



ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ Τ.Ε.Ι ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πτυχιακή εργασία  
«ELECTRONIC NOSE»



του φοιτητή

Ψαρρά Δημήτριου

Αρ. Μητρώου: 1793

Επιβλέπων καθηγητής

Κεραμόπουλος Ευκλείδης

Θεσσαλονίκη 2009

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν κείμενο αποτελεί την πτυχιακή εργασία του φοιτητή Δημήτριου Ψαρρά η οποία και εκπονήθηκε το ακαδημαϊκό έτος 2009 – 2010. Το αντικείμενο που πραγματεύεται είναι η παρουσίαση της τεχνολογίας Electronic Nose και πιο συγκεκριμένα:

*Μελέτη της χρήσης της όσφρησης στην Ανάπτυξη Διεπιφανειών Χρήστη.*

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Κεραμόπουλο Ευκλείδη, ο οποίος μου έδωσε τη ευκαιρία για αυτήν την πτυχιακή εργασία και με την εποπτεία του οποίου καθοδηγήθηκα για την ολοκλήρωση της.

Θεσσαλονίκη 2010



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Εδώ και πολλά χρόνια, μηχανικοί και επιστήμονες προσπαθούν να κατασκευάσουν συσκευές που θα προσομοιώνουν το ανθρώπινο οσφρητικό σύστημα. Στην ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων, των λεγόμενων Electronic Nose, καθοριστικό ρόλο έπαιξε και η ανάγκη για τη δημιουργία συσκευών με δυνατότητες ελέγχου ποιότητας τροφίμων, της τοξικότητα του αέρα, της ωρίμανση των φρούτων και πολλά άλλα τα οποία θα μελετηθούν στην παρούσα εργασία. Η τεχνολογία αυτή μπορεί ακόμη να βρίσκεται σε αρχικό στάδιο αλλά οι μέχρι τώρα συσκευές που έχουν κατασκευαστεί, μας προϊδεάζουν για ένα μέλλον στο οποίο θα αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της καθημερινής μας ζωής.

Στην εργασία αυτή, γίνεται παρουσίαση της τεχνολογίας Electronic Nose, ο τρόπος λειτουργίας συσκευών που κάνουν χρήση των δυνατοτήτων της, ο τρόπος επεξεργασίας δεδομένων ενώ παρουσιάζονται και κάποιες συγκεκριμένες κατασκευές που είναι αντιπροσωπευτικές ως προς τι είναι ικανή η τεχνολογία αυτή να προσφέρει στο μέλλον.

Στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, γίνεται μία εισαγωγή στην Electronic Nose τεχνολογία, τί ακριβώς σημαίνει ο όρος αυτός καθώς και ο τρόπος με τον οποίο συνδέεται άμεσα η ιδέα της ενσωμάτωσης των υπολογιστών και των δυνατοτήτων τους στο φυσικό κόσμο (Ubiquitous Computing).

Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζεται το ανθρώπινο οσφρητικό σύστημα, ώστε να γίνουν εμφανείς οι διαφορές που υπάρχουν ανάμεσα στο φυσικό και τον τεχνητό τρόπο όσφρησης.

Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα μέρη από τα οποία αποτελείται μια τέτοια συσκευή και ο τρόπος λειτουργίας της.

Τέλος, στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε ήδη υπάρχουσες συσκευές τύπου eNose και διάφορες χρήσεις αυτών.

## **ABSTRACT**

For many years scientists and engineers tried to build devices that would simulate human respiratory system. Electrical Nose technology development was boost by the need of devices that would examine food quality, air toxicity, fruit maturation and many more. It may be in early stages but the devices that were constructed gave us a clue of a future that they will be part of our daily life.

This paper will present an Electronic Nose technology, the way these devices function, how they process data, and some particular constructions that are representative of what this technology is capable of in the future.

In the 1st chapter, an introduction in the technology of Electrical nose is made, what precisely this term means and how it is connected with the idea of incorporation of computers and their capabilities in our natural world (Ubiquitous Computing).

In the 2<sup>nd</sup> chapter there is a minor presentation of the human olfactory system, so that we can see the differences that exist between them.

In the 3<sup>rd</sup> chapter presents various parts an appliance is consisted of and the way these parts function and finally in the 4th chapter some eNose appliances that have been manufactured are presented.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<i>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</i>	<i>1</i>
<i>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</i>	<i>2</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>3</i>
<i>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</i>	<i>4</i>
<i>Ευρετήριο Σχημάτων και Πινάκων</i>	<i>6</i>
<i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup></i>	<i>7</i>
<i>1. Εισαγωγή στην τεχνολογία Electronic Nose</i>	<i>7</i>
1.1 Εισαγωγή	7
1.2 Ορισμός του Electronic Nose	7
1.3 Ιστορική αναδρομή	7
1.4 Σύγκριση ανθρώπινου οσφρητικού συστήματος και eNose συσκευών	9
1.5 Pervasive ή Ubiquitous Computing	12
1.6 Επίλογος	16
<i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup></i>	<i>17</i>
<i>2. Ανθρώπινες οσφρητικές λειτουργίες</i>	<i>17</i>
2.1 Εισαγωγή	17
2.2 Αντίληψη, ανατομία και φυσιολογία της όσφρησης	17
2.3 Η όσφρηση γενικά	18
2.4 Σχήματα κατάταξης οσμών βασισμένα σε περιγραφές με επίθετα	20
2.5 Χρωματογραφία και φασματομετρία	23
2.6 Επίλογος	23
<i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup></i>	<i>24</i>
<i>3. Electronic Nose</i>	<i>24</i>
3.1 Εισαγωγή στην τεχνολογία Electronic Nose	24
3.2 Στόχος της eNose τεχνολογίας	25
3.3 Αισθητήρες ως βασικά μέρη μίας Electronic Nose συσκευής	26
3.4 Βασικές αρχές της Electronic Nose	29
3.5 Αντίληψη μίας οσμής	30
3.6 Χαρακτηριστικοί αισθητήρες Electronic Nose	30
3.6.1 Αισθητήρες αγωγιμότητας	31

3.6.1.1 Αισθητήρας οξειδίων μετάλλου	31
3.6.2.2 Αισθητήρες πολυμερών	33
3.6.2 Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες	34
3.6.1.1 Αισθητήρες QCM	35
3.6.1.2 Αισθητήρες SAW	37
3.6.3 Αισθητήρας Mosfet	38
3.6.4 Οπτικοί αισθητήρες	40
<b>3.7 Επεξεργασία σήματος και αναγνώριση προτύπων</b>	<b>41</b>
<b>3.8 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα</b>	<b>44</b>
3.8.1 Δίκτυο νευρώνων	46
3.8.2 Απλός ανθρώπινος νευρώνας	47
3.8.3 Πολυστρωματικά perceptrons	48
3.8.4 Εκπαίδευση δικτύων MLP	48
3.8.5 Back-propagation	49
<b>3.9 Όργανα μέτρησης οσμών Electronic Nose</b>	<b>50</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup></b>	<b>52</b>
<b>4. Εφαρμογές Electronic Nose</b>	<b>52</b>
<b>4.1 Εισαγωγή</b>	<b>52</b>
<b>4.2 Ανίχνευση εκρηκτικών υλών</b>	<b>52</b>
4.2.1 Nomadics	53
4.2.2 Τρόπος λειτουργίας του Nomadics Fido	53
4.2.3 Συμπεράσματα	55
<b>4.3 Ταξινόμηση μύρας με τη βοήθεια Electronic Nose συσκευής</b>	<b>56</b>
4.3.1 Ανάλυση του προβλήματος	57
4.3.2 Αρχιτεκτονική	58
4.3.3 Μεθοδολογία	59
4.3.4 Επεξεργασία δεδομένων εισόδου	60
4.3.5 Προεπεξεργασία	61
4.3.6 Διαδικασία αναγνώρισης σχεδίων	62
4.3.7 Τελικό αποτέλεσμα	63
<b>4.4 Ανίχνευση μικροοργανισμών</b>	<b>63</b>
4.4.1 NC eNose	63
4.4.2 Μέθοδος	66
4.4.3 Αποτελέσματα	67
<b>4.5 Αεροδιαστημικές εφαρμογές</b>	<b>68</b>
4.5.1 Πείραμα πτήσης JPL Enose	69
<b>4.6 Ποιότητα των ψαριών με τη βοήθεια μιας eNose συσκευής</b>	<b>71</b>
4.6.1 Ορισμός του προβλήματος	72
4.6.2 Εγγύηση ποιότητας τροφίμων και ποτών	72
4.6.3 Συμπεράσματα	74
<b>ΕΠΙΛΟΓΟΣ</b>	<b>75</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>76</b>

## Ευρετήριο Σχημάτων και Πινάκων

### Πίνακες

Πίνακας 1: Σύγκριση ανθρώπινης μύτης και eNose _____	10
Πίνακας 2: Κατάταξη των οσμών _____	21
Πίνακας 3: Επίπεδα ανίχνευσης ουσιών σε διάστημα 24 ωρών _____	71

### Σχήματα

Σχήμα 1: Σχέδιο του ανθρώπινου οσφρητικού συστήματος _____	9
Σχήμα 2: Όρια ανίχνευσης ανθρώπινου οσφρητικού συστήματος _____	19
Σχήμα 3: Αισθητήρας οξειδίου μετάλλων _____	32
Σχήμα 4: Αισθητήρας QCM _____	35
Σχήμα 5: Αισθητήρας SAW _____	37
Σχήμα 6: Αισθητήρας Mosfet _____	40
Σχήμα 7: Οπτικοί αισθητήρες _____	41
Σχήμα 8: Επεξεργασία σήματος και αναγνώριση προτύπων _____	42
Σχήμα 9: Εγκεφαλικός νευρώνας _____	46
Σχήμα 10: Το δίκτυο multilayer perceptron _____	48
Σχήμα 11: Το νευρωνικό δίκτυο back propagation _____	50
Σχήμα 12: Σύστημα οργάνων μέτρησης οσμών _____	51
Σχήμα 13: Το σύστημα ανίχνευσης ναρκών Fido της Nomadics _____	55
Σχήμα 14: Επισκόπηση συστήματος ανάλυσης δείγματος μύρας _____	61
Σχήμα 15: Διαμόρφωση του συστήματος για το NC State eNose _____	65
Σχήμα 16: Ο θάλαμος του αισθητήρα _____	67

### Εικόνες

Εικόνα 1: Στοιχεία που απαρτίζουν το Roomware _____	12
Εικόνα 2: Αισθητήρες Electronic Nose _____	60

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

### 1. Εισαγωγή στην τεχνολογία Electronic Nose

#### 1.1 Εισαγωγή

Στις ενότητες που ακολουθούν, παρουσιάζεται η τεχνολογία Electronic Nose όπως και το τι ακριβώς αντιπροσωπεύει ο όρος αυτός. Γίνεται μία σύντομη περιγραφή και ιστορική αναδρομή της τεχνολογίας αυτής ενώ γίνεται η σύνδεσή της με την έννοια του πανταχού παρόν υπολογιστή.

#### 1.2 Ορισμός του Electronic Nose

Electronic Nose (eNose) αποτελεί μία συσκευή που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση και αναγνώριση διαφόρων στοιχείων που υπάρχουν σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον. Το περιβάλλον αυτό μπορεί να είναι τόσο συγκεκριμένο όσο μερικά κυβικά χιλιοστά αλλά και τόσο αφηρημένο όσο η ατμόσφαιρα στην ολόκληρότητά της. Αντίστοιχα, μία συσκευή eNose είναι το όργανο το οποίο περιλαμβάνει μία σειρά ηλεκτρονικών χημικών αισθητήρων με την ειδική ικανότητα-ιδιομορφία να εντοπίζει και να αναγνωρίζει απλές ή και σύνθετες οσμές μέσω ενός ικανού συστήματος αναγνώρισης.[1]

#### 1.3 Ιστορική αναδρομή

Κατά τη διάρκεια της προηγούμενης δεκαετίας, η ενασχόληση με την τεχνολογία Electronic Nose έχει προξενήσει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον στην παγκόσμια τεχνολογική αλλά και οικονομική κοινότητα, ως προς τη δυνατότητά της να βρει λύσεις σε μια ευρεία ποικιλία προβλημάτων στον παραγωγικό τομέα όπως τα τρόφιμα και τα ποτά, την κατασκευή αρωμάτων, την παρασκευή ποτών, τη χημική μηχανική, τον περιβαλλοντικό έλεγχο και πιο πρόσφατα στην ιατρική, για τη διάγνωση ασθενειών. Αρκετές δεκάδες επιχειρήσεων πλέον σχεδιάζουν και παράγουν συσκευές eNose και ήδη απευθύνονται σε ένα αρκετά μεγάλο μερίδιο της αγοράς.



Είναι δύσκολο να βρεθεί η ακριβής ημερομηνία του πότε και πως εμφανίστηκε η ιδέα του σχεδιασμού ενός συστήματος που να μπορεί να μιμηθεί την ανθρώπινη όσφρηση. Εντούτοις, οι ακόλουθες ημερομηνίες με τις αντίστοιχες συσκευές, δίνουν μία καλύτερη κατανόηση για το πώς προχώρησε το σχέδιο για τέτοιου είδους συστήματα [1]. Οι τέσσερις ακόλουθες ημερομηνίες αποτελούν ορόσημα στην ιστορία και την ανάπτυξη της τεχνολογίας eNose:

- Hartman, 1954: Κατασκευή του πρώτου αισθητήρα αερίου.
- Moncrief, 1961: Κατασκευή της σειράς 6 termistors.
- Persaud και Dodd, 1982: Πρώτη συσκευή ηλεκτρονικής μύτης.
- Ikegami, 1985 (Ερευνητικό εργαστήριο Hitachi): Κατασκευή σειράς αισθητήρων για την ποιότητα οσμών.

Επομένως, η πρώτη καταγεγραμμένη επιστημονική προσπάθεια για χρήση ηλεκτρονικών αισθητήρων πραγματοποιήθηκε από τους Persaud και Dodd το 1982, στο Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας του Πανεπιστήμιο του Μάντσεστερ [2]. Πιο συγκεκριμένα, κατασκευάστηκε μία συσκευή την οποία αποτελούσαν μία σειρά τριών αισθητήρων αερίου που χρησιμοποιούνταν για τη διάκριση κάθε μίας από είκοσι διαφορετικές ουσίες. Η ταξινόμηση των προτύπων έγινε χρησιμοποιώντας την οπτική σύγκριση με τις αναλογίες των απαντήσεων που παρήγαγαν οι αισθητήρες.

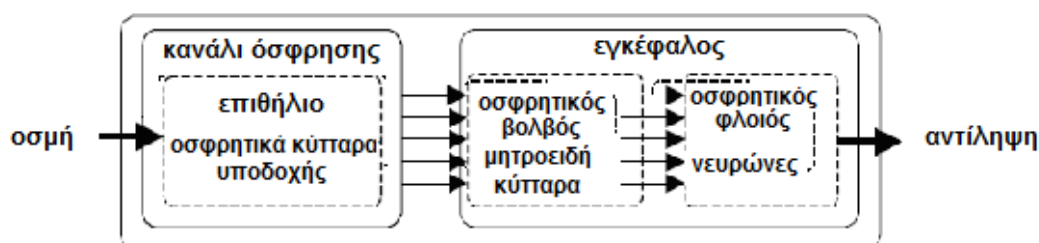
Μέσα από τη λειτουργία μίας σειράς αισθητήρων, ένα ερέθισμα παράγει ένα χαρακτηριστικό “δακτυλικό αποτύπωμα” (smellprint). Σχέδια ή δακτυλικά αποτυπώματα από γνωστές μυρωδιές χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μίας βάσης δεδομένων με παράλληλη εκπαίδευση ενός συστήματος αναγνώρισης έτσι ώστε οι άγνωστες μυρωδιές να μπορούν στη συνέχεια να ταξινομηθούν και να προσδιοριστούν σωστά. Κατά συνέπεια, τα όργανα που περιλαμβάνει μία Enose αποτελούνται από τα τμήματα που συλλέγουν και μεταφέρουν στη σειρά αισθητήρων τις διάφορες ουσίες που αποτελούν τις οσμές καθώς επίσης και τα ηλεκτρονικά κυκλώματα που είναι αναγκαία για την ψηφιοποίηση και των αποτελεσμάτων που παρήγαγαν οι αισθητήρες έπειτα από την επεξεργασία του εισερχόμενου σήματος. Ο τρόπος λειτουργίας των συσκευών αυτών αναλύεται διεξοδικά σε παρακάτω κεφάλαιο.

Σε σύγκριση με την όραση και την ακοή, η όσφρηση είναι πιο πολύπλοκη, τουλάχιστον σε σχέση με τους ανθρώπινους μηχανισμούς που είναι αρμόδιοι για την αρχική αντίδραση σε ένα εξωτερικό ερέθισμα. Επομένως είναι πολύ πιο απλό να δημιουργηθεί ένα σύστημα που θα μιμείται την ακοή ή την όραση. Στην όσφρηση υπάρχουν εκατοντάδες διαφορετικές κατηγορίες βιολογικών δεκτών ενώ στην όραση σε γενικές γραμμές ενέχονται μόνο τρεις διαφορετικές κατηγορίες.

Για παράδειγμα [3], μία βιντεοκάμερα μπορεί πραγματικά να συλλάβει μία εικόνα σχεδόν ίδια με αυτήν που βλέπει ένα ανθρώπινο μάτι. Στην τεχνητή όσφρηση η κατάσταση είναι αρκετά διαφορετική. Αν και έχουν γίνει διάφορες ενδιαφέρουσες εξελίξεις σχετικά με την τεχνολογία Electronic Nose η απόδοση τους απέχει αρκετά από αυτήν της οσφρητικής αίσθησης των ανθρώπων. Οι συσκευές eNose δεν είναι ευαίσθητες στον ίδιο βαθμό όσο η ανθρώπινη μύτη ούτε έχουν τη δυνατότητα να αναγνωρίζουν τόσες πολλές και ταυτόχρονα διαφορετικές χημικές ενώσεις.

#### 1.4 Σύγκριση ανθρώπινου οσφρητικού συστήματος και eNose συσκευών

Το ανθρώπινο οσφρητικό σύστημα είναι πολύ σύνθετο και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην έχει γίνει πλήρως κατανοητό έως και σήμερα. Εντούτοις, έχουν ερευνηθεί αρκετές πτυχές [4]. Ένα απλό σχέδιο για το πώς λειτουργεί το οσφρητικό σύστημα φαίνεται στο Σχήμα 1 που ακολουθεί.



Σχήμα 1: Σχέδιο του ανθρώπινου οσφρητικού συστήματος.

Υπάρχουν περίπου δέκα εκατομμύριο αισθητήρια κύτταρα στη μύτη, κάθε ένα από τα οποία είναι ευαίσθητο σε έναν μεγάλο αριθμό χημικών ενώσεων. Η

αντίδραση ενός δέκτη οφείλεται στην ενεργοποίηση από τις βιοχημικές διαδικασίες στο κύτταρο και στα ιονικά κανάλια που υπάρχουν στην κυτταρική μεμβράνη. Ο χρόνος αντίδρασης, δηλαδή ο χρόνος που χρειάζεται ένας δέκτης για να δώσει μία σημαντική απάντηση όταν εκτίθεται σε μία νέα μυρωδιά, είναι της τάξεως των δευτερολέπτων. Οι γειτονικοί δέκτες έχουν παρόμοια σχεδιαγράμματα επιλεκτικότητας, κάτι που σημαίνει ότι είναι ευαίσθητοι σχεδόν στα ίδια μόρια. Δεδομένου ότι ο αριθμός δεκτών είναι πάρα πολύ μεγάλος και η ικανότητα της επιλογής είναι εξίσου ανεπτυγμένη, δίνεται η δυνατότητα απόκτησης αυξημένης εμπειρίας μέσω των διαφορετικών οσμών που η ανθρώπινη μύτη έρχεται σε επαφή.

Ένα παράδειγμα θα μπορούσε να είναι η αντίδραση στη μυρωδιά της αμμωνίας και στη μυρωδιά ενός φρεσκοψημένου ψωμιού. Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν οι πληροφορίες στο σήμα δεκτών, πρέπει να είναι επεξεργασμένες με έναν κατάλληλο τρόπο. Τα ηλεκτρικά σήματα μεταφέρονται από τους δέκτες στον οσφρητικό βολβό μέσω των νευριτών και των δενδριτών. Τα σήματα φθάνουν έπειτα στα κύτταρα επεξεργασίας σήματος τα οποία ονομάζονται νευρώνες. Ένας νευρώνας έχει πολλές εισαγωγές αλλά μόνο μία παραγωγή. Ο νευρώνας θα παράγει ένα σήμα μόνο εάν υπάρχει αρκετή διέγερση στην εισαγωγή του, ανάλογα με τη διαφορετική σημασία που αποδίδεται στα διαφορετικά είδη εισαγωγών. Αυτά τα διαφορετικά είδη ενώσεων που μπορεί κάποιος να οσφρανθεί μπορούν να τροποποιηθούν μέσα από μία διαδικασία εκμάθησης, που έχει ως σκοπό την καλύτερη αναγνώριση των οσμών στις οποίες γίνεται συχνότερη έκθεση.

Ακολούθως, στον οσφρητικό βολβό υπάρχουν πολλοί νευρώνες, οι οποίοι δημιουργούν μεταξύ τους ένα ολόκληρο δίκτυο. Αυτό το δίκτυο επεξεργάζεται τις πληροφορίες και μεταφέρει έπειτα τα επεξεργασμένα στοιχεία στον οσφρητικό φλοιό. Σε αυτό το μέρος γίνεται η τελική επεξεργασία από ένα άλλο δίκτυο νευρώνων, όπως επίσης πραγματοποιείται και η επικοινωνία με το υπόλοιπο του μέρος του εγκεφάλου. Ο εγκέφαλος μπορεί έπειτα να χρησιμοποιήσει αυτές τις νέες πληροφορίες μαζί με την αποθηκευμένη γνώση και να αποφανθεί αν σε κάποια προκειμένη περίπτωση το υποκείμενο πρέπει να τρέξει μακριά ή να πλησιάσει την πηγή από όπου προέρχονται οι

μυρωδιές. Στον πίνακα 1 βλέπουμε τις βασικές διαφορές ανάμεσα στην ανθρώπινη και την ηλεκτρονική μύτη.

**Πίνακας 1: Σύγκριση ανθρώπινης μύτης και eNose**

<b><u>Ανθρώπινη Μύτη</u></b>	<b><u>Electronic Nose</u></b>
10 εκατομμύρια δέκτες	5-100 χημικοί αισθητήρες
10-100 κατηγορίες επιλογής	5-100 σχέδια επιλογής
Αρχική μείωση του αριθμού σημάτων ~1000 έως 1	Οι έξυπνοι αισθητήρες μπορούν να το μιμηθούν μόνο σε συγκεκριμένες περιπτώσεις
Μεγάλη προσαρμοστικότητα	Πιθανή μελλοντική υλοποίηση
Κορεσμός	Επιμονή
Επεξεργασία σημάτων σε πραγματικό χρόνο	Το hardware αναγνώρισης μπορεί να το επιτύχει
Αναγνώριση ενός πολύ μεγάλου αριθμού οσμών	Πρέπει να γίνει εκπαίδευση για κάθε μία εργασία
Δεν μπορεί να εντοπίσει κάποια απλά μόρια	Μπορεί να εντοπίσει απλά μόρια όπως H <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> κ.λ.π.
Αναγνωρίζει κάποια ειδικά μόρια	Δεν μπορεί να εφαρμοστεί
Σύνδεση με ήχους, εικόνες, εμπειρία κ.λ.π.	Σύστημα πολυαισθητήρων
Μπορεί να αρρωστήσει	Μπορεί να “μολυνθεί”

## 1.5 Pervasive ή Ubiquitous Computing

Η τεχνολογία Electronic Nose αποτελεί ένα μέρος του Ubiquitous Computing (πανταχού παρόν υπολογιστής). Παρακάτω θα φανεί επακριβώς τι αντιπροσωπεύει αυτός ο όρος και πως συνδέεται άμεσα με τις συσκευές eNose.

Στη σημερινή εποχή [2], σημαντικές προσπάθειες και επενδύσεις αφιερώνονται από μεγάλες εταιρείες και ερευνητικά ιδρύματα στην ανάπτυξη νέων μορφών υπολογιστών, που θα συνδυάζονται και θα αλληλεπιδρούν με το φυσικό ανθρώπινο περιβάλλον, σε τέτοιον βαθμό ώστε, τελικά, να αποτελέσουν αναπόσπαστο μέρος του. Η “εξαφάνιση” των υπολογιστών αποτελεί θεμελιώδη συνέπεια όχι της τεχνολογίας αλλά της ανθρώπινης συμπεριφοράς και ψυχολογίας. Έτσι, όποτε οι άνθρωποι εξοικειώνονται επαρκώς με κάτι, παύουν να το αναγνωρίζουν. Για παράδειγμα, όταν κάποιος κοιτάει μία πινακίδα στο δρόμο, η πληροφορία που αναγράφεται, απορροφάται χωρίς ο άνθρωπος να εκτελεί συνειδητά την πράξη της ανάγνωσής της. Μόνο όταν οι υπολογιστές “εξαφανιστούν” κατά παρόμοιο τρόπο από την ανθρώπινη συνείδηση, θα έχει επιτευχθεί ο στόχος της πλήρους ενσωμάτωσής τους στην καθημερινότητά μας. Η ιδέα της ενσωμάτωσης των υπολογιστών στο φυσικό κόσμο ονομάζεται Pervasive ή Ubiquitous Computing [5]. Σε ελεύθερη απόδοση, ο όρος εκφράζει τον πανταχού παρόντα υπολογιστή που θα προσφέρει τις υπηρεσίες του χωρίς ο χρήστης να γνωρίζει καν την ύπαρξή του. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί το Roomware το οποίο ενσωματώνει την τεχνολογία ενημέρωσης και επικοινωνιών σε αντικείμενα που υπάρχουν σε ένα δωμάτιο όπως οι τοίχοι και τα έπιπλα.

Η τεχνολογία Electronic Nose αποτελεί μέρος του Ubiquitous Computing περιμένοντας στο μέλλον να φανούν εκτεταμένης χρήσης εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας στην καθημερινή ζωή.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό της εποχής του Pervasive Computing είναι το γεγονός ότι κάθε άνθρωπος θα έχει στη διάθεσή του πολλούς υπολογιστές. Μερικοί από αυτούς θα εξυπηρετούν, όπως και σήμερα, τις περιπλανήσεις στο Internet, χωρίς να απασχολούν την προσοχή των ανθρώπων που υπάρχουν γύρω τους. Άλλοι θα είναι ενσωματωμένοι σε τοίχους, καρέκλες, ρούχα,

διακόπτες του ηλεκτρικού, αυτοκίνητα, με λίγα λόγια σχεδόν σε οτιδήποτε. Αυτά τα “έξυπνα” αντικείμενα θα συνδέονται σε δίκτυα και θα ενσωματώνονται στο χώρο με τρόπο ο οποίος φαίνεται στην Εικόνα 1.



**Εικόνα 1: Στοιχεία που απαρτίζουν το Roomware**

Οι κοινωνικές επιπτώσεις της ενσωμάτωσης υπολογιστών σε κοινά αντικείμενα θα είναι ανάλογες με αυτές άλλων τεχνολογιών που είναι πανταχού παρούσες, όπως αυτή του ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο χρησιμοποιείται κάθε στιγμή χωρίς, εντούτοις, να σημειώνεται η παρουσία του [6]. Πολλά ερευνητικά προγράμματα mobile και wearable computing ή τεχνητής νοημοσύνης, όπως το Things That Think του MIT, οδηγούν την τεχνολογία των πληροφοριών πέρα από χώρους, ενώ εταιρείες, όπως οι Mattel και Disney, ενσωματώνουν υπολογιστικές δυνατότητες σε καθημερινά αντικείμενα. Το Pervasive Computing θα απλοποιήσει τη ζωή μας, συνδέοντας εφαρμογές που βασίζονται σε ανοικτή αρχιτεκτονική με τις καθημερινές δραστηριότητές μας. Θα απομακρύνει την πολυπλοκότητα που χαρακτηρίζει τις υπάρχουσες τεχνολογίες και θα επιτρέψει την αποδοτικότερη εργασία, εξασφαλίζοντας παράλληλα περισσότερο ελεύθερο χρόνο. Το hardware (προσωπικοί υπολογιστές, PDAs, ηλεκτρονικά organizers, routers, switches και καταναλωτικές ηλεκτρονικές συσκευές), το software (λειτουργικά συστήματα, εφαρμογές και διαχείριση δικτύων), το Internet, οι φορείς υπηρεσιών, η καλωδιακή τηλεόραση και πολλά άλλα, δείχνουν προς την ίδια κατεύθυνση η

οποία είναι αυτή της συγκέντρωσης, ενοποίησης και αλληλεπίδρασης όλων των υπηρεσιών, εφαρμογών και πληροφοριών [7].

Σε αντίθεση με τη σημερινή πρακτική και στρατηγική, οι υπολογιστές του μέλλοντος δε θα είναι περισσότερο φορητοί, αλλά αντίθετα οι πληροφορίες θα είναι “φορητές”, δηλαδή προσβάσιμες από παντού. Δε θα απαιτείται η μεταφορά των ηλεκτρονικών συσκευών που θα περιέχουν τα δεδομένα, αλλά αντίθετα, οι συσκευές θα αναγνωρίζουν ποιοι είναι οι ιδιοκτήτες τους και θα “θυμούνται” τα δεδομένα που έχουν αποθηκευτεί σε κάποιο απόμακρο σημείο του ευρύτερου δικτύου. Οι συσκευές αυτές θα πρέπει να είναι εύκολες στη χρήση τους και για το λόγο αυτόν μεγάλη σημασία έχει ο σχεδιασμός που θα επιλεγεί για το user interface που θα ενσωματώνουν. Παράλληλα, θα είναι περισσότερο “ενήμερες” για το χρήστη τους και το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται. Θα μπορούν να “αισθάνονται” την παρουσία ή απουσία του χρήστη και κατά κάποιον τρόπο να προβλέπουν τις ανάγκες και τις επιδιώξεις του. Τέλος, θα μπορούν να γνωρίζουν την ακριβή θέση τους και το χώρο στον οποίο βρίσκονται, ώστε να λαμβάνουν τις κατάλληλες ανά περίπτωση αποφάσεις.

Στα τέλη του 1987, το τμήμα Έρευνας της εταιρείας Xerox ήταν απασχολημένο με την ανάπτυξη μίας νέας και πρωτοποριακής τεχνολογίας. Στο περίφημο Palo Alto Research Center (PARC) και Electronics and Imaging Laboratory (EIL) το προσωπικό πρότεινε την κατασκευή επίπεδων οθονών, μεγάλων διαστάσεων, που θα τοποθετούνταν σε τοίχους. Την εποχή εκείνη πίστευαν ότι η τεχνολογία θα επέτρεπε την αμφίδρομη επικοινωνία μέσω των οθονών αυτών, που θα χρησιμοποιούνταν τόσο για την προβολή υλικού όσο και για την εισαγωγή στοιχείων με ηλεκτρονικές γραφίδες αλλά και τη σάρωση εγγράφων, τοποθετώντας τα απλώς πάνω στην επιφάνεια της οθόνης. Πολύ σύντομα, τεχνικοί και επιστήμονες από πολλά άλλα εργαστήρια εκδήλωσαν την πρόθεσή τους να σχεδιάσουν το απαραίτητο hardware και software για το νέο αυτό σύστημα. Η καινοτομία του επικεντρωνόταν στο ότι πρόσφερε την ευχρηστία του παραδοσιακού μαυροπίνακα, εμπλουτίζοντάς την με τις διευρυμένες δυνατότητες των υπολογιστών, ιδιαίτερα όταν έρχονταν σε συνδυασμό μέσω δικτύου με άλλες συσκευές. Το νέο αυτό όραμα ήταν εντελώς διαφορετικό από τη μέχρι τότε πρακτική και φιλοσοφία που βασιζόταν σε έναν προσωπικό υπολογιστή για κάθε χρήστη. Η ιδέα αυτή οδήγησε σύντομα τους ερευνητές του

PARC στη νέα φιλοσοφία του Ubiquitous Computing, όπου οι υπολογιστές βρίσκονται “αόρατοι” και “διεσπαρμένοι” σε όλο το περιβάλλον.

Την ίδια στιγμή, ανθρωπολόγοι που εργάζονταν στον τομέα Work Practices and TechnoLogY του PARC, παρατηρούσαν τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν την τεχνολογία. Δεν περιορίζονταν στους ισχυρισμούς των ανθρώπων αυτών, αλλά διεξήγαγαν σχετικά πειράματα και παρατηρήσεις. Σκοπός τους ήταν να εξακριβώσουν πώς οι υπολογιστές εντάσσονταν στο περίπλοκο κοινωνικό πλαίσιο και τις καθημερινές δραστηριότητες και πώς αλληλεπιδρούσαν με τον υπόλοιπο φυσικό κόσμο. Οι δύο αυτές συγκλίνουσες δραστηριότητες οδήγησαν στην ανάδυση του προγράμματος Ubiquitous Computing στο Computer Science Laboratory (CSL) στις αρχές του 1988 [5]. Το πρόγραμμα αυτό αποτέλεσε μία δραματικά διαφορετική εναλλακτική πρόταση για το ρόλο των υπολογιστών και τη φιλοσοφία που θα έπρεπε να τους διέπει. Αποδείχθηκε ότι οι υπολογιστές ήταν υπερβολικά περίπλοκοι, απαιτούσαν την αφιέρωση σημαντικού χρόνου για λειτουργίες που δεν εξυπηρετούσαν το χρήστη αλλά τον ίδιο τον υπολογιστή και ήταν ιδιαίτερα ξεκομμένοι από τις καθημερινές ανθρώπινες δραστηριότητες. Σκοπός του προγράμματος ήταν να επανατοποθετήσει τους υπολογιστές στο κοινωνικό και φυσικό περιβάλλον και να επικεντρωθεί περισσότερο στην επικοινωνία μεταξύ ανθρώπων και λιγότερο στην επικοινωνία μεταξύ ανθρώπων και μηχανών.

Προς το τέλος του 1988 αναπτύχθηκαν τρεις διαφορετικές τεχνολογίες από το πρόγραμμα Ubiquitous Computing. Οι προαναφερθείσες οθόνες, που ονομάστηκαν LinoBoard, και δύο διαφορετικές φορητές συσκευές, το ParcPad, που είχε μέγεθος βιβλίου, και το ParcTab, που είχε το μέγεθος ενός palm. Χρειάστηκε να περάσουν ακόμη τέσσερα χρόνια, για να συνειδητοποιήσουν οι ερευνητές το 1992 ότι στην πραγματικότητα επαναπροσδιόριζαν ολόκληρη τη σχέση μεταξύ των ανθρώπων, της εργασίας τους και της τεχνολογίας. Οι αρχικές προσπάθειες στο ερευνητικό κέντρο PARC τροφοδότησαν έναν χείμαρρο παρόμοιων προγραμμάτων από τα τμήματα Έρευνας και Ανάπτυξης πολλών εταιρειών και τεχνολογικών ιδρυμάτων.



Σήμερα, έχει γίνει ευρέως αποδεκτό, σχεδόν αξίωμα, ότι η τεχνολογία Ubiquitous Computing θα πρέπει να προσφέρει την επεξεργαστική ισχύ και τις υπηρεσίες της συνεχώς, δηλαδή 24 ώρες το 24ωρο και επτά ημέρες την εβδομάδα. Το σχέδιο αυτό χαρακτηρίζεται με τη συντομογραφία 24/7 και θα πρέπει να συμπληρωθεί με την απαίτηση για πρόσβαση από οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη και όχι μόνο από συγκεκριμένα κτήρια ή γεωγραφικές περιοχές. Η ανάγκη αυτή επεκτείνει το αρχικό σχέδιο σε 24/7/360, συμβολίζοντας την πρόσβαση από 360 μοίρες πάνω στην επιφάνεια του πλανήτη.

## 1.6 Επίλογος

Εν κατακλείδι, οι επιστήμονες ευελπιστούν ότι στο μέλλον οι συσκευές eNose θα μπουόνε στην καθημερινότητα και θα δημιουργήσουν συσκευές που θα διευκολύνουν τη ζωή των απλών ανθρώπων. Έτσι, δεν πρέπει να φανεί περίεργο το άκουσμα της είδησης ότι πλέον δε θα υπάρχουν ημερομηνίες λήξεως στα προϊόντα αφού μέσω ενσωματωμένων eNose αισθητήρων θα ελέγχεται η ποιότητά τους και το κατά πόσο είναι θα κατάλληλα προς κατανάλωση. Τα προϊόντα αυτά ανάλογα με τα αποτελέσματα της eNose συσκευής θα αλλάζει η κατάσταση του ενσωματωμένου led σε πράσινο όταν είναι κατάλληλο προς κατανάλωση είτε σε κόκκινο όταν αυτό δεν είναι κατάλληλο. Άλλα παραδείγματα που έρχονται στο μυαλό είναι η δημιουργία μίας συσκευής που θα ελέγχει τα λουλούδια του κήπου, ή ακόμη και μια συσκευή συντήρησης κρασιών που θα ελέγχει την ποιότητα τους. Ειδικοί αισθητήρες θα αναλύουν τα δείγματα οσμής των κρασιών και θα εμφανίζουν το βαθμό οξύτητας τους .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### 2. Ανθρώπινες οσφρητικές λειτουργίες

#### 2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναπτυχθεί ο τρόπος με τον οποίο ο ανθρώπινος οργανισμός αντιλαμβάνεται τις διάφορες μυρωδιές τόσο από χημικής πλευράς όσο και από βιολογικής. Θα γίνει εστίαση στη φύση των οσμών ως αίσθηση και των odorants (οσφρητικά μόρια) που είναι σχετικές με την ανθρώπινη αντίληψη μυρωδιάς. Επίσης, θα εξεταστούν η φυσιολογία και η βιοχημεία της όσφρησης ενώ θα γίνει και μία συνοπτική παρουσίαση της αίσθησης της γεύσης.

#### 2.2 Αντίληψη, ανατομία και φυσιολογία της όσφρησης

Οι μυρωδιές είναι αισθήσεις που εμφανίζονται όταν ενώσεις οι οποίες ονομάζονται odorants, διεγείρουν υποδοχείς που είναι τοποθετημένοι στο οσφρητικό επιθήλιο στο πάνω μέρος της ρινικής κοιλότητας [8]. Τα odorants είναι υδροφοβικές, πτητικές ενώσεις με μοριακό βάρος λιγότερο από 300 daltons.

Οι άνθρωποι μπορούν να αναγνωρίσουν και να διακρίνουν μέχρι και 10.000 διαφορετικές ουσίες από τη μυρωδιά τους. Οι υποδοχείς odorant (ORs) μέσα στη ρινική κοιλότητα ανιχνεύουν και κάνουν τη διάκριση μεταξύ αυτών των χιλιάδων διαφορετικών χημικών ενώσεων. Ένα μεμονωμένο odorant μπορεί να δεσμευτεί από πολλαπλούς τύπους υποδοχών ενώ δομικά διαφορετικά odorants μπορούν να δεσμευτούν από ένα μοναδικό υποδοχέα. Συγκεκριμένα πρότυπα ενεργοποίησης παράγουν σήματα που επιτρέπουν τη διάκριση και διαφοροποίηση μίας οσμής μεταξύ ενός μεγάλου αριθμού διαφορετικών μυρωδιών. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των odorants που προκαλούν συγκεκριμένες αισθήσεις μυρωδιών ακόμα δεν έχουν γίνει καλά κατανοητές. Τα γονίδια που κωδικοποιούν τους υποδοχείς odorants έχουν κλωνοποιηθεί, και τα αποτελέσματα από τις μελέτες κλωνοποίησης δείχνουν ότι οι υποδοχείς ORs είναι μέλη μίας οικογένειας εκατοντάδων διαφορετικών υποδοχών G-protein-

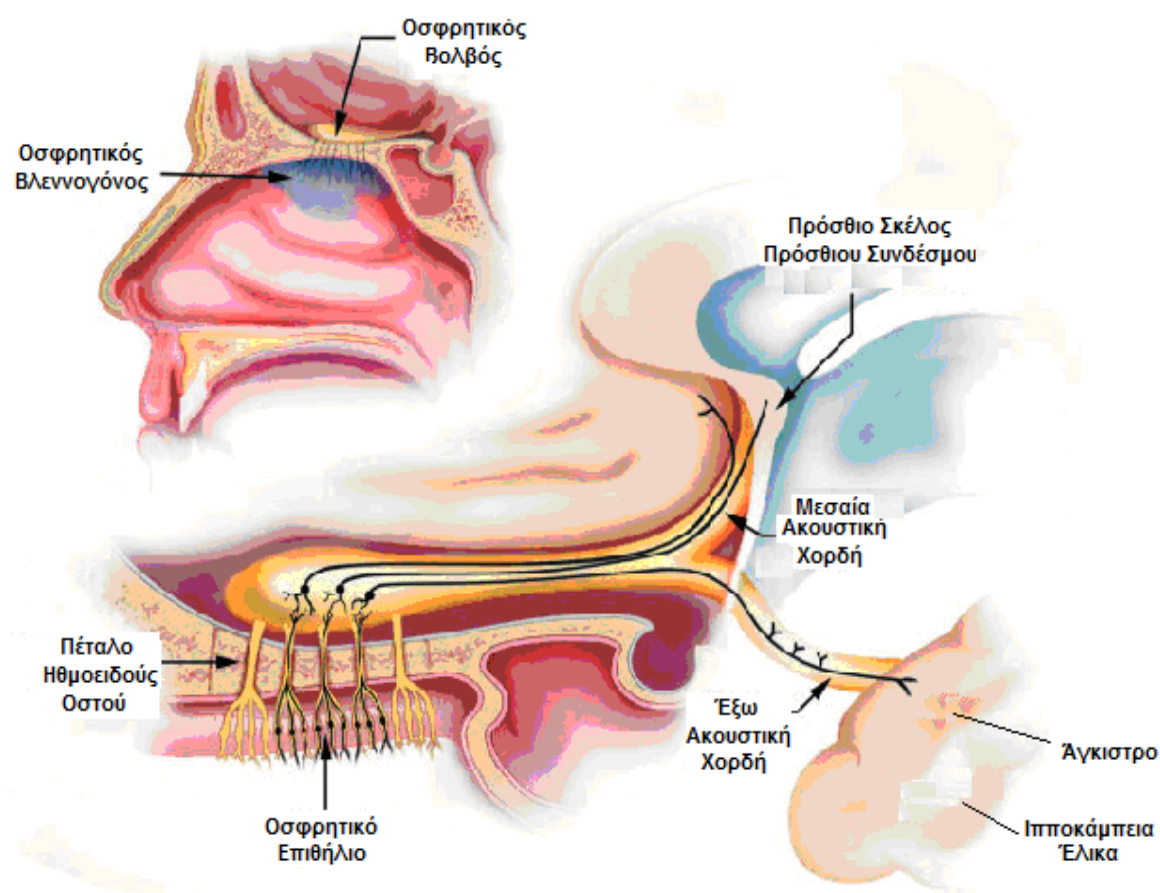
coupled που καταλαμβάνουν επτά περιοχές. Μια πλήρης γνώση της δομής των σχέσεων των υποδοχέων στην όσφρηση περιμένει την τρισδιάστατη ανάλυση αυτής της μεγάλης οικογένειας από υποδοχείς ORs. Τελικά, ταυτόχρονη γνώση της τρισδιάστατης δομής των ORs καθώς επίσης και των odorants θα επιτρέψει την ανάπτυξη ενός υποδείγματος αναγνώρισης προτύπων το οποίο θα είναι σε θέση να διακρίνει μυρωδιές.

### **2.3 Η όσφρηση γενικά**

Όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί από τα απλά βακτηρίδια μέχρι τα σύνθετα θηλαστικά, συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπων, αποκρίνονται σε χημικές ουσίες που βρίσκονται στο περιβάλλον τους. Τα χημικά σήματα διαδραματίζουν ένα σημαντικό ρόλο στη σίτιση (π.χ. θρεπτικές ουσίες), στην εδαφική αναγνώριση, στη σεξουαλική συμπεριφορά και στην ανίχνευση ενδεχομένως επιβλαβών συνθηκών όπως η φωτιά, επικίνδυνα αέρια, και χαλασμένα τρόφιμα. Στους σύνθετους οργανισμούς έχουν αναπτυχθεί ειδικά συστήματα ανίχνευσης χημικών ουσιών (μυρωδιά και γεύση) που διακρίνονται ανατομικά από τη θέση των υποδοχέων τους στη ρινική και στοματική κοιλότητα, αντίστοιχα.

Η αίσθηση της οσμής παράγεται από την αλληλεπίδραση των odorants με ειδικούς υποδοχείς στο οσφρητικό επιθήλιο στο πάνω μέρος της ρινικής κοιλότητας. Σε ζώα που αναπνέουν συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου, τα odorants είναι πτητικές, υδροφοβικές ενώσεις που έχουν μοριακό βάρος μικρότερο των 300 daltons. Το μεγαλύτερο γνωστό odorant σήμερα είναι το λάβδανο (labdane) που έχει μοριακό βάρος 296. Η χημική αντιδραστικότητα έχει μικρή σχέση με το δυναμικό των οσμών αφού τα μόρια των οσμών είναι μη φορτισμένα. Τα odorants διαφέρουν ευρέως στη δομή και περιλαμβάνουν πολλές χημικές κλάσεις συμπεριλαμβανομένων οργανικών οξέων, αλκοολών, αλδεϋδών, αμιδών, αμίνων, αρωματικών, εστέρων, αιθέρων, αερίων, υδρογοναθράκων, κετονών, νιτριλίων, άλλων αζωτούχων ενώσεων, φαινολών και θειούχων ενώσεων. Τα σήματα που παράγονται από την αλληλεπίδραση των odorants με τους υποδοχείς odorants στο οσφρητικό επιθήλιο μεταδίδονται στο οσφρητικό βολβό και τελικά στον εγκέφαλο. Η αίσθηση της όσφρησης είναι

ένα αξιοσημείωτα ευαίσθητο σύστημα που αντιδρά σε εξαιρετικά χαμηλές συγκεντρώσεις χημικών. Υπολογίζεται ότι μόνο 2% των πτητικών ενώσεων που γίνονται διαθέσιμες μέσω ενός ρουθουνίσματος θα φτάσουν τελικά στους οσφρητικούς υποδοχείς, και μόνο 40 μόρια κάποιων χημικών αερίων αρκούν για να καταστεί μία οσμή αντιληψίμη. Η εξαιρετική ευαισθησία του οσφρητικού συστήματος φαίνεται στο Σχήμα 2 όπου παρουσιάζονται τα όρια ανίχνευσης του ανθρώπου.



Σχήμα 2: Όρια ανίχνευσης ανθρώπινου οσφρητικού συστήματος

Αυτές οι ουσίες μπορούν να ανιχνευτούν σε συγκεντρώσεις εύρους λίγων μερών ανά δισεκατομμύριο ή ακόμα και λίγων μερών ανά τρισεκατομμύριο όπως στην περίπτωση της θειοφαινόλης, θειοκρεσόλης και προπυλικού mercaptan. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, τα odorants έχουν δυνατότητα να φτάσουν στους οσφρητικούς υποδοχείς κατά τις διαδικασίες εισπνοής και

εκπνοής. Ένας μέσος άνθρωπος παίρνει 15 αναπνοές το λεπτό (21600 αναπνοές την ημέρα) μεταφέροντας κατά μέσο όρο 0.5 λίτρα αέρα ανά αναπνοή (10800 λίτρα αέρα ανά ημέρα). Οι περισσότερες αισθήσεις οσμής παράγονται από μίγματα εκατοντάδων odorants παρά από μία μοναδική ουσία. Διακριτά συστατικά έχουν την τάση να εναρμονίζονται και να αναμειγνύονται μεταξύ τους οδηγώντας σε διασπορά της αντίληψης.

Οι άνθρωποι έχουν περιορισμένη δυνατότητα να αναγνωρίσουν ξεχωριστά odorants μέσα σε μείγματα από τρία ή τέσσερα συστατικά το μέγιστο. Αυτός ο περιορισμός στην ικανότητα αναγνώρισης ξεχωριστών συστατικών μέσα σε μείγματα φαίνεται να είναι μία έμφυτη ιδιότητα της όσφρησης αφού δε σχετίζεται με την εμπειρία των υποκειμένων ή τον τύπο των odorants. Η αίσθηση της οσμής χαρακτηρίζεται από γενικούς περιγραφείς, όπως θειώδης, φρουτώδης, άνθινος και γειώδεις ή μέσω της πηγής όπως μπανάνα ή πορτοκάλι.

Το εύρος των διακριτών οσφρητικών αισθήσεων είναι τεράστιο, και ένας ειδικευμένος χημικός αρωμάτων μπορεί να αναγνωρίσει και να διακρίνει από 8000 μέχρι 10000 διαφορετικές ουσίες στη βάση της οσφρητικής ποιότητας και μπορεί ακόμα να αντιδράσει σε χημικές ουσίες που ποτέ πριν δεν έχει συναντήσει στο περιβάλλον του. Το οσφρητικό σύστημα αναγνωρίζει και διακρίνει μεταξύ αυτού του μεγάλου αριθμού οσφρητικών τύπων λόγω του ευρούς ρεπερτορίου πρωτεϊνών οσφρητικών υποδοχέων που κωδικοποιούνται από μία μεγάλη οικογένεια οσφρητικών γονιδίων. Οι άνθρωποι έχουν αρκετές εκατοντάδες διαφορετικά γονίδια που κωδικοποιούν τις πρωτεΐνες οσφρητικών υποδοχέων ενώ τα τρωκτικά έχουν μεταξύ 500 και 1000 διαφορετικών γονιδίων δηλαδή το 1% του γονιδιώματος [9],[10]. Αυτό το ευρύ φάσμα τύπων υποδοχέων επιτρέπει την ανίχνευση πηγών οσμών που αποτελούνται από μείγματα μοριακών ειδών και ακόμα επιτρέπει την ανίχνευση νέων συντεθειμένων ενώσεων χωρίς κάποια γνωστή λειτουργία.

#### **2.4 Σχήματα κατάταξης οσμών βασισμένα σε περιγραφές με επίθετα**

Συστήματα κατάταξης βασισμένα σε περιγραφές με επίθετα έχουν ιστορικά χρησιμοποιηθεί για την οργάνωση των πολλών χιλιάδων διαφορετικών οσμών σε ένα περιορισμένο αριθμό ομάδων.

Στον Πίνακα 2 φαίνονται κάποια από τα πρώιμα σχήματα κατάταξης των οσμών.

**Πίνακας 2: Κατάταξη των οσμών**

<b>Αριθμός Κατηγορίας</b>	<b>Ταξινόμηση Κατηγορίας</b>
6	Γλυκιά, όξινη (ξινή), έντονη, πλούσια/λιπαρή, στυπτική, δυσώδης
7	Αρωματική, ευώδης, αμβροσιώδης (musk-like), σκορδοειδής, τραγήσια, βρομερή, αηδιαστική
9	Αρωματική, αιθέρια, ευώδης, αμβρωσιώδης, μυρωδιά καμένου, σκορδοειδής, τραγήσια, απωθητική, αηδιαστική
6	Λουλουδάτη, φρουτώδης, πικάντικη, ρητινώδης, μυρωδιά καμένου, μυρωδιά σάπιου
8	Λουλουδάτη, φρουτώδης, χορτώδης, οσμή σάρκας ζώου/ανθρώπου, πικάντικη/δυσόσμος/καμφορά, χωμάτινη/μυκητώδης, ξύλινη/βαλσάμικη/ Σε αμφισβήτηση: πικρή/φαινολική/μυρωδιά καμένου/αηδιαστική
7	Αιθέρια, λουλουδάτη, μέντα, καμφορά, μοσχομυριστή, έντονη, σάπια
9	Αιθέρας, αρωματική, γλυκιά, πικάντικη, ελαιώδης, καμένο, θειώδης, δυσοσμία ταγκιάσματος, μεταλλική

Σύγχρονοι ειδικοί πάνω στην όσφρηση, συμπεριλαμβανομένων και αρωματοποιών που δουλεύουν με εμπορικά αρώματα, βρίσκουν τον μικρό αριθμό ομάδων αυτών των σχημάτων ταξινόμησης ανεπαρκή όσον αφορά την περιγραφή οσμών που συναντούν καθημερινά κατά τη διάρκεια της εργασίας τους. Τον τελευταίο μισό αιώνα ο επιστημονικός κόσμος απομακρύνθηκε από την ιδέα κατάταξης των οσμών σε λίγες μόνο κλάσεις, αλλά αντίθετα υπάρχει η τάση ανάπτυξης ενός μεγάλου “λεξιλογίου” σε ότι αφορά τα οσφρητικά ερεθίσματα που εξετάζονται. Οπότε, οι σύγχρονες μέθοδοι κατάταξης βασίζονται σε ένα ευρύ πίνακα περιγραφών από τις οποίες επιλέγονται οι κατάλληλες για τις συγκεκριμένες εφαρμογές. Αυτές οι μέθοδοι μπορεί να είναι γενικές, όπως για παράδειγμα η περιγραφή του μεγάλου φάσματος οσμών της καθημερινής ζωής ή ειδικές όπως είναι αυτές που έχουν σχέση με συγκεκριμένες εφαρμογές στην βιομηχανία τροφίμων ή αρωμάτων. Στη βιομηχανία τροφίμων, οι οσμές των χημικών ουσιών συχνά κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την ταυτότητα του φαγώσιμου υλικού που θυμίζουν. Δειγματικά, κατηγορίες οσμών για τρόφιμα περιλαμβάνουν καραμέλα, μέλι, βανίλια, κίτρο και βούτυρο. Οι οσμές αρωμάτων συχνά κατηγοριοποιούνται σε ομάδες λουλουδιών ή βοτάνων, όπως γιασεμί, τριαντάφυλλο, βάλαμο ή πεύκο. Τα συστήματα κατάταξης για την ποιότητα των οσμών περιστοιχίζονται, όμως, από μια σειρά περιορισμών.

Πρώτα απ’ όλα, υπάρχουν εγγενείς διαπροσωπικές διαφορές στην συγκινησιακή και ηδονική αντίληψη των οσμών. Ετικέτες όπως ευχάριστο, απολαυστικό, αηδιαστικό και αποκρουστικό είναι συνήθεις συσχετίσεις που γίνονται για τις οσμές και αυτές οι υποκειμενικές εκτιμήσεις μπορεί να επηρεάσουν τον τρόπο με τον οποίο θα περιγραφεί η οσμή. Η συναισθηματική φύση της αντίληψης των οσμών πιθανόν να προέρχεται από το γεγονός ότι η όσφρηση είναι μία πρωτεύουσα αίσθηση που χρησιμοποιείται από το ζωικό βασίλειο για την αναγνώριση της τροφής, την αναζήτηση συντρόφου, την αποφυγή αρπακτικών και την προειδοποίηση κινδύνου. Δεύτερον, υπάρχουν ατομικές διαφορές στην αντίληψη των οσμών λόγω γενετικών διαφορών. Τρίτον, υπάρχουν ατομικές διαφορές στη χρήση περιγραφών οσμών μεταξύ εκπαιδευμένων ομάδων ανθρώπων. Τέλος, το λεξιλόγιο των περισσότερων γλωσσών δεν περιέχει λέξεις για να περιγράψει την πλήρη γκάμα των οσμών.

Για αυτό το λόγο, έχουν χρησιμοποιηθεί περισσότερο μέτρα σύγκρισης ομοιότητας παρά περιγραφές με επίθετα κατά την ποσοτικοποίηση της ποιότητας της οσμής κατατάσσοντας τις οσμές σε πολυδιάστατους χώρους.

## **2.5 Χρωματογραφία και φασματομετρία**

Καθώς η νέα τεχνολογία electronic nose αναπτύσσεται, έχει αρχίσει να αμφισβητείται ο τρόπος προσέγγισης μέτρησης της οσμής [15]. Όπως προαναφέρθηκε, οι κυριότερες μέθοδοι συνεπάγονται είτε τη χρησιμοποίηση των ανθρώπινων πάνελ οσμών για τον χαρακτηρισμό της χρωματογραφίας και φασματομετρίας της μάζας μίας οσμής ή ενός αερίου ώστε να παραχθεί το σωστό “δαχτυλικό αποτύπωμα” (smellprint) της οσμής.

Η συγκέντρωση μίας οσμής μπορεί να εκφραστεί ως κάτι πολύ σημαντικό για την ανίχνευση του ορίου αναγνώρισης. Το όριο αναγνώρισης ορίζεται από την American Society for Testing and Materials (ASTM), ως η χαμηλότερη συγκέντρωση στην οποία μία οσμή θα είναι η πρώτη που θα εντοπιστεί από το 50% των ανθρώπινων οσφρητικών συστημάτων. Το όριο ανίχνευσης είναι το απόλυτο όριο της αίσθησης για μια οσμή. Η συγκέντρωση της οσμής ορίζεται σε 1,0 μονάδες/m<sup>3</sup>. Η αξία καθορίζεται από το μέσο όρο των απαντήσεων επί του πληθυσμού των ατόμων.

Η χρωματογραφία και φασματομετρία της μάζας μίας οσμής χρησιμοποιούνται επίσης για την αναγνώριση των χημικών συστατικών ενός μείγματος αερίων. Δείγματα αέρα συλλέγονται σε ειδικές σακούλες ή δοχεία και στέλνονται για ανάλυση. Τα δείγματα αερίου μπορεί να συγκεντρώνονται στο εργαστήριο με τη χρήση παγίδας αερίων που αποτελείται από μία απορροφητική συσκευή.

## **2.6 Επίλογος**

Στο επόμενο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι τρόποι και τα μέσα που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα για την προσομοίωση του ανθρώπινου οσφρητικού συστήματος. Η τεχνολογία αυτή έχει πολλά περιθώρια βελτίωσης και μέσα σε λίγα χρόνια θα υπάρξουν πολλές εφαρμογές οι οποίες θα γίνουν μέρος της καθημερινής ζωής.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### 3. Electronic Nose

#### 3.1 Εισαγωγή στην τεχνολογία Electronic Nose

Για πάρα πολύ καιρό η ανθρώπινη μύτη ήταν ένα σημαντικό εργαλείο στην αξιολόγηση της ποιότητας πολλών προϊόντων, για παραδείγματα στα τρόφιμα. Εκτιμώντας ότι όλες οι διαδικασίες παραγωγής, συμπεριλαμβανομένων αυτών της βιομηχανίας τροφίμων, γίνονται όλο και περισσότερο αυτοματοποιημένες, δεν υπάρχει κανένα στοιχείο που να δείχνει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί η “περιορισμένη” πληροφορία που παρέχεται μέσω της μυρωδιάς των προϊόντων.

Το 1982 οι G. Dodd και K. Persaud της ερευνητικής ομάδας Electronic Nose του Warwick παρουσίασαν την πολύ-αναμενόμενη επιστημονική δημοσίευση τους ανακοινώνοντας και την αρχή μίας νέας τεχνολογίας, που δεν ήταν άλλη από την Electronic Nose [11]. Ο όρος Electronic Nose εμφανίστηκε για πρώτη φορά το 1988. Μέσω της έρευνας τα επόμενα χρόνια προσπάθησαν να δημιουργήσουν νέους αισθητήρες για να βελτιώσουν τις τεχνικές αναγνώρισης οσμών, με αποτέλεσμα σήμερα να υπάρχουν πολλές επιχειρήσεις που προσφέρουν στο εμπόριο συσκευές eNose.

Ο όρος Electronic Nose έχει πλεονεκτήματα καθώς επίσης και μειονεκτήματα. Το πλεονέκτημα είναι ότι η έκφραση αυτή προ-ιδεάζει τους εμπειρογνώμονες και μη, για μία συσκευή που μετρά τις μυρωδιές [12]. Απευθύνεται στη φαντασία κάποιου και ο όρος εκφράζεται εύκολα. Το μειονέκτημα, εντούτοις, είναι ότι δημιουργεί μεγάλες προσδοκίες, ίσως πάρα πολύ μεγάλες, επειδή η έκφραση προτείνει μια πιστή μίμηση της βιολογικής αίσθησης η οποία είναι εντελώς ανακριβής. Η βιολογική αίσθηση της μυρωδιάς είναι ακόμα πολύ ανώτερη από τη σημερινή τεχνητή αναγνώριση μυρωδιών. Αυτή η κατάσταση θα συνεχιστεί πιθανότατα για κάποιο χρονικό διάστημα εφόσον δεν υπάρχει κάποιος καλύτερος όρος.

### 3.2 Στόχος της eNose τεχνολογίας

Η ιδέα μιας Electronic Nose συσκευής είχε ως σκοπό τη μίμηση του οσφρητικού συστήματος ενός θηλαστικού. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά είδη αισθητήρων αερίου για τον προσδιορισμό διαφόρων ουσιών μέσω αισθητήρων. Η σύγκριση μεταξύ συσκευής eNose και της μύτης του ανθρώπου είναι στην καλύτερη περίπτωση όπως η σύγκριση του ματιού μίας μέλισσας με του ανθρώπου. Δεν αντιλαμβάνεται μέρος του ορατού φάσματος αλλά είναι ευαίσθητο για άλλα μήκη κύματος [12]. Για αυτόν τον λόγο μόνο σε προκαθορισμένες περιπτώσεις έχει νόημα να γίνει συσχετισμός μεταξύ των αντιδράσεων μιας ανθρώπινης και μιας ηλεκτρονικής μύτης σε συγκεκριμένες μυρωδιές.

Όμως ο όρος αυτός έχει το μειονέκτημα ότι είναι παραπλανητικός και κάνει τον ανενήμερο αναγνώστη να θεωρήσει τις ικανότητες του συστήματος συγκρίσιμες με εκείνες της ανθρώπινης μύτης.

Τα τελευταία χρόνια πολλές έρευνες έχουν γίνει για να εντοπιστούν οι αρχές των δεκτών και το πως οργανώνεται το οσφρητικό σύστημα. Σε κάθε οσφρητικό κύτταρο δεκτών βρίσκεται μόνο ένας τύπος δέκτης μορίων, ο οποίος μπορεί να ανιχνεύσει περιορισμένο αριθμό ουσιών. Για μία σύνθετη μυρωδιά, αποτελούμενη από πολλά διαφορετικά μόρια, ενεργοποιούνται διάφοροι δέκτες. Το σχέδιο δεκτών που θα προκύψει είναι αυτό που καθορίζει το πώς γίνεται η αντίληψη της συγκεκριμένης μυρωδιάς. Τα στοιχεία που παράγουν οι αισθητήρες αναλύονται ώστε να εξαγάγουν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που θα αξιολογηθούν συνολικά αφού πρώτα αποβληθούν τα πλεονασματικά ώστε τελικά να υπάρξει μία μαθηματική περιγραφή του γενικού μίγματος των ουσιών και της έντασή τους.

Ο όρος "Electronic Nose" συνδέεται συχνά με την ανίχνευση των μυρωδιών ή της προσπάθειας "να μυρίσει" κάποιος με μία συσκευή, αλλά όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ηλεκτρονική μύτη είναι κάτι περισσότερο και συγχρόνως κάτι λιγότερο, επειδή ενώ προσφέρει την ικανότητα να ανιχνευθούν μερικά σημαντικά αέρια, δεν είναι προσαρμοσμένο σε πολύ σημαντικές ουσίες της καθημερινότητας όπως η μυρωδιά άλλων ζώων, τροφίμων κ.λ.π. Μία από τις

προκλήσεις των πρακτικών εφαρμογών της τεχνολογίας αυτής είναι ότι οι χημικές ενώσεις που έχουν ενδιαφέρον έχουν ένα σύνθετο υπόβαθρο, το οποίο μπορεί να περιλάβει παραδείγματος χάριν τον υδρατμό ή κάτι παρόμοιας φύσης. Οι τεχνικοί αισθητήρες μπορούν να είναι ευαίσθητοι σε αυτά τα αέρια. Για παράδειγμα, οι άνθρωποι δεν έχουν κανέναν δέκτη για τον υδρατμό επειδή είναι παντού μέσα στην περιβαλλοντική ατμόσφαιρα. Ομοίως, δεν οι άνθρωποι δεν είναι ικανοί να αντιληφθούν το μονοξείδιο του άνθρακα, άρα δεν υπάρχει και η αντίστοιχη δυνατότητα να ελεγχθεί μία πυρκαγιά. Δηλαδή, έχουμε ανιχνεύσιμες και μη ανιχνεύσιμες ουσίες κάτι το οποίο είναι το κρίσιμο σημείο για κάθε εφαρμογή της τεχνολογίας eNose και πρέπει να εξηγηθεί λεπτομερώς για την περίπτωση της ανίχνευσης μυρωδιών.

### **3.3 Αισθητήρες ως βασικά μέρη μίας Electronic Nose συσκευής**

Η κλασική εφαρμογή της ηλεκτρονικής μύτης που αποτελείται από μία σειρά αισθητήρων, είναι ακόμα η πιο κοινή προσέγγιση, αν και νέες τεχνολογίες έχουν εισαχθεί πρόσφατα σε αυτόν τον τομέα. Υπάρχουν δύο λόγοι για τη συνεχιζόμενη δημοτικότητα αυτών των αισθητήρων [11]. Δεδομένου ότι έτσι ο τομέας αυτός ξεκίνησε, υπάρχει αρκετά μεγάλη εμπειρία η οποία αποκτήθηκε μέσω της χρήσης τους για ένα διαφορετικό σύνολο εφαρμογών, και η οργάνωση μίας συσκευής ηλεκτρονικής μύτης βασισμένη σε τέτοιους αισθητήρες μοιάζει περισσότερο με το βιολογικό πρότυπο δηλαδή την ανθρώπινη μύτη. Κάθε μέρος της μύτης ενός θηλαστικού αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο τεχνικό κομμάτι. Για την ανίχνευση των αερίων, η αντιστοιχία των βιολογικών δεκτών είναι οι τεχνικοί αισθητήρες αερίου, με τους οποίους οι βιολογικοί δέκτες, παρέχουν μία ορισμένη πολλαπλότητα της ανίχνευσης χωρίς να γίνεται πλήρως εκλεκτικό.

Οι πληροφορίες για την οσμή ή την ταυτότητα ενός δείγματος μπορούν να γίνουν κατανοητές μόνο με τη σύγκριση των σημάτων των διάφορων αισθητήρων ή δεκτών. Ένας από τους κύριους λόγους για τους οποίους δεν ήταν εφικτή η κατασκευή ενός ακριβούς αντιγράφου της ανθρώπινης μύτης είναι η υψηλή ιδιομορφία των ανθρώπινων δεκτών. Η υψηλή ιδιομορφία απαιτεί μία συνεχιζόμενη αλληλεπίδραση μεταξύ του αισθητήρα και του αερίου που

πρέπει να γίνει κατανοητό. Ακόμα και μετά από εκατομμύρια έτη εξέλιξης, τα ανθρώπινα κύτταρα δεκτών έχουν διάρκεια ζωής μόνο μερικών εβδομάδων. Αυτό καταδεικνύει το υψηλό κόστος που έχει η αίσθηση της όσφρησης στη φύση και τις προκλήσεις που έχει να αντιμετωπίσει η ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας όπου η διάρκεια ζωής των αισθητήρων πρέπει να είναι πολύ μεγαλύτερη.

Επίσης, πρέπει να ληφθεί υπόψη η κατάταξη των διαφορετικών αισθητήρων αφού για κάθε τύπο αισθητήρων είναι διαθέσιμη μία ποικιλία από δυνατότητες ως προς το συντονισμό της ιδιομορφίας τους. Για παράδειγμα, για τα ευαίσθητα υλικά παραγωγής αισθητήρων μεταλλικών οξειδίων, χρησιμοποιούνται πολλά διαφορετικά στοιχεία, εφαρμόζονται διαφορετικές διαδικασίες παραγωγής, χρησιμοποιούνται διαφορετικά ηλεκτρόδια και διαφορετικά στρώματα φίλτρων ενώ είναι δυνατόν να απαιτούνται διαφορετικές θερμοκρασίες. Αν και ο αισθητήρας μεταλλικού οξειδίου (MOX) μπορεί να θεωρηθεί ως ένας από τους τυποποιημένους αισθητήρες μέσα στον τομέα της Electronic Nose, η ίδια ποικιλομορφία βρίσκεται και για άλλες αρχές μετατροπών, είτε πρόκειται για επιφάνεια, όγκο, ακουστικούς αισθητήρες κυμάτων, κρυσταλλολυχνίες επίδρασης μεταλλικών οξειδίων ή πολυμερείς αισθητήρες.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ακόμη και συνδυάζοντας όλους τους τύπους των διαθέσιμων αισθητήρων υπάρχουν όρια στη χρησιμοποίηση των διαστάσεων του αισθητήριου πίνακα. Η λήψη των νέων πληροφοριών για τη σύνθεση της μυρωδιάς αυξάνει το μέγεθος του πίνακα, ενισχύοντας το θόρυβο κάτι το οποίο οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην ευαισθησία προς τις ασήμαντες πληροφορίες.

Η καλύτερη μέθοδος για την κατηγοριοποίηση μιας σειράς από εφαρμογές eNose που βασίζονται σε αισθητήρες δεν είναι βάση της χρήσης πολλών και διαφορετικών αισθητήρων αλλά μέσα από την επιλογή με βάση την εκάστοτε επιθυμητή εφαρμογή και τη γνώση των αναλυτικών στοιχείων. Αυτός είναι ο μόνος τρόπος για τη διασφάλιση ότι οι ουσίες που πρέπει να ανιχνευθούν προκαλούν το συγκεκριμένο σήμα. Οι αρχικές προσπάθειες στην τεχνολογία Electronic Nose υιοθέτησαν μία μέθοδο “μαύρων κουτιών” στα συσχετιζόμενα αποτελέσματα των αισθητήρων με τις παραμέτρους μέτρησης, ελπίζοντας

τυφλά ότι, παρά τις αλλαγές στους όρους μέτρησης, ο συσχετισμός παραμένει αξιόπιστος. Αυτή η προσέγγιση μπορεί συχνά να βρεθεί στη θεωρία και έχει συχνά καλά αποτελέσματα για μία περιορισμένη συλλογή δειγμάτων ή περιοριστικές παραμέτρους. Υπάρχουν εφαρμογές όπου τέτοιες προσεγγίσεις μπορούν να παρέχουν λογικά αποτελέσματα, αλλά συχνά υπάρχει ο κίνδυνος των λανθασμένων παραμέτρων, όπως για παράδειγμα στη διάγνωση του καρκίνου του πνεύμονα όπου τέτοιες παράμετροι είναι η ηλικία των προσώπων δοκιμής ή το κάπνισμα τσιγάρων [14].

Μπορεί να αποδειχθεί ότι με τη χρήση αισθητήρων με διαφορετικές αρχές μετατροπών, το κέρδος σε χρήσιμες πληροφορίες που συσχετίζονται με την αύξηση του συνόλου των αισθητήρων είναι πολύ μεγάλο. Οι αισθητήρες με τις διαφορετικές αρχές μετατροπών θα είναι εκλεκτικοί ως προς την επιλογή των διαφορετικών κατηγοριών ουσιών και θα καταστεί επομένως δυνατόν να παραχθούν πρόσθετες πληροφορίες. Ως εκ τούτου, τα τελευταία χρόνια οι αρχικοί τύποι αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν για τις ηλεκτρονικές μύτες ήταν όχι μόνο ενισχυμένοι αλλά συμπληρωμένοι από άλλες τεχνολογίες που εισήχθησαν σε αυτόν τον τομέα. Η σειρά των διαθέσιμων eNose συσκευών που υπάρχουν σήμερα δεν περιορίζονται στους chemoresistors ή στους βαρυμετρικούς αισθητήρες αλλά περιλαμβάνουν και εκείνους που είναι βασισμένοι σε οπτικούς αισθητήρες ή ακόμα και συστήματα χωρίς μορφωματική οργάνωση, όπως μαζικά φασματόμετρα ή χρωματογράφους αερίου λάμψης.

Η τεχνική όσφρηση έχει ωφεληθεί από τις επιστημονικές εξελίξεις σε άλλους τομείς όπως τις οπτικές τεχνολογίες που αναπτύσσονται, τη βιομηχανία τηλεπικοινωνιών αλλά και την αναλυτική χημεία. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ελάττωση του χάσματος μεταξύ της παραδοσιακής Electronic Nose τεχνολογίας που χρησιμοποιείτο ως “μαύρο κουτί” και της κλασσικής χημείας που στοχεύει στο ορισμό της ποσότητας για κάθε συστατικό ενός δεδομένου δείγματος. Παρακάτω θα φανεί ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί μία συσκευή eNose καθώς και τα μέρη από τα οποία αποτελείται.

### 3.4 Βασικές αρχές της Electronic Nose

Οι αισθητήρες αερίου που χρησιμοποιούνται σε συστήματα ηλεκτρονικής μύτης αποτελούν μία ταχεία και αξιόπιστη νέα τεχνολογία η οποία πετυχαίνει κάτι που μέχρι τώρα ήταν αδύνατο δηλαδή τον συνεχή και ρεαλιστικό έλεγχο οσμών επιτόπου κατά τη διάρκεια ωρών, ημερών, εβδομάδων ή ακόμα και μηνών.

Μία ηλεκτρονική συσκευή μπορεί επίσης να παρακάμψει πολλά άλλα προβλήματα που συνδέονται με το ανθρώπινο οσφρητικό σύστημα, όπως ατομικές διαφορές μεταξύ ανθρώπων, προσαρμοστικότητα (η οποία γίνεται λιγότερο ευαίσθητη μετά από παρατεταμένη έκθεση), κούραση, μολύνσεις, διανοητική κατάσταση, υποκειμενικότητα και έκθεση σε επικίνδυνες χημικές ενώσεις. Στην πραγματικότητα, η ηλεκτρονική μύτη μπορεί να δημιουργήσει προφίλ έκθεσης σε οσμές πέρα από τις δυνατότητες του ανθρώπινου οσφρητικού συστήματος ή των τεχνικών μέτρησης της χρωματογραφίας αερίων ή της φασματογραφίας μάζας.

Η ηλεκτρονική μύτη είναι ένα σύστημα που αποτελείται από τρία λειτουργικά μέρη που λειτουργούν σειριακά σε ένα δείγμα οσμής τα οποία είναι:

- Ένας χειριστής δειγμάτων.
- Μία διάταξη αισθητήρων αερίου.
- Ένα σύστημα επεξεργασίας σήματος.

Η έξοδος της ηλεκτρονικής μύτης μπορεί να είναι η ταυτότητα της οσμής, μία εκτίμηση της συγκέντρωσης της οσμής ή οι χαρακτηριστικές ιδιότητες της οσμής όπως αυτές γίνονται αντιληπτές από έναν άνθρωπο.

Θεμελιώδης ιδέα στην Electronic Nose τεχνολογία αποτελεί η αποδοχή ότι κάθε αισθητήρας στη διάταξη έχει διαφορετική ευαισθησία. Για παράδειγμα, η οσμή υπ. Αριθ. 1 μπορεί να παραγάγει μία υψηλή απόκριση σε έναν αισθητήρα και χαμηλότερες αποκρίσεις σε άλλους, ενώ η οσμή υπ. αριθ. 2 να παραγάγει υψηλές αποκρίσεις σε άλλους αισθητήρες εκτός από αυτόν που είχε η οσμή υπ. Αριθ. 1. Αυτό που είναι σημαντικό είναι ότι το πρότυπο της απόκρισης από τη διάταξη των αισθητήρων είναι διαφορετικό για διαφορετικές οσμές. Αυτή η διάκριση επιτρέπει στο σύστημα να προσδιορίσει μία άγνωστη οσμή από το πρότυπο τις αποκρίσεις των αισθητήρων. Κάθε αισθητήρας στη διάταξη έχει

ένα μοναδικό προφίλ απόκρισης στο φάσμα οσμών που βρίσκεται υπό δοκιμή. Το πρότυπο απόκρισης σε όλους τους αισθητήρες στη διάταξη χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό και χαρακτηρισμό της κάθε μυρωδιάς.

### **3.5 Αντίληψη μίας οσμής**

Σε μια τυπική ηλεκτρονική μύτη, ένα δείγμα αέρα τραβιέται από μια αντλία κενού μέσω ενός σωλήνα σε ένα μικρό θάλαμο όπου υπάρχει η ηλεκτρονική διάταξη αισθητήρων [15]. Ο σωλήνας μπορεί να είναι φτιαγμένος από πλαστικό ή ανοξείδωτο χάλυβα. Έπειτα, η μονάδα χειρισμού του δείγματος εκθέτει τους αισθητήρες στην οσμή, παράγοντας μια προσωρινή απόκριση καθώς οι πτητικές οργανικές ενώσεις της οσμής αλληλεπιδρούν με την επιφάνεια και τον όγκο του ενεργού υλικού του αισθητήρα. (Νωρίτερα, κάθε αισθητήρας έχει οδηγηθεί σε μια γνωστή κατάσταση μέσω διαβίβασης καθαρού, ξηρού αέρα ή κάποιου άλλου αερίου αναφοράς πάνω στα ενεργά στοιχεία του αισθητήρα). Μια συνθήκη σταθερής κατάστασης επιτυγχάνεται μέσα σε μερικά δευτερόλεπτα ως λίγα λεπτά, ανάλογα με τον τύπο των αισθητήρων.

Κατά τη διάρκεια αυτού του διαστήματος, η απόκριση του αισθητήρα καταγράφεται και παραδίδεται στη μονάδα επεξεργασίας σήματος. Κατόπιν, ένα αέριο πλύσης όπως ένας ατμός οινοπνεύματος εφαρμόζεται στη διάταξη αισθητήρων για μερικά δευτερόλεπτα ως ένα λεπτό, ώστε να αφαιρεθεί το μίγμα οσμών από την επιφάνεια και τον όγκο του ενεργού υλικού του αισθητήρα. (Μερικοί κατασκευαστές επιλέγουν να παραβλέψουν αυτό το βήμα πλύσης). Τελικά, το αέριο αναφοράς εφαρμόζεται στη διάταξη, για να την προετοιμάσει για έναν νέο κύκλο μέτρησης. Η περίοδος κατά τη διάρκεια της οποίας η οσμή εφαρμόζεται στη διάταξη αισθητήρων καλείται χρόνος απόκρισης της διάταξης. Η περίοδος κατά τη διάρκεια της οποίας τα αέρια πλύσης και τα αέρια αναφοράς εφαρμόζονται στη διάταξη καλείται χρόνος αποκατάστασης.

### **3.6 Χαρακτηριστικοί αισθητήρες Electronic Nose**

Οι αισθητήρες Ηλεκτρονικής Μύτης χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες:

1. Αισθητήρες αγωγιμότητας.
2. Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες.
3. Αισθητήρες Mosfet.
4. Οπτικοί αισθητήρες.

Ακολουθεί η ανάλυση των παραπάνω.

### **3.6.1 Αισθητήρες αγωγιμότητας**

Όσον αφορά τους αισθητήρες αγωγιμότητας, υπάρχουν δύο τύποι από αυτούς:

- Αισθητήρας οξειδίων μετάλλων (Metal Oxide Sensor).
- Αισθητήρας πολυμερών (Polymer Sensor).

Και οι δύο τύποι παρουσιάζουν μία ιδιότητα αλλαγής της αγωγιμότητάς τους όταν εκτίθεται σε πτητικές οργανικές ενώσεις.

#### **3.6.1.1 Αισθητήρας οξειδίων μετάλλου**

Οι αισθητήρες ημιαγωγών οξειδίων μετάλλων έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενέστερα σε όργανα ηλεκτρονικής μύτης και είναι ευρέως διαθέσιμοι στο εμπόριο. Χαρακτηριστικοί τύποι αισθητήρων οξειδίων μετάλλων περιλαμβάνουν τα οξείδια του κασσίτερου, του ψευδάργυρου, του τιτανίου, του βολφραμίου και του ιριδίου κατεργασμένα με κάποιο ευγενή καταλύτη μετάλλων όπως ο λευκόχρυσος ή το παλλάδιο. Το κατεργασμένο ημιαγωγικό υλικό με το οποίο αλληλεπιδρούν οι πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds VOC) τοποθετείται μεταξύ δύο επαφών του μετάλλου πάνω από ένα ανθεκτικό στοιχείο θέρμανσης, το οποίο λειτουργεί στους 200 με 400 °C. Σε αυτήν την υψηλή θερμοκρασία, η διασπορά θερμότητας γίνεται ένας σημαντικός παράγοντας στη μηχανική σχεδίαση του θαλάμου αισθητήρων. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας του.





**Σχήμα 3: Αισθητήρας οξειδίου μετάλλων**

Συχνά είναι απαραίτητο να γίνει εφαρμογή της Μικρομηχανικής για τη λέπτυνση τους υποστρώματος των αισθητήρων κάτω από το ενεργό υλικό, έτσι ώστε οι απαιτήσεις σε κατανάλωση ισχύος και διασπορά θερμότητας να μειωθούν. Καθώς μία πτητική οργανική ένωση (VOC) περνά πάνω από το κατεργασμένο υλικό οξειδίου, η αντίσταση μεταξύ των δύο επαφών του μετάλλου αλλάζει αναλογικά προς τη συγκέντρωση της VOC.

Η συνταγή για το ενεργό υλικό των αισθητήρων σχεδιάζεται έτσι ώστε να ενισχύσει την απόκριση σε συγκεκριμένες ενώσεις που περιέχονται στις οσμές, όπως είναι το μονοξείδιο του άνθρακα ή η αμμωνία. Η επιλεκτικότητα μπορεί να βελτιωθεί ακόμα περισσότερο αλλάζοντας την θερμοκρασία λειτουργίας. Η ευαισθησία των αισθητήρων κυμαίνεται από 5 έως 500 μέρη ανά εκατομμύριο. Ο αισθητήρας αποκρίνεται επίσης στο νερό, τον ατμό, και πιο συγκεκριμένα σε

διαφορές στην υγρασία μεταξύ του δείγματος αερίου όπου αναλύεται και ένα γνωστό αέριο αναφοράς που χρησιμοποιείται για την αρχικοποίηση του αισθητήρα.

Η βασική απόκριση των αισθητήρων οξειδίων μετάλλου ενδέχεται να αλλάξει κατά τη διάρκεια περιόδων ωρών έως και ημερών, οπότε κατάλληλοι αλγόριθμοι επεξεργασίας σήματος πρέπει να υιοθετηθούν ώστε να λάβουν υπόψη τους αυτή την ιδιότητα. Οι αισθητήρες είναι επίσης ευαίσθητοι σε δηλητηρίαση από τις ενώσεις θείου που μπορεί να είναι παρούσες στο μίγμα της οσμής. Παρόλα αυτά, η ευρεία διαθεσιμότητά τους και το σχετικά χαμηλότερο κόστος απόκτησης και χρήσης τους, τους καθιστά τους πλέον ευρέως χρησιμοποιημένους αισθητήρες αερίου σήμερα.

### **3.6.2.2 Αισθητήρες πολυμερών**

Οι αγώγιμοι αισθητήρες πολυμερών αποτελούν το δεύτερο τύπο αισθητήρα αγωγιμότητας και χρησιμοποιούνται επίσης πολύ συχνά σε συστήματα ηλεκτρονικής μύτης. Στην περίπτωση αυτή, το ενεργό υλικό είναι ένα αγώγιμο πολυμερές από οικογένειες όπως polyaryoles, thiophenes, indoles ή furans. Αλλαγές στην αγωγιμότητα αυτών των υλικών εμφανίζονται όταν εκτίθενται σε διάφορους τύπους χημικών ουσιών, οι οποίες δεσμεύονται από το πολυμερές υπόστρωμα. Η δέσμευση μπορεί να είναι ιοντική ή σε μερικές περιπτώσεις, ομοιοπολική. Η αλληλεπίδραση επηρεάζει τη μεταφορά ηλεκτρονίων κατά μήκος της πολυμερούς αλυσίδας, δηλαδή η αγωγιμότητα επηρεάζεται έντονα από τα αντίθετα – ιόντα και τις λειτουργικές ομάδες που κολλούν στο πολυμερές υπόστρωμα.

Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν αυτά τα πολυμερή σε μία συσκευή αισθητήρων, υιοθετούνται τεχνικές μικρομηχανικής για τη διαμόρφωση δύο ηλεκτροδίων που χωρίζονται από ένα χάσμα 10 έως 20 μικρομέτρων. Κατόπιν, το αγώγιμο πολυμερές ηλεκτροπολυμερίζεται μεταξύ των ηλεκτροδίων με την κυκλική εναλλαγή της τάσης μεταξύ τους. Για παράδειγμα, στρώματα από polyaryoles μπορεί να σχηματιστούν με την κυκλική εναλλαγή μεταξύ -0,7 και +1,4 Volt. Μεταβάλλοντας το ρυθμό σάρωσης της τάσης παράγεται μία ποικιλία ενεργών υλικών. Ο χρόνος απόκρισης είναι αντιστρόφως ανάλογος προς το

πάχος του πολυμερούς. Για να επιταχυνθεί ο χρόνος απόκρισης, διαμορφώνονται μεταξύ των επαφών των ηλεκτροδίων αγώγιμες γέφυρες πολυμερούς μεγέθους μικρομέτρου.

Επειδή οι αγώγιμοι αισθητήρες πολυμερών λειτουργούν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, δε χρειάζονται κάποιο μέσο θέρμανσης και έτσι είναι ευκολότεροι να κατασκευαστούν. Η ηλεκτρονική διεπαφή είναι απλή, και είναι κατάλληλη για φορητά όργανα. Οι αισθητήρες μπορούν να ανιχνεύσουν μυρωδιές με ευαισθησία 0,1 μερών ανά εκατομμύριο, αλλά 10 έως 100 μέρη ανά εκατομμύριο είναι το πιο συνηθισμένο.

Το κύριο μειονέκτημα, σύμφωνα με το [15], των υπαρχόντων αισθητήρων αγώγιμων πολυμερών είναι ότι είναι δύσκολη και χρονοβόρα η διαδικασία ηλεκτροπολυμερισμού του ενεργού υλικού και για το λόγο αυτό παρουσιάζουν ανεπιθύμητες διακυμάνσεις από παρτίδα σε παρτίδα. Οι αποκρίσεις τους επίσης κυμαίνονται με το χρόνο και έχουν συνήθως μεγαλύτερη ευαισθησία από τους αισθητήρες οξειδίων μετάλλου στους υδρατμούς που τους καθιστούν ευαίσθητους στην υγρασία. Αυτή η ευαισθησία μπορεί να αποκρύψει την απόκριση στις πτητικές οργανικές ενώσεις των οσμών.

Επιπλέον, μερικά μόρια οσμής μπορούν να διαπεράσουν τον όγκο του πολυμερούς, αυξάνοντας το χρόνο αποκατάστασης των αισθητήρων και επιβραδύνοντας έτσι την αφαίρεση της οσμής από το πολυμερές υλικό. Αυτό επιμηκύνει τον κύκλο επεξεργασίας και μέτρησης για διαδοχικά δείγματα οσμών.

### **3.6.2 Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες**

Η οικογένεια των πιεζοηλεκτρικών αισθητήρων [15] έχει επίσης δύο μέλη τα οποία είναι:

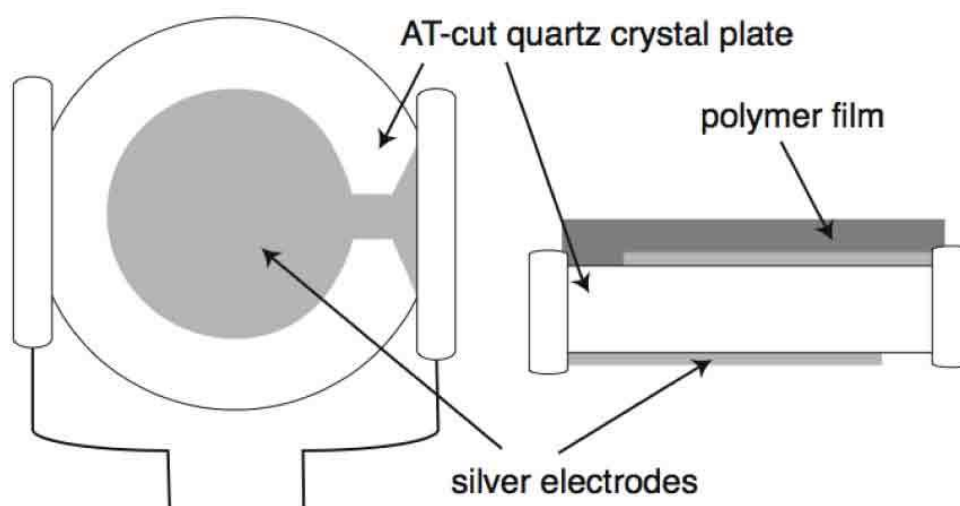
- Συσκευές Quartz Crystal Microbalance (QCM).
- Συσκευές Surface Acoustic-Wave (SAW).

Οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες μπορούν να μετρήσουν αλλαγές μάζας, θερμοκρασίας, πίεσης, δύναμης και επιτάχυνσης αλλά στην ηλεκτρονική μύτη, ρυθμίζονται να λειτουργούν ως συσκευές αντίληψης μεταβολών μάζας.

Αυτή η τεχνολογία βασίζεται πάνω σε δονούμενους κρυστάλλους χαλαζία (quartz), επενδυμένου με μία επίστρωση πολυμερούς υλικού. Και οι δύο τύποι αισθητήρων αναγνωρίζουν μεταβολές της συχνότητας που οφείλονται σε αλλαγές στη μάζα του πολυμερούς. Στην περίπτωση των αισθητήρων SAW αναγνωρίζονται επίσης μεταβολές στις ελαστικές ιδιότητες του πολυμερούς.

### 3.6.1.1 Αισθητήρες QCM

Οι τύποι QCM [15] αποτελούνται από έναν δονούμενο δίσκο μερικά χιλιοστά σε διάμετρο, με μεταλλικά ηλεκτρόδια συνδεδεμένα σε κάθε πλευρά. Η συσκευή δονείται με χαρακτηριστική συχνότητα (10MHz ως 30MHz) όταν διεγείρεται με ένα παλλόμενο σήμα.



Σχήμα 4: Αισθητήρας QCM

Κατά τη διάρκεια της κατασκευής, ένα επίστρωμα από πολυμερές υλικό εφαρμόζεται στο δίσκο, και με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται μείωση της συχνότητας δόνησης. Η μείωση είναι αντιστρόφως ανάλογη της μάζας των σωματιδίων οσμής που απορροφάται από το πολυμερές υλικό. Για

παράδειγμα ένα quartz (κρύσταλλος χαλαζία) με πάχος 166 $\mu\text{m}$  κομμένος κατά μήκος ενός ορισμένου άξονα, θα δονείται με συχνότητα 10Mhz και μία θετική αλλαγή (αύξηση) 0,01% στη μάζα, θα έχει σαν αποτέλεσμα μία αρνητική μετατόπιση κατά 1 KHz στη συχνότητα δόνησης. Έπειτα, όταν ο αισθητήρας εκτεθεί σε ένα αέριο αναφοράς, η συχνότητα θα επιστρέψει στην αρχική της τιμή.

Αρκετά πράγματα είναι γνωστά για τις συσκευές QCM. Ο στρατός πειραματίζεται με αυτές για πολλά χρόνια, χρησιμοποιώντας τέτοιες συσκευές στην ανίχνευση εκρηκτικών υλών και άλλων επικίνδυνων υλικών και στη μέτρηση μεταβολών μάζας με μια ανάλυση 1 picogram. Παραδείγματος χάριν, 1 picogram μεθανίου σε όγκο δείγματος 1 λίτρου σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης παράγει μια συγκέντρωση μεθανίου 1.4 μέρη ανά δισεκατομμύριο.

Επιπλέον, οι αισθητήρες QCM έχουν εντυπωσιακά γραμμική συμπεριφορά σε μία ευρεία δυναμική περιοχή. Η απόκρισή τους στο νερό εξαρτάται από το απορροφητικό υλικό που χρησιμοποιείται και η ευαισθησία στις μεταβολές της θερμοκρασίας μπορεί να γίνει αμελητέα.

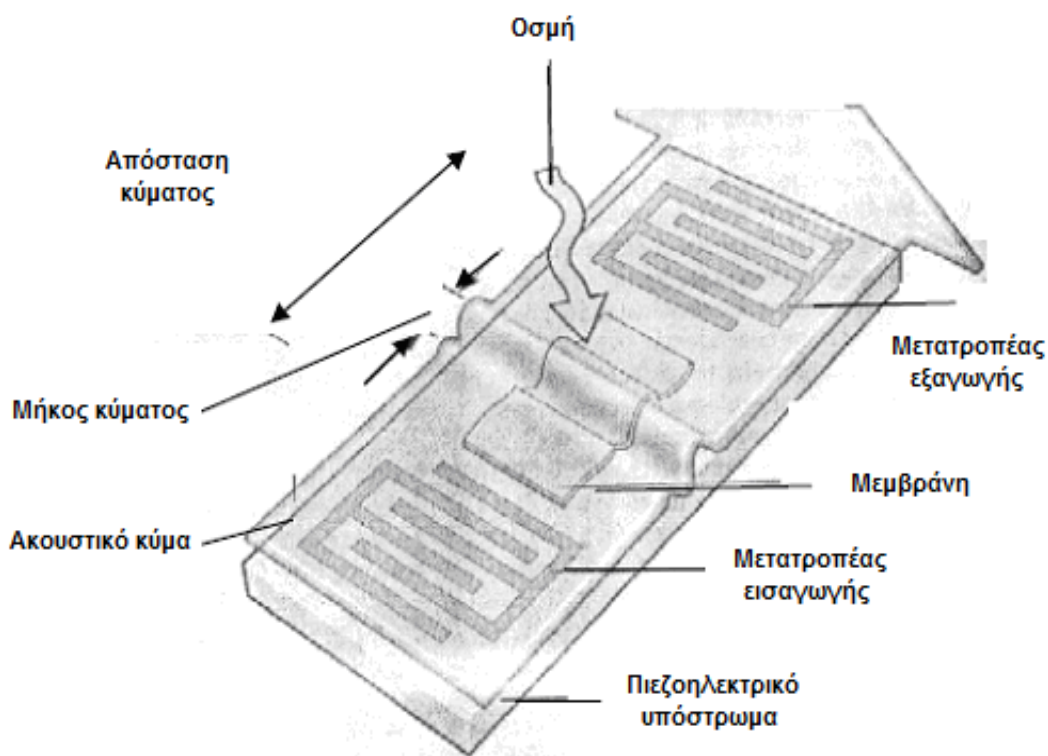
Η προσαρμογή του QCM για συγκεκριμένες εφαρμογές γίνεται με τη ρύθμιση του επιστρώματος πολυμερούς του αισθητήρα. Ευτυχώς, ένας μεγάλος αριθμός επιστρώσεων είναι διαθέσιμος από αυτούς που αναπτύχθηκαν για τη χρωματογραφία αερίων. Οι χρόνοι απόκρισης και αποκατάστασης του αισθητήρα ελαχιστοποιούνται μειώνοντας το μέγεθος και τη μάζα του κρυστάλλου χαλαζία μαζί με το πάχος του επιστρώματος πολυμερούς. Η ευμεταβλητότητα από μέτρηση σε μέτρηση δεν αποτελεί πρόβλημα επειδή αυτή η συσκευή μετράει κανονικοποιημένες μεταβολές στη συχνότητα, δηλαδή κάνει διαφορικές μετρήσεις που αφαιρούν τον κοινό θόρυβο.

Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί κατά την κατασκευή τρισδιάστατων συσκευών με τεχνικές επεξεργασίας μικροηλεκτρομηχανικών συστημάτων. Όταν οι διαστάσεις μειώνονται κάτω από μεγέθη μικρόμετρου, η αναλογία επιφάνειας προς όγκο αυξάνεται, και όσο μεγαλύτερη η αναλογία επιφάνειας-όγκου τόσο περισσότερο θόρυβο δέχεται η συσκευή λόγω διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια και προκαλούν αστάθειες. Ως εκ τούτου, η

αναλογία σήματος προς θόρυβο πέφτει με την αύξηση της αναλογίας επιφάνειας-όγκου, και με αυτόν τον τρόπο επηρεάζεται αρνητικά η ακρίβεια της μέτρησης. Πρέπει να σημειωθεί ότι το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται στις περισσότερες συσκευές η οποίες έχουν κατασκευαστεί με μεθόδους μικροκατασκευής.

### 3.6.1.2 Αισθητήρες SAW

Ο αισθητήρας SAW [15] έχει πολλές και σημαντικές διαφορές από τον αισθητήρα QCM. Κατ' αρχάς, ένα κύμα επιφάνειας (κύμα Rayleigh) ταξιδεύει μόνο επάνω στην επιφάνεια της συσκευής και όχι σε όλο τον όγκο του.



Σχήμα 5: Αισθητήρας SAW

Οι αισθητήρες SAW λειτουργούν σε πολύ υψηλότερες συχνότητες, και έτσι μπορούν να παράγουν μεγαλύτερες μεταβολές στη συχνότητα. Μία τυπική συσκευή SAW λειτουργεί σε εκατοντάδες megahertz σε αντίθεση με ένα QCM

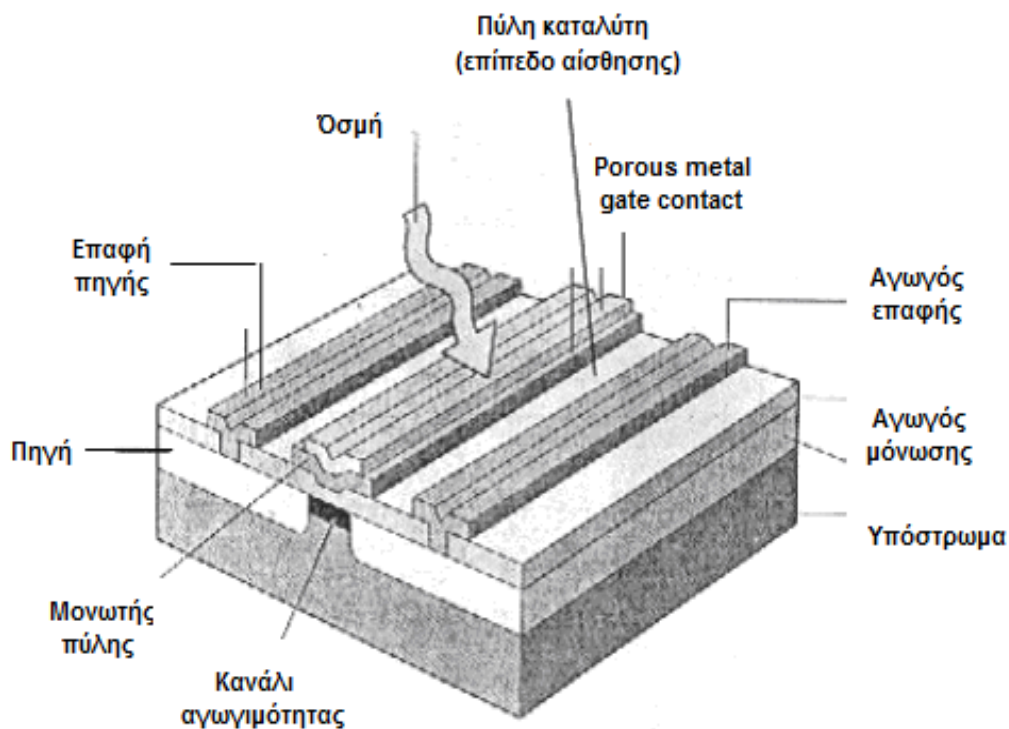
που λειτουργεί στα 10MHz, αν και η συσκευή SAW μπορεί να μετρήσει μεταβολές μάζας ίδιας τάξης μεγέθους με τα QCM. Ακόμα όμως κι αν το φάσμα συχνότητας είναι μεγαλύτερο, οι αυξημένες αναλογίες επιφάνειας προς όγκο σημαίνουν ότι η αναλογία σήματος-θορύβου είναι μικρότερη. Ως εκ τούτου, η συσκευή SAW είναι λιγότερο ευαίσθητη από το QCM σε μερικές περιπτώσεις.

Όντας επίπεδη, η συσκευή SAW μπορεί να κατασκευαστεί με μεθόδους φωτολιθογραφίας που έχουν αναπτυχθεί από τη βιομηχανία μικροηλεκτρονικών. Το γεγονός ότι δεν χρειάζονται τρισδιάστατες τεχνικές επεξεργασίας τους κάνει σχετικά φτηνότερους από τα αντίστοιχα QCM όταν παράγονται μεγάλες ποσότητες.

Όπως με τα QCM, πολλά επιστρώματα πολυμερών υλικών είναι διαθέσιμα, και όπως με τους άλλους τύπους αισθητήρων, διαφορικές μέθοδοι μετρήσεων μπορούν να εξαλείψουν τις επιδράσεις του κοινού θορύβου. Για παράδειγμα, δύο γειτονικές συσκευές SAW στο ίδιο υπόστρωμα (ο ένας με μία ενεργό μεμβράνη και ο άλλος χωρίς) μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως διαφορικό ζευγάρι για την αφαίρεση των μεταβολών θερμοκρασίας και θορύβου.

### **3.6.3 Αισθητήρας Mosfet**

Οι συσκευές ανίχνευσης οσμών Mosfet [15] βασίζονται στην αρχή ότι όταν οι πτητικές οργανικές ενώσεις των οσμών έρχονται σε επαφή με ένα καταλυτικό μέταλλο μπορεί να παράγουν μία αντίδραση και τα προϊόντα της αυτής αντίδρασης μπορούν να κινηθούν μέσω της πύλης mosfet αλλάζοντας τις ηλεκτρικές ιδιότητες της συσκευής. Μία τυπική Mosfet δομή έχει υπόστρωμα p-τύπου με δύο περιοχές n-τύπου με μεταλλικές επαφές που χαρακτηρίζονται ως πηγή (source) και υποδοχή (drain).



Σχήμα 6: Αισθητήρας Mosfet

Η ευαισθησία και η επιλεκτικότητα της συσκευής μπορούν να βελτιστοποιηθούν μεταβάλλοντας το τύπο και το πάχος του μεταλλικού καταλύτη με αντίστοιχη μεταβολή στη θερμοκρασία λειτουργίας. Οι αισθητήρες Mosfet έχουν ερευνηθεί σε πολυάριθμες εφαρμογές αλλά μέχρι σήμερα λίγοι έχουν χρησιμοποιηθεί σε εμπορικά συστήματα ηλεκτρονικής μύτης λόγω της έλλειψης παραλλαγών αισθητήρων.

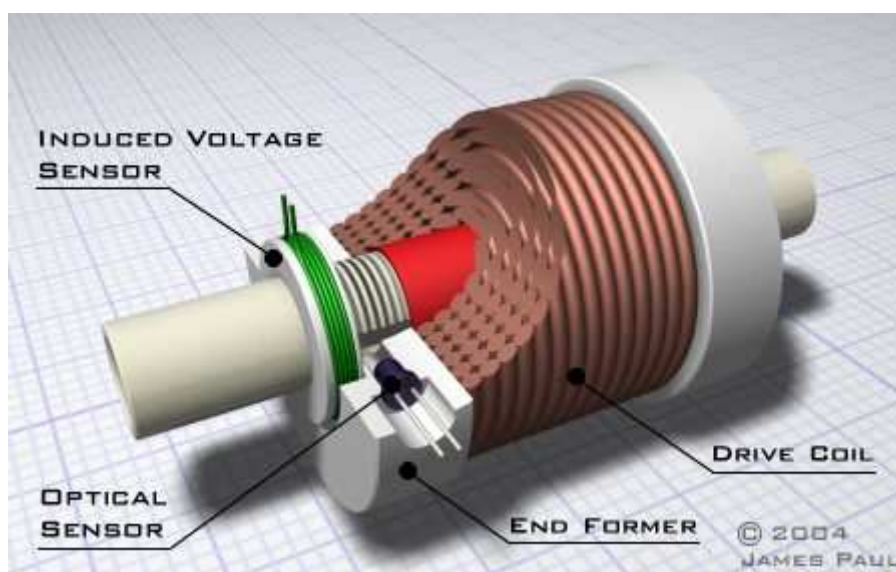
Τα πλεονεκτήματα των αισθητήρων MOSFET είναι ότι μπορούν να κατασκευαστούν με διαδικασίες κατασκευής IC (ολοκληρωμένων κυκλωμάτων), έτσι ώστε οι διακυμάνσεις από παρτίδα σε παρτίδα να ελαχιστοποιηθούν. Τα μειονεκτήματα είναι ότι τα προϊόντα της χημικής αντίδρασης όπως το υδρογόνο πρέπει να διαπεράσουν το στρώμα του καταλυτικού μετάλλου προκειμένου να επηρεαστεί η φόρτιση του καναλιού, επομένως η συσκευασία πρέπει να έχει ένα παράθυρο για να επιτρέψει στο αέριο να αλληλεπιδράσει με την πύλη στο ολοκληρωμένο κύκλωμα του τσιπ. Κατά συνέπεια είναι σημαντικό να σφραγιστούν ερμητικά οι ηλεκτρικές συνδέσεις του τσιπ σε επικίνδυνα και σκληρά περιβάλλοντα. Αυτές οι απαιτήσεις μπορούν να ικανοποιηθούν με τη



χρήση πολυμερών σωμάτων όπως polyimide, για το σφράγισμα όλων των περιοχών του τσιπ που δεν πρέπει να είναι σκόπιμα εκτεθειμένες στο περιβάλλον. Οι αισθητήρες Mosfet παρουσιάζουν μετατόπιση παρόμοια με αυτή των αισθητήρων αγωγιμότητας.

### 3.6.4 Οπτικοί αισθητήρες

Οι αισθητήρες οπτικών ινών [15] είναι ακόμη ένας τύπος αισθητήρων. Χρησιμοποιούν οπτικές ίνες με ένα λεπτό χημικά ενεργό υλικό επίστρωμα επάνω στις πλευρές ή οι άκρες τους. Μία πηγή φωτός συγκεκριμένης συχνότητας (ή σε μια στενή ζώνη συχνοτήτων) χρησιμοποιείται για να επιδράσει με το ενεργό υλικό, το οποίο στη συνέχεια αποκρίνεται με μια αλλαγή στο χρώμα του φωτός από την παρουσία των πτητικών οργανικών ενώσεων της οσμής με αποτέλεσμα να ανιχνευθεί και να μετρηθεί αυτή η αλλαγή.



Σχήμα 7: Οπτικοί αισθητήρες

Τα ενεργά υλικά περιέχουν χημικές ενεργές χρωστικές ουσίες φθορισμού οι οποίες επικάθονται σε ένα πλαίσιο οργανικού πολυμερούς υλικού. Καθώς τα σωματίδια της οσμής αλληλεπιδρούν με αυτό, η πολικότητα των χρωστικών ουσιών φθορισμού αλλάζει και αυτές αποκρίνονται με τη μετατόπιση του

φάσματος εκπομπής φθορισμού. Όταν ένας παλμός φωτός από μία εξωτερική πηγή “ρωτάει” τον αισθητήρα, η χρωστική ουσία φθορισμού αποκρίνεται με την εκπομπή φωτός διαφορετικής συχνότητας. Δεδομένου ότι η ένταση της πηγής είναι πολύ μεγαλύτερη από την απόκριση του αισθητήρα πρέπει να δοθεί προσοχή ώστε να εξασφαλιστεί ότι οι φωτοανιχνευτές απόκρισης προστατεύονται από τις εκπομπές της πηγής.

Το γεγονός που ευνοεί τους οπτικούς αισθητήρες είναι η διαθεσιμότητα πολλών διαφορετικών χρωστικών ουσιών που υπάρχουν από την έρευνα στη Βιολογία, έτσι ώστε αισθητήρες είναι φτηνοί και εύκολο να κατασκευαστούν. Είναι επίσης δυνατό να αναγνωρισθεί ένα συγκεκριμένο μόριο, και μόνο αυτό, όπως συμβαίνει στο ανθρώπινο ανοσοποιητικό σύστημα.

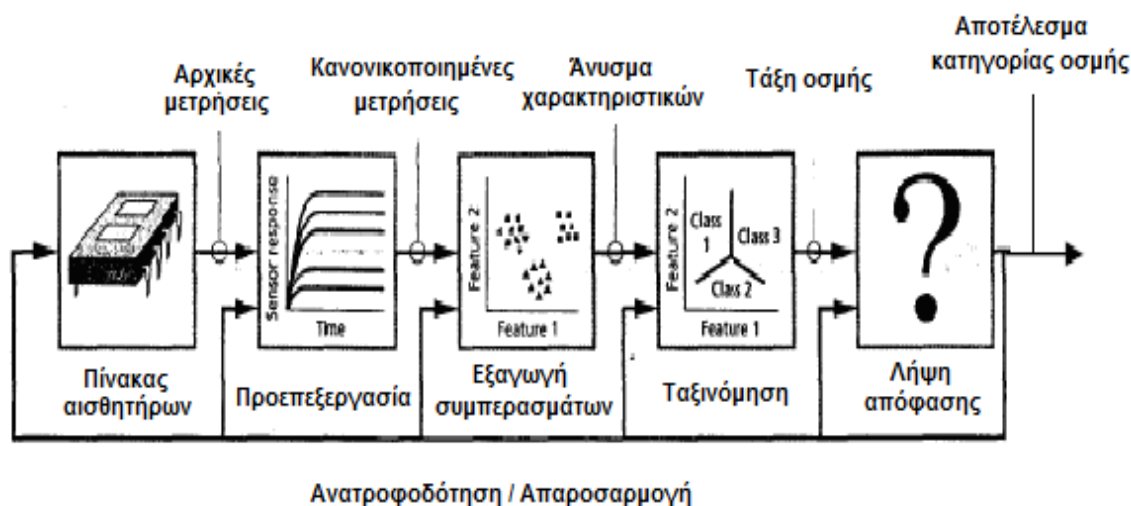
Κατά συνέπεια μία διάταξη οπτικών αισθητήρων μπορεί να έχει ευρύτερο φάσμα ευαισθησίας από άλλους τύπους αισθητήρων. Όπως με άλλους τύπους, διαφορεικές τεχνικές μέτρησης μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να αφαιρέσουν τον κοινό θόρυβο. Στα μειονεκτήματά τους συγκαταλέγονται η πολυπλοκότητα των συστημάτων κατασκευής, η οποία επιβαρύνει το κόστος, καθώς και η διάρκεια ζωής τους λόγω αποχρωματισμού. Η διαδικασία μέτρησης καταναλώνει αργά τις χρωστικές ουσίες φθορισμού, με τον ίδιο τρόπο που το φως του ήλιου ξεθωριάζει τα χρώματα των υφασμάτων.

### **3.7 Επεξεργασία σήματος και αναγνώριση προτύπων**

Ο στόχος μίας συσκευής Electronic Nose είναι η αναγνώριση ενός δείγματος οσμής καθώς και η πιθανότητα εκτίμησης συγκέντρωσής του. Τα μέσα που χρησιμοποιεί είναι η επεξεργασία σήματος και η αναγνώριση προτύπων. Για ένα σύστημα ηλεκτρονικής μύτης αυτό τα δύο βήματα μπορούν να διαιρεθούν σε τέσσερα διαδοχικά στάδια [15]:

1. Προεπεξεργασία των μετρήσεων του αισθητήρα.
2. Εξαγωγή γενικών χαρακτηριστικών.
3. Ταξινόμηση-κατάταξη.
4. Λήψη αποφάσεων.

Προηγουμένως όμως, πρέπει να δημιουργηθεί μία βάση δεδομένων της αναμενόμενης οσμής και το δείγμα πρέπει να εκτεθεί στη διάταξη αισθητήρων της ηλεκτρονικής μύτης.



Σχήμα 8: Επεξεργασία σήματος και αναγνώριση προτύπων

Η προ-επεξεργασία αντισταθμίζει τις αποκλίσεις των μετρήσεων των αισθητήρων, συμπύσσει τις μεταβατικές αποκρίσεις της διάταξης αισθητήρων, και μειώνει τις παρεκκλίσεις από δείγμα σε δείγμα. Τυπικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι η κατάλληλη ρύθμιση της βασικής απόκρισης των αισθητήρων, η κανονικοποίηση του εύρους απόκρισης των αισθητήρων στη διάταξη (μία σταθερά κανονικοποίησης μπορεί μερικές φορές να χρησιμοποιηθεί ώστε να υπολογιστεί η συγκέντρωση της οσμής) καθώς και η σύμπτυξη των μεταβατικών αποκρίσεων των αισθητήρων.

Το στάδιο εξαγωγής γενικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων έχει δύο σκοπούς:

- Την ελάττωση του αριθμού διαστάσεων του χώρου μέτρησης.
- Την εξαγωγή πληροφοριών που θα βοηθήσουν την αναγνώριση προτύπων.

Για παράδειγμα, σε μία ηλεκτρονική μύτη με 32 αισθητήρες, ο χώρος μέτρησης έχει 32 διαστάσεις. Ο χώρος αυτός μπορεί να οδηγήσει σε στατιστικά προβλήματα εάν η βάση δεδομένων των οσμών περιέχει μόνο λίγα παραδείγματα, πράγμα συνηθισμένο σε εφαρμογές αναγνώρισης προτύπων

λόγω του κόστους της συλλογής δεδομένων. Επιπλέον, εφόσον οι αισθητήρες έχουν αλληλεπικαλυπτόμενες ευαισθησίες παρουσιάζεται υψηλός βαθμός πλεονασμού σε αυτές τις 32 διαστάσεις. Αναλόγως, είναι βολικό να προβληθούν οι 32 διαστάσεις σε λίγους πληροφοριακούς και ανεξάρτητους άξονες. Αυτή η προβολή λίγων διαστάσεων (τυπικά σε 2 ή 3 άξονες) έχει το προστιθέμενο πλεονέκτημα ότι μπορεί να επιθεωρηθεί ευκολότερα οπτικά.

Η εξαγωγή των γενικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων της οσμής εκτελείται γενικά με γραμμικούς μετασχηματισμούς όπως η κλασική μέθοδος PCA (Principal Component Analysis) και η LDA (linear discriminate analysis). Η μέθοδος PCA βρίσκει τις προβολές της μέγιστης διαφοράς και είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιημένη γραμμική τεχνική εξαγωγής χαρακτηριστικών γνωρισμάτων. Αλλά δεν αποτελεί τη βέλτιστη μέθοδο για την φάση της ταξινόμησης-κατάταξης της οσμής δεδομένου ότι αγνοεί την ταυτότητα (ετικέτα κατηγορίας) των παραδειγμάτων οσμών που υπάρχουν στη βάση δεδομένων.

Η μέθοδος LDA, αφ' ετέρου, εξετάζει την ετικέτα κατηγορίας κάθε παραδείγματος. Ο στόχος του είναι να βρει τις προβολές που μεγιστοποιούν την απόσταση μεταξύ των παραδειγμάτων από διαφορετικές οσμές ενώ ταυτόχρονα ελαχιστοποιούν την απόσταση μεταξύ των παραδειγμάτων της ίδιας οσμής. Έτσι, για παράδειγμα, η μέθοδος PCA μπορεί να έχει καλύτερα αποτελέσματα με μια προβολή που περιέχει τυχαίο θόρυβο υψηλής μεταβλητότητας ενώ, η μέθοδος LDA μπορεί να έχει καλύτερα αποτελέσματα με μία προβολή που περιέχει διακριτική, αλλά ίσως κρίσιμη, πληροφορία οσμής. Η μέθοδος LDA είναι επομένως καταλληλότερη για σκοπούς ταξινόμησης-κατάταξης.

Διάφορες ερευνητικές ομάδες έχουν υιοθετήσει πρόσφατα μερικές μεθόδους μη γραμμικών μετασχηματισμών, όπως οι μη γραμμικοί χάρτες Sammon και οι αυτοοργανούμενοι χάρτες Kohonen. Οι χάρτες Sammon προσπαθούν να βρουν μία δισδιάστατη ή τρισδιάστατη χαρτογράφηση η οποία διατηρεί την απόσταση μεταξύ δύο δειγμάτων στο αρχικό 32-στατο χώρο. Οι χάρτες Kohonen προβάλλουν το 32-στατο χώρο επάνω σε ένα δισδιάστατο πλέγμα στοιχείων επεξεργασίας που αποκαλούνται νευρώνες.

Οι γειτονικοί νευρώνες εκπαιδεύονται να αποκρίνονται σε παρόμοιους τύπους ερεθισμάτων (οσμές), μια αυτοοργανωτική συμπεριφορά που έχει σαν κίνητρο νευροβιολογικούς παράγοντες. Καμία από αυτές τις τεχνικές δε χρησιμοποιεί τις ετικέτες κατηγορίας, έτσι δεν είναι κατάλληλοι για κατάταξη προτύπων. Μόλις τα δείγματα οσμών προβληθούν κατάλληλα σε ένα χώρο λίγων διαστάσεων, το στάδιο ταξινόμησης μπορεί να εκπαιδευθεί στην αναγνώριση προτύπων που είναι αντιπροσωπευτικά για κάθε οσμή. Έτσι, όταν παρουσιαστεί μία μη αναγνωρισμένη οσμή, το στάδιο κατάταξης θα είναι σε θέση να ορίσει για αυτό μια ετικέτα κατηγορίας (να προσδιορίσει δηλαδή την οσμή) συγκρίνοντας το πρότυπό της με εκείνα τα πρότυπα που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης. Οι κλασσικές μέθοδοι εκτέλεσης της φάσης ταξινόμησης είναι οι K-Nearest Neighbor (KNN) Bayesian classifiers, και τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα.

### **3.8 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα**

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα είναι εμπνευσμένα από τη βιολογία, αποτελούνται από στοιχεία (τεχνητοί νευρώνες) τα οποία συμπεριφέρονται κατά τρόπο ανάλογο των πιο στοιχειωδών λειτουργιών των βιολογικών κυττάρων. Οι τεχνητοί νευρώνες είναι οργανωμένοι κατά τέτοιο τρόπο ώστε να προσομοιώνουν την ανατομία του ανθρωπίνου εγκεφάλου. Παρά την όχι όμως και τόσο μεγάλη ομοιότητά τους με τον εγκέφαλο επιτυγχάνουν να προσεγγίσουν ένα μεγάλο αριθμό χαρακτηριστικών της δομής αλλά και λειτουργίας του εγκεφάλου [18]. Για παράδειγμα μαθαίνουν χρησιμοποιώντας εμπειρία την οποία έχουν συσσωρεύσει, έχουν την ικανότητα γενίκευσης από προηγούμενα παραδείγματα σε νέα, μπορούν να επεξεργαστούν μία ομάδα δεδομένων και να ξεχωρίσουν από αυτή τα ουσιωδέστερα χαρακτηριστικά.

Ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο (ΤΝΔ) αποτελεί μία μέθοδος επεξεργασίας πληροφορίας που εμπνέεται από τον τρόπο που νευρικά συστήματα, όπως ο εγκέφαλος, επεξεργάζονται τις πληροφορίες. Το στοιχείο κλειδί αυτής της μεθόδου είναι μία πρωτότυπη δομή συστημάτων επεξεργασίας πληροφοριών. Αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό πολυδιασυνδεδεμένων στοιχείων επεξεργασίας (νευρώνες) τα οποία λειτουργούν σε ομοφωνία για να λύσουν

συγκεκριμένα προβλήματα. Τα ΤΝΔ, όπως και οι άνθρωποι, μαθαίνουν μέσω παραδειγμάτων. Ένα ΤΝΔ διαμορφώνεται για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, όπως αναγνώριση προτύπων ή ταξινόμηση-κατάταξη δεδομένων μέσω μίας διαδικασίας εκμάθησης. Η διαδικασία της μάθησης στα βιολογικά συστήματα περιλαμβάνει μεταβολές στις συνάψεις-συνδέσεις που υπάρχουν μεταξύ των νευρώνων. Αυτό ισχύει και για τα ΤΝΔ, επίσης. Όσον αφορά την ηλεκτρονική μύτη, το ΤΝΔ μαθαίνει να αναγνωρίζει τις διάφορες χημικές ουσίες ή τις μυρωδιές μέσω παραδειγμάτων. Ένα τυπικό ΤΝΔ κατάταξης οσμών, αποτελείται από δύο ή περισσότερα στρώματα (επίπεδα) νευρώνων που συνδέονται με συνάψεις και βάρη (πολλαπλασιαστές, πραγματικοί αριθμοί) και οι οποίες συνδέουν την έξοδο κάθε νευρώνα με τις εισόδους των νευρώνων στο επόμενο επίπεδο. Κατά τη φάση της εκπαίδευσης, το ΤΝΔ προσαρμόζει τα βάρη των συνάψεων έτσι ώστε να μάθει να αναγνωρίζει τα πρότυπα διαφορετικών οσμών. Μετά την εκπαίδευση, όταν παρουσιαστεί στο ΤΝΔ μία άγνωστη οσμή, αυτή φορτώνεται στις εισόδους και προχωρά διαμέσου των διαδοχικών επιπέδων του ΤΝΔ έτσι ώστε να της αποδοθεί η ετικέτα κατάταξης που μεγιστοποιεί την απόκριση του συστήματος.

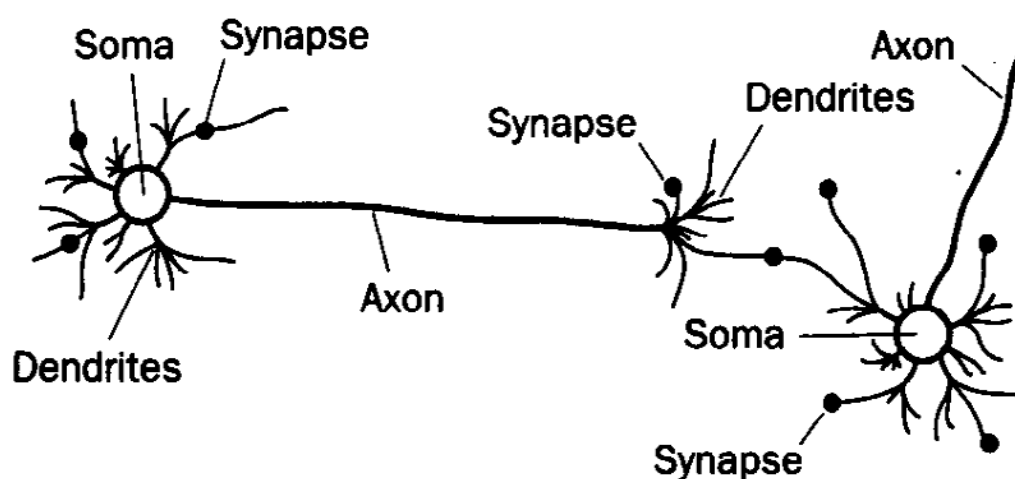
Τα ΤΝΔ χρησιμοποιούνται σε ένα ολοένα αυξανόμενο αριθμό πραγματικών εφαρμογών και μάλιστα σε προβλήματα μεγάλης πολυπλοκότητας. Το σημαντικότερο πλεονέκτημά τους εμφανίζεται στην επίλυση προβλημάτων τα οποία είναι υπερβολικά πολύπλοκα να λυθούν με συμβατικές τεχνολογίες, δηλαδή, προβλήματα που δεν έχουν αλγοριθμική λύση ή προβλήματα για τα οποία η αλγοριθμική επίλυση είναι πολύ δύσκολο να βρεθεί. Γενικά, και λόγω ότι τα ΤΝΔ προέκυψαν σε μια αφαίρεση του τρόπου που λειτουργεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος, τα ΤΝΔ είναι περισσότερο κατάλληλα για προβλήματα στα οποία οι άνθρωποι δίνουν λύση ευκολότερα από τους υπολογιστές. Αυτά περιλαμβάνουν προβλήματα αναγνώρισης προτύπων και πρόβλεψης. Επίσης, άλλο πλεονέκτημα σε σχέση με την ανθρώπινη ικανότητα αναγνώρισης προτύπων οσμών, είναι ότι τα ΤΝΔ δεν επηρεάζονται από παράγοντες όπως κόπωση, συνθήκες εργασίας, ψυχολογική κατάσταση.

Τα νευρωνικά δίκτυα προσφέρουν μία ισχυρή ικανότητα μη γραμμικής χαρτογράφησης. Η τεχνολογία Electronic Nose έχει υιοθετήσει αρκετούς τύπους νευρωνικών δικτύων για την ταξινόμηση των στοιχείων. Μερικά από

αυτά είναι τα Kohonen δίκτυα, η διανυσματική εκμάθηση LVQ και οι παραλλαγές του και τέλος ο MLP με τις παραλλαγές του backpropagation (BP) αλγορίθμου.

### 3.8.1 Δίκτυο νευρώνων

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα είναι σχετικά ακατέργαστα ηλεκτρονικά μοντέλα βασισμένα στη νευρική δομή των εγκεφάλων. Συγκεκριμένα, ο εγκέφαλος μαθαίνει από τις εμπειρίες. Το γεγονός ότι μερικά προβλήματα είναι πέρα από το φάσμα των παρόντων υπολογιστών και στην πραγματικότητα είναι διαλυτά (λύνονται) από ικανά πακέτα μικρής ενέργειας, αποτελεί φυσική απόδειξη. Το εγκεφαλικό μοντέλο υπόσχεται επίσης έναν λιγότερο τεχνητό τρόπο για την ανάπτυξη της λύσης μηχανών. Αυτή είναι μία νέα προσέγγιση του μοντέλου η οποία παρέχει επίσης, μία πιο κλιμακοποιημένη υποβάθμιση κατά την υπερφόρτωση του συστήματος από εκείνες των αντίστοιχών της παραδοσιακά. Στο Σχήμα 9 φαίνεται η σχέση μεταξύ των στοιχείων των νευρώνων.



Σχήμα 9: Εγκεφαλικός νευρώνας

Το παραδοσιακό στοιχείο διαδικασίας ενός νευρωνικού δικτύου είναι ο νευρώνας. Ο ανθρώπινος φραγμός της ανθρώπινης συνειδητοποίησης καλύπτει μερικές γενικές ικανότητες. Βασικά, ο βιολογικός νευρώνας λαμβάνει εισαγωγές από άλλες πηγές, τις συνδυάζει με κάποιους τρόπους, εκτελεί μία

γενικά μη γραμμική λειτουργία στο αποτέλεσμα και μετά εξάγει το τελικό συμπέρασμα.

### **3.8.2 Απλός ανθρώπινος νευρώνας**

Όπως φαίνεται στο προηγούμενο σχήμα το οποίο απεικονίζει τον ανθρώπινο εγκέφαλο, υπάρχουν πολλές μεταβλητές αυτού του βασικού τύπου νευρώνα, που κάνουν ακόμη πιο περίπλοκες τις προσπάθειες του ανθρώπου στην ηλεκτρονική προσομοίωση της διαδικασίας της σκέψης. Όλοι οι βασικοί νευρώνες έχουν τα ίδια τέσσερα στοιχεία. Αυτά τα στοιχεία αναφέρονται ως δεντρίτης, σώμα, άξονας και σύναψη. Οι δεντρίτες είναι προεκτάσεις του στοιχείου σώματος (μοιάζουν με τα πρόσθετα μαλλιά, *extensions*) και λειτουργούν ως κανάλια εισαγωγής. Αυτά τα κανάλια εισαγωγής λαμβάνουν την εισαγωγή μέσω της σύναψης άλλων νευρώνων. Τότε το σώμα επεξεργάζεται αυτά τα σήματα με την πάροδο του χρόνου. Το σώμα μετατρέπει την επεξεργασμένη τιμή σε εισαγωγή η οποία στέλνεται σε άλλους νευρώνες μέσω του άξονα και της σύναψης.

Η αρχιτεκτονική ενός νευρωνικού δικτύου χαρακτηρίζεται από τις παρακάτω ιδιότητες:

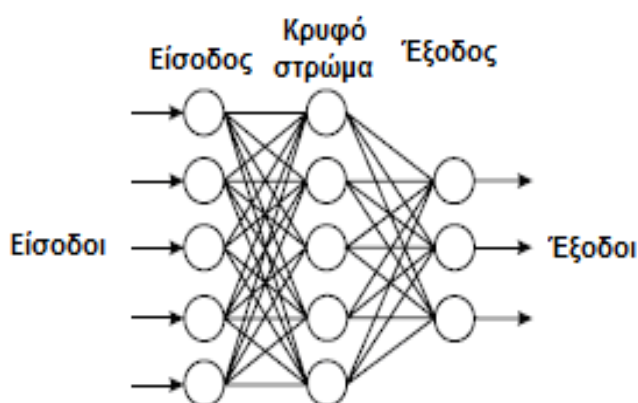
- Η λειτουργία ενεργοποίησης που χρησιμοποιείται στους νευρώνες (πυρήνες).
- Η τοπολογία των δικτύων.
- Ο αλγόριθμος εκπαίδευσης που χρησιμοποιείται.

Πρόσφατα πειραματικά στοιχεία παρέχουν περισσότερες αποδείξεις για το ότι οι βιολογικοί νευρώνες είναι δομικά περισσότερο περίπλοκοι από την απλοϊκή ερμηνεία που δόθηκε παραπάνω. Είναι σημαντικά πιο περίπλοκοι από τους υπάρχοντες τεχνητούς νευρώνες που δημιουργούνται σε τεχνητά νευρωνικά δίκτυα. Καθώς η βιολογία παρέχει καλύτερη κατανόηση των νευρώνων και η τεχνολογία βελτιώνεται, οι σχεδιαστές δικτύων μπορούν να συνεχίσουν να βελτιώνουν τα συστήματά τους δημιουργώντας πάνω στην ανθρώπινη κατανόηση του βιολογικού εγκεφάλου.



### 3.8.3 Πολυστρωματικά *perceptrons*

Από όλα τα διαφορετικά τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ANN) αυτό που είναι περισσότερο γνωστό είναι το multilayer perceptron (MLP)[15]. Το MLP όπως φαίνεται στο σχέδιο 6 είναι feed-forward δίκτυο με ένα ή περισσότερα στρώματα νευρώνων μεταξύ των νευρώνων εισόδου και εξόδου. Τα πρόσθετα στρώματα βρίσκονται στις κρυμμένες μονάδες που συνδέονται με καθεμία είσοδο ή έξοδο από τις σταθμισμένες συνδέσεις.



Σχήμα 10: Το δίκτυο multilayer perceptron

Το παραπάνω σχήμα παρουσιάζει την αρχιτεκτονική ενός multilayer perceptron με τις εισόδους, εξόδους και το κρυφό στρώμα.

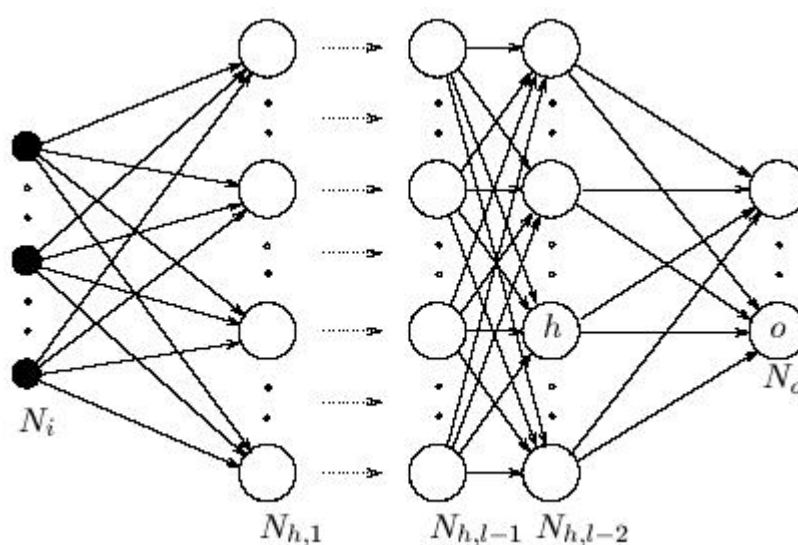
### 3.8.4 Εκπαίδευση δικτύων MLP

Η εκπαίδευση ενός δικτύου πολλών στρωμάτων είναι η διαδικασία ρύθμισης των συναπτικών βαρών του έτσι ώστε να ικανοποιείται κάποιο κριτήριο καταλληλότητας. Αυτός άλλωστε είναι και ο στόχος της εκπαίδευσης σε οποιοδήποτε νευρωνικό δίκτυο όπως, πχ. σε ένα απλό perceptron. Αυτό που κάνει την εκπαίδευση ενός δικτύου MLP πολύ πιο ενδιαφέρουσα είναι η ιδιότητα του καθολικού προσεγγιστή. Αυτή η ιδιότητα υποστηρίζει, με απλά λόγια, πως αν υπάρχει το κατάλληλο σε μέγεθος δίκτυο τότε αυτό μπορεί να

εκπαιδευτεί ώστε να μάθει οποιαδήποτε συνάρτηση με οποιαδήποτε ποιότητα προσέγγισης είναι επιθυμητή. Η δημοτικότητα των MLP αλγορίθμων εκπαίδευσης οφείλεται στο ότι τα απλά δίκτυα μπορούν να υλοποιήσουν μόνο γραμμικές διαχωριστικές επιφάνειες. Κυριότερος εκπρόσωπος των MLP αλγορίθμων είναι το Back propagation.

### 3.8.5 Back-propagation

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την εκμάθηση στα MLP δίκτυα είναι βασισμένη στην ελαχιστοποίηση μίας συνάρτησης κόστους και είναι γνωστή ως back-propagation (BP) αλγόριθμος [16]. Η έξοδος που παράγει ο αλγόριθμος back propagation προέρχεται από τον κανόνα δέλτα. Ο κανόνας δέλτα βασίζεται στην επιφάνεια λάθους που αντιπροσωπεύει το λάθος ως μια λειτουργία του δικτύου. Κάθε πιθανή διαμόρφωση βάρους δικτύου αντιπροσωπεύεται από ένα σημείο σε αυτήν την επιφάνεια λάθους. Μία λειτουργία εκτελείται αρχικά σε ένα σχέδιο εισαγωγής για να υπολογίσει το καθαρό λάθος. Το παράγωγο του λάθους των δικτύων όσον αφορά κάθε βάρος δίνει τις πληροφορίες για την κατεύθυνση που το λάθος του δικτύου θα κινηθεί. Εάν αυτό το παράγωγο είναι αρνητικό, προστίθεται έπειτα στο βάρος και το λάθος μειώνεται έως ότου φθάνει σε ένα τοπικό ελάχιστο.

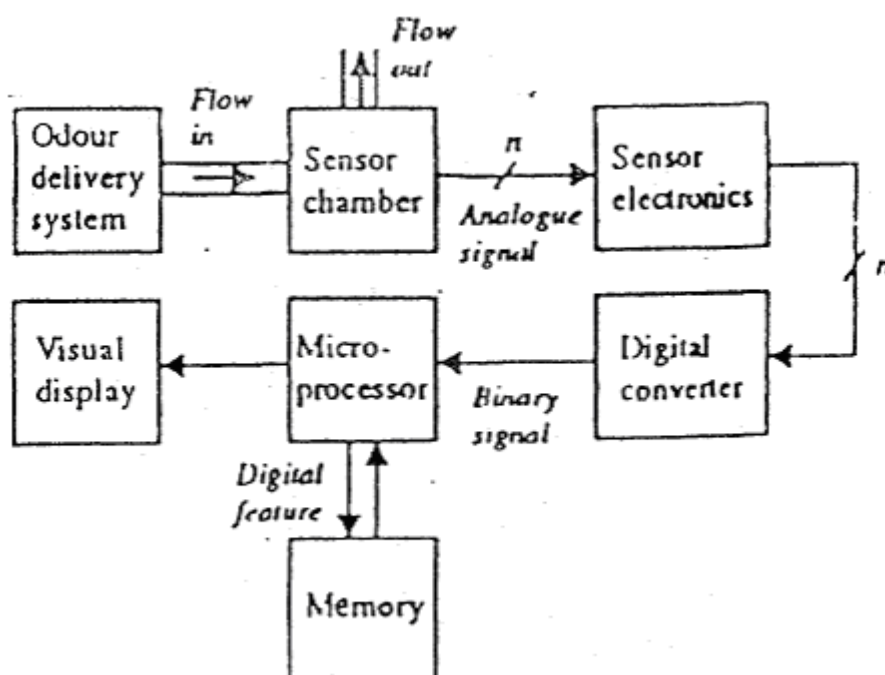


Σχήμα 11: Το νευρωνικό δίκτυο back propagation

Η διόρθωση λάθους αρχίζει από τα εξωτερικά και πηγαίνει προς τα κρυμμένα στρώματα, έπειτα προωθείται προς τα εσωτερικά επίπεδα στα βάρη στρώματος εισαγωγής και τέλος προς τα πίσω μέσω του δικτύου. Η εκπαίδευση του τεχνητού νευρωνικού δικτύου συνεχίζεται έως ότου ελαχιστοποιηθεί το λάθος ή μέχρι να περάσει ένας μέγιστος αριθμός εποχών εκπαίδευσης. Ο όρος που χρησιμοποιείται συχνά για να παρουσιάσει την εκπαίδευση του Back propagation είναι ο όρος ορμής.

### 3.9 Όργανα μέτρησης οσμών Electronic Nose

Τα βασικά στοιχεία ενός ηλεκτρονικού συστήματος-οργάνου μέτρησης οσμών παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα [15].



Σχήμα 12: Σύστημα οργάνων μέτρησης οσμών

Η οσμή οδηγείται πρώτα από το υπό εξέταση υλικό στο θάλαμο αισθητήρων. Υπάρχουν δύο κύριοι τρόποι με τους οποίους η μυρωδιά μπορεί να οδηγηθεί στον θάλαμο αισθητήρων, συγκεκριμένα μέσω δειγματοληψίας με επαφή με την

επιφάνεια του δείγματος (head space sampling) και μέσω έκχυσης (flow injection). Στην πρώτη μέθοδο, ένα επιφανειακό δείγμα του υπό εξέταση υλικού αφαιρείται από το υλικό και εισάγεται στο θάλαμο αισθητήρων μέσω είτε χειροκίνητης είτε αυτοματοποιημένης διαδικασίας.

Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα φέρων αέριο (carrier gas) για να μεταφέρει την οσμή από το σημείο όπου βρίσκεται το υπό εξέταση υλικό στο θάλαμο αισθητήρων με μία μέθοδο που αποκαλείται έγχυση ροής (flow injection). Ο θάλαμος αισθητήρων φιλοξενεί τη διάταξη των αισθητήρων οσμής που έχει επιλεγεί, όπως για παράδειγμα ημιαγώγιμοι αισθητήρες πολυμερών. Τα ηλεκτρονικά κυκλώματα της διάταξης αισθητήρων όχι μόνο μετατρέπουν το χημικό σήμα σε ηλεκτρικό σήμα αλλά και, συνήθως, το ενισχύουν και το ρυθμίζουν κατάλληλα. Αυτό μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας συμβατικά αναλογικά ηλεκτρονικά κυκλώματα (π.χ. ενισχυτές) και η έξοδος είναι κατόπιν ένα εύρος αναλογικής εξόδου, όπως 0 έως 5 volt συνεχές ρεύμα, ή 4 έως 20 mA, που προτιμάται αν χρησιμοποιηθεί καλώδιο μεγάλου μήκους. Το σήμα πρέπει μετέπειτα να μετατραπεί σε ψηφιακό χρησιμοποιώντας ένα μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό (Digital to Analog Converter - DAC), π.χ. ένα μετατροπέα των 12 bit, που ακολουθείται από έναν πολυπλέκτη για την παραγωγή ενός ψηφιακού σήματος το οποίο είτε στέλνεται στη σειριακή θύρα του μικροεπεξεργαστή είτε σε ένα ψηφιακό κανάλι. Από κει και πέρα, ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να προγραμματιστεί ώστε να εκτελέσει την απαιτούμενη επεξεργασία πάνω στο αποτύπωμα της οσμής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### 4. Εφαρμογές Electronic Nose

#### 4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξεταστούν κάποιες εργασίες που έχουν γίνει πάνω στον τομέα της Electronic nose. Θα εξεταστούν παραδείγματα εφαρμογών που εξετάζουν το νερό, τη γη, τον αέρα κ.λ.π. Αποτελούν παραδείγματα που μπορούν να αποδείξουν την ικανότητα μίας συσκευής Electronic Nose στην ανίχνευση, αξιολόγηση και ταξινόμηση διαφορετικών οσμών. Η παρακολούθηση του περιβάλλοντος είναι ένας πολλά υποσχόμενος τομέας για την ανάπτυξη της τεχνολογίας αυτής. Έτσι ο τομέας αυτός περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων.

Πιο συγκεκριμένα, θα εξεταστούν κάποιες εφαρμογές που έχουν κατασκευαστεί και έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορους τομείς ακόμη και στην ιατρική. Θα παρουσιαστούν αναλυτικότερα συσκευές για την ανίχνευση μικροοργανισμών που έχουν ως σκοπό τον έγκαιρο εντοπισμό της μόλυνσης του περιβάλλοντος. Ακόμη, παρατίθεται μία eNose εφαρμογή για την ανίχνευση εκρηκτικών υλών με απώτερο σκοπό τον τερματισμό των παραδοσιακών τρόπων ανίχνευσης όπως παραδείγματος χάριν στην εξουδετέρωση ναρκοπεδίων. Επίσης, μία πολλά υποσχόμενη εφαρμογή είναι αυτή της διάγνωσης του καρκίνου του πνεύμονα, και τέλος μία συσκευή για την αξιολόγηση της ποιότητας της μπίρας ανάμεσα σε ένα μεγάλο αριθμό διαφορετικών δειγμάτων.

#### 4.2 Ανίχνευση εκρηκτικών υλών

Η ανίχνευση εκρήξεων είναι ένα από τα προβλήματα για τα οποία μία ηλεκτρονική μύτη είναι η καταλληλότερη τεχνολογική λύση [18]. Κατά την παρούσα περίοδο, οι νάρκες ξηράς εντοπίζονται από σκυλιά, τα οποία χρησιμοποιούν τη μύτη τους για να μυρίζουν εκρηκτικές αναθυμιάσεις ή μικροποσότητες. Με την τρέχουσα τεχνολογία θα χρειαζόνταν σχεδόν χίλια χρόνια και εκατοντάδες εκατομμύρια δολάρια για να απομακρυνθούν όλες οι

νάρκες της γης. Αν μία ηλεκτρονική μύτη χρησιμοποιούνταν για αυτήν την κατάσταση θα έσωζε ανθρώπινες ζωές, θα δούλευε εικοσιτέσσερις ώρες το εικοσιτετράωρο χωρίς κόπωση και θα βελτίωνε την ασφάλεια για όλους τους ανθρώπους.

Το σύστημα που αναπτύχθηκε από τη Nomadics αναγνωρίζεται ως το καλύτερο από τις τρέχουσες διαθέσιμες συσκευές ανίχνευσης. Η μελλοντική επιτυχία της ηλεκτρονικής μύτης εξαρτάται από την ικανότητα αυτών των συσκευών να παραμερίσουν τους σκύλους. Την επόμενη δεκαετία θα προκύψουν τέτοια συστήματα.

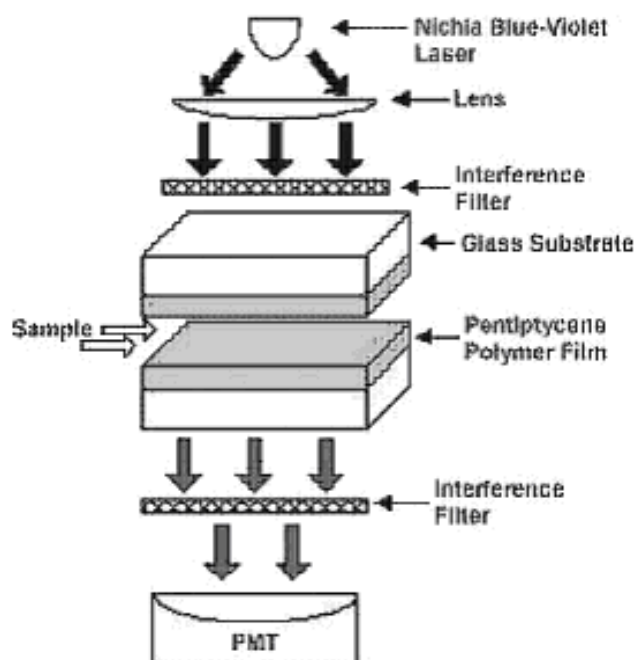
#### **4.2.1 Nomadics**

Ένα σχέδιο για την ανίχνευση εκρηκτικών είναι οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες οι οποίοι αποφέρουν ποιοτικές πληροφορίες για την ύπαρξη αυτών των στοιχείων (συστατικών). Στη βολτομετρία, η δυνατότητα ενός αισθητήρα κρατείται συνεχής και ο αισθητήρας ανιχνεύει την τιμή που προκύπτει από την ηλεκτροχημική οξειδωση ή τη μείωση. Σε αυτήν την περίπτωση, το σήμα μπορεί να ενοχληθεί από την παρουσία άλλων συστατικών ή από τη δημιουργία adosbates στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων κάνοντας τον αισθητήρα λιγότερο ευαίσθητο με την πάροδο του χρόνου. Για να ξεπεραστούν αυτά τα εμπόδια, χρησιμοποιήθηκε η κυκλική βολτομετρία στην οποία ένα ποικίλου χρόνου δυναμικό εφαρμόστηκε σε ένα χρυσό ηλεκτρόδιο σε σουλφριδικό οξύ και η προκύπτουσα τιμή καταγράφηκε ως λειτουργία του δυναμικού. Αυτός ο αισθητήρας βρίσκεται ακόμη στα αρχικά του στάδια και η ανίχνευση αποδείχθηκε μόνο για το TNT σε αέρια μορφή [17].

#### **4.2.2 Τρόπος λειτουργίας του Nomadics Fido**

Πιο συγκεκριμένα, η εταιρεία Nomadics Inc. στο Stillwater της Oklahoma, αναπτύσσει ένα μεγαλύτερης ευαισθησίας και διαλογής ανιχνευτή ναρκών βασισμένο στην ανίχνευση των μικροποσοτήτων αναθυμιάσεων TNT που αναδίδονται από μία νάρκη.

Ο ανιχνευτής ναρκών ξηράς της Nomadics' Fido (μιμούμενος το φθορισμό των οσφρητικών νεύρων του σκύλου) έχει επιδείξει την ικανότητά του να ανιχνεύει νάρκες σε αγρούς και είναι ίσως μία από τις πιο πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες συσκευών στην αγορά. Βασίζεται στα σφαιρώματα πολυμερούς υλικού φθορισμού της Swager group στο MIT. Ο φθορισμός πολλών πολυμερών σωμάτων μειώνεται, ένα ενιαίο μόριο μίας νιτροαρωματικής ένωσης δεσμεύεται στο πολυμερές σώμα. Στη φορητή του διαμόρφωση, το σύστημα αποτελείται από μικρές ενότητες αισθητήρων, ηλεκτρονικούς ανιχνευτές, σύστημα οθόνης ελέγχου, πακέτο μπαταριών και τοποθετημένους βραχίονες.



Σχήμα 13: Το σύστημα ανίχνευσης ναρκών Fido της Nomadics

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 13, ένα λέιζερ διέγερσης, με μπλε φωτάκι, έχει τροποποιηθεί και φιλτραρισθεί κατάλληλα για να περνά μία στενή ζώνη φωτός γύρω στα 405 nm [19]. Αυτή η ακτίνα είναι συνήθως υπαρκτή μέσα από δύο υποστρώματα γυαλιού ντυμένα στις επιφάνειες με χυτές ταινίες περιστροφής των πολυμερών σωμάτων πολυπτυσίνης. Τα ντυμένα υποστρώματα κρατιούνται σε μία κασέτα η οποία μπορεί να μετακινηθεί εύκολα από τη

συσκευή για τη διευκόλυνση της αντικατάστασης των ταινιών των πολυμερών σωμάτων. Διατηρείται ένα μικρό κενό ανάμεσα στα δύο υποστρώματα από ένα λεπτό πλήκτρο διαστήματος σε σχήμα U. Το πλήκτρο διαστήματος σχηματίζει μία σφραγίδα κατά μήκος των τριών άκρων του εσωτερικού των ντυμένων πολυμερών σωμάτων των υποστρωμάτων. Τα υποστρώματα δε σφραγίζονται κατά μήκος της τέταρτης άκρης. Αυτό το άνοιγμα λειτουργεί ως εσοχή δειγμάτων.

Ο ατμός εισέρχεται από την εσοχή στον όγκο δειγματοληψίας ανάμεσα από δύο υποστρώματα με τη βοήθεια μίας μικρής αντλίας. Η αντλία είναι συνδεδεμένη με μία θυρίδα εξόδου κατευθείαν στο πλήκτρο διαστήματος στην απέναντι πλευρά της εσοχής. Το διαβιβασθέν συναφές φως, μαζί με το εκπεμπόμενο φως φθορισμού, περνάει μέσα από το φίλτρο το οποίο επιτρέπει μόνο το σήμα φθορισμού στα 460 nm. Η ένταση εκπομπής από τις ταινίες μπορεί τότε να μετρηθεί με ένα σωλήνα φωτοπολλαπλασιαστών.

Εβδομήντα ένα δείγματα χύματος και νερού που περιέχουν εκρηκτικά ναρκών με πιθανές παρεμβάσεις και κενά παρουσιάστηκαν σε αυτόν τον ανιχνευτή, ο οποίος προσδιόρισε επιτυχημένα κάθε παρέμβαση και κενό χωρίς κανένα απολύτως λάθος σε συνθήκες εργαστηρίου. Σε αληθινές νάρκες ξηράς πραγματοποιήθηκε δοκιμή τυφλού τομέα από τη DARPA (Defence Advanced Research Project Agency) στον Ford Leonard Wood τομέα δοκιμών. Η πιθανότητα της ανίχνευσης ήταν 0,89 με μία πιθανότητα λάθους 0,27. Η Nomadics ελπίζει πως σύντομα θα παρουσιάσει μία ολοκληρωμένη παραγωγή του αναπτυσσόμενου τομέα Fido ανιχνευτών ναρκών, η οποία θα είναι καλύτερη από τις περισσότερες τρέχουσες μεθόδους ανίχνευσης εκρηκτικών. Σύμφωνα με το συγγραφέα, αυτή είναι η πρώτη μέθοδος ανίχνευσης ναρκών στον τομέα με αποτελέσματα συγκρίσιμα με εκείνα των σκύλων [8].

#### **4.2.3 Συμπεράσματα**

Μέχρι τώρα παρουσιάστηκε μία επισκόπηση αισθητήρων που ανιχνεύουν είτε τον ατμό είτε τα μόρια που περιέχονται στα εκρηκτικά που βρίσκονται συνήθως στις νάρκες. Οι αισθητήρες φτιάχνονται από ποικιλία τεχνολογιών, η κάθε μία εκ των οποίων έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα στην



επέκταση των τομέων. Οι περισσότεροι από τους αισθητήρες που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο είναι πέρα από την κατάσταση απόδειξης της έννοιας και οδηγούνται από τη βιομηχανία στην εμπορευματοποίηση αν και δεν υπάρχουν διαθέσιμα εμπορικά προϊόντα στην αγορά ακόμα τα οποία μπορούν να μυρίσουν νάρκες ξηράς. Ανάμεσα στις ηλεκτρονικές μύτες που φτιάχτηκαν για την ανίχνευση εκρηκτικών, έως τώρα ο Nomadics' Fido ανιχνευτής ναρκών ξηράς δείχνει ικανότητες παρόμοιες με εκείνες των σκυλιών. Ο επιτυχημένος ανιχνευτής θα έχει χαρακτηριστικά όπως η φορητότητα, η μεγάλη ευαισθησία στον ατμό των εκρηκτικών, η επιλεκτικότητα ανίχνευσης συγκεκριμένων μόνο ατμών μέσα στο σωρό, φιλική διεπαφή για τους απομεταλλωτές, πολύ χαμηλά ποσοστά λάθους σε χαμηλές συγκεντρώσεις και μεγάλη αντοχή.

#### **4.3 Ταξινόμηση μπίρας με τη βοήθεια Electronic Nose συσκευής**

Η λειτουργία αυτής της συσκευής ξεκινά όταν οι αισθητήρες ανιχνεύσουν τη μυρωδιά της μπίρας [21]. Το αποτέλεσμα μετατρέπεται από αναλογικό σε ψηφιακό και αναπαρίσταται με τη μορφή γραφικών παραστάσεων. Η τεχνητή νοημοσύνη είναι εργαλείο ενός σκεπτόμενου συστήματος το οποίο μπορεί να δημιουργήσει γνώση όπως ακριβώς κάνει ο άνθρωπος. Αυτό το σχέδιο (πρόγραμμα) αφορά στην κατάρτιση καθώς και τη δοκιμή της μπίρας χρησιμοποιώντας 10 τύπους μπίρας οι οποίοι είναι οι Asahi, Chang, Cheer, Samiguel, Singha, Kloster, Heineken, Leo, Tiger και Tai. Το πείραμα χωρίστηκε σε δύο μέρη. Το πρώτο μέρος είναι ο άμεσος έλεγχος ο οποίος πραγματοποιείται μόλις ανοιχθεί το κουτάκι της μπίρας. Το δεύτερο μέρος είναι να ελεγχθεί η μπίρα αφού πρώτα το κουτάκι έχει μείνει ανοιχτό για 24 ώρες.

Το πρόγραμμα αυτό αποτελείται από δύο ταξινομήσεις δεδομένων οι οποίες είναι η βάση Rule και το Δίκτυο Νευρώνων. Η πρώτη χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση των άγνωστων δεδομένων. Το Δίκτυο Νευρώνων χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των τύπων της μπίρας. Η δομή σε ένα δίκτυο νευρώνων αποτελείται από 25 κόμβους εισαγωγής, 28 κρυφούς κόμβους και 10 κόμβους εξαγωγής. Το ποσοστό ακρίβειας αγγίζει το 87%.

#### **4.3.1 Ανάλυση του προβλήματος**

Αυτή η έρευνα επικεντρώνεται στην ταξινόμηση των μυρωδιών της μπίρας η οποία πουλήθηκε πρόσφατα στην αγορά. Αποτελείται από Asahi, Chang, Cheer, Samiguél, Singha, Kloster, Heineken, Leo, Tiger και Tai. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί μία ηλεκτρονική μύτη η οποία διαθέτει μεγάλη ευαισθησία σε αρκετές διαφορετικές μυρωδιές που μπορούν να ταξινομήσουν πολλά εμπορικά σήματα μπίρας.

Το πρόγραμμα μπορεί αν χωριστεί σε δύο διαδικαστικά μέρη. Το πρώτο είναι το υλικό και το δεύτερο μέρος το λογισμικό. Καμία διαδικασία αυτού του προγράμματος δε θα είχε ολοκληρωθεί εάν δεν είχαμε είτε τον υλικό είτε το λογισμικό εξοπλισμό. Το υλικό αυτού του προγράμματος χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό αισθητήρων αερίου για την ανίχνευση της μυρωδιάς της μπίρας. Το λογισμικό χρησιμοποιεί τη βάση του κανόνα και το σύστημα δικτύου νευρώνων για την ταξινόμηση της μυρωδιάς της μπίρας.

Η ρύθμιση των αισθητήρων γίνεται με τρόπο ώστε (οι αισθητήρες) να ρευστοποιήσουν τον ατμό των μυρωδιών μέσα από κατάλληλο σύστημα χειρισμού και παράδοσης μυρωδιών το οποίο διασφαλίζει ένα συνεχές ποσοστό έκθεσης για κάθε έναν από τους αισθητήρες. Τα σήματα απάντησης των σειρών των αισθητήρων ρυθμίζονται και υποβάλλονται σε επεξεργασία μέσω κατάλληλων στοιχείων κυκλώματος και τροφοδοτούνται σε μία ευφυή μηχανή αναγνώρισης σχεδίων για ταξινόμηση, ανάλυση και δήλωση. Τα πιο περίπλοκα μέρη της ηλεκτρονικής διαδικασίας όσφρησης είναι οι μυρωδιές.

Ένας από τους σκοπούς αυτού του προγράμματος είναι η ταξινόμηση δεδομένων χρησιμοποιώντας τον αισθητήρα ηλεκτρονικής μύτης, που είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστεί, χωρίς ζημία και πιο σταθερά από την ανθρώπινη μύτη γιατί οι άνθρωποι έχουν τις δικές τους προσωπικές επιλογές (συγκινήσεις) όπως την επιλογή του τι αρέσουν και τι όχι κι έτσι υπάρχουν πολλά δεδομένα λαθών λόγω υποκειμενικότητας. Η πρωταρχική έννοια της ηλεκτρονικής μύτης αποτελείται από πέντε λειτουργικούς φραγμούς οι οποίοι είναι οι εξής:

- Αντιμετώπιση της μυρωδιάς και σύστημα παράδοσης.

- Θάλαμος σειράς αισθητήρων.
- Ρύθμιση σήματος.
- Απόκτηση δεδομένων.
- Επεξεργασία σήματος.

#### **4.3.2 Αρχιτεκτονική**

Έχει αναπτυχθεί ