



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ

ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Αντιμετώπιση Τοξικών, Εκρηκτικών και Ασφυξιογόνων αερίων σε
Εργασιακούς χώρους με διατάξεις σταθερών συστημάτων ανίχνευσης»

Παπακαλός Πέτρος

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

ΓΕΩΡΓΑΚΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, Δρ. Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός, Επίκουρος Καθηγητής

ΠΑΤΡΑ 2021

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Πάτρα, Ημερομηνία

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Δρ. Ηλ. Μηχ. Κωνσταντίνος Γεωργάκας, Επίκουρος Καθηγητής
2. Δρ. Αναστάσιος Δροσόπουλος, Καθηγητής
3. Δρ. Ηλ. Μηχ. Βασίλειος Χαραλαμπίκος, Επίκουρος Καθηγητής

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τη συγκεκριμένη εργασία. Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου δεν υποδηλώνει απαραίτητα και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος. Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Παπακαλού Πέτρου που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία θα αναλύσει τις κύριες ομάδες επικίνδυνων αερίων, τις ιδιότητες τους και τον τρόπο που αυτές καθίστανται επικίνδυνες για την ομαλή διεξαγωγή βιομηχανικών διεργασιών ως προς τη σωματική ακεραιότητα του προσωπικού και την ασφάλεια των εγκαταστάσεων. Αρχικά θα γίνει μια ιστορική αναδρομή των μέσων προστασίας από επικίνδυνα αέρια και στη συνέχεια θα γίνει ανάλυση των βασικών ομάδων επικίνδυνων αερίων καθώς και των ιδιοτήτων τους, οι οποίες τα καθιστούν επιβλαβή ή και θανατηφόρα για τον ανθρώπινο οργανισμό και καταστροφικά για τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Προχωρώντας θα αναλυθούν οι τεχνολογίες ανίχνευσης που υπάρχουν διαθέσιμες στη σύγχρονη βιομηχανική ασφάλεια ως προς την αρχή λειτουργίας τους καθώς και προς τα χαρακτηριστικά και τις αδυναμίες τους. Στη συνέχεια θα αναλυθούν οι διατάξεις ασφαλείας που εφαρμόζονται σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις μέσα από την επιλογή ανιχνευτών σημείου ή ανοικτού πεδίου, την ανάλυση των διαθέσιμων σημάτων μετάδοσης και των δυνατοτήτων τους καθώς και των ελεγκτών σε συνδυασμό με τις δυνατότητες αυτοματισμού που διαθέτουν. Έχοντας αναλύσει τις δυνατότητες που προσφέρει η σύγχρονη τεχνολογία στην βιομηχανική ασφάλεια μέσω των σταθερών συστημάτων ανίχνευσης αναλύονται αντιπροσωπευτικά μοντέλα σταθερών συστημάτων. Κάποια συγκεκριμένα μοντέλα έχουν άμεση αναφορά στις βιομηχανικές εφαρμογές ανίχνευσης ασφυξιογόνων, τοξικών και εκρηκτικών αερίων και περιγράφουν τη λογική προσέγγισης αυτών. Τέλος, θα αναλυθεί ένα μοντέλο που αποτελεί συνδυασμό τεχνολογιών ανίχνευσης, όπως απαιτείται από τις ανάγκες της εφαρμογής με την παρουσία τοξικών και εκρηκτικών αερίων σε συνθήκες περιορισμένου χώρου, ώστε να επιτευχθεί με πλήρη ασφάλεια το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ	7
1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΜΕΤΡΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΑΕΡΙΩΝ	7
2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ	9
2. ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΑΕΡΙΑ	9
2.1. ΤΟΞΙΚΑ ΑΕΡΙΑ	11
2.2. ΑΣΦΥΞΙΟΓΟΝΑ ΑΕΡΙΑ	15
2.3. ΕΚΡΗΚΤΙΚΑ ΑΕΡΙΑ	18
3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ	23
3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ	23
3.1. ΣΩΛΗΝΙΣΚΟΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ (SHORT-TERM TUBES)	23
3.2. ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ	24
3.3. ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ	26
3.4. ΥΠΕΡΥΘΡΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ	28
3.5. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ	30
3.6. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΦΩΤΟΪΟΝΙΣΜΟΥ (PID)	31
4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ	33
4. ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ	33
4.1. ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	33
4.2. ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΑΙ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ	34
4.3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	34
4.4. ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΑ ΣΗΜΑΤΑ	35
4.5. ΠΙΝΑΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (CONTROLLERS)	36
5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ	38
5. ΜΟΝΤΕΛΑ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ	38
5.1. ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΑΖΩΤΟΥ ΕΝΤΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΓΟΜΩΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΚΑΛΩΔΙΟΥ	38
5.2. ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΣΕ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΕΞΑΝΙΟΥ	39
5.3. ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΥΔΡΟΘΕΙΟΥ, ΜΕΘΑΝΙΟΥ, ΟΞΥΓΟΝΟΥ, ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΚΑΙ ΠΤΗΤΙΚΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	39
5.4. ΕΠΙΒΛΕΨΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΚΑΙ ΤΟΞΙΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΟ ΧΩΡΟ	40
5.5. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΥΣΤΗΡΑ PELLET	41
6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ	53
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	53

Εισαγωγή

Κάθε μέρα οι άνθρωποι έρχονται σε επαφή με επικίνδυνες χημικές ουσίες είτε υπό τη μορφή παρασκευασμάτων είτε απευθείας με αυτές. Αυτό λαμβάνει χώρα τόσο στην εργασία τους όσο στην εν γένει καθημερινή ζωή. Σύμφωνα με μελέτη του Πανεπιστημίου της Κύπρου [1], σε ολόκληρο τον πλανήτη υπολογίζεται ότι χρησιμοποιούνται περισσότερες από 4,5 με 5 εκατομμύρια χημικές ουσίες, εκ των οποίων οι 100.000 είναι ανόργανες, αυξανόμενες ετησίως κατά χίλιες. Οι γνώσεις μας αναφορικά με τις επιδράσεις αυτών των ουσιών παραμένουν ελάχιστες καθώς επιβεβαιωμένα ή μέσω ενδείξεων έχουμε εικόνα για περίπου 100.000 – 120.000 από αυτές. Επίσης γνωρίζουμε ότι 20.000–25.000 είναι τοξικές, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι για το σχεδόν 97% των χρησιμοποιούμενων χημικών ουσιών του πλανήτη δεν έχουμε καμία εικόνα σχετικά με τις επιδράσεις τους. Η επικινδυνότητα δεν αφορά μόνο τη χρήση των ουσιών αυτών αλλά και τις διαδικασίες καταστροφής, απομάκρυνσης και καθαρισμού τους. Όπως γίνεται αντιληπτό, το ζήτημα αναγνώρισης επικίνδυνων ουσιών, λήψης προφυλάξεων και τρόπου αντίδρασης σε περίπτωση διαρροής, πυρκαγιάς ή ατυχήματος, εφόσον εργαζόμαστε με χημικές ουσίες, είναι θέμα ζωής ή θανάτου.

Ο ορισμός της έννοιας του χημικού παράγοντα εμπεριέχει «κάθε χημικό στοιχείο ή ένωση, ελεύθερο ή σε πρόσμειξη, είτε στη φυσική κατάστασή του είτε ως συστατικό προϊόντος παραγωγής, που χρησιμοποιείται ή απελευθερώνεται ακόμα και υπό μορφή αποβλήτων, μέσω οιασδήποτε εργασιακής δραστηριότητας, σκοπίμως ή όχι, ανεξαρτήτως εμπορικής ή μη διάθεσης του». Ταυτόχρονα ως επικίνδυνοι χημικοί παράγοντες ορίζονται «όλοι οι χημικοί παράγοντες που πληρούν τα κριτήρια κατάταξης ως επικίνδυνες ουσίες σύμφωνα με το παράρτημα VI της οδηγίας 67/548/ΕΟΚ [2], είτε η ουσία αυτή έχει καταταγεί δυνάμει της εν λόγω οδηγίας είτε όχι, εκτός από τις ουσίες οι οποίες πληρούν μόνο τα κριτήρια κατάταξης ως επικινδύνων για το περιβάλλον. Επίσης οι χημικοί παράγοντες που πληρούν τα κριτήρια κατάταξης ως επικίνδυνο παρασκεύασμα κατά την έννοια της οδηγίας 88/379/ΕΟΚ, (όπως έχει αντικατασταθεί με την οδηγία 99/45/ΕΚ) [3], είτε το παρασκεύασμα αυτό έχει καταταγεί δυνάμει της εν λόγω οδηγίας είτε όχι, εκτός από τα παρασκευάσματα τα οποία πληρούν μόνο τα κριτήρια κατάταξης ως επικινδύνων για το περιβάλλον. Τέλος, ως επικίνδυνος ορίζεται κάθε χημικός παράγοντας που, ενώ δεν πληροί τα κριτήρια κατάταξης ως επικινδύνου σύμφωνα με τα πιο πάνω σημεία, ενδέχεται να συνιστά κίνδυνο για την ασφάλεια και την υγεία των εργαζομένων λόγω των ιδιοτήτων του. Πιθανό κίνδυνο μπορεί επίσης να συνιστά ο τρόπος χρήσης ή φύλαξής του στο χώρο εργασίας. Στην ανωτέρω οδηγία συμπεριλαμβάνεται κάθε χημικός παράγοντας για τον οποίο έχει καθορισθεί οριακή τιμή επαγγελματικής έκθεσης δυνάμει του άρθρου 3 της οδηγίας 98/24/ΕΚ» [4]. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι η επικινδυνότητά δεν έγκειται μόνο στις τοξικολογικές ή στις φυσικοχημικές ιδιότητες των χημικών παραγόντων. Η θερμοκρασία, η πίεση, η ικανότητά απορρόφησης ή μετατόπισης του οξυγόνου του ατμοσφαιρικού αέρα και η φυσική τους μορφή κατά τη χρήση ή το χειρισμό τους ορίζονται ως χαρακτηριστικά επικινδυνότητάς. Παράδειγμα αποτελεί το άζωτο το οποίο ως αδρανές αέριο δεν είναι τοξικό μεν αλλά ασφυξιογόνο λόγω της μετατόπισης οξυγόνου που προκαλεί η παρουσία του.

Η συγκεκριμένη οδηγία ορίζει ως εγγενή κίνδυνο «την εγγενή ιδιότητα ενός χημικού παράγοντα που μπορεί να προξενήσει βλάβη». Ως κίνδυνο εννοούμε «την πιθανότητα, υπό τις προϋποθέσεις, να ενεργοποιηθεί η δυνατότητα βλάβης του χημικού παράγοντα κατά τη διάρκεια χρήσης του ή έκθεσης σε αυτόν». Με βάση τα ανωτέρω μπορούμε να προχωρήσουμε σε αξιολόγηση του κινδύνου βασιζόμενοι σε δύο άξονες: τις επιπτώσεις της βλάβης και την πιθανότητα αυτή να συμβεί. Άρα θα πρέπει να γνωρίζουμε την εγγενή επικινδυνότητα του παράγοντα και τις συνθήκες χρήσης και χειρισμού, όπως αυτές ορίζονται σε συνδυασμό με τα απαραίτητα προληπτικά και προστατευτικά μέτρα του χώρου εργασίας. Μόνιμος εγγενής

κίνδυνος είναι λοιπόν η παρουσία υδρόθειου στην διαδικασία παραγωγής μια επιχείρησης, το επίπεδο κινδύνου όμως παραμένει πολύ χαμηλό, εφόσον το υδρόθειο είναι συσκευασμένο σε στεγανούς περιέκτες ασφαλείας, η διεργασία είναι κλειστή, έχουν ληφθεί μέτρα σε περίπτωση διαρροής κλπ.

Οι έννοιες της έκθεσης σε χημικούς παράγοντες και του ατυχήματος από χημικούς παράγοντες ως ορισμοί δεν περιέχονται στην οδηγία 98/24/EK [4]. Συνδέονται όμως άμεσα με τον τρόπο χρήσης των εννοιών βλάβης και εγγενούς κινδύνου ως προς την εφαρμογή κατευθυντήριων γραμμών προστασίας και πρόληψης. Ως έκθεση σε χημικούς παράγοντες ορίζεται «κάθε κατάσταση εργασίας, η οποία χαρακτηρίζεται από την παρουσία ενός χημικού παράγοντα και την επαφή αυτού με τον εργαζόμενο, συνήθως μέσω του δέρματος ή της εισπνοής». Ως ατύχημα με χημικούς παράγοντες ορίζεται «κάθε μη φυσιολογικό γεγονός που συμβαίνει με αιφνίδιο και απροσδόκητο τρόπο κατά τη διάρκεια της εργασίας και που προκαλεί απότομη έκθεση των εργαζομένων σε χημικούς παράγοντες ή στην ενέργεια που εκλύεται από αυτούς».

Από τα ανωτέρω προκύπτει το συμπέρασμα ότι η ευρεία χρήση χημικών ουσιών στις βιομηχανικές εφαρμογές σε συνδυασμό με τις συνέπειες ενός ατυχήματος που θα προκαλέσει διαρροή τους, επιβάλλει την έγκαιρη και έγκυρη ανίχνευση αυτών των διαρροών ώστε να υπάρξει άμεση αντίδραση.

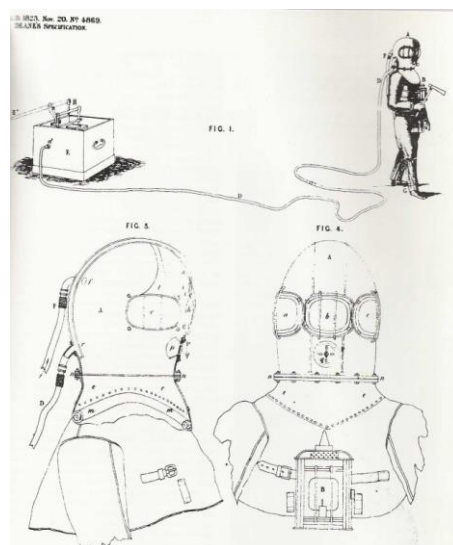
1^Ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

1. Ιστορική αναδρομή μέτρων προστασίας επικίνδυνων αερίων

Ο Christian Augustus Siebe ήταν ένας Βρετανός μηχανικός, γνωστός κυρίως για τη συμβολή του στον εξοπλισμό καταδύσεων, όπου το 1819 δημιούργησε το δικό του σχέδιο ενός κράνους προσαρμοσμένου σε μια πλήρη στολή από υδατοστεγή καμβά [5]. Η πραγματική επιτυχία του εξοπλισμού ήταν μια βαλβίδα στο κράνος για την είσοδο και έξοδο του αέρα. Η εταιρεία που είχε το όνομά του Siebe Gorman Ltd, ιδρύθηκε από αυτόν και τον γαμπρό του, Gorman, διακρίθηκε στην ανάπτυξη και κατασκευή αναπνευστήρων για διάφορους σκοπούς και αργότερα βοήθησε στην ανάπτυξη αναπνευστικών μηχανισμών άμυνας. Με τη σειρά του ο John Deane ήταν παρών όταν τα άλογα του παγιδεύτηκαν από φωτιά σε ένα στάβλο στην Αγγλία. Για να ξεπεράσει τους καπνούς και τις αναθυμιάσεις της πυρκαγιάς έβαλε ένα μεσαιωνικό κράνος ιππότη από πανοπλία που αντλούσε αέρα μέσω σωλήνα από αντλία νερού πυροσβεστικής σώζοντας όλα τα άλογα. Το 1823, κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας ένα "κράνος καπνού" (εικόνα 1.1) για χρήση από πυροσβέστες σε περιοχές γεμάτες καπνό, η οποία αργότερα τροποποιήθηκε για τους δύτες [6].

Ο Lewis Phectic Haslett ήταν Αμερικανός εφευρέτης και το πρώτο άτομο που έλαβε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για μια πρώιμη μορφή της μάσκας αερίου το 1849 [7]. Η συσκευή του Haslett επιτύγχανε να φιλτράρει τη σκόνη από τον αέρα εξ' ου και το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας έκανε αναφορά στη συσκευή ως «Αναπνευστήρα ή Προστατευτικό πνευμόνων» [8]. Με δύο διπλώματα ευρεσιτεχνίας (1860 και 1867), ο σκωτσέζος χημικός John Stenhouse θα είναι πάντα γνωστός για την εφαρμογή των απορροφητικών ιδιοτήτων του ξυλάνθρακα στην απολύμανση και απορρόφηση οσμών χρησιμοποιώντας φίλτρα και αναπνευστήρες άνθρακα [9].

Την ίδια περίοδο, ο Benoît Rouquayrol είχε κατοχυρώσει τρία διπλώματα ευρεσιτεχνίας για συσκευές που είχαν σχεδιαστεί για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης σε ορυχεία, με σκοπό την παροχή αέρα στους ανθρακωρύχους σε περίπτωση πυρκαγιάς ή πλημμύρας [10]. Ο August Denayrouze διερεύνησε τη δυνατότητα προσαρμογής του ρυθμιστή πίεσης και εξέλιξης του για υποβρύχια χρήση. Έτσι, οι δύο άνδρες σχεδίασαν και κατοχύρωσαν με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας τη «στολή καταδύσεων Rouquayrol-Denayrouze» το 1864. Αυτή θα ήταν η πρώτη στολή κατάδυσης που θα μπορούσε να προμηθεύσει αέρα στον δύτη ανάλογα με την αναπνοή του [11].



ΕΙΚΟΝΑ 1.1 - ΣΧΕΔΙΟ ΕΥΡΕΣΙΤΕΧΝΙΑΣ JOHN DEANE



ΕΙΚΟΝΑ 1.2 - ΑΝΤΙΑΣΦΥΞΙΟΓΟΝΕΣ ΜΑΣΚΕΣ 1ΟΥ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΥ ΠΟΛΕΜΟΥ

Ο 1^{ος} Παγκόσμιος Πόλεμος καταφθάνει με τις αντίπαλες πλευρές να βρίσκονται απροετοίμαστες απέναντι στη χρήση δηλητηριωδών αερίων ως όπλου. Με την εμφάνιση των πολεμικών χημικών αερίων, αρχίζει και η ανάπτυξη των μέσων προστασίας με την παραγωγή ολοένα και πιο αποτελεσματικών αντιασφυξιογόνων масκών (εικόνα 1.2). Οι πρώτες όμως μάσκες τέτοιου τύπου έχουν τη ρίζα τους πολύ πριν από το 1915, όταν οι ανάγκες για αναπνεύσιμο αέρα σε ανθρακωρύχους, πυροσβέστες και δύτες επέβαλαν την άμεση εύρεση λύσης.

Σε αντίθεση με την απόφαση της Διάσκεψης της Χάγης το 1899 περί απαγόρευσης χρήσης πολεμικών αερίων, τα γερμανικά στρατεύματα έκαναν χρήση αερίου χλωρίνης εναντίον των γαλλικών στρατευμάτων με ολέθρια αποτελέσματα για χιλιάδες στρατιώτες αλλά και αμάχους, καθώς το αέριο μεταφέρθηκε με τον άνεμο αρκετά χιλιόμετρα στα μετόπισθεν [12]. Το φωσγένιο κάνει την εμφάνισή του το 1915 μαζί με τα δακρυγόνα που χρησιμοποιούνται από Γερμανούς και Βρετανούς. Το καυστικό αέριο της μουστάρδας παρόλα αυτά, που χρησιμοποιήθηκε από τους Γερμανούς εναντίον των βρετανικών στρατευμάτων στη γαλλική πόλη Υπρ, κατέχει την επίσημη πρωτιά μαζικής χρήσης χημικού όπλου [13]. Από την ονομασία της πόλης οι Γάλλοι ονόμασαν το συγκεκριμένο χημικό όπλο υπερίτη. Μετέπειτα το αέριο χρησιμοποιήθηκε και από τα συμμαχικά στρατεύματα.



ΕΙΚΟΝΑ 1.3 - ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΑΝΤΙΑΣΦΥΞΙΟΓΟΝΕΣ ΜΑΣΚΕΣ

Ο πρώτος επίσημος εξοπλισμός που μπήκε σε παραγωγή είχε εμφανείς ελλείψεις σε σχεδιασμό και αποτελεσματικότητα, χρησιμοποιώντας ένα μικρό μαξιλάρι, εμποτισμένο με ένα καταλυτικό υγρό, δεμένο μπροστά στο πρόσωπο. Η προστασία των ματιών από τα δακρυγόνα στηριζόταν στη χρήση κλειστών γυαλιών. Σειρά είχε το αντιασφυξιογόνο κράνος, το οποίο ουσιαστικά ήταν μια σακούλα η οποία φοριόταν στο κεφάλι εμποτισμένη με ένα χημικό όπως γλυκερίνη ή σόδα με σκοπό να αδρανοποιήσει το αέριο. Η καλύτερη προσέγγιση προστασίας της περιόδου του Α' Παγκοσμίου

παρόλα αυτά έρχεται από τους Βρετανούς με μία μάσκα με μικρό αναπνευστήρα. Ήταν μια μάσκα με γυαλιά στα μάτια, ένα φίλτρο για αναπνοή και ένα λάστιχο για την εφαρμογή της [14]. Αυτή η μάσκα είναι ο πρόγονος των масκών που χρησιμοποιούνται σήμερα (εικόνα 1.3).

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

2. Επικίνδυνα Αέρια

Μεγάλο μερίδιο του πλήθους των χημικών αερίων που χρησιμοποιούνται στην καθημερινότητά μας έχουν ιδιότητες οι οποίες μπορούν να αποβούν μοιραίες για τον άνθρωπο όπως έγινε κατανοητό στο προηγούμενο κεφάλαιο και αξιολογούνται χρησιμοποιώντας διάφορες μονάδες μέτρησης. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονίσουμε πως το υπεύθυνο όργανο του ανθρώπινου οργανισμού για τον εντοπισμό αερίων μέσω της οσμής, έχει τη δυνατότητα να αντιληφθεί ένα ελάχιστο ποσοστό των επικίνδυνων αερίων. Αυτό συμβαίνει είτε γιατί κάποια είναι άοσμα, είτε γιατί όσα έχουν οσμή συνήθως γίνονται αντιληπτά μόνο σε μικρές και ακίνδυνες περιεκτικότητες, καθώς οι οσφρητικοί κάλυκες της μύτης δεν μπορούν να ανιχνεύσουν μεγάλες περιεκτικότητες.

