χρόνου, το αέριο θα διασκορπιστεί μέσω του αέρα του δωματίου έως ότου η συγκέντρωση στην κορυφή του δωματίου δεν είναι σημαντικά διαφορετική από το κατώτατο σημείο του δωματίου.

Εάν τα αέρια δημιουργούσαν στρώματα σύμφωνα με τις συγκεκριμένες σχετικές πυκνότητές τους, η γήινη ατμόσφαιρα θα ήταν πολύ διαφορετική από είναι τώρα. Κοντά στο έδαφος θα ήταν τα βαρύτερα αέρια που βρίσκονται στον αέρα: το αργό και το διοξείδιο του άνθρακα, ακριβώς επάνω από αυτό θα ήταν ένα σχετικά παχύ στρώμα οξυγόνου και πάνω από το οξυγόνο, αρκετά παραπάνω από των περισσότερων ανθρώπων τα κεφάλια και κορυφές των κτηρίων, θα ήταν ένα στρώμα αζώτου. Και τελικά, το κορυφαίο στρώμα θα αποτελούταν από υδρατμούς, μεθάνιο, και τα άλλα ελαφρύτερα αέρια.

Εντούτοις, η από πρώτο χέρι εμπειρία μας, μας λέει ότι αυτό δεν είναι η υπόθεση: τα ελαφρύτερα αέρια δεν ανέρχονται στο ανώτατο σημείο, και τα βαριά αέρια δεν βυθίζονται στο κατώτατο σημείο. Λαμβάνοντας υπόψη το χρόνο, τα αέρια ανακατεύονται έως ότου η σύνθεση είναι η ίδια στο ανώτατο όπως στο κατώτατο σημείο. Αυτό ισχύει επίσης για τα υγρά μίγματα όταν ο διαλύτης και η διαλυτή ουσία είναι αναμίξιμοι μεταξύ τους.

Σε μια δεδομένη θερμοκρασία, τα ποσοστά στα οποία τα διαφορετικά αέρια είναι διάχυτα είναι αντιστρόφως ανάλογα προς την τετραγωνική ρίζα των μοριακών βαρών τους. Αυτή η παρατήρηση είναι σύμφωνη με την Κινητική Θεωρία των Αερίων, όπου η πίεση, ή η συγκέντρωση ενός αερίου, είναι ανάλογες προς τη μέση κινητική ενέργειά της.

$$(i) P = C \left[(1/2) m v_{ave}^2 \right] = (3/2) C k T$$

όπου: C = μια αυθαίρετη σταθερά που ενσωματώνει επίσης τον αριθμό μορίων ανά μονάδα όγκου.

v = μέση ταχύτητα του μορίου του αερίου,

m = βάρος του μορίου του αερίου,

k = σταθερά Boltzman, $1,38 \times 10^{-23}$ joule /°K. και

T = απόλυτη θερμοκρασία, °K.

Η διάχυση είναι μια λειτουργία της μέσης ταχύτητας του αερίου καθώς περιπλανιέται, συγκρουόμενο με τα διάφορα άλλα μόρια αερίων.

Αέρια με υψηλή μέση ταχύτητα διαχέονται πιο γρήγορα από αέρια με χαμηλή μέση ταχύτητα. Κατά συνέπεια, ο αλγεβρικός χειρισμός της εξίσωσης (i) διαπιστώνει ότι:

$$(ii) m_1 / m_2 = v_2^2 / v_1^2$$

$$\text{ή } v_2 / v_1 = [m_1 / m_2]^{1/2}$$

Παραδείγματος χάριν, εάν ένα mole του αερίου υδρογόνου απελευθερώθηκε σε ένα δωμάτιο γεμάτο με αέρα, ποιο θα ήταν το ποσοστό διάχυσής του σε σύγκριση με ένα mole μεθανίου που απελευθερώνεται στη ίδια δωμάτιο;

Ένα mole υδρογόνου έχει μοριακό βάρος 2. Ένα mole μεθανίου έχει μοριακό βάρος 16. Κατά συνέπεια, το υδρογόνο θα διασκορπιστεί στο γεμάτο με αέρα δωμάτιο σε ποσοστό 2,83 φορές γρηγορότερα από το μεθάνιο.

Στην περίπτωση ενός μίγματος αερίων όπου η συγκέντρωση δεν είναι ομοιόμορφη, η διάχυση του αερίου διαλυτή στο διαλυτικό αέριο από μια περιοχή της υψηλής

συγκεντρώσεως σε μια περιοχή χαμηλής συγκεντρώσεως διαμορφώνεται από τον Νόμο του Fick, ο οποίος δίνεται κατωτέρω για την μονοδιάστατη περίπτωση:

$$(iii) \frac{dm}{dt} = -DA \left[\frac{dc}{dx} \right]$$

όπου: $\frac{dm}{dt}$ = η μάζα του αέριου διαλύτη που διαχέεται ανά μονάδα χρόνου.

-D = η σταθερά διάχυσης για το ιδιαίτερο διαλυτικό αέριο σε μια δεδομένη θερμοκρασία.

A = η διατομή της ροής διάχυσης, και

$\frac{dc}{dx}$ = η κλίση συγκέντρωσης στην κατεύθυνση x κάθετη στη διατομή A.

Από το Νόμο Fick, η διάχυση του υλικού πέρα από το όριο σταματά όταν $\frac{dc}{dx} = 0$, δηλαδή όταν η συγκέντρωση του αέριου διαλύτη στο διαλυτικό αέριο είναι η ίδια παντού μέσα στο χώρο.

Παραδείγματος χάριν, έστω ένα δωμάτιο που είναι 3 m πλάτος, 4 m μάκρος και 3 m ύψος. Στο κατώτατο σημείο του δωματίου είναι ένα στρώμα των ατμών αιθανόλης. Το στρώμα είναι περίπου 50 cm παχύ, η συγκέντρωση που είναι μηδέν στο σημείο επαφής αέρα / αιθανόλης, και το μέγιστο πλησιέστερα στο πάτωμα. Είναι γνωστό ότι 92 γραμμάρια αιθανόλης (2 moles) έχουν εξατμιστεί για να διαμορφώσουν αυτό το στρώμα. Ποιο θα ήταν το ποσοστό διάχυσης αιθανόλης στο υπόλοιπο του δωματίου όταν η θερμοκρασία είναι 40°C;

Σε αυτήν την περίπτωση:

$$A = (300 \text{ cm})(400 \text{ cm}) = 120.000 \text{ cm}^2$$

$$D = 0,137 \text{ cm}^2/\text{sec} @ 40^\circ\text{C}$$

$$\frac{dc}{dx} = \left[\frac{2 \text{ moles}}{(300 \text{ cm} \times 400 \text{ cm} \times 50 \text{ cm})} \right] / [50 \text{ cm}] = 6,67 \times 10^{-9} \text{ mole/cm}^4$$

$$\frac{dm}{dt} = -DA \left[\frac{dc}{dx} \right] = - [0,137 \text{ cm}^2/\text{sec}] [120.000 \text{ cm}^2] [6,67 \times 10^{-9} \text{ mole/cm}^4]$$

$$\frac{dm}{dt} = 0,0001 \text{ mole/sec} \text{ ή } 0,0046 \text{ gram/sec}$$

Μια ενδιαφέρουσα σημείωση για αυτήν την μορφή του Νόμου του Fick είναι ότι είναι πολύ παρόμοια με τη μονοδιάστατη εξίσωση για τη θερμική αγωγιμότητα. Σημειώστε τις συγκρίσεις κατωτέρω:

$$(iv) \frac{dm}{dt} = -DA \left[\frac{dc}{dx} \right]$$

$$\frac{dq}{dt} = -KA \left[\frac{dt}{dx} \right]$$

Νόμος του Fick
θερμική αγωγιμότητα

Οι λόγοι για την ομοιότητα αυτή βρίσκονται στα θεμελιώδη αποτελέσματα που περιλαμβάνονται και στις δύο διαδικασίες. Και οι δύο περιλαμβάνουν την ανταλλαγή κινητικής ενέργειας από μόριο σε μόριο, και οι δύο εξαρτώνται από μια απλή πιθανή μεταβολή για να προχωρήσει η διαδικασία. Στην περίπτωση του νόμου αγωγής, η πιθανή μεταβολή είναι η αλλαγή της θερμοκρασίας ανά απόσταση κατά μήκος του υλικού. Στην περίπτωση του Νόμου του Fick, η πιθανή μεταβολή είναι η αλλαγή της συγκεντρώσεως ανά απόσταση κατά μήκος του αέριου διαλύτη.

Περαιτέρω, και οι δύο διαδικασίες περιλαμβάνουν τις θεμελιώδεις πτυχές της ιδιότητας που αποκαλείται εντροπία. Ενώ η έννοια της εντροπίας δεν έχει εξεταστεί στην εργασία εν τούτοις περιπλέκεται μέσα σε αυτό.

Γ. Μέτωπα Φλογών και Διανύσματα Πυρκαγιάς

Όταν μια έκρηξη λαμβάνει χώρα, ειδικά μια έκρηξη ανάφλεξης, είναι συχνή η περίπτωση της ώθησης μέρος των καύσιμων μαζί ή μπροστά από το μέτωπο πίεσης και

θα δημιουργήσει μια μπάλα φωτιάς ή ένα μέτωπο φλογών. Συχνά τα καύσιμα φλέγονται ακόμα και μέσα στο αέριο μίγμα ενώ η έκρηξη είναι υπό εξέλιξη. Το μέτωπο φλογών θα εξασθενήσει τελικά όταν είτε η θερμοκρασία πέσει κάτω από το σημείο ανάφλεξης ή τα καύσιμα εξαντληθούν.

Καθώς το κύμα πίεσης κινείται εξωτερικά και επεκτείνεται, η θερμοκρασία του καιγόμενου αερίου θα πέσει. Καθώς η πίεση πέφτει ανά τετράγωνο της απόστασης, η θερμοκρασία του μετώπου φλογών μειώνεται επίσης γρήγορα. Συνήθως το μέτωπο φλογών θα χαθεί πολύ πιο πριν το μέτωπο πίεσης επεκταθεί επικίνδυνα.

Κατά συνέπεια, σε πολλές αναφλέξεις υπάρχει μια μεγάλη γενική περιοχή ζημιάς από την πίεση, μέσα στην οποία βρίσκεται μια μικρότερη περιοχή που περιέχει τη ζημιά καψάλισματος ή πυρκαγιάς.

Καθώς μια μπάλα φωτιάς περνά μέσω μιας περιοχής, θα προσκρούσει στην πλευρά ενός αντικειμένου κάθετα στη γραμμή ταξιδιού της, αλλά δεν θα προσκρούσει στην πίσω πλευρά του αντικειμένου. Η επίδραση είναι παρόμοια με αυτήν ενός κύματος επιφανείας στις υποστηρίξεις μιας αποβάθρας. Καθώς το κύμα πλησιάζει την κάθετη υποστήριξη, το κύμα θα συντρίβει σε μια πλευρά, αλλά μόνο ελαφρώς θα επηρεάσει την πίσω πλευρά, ή "πλευρά σκιών".

Στην από την πυρκαγιά επηρεασμένη περιοχή μιας έκρηξης θα υπάρξουν αντικείμενα που υφίστανται ζημιά από τη θερμότητα ή καψάλισμα σε μια πλευρά, την πλευρά που αντιμετώπισε άμεσα την έκρηξη. Αυτά τα αντικείμενα ενεργούν ως κατευθυντήρια διανύσματα, και μας δείχνουν από ποια κατεύθυνση ήρθε η μπάλα φωτιάς. Η χαρτογράφηση αυτών των διάφορων "διανυσμάτων" και της έντασης του εγκαύματος ή του καψάλισματος που συνδέεται με το καθένα, παρέχει έναν έτοιμο χάρτη του μετώπου πίεσης της έκρηξης, και της έντασης της θερμοκρασίας της. Συνολικά, αυτά τα διανύσματα θα σχεδιάσουν την επέκταση του μετώπου πίεσης, και θα οδηγήσουν πίσω στο σημείο της ανάφλεξης της έκρηξης.

Λόγω του πολύ σύντομου διαθέσιμου χρόνου για τη μεταφορά θερμότητας από το μέτωπο φλογών στο αντικείμενο, τα αντικείμενα με την υψηλότερη θερμική αδράνεια θα επηρεαστούν λιγότερο από το στιγμιαίο μέτωπο φλογών.

Δ. Διανύσματα πίεσης

Όταν το μέτωπο πίεσης κινείται μέσω μιας περιοχής και προκαλεί ζημιές, μπορεί να γίνει μια κατά προσέγγιση εκτίμηση του μετώπου πίεσης σε εκείνη την θέση και μπορεί να γίνει από τον τύπο της ζημιάς ή τραυματισμού που εμφανίστηκε εκεί. Ο πίνακας 1 απαριθμεί μερικές αντιπροσωπευτικές τιμές πίεσης και τις συνηθισμένες σχετικές ζημιές τους.

Πίνακας 1: Ένταση πίεσης συναρτήσει του Τύπου της Ζημιάς ή του Τραυματισμού.

Επίπεδο πίεσης	Τύπος της Ζημιάς ή του Τραυματισμού
0,5- 1,0 psig > 1,0 psig 1.0 > 2,0 psig 2.0- 3,0 psig	θραύση των γυάλινων παραθύρων. ρίχνει τους ανθρώπους κάτω. ζημιά στα αυλακωτά πλαίσια ή τα ξύλινα πλαίσια. κατάρρευση των μη-ενισχυμένων τοίχων από τσιμεντόλιθους.
5.0- 6,0 psig > 5,0 psig > 15,0 psig > 35 psig > 50 psig > 65 psig	ώθηση των ξύλινων τηλεφωνικών στύλων. ρήξη των τυμπάνων των αυτιών. ζημιά στους πνεύμονες. στο όριο για μοιραίους τραυματισμούς το ποσοστό των μοιραίων περιστατικών στο 50% το ποσοστό των μοιραίων περιστατικών στο 99%

Όπως ένα μέτωπο φλογών, το μέτωπο πίεσης θα προσκρούσει εντονότερα στις κανονικές επιφάνειες στην πορεία του ταξιδιού του. Κατά συνέπεια, η μετακίνηση ή η μετατόπιση των αντικειμένων από τις κανονικές τους θέσεις από το πέρασμα του κύματος πίεσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επισημάνει την πορεία του μετώπου πίεσης πίσω στο επίκεντρό της.

Παραδείγματος χάριν, εάν μια έκρηξη έλαβε χώρα σε ένα ορισμένο δωμάτιο μέσα στο σπίτι, θα αναμενόταν ότι στο δωμάτιο:

§ Και οι τέσσερις τοίχοι θα είχαν ωθηθεί προς τα έξω και μακριά από το δωμάτιο.

§ Το πάτωμα μπορεί να είχε ωθηθεί προς τα κάτω, ίσως να καταρρεύσει ακόμη και στο υπόγειο.

§ Το ταβάνι θα μπορούσε να είχε ωθηθεί προς τα πάνω, ίσως ακόμη και να ανυψωθεί η στέγη ή το ανώτερο πάτωμα προς τα πάνω.

§ Μεταλλικά επίπλα ή σωληνώσεις να λυγίσουν προς το εσωτερικό της πλευράς που αντιμετώπισε το επίκεντρο.

Αφ' ετέρου, εάν η έκρηξη είχε λάβει χώρα στο υπόγειο, θα παρατηρούνταν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

§ Εάν οι τοίχοι του υπογείου είναι από τούβλα, οι τοίχοι έχουν μετακινηθεί προς τα έξω δημιουργώντας ένα χάσμα μεταξύ του τοίχου και του περιβάλλοντος εδάφους.

§ Το πάτωμα πάνω από το υπόγειο θα μπορούσε να έχει ανυψωθεί προς τα πάνω, και να είχε καταρρεύσει έπειτα προς το εσωτερικό του.

§ Οι σωληνώσεις θα μπορούσαν να λυγίσουν προς τα μέσα στην πλευρά που αντιμετώπιζε το επίκεντρο.

§ Ράφια που στέκονται ελεύθερα δίπλα στους τοίχους μπορεί να έχουν ωθηθεί μέσα στους τοίχους και να είχαν πέσει στο πάτωμα.

E. Το επίκεντρο

Όταν εμφανίζεται μια διαρροή αερίου, το αέριο θα δημιουργήσει αρχικά ένα ακανόνιστο διαμορφωμένο σύννεφο καυσίμων το οποίο διασκορπίζεται μακριά από τη διαρροή. Εάν το αέριο είναι μεθάνιο και ο αέρας είναι λίγο πολύ ήρεμος, το αέριο θα ανέλθει αργά πρώτα στο ταβάνι και θα συσσωρευτεί στις υψηλότερες περιοχές. Εάν το αέριο είναι προπάνιο, θα βυθίσει στο πάτωμα και θα συσσωρευτεί στις χαμηλές περιοχές.

Δεδομένου ότι το σύννεφο καυσίμων διασκορπίζεται και απομακρύνεται από το σημείο της διαρροής, το όριο του "σύννεφου" καυσίμων μπορεί να έρθει σε επαφή με μια πηγή ενέργειας ικανή να αναφλέξει τα καύσιμα, υπό τον όρο ότι το σύννεφο καυσίμων είναι επάνω από το χαμηλότερο όριο ανάφλεξης στον αέρα. Με την πρώτη επαφή, το σύννεφο καυσίμων πιθανό δεν θα έχει ικανοποιητική συγκέντρωση για να αναφλεγεί, αλλά με τον

ανάλογο χρόνο και τις σωστές συνθήκες, η συγκέντρωση του σύννεφου κοντά στην πηγή ενέργειας μπορεί να αυξηθεί αρκετά ώστε να πραγματοποιηθεί η ανάφλεξη.

Σε περιπτώσεις όπου η πηγή ανάφλεξης είναι σταθερή, όπως μια λάμπα φωτισμού, το σύννεφο καυσίμων θα αναφλεχθεί μόλις υπερβεί η συγκέντρωσή του το χαμηλότερο όριο του εύφλεκτου. Εάν η πηγή ενέργειας είναι διακοπτόμενη, όπως ένας ηλεκτρονόμος ή ένας διακόπτης, το σύννεφο μπορεί να αναφλεγεί αφού περικυκλώσει την πηγή ανάφλεξης.

Όπως σημειώνεται στα προηγούμενα κεφάλαια, το σημείο της ανάφλεξης μπορεί να καθοριστεί από τα διανύσματα ζημιάς της πυρκαγιάς και της πίεσης. Η αποτύπωση αυτών των κατευθυντήριων διανυσμάτων της πυρκαγιάς σε ένα σκίτσο θα δείξει συλλογικά το επίκεντρο της έκρηξης, την προέλευση της μπάλας φωτιάς και τα μέτωπα πίεσης. Αυτό είναι ο αρχικός λόγος για τον οποίο η τεκμηρίωση της διασποράς συντριμμιών μετά από μια έκρηξη είναι σημαντική.

Εντούτοις, οι τοίχοι, οι διάδρομοι και τα άλλα χαρακτηριστικά γνωρίσματα μέσα σε ένα κτήριο μπορούν να κατευθύνουν και να αλλάξουν την πορεία των σφαιρών φωτιάς και μέτωπα πίεσης. Κατά συνέπεια ο ερευνητής δεν πρέπει να υποθέσει ότι όλα τα κατευθυντήρια διανύσματα θα δείξουν ακτινωτά προς το εσωτερικό ενός επίκεντρου. Μερικά θα δείξουν ότι το μέτωπο πίεσης ακολούθησε μη ακτινωτές διαβάσεις από το επίκεντρο, που έχουν καθοδηγηθεί από τους ισχυρούς τοίχους ή τα περάσματα. Κατά συνέπεια, τα διανύσματα ζημιάς μπορούν να δημιουργήσουν ένα μονοπάτι. Η οπισθοδρόμηση διάφορων ιχνών, που συγκλίνουν προς την ίδια τοποθεσία συνήθως, δείχνει ότι το επίκεντρο έχει βρεθεί επιτυχώς.

ΣΤ. Ενεργειακές Εκτιμήσεις

Το ποσό της ενέργειας που περιλαμβάνεται σε μια έκρηξη είναι μια άμεση λειτουργία του τύπου του καυσίμου, το ποσό του διαστήματος στο οποίο είναι περιορισμένο και η συγκέντρωση του καυσίμου. Γενικά, η ενέργεια μιας έκρηξης αποτελείται από τις ακόλουθες μορφές:

§ Ακουστική: ο ήχος της έκρηξης.

§ Κινητική: η μετατόπιση αντικειμένων μακριά από το σημείο προέλευσης της έκρηξης.

§ Την θερμότητα και επέκταση της ενέργειας που χάνεται στα πέριξ.

§ Τη θραύση: η διάδοση των έντονων κυμάτων κλονισμού δια μέσου των κοντινών υλικών με συνέπεια το σπάσιμό τους.

Οι ανωτέρω περιπτώσεις 1-3 συνήθως ισχύουν για τις αναφλέξεις, επειδή λίγη ενέργεια απελευθερώνεται στις αναφλέξεις με θραυστικά αποτελέσματα. Εντούτοις, οι περιπτώσεις 1-4 ισχύουν για τις εκπυροσροτήσεις με ισχυρές εκρηκτικές ύλες, όπου οι περιπτώσεις 2 και 4 μπορούν να αποτελέσουν τα αρχικά μέσα της ενεργειακής απώλειας.

Μια γρήγορη αναγνώριση της σκηνής της έκρηξης κοντά στο επίκεντρο μπορεί συνήθως να παρέχει στοιχεία για το εάν υπήρξαν σημαντικά αποτελέσματα θραύσης. Εάν υπήρξε, είναι ενδεδωμένο να ληφθούν δείγματα των υλικών στα οποία το μέτωπο της έκρηξης θα είχε προσκρούσει κοντά στο επίκεντρο, επειδή οι ισχυρές εκρηκτικές ύλες θα αφήνουν συχνά μικρά μόρια εκρηκτικού υλικού στις κοντινές επιφάνειες, όπως μικρές σφαίρες. Αυτά τα μόρια μπορούν να ανιχνευθούν με εργαστηριακές δοκιμές, και να προσδιοριστεί σαφώς το εκρηκτικό υλικό. Σε μερικές περιπτώσεις, λόγω των ιχνοστοιχείων που προστίθενται στις ισχυρές εκρηκτικές ύλες, μπορεί επίσης να καθοριστεί η τοποθεσία κατασκευής της εκρηκτικής ύλης. Αυτό είναι συνήθως μια σημαντική αφετηρία για τον εντοπισμό του εκρηκτικού υλικού, από τον αρχικό παραγωγό μέχρι τον τελευταίο χρήστη.

Επειδή ένα κύμα πίεσης καταστρέφει, σε αναλογία με το τετράγωνο της απόστασης από το φάκελο της σφοδρότητας της έκρηξης, εάν η πίεση έπρεπε να ανυψώσει μια οροφή, να ωθήσει έναν τοίχο, ή να σπάσει ένα τζάμι ενός παράθυρου πέρα από ένα δρόμο μπορεί να καθοριστεί, κατόπιν η πίεση της έκρηξης στα όρια της, μπορεί να υπολογιστεί ή να εκτιμηθεί.

Γνωρίζοντας το δωμάτιο ή τον χώρο όπου η έκρηξη έλαβε χώρα, μπορεί να είναι δυνατό να μειωθεί ο κατάλογος των πιθανών καυσίμων. Εν ολίγοις, είναι δυνατό να μετρηθεί το ενεργειακό περιεχόμενο μιας έκρηξης και να συναχθεί κάτι για τη φύση των καυσίμων, τα οποία προκάλεσαν την έκρηξη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ: ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΣΕ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ

Α. Γενικά

Οι πυρκαγιές στα αυτοκίνητα, τα φορτηγά, και μικρά φορτηγά εμπίπτουν σε μια από τις ακόλουθες έξι κατηγορίες αιτιών, οι οποίες παρατίθενται κατά προσέγγιση κατά σειρά σπουδαιότητα ή τη συχνότητα:

1. **Σχετικές με τα καύσιμα πυρκαγιές.** Η πυρκαγιά προκαλείται από τη διαρροή καυσίμων επάνω στα καυτά μηχανικά μέρη, συνήθως στο διαμέρισμα της μηχανής, ή κατά μήκος του συστήματος εξάτμισης.
2. **Πυρκαγιές που σχετίζονται με τα ηλεκτρικά μέρη.** Αυτό περιλαμβάνει τα μικρά κυκλώματα, την υπερθέρμανση των καλωδιώσεων, και την ηλεκτρική δυσλειτουργία των εξαρτημάτων όπως οι ανεμιστήρες, οι εξαεριστήρες, οι θερμάστρες, κ.λπ.
3. **Εμπρησμός.**
4. **Πυρκαγιές σε γκαράζ,** ή παρόμοιες. Γκαράζ είναι το μέρος μέσα στο οποίο φυλάγεται το αυτοκίνητο και όταν πιάνει πυρκαγιά καίει το αυτοκίνητο ή το φορτηγό. Σε μερικές περιπτώσεις, η αιτία της πυρκαγιάς στο γκαράζ είναι πλήρως ανεξάρτητη από το όχημα. Σε άλλες περιπτώσεις, μπορεί να υπάρξει μια αιτιώδης συνάφεια, π.χ. υδρατμοί βενζίνης που αναφλέγονται από ένα λαμπτήρα που βρίσκεται στο πάτωμα.
5. **Πεταγμένα τσιγάρα και καπνίζοντα υλικά.**
6. Και φυσικά, η πάντα δημοφιλής, "**όλες οι άλλες αιτίες.**" Αυτό περιλαμβάνει τις πυρκαγιές στις επενδύσεις των φρένων, πυρκαγιές λόγω διαρροής των υδραυλικών υγρών, εκρήξεις μπαταριών, διάφοροι τύποι μηχανικών αποτυχιών, επαφή του καταλύτη με τα καύσιμα, και τα λοιπά.

Στατιστικά, οι πρώτες τρεις κατηγορίες αντιπροσωπεύουν την πλειοψηφία όλων των πυρκαγιών που περιλαμβάνουν τα οχήματα. Εκπληκτικά, οι πυρκαγιές στα οχήματα λόγω των συγκρούσεων και ανατροπών είναι χαμηλές σε αριθμό. Στα ατυχήματα αυτοκινήτων στα οποία ξεσπά πυρκαγιά αποτελούν χαρακτηριστικά λιγότερο από το 1% τέτοιων ατυχημάτων. Παρά τον δραματικό τρόπο με τον οποίο αυτά εμφανίζονται στους κινηματογράφους και τα μυθιστορήματα, λίγα αυτοκίνητα ανατινάζονται πραγματικά και πιάνουν φωτιά όταν καταστρέφονται.

Β. Εμπρησμός οχημάτων και εμπρηστικές πυρκαγιές

Υπάρχουν σχεδόν τόσες πυρκαγιές, περιπτώσεις του εμπρησμού, και εμπρηστικές πυρκαγιές στα προσωπικά οχήματα όσα είναι τα αναλογούμενα σπίτια. Τα πιο κοινά κίνητρα για τις εμπρηστικές πυρκαγιές στα προσωπικά οχήματα περιλαμβάνουν:

1. **Προβλήματα ρευστότητας.** Ο ιδιοκτήτης δεν μπορεί να αντέξει οικονομικά τις πληρωμές και βρίσκεται σε κίνδυνο κατάσχεσης.
2. **Η αξία του αυτοκινήτου.** Αυτή η κατάσταση δημιουργείται όταν οι υπόλοιπες πληρωμές για το αυτοκίνητο είναι συνολικά περισσότερες από την επί τις εκατό αξία του αυτοκινήτου. Παραδείγματος χάριν, ένα αυτοκίνητο που είναι κακώς φροντισμένο και κακομεταχειρισμένο μπορεί να αποσυρθεί μετά από ακριβώς δύο έτη. Εντούτοις, εάν ο ιδιοκτήτης πλήρωνε το αυτοκίνητο για τέσσερα ή ακόμα και πέντε έτη, μπορεί ακόμα να έχει να πληρώσει χιλιάδες ευρώ για ένα κομμάτι παλιοσίδερα.

3. **Κλοπή.** Είναι κοινή πρακτική για μερικούς κλέφτες αυτοκινήτων και λάτρεις της ταχύτητας να βάζουν φωτιά σε ένα όχημα σε μια απομακρυσμένη περιοχή αφότου έχουν τελειώσει με αυτό. Το αυτοκίνητο ήταν πιθανό να μην κλάπηκε από επαγγελματίες, αλλά από μέλη συμμοριών ή εφήβους που το χρησιμοποίησαν απλά για να περάσουν καλά.

Φυσικά, ο ανωτέρω κατάλογος δεν είναι πλήρης απλά αντιπροσωπεύει τα πιο κοινά κίνητρα.

Οι εμπρηστικές φωτιές αυτοκινήτων των οποίων αρχικό κίνητρο είναι η εκδίκηση ή η ζηλοτυπία συμβαίνουν, αλλά είναι σπάνιες έναντι των άλλων αιτιών.

Ένα κοινό στοιχείο στις εμπρηστικές φωτιές οχημάτων είναι ότι δεν υπάρχει συχνά κανένας μάρτυρας, είτε μόνο ένας μάρτυρας, ο ιδιοκτήτης. Όταν δεν υπάρχει κανένας μάρτυρας, η πυρκαγιά συχνά θα λάβει χώρα σε μια απομακρυσμένη περιοχή, ή σε μια κρυμμένη περιοχή όπως ένα απομονωμένο γκαράζ, όπου οι περαστικοί δεν μπορούν να παρατηρήσουν την έναρξη της φωτιάς. Σε μια φωτιά αυτοκινήτου χωρίς μάρτυρα, ο ιδιοκτήτης δεν θα έχει καμία ιδέα πώς η πυρκαγιά άρχισε, και θα πει ότι δεν είχε χρησιμοποιήσει το αυτοκίνητο για κάποιο χρόνο πριν από την φωτιά. Αυτό πρόκειται να δώσει στο αυτοκίνητο αρκετό χρόνο να καεί εντελώς.

Όταν υπάρχει μόνο ένας μάρτυρας, ο ιδιοκτήτης, συχνά θα δηλώσει ότι η πυρκαγιά άρχισε ενώ οδηγούσε το όχημα και ότι έπρεπε να εγκαταλείψει το όχημα και να περπατήσει "x" απόσταση για να φτάσει σε ένα τηλέφωνο ενώ το όχημα καιγόταν. Αυτή η πράξη παρέχει επίσης το χρόνο για το όχημα να καεί πλήρως από την φωτιά. Δεν θα ωφελούσε έναν εμπρηστή εάν η φωτιά ήταν ορατή, είχε αναφερθεί, και σβήστηκε αμέσως, αφήνοντας το αυτοκίνητο επισκευάσιμο.

Ένα από τα πιο κοινά χαρακτηριστικά που προδίδει έναν εμπρηστή είναι όταν το σημείο προέλευσης της φωτιάς είναι στα καθίσματα, το πάτωμα ή την ταπετσαρία του αυτοκινήτου. Στα τελευταίου τύπου αυτοκίνητα, τα περισσότερα από τα εσωτερικά υλικά αποτελούνται από ανθεκτικά στη φωτιά ή επεξεργασμένα με φωτιά υλικά για να αποτρέψουν την πυρκαγιά από το να διαδοθεί γρήγορα μέσω ενός κατειλημμένου από φωτιά αυτοκινήτου. Τα περισσότερα από τα υλικά που χρησιμοποιούνται τώρα δεν θα υποστηρίξουν τις φλόγες από μόνα τους, και απαιτούν μια εξωτερική πηγή θερμότητας.

Εντούτοις, αυτό δεν ίσχυε στο παρελθόν. Στα παλαιότερα αυτοκίνητα, το ύφασμα, τα καλύμματα, η γέμιση των καθισμάτων, και οι τάπητες θα μπορούσαν να υποστηρίξουν την καύση, και μερικές φορές να καούν μανιωδώς.

Όταν ένα τσιγάρο πέσει στο κάθισμα ενός τελευταίου μοντέλου αυτοκινήτου, το τσιγάρο θα κάψει μια τρύπα με τη μορφή ενός κώνου στο κάθισμα, και θα σβήσει έπειτα όταν εξαντληθεί το τσιγάρο. Οι τέτοιου τύπου φωτιές από τσιγάρα έχουν συχνά τα σημεία προέλευσης κάτω από το κάθισμα, όπου ένα τσιγάρο έχει κυλήσει, στη ρωγμή του καθίσματος, ή από το ίδιο το τασάκι. Τα τασάκια αυτοκινήτων που είναι γεμάτα με παλιά αποτσίγαρα μπορούν να θέσουν μια ωραία φωτιά στη μέση του ταμπλό.

Μια κοινή μέθοδος εμπρηστικής φωτιάς που είναι συνηθισμένη είναι το ρίξιμο υγρού για αναπτήρες στα ανοίγματα του εξαερισμού στο ταμπλό του αυτοκινήτου. Αυτό είναι μια προσπάθεια για να φανεί η φωτιά σαν αιτία της καλωδίωσης κάτω από το ταμπλό. Μερικές φορές δεν καίγονται όταν τα κυκλώματα στην συγκεκριμένη περιοχή ήταν σε λειτουργία κατά την διάρκεια της φωτιάς. Ο εμπρηστής έπειτα ανάβει το εμπρηστικό υλικό και κλείνει την πόρτα, ή το ανάβει με το παράθυρο της πόρτας ανοικτό μια ίντσα ή δύο για να παρέχει αέρα. Εάν το αυτοκίνητο μπορεί να εξεταστεί αμέσως μετά από την πυρκαγιά, υπολείμματα από το ρευστό μπορούν συνήθως να βρεθούν εύκολα στον τάπητα κάτω από την περιοχή της πυρκαγιάς όπου είχε στάξει.

Μια άλλη κοινή τεχνική είναι το ρίξιμο εύφλεκτου υγρού στο διαμέρισμα της μηχανής και το ανάβει κλείνοντας το καπό πολύ γρήγορα. Αυτό είναι επίσης εύκολο να ανιχνευθεί επειδή η προέλευση της φωτιάς θα είναι μη συγκεκριμένη, και η αυστηρότερη ζημιά

εγκαυμάτων θα καλύπτει ένα ευρύ χώρο, και κανένα ιδιαίτερο μέρος που σχετίζεται με τα καύσιμα δεν θα καεί σοβαρότερα από άλλα.

Γ. Σχετικές με τα καύσιμα πυρκαγιές

Κατά πολύ η μεγαλύτερη κατηγορία πυρκαγιάς σε αυτοκίνητα περιλαμβάνει συνήθως τη διαρροή καυσίμων πάνω σε ένα καυτό εξάρτημα της μηχανής. Η περιοχή της μηχανής, και ειδικά η πολλαπλή εξάτμιση και η εξάτμιση, είναι μια έτοιμη πηγή ενέργειας ανάφλεξης αφότου η μηχανή ήταν αναμμένη για ένα χρονικό διάστημα. Τα καύσιμα μπορούν να διαρρεύσουν πάνω στη μηχανή από πολλές θέσεις. Στις σύγχρονες μηχανές, δεν υπάρχουν μόνο η κύρια γραμμή καυσίμων από τη δεξαμενή καυσίμων στη μηχανή, αλλά υπάρχουν επίσης και γραμμές επιστροφής καυσίμων που συνδέονται με το σύστημα ελέγχου ατμού, το σύστημα εκπομπών ρύπων, και τις χωριστές γραμμές καυσίμων από τους ψεκαστήρες στους κυλίνδρους.

Στα νεώτερα οχήματα, μια από τις πιο κοινές θέσεις για να εμφανιστούν διαρροές είναι στις συνδέσεις των σωληνώσεων. Εάν οι διάφορες συνδέσεις των σωληνώσεων των καυσίμων δεν στερεώνονται κατάλληλα, τα καύσιμα μπορούν να διαρρεύσουν από τη σύνδεση. Οι ανακλήσεις πολλών κατασκευαστών για τα συστήματα καυσίμων συσχετίζονται με την αποτυχία των συνδετήρων ή των συνδέσμων για την εξασφάλιση των σωληνώσεων των καυσίμων και την αποτροπή τους από τη διαρροή. Στα παλαιότερα αυτοκίνητα, ειδικά σε αυτά με σωληνώσεις καυσίμων λαστιχένιου τύπου ή ελαστομετρικού τύπου, οι σωληνώσεις καυσίμων μπορούν να ραγίσουν στις κάμψεις και τις γωνίες, και τα καύσιμα να διαρρεύσουν από αυτές τις ρωγμές.

Μερικά οχήματα χρησιμοποιούν μεταλλικές σωληνώσεις καυσίμων. Οι μεταλλικές σωληνώσεις ειδικά οι σωληνώσεις από χάλυβα, φαίνονται να είναι ανώτερες από άλλους τύπους επειδή όταν καίγεται η βενζίνη δεν λειώνει το χάλυβα. Οι επενδυμένες με καουτσούκ σωληνώσεις θα καούν μαζί τα καύσιμα, και θα ενεργήσουν λίγο σαν πύραυλος όταν τα καύσιμα πιάσουν φωτιά. Η φωτιά θα ακολουθήσει τη διαρροή πίσω στο σημείο που ξεκίνησε, και θα εισχωρήσει στο λαστιχένιο σωλήνα. Στο τέλος ο σωλήνας θα σπάσει και επιτρέψει στην φωτιά να κάψει το υπόλοιπο καύσιμο μέσα στο σωλήνα, ακολουθώντας τον μέχρι την αντλία. Οι σωληνώσεις αλουμινίου λειώνουν εύκολα κατά τη διάρκεια μιας φωτιάς καυσίμων. Οι σωληνώσεις χαλκού μπορούν να λειώσουν όταν υπάρχει άμεση επαφή μεταξύ του χαλκού και των καυγόμενου καυσίμου, το οποίο είναι σύνηθες.

Για να ελαχιστοποιηθεί η μεταφορά των κραδασμών από τη μηχανή στο σώμα των αυτοκινήτων, μερικοί κατασκευαστές χρησιμοποιούν ένα μικρό κομμάτι λάστιχου μεταξύ της σύνδεσης στη μηχανή και των μεταλλικών σωληνώσεων. Αυτά τα μικρά κομμάτια λάστιχου είναι τα σημεία όπου εμφανίζονται συχνά οι διαρροές καυσίμων, επειδή αποσυνδέονται συχνά και επανασυνδέονται κατά τη διάρκεια της μηχανικής εργασίας, και ως εκ τούτου υπάρχει μια ευκαιρία για λάθος στην επανασύνδεση τους. Επίσης, οι επενδυμένες με καουτσούκ περιοχές των σωληνώσεων υπόκεινται σε περισσότερη καταπόνηση μετά από μεγάλες περιόδους λειτουργίας, ή όταν η μηχανή είχε ένα υψηλό ποσοστό δονήσεων.

Δεδομένου ότι μια σταλαγματιά μπορεί συχνά να ακολουθήσει μια γραμμή για αρκετές ίντσες πριν από την πτώση της πάνω στη μηχανή ή στην εξάτμιση, το σημείο της διαρροής δεν είναι πάντα το ίδιο με αυτό του σημείου ανάφλεξης των καυσίμων. Είναι συνηθισμένο για την φωτιά να ακολουθηθεί η διαρροή πίσω στην πηγή. Κατά συνέπεια, μπορεί να υπάρξει ένα ίχνος της φωτιάς από το σημείο της ανάφλεξης πίσω στο σημείο της διαρροής.

Όταν οι φωτιές καυσίμων εμφανίζονται στο διαμέρισμα μηχανών, όπως συμβαίνει συνήθως κάνουν τα ίχνη της ζημιάς από τη φωτιά στο καπό μπορεί να είναι πολύ

χρήσιμο. Δεδομένου ότι πολλές φωτιές καυσίμων εμφανίζονται στα ανώτερα μέρη του διαμερίσματος των μηχανών, οι φλόγες συχνά προσκρούουν άμεσα στην εσωτερική πλευρά του καπνό. Το καπνό θα αποτελεί συχνά ένα μικρό σχεδιάγραμμα της φωτιάς και της εξαπλώσης της στο διαμέρισμα της μηχανής. Οι θερμότεροι τομείς της φωτιάς θα παρουσιάζονται με την πλήρη απώλεια χρώματος, και οποιοδήποτε γαλβανικών επιστρωμάτων. Στο τέλος οι πιο δροσερές περιοχές θα έχουν αντίστοιχα τη λιγότερο σοβαρή ζημιά.

Σε μια μηχανή με καρμπιλατέρ, εάν μια φωτιά αρχίσει σε μια σύνδεση παράλληλα με το καρμπιλατέρ λόγω της διαρροής, το καρμπιλατέρ θα λειώσει σε εκείνη την πλευρά. Τα περισσότερα καρμπιλατέρ αποτελούνται τώρα από αλουμίνιο, και έτσι λειώνει εύκολα όταν έρχεται σε επαφή με το καύσιμο που καίγεται. Εάν η φωτιά άρχισε μέσα στο καρμπιλατέρ λόγω μιας αποτυχίας ή μιας πλημμυρισμένης κατάστασης, το καρμπιλατέρ θα έχει καταρρεύσει από το κέντρο του, με τον ίδιο τρόπο όπως καταρρέουν οι πλευρές ενός μεγάλου κεριού μακριά από το καυτό φυτίλι. Εάν η πυρκαγιά είναι απλά καυτή, και έχει αρχίσει αλλού, το καρμπιλατέρ θα λευκάνει ή θα οξειδώσει στην πλευρά από την οποία προέρχεται η θερμότητα. Εάν η θερμότητα είναι σοβαρή, το καρμπιλατέρ μπορεί να λειώσει ή να καταρρεύσει στην πλευρά από την οποία προέρχεται η θερμότητα.

Εάν το μεταλλικό κουτί φίλτρων αέρα του καρμπιλατέρ αποτελείται από το χάλυβα, το μεταλλικό κουτί φίλτρων αέρα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να κάνει διακρίσεις μεταξύ μιας φωτιάς που δημιουργείται σε μια σύνδεση του καρμπιλατέρ, ή από μέσα από το λαιμό του καρμπιλατέρ. Η φωτιά στο λαιμό του καρμπιλατέρ θα αυξηθεί στο μεταλλικό κουτί φίλτρων αέρα και ίσως να κάψει άμεσα το φίλτρο. Η φωτιά παράλληλα με το καρμπιλατέρ θα κάψει την κάτω πλευρά του μεταλλικού κουτιού, και θα αφήσει το κέντρο του μεταλλικού κουτιού λίγο πολύ άθικτο, και θα "μαγειρέψει" ή θα απανθρακώσει το φίλτρο.

Σε μερικές περιπτώσεις, το μέρος που διέρρευσε πραγματικά το καύσιμο θα είναι το μέρος που θα λείπει. Πολλά μέρη μέσα στο σύστημα καυσίμων σε μια σύγχρονη μηχανή αποτελούνται από αλουμίνιο, πλαστικό, ή ελαστομερές. Η άμεση επαφή με το φλεγόμενο καύσιμο συνήθως καταστρέφει αυτά τα μέρη.

Σε ένα σύγχρονο όχημα, η αντιπυρική ζώνη της μηχανής δεν εμποδίζει την φωτιά από την είσοδο της στον χώρο των επιβατών από το διαμέρισμα της μηχανής καθώς όπως στα παλαιότερα αυτοκίνητα. Σε αναγνώριση αυτού του γεγονότος, μερικές εταιρίες αυτοκινήτων δεν χρησιμοποιούν πλέον τον όρο αντιπυρική ζώνη, και την καλούν άντ' αυτού διάφραγμα. Αυτό γιατί υπάρχουν τόσα πολλά ανοίγματα στο διάφραγμα για τον εξαερισμό, την καλωδίωση, και άλλα παρόμοια. Τα περισσότερα από αυτά τα ανοίγματα είναι για τους πλαστικούς αγωγούς εξαερισμού, τις επενδυμένες με καουτσούκ σωληνώσεις, και την μονωμένη με πλαστικό καλωδίωση. Όταν η φωτιά φθάνει σε αυτά τα μέρη, αυτά καταρρέουν γρήγορα ή καταστρέφονται, αφήνοντας την τρύπα ανοικτή για την φωτιά να περάσει στο χώρο των επιβατών. Κατά συνέπεια, όταν μια φωτιά σε μια μηχανή είναι σοβαρή, είναι συνηθισμένο για την φωτιά να περάσει μέσω του διαφράγματος στο εσωτερικό χώρο του οχήματος.

Στα οχήματα όπου οι αντλίες καυσίμων λειτουργούν ηλεκτρικά από την μπαταρία, είναι δυνατό για τις αντλίες καυσίμων να συνεχίσουν να λειτουργούν για έναν χρονικό διάστημα ενώ η φωτιά συνεχίζεται, ακόμα κι αν η μηχανή έχει σταματήσει. Αυτό εμφανίζεται συνήθως όταν η φωτιά αρχίζει ενώ το αυτοκίνητο βρίσκεται εν κινήσει, και ο οδηγός βγαίνει από αυτό αλλά δεν σβήνει τη μηχανή. Συχνά, ο οδηγός το κάνει αυτό για να ερευνήσει την πηγή του καπνού που παρατηρείται να εισέρχεται μέσω του δαπέδου στο εσωτερικό του οχήματος.

Όταν μια μηχανή αυτοκινήτου λειτουργήσει για μια στιγμή και έπειτα κλειστεί, είναι συνηθισμένο να αυξηθεί η θερμοκρασία του φράγματος της μηχανής αμέσως μετά το κλείσιμο της. Αυτό συμβαίνει όταν σταματά η λειτουργία της μηχανής, το καύσιμο σταματά

να κυκλοφορεί, το ψυκτικό μέσο σταματά να κυκλοφορεί, ο ανεμιστήρας θερμαντικών σωμάτων μπορεί να πάψει να λειτουργεί, και το αυτοκίνητο δεν κινείται πλέον. Τα τελευταία δύο στοιχεία παρέχουν την αναγκασμένη ψύξη μεταφοράς στο θερμαντικό σώμα. Κατά συνέπεια, η θερμότητα από τις τελευταίες καύσεις της μηχανής είναι παγιδευμένες στη μηχανή, και δεν μπορούν να μεταφερθούν.

Για να ανακουφιστεί αυτή η άνοδος της θερμοκρασίας, που μικραίνει τη ζωή μιας μηχανής, πολλά σύγχρονα αυτοκίνητα έχουν ένα θερμοστάτη που αναγκάζει τον ανεμιστήρα του ψυγείου να λειτουργήσει ακόμη και αν η μηχανή δεν είναι σε λειτουργία. Αυτό δεν μπορεί εντελώς να ξεφορτωθεί την άνοδο της θερμοκρασίας, αλλά μπορεί σημαντικά να τη μειώσει.

Πρέπει να κατανοηθεί ότι η επίδραση της ανόδου της θερμοκρασίας είναι σημαντική επειδή πολλές φωτιές σε αυτοκίνητα αρχίζουν όταν το αυτοκίνητο παύει να λειτουργεί, ακόμα κι αν η διαρροή δημιουργήθηκε ενώ το αυτοκίνητο βρισκόταν εν κινήσει. Ενώ το αυτοκίνητο βρίσκεται εν κινήσει, η θερμοκρασία της μηχανής πέφτει, και το καύσιμο που διαρρέει μπορεί να απομακρυνθεί μακριά από τη μηχανή με τη βοήθεια του κινούμενου αέρα. Τα περισσότερα αυτοκίνητα και φορτηγά σχεδιάζονται έτσι ώστε ο κινούμενος αέρας να περνά μέσω του ψυγείου και να απομακρύνει τη θερμότητα από τη μηχανή.

Όταν ένα αυτοκίνητο σταματά να λειτουργεί, η μηχανή παύει να λειτουργεί και η θερμοκρασία ανεβαίνει, και η διαρροή του καυσίμου δεν μπορεί να απομακρυνθεί από τον κινούμενο αέρα. Έτσι το καύσιμο μπορεί να στάξει ανενόχλητο πάνω στην καυτή μηχανή, ή την εξάτμιση της μηχανής, και να αναφλεγεί. Επιπλέον, χωρίς την κίνηση του αέρα, η φωτιά μπορεί να οπισθοδρομήσει και να ακολουθήσει την πορεία διαρροής πίσω στην πηγή της με τα ανάλογα επακόλουθα. Για αυτό το λόγο οι φωτιές σε οχήματα ξεσπούν συχνά αμέσως αφότου έχει σταματήσει να λειτουργεί η μηχανή, ή όταν ο οδηγός έχει μόλις σταματήσει το όχημα.

Σε μερικές περιπτώσεις, εάν η διαρροή είναι στον κύριο σωλήνα καυσίμου, μπορεί να προκαλέσει μια μικρή πτώση πίεσης στην πίεση στον σωλήνα καυσίμου και αυτή η πτώση πίεσης μπορεί να είναι επαρκής για να αναγκάσει τη μηχανή να βγάξει έναν ακατάληπτο θόρυβο ή να χρονοτριβεί κατά την αναρρίχηση ενός λόφου, ή ειδάλως να λειτουργεί σε ένα υψηλότερο φορτίο. Εάν ο οδηγός θυμάται τότε εμφανίστηκε αυτό μπορεί να δώσει μια χρήσιμη ένδειξη ως προς το από πότε ήταν γνωστή η διαρροή του καυσίμου στη μηχανή.

Δ. Άλλα είδη πυρκαγιών κάτω από το καπό

Ενώ οι σχετικές με καύσιμα πυρκαγιές ξεπερνούν αριθμητικώς εύκολα όλες τις υπόλοιπες, οι φωτιές κάτω από το καπό μπορούν επίσης να προκληθούν και από άλλα εύφλεκτα υγρά που διαρρέουν πάνω στις καυτές επιφάνειες.

Αυτό περιλαμβάνει:

- § υγρό φρένων που διαρρέει από μια κακή σφράγιση ή σύνδεση σωλήνα,
- § υδραυλικό υγρό που διαρρέει από ένα σφράγισμα πάνω στο σύστημα μετάδοσης κίνησης,
- § πετρέλαιο μηχανών που διαρρέει από το κάλυμμα μιας βαλβίδας,
- § έλαιο μετάδοσης που βράζει και βγαίνει από το σημείο το οποίο βρίσκεται όταν υπερθερμαίνεται η αυτόματη μετάδοση,
- § έλαιο συμπίεσης κλιματιστικών μηχανημάτων που διαρρέει από την πλευρά υψηλής πίεσης του βρόχου ψυκτικών ουσιών, και
- § κάποιοι τύποι ψυκτικών μέσων μηχανών που διαρρέουν από κάποια θερμαντικά σώματα μπορούν επίσης να πάρουν φωτιά.

Παραδείγματος χάριν, η γλυκόλη αιθυλενίου, ένα από τα κοινά ψυκτικά μέσα που χρησιμοποιούνται στα θερμαντικά σώματα, έχει ένα σημείο ανάφλεξης τους 241 °F και αναφλέγεται στους 775°F. Ενώ δεν είναι σχεδόν τόσο επικίνδυνη όσον αφορά την φωτιά όσο η βενζίνη, μπορεί ακόμα να κάψει και να αποτεφρώσει ένα αυτοκίνητο κάτω από τις σωστές περιστάσεις. Μερικοί τύποι επενδυμένων με καουτσούκ σωλήνων μπορούν ακόμη και να πιάσουν φωτιά εάν μετατοπιστούν και έρθουν σε επαφή με την εξάτμιση ή άλλα καυτά μέρη του τμήματος της μηχανής.

E. Ηλεκτρικές πυρκαγιές

Η πλειοψηφία των ηλεκτρικών πυρκαγιών σε ένα όχημα προκαλείται από τα εξής:

- § καλώδια που έχουν κοπεί από γδάρσιμο και δεν είναι πια γειωμένα,
- § καλώδια που έχουν μετατοπιστεί και έχουν έρθει σε επαφή με τα καυτά μέρη της μηχανής,
- § καλώδια που έχουν απλά υπερθερμανθεί κάτι που οφείλεται σε υπερφόρτωση
- § συσκευές οι οποίες είναι ελαττωματικές και είναι εύκολο να δημιουργήσουν βραχυκύκλωμα
- § Συνήθως οι ζημιές που σχετίζονται με ηλεκτρικές φωτιές εμφανίζονται είτε στο διαχωριστικό τοίχωμα ή στο προστατευτικό τοίχο από τη φωτιά. Βεβαίως αυτό συμβαίνει γιατί οι περισσότερες καλωδιώσεις βρίσκονται σε εκείνο το σημείο. Επειδή ολόκληρος ο εξοπλισμός της μηχανής βρίσκεται στο ίδιο σημείο, είναι πιθανό μια φωτιά που προκλήθηκε από τα ηλεκτρικά μέρη να μετατραπεί σε φωτιά από τα καύσιμα. Αν η φωτιά από τα καύσιμα είναι αρκετά σοβαρή, μπορεί να αποκρύψει τα ηλεκτρικά αίτια της φωτιάς.

Μια ηλεκτρική φωτιά κάτω από το "ταμπλό" θα δημιουργήσει συνήθως τις ζημιές από το εσωτερικό προς το εξωτερικό, δηλαδή οι ζημιές θα είναι σοβαρότερες στο εσωτερικό, και των οποίων η δριμύτητα θα μικραίνει προς το εξωτερικό ή την περίμετρο της περιοχής. Επειδή η καλωδίωση βρίσκεται συνήθως ακριβώς κάτω από το ταμπλό, η περιοχή θα έχει μια "βαθουλωμένη" εμφάνιση.

Τα περισσότερα από τα πλαστικά υλικά που χρησιμοποιούνται στα ταμπλό των σύγχρονων αυτοκινήτων δεν υποστηρίζουν εύκολα μια φλόγα ή μια φωτιά. Εντούτοις, θα λειώσουν, θα απανθρακωθούν, και θα εκπέμπουν άφθονο πυκνό καπνό, και μπορούν να υποστηρίξουν φλόγες και φωτιά εφ' όσον το ηλεκτρικό βραχυκύκλωμα παρέχει ενέργεια θερμότητας.

Μια εξέταση των υπολειμμάτων θα παράγει συχνά τις πληροφορίες ως προς τις ποιες ομάδες του εξοπλισμού περιλήφθηκαν στο ελάττωμα. Κατόπιν το σημείο προέλευσης θα πρέπει να ανακαλυφθεί όπως οποιοδήποτε άλλο ηλεκτρικό ελάττωμα. Εντούτοις, σε ένα αυτοκίνητο, ένα βραχυκύκλωμα μπορεί να εμφανιστεί σε οποιαδήποτε στιγμή που η γυμνή καλωδίωση μπορεί να έρθει σε επαφή με το μεταλλικό πλαίσιο ή τα μέρη ενός αυτοκινήτου, δεδομένου ότι στο μεταλλικό πλαίσιο βρίσκονται τα καλώδια επιστροφής για τα περισσότερα κυκλώματα. Οι αρνητικές πλευρές όλων των κυκλωμάτων στο όχημα οργανώνονται μέσω του μεταλλικού πλαισίου ως κοινή επιστροφή. Κατά συνέπεια, μόλις φθάσει η θερμότητα σε μια ομάδα καλωδίων που είναι τοποθετημένα σε ένα κιγκλίδωμα μετάλλων ή σε ένα διάφραγμα και λειώσει η μόνωση, είναι δυνατό για σχεδόν όλα τα καλώδια να βραχυκυκλώσουν λίγο πολύ στον ίδιο χρόνο στην ίδια θέση.

Η εγκατάσταση εξοπλισμού που δεν ανήκει στο όχημα μπορεί συχνά να προκαλέσει ηλεκτρικές φωτιές στο όχημα αυτό. Αυτός που τοποθετεί αυτόν τον εξοπλισμό συχνά δεν γνωρίζει τα κυκλώματα, και απλά τον συνδέει στο καταλληλότερο καλώδιο που μπορεί να βρεί. Συνήθως, το προστατευτικό φράγμα παρακάμπτεται, έτσι το νέο στοιχείο δεν μπορεί να ωφεληθεί από την τρέχουσα προστασία. Περαιτέρω, το καλώδιο στο νέο στοιχείο θα είναι χαλαρό, και συχνά θα πτυχώνεται απλά αόριστα κάτω από τον τάπητα, ή να τοποθετηθεί γύρω από μεταλλικά μέρη που μπορούν τελικά να το τρίψουν και να κόψουν στη μόνωση.

Επειδή ένα αυτοκίνητο δονείται συνεχώς όταν είναι εν κινήσει, η χαλαρή καλωδίωση έχει υψηλότερη πιθανότητα να τριφτεί στις κοντινές άκρες ή τις τραχιές επιφάνειες. Αυτό είναι ένας λόγος για τον οποίο ο κατασκευαστής ομαδοποιεί την καλωδίωση σε λουριά. Μερικές φορές, όταν γίνεται εργασία επισκευής σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα θεωρείται μεγάλο πρόβλημα για το μηχανικό να βάλει ένα καλώδιο πίσω στη δέσμη του όπως ήταν πριν. Μπορεί απλά να το πτυχώσει μέσα σε ένα κατάλληλο σημείο, ή να το δέσει με ταινία πάνω σε κάτι κοντινό για να το κρατήσει σταθερό.

Φυσικά, η χαλαρή καλωδίωση στο διαμέρισμα της μηχανής μπορεί επίσης τελικά να έρθει σε επαφή με την πολλαπλή της μηχανής. Δεδομένου ότι ένα μεγάλο μέρος της καλωδίωσης είναι τυλιγμένο σε σχετικά χαμηλής θερμοκρασίας πλαστική μόνωση, το να έρθει κοντά στα καυτά μέρη μπορεί να είναι αρκετό για να βλάψει τη μόνωση και να επιτρέψει στο κύκλωμα να βραχυκυκλώσει.

ΣΤ. Μηχανικές και άλλες αιτίες

Οι φωτιές σε αυτοκίνητα προκαλούνται επίσης, αλλά λιγότερο συχνά, από μηχανική βλάβη. Τα ρουλεμάν των τροχών, τα φρένα και τα τμήματα της εξάτμισης είναι οι πιο κοινοί ένοχοι.

Όταν περιλαμβάνονται τα φρένα, συνήθως οι μεμονωμένοι κύλινδροι φρένων των τροχών έχουν χάσει τα καπάκια τους και το υγρό φρένων έχει διαρρεύσει στο τύμπανο ή το δίσκο όπου παράγονται υψηλές θερμοκρασίες από την τριβή φρεναρίσματος αναφλέγοντας το. Το σημείο προέλευσης στον τροχό είναι συνήθως εύκολο να βρεθεί.

Οι περισσότεροι άξονες και τροχοί χρησιμοποιούν ένα βαρύ λάδι ή γράσο για τη λίπανση. Η απώλεια των ρουλεμάν των τροχών μπορεί να επιτρέψει σε αυτά τα λιπαντικά να διαρρεύσουν ή να στάξουν στα φρένα, ή η αποτυχία του ίδιου του ρουλεμάν μπορεί να παραγάγει ικανοποιητική θερμότητα για να εμφανιστεί η ανάφλεξη.

Μερικές φωτιές προκαλούνται από τον καταλύτη. Οι περισσότερες τοποθετούνται σε μια από δύο παρακάτω ομάδες :

1. Όπου η φωτιά προκαλείται από τον καταλύτη όταν αυτός έρχεται σε επαφή με χόρτα ή την ξερή χλόη όταν αυτός καίει ακόμα, και τα άλλα αναφλεγόμενα υλικά που βρίσκονται εξωτερικά του αυτοκινήτου. Στην περίπτωση αυτή, το όχημα καίγεται από τη χλόη ή τα άλλα αναφλεγόμενα υλικά που βρίσκονται κάτω από αυτό.
2. Το μίγμα καυσίμων της μηχανής είναι πάρα πολύ πλούσιο, και φράζει τον καταλύτη με αποτέλεσμα αυτός να λειτουργεί σε πολύ μεγάλη θερμοκρασία. Μια φωτιά μπορεί έπειτα να ξεσπάσει μέσα στον ίδιο τον καταλύτη.

Φυσικά, ένας καταλύτης είναι ένα μέρος όπου πάντα υπάρχει φωτιά. Ο καταλύτης απλά καίει αργά τα άκαυστα καύσιμα μέσα στο τμήμα της εξάτμισης έτσι ώστε λιγότερες άκαυστες ενώσεις άνθρακα να φεύγουν από το σωλήνα της εξάτμισης. Αυτό το αργό κάψιμο ολοκληρώνεται με την χρήση ενός καταλύτη επιφανείας, συνήθως μια ένωση πλατίνας, η οποία αναγκάζει τα καύσιμα να οξειδωθούν σε θερμοκρασίες και συνθήκες χαμηλότερες από αυτές που συνήθως οξειδώνονται.

Λόγω αυτού, οι καταλύτες είναι οι πιο δροσεροί όταν το όχημα βρίσκεται εν κινήσει μαζί με την αποδοτικότητα της μηχανής όταν είναι σε υψηλό επίπεδο. Αυτό εμφανίζεται κανονικά όταν το όχημα ταξιδεύει στην εθνική οδό. Ο κινούμενος αέρας κάτω από το όχημα βοηθά επίσης στο να τον κρατάει δροσερό.

Οι καταλύτες λειτουργούν σε μεγάλες θερμοκρασίες όταν το αυτοκίνητο είναι ακίνητο. Η μηχανή λειτουργεί κάτω από την πολύ φτωχή θερμοδυναμική αποδοτικότητα και έπειτα δεν υπάρχει κινούμενος αέρας για την εξαναγκασμένη μεταφορά. Εάν το όχημα έπειτα σταθμευθεί και αφεθεί να λειτουργεί σε μια πυκνή, ξηρή, και ψηλή βλάστηση ή φυλλώματα, το φυτικό υλικό μπορεί όχι μόνο να απομονώσει το κατώτατο σημείο του οχήματος, να αποτρέψει την κίνηση του αέρα κάτω από το όχημα αλλά και να επιδεινώσει την περαιτέρω

μεταφορά θερμότητας, αλλά επίσης μπορεί άμεσα να έρθει σε επαφή με το καυτό μέταλλο του καταλύτη. Ο συνδυασμός αυτών των παραγόντων μπορεί να οδηγήσει στην ανάφλεξη της καύσιμης βλάστησης κάτω από το όχημα.

Μια αιτία φωτιάς που εμφανίζεται περιστασιακά είναι αμέσως μετά από τον ανεφοδιασμό του οχήματος με καύσιμα. Η αμελής τροφοδότηση με καύσιμα του οχήματος μπορεί συχνά να αφήσει ένα μικρό ποσό βενζίνης παγιδευμένο στο μέρος ανεφοδιασμού των καύσιμων. Αυτό έπειτα μπορεί πέσει πάνω στην εξάτμιση και αναφλεγεί, ειδικά εάν το αυτοκίνητο έχει αφεθεί να λειτουργεί και ο σωλήνας της εξάτμισης είναι καυτός. Οι φλόγες έπειτα καταλαμβάνουν όλες τις περιοχές που έχουν βραχεί από την βενζίνη, και οι οποίες είναι συνήθως γύρω από το σημείο ανεφοδιασμού καύσιμων ή την πόρτα. Γι' αυτό τα βενζινάδικα πάντα έχουν ταμπέλες στις οποίες αναγράφονται τα εξής: "Κλείνεται τη μηχανή όταν ανεφοδιάζεστε με καύσιμα" ή κάτι παρόμοιο. Αυτός ο τύπος φωτιάς είναι ίσως λίγο πιο επικρατέστερος τώρα απ' ό,τι παλιότερα λόγω του πολλαπλασιασμού των βενζινάδικων αυτοεξυπηρέτησης. Πολλοί οδηγοί δεν είναι ιδιαίτερα προσεκτικοί στο χειρισμό της βενζίνης γύρω από τις αντλίες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. NFPA, Basic methodology in Fire and Explosioin Investigations, Boston, 2008
2. Underdown, G. W., Practical Fire Precaution, 2nd ed., Bower press, Farmborough, England, 2004
3. Kirk, P.L., Fire Investigation, John Wiley & Sons, New York, 1992
4. Versteeg, H.K., Malalasekera, W., An introduction to CFD, 2nd edition, Prentice Hall,2007
- 5.Keating, E. L., Applied Combustion, 2nd edition, CRC press,2007
6. Roblee, C.L., McKechnie, A.J., The Investigation of Fires, Prentice Hall, 1981
7. Heidl,J. H., Hazardous Materials Handbook, Glencoe Press, 2001
8. Lewis, B., Von Elbe, G., Combustion, Flames and Explosions of Gases, 2nd edition, Academic press, New York, 1999.
9. NFPA 921 Standard
10. NFPA 1033 Standard
11. NFPA Handbook, 7nd edition, 2005
12. DeHann, J.D., Fire Investigation, 3nd edition, Brady: A Prentice Hall Division, 1993
13. Saferstein, R., An introduction to Forensic Science, 2nd edition, Prentice Hall, 1999
14. Πληροφορίες από ποικίλες διευθύνσεις του διαδικτύου (Ελληνικές και Ξενόγλωσσες)
15. Πληροφορίες από δημοσιευμένο υλικό του ΤΕΕ
16. Πληροφορίες από εταιρίες πραγματογνωμοσυνών.