

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

***AIR QUALITY MONITORING DEVICES WITH LOW-COST PORTABLE
AMBIENT SENSORS***

Εκπόνηση: Δημήτριος Ταπεινός

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού

2019

© 2019 Δημήτριος Ταπεινός

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής Γεώργιος Κ.Δ. Σαχαρίδης (Επιβλέπων)

Δεύτερος Εξεταστής Δημήτριος Παντελής

Τρίτος Εξεταστής Νικόλαος Ανδρίτσος

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ.....	5
1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	5
1.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΕΡΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	5
1.3 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	6
1.4 ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ.....	7
1.5 ΒΑΣΙΚΟΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ.....	8
1.6 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ.....	12
1.7 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ ΑΕΡΙΟΥΣ ΡΥΠΟΥΣ.....	13
1.8 ΦΟΡΗΤΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ.....	14
Κεφάλαιο 2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	16
2.1 ΦΟΡΗΤΟΙ ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΑΕΡΙΩΝ.....	16
2.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΙΩΝ.....	18
2.2.1 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	19
2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ.....	20
2.4 ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΙΟΝΙΣΜΟΥ ΦΩΤΟΝΙΩΝ.....	21
2.5 ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΙΟΝΙΣΜΟΥ ΦΛΟΓΑΣ.....	24
2.6 ΥΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ.....	26
2.7 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΟΞΕΙΔΙΟΥ.....	28
2.8 ΦΩΡΗΤΟΙ ΑΕΡΙΟΙ ΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΟΙ.....	31
2.9 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΜΥΤΕΣ.....	33
2.10 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ.....	35
2.11 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ.....	38

2.12	ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....	41
2.13	ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ.....	43
2.14	ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ.....	45
2.15	ΜΙΚΡΟΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (MEMS).....	47
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ.....	48
	Κεφάλαιο 3 ΕΜΠΟΡΙΚΟΙ ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ.....	50
	Κεφάλαιο 4 ΣΕΝΣΟΡΕΣ.....	64
	Κεφάλαιο 5 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	76
5.1	ΘΝΗΣΙΜΟΤΗΤΑ & ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ.....	76
5.2	Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΟ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.....	79
5.3	Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ.....	81
5.4	ΕΚΘΕΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΠΑΤΡΑ.....	84
5.5	ΑΕΡΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ.....	85
5.6	ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΟΝ ΒΟΛΟ.....	86
5.7	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗ ΖΩΝΗ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΑΘΕΤΩΝ ΑΞΟΝΩΝ.....	88
5.8	ΕΤΗΣΙΑ ΕΚΘΕΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ.....	91
5.9	ΕΚΘΕΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ.....	94
5.10	ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΙΑ.....	95
	Βιβλιογραφία.....	97

Κεφάλαιο 1 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στο πρόβλημα της αέριας ρύπανσης και στους τρόπους παρακολούθησής της.

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Ατμοσφαιρική ρύπανση ονομάζεται η παρουσία στην ατμόσφαιρα ουσιών ή ακτινοβολίας σε συγκέντρωση και διάρκεια τέτοια ώστε να προκαλούνται αρνητικές συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα. Οι συγκεντρώσεις των αέριων ρύπων εκφράζονται είτε κατά όγκο σε μέρη το δισεκατομμύριο ppb και μέρη το εκατομμύριο ppm είτε κατά βάρος μάζας ρύπου ανά μονάδα όγκου αέρα $\mu\text{g}/\text{m}^3$, οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων εκφράζονται σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

1.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΕΡΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ [24,27]

Η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, την οικονομία και το περιβάλλον. Η πνευμονική απόθεση και απορρόφηση εισπνεόμενων χημικών ουσιών έχει άμεσες συνέπειες στην υγεία, σύμφωνα με το παγκόσμιο οργανισμό υγείας εκτιμάται ότι προκαλεί 3,7 εκατομμύρια θανάτους ετησίως. Μπορούμε να διακρίνουμε δύο κατηγορίες επιπτώσεων στην υγεία. Η μία αφορά οξείες και η άλλη χρόνιες επιδράσεις. Όταν μιλάμε για οξείες επιδράσεις εννοούμε τις άμεσες, αυτές που εμφανίζονται σύντομα μετά από τη σχετική έκθεση. Οι οξείες επιδράσεις σχετίζονται κυρίως με αναπνευστικά προβλήματα, όπως η αναπνευστική ανεπάρκεια, το άσθμα, η χρόνια βρογχίτιδα και καρδιακά ή κυκλοφορικά νοσήματα. Οι χρόνιες επιδράσεις αφορούν μακροχρόνια έκθεση σε ρύπους και έχουν να κάνουν με καρκινογένεση, επιδράσεις στην ομαλή ανάπτυξη των εμβρύων, επιδράσεις στη γονιμότητα και πρόωρη θνησιμότητα. Η δημόσια υγεία μπορεί επίσης να επηρεαστεί έμμεσα από την εναπόθεση ατμοσφαιρικών ρύπων στα περιβαλλοντικά μέσα και την απορρόφηση τους από τα φυτά και τα ζώα, με αποτέλεσμα την είσοδο χημικών ουσιών στην τροφική αλυσίδα ή την παρουσία τους στο πόσιμο νερό και το έδαφος. Έτσι επηρεάζεται η δομή, η λειτουργία των οικοσυστημάτων και η ικανότητα αυτορρύθμισης δημιουργώντας πρόσθετες πηγές έκθεσης. Επιπλέον η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι υπεύθυνη για την μεταβολή του κλίματος αφού προκαλεί αραίωση του προστατευτικού στρώματος όζοντος με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη.

1.3 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ [21]

Λόγω των σοβαρών επιπτώσεων των ρύπων στο περιβάλλον και τον άνθρωπο η ευρωπαϊκή ένωση εκδίδει οδηγίες , βάσει των οποίων οφείλουν τα κράτη μέλη να προσαρμόζουν την εθνική τους νομοθεσία. Η οδηγία πλαίσιο της Ε.Ε. προβλέπει την έκδοση θυγατρικών οδηγιών. Κάθε θυγατρική οδηγία αναφέρεται σε ένα ρύπο ή μία κατηγορία ρύπων. Στη χώρα μας ισχύουν νομοθετημένα όρια και στόχοι για τους ρύπους διοξείδιο του θείου, αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του αζώτου, όζον, μονοξείδιο του άνθρακα, βενζόλιο, μόλυβδος, αρσενικό, κάδμιο, υδράργυρος και βενζο(α)πυρένιο. Οι οδηγίες που έχουν εκδοθεί μέχρι σήμερα και αφορούν στην ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι:

- Εναρμόνιση της Οδηγίας 1996/62/ΕΚ για την εκτίμηση και διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος (ΚΥΑ 3277/209/2000, ΦΕΚ 180/Β/17-2-2000).

- Εναρμόνιση της Οδηγίας 1999/30/ΕΚ για τις οριακές τιμές διοξειδίου του θείου, οξειδίων του αζώτου, σωματιδίων και μόλυβδου , στον αέρα του περιβάλλοντος (ΠΥΣ 34/30.5.2002, ΦΕΚ 125/Α/ 5-6-02).

- Εναρμόνιση της Οδηγίας 2000/69/ΕΚ για τις οριακές τιμές βενζολίου και μονοξειδίου του άνθρακα στον αέρα του περιβάλλοντος (ΚΥΑ 9238/332, ΦΕΚ 405Β/27.2.05).

- Εναρμόνιση της Οδηγίας 2002/3/ΕΚ σχετικά με το όζον στον ατμοσφαιρικό αέρα (ΚΥΑ ΗΠ 38638/2016, ΦΕΚ 1334Β/21.9.05).

- Εναρμόνιση της Οδηγίας 2004/107/ΕΚ σχετικά με το αρσενικό, το κάδμιο, τον υδράργυρο, το νικέλιο και τους πολυκυκλικούς υδρογονάνθρακες στον ατμοσφαιρικό αέρα (ΚΥΑ ΗΠ 22306/1075/Ε103, ΦΕΚ 920Β/8.6.07).

- Οδηγία 2008/50/ΕΚ για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη, η οποία συσσωματώνει την 96/62/ΕΚ και τις τρεις θυγατρικές της (1999/30/ΕΚ, 2000/69/ΕΚ και 2002/3/ΕΚ), όπως και την απόφαση 97/101/ΕΚ για την καθιέρωση διαδικασίας για την αμοιβαία ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης από μεμονωμένους σταθμούς και δίκτυα.

- Οδηγία 2008/50/ΕΚ για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη (ΚΥΑ ΗΠ 14122/549/Ε103, ΦΕΚ 488Β/30.3.11).

- Οδηγία 2004/107/ΕΚ σχετικά με το αρσενικό, το κάδμιο, τον υδράργυρο, το νικέλιο και τους πολυκυκλικούς υδρογονάνθρακες στον ατμοσφαιρικό αέρα (ΚΥΑ ΗΠ 22306/1075/Ε103, ΦΕΚ 920Β/8.6.07).

- Οδηγία 2015/1480/ΕΚ για την τροποποίηση ορισμένων παραρτημάτων των οδηγιών του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου 2004/107/ΕΚ και 2008/50/ΕΚ, οι οποίες ορίζουν τους

κανόνες σχετικά με τις μεθόδους αναφοράς, την επικύρωση των δεδομένων και την τοποθεσία των σημείων δειγματοληψίας για την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα (ΚΥΑ 174505/607, ΦΕΚ 1311Β/13.4.17)

Με βάση τις παραπάνω οδηγίες ορίζεται μια οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας. Επίσης τα κράτη – μέλη της Ε.Ε. οφείλουν να εκπονούν και να υλοποιούν σχέδια δράσης, με στόχο τη σωστή και έγκυρη προετοιμασία τους όσον αφορά την επίτευξη και τη μετέπειτα τήρηση των ορίων για τους ατμοσφαιρικούς ρύπους.

1.4 ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ [23,24]

Οι πηγές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι οι δραστηριότητές και οι παράγοντες στους οποίους οφείλεται η εκπομπή των ρύπων. Διακρίνονται σε ανθρωπογενείς και φυσικές. Οι ανθρωπογενείς πηγές σχετίζονται με τις ανθρώπινες δραστηριότητες και είναι σταθερές ή κινητές. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι οι βιομηχανικές καύσεις, η παραγωγή ενέργειας, οι μεταφορές (τροχοφόρα, πλοία, αεροπλάνα), η αγροτική παραγωγή και η θέρμανση. Οι φυσικές πηγές έχουν να κάνουν με φυσικά φαινόμενα όπως οι πυρκαγιές, τα ηφαίστεια, οι εκπομπές ουσιών από τις θάλασσες και τους ωκεανούς, η αποσάθρωση του εδάφους και η βιολογική αποσύνδεση των φυτών και των ζώων. Το μεγαλύτερο ποσοστό των αέριων ρύπων προέρχεται από φυσικές πηγές παρόλα αυτά οι ανθρωπογενείς πηγές είναι κυρίως υπεύθυνες για τα περιβαλλοντικά προβλήματα λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων τους και επειδή διαταράσσουν τη φυσική ισορροπία. Ανάλογα με τη προέλευση τους οι ατμοσφαιρικοί ρύποι ταξινομούνται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς. Πρωτογενείς ρύποι ονομάζονται αυτοί οι οποίοι εκλύονται απευθείας στον αέρα όπως είναι για παράδειγμα το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), τα οξείδια του θείου (SO₂), τα αιωρούμενα στερεά σωματίδια και οι υδρογονάνθρακες. Δευτερογενείς ρύποι ονομάζονται οι ρύποι που σχηματίζονται από χημικές αντιδράσεις πρωτογενών ρύπων. Τέτοιοι είναι το φωτοχημικό νέφος, το όζον και η όξινη βροχή. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι ανάλογα με το περιβάλλον το οποίο επηρεάζουν μπορούν να διακριθούν σε εξωτερικούς και ρύπους εσωτερικών χώρων. Οι ρύποι εσωτερικού χώρου μπορεί να προέρχονται από την εξωτερική ατμοσφαιρική ρύπανση η οποία εισέρχεται μέσα στο κτίριο είτε από πηγές που βρίσκονται εντός κτιρίου. Πηγές ρύπων εσωτερικού χώρου αποτελούν τα συστήματα καύσης, τα δομικά και κατασκευαστικά υλικά, τα είδη οικιακής χρήσης, το κάπνισμα, το έδαφος, οι διάφορες ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές, ο άνθρωπος και τα κατοικίδια ζώα. Οι κυριότεροι ρύποι του αέρα των εσωτερικών χώρων είναι ο αμίαντος, το ραδόνιο, οι ρύποι των καύσεων (μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα, αιωρούμενα σωματίδια), το όζον, η φορμαλδεΐδη, το βενζόλιο, οι ρύποι του τσιγάρου, ο μόλυβδος αλλά και τα διάφορα βακτήρια, μύκητες, ιοί και η ακτινοβολία.

1.5 ΒΑΣΙΚΟΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ [24,25,26,28]

• Αιωρούμενα σωματίδια

Τα αιωρούμενα σωματίδια κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την διάμετρο τους για παράδειγμα PM10 είναι εκείνα των οποίων η διάμετρος είναι μικρότερη από 10 μm . Βρίσκονται σε ελεύθερη μορφή στον αέρα ενώ παραμένουν σε αιώρηση για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Εκλύονται στην ατμόσφαιρα είτε άμεσα είτε ως αποτέλεσμα χημικών διεργασιών μέσα σε αυτή. Κύριες ανθρωπογενείς πηγές τους είναι οι βιομηχανικές δραστηριότητες όπως η παραγωγή τσιμέντου και γύψου, τα χυτήρια μεταλλευμάτων, οι κατασκευές και οι αγροτικές δραστηριότητες. Σημαντικές φυσικές πηγές αποτελούν η διάβρωση των εδαφών και των πετρωμάτων, η ηφαιστειακή δραστηριότητα και η καύση της βιομάζας. Έμεσα παράγονται στην ατμόσφαιρα υπό κατάλληλες συνθήκες από τις εξατμίσεις αυτοκινήτων ή εργοστασίων οι οποίες αντιδρούν παρουσία της υγρασίας της ατμόσφαιρας, της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς και χημικών ενώσεων που παίζουν το ρόλο διαλύτη, παράγοντας σωματίδια που αιωρούνται και παραμένουν στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Όσο πιο μικρά είναι τα σωματίδια, τόσο πιο πολύ αυξάνει η πιθανότητα εισχώρησης τους στην αναπνευστική περιοχή των πνευμόνων, όπου εναποτίθενται κυρίως στις κυψελίδες των πνευμόνων και με την πάροδο του χρόνου επιφέρουν σοβαρές βλάβες στην υγεία των ανθρώπων. Τα παιδιά, τα άτομα που πάσχουν από άσθμα ή έχουν καρδιολογικά προβλήματα είναι ομάδες πληθυσμού ιδιαίτερα ευαίσθητες στην έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων. Συνδέονται με ασθένειες των πνευμόνων όπως άσθμα, χρόνια βρογχίτιδα, πνευμονικές δυσλειτουργίες κλπ. Ο χρόνιος ερεθισμός από αυτούς τους αέριους ρύπους προκαλεί επιβάρυνση στο ανοσοποιητικό σύστημα δημιουργώντας προϋποθέσεις να αναπτυχθούν κι άλλοι νόσοι στον άνθρωπο όπως ο καρκίνος. Επιπλέον προκαλούν φθορές στα υλικά και μειώνουν την ορατότητα. Το όριο που έχει θεσπίσει ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας για τα PM10 είναι 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για 24ωρη έκθεση, ενώ για τα PM2,5 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

• Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Εκπέμπεται κυρίως από τις εξατμίσεις των μηχανών των βενζινοκίνητων αυτοκινήτων και πάσης φύσεως μηχανών όταν συντελείται ατελής καύση της καύσιμης ύλης. Άλλες ανθρωπογενείς πηγές του CO είναι η απόθεση στερεών αποβλήτων και η παραγωγή σιδήρου. Στη φύση παράγεται κατά την αποσύνθεση οργανικών ουσιών, στους ωκεανούς από τη δράση των βακτηρίων, από δασικές πυρκαγιές, από τα ηφαιστεια, τις ηλεκτρικές εκκενώσεις που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια των καταιγίδων και τη διαφυγή φυσικών αερίων από τη γη. Με την εισπνοή το CO ενώνεται με την αιμοσφαιρίνη του αίματος σχηματίζοντας τη χημική ένωση καρβοξυαιμογλοβίνη, η οποία παρεμποδίζει την ικανότητα της αιμοσφαιρίνης για μεταφορά του οξυγόνου στους ιστούς του σώματος, με αποτέλεσμα να προκαλείται δηλητηρίαση του οργανισμού με τελική κατάληξη το θάνατο. Ο

παγκόσμιος οργανισμός υγείας προτείνει ως όριο για το μονοξείδιο του άνθρακα ένα άνω όριο ποσοστού καρβοξυαιμογλοβίνης στο αίμα 2,5 έως 3% που αντιστοιχεί σε περίπου 10 mg/m³ co για έκθεση 8 ωρών. Οι συγκεντρώσεις CO στα αστικά περιβάλλοντα επηρεάζονται από παράγοντες όπως η κυκλοφοριακή συμφόρηση καθώς και από μετεωρολογικές συνθήκες με αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις του να έχουν μεγάλες ημερήσιες και εποχικές διακυμάνσεις και περίπλοκες χωρικές κατανομές.

• Διοξείδιο του θείου (SO₂)

Το SO₂ είναι ένας από τους κύριους ρύπους των αστικών περιοχών. Σχηματίζεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες που αφορούν την καύση στερεών και υγρών καυσίμων που περιέχουν θείο και από ορισμένες βιομηχανικές δραστηριότητες όπως είναι η διύλιση πετρελαίου η βιομηχανική κατεργασία θειούχων ενώσεων και στη χαρτοβιομηχανία. Στον ανθρώπινο οργανισμό το SO₂ προσβάλλει το αναπνευστικό σύστημα και ιδιαίτερα των ατόμων εκείνων που έχουν αναπνευστικά προβλήματα, επιπλέον μειώνει την ορατότητα της ατμόσφαιρας, αυξάνει την οξύτητα των επιφανειακών υδάτων και είναι η κύρια συνιστώσα της όξινης βροχής. Ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας προτείνει όριο συγκέντρωσης 125mg/m³ για διάρκεια έκθεσης 24 ωρών και 50 mg/m³ για 1 έτος.

• Οξείδια του Αζώτου (NO_x)

Με τον όρο οξείδια του αζώτου εννοούνται το μονοξείδιο του αζώτου(NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) που εμφανίζονται στον αέρα. Η παραγωγή τους γίνεται από φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές. Στις φυσικές περιλαμβάνονται η μικροβιολογική δράση του εδάφους, οι αστραπές και η φωτόλυση νιτρωδών αλάτων στην επιφάνεια των ωκεανών. Στις ανθρωπογενείς πηγές περιλαμβάνονται η καύση ορυκτών καυσίμων, οι βιομηχανικές κατεργασίες, η καύση βιομάζας, τα αυτοκίνητα και τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας. Οι εκπομπές NO_x επιβαρύνουν ιδιαίτερα το περιβάλλον στις πόλεις. Το διοξείδιο του αζώτου, υπό την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, αντιδρά με υδρογονάνθρακες και οδηγεί στην παραγωγή όζοντος και τη δημιουργία φωτοχημικού νέφους, επίσης τα NO_x καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος, συμμετέχουν στο σχηματισμό όξινης βροχής, συμβάλλουν στην έξαρση του φαινομένου του θερμοκηπίου, προκαλούν σημαντικές αλλαγές στη σύσταση ορισμένων ειδών βλάστησης υδροβιοτόπων και χερσαίων εκτάσεων και επίσης συμβάλουν στην αποσάθρωση των μαρμάρινων μνημείων. Στον άνθρωπο βραχυπρόθεσμη έκθεση σε αυτό το ερεθιστικό αέριο μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό των αεραγωγών καθώς και βλάβες στη λειτουργία των πνευμόνων. Μακροπρόθεσμη έκθεση οδηγεί σε μείωση της ανοσίας κάτι που μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα λοιμώξεις του αναπνευστικού ενώ έκθεση σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι θανατηφόρα επιφέροντας κυρίως πνευμονικό οίδημα. Ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας προτείνει όριο συγκέντρωσης για το NO₂ 200mg/m³ για 1ωρα και 40mg/m³ για 1 έτος.

• Όζον(O₃)

Το περισσότερο όζον βρίσκεται στην ανώτερη ατμόσφαιρα (στρατόσφαιρα) και μας προστατεύει από την υπεριώδη ακτινοβολία. Αντιθέτως, το όζον που βρίσκεται στην τροπόσφαιρα επιφέρει επικίνδυνες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, τα φυτά και τα υλικά. Είναι ένας δευτερογενής ρύπος που σχηματίζεται ως αποτέλεσμα αλυσίδας φωτοχημικών αντιδράσεων μεταξύ του οξυγόνου, υδρογονανθράκων και οξειδίων του αζώτου υπό συνθήκες έντονης ηλιακής ακτινοβολίας και υψηλών θερμοκρασιών. Η βραχυπρόθεσμη έκθεση στο όζον μπορεί να επιτείνει τα αναπνευστικά συμπτώματα όπως η διαταραχή της πνευμονικής λειτουργίας. Η μακροπρόθεσμη ή παρατεταμένη έκθεση ενδέχεται να προκαλέσει άσθμα σε παιδιά και ενήλικες με αποτέλεσμα μόνιμες αναπνευστικές βλάβες ή ακόμα και τον θάνατο. Το όζον είναι επίσης ο ρύπος με τις δυσμενέστερες επιδράσεις στη βλάστηση και στα οικοσυστήματα, οδηγώντας στην υποβάθμιση των αγροτικών εδαφών. Στην Ευρώπη η μέγιστη ωριαία συγκέντρωση όζοντος μπορεί να υπερβεί τα 300 μg/m³ σε αγροτικές περιοχές και τα 350μg/m³ σε αστικές περιοχές. Ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας προτείνει κατευθυντήρια τιμή 120 μg / m³ για μέγιστη περίοδο 8 ωρών την ημέρα.

• Υδρογονάνθρακες (HC) και Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC)

Υδρογονάνθρακες ονομάζονται οι οργανικές ενώσεις, που περιέχουν μόνο υδρογόνο(H) και άνθρακα (C). Το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο είναι η κύρια πηγή παραγωγής υδρογονανθράκων. Οι κυριότερες πηγές υδρογονανθράκων που προέρχονται από φυσικές διεργασίες είναι η βιολογική αποσύνθεση φυτικών και ζωικών οργανισμών, η φυσική έκλυση αερίων και υγρών υδρογονανθράκων από φυσικές πηγές, τα φυτά που εκλύουν μεγάλες ποσότητες και οι βιολογικές και γεωθερμικές διεργασίες. Οι κυριότερες ανθρωπογενείς δραστηριότητες που παράγουν υδρογονάνθρακες είναι οι διαρροές ή οι απώλειες που συμβαίνουν κατά τη μεταφορά πετρελαιοειδών και κατά την αποθήκευσή τους σε υπαίθριες δεξαμενές πρατηρίων διακίνησης υγρών καυσίμων. Η κύρια πηγή διαφυγής υδρογονανθράκων, στις πόλεις είναι το αυτοκίνητο ,επίσης διαφυγή υδρογονανθράκων παρατηρείται κατά την παρασκευή , διακίνηση και χρήση οργανικών διαλυτών. Στους υδρογονάνθρακες ανήκουν το μεθάνιο , το προπάνιο, το αιθάνιο ,το βουτάνιο το εξάνιο κ.α. Οι HC ανήκουν σε μία μεγαλύτερη κατηγορία χημικών γνωστά ως πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC)s. Οι πτητικές οργανικές ενώσεις είναι ένας πρωτογενής ρύπος με μεγάλη σημασία λόγω των μεγάλων εκπομπών , τη σημασία τους στις αντιδράσεις σχηματισμού όζοντος στο επίπεδο του εδάφους και της συμμετοχής στη δημιουργία φωτοχημικού νέφους. Η πλειοψηφία των (VOC)s παράγεται από τα φυτά , το υπόλοιπο παράγεται από τα ζώα, τα μικρόβια, τους μύκητες και τη μούχλα. Αυτή τη στιγμή η οδική κυκλοφορία είναι η κυριότερη πηγή VOC's στις βιομηχανικές χώρες. Στους εσωτερικούς χώρους η παρουσία VOC's οφείλεται στη διείσδυση από το εξωτερικό αλλά μπορεί να προέλθει και λόγω του καπνίσματος, τον οικιακό καθαρισμό ή την απολύμανση, το μαγείρεμα και το βερνίκωμα. Σε αυτές τις ενώσεις ανήκουν

το βενζόλιο το οποίο το συναντάμε στα τσιγάρα, το 1.3 βουταδιένιο, η φορμαλδεΐδη, οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (pcbs) και άλλες ενώσεις. Για τον άνθρωπο τα VOCs είναι τοξικά και καρκινογόνα. Λόγω των δυσμενών επιπτώσεων τους τόσο στο περιβάλλον όσο στον άνθρωπο έχουν ληφθεί μέτρα σε ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο για τη μείωση των εκπομπών τους. Στις πόλεις οι μετρήσεις που προέρχονται από σταθερούς σταθμούς παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα δε δίνουν το ακριβές προφίλ της έκθεσης γιατί τα επίπεδα των VOC's που σχετίζονται με την οδική κυκλοφορία μειώνονται δραματικά καθώς αυξάνεται η απόσταση από το δρόμο προκαλώντας μεγάλες διακυμάνσεις στη διασπορά των VOC's.

• ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Βαρέα ονομάζονται τα μέταλλα, που έχουν πυκνότητα μεγαλύτερη ή ίση των 5 γραμμαρίων ανά κυβικό εκατοστό. Είναι τοξικά και βρίσκονται στην ατμόσφαιρα κυρίως στα σωματίδια είτε υπό στοιχειακή μορφή είτε υπό μορφή ενώσεων. Τα πιο επικίνδυνα βαρέα μέταλλα είναι ο μόλυβδος (Pb), το κάδμιο (Cd), ο υδράργυρος (Hg), το αρσενικό (As) και το νικέλιο (Ni).

➤ Μόλυβδος (Pb) συναντάται τόσο στο φυσικό περιβάλλον όσο και στα προϊόντα ή τα κατάλοιπα της βιομηχανικής παραγωγής, στην εξαγωγή και επεξεργασία μεταλλευμάτων. Τα επίπεδα του μόλυβδου στο αστικό περιβάλλον είναι συνήθως μεταξύ 0,15 και 0,5 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ στις περισσότερες ευρωπαϊκές πόλεις. Ο μόλυβδος χρησιμοποιείται σε μονώσεις, στις μπαταρίες αυτοκινήτων, στον ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό, σε διάφορα κράματα και στην οικοδόμηση κτιρίων. Η μακροχρόνια έκθεση σε μόλυβδο μπορεί να προκαλέσει: υπέρταση, νευρικές διαταραχές, βλάβη στον εγκέφαλο, νεφρική βλάβη και βλάβη στο αναπαραγωγικό σύστημα. Οι οδηγίες του παγκόσμιου οργανισμού υγείας για τον μόλυβδο στον αέρα βασίζονται στη συγκέντρωση μόλυβδου στο αίμα. Προτείνεται ένα κρίσιμο επίπεδο μόλυβδου στο αίμα των 100 $\mu\text{g} / \text{l}$,

➤ Κάδμιο (Cd) Το κάδμιο απορροφάτε κυρίως με τις τροφές και το κάπνισμα, αποτελεί έναν επικίνδυνο και διαδεδομένο περιβαλλοντικό ρύπο με τεκμηριωμένη καρκινογόνο ικανότητα. Η εισπνοή του (είτε λόγω εργασιακής έκθεσης, είτε μέσω καπνίσματος) μπορεί υπό συνθήκες χρονιότητας να οδηγήσει στην ανάπτυξη καρκίνου του πνεύμονα ή σε νεφρική δυσλειτουργία. Ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας προτείνει κατευθυντήρια τιμή 5 ng / m^3 ,

➤ Υδράργυρος (Hg) Υπάρχουν πολλά προϊόντα καθημερινής χρήσης που περιέχουν υδράργυρο όπως θερμομέτρα, θερμοστάτες, λάμπες, μπαταρίες, κ.α. Χρησιμοποιείται επίσης σαν υλικό καθόδου για τη παραγωγή χλωρίου στη βιομηχανία, στη μεταλλουργία χρυσού, σε επιστημονικά όργανα και αλλού. Ο υδράργυρος έχει ιδιαίτερα τοξική δράση για τον άνθρωπο, την πανίδα και τη χλωρίδα. Η έκθεση σε υψηλές δόσεις μπορεί να αποβεί θανατηφόρα για τον άνθρωπο, ενώ ακόμα και με μικρές δόσεις μπορούν να προκληθούν σοβαρές βλάβες στο νευρικό σύστημα, συνδέεται επίσης με πιθανές δυσμενείς

επιπτώσεις στο καρδιαγγειακό, ανοσοποιητικό και αναπαραγωγικό σύστημα. Σε περιοχές που είναι απομακρυσμένες από τη βιομηχανία, τα ατμοσφαιρικά επίπεδα υδραργύρου είναι περίπου 2-4 ng / m³, και στις αστικές περιοχές περίπου 10 ng / m³. Τα όρια ασφαλείας που έχει θεσπίσει η αμερικάνικη επιτροπή περιβάλλοντος (US EPA) για την έκθεση σε ατμούς υδραργύρου είναι 10 μg ανά ημέρα,

➤ Αρσενικό (As) το αρσενικό έχει σημαντική εφαρμογή στη βιομηχανία, κύριες πηγές εκπομπής είναι χυτήρια μη σιδηρούχων μετάλλων και μονάδες παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιούν άνθρακα που περιέχει αρσενικό. Η συνεχής μακροχρόνια έκθεση στο αρσενικό προκαλεί αργό θάνατο και άλλες ασθένειες όπως καρκίνο, διαβήτη, ασθένειες του ήπατος, πεπτικά προβλήματα και βλάβες στο νευρικό σύστημα. Για το αρσενικό το όριο ασφαλείας που προτείνεται από την ΕΕ για τη μέση ετήσια τιμή είναι τα 6 ng/m³,

➤ Νικέλιο(Ni) Το Νικέλιο χρησιμοποιείται συνήθως στη βιομηχανία στην παραγωγή κραμάτων, στην υαλουργία, στα κεραμικά, σε βαφές, στη διύλιση πετρελαίου, στα πλαστικά, σε μπαταρίες, καταλύτες κλπ.). Είναι καρκινογόνο και η ευρωπαϊκή ένωση προτείνει ως όριο ασφαλείας τα 20 ng/m για χρόνο έκθεσης 1 έτος.

1.6 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ

Η ρύπανση αποτελεί την αιτία εμφάνισης για ένα ευρύ φάσμα προβλημάτων, τα σημαντικότερα εκ των οποίων είναι ο κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία, η επιτάχυνση της διάβρωσης των υλικών, η καταστροφή ιστορικών μνημείων και κτιρίων, καθώς και η καταστροφή της χλωρίδας. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν αυτά τα προβλήματα, απαραίτητη είναι η γνώση των επιπέδων συγκεντρώσεων των ρύπων, ώστε να προσδιοριστούν και να εφαρμοστούν στρατηγικές περιορισμού της αέριας ρύπανσης. Παραδοσιακά, ο εξοπλισμός παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα βρίσκεται τοποθετημένος σε σταθερούς σταθμούς εγκατεστημένους σε διάφορες περιοχές και έχει κόστος άνω των 100.000 δολαρίων ανά θέση δειγματοληψίας. Οι σταθμοί είναι εξοπλισμένοι με σύστημα αποθήκευσης δεδομένων, σύστημα τηλεμετάδοσης και σύστημα βαθμονόμησης. Επιπλέον οι σταθμοί είναι συνήθως εξοπλισμένοι με μετεωρολογικό εξοπλισμό για την παράλληλη λήψη και ανάλυση των τιμών των βασικών μετεωρολογικών παραμέτρων που επιδρούν στην ατμοσφαιρική ρύπανση όπως είναι η ένταση του ανέμου, η θερμοκρασία και η υγρασία. Η παρακολούθηση και αξιολόγηση της εξέλιξης των τιμών ατμοσφαιρικής ρύπανσης γίνεται σε ωριαία ή 24ωρη βάση, ανάλογα με τις απαιτήσεις της νομοθεσίας κάθε κράτους. Η εγκατάσταση και η συντήρηση ενός σταθερού συστήματος παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι ιδιαίτερα δαπανηρή αφού απαιτούνται δειγματοληψίες, καταγραφές, αναλύσεις και διάθεση των δεδομένων για μεγάλες χρονικές περιόδους ενώ πρέπει να καλύπτει και μεγάλες γεωγραφικά περιοχές. Συνήθως, αυτοί οι σταθμοί βρίσκονται γύρω από βιομηχανικές περιοχές και περιοχές υψηλής πυκνότητας πληθυσμού

όπως οι μεγάλες πόλεις. Ο εξοπλισμός αυτός περιορίζει τη συλλογή την ανάλυση και τη διάθεση των δεδομένων σε συγκεκριμένα άτομα ή οργανισμούς που χειρίζονται ή διαθέτουν αυτόν τον εξοπλισμό. Οι σταθεροί σταθμοί παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχουν ένα επιπλέον σοβαρό περιορισμό όταν θέλουμε να καθορίσουμε το επίπεδο της προσωπικής έκθεσης σε αέριους ρύπους ιδιαίτερα εκτός των περιοχών που καλύπτονται από αυτούς τους σταθμούς.

1.7 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ ΑΕΡΙΟΥΣ ΡΥΠΟΥΣ[22]

Οι αλλαγές στη συγκέντρωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι δυναμικές, αλλάζουν σχεδόν κάθε ώρα ή ακόμα και πιο συχνά. Η δειγματοληψία και η επακόλουθη μέτρηση δίνουν απλά ένα στιγμιαίο δείκτη της ρύπανσης τη δεδομένη στιγμή και στη δεδομένη θέση. Οι τιμές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης παρουσιάζουν επίσης σημαντικές μεταβολές όσο απομακρυνόμαστε από τις πηγές που τη παράγουν αφού δεν υπάρχει χωρική ομοιομορφία στη διασπορά των ρύπων. Συνήθως χρησιμοποιούνται μοντέλα διασποράς για την εκτίμηση της τιμής των ρύπων σε μια δεδομένη στιγμή και για συγκεκριμένο χώρο αλλά εκτός από το υψηλό κόστος αυτόν των τεχνικών τα αποτελέσματα επηρεάζονται σημαντικά από τις υπάρχουσες μετεωρολογικές συνθήκες, για παράδειγμα ο αέρας αναμιγνύει και αραιώνει τα αέρια, η βροχή μεταφέρει τη σκόνη και άλλες ουσίες στο έδαφος, ενώ υπό συνθήκες ασθενούς ανέμου τα σωματίδια μπορούν συσσωρεύονται προκαλώντας αυξημένη αέρια ρύπανση. Ακόμη και η κατεύθυνση του ανέμου έχει επίπτωση στα επίπεδα της συγκέντρωσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι μετρήσεις του παραδοσιακού σταθερού εξοπλισμού να έχουν πολύ περιορισμένη αξία για έναν μέσο επιβάτη που ταξιδεύει με αυτοκίνητο στο δρόμο ή για έναν ασθενή άσθματος ο οποίος κινείται μέσα σε μια πόλη σε τυχαίες ώρες και τοποθεσίες.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη προσωπική έκθεση σε ρύπανση είναι προσωπικές επιλογές όπως για παράδειγμα η επιλογή του μέσου μεταφοράς ή ο τρόπος συμπεριφοράς όταν κάποιος χρησιμοποιεί ένα μέσο μεταφοράς ή όταν είναι πεζός. Για παράδειγμα η προσωπική έκθεση είναι διαφορετική για έναν πεζό που περπατά δίπλα στα κτίρια σε σχέση με κάποιον που περπατάει στην άκρη του πεζοδρομίου αφού γενικά οι συγκεντρώσεις μειώνονται, όσο αυξάνεται η απόσταση από το δρόμο. Επίσης, η ύπαρξη σταθερών πηγών εκπομπών ρύπων (φανοποιεία, βαφεία, πρατήρια υγρών καυσίμων) και η πυκνότητα της κίνησης μπορούν να επηρεάσουν το μικροπεριβάλλον της περιοχής.

Συνοπτικά οι παράγοντες που επηρεάζουν την προσωπική έκθεση σε αέρια ρύπανση για έναν πεζό είναι:

- Θέση στο πεζοδρόμιο,
- Περαστικοί καπνιστές,
- Παρουσία κάδων με τσιγάρα ή απορρίμματα στην πορεία του πεζού,
- Στάσεις σε φανάρια – διάρκεια αναμονής και πυκνότητα κίνησης,

- Εσωτερικές πηγές ρύπων που ελευθερώνονται από ανοιχτά παράθυρα ή ανεμιστήρες,
- Κατεύθυνση κίνησης,
- Θέση του πεζού στο δρόμο.

Το μέσο μεταφοράς είναι δυνατό να επηρεάσει την έκθεση σε δύο επίπεδα. Πρώτον από την επιλογή του μέσου και δεύτερον από τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες κάθε μέσου ξεχωριστά. Γενικά οι παράγοντες που επηρεάζουν την προσωπική έκθεση σε αέρια ρύπανση για έναν επιβάτη ενός οχήματος είναι:

- Θέση επιβάτη στο αυτοκίνητο (μπρος/πίσω),
- Αερισμός και σημείο εισαγωγής αέρα,
- Ταπετσαρία οχήματος,
- Επιβάτες οχήματος (π.χ. καπνιστές),
- Είδος καυσίμου οχήματος,
- Προηγούμενη χρήση οχήματος,
- Ύψος οχήματος από το έδαφος,
- Θέση οχήματος στην κίνηση,
- Ταχύτητα οχήματος,
- Δραστηριότητα εκκίνησης/σταματήματος,
- Μοντέλο οχήματος.

Η αποτίμηση της προσωπικής έκθεσης σε ρύπανση γίνεται ακόμη πιο δύσκολη μέσα σε μεγάλες πόλεις λόγω του φαινομένου της αστικής χαράδρας. Το φαινόμενο της αστικής χαράδρας παρουσιάζεται σε δρόμους με μικρό πλάτος, όπου κατά μήκος και των δυο πλευρών υπάρχουν κτίρια με ύψος πολύ μεγαλύτερο από το πλάτος του δρόμου. Στο εσωτερικό μιας αστικής χαράδρας, κυρίως όταν η διεύθυνση του ανέμου είναι κάθετη στη διεύθυνση του δρόμου, δημιουργείται ανακυκλοφορία του ανέμου ανάμεσα στις δυο πλευρές του δρόμου, με αποτέλεσμα να παγιδεύονται οι ρύποι σε αυτόν και να αυξάνονται οι συγκεντρώσεις τους στο εσωτερικό της χαράδρας.

1.8 ΦΟΡΗΤΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ

Τα τελευταία χρόνια, σημειώθηκε ταχεία ανάπτυξη λιγότερο δαπανηρών και φιλικότερων προς το χρήστη φορητών συσκευών οι οποίες παράγουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και δεν απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό για να λειτουργήσουν. Το κόστος της νέας γενιάς συσκευών κυμαίνεται από 100 έως 5.000 δολάρια ανά συσκευή. Οι συσκευές αποτελούνται από αισθητήρες οι οποίοι σε συνδυασμό με μικροεπεξεργαστές που ελέγχουν τη συσκευή μετατρέπουν το σήμα των αισθητήρων σε μια έξοδο που δίνει στο χρήστη τη πληροφορία για τους ρύπους που υπάρχουν στον ελεγχόμενο

αέρα. Κάθε ρύπος απαιτεί διαφορετική τεχνολογία αισθητήρων. Οι συσκευές αυτές μπορούν να δημιουργήσουν μια νέα δυναμική στο τομέα παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα αφού δίνουν τη δυνατότητα για άμεσα , εξατομικευμένα αποτελέσματα παρέχοντας επίσης αυξημένη διαθεσιμότητα και προσβασιμότητα των δεδομένων. Οι φορητοί αισθητήρες ατμοσφαιρικής ρύπανσης χαμηλότερου κόστους παρέχουν στους πολίτες την ευκαιρία να παρακολουθούν την ποιότητα του αέρα σε τοπικό επίπεδο κάτι που μπορεί να επηρεάσει άμεσα την καθημερινότητά τους, αφού αποκτούν καλύτερη εικόνα για πιθανά ζητήματα ποιότητας του αέρα στην κοινότητά τους και μπορούν να αναπτύξουν καλύτερες κοινοτικές στρατηγικές για τη μείωση της έκθεσης τους στην ατμοσφαιρική ρύπανση προστατεύοντας έτσι καλύτερα την υγείας τους.

Μερικές από τις πιο σημαντικές εφαρμογές αυτών των συσκευών είναι στη βιομηχανία για πρόληψη ατυχημάτων και η χρήση τους σε έκτακτα περιστατικά. Το ανθρώπινο δυναμικό το οποίο φτάνει πρώτο σε ένα ατύχημα ή σε μια καταστροφή, συχνά δε γνωρίζει εάν εισέρχεται σε περιοχή που έχει δυνητικά επιβλαβείς ή θανατηφόρους χημικούς κινδύνους. Ο μικρός, φορητός ανιχνευτής εντοπίζει και ποσοτικοποιεί τον κίνδυνο, επιτρέποντας στους πρώτους ανταποκριτές να λάβουν γρήγορα μέτρα για να προστατεύσουν τον εαυτό τους και τους γύρω τους. Μια τέτοια συσκευή μπορεί επίσης να δείξει εάν υπάρχει ένα παράνομο εργαστήριο σε μια περιοχή, προσδιορίζοντας τους ατμούς των διαλυτών και τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται συνήθως σε ορισμένες παράνομες λειτουργίες (π.χ. παρασκευή φαρμάκων).

Παρά τις δυνατότητες αυτών των τεχνολογιών που είναι μεγάλες, υπάρχουν ακόμη σημαντικές προκλήσεις στην εφαρμογή τους. Ενώ ο παραδοσιακός εξοπλισμός παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα λειτουργεί σύμφωνα με καθιερωμένα πρωτόκολλα για τη διασφάλιση της ποιότητας οι νέες φορητές συσκευές πιθανόν να μην λειτουργούν σύμφωνα με τις αντίστοιχες απαιτήσεις κάνοντας την ερμηνεία των δεδομένων τους δύσκολη. Επίσης μερικοί αισθητήρες ενδέχεται να έχουν μειωμένη ακρίβεια λόγω της υγρασίας, της διαφοράς θερμοκρασίας κατά τη μετάβαση από εσωτερικούς σε εξωτερικούς χώρους και εξαιτίας γήρανσης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Η παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα είναι εξαιρετικά σημαντική στον σημερινό κόσμο, καθώς έχει άμεσο αντίκτυπο στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Τα στοιχεία που προκύπτουν από τους σταθερούς σταθμούς μετρήσεων ενδεχομένως να μην ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα επειδή η έκθεση σε αέριους ρύπους επηρεάζεται από πληθώρα παραγόντων, όπως το φαινόμενο της αστικής χαράδρας και προσωπικές επιλογές. Οι νέες φορητές συσκευές χαμηλού κόστους αποτελούν τη νέα τάση στη παρακολούθηση της αέριας ρύπανσης, αν και δεν έχουν κατακτήσει ακόμα τα επίπεδα

αξιοπιστίας των παραδοσιακών τύπων μπορούν να βρουν εφαρμογές στη παρακολούθηση σε τοπικό επίπεδο, φέρνοντας αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παλαιότερες μεθόδους. Εκτός από το χαμηλότερο κόστος οι συσκευές αυτές επιτρέπουν τη άμεση λήψη δεδομένων χωρίς προηγούμενη ανάλυση σε εργαστήριο, ενώ η φορητότητα και η ευκολία χρήσης από μη εξειδικευμένο προσωπικό σε οποιοδήποτε χρονική στιγμή βοηθά στο να παρακάμπτονται οι περιορισμοί της χρονικής και χωρικής μεταβλητότητας που παρουσιάζονται στη μέτρηση της αέριας ρύπανσης παράγοντας έτσι πιο εξατομικευμένα αποτελέσματα και προστατεύοντας καλύτερα τις ευπαθής ομάδες του πληθυσμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι βασικοί τύποι τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται στις φορητές συσκευές παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα. Σε κάθε τεχνολογία παρουσιάζονται η αρχή λειτουργίας, τα βασικά χαρακτηριστικά καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους.

2.1 ΦΟΡΗΤΟΙ ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΑΕΡΙΩΝ

Οι φορητοί ανιχνευτές αερίων είναι συσκευές οι οποίες μέσω αισθητήρων μπορούν να ανιχνεύουν την ύπαρξη επικίνδυνων αερίων και να ειδοποιούν μέσω ηχητικών ή οπτικών σημάτων το χρήστη. Χρησιμοποιούνται κυρίως για ανίχνευση τοξικών ή εύφλεκτων αερίων και για τον έλεγχο του επιπέδου του οξυγόνου. Οι συσκευές αυτές μπορούν να τοποθετηθούν πάνω στα ρούχα του χρήστη ενώ για τη λειτουργία τους χρησιμοποιούνται συνήθως μπαταρίες. Μια φορητή συσκευή αερίων (εικόνα 2.1) αποτελείται από:

- Ένα εξωτερικό περίβλημα(κέλυφος της συσκευής) συνήθως κατασκευασμένο από πολυανθρακικό υλικό το οποίο είναι ανθεκτικό σε χτυπήματα ,έχει αντοχή στην εισροή σκόνης και είναι αδιάβροχο ,
- Τον αισθητήρα ή του αισθητήρες της συσκευής(Πολλά συστήματα εμπορικών ανιχνευτών συνδυάζουν πολλούς αισθητήρες ρύπων αέρα σε ένα σύστημα και συχνά περιλαμβάνουν αισθητήρες για μη-ρύπογόνους παραμέτρους όπως η υγρασία ή η θερμοκρασία),
- Μια οθόνη στην οποία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων,

- Τα πλήκτρα της συσκευής τα οποία κατασκευάζονται ώστε να μπορούν να πατηθούν ακόμη και με γάντια εργασίας,
- Μια υποδοχή λήψης αερίου για τη βαθμονόμηση της συσκευής,
- Ηχεία σήμανσης συναγερμού,
- Λαμπτήρες τύπου LED για το φωτισμό της οθόνης,
- Ηλεκτρικό μοτέρ δόνησης για την ειδοποίηση του χρήστη σε κατάσταση συναγερμού,
- Ασύρματο πομπό για τη μετάδοση των δεδομένων σε ένα απομακρυσμένο δέκτη,
- Μπαταρία για τη τροφοδότηση της συσκευής,
- Έναν μικροεπεξεργαστή για τη διαχείριση όλων των παραπάνω συσκευών και για τη μετατροπή του αναλογικού σήματος του αισθητήρα σε ψηφιακό ώστε ο χρήστης να μπορεί να ερμηνεύσει το αποτέλεσμα της μέτρησης.



Εικόνα 2.1: Τα μέρη της φορητής συσκευής

(Πηγή: www.rkiinstruments.com)

2.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΙΩΝ

Ως αισθητήρας ορίζεται μια συσκευή η οποία ανιχνεύει ένα μακροσκοπικό φυσικό μέγεθος και το μετατρέπει σε ηλεκτρικά μετρήσιμη έξοδο. Οι αισθητήρες αερίων ανιχνεύουν αλλαγές σε ένα φυσικό μέγεθος ενός αερίου μίγματος και παράγουν από αυτό μία μετρήσιμη έξοδο. Η φυσική ποσότητα που ανιχνεύετε μπορεί να είναι μηχανική, θερμική ή ηλεκτρομαγνητική. Συνήθως υπάρχει ένα φίλτρο(συστατικό αναγνώρισης) που εξασφαλίζει ότι η συσκευή ανταποκρίνεται μόνο σε ένα αέριο στόχο και ένας μετατροπέας που μετατρέπει τις μεταβολές σε μετρήσιμη ποσότητα. Τα βασικά στοιχεία που απαρτίζουν τον αισθητήρα είναι η ενεργός επιφάνεια, (activesurface), ο μετατροπέας σήματος, (transducer) και ένα ηλεκτρονικό τμήμα. Η ενεργός επιφάνεια αποτελείται από το συστατικό αναγνώρισης, (recognition element), που πραγματοποιεί την ανίχνευση και το οποίο μπορεί να είναι κάποιο ακινητοποιημένο βιομόριο ή στρώμα πολυμερών. Η ανίχνευση βασίζεται σε φυσικές ιδιότητες όπως το μέγεθος των μορίων των αερίων (όπως στην φασματοσκοπία κινητικότητας ιόντων), τα οπτικά χαρακτηριστικά των μορίων του αερίου (οπτική φασματοσκοπία) ή χημικά χαρακτηριστικά (όπως στους ανιχνευτές καταλυτικών σφαιριδίων ή στη χρωματομετρική ανίχνευση). Η αναγνώριση του αερίου πραγματοποιείται μέσω διεργασιών που προκύπτουν από την αλληλεπίδραση μεταξύ του αερίου και της επιφάνειας του αισθητήρα. Οι αλληλεπιδράσεις μπορεί να έχουν τη μορφή προσρόφησης, χημικών ή ηλεκτροχημικών αντιδράσεων. Το συστατικό αναγνώρισης είναι ένα βασικό τμήμα, καθώς ενισχύει την ικανότητα της συσκευής να αντιδράσει επιλεκτικά με κάποια συγκεκριμένη αναλυτέα ουσία ή με μια επιθυμητή ομάδα συστατικών, αποφεύγοντας έτσι την ανεπιθύμητη αλληλεπίδραση με άλλα συστατικά. Ο μετατροπέας σήματος, είναι μια συσκευή που ανιχνεύει την αλληλεπίδραση ανάμεσα στην ενεργό επιφάνεια και την προς μέτρηση ουσία και μετατρέπει την παρατηρούμενη μεταβολή, (φυσική, χημική), σε μετρήσιμο σήμα. Η λειτουργία μετατροπέα εξαρτάται από τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση αερίων. Η αναγνώριση αερίου από ημιαγώγιμα οξείδια μετατρέπεται σε σήμα ανίχνευσης μέσω των αλλαγών ηλεκτρικής αντίστασης των στοιχείων αισθητήρα, ενώ η χωρητικότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τα στοιχεία που χρησιμοποιούν διηλεκτρικά υλικά. Άλλοι τύποι αισθητήρων μπορούν να χρησιμοποιήσουν ως σήματα ανίχνευσης την ηλεκτροκινητική δύναμη, τη συχνότητα συντονισμού, την οπτική απορρόφηση ή την εκπομπή κ.λπ. Το ηλεκτρικό τμήμα του αισθητήρα είναι υπεύθυνο για την επεξεργασία και την ενίσχυση του παραγόμενου σήματος.. Η απόκριση ενός αερίου αισθητήρα είναι συνάρτηση (συνήθως μη γραμμική) της συγκέντρωσης του αερίου.

2.2.1 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ [16]

Τα χαρακτηριστικά ενός αισθητήρα καθορίζουν την απόδοση του, τη σταθερότητα της λειτουργίας του και την ταχύτητα της απόκρισης του στα ερεθίσματα που δέχεται. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά είναι τα παρακάτω:

- Ευαισθησία: είναι το επίπεδο της συγκέντρωσης ενός αερίου, πάνω από το οποίο μπορεί να ανιχνευτεί από τον αισθητήρα. Η ευαισθησία μπορεί να βελτιωθεί αλλάζοντας τη μικροσκοπική δομή του υλικού. Μπορεί να εκφραστεί ως η μεταβολή της απόκρισης του αισθητήρα διαιρεμένη με τη μεταβολή της συγκέντρωσης του αερίου,
- Επιλεκτικότητα: είναι η ικανότητα του αισθητήρα να μετρήσει ένα μόνο συγκεκριμένο αέριο σε περιβάλλοντα όπου συνυπάρχουν πολλά αέρια. Η επιλεκτικότητα εξαρτάται από πολλές παραμέτρους. Συνήθως επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας καταλύτες με τροποποιημένες ιδιότητες (πχ προσθέτοντας μεταλλικά συμπλέγματα στην επιφάνειά τους) και ρυθμίζοντας την επιφανειακή προσρόφηση με την επιλογή κατάλληλης θερμοκρασίας λειτουργίας,
- Σταθερότητα: είναι η ικανότητα του αισθητήρα να παράγει την ίδια απόκριση κατά τη μέτρηση μιας σταθερής συγκέντρωσης ενός αερίου για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, εκφράζει την αξιοπιστία του αισθητήρα,
- Χρόνος απόκρισης: είναι ο χρόνος που χρειάζεται ο αισθητήρας για να αποκριθεί στην παρουσία ενός αερίου. Συνήθως οι σταθερές χρόνου είναι της τάξης μερικών δευτερολέπτων,
- Όριο ανίχνευσης : είναι η μικρότερη τιμή του μετρούμενου μεγέθους που μπορεί να μετρήσει ένας αισθητήρας,
- Έυρος ανίχνευσης : είναι το εύρος των τιμών που κυμαίνεται από το όριο ανίχνευσης έως την υψηλότερη συγκέντρωση του αερίου που μπορεί να μετρήσει ο αισθητήρας,
- Γραμμικότητα: Αποτελεί το βαθμό, στον οποίο η γραφική παράσταση της εξόδου ως προς την είσοδο του αισθητήρα προσεγγίζει μια ευθεία γραμμή,
- Χρόνος λειτουργίας: Αποτελεί ένδειξη του χρόνου κατά τον οποίο αναμένεται να λειτουργεί στα πλαίσια των προδιαγραφών του. Εκφράζεται σε μονάδες χρόνου ή κύκλων λειτουργίας.

2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ [2,4,7,15,16]

Οι φορητές συσκευές παρακολούθησης αερίων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε διάφορους τύπους με βάση τους μηχανισμούς λειτουργίας των αισθητήρων που χρησιμοποιούν, τη φυσική αρχή στην οποία στηρίζεται η λειτουργία τους και με βάση το πεδίο των εφαρμογών τους. Γενικά υπάρχουν δύο τύποι αισθητήρων. Ο ενεργός αισθητήρας και ο παθητικός αισθητήρας. Οι ενεργοί αισθητήρες είναι αισθητήρες που μεταδίδουν στο περιβάλλον κάποιο είδος ενέργειας (μικροκύματα, ήχο, φως κ.λπ.) και στη συνέχεια ανιχνεύουν τις αλλαγές που συμβαίνουν στη μεταδιδόμενη ενέργεια. Οι ενεργοί αισθητήρες απαιτούν για να λειτουργήσουν μια πηγή ηλεκτρικής τροφοδοσίας. Οι παθητικοί αισθητήρες δεν μεταδίδουν ενέργεια αλλά ανιχνεύουν μόνο την ενέργεια που μεταδίδεται από μια πηγή ενέργειας, π.χ. ανιχνευτές κίνησης που είναι κυρίως παθητικοί υπέρυθροι αισθητήρες. Οι παθητικοί αισθητήρες δεν απαιτούν μια πηγή ηλεκτρικής ενέργειας για να λειτουργήσουν.

Ανάλογα με τον τομέα εφαρμογής τους οι αισθητήρες αερίων διακρίνονται σε :

- χημικούς ,
- μηχανικούς ,
- αισθητήρες στέρεας κατάστασης ,
- Βιοχημικούς,
- Θερμικούς.

Οι χημικοί αισθητήρες αποκρίνονται ανιχνεύοντας αλλαγές σε χημικές ιδιότητες μέσω χημικών αντιδράσεων που προκύπτουν από την αλληλεπίδραση του αερίου με τον αισθητήρα. Οι θερμικοί αισθητήρες βασίζονται τη λειτουργία τους στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο ενώ οι βιοχημικοί αποτελούν υποκατηγορία των χημικών αισθητήρων και λειτουργούν μέσω βιοχημικών αντιδράσεων. Οι αισθητήρες στερεάς κατάστασης ανιχνεύουν αλλαγές σε φυσικές ιδιότητες (όπως η ηλεκτρική αντίσταση , η χωρητικότητα , η μάζα, ο δείκτης διάθλασης, η θερμοκρασία ή η αγωγιμότητα) χωρίς να υπάρχουν χημικές αντιδράσεις. Διακρίνονται με βάση την αρχή λειτουργίας τους σε αισθητήρες ημιαγωγών, οπτικούς, καταλυτικούς, ηλεκτροχημικούς και πιεζοηλεκτρικούς.

Οι σπουδαιότερες κατηγορίες αισθητήρων αερίων με βάση την αρχή με την οποία γίνεται η ανίχνευση παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα.

ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ	ΕΙΔΟΣ
Αισθητήρες ημιαγωγών (χημειο-αντιστάσεις)	Αγωγιμότητα	MOS-Αγώγιμο πολυμερές
Χωρητικοί	Χωρητικότητα	Πολυμερές (χημειοπυκνωτές)

Ποτενσιομετρικοί	Τάση	MOSFET (χημειοτρανζίστορ)
Θερμιδομετρικοί	Θερμοκρασία	Πελίστορ-Θερμοζεύγος
Οπτικοί	Δείκτης διάθλασης είτε ένταση ή φάσμα	φθορισμός, φωταύγεια (τύπου οπτικής ίνας) -SPR (τύπου συντονισμού)
Σταθμικοί (mass sensitive)	Πιεζοηλεκτρισμός	Επιφανειακό ακουστικό κύμα (SAW)

Πίνακας 2.1 (πηγή: H. Nanto & J. R. Stetter)

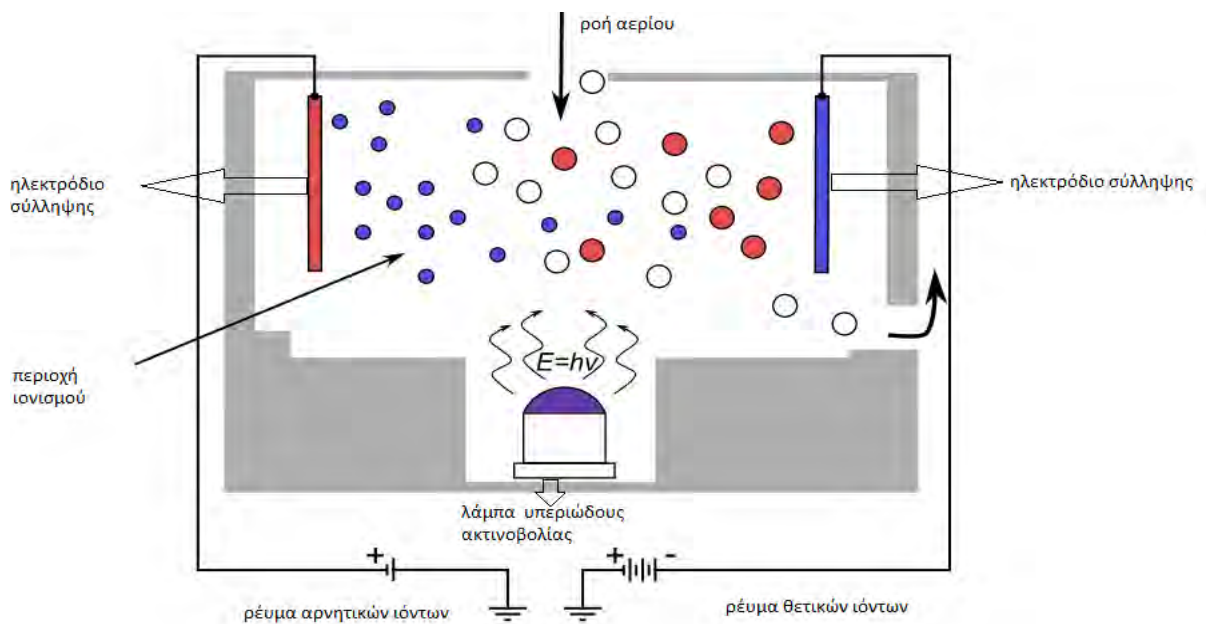
Με κριτήριο την τεχνολογία που εφαρμόζεται στην ανάπτυξή τους οι αισθητήρες αερίων μπορούν να χωριστούν σε τρεις κύριες ομάδες :

- **Οπτικοί αισθητήρες:** Οι οπτικοί αισθητήρες μετρούν τα φάσματα απορρόφησης μετά την αλληλεπίδραση του αερίου στόχου με το φως. Το σύστημα μέτρησης αποτελείται μια πηγή φωτός και έναν οπτικό αισθητήρα για την ανάλυση των απορροφούμενων φάσεων. Για την ανάλυση των αερίων χρησιμοποιούνται αναλυτικές τεχνικές όπως φασματοσκοπία υπερύθρου, υπεριώδης φθορισμός, χρωματογραφία κ.λπ,
- **Φασματοσκοπικοί αισθητήρες:** Τα φασματοσκοπικά συστήματα κάνουν μια άμεση ανάλυση της μοριακής μάζας ή του δονητικού φάσματος του αερίου στόχου. Μπορούν να μετρήσουν ποσοτικά τη σύνθεση διαφορετικών αερίων με καλή ακρίβεια. Η αέρια χρωματογραφία και η φασματομετρία μάζας είναι τα πιο σημαντικά φασματοσκοπικά συστήματα αισθητήρων αερίων,
- **Αισθητήρες στερεάς κατάστασης:** Η ανίχνευση σε αυτούς τους αισθητήρες πραγματοποιείται μετρώντας την μεταβολή που προκύπτει από την αλληλεπίδραση του αερίου με τη στερεή επιφάνεια του αισθητήρα. Η μεταβολή μπορεί να είναι στην αγωγιμότητα, τη χωρητικότητα, σε οπτικά χαρακτηριστικά ή στην ενέργεια που απελευθερώνεται από την αλληλεπίδραση αερίου / στερεού.

2.4 ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΙΟΝΙΣΜΟΥ ΦΩΤΟΝΙΩΝ[2,3,5,17]

Η αρχή λειτουργίας αυτών των ανιχνευτών βασίζεται στον ιονισμό των μορίων των αερίων. Ιονισμός είναι το φαινόμενο της πρόσληψης ή απώλειας ηλεκτρονίων σε ένα ηλεκτρικά ουδέτερο άτομο. Οι περισσότερες ουσίες μπορούν να ιονισθούν, κάποιες μπορούν ευκολότερα από άλλες. Η ικανότητα μιας ουσίας να ιονισθεί (ionization potential) IP μετράτε χρησιμοποιώντας ως κλίμακα το ηλεκτρονιοβόλτ εν. Ουσίες με ικανότητα ιονισμού της τάξης των 7 εν είναι πολύ εύκολο να ιονισθούν ενώ ουσίες με ικανότητα ιονισμού μεταξύ 12 και 16 εν είναι δυσκολότερο να ιονισθούν. Οι ανιχνευτές

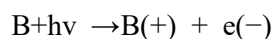
ιονισμού χρησιμοποιούν φωτόνια υψηλής ενέργειας τα οποία βρίσκονται στη περιοχή της υπεριώδους ακτινοβολίας παραγόμενα από μια λάμπα. Ο μηχανισμός λειτουργίας ενός pid ανιχνευτή φαίνεται στη παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.2

Πηγή(https://www.researchgate.net/publication/275251069_Micro-structured_electron_accelerator_for_the_mobile_gas_ionization_sensor_technology)

Το εξεταζόμενο αέριο εισέρχεται μέσω ενός φίλτρου από τη κορυφή του ανιχνευτή και στη συνέχεια διαχέεται μέσα σε ένα θάλαμο ο οποίος έχει ένα παράθυρο προς τη λάμπα υπέρυθρης ακτινοβολίας. Όταν τα ουδέτερα μόρια των χημικών ενώσεων έρχονται σε επαφή με τα φωτόνια που εκπέμπει η λάμπα των ανιχνευτών προκαλείται διέγερση στα μόρια με αποτέλεσμα τον ιονισμό τους. Κατά τη διάρκεια του ιονισμού η ενέργεια ($h \cdot \nu$) των φωτονίων μεταφέρεται στα άτομα (B) του αέριου ρύπου με αποτέλεσμα αυτά να αποβάλουν ηλεκτρόνια και να σχηματίζονται θετικά φορτισμένα ιόντα:



Η ενέργεια των φωτονίων είναι στην περιοχή των 10 eV, έτσι ώστε μόνο αέρια με χαμηλή ενέργεια ιονισμού μπορούν να ιονισθούν. Τα κύρια συστατικά του αέρα, το οξυγόνο και το άζωτο, δεν σχηματίζουν ιόντα σε αυτό το φάσμα ακτινοβολίας. Στη συνέχεια, τα ιόντα που έχουν σχηματιστεί κατευθύνονται μεταξύ δύο πολωμένων ηλεκτροδίων. Τα ιόντα κινούνται προς τα ηλεκτρόδια μέσα σε ένα ηλεκτρικό πεδίο το οποίο παράγεται από ένα ηλεκτρόμετρο. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μια ροή ρεύματος, η οποία είναι ανάλογη με τη συγκέντρωση των ενώσεων που υποβάλλονται σε ιονισμό. Όσα περισσότερα μόρια βρίσκονται στον αέρα τόσο περισσότερα ιόντα θα σχηματίζονται με αποτέλεσμα μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και μεγαλύτερη ένδειξη του ανιχνευτή. Η

ένδειξη της συγκέντρωσης είναι σε μέρη στο εκατομμύριο ppm. Γενικά, οποιαδήποτε ένωση με ενέργεια ιονισμού μικρότερη από εκείνη των φωτονίων της λάμπας μπορεί να μετρηθεί.

Οι pid ανιχνευτές μετράνε συνήθως ενώσεις όπως το βενζόλιο, το τολουόλιο, το χλωριούχο βινύλιο, το εξάνιο, το τριχλωροαιθυλένιο, το οξείδιο του προπυλενίου ενώ δε μπορούν να ανιχνεύσουν άζωτο, διοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, μονοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, φθοριούχο υδρογόνο, χλωριούχο υδρογόνο, φθόριο, εξαφθοριούχο θείο και όζον. Η υπεριώδης ακτινοβολία που χρησιμοποιείται παράγεται από μια λάμπα συνήθως στο μέγεθος ενός λαμπτήρα. Μια λάμπα των 10,6 ev βγάζει αρκετή ενέργεια ώστε να ιονίσει ρύπους με ip μικρότερη από 10,6 ev. Υπάρχει περιορισμένος αριθμός ενώσεων που απαιτούν λάμπα 11,7 ev για ιονισθούν όμως υπάρχει αστάθεια λειτουργίας στις λάμπες αυτές και μικρός χρόνος ζωής οπότε προτιμάτε συνήθως άλλος τρόπος ανίχνευσης για αυτές τις ανώσεις. Η ευαισθησία ενός PID ποικίλει ανάλογα με τον τύπο της χρησιμοποιούμενης λυχνίας και τη χημική ουσία που μετράμε. Ο ιδανικός τρόπος ρύθμισης ενός pid ανιχνευτή είναι χρησιμοποιώντας μια μετρήσιμη τιμή πρότυπο για το κάθε αέριο που θέλουμε να μετρήσουμε. Αυτός ο τρόπος δεν είναι πρακτικός ούτε πάντα εφικτός αφού κάποια αέρια είναι επικίνδυνα για την υγεία ακόμη και σε χαμηλή συγκέντρωση. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται παράγοντες απόκρισης. Παράγοντας απόκρισης είναι ένας αριθμός ο οποίος συνδέει την απόκριση του PID σε ένα συγκεκριμένο αέριο με την απόκριση του σε ένα γνωστό αέριο αναφοράς. Συνήθως το γνωστό αέριο που χρησιμοποιείται είναι το ισοβουτυλένιο το οποίο βρίσκεται στο μέσο όρο ιονισμού των περισσοτέρων ενώσεων και επιπλέον είναι ακίνδυνο σε χαμηλή συγκέντρωση. Για να διορθωθεί η απόκριση ο χρήστης πολλαπλασιάζει την ένδειξη του ανιχνευτή με το παράγοντα απόκρισης του αερίου που θέλει να μετρήσει.

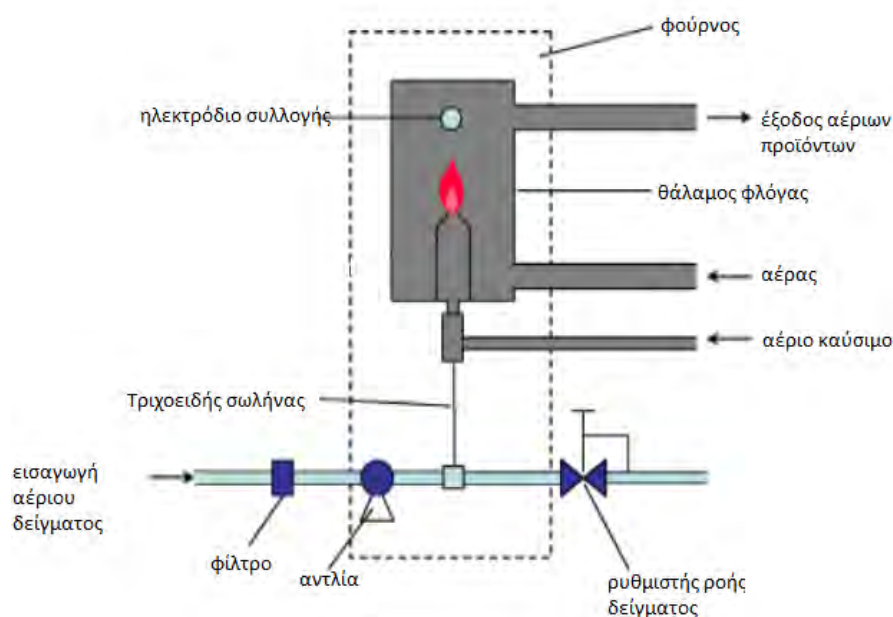
Τα πλεονεκτήματα αυτών των ανιχνευτών είναι η ταχύτητα απόκρισης, η ευκολία χρήσης και συντήρησης, το μικρό τους μέγεθος και η ικανότητα ανίχνευσης χαμηλών επιπέδων πτητικών οργανικών ενώσεων σε επίπεδα μικρότερα από 1 ppm. Επίσης δεν καταστρέφουν/καταναλώνουν τα συστατικά που ανιχνεύουν. Ένας ανιχνευτής PID είναι ευρέως φάσματος ανιχνευτής και δεν είναι σε καμία περίπτωση επιλεκτικός καθώς ιονίζει όλα τα στοιχεία με ενέργεια ιονισμού ίση ή μικρότερη της λάμπας που περιέχει. Παρόλα αυτά μπορεί να γίνει εξαιρετικά επιλεκτικός αν συνδυαστεί με κάποιες τεχνικές χρωματογραφίας. Οι ανιχνευτές ιονισμού φωτονίων σε σύγκριση με του ανιχνευτές ιονισμού φλόγας είναι μικρότεροι, ελαφρύτεροι και απλούστεροι στη χρήση και επομένως προτιμώνται για φορητές εφαρμογές.

Τα μειονεκτήματα αυτών των ανιχνευτών είναι ότι είναι μη επιλεκτικοί καθώς δεν μπορούν να αναγνωρίσουν με ακρίβεια ελαφρώς ή σε μεγάλο βαθμό ιονιζόμενες ουσίες στις ενώσεις αερίων ενώ η απόδοση τους επηρεάζεται έντονα από τη σκόνη, την υγρασία και την γήρανση των εξαρτημάτων. Σε συνθήκες υψηλής υγρασίας οι υδρατμοί απορροφούν φωτόνια οδηγώντας σε εσφαλμένα σε χαμηλές μετρήσεις ενώ η ύπαρξη σκόνης μπορεί να βραχυκυκλώσει τα ηλεκτρόδια οδηγώντας τη συσκευή σε λανθασμένες υψηλές μετρήσεις. Για το περιορισμό αυτών των επιδράσεων χρησιμοποιούνται φίλτρα

σκόνης τα οποία καθαρίζονται και αντικαθίστανται ανά περιόδους, επιπλέον ένας αισθητήρας υγρασίας είναι εγκατεστημένος στον PID, προσδιορίζοντας ξεχωριστά την υγρασία του αέρα και συμβάλλοντας στη διαδικασία μέτρησης.

2.5 ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΙΟΝΙΣΜΟΥ ΦΛΟΓΑΣ [16,17]

Οι ανιχνευτές ιονισμού φλόγας είναι από τους πλέον χρησιμοποιούμενους ανιχνευτές στην αέρια χρωματογραφία. Σαν φορητές συσκευές χρησιμοποιούνται συνήθως από ομάδες αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης για την ανίχνευση της παρουσίας δυνητικά εύφλεκτων ή τοξικών αερίων και ατμών. Χρησιμοποιούνται επίσης για την ανίχνευση διαρροών φυσικού αερίου, για την παρακολούθηση και την αξιολόγηση των εκπομπών σε τοποθεσίες επικίνδυνων αποβλήτων, για τη μέτρηση υδρογονανθράκων στην αυτοκινητοβιομηχανία καθώς και για την ανίχνευση διαρροών σε δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων και χημικών. Η λειτουργία τους είναι παρόμοια με τη λειτουργία των ανιχνευτών ιονισμού φωτονίων με τη διαφορά ότι ο ιονισμός των μορίων του αερίου πραγματοποιείται με τη χρήση φλόγας.



Εικόνα 2.3

Πηγή :(<https://www.cambustion.com>)

Όπως φαίνεται στην εικόνα 2.3 το αέριο δείγμα εισέρχεται στον ανιχνευτή και αφού αναμιγνύεται με αέριο καύσιμο και αέρα μεταφέρεται στο θάλαμο φλόγας που αποτελεί την καρδιά της συσκευής

όπου και αναφλέγεται. Οι οργανικές ενώσεις που υπάρχουν στο δείγμα καίγονται στη φλόγα με αποτέλεσμα να παράγουν ιόντα τα οποία είναι ηλεκτρικά φορτισμένα. Η φλόγα η οποία παράγεται από ένα ηλεκτρικά θερμαινόμενο νήμα, περιβάλλεται από υψηλή τάση που παράγεται από τα δύο ηλεκτρόδια του ανιχνευτή. Η τάση αυτή δημιουργεί ένα ηλεκτροστατικό πεδίο που προκαλεί τα θετικά και αρνητικά φορτισμένα ιόντα που παράγονται από την καύση του δείγματος να μεταφερθούν προς τα ηλεκτρόδια παράγοντας έτσι ρεύμα. Η ανίχνευση των ιόντων γίνεται από το μεταλλικό ηλεκτρόδιο συλλέκτη το οποίο βρίσκεται πάνω από τη φλόγα. Το ρεύμα που περνά διαμέσου αυτού του ηλεκτροδίου συλλέκτη είναι ανάλογο του ρυθμού ιονισμού, ο οποίος με τη σειρά του εξαρτάται από τη συγκέντρωση των οργανικών ενώσεων στο αέριο δείγμα. Το ρεύμα μετριέται με ένα αμπερόμετρο και μια συσκευή εξόδου παράγει μια ένδειξη, η οποία εμφανίζεται ως συνολική συγκέντρωση σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) ή σε χιλιοστόγραμμα ανά κυβικό μέτρο mg /m³.

Τα αέρια που χρησιμοποιούνται για την καύση είναι αέριο καύσιμο συνήθως υδρογόνο, ήλιο ή άζωτο και αέρας (οξυγόνο). Το αέριο καύσιμο είναι αναλώσιμο και πρέπει να τροφοδοτείται εξωτερικά ενώ το οξυγόνο συνήθως τροφοδοτείται από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Τα αέρια προϊόντα εξέρχονται από τον ανιχνευτή από την εξάτμιση. Το περίβλημα του ανιχνευτή θερμαίνεται έτσι ώστε τα αέρια που παράγονται από την καύση να μην συμπυκνώνονται μέσα στον ανιχνευτή πριν φύγουν από την εξάτμιση.

Οι φορητοί ανιχνευτές φλόγας μετρούν τη συνολική συγκέντρωση όλων των ιονιζόμενων χημικών ουσιών που υπάρχουν στο δείγμα αλλά δεν κάνουν διάκριση μεταξύ μεμονωμένων ουσιών. Η διαδικασία ιονισμού είναι πολύ γρήγορη. Ένας τυπικός ανιχνευτής φλόγας μπορεί να έχει χρόνο απόκρισης 1 με 2 δευτερόλεπτα.

Οι φορητοί ανιχνευτές φλόγας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αυτόνομες συσκευές για τη ανάλυση υδρογονανθράκων, και για πτητικές οργανικές ενώσεις, ενώ δεν ανταποκρίνονται καλά στις οργανικές ενώσεις που περιέχουν άτομα αζώτου, οξυγόνου, θείου ή αλογόνου και δεν μπορούν να ανιχνεύσουν ανόργανες ενώσεις που δεν έχουν άνθρακα στη μοριακή της δομή.

Τα πλεονεκτήματα των ανιχνευτών ιονισμού φλόγας είναι :

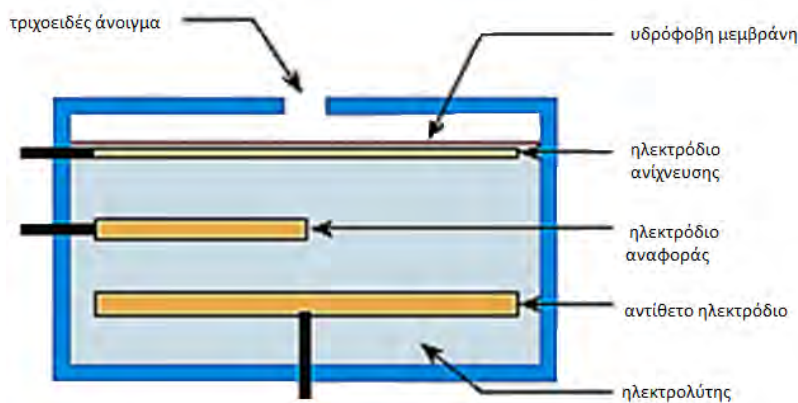
- Έχουν υψηλή ευαισθησία,
- Είναι εύκολα στη χρήση ανθεκτικά και απαιτούν λίγη συντήρηση,
- Έχουν σχετικά χαμηλό κόστος αγοράς και λειτουργίας,
- Έχουν μεγάλο εύρος γραμμικής απόκρισης σε ευρύ φάσμα συγκεντρώσεων.

Τα μειονεκτήματα των ανιχνευτών ιονισμού φλόγας είναι

- Καταστρέφουν το δείγμα,
- Δεν μπορούν να ανιχνεύσουν ανόργανες ουσίες.

2.6 ΥΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ [1,2,3,4,7,8,11,15,17]

Οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε φορητά όργανα ανίχνευσης αερίων από τη δεκαετία του '70, είναι εξαιρετικοί στην ανίχνευση χαμηλών συγκεντρώσεων ενός αερίου και είναι οι πιο δημοφιλείς για την ανίχνευση τοξικών αερίων. Μετρούν τη συγκέντρωση ενός αερίου βασιζόμενοι στην ικανότητα των μορίων του αερίου στόχου να οξειδώνονται ή να μειώνονται στην επιφάνεια ενός ηλεκτροδίου. Αυτή η αντίδραση δημιουργεί ένα μικρό ηλεκτρικό ρεύμα που μπορεί να ανιχνευθεί και να μετρηθεί. Ένας τυπικός ηλεκτροχημικός αισθητήρας όπως φαίνεται στην εικόνα 2.4 αποτελείται από τρία ηλεκτρόδια σε παράλληλη διάταξη το ηλεκτρόδιο ανίχνευσης(άνοδος), το αντίθετο ηλεκτρόδιο(κάθοδος) και το ηλεκτρόδιο αναφοράς. Ανάμεσα τους υπάρχει ένα λεπτό στρώμα ηλεκτρολύτη. Το ηλεκτρόδιο ανίχνευσης είναι η επιφάνεια όπου συμβαίνει η ηλεκτροχημική αντίδραση. Συνήθως το ηλεκτρόδιο ανίχνευσης κατασκευάζεται από ένα ευγενές μέταλλο, όπως η πλατίνα ή ο χρυσός. Τα άλλα δύο ηλεκτρόδια, το αντίθετο ηλεκτρόδιο και το ηλεκτρόδιο αναφοράς έχουν συνήθως παρόμοια χημική σύνθεση με το ηλεκτρόδιο ανίχνευσης. Ο ηλεκτρολύτης είναι συνήθως θειικό οξύ.



Εικόνα 2.4

(Πηγή :<https://nptel.ac.in>)

Το αέριο που έρχεται σε επαφή με τον αισθητήρα περνά πρώτα μέσα από ένα τριχοειδές άνοιγμα και στη συνέχεια διαχέεται μέσω μιας υδρόφοβης μεμβράνης στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου ανίχνευσης. Η υδρόφοβη μεμβράνη και το τριχοειδές άνοιγμα επιτρέπουν στη σωστή ποσότητα αερίου να αντιδράσει στο ηλεκτρόδιο ανίχνευσης, φιλτράρουν τα ανεπιθύμητα σωματίδια και εμποδίζουν τη

διαρροή του ηλεκτρολύτη από τον αισθητήρα. Το αέριο φτάνοντας στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου ανίχνευσης αντιδρά με αποτέλεσμα είτε να χάνονται ηλεκτρόνια (οξειδωση) είτε να εισέρχονται (αναγωγή). Το αντίθετο ηλεκτρόδιο εξισορροπεί την αντίδραση του ηλεκτροδίου ανίχνευσης αφαιρώντας ή προσθέτοντας μόρια του αντίθετου ηλεκτρονίου, έτσι έχουμε ροή θετικών ιόντων στη κάθοδο και ροή αρνητικών ιόντων στην άνοδο ή το αντίθετο. Οι αντιδράσεις αυτές υποκινούνται από τα υλικά των ηλεκτροδίων που είναι ειδικά κατασκευασμένα για το αέριο που μας ενδιαφέρει να μετρήσουμε. Ο ηλεκτρολύτης διευκολύνει την αντίδραση και φέρει το ιοντικό φορτίο στα ηλεκτρόδια. Το ηλεκτρόδιο αναφοράς σταθεροποιεί το δυναμικό ηλεκτροδίου του ηλεκτροδίου ανίχνευσης. Το αποτέλεσμα των οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων είναι μια διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων, η οποία προκαλεί ροή ρεύματος από έναν αντιστάτη που βρίσκεται μεταξύ των ηλεκτροδίων, ρεύμα το οποίο δίνει και τη συγκέντρωση του αερίου που μετράμε. Το μέγεθος του ηλεκτρικού ρεύματος εξαρτάται από την ποσότητα του αερίου που οξειδώνεται στο ηλεκτρόδιο ανίχνευσης. Οι αισθητήρες σχεδιάζονται έτσι ώστε η παροχή του αερίου να περιορίζεται από τη διάχυση και κατά συνέπεια το αποτέλεσμα της μέτρησης να είναι γραμμικά ανάλογο της συγκέντρωσης του αερίου. Αυτή η γραμμική έξοδος είναι ένα από τα πλεονεκτήματα των ηλεκτροχημικών αισθητήρων σε σχέση με άλλες τεχνολογίες ανίχνευσης.

Υπάρχουν περίπου 30 διαφορετικά αέρια που μπορούν να ανιχνευθούν με τους ηλεκτροχημικούς αισθητήρες. Οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες που έχουν σχεδιαστεί για την ανίχνευση τοξικών αερίων μπορούν να ανιχνεύσουν μονοξείδιο του άνθρακα, υδρόθειο, διοξείδιο του θείου, αμμωνία, κυανιούχο υδρογόνο και χλώριο. Ένας ηλεκτροχημικός αισθητήρας πρέπει να περιλαμβάνει έναν αισθητήρα θερμοκρασίας για την αντιστάθμιση της θερμοκρασίας, αφού οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις εξαρτώνται από τη θερμοκρασία. Το προσδόκιμο ζωής ενός ηλεκτροχημικού αισθητήρα κυμαίνεται από 1 έως 3 χρόνια μπορεί όμως να είναι και πολύ περισσότερο κάτι που εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως είναι το αέριο το οποίο ανιχνεύουν και οι συνθήκες του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο λειτουργούν όπως είναι η θερμοκρασία, η πίεση και η υγρασία. Ο χρόνος απόκρισης εξαρτάται από τη κατασκευή του αισθητήρα και συχνά είναι αναγκαίος ένας συμβιβασμός μεταξύ του χρόνου απόκρισης, της επιλεκτικότητας και του χρόνου ζωής του αισθητήρα. Για παράδειγμα μια πιο διαπερατή μεμβράνη θα έχει ως αποτέλεσμα ταχύτερους χρόνους απόκρισης αλλά ίσως κάνει το υγρό του ηλεκτρολύτη να εξατμιστεί ταχύτερα μειώνοντας έτσι το χρόνο ζωής του αισθητήρα.

Τα πλεονεκτήματα των ηλεκτροχημικών αισθητήρων είναι :

- Έχουν καλή επιλεκτικότητα και η ανίχνευση συγκεκριμένων αερίων στόχων μπορεί να βελτιωθεί με χρήση κατάλληλου φίλτρου,
- Έχουν μεγάλη ακρίβεια στη μέτρηση συγκεντρώσεων σε μέρη το εκατομμύριο ppm,
- Έχουν αντοχή στη δηλητηρίαση,
- Έχουν γραμμικές αποκρίσεις,

- Έχουν πολύ καλή αξιοπιστία,
- Απαιτούν λίγη ενέργεια λειτουργίας.

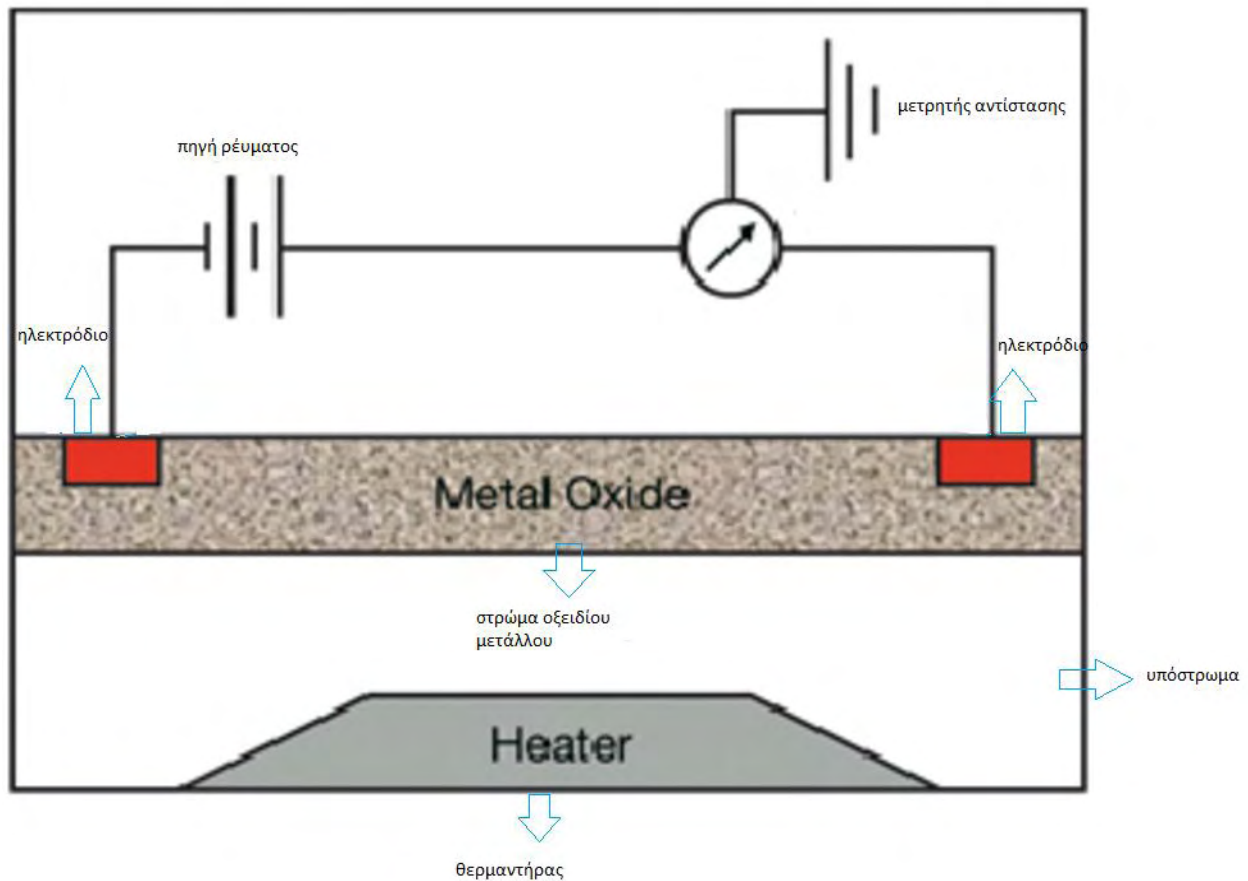
Τα μειονεκτήματα των ηλεκτροχημικών αισθητήρων είναι :

- Λειτουργούν σε μικρό εύρος θερμοκρασιών αφού πολύ υψηλές ή πολύ χαμηλές θερμοκρασίες καταστρέφουν τον ηλεκτρολύτη,
- Μπορούν να επηρεαστούν από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές,
- Επηρεάζονται από την υγρασία (η παρατεταμένη λειτουργία σε συνθήκες υψηλής ή χαμηλής υγρασίας μπορεί να προκαλέσει εξάτμιση ή διόγκωση και διαρροή του ηλεκτρολύτη),
- Έχουν μικρή διάρκεια ζωής λόγω της ευαισθησίας της μεμβράνης τους, η χρήση σε περιβαλλοντικές συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και ξηρασίας μειώνει και άλλο το χρόνο ζωής τους,
- Υπάρχει πιθανότητα η απόκριση να επηρεαστεί από αέρια με παρόμοια χημική σύσταση με το αέριο στόχο,
- Δεν να μην είναι αποτελεσματικοί σε χώρους όπου συνυπάρχουν άγνωστες τοξίνες ή πολλαπλές τοξίνες υπό μορφή VOC, χλωριωμένων διαλυτών και ατμών καυσίμου.

2.7 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΟΞΕΙΔΙΟΥ [3,4,7,8,11,13,16,17]

Οι αισθητήρες αερίων ημιαγωγών είναι συσκευές που κατασκευάζονται από θερμαινόμενα μεταλλικά οξείδια τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της συγκέντρωσης ενός αερίου στόχου μετρώντας την ηλεκτρική αντίσταση της συσκευής. Χρησιμοποιούνται συνήθως για την ανίχνευση υδρογόνου, οξυγόνου, υδρόθειου και άλλων επιβλαβών αερίων όπως το μονοξείδιο του άνθρακα. Τα τελευταία χρόνια, οξείδια μετάλλων έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για την ανάλυση των υδρογονανθράκων. Το μεταλλικό οξείδιο που χρησιμοποιείται συνήθως είναι οξείδιο του κασσίτερου. Για να επιτευχθούν οι απαιτούμενες θερμοκρασίες μικρο-θερμαντήρες τοποθετούνται εντός του αισθητήρα και για την παρακολούθηση της αλλαγής της αντίστασης απαιτούνται ηλεκτρόδια επάνω στο υλικό ανίχνευσης. Ένας τυπικός αισθητήρας αερίου μεταλλικού οξειδίου όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5 κατασκευάζεται με την εφαρμογή ενός ημιαγώγιμου υλικού επάνω σε ένα μη αγώγιμο υπόστρωμα μεταξύ δύο ηλεκτροδίων. Το υπόστρωμα θερμαίνεται από τον Θερμαντήρα που βρίσκεται στη βάση του αισθητήρα σε θερμοκρασία τέτοια ώστε το παρακολουθούμενο αέριο στόχος να μπορεί να προκαλέσει μια

αναστρέψιμη αλλαγή στην αγωγιμότητα του ημιαγωγού υλικού. Οι θερμοκρασίες λειτουργίας των αισθητήρων αερίων από ημιαγώγιμα οξειδία κυμαίνεται από 50°C έως και 900°C.



Εικόνα 2.5

(πηγή :<http://www.sensorsportal.com/>)

Οι ημιαγωγοί (semiconductors) είναι υλικά με ηλεκτρική αγωγιμότητα μεταξύ των τιμών που αντιστοιχούν σε αγωγούς και μονωτές και η οποία αυξάνεται με αύξηση της θερμοκρασίας. Γενικά, σε χαμηλές θερμοκρασίες οι ημιαγωγοί συμπεριφέρονται ως μονωτές, ενώ σε υψηλές θερμοκρασίες συμπεριφέρονται ως αγωγοί. Η λειτουργία των αισθητήρων αερίων που κατασκευάζονται από ημιαγώγιμα οξειδία μετάλλων βασίζεται στο φαινόμενο της μεταβολής των ηλεκτρικών τους ιδιοτήτων, παρουσία ενός αερίου. Η μεταβολή της αγωγιμότητας στα ημιαγώγιμα οξειδία μετάλλων στηρίζεται στην παρουσία ή όχι οξυγόνου στο αέριο περιβάλλον τους. Δηλαδή αν η συγκέντρωση οξυγόνου στο περιβάλλον είναι διαφορετική από τη συγκέντρωση ισορροπίας του οξυγόνου στο κυρίως σώμα του οξειδίου, τότε πραγματοποιείται διάχυση οξυγόνου και η αγωγιμότητα αλλάζει. Σε θερμοκρασία

περιβάλλοντος παρουσία καθαρού ατμοσφαιρικού αέρα το οξυγόνο απορροφάτε από την επιφάνεια του μεταλλικού οξειδίου. Το προσροφημένο οξυγόνο προσελκύει ελεύθερα ηλεκτρόνια από την επιφάνεια των οξειδίων <<παγιδεύοντας>> τα με αποτέλεσμα να σχηματίζεται ένα ενεργειακό φράγμα μεταξύ των κόκκων του πλέγματος που εμποδίζει τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος αυξάνοντας έτσι την αντίσταση του αισθητήρα. Η ποσότητα του οξυγόνου στην επιφάνεια του μεταλλικού οξειδίου είναι σταθερή όσο δεν υπάρχουν αέρια στόχοι. Αντίθετα όταν στον αέρα υπάρχει κάποιο οξειδωτικό ή αναγωγικό αέριο αυτό αντιδρά με το προσροφημένο οξυγόνο ,με αποτέλεσμα τα μόρια του αερίου ρύπου να αντικαθιστούν τα ιόντα του οξυγόνου μειώνοντας έτσι τη συγκέντρωση του προσροφημένου οξυγόνου στην επιφάνεια του μεταλλικού οξειδίου και κατά συνέπεια και το ύψος του δυναμικού φραγμού με αποτέλεσμα τα ηλεκτρόνια να ρέουν ευκολότερα και να μειώνεται η αντίσταση του αισθητήρα. Η μεταβολή στην αντίσταση μετράτε ηλεκτρικά και είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του προς μέτρηση αερίου.

Οι αισθητήρες αντίστασης είναι από τους πιο ευρέως χρησιμοποιούμενους τύπους αισθητήρων επειδή είναι σχετικά φθηνοί, είναι ανθεκτικοί, έχουν μικρό βάρος, μπορούν να ανιχνεύσουν χαμηλές συγκεντρώσεις και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Η ποιότητα και οι επιδόσεις των αισθητήρων ποικίλλουν ευρέως και εξαρτώνται από τον κατασκευαστή. Τα πλεονεκτήματα των αισθητήρων ημιαγωγών είναι:

- Έχουν σχετικά μεγάλη διάρκεια ζωής (3-5 χρόνια),
- Έχουν υψηλή ευαισθησία στα περισσότερα καύσιμα αέρια ,στο μονοξείδιο του αζώτου NO και στο μονοξείδιο του άνθρακα CO,
- Έχουν γρήγορο χρόνο απόκρισης, οι χρόνοι απόκρισης των αισθητήρων ημιαγωγών εξαρτώνται από τις απαιτήσεις σχεδίασης του αισθητήρα βάσει των ιδιοτήτων του αερίου στόχου. Κυμαίνονται συνήθως από 20 έως 90 δευτερόλεπτα,
- Έχουν καλή αξιοπιστία,
- Έχουν καλή αντίσταση στα διαβρωτικά αέρια και την υγρασία,
- Έχουν υψηλή μηχανική αντοχή,
- Έχουν χαμηλό κόστος παραγωγής.

Παρά τα πολυάριθμα πλεονεκτήματα παρουσιάζουν και σημαντικά μειονεκτήματα όπως :

- Είναι μη επιλεκτικές για το λόγο αυτό δεν χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές κρίσιμες για τις ζωή,
- Λειτουργούν σε υψηλή θερμοκρασία,
- Καταναλώνουν περισσότερη ισχύ από άλλους παρόμοιους αισθητήρες,
- Είναι μη γραμμικές συσκευές,
- Το μη γραμμικό σήμα εξόδου καθιστά τη βαθμονόμηση τους πιο περίπλοκη,

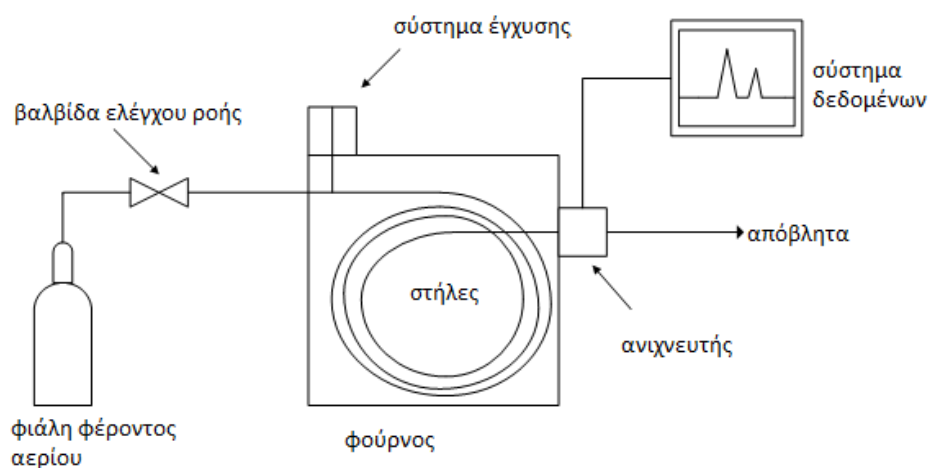
- Παρουσιάζουν μακροχρόνια αστάθεια λόγω γήρανσης η οποία εκφράζεται με μετατόπιση του σήματος βασικής γραμμής ή μετατόπιση στην απόκριση του αισθητήρα. Οι αιτίες της αστάθειας είναι κυρίως μικροδομικές και μορφολογικές μεταβολές (αλλαγή μεγέθους, αριθμού και κατανομής των κόκκων) των αισθητήριων στοιχείων, αλλά και από μη αναστρέψιμες αντιδράσεις με χημικές ενώσεις που υπάρχουν στο περιβάλλον,
- Η απόκριση τους επηρεάζεται από τη συγκέντρωση του προς παρακολούθηση αερίου αλλά και από τη συγκέντρωση άλλων αερίων σαν αποτέλεσμα διασταυρούμενης ευαισθησίας. Αυτό έχει ως συνέπεια χαμηλή επιλεκτικότητα και ανακριβείς μετρήσεις. Για παράδειγμα, τα αέρια όπως η αιθανόλη, το μονοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο έχουν διασταυρούμενη ευαισθησία γεγονός που εμποδίζει τον αισθητήρα να διακρίνει αυτές τις ενώσεις.

Η ευαισθησία των αισθητήρων ημιαγωγών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία λειτουργίας και την αρχιτεκτονική των αισθητήρων. Μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με διασπορά χαμηλής συγκέντρωσης προσθέτων στην επιφάνεια του οξειδίου ή στον όγκο του, όπως είναι το παλλάδιο Pd, ο λευκόχρυσος Pt, ο χρυσός Au, ο άργυρος Ag, ο χαλκός Cu, το κολβάλλιο Co και το φθόριο F. Η λειτουργία σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες μπορεί επίσης να βελτιώσει την επιλεκτικότητα των αισθητήρων προς ένα συγκεκριμένο αέριο. Άλλες τεχνικές βελτίωσης της επιλεκτικότητας είναι η χρήση περισσότερων αισθητήρων, η χρήση φίλτρων και η τοποθέτηση περαιτέρω ηλεκτροδίων εντός του όγκου του αισθητήριου υλικού. Τελος μελέτες έχουν δείξει ότι η μείωση του μεγέθους των κόκκων των μεταλλικών οξειδίων σε νανομετρική κλίμακα βελτιώνει την επιλεκτικότητα, την ευαισθησία και τη σταθερότητα των αισθητήρων.

2.8 ΦΩΡΗΤΟΙ ΑΕΡΙΟΙ ΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΟΙ [2,4,7,16,17]

Η αέρια χρωματογραφία δεν αποτελεί εξ ορισμού μια τεχνολογία ανίχνευσης, αλλά είναι μια αναλυτική τεχνική διαχωρισμού χημικών ενώσεων μέσα από το μίγμα τους, με σκοπό την ποιοτική και ποσοτική ανάλυσή τους. Οι αέριοι χρωματογράφοι συνδυάζουν στήλες χρωματογραφίας με διάφορους τύπους ανιχνευτών. Ο όρος φορητός αέριος χρωματογράφος αναφέρεται σε οποιονδήποτε αέριο χρωματογράφο δεν απαιτεί εξωτερικές ηλεκτρικές συνδέσεις για να λειτουργήσει. Κυμαίνεται σε μέγεθος από μια μικρή αυτόνομη μονάδα μεγέθους βαλίτσας που μεταφέρεται εύκολα από ένα άτομο, μέχρι σε πολύ μεγαλύτερη μονάδα που απαιτεί βοηθητική παροχή αερίου και απαιτεί περισσότερα από ένα άτομα για μεταφορά. Ένα φορητό σύστημα χρωματογραφίας όπως φαίνεται στην εικόνα 2.6 αποτελείται από μια φιάλη φέροντος αερίου (συνήθως N₂, He, H₂, Ar), ένα σύστημα έγχυσης, το θάλαμο εισαγωγής μέσω του οποίου γίνεται η εισαγωγή του αερίου μίγματος, τη στήλη όπου γίνεται ο διαχωρισμός, ένα φούρνο ο οποίος θερμαίνει τη στήλη και έναν ανιχνευτή. Οι στήλες

έχουν συνήθως σχήμα σωλήνα τύπου U ή σωλήνα τυλιγμένο σε σπείρα. Η έγχυση πραγματοποιείται στην κορυφή της στήλης συνήθως μέσω ενός συστήματος βαλβίδας, είτε χειροκίνητα (με υποδερμικές σύριγγες) είτε αυτόματα. Ο χώρος εισαγωγής του δείγματος καθορίζει και το μέγεθος του δείγματος που χρησιμοποιείται για την ανάλυση. Η διακριτική ικανότητα ελαττώνεται γενικά με την αύξηση της ποσότητας του δείγματος. Για το σωστό χειρισμό του αερίου δείγματος (κυκλοφορία του δείγματος μέσα στις στήλες) υπάρχουν κατάλληλες βαλβίδες, οι οποίες ονομάζονται βαλβίδες παράκαμψης (bypass valves). Ο χρόνος που χρειάζεται ένα αέριο για να διασχίσει το μήκος της στήλης ονομάζεται χρόνος κατακράτησης. Ο χρόνος κατακράτησης ενός άγνωστου αερίου μπορεί να διασταυρωθεί με χρόνους κατακράτησης γνωστών αερίων για να γίνει μια αρχική αναγνώριση.



Εικόνα 2.6

Πηγή : (http://en.wikipedia.org/wiki/Gas_chromatography)

Το αέριο δείγμα εγχέεται στη συσκευή όπου θερμαίνεται γρήγορα, εξατμίζεται (αν είναι απαραίτητο) και αναμιγνύεται με το φέρον αέριο. Το φέρον αέριο προκαλεί τη κίνηση του αερίου δείγματος και την είσοδο του μέσα στη στήλη. Ο διαχωρισμός των συστατικών του αερίου δείγματος βασίζεται στη διαφορετική κατανομή των συστατικών μεταξύ δύο φάσεων της στατικής και της κινητής φάσης. Το φέρον αέριο και το προς ανάλυση δείγμα αποτελούν την κινητή φάση. Την ακίνητη φάση αποτελεί η στερεά στήλη όπου βρίσκεται ένα προσροφητικό υλικό υπό μορφή λεπτής επίστρωσης, το οποίο είναι ένα υλικό με μεγάλη διαχωριστική ικανότητα. Οι διάφορες ουσίες, που είναι διαλυμένες στην κινητή

φάση, εξαναγκάζονται σε κίνηση κατά μήκος της ακίνητης φάσεως και προσροφούνται σε αυτή. Αφού το δείγμα εγκαταλείψει τη στήλη, πηγαίνει κατευθείαν στον ανιχνευτή. Ο ανιχνευτής μετρά την ποσότητα των διαφόρων συστατικών που περιέχονται στο φέρον αέριο. Οι πέντε συχνότερα χρησιμοποιούμενοι ανιχνευτές σε φορητές συσκευές χρωματογραφίας είναι οι εξής:

- Ανιχνευτής ιονισμού με φλόγα (FID),
- Ανιχνευτής ιονισμού φωτονίων (PID),
- Ανιχνευτής δέσμευσης ηλεκτρονίων (ECD),
- Ανιχνευτής θερμικής αγωγιμότητας (TCD),
- Ανιχνευτής υπερήχων.

Η επιλογή του ανιχνευτή, θα εξαρτηθεί από την χημική ουσία που θα παρακολουθηθεί, τη φύση οποιονδήποτε άλλων ρύπων και την απαιτούμενη ευαισθησία ή ταχύτητα αποκρίσεως. Οι χρόνοι απόκρισης των μεθόδων αέριας χρωματογραφίας εξαρτώνται κυρίως από το χρόνο που απαιτείται για τον καλό διαχωρισμό των αερίων. Αυτό εξαρτάται από το αέριο στόχο και τη σύνθεση της χρωματογραφικής στήλης. Συνήθως οι συσκευές έχουν χρόνους απόκρισης από ένα λεπτό έως περισσότερο από τρία λεπτά στη χειρότερη περίπτωση.

Τα πλεονεκτήματα των αέριων χρωματογράφων είναι :

- Επιτρέπουν τον διαχωρισμό των συστατικών των σύνθετων μειγμάτων σε εύλογο χρονικό διάστημα,
- Έχουν υψηλή ευαισθησία για τον προσδιορισμό πτητικών ενώσεων σε χαμηλές συγκεντρώσεις,
- Προσφέρουν ακριβή ποσοτικοποίηση,
- Δε καταστρέφουν το αέριο δείγμα επιτρέποντας περαιτέρω ανάλυση αφού το δείγμα έχει υποστεί διαχωρισμό με υπέρυθρη φασματοσκοπία ή με ένα φασματόμετρο μάζας.

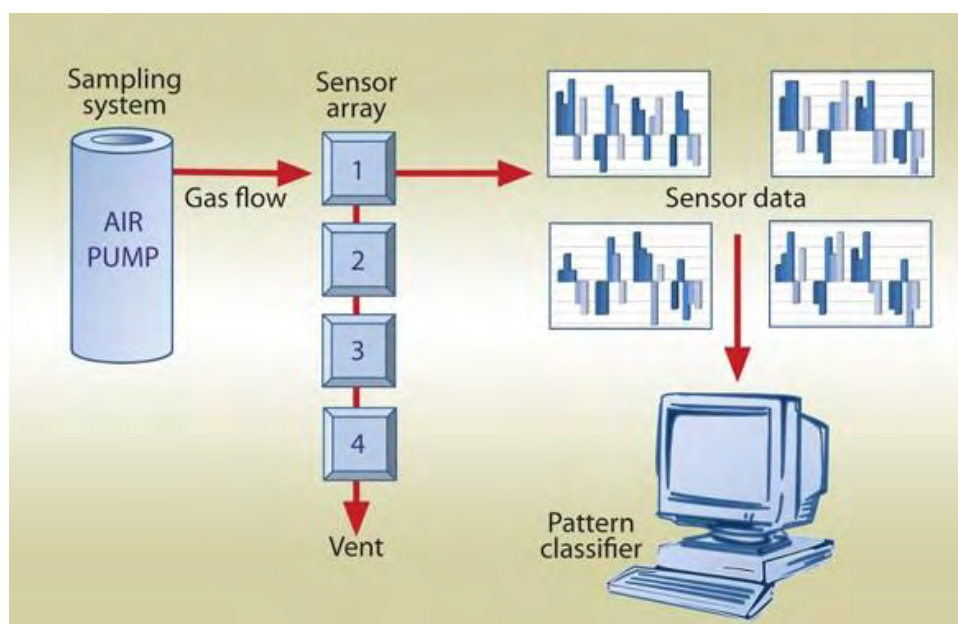
Τα μειονεκτήματα των αέριων χρωματογράφων είναι :

- Απαιτούν κάποια εμπειρία από το χρήστη,
- Έχουν υψηλό κόστος,
- Είναι ακατάλληλοι για θερμικά ασταθείς ενώσεις.

2.9 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΜΥΤΕΣ [2,11,13,16]

Οι ηλεκτρονικές μύτες είναι φορητές συσκευές που περιέχουν διάφορους τύπους αισθητήρων και μπορούν να ανιχνεύουν και να αναγνωρίσουν αέρια και οσμές χρησιμοποιώντας αλγορίθμους μαθηματικής αναγνώρισης προτύπων. Ονομάζονται έτσι επειδή προσομοιάζουν τις οσφρητικές

αντιδράσεις των θηλαστικών στα αρώματα. Μια τυπική συσκευή ηλεκτρονικής μύτης περιλαμβάνει μια κεφαλή με την οποία γίνεται η δειγματοληψία του αέριου μίγματος, το τμήμα ανίχνευσης το οποίο αποτελείται από μια συστοιχία από αισθητήρες οι οποίοι αντιδρούν με το εξεταζόμενο μίγμα, έναν μετατροπέα σήματος και μια μονάδα υπολογισμού στην οποία γίνεται η ανάλυση των αντιδράσεων των αισθητήρων με το εξεταζόμενο μίγμα και η ταυτοποίηση των ενώσεων του μίγματος. Η λειτουργία παρουσιάζεται σχηματικά στην εικόνα 2.7. Μια αντλία αέρα όπως φαίνεται στην άκρη αριστερά αντλεί αέρα και τον μεταφέρει στη συστοιχία των αισθητήρων. Στη δεξιά πλευρά της εικόνας απεικονίζεται το πρότυπο απόκρισης που λαμβάνεται από όλα τα αισθητήρια στοιχεία (κάθε γραμμή στις γραφικές παραστάσεις αναπαριστά την απόκριση ενός μόνο στοιχείου ανίχνευσης). Ο υπολογιστής ερμηνεύει το πρότυπο (παρόμοιο με ένα δακτυλικό αποτύπωμα) για να ταυτοποιήσει τις χημικές ουσίες, με τον ίδιο τρόπο που ο εγκέφαλός μας επεξεργάζεται τις πληροφορίες της όσφρησης και αναγνωρίζει τις μυρωδιές με τη βοήθεια της μνήμης.



Εικόνα 2.7

Πηγή :(<https://www.nrc-cnrc.gc.ca>)

Η συστοιχία των αισθητήρων αποτελείται από διαδοχικούς και διαφορετικούς αισθητήρες καθένας από τους οποίους ανταποκρίνεται σε μια σειρά χημικών ενώσεων ενώ υπάρχει ξεχωριστή αντίδραση για κάθε ουσία. Αυτό δίνει τη δυνατότητα εξέτασης ενός μεγάλου φάσματος χημικών ενώσεων. Οι τύποι αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρονικές μύτες είναι αισθητήρες ακουστικών κυμάτων, ηλεκτροχημικοί αισθητήρες, οπτικοί αισθητήρες, καταλυτικοί αισθητήρες, αισθητήρες

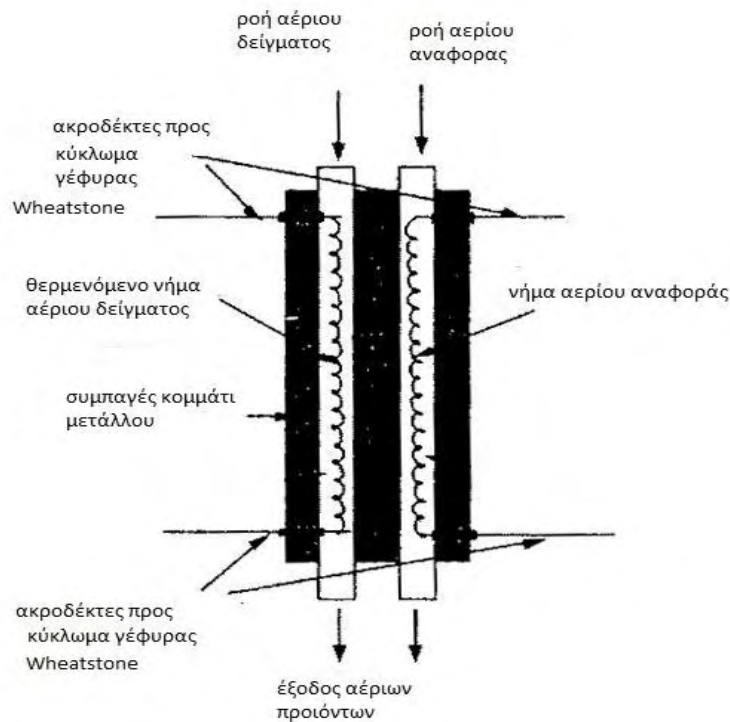
ημιαγωγών μεταλλικού οξειδίου, κ.α. Η μονάδα υπολογισμού στην οποία γίνεται η επεξεργασία των πληροφοριών είναι ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο το οποίο υποστηρίζεται από ένα λογισμικό με ψηφιακούς αλγορίθμους αναγνώρισης προτύπων από βάσεις δεδομένων. Η ταυτοποίηση και η ταξινόμηση μιας ουσίας γίνεται με την αναγνώριση του μοναδικού ηλεκτρονικού αποτυπώματος και προκύπτει από τη σύγκριση με πρότυπα αναφοράς που υπάρχουν στη βάση δεδομένων. Η βάση δεδομένων αποτελεί μια βιβλιοθήκη ηλεκτρονικών αποτυπωμάτων που έχει φτιαχτεί από γνωστά δείγματα. Η ηλεκτρονική μύτη είναι μια οικονομικά αποδοτική λύση στα αναπόφευκτα προβλήματα διασταυρούμενης ευαισθησίας που παρουσιάζονται κατά την ανίχνευση αερίων όταν χρησιμοποιείται ένας μόνο συγκεκριμένος αισθητήρας και μπορεί να ικανοποιήσει με την απόδοση της όταν εφαρμόζεται σε φορητή μορφή. Χρησιμοποιούνται για τη παρακολούθηση χημικών και βιολογικών κινδύνων σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών όπως στη βιομηχανία τροφίμων, καλλυντικών και ποτών, την ιατρική, τις αγροκαλλιέργειες ακόμη και για στρατιωτική χρήση.

2.10 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ [3,8,17]

Η λειτουργία αυτών των αισθητήρων βασίζεται στο φαινόμενο της μεταφοράς θερμότητας με αγωγή. Σύμφωνα με τον Νόμο του Φουριέ, η μεταφορά θερμότητας με αγωγή εκφράζει τη ροή θερμότητας Q από ένα σώμα στο άλλο μέσω επαφής και είναι ανάλογη με τη διαφορά θερμοκρασίας τους. Ειδικότερα ισχύει:

$$Q = \lambda \cdot A \cdot (\Delta T / \Delta x)$$

Όπου : λ (w/m.k) είναι η θερμική αγωγιμότητα (εκφράζει το πόσο εύκολα μεταφέρεται η θερμότητα μέσα από ένα σώμα) του θερμαινόμενου υλικού, A είναι η επιφάνεια επαφής και Δx το πάχος του υλικού. Οι αισθητήρες θερμικής αγωγιμότητας λειτουργούν συγκρίνοντας τη θερμική αγωγιμότητα του εξεταζόμενου αέριου δείγματος με εκείνη ενός αερίου αναφοράς (συνήθως αέρα).

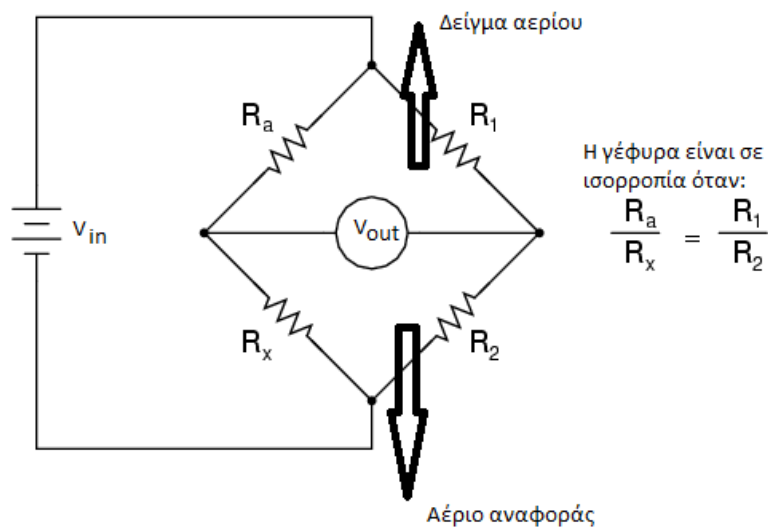


Εικόνα 2.8 :αισθητήρας θερμικής αγωγιμότητας

Πηγή :(<https://slideplayer.com/slide/5872357/>)

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.8 κάθε αέριο εισέρχεται στο θάλαμο του ανιχνευτή ξεχωριστά από δύο παράλληλες στήλες(σωλήνες). Μέσα στο θάλαμο του ανιχνευτή υπάρχουν δύο σφαιρικά ηλεκτρικά θερμαινόμενα καλώδια (νήματα) .Το ένα θερμαινόμενο νήμα τοποθετείται έτσι ώστε να εκτίθεται στο εξεταζόμενο αέριο και το άλλο, το οποίο ενεργεί ως αναφορά, περικλείεται σε ένα σφραγισμένο μεταλλικό δοχείο .Μια παροχή ηλεκτρικού ρεύματος τροφοδοτεί με σταθερή τάση το θάλαμο του ανιχνευτή αυξάνοντας τη θερμοκρασία των νημάτων. Η θερμότητα μεταφέρεται προς τα μεταλλικά τοιχώματα του ανιχνευτή λόγω της θερμικής αγωγιμότητας του στρώματος αερίου μεταξύ του νήματος και των τοιχωμάτων. Όταν το ρεύμα στο θερμαινόμενο νήμα είναι σταθερό, ο ρυθμός παραγωγής της θερμότητας είναι επίσης σταθερός. Υπό κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες η θερμική απώλεια είναι σταθερή με αποτέλεσμα και η θερμοκρασία του νήματος να παραμένει σταθερή. Αν στο δείγμα υπάρχει αέριο με υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα από το αέριο αναφοράς, τότε το νήμα που εκτίθεται στο εξεταζόμενο αέριο χάνει θερμότητα και η θερμοκρασία του μειώνεται, ενώ αν η θερμική

αγωγιμότητα είναι χαμηλότερη από αυτή του αερίου αναφοράς, η θερμοκρασία του αυξάνεται (το σφραγισμένο σφαιρίδιο δεν υφίσταται καμία αλλαγή). Αυτές οι αλλαγές θερμοκρασίας προκαλούν αλλαγές ηλεκτρικής αντίστασης, οι οποίες μετρούνται μέσω κυκλώματος γέφυρας Wheatstone. Η θερμοκρασία του νήματος καθορίζεται από την ισορροπία μεταξύ της ηλεκτρικής ισχύος που καταναλώνεται στο νήμα και της θερμικής ισχύος που χάνεται λόγω αγωγής. Το σήμα που προκύπτει δείχνει ουσιαστικά τη ποσότητα του ρεύματος που χρειάζεται για να εξισορροπηθούν οι απώλειες θερμότητας στο νήμα.



Εικόνα 2.9 Γέφυρα Wheatstone

Πηγή : (<https://www.quora.com>)

Η γέφυρα Wheatstone είναι ένα ηλεκτρικό κύκλωμα τεσσάρων αντιστάσεων εκ των οποίων τα δυο στοιχεία αφορούν το αέριο αναφοράς και τα άλλα δυο το εξεταζόμενο αέριο. Όταν δεν υπάρχει κάποιος αέριος ρύπος οι τέσσερις αντιστάσεις είναι ίδιες, η τάση εξόδου είναι μηδέν και το κύκλωμα της γέφυρας είναι ισορροπημένο, αντίθετα όταν εισέλθει στον ανιχνευτή αέριο που περιέχει ρύπο με διαφορετική θερμική αγωγιμότητα από το αέριο αναφοράς τα δύο στοιχεία που σχετίζονται με το εξεταζόμενο αέριο θα ψυχθούν ή θα θερμανθούν σε μεγαλύτερη έκταση από τα δύο στοιχεία που σχετίζονται με το αέριο αναφοράς με αποτέλεσμα το κύκλωμα της γέφυρας να μη βρίσκεται σε ισορροπία παράγοντας έτσι τη τάση εξόδου που δίνει την περιεκτικότητα του ρύπου στο αέριο δείγμα.

Οι αισθητήρες θερμικής αγωγιμότητας δεν είναι σε θέση να ταυτοποιήσουν ή να ποσοτικοποιήσουν ένα άγνωστο συστατικό γ 'αυτό χρησιμοποιούνται συχνά σε συνδυασμό με μια μέθοδο διαχωρισμού όπως η αέρια χρωματογραφία. Οι χρόνοι απόκρισης τους τείνουν να είναι πολύ σύντομοι της τάξης του δευτερολέπτου.

Οι αισθητήρες θερμικής αγωγιμότητας ανιχνεύουν αέρια που έχουν σημαντικά διαφορετική θερμική αγωγιμότητα από το αέριο αναφοράς το οποίο συνήθως είναι αέρας. Παραδείγματα τέτοιων αερίων είναι το υδρογόνο με θερμική αγωγιμότητα $0,1805 \text{ W / m} \cdot \text{k}$ που είναι περίπου 7,5 φορές η θερμική αγωγιμότητα του αέρα $0.02394 \text{ W / m} \cdot \text{k}$, το ήλιο και το μεθάνιο. Αέρια με θερμικές αγωγιμότητες μικρότερες της μονάδας είναι δυσκολότερο να μετρηθούν, ενώ αέρια με θερμικές αγωγιμότητες κοντά στο ένα δεν μπορούν να μετρηθούν (CO , O_2 , N_2 , NH_3).

Τα πλεονεκτήματα των ανιχνευτών θερμικής αγωγιμότητας είναι :

- Έχουν εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ρεύματος μικρότερη από τέσσερα mW ,
- Λειτουργούν σε περιβάλλον υψηλής θερμοκρασίας,
- Έχουν πολύ σταθερή μακροχρόνια λειτουργία,
- Απαιτούν ελάχιστη συντήρηση σε σύγκριση με τους καταλυτικούς και τους ηλεκτροχημικούς αισθητήρες,
- Δε καταστρέφουν το δείγμα.

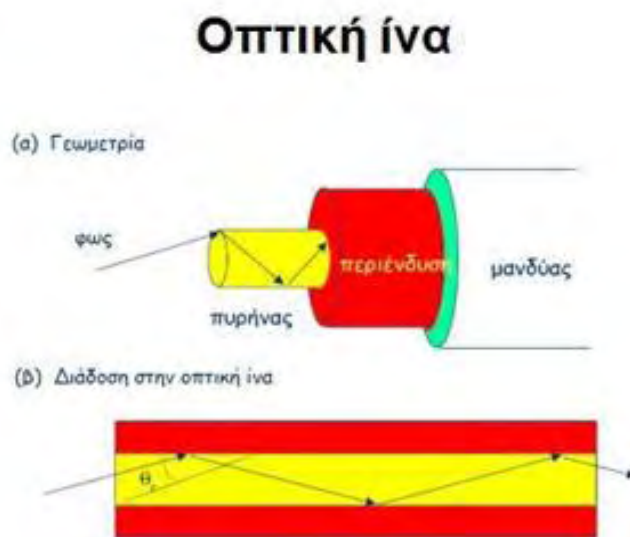
Τα μειονεκτήματα των ανιχνευτών θερμικής αγωγιμότητας είναι :

- Σχετικά περιορισμένη ευαισθησία ($\sim 10\text{-}8\text{g}$ ουσίας/ mL φέροντος αερίου),
- Λόγω της χαμηλής ευαισθησίας δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με τριχοειδείς στήλες (μικρή ποσότητα δείγματος),
- Είναι αρκετά δαπανηροί.

2.11 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ [4,7,8,11,13]

Αυτοί οι αισθητήρες λειτουργούν χρησιμοποιώντας το ορατό φως στο οποίο ανιχνεύουν αλλαγές κατά την αλληλεπίδραση του με αέριους ρύπους. Η λειτουργία τους βασίζεται στη χρήση οπτικών ινών. Η οπτική ίνα είναι το μέσο με το οποίο η συσκευή μεταφέρει φως από μια πηγή σε έναν ανιχνευτή. Οι οπτικές ίνες είναι λεπτές κλωστές από γυαλί ή πλαστικό ικανές να μεταδίδουν φως σε μεγάλη απόσταση. Η διάμετρος τους κυμαίνεται από $0,05$ μικρά μέχρι και $0,6$ εκατοστά. Η βασική κατασκευή μιας οπτικής ίνας αποτελείται από μια κεντρική κυλινδρική ίνα που ονομάζεται πυρήνας και αποτελεί το τμήμα στο οποίο διαδίδεται το φως, μια επικάλυψη που είναι ένας ομόκεντρος με τον πυρήνα κύλινδρος και ένα περίβλημα. Ο πυρήνας είναι από υλικό το οποίο έχει μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης από την επικάλυψη του. Ο πυρήνας μιας τυπικής ίνας από γυαλί έχει δείκτη διάθλασης $1,6$ και η

επένδυση έχει δείκτη διάθλασης 1,5. Οι τυπικές πλαστικές ίνες έχουν πυρήνα με δείκτη διάθλασης 1,5 και πολυμερές επίστρωμα με δείκτη 1,4. Η διαφορά στον δείκτη διάθλασης που έχει ο πυρήνας σε σχέση με τη επικάλυψη προκαλεί την ολική εσωτερική ανάκλαση του φωτός και με αυτόν τον τρόπο το φως διαδίδεται μέσω του πυρήνα.



Εικόνα 2. 10 οπτική ίνα

Πηγή :(<http://opt-fibers.mysch.gr>)

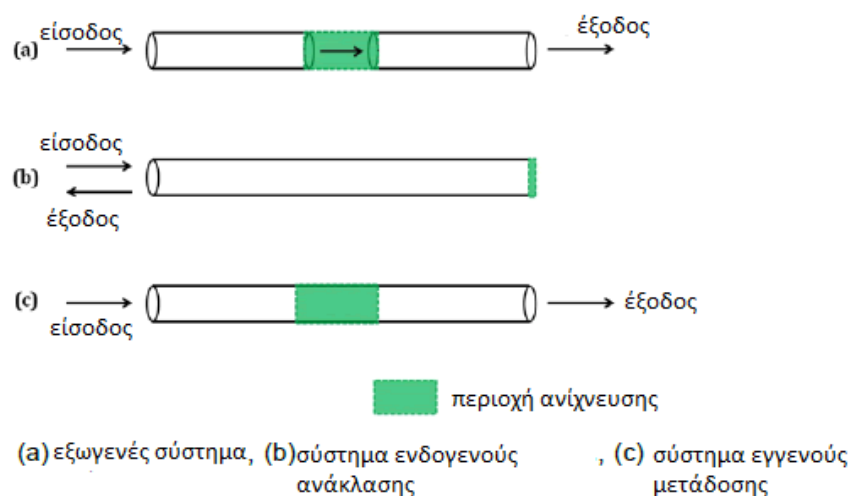
Συνήθως στους αισθητήρες οπτικών ινών ένα τμήμα της επικάλυψης αντικαθίσταται από ένα χημικό υλικό επικάλυψης που προσροφά επιλεκτικά τα εξεταζόμενα αέρια. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των αερίων στόχων και της επικάλυψης αλλάζει τον δείκτη διάθλασης της επικάλυψης, μεταβάλλοντας έτσι το μήκος κύματος ή την ένταση ή το χρώμα του φωτός το οποίο διαδίδεται μέσω του πυρήνα προς έναν ανιχνευτή. Η προκύπτουσα αλλαγή στο φως, μετράτε από τον ανιχνευτή και είναι ανάλογη με τη συγκέντρωση των οργανικών ενώσεων που υπάρχουν στο δείγμα. Στην απλούστερη μορφή του, ένας αισθητήρας οπτικής ίνας αποτελείται από μια πηγή φωτός, μια οπτική ίνα, ένα αισθητήριο στοιχείο και έναν ανιχνευτή.

Υπάρχουν τρεις γενικές κατηγορίες αισθητήρων οπτικών ινών. Η πρώτη κατηγορία χρησιμοποιεί μια φασματοσκοπική μέθοδο ανίχνευσης, κατά την οποία έχουμε αποστολή φωτός στο εξεταζόμενο δείγμα απευθείας μέσω της οπτικής ίνας και ανάλυση της αντανάκλασης του. Από τις αλλαγές στο δείκτη διάθλασης της αντανάκλασης προσδιορίζεται η συγκέντρωση των οργανικών ενώσεων. Η δεύτερη κατηγορία χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα οπτικών ινών στον οποίο είναι προσαρμοσμένη μια λεπτή μεμβράνη, η οποία είναι ειδικά κατασκευασμένη ώστε να δεσμεύει συγκεκριμένους τύπους ρύπων. Η

συγκέντρωση των ρύπων μπορεί να βρεθεί μετρώντας την απορρόφηση του φωτός ή με τη μέτρηση της μεταβολής του δείκτη διάθλασης ή της μεταβολή του χρώματος ή με τη μέτρηση της φθοράς της μεμβράνης. Ο τρίτος τύπος λειτουργεί με την έγχυση ενός αντιδραστηρίου στον αισθητήρα. Αυτό το αντιδραστήριο αντιδρά χημικά ή βιολογικά με τη μολυσματική ουσία. Τα προϊόντα αντίδρασης ανιχνεύονται για να δώσουν μία εκτίμηση της συγκέντρωσης μολυσματικών ουσιών.

Περαιτέρω διάκριση των ανιχνευτών οπτικών ινών συχνά γίνεται ως προς το εάν η διαδικασία της ανίχνευσης πραγματοποιείται εξωτερικά ή εσωτερικά του κυματοδηγού (διάταξη μετάδοσης) της ίνας. Έτσι έχουμε :

- το εξωγενές σύστημα στο οποίο το οπτικό σήμα εγκαταλείπει πρώτα τον κυματοδηγό, μπαίνοντας στη περιοχή ανίχνευσης και στη συνέχεια επανεισέρχεται στον δεύτερο κυματοδηγό,
- το σύστημα ενδογενούς ανάκλασης στο οποίο το οπτικό σήμα δεν αφήνει τον κυματοδηγό και μετά την είσοδο του στη περιοχή ανίχνευσης ανακλάται πίσω στην πλευρά εισόδου,
- το σύστημα εγγενούς μετάδοσης στο οποίο οι αισθητήρες είναι ενσωματωμένοι στον κυματοδηγό της οπτικής ίνας.



Εικόνα 2. 11 διάκριση ανιχνευτών οπτικών ινών

Πηγή : (<https://www.omicsonline.org/open-access/polymer-fiber-optic-sensors--a-mini-review-of-their-synthesis-andapplications-2155-6210-1000194.php?aid=67364>)

Οι αισθητήρες οπτικών ινών μπορούν να ανιχνεύσουν βενζόλιο, βουτάνιο, χλωροφόρμιο, διχλωρομεθάνιο, αιθανόλη, φορμαλδεΐδη, εξάνιο, , μεθάνιο, μεθανόλη, προπάνιο, τολουόλιο και άλλες ουσίες. Η ανίχνευση αερίων με οπτικές μεθόδους είναι συνήθως απλή και εύκολη για το χρήστη, ο χρόνος απόκρισης τους είναι σχετικά μικρός και μπορούν να επιτύχουν υψηλότερη ευαισθησία, επιλεκτικότητα και σταθερότητα από τις μη οπτικές μέθοδοι με πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Πλεονεκτήματα αισθητήρων οπτικών ινών :

- Έχουν μικρό μέγεθος και μικρό βάρος,
- Δεν επηρεάζονται από παρεμβολές ραδιοσυχνοτήτων και ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές,
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε δυσπρόσιτα περιβάλλοντα όπου επικρατούν δύσκολες συνθήκες αφού μπορούν λειτουργούν εξ αποστάσεως ,
- Είναι αξιόπιστοι και ασφαλείς για χρήση σε περιβάλλοντα με εύφλεκτα και εκρηκτικά αέρια αφού δε απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια για το τομέα της ανίχνευσης.

Μειονεκτήματα των αισθητήρων οπτικών ινών :

- Είναι εύθραυστες συσκευές,
- Έχουν ευαισθησία θερμικές και ακουστικές δονήσεις.

2.12 ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ [4,11,17]

Ο ανιχνευτής υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι ο πιο κοινός τύπος αισθητήρα που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του διοξειδίου του άνθρακα. Η λειτουργία του βασίζεται στην ικανότητα ορισμένων αερίων να απορροφούν την υπέρυθρη ακτινοβολία. Το φυσικό αυτό φαινόμενο περιγράφεται από το νόμο του Beer-Lambert. Σύμφωνα με αυτό το νόμο όταν ένα μονοχρωματικό φως αρχικής έντασης I_0 διέρχεται μέσω ενός δοχείου στο οποίο υπάρχει ένα διάλυμα, μέρος του φωτός απορροφάται με αποτέλεσμα η ένταση του εξερχόμενου φωτός I να είναι μικρότερη από την I_0 . Η απώλεια της φωτεινής έντασης οφείλεται στη διασπορά των σωματιδίων στο διάλυμα αλλά κυρίως από την απορρόφηση από το διάλυμα. Η σχέση μεταξύ I και I_0 εξαρτάται από το μήκος διαδρομής του απορροφητικού μέσου και από τη συγκέντρωση του απορροφητικού διαλύματος. Ο γενικός νόμος Beer-Lambert συνήθως γράφεται ως εξής:

$$A = a(\lambda) * b * c$$

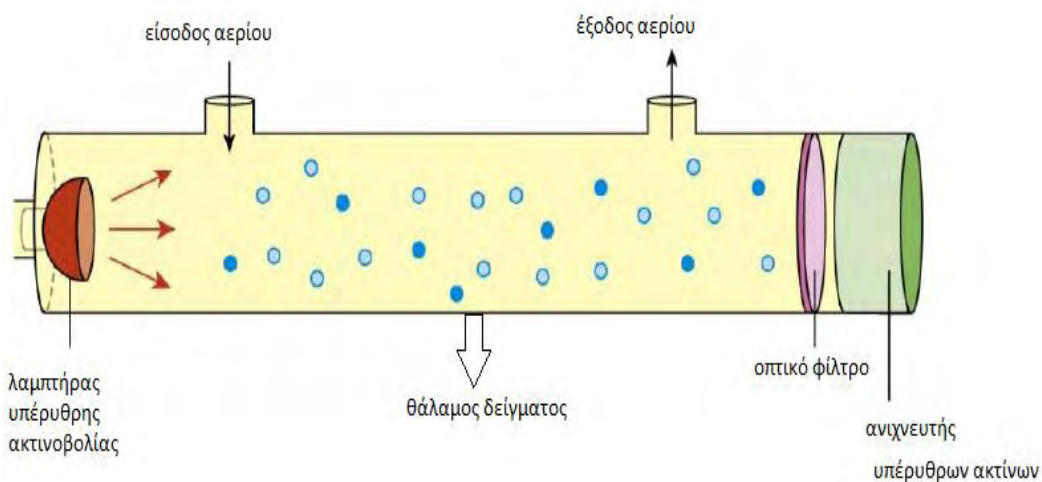
όπου

- A είναι η μετρηθείσα απορρόφηση η οποία ισούται με το λογάριθμο του λόγου της εντάσεως του προσπίπτοντος φωτός προς το φως που τελικά περνάει από το διάλυμα $A = \log_{10} (I_0/I)$,
- $a(\lambda)$ είναι ο συντελεστής απορροφητικότητας ο οποίος εξαρτάται από το μήκος κύματος λ ,
- b είναι το μήκος διαδρομής (πάχος σε cm)

και

- c είναι η συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας στο διάλυμα (σε mole/l).

Από τον παραπάνω νόμο, η συγκέντρωση ενός αέριου ρύπου μπορεί να προσδιοριστεί με τη μέτρηση της έντασης του υπέρυθρου φωτός που ταξιδεύει μέσα από το αέριο δείγμα που περιέχει το αέριο στόχο. Τα κύρια μέρη ενός αισθητήρα υπέρυθρης ακτινοβολίας (εικόνα 2.12) είναι μια υπέρυθρη πηγή (λαμπτήρας), ένας θάλαμος δείγματος (σωλήνας φωτός), ένα φίλτρο φωτός και ένας ανιχνευτής υπέρυθρων ακτίνων.



Εικόνα 2.12 αισθητήρας υπέρυθρης ακτινοβολίας

Πηγή :(<https://www.mdpi.com/journal/sensors>)

Η λυχνία υπέρυθρης ακτινοβολίας στέλνει κύματα φωτός προς τον ανιχνευτή φωτός μέσω του σωλήνα ο οποίος είναι γεμάτος με τον εξεταζόμενο αέρα. Καθώς το φως περνά μέσα από το σωλήνα

τα μόρια του αέριου ρύπου απορροφούν τα μόρια φωτός με το ίδιο μήκος κύματος αφήνοντας να περάσουν τα άλλα μήκη κύματος του φωτός. Στη συνέχεια, το υπόλοιπο φως πλήττει το οπτικό φίλτρο που απορροφά κάθε μήκος κύματος του εκτός από τα μήκη κύματος που απορροφούν τα μόρια του αέριου στόχου. Ο ανιχνευτής διαβάζει την ποσότητα φωτός που δεν απορροφάτε από τα μόρια του ρύπου ή το οπτικό φίλτρο. Η διαφορά μεταξύ της ποσότητας φωτός που ακτινοβολείται από τη λυχνία και της ποσότητας του φωτός που λαμβάνεται από τον ανιχνευτή μετράτε. Η διαφορά αυτή (ποσότητα του απορροφούμενου φωτός) είναι ανάλογη με τον αριθμό των μορίων του ρύπου στον αέρα μέσα στον σωλήνα. Ο αέριος ρύπος θα απορροφήσει περισσότερη ενέργεια καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του, αυτό σημαίνει ότι καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του αερίου το σήμα από τον ανιχνευτή θα μειωθεί.

Τα πλεονεκτήματα των ανιχνευτών υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι :

- Έχουν ανοσία στη δηλητηρίαση του ανιχνευτή ,
- Μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς οξυγόνο,
- Λειτουργούν αξιόπιστα σε μεταβαλλόμενες συνθήκες ροής,
- Μπορούν να ανιχνεύσουν αέρια που έχουν πολύ υψηλό κατώτερο όριο ανάφλεξης ,
- Χρειάζονται λιγότερο συχνά βαθμονόμηση σε σύγκριση με τους καταλυτικούς ανιχνευτές.

Τα μειονεκτήματα των ανιχνευτών υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι :

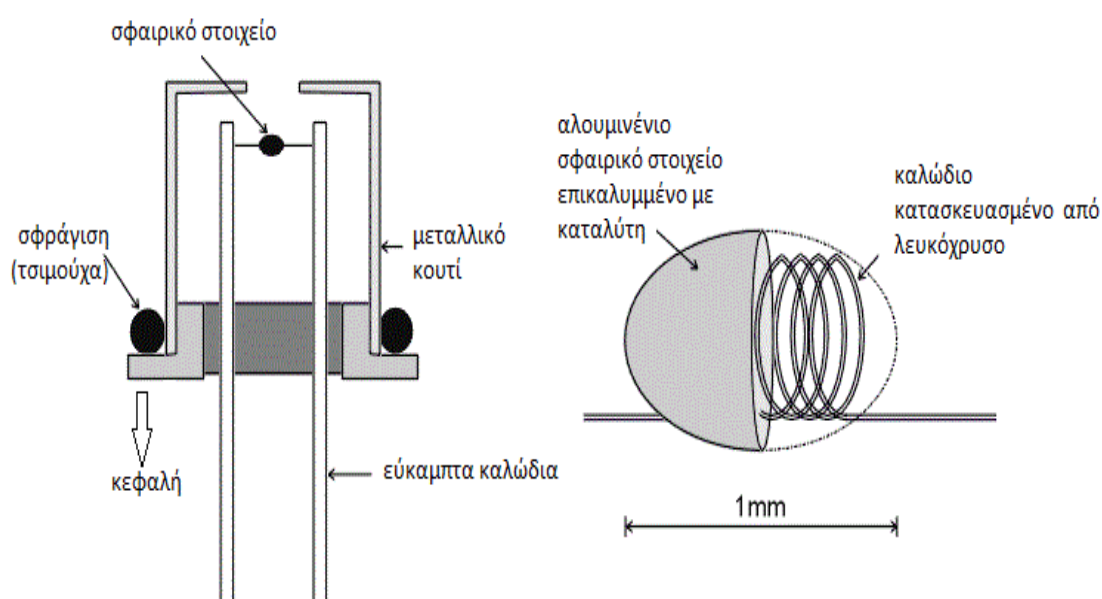
- Μπορεί να μην αποδίδουν καλά όταν υπάρχουν πολλά αέρια στη περιοχή των μετρήσεων,
- Έχουν υψηλό κόστος αγοράς και ακριβά ανταλλακτικά ,
- Τα αέρια που δεν απορροφούν υπέρυθρη ακτινοβολία δεν είναι ανιχνεύσιμα,
- Η χρήση σε περιβάλλοντα υψηλής υγρασίας μπορούν να αυξήσουν το κόστος συντήρησης του ανιχνευτή,
- Δεν μπορεί να μειωθεί σημαντικά σε μέγεθος και ως εκ τούτου είναι λιγότερο κατάλληλη για φορητές εφαρμογές.

2.13 ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ [4,6,7,8,17]

Οι αισθητήρες αυτοί έχουν χρησιμοποιηθεί για σχεδόν έναν αιώνα για την ανίχνευση εύφλεκτων αερίων. Ο πρώτος αισθητήρας καταλυτικής καύσης κατασκευάστηκε το 1923 και χρησιμοποιήθηκε για την ανίχνευση του μεθανίου. Η αρχή της λειτουργίας τους βασίζεται στη καταλυτική ιδιότητα που έχουν τα περισσότερα μεταλλικά οξείδια και οι ενώσεις τους. Αυτή η καταλυτική ιδιότητα επιτρέπει στα εύφλεκτα αέρια μείγματα που συνήθως δεν καίγονται μέχρι να επιτευχθεί κάποια ανώτερη

θερμοκρασία ανάφλεξης να αναφλέγονται ακόμα και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, μέσω μιας συγκεκριμένης χημικής διαδικασίας. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως καταλυτική καύση. Οι καταλυτικοί αισθητήρες ανιχνεύουν τη συγκέντρωση αερίου ως προς το κατώτερο όριο ανάφλεξης (LEL), δηλαδή τη χαμηλότερη συγκέντρωση εύφλεκτου αερίου ικανή να ανάψει στον αέρα.

Αποτελούνται από δύο πηνία με καλώδια κατασκευασμένα από λευκόχρυσο (πλατίνα) καθένα από τα οποία είναι ενσωματωμένο σε ένα αλουμινένιο σφαιρικό στοιχείο.



Εικόνα 2.13 αισθητήρας καταλυτικής καύση τύπου pellistor

Πηγή :(<https://www.citytech.com>)

Το ένα στοιχείο συνήθως ονομάζεται στοιχείο ανίχνευσης και το άλλο στοιχείο αναφοράς ή αντισταθμιστής. Το στοιχείο ανίχνευσης είναι επικαλυμμένο με τον καταλύτη που προωθεί την οξείδωση του αερίου ενώ το στοιχείο αναφοράς λειτουργεί αντίθετα καθυστερώντας τη. Τα δύο στοιχεία είναι συνδεδεμένα σε ένα κύκλωμα γέφυρας Wheatstone και τροφοδοτούνται με σταθερή τάση από μια παροχή ρεύματος. Καθώς το ρεύμα περνάει από τα στοιχεία αυξάνεται η θερμοκρασία σε μία περιοχή από 300 °C έως 500 °C ανάλογα με το αέριο στόχο. Τα μόρια του αερίου στόχου ερχόμενα σε επαφή με το στρώμα του καταλύτη καίγονται. Η καύση λαμβάνει χώρα χωρίς φλόγα αφού η παρουσία του καταλύτη επιτρέπει τη καύση του αερίου σε χαμηλότερη θερμοκρασία από το ανώτατο επίπεδο ανάφλεξης του. Η αντίδραση της καύσης προκαλεί απελευθέρωση ενέργειας μέσα στο στοιχείο με τον

καταλύτη. Αυτή η απελευθέρωση ενέργειας προκαλεί την περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας, η οποία με τη σειρά της αλλάζει την αντίσταση στο πηνίο του στοιχείου ανίχνευσης. Η αύξηση της αντίστασης του ενός στοιχείου δημιουργεί ανισορροπία στο κύκλωμα γέφυρας Wheatstone με αποτέλεσμα να προκύπτει μια τάση η οποία δίνει τελικά και τη συγκέντρωση του αερίου.

Οι συσκευές αυτές είναι συνήθως βαθμονομημένες για μεθάνιο ή πεντάνιο οπότε σε περίπτωση που μετράμε άλλα αέρια χρησιμοποιούνται παράγοντες απόκρισης για τη διόρθωση της ένδειξης. Σε περίπτωση που μετράτε αέριο το οποίο έχει μεγαλύτερο κατώτερο όριο ανάφλεξης από αυτό που έχει η συσκευή τότε ο αισθητήρας μπαίνει σε κατάσταση συναγερμού και απενεργοποιείτε αυτόματα καθώς η έκθεση σε τέτοια αέρια μπορεί να τον καταστρέψει ή να μειώσει μόνιμα την ευαισθησία του. Οι καταλυτικοί ανιχνευτές είναι φθινοί, αξιόπιστοι και μπορούν να παρακολουθούν ένα ευρύ φάσμα αερίων. Έχουν επίσης την ικανότητα να αντισταθμίζουν τις μεταβολές των περιβαλλοντικών συνθηκών αφού πιθανές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, της υγρασίας ή της πίεσης, επηρεάζουν και τα δύο σφαιρίδια με αποτέλεσμα η γέφυρα Wheatstone να μην είναι ασύμμετρη. Ο χρόνος απόκρισης τους εξαρτάται από το αέριο που ανιχνεύεται. Η απόκριση στο μεθάνιο παρέχεται συνήθως σε 5 με 10 δευτερόλεπτα. Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας, έχουν αναμενόμενη διάρκεια ζωής περισσότερο από 5 χρόνια, από τα οποία υποφέρουν από απώλεια ευαισθησίας της τάξης του 5 με 10% ετησίως, για αυτό και πρέπει να ελέγχονται και να συντηρούνται κάθε 3 με 6 μήνες.

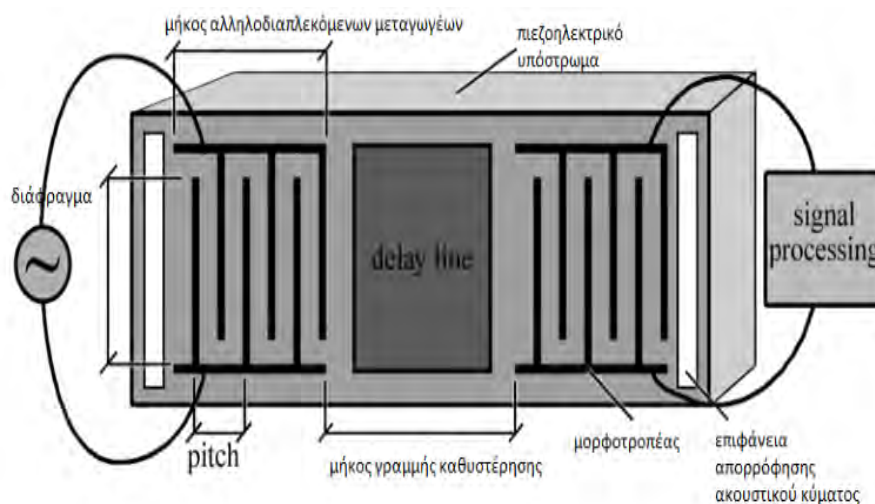
Ένας περιορισμός της καταλυτικής τεχνολογίας είναι ότι αυτοί οι αισθητήρες απαιτούν ένα ελάχιστο επίπεδο οξυγόνου προκειμένου να προσδιοριστεί η ευφλεκτότητα του αερίου, ως εκ τούτου όταν το επίπεδο οξυγόνου πέσει κάτω από το 10% μπορεί να εμφανιστούν ανακριβείς μετρήσεις. Άλλα μειονεκτήματα τους είναι ότι υπόκεινται σε προσωρινή ή μόνιμη δηλητηρίαση. Οι ουσίες που μπορεί να βλάψουν την απόδοση των καταλυτικών αισθητήρων είναι κυρίως παραπροϊόντα της καύσης και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες τους αναστολείς και τα δηλητήρια. Οι αναστολείς προκαλούν προσωρινή απώλεια ευαισθησίας στον αισθητήρα. Η ευαισθησία μπορεί να ανακτηθεί πλήρως ή εν μέρει μετά από σύντομη έκθεση στον καθαρό αέρα. Οι πιο συνηθισμένοι αναστολείς είναι υδρόθειο, χλώριο, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες και ενώσεις αλογόνου. Τα δηλητήρια προκαλούν μόνιμη μείωση της ευαισθησίας του αισθητήρα. Οι ενώσεις πυριτίου και ο μόλυβδος είναι τα πιο κοινά δηλητήρια.

2.14 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ [4,7,8,13]

Η λειτουργία τους βασίζεται στη διάδοση ακουστικών κυμάτων και στην εκμετάλλευσή του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου. Τα ακουστικά κύματα είναι αρμονικές ελαστικές παραμορφώσεις που μπορούν να παραχθούν σε ένα στερεό σώμα αν εφαρμόσουμε πάνω του μία δύναμη που εμφανίζει περιοδικότητα. Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο αφορά τη δυνατότητα κάποιων υλικών κυρίως

κρυσταλλικών υλικών όπως ο χαλαζίας να παράγουν ηλεκτρική τάση όταν δέχονται κάποια μηχανική τάση(πίεση) ή ταλάντωση και το αντίστροφο φαινόμενο, κατά το οποίο ένα υλικό παραμορφώνεται όταν βρεθεί κάτω από ηλεκτρική τάση. Το φαινόμενο οφείλεται στις κρυσταλλικές ασυμμετρίες και συμβαίνει λόγω της μεταφοράς ηλεκτρικών φορτίων στα άκρα του κρυσταλλικού πλέγματος.

Οι αισθητήρες ακουστικών κυμάτων αποτελούνται από ένα υπόστρωμα πιεζοηλεκτρικού υλικού (χαλαζία ή τανταλικού λιθίου) στην επιφάνεια του οποίου είναι τοποθετημένα δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια. Τα ηλεκτρόδια έχουν τη μορφή αλληλοδιαπλεκόμενων μεταγωγέων (Interdigitated Transducers — IDTs) και σ' αυτά εφαρμόζεται εναλλασσόμενο ρεύμα. Το ημιτονοειδές ηλεκτρικό σήμα προκαλεί ένα ταλαντευόμενο ηλεκτρικό πεδίο ανάμεσα στα ηλεκτρόδια. Η ηλεκτρική ταλάντωση προκαλεί εκτόπιση των σωματιδίων του πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου, παράγοντας ακουστικό κύμα το οποίο διαδίδεται πάνω στην επιφάνεια του αισθητήρα στη περιοχή μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων IDTs.



Εικόνα 2. 14 αισθητήρας ακουστικών κυμάτων

Πηγή : (<https://wiki.metropolis.fi/display/sensor/Surface+acoustic+wave+%28SAW%29+sensors>)

Η περιοχή μεταξύ των ηλεκτροδίων στην οποία γίνεται η διάδοση του κύματος (γραμμή καθυστέρησης) είναι επικαλυμμένη με μια λεπτή χημική μεμβράνη η οποία μπορεί να απορροφά επιλεκτικά ενώσεις από τον αέρα. Κατά την αλληλεπίδραση της με συγκεκριμένα αέρια η μεμβράνη υφίσταται μεταβολές στο φορτίο μάζας, στο ιξώδες, στην αγωγιμότητα, στην θερμοκρασία, στη πίεση κ.α. Οι αλλαγές αυτές

προκαλούν μεταβολές στη ταχύτητα, στο εύρος και τη συχνότητα του ακουστικού κύματος. Το κύμα διαδίδεται μέσω του υποστρώματος και μετατρέπεται σε ηλεκτρικό πεδίο από τα ηλεκτρόδια στην άλλη πλευρά μέσω της αντίστροφης διαδικασίας του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου. Το ηλεκτρικό σήμα που προκύπτει δίνει τη πληροφορία για τη ποσότητα των αέριων ρύπων που υπάρχουν στο εξεταζόμενο δείγμα. Οι αισθητήρες ακουστικών κυμάτων ταξινομούνται με βάση τον τρόπο διάδοσης του ακουστικού κύματος σε:

- Αισθητήρες επιφανειακού ακουστικού κύματος SAW(surface acoustic wave), στους οποίους το ακουστικό κύμα μετακινείται στην επιφάνεια του πιεζοηλεκτρικού υποστρώματος,
- Αισθητήρες όγκου BAW (bulk acoustic wave) στους οποίους το ακουστικό κύμα ταξιδεύει μέσα από το εσωτερικό (τον όγκο) του πιεζοηλεκτρικού υποστρώματος.

Οι αισθητήρες ακουστικών κυμάτων ανιχνεύουν μια μεγάλη ποικιλία χημικών ενώσεων σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις, έχουν καλή ευαισθησία, χαμηλό κόστος και μικρή κατανάλωση ενέργειας. Επίσης δεν καταστρέφουν το δείγμα, λειτουργούν χωρίς μπαταρία και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ασύρματες εφαρμογές.

2.15 ΜΙΚΡΟΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (MEMS)

[12]

Τα συστήματα MEMS(Microelectromechanical systems) είναι ηλεκτρομηχανικά εξαρτήματα ή συσκευές κατασκευασμένα σε πάρα πολύ μικρή κλίμακα. Οι φυσικές διαστάσεις των MEMS μπορεί να κυμαίνονται από ένα μικρό μέχρι αρκετά χιλιοστά. Εκτός από τις πολύ μικρές διαστάσεις η τεχνολογία αυτή αφορά και τη μηχανολογική τεχνική κατασκευής γύρω από μία κεντρική μονάδα, παρόμοια με τη τεχνική που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Ολοκληρωμένο κύκλωμα γνωστό ως IC (integrated circuit) ονομάζεται ένα κύκλωμα συνδεδεμένων λογικών πυλών, δημιουργημένο πάνω σε ένα φύλλο ημιαγωγών(chip). Οι τύποι συσκευών MEMS μπορεί να ποικίλλουν από σχετικά απλές δομές που δεν έχουν κινούμενα στοιχεία μέχρι εξαιρετικά πολύπλοκα ηλεκτρομηχανικά συστήματα με πολλαπλά κινούμενα στοιχεία. Παραδείγματα εξαρτημάτων MEMS είναι οι μικροβαλβίδες για τον έλεγχο της ροής ενός αερίου, οι καθρέφτες ανακατεύθυνσης φωτεινών δεσμών, οι μικροεπεξεργαστές, οι μικροαισθητήρες, οι μορφοτροπείς ενέργειας ή ηλεκτρικών σημάτων κ.α.

Η χρήση αυτής της τεχνολογίας στις συσκευές παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα έχει ως αποτέλεσμα σημαντικά πλεονεκτήματα όπως :

- Βελτίωση της συνολικής απόδοσης του αισθητήρα όπως υψηλότερη ευαισθησία μεγαλύτερη, εκλεκτικότητα και βελτιωμένη σταθερότητα,
- Μειωμένη ισχύ κατανάλωσης,
- Υψηλή αξιοπιστία,
- Μαζική παραγωγή η οποία μειώνει το κόστος κατασκευής και συναρμολόγησης ,
- Μείωση του μεγέθους και του βάρους,
- Η κατασκευή των εξαρτημάτων σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα επιτρέπει τη χρήση πολλαπλών διατάξεων σε σειρά ή παράλληλα αυξάνοντας τη λειτουργικότητα και τις δυνατότητες του ανιχνευτή.

Εκτός όμως από τα πλεονεκτήματα, η χρήση MEMS παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα,

όπως:

- Χρειάζονται ειδικές κατασκευαστικές μεθόδους που χρησιμοποιούν ακριβό τεχνολογικό εξοπλισμό,
- Σε κάποιες τεχνολογίες αισθητήρων όπως στους ηλεκτροχημικούς η ενσωμάτωση κάποιων εξαρτημάτων σε μικρή κλίμακα είναι πολύ δύσκολη,
- Είναι δύσκολη η επισκευή τους.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση καθορίζουν τις ικανότητες του ανιχνευτή, τη δυνατότητα φορητότητας, την ευαισθησία την επιλεκτικότητα καθώς και το επίπεδο πληροφοριών που μπορούν να ληφθούν από μια δεδομένη συσκευή. Η επιλογή ενός τύπου ανιχνευτή εξαρτάται από τις ανάγκες που έχει ο χρήστης , από το είδος των ενώσεως και από τις ιδιαιτερότητες του περιβάλλοντος που θέλει να ελέγξει. Κάθε τεχνολογία ανταποκρίνεται σε διαφορετικές απαιτήσεις ανίχνευσης. Ορισμένοι ανιχνευτές έχουν σχεδιαστεί για να ανιχνεύουν και να ποσοτικοποιούν την παρουσία ενός μόνο συγκεκριμένου αερίου όπως οι ηλεκτροχημικοί για παράδειγμα, ενώ άλλοι μπορούν να ανιχνεύουν έναν αριθμό άγνωστων μολυσματικών ουσιών σε ένα δείγμα όπως για παράδειγμα οι φασματοσκοπικές τεχνολογίες. Άλλοι ανιχνευτές είναι σε θέση να ανιχνεύσουν την παρουσία αερίων αλλά δεν είναι σε θέση να παρέχουν συγκεκριμένη αναγνώριση και ποσοτικοποίηση όπως οι ανιχνευτές ιονισμού φωτονίων. Ορισμένες τεχνολογίες ανιχνευτών είναι αποκλειστικά αισθητήρες, ενώ άλλες είναι τεχνολογίες ανίχνευσης που ενσωματώνουν αισθητήρες μαζί με ηλεκτρονικά, οπτικά ή άλλα στοιχεία που υποστηρίζουν τη λειτουργία της συσκευής. Ένας ανιχνευτής για παράδειγμα μπορεί να χρησιμοποιεί κάποια τεχνική διαχωρισμού όπως η αέρια χρωματογραφία για τον αρχικό διαχωρισμό

των αερίων και στη συνέχεια έναν αισθητήρα ανίχνευσης για τη ταυτοποίηση. Υπάρχουν επίσης συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούν πολλαπλούς αισθητήρες για να ανιχνεύσουν της παρουσία αερίων όπως είναι οι ηλεκτρονικές μύτες. Ο χρόνος απόκρισης των ανιχνευτών εξαρτάται επίσης από τον τύπο της τεχνολογίας των συσκευών. Ωστόσο, ακόμη και στην ίδια τεχνολογία, άλλοι παράγοντες όπως οι συνθήκες κατασκευής, μπορούν να έχουν μεγάλο αντίκτυπο στα χαρακτηριστικά απόκρισης. Γενικά, οι τεχνολογίες που είναι λιγότερο συγκεκριμένες στην ανίχνευση έχουν ταχύτερους χρόνους απόκρισης από τις τεχνολογίες που είναι σε θέση να διαφοροποιήσουν τα άγνωστα αέρια. Για παράδειγμα, οι ανιχνευτές ιονισμού έχουν συνήθως πολύ σύντομο χρόνο απόκρισης, αλλά δεν είναι σε θέση να εντοπίσουν άγνωστα αέρια αντίθετα οι τεχνολογίες χρωματογραφίας έχουν μεγαλύτερο χρόνο απόκρισης αλλά έχουν τη δυνατότητα να εντοπίσουν ένα ευρύ φάσμα άγνωστων αερίων.

Με βάση τα χαρακτηριστικά που είδαμε σε αυτό το κεφάλαιο ένας ιδανικός ανιχνευτής θα πρέπει να έχει καλή ευαισθησία, καλή επιλεκτικότητα, χαμηλά όρια ανίχνευσης, να έχει γρήγορους χρόνους απόκρισης, υψηλή αξιοπιστία, χαμηλό κόστος αγοράς, ευκολία χρήσεως, να έχει μικρό μέγεθος, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, μεγάλη διάρκεια ζωής, να απαιτεί μικρή συντήρηση, να μην είναι ευαίσθητος σε κραδασμούς, να αντισταθμίζει αυτόματα τις διακυμάνσεις θερμοκρασίας και πίεσης και να μην επηρεάζεται από διασταυρούμενη ευαισθησία ή από άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η υγρασία ή η σκόνη. Τεχνολογίες όπως οι αισθητήρες στερεάς κατάστασης ή οι αισθητήρες επιφανειακών κυμάτων θα μπορούσαν να προσεγγίσουν κάποια από τα χαρακτηριστικά ενός ιδανικού φορητού αισθητήρα. Στη πραγματικότητα όμως δεν υπάρχει ιδανικός ανιχνευτής και ο χρήστης μπορεί να χρειαστεί να κάνει κάποιους συμβιβασμούς στην επιλογή ενός τύπου έναντι κάποιου άλλου. Για παράδειγμα, οι τεχνολογίες που βασίζονται σε οξείδια μετάλλων μπορούν να παρέχουν καλή φορητότητα στον αισθητήρα αλλά ταυτόχρονα έχουν περιορισμούς στην ευαισθησία και την επιλεκτικότητα σε σύγκριση με οπτικές τεχνολογίες όπως η φασματοσκοπία υπέρυθρων μετασχηματισμού Fourier (FTIR) , ή η μη διασκορπιστική φασματοσκοπία υπέρυθρης ακτινοβολίας (NDIR), που είναι σε θέση να εντοπίσουν, να αναγνωρίσουν και να ποσοτικοποιήσουν με υψηλή ευαισθησία πολλά διαφορετικά αέρια, ωστόσο είναι πολύ μεγάλες και ογκώδεις για φορητή χρήση.

Οι φορητοί αισθητήρες χαμηλού κόστους έχουν μια σειρά ζητημάτων όπως η διασταυρούμενη ευαισθησία, οι παρεμβολές και τείνουν να είναι λιγότερο ευαίσθητες, λιγότερο ακριβείς και λιγότερο επιλεκτικές για την ένωση που μας ενδιαφέρει. Η ταχέως αναπτυσσόμενη επιστημονική βιβλιογραφία υποστηρίζει τη χρήση τους για ορισμένες εφαρμογές, αλλά αποθαρρύνει τη χρήση τους για άλλες. Εν κατακλείδι δεν υπάρχει μία ιδανική τεχνολογία ανιχνευτών αφού τα χαρακτηριστικά και η απόδοση τους ποικίλουν σημαντικά μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών από κατασκευαστή σε κατασκευαστή, εξαιτίας ορισμένων λειτουργικών και περιβαλλοντικών συνθηκών καθώς και από τις απαιτήσεις του κάθε χρήστη. Η εξέλιξη και η υιοθέτηση τεχνικών μικροτεχνολογιών όπως τα MEMS ίσως βοηθήσει στο μέλλον να κατασκευαστούν καλύτεροι φορητοί ανιχνευτές χαμηλού κόστους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΜΠΟΡΙΚΟΙ ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ

Η αγορά των συσκευών ανίχνευσης αερίων είναι κατακερματισμένη με βάση τη χρήση, τον τύπο των συσκευών, τη τεχνολογία και το γεωγραφικό χώρο στον οποίο αναπτύσσεται. Όσον αφορά την χρήση τα ορυχεία, η βιομηχανία πετρελαιοειδών και φυσικού αερίου, η αυτοκινητοβιομηχανία ο αυτοματισμός κτιρίων, η ασφάλεια, η ιατροφαρμακευτική περίθαλψη, η βιομηχανία τροφίμων και η βιομηχανία γενικότερα είναι τα τμήματα στα οποία αυτή η αγορά είναι διαιρεμένη. Οι τύποι συσκευών που υπάρχουν στην αγορά διακρίνονται στις φορητές που μπορούν να φορεθούν στο σώμα και στις σταθερές, οι συσκευές που φοριούνται σημειώνουν τη ταχύτερη ανάπτυξη. Οι σημαντικότερες εμπορικές τεχνολογίες ανίχνευσης είναι οι ηλεκτροχημικές οι οποίες χρησιμοποιούνται για ανίχνευση οξυγόνου και τοξικών αερίων, οι καταλυτικές οι οποίες χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση εύφλεκτων αερίων όπως το μεθάνιο, το πεντάνιο και το υδρογόνο, οι οπτικές (υπέρυθρης ακτινοβολίας) οι οποίες χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση εύφλεκτων και τοξικών αερίων, οι τεχνολογίες ιονισμού (PID) οι οποίες χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση πτητικών οργανικών ενώσεων και οι τεχνολογίες ημιαγωγών μεταλλικού οξειδίου οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανίχνευση αερίου μονοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων του αζώτου, υδρόθειο κ.α

Γεωγραφικά, η Βόρεια Αμερική αποτελεί τη σημαντικότερη αγορά για τους ανιχνευτές αερίων κατέχοντας το μεγαλύτερο μερίδιο στην παγκόσμια αγορά το οποίο είναι περίπου το ένα τρίτο της συνολικής αγοράς με βάση τα έσοδα. Η ανάπτυξη στην αγορά αυτής της περιοχής οφείλεται κυρίως στους αυστηρούς κυβερνητικούς κανονισμούς σχετικά με την ασφάλεια στο χώρο εργασίας. Η Ευρώπη, η Ασία, η Λατινική Αμερική, η Μέση Ανατολή και η Αφρική είναι άλλες βασικές περιοχές για την αγορά των φορητών συσκευών ανίχνευσης αερίων. Μεταξύ αυτών των γεωγραφικών περιοχών, η Ασία παρουσιάζει την υψηλότερη ανάπτυξη λόγω των αυξανόμενων επενδύσεων σε τομείς όπως η υποδομή, η στέγαση και η ιατρική περίθαλψη, οι οποίες οφείλονται στην αύξηση του πληθυσμού, στη βιομηχανική ανάπτυξη και την αστικοποίηση. Η Ινδία και η Κίνα αναμένεται να επιδείξουν ταχεία αύξηση της ζήτησης λόγω του αυξανόμενου αριθμού επενδύσεων σε τομείς χημικών, πετροχημικών, ηλεκτρικής ενέργειας, χάλυβα, πετρελαιοειδών και φυσικού αερίου. Περαιτέρω ζήτηση αναμένεται στην Ανατολική Ασία εξαιτίας της υιοθέτησης διεθνών προτύπων και πρακτικών ασφαλείας στους αναπτυσσόμενους βιομηχανικούς τομείς της.

Οι βασικοί κατασκευαστές και προμηθευτές στην παγκόσμια αγορά συσκευών ανίχνευσης αερίων είναι η RAE Systems Inc, η MOCON, Inc. - Baseline, η Honeywell, η Ion Science Ltd, η Scott Safety, η PCE Instruments, η E+E Elektronik, η MEMBRAPOR AG, η Vertilas GmbH, η OMEGA Engineering, η

Compur Monitors, η Crowcon, η Blackline Safety, η MSA The Safety Company, η Hamamatsu ,η CETCI και η IGD.

Οι παράγοντες που προωθούν την ανάπτυξης της αγοράς είναι :

- Η συνεχώς αυξανόμενη επέκταση του βιομηχανικού τομέα και η αύξηση της αυτοκινητοβιομηχανίας παγκοσμίως αποτελούν τους σημαντικότερους παράγοντες ώθησης της αγοράς των αέριων ανιχνευτών,
- Η ανάγκη για καλύτερη διαχείριση των ενεργειακών πηγών : Η βιομηχανική ανάπτυξη στις ανεπτυγμένες χώρες και η ταχεία οικονομική ανάπτυξη των αναπτυσσόμενων χωρών έχουν εξαντλήσει τους ορυκτούς ενεργειακούς πόρους και για μια βιώσιμη εξέλιξη της κοινωνίας, απαιτείται μια συνετή διαχείριση των ενεργειακών πηγών σε συνδυασμό με τη δημιουργία νέων πηγών. Στο πλαίσιο της συνετής διαχείρισης των ενεργειακών πηγών η εκτεταμένη χρήση αισθητήρων όπως για παράδειγμα στη παρακολούθηση των εκπομπών στη καύση του φυσικού αερίου αναμένεται να παίζει καθοριστικό ρόλο στη βελτιστοποίηση της χρήσης φυσικού αερίου και άλλων πηγών ενέργειας,
- Η αυξανόμενη ανησυχία του κοινού για την ασφάλεια, την υγεία ,το περιβάλλον και η γενικότερη ενίσχυση της περιβαλλοντικής συνείδησης,
- Η θέσπιση αυστηρών νόμων : Η συμμόρφωση με τους κανόνες ασφαλείας και τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς αποτελεί βασικό κινητήριο παράγοντα για την ανάπτυξη της αγοράς. Κυβερνητικά ιδρύματα καθώς και εργασιακοί οργανισμοί σε όλο τον κόσμο έχουν θεσπίσει κανόνες που επικεντρώνονται στη διατήρηση ενός ασφαλούς εργασιακού περιβάλλοντος. Επίσης περιβαλλοντικές ενώσεις και οργανισμοί υγείας έχουν θεσπίσει κατευθυντήριες γραμμές για τα όρια εκπομπών συγκεκριμένων αερίων και για τα επίπεδα επαγγελματικής έκθεσης του προσωπικού σε τοξικά αέρια. Η τάση για υιοθέτηση κοινής νομοθεσίας σε πολλές χώρες ταυτόχρονα (π.χ. σε όλες τις χώρες της ΕΕ) διευρύνει τη αγορά και κάνει ακόμα πιο ελκυστικές τις επενδύσεις σε αυτό το τομέα. Στη βιομηχανία, πρόσφατη νομοθεσία της ΕΕ για την πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης απαιτεί από τις εταιρείες όχι μόνο να παραμείνουν εντός των καθορισμένων ορίων αλλά να επιδεικνύουν συνεχή βελτίωση των εκπομπών τους, αναγκάζοντας τις ακόμη να αποδείξουν την εγκυρότητα των δεδομένων τους, γεγονός που απαιτεί περιοδικούς ανεξάρτητους ελέγχους. Το υπουργείο Υγείας και Ασφάλειας της Μεγάλης Βρετανίας, για παράδειγμα, έχει καταστήσει υποχρεωτική την εγκατάσταση ανιχνευτών αερίου σε επικίνδυνα περιβάλλοντα εργασίας όπως τα εργοστάσια πετρελαίου και φυσικού αερίου. Ένα άλλο παράδειγμα είναι ο Κώδικας Ομοσπονδιακών Κανονισμών των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής σύμφωνα με τον οποίο οι εγκαταστάσεις μεταφοράς εύφλεκτων καυσίμων πρέπει να εγκαταστήσουν

τουλάχιστον δύο φορητούς ανιχνευτές ή έναν σταθερό ανιχνευτή αερίων. Η θέσπιση κανόνων και η αύξηση της ευαισθητοποίησης των ιδιοκτητών και των εργαζομένων σχετικά με τους επαγγελματικούς κινδύνους έχει ως αποτέλεσμα, ένας μεγάλος αριθμός ασφαλιστικών εταιρειών ανά την υφήλιο να παρέχει εκπτώσεις σε βιομηχανίες που αγοράζουν προστατευτικά συστήματα δίνοντας έτσι επιπλέον ώθηση στην αγορά αέριων ανιχνευτών.

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιοι εμπορικά διαθέσιμοι φορητοί ανιχνευτές .



Εικόνα 3.1 gas alert micro 5 pid

Πηγή(<https://www.honeywellanalytics.com>)

Το gas alert micro 5 κατασκευάζεται από τη honeywell στις ΗΠΑ , είναι ένας φορητός ανιχνευτής ιονισμού φωτονίων ιδανικός για βιομηχανικούς χώρους εργασίας αλλά και για οικιακή χρήση. Διαθέτει σωλήνα δειγματοληψίας 1.5 μέτρου, η αντλία του διαθέτει ενσωματωμένο φίλτρο για σκόνη και νερό και παράθυρο για έλεγχο του φίλτρου από τον χρήστη. Η προειδοποίηση για επικίνδυνα επίπεδα ρύπων γίνεται με φωτεινή ένδειξη στην οθόνη , με ηχητικό συναγερμό της τάξης των 95 db και με λειτουργία δόνησης. Μπορεί να εμφανίζει συγκεντρώσεις αερίων σε πραγματικό χρόνο για έως και πέντε χημικούς κινδύνους ταυτόχρονα. Επίσης είναι αδιάβροχος, διαθέτει προστασία από πτώσεις και κοστίζει από 1200 έως 1600 δολάρια με εγγύηση 2 ετών.



Εικόνα 3.2 Multi-PID 2+

Πηγή(<https://www.draeger.com>)

Το Multi-PID 2 κατασκευάζεται από τη Dräger Safety στις ΗΠΑ ,χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα ιονισμού φωτονίων για την παρακολούθηση πτητικών οργανικών ενώσεων. Είναι εξοπλισμένο με μια λυχνία UV 10,6 eV καλύπτοντας μια περιοχή μέτρησης από 0 έως 2.000 ppm. Περιλαμβάνει μια ενσωματωμένη βιβλιοθήκη αερίων με έως και 70 ουσίες, επιπλέον είναι εξοπλισμένο με ένα δυνατό ηχητικό σήμα συναγερμού και μια ενδεικτική λυχνία LED για να προειδοποιήσει για επικίνδυνα

επίπεδα ουσιών. Το Multi-PID 2 διαθέτει ένα ειδικό κλειδί βαθμονόμησης και έναν εσωτερικό καταγραφέα δεδομένων για την καταγραφή 15.000 σημείων δειγματοληψίας παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα ανάλυσης πλήθους δεδομένων. Κοστίζει 4.500 έως 5.900 δολάρια με εγγύηση 1 έτους.



Εικόνα 3.3 PHD6 Multi-Gas Detector

Πηγή(<https://www.honeywellanalytics.com>)

Το PHD6 είναι ένας φορητός ανιχνευτής αερίων με πέντε θύρες και 16 επιλογές αισθητήρων ικανοποιώντας μια μεγάλη ποικιλία απαιτήσεων. Διαθέτει μέχρι έξι κανάλια ανίχνευσης ενώ μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να παρακολουθεί ταυτόχρονα οξυγόνο, αέρια καύσιμα πτητικές οργανικές ενώσεις και μια μεγάλη ποικιλία τοξικών αερίων. Η μέτρηση γίνεται με απευθείας διάχυση του αέρα μέσω του αισθητήρα που βρίσκεται στο μπροστινό μέρος της συσκευής. Το PHD6 μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για δειγματοληψία από απόσταση κάνοντας χρήση ενός κιτ δειγματοληψίας χειρός ή με μια μηχανοκίνητη αντλία έλξης του αερίου δείγματος. Κατασκευάζεται από τη honeywell στις ΗΠΑ και κοστίζει 1.600 έως 4.300 δολάρια με εγγύηση 2 ετών.



Εικόνα 3.4 MX6 iBrid Gas Detector

Πηγή(<http://www.indsci.com>)

Ο MX6 iBrid Gas Detector κατασκευάζεται στις ΗΠΑ από την Industrial Scientific Corporation. Είναι ένα φορητός ανιχνευτής στον οποίο μπορούν να προσαρμοστούν έως και 5 διαφορετικοί αισθητήρες ενώ μπορεί να παρακολουθεί έως και έξι αέρια ταυτόχρονα. Διαθέτει οπτικό και ηχητικό συναγερμό και Κοστίζει από 1.550 έως 4.730 δολάρια με εγγύηση 2 ετών.



Εικόνα 3.5 2020ComboPRO

Πηγή (<http://www.cbrnetechindex.com>)

Είναι ένας φορητός ανιχνευτής τύπου pid ο οποίος διαθέτει 2 τύπους λειτουργίας, σε TVOCmode μπορεί να ανιχνεύει ανόργανες πτητικές ουσίες με εύρος από 0,1 έως 100 ppm και χρόνο απόκρισης λιγότερο από 3 δευτερόλεπτα, σε gasmode ανιχνεύει βενζόλιο με εύρος από 10 έως 40 ppm με χρόνο απόκρισης λιγότερο από 60 δευτερόλεπτα. Μπορεί να υπολογίζει και να καταγράφει αυτόματα τις κορυφαίες συγκεντρώσεις σε επιλεγμένα από το χρήστη χρονικά διαστήματα ενώ μπορεί να αποθηκεύει έως και 15000 μετρήσεις. Διαθέτει οπτικό και ηχητικό συναγερμό (85db), έχει αντίσταση στην υγρασία και μπορεί να λειτουργήσει σε θερμοκρασίες έως και 50 βαθμών κελσίου. Κατασκευάζεται στις ΗΠΑ από την INFICON και κοστίζει 2.700 έως 5.600 δολάρια με εγγύηση 1 έτους.



Εικόνα 3.6 FirstCheck+

Πηγή(<https://gastech.com>)

Είναι μια φορητή συσκευή πολλαπλών αισθητήρων , περιλαμβάνει έναν αισθητήρα ιονισμού φωτονίων με τον οποίο μετράει πτητικές οργανικές ενώσεις και τη δυνατότητα χρήσης άλλων τύπων αισθητήρων οι οποίοι μετράνε οξυγόνο, υδρόθειο, μονοξείδιο άνθρακα και εκρηκτικά αέρια. Ο pid ανιχνεύει πτητικές οργανικές ενώσεις με εύρος από 1 ppb έως 10.000 ppm με χρόνο απόκρισης μικρότερο του δευτερολέπτου. Οι μετρήσεις από κάθε αισθητήρα καταγράφονται κάθε δευτερόλεπτο ενώ υπάρχει δυνατότητα αποθήκευσης για πάνω από 130.000 ενδείξεις. Διαθέτει τεχνολογία που εξασφαλίζει αντοχή στην υγρασία και τη μόλυνση και συναγερμούς με οπτική

ένδειξη σε led οθόνη και ηχητικό συναγερμό των 90 db. Κατασκευάζεται από την Ion Science στην Αγγλία και κοστίζει 3.700 έως 7.200 δολάρια με εγγύηση 1 έτους.



Εικόνα 3.7 Sirius Multigas Detector

Πηγή(<https://www.msagasmonitors.com>)

Είναι μία φορητή συσκευή με δυνατότητα να παρακολουθεί ταυτόχρονα πτητικές οργανικές ενώσεις, αέρια καύσιμα, έλλειψη οξυγόνου, μονοξείδιο του άνθρακα και υδρόθειο. Διαθέτει έναν PID ο οποίος έχει εύρος μέτρησης για vocs έως 2.000 ppm και μπορεί να δεχτεί έως και 4 επιπλέον αισθητήρες. Επιτρέπει στον χρήστη να αποθηκεύει μετρήσεις, οι οποίες εμφανίζονται σε υπολογιστή με πίνακες και γραφήματα. Σε περίπτωση κατάστασης συναγερμού φωτεινές λυχνίες LED

δίνουν οπτική προειδοποίηση και ένας ειδικά σχεδιασμένος ακουστικός θάλαμος παρέχει ηχητική προειδοποίηση. Η ανθεκτική κατασκευή του παρέχει ανώτερη προστασία από την υγρασία και την εισροή σκόνης. Κατασκευάζεται στις ΗΠΑ από την MSA και κοστίζει από 4.000 έως 5.500 δολάρια με εγγύηση 2 ετών .



Εικόνα 3.8 Eagle 2

Πηγή(<https://www.rkiinstruments.com>)

Είναι ένας φορητός ανιχνευτής ο οποίος υποστηρίζει πολλούς αισθητήρες και μπορεί να παρέχει μετρήσεις για έως και έξι διαφορετικούς κινδύνους. Ο pid ανιχνεύει VOCs με εύρος από 0 έως 4000

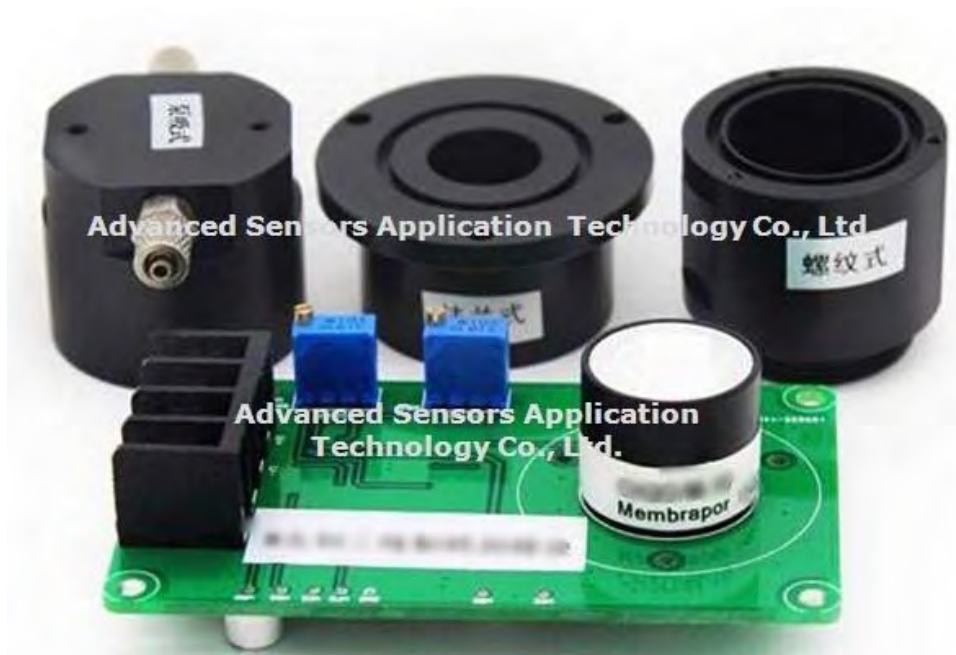
ppm, Κατασκευάζεται στις ΗΠΑ από την RKI Instruments με κόστος που ξεκινάει από 2,900 έως 4,550 δολάρια και έχει εγγύηση 2 ετών.



Εικόνα 3.9 Gas Sniffer Model 7899

Πηγή(<https://www.e-inst.com>)

Είναι ένας φορητός ανιχνευτής αντιστάσεως ο οποίος χρησιμοποιείται για ανίχνευση εύφλεκτων αερίων , μεθανίου , φυσικού αερίου, προπάνιου , βενζίνης, ντίζελ και κηροζίνης . Το Gas Sniffer Model 7899 είναι εργαλείο εντοπισμού διαρροών και δεν προορίζεται για χρήση ως εργαλείο προσωπικής ασφάλειας αφού δε προσδιορίζει συγκεκριμένα το τύπο ενός αερίου και το ακριβές επίπεδο ενός εύφλεκτου αερίου. Κατασκευάζεται από την Temperature & Process Instruments στις ΗΠΑ με κόστος που ξεκινάει από τα 265 δολάρια.



Εικόνα 3.10 H2O2/MB(CB)-range

Πηγή (<https://asatech.en.made-in-china.com>)

Το H₂O₂/MB(CB)-range είναι ένας ηλεκτροχημικός ανιχνευτής ο οποίος χρησιμοποιείται για την ανίχνευση τοξικών αερίων όπως το υπεροξείδιο του υδρογόνου. Η συσκευή ενσωματώνει τον αισθητήρα αερίου με το πομπό μετάδοσης σήματος σε ένα κύκλωμα. Η μονάδα έχει σχεδιαστεί για να μπορεί να αντισταθμίζει τις μεταβολές που παρουσιάζονται στη τάση εξασφαλίζοντας υψηλή ακρίβεια, μεγάλη διάρκεια ζωής και υψηλή σταθερότητα. Μπορεί να ανιχνεύει αέρια σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις και σε υψηλές έως 200 ppm. Κατασκευάζεται στη Κίνα από την Advanced Sensors Application Technology Co., Ltd και διατίθεται στη τιμή των 299 δολαρίων με εγγύηση 12 μηνών.



Εικόνα 3.11 4300 zNose

Πηγή (<https://www.officer.com>)

Το 4300 zNose είναι ένας φορητός αέριος χρωματογράφος ο οποίος χρησιμοποιεί τη τεχνολογία ανίχνευσης ακουστικών κυμάτων. Το Μοντέλο 4300 είναι ιδανικό για χρήση σε πεδία όπου υπάρχει ανάγκη για γρήγορη αναγνώριση βιοχημικών απειλών για το περιβάλλον ή την ανθρώπινη ασφάλεια. Η συσκευή χρησιμοποιεί έναν εξωτερικό υπολογιστή που προσφέρει αποδοτική, ακριβή και φορητή ανάλυση. Διαθέτει μπαταρία ιόντων λιθίου η οποία είναι επαναφορτιζόμενη και τυπικά διαρκεί 6 ώρες ενώ το βάρος του ανιχνευτή μόνο είναι 2.5 κιλά. Έχει τη δυνατότητα να αναγνωρίζει όλους τους τύπους ατμών καθώς και ίχνη βιολογικών, χημικών και οργανικών ενώσεων με ακρίβεια και ταχύτητα. Ο χρόνος απόκρισης κυμαίνεται από δευτερόλεπτα έως ένα λεπτό. Το 4300 zNose δε είναι μια συσκευή χαμηλού κόστους αφού η τιμή όλης της μονάδας είναι περίπου 30000 δολάρια. Κατασκευάζεται από την Electronic Sensor Technology στις ΗΠΑ και έχει εγγύηση ενός έτους.



Εικόνα 3.12 Photovac Inficon MicroFID II

Πηγή (<https://www.raecorents.com>)

Το Photovac Inficon MicroFID II είναι ένας φορητός ανιχνευτής ιονισμού φλόγας ο οποίος μπορεί να ανιχνεύει με εύρος από 0,1 έως 50000 ppm πτητικές οργανικές ενώσεις. Ο χρόνος απόκρισης του είναι μικρότερος από 3 δευτερόλεπτα. Το MicroFID II διαθέτει κύλινδρο καυσίμου υδρογόνου μεταλλικού υβριδίου για μέχρι 70 ώρες συνεχούς χρήσης ενώ τα δεδομένα ανίχνευσης μπορούν να μεταφορτωθούν σε έναν υπολογιστή μέσω ενσωματωμένης ασύρματης διασύνδεσης Bluetooth . Η συσκευή διαθέτει ηχητικό συναγερμό στα 85 dB και οπτικό συναγερμό που εμφανίζεται σε μια οθόνη τύπου led. Το συνολικό βάρος της συσκευής είναι 5 κιλά. Κατασκευάζεται από την Photovac (Inficon) και κοστίζει 10,920.25 δολάρια.



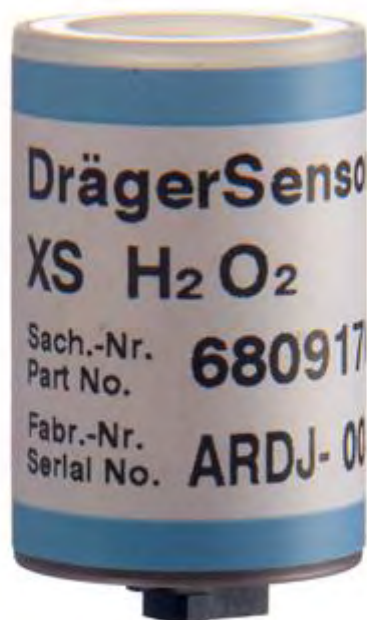
Εικόνα 3.13 FROG-4000

Πηγή (<https://www.geotechnical.net>)

Το FROG-4000 είναι ένα φορητός αέριος χρωματογράφος ο οποίος μπορεί να ανιχνεύει βενζόλιο, τολουόλιο, αιθυλοβενζόλιο και άλλες πτητικές οργανικές ενώσεις σε νερό, αέρα και έδαφος. Ο χρόνος απόκρισης του λιγότερο από 5 λεπτά. Για την ανίχνευση η συσκευή χρησιμοποιεί έναν ανιχνευτή ιονισμού φωτονίων $\text{pid } 10,6 \text{ eV}$. Κατασκευάζεται στις ΗΠΑ από την Defiant Technologies και κοστίζει περίπου 25000 δολάρια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΣΕΝΣΟΡΕΣ

Στην αγορά των φορητών συσκευών αερίων μεγάλο μέρος καταλαμβάνουν οι σένσορες οι οποίοι πωλούνται ξεχωριστά και μπορούν να προσαρμοστούν σε ηλεκτρονικές μύτες ή σε συσκευές που δέχονται πολλαπλούς αισθητήρες. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται μερικοί εμπορικά διαθέσιμοι σένσορες με βάση του τύπους τεχνολογιών που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 2.



Εικόνα 4.1 Dräger XS Electrochemical Sensor

Πηγή (<https://www.isssafety.com>)

Ο Dräger XS είναι ένας ηλεκτροχημικός σένσορας κατάλληλος για μέτρηση τοξικών βιομηχανικών αερίων. Το εύρος μέτρησης του είναι 0–20ppm ενώ έχει διάρκεια ζωής έως και πέντε χρόνια. Κατασκευάζεται από τη Dräger στη γερμανία με κόστος από 577 ευρώ και εγγύηση ενός έτους.



Εικόνα 4.2 MQ-9B gas sensor

Πηγή (<https://www.winsen-sensor.com>)

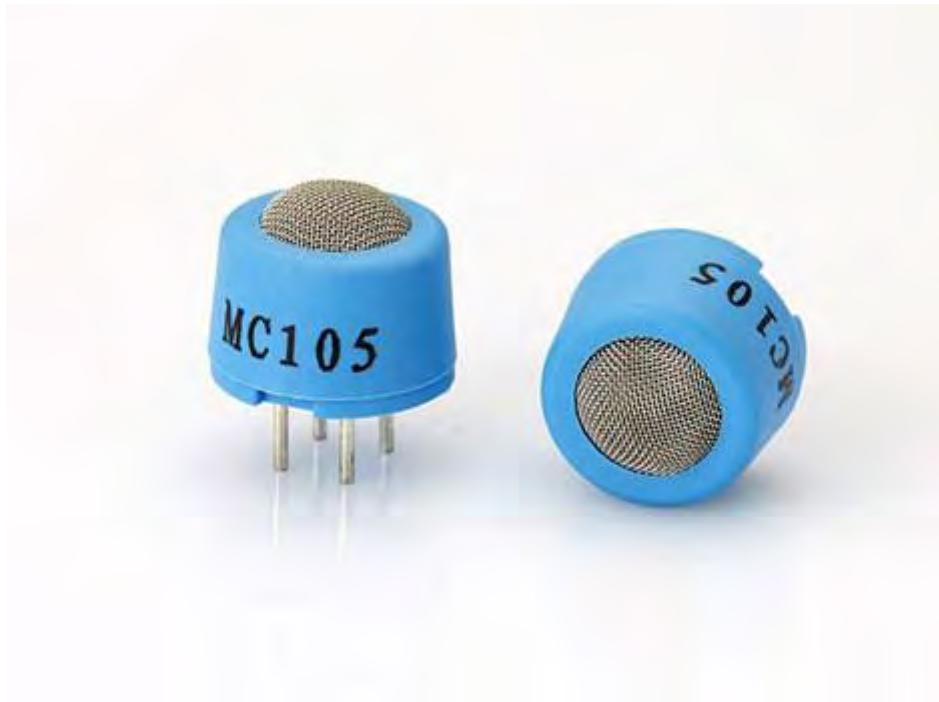
Ο MQ-9B είναι ένας σένσορας ημιαγωγών ο οποίος χρησιμοποιεί για μεταλλικό οξείδιο κασσίτερο. Χρησιμοποιείται για τη μέτρηση κυρίως μονοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου με εύρος μέτρησης από 0 έως 500 ppm για το μονοξείδιο του άνθρακα και 300 έως 10000ppm για το μεθάνιο. Κατασκευάζεται από τη Winsen Electronics στην Κίνα και κοστίζει περίπου 6 δολάρια ανά τεμάχιο.



Εικόνα 4.3 MiniPID2

Πηγή (<https://www.ionscience.com>)

Το MiniPID2 είναι ένας σένσορας ιονισμού φωτονίων κατάλληλος για τη μέτρηση πτητικών οργανικών ενώσεων. Το εύρος των μετρήσεων κυμαίνεται από 0 έως 6000 ppm. Διαθέτει λάμπα 10εν η οποία μπορεί να λειτουργεί συνεχώς για 10000 ώρες. Το MiniPID2 είναι ανθεκτικό στη μόλυνση, δεν επηρεάζεται από την υγρασία και έχει αναμενόμενο προσδόκιμο ζωής πέντε έτη. Κατασκευάζεται στο Ηνωμένο Βασίλειο από την [ion science](https://www.ionscience.com) και διατίθεται στη τιμή των 1010 ευρώ με εγγύηση ενός έτους.



Εικόνα 4.4 MC105

Πηγή (<https://wehope.en.made-in-china.com>)

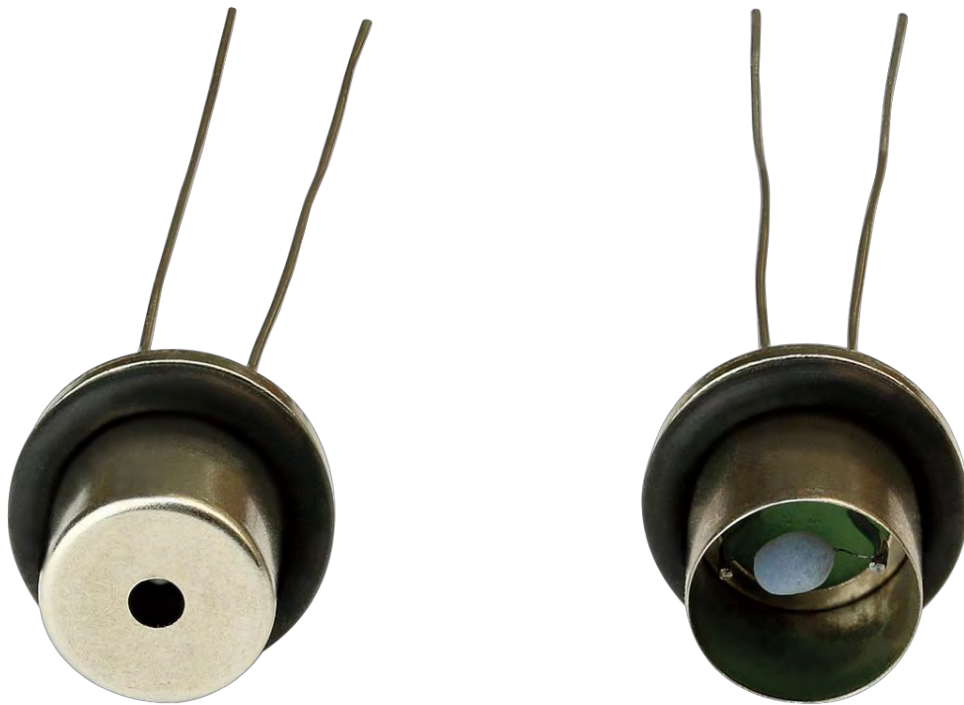
Ο MC105 είναι ένας σένσορας καταλυτικού τύπου κατάλληλος για τη μέτρηση εύφλεκτων αερίων όπως το μεθάνιο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ποικίλες εφαρμογές όπως στη βιομηχανία ,για τον έλεγχο διαρροής καυσίμου , για την ανίχνευση της συγκέντρωσης φυσικού αερίου και ούτω καθεξής. Έχει εύρος μέτρησης από 0 έως 100 LEL και χρόνο απόκρισης λιγότερο από 10 δευτερόλεπτα. Κατασκευάζεται στη Κίνα από την Winsen και κοστίζει από 2 έως 2.5 δολάρια ανά τεμάχιο.



Εικόνα 4.5 MH-440D

Πηγή (<https://www.aliexpress.com>)

Ο MH-410D είναι ένας σένσορας υπέρυθρης ακτινοβολίας κατάλληλος για μέτρηση του διοξειδίου του άνθρακα. Χαρακτηρίζεται από τη καλή επιλεκτικότητα του, τη σταθερή του απόδοση ενώ έχει και μεγάλη διάρκεια ζωής περισσότερο από 5 χρόνια κατ' εκτίμηση. Ο MH-410D έχει υψηλή ευαισθησία και μπορεί να μετρήσει με εύρος ανίχνευσης από 0 έως 5% Vol με χρόνο απόκρισης μικρότερο από 30 δευτερόλεπτα. Κατασκευάζεται στη Κίνα από την Winsen και κοστίζει 218 δολάρια .



Εικόνα 4.6 VQ31MB

Πηγή (<https://www.pewatron.com>)

Ο VQ31MB είναι ένας σένσορας θερμικής αγωγιμότητας κατάλληλος για ανιχνευτές τύπου Pellistor. Χρησιμοποιείται για τη μέτρηση αερίων όπως το υδρογόνο, το ήλιο και το μεθάνιο. Το εύρος των μετρήσεων του είναι από 0 έως 100% vol. Κατασκευάζεται από την SGX Sensortech Limited και κοστίζει 45 δολάρια.



Εικόνα 4.7 MiCS-2714

Πηγή (www.aliexpress.com)

Ο MiCS-2714 είναι ένας σένσορας κατασκευασμένος με τη τεχνολογία μικροκυκλωμάτων MEMs. Ο σένσορας ανήκει στη κατηγορία των αισθητήρων ημιαγωγών και μπορεί να μετράει τη συγκέντρωση αερίων ανιχνεύοντας αλλαγές στην αντίσταση. Μπορεί να μετρήσει διοξείδιο του αζώτου με εύρος από 0.05 έως 10 ppm και υδρογόνο με εύρος από 1 έως 1000 ppm. Κατασκευάζεται από την SGX Sensortech Limited και κοστίζει 52 δολάρια.



Εικόνα 4.8 Aeroqual PM Sensor Head 2.5 and 10 (PM)

Πηγή (<https://www.gas-sensing.com>)

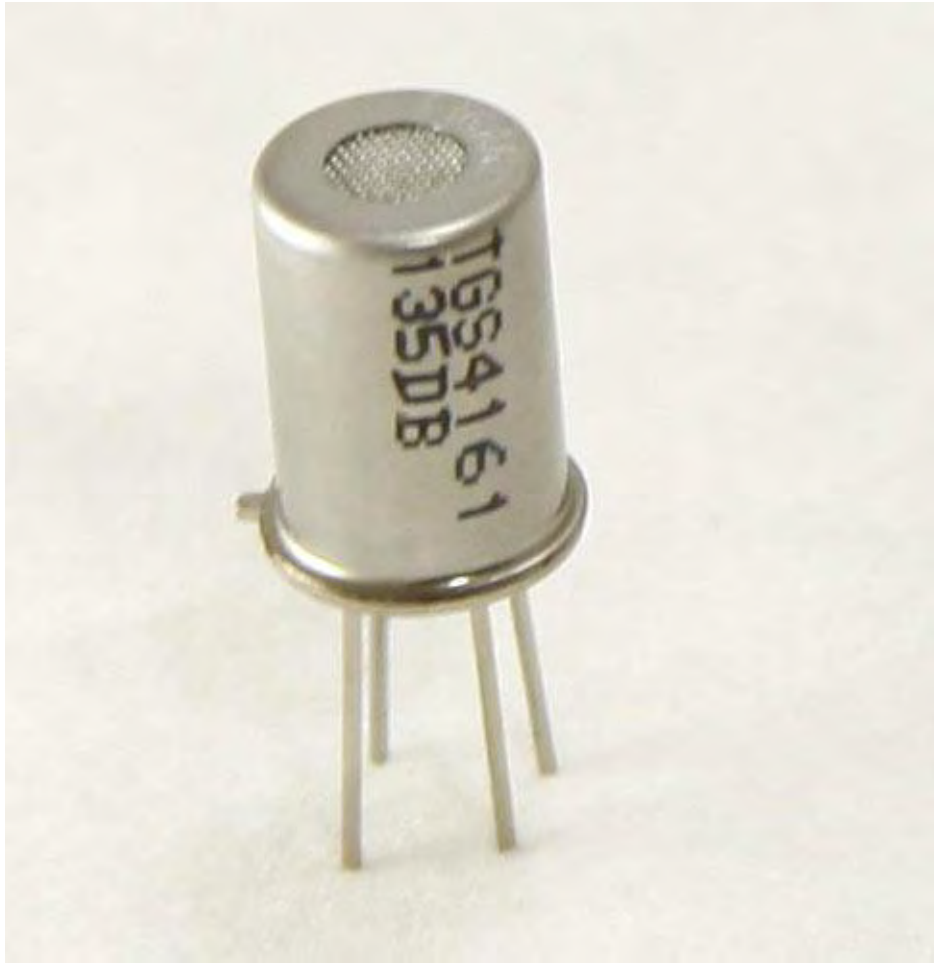
Το Aeroqual PM Sensor Head είναι σένσορας οπτικών ινών ο οποίος μπορεί να ανιχνεύει αιωρούμενα σωματίδια PM_{2.5} και PM₁₀ με εύρος ανίχνευσης 0.000 έως 1.000 mg /m³ και χρόνο απόκρισης 5 δευτερολέπτων. Κατασκευάζεται στη Νέα Ζηλανδία από την Aeroqual , κοστίζει 550 δολάρια με εγγύηση ενός έτους.



Εικόνα 4.9 MC119

Πηγή (<https://www.aliexpress.com>)

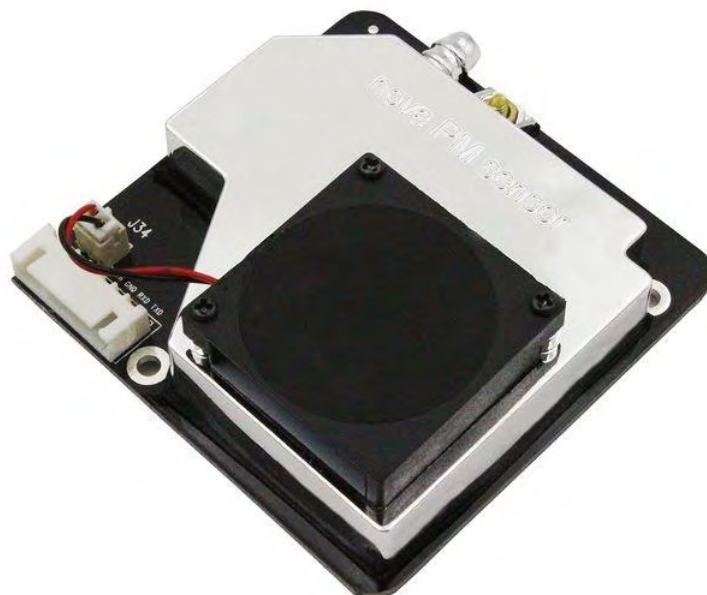
Ο MC119 είναι ένας σένσορας καταλυτικού τύπου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον βιομηχανικό τομέα φυσικού αερίου, πετρελαίου, για ανίχνευση καυσίμων αερίων και για την ανίχνευση συγκεντρώσεων ατμών βενζίνης, αλκοόλης, κετόνης, βενζολίου και άλλων οργανικών διαλυτών. Έχει εύρος μέτρησης από 0 έως 100 LEL και χρόνο απόκρισης λιγότερο από 10 δευτερόλεπτα. Κατασκευάζεται στη Κίνα από την KTsensing και κοστίζει 48.55 δολάρια.



Εικόνα 4.10 TGS4161

Πηγή (<https://www.soselectronic.com>)

Το TGS4161 είναι ένας νέος αισθητήρας στερεού ηλεκτρολύτη κατάλληλος για τη μέτρηση διοξειδίου του άνθρακα. Το εύρος των μετρήσεων του κυμαίνεται από 350 έως 10000 ppm και ο χρόνος απόκρισης του είναι περίπου ενάμιση λεπτό. Το TGS4161 δεν επηρεάζεται από την υγρασία, έχει μεγάλη διάρκεια ζωής και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Κατασκευάζεται από τη Figaro στις ΗΠΑ και κοστίζει από 30 έως 40 δολάρια.



Εικόνα 4.11 SDS011 PM2.5

Πηγή (<https://eckstein-shop.de>)

Ο SDS011 PM2.5 είναι ένας οπτικός σένσορας ο οποίος μπορεί να ανιχνεύει αιωρούμενα σωματίδια PM2.5 με εύρος 0.0 έως 999.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ σε χρόνο απόκρισης μικρότερο από 10 δευτερόλεπτα. Κατασκευάζεται στη Γερμανία από τη Eckstein Komponente και έχει κόστος περίπου 40 δολάρια.



Εικόνα 4.12 GS YUASA Oxygen Sensor SK-25

Πηγή (<https://cdn.sos.sk>)

Ο SK-25 είναι ένας σένσορας για τη μέτρηση του επιπέδου του οξυγόνου. Μπορεί να μετράει οξυγόνο με εύρος από 0 έως 30% και ο χρόνος απόκρισης του είναι περίπου 15 δευτερόλεπτα. Τα πιο αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά του ότι δεν επηρεάζεται από το διοξείδιο του άνθρακα, έχει καλή γραμμικότητα και εξαιρετική χημική ανθεκτικότητα. Κατασκευάζεται από τη figaro engineering inc στην Ιαπωνία και κοστίζει 52,40 ευρώ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Ελλάδα μέσα από μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε διάφορες περιοχές ανά την επικράτεια τις τελευταίες τρεις δεκαετίες.

5.1 ΘΝΗΣΙΜΟΤΗΤΑ & ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ [29]

Στα τέλη της δεκαετίας του 90 η Greenpeace πραγματοποίησε μια μελέτη για τη θνησιμότητα και το οικονομικό κόστος που προκύπτει στην Ελλάδα εξαιτίας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Για τη μελέτη

αυτή η Greenpeace χρησιμοποίησε τη μεθοδολογία προσέγγισης και το λογισμικό-μοντέλο (AirQ) που ανέπτυξε ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO). Για τη χρησιμοποίηση του μοντέλου AirQ απαιτούνται πληθυσμιακά δεδομένα, στοιχεία φυσικής κίνησης του πληθυσμού, στοιχεία αέριας ποιότητας και στοιχεία δεικτών σχετικής επικινδυνότητας των διαφόρων αέριων ρύπων για μακροχρόνια ή βραχυπρόθεσμη έκθεση. Στη συγκεκριμένη μελέτη τα στοιχεία αυτά αντλήθηκαν κυρίως από τις ευρύτερες περιοχές της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης. Τα δεδομένα της φυσικής κίνησης του πληθυσμού πάρθηκαν από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος ενώ για τα στοιχεία της ποιότητας του αέρα χρησιμοποιήθηκαν 4 σταθμοί παρακολούθησης στην Αθήνα και 5 στη Θεσσαλονίκη. Οι αέριοι ρύποι για τους οποίους υπήρχαν κατάλληλα δεδομένα για τη χρήση του μοντέλου AirQ, ήταν το διοξείδιο του θείου (SO₂), ο καπνός και το όζον (O₃). Για τα στοιχεία δεικτών σχετικής επικινδυνότητας χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες σχετικού κινδύνου που προτείνονταν από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, καθώς επίσης και οι δείκτες σχετικού κινδύνου που υπήρχαν σε πρόσφατες για την εποχή έρευνες και που αφορούσαν τις τιμές αυτών των δεικτών, σε ευρωπαϊκές πόλεις. Οι δείκτες αφορούσαν ολική θνησιμότητα, θνησιμότητα από καρδιαγγειακές νόσους και θνησιμότητα από αναπνευστικές νόσους.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μελέτη (πίνακας 5.1) ήταν πως οι επιπλέον ετήσιοι θάνατοι λόγω βραχυπρόθεσμης έκθεσης σε ατμοσφαιρική ρύπανση ήταν συνολικά 1.342 (με διακύμανση από 586 έως 2.328), ένας αριθμός αντίστοιχος με τον ετήσιο αριθμό θανάτων από τροχαία ατυχήματα τη περίοδο εκείνη. Η ετήσια αύξηση της θνησιμότητας για την Ελλάδα λόγω μακροχρόνιας έκθεσης σε ατμοσφαιρική ρύπανση εκτιμήθηκε σε 7.247 θανάτους. Σύμφωνα με τις μετρήσεις στις πόλεις της Ελλάδας διαπιστώθηκε επίσης πως το επίπεδο των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ ήταν κατά πάσα πιθανότητα υψηλότερο από τα 50 μg/m³, που αποτελεί την κατευθυντήρια τιμή της Ευρωπαϊκής Ένωσης γι' αυτόν τον ρύπο. Τέλος το ετήσιο βραχυχρόνιο κόστος των αρνητικών επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία στην Ελλάδα εκτιμήθηκε σε 1,6 δις € ενώ μακροχρόνια σε 6,15 δις €.

	ΕΛΛΑΔΑ Βραχυχρόνιες επιπτώσεις Υπολογισμοί με βάση το μοντέλο AirQ	ΕΛΛΑΔΑ Μακροχρόνιες επιπτώσεις Υπολογισμοί με βάση τη μελέτη της Π.Ο.Υ., 1998
Πληθυσμός (1996)	10.476.000	10.476.000
Μέση ετήσια συγκέντρωση PM ₁₀ σε μg/m ³	~50 (εκτίμηση)	~50 (εκτίμηση)
Μακροχρόνια αύξηση θνησιμότητας (ενήλικες > 30 ετών)	1.342 (586 – 2.328)	7.247 (4.380-10.155)

Ετήσιο κόστος αύξησης μακροχρόνιας θνησιμότητας σε δις €	1,21* (0,53-2,09)	4,37 (2,64-6,15)
Ετήσιο κόστος αύξησης θνησιμότητας σε χιλ. € ανά κάτοικο	0,12 (0,05-0,2)	0,42 (0,25-0,59)
Συνολικό ετήσιο κόστος ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία σε δις €	1,6 (0,7-2,78)	6.15 (3,13-9,29)
Συνολικό ετήσιο κόστος ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία σε χιλ. € ανά κάτοικο	0,15 (0,07-0,26)	0,59 (0,29-0,89)

Πίνακας 5.1: Εκτίμηση της μακροχρόνιας αύξησης της θνησιμότητας στην Ελλάδα και εκτιμώμενο οικονομικό κόστος λόγω των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία.

Συμπερασματικά η μελέτη της Greenpeace αφού διαπίστωνε τη τραγική κατάσταση που είχε να κάνει με την ποιότητα του αέρα πρότεινε για την Ελλάδα που μόλις έμπαινε στον εικοστό πρώτο αιώνα τις εξής προτάσεις για τη βελτίωση της κατάστασης :

- Εκπόνηση μελετών αποτίμησης του κόστους της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα οικοσυστήματα, στα υλικά, στα μνημεία και στην αλλαγή του κλίματος,
- Πραγματοποίηση συστηματικών μετρήσεων των PM10 σε πολλές πόλεις της Ελλάδας,
- Θέσπιση από την πολιτεία πρόσθετων οικονομικών κινήτρων προς όλους τους σχετιζόμενους φορείς για τη δραστική μείωση όλων των εκπεμπόμενων αέριων ρύπων, με πρώτη προτεραιότητα τα PM10 και τον καπνό,
- Την εφαρμογή ενός προγράμματος που θα συμβάλλει στη μείωση των χιλιομέτρων που διανύονται από οχήματα ,
- Την κατάργηση της πετρελαιοκίνησης στα ταξί,
- Την δημιουργία τραμ στην Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη,
- Την απαγκίστρωση από τα ορυκτά καύσιμά και τη στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας,
- Την παροχή κινήτρων για την προώθηση των οχημάτων χαμηλής κατανάλωσης στα πλαίσια της επερχόμενης απόσυρσης των παλιών Ι.Χ,
- Την εφαρμογή καθαρών τεχνολογιών και μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας στη βιομηχανία και την κατοικία,
- Την ουσιαστική προστασία και ανάδειξη των περιαστικών δασών.

5.2 Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΟ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ [30]

Η διεύθυνση Περιβάλλοντος & Χωροταξίας της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας δημοσίευσε το 2004 μια έκθεση για την ατμοσφαιρική ρύπανση στη Θεσσαλονίκη. Για τη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν οκτώ σταθμοί παρακολούθησης οι οποίοι κατέγραφαν μία τιμή κάθε λεπτό από τις οποίες υπολογίζονταν οι μέσες ωριαίες τιμές, οι οποίες μέσω modem μεταβιβάζονταν στον κεντρικό υπολογιστή της Υπηρεσίας. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι θέσεις των σταθμών, ο χαρακτηρισμός της θέσης, οι μετρούμενοι ρύποι ανά σταθμό και η μέθοδος μέτρησης.

Ρύπος	Μέθοδοι μέτρησης	Σταθμός							
		ΑΠΘ Αστικός	Ελευθέριο Κορδελιό Αστικός / Βιομηχανικός	Καλαμαριά Περιοαστικός	Νεοχώρο ύδα Αγροτικός	Πανόραμα Περιοαστικός	Πλ.Αγ. Σοφίας Αστικός	Πλ. Δημοκρατίας Αστικός	Σύνδος Αγροτικός/ Βιομηχανικός
SO ₂	Μέθοδος φθορισμού	✓	✓	✓			✓		✓
NO _x	Μέθοδος χημειοφωτ/αύγεια	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
O ₃	Μέθοδος απορρόφησης/ης υπεριώδους	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
CO	Μέθοδος μη διαχεόμενης ακτινοβολίας		✓	✓			✓	✓	✓
ΑΣ10	Απορρόφηση β' ακτινοβολίας		✓			✓	✓		✓
(TSP)	Απορρόφηση β' ακτινοβολίας		✓				✓		

Πίνακας 5.2

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν μια σταθερά πτωτική τάση για το διοξείδιο του θείου για το οξείδιο του αζώτου και για το μονοξείδιο του άνθρακα , γεγονός που συνδεόταν με την αντικατάσταση του στόλου των συμβατικών αυτοκινήτων με καταλυτικά και τη μείωση της περιεκτικότητας σε θείο στο πετρέλαιο καύσης. Αντίθετα παρατηρήθηκε ανοδική πορεία του όζοντος σε όλους τους σταθμούς με μεγαλύτερη αύξηση της μέσης ετήσιας τιμής στον σταθμό της Νεοχωρούδας. Τέλος παρατηρήθηκαν υπερβάσεις στις οριακές συγκεντρώσεις των αερίων ρύπων στα αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ10) κυρίως σε σταθμούς που βρίσκονται σε αστικές περιοχές (Πλ. Αγ. Σοφίας και Ελευθέριο Κορδελιό) . Στον Πίνακα 5.3 δίνονται οι οριακές συγκεντρώσεις για το έτος 2003.

Ρύπος	Οριακή τιμή και επιτρεπτές υπερβάσεις	Οριακή τιμή για έτος 2003
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	10 mg/m ³ Μέγιστη ημερήσια οκτάωρη μέση τιμή	14 mg/m ³
Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	350 μg/m ³ Μέση ωριαία τιμή, των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 24 φορές το χρόνο	410 μg/m ³
	125 μg/m ³ Μέση ημερήσια τιμή, των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 3 φορές ανά έτος	125 μg/m ³
Διοξείδιο του αζώτου (NO ₂)	200 μg/m ³ Μέση ωριαία τιμή, των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 18 φορές το χρόνο	270 μg/m ³
	40 μg/m ³ μέση ετήσια τιμή	54 μg/m ³

Αιωρούμενα σωματίδια (PM10)	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ μέση ημερήσια τιμή, των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 35 φορές ανά έτος	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ μέση ετήσια τιμή	43.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Όζον (O ₃)	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ μέση οκτάωρη τιμή, των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 25 φορές ανά έτος για διάστημα 3 ετών	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Πίνακας 5.3

Συμπερασματικά η μελέτη κατέληξε πως η ατμοσφαιρική ρύπανση στο Πολεοδομικό Συγκρότημά Θεσσαλονίκης για το 2003 κυμάνθηκε σε χαμηλά επίπεδα, με εξαίρεση το κέντρο της πόλης και την βιομηχανική περιοχή οι οποίες παρουσίασαν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις αερίων ρύπων. Υπερβάσεις στις οριακές συγκεντρώσεις των αερίων ρύπων παρατηρήθηκαν κυρίως στα αναπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ10) σε σταθμούς που βρίσκονται σε αστικές περιοχές και, σχετικά αυξημένες ήταν επίσης οι συγκεντρώσεις όζοντος σε σταθμούς που βρίσκονται σε περιαστικές περιοχές.

5.3 Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ [31]

Το τμήμα ποιότητας ατμόσφαιρας, που ανήκει στη διεύθυνση ελέγχου ατμοσφαιρικής ρύπανσης και θορύβου (ΕΑΡΘ) του ΥΠΕΧΩΔΕ πραγματοποίησε το 2008 μελέτη για την ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε ένα δίκτυο σταθμών το οποίο αποτελούνταν από δεκαπέντε σταθμούς μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της Αττικής, ένα σταθμό στα Οινόφυτα, καθώς και ένα σταθμό στην Αλίαρτο Βοιωτίας. Στον Πίνακα 5.4 εμφανίζονται οι θέσεις των σταθμών και οι ρύποι που μετρήθηκαν ανά σταθμό.

Σταθμός	Χαρακτηρισμός	Μετρο ύμενο ι ρύποι						
		SO2	NOx	CO	O3	ΑΣ10	ΑΣ2,5	C6H6
Αθηνάς	Αστικός-Κυκλοφορίας	✓	✓	✓	✓			
Αριστοτέλους	Αστικός-Κυκλοφορίας		✓			✓		
Γεωπονική	Περιαστικός-Βιομηχανικός	✓	✓	✓	✓			
Λιόσια	Περιαστικός-Υποβάθρου	✓	✓		✓			
Λυκόβρυση	Περιαστικός		✓		✓	✓	✓	
Μαρούσι	Αστικός-Κυκλοφορίας		✓	✓	✓	✓		
Νέα Σμύρνη	Αστικός-Υποβάθρου	✓	✓	✓	✓			
Πατησίων	Αστικός-Κυκλοφορίας	✓	✓	✓	✓			✓
Πειραιάς – ΠΕΙ-1	Αστικός-Κυκλοφορίας	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Περιστέρι	Αστικός-Υποβάθρου	✓	✓	✓	✓			
Αγ. Παρασκευή	Περιαστικός-Υποβάθρου		✓		✓	✓	✓	
Γουδή	Αστικός-Κυκλοφορίας		✓				✓	
Ελευσίνα	Περιαστικός-Βιομηχανικός		✓		✓			
Θρακομακεδόνες	Περιαστικός-Υποβάθρου		✓		✓	✓		
Κορωπί	Περιαστικός-Υποβάθρου	✓	✓		✓	✓		
Οινόφυτα	Περιαστικός-Βιομηχανικός	✓	✓		✓	✓		
Αλίσαρτος	Υποβάθρου	✓	✓		✓			

Πίνακας 5.4

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση των ρύπων ήταν η απορρόφηση στο υπέρυθρο (NDIR) για το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), η χημειοφωταύγεια για τα οξείδια του αζώτου (NO,NO₂), η απορρόφηση στο υπεριώδες για το Όζον (O₃), η φθορισμομετρία για το διοξείδιο του θείου (SO₂), η απορρόφηση β ακτινοβολίας για τα αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ10 1 – ΑΣ2,5 2) και η αέρια χρωματογραφία (GC) για το βενζόλιο (C₆H₆).

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν πως κατά το έτος 2008, τα αιωρούμενα σωματίδια ΑΣ10, παρουσίαζαν υπερβάσεις των ορίων στην πλειονότητα των σημείων μέτρησης. Το διοξείδιο του θείου (SO₂) δεν ξεπερνούσε τα όρια σε καμιά θέση μέτρησης. Το οξείδιο του αζώτου (NO₂) και το διοξείδιο του αζώτου παρουσίαζαν υπερβάσεις της ενδεικτικής μέσης ετήσιας τιμής. Για το όζον (O₃), το 2008, παρουσιάστηκαν υπερβάσεις τόσο του ορίου ενημέρωσης όσο και του ορίου συναγερμού κατά κύριο λόγο στους περιφερειακούς σταθμούς μέτρησης ιδιαίτερα κατά τις απογευματινές ώρες το καλοκαίρι. Οι υπερβάσεις αυτές εκτιμήθηκε ότι οφείλονταν κατά κύριο λόγο στη γεωγραφική θέση της χώρας (μεγάλη ηλιοφάνεια και υψηλές θερμοκρασίες, συνθήκες που ευνοούν το σχηματισμό του όζοντος) και παρουσιάζονται σε όλες τις νότιες χώρες της Ε.Ε. Για το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) δεν σημειώθηκε υπέρβαση της οριακής τιμής, ενώ ο μολυβδος βρισκόταν σε πολύ χαμηλά επίπεδα, τέλος για το βενζόλιο δεν σημειώθηκε υπέρβαση της ενδεικτικής τιμής για το 2008. Οι υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης των SO₂, NO₂, CO και του μαύρου καπνού παρατηρήθηκαν στους σταθμούς παρακολούθησης στο κέντρο της πόλης τη περίοδο του χειμώνα, ενώ για το όζον οι υψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν σε προαστιακές περιοχές το καλοκαίρι. Οι μέγιστες τιμές του διοξειδίου του αζώτου παρατηρήθηκαν πρωινές ώρες μεταξύ 10:00 και 12:00, ενώ οι μέγιστες τιμές του μονοξειδίου του άνθρακα παρατηρήθηκαν από τις 8:00 έως τις 9:00 και μεταξύ 21:00 και 23:00 το βράδυ. Τις Κυριακές, όλες οι συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων εκτός από το όζον και τα αιωρούμενα σωματίδια, παρουσίαζαν μείωση.

Τα συμπεράσματα της έκθεσης ήταν πως η μεγαλύτερη περιοχή της Αθήνας, όπως και οι περισσότερες μητροπολιτικές περιοχές του κόσμου, έχει προβλήματα αέριας ρύπανσης. Τα προβλήματα αυτά οφείλονται στην υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα και τη συσσώρευση σημαντικών οικονομικών δραστηριοτήτων στην περιοχή. Άλλοι παράγοντες που ευνοούν τη συσσώρευση ατμοσφαιρικών ρύπων στο περιβάλλον της πόλης είναι, η τοπογραφία (λεκάνη που περιβάλλεται από βουνά), οι στενοί δρόμοι και οι δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες όπως ο έντονος ήλιος ο οποίος συμβάλλει στα υψηλά επίπεδα φωτοχημικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, η υψηλή θερμοκρασία, η χαμηλή ταχύτητα του ανέμου και οι εκτεταμένες περίοδοι ξηρασίας. Στις συγκεντρώσεις των πρωτογενών ατμοσφαιρικών ρύπων, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου και τον μαύρο καπνό παρατηρείται μια μείωση σε σχέση με προηγούμενες δεκαετίες, ενώ το όζον αποτελεί το κυριότερο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Αθήνα.

5.4 ΕΚΘΕΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΠΑΤΡΑ [32]

Το 2017 το τμήμα φυσικού του πανεπιστημίου Πατρών πραγματοποίησε μια μελέτη για την ατμοσφαιρική ρύπανση από τα αιωρούμενα σωματίδια στη πόλη της Πάτρας. Για τη μελέτη χρησιμοποιήθηκε το δίκτυο μετρήσεων του Πανεπιστημίου Πατρών το οποίο ονομάζεται Αιθέρας και αποτελείται από αισθητήρες μέτρησης κλασμάτων των αιωρούμενων σωματιδίων, πανοραμικές κάμερες και μια διαδικτυακή πλατφόρμα (<http://www.patrasair.gr/>) που καταγράφει την ποιότητα του αέρα στην Πάτρα σε πραγματικό χρόνο. Οι θέσεις των σταθμών του δικτύου, ο χαρακτηρισμός τους και οι μετρούμενοι ρύποι φαίνονται στον Πίνακα 5.5

Όνομα	Χαρακτηρισμός	PM1	PM2.5	PM10
Αγυιά	Αστικός	✓	✓	✓
Λιμάνι	Αστικός	✓	✓	✓
Πανεπιστήμιο	Υπαίθρου Υποβάθρου	✓	✓	✓
Πλατάνι	Υπαίθρου	✓	✓	✓
Ρίο	Υπαίθρου	✓	✓	✓
Τριών Ναυάρχων	Αστικός Κυκλοφορίας	✓	✓	✓
Κουκούλι	Υπαίθρου	✓	✓	✓
Ακταίο	Εσωτερικού χώρου	✓	✓	✓
Καστελόκαμπος	Υπαίθρου	✓	✓	✓

. Πίνακας 5.5

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι στην πόλη της Πάτρας κατά το έτος 2017, δεν έγιναν υπερβάσεις στα υπάρχοντα όρια που έχουν καθιερωθεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση, τόσο των ετήσιων οριακών τιμών PM10 ($40 \mu\text{g m}^{-3}$) και PM2.5 ($25 \mu\text{g m}^{-3}$), όσο και της μέσης ημερήσιας οριακής τιμής PM10 ($50 \mu\text{g m}^{-3}$). Επίσης παρατηρήθηκε ότι οι αστικοί σταθμοί (Τριών Ναυάρχων, Λιμάνι και Αγυιά), είναι πιο επιβαρυνμένοι από αυτούς της υπαίθρου (Ρίο, Πανεπιστήμιο και Πλατάνι) όπου η ρύπανση είναι κατά 40% χαμηλότερη). Οι μεγαλύτερες τιμές PM10 παρατηρήθηκαν τις πρωινές ώρες 7.00 - 11.00 ($10\text{-}14 \mu\text{g m}^{-3}$) και τις βραδινές ώρες 19.00-01.00. Τα πρωινά μέγιστα συμπίπτουν με τον αυξημένο κυκλοφοριακό φόρτο, σε συνδυασμό με τις μετεωρολογικές συνθήκες (πρωινή θερμοκρασιακή αναστροφή εδάφους), ενώ στα βραδινά μέγιστα εκτιμήθηκε ότι συμβάλει αφενός η κυκλοφορία των οχημάτων και αφετέρου η καύση βιομάζας για την οικιακή θέρμανση. Στο πίνακα 5.6 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων ($\mu\text{g m}^{-3}$) των αιωρούμενων σωματιδίων PM1, PM2.5 και PM10.

Σταθμοί	PM1	PM2.5	PM10
Τριών Ναυάρχων	9.7	12.8	13.7
Λιμάνι	9.3	11.5	12.2
Αγυιά	8.5	10.3`	11.3
Ρίο	7.1	8.3	9
Πανεπιστήμιο	6.4	7.9	8.4
Πλατάνι	4	5.1	5.6
Μέση τιμή (αστικών)	9.2	11.5	12.4
Μέση τιμή (υπαίθρου)	5.8	7.1	7.7
Μέση τιμή (όλων)	7.5	9.3	10

Πίνακας 5.6

Στο συμπέρασμα της η έκθεση καταλήγει ότι η ρύπανση κυμαίνεται εντός των επιτρεπτών ορίων ενώ τονίζεται η μεγάλη συνεισφορά της ανθρωπογενούς δραστηριότητας στη ρύπανση από τα αιωρούμενα σωματίδια όπως είναι η κυκλοφορία οχημάτων, η αυξημένη καύση βιομάζας για οικιακή θέρμανση, καθώς επίσης και η μικρότερη συνεισφορά των ασθενών πηγών σωματιδίων φυσικής προέλευσης όπως η θάλασσα και η σκόνη τόσο στον αστικό ιστό όσο και στις περι-αστικές περιοχές της πόλης.

5.5 ΑΕΡΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ [33]

Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην πόλη της Λάρισας οφείλεται σε ανθρωπογενής δραστηριότητες όπως είναι η γεωργία, η κτηνοτροφία, η αλιεία, ο τουρισμός και άλλες αστικές και βιομηχανικές παραγωγικές δραστηριότητες. Πολύ σημαντικές πηγές επιβάρυνσης είναι επίσης η κυκλοφορία των οχημάτων και τα συστήματα θέρμανσης (σόμπες, εγκαταστάσεις καλοριφέρ κ.λπ.). Επίδραση στη ποιότητα της ατμόσφαιρας έχουν επίσης τα τοπογραφικά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Η πόλη περιβάλλεται από ορεινούς όγκους οι οποίοι δυσχεραίνουν τις διαδικασίες καθαρισμού της ατμόσφαιρας ενώ οι υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στη περιοχή ευνοούν την εμφάνιση της φωτοχημικής ρύπανσης.

Το 2009 δημοσιεύτηκε από το τεχνικό επιμελητήριο Κεντρικής & Δυτικής Θεσσαλίας , μελέτη για τη ατμοσφαιρική ρύπανση στη Λάρισα. Οι μετρήσεις ελήφθησαν από τον σταθερό σταθμό μέτρησης στο κτίριο της Νομαρχίας και τον κινητό σταθμό μέτρησης ο οποίος σταθμεύει στο Ομορφοχώρι. Οι ρύποι που μετρήθηκαν ήταν το όζον, το μονοξείδιο του άνθρακα , το διοξείδιο του θείου, το διοξείδιο του αζώτου και τα αιωρούμενα σωματίδια. Σύμφωνα με τις μετρήσεις για το 2009 οι τιμές του όζοντος κατά την θερινή περίοδο (Μάιος-Αύγουστος) ήταν εντός των προβλεπόμενων ορίων υψηλότερες όμως σε σχέση με εκείνες του υπόλοιπου έτους. Η μέγιστη ωριαία συγκέντρωση που καταγράφηκε ήταν 97,9μg/m3.Για το μονοξείδιο του άνθρακα οι μετρήσεις έδειξαν ότι τα επίπεδα ρύπανσης είναι πολύ χαμηλά και συνήθως κυμαίνονται απο 0, 2 έως 2 mg/m 3 με μέγιστη μέση ετήσια καταγραφή τα 1,2 μg/m3.Το διοξειδίου του θείου την χειμερινή περίοδο παρουσίασε σημαντικά αυξημένες τιμές σε σχέση

με την θερινή περίοδο και ιδιαίτερα τις κρύες ημέρες του χειμώνα οι τιμές πολλές φορές πλησιάζαν τα όρια επιφυλακής. Η μέγιστη μηνιαία συγκέντρωση που καταγράφηκε ήταν 92.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Για το διοξείδιο του αζώτου παρατηρήθηκαν γενικά χαμηλές τιμές ωριαίας συγκέντρωσης από 30 έως 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ με όριο ελέγχου τα 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Για τα αιωρούμενα σωματίδια παρατηρήθηκε υπέρβαση των 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ περισσότερες από τις 35 ημέρες που προβλέπει η νομοθεσία. Η μέγιστη μηνιαία συγκέντρωση που καταγράφηκε ήταν 52.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Στο συμπέρασμα της η μελέτη επικεντρώνει το πρόβλημα της ρύπανσης της πόλης σε 8 βασικούς παράγοντες :

1. Στην έλλειψη επαρκών και αξιόπιστων δεδομένων της ποιότητας της ατμόσφαιρας ,
2. Στη μορφολογία «κλειστής λεκάνης» της ευρύτερης περιοχής ,
3. Στην άμεση γειτνίαση με 12 σημαντικές βιομηχανικές δραστηριότητες ,
4. Στην ύπαρξη βιομηχανικών μονάδων στα όρια ή και εντός του πολεοδομικού συγκροτήματος,
5. Στη κίνηση πετρελαιοκίνητων οχημάτων ,
6. Στο γεγονός ότι η πόλη αποτελεί συγκοινωνιακό κόμβο σημαντικών οδικών αρτηριών ,
7. Στην έντονη γεωργική δραστηριότητα στην ευρύτερη περιοχή ,
8. Στα μεγάλα τεχνικά έργα που εκτελέστηκαν και εκτελούνται στην περιοχή .

Οι προτάσεις του τεχνικού επιμελητήριου Κεντρικής & Δυτικής Θεσσαλίας είναι η συνεργασία των θεσμικών και κοινωνικών φορέων για τη δημιουργία ενός μόνιμου και αξιόπιστου συστήματος καταγραφής , αξιολόγησης και δημοσιοποίησης των δεδομένων ποιότητας της ατμόσφαιρας , η αντικατάσταση του κάθε είδους καυσίμου με φυσικό αέριο, όπου αυτό είναι εφικτό, η αφαίρεση των στερεών καυσίμων από το ενεργειακό ισοζύγιο των βιομηχανικών δραστηριοτήτων και η πιστή και συνεχής εφαρμογή των απαιτήσεων της νομοθεσίας σε ότι αφορά τους ελέγχους στο σύνολο των δραστηριοτήτων που «παράγουν » περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

5.6 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΟΝ ΒΟΛΟ [34,35,36]

Η περίπτωση του Βόλου είναι ένα ενδιαφέρον παράδειγμα, όπου κατά τις τελευταίες δεκαετίες η αστικοποίηση και η αυξημένη εκβιομηχάνιση έχουν ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα στην περιοχή. Οι μετεωρολογικοί παράγοντες διαδραματίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ενώ και η σύνθετη τοπογραφία του Βόλου οξύνει τα επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η Breezometer (εταιρεία που παρέχει αναλύσεις με τα ποσοστά ρύπανσης του αέρα) χαρακτηρίζει μέτρια την ποιότητα της ατμόσφαιρας στον Βόλο βαθμολογώντας τη στο σύνολο, χειρότερα από τις άλλες μεγάλες πόλεις της Θεσσαλίας. Από τους επιμέρους δείκτες, με

κόκκινη ένδειξη είναι οι μετρήσεις για τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{2,5} με εύρημα 26.35 ug/m³ και χαρακτηρισμό ότι τα μικροσωματίδια κυριαρχούν. Σύμφωνα με έρευνες που έχουν γίνει και με συμμετοχή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας τα αποτελέσματα της στοιχειακής ανάλυσης των αιωρούμενων σωματιδίων αναδεικνύουν τα ασβέστιο, κάλιο, σίδηρος, θείο και πυρίτιο ως τα βασικά στοιχεία που ανιχνεύονται στην ευρύτερη περιοχή. Ο ψευδάργυρος και ο μόλυβδος παρουσίασαν σχετικά υψηλές τιμές συγκέντρωσης σε σύγκριση με άλλα αστικά περιβάλλοντα και πιθανώς να σχετίζονται με μεταλλουργικές δραστηριότητες όπως η φορτοεκφόρτωση σκραπ. Τα μαγνήσιο, αργίλιο, πυρίτιο, τιτάνιο, μαγγάνιο, σίδηρος και στρόντιο παρουσίασαν υψηλότερες συγκεντρώσεις κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου. Τα στοιχεία αυτά σχετίζονται με τη σκόνη του εδάφους και επομένως τα υψηλά επίπεδα που καταγράφηκαν είναι πιθανόν να οφείλονται σε αυξημένη επαναιώρηση σκόνης κατά τη ξηρή θερινή περίοδο. Τέλος, τα στοιχεία βανάδιο, νικέλιο, χαλκός, ψευδάργυρος, σελήνιο, αντιμόνιο, βάριο και μόλυβδος παρουσίασαν υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου, γεγονός που υποδηλώνει αυξημένη ανθρωπογενή δραστηριότητα, όπως κυκλοφορία αυτοκινήτων και λειτουργία συστημάτων κεντρικής θέρμανσης. Υψηλή συνεισφορά στα PM₁₀ σε όλες σχεδόν τις θέσεις δειγματοληψίας φαίνεται να έχει η καύση σκουπιδιών (καλώδια, ξύλα με βερνίκι, εισαγόμενα ξύλου αμφιβόλου ποιότητας και προέλευσης) αλλά και βιομάζας (τζάκια, ξυλόσομπες). Το τμήμα μηχανολόγων μηχανικών του πανεπιστημίου Θεσσαλίας δημοσίευσε το 2011 μελέτη για τα αιωρούμενα σωματίδια στη πόλη του βόλου. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε μέχρι το 2009 το όργανο DUSTTRAK 8520 της TSI το οποίο βασίζεται στη σκέδαση της ακτινοβολίας που εκπέμπει μια δέσμη laser. Από το 2010 και μετά οι μετρήσεις έγιναν με το νέο βελτιωμένο μοντέλο DUSTTRAK 2 8530 το οποίο έχει την ίδια αρχή λειτουργίας. Παράλληλα με τις μετρήσεις πραγματοποιήθηκε στατιστική μελέτη για συσχέτιση χρονοσειρών μετρήσεων από έναν ή περισσότερους σταθμούς, μεταξύ τους και με τα μετεωρολογικά δεδομένα, με βάση καθιερωμένες στατιστικές όπως η ANOVA ενός ή περισσότερων παραγόντων. Έγινε επίσης εντοπισμός των πηγών ρύπανσης με στατιστικές μεθόδους από τη ταυτόχρονη λειτουργία τριών σταθμών μέτρησης εντός του πυρήνα του πολεοδομικού συγκροτήματος και τέλος πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ποιότητας αέρα εσωτερικού χώρου με επιπλέον μετρήσεις συγκεντρώσεων μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα. Οι μετρήσεις έδειξαν αυξημένες συγκεντρώσεις καταγράφοντας 19 υπερβάσεις του ορίου των 50 mg/m³ τον Νοέμβριο του 2011. Στον πίνακα 5.7 παρουσιάζονται τα όρια ενημέρωσης και συναγερμού που προτείνει το πανεπιστήμιο Θεσσαλίας για κάθε ρύπο.

ΡΥΠΟΣ	ΟΡΙΟ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗΣ	ΟΡΙΟ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ
Διοξείδιο του αζώτου	250mg/m ³ για 3 συνεχόμενες ώρες	330 mg/m ³ για 3 συνεχόμενες ώρες
Μονοξείδιο του άνθρακα	8 mg/m ³ μέση 8ωρη τιμή	12 8 mg/m ³ μέση 8ωρη τιμή
όζον	160 mg/m ³ για 3 συνεχόμενες ώρες	220mg/m ³ για 3 συνεχόμενες ώρες
Διοξείδιο του θείου	250 mg/m ³ για 3 συνεχόμενες ώρες	320 mg/m ³ για 3 συνεχόμενες ώρες
Αιωρούμενα σωματίδια	90 mg/m ³ για 5 συνεχόμενες μέρες	110 mg/m ³ για 4συνεχόμενες μέρες

Πίνακας 5.7

Τα μέτρα μείωσης της σωματιδιακής ρύπανσης που προτείνονται από το πανεπιστήμιο Θεσσαλίας είναι :

1. Ο συστηματικός έλεγχος των αέριων εκπομπών από τις βιομηχανίες , τις κεντρικές θερμάνσεις των κτιρίων και τα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα,
2. Η περαιτέρω διεύθυνση του φυσικού αερίου για θέρμανση κτιρίων και η ταυτόχρονη μείωση των θερμικών αναγκών με χρήση μόνωσης , αυτοματισμών και ηλιακών,
3. Η συστηματική παρακολούθηση των PM10 και PM2.5 με δίκτυο σταθμών,
4. Ο περιορισμός της χρήσης του αυτοκινήτου στο κέντρο της πόλης ,
5. Οι δεντροφυτεύσεις ,
6. Ο περιορισμός καύσης στερεών καυσίμων σε περιόδους υψηλής σωματιδιακής ρύπανσης.

5.7 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗ ΖΩΝΗ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΑΘΕΤΩΝ ΑΞΟΝΩΝ [37]

Το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών δημοσίευσε το 2016 έκθεση για τη ποιότητα της ατμόσφαιρας στη ζώνη διέλευσης της Εγνατίας οδού. Η Εγνατία Οδός διατρέχει ορεινά και πεδινά τοπία μεγάλης οικολογικής σημασίας. Κατά μήκος του άξονα της εντοπίζονται:

- 17 περιοχές Προστασίας Φυσικού Περιβάλλοντος του Ευρωπαϊκού Δικτύου "Φύση 2000",
- 4 Υγρότοποι προστατευόμενοι από τη Διεθνή Σύμβαση Ramsar,
- 70 περιοχές προστασίας άγριας ζωής,
- 270 χώροι και μνημεία ιστορικού ενδιαφέροντος,
- Τα περισσότερα από τα μεγαλύτερα ποτάμια της Ελλάδας (Εβρος, Νέστος, Στρυμόνας, Αξιός, Αλιάκμονας, κλπ.).

Η μεθοδολογία μέτρησης που εφαρμόστηκε για τη μελέτη περιλάμβανε 24ωρες μετρήσεις ρυπαντών και μετεωρολογικών παραμέτρων ανά θέση επιλογής (2 εποχικές -χειμώνα/καλοκαίρι- ανά θέση σε 30 σημεία ανοικτής οδοποιίας και εντός σηράγγων) κατά μήκος της Εγνατίας Οδού και στους κόμβους αυτής. Η πρώτη καμπάνια μετρήσεων πραγματοποιήθηκε την περίοδο Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου 2015 ώστε να καλύπτει τους φθινοπωρινούς-χειμερινούς μήνες. Η δεύτερη καμπάνια πραγματοποιήθηκε τον Ιούνιο 2016 ώστε να καλυφθεί η καλοκαιρινή περίοδος.

Οι ρύποι που μετρήθηκαν ήταν το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξείδια του αζώτου (NO, NO₂ και το άθροισμά τους - NO_x), διαφορετικά κλάσματα των αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀, PM_{2.5} και PM₁), ρύποι Μαύρου Άνθρακα (BC), διοξείδιο του θείου (SO₂), όζον(O₃) και υδρογονάνθρακες (NMHCs, CH₄ και το άθροισμά τους THC_s). Επίσης, σε συγκεκριμένες θέσεις πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες σε φίλτρα αιωρούμενων σωματιδίων για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης μάζας των PM₁₀ και του περιεχομένου τους σε μέταλλα. Παράλληλα με τις μετρήσεις, γινόταν καταγραφή των κύριων μετεωρολογικών παραμέτρων (θερμοκρασία αέρα, σχετική υγρασία, ταχύτητα και διεύθυνση αέρα).

Οι μετρήσεις σε 10 από τα σημεία υλοποιήθηκαν με το όργανο AQM 60 του οίκου AEROQUAL Νέας Ζηλανδίας, που είναι τοποθετημένο στο Κινητό Περιβαλλοντικό Παρατηρητήριο Αυτοκινητοδρόμων της Εγνατίας Οδού. Ο εξοπλισμός αυτός περιλαμβάνει ενσωματωμένες δύο μονάδες ανάλυσης ως εξής: η πρώτη αφορά σε αναλυτές αερίων με αισθητήρες για μέτρηση των οξειδίων του αζώτου NO_x (NO+NO₂), διοξειδίου του αζώτου NO₂ και μονοξειδίου του άνθρακα CO και η δεύτερη για τον προσδιορισμό των αιωρούμενων σωματιδίων, TSP, PM₁₀, PM_{2.5} και PM_{1.0}. Το μετρητικό σύστημα AEROQUAL, AQM 60 αποτελείται από αυτόνομες μονάδες καταγραφής των επιλεγμένων αερίων ρύπων, από κεντρικό σύστημα ροής του αέρα δειγματοληψίας καθώς και από κεντρικό σύστημα συλλογής και αποθήκευσης όλων των δεδομένων. Επιπλέον συνοδεύεται από καταμετρητή σωματιδίων TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁. Η αρχή λειτουργίας του συστήματος βασίζεται σε γενικές γραμμές στην ευαισθησία ημιαγωγών στη παρουσία διαφόρων αερίων (Gas Sensitive Semiconductors, GSS). Στα 20 από τα υπόλοιπα σημεία οι μετρήσεις για την παρακολούθηση των επιπέδων των ατμοσφαιρικών ρύπων υλοποιήθηκαν από κινητό σταθμό ελέγχου ατμοσφαιρικής

ρύπανσης, ο οποίος διαθέτει αυτόματα συστήματα συνεχούς καταγραφής των συγκεντρώσεων των PM10 καθώς και των αερίων ρύπων O₃, NO_x (NO και NO₂), CO και SO₂.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι το διοξείδιο του αζώτου στα σημεία ανοιχτής οδοποιίας όσο και στις περιοχές των διοδίων κυμαίνεται στα 6 με 13 ppb, ενώ εντός των σηράγγων τα επίπεδα του NO₂ μετρήθηκε στα 56 ppb. Οι τιμές αυτές για τους υφιστάμενους κυκλοφοριακούς φόρτους εκτιμήθηκαν ως φυσιολογικές. Το μονοξείδιο του άνθρακα στα σημεία ανοιχτής οδοποιίας είναι στα 109 ppb και εντός των σηράγγων είναι στα 970 ppb. Οι τιμές για τους υφιστάμενους κυκλοφοριακούς φόρτους εκτιμήθηκε ότι κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα. Το όζον στα σημεία ανοιχτής οδοποιίας και στα διόδια κυμαίνεται στα 50-54 ppb, ενώ εντός των σηράγγων μετρήθηκε σε πολύ χαμηλά επίπεδα (2 ppb). Με βάση τα ανωτέρω οι τιμές του όζοντος στις περιοχές μέτρησης εκτιμήθηκε ότι κυμαίνονται σε ενδιάμεσα επίπεδα. Το διοξείδιο του θείου τόσο στα σημεία ανοιχτής οδοποιίας όσο και στις περιοχές των διοδίων (και πλησίον της Θεσσαλονίκης) κυμαίνεται στα 0.9-1.5 ppb. Αντιστοίχως, εντός των σηράγγων τα επίπεδα του SO₂ μετρήθηκαν στα 9 ppb. Οι τιμές αυτές θεωρούνται χαμηλές. Τα αιωρούμενα σωματίδια PM10 στα σημεία ανοιχτής οδοποιίας είναι στα 26 μg/m³, ενώ στα διόδια οι συγκεντρώσεις εμφανίζονται ελαφρώς μικρότερες (19 μg/m³). Πλησίον της Θεσσαλονίκης οι τιμές είναι περίπου 1.5 φορά μεγαλύτερες. Αντιστοίχως για τα PM2.5 στα σημεία ανοιχτής οδοποιίας και στα διόδια τα επίπεδα είναι της τάξης των 11 με 15 μg/m³, και 1.5 με 2 φορές πάνω πλησίον της Θεσσαλονίκης. Εντός των σηράγγων οι τιμές των PM10 και PM2.5 είναι 63 και 35 μg/m³, αντιστοίχως. Συμπερασματικά και για τα δύο κλάσματα μεγεθών οι τιμές μέτρησης εντός των σηράγγων κυμαίνονται σε υψηλά επίπεδα, ενώ στις υπόλοιπες θέσεις παρουσιάζονται σε χαμηλότερα επίπεδα. Ο μαύρος άνθρακας (BC) στα σημεία ανοιχτής οδοποιίας και τις θέσεις των διοδίων είναι στα 0.8 έως 1.1 μg/m³, με τις τιμές 2 έως 3 φορές μεγαλύτερες πλησίον της Θεσσαλονίκης και 35 με 48 φορές μεγαλύτερες στις σήραγγες. Οι μετρούμενες τιμές βρίσκονται στα επίπεδα αστικής περιοχής ενώ εντός των σηράγγων καταδείχθηκαν ιδιαιτέρως υψηλές συγκεντρώσεις. Το Μεθάνιο CH₄, όσο και οι Υδρογονάνθρακες THC παρουσίασαν τιμές με μικρή μεταβλητότητα και συγκεκριμένα εντός εύρους 7-8% για το μεθάνιο (μέση τιμή 1515 ppb) και 7% για τους THC (μέση τιμή 1700 ppb). Οι μη μεθανικοί Υδρογονάνθρακες (NMHC) κυμάνθηκαν μεταξύ 149 και 162 ppb σε όλα τα σημεία με εξαίρεση τις σήραγγες όπου οι τιμές ήταν 2 με 2.3 φορές μεγαλύτερες. Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι αναφορικά με τους αέριους ρύπους CO, NO-NO₂ και SO₂, δεν υφίσταται ζήτημα υψηλών συγκεντρώσεων αντίθετα, αναφορικά με τη σωματιδιακή ρύπανση και συγκεκριμένα με τους ρύπους PM10, PM2.5 και BC υφίστανται υπερβάσεις.

5.8 ΕΤΗΣΙΑ ΕΚΘΕΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ [38]

Το 2017 το υπουργείο περιβάλλοντος δημοσίευσε μελέτη στην οποία περιέχεται η ανάλυση των στοιχείων μετρήσεων από τους σταθμούς του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (ΕΔΠΑΡ) και η διαχρονική εξέλιξη από το 1984. Στον Πίνακα 5.8 εμφανίζονται οι θέσεις των σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν, ο χαρακτηρισμός τους και οι ρύποι που μετρήθηκαν ανά σταθμό.

Σταθμός	Χαρακτηρισμός	Μετρούμενοι ρύποι						
		SO ₂	NO _x	CO	O ₃	ΑΣ10	ΑΣ2,5	C ₆ H ₆
Αθηνάς	Αστικός-Κυκλοφορίας	✓	✓	✓	✓			
Αριστοτέλους	Αστικός-Κυκλοφορίας	✓	✓			✓	✓	
Γεωπονική	Περιαστικός-Βιομηχανικός		✓	✓	✓			
Λιόσια	Περιαστικός-Υποβάθρου		✓		✓	✓		
Λυκόβρυση	Περιαστικός/υποβάθρου		✓		✓	✓	✓	
Μαρούσι	Αστικός-Κυκλοφορίας		✓	✓	✓	✓		
Νέα Σμύρνη	Αστικός-Υποβάθρου		✓	✓	✓			✓
Πατησίων	Αστικός-Κυκλοφορίας	✓	✓	✓	✓			✓
Πειραιάς	Αστικός-Κυκλοφορίας	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Περιστερί	Αστικός-Υποβάθρου		✓		✓	✓		
Αγ. Παρασκευή	Περιαστικός-Υποβάθρου		✓		✓	✓	✓	
Γουδή	Αστικός-Κυκλοφορίας		✓				✓	
Ελευσίνα	Περιαστικός-Βιομηχανικός	✓	✓		✓	✓	✓	✓

Θρακομακεδ ό/νες	Περιαστικός- Υποβάθρου		✓		✓	✓	✓	
Κορωπί	Περιαστικός- Υποβάθρου	✓	✓		✓	✓		
Οινόφυτα	Περιαστικός- Βιομηχανικός	✓	✓		✓	✓		
Ζωγράφου	Περιαστικός/ Υποβάθρου							
Αλίαρτος	Υποβάθρου	✓	✓		✓	✓	✓	
Γουδή	Αστικός/Κυκ λοφορίας							
Γαλάτσι	Περιαστικός/ Υποβάθρου							
Πειραιάς	Αστικός- Υποβάθρου							

Πίνακας 5.8

Οι μετρούμενοι ρύποι καθώς και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στον Πίνακα 5.9

Ρύπος	Μέθοδος μέτρησης
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	Απορρόφηση στο υπέρυθρο (NDIR)
Οξείδια του αζώτου (NO, NO ₂)	Χημειοφωταύγεια
Οζόν (O ₃)	Απορρόφηση στο υπεριώδες
Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	Φθορισμομετρία
Αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ10– ΑΣ2,5)	Απορρόφηση β ακτινοβολίας
Βενζόλιο (C ₆ H ₆)	Αέρια χρωματογραφία (GC)
Βαρέα μέταλλα	Ατομική απορρόφηση

Πίνακας 5.9

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν (για τη διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων τιμών ρύπανσης), πως υπάρχουν αυξομειώσεις από χρόνο σε χρόνο, υπάρχει είτε τάση πτωτική είτε τάση σταθεροποίησης, ανάλογα με το ρύπο. Η εξέλιξη αυτή αποδίδεται, κυρίως στην τεχνολογική αναβάθμιση του στόλου των Ι.Χ. αυτοκινήτων και των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς, στην εφαρμογή του μέτρου της κάρτας ελέγχου καυσαερίων (ΚΕΚ), στα μέτρα ελέγχου εκπομπής ρύπων από διάφορες πηγές, στη χρήση καυσίμων με καλύτερες τεχνικές προδιαγραφές, στη λειτουργία των μέσων σταθερής τροχιάς, στη διευκόλυνση της κυκλοφορίας των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς, στη διείσδυση του φυσικού αερίου στον οικιακό, βιομηχανικό και τριτογενή τομέα και στην ολοκλήρωση των μεγάλων κυκλοφοριακών έργων. Η μηνιαία μεταβολή των συγκεντρώσεων έδειξε ότι οι πρωτογενείς ρύποι (CO, NO, SO₂), παρουσίαζαν μεγαλύτερες τιμές τους μήνες του χειμώνα. Αυτό εκτιμήθηκε ότι οφείλεται για μεν το SO₂ στη λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης, για δε το CO στη μεγαλύτερη κυκλοφορία που παρατηρείται τους χειμερινούς μήνες και τις χειρότερες συνθήκες λειτουργίας των μηχανών των αυτοκινήτων (ξεκίνημα με κρύα μηχανή). Ο δευτερογενής ρύπος όζον (O₃) παρουσίασε μεγαλύτερες τιμές τη θερινή περίοδο του έτους όπως και το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) το οποίο παρουσίασε

μέγιστη τιμή τον Ιούνιο (λόγω της μέγιστης διάρκειας ηλιοφάνειας και της μεγάλης συχνότητας ισχυρών θερμοκρασιακών αναστροφών). Η μηνιαία μεταβολή των τιμών των αιωρούμενων σωματιδίων (ΑΣ10, ΑΣ2,5), έδειξε να ποικίλει από σταθμό σε σταθμό και να εξαρτάται από τον χαρακτηρισμό του σταθμού. Η ημερήσια μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων έδειξε ότι οι ρύποι που σχετίζονται κυρίως με την κυκλοφορία, όπως οξείδια του αζώτου, μονοξείδιο του άνθρακα και βενζόλιο, εμφανίζουν σε μεγάλο ή μικρό βαθμό μείωση στη διάρκεια της Κυριακής. Για το διοξείδιο του θείου δεν παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη μεταβολή λόγω των πολύ χαμηλών επιπέδων συγκεντρώσεων. Για τα αιωρούμενα σωματίδια δεν υπάρχει διάκριση σε μέρες της εβδομάδας. Σε αντίθεση με ότι παρατηρήθηκε στους πρωτογενείς αέριους ρύπους, η μείωση της κυκλοφορίας τις Κυριακές έχει αντίκτυπο σε μικρή αύξηση των φωτοχημικών παραγόμενων ρύπων όπως το όζον. Τέλος για τις ωριαίες μεταβολές η μελέτη έδειξε πως μεγαλύτερες τιμές για τους πρωτογενείς ρύπους CO και NO παρουσιάζονται γενικά το πρωί (8-10) και το βράδυ (9-11). Για το διοξείδιο του αζώτου NO₂, οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται τις πρωινές ώρες 10-12. Για το όζον O₃ το ημερήσιο μέγιστο εμφανίζεται τις μεταμεσημβρινές ώρες, όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και η θερμοκρασία παρουσιάζουν το μέγιστο. Για τα αιωρούμενα σωματίδια ΑΣ10 και ΑΣ2,5, οι μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται τις πρώτες πρωινές και τις βραδινές ώρες γεγονός που είναι ενδεικτικό της συμβολής των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (καύση βιομάζας τη χειμερινή περίοδο).

Συμπερασματικά η μελέτη καταλήγει από τις μετρήσεις και τις συγκρίσεις των συγκεντρώσεων των μετρούμενων ρύπων με τα ισχύοντα όρια πως για τα αιωρούμενα σωματίδια ΑΣ10 παρουσιάζονται υπερβάσεις σε αντίθεση με τα ΑΣ2,5 που δεν παρουσιάζουν. Το διοξείδιο του θείου που παλαιότερα αποτελούσε έντονο πρόβλημα, παρατηρήθηκε πως έχει καταπολεμηθεί και δεν ξεπερνάει τα όρια σε καμία θέση μέτρησης. Το διοξείδιο του αζώτου σημείωσε υπερβάσεις του ορίου της μέσης ετήσιας τιμής σε κάποιες θέσεις μέτρησης (σταθμοί κυκλοφορίας) ενώ παρατηρήθηκε και υπέρβαση του ορίου που αφορά στη μέση ωριαία τιμή σε ένα σταθμό κυκλοφορίας. Για το όζον παρατηρήθηκαν υπερβάσεις του ορίου συναγερμού, του ορίου ενημέρωσης και του στόχου για την προστασία της υγείας, κυρίως στους περιφερειακούς σταθμούς μέτρησης. Οι υπερβάσεις αυτές εκτιμάτε ότι οφείλονται κατά κύριο λόγο στη γεωγραφική θέση της χώρας (μεγάλη ηλιοφάνεια και υψηλές θερμοκρασίες, συνθήκες που ευνοούν το σχηματισμό του όζοντος) και παρουσιάζονται σε όλες τις νότιες χώρες της Ε.Ε. Το μονοξείδιο του άνθρακα δεν σημείωσε υπέρβαση της οριακής τιμής, ενώ τέλος για το βενζόλιο σημειώθηκε υπέρβαση της οριακής τιμής σε μια θέση μέτρησης.

5.9 ΕΚΘΕΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ [39]

Το 2011 η περιφέρεια κεντρικής Μακεδονίας δημοσίευσε μελέτη για την ατμοσφαιρική ρύπανση στη Θεσσαλονίκη. Για τη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις από 7 σταθμούς παρακολούθησης. Ο χαρακτηρισμός του σταθμού και οι ρύποι παρακολούθησης παρουσιάζονται στον πίνακα 5.10.

Σταθμός	χαρακτηρισμός	CO	NOX	SO2	O3	PM10
Αγ. Σοφίας	κυκλοφορίας/αστικό	✓	✓		✓	✓
Α.Π.Θ.	κυκλοφορίας/αστικός		✓		✓	
Καλαμαριά	Κυκλοφορίας/περιαστικός	✓				✓
Κορδελιό	βιομηχανικός/αστικός	✓	✓	✓	✓	✓
Νεοχωρούδα	υποβάθρου/περιαστικός		✓		✓	
Πανόραμα	υποβάθρου/περιαστικός		✓		✓	✓
Σίνδος	βιομηχανικός/αστικός	✓	✓	✓	✓	✓

Πίνακας 5.10

Οι μετρούμενοι ρύποι καθώς και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στον Πίνακα 5.10

Ρύπος	Μέθοδος μέτρησης
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	Μέθοδος μη διαχεόμενης ακτινοβολίας
Οξείδια του αζώτου (NO, NO2)	Μέθοδος Χημειοφωταύγειας
Όζον (O3)	Απορρόφηση στο υπεριώδες
Διοξείδιο του θείου (SO2)	Μέθοδος φθορισμού
Αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ10)	Απορρόφηση β ακτινοβολίας

Πίνακας 5.10

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη είναι πως κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 10 είχαμε στη Θεσσαλονίκη μείωση των συγκεντρώσεων για τις κύριες πηγές εκπομπών (οδικές μεταφορές, βιομηχανία) των ρύπων όπως το διοξείδιο του θείου (SO_2), το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) και των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}). Αντίθετα οι τιμές του όζοντος δε μειώθηκαν παρουσιάζοντας μία μεταβλητή συμπεριφορά. Πιο συγκεκριμένα τα αιωρούμενα σωματίδια παρουσίασαν σημαντικές μειώσεις των εκπομπών ορισμένων πρόδρομων ενώσεων τους ενώ τα PM_{10} παρουσίασαν μικρή μόνο πτώση. Οι υπερβάσεις των αιωρούμενων σωματιδίων ήταν περισσότερες στους αστικούς σταθμούς και λιγότερες στους περιφερειακούς. Για το όζον ο μέγιστος επιτρεπόμενος αριθμός των υπερβάσεων της τιμής στόχου των $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ξεπεράστηκε το 2011 στο 50% των σταθμών. Οι συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα και του διοξειδίου του αζώτου δεν υπερέβησαν τα θεσμοθετημένα όρια σε κανέναν σταθμό. Τέλος το διοξείδιο του θείου παρουσίασε μείωση ενώ δεν παρατηρήθηκε υπέρβαση των ορίων του σε κανέναν σταθμό.

5.10 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΉ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΙΑ [40]

Το 2009 το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο πραγματοποίησε μελέτη για την εκτίμηση της έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια των εργαζομένων στα κτίρια της Νομαρχίας Πειραιά. Οι μετρήσεις έγιναν σε θέσεις αντιπροσωπευτικές της παραλιακής ζώνης του λιμένα του Πειραιά, σε δύο παρακείμενα κτίρια της Νομαρχίας στην Ακτή Ποσειδώνος, σε απόσταση 60 m περίπου από τη αποβάθρα των πλοίων του Αργοσαρωνικού. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} και υπερλεπτόκοκκων σωματιδίων (UFPs) κατά την ψυχρή (22/1 – 29/4) και τη θερμή περίοδο (4/8 – 31/10) του 2009. Μετρήσεις έγιναν επίσης και στο εσωτερικό των κτιρίων για να διαπιστωθεί ο βαθμός διεύθυνσης της ρύπανσης στους εσωτερικούς χώρους και της επίδρασής της στα επίπεδα έκθεσης των εργαζομένων. Οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM_{10} καταγράφηκαν σε 24-ωρη βάση με χρήση σταθμικών δειγματοληπτών, ενώ εκ παραλλήλου πραγματοποιήθηκε και συνεχής παρακολούθηση των εξωτερικών συγκεντρώσεων με χρήση αυτόματου μετρητή συνεχούς καταγραφής. Οι κατά αριθμό συγκεντρώσεις των UFPs καταγράφηκαν επίσης σε συνεχή βάση, με χρήση μετρητή τύπου Condensation Particle Counter.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας τα εξαιρετικά βλαβερά μικροσωματίδια ξεπερνούν τα ανώτατα όρια 8 στις 10 φορές τον χρόνο, ενώ η μέση ετήσια τιμή τους είναι διπλάσια από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο. Παράλληλα, στο λιμάνι του Πειραιά σημειώνεται, με τεράστια διαφορά, η μεγαλύτερη μέση ετήσια συγκέντρωση σε σύγκριση με οποιοδήποτε σταθμό μέτρησης στην Αττική, αλλά και σε άλλες πόλεις της Ελλάδας.

Στους Πίνακες 5.11 και 5.12 παρουσιάζονται οι βασικοί στατιστικοί δείκτες της μέσης 24-ωρης εξωτερικής συγκέντρωσης των σωματιδίων PM10 και η μέση ημερήσια συγκέντρωση των σωματιδίων UFPs [10^4 σωματίδια cm^3] αντίστοιχα.

	Ψυχρή περίοδος	Θερμή περίοδος
Αριθμητικός μέσος	81,3	89,9
Τυπική απόκλιση	42,6	51,9
Ελάχιστη τιμή	20,6	30,5
Μέγιστη τιμή	192,4	227,8

Πίνακας 5.11

	Ψυχρή περίοδος	Θερμή περίοδος
Αριθμητικός μέσος	5,8	5,2
Τυπική απόκλιση	1,5	1,4
Ελάχιστη τιμή	2,9	3,3
Μέγιστη τιμή	7,9	7,1

Πίνακας 5.12

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων για τους εσωτερικούς χώρους έδειξαν ότι ένα σημαντικό ποσοστό (κατά μέσο όρο άνω του 50 %) των σωματιδίων της εξωτερικής ατμόσφαιρας εισχωρεί στο εσωτερικό των κτιρίων. Επίσης τα αποτελέσματα κατέδειξαν σημαντική εισροή των εξωτερικής προέλευσης UFPs στον υπό μελέτη χώρο. Η χαρακτηριστική παράμετρος της εισροής του αέρα της εξωτερικής ατμόσφαιρας σε εσωτερικούς χώρους είναι ο λόγος της εσωτερικής-προς-εξωτερική συγκέντρωση (indoor/ outdoor). Στον Πίνακα 5.13 παρουσιάζεται η μέση ημερήσια τιμή του λόγου αυτού.

	Ψυχρή περίοδος	Θερμή περίοδος
Αριθμητικός μέσος	0,47	0,50
Τυπική απόκλιση	0,14	0,24
Ελάχιστη τιμή	0,20	0,14
Μέγιστη τιμή	0,65	0,90

Πίνακας 5.13

Οι προτάσεις της μελέτης για τον περιορισμό της ρύπανσης στο λιμάνι του Πειραιά είναι οι εξής :

- Η αυστηρή τήρηση της νομοθεσίας για τη χρήση καυσίμων,
- Η δημιουργία κλιμακίων ελέγχου της ποιότητας καυσίμων,
- Η χρήση καυσίμου ντίζελ, αντί για βαρύ πετρέλαιο, στα πλοία των γραμμών Αργοσαρωνικού,
- Η δημιουργία εγκαταστάσεων για την ηλεκτροδότηση ελλιμενισμένων πλοίων από την ξηρά, όπως προτείνεται από την ΕΕ.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της σύγχρονης βιομηχανικής εποχής. Η Ελλάδα παρά το ότι δεν έφτασε τα επίπεδα εκβιομηχάνισης άλλων χωρών, δεν κατάφερε να αποφύγει τις προηγούμενες δεκαετίες τα προβλήματα που έχουν μεγαλουπόλεις του ανεπτυγμένου κόσμου ιδιαίτερα σε πόλεις όπως η Αθήνα και η Θεσσαλονίκη. Η ρύπανση στη χώρα μας επηρεάζεται σημαντικά από το κλίμα της, με τη μεγάλη ηλιοφάνεια και τις υψηλές θερμοκρασίες, να έχουν ως αποτέλεσμα να ευνοείται η δευτερογενής παραγωγή ρύπανσης όπως για παράδειγμα το όζον.

Παρατηρώντας τις μετρήσεις των μελετών μπορεί κάποιος να διαπιστώσει πως η κατάσταση έχει βελτιωθεί αισθητά τα τελευταία χρόνια χάρη στα σημαντικά μέτρα που ελήφθησαν ως προς τα καύσιμα, τους κινητήρες και τους ρύπους. Στις μεγάλες πόλεις οι τιμές του μονοξειδίου του άνθρακα, του διοξειδίου του θείου και των οξειδίων του αζώτου φαίνεται να έχουν μειωθεί σε φυσιολογικά επίπεδα. Το μεγάλο πρόβλημα για την αέρια ρύπανση στην Ελλάδα αποτελούν οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων μέσα στις πόλεις και το όζον στις προαστιακές περιοχές. Τα τελευταία χρόνια το πρόβλημα των αιωρούμενων σωματιδίων έγινε εντονότερο εξαιτίας της οικονομικής κρίσης η οποία οδήγησε σε μεγάλη χρήση καυσόξυλων για σκοπούς θέρμανσης μέσα στα μεγάλα αστικά κέντρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1 <http://www.intlsensor.com/pdf/electrochemical.pdf>
- 2 http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC98368/eur_report_key-vocs_deliverable_4.1.1_final.pdf
- 3 https://www.researchgate.net/publication/314486450_Currently_Commercially_Available_Chemical_Sensors_Employed_for_Detection_of_Volatile_Organic_Compounds_in_Outdoor_and_Indoor_r
- 4 https://www.researchgate.net/publication/228739744_Review_of_chemical_sensor_for_in_situ_monitoring_of_volatile_contaminants
- 5 <http://s7d9.scene7.com/is/content/minesafetyappliances/0803-11-MC%20Photoionization%20Detector%20Tech%20Brief%20-%20EN>
- 6 <http://www.intlsensor.com/pdf/catalyticbead.pdf>

- 7 <https://prod-ng.sandia.gov/techlib-noauth/access-control.cgi/2001/010643.pdf>
- 8 https://www.researchgate.net/publication/285988329_Gas_Sensors_A_Review
- 9 <https://www.wikipedia.org/>
- 10 https://www.researchgate.net/publication/288546683_Gas_sensors_2_The_markets_and_challeng
- 11 https://www.researchgate.net/publication/259344827_Review_Of_Recent_Trends_in_Gas_Sensing_Technologies_and_their_Miniaturization_Potential
- 12 https://www.lboro.ac.uk/microsites/mechman/research/ipm-ktn/pdf/Technology_review/an-introduction-to-mems.pdf
- 13 http://www.uta.edu/rfmems/BMC/0720/0902_backup/Background/A%20review%20of%20gas%20sensors%20employed%20in%20electronic%20nose%20applications.pdf
- 14 <http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/67171/4/chapter-%203.pdf>
- 15 <http://ir.lib.uth.gr/bitstream/handle/11615/48117/16978.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 16 <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.891.1695&rep=rep1&type=pdf>
- 17 <https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/grants/246708.pdf>
- 18 <https://www.uaex.edu/publications/pdf/FSA-1069.pdf>
- 19 https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/FID-PID-MSR_0415-508.pdf
- 20 https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/documents/Draft_low_cost_sensors.pdf
- 21 <http://www.ypeka.gr>
- 22 <http://ikee.lib.auth.gr/record/132137/files/Theodoros%20Gounaris.pdf>
- 23 <http://cdn.intechweb.org/pdfs/18374.pdf>
- 24 <http://apothesis.teicm.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/787/kazantzidis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 25 <https://www.who.int/airpollution/data/cities/en/>
- 26 [http://ktisis.cut.ac.cy/bitstream/10488/5420/2/Charalambous_Nikolina_\(DH\).pdf](http://ktisis.cut.ac.cy/bitstream/10488/5420/2/Charalambous_Nikolina_(DH).pdf)
- 27 http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0010/119674/E67902.pdf
- 28 <https://laqm.defra.gov.uk/assets/63091defraairqualityguide9web.pdf>
- 29 <https://greenpeacegreece.org/reports/Greenpeace-Mortality.pdf>

- 30 <http://www.env-edu.gr>
- 31 <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=Sguz2oFFL%2BA%3D&tabid=490>
- 32 https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/PHY1992/Annual_Report_2017Patras.pdf
- 33 http://library.tee.gr/digital/m2526/m2526_delibasis.pdf
- 34 http://www.mie.uth.gr/files/parousiasi_PM10_1.pdf
- 35 <http://www.myvolos.net/breezometer>
- 36 <https://www.taxydromos.gr/E.Chanou/312036-diaxoniko-to-problhma-ths-atmosfairikhs-rypanshs-ston-bolo.html>
- 37 http://observatory.egnatia.gr/reports/2016/EOAE_Obs_5354_2nd_TechReport.pdf
- 38 <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=5%2fu3%2ft4nhE4%3d&tabid=490&language=el-GR>
- 39 <http://envrypoi.pkm.gov.gr/reports/%CE%95%CE%BA%CE%B8%CE%B5%CF%83%CE%B7%202011%20%CE%A0%CE%9A%CE%9C.pdf>
- 40 https://www.researchgate.net/publication/277475389_Assessment_of_the_suspended_particulates_concentration_and_abatement_measures_at_the_coastal_area_of_the_Piraeus_Harbour