Κάθε χημικός παράγοντας συνοδεύεται απαραίτητως από το δελτίο δεδομένων ασφάλειας υλικού (MSDS – Material Safety Data Sheet) το οποίο αποτελεί μια πλήρη αναφορά για την χημική ουσία τις ιδιότητες της και τα μέτρα προστασίας που πρέπει να λαμβάνονται κατά την χρήση και έκθεση σε αυτή. Οι βασικότερες κοινές πληροφορίες σε όλα τα MSDS χημικών αερίων είναι τα ακόλουθα:

CAS Number	Ο Αριθμός CAS αποτελεί τον ειδικό αναγνωριστικό αριθμό κάθε ουσίας συμπεριλαμβανομένων των ισομερών της. Η Υπηρεσία Χημικής Ταυτοποίησης, Chemical Abstracts Service, (CAS), τμήμα της Αμερικάνικης Χημικής Εταιρείας, αποδίδει αυτούς τους αριθμούς μητρώου σε κάθε χημική ουσία.
------------	--

Density Ratio (Air=1)	Η συγκεκριμένη αναλογία δηλώνει την πυκνότητα του αερίου σε σχέση με την πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Η αναλογία αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιπτώσεις διαρροής καθώς δίνει την γενική κατεύθυνση του αερίου όντας ελαφρύτερο ή βαρύτερο σε σχέση με τον ατμοσφαιρικό αέρα.
-----------------------	--

PEL	Αφορά το όριο μέγιστης περιεκτικότητας που μπορεί να εκτεθεί ο μέσος ανθρώπινος οργανισμός στη χημική ουσία. (Permissible Exposure Limit)
-----	---

IDLH	Αφορά την περιεκτικότητα κατά την οποία το άτομο θα πρέπει να απομακρυνθεί άμεσα διότι διατρέχει κίνδυνο για
------	--

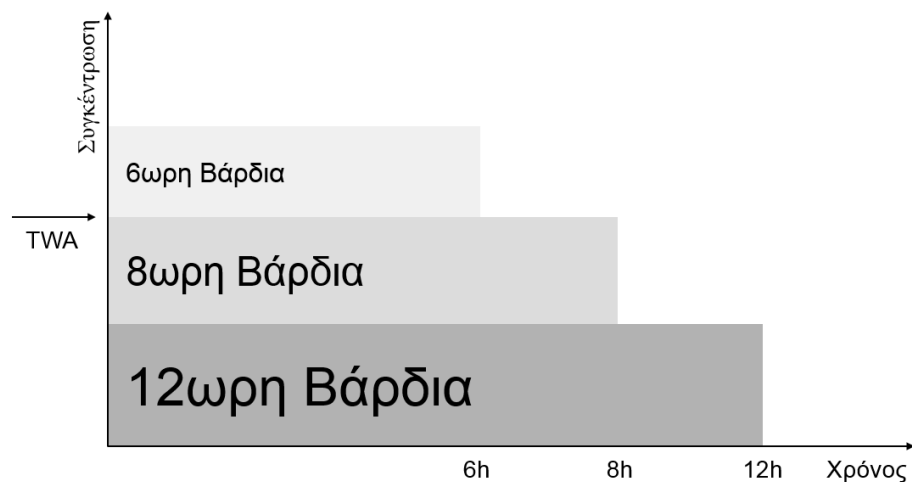
την ζωή και την υγεία του. Το όριο αφορά μέσο χρόνο έκθεσης τα 30 λεπτά. (IDLH-Immediate Danger for Life and Health)

TWA

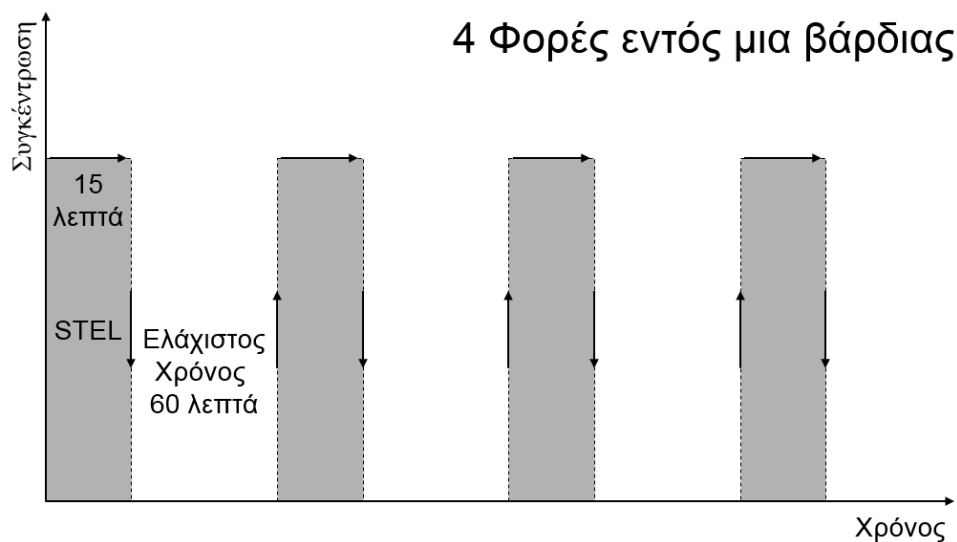
Ο δείκτης χρονοσταθμισμένου μέσου όρου (TWA-Time-weighted average)(εικόνα 2.1) αφορά την μέση επιτρεπτή έκθεση σε μια χημική ουσία για μέγιστο επίπεδο έκθεσης σε διάστημα 8 ωρών, μέσα σε μια εργάσιμη εβδομάδα πέντε ημερών.

STEL

Το όριο βραχυπρόθεσμης έκθεσης (STEL-Short Time Exposure Limit) είναι το μέγιστο αποδεκτό επίπεδο έκθεσης σε διάστημα 15 λεπτών, όχι περισσότερο από 4 φορές την ημέρα με τουλάχιστον 1 ώρα διαφορά ώρα μεταξύ των εκθέσεων. (εικόνα 2.2)



ΕΙΚΟΝΑ 2.1 - TWA



ΕΙΚΟΝΑ 2.2 - STEL

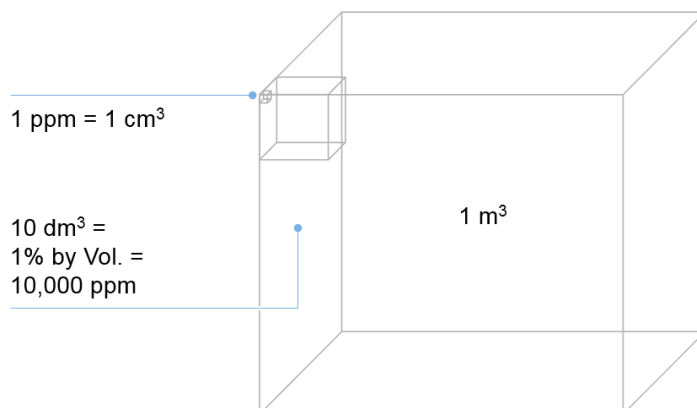
Τα επικίνδυνα αέρια κατατάσσονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με τις ιδιότητες τους και τον τρόπο που επιδρούν στον ανθρώπινο οργανισμό. Σύμφωνα με τα παραπάνω οι κατηγορίες αυτές είναι τα Τοξικά, τα Ασφυξιογόνα και τα Εκρηκτικά αέρια.

2.1. Τοξικά αέρια

Η πρώτη μεγάλη κατηγορία επικίνδυνων αερίων είναι τα τοξικά. Ως τοξικό ορίζεται οποιοδήποτε αέριο μπορεί να προκαλέσει βλάβη σε ιστούς του ανθρώπινου σώματος, στο κεντρικό νευρικό σύστημα, σοβαρή ασθένεια ή ακόμη και θάνατο. Ορισμένα τοξικά αέρια δεν είναι ορατά, δεν έχουν οσμή και / ή μπορεί να μην έχουν άμεσο αποτέλεσμα αλλά είναι ικανά να προκαλέσουν θάνατο. Όπως είναι ευνόητο, χωρίς τη χρήση οργάνων ανίχνευσης δεν είναι σοφό να βασιζόμαστε μόνο στην ανθρώπινη αίσθηση.

Βασικό χαρακτηριστικό των τοξικών αερίων είναι η μονάδα μέτρησης τους, η οποία είναι το ppm (Parts per Million). Αυτό μεταφράζεται σχηματικά με την διαίρεση ενός κυβικού μέτρου σε κύβους του ενός cm το οποίο θα μας δώσει ως αποτέλεσμα 1.000.000 κύβους του 1 cm. Ένα ppm ορίζεται σαν 1cm³ (εικόνα 2.3). Με δεδομένο ότι κάποια τοξικά αέρια μπορούν

να επιφέρουν ακόμα και το θάνατο με περιεκτικότητα μερικών ppm, είναι εύκολο να αντιληφθούμε την σοβαρότητα των επιπτώσεων των τοξικών αερίων καθώς και τη δυσκολία στην ανίχνευσή τους.



ΕΙΚΟΝΑ 2.3 - ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ PPM

Στη συνέχεια θα παρατεθούν ορισμένα από τα συνηθέστερα τοξικά αέρια σε βιομηχανικές εφαρμογές καθώς και οι ιδιότητες τους.

Υδρόθειο –

CAS number: 7783-06-4

H₂S

Κατώτατο όριο 0.04 - 0.1 ppm

οσμής:

Ανώτατο όριο οσμής: 200 - 300 ppm

TWA: 5 ppm

Density ratio (air = 1): 1.19

Χρώμα: Άχρωμο

Οσμή: Κλούβιο αυγό

Λοιπά Ιδιαίτερα εύφλεκτο και υδατοδιαλυτό

Χαρακτηριστικά:

Επιπτώσεις: 50-100 ppm: Ερεθισμός των ματιών και των αεραγωγών μετά από μία ώρα έκθεσης.

200-300 ppm: Ισχυρός ερεθισμός των ματιών και των αεραγωγών

500-700 ppm: Ζάλη, κεφαλαλγία και αίσθημα ασθένειας εντός 15 λεπτών

700-900 ppm: Αναισθησία και διακοπή της αναπνοής

1.000-2.000 ppm: Άμεση διακοπή της αναπνοής (άπνοια)

Μονοξείδιο
του Άνθρακα –
CO

CAS number: 630-08-0

TWA: 30 ppm

Density ratio (air = 1): 0.97

IDLH: 1,200 ppm

Χρώμα: Άχρωμο

Οσμή: Άοσμο

Λοιπά Ιδιαίτερα εύφλεκτο

Χαρακτηριστικά:

Επιπτώσεις: 800 ppm: Πονοκέφαλος, αίσθημα αδιαθεσίας και ζάλη μετά από 45 λεπτά έκθεσης.

1.600 ppm: Υπερ-εργήγηση μετά από 20 λεπτά έκθεσης

3.200 ppm: Αναισθησία ή θάνατος μετά από 20 λεπτά έκθεσης

6.400 ppm: Ζάλη μετά από 2 - 3 λεπτά και θάνατος μετά από 10 - 15 λεπτά

Χλώριο – Cl₂

CAS number: 7782-50-5

TWA: 0.5 ppm

Density ratio (air = 1): 2.49

IDLH: 10.0 ppm

Χρώμα: Κιτρινοπράσινο

Οσμή: Όξινη

Λοιπά Υδατοδιαλυτό

Χαρακτηριστικά:

Επιπτώσεις: 0.06 ppm: Ανώτατο Όριο οσμής

5 ppm: Μέτριος ερεθισμός της ανώτερης αναπνευστικής οδού

40 ppm: Πνευμονίτιδα λόγω τοξικότητας
και πνευμονικό οίδημα

430 ppm: Η έκθεση είναι θανατηφόρα
μετά από 30 λεπτά

1.000 ppm: Θανατηφόρα έκθεση μέσα σε
λίγα λεπτά

Διοξείδιο του

CAS number: 7446-09-5

θείου – SO₂

TWA: 1 ppm

Density ratio (air = 1): 2.26

IDLH: 100 ppm

Χρώμα: Άχρωμο

Οσμή: Πικάντικη, ελαφριά γλυκιά μυρωδιά

Λοιπά Δεν είναι εύφλεκτο

Χαρακτηριστικά:

Επιπτώσεις: 6 ppm: Ερεθισμός στα μάτια και στην
αναπνευστική οδό

30 ppm: Δυσκολία αναπνοής

150 ppm: Πνευμονίτιδα λόγω

τοξικότητας και πνευμονικό οίδημα

400 ppm: Θανατηφόρο σε σύντομο

χρονικό διάστημα

Αμμωνία –

CAS number: 7664-41-7

NH₃

TWA: 20 ppm

Density ratio (air = 1): 0.6

IDLH: 300 ppm

Χρώμα: Άχρωμο

Οσμή: Πικάντικη μυρωδιά

Λοιπά Υδατοδιαλυτή και όχι ιδιαίτερα

Χαρακτηριστικά: εύφλεκτη

Επιπτώσεις: 1 ppm: Ανώτατο Όριο οσμής

20 ppm: Ερεθισμός στα μάτια και στην αναπνευστική οδό
100 ppm: Δυσκολία αναπνοής
5.000 ppm: Θανατηφόρα σε σύντομο χρονικό διάστημα

Βενζίνη – C₆H₆

CAS number: 71-43-2

TWA: 1 ppm

Density ratio (air = 1): 2.7

IDLH: 500 ppm

Χρώμα: Άχρωμο

Οσμή: Πικάντικη μυρωδιά

Λοιπά Χαρακτηριστική μυρωδιά, πολύ

Χαρακτηριστικά: εύφλεκτη και ελαφρώς διαλυτή στο νερό

Επιπτώσεις: 1 ppm: Ανώτατο Όριο οσμής

1.500 ppm: 60 λεπτά έκθεσης προκαλούν σοβαρά συμπτώματα

20.000 ppm: Θανατηφόρα σε σύντομο χρονικό διάστημα

2.2. Ασφυξιογόνα Αέρια

Η δεύτερη μεγάλη κατηγορία επικίνδυνων αερίων είναι τα ασφυξιογόνα. Κύρια χαρακτηριστικά τους, που τα εντάσσουν στην κατηγορία των επικίνδυνων αερίων, είναι η ιδιότητά τους να εκτοπίζουν μεγάλες ποσότητες ατμοσφαιρικού αέρα και κατά συνέπεια και οξυγόνο και η παρεμπόδιση ανταλλαγής οξυγόνου-διοξειδίου του άνθρακα εντός των πνευμόνων. Με αντίστοιχη λογική ασφυξιογόνα θεωρούνται και τα αέρια που παρεμποδίζουν της λειτουργία του κέντρου του εγκεφάλου που ελέγχει τη διαδικασία της αναπνοής καθώς και τη γενικότερη μεταφορά οξυγόνου στον ανθρώπινο οργανισμό. Αποτέλεσμα σε όλες τις περιπτώσεις είναι η έλλειψη οξυγόνου και η πρόκληση ασφυξίας. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα αέρια που χαρακτηρίζονται ως ασφυξιογόνα δεν διαθέτουν απαραίτητα μόνο αυτή την ιδιότητα που τα χαρακτηρίζει ως επικίνδυνα, όμως η ασφυξιογόνος ιδιότητα έχει τη μεγαλύτερη πιθανότητα να εμφανιστεί με βάση τις φυσιολογικές συνθήκες περιβάλλοντος και χρήσης.

Η ασφυξία εμφανίζεται όταν ο εγκέφαλος και τα ζωτικά όργανα στερούνται οξυγόνου. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε έλλειψη οξυγόνου στον παρεχόμενο αέρα όπως στην περίπτωση εισπνοής καπνού. Επίσης μπορεί να οφείλεται σε παρεμπόδιση της αναπνοής, βλάβη στην κυκλοφορία του αίματος ή στην αδυναμία των ερυθρών αιμοσφαιρίων να μεταφέρουν οξυγόνο, όταν τα ερυθρά αιμοσφαίρια είναι κορεσμένα από μονοξείδιο του άνθρακα.

Οι χημικές ουσίες έχουν πολλές διαφορετικές ιδιότητες ταυτόχρονα. Πολλές από τις χημικές ουσίες που θεωρούνται επικίνδυνες διαθέτουν ιδιότητες οι οποίες θα μπορούσαν να τις κατατάξουν σε περισσότερες από μία κατηγορίες επικίνδυνων αερίων. Ανάλογα με την βιομηχανική εφαρμογή και τις ιδιότητες που αναδεικνύονται από αυτή χαρακτηρίζεται και η ουσία. Παράδειγμα αποτελεί το Διοξείδιο του Άνθρακα το οποίο διαθέτει και τοξικές ιδιότητες και ασφυξιογόνες. Παρόλα αυτά, το γεγονός ότι οι τοξικές ιδιότητες του εμφανίζονται σε μεγάλες περιεκτικότητες σε συνδυασμό με το υψηλό βάρος του σε σχέση με τον ατμοσφαιρικό αέρα, μας οδηγούν στο να το χαρακτηρίζουμε καταρχήν ασφυξιογόνο και έπειτα τοξικό. Με την ίδια ακριβώς λογική οποιαδήποτε ουσία θα μπορούσε να θεωρηθεί ασφυξιογόνα εφόσον υπήρχαν σε περιεκτικότητα επαρκή ώστε να εκτοπίσουν το αναγκαίο για τον άνθρωπο οξυγόνο. Το γεγονός όμως ότι η τοξικές ιδιότητες αυτής της ουσίας θα είχαν λάβει δράση πολύ πριν φτάσουμε στο σημείο ασφυξίας καθιστά το χαρακτηρισμό άσκοπο.

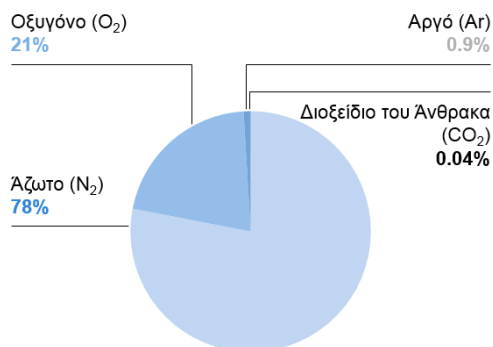
Για να κατανοήσουμε καλύτερα την έννοια του εκτοπισμού οξυγόνου και την επικινδυνότητα των ασφυξιογόνων αερίων θα πρέπει να πρώτα γίνει κατανοητή η έννοια του ατμοσφαιρικού αέρα.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας που αναπνέουμε αποτελείται από ένα μείγμα αερίων με κύρια συστατικά το Άζωτο και το Οξυγόνο. Οι αναλογίες τους παραμένουν σταθερές ανεξαρτήτως του όγκου και για αυτό ως μονάδα μέτρησης ορίζεται η αναλογία κατ' όγκο (%Vol). Με βάση τα παραπάνω το μείγμα ατμοσφαιρικού αέρα αντικατοπτρίζεται στην εικόνα 2.4 και οι συγκεντρώσεις αναφέρονται στον Πίνακα 2.1. Εντός του ατμοσφαιρικού μείγματος υπάρχουν σε μικρές ποσότητες υδρογόνο, διοξείδιο του άνθρακα και το σύνολο της ομάδας ευγενών αερίων πλην του Ραδονίου.

Συγκεντρώσεις αερίων ατμοσφαιρικού αέρα

Οξυγόνο - O ₂ :	20.93% Vol	Αργό - Ar:	0,9325% Vol
Άζωτο - N ₂ :	78,10% Vol	Διοξείδιο του Άνθρακα -	0,03% Vol
		CO ₂ :	
Υδρογόνο -	0,01% Vol	Νέον - Ne:	0,0018% Vol
H ₂ :			
Ήλιο - He:	0,0005% Vol	Κρυπτό - Kr:	0,0001% Vol
Ξένο - Xe:	0,000009% Vol		

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1



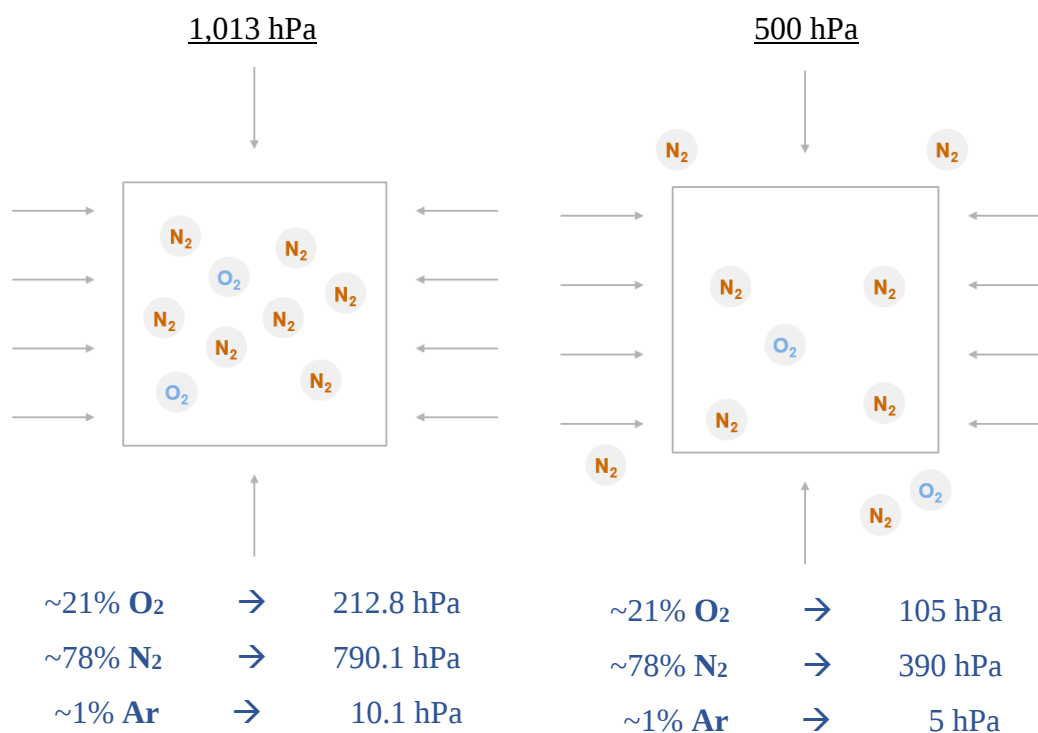
ΕΙΚΟΝΑ 2.4 - ΜΕΙΓΜΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ

Απουσία οξυγόνου θεωρούμε ότι υφίσταται όταν η περιεκτικότητα πέσει κάτω από το 20,9% Vol που υπό κανονικές συνθήκες υπάρχει στον ατμοσφαιρικό αέρα. Παρόλα αυτά υπάρχει μια διαβάθμιση ανάλογα με την πτώση του ποσοστού του οξυγόνου στον ατμοσφαιρικό αέρα και στις επιπτώσεις αυτού στον ανθρώπινο οργανισμό. Σαν κατώτερο επιτρεπτό όριο θέτουμε την περιεκτικότητα 19,5% Vol οξυγόνου. Από 19-15% Vol μειώνεται η ικανότητά μας να επιτελέσουμε οποιαδήποτε σωματική εργασία. Από 14-12% Vol έχουμε αύξηση καρδιακών παλμών και έλλειψη αντίληψης και συντονισμού. Από 12-10% Vol παρουσιάζουμε αύξηση ρυθμού αναπνοής, κακή κρίση και μπλε χρώμα στα χείλη. Από 10-8% Vol παρουσιάζουμε εγκεφαλική ανεπάρκεια, χλωμό πρόσωπο, ναυτία τάση προ έμετο και λιποθυμία. Σε έκθεση με περιεκτικότητες από 8-6% Vol εντός 8 λεπτών οδηγούμαστε σε θάνατο και σε περιεκτικότητες κάτω του 6% Vol εντός 40 δευτερολέπτων, το αποτέλεσμα είναι κωματώδης κατάσταση με σπασμούς και θάνατος.

Σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την παροχή οξυγόνου στον ανθρώπινο οργανισμό είναι και η ατμοσφαιρική πίεση. Όπως αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου οι αναλογίες των χημικών στοιχείων του ατμοσφαιρικού αέρα παραμένουν σταθερές σε %Vol. Η πυκνότητα όμως των στοιχείων επηρεάζεται δραστικά με την αλλαγή ατμοσφαιρικής πίεσης. Στο επίπεδο της θάλασσας και σε 25 °C έχουμε ατμοσφαιρική πίεση 1 ατμόσφαιρας (atm) όπου:

$$1 \text{ atm} = 1.013 \text{ hPa}$$

Η φυσιολογική πίεση των 1013 hPa (hectopascal) είναι το άθροισμα των μερικών πιέσεων του συνόλου του μείγματος αερίων του ατμοσφαιρικού αέρα. Ως μερική πίεση σε hectopascal ορίζουμε την δύναμη που ασκείται στα μόρια του στοιχείου σε επιφάνεια 1μ². Όσο μικρότερη η μερική πίεση τόσο λιγότερα και τα μόρια ενός στοιχείου στη μονάδα όγκου. Κατά συνέπεια ισχύει σχηματικά η παρουσίαση της εικόνας 2.5:



ΕΙΚΟΝΑ 2.5 - ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΟΡΙΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ

Ως φυσικό επακόλουθο των παραπάνω είναι το να ελαττώνονται τα μόρια οξυγόνου, δημιουργώντας πρόβλημα στην αναπνοή χωρίς να διαταράσσεται η αναλογία σύστασης του ατμοσφαιρικού αέρα.

Μερικά από τα χαρακτηριστικότερα ασφυξιογόνα αέρια είναι η αμμωνία η οποία παρεμποδίζει την ανταλλαγή οξυγόνου/διοξειδίου του άνθρακα εντός των πνευμόνων, το μονοξείδιο του άνθρακα που εμποδίζει τη μεταφορά οξυγόνου μέσω του αίματος στο ανθρώπινο σώμα και το υδρόθειο το οποίο επηρεάζει το κέντρο λειτουργίας αναπνοής του εγκεφάλου. Όσον αφορά την εκτόπιση ατμοσφαιρικού αέρα/οξυγόνου τα συνηθέστερα αέρια στις βιομηχανικές εφαρμογές είναι το άζωτο και το διοξείδιο του άνθρακα. Το άζωτο με Αριθμό CAS: 7727-37-9 είναι διαφανές, άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο χωρίς καμία τοξική ιδιότητα για τον ανθρώπινο οργανισμό. Το διοξείδιο του άνθρακα αντιθέτως έχει τα ακόλουθα στοιχεία.

Διοξείδιο του

CAS number: 124-38-9

Άνθρακα –

TWA: 5,000 ppm

CO₂

Density ratio (air = 1): 1.56

IDLH: 40,000 ppm

Χρώμα: Άχρωμο (σε στερεά κατάσταση λευκό)

Οσμή: Άοσμο

Λοιπά Καθόλου εύφλεκτο και μέτρια διαλυτό

Χαρακτηριστικά: στο νερό

Επιπτώσεις: 2% Vol.: 50% ταχύτερη αναπνοή

8 – 10% Vol.: Πονοκέφαλος, βουητό στα
αυτιά, ζάλη, αύξηση της αρτηριακής
πίεσης

> 10% Vol: Σπασμοί και λιποθυμία

> 15% Vol.: Εγκεφαλικό επεισόδιο

> 25% Vol.: Θάνατος

2.3. Εκρηκτικά Αέρια

Η τρίτη κατηγορία επικίνδυνων αερίων είναι τα εκρηκτικά ή εύφλεκτα αέρια. Όπως είναι προφανές η συγκεκριμένη κατηγορία αφορά αέρια που έχουν την ιδιότητα να φλέγονται ή και να εκρήγνυνται με αποτέλεσμα ο κίνδυνος να είναι είτε άμεσος λόγω των εγκαυμάτων που προκαλούν είτε έμμεσος μέσω του ωστικού κύματος και των θραυσμάτων που προκαλούνται από την έκρηξη.

Το πρώτο βασικό στοιχείο που πρέπει να μελετήσουμε είναι η ίδια η διαδικασία της καύσης. Ένα στοιχείο μπορεί να κατέχει την ιδιότητα του εύφλεκτου όμως αυτή η ιδιότητα από μόνη της δεν αποτελεί κίνδυνο. Η διαδικασία της καύσης είναι μια εξώθερμη αντίδραση μεταξύ ενός καυσίμου και ενός οξειδωτικού. Από τον ορισμό αυτό είναι εύκολο να καταλάβουμε ότι οποιαδήποτε διαδικασία καύσης χρειάζεται ένα στοιχείο με την ιδιότητα του εύφλεκτου/εκρηκτικού, έναν οξειδωτικό παράγοντα (συνηθέστερος είναι το οξυγόνο αλλά όχι αποκλειστικά) και μια πηγή θερμότητας. Αυτά τα τρία συστατικά είναι απολύτως απαραίτητα για την οποιαδήποτε διαδικασία καύσης και αποτελούν το λεγόμενο «Τρίγωνο της Φωτιάς»

(εικόνα 2.6). Ο αποκλεισμός ενός ή περισσότερων παραγόντων του τριγώνου της φωτιάς αποκλείει την διαδικασία καύσης.



ΕΙΚΟΝΑ 2.6 - ΤΟ ΤΡΙΓΩΝΟ ΤΗΣ ΦΩΤΙΑΣ

Τα εκρηκτικά αέρια μπορούν να μετρηθούν είτε σε ppm είτε σε κατ' όγκο περιεκτικότητες %Vol. Παρόλα αυτά οι χαμηλές περιεκτικότητες σε ppm δεν επαρκούν για την δημιουργία φωτιάς ενώ οι περιεκτικότητες κατ' όγκο είναι πολύ μεγάλες και υστερούν σε ακρίβεια μέτρησης της επικινδυνότητας. Για αυτό το λόγο κρίθηκε αναγκαία η θέσπιση μίας νέας μονάδας μέτρησης η οποία να στοχεύει περισσότερο στην ασφαλή χρήση των εκρηκτικών ουσιών. Η νέα αυτή μονάδα μέτρησης λαμβάνει υπόψιν της δυο κύριους παράγοντες. Ο πρώτος είναι το πόσο εύφλεκτο είναι ένα στοιχείο και ο δεύτερος το πόσο επηρεάζεται η καύση του από την ύπαρξη οξυγόνου. Αρχικά χρειάστηκε να κάνουμε την παραδοχή ότι ένα εύφλεκτο αέριο, με βάση το εύρος περιεκτικότητας κατ' όγκο από 0-100% Vol περνάει από τρία στάδια. Το πρώτο μέρος ορίζεται από 0% Vol έως το κατώτερο κατώφλι εκρηκτικότητας, δηλαδή από μηδενική περιεκτικότητα ως την περιεκτικότητα που πλέον επαρκεί για να ξεκινήσει φλόγα. Το δεύτερο μέρος ορίζεται από το κατώτερο κατώφλι εκρηκτικότητας (LEL – Lower Explosion Limit) έως το ανώτερο κατώφλι εκρηκτικότητας, δηλαδή το εύρος περιεκτικότητας σε %Vol που επαρκεί για την δημιουργία φλόγας. Το τρίτο και τελευταίο μέρος ορίζεται από το ανώτερο κατώφλι εκρηκτικότητας (UEL – Upper Explosion Limit) έως το 100% Vol. Από το ανώτερο κατώφλι εκρηκτικότητας και πάνω υπάρχει μεν επαρκής περιεκτικότητα καυσίμου αερίου ώστε να πάρει φωτιά, αλλά όπως περιγράφεται και στο τρίγωνο της φωτιάς, το εκρηκτικό αέριο έχει εκτοπίσει πλέον αρκετό οξυγόνο με αποτέλεσμα να μην μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία καύσης.

Εάν κατηγοριοποιούσαμε τα τρία παραπάνω στάδια με βάση την επικινδυνότητά τους θα λέγαμε ότι το πρώτο στάδιο (0-LEL) δεν είναι καθόλου επικίνδυνο καθώς δεν υπάρχει επαρκής περιεκτικότητα καυσίμου ώστε να ξεκινήσει διαδικασία καύσης. Το δεύτερο στάδιο (LEL-UEL) είναι απόλυτα επικίνδυνο καθώς έχουμε επαρκή περιεκτικότητα και επαρκές οξυγόνο, οπότε το μόνο στοιχείο που λείπει σύμφωνα με το τρίγωνο της φωτιάς είναι μια πηγή θερμότητας ώστε να έχουμε φωτιά ή και έκρηξη. Το τρίτο μέρος είναι φαινομενικά το ίδιο ακίνδυνο με το πρώτο. Η διαφορά είναι ότι βασιζόμαστε στην έλλειψη οξυγόνου μιας και το καύσιμο στοιχείο είναι παρόν και μάλιστα σε υπερβολική επάρκεια. Στην περίπτωση που αυξηθεί το οξυγόνο για κάποιο λόγο είναι πολύ πιθανό να βρεθούμε πάλι στις περιεκτικότητες χαμηλότερες του UEL με αποτέλεσμα να βρισκόμαστε πάλι σε κίνδυνο. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφέρουμε ότι τα επίπεδα LEL και UEL είναι διαφορετικά για κάθε αέριο καθώς η περιεκτικότητα εκκίνησης καύσης κάθε αερίου είναι διαφορετική. Επίσης οι συνθήκες περιβάλλοντος επηρεάζουν διαφορετικά τα μέρη κάθε στοιχείου ως προς την καύση του για

αυτό και τα όρια LEL και UEL αναφέρονται σε θερμοκρασία 25 °C. Η εικόνα 2.7 αποτυπώνει την λογική διαχωρισμού που περιγράψαμε πιο πάνω παίρνοντας σαν παράδειγμα το στοιχείο του Μεθανίου.



ΕΙΚΟΝΑ 2.7 - ΚΛΙΜΑΚΑ LEL

Με βάση την απεικόνιση της εικόνας 2.7 συμπεραίνουμε πως το μοναδικό απόλυτα ασφαλές σημείο είναι όταν η περιεκτικότητα του ίδιου του καυσίμου παραμένει κάτω από το κατώτατο κατώφλι εκρηκτικότητας. Με δεδομένο ότι κυρίαρχο ρόλο στην προσέγγιση της μονάδας μέτρησης εκρηκτικών αερίων έχει η ασφάλεια και προστασία μας από αυτά, ως ασφαλές πεδίο ορίζεται το εύρος 0% Vol – LEL. Άρα θεωρούμε ότι μόνο εντός αυτού του εύρους μπορούμε να εργαζόμαστε και φροντίζουμε πάντα οι περιεκτικότητες ασφαλείας να κυμαίνονται σε αυτά τα επίπεδα. Για λόγους ευκολίας στην κατανόηση της κλίμακας LEL δεδομένου του ότι κάθε αέριο έχει διαφορετικό όριο LEL, ορίσαμε μια νέα κλίμακα από 0-100% LEL. Η κλίμακα αυτή δεν είναι τίποτα διαφορετικό από το εύρος 0%Vol – LEL κάθε στοιχείου απλά πλέον σε μια ενιαία κλίμακα. Με αυτόν τον τρόπο δεν χρειάζεται να γνωρίζει ο κάθε εργαζόμενος το όριο σε %Vol που αντιστοιχεί στο LEL του εκρηκτικού αερίου απλά να μην ξεπερνά το όριο %LEL οποίο και αν είναι το αέριο. Ως παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε την περίπτωση του Μεθανίου όπου το LEL είναι το 4,4% Vol το εύρος 0-100% LEL αντιπροσωπεύει το εύρος 0-4,4% Vol.

Όπως αναφέρθηκε στο τρίγωνο της φωτιάς, ο τρίτος σημαντικός παράγοντας για τη διαδικασία καύσης είναι η πηγή θερμότητας. Κάθε στοιχείο έχει διαφορετικά επίπεδα σημείου ανάφλεξης, θερμοκρασίας ανάφλεξης και αυτανάφλεξης. Ως Σημείο Ανάφλεξης (Flash Point) ορίζουμε τη χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία μπορεί να πάρει φωτιά ένα αναφλέξιμο στοιχείο στον αέρα. Σε αυτή τη θερμοκρασία η φλόγα μπορεί να σταματήσει να καίει όταν αφαιρεθεί η πηγή θερμότητας. Ως Σημείο Πυρκαγιάς (Fire Point) ορίζουμε τη θερμοκρασία κατά την οποία ένα στοιχείο παίρνει φωτιά και διατηρεί τη φλόγα ακόμα και μετά την απομάκρυνση της πηγής θερμότητας. Τέλος, ως Σημείο Αυτανάφλεξης (Auto-ignition Temperature) ορίζεται η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία μια χημική ουσία αναφλέγεται αυθόρμητα σε συνθήκες κανονικής ατμόσφαιρας χωρίς εξωτερική πηγή θερμότητας. Αυτή η θερμοκρασία απαιτείται για την παροχή της ενέργειας ενεργοποίησης που απαιτείται για την καύση.

Μερικά από τα χαρακτηριστικότερα εκρηκτικά αέρια που συναντώνται στη βιομηχανία σήμερα είναι:

Μεθάνιο – CH₄

CAS number: 74-82-8

LEL: 4,4% Vol

Density ratio (air = 1): 0,72

Auto-ignition 595 °C

temperature:

Flash Point: -188 °C

Χρώμα: Άχρωμο

Οσμή: Άοσμο

Λοιπά Εξαιρετικά εύφλεκτο. Ελαφρύτερο από

Χαρακτηριστικά: τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Προπάνιο –

CAS number: 74-98-6

C₃H₈

LEL: 1,7% Vol

Density ratio (air = 1): 2,01

Auto-ignition 450 °C

temperature:

Flash Point: -104 °C

TWA: 1.000 ppm

Χρώμα: Άχρωμο

Οσμή: Άοσμο

Λοιπά Εξαιρετικά εύφλεκτο. Βαρύτερο από τον

Χαρακτηριστικά: ατμοσφαιρικό αέρα.

Τολουόλιο–

CAS number: 108-88-3

C₇H₈

LEL: 1,0% Vol

Density ratio (air = 1): 0,87

Auto-ignition 480°C

temperature:

Flash Point: 4 °C

TWA: 50 ppm

Χρώμα: Άχρωμο

Οσμή: Παρόμοια με Βενζίνη

Λοιπά Εξαιρετικά εύφλεκτο.

Χαρακτηριστικά:

Επιπτώσεις: 100 ppm: Κούραση, κεφαλαλγία
200 ppm: Μειωμένος χρόνος απόκρισης
400 ppm: Ευφορία, αναιμία, κόπωση,
αίσθημα ασθένειας.
600 ppm: Αίσθημα παρόμοιο με την
μέθη, αναιμία, αίσθημα ασθένειας,
εξασθένιση της όρασης, πονοκέφαλος.
Ακόμα και μέρες αργότερα νευρικήτητα,
αϋπνία, μυασθένεια, απώλεια μνήμης.
2.000 ppm: περισσότερο από 30 λεπτά
μπορεί να είναι θανατηφόρα
4.000 ppm: απώλεια αυτοέλεγχου

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

3. Τεχνολογίες Ανίχνευσης

Η επικινδυνότητα των αερίων, όπως έγινε σαφές στο προηγούμενο κεφάλαιο, αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα στις βιομηχανικές εφαρμογές και στην σύγχρονη καθημερινότητα. Δεν αποτελεί όμως ανακάλυψη των τελευταίων δεκαετιών. Η ανάγκη ελέγχου της ατμόσφαιρας για επικίνδυνα αέρια είχε γίνει αντιληπτή από τα πρώτα στάδια βιομηχανικής ανάπτυξης. Παρόλα αυτά η εξέλιξη της τεχνολογίας δεν συμβάδιζε σε όλους τους τομείς με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν τα απαραίτητα αξιόπιστα μέσα ανίχνευσης. Υπό αυτό το πρίσμα η εφευρετικότητα ανέλαβε να καλύψει αυτή την ανάγκη για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ήταν οι ανθρακωρύχοι του 19ου και 20ου αιώνα έπαιρναν καναρίνια μαζί τους στις σήραγγες ως σύστημα πρώιμης ανίχνευσης ενάντια σε επικίνδυνα αέρια για τη ζωή όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το μονοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο (εικόνα 3.1) [15]. Το καναρίνι, συνήθως είναι ένα πολύ «ομιλητικό» πουλί, όπου σαν ένδειξη, θα σταματούσε να τραγουδά και τελικά θα πέθαινε αν υπήρχαν επικίνδυνα αέρια, σηματοδοτώντας προς τους ανθρακωρύχους να βγουν γρήγορα από το ορυχείο. Αντίστοιχες μέθοδοι χρησιμοποιούνταν όπου υπήρχε ανάγκη χωρίς όμως να είμαστε σε θέση να έχουμε ακρίβεια στην ανίχνευση και κατ' επέκταση στην ασφάλειά μας.

Η τεχνολογική εξέλιξη λίγο πριν τον 2ο Παγκόσμιο πόλεμο μας έδωσε τη δυνατότητα μέσα από διάφορες εφαρμογές, να κατανοήσουμε καλύτερα τις ιδιότητες των επικινδυνών αερίων και ταυτόχρονα να εντοπίσουμε τρόπους ανίχνευσής τους αξιόπιστα και αποτελεσματικά. Παρόλα αυτά η πρώτη προσπάθεια χρήσης ανιχνευτή γίνεται με τον λαμπτήρα φλόγας ασφαλείας (ή λαμπτήρας Davy) [16], ο οποίος εφευρέθηκε από τον Sir Humphry Davy το 1815 για να ανιχνεύσει την παρουσία μεθανίου σε υπόγεια ανθρακωρυχεία. Η λάμπα φλόγας ασφαλείας αποτελείτο από ένα φυτίλι εμποτισμένο σε λάδι, προσαρμοσμένο σε συγκεκριμένο μήκος εκτεθειμένο στον καθαρό αέρα. Για να αποφευχθεί η πρόκληση έκρηξης από τον ίδιο τον ανιχνευτή, το εκτεθειμένο φυτίλι περιβαλλόταν μέσα σε ένα γυάλινο χιτώνιο με πλέγμα φλόγας. Το ύψος της φλόγας αυξανόταν ανάλογα με την παρουσία μεθανίου (υψηλότερος) ή την έλλειψη οξυγόνου (χαμηλότερος). Ο Λαμπτήρας Davy ήταν ο πρώτος ανιχνευτής αερίου στη βιομηχανική εποχή.



ΕΙΚΟΝΑ 3.1 - ΑΝΘΡΑΚΩΡΥΧΟΙ ΚΡΑΤΟΥΝ ΚΛΟΥΒΙ ΜΕ ΚΑΝΑΡΙΝΙ

3.1. Σωληνίσκοι ανίχνευσης (Short-term Tubes)

Η πιο απλοϊκή τεχνολογία ανίχνευσης είναι οι σωληνίσκοι ανίχνευσης αερίων. Βασίζονται στην αρχή λειτουργίας ενός πρώιμου ανιχνευτή παρουσίας μονοξειδίου του άνθρακα που χρησιμοποιούσε ένα χημικώς εγχυμένο χαρτί που γινόταν καφέ όταν εκτίθετο στο αέριο. Αντίστοιχα και οι σωληνίσκοι αποτελούνται από έναν γυάλινο λεπτό κύλινδρο, όπου στο εσωτερικό του υπάρχει μια καταλυτική ουσία σε μορφή κρυστάλλων για να διευκολύνει τη ροή αέρα, οι οποίοι με την παρουσία της μετρούμενης ουσίας αποχρωματίζονται. Η διαδικασία μέτρησης περιλαμβάνει τη χρήση μιας χειραντλίας, η οποία οδηγεί τη ροή αέρα μέσα από τον σωληνίσκο και κατ' επέκταση ενδιάμεσως των κρυστάλλων. Ο γυάλινος

σωληνίσκος στο εξωτερικό του και κατά μήκος του έχει διαγράμμιση αντίστοιχη του εύρους περιεκτικότητας μέτρησης ώστε να είναι ευδιάκριτη η μέτρηση. (εικόνα 3.2) [17]



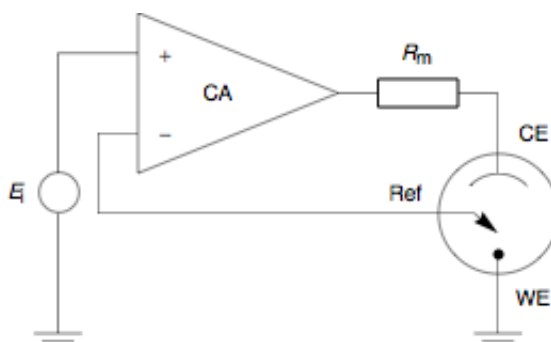
ΕΙΚΟΝΑ 3.2 - ΣΩΛΗΝΙΣΚΟΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΑΕΡΙΩΝ

Οι σωληνίσκοι προσφέρουν μια γρήγορη και οικονομική λύση όταν θέλουν να πάρουμε έναν συγκεκριμένο αριθμό μετρήσεων σε συγκεκριμένα σημεία της εγκατάστασής μας καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα αερίων. Στον αντίποδα όμως υπάρχουν αρκετά αρνητικά όπως η χαμηλή ακρίβεια μέτρησης (30% απόκλιση), το γεγονός ότι δεν μπορούμε να έχουμε συνεχή παρακολούθηση της περιεκτικότητας πάρα μόνο στιγμιαία, δεν υπάρχει η δυνατότητα καταγραφής και το σημαντικότερο δεν υπάρχει η δυνατότητα ειδοποίησης σε περίπτωση που η περιεκτικότητα υπερβεί τα επικίνδυνα όρια.

3.2. Ηλεκτροχημικοί αισθητήρες

Η πρώτη μεγάλη κατηγορία συγχρόνων αισθητήρων είναι οι ηλεκτροχημικοί. Χρησιμοποιούνται ευρέως στην ανίχνευση τοξικών αερίων και οξυγόνου κυρίως λόγω του ότι τα τοξικά και οξειδωτικά αέρια έχουν υψηλή αντίδραση με ηλεκτρολύτες. Έχουν δυνατότητα σαν αισθητήρες να ανιχνεύουν από χαμηλές περιεκτικότητες της τάξεως των ppm έως και επίπεδα %Vol.

Η αρχή λειτουργίας του ηλεκτροχημικού αισθητήρα βασίζεται στη μέτρηση της μερικής πίεσης των αερίων υπό συνθήκες φυσιολογικής ατμοσφαιρικής πίεσης. Στο εσωτερικό του αισθητήρα περιέχονται ο υγρός ηλεκτρολύτης, ένα ηλεκτρόδιο ανίχνευσης, ένα ηλεκτρόδιο μέτρησης και ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς καθώς και ένα ποτενσιοστατικό κύκλωμα (εικόνα 3.3) [18].

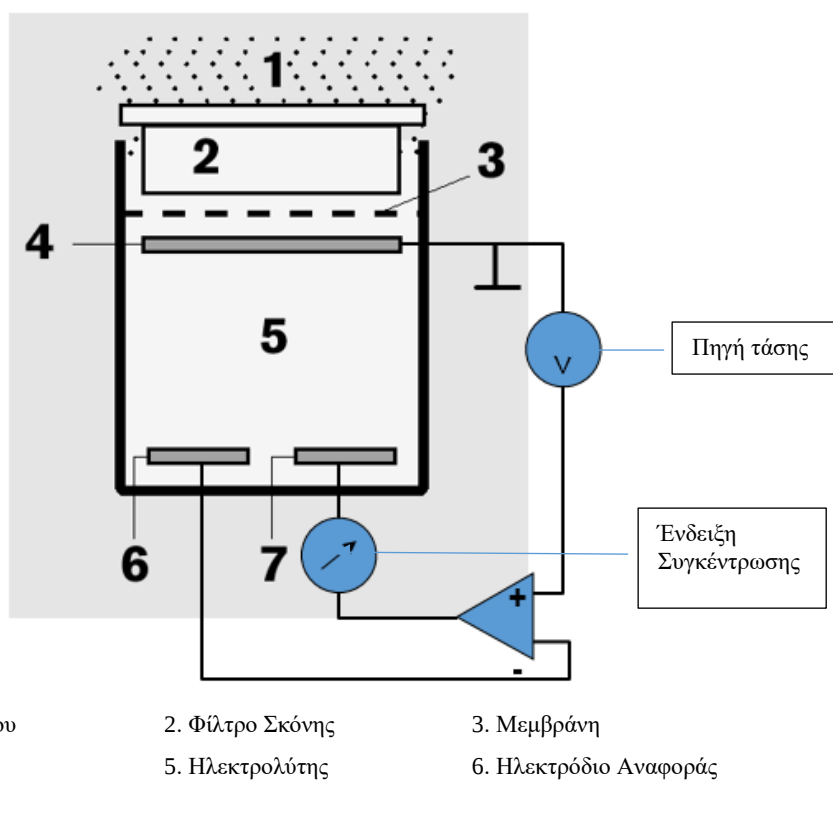


ΕΙΚΟΝΑ 3.3 - ΠΟΤΕΝΣΙΟΣΤΑΤΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

Το ποτενσιοστατικό κύκλωμα μετρά την πιθανή διαφορά μεταξύ των ρευμάτων ηλεκτροδίου ανίχνευσης (+) και του ηλεκτροδίου αναφοράς (-), εφαρμόζει τη διαφορά

ρεύματος μέσω του ηλεκτροδίου μέτρησης στον ηλεκτρολύτη και μετρά το ρεύμα ως πτώση τάσης πάνω στην αντίσταση σε σειρά R_m [19].

Τα μόρια του μετρούμενου αερίου που έρχονται σε επαφή με τον αισθητήρα, περνούν πρώτα μια μεμβράνη κατά της συμπύκνωσης που χρησιμεύει επίσης ως προστασία από τη σκόνη. Στη συνέχεια, τα μόρια του αερίου διαχέονται μέσα από την πλέξη της μεμβράνης, συνήθως σε ένα επόμενο φίλτρο, και κατόπιν μέσω μιας υδρόφοβης μεμβράνης φθάνουν στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου ανίχνευσης. Εκεί τα μόρια οξειδώνονται αμέσως με αποτέλεσμα να παράγουν ή να καταναλώνουν ηλεκτρόνια, και έτσι να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Η ροή των ηλεκτρονίων που παράγονται από την αντίδραση των μορίων εισερχόμενου αερίου πάνω στο ηλεκτρόδιο ανίχνευσης, είναι ένα μέτρο της συγκέντρωσης αερίου. Ο ρόλος του ηλεκτροδίου αναφοράς λειτουργεί σαν έλεγχος του ηλεκτροδίου ανίχνευσης χωρίς όμως να επηρεάζει την ένταση του ρεύματός του. Το ηλεκτρόδιο αναφοράς πρέπει να έχει ένα σταθερές και χαμηλής ένταση ρεύμα. Επιπλέον, δεδομένου ότι από το ηλεκτρόδιο αναφοράς περνά αμελητέο ρεύμα, η πτώση μεταξύ των ηλεκτροδίων αναφοράς και ανίχνευσης είναι συχνά πολύ μικρή. Ο ρόλος του ηλεκτροδίου μέτρησης είναι να περάσει όλο το ρεύμα που απαιτείται για την εξισορρόπηση του ρεύματος που παρατηρείται στο ηλεκτρόδιο ανίχνευσης ώστε υπάρχει ισορροπία. Το οξυγόνο από τον αέρα του περιβάλλοντος αντιδρά στο ηλεκτρόδιο μέτρησης ηλεκτροχημικά και δημιουργεί ένα ρεύμα που αντιστοιχεί σε μηδενική περιεκτικότητα αερίου. Όταν το ηλεκτρόδιο ανίχνευσης αντιδράσει με την παρουσία του μετρούμενου χημικού στοιχείου, διαταράσσεται η ισορροπία του κυκλώματος και έχουμε ένδειξη στην έξοδο (εικόνα 3.4) [20].



ΕΙΚΟΝΑ 3.4 - ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ

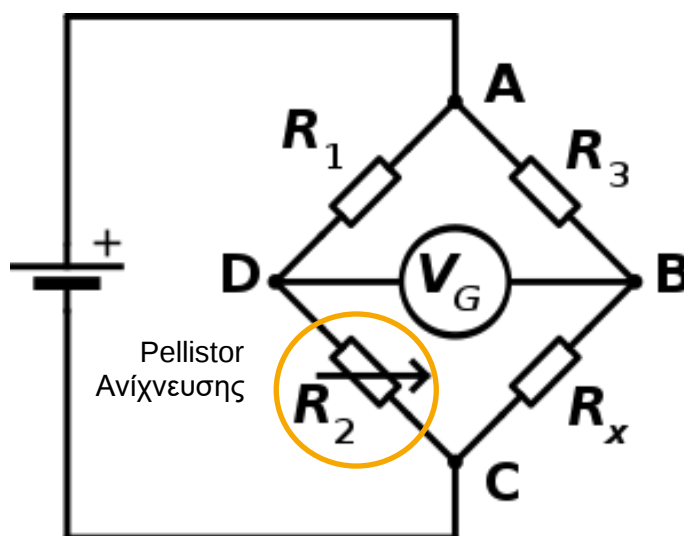
Ο σχεδιασμός του ηλεκτροδίου ανίχνευσης είναι ζωτικής σημασίας για να επιτευχθεί υψηλή αντιδραστικότητα προς το μετρούμενο αέριο και ταυτόχρονα μείωση ανεπιθύμητων αποκρίσεων σε άλλα παρευρισκόμενα αέρια.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι με αυτήν την προσέγγιση η ποσότητα των μορίων αερίου που εισέρχονται στον αισθητήρα περιορίζεται από τη διάχυση μέσω του πλέγματος της μεμβράνης προκειμένου να ληφθεί ένα σήμα αισθητήρα γραμμικά ανάλογο προς τη συγκέντρωση αερίου. Η γραμμικότητα σήματος είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα των ηλεκτροχημικών αισθητήρων σε σύγκριση με άλλους τύπους αισθητήρων. Μαζί με την απλότητα της ερμηνείας σήματος, η γραμμική έξοδος επιτρέπει την πραγματοποίηση ακριβέστερων μετρήσεων σε χαμηλές συγκεντρώσεις αερίου και η διαδικασία βαθμονόμησης γίνεται πολύ πιο απλή.

3.3. Καταλυτικοί αισθητήρες

Επόμενη κατηγορία αισθητήρων είναι οι καταλυτικοί αισθητήρες (εικόνα 7) οι οποίοι ανιχνεύουν αποκλειστικά εύφλεκτα και εκρηκτικά αέρια σε περιεκτικότητες από 0% LEL έως 100% LEL. Λόγω της κατασκευής τους οι καταλυτικοί αισθητήρες έχουν άμεση απόκριση και χαμηλό κόστος. Παρόλα αυτά ο τρόπος λειτουργίας τους απαιτεί την παρουσία οξυγόνου άνω του 12% Vol για να ανταποκρίνονται αξιόπιστα και το εύρος μέτρησής τους δεν μπορεί να υπερβεί τα όρια του κατώτατου ορίου εκρηκτικότητας (LEL) καθώς, σε μεγάλες περιεκτικότητες εκρηκτικών αερίων, διατρέχουν άμεσο κίνδυνο να καταστραφούν.

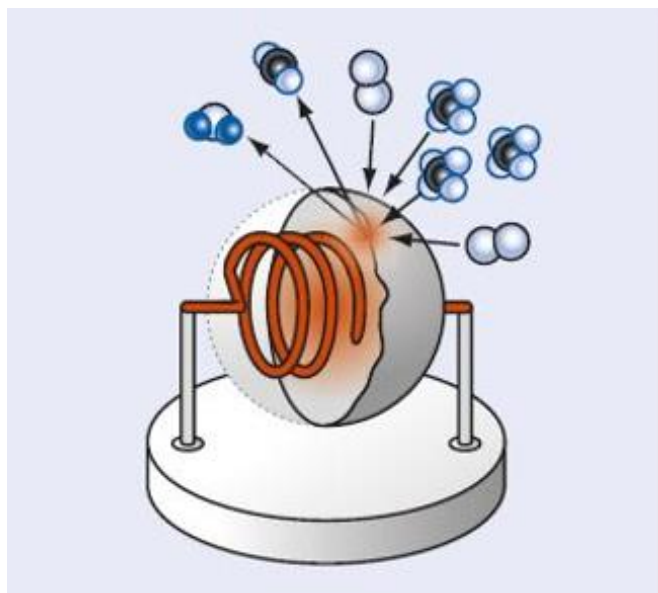
Ο καταλυτικός αισθητήρας αποτελείται από δύο πηνία λεπτού σύρματος λευκόχρυσου το καθένα ενσωματωμένο σε ένα σφαιρίδιο αλουμίνιας (pellistor), συνδεδεμένο ηλεκτρικά σε κύκλωμα γέφυρας Wheatstone (εικόνα 3.5).



ΕΙΚΟΝΑ 3.5 - ΓΕΦΥΡΑ WHEATSTONE

Η γέφυρα Wheatstone είναι ένα ηλεκτρικό κύκλωμα που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση μιας άγνωστης ηλεκτρικής αντίστασης εξισορροπώντας δύο πόδια ενός κυκλώματος γέφυρας, ένα από τα οποία περιλαμβάνει το άγνωστο εξάρτημα. Το κύριο πλεονέκτημα του κυκλώματος είναι η ικανότητά του να παρέχει εξαιρετικά ακριβείς μετρήσεις. Η γέφυρα Wheatstone εφευρέθηκε από τον Samuel Hunter Christie το 1833 και βελτιώθηκε και διαδόθηκε από τον Sir Charles Wheatstone το 1843 [21].

Το pellistor (εικόνα 3.6) [22] είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση αερίων που είναι είτε εύφλεκτα είτε έχουν σημαντική διαφορά στη θερμική αγωγιμότητα από εκείνη του αέρα. Το ανιχνευτικό στοιχείο αποτελείται από μικρά "σφαιρίδια" από κεραμικό επικαλυμμένο με καταλύτη, του οποίου η αντίσταση αλλάζει παρουσία αερίου λόγω θέρμανσης. Το pellistor αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1960 για χρήση σε εργασίες εξόρυξης ως διάδοχος του Λαμπτήρα Φλόγας ασφαλείας φλόγας. Εφευρέθηκε από τον Άγγλο επιστήμονα Άλαν Μπέικερ.

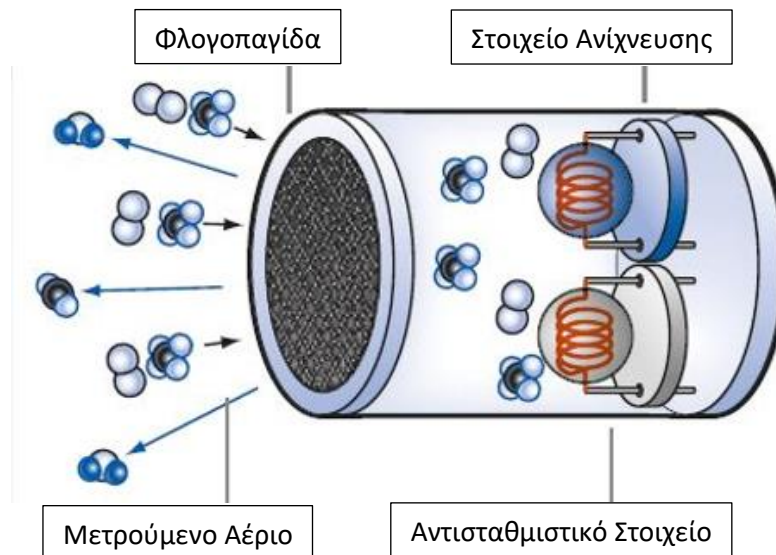


ΕΙΚΟΝΑ 3.6 - PELLISTOR

Ένα από τα pellistors εμποτίζεται με έναν ειδικό καταλύτη που προάγει την οξείδωση (στοιχείο ανίχνευσης) ενώ το άλλο υποβάλλεται σε επεξεργασία για την αναστολή της οξείδωσης (αντισταθμιστικό στοιχείο). Το ρεύμα διέρχεται μέσω των πηνίων έτσι ώστε να φθάσουν σε θερμοκρασία στην οποία η οξείδωση ενός αερίου συμβαίνει εύκολα (500-550 °C). Η διέλευση καύσιμου αερίου αυξάνει περαιτέρω τη θερμοκρασία η οποία με τη σειρά της αυξάνει την αντίσταση του πηνίου πλατίνας στο στοιχείο ανίχνευσης, οδηγώντας σε ανισορροπία της γέφυρας Wheatstone. Αυτή η αλλαγή εξόδου είναι γραμμική για τα περισσότερα εκρηκτικά αέρια έως το 100% της κλίμακας LEL. Ο χρόνος απόκρισης είναι μερικά δευτερόλεπτα για την ανίχνευση επιπέδων συναγερμού (συνήθως 20% LEL) [23].

Για να αποφευχθεί ο κίνδυνος έκρηξης, το στοιχείο ανίχνευσης συνήθως περικλείεται σε περίβλημα με συρματόπλεγμα. Οι πιο ισχυροί αισθητήρες για χρήση σε περιβάλλοντα υψηλού κινδύνου μπορεί να έχουν συμπαγές ατσάλινο περίβλημα με φλογοπαγίδα στην είσοδο του αερίου.

Στην εικόνα 3.7 αναπαρίσταται σχηματικά η λειτουργία του καταλυτικού αισθητήρα.



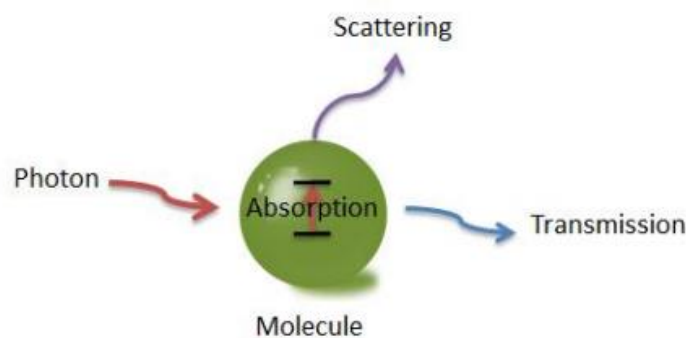
ΕΙΚΟΝΑ 3.7 - ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ

Το αντισταθμιστικό στοιχείο του αισθητήρα είναι ανενεργό όμως και τα δύο στοιχεία αποτελούν μέρος της γέφυρας Wheatstone. Οι περιβαλλοντικές επιδράσεις, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία του αέρα ή η θερμική αγωγιμότητα του αέρα περιβάλλοντος που θα παρακολουθείται, επηρεάζει και τα δύο στοιχεία με τον ίδιο τρόπο ώστε αυτές οι επιρροές να μην έχουν σημαντική επίδραση στο σήμα μέτρησης.

Τέλος, θα πρέπει να επισημανθεί, πως λόγω της αρχής λειτουργίας του καταλυτικού αισθητήρα, η οποία στηρίζεται στην καύση και κατ' επέκταση στην ανάγκη παρουσίας οξυγόνου, η χρήση του δεν ενδείκνυται σε κλειστούς χώρους χωρίς επαρκή εξαερισμό.

3.4. Υπέρυθροι αισθητήρες

Οι υπέρυθροι αισθητήρες είναι αισθητήρες που σκοπεύουν στην ανίχνευση κατά βάση υδρογονανθράκων και διοξειδίου του άνθρακα με τη χρήση υπέρυθρου φωτός. Η αρχή λειτουργίας του αισθητήρα βασίζεται στο γεγονός του ότι όταν μια δέσμη φωτός σε συχνότητα ν διέρχεται από ένα ομοιόμορφο δείγμα αερίου, το μόριο αερίου θα απορροφήσει, θα διασκορπίσει ή θα μεταδώσει το φως (εικόνα 3.8) [24].

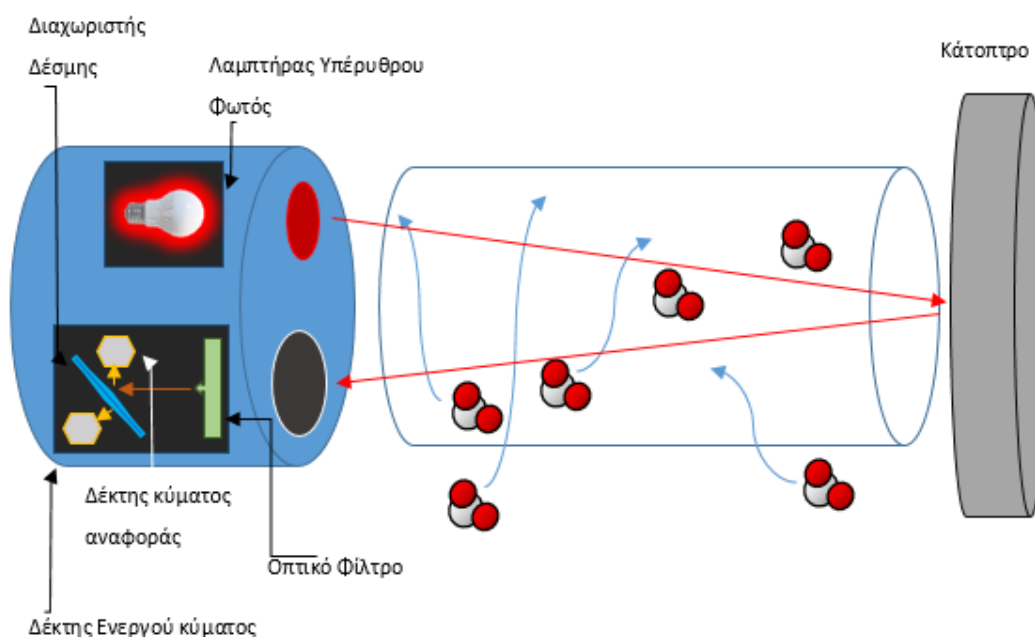


ΕΙΚΟΝΑ 3.8 - ΜΟΡΙΟ ΑΕΡΙΟΥ

Κάθε χημικός δεσμός σε ένα μόριο δονείται με την χαρακτηριστική συχνότητα αυτού του δεσμού. Μια ομάδα ατόμων σε ένα μόριο (π.χ. το Μεθάνιο - CH_4) μπορεί να έχει πολλούς τρόπους ταλάντωσης που προκαλούνται από τις κινήσεις τεντώματος και κάμψης

της ομάδας στο σύνολό της. Εάν μια ταλάντωση οδηγεί σε αλλαγή του διπόλου στο μόριο, δηλαδή σε αστάθεια του μορίου, τότε θα απορροφήσει ένα φωτόνιο που έχει την ίδια συχνότητα. Οι συχνότητες δόνησης των περισσότερων μορίων αντιστοιχούν στις συχνότητες υπέρυθρου φωτός (0,78-1.000 μm). Συνήθως, η τεχνική αυτή, για τη ανίχνευση οργανικών ενώσεων, χρησιμοποιεί ακτινοβολία φωτός από το μεσαίο φάσμα υπέρυθρων συχνοτήτων (3–8 μm) όπου και αντιστοιχούν οι συχνότητες δόνησης των Υδρογονανθράκων και του Διοξειδίου το άνθρακα [25].

Ο υπέρυθρος αισθητήρας (εικόνα 3.9) αποτελείται από μια πηγή υπέρυθρου φωτός, ένα οπτικό φίλτρο για την επιλογή του κατάλληλου μήκους κύματος και έναν οπτικό δέκτη υπέρυθρων συχνοτήτων. Καθώς το αέριο ρέει στο διάστημα μεταξύ της πηγής και του δέκτη, τα μόρια υδρογονανθράκων ή CO_2 στο αέριο, απορροφούν μέρος της υπέρυθρης ενέργειας. Ο δέκτης ανιχνεύει αυτήν την πτώση της ληφθείσας ενέργειας ως μέτρο της ποσότητας αερίου υδρογονανθράκων ή CO_2 που υπάρχει. Ο αισθητήρας υπέρυθρων αερίων χρησιμοποιεί συχνά δύο μήκη κύματος υπέρυθρης ενέργειας. Το ένα είναι το ενεργό μήκος κύματος που χρησιμοποιείται για την απορρόφηση αερίου και το άλλο χρησιμοποιείται ως μήκος κύματος αναφοράς για την αντιστάθμιση του σήματος εξόδου. Ουσιαστικά το μήκος κύματος αναφοράς ισοσταθμίζει στο τελικό σήμα τις επιπτώσεις της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της σχετικής υγρασίας ή ξένων σωμάτων στα οπτικά φίλτρα.



ΕΙΚΟΝΑ 3.9 – ΥΠΕΡΥΘΡΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ

Το δείγμα αερίου αντλείται ή διαχέεται σε θάλαμο με πηγή φωτός IR. Εφόσον υπάρχουν μόρια υδρογονανθράκων ή CO_2 θα απορροφήσουν μέρος της υπέρυθρης ενέργειας φωτός. Ο δέκτης του ενεργού κύματος στην άλλη πλευρά του θαλάμου μετρά την ποσότητα φωτός που απορροφήθηκε από τις μετρούμενες ενώσεις. Ο δέκτης του κύματος αναφοράς διορθώνει την ποσότητα υπέρυθρου φωτός που παρεμποδίστηκε από σκόνη, νερό και άλλα ξένα σώματα.

Οι υπέρυθροι αισθητήρες έχουν τη δυνατότητα να ανιχνεύσουν από μερικές εκατοντάδες ppm μέχρι και το 100% Vol περιεκτικότητας ενός υδρογονάνθρακα ή CO_2 χωρίς να υπάρχει κίνδυνος καταστροφής τους. Ταυτόχρονα η λειτουργία τους δεν επηρεάζεται από παρουσία οξυγόνου καθιστώντας τους ιδανικούς για ανίχνευση σε κλειστούς χώρους. Θεωρητικά οι υπέρυθροι ανιχνευτές υπερτερούν σε σχέση με τους καταλυτικούς στην ανίχνευση εκρηκτικών αερίων. Στην πράξη όμως, το υψηλό κόστος τους καθώς και το γεγονός

ότι πέραν των υδρογονανθράκων, υπάρχουν και άλλα εκρηκτικά αέρια, τα οποία δεν ανιχνεύονται με αισθητήρες υπέρυθρων αλλά με καταλυτικούς, επιβάλλεται η χρήση και των δύο τεχνολογιών.

3.5. Αισθητήρες Υπερήχων

Η ανίχνευση διαρροών μέσω υπερήχων χρησιμοποιεί ακουστικούς αισθητήρες για να εντοπίσει τις διακυμάνσεις του θορύβου που είναι ανεπαίσθητοι στην ανθρώπινη ακοή σε ένα περιβάλλον εργασίας. Σε μία πρώτη ανάγνωση, ένα βιομηχανικό περιβάλλον είναι κατά βάση πολύ θορυβώδες λόγω της λειτουργίας μηχανημάτων και κινήτρων. Παρόλα αυτά σε επίπεδο υπερήχων, οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις είναι σε γενικές γραμμές πολύ «ήσυχες». Ο αισθητήρας υπερήχων μπορεί να ανιχνεύσει αυτές τις συχνότητες υπερήχων (25 έως 100KHz), ενώ εξαιρούνται οι ακουστικές συχνότητες (0 έως 25KHz). Σε αντίθεση με τους παραδοσιακούς ανιχνευτές αερίου που μετρούν τη συγκέντρωση συσσωρευμένου αερίου, οι ανιχνευτές υπερήχων αντιλαμβάνονται τη ίδια τη διαρροή του αερίου [26].

Τα συστήματα ανίχνευσης αερίου που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση σωλήνων ή δοχείων πεπιεσμένου αερίου σε βιομηχανικά περιβάλλοντα ανιχνεύουν την παρουσία αερίου μόνο εάν η διαρροή βρίσκεται πολύ κοντά στον αισθητήρα αερίου. Περιβαλλοντικές συνθήκες όπως ο άνεμος μπορούν να καθυστερήσουν ή να αποτρέψουν την ανίχνευση ενός νέφους αερίου από τους ανιχνευτές (εικόνα 3.10). Ωστόσο, ο αισθητήρας υπερήχων δεν επηρεάζεται από αυτούς τους περιβαλλοντικούς παράγοντες και ανιχνεύει τη διαρροή αερίου από σωληνώσεις ή δοχεία υψηλής πίεσης μόλις διαφύγει το αέριο [27].



ΕΙΚΟΝΑ 3.10 - ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΣΕ ΑΝΟΙΧΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η σταθερή ανίχνευση αερίου σε ανοιχτούς αεριζόμενους χώρους όπως υπεράκτιες ή χερσαίες εγκαταστάσεις πετρελαίου και φυσικού αερίου θεωρείται γενικά προβληματική επειδή το αέριο διαλύεται στο περιβάλλον εύκολα και απομακρύνεται από τους συμβατικούς αισθητήρες αερίου. Όταν συμβαίνει διαρροή αερίου, το υπερηχητικό κύμα που δημιουργείται από τη διαρροή, ταξιδεύει με την ταχύτητα του ήχου, μέσω του αέρα, από την πηγή στον αισθητήρα.

Οι αισθητήρες ανταποκρίνονται στον ήχο που παράγεται με την διαφυγή αερίου σε υπερηχητικές συχνότητες. Όλα τα αέρια που σχηματίζουν στροβιλισμούς κατά τη ροή μέσω μιας οπής παράγουν υπερηχητικά κύματα. Ο ρυθμός διαρροής εξαρτάται κυρίως από τον τύπο

του αερίου, το μέγεθος της διαρροής και την πίεση του αερίου. Δεν παράγουν όλα τα αέρια υπερήχους κατά την υπό πίεση διαφυγή τους. Το υδρογόνο είναι το ευκολότερο να εντοπιστεί. Επίσης εντοπίζονται όλα τα καύσιμα αλκάνια ξεκινώντας από το προπάνιο και συνεχίζοντας στα ελαφρύτερα του αέρια. Τέλος εντοπίζονται διαρροές ατμοσφαιρικού αέρα, διοξειδίου του άνθρακα, αζώτου, αμμωνία και διαρροές οξυγόνου καθώς και διαφόρων τοξικών αερίων. Η ελάχιστη απαιτούμενη πίεση εντός της σωλήνωσης ή του δοχείου ώστε να εντοπιστούν οι διαρροές αερίου είναι άνω των 2 bar. Στον πίνακα 3.1 που ακολουθεί βρίσκονται όλα τα αέρια που εντοπίζονται με αισθητήρα υπερήχων μέχρι στιγμής.

Υδρογόνο - H_2	Υδρόθειο - H_2S	Ατμοσφαιρικός αέρας
Αζωτο - N_2	Διοξείδιο του θείου - SO_2	Αιθένιο - C_2H_4
Ατμός	Προπάνιο - C_3H_8	Μονοξείδιο του άνθρακα - CO
Αμμωνία - NH_3	Οξυγόνο - O_2	Αιθάνιο - C_2H_6
Βουτάνιο - C_4H_{10}	Διμεθυλοπροπάνιο - C_5H_{12}	Μεθυλοβουτάνιο - C_5H_{12}
Μεθάνιο - CH_4	Χλώριο - Cl_2	Διοξείδιο του άνθρακα - CO_2
Πεντάνιο - C_5H_{12}	Μεθυλοπροπάνιο - C_4H_{10}	

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1 - ΑΝΙΧΝΕΥΣΙΜΑ ΑΕΡΙΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

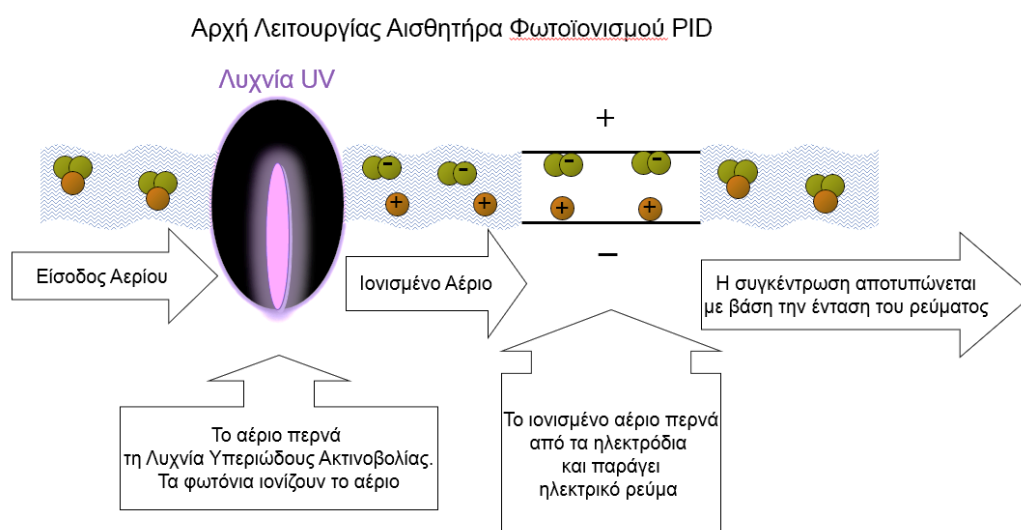
Όπως είναι κατανοητό οι αισθητήρες υπερήχων καλύπτουν ένα μεγάλο κενό στην ανίχνευση αερίων με δεδομένο ότι μπορούν να εντοπίσουν διαρροές αερίου ακόμα και σε ακτίνας 20 μέτρων. Ταυτόχρονα η έγκαιρη προειδοποίηση μίας διαρροής αερίου μπορεί να αποτρέψει περιττές διακοπές λειτουργίας της εγκατάστασης και της παραγωγής, εξοικονομώντας χρόνο και χρήματα.

3.6. Αισθητήρες Φωτοϊονισμού (PID)

Οι αισθητήρες φωτοϊονισμού ή αλλιώς PID (photoionization detectors) έχουν ως κύρια χρήση τους την παρακολούθηση της πιθανής έκθεσης των εργαζομένων σε πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) όπως διαλύτες, καύσιμα, λιποδιαλυτές, πλαστικά, θερμοαγώγιμα υγρά και λιπαντικά, κατά τη διάρκεια των διαδικασιών κατασκευής τους και χειρισμού των αποβλήτων τους. Ως πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC) ονομάζουμε οργανικές χημικές ουσίες που έχουν υψηλή πίεση ατμών σε θερμοκρασία δωματίου. Η υψηλή πίεση ατμών συσχετίζεται με χαμηλό σημείο βρασμού, το οποίο σχετίζεται με τον αριθμό των μορίων του δείγματος στον περιβάλλοντα αέρα, ένα χαρακτηριστικό γνωστό ως πτητικότητα. Ορισμένες VOC [28] είναι επικίνδυνες για την ανθρώπινη υγεία ή προκαλούν βλάβες στο περιβάλλον. Οι περισσότερες VOC δεν είναι έντονα τοξικές, αλλά μπορούν να έχουν μακροχρόνιες επιπτώσεις στην υγεία.

Ένας αισθητήρας PID χρησιμοποιείται για τη μέτρηση ομάδων επικίνδυνων ουσιών ή μπορεί ακόμη και να προσαρμοστεί για τη μέτρηση μεμονωμένων ουσιών. Οι αισθητήρες PID έχουν τη δυνατότητα να μετρήσουν με ακρίβεια από ppb (parts per billion) έως ppm. Η τεχνολογία αισθητήρα PID είναι πολύ ευπροσάρμοστη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετρήσεις εκκαθάρισης κατά τη διακοπή λειτουργίας στη βιομηχανία χημικών και πετροχημικών, την παρακολούθηση λειτουργιών σε φρεάτια και κλειστούς χώρους, την ανίχνευση διαρροών και πολλές άλλες εφαρμογές. Επίσης, χρησιμοποιείται ευρέως σε στρατιωτικές εγκαταστάσεις, για ανίχνευση αμμωνίας και την συντήρηση εγκαταστάσεων Cleanroom.

Σε έναν αισθητήρα PID τα φωτόνια υψηλής ενέργειας που εκπέμπονται από τη λυχνία υπεριώδους ακτινοβολίας κατακερματίζοντας τα μόρια του αερίου σε θετικά φορτισμένα ιόντα. Καθώς οι ενώσεις εισέρχονται στον ανιχνευτή βομβαρδίζονται από υπεριώδη φωτόνια και ιονίζονται όταν απορροφούν το υπεριώδες φως. Αποτέλεσμα αυτής της απορρόφησης υπεριώδους ακτινοβολίας είναι η αποδέσμευση ηλεκτρονίων και ο σχηματισμός θετικά φορτισμένων ιόντων. Τα θετικά και αρνητικά φορτισμένα ιόντα που προκύπτουν προσελκύονται από ένα ζευγάρι αντίθετα φορτισμένων ηλεκτροδίων. Εφαρμόζοντας τάση μεταξύ αυτών των ηλεκτροδίων, αναπτύσσεται ένα ρεύμα, το οποίο είναι ανάλογο με τη συγκέντρωση ιόντων και συνεπώς με τη συγκέντρωση των VOC. Όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση του συστατικού, τόσο περισσότερα ιόντα παράγονται άρα τόσο μεγαλύτερο είναι και το ρεύμα. Το ρεύμα αυτό στη συνέχεια ενισχύεται και εμφανίζεται σε οθόνη αμπερομέτρου ή ψηφιακής συγκέντρωσης. Η όλη λειτουργία του αισθητήρα φωτοϊονισμού περιγράφεται συνοπτικά στην εικόνα 3.11 [29].



ΕΙΚΟΝΑ 3.11 - ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΦΩΤΟΪΟΝΙΣΜΟΥ

Ο PID έχει εφαρμογή μόνο σε αέρια που έχουν ενέργειες ιονισμού παρόμοιες ή χαμηλότερες από την ενέργεια των φωτονίων που παράγονται από τη λυχνία UV. Τα κύρια και δευτερεύοντα συστατικά του καθαρού αέρα έχουν ενέργειες ιονισμού πάνω από 12,0 eV και συνεπώς δεν παρεμβαίνουν στη μέτρηση των VOC, οι οποίες συνήθως έχουν ενέργειες ιονισμού κάτω των 12,0 eV. Οι πιο συνηθισμένες εμπορικές λυχνίες έχουν ανώτερα όρια ενέργειας φωτονίων περίπου 8,4 eV, 10,0 eV, 10,6 eV και 11,7 eV. Η λυχνία των 10,6 eV είναι η πιο συχνή επιλογή επειδή έχει ισχυρή απόδοση, τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και ανταποκρίνεται σε πολλές ενώσεις. Οι ομάδες ενώσεων που ανιχνεύονται από τον αισθητήρα PID είναι οι Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες, οι Ολεφίνες, οι Βρωμίδες και οι Ιωδίδες, τα Σουλφίδια και οι μερκαπτάνες, οι Οργανικές αμίνες, οι Κετόνες, οι Αιθέρες, οι Εστέρες και οι ακρυλικοί εστέρες, οι Αλδεϋδες, οι Αλκοόλες, τα Αλκάνια και μερικές ανόργανες ουσίες συμπεριλαμβανομένης της Αμμωνίας (NH_3), του Υδρόθειου (H_2S) και της Φωσφίνης (PH_3).

Σημαντική λεπτομέρεια του αισθητήρα PID είναι πως δεν λειτουργεί καταστροφικά προς τη δομή του εισερχόμενου στοιχείου και για αυτό το λόγο μπορεί να χρησιμοποιηθεί πριν από άλλους αισθητήρες σε διαμορφώσεις πολλαπλών ανιχνευτών.

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

4. Διατάξεις Ασφαλείας Σταθερών Συστημάτων Ανίχνευσης

Τα σταθερά συστήματα ανίχνευσης αερίων είναι ανιχνευτές αερίου που εγκαθίστανται μόνιμα σε μια τοποθεσία που έχει τη ιδιότητα να γίνει επικίνδυνος περιβάλλον. Το σταθερό σύστημα ανίχνευσης αερίου αποτελείται συνήθως από 3 μέρη, πρώτον την κεφαλή αισθητήρα αερίου που είναι εγκατεστημένη στην επικίνδυνη περιοχή και θα ανιχνεύσει την παρουσία του επικίνδυνου αερίου και στη συνέχεια θα το μεταδώσει χρησιμοποιώντας ένα σήμα πίσω σε έναν πίνακα ελέγχου. Δεύτερον, υπάρχει ο πίνακας ελέγχου που λαμβάνει τα σήματα των αισθητήρων και τα εμφανίζει σε μια οθόνη LCD. Ο πίνακας ελέγχου εν συνεχεία έχει τη δυνατότητα για την εκ νέου μετάδοση του σήματος σε άλλες συσκευές και συστήματα κεντρικού ελέγχου της εγκατάστασης όπως BMS, PLC και SCADA.

Όπως είναι εύκολα αντιληπτό η διαδικασία υλοποίησης μιας διάταξης ασφαλείας σταθερού συστήματος ανίχνευσης εξαρτάται από πολλές συνισταμένες, γεγονός που την καθιστά αρκετά πολύπλοκη.

4.1. Αναγνώριση Περιοχής

Ο πρώτος και ίσως σημαντικότερος παράγοντας για την προσέγγιση ενός συστήματος είναι να κατανοήσουμε την περιοχή που θα εγκατασταθεί και τις ιδιαιτερότητές της. Απαραίτητες πληροφορίες που χρειαζόμαστε είναι το αν το σύστημα θα τοποθετηθεί σε κλειστό ή ανοιχτό χώρο και εάν θα γίνεται δειγματοληψία ελεύθερα από το περιβάλλον ή εντός κυκλώματος σωλήνωσης/σφραγισμένου βυτίου. Με βάση τα ανωτέρω καθορίζεται αρχικά το εάν το σύστημά μας επηρεάζεται από καιρικές συνθήκες ή όχι, ποιες είναι οι συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και επιπέδων οξυγόνου και μετρούμενων αερίων.

Επίσης σημαντικός παράγοντας είναι το επίπεδο εκρηκτικότητας της περιοχής του συστήματός μας. Οι εκρηκτικές περιοχές καλούνται να ακολουθούν τις οδηγίες ATEX και γι' αυτό συχνά αναφέρονται και σαν περιοχές ATEX. Οι οδηγίες ATEX αποτελούνται από δύο οδηγίες της ΕΕ που περιγράφουν τις ελάχιστες απαιτήσεις ασφάλειας του χώρου εργασίας και του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται σε εκρηκτική ατμόσφαιρα. Το ATEX προέρχεται από το όνομά του από "Appareils destinés à être utilisés en ATmosphères EXplosives" (γαλλικά για εξοπλισμό που προορίζεται για χρήση σε εκρηκτική ατμόσφαιρα) [30]. Η ταξινόμηση περιοχής είναι μια μέθοδος ανάλυσης και ταξινόμησης του περιβάλλοντος όπου ενδέχεται να εμφανιστούν εκρηκτικές ατμόσφαιρες αερίου ή σκόνης. Ο κύριος σκοπός είναι να διευκολυνθεί η σωστή επιλογή και εγκατάσταση συσκευών που θα χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια σε αυτό το περιβάλλον, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιότητες των εύφλεκτων υλικών που θα υπάρχουν. Οι επικίνδυνες περιοχές ταξινομούνται σε ζώνες [31] με βάση την εκτίμηση της συχνότητας εμφάνισης και διάρκειας μιας εκρηκτικής ατμόσφαιρας αερίου, ως εξής:

Ζώνη 0: Περιοχή στην οποία υπάρχει ατμόσφαιρα εκρηκτικού αερίου ή σκόνης συνεχώς ή για μεγάλες περιόδους

Ζώνη 1: Μια περιοχή στην οποία είναι πιθανό να εμφανιστεί εκρηκτική ατμόσφαιρα αερίου ή σκόνης σε κανονική λειτουργία.

Ζώνη 2: Μια περιοχή στην οποία η ατμόσφαιρα εκρηκτικού αερίου ή σκόνης δεν είναι πιθανό να συμβεί σε κανονική λειτουργία και, εάν συμβεί, θα υπάρχει μόνο για μικρό χρονικό διάστημα.

Η κατηγοριοποίηση της περιοχής εγκατάστασης του συστήματος μας θα καθορίσει και την επιλογή του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί καθώς θα πρέπει να πληροί τις αντίστοιχες προδιαγραφές της ζώνης εκρηκτικότητας.

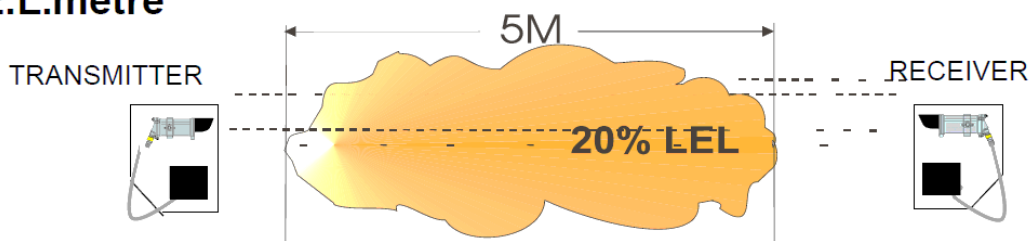
4.2. Ανιχνευτές Σημείου και Ανοικτού Πεδίου

Στο κεφάλαιο 3 αναλύθηκαν οι τύποι αισθητήρων που έχουμε στη διάθεσή μας για την ανίχνευση των διαφόρων επικίνδυνων ομάδων αερίων. Στην πλειοψηφία τους οι αισθητήρες, λόγω του τρόπου χρήσης τους, εντάσσονται στην κατηγορία των ανιχνευτών σημείου. Η κατηγορία αυτή αποτελείται από αισθητήρες οι οποίοι τοποθετούνται σε ένα συγκεκριμένο και σταθερό σημείο της εγκατάστασης, το οποίο κατά κανόνα είναι το πλησιέστερο στο σημείο με τη μεγαλύτερη πιθανότητα διαρροής. Η ενεργή ακτίνα ανίχνευσης των αισθητήρων είναι κατά προσέγγιση τα 5 μέτρα. Παρόλα αυτά η κατεύθυνση του ανέμου ή η κατεύθυνση της διαρροής αυτή καθαυτή, πιθανόν να στρέψουν το νεφέλωμα του επικίνδυνου αερίου μακριά από τον αισθητήρα με αποτέλεσμα να μην γίνει αντιληπτή εγκαίρως.

Όπως είναι κατανοητό η πλήρης επίβλεψη μίας εγκατάστασης σταθερούς ανιχνευτές σημείου, ειδικά σε ανοιχτό χώρο, μπορεί θεωρητικά να φτάσει σε κάλυψη του 100% του χώρου. Στην πράξη όμως οι πραγματικές συνθήκες είναι πιθανό να δημιουργούν κενά και «τυφλά σημεία» στο σύστημα ανίχνευσης. Το πρόβλημα αυτό επιλύθηκε με τη χρήση των ανιχνευτών ανοικτού πεδίου.

Οι ανιχνευτές ανοικτού πεδίου [32] είναι κατά βάση υπέρυθροι αισθητήρες αποτελούμενοι από έναν πομπό και έναν δέκτη που τοποθετούνται ο ένας απέναντι από τον άλλο. Μια δέσμη υπέρυθρου φωτός σχηματίζεται στη νοητή γραμμή που συνδέει πομπό και δέκτη, ανιχνεύοντας αέριο οπουδήποτε κατά μήκος της διαδρομής της δέσμης. Αυτός ο αισθητήρας έχει συνήθως ακτίνα ανίχνευσης από λίγα μέτρα έως μερικές εκατοντάδες μέτρα σε μήκος. Χρησιμοποιούνται ευρέως στις βιομηχανίες πετρελαίου και πετροχημικών, κυρίως για την επίτευξη ταχείας ανίχνευσης διαρροών αερίων για εύφλεκτα αέρια σε συγκεντρώσεις %LELm [33]. Η μονάδα %LELm εκφράζει την μέση περιεκτικότητα σε %LEL ανά μέτρο εποπτείας της δέσμης. Οπότε εάν κατά μήκος μίας δέσμης ανίχνευσης 100 μέτρων, δημιουργηθεί νέφος με μέσο όρο περιεκτικότητας 20%LEL σε έκταση 5 μέτρων, η ένδειξη που θα έχουμε είναι 1%LELm (εικόνα 4.1).

L.E.L.metre



ΕΙΚΟΝΑ 4.1 - ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ %LELM

Οι αισθητήρες ανοικτού πεδίου χρησιμοποιούνται σε μικρότερο βαθμό και σε άλλες βιομηχανίες, όπου μπορούν να εμφανιστούν εύφλεκτες συγκεντρώσεις, όπως στην εξόρυξη άνθρακα και στην επεξεργασία νερού.

4.3. Επιλογή Αισθητήρων

Η επιλογή των σωστών αισθητήρων είναι ζωτικής σημασίας για την ομαλή λειτουργία του συστήματος. Θα πρέπει να γνωρίζουμε τα αέρια που πρέπει να ανιχνεύονται, τη ζητούμενη μονάδα μέτρησης και το εύρος περιεκτικότητας που αναμένεται να παρουσιαστεί. Αυτές οι

πληροφορίες, σε συνδυασμό με τις πληροφορίες της επιλογής περιοχής, θα μας δώσουν μια πρώτη εικόνα του αισθητήρα που θα πρέπει να επιλέξουμε. Ο συνδυασμός των πληροφοριών των παραγράφων 4.1 και 4.3 είναι ιδιαίτερα κρίσιμος καθώς αποτελεί την βασική πηγή δεδομένων του συστήματός μας. Ελλιπής πληροφόρηση θα μπορούσε να οδηγήσει σε πλήρως λανθασμένη ανίχνευση ή ακόμα και να θέσει σε κίνδυνο ολόκληρη την εγκατάσταση και το προσωπικό. Παράδειγμα λανθασμένης ανίχνευσης είναι η τοποθέτηση καταλυτικού αισθητήρα για ανίχνευση μεθανίου εντός σωλήνωσης, λόγω απουσίας οξυγόνου. Παράδειγμα συνολικού κινδύνου για την εγκατάσταση θα ήταν η τοποθέτηση αισθητήρα μη αντεκρηκτικού τύπου σε ATEX περιοχή ζώνης 1.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφέρουμε το ότι σημαντική είναι η πληροφόρηση όχι μόνο στα αέρια που επιθυμούμε να ανιχνεύσουμε αλλά στο σύνολο των παρόντων αερίων. Η παρουσία ενός ή περισσοτέρων αερίων ανεξάρτητα από το αέριο που θέλουμε να μετρήσουμε πιθανόν να οδηγήσει σε αντίδραση του αισθητήρα λόγω αλληλεπιδράσεων. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις (cross-sensitivities) [34] εφόσον υπάρχουν, είναι ικανές να αλλοιώσουν τις μετρήσεις του αισθητήρα και να οδηγήσουν σε λάθος ενδείξεις και κατά συνέπεια σε λανθασμένους συναγερμούς (false alarms). Αντιμετωπίζονται είτε με τη χρήση επιλεκτικών φίλτρων στην είσοδο του αισθητήρα, εφόσον είναι εφικτό, είτε με τον επαναπροσδιορισμό των ορίων συναγερμού.

4.4. Αναλογικά και Ψηφιακά Σήματα

Τα σταθερά συστήματα ανίχνευσης αερίων, λόγω της κρισιμότητας που τα χαρακτηρίζει, προϋποθέτουν την αποφυγή λάθους από τον ανθρώπινο παράγοντα. Με δεδομένο ότι κατά την ανίχνευση διαρροών απαιτείται η άμεση αντίδραση με την ενεργοποίηση συναγερμών αλλά και μέτρων ελέγχου και περιορισμού της διαρροής ή των αποτελεσμάτων της, η χρήση αυτοματισμών επιβάλλεται.

Όπως γίνεται αντιληπτό, η τοπική ένδειξη περιεκτικότητας ενός αισθητήρα είναι σε πολλές περιπτώσεις απαραίτητη, όμως η πληροφορία της περιεκτικότητας δε θα πρέπει να παραμένει σε τοπικό επίπεδο. Γι' αυτό το λόγο οι αισθητήρες αναμεταδίδουν την περιεκτικότητα τους μέσω ενός αναλογικού σήματος 4-20mA [35] όπου τα 4 mA αντιπροσωπεύουν το «μηδέν» και τα 20 mA αντιπροσωπεύουν τη μέγιστη ένδειξη του αισθητήρα. Για παράδειγμα σε έναν αισθητήρα οξυγόνου, με εύρος 0-25% Vol, σε συνθήκες περιβάλλοντος

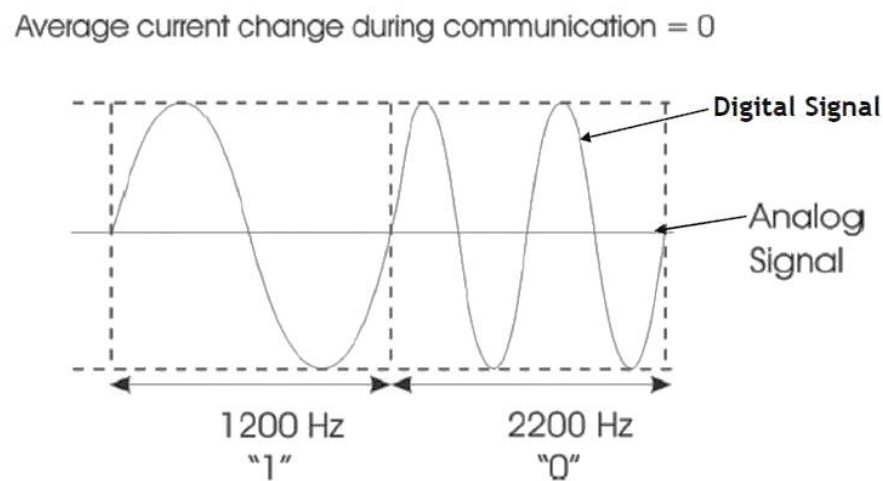
- Ένδειξη 20,9 % Vol περιεκτικότητα οξυγόνου
- Τα mA που αντιπροσωπεύουν την περιεκτικότητα είναι 16
 - $20 \text{ mA} - 4 \text{ mA} = 16 \text{ mA}$
- Άρα κάθε μονάδα 1 mA ισούται με 1,5625 % Vol οξυγόνου
 - $\frac{25\% \text{Vol}}{16 \text{mA}} = 1,5625 \frac{\% \text{Vol}}{\text{mA}}$
- Επομένως η ένδειξη σε mA των 20,9% Vol θα ισοδυναμεί με
 - $\frac{20,9 \% \text{Vol}}{1,5625 \frac{\% \text{Vol}}{\text{mA}}} + 4 \text{ mA} = 17,376 \text{ mA}$
 - προσθέτουμε τα 4 mA που είναι η αρχή της κλίμακας μας.
- Άρα η περιεκτικότητα θα αναμεταδίδεται από τον αισθητήρα σαν 17,38 mA.

Οι αισθητήρες έχουν τη δυνατότητα να δίνουν και ειδικά σήματα εκτός του φάσματος των 4-20mA όπως ένδειξη σφάλματος, ένδειξη συντήρησης και ενδείξεις out of range.

Το αναλογικό σήμα μετάδοσης των αισθητήρων παρότι μεταδίδει απολύτως απαραίτητες πληροφορίες, πολύ συχνά δε μπορεί να καλύψει όλες τις ανάγκες μετάδοσης του

όγκου και του είδους πληροφοριών. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκαν συνδυαστικά με το αναλογικό σήμα και ψηφιακά σήματα όπως είναι το HART και το MODBUS.

Το πρωτόκολλο επικοινωνίας HART (Highway Addressable Remote Transducer) [36] είναι ένα ανοιχτό πρωτόκολλο υβριδικού αναλογικού και ψηφιακού βιομηχανικού αυτοματισμού. Το πιο αξιοσημείωτο πλεονέκτημά του είναι ότι μπορεί να επικοινωνήσει χρησιμοποιώντας το ζεύγος καλωδίων των αναλογικών αισθητήρων. Το HART χρησιμοποιείται ευρέως σε συστήματα διεργασιών και οργάνων που κυμαίνονται από μικρές εφαρμογές αυτοματισμού έως πολύ εξελιγμένες βιομηχανικές εφαρμογές. Ο τρόπος που το πετυχαίνει αυτό είναι με τη χρήση υψίσυχων σημάτων τα οποία οδεύουν πάνω στο αναλογικό σήμα. Με αυτόν τον τρόπο ο αναλογικός δέκτης των 4-20 mA δεν αντιλαμβάνεται την ύπαρξη του ψηφιακού σήματος καθώς η συχνότητά του είναι πολύ υψηλή για τον δέκτη. Αντίστοιχα ο ψηφιακός δέκτης HART δεν αντιλαμβάνεται την ύπαρξη του αναλογικού σήματος το οποίο έχει πού χαμηλή συχνότητα [37].



ΕΙΚΟΝΑ 4.2 - ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΑ ΜΕ ΨΗΦΙΑΚΟ ΣΗΜΑ HART

Το Modbus [38] είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας δεδομένων που δημοσιεύθηκε αρχικά από τη Modicon (τώρα Schneider Electric) το 1979 για χρήση με τους προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC). Αναπτύχθηκε για βιομηχανικές εφαρμογές και θέτει λίγους περιορισμούς, εκτός από το μέγεθος του πακέτου δεδομένων, στη μορφή των δεδομένων που θα μεταδοθούν. Το Modbus χρησιμοποιεί γραμμές σειριακής επικοινωνίας χαρακτήρων, Ethernet ή το Διαδίκτυο για τη μεταφορά των δεδομένων. Πλέον είναι ένα από τα βασικά πρωτόκολλα επικοινωνίας επειδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανοιχτά και δεν υπόκειται σε πνευματικά δικαιώματα.

Τα ψηφιακά σήματα έχουν η δυνατότητα να μας μεταδώσουν όρια συναγερμών καθώς και να ομαδοποιήσουν σήματα από ανιχνευτές δημιουργώντας τις προϋποθέσεις συνδυαστικών πληροφοριών ανά χώρο της εγκατάστασης.

4.5. Πίνακες Ελέγχου (Controllers)

Η αποτελεσματική κάλυψη μιας βιομηχανικής εγκατάστασης για την έγκαιρη ανίχνευση διαρροών συνήθως απαιτεί την τοποθέτηση πολλών αισθητήρων, ακόμα και διαφορετικής τεχνολογίας, ανάλογα με την έκταση και το είδος της εγκατάστασης. Όπως έγινε κατανοητό και στις προηγούμενες παραγράφους οι πληροφορίες κάθε αισθητήρα αφορούν ένα συγκεκριμένο χώρο της εγκατάστασης. Παρόλα αυτά η αποτελεσματική αντιμετώπιση

συμβάντων διαρροής απαιτεί τη συνολική εποπτεία της εγκατάστασης και τον κεντρικό έλεγχο συστημάτων ασφαλείας σε περίπτωση συναγερμού.

Τα συστήματα ασφαλείας όπως εξαερισμοί, φαροσειρήνες ή ακόμα και αυτοματισμοί διακοπής παραγωγής, ελέγχονται από κεντρικά συστήματα διαχείρισης που συγκεντρώνουν, ομαδοποιούν και αναλύουν τις πληροφορίες όλων των αισθητήρων. Σε πολλές περιπτώσεις το ρόλο της κεντρικής διαχείρισης αναλαμβάνουν συστήματα PLC. Παρόλα αυτά, λόγω ανάγκης υποδιαίρεσης του συστήματος ανίχνευσης σε μικρότερα υποσυστήματα γίνεται χρήση των Controllers [39]. Οι Controllers είναι πίνακες εξειδικευμένοι στη διαχείριση αισθητήρων ανίχνευσης, οι οποίοι διαθέτουν εισόδους αναλογικού και ψηφιακού σήματος. Συλλέγουν τα σήματα των αισθητήρων και αναλαμβάνουν την επεξεργασία των δεδομένων. Με τη βοήθεια προγραμματισμού έχουμε τη δυνατότητα να ορίσουμε τα όρια συναγερμού ανάλογα με την περιεκτικότητά αερίων. Οι Controllers διαθέτουν ενσωματωμένες ξηρές επαφές (relays) τις οποίες χρησιμοποιούν για να ενεργοποιήσουν τα συστήματα συναγερμού ανάλογα με τις εντολές που έχουμε ορίσει.

Συνήθως οι Controllers δίνουν διάφορες επιλογές προγραμματισμού όπως η ενεργοποίηση συναγερμού για υπέρβαση ορίου ενός αισθητήρα ή ομάδας συγκεκριμένων αισθητήρων. Σημαντικές δυνατότητες είναι επίσης η επιλογή ενός συναγερμού να είναι απενεργοποιήσιμη ή μη (Acknowledgeable/Non Acknowledgeable) και η επιλογή της υστέρησης. Υστέρηση θεωρείται η καθυστέρηση αντίδρασης σε ένα συναγερμό. Η συγκεκριμένη εντολή είναι χρήσιμη σε χώρους όπου, είναι πιθανό η περιεκτικότητα συναγερμού να εντοπίζεται αρκετά συχνά, όμως η επικινδυνότητα εντοπίζεται στη διάρκεια της διαρροής. Σε αυτή την περίπτωση πρέπει να ορίζεται μια καθυστέρηση στην ενεργοποίηση συναγερμού ώστε να αποφεύγονται άσκοπες διακοπές στην παραγωγή.

Τέλος, σημαντική επιλογή των Controllers είναι η αναμετάδοση όλων πληροφοριών που διαθέτουν προς κεντρικά συστήματα διαχείρισης όπως BMS, PLC και SCADA. Αυτό επιτυγχάνεται είτε μέσω αναμετάδοσης του αναλογικού σήματος των αισθητήρων είτε μέσω ψηφιακών σημάτων που αναλύθηκαν στην παράγραφο 4.4.

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

5. Μοντέλα σταθερών συστημάτων ανίχνευσης

Στα προηγούμενα κεφάλαια περιεγράφηκαν οι βασικές αρχές των αισθητήρων ανίχνευσης αερίων, οι δυνατότητες τους καθώς και οι βασικοί άξονες προσδιορισμού της προσέγγισης ενός σταθερού συστήματος ανίχνευσης αερίων. Όλες αυτές οι πληροφορίες προφανώς κατέχουν το βασικό ρόλο στην υλοποίηση ενός συστήματος για την αποτελεσματική λειτουργία του, ως προς την ασφάλεια μιας εγκατάστασης και του προσωπικού της.

Στις επόμενες παραγράφους θα αναλυθούν συγκεκριμένες εφαρμογές βασικών μοντέλων σταθερών συστημάτων ανίχνευσης.

5.1. Ανίχνευση διαρροής αζώτου εντός σήραγγας γόμωσης ηλεκτρικού καλωδίου

Σε μονάδα παραγωγής καλωδίων, κατά την διαδικασία γόμωσης γίνεται χρήση υψηλής περιεκτικότητας Αζώτου. Η διαδικασία πραγματοποιείται εντός υπόγειας σήραγγας 50 μέτρων η οποία έχει ως αποκλειστικές διεξόδους διαφυγής την είσοδο και την έξοδο της σήραγγας. Η κυκλοφορία προσωπικού κατά τη διαδικασία παραγωγής καθώς και ο ελλιπής εξαερισμός εντός της σήραγγας καθιστούν την πιθανότητα διαρροής Αζώτου επικίνδυνη. Το Αζωτο κατά την διαρροή του θα εκτοπίσει το Οξυγόνο εντός της σήραγγας με αποτέλεσμα να δημιουργήσει έλλειψη Οξυγόνου και κατ' επέκταση ασφυξία στο προσωπικό που βρίσκεται εντός της σήραγγας.

Το Αζωτο έχει την ιδιαιτερότητα ότι δεν ανιχνεύεται από κάποια τεχνολογία αισθητήρων οπότε δεν έχουμε τη δυνατότητα να εντοπίσουμε απευθείας πιθανή διαρροή του. Με δεδομένο όμως ότι ο κύριος κίνδυνος είναι η πτώση της περιεκτικότητας Οξυγόνου, το οποίο ανιχνεύεται με ηλεκτροχημικό αισθητήρα μπορούμε να προσεγγίσουμε την εφαρμογή κατ' αυτόν τον τρόπο.

Προχωρώντας σε μια επιθεώρηση του χώρου θα πρέπει να εντοπίσουμε τα πιθανότερα σημεία διαρροής, τα οποία είναι κατά κύριο λόγο στις ενώσεις των σωληνώσεων Αζώτου. Αυτά τα σημεία είναι αρχικά που θα πρέπει να εστιάσουμε. Στο επόμενο στάδιο θα πρέπει να διασφαλίσουμε την απεικόνιση της περιεκτικότητας οξυγόνου εντός της σήραγγας. Κάθε αισθητήρας έχει μία μέση ακτίνα εντοπισμού τα 5 μέτρα από το σημείο τοποθέτησης. Συνδυάζοντας τους δύο άξονες καταλήγουμε στην τοποθέτηση 7 ανιχνευτών οξυγόνου. Δύο αισθητήρες εστιάουν την είσοδο και την έξοδο της σήραγγας και οι υπόλοιποι 5 αισθητήρες τοποθετούνται ανά 7 έως 10 μέτρα ανάλογα, ώστε να συμπίπτουν με τα σημεία ένωσης των σωληνώσεων.

Οι αισθητήρες θα μεταφέρουν τα σήματα ενδείξεων σε controller όπου θα οριστούν δύο alarms A1 και A2. Το A1 alarm θα θεωρείται προειδοποίηση διαρροής έχοντας όριο το 20% Vol. Εφόσον η περιεκτικότητα Οξυγόνου υποβιβασθεί κάτω από αυτό το όριο θεωρούμε ότι υπάρχει υποψία διαρροής. Σε αυτή την περίπτωση φανοσειρήνες τοποθετημένες στην είσοδο, στην έξοδο και εντός της σήραγγας, ενεργοποιούνται μέσω μίας ξηρής επαφής από τον controller, ώστε να απομακρυνθεί άμεσα το προσωπικό που βρίσκεται εντός της σήραγγας και να μην εισέλθει κανείς. Το alarm A2 έχει σαν όριο το 19% Vol. Σε αυτή την περίπτωση η διαρροή είναι βέβαιη και άμεσα επικίνδυνη οπότε μία δεύτερη ξηρή επαφή επεμβαίνει άμεσα στην παραγωγή διακόπτοντας την παροχή Αζώτου στο χώρο.

Με το ανωτέρω σύστημα έχουμε μια πλήρη εποπτεία του χώρου για την ασφάλεια του προσωπικού και ταυτόχρονα διασφαλίζουμε την ομαλή λειτουργία της εφαρμογής.

5.2. Ανίχνευση διαρροής σε δεξαμενή εξανίου

Σε συστοιχία δεξαμενών καυσίμων εντός πετρέλαιο-βιομηχανίας θα ανεγερθεί δεξαμενή εξανίου. Το εξάνιο είναι άκρως πτητικό εκρηκτικό αέριο όπου, σε συνδυασμό με την ήδη επιβαρυνόμενη εκρηκτικότητα της περιοχής η οποία κατηγοριοποιείται ως ζώνη 1, χρήζει άμεσης ανίχνευσης σε περίπτωση διαρροής του. Ταυτόχρονα λόγω της ανάγκης άμεσης και συνεχούς εποπτείας του χώρου θα τοποθετηθούν δυο ελεγκτές. Ένας ελεγκτής θα τοποθετηθεί τοπικά για την ενημέρωση των εργαζομένων που παρευρίσκονται στον χώρο μέσω φαροσειρήνας. Ο δεύτερος ελεγκτής θα τοποθετηθεί απομακρυσμένα σε απόσταση 5 χιλιομέτρων στο κεντρικό δωμάτιο ελέγχου, από όπου θα υπάρχει συνεχής εποπτεία των μετρήσεων και σε περίπτωση συναγερμού ενεργοποιείται η ομάδα πυρασφάλειας.

Η δεξαμενή θα βρίσκεται σε ανοικτό εξωτερικό χώρο και θα έχει κυλινδρικό σχήμα το οποίο θα περιβάλλεται από τετράγωνο τοίχιο ύψους 3 μέτρων. Κάθε πλευρά του τοιχίου θα έχει 40 μέτρα μήκος. Με βάση τον κανόνα των 5 μέτρων ακτίνας ανά ανιχνευτή θα χρειαστούμε 16 ανιχνευτές σημείου για να καλύψουμε τον χώρο περιμετρικά της δεξαμενής. Ταυτόχρονα θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας ότι ο ανοικτός εξωτερικός χώρος περιμετρικά της δεξαμενής επηρεάζεται άμεσα από ρεύματα αέρα τα οποία μειώνουν την αποτελεσματικότητα των ανιχνευτών σημείου καθώς η ανάγκη ανίχνευσης δεν περιορίζεται σε συγκεκριμένα σημεία διαρροής αλλά στο σύνολο του ευρύτερου χώρου. Με βάση τα δεδομένα κρίνεται ως ιδανικότερη προσέγγιση η τοποθέτηση ανιχνευτών ανοικτού πεδίου σε κάθε μία από τις τέσσερις πλευρές του τοιχίου που περιβάλλει τη δεξαμενή. Κατ' αυτό τον τρόπο έχουμε εποπτεία στο σύνολο του χώρου που μας ενδιαφέρει εξαλείφοντας τις πιθανές παρεμβολές λόγω καιρικών συνθηκών.

Για την διασύνδεση και μεταφορά δεδομένων από τον πρώτο ελεγκτή στο δεύτερο λόγω της μεγάλης απόστασης δε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε συμβατική καλωδίωση. Για τον λόγο αυτό θα προσεγγίσουμε την εφαρμογή με ψηφιακή τεχνολογία. Οι ανιχνευτές θα συνδέονται τοπικά στον πρώτο ελεγκτή με αναλογικό σήμα 4-20 mA. Στη συνέχεια ο Ελεγκτής Α θα εξάγει τα σήματα σε ψηφιακή έξοδο ModBUS τα οποία θα εισέρχονται σε μετατροπέα σήματος RS-232/485/ Fiber Optics converter, ο οποίος θα επιτρέπει την μεταφορά των σημάτων του Ελεγκτή Α προς τον Ελεγκτή Β μέσω του δικτύου τηλεπικοινωνιών της εγκατάστασης. Στο κεντρικό δωμάτιο όπου θα τοποθετηθεί ο Εκλεκτής Β τα σήματα θα επαναμετατρέπονται σε ModBUS μέσω αντίστοιχου μετατροπέα και θα εισέρχονται στον Ελεγκτή Β.

Με το ανωτέρω σύστημα έχουμε μια πλήρη και συνεχή εποπτεία του χώρου περιμετρικά της δεξαμενής προσφέροντας τοπικά την απαραίτητη ασφάλεια στο προσωπικό και απομακρυσμένα την δυνατότητα οργάνωσης των ομάδων επέμβασης σε περίπτωση συμβάντος.

5.3. Μέτρηση επιπέδων υδρόθειου, μεθανίου, οξυγόνου, διοξειδίου του άνθρακα και πτητικών υδρογονανθράκων κατά την διαδικασία αναβάθμισης βιοαερίου

Σε αυτή την εφαρμογή το βιοαέριο εισέρχεται ακατέργαστο στην μονάδα αναβάθμισης με σκοπό την αύξηση του βαθμού απόδοσης καύσης. Στα διάφορα στάδια που ακολουθούν επιβάλλεται η μέτρηση συγκεκριμένων αερίων για την εποπτεία της αποτελεσματικότητας της εφαρμογής.

Το πρώτο στάδιο αφορά την αφύγρανση του ακατέργαστου βιοαερίου και στη συνέχεια περνάμε στα δύο πρώτα φίλτρα άνθρακα με σκοπό τη μείωση των επιπέδων οξυγόνου σε 0,2% Vol και του υδρόθειου σε λιγότερα από 50 ppm όταν το ακατέργαστο έχει πάνω από 1000ppm.

Μετά το πρώτο φίλτρο τοποθετείται ανιχνευτής οξυγόνου με εύρος μέτρησης 0-25% Vol ώστε να διαπιστώνεται η πτώση του οξυγόνου.

Ένας ηλεκτροχημικός ανιχνευτής υδρόθειου τοποθετείται μετά το δεύτερο φίλτρο άνθρακα με εύρος μέτρησης από 0-1000 ppm ώστε να καλύψουμε το αναμενόμενο εύρος των 0-50ppm αλλά ταυτόχρονα να προστατεύσουμε και την λειτουργία του συστήματος από την περίπτωση αστοχίας. Στην περίπτωση αστοχίας του φίλτρου θα πρέπει ο αισθητήρας να μπορεί να ανταπεξέλθει στην υψηλή περιεκτικότητα χωρίς να καταστραφεί (περίπτωση δηλητηρίασης του αισθητήρα).

Στο τρίτο φίλτρο άνθρακα αναμένουμε πτώση των επιπέδων των πτητικών υδρογονανθράκων σε περιεκτικότητες μικρότερες των 10 ppm από μεγαλύτερες των 1000 ppm που έχουμε στο ακατέργαστο βιοαέριο. Για την μέτρηση αυτή τοποθετείται ένας υπέρυθρος αισθητήρας στην έξοδο του τρίτου φίλτρου άνθρακα.

Σε αυτό το στάδιο το μείγμα βιοαερίου είναι σημαντικό να αποτελείται από 50-60% Vol μεθανίου και 40-50% Vol διοξειδίου του άνθρακα ώστε να περάσει στο επόμενο στάδιο. Η μέτρηση του διοξειδίου του άνθρακα επιτυγχάνεται με έναν ανιχνευτή υπέρυθρων διότι είναι η μόνη τεχνολογία που μπορεί να ανιχνεύσει την παρουσία του.

Στη συνέχεια μέσα από μία διαδικασία συμπίεσης του βιοαερίου μέσα από μεμβράνες υψηλής πίεσης επιτυγχάνεται περιεκτικότητα μεθανίου άνω του 99% Vol. Η περιεκτικότητα μεθανίου λόγω του ότι είναι πολύ υψηλή (50-60% κατ' όγκο) δε μπορεί να πραγματοποιηθεί με καταλυτικό αισθητήρα διότι θα δηλητηριασθεί και θα καταστραφεί. Η τεχνολογία μέτρησης εκρηκτικών αερίων σε τόσο υψηλές περιεκτικότητες είναι αυτή του υπέρυθρου αισθητήρα.

Όλα τα σήματα καταλήγουν σε ελεγκτή ο οποίος διαθέτει 5 ξηρές επαφές. Μία για την υπέρβαση κάθε ορίου σε κάθε στάδιο της διαδικασίας. Κάθε επαφή διακόπτει τη διαδικασία παραγωγής αμέσως διότι αλλοιώνεται η σύσταση του βιοαερίου.

5.4. Επίβλεψη επιπέδων υδρογόνου και τοξικών αερίων κατά τη διαδικασία φόρτισης μπαταριών υδρογόνου σε περιορισμένο χώρο

Σε περιορισμένο χώρο εντός δεξαμενής πραγματοποιείται φόρτιση μπαταριών υδρογόνου. Κατά τη διαδικασία της φόρτισης εκλύεται υδρογόνο το οποίο μπορεί να φτάσει σε συγκεντρώσεις που καθίσταται εκρηκτικό. Ταυτόχρονα λόγω παρουσίας εργαζομένων εντός της δεξαμενής κατά τη διαδικασία φόρτισης θα πρέπει να ελέγχονται τα επίπεδα οξυγόνου, διοξειδίου του άνθρακα, μονοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου.

Η πιθανότητα εκρηκτικής ατμόσφαιρας εντός του περιορισμένου χώρου χωρίς τη δυνατότητα εξαερισμού καθιστά την εγκατάσταση του ελεγκτή καθώς και των ανιχνευτών εκτός του χώρου απαραίτητη. Δημιουργώντας ένα σύστημα δειγματοληψίας αερίου μέσα από τον χώρο της δεξαμενής μπορούμε να υλοποιήσουμε τις μετρήσεις με ασφάλεια. Το σύστημα θα αποτελείται από ένα δίκτυο σωληνώσεων εντός της δεξαμενής, μία αντλία εκτός του χώρου και το σύστημα δειγματοληψίας. Το σύστημα δειγματοληψίας θα αποτελείται από τους εξής ανιχνευτές. Έναν καταλυτικό ανιχνευτή για την μέτρηση υδρογόνου σε %LEL, καθώς το υδρογόνο ανιχνεύεται μόνο με καταλυτικό αισθητήρα σε περιεκτικότητες του εύρους 0-2% Vol. Έναν υπέρυθρο ανιχνευτή για την μέτρηση διοξειδίου του άνθρακα σε %Vol καθώς το διοξείδιο του άνθρακα ανιχνεύεται μόνο με αυτή την τεχνολογία. Έναν υπέρυθρο ανιχνευτή για τη μέτρηση μεθανίου σε ppm καθώς το μεθάνιο σε τόσο μικρές περιεκτικότητες ανιχνεύεται με υπέρυθρο αισθητήρα. Ο καταλυτικός αισθητήρας έχει τη δυνατότητα να εντοπίζει περιεκτικότητες σε εύρος 0-100% LEL αντιστοιχούν σε %Vol. Έναν ηλεκτροχημικό ανιχνευτή για τη μέτρηση των επιπέδων οξυγόνου σε %Vol καθώς είναι ο μοναδικός αισθητήρας που

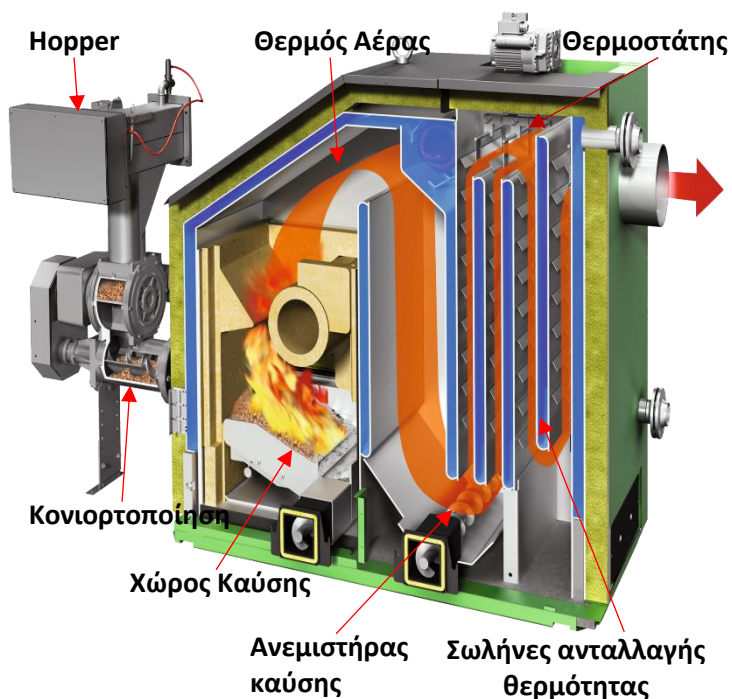
ανιχνεύει οξυγόνο και τέλος έναν ανιχνευτή μονοξειδίου του άνθρακα σε ppm. Επίσης το μονοξείδιο του άνθρακα ανιχνεύεται μόνο με ηλεκτροχημικό αισθητήρα. Οι μετρήσεις θα εμφανίζονται σε ελεγκτή εντός του συστήματος.

Ο ελεγκτής του συστήματος θα μεταφέρει τις ενδείξεις των ανιχνευτών και τις ενδείξεις συναγερμών σε κεντρικό PLC. Για την μεταφορά των ενδείξεων θα τοποθετηθεί αναμεταδότης των αναλογικών σημάτων 4-20 mA του κάθε ανιχνευτή προς το PLC. Για την μεταφορά των ορίων συναγερμών θα χρησιμοποιηθούν ξηρές επαφές, μία για κάθε όριο. Οι επαφές θα είναι συνδεδεμένες σαν Normally Open ώστε το σήμα ενεργοποίησης να μεταφέρεται κατά την ενεργοποίηση του συναγερμού προς τις ψηφιακές εισόδους του PLC. Με αυτόν τον τρόπο, θεωρώντας 0 την «ΑΝΟΙΚΤΗ» κατάσταση και 1 την «ΚΛΕΙΣΤΗ» κατάσταση, θα ενεργοποιείται η κάθε είσοδος σε περίπτωση υπέρβασης του ορίου. Η λογική του συστήματος ανά ανιχνευτή περιγράφεται ως εξής. Κάθε ανιχνευτής μεταφέρει το αναλογικό του σήμα 4-20 mA προς τον ελεγκτή. Ο ελεγκτής αναμεταδίδει αυτό το αναλογικό σήμα σε αντίστοιχη αναλογική είσοδο του PLC για την απεικόνιση της περιεκτικότητας κάθε ανιχνευτή. Σε περίπτωση απόκλισης των μετρήσεων από τα προκαθορισμένα όρια ενεργοποιείται η αντίστοιχη ξηρή επαφή από τον ελεγκτή. Η επαφή αλλάζει κατάσταση σε «ΚΛΕΙΣΤΗ» με αποτέλεσμα την ενεργοποίηση της ψηφιακής εισόδου του PLC και την ενεργοποίηση του αντίστοιχου συναγερμού.

Με αυτή την προσέγγιση μπορούμε να έχουμε εποπτεία της δεξαμενής συνεχόμενα μεταφέροντας όλα τα σήματα ανιχνευτών και συναγερμών στο κέντρο ελέγχου.

5.5. Σύστημα παρακολούθησης εκπομπών ατμοσφαιρικής ρύπανσης καυστήρα Pellet.

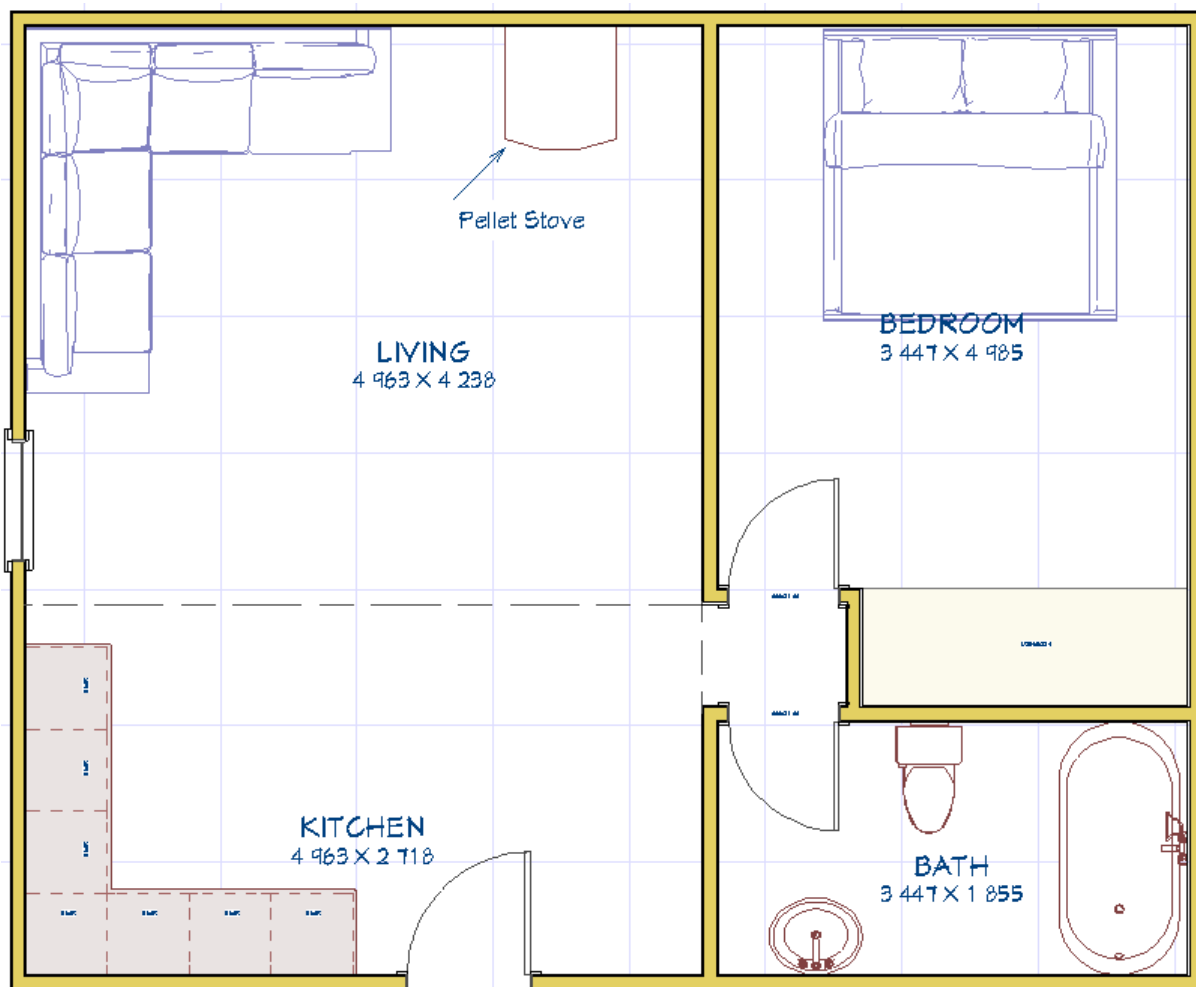
Τα τελευταία χρόνια ευρέως διαδεδομένη χρήση έχει η μορφή βιο-καυσίμου pellet. Για την παραγωγή τους χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη, υπολείμματα επεξεργασίας ξύλου και δασικά και γεωργικά υπολείμματα τα οποία από-ξυλώνονται. Τα συσσωματώματα βιομάζας (pellets) που προκύπτουν από αυτή την επεξεργασία είναι ανταγωνιστικά κυρίως λόγω κόστους έναντι του πετρελαίου, του φυσικού αερίου και του ηλεκτρισμού.



Οι σόμπες pellet λειτουργούν όπως οι σύγχρονοι φούρνοι, όπου το καύσιμο pellet αποθηκεύεται σε έναν κάδο που ονομάζεται χοάνη (hopper). Τα σφαιρίδια pellet τροφοδοτούνται αυτόματα σε ένα δοχείο προς καύση σε υψηλές θερμοκρασίες με ελάχιστες εκπομπές. Τη διανομή του θερμού αέρα στο δωμάτιο αναλαμβάνουν σωλήνες ανταλλαγής θερμότητας με τη χρήση ανεμιστήρων. Ένα θερμοστατικό κύκλωμα αναλαμβάνει τη ρύθμιση της καύσης ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή θερμοκρασία στο χώρο (εικόνα 5.1 [40]).

ΕΙΚΟΝΑ 5.1 ΣΟΜΠΑ ΠΕΛΛΕΤ

Στο παρόν υπό-κεφάλαιο θα προχωρήσουμε σε μελέτη εφαρμογής συστήματος παρακολούθησης των εκπομπών εσωτερικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκύπτουν κατά τη λειτουργία σόμπας pellet. Συγκεκριμένα σε χώρο καθιστικού εγκαθίσταται σόμπα pellet για τη θέρμανση του χώρου όπως περιγράφεται στην ακόλουθη κάτοψη (εικόνα 5.2).



ΕΙΚΟΝΑ 5.2 - ΚΑΤΟΨΗ

Όπως αναφέρθηκε η καύση του υλικού pellet έχει ελάχιστες εκπομπές ρύπων. Το είδος των ρύπων όμως αφορά κατά κύριο λόγο τοξικά αέρια. Τα σφαιρίδια pellet κατά την αποθήκευσή τους έρχονται σε επαφή και μέσω της τριβής απελευθερώνουν σωματίδια. Λόγω της φύσης του υλικού pellet, η απελευθέρωση αυτών των σωματιδίων συνοδεύεται από εκπομπή ποσοτήτων μονοξειδίου του άνθρακα. Το υλικό είναι ιδιαίτερα εύφλεκτο και αποτελείται ουσιαστικά από τρίματα ξύλου, με αποτέλεσμα τα μικροσκοπικά σωματίδια που απελευθερώνονται να αντιδρούν με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας και να προκύπτουν εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα. Έχουν αναφερθεί ακόμη και θανατηφόρα [41] ατυχήματα τα οποία συνέβησαν σε ιδιωτικές αποθήκες και επί θαλάσσιων σκαφών. Επίσης κατά τη μετακίνηση και τον χειρισμό τους, τα σφαιρίδια pellet εκπέμπουν λεπτή σκόνη που μπορεί να προκαλέσει εκρήξεις σκόνης λόγω του ότι συνήθως αποθηκεύονται μη συσκευασμένα σε μεγάλα σιλό. Η έκρηξη σκόνης, εξ' ορισμού, είναι η ταχεία καύση λεπτών σωματιδίων που αιωρούνται στον αέρα σε κλειστό χώρο. Εκρήξεις σκόνης μπορεί να συμβούν όταν υπάρχει διασκορπισμένο καύσιμο υλικό σε σκόνη σε υψηλές συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα ή άλλο οξειδωτικό αέριο μέσο όπως καθαρό οξυγόνο [42]. Τα σφαιρίδια pellet κατ' επέκταση μπορούν να θερμανθούν,

να αναφλεγούν και να προκαλέσουν πυρκαγιά που είναι πολύ δύσκολο να σβήσει. Η πυρκαγιά παράγει τοξικά (CO) και εύφλεκτα αέρια πυρόλυσης που μπορούν να οδηγήσουν σε εκρήξεις εντός του σιλό.

Κατά τη λειτουργία του καυστήρα pellet, ο οποίος δεν κλείνει ερμητικά, η καύση των σφαιριδίων παράγει εκπομπές όπως NO_x, SO_x και πτητικές οργανικές ενώσεις, σχετικά χαμηλές σε σύγκριση με άλλες μορφές θέρμανσης. Παρόλα αυτά, σε περιόδους παρατεταμένης χρήσης, είναι πιθανή η συγκέντρωση αθροιστικά επικίνδυνων περιεκτικοτήτων. Αυτές οι εκπομπές μπορεί να είναι προβληματικές, ειδικά σε σύγκριση με το φυσικό αέριο (ή το ανανεώσιμο βιοαέριο). Η υψηλή τοξικότητα των εκπομπών σε συνδυασμό με την πιθανότητα υψηλών συγκεντρώσεων είναι επιβλαβής για τον ανθρώπινο οργανισμό. Με βάση τα ανωτέρω μπορούμε να κατασκευάσουμε ένα σύστημα αποτελούμενο από ανιχνευτές και πίνακα το οποίο θα παρακολουθεί τις συγκεντρώσεις εντός του χώρου και στη συνέχεια, εφόσον έχουμε υψηλές συγκεντρώσεις, θα ενεργοποιούνται οι κατάλληλες διατάξεις αντιμετώπισης.

Αρχικά θα πρέπει να ορίσουμε τα αέρια που θέλουμε να επιβλέπουμε και τις ιδιότητές τους. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως οι εκπομπές της καύσης pellet αλλά και του ίδιου του υλικού σε συνθήκες φύλαξης περιέχουν μονοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου, οξείδια του θείου και πτητικές οργανικές ενώσεις. Τα αέρια αυτά θα πρέπει να παρακολουθούνται εντός του χώρου και με δεδομένο ότι αναφερόμαστε σε κλειστό χώρο με διαδικασία καύσης θα πρέπει να παρακολουθούμε και τα επίπεδα οξυγόνου. Παρακάτω παρουσιάζονται τα όρια επικινδυνότητας των αναμενόμενων αερίων κατά τη λειτουργία του καυστήρα.

Μονοξείδιο
του Άνθρακα –
CO

TWA:	20 ppm
STEL:	100 ppm
Density ratio (air = 1):	0.97
IDLH:	1,200 ppm
Suggested Alarms by Manufacturers [43]:	A1 Alarm: 30 ppm A2 Alarm: 60 ppm

Μονοξείδιο
του Αζώτου –
NO [44]

TWA:	2 ppm
STEL:	4 ppm
Density ratio (air = 1):	1.34
IDLH:	100 ppm
Suggested Alarms by Manufacturers [45]:	A1 Alarm: 25 ppm A2 Alarm: 50 ppm

Διοξείδιο του
Αζώτου – NO₂
[46]

TWA:	0,5 ppm
STEL:	1 ppm
Density ratio (air = 1):	1,44
IDLH:	20 ppm
Suggested Alarms by Manufacturers:	A1 Alarm: 5 ppm A2 Alarm: 10 ppm

Μονοξείδιο του Θείου – SO Το μονοξείδιο του θείου είναι μία ένωση που σπάνια συναντάται αυτούσια και αυτό κυρίως στο διάστημα. Κατά κύριο λόγο συμμετέχει σε ενώσεις και για αυτό το λόγο δεν υπάρχει λόγος μεμονωμένης ανίχνευσής του. [47]

Διοξείδιο του Θείου – SO₂ TWA: 0,5 ppm
STEL: 1 ppm
Density ratio (air = 1): 2,14
IDLH: 100 ppm
Suggested Alarms by Manufacturers: A1 Alarm: 0,5 ppm
A2 Alarm: 1 ppm

Πτητικές Οργανικές Ενώσεις – VOC * TWA: 100 ppm
STEL: 200 ppm
Density ratio (air = 1): 1,09
IDLH: 2300 ppm
Suggested Alarms by Manufacturers: A1 Alarm: 0,5 ppm
A2 Alarm: 1 ppm

*Το Διχλωρομεθάνιο [48] είναι η κυριότερη και πιο επικίνδυνη πτητική οργανική ένωση και για αυτό το λόγο παραθέτουμε τα στοιχεία της ως αντιπροσωπευτικά. Παρόλα αυτά η τεχνολογία ανίχνευσης των VOC αντιδρά στο σύνολο των ενώσεων που ανήκουν στις πτητικές οργανικές ενώσεις και όχι μόνο στο Διχλωρομεθάνιο. Κατά συνέπεια έχουμε τη δυνατότητα να ανιχνεύουμε όλες της ενώσεις VOC την ίδια στιγμή.

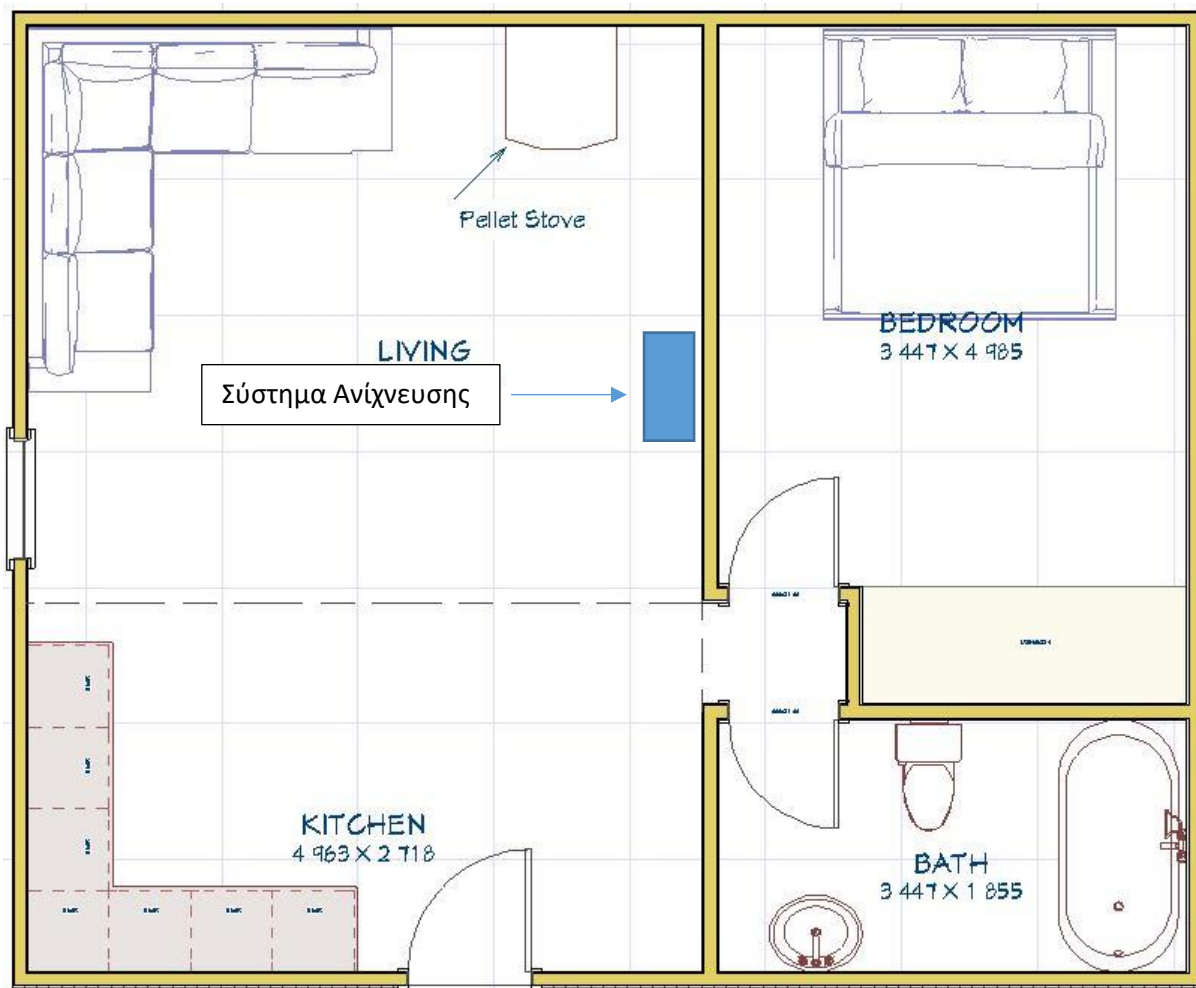
Συγκεντρώνοντας τις απαραίτητες πληροφορίες για το σύνολο των αερίων που θα αντιμετωπίσουμε έχουμε καλύψει το φάσμα των ανιχνευτών του συστήματος όπως περιγράφεται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 5.1).

Αέριο	Τύπος Αισθητηρίου	Εύρος Μέτρησης	Όρια Ειδοποίησης A1 και A2
CO	Ηλεκτροχημικός	0 - 2000 ppm	Άνω των 30 ppm & 60 ppm
NO	Ηλεκτροχημικός	0 - 200 ppm	Άνω των 25 ppm & 50 ppm
NO ₂	Ηλεκτροχημικός	0 - 50 ppm	Άνω των 5 ppm & 10 ppm
SO ₂	Ηλεκτροχημικός	0 - 100 ppm	Άνω των 0,5 ppm & 1 ppm
VOC	Φωτοϊονισμού	0 - 2000 ppm	Άνω των 0,5 ppm & 1 ppm
O ₂	Ηλεκτροχημικός	0 - 25 % Vol	Κάτω του 19 %Vol & Άνω του 23%Vol

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1 ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Προχωρώντας τη μελέτη του συστήματος θα πρέπει να εντοπίσουμε τα σημεία που θα τοποθετηθούν οι αισθητήρες ώστε να έχουν τη δυνατότητα να λάβουν έγκαιρα πληροφορίες για πιθανή αύξηση περιεκτικότητας των αερίων ή πτώση του οξυγόνου. Εφόσον αναφερόμαστε σε ανιχνευτές σημείου η ιδανική προσέγγιση είναι να τοποθετηθούν πλησιέστερα στο πιθανότερο σημείο διαρροής. Αυτό το σημείο στη συγκεκριμένη εφαρμογή, είναι ο καυστήρας καύσης pellet, στον οποίο υπάρχει η μεγαλύτερη πιθανότητα να έχουμε παρουσία εκπομπών.

Παρόλα αυτά, λόγω του τρόπου διάχυσης θερμότητας του καυστήρα, μέσω σωληνώσεων, σε όλο το χώρο, υπάρχει πιθανότητα οι εκπομπές να παρουσιαστούν και σε μεγαλύτερη απόσταση. Με δεδομένο ότι ο λόγος μέτρησης εκπομπών είναι η προστασία των ανθρώπων εντός του χώρου επόμενο σημείο ενδιαφέροντος είναι ο ευρύτερος χώρος του καθιστικού και της κουζίνας. Το μέγεθος του χώρου μπορεί να καλυφθεί στο σύνολό του από τους ανιχνευτές, εφόσον η ακτίνα των ανιχνευτών είναι τα 5 μέτρα. Ιδανικά οι ανιχνευτές θα τοποθετηθούν κεντρικά στο χώρο ώστε να καλύπτουν το μέγιστο εύρος (εικόνα 5.3).



ΕΙΚΟΝΑ 5.3 - ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ

Ολοκληρώνοντας το σύστημα παρακολούθησης θα προχωρήσουμε σε χρήση των ξηρών επαφών του πίνακα συγκέντρωσης των σημάτων. Έχοντας ορίσει τα όρια συναγερμών A1 και A2 θα θεωρήσουμε το όριο A1 το πρώτο στάδιο αντιμετώπισης. Σε αυτό το στάδιο θα ενεργοποιείται ο εξαερισμός του χώρου αυτόματα εφόσον έστω και ένας ανιχνευτής ξεπεράσει το όριο A1 ή στην περίπτωση του οξυγόνου η περιεκτικότητα μειωθεί κάτω του 19% Vol. Στην περίπτωση που η ενεργοποίηση του εξαερισμού δεν επαρκεί και οι συγκεντρώσεις συνεχίσουν να αυξάνουν τότε θα ενεργοποιείται και το επίπεδο συναγερμού A2 όπου θα διακόπτεται η λειτουργία του καυστήρα και θα υπάρχει και οπτική ειδοποίηση εντός του χώρου σε συνδυασμό με την λειτουργία εξαερισμού η οποία θα παραμένει ενεργή.

Με το ανωτέρω σύστημα έχουμε πλήρη εποπτεία του χώρου και σε συνδυασμό με την χρήση αυτοματισμών μπορούμε να μειώσουμε τον παράγοντα ανθρώπινου λάθους και να αποφύγουμε την περίπτωση ατυχήματος. Ταυτόχρονα η μακροχρόνια χρήση του καυστήρα δεν

θα λειτουργήσει αρνητικά στον ανθρώπινο οργανισμό καθώς έχουμε τη δυνατότητα να αποφύγουμε συσσωρευτική έκθεση σε τοξικές εκπομπές του καυστήρα pellet.

Προχωρώντας σε μία οικονομική ανάλυση της υλοποίησης του ανωτέρω συστήματος μπορούμε να έχουμε διαφορετικές προσεγγίσεις στη σημερινή αγορά. Η ποιότητα κατασκευής, το εύρος μέτρησης, η ακρίβεια των μετρήσεων, η δυνατότητα μετατροπής ή επέκτασης του συστήματος καθώς και οι πιστοποιήσεις που συνοδεύουν τον εξοπλισμό είναι πάντοτε κριτήρια που επηρεάζουν το κόστος. Αναλόγως με τις ανάγκες της εγκατάστασης, μπορούμε να έχουμε διαφορετικές επιλογές. Στις επόμενες παραγράφους θα προσεγγίσουμε την ανωτέρω εφαρμογή με ένα οικονομικό σύστημα κι ένα εξελιγμένο σύστημα.

Αρχικά θα προσεγγίσουμε το σύστημα με τον πιο οικονομικό τρόπο. Πολλοί κατασκευαστές σταθερών συστημάτων ανίχνευσης παράγουν ανιχνευτές χαμηλού κόστους για μια περιορισμένη γκάμα αερίων. Οι ανιχνευτές αυτοί συνήθως έχουν πλαστικό περίβλημα και χρησιμοποιούν αισθητήρες με περιορισμένες δυνατότητες όπως το εύρος μέτρησης. Συνηθισμένη πρακτική των κατασκευαστών επίσης είναι η χρήση αισθητήρων που προορίζονται για φορητούς ανιχνευτές. Οι αισθητήρες φορητών ανιχνευτών έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής σε σχέση με τους αισθητήρες σταθερών ανιχνευτών και μικρότερη ακρίβεια μέτρησης. Όπως είναι εύκολα αντιληπτό οι οικονομικές λύσεις που προσφέρονται σε σταθερά συστήματα περιορίζουν αρκετά τόσο την ποιότητα κατασκευής όσο και τις ιδίες τις δυνατότητες των συστημάτων. Με βάση τα παραπάνω διαπιστώνουμε ότι η τεχνολογία PID αισθητήρων είναι ακριβή κατασκευαστικά. Αυτό έχει ως επακόλουθο το να μην υπάρχει οικονομικός αισθητήρας PID, καθώς το κόστος ενός σταθερού ανιχνευτή VOC σε σύγκριση με ολόκληρο το οικονομικό σύστημα θα έφτανε στο 50 % του κόστους επιπλέον. Ακολουθώντας τη λογική του να κρατήσουμε το σύστημα σε οικονομικά χαμηλά πλαίσια θα εξαιρέσουμε τη μέτρηση των VOC.

Παρακάτω θα παραθέσουμε τεχνικά χαρακτηριστικά των ανιχνευτών του οικονομικού συστήματος καθώς και ενδεικτικά κόστη.

Ανιχνευτής Μονοξειδίου
του Άνθρακα – CO [49]
[50]



Κόστος:	275 €
Εύρος Μέτρησης:	0-300 ppm
Υλικό κατασκευής:	Πλαστικό ABS ανοιχτό γκρι RAL 7035 IP65
Τοπική ένδειξη:	Led λειτουργίας (πράσινο), συντήρησης (πορτοκαλί) και συναγερμού (κόκκινο)
Θερμοκρασία λειτουργίας:	-20 έως 50 ° C
Ανοχή υγρασίας:	10 έως 95% σχετικής υγρασίας

Ανιχνευτής Μονοξειδίου
του Αζώτου – NO [51]



Κόστος:	345 €
Εύρος Μέτρησης:	0-50 ppm
Υλικό κατασκευής:	Πλαστικό ABS ανοιχτό γκρι RAL 7035 IP65
Τοπική ένδειξη:	Led λειτουργίας (πράσινο), συντήρησης (πορτοκαλί) και συναγερμού (κόκκινο)
Θερμοκρασία λειτουργίας:	-20 έως 50 ° C
Ανοχή υγρασίας:	10 έως 95% σχετικής υγρασίας

Ανιχνευτής Διοξειδίου
του Αζώτου – NO₂ [52]



Κόστος:	342 €
Εύρος Μέτρησης:	0-20 ppm
Υλικό κατασκευής:	Πλαστικό ABS ανοιχτό γκρι RAL 7035 IP65
Τοπική ένδειξη:	Led λειτουργίας (πράσινο), συντήρησης (πορτοκαλί) και συναγερμού (κόκκινο)
Θερμοκρασία λειτουργίας:	-20 έως 50 ° C
Ανοχή υγρασίας:	10 έως 95% σχετικής υγρασίας

Ανιχνευτής Διοξειδίου
του Θείου – SO₂ [53][54]



Κόστος:	1.732 €
Εύρος Μέτρησης:	0-10 ppm
Υλικό κατασκευής:	IP 66 /67, NEMA 4, περίβλημα GRP
Τοπική ένδειξη:	Οθόνη ένδειξης περιεκτικότητας σε ppm
Θερμοκρασία λειτουργίας:	-40 έως 65 ° C
Ανοχή υγρασίας:	0 έως 100% σχετικής υγρασίας

Ανιχνευτής Οξυγόνου –
O₂ [55]



Κόστος:	353 €
Εύρος Μέτρησης:	0-25 % Vol
Υλικό κατασκευής:	Πλαστικό ABS ανοιχτό γκρι RAL 7035 IP65
Τοπική ένδειξη:	Led λειτουργίας (πράσινο), συντήρησης (πορτοκαλί) και συναγερμού (κόκκινο)
Θερμοκρασία λειτουργίας:	-20 έως 50 ° C
Ανοχή υγρασίας:	10 έως 95% σχετικής υγρασίας

Πίνακας Ελέγχου –
Controller [56]



Κόστος:	1.717 €
Οθόνη:	2 γραμμών
Υλικό κατασκευής:	Πλαστικό ABS ανοιχτό γκρι RAL 7035 IP65
Τοπική ένδειξη:	Led λειτουργίας (πράσινο), συντήρησης (πορτοκαλί) και συναγερμού (κόκκινο)
Relays:	5 ελεύθερες ξηρές επαφές
Θερμοκρασία λειτουργίας:	-20 έως 40 ° C
Ανοχή υγρασίας:	10 έως 95% σχετικής υγρασίας

Το κόστος ενός συστήματος ανίχνευσης με οικονομική προσέγγιση όπως διαπιστώνουμε ανέρχεται στα 4.764€. Το σύστημα αυτό απαρτίζεται κυρίως από ανιχνευτές με

συγκεκριμένο εύρος μέτρησης, κατασκευασμένους από πλαστικό και περιορισμένα όρια αντοχής σε θερμοκρασία και υγρασία.

Στη συνέχεια θα προχωρήσουμε στην υλοποίηση του συστήματος με τους πιο εξελιγμένους ανιχνευτές που διαθέτουμε σήμερα συμπεριλαμβανομένου πλέον και του ανιχνευτή VOC. Ακολουθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος.

Ανιχνευτής Μονοξειδίου
του Άνθρακα – CO [57]
[58]



Κόστος:	2.531 €
Εύρος Μέτρησης:	Μεταβλητό εύρος ανίχνευσης από 0 έως 50/300/1000 ppm
Όριο Ανίχνευσης:	5 ppm
Απόκλιση μέτρησης:	$\leq \pm 1 \%$ ή $\leq \pm 2 \text{ ppm}$
Απώλεια ευαισθησίας, ανά έτος:	$\leq -3 \%$
Αναμενόμενη διάρκεια ζωής:	>36 μήνες
Υλικό κατασκευής ανιχνευτή:	Εποξειδική επίστρωση αλουμινίου χωρίς χαλκό ή ανοξείδωτο ατσάλι SS316 L.
Υλικό κατασκευής υποδοχής αισθητήρα και αισθητήρα:	Πολυαμίδιο
Τοπική ένδειξη:	Γραφική οθόνη με οπίσθιο φωτισμό και Led λειτουργίας (πράσινο), συντήρησης (πορτοκαλί) και συναγερμού (κόκκινο)
Προστασία περιβλήματος:	Αντικρηκτικού τύπου, NEMA 4X & 7, IP65/66/67
Θερμοκρασία λειτουργίας:	-40 έως 65 ° C
Ανοχή υγρασίας:	0 έως 100% σχετικής υγρασίας

Ανιχνευτής Μονοξειδίου
του Αζώτου – NO [59]



Κόστος:	2.706 €
Εύρος Μέτρησης:	Μεταβλητό εύρος ανίχνευσης από 0 έως 30/50/200 ppm
Όριο Ανίχνευσης:	3 ppm
Απόκλιση μέτρησης:	$\leq \pm 4 \%$ ή $\leq \pm 1 \text{ ppm}$
Απώλεια ευαισθησίας, ανά έτος:	$\leq -3 \%$
Αναμενόμενη διάρκεια ζωής:	>36 μήνες
Υλικό κατασκευής ανιχνευτή:	Εποξειδική επίστρωση αλουμινίου χωρίς χαλκό ή ανοξείδωτο ατσάλι SS316 L.
Υλικό κατασκευής υποδοχής αισθητήρα και αισθητήρα:	Πολυαμίδιο

Τοπική ένδειξη:	Γραφική οθόνη με οπίσθιο φωτισμό και Led λειτουργίας (πράσινο), συντήρησης (πορτοκαλί) και συναγερμού (κόκκινο)
Προστασία περιβλήματος:	Αντιεκρηκτικού τύπου, NEMA 4X & 7, IP65/66/67
Θερμοκρασία λειτουργίας:	-40 έως 65 ° C
Ανοχή υγρασίας:	0 έως 100% σχετικής υγρασίας

Ανιχνευτής Διοξειδίου του Αζώτου – NO₂ [60]



Κόστος:	2.625 €
Εύρος Μέτρησης:	Μεταβλητό εύρος ανίχνευσης από 0 έως 1/5/20 ppm
Όριο Ανίχνευσης:	0,05 ppm
Απόκλιση μέτρησης:	≤±5 % ή ≤±0,05 ppm
Απώλεια ευαισθησίας, ανά έτος:	≤-10 %
Αναμενόμενη διάρκεια ζωής:	>24 μήνες
Υλικό κατασκευής ανιχνευτή:	Εποξειδική επίστρωση αλουμινίου χωρίς χαλκό ή ανοξείδωτο ατσάλι SS316 L.
Υλικό κατασκευής υποδοχής αισθητήρα και αισθητήρα:	Πολυαμίδιο
Τοπική ένδειξη:	Γραφική οθόνη με οπίσθιο φωτισμό και Led λειτουργίας (πράσινο), συντήρησης (πορτοκαλί) και συναγερμού (κόκκινο)
Προστασία περιβλήματος:	Αντιεκρηκτικού τύπου, NEMA 4X & 7, IP65/66/67
Θερμοκρασία λειτουργίας:	-40 έως 65 ° C
Ανοχή υγρασίας:	0 έως 100% σχετικής υγρασίας

Ανιχνευτής Διοξειδίου του
Θείου – SO₂



Κόστος:	2.625 €
Εύρος Μέτρησης:	Μεταβλητό εύρος ανίχνευσης από 0 έως 5/10/100 ppm
Όριο Ανίχνευσης:	0,5 ppm
Απόκλιση μέτρησης:	≤±5 % ή ≤±0,05 ppm
Απώλεια ευαισθησίας, ανά έτος:	≤-10 %
Αναμενόμενη διάρκεια ζωής:	>24 μήνες
Υλικό κατασκευής ανιχνευτή:	Εποξειδική επίστρωση αλουμινίου χωρίς χαλκό ή ανοξείδωτο ατσάλι SS316 L.
Υλικό κατασκευής υποδοχής αισθητήρα και αισθητήρα:	Πολυαμίδιο
Τοπική ένδειξη:	Γραφική οθόνη με οπίσθιο φωτισμό και Led λειτουργίας (πράσινο), συντήρησης (πορτοκαλί) και συναγερμού (κόκκινο)
Προστασία περιβλήματος:	Αντικρηκτικού τύπου, NEMA 4X & 7, IP65/66/67
Θερμοκρασία λειτουργίας:	-40 έως 65 ° C
Ανοχή υγρασίας:	0 έως 100% σχετικής υγρασίας

Ανιχνευτής Οξυγόνου – O₂
[61]



Κόστος:	2.531 €
Εύρος Μέτρησης:	Μεταβλητό εύρος ανίχνευσης από 0 έως 5/25/100 % Vol
Όριο Ανίχνευσης:	0,5 % Vol
Απόκλιση μέτρησης:	≤±2 % ή ≤±0,2 % Vol
Απώλεια ευαισθησίας, ανά έτος:	≤-6 %
Αναμενόμενη διάρκεια ζωής:	>18 μήνες
Υλικό κατασκευής ανιχνευτή:	Εποξειδική επίστρωση αλουμινίου χωρίς χαλκό ή ανοξείδωτο ατσάλι SS316 L.
Υλικό κατασκευής υποδοχής αισθητήρα και αισθητήρα:	Πολυαμίδιο
Τοπική ένδειξη:	Γραφική οθόνη με οπίσθιο φωτισμό και Led λειτουργίας (πράσινο), συντήρησης (πορτοκαλί) και συναγερμού (κόκκινο)

Προστασία περιβλήματος:	Αντιεκρηκτικού τύπου, NEMA 4X & 7, IP65/66/67
Θερμοκρασία λειτουργίας:	-40 έως 65 ° C
Ανοχή υγρασίας:	0 έως 100% σχετικής υγρασίας

<u>Ανιχνευτής Πτητικών</u> <u>Οργανικών Ενώσεων –</u> <u>VOC [62]</u>	Κόστος:	2.500 €
	Εύρος Μέτρησης:	Μεταβλητό εύρος ανίχνευσης από 0 έως 100/1000 ppm
	Όριο Ανίχνευσης:	10 ppb
	Απόκλιση μέτρησης:	≤±2 %
	Αναμενόμενη διάρκεια ζωής:	>24 μήνες
	Υλικό κατασκευής ανιχνευτή:	Ανοξείδωτο ατσάλι SS316 L.
	Τοπική ένδειξη:	Γραφική οθόνη με οπίσθιο φωτισμό και Led λειτουργίας (πορτοκαλί)
	Προστασία περιβλήματος:	Αντιεκρηκτικού τύπου,
	Θερμοκρασία λειτουργίας:	-20 έως 55 ° C
	Ανοχή υγρασίας:	0 έως 95% σχετικής υγρασίας

<u>Πίνακας Ελέγχου –</u> <u>Controller [63]</u>	Κόστος:	12.500 €
	Πλήθος υποστηριζόμενων ανιχνευτών και relays:	Μεταβλητό εύρος από 1 έως 1.500 ανιχνευτές και relays
	Relays:	Δυνατότητα πλήρως προγραμματιζόμενων ξηρών επαφών είτε μεμονωμένα είτε συνδυαστικά
	Συντήρηση και καταγραφή:	Χρήση ψηφιακών επικοινωνιών HART, ModBUS, ProfiNET. Καταγραφή συμβάντων.
	Τοπική ένδειξη:	Γραφική οθόνη αφής με οπίσθιο φωτισμό
	Οπτικοποίηση:	Δυνατότητα εισαγωγής κάτοψης χώρου με αντιστοίχιση τοπικών ενδείξεων ανιχνευτών και συναγερμών
	Προστασία συστήματος:	Αντιεκρηκτικού τύπου, SIL 2, αποτροπή αστοχίας ολόκληρου του συστήματος εάν

	ένα στοιχείο αστοχήσει (single point failure)
Θερμοκρασία λειτουργίας;	0 έως 50 ° C
Ανοχή υγρασίας;	20 έως 90% σχετικής υγρασίας

Το κόστος ενός συστήματος ανίχνευσης χρησιμοποιώντας την πιο εξελιγμένη τεχνολογία ανέρχεται στα 28.000 €. Είναι προφανές από τα τεχνικά χαρακτηριστικά ότι το δεύτερο σύστημα παρέχει όλες τις δυνατότητες που πιθανό να χρειαστεί ακόμα και στις πιο απαιτητικές εγκαταστάσεις. Δεν υπάρχει πρακτικά κανένας περιορισμός επέκτασης ενώ την ίδια στιγμή έχουμε τη δυνατότητα να ανιχνεύουμε ακόμα και τις μικρότερες περιεκτικότητες που παρουσιάζονται. Από άποψη συνδεσιμότητας δίνεται η δυνατότητα να εντάξουμε το σύστημα σε κέντρο ελέγχου εφόσον υπάρχει η προοπτική έξυπνου σπιτιού. Τέλος η ποιότητα κατασκευής του συστήματος διασφαλίζει την απρόσκοπτη λειτουργία του, το οποίο συνεπάγεται την πλήρη ασφάλεια εντός του χώρου.

Το υψηλό κόστος κατασκευής αισθητήρων για σταθερούς ανιχνευτές, ειδικά στις τεχνολογίες IR και PID, δεν επιτρέπει οικονομικότερη προσέγγιση σε ένα πλήρες σταθερό σύστημα. Η ίδια η λογική των σταθερών ανιχνευτών, οι οποίοι καλούνται να μετρούν με μεγάλη ακρίβεια σε μεγάλη απόσταση και επί 24ώρου βάσεως, προϋποθέτει κατασκευή υψηλών προδιαγραφών. Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω είναι πως σε πολλές περιπτώσεις ένα τέτοιο σύστημα κρίνεται ασύμφορο. Η ανάγκη επιτήρησης του χώρου που θερμαίνεται με καυστήρα pellet παρόλα αυτά παραμένει. Σε αυτήν την περίπτωση μία πιθανή διέξοδος θα ήταν η χρήση ενός φορητού ανιχνευτή όπου το κόστος ανέρχεται στα 2.500 ευρώ.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω οι φορητοί ανιχνευτές έχουν αρκετά οικονομικότερους αισθητήρες και ταυτόχρονα έχουν τη δυνατότητα στην ίδια συσκευή να ενσωματώνονται περισσότεροι από έναν αισθητήρες. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε μία συσκευή η οποία μας δείχνει ταυτόχρονα ενδείξεις για όλα τα αέρια που μας ενδιαφέρουν. Προφανώς με αυτήν την προσέγγιση δεν έχουμε τη δυνατότητα αυτοματισμού και συνεχούς παρακολούθησης. Ουσιαστικά η χρήση ενός φορητού ανιχνευτή προϋποθέτει την ενεργοποίηση από εμάς κατά τη χρήση του καυστήρα και την απαραίτητη προσοχή μας σε περίπτωση υπέρβασης ορίων. Η συσκευή διαθέτει πάντοτε φωτεινή και ηχητική ειδοποίηση καθώς και ειδοποίηση δόνησης [64]. Πάντοτε όμως απαιτείται η οποιαδήποτε δράση να γίνει με πρωτοβουλία του χρήστη και όχι αυτόματα.

Με βάση όλα τα παραπάνω προκύπτει ότι υπάρχει η ανάγκη κατασκευής ενός σταθερού συστήματος με γνώμονα την οικονομικότερη προσέγγιση και όχι ίσως την υψηλή ποιότητα κατασκευής, ώστε να δοθεί η δυνατότητα εγκατάστασης προς οικιακή χρήση.

6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Βιβλιογραφία

- [1] Θ. Κρασιά, «ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ», 2016. [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://www.ucy.ac.cy/mme/documents/data/mmk/health-and-safety/Health_and_Safety.pdf.
- [2] «Οδηγία 67/548/ΕΟΚ», 27 Ιούνιος 1967. [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX:31967L0548&from=LV>.
- [3] «Οδηγία 1999/45/ΕΚ», 31 Μάιος 1999. [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:31999L0045&from=LV>.
- [4] «Οδηγία 98/24/ΕΚ», 7 Απρίλιος 1998. [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=CELEX%3A31998L0024>.
- [5] «Augustus Siebe», [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Augustus_Siebe.
- [6] "John Deane (inventor)," [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/John_Deane_\(inventor\)](https://en.wikipedia.org/wiki/John_Deane_(inventor)).
- [7] "Lewis Haslett," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Lewis_Haslett.
- [8] «US6529A», [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/002066829/publication/US6529A?q=pn%3DUS6529>.
- [9] «John Stenhouse», [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/John_Stenhouse.
- [10] "Benoît Rouquayrol," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Benoît_Rouquayrol.
- [11] «Auguste Denayrouze», [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Auguste_Denayrouze.
- [12] «Συμβάσεις της Χάγης του 1899 και του 1907», [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://el.wikipedia.org/wiki/Συμβάσεις_της_Χάγης_του_1899_και_του_1907.
- [13] «Second Battle of Ypres», [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Second_Battle_of_Ypres.
- [14] «Chemical weapons in World War I», [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Chemical_weapons_in_World_War_I.
- [15] «Reddit kills snooping 'warrant canary'», [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://www.bbc.com/news/technology-35943062?intlink_from_url=http://www.bbc.com/news/topics/62d838bb-2471-432c-b4db-f134f98157c2/cybersecurity&.
- [16] "Gas_detector," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Gas_detector.
- [17] «Short-term-Tubes», [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://www.draeger.com/en_seeur/Products/Short-term-Tubes.
- [18] «electrochemical-sensor», [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/electrochemical-sensor>.
- [19] «Potentiostat», [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Potentiostat>.
- [20] D. L. a. L. R. M. Igor Cretescu, «Electrochemical Sensors for Monitoring of Indoor and», University of Iasi, Romania, 2017.
- [21] «Wheatstone_bridge», [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Wheatstone_bridge.
- [22] «Pellistor», [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Pellistor>.

- [23] «Catalytic_bead_sensor,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Catalytic_bead_sensor.
- [24] M. A. Alrefae, «Mid-IR Absorption Cross-Section Measurements of Hydrocarbons,» King Abdullah University of Science and Technology, May 2013. [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://repository.kaust.edu.sa/bitstream/handle/10754/292304/MajedAlrefaeThesis-2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [25] «infrared-gas-detectors,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://www.gdscorp.com/infrared-gas-detectors/>.
- [26] «Polytron-8900-UGLD,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://www.draeger.com/en-us_us/Products/Polytron-8900-UGLD.
- [27] «ultrasonic-gas-leak-detector,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://www.precisionsafety.com.au/ultrasonic-gas-leak-detector/>.
- [28] «Volatile_organic_compound,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Volatile_organic_compound.
- [29] «Photoionization_detector,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Photoionization_detector.
- [30] «ATEX_directive,» wikipedia. [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/ATEX_directive.
- [31] «Hazardous Area Classification and Control of Ignition Sources,» Health and Safety Executive. [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://www.hse.gov.uk/comah/sragtech/techmeasareacclas.htm>.
- [32] «Infrared_open-path_detector,» wikipedia. [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared_open-path_detector.
- [33] «Open Path Gas Detection,» Drager, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://www.analyzedetectnetwork.com/manuals/PQ8TPPqRW2.pdf>.
- [34] «Cross-reactivity,» wikipedia, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-reactivity>.
- [35] «Back to Basics: The Fundamentals of 4-20 mA Current Loops,» Precision Digital Corporation, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://www.predig.com/indicatorpage/back-basics-fundamentals-4-20-ma-current-loops>.
- [36] «Highway_Addressable_Remote_Transducer_Protocol,» wikipedia, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Highway_Addressable_Remote_Transducer_Protocol.
- [37] «hart-protocol-and-applications,» engineersgarage, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://www.engineersgarage.com/what_is/hart-protocol-and-applications/.
- [38] «Modbus,» wikipedia, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Modbus>.
- [39] «Draeger-REGARD-7000,» draeger, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://www.draeger.com/en-us_us/Products/Draeger-REGARD-7000.
- [40] «Pellet boiler cross section,» pngfind, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://www.pngfind.com/mpng/hwRRoxi_pellet-boiler-cross-section-hd-png-download/.
- [41] «Pellet fuel,» wikipedia, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Pellet_fuel.
- [42] «Dust explosion,» wikipedia, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Dust_explosion.
- [43] «PAC 6500,» Drager, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://www.draeger.com/Products/Content/pac-6500-pi-9107369-bg-bg.pdf>.
- [44] «Nitric oxide,» wikipedia, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Nitric_oxide.
- [45] «PAC 8000,» Drager, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://www.draeger.com/Products/Content/pac-8000-pi-9107380-el-gr.pdf>.
- [46] «Διοξείδιο του αζώτου,» wikipedia, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://el.wikipedia.org/wiki/Διοξείδιο_του_αζώτου.

- [47] «Sulfur monoxide,» wikipedia, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur_monoxide.
- [48] «Διγλωρομεθάνιο,» wikipedia, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://el.wikipedia.org/wiki/Διγλωρομεθάνιο>.
- [49] «DrägerSensor® CO 6812241,» Dräger, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://www.draeger.com/en_uk/Technical-Documentation-Service.
- [50] «Variogard 3000,» Draeger, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://www.draeger.com/Products/Content/variogard-3000-pi-9041472-en-gb.pdf>.
- [51] «DrägerSensor® NO 6812243,» Dräger, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://www.draeger.com/en_uk/Technical-Documentation-Service.
- [52] «DrägerSensor® NO2 LC 6800206,» Dräger, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://www.draeger.com/en_uk/Technical-Documentation-Service.
- [53] «Polytron 3000,» Draeger, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://www.draeger.com/Products/Content/polytron-3000-pi-9044675-en-gb.pdf>.
- [54] «DrägerSensor® SO2 6809660,» Dräger, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://www.draeger.com/en_uk/Technical-Documentation-Service.
- [55] «DrägerSensor® O2 6812245,» Dräger, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://www.draeger.com/en_uk/Technical-Documentation-Service.
- [56] «Variogard central unit,» Draeger, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://www.draeger.com/Products/Content/variogard-central-unit-pi-9044429-en-gb.pdf>.
- [57] «Polytron 8100,» Draeger, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://www.draeger.com/Products/Content/polytron-8100-pi-9041538-en-us.pdf>.
- [58] «DrägerSensor® CO 6809605,» Dräger, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://www.draeger.com/en_uk/Technical-Documentation-Service.
- [59] «DrägerSensor® NO 68 09 625,» Dräger, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://www.draeger.com/en_uk/Technical-Documentation-Service.
- [60] «DrägerSensor® NO2 LC 6813205,» Dräger, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://www.draeger.com/en_uk/Technical-Documentation-Service.
- [61] «DrägerSensor® O2 6809720,» Dräger, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://www.draeger.com/en_uk/Technical-Documentation-Service.
- [62] «RAEGuard 2 PID,» RAE, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://prod-edam.honeywell.com/content/dam/honeywell-edam/sps/his/en-us/products/gas-and-flame-detection/documents/HIS_Gas_RAEGuard20220PID_DS_EMEA_0419_FINAL.pdf.
- [63] «Regard 7000,» Draeger, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://www.draeger.com/Products/Content/regard-7000-pi-9104125-en-us.pdf>.
- [64] «X-am 8000,» Draeger, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://www.draeger.com/Products/Content/x-am-8000-pi-9101827-en-us.pdf>.
- [65] «Η ιστορία ενός... αζεσουάρ που προκαλεί τρόμο,» 4 Σεπτέμβριος 2017. [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος].
- [66] Τ. Φωτεινή, «Χημικά, μια παλιά, τραγική, ιστορία,» 8 Μάρτιος 2014. [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://www.tovima.gr/2014/03/08/politics/ximika-mia-palia-tragiki-istoria/>.
- [67] Π. Πέτρος, «ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΩΤΕΡΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ,» ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/1000/synthesi.html>.
- [68] «Χλώριο,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://el.wikipedia.org/wiki/Χλώριο>.
- [69] «Υδρόθειο,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://el.wikipedia.org/wiki/Υδρόθειο>.

- [70] «Μονοξείδιο του άνθρακα,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://el.wikipedia.org/wiki/Μονοξείδιο_του_άνθρακα.
- [71] «Διοξείδιο του θείου,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://el.wikipedia.org/wiki/Διοξείδιο_του_θείου.
- [72] «Διοξείδιο του άνθρακα,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://el.wikipedia.org/wiki/Διοξείδιο_του_άνθρακα.
- [73] «Ατμόσφαιρα της Γης,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://el.wikipedia.org/wiki/Ατμόσφαιρα_της_Γης.
- [74] «Ασφυξιογόνα αέρια,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://el.wikipedia.org/wiki/Ασφυξιογόνα_αέρια.
- [75] «Αριθμός CAS,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://el.wikipedia.org/wiki/Αριθμός_CAS.
- [76] «Αμμωνία,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://el.wikipedia.org/wiki/Αμμωνία>.
- [77] «Άζωτο,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://el.wikipedia.org/wiki/Άζωτο>.
- [78] «Toxic Gas,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/toxic-gas>.
- [79] «Pascal_(unit),» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Pascal_\(unit\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Pascal_(unit)).
- [80] «Density of air,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Density_of_air.
- [81] «Τρίγωνο της φωτιάς,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://el.wikipedia.org/wiki/Τρίγωνο_της_φωτιάς.
- [82] «Προπάνιο,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://el.wikipedia.org/wiki/Προπάνιο>.
- [83] «Όριο επιτρεπτής έκθεσης,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://el.wikipedia.org/wiki/Όριο_επιτρεπτής_έκθεσης.
- [84] «Μεθάνιο,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://el.wikipedia.org/wiki/Μεθάνιο>.
- [85] «Καύση,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://el.wikipedia.org/wiki/Καύση>.
- [86] «KANONISΜΟΣ (ΕΕ) 2019/ 521,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0521&from=EN>.
- [87] «Ευγενή αέρια,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://el.wikipedia.org/wiki/Ευγενή_αέρια.
- [88] «Εκρηκτικές ύλες,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://el.wikipedia.org/wiki/Εκρηκτικές_ύλες.
- [89] «Δελτίο δεδομένων ασφαλείας,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://el.wikipedia.org/wiki/Δελτίο_δεδομένων_ασφαλείας.
- [90] «Βενζίνη,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://el.wikipedia.org/wiki/Βενζίνη>.
- [91] «TOLUENE,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/4654>.
- [92] «Toluene,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1140#section=Melting-Point>.
- [93] «Toluene,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Toluene>.
- [94] «Short-term exposure limit,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Short-term_exposure_limit.
- [95] «PROPANE,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/9018>.
- [96] «Propane,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6334#section=Melting-Point>.
- [97] «Ppm (μονάδα μέτρησης),» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: [https://el.wikipedia.org/wiki/Ppm_\(μονάδα_μέτρησης\)](https://el.wikipedia.org/wiki/Ppm_(μονάδα_μέτρησης)).

- [98] «Occupational_safety_and_health,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Occupational_safety_and_health.
- [99] «METHANE,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/3757>.
- [100] «Methane,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Methane#section=Melting-Point>.
- [101] «Flash_point,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Flash_point.
- [102] «Flammability_limit,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Flammability_limit.
- [103] «Fire_point,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Fire_point.
- [104] «Autoignition_temperature,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Autoignition_temperature.
- [105] «Autoignition,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/autoignition>.
- [106] «1999/92/EK,» [Ηλεκτρονικός Σύνδεσμος]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52003DC0515&from=DA>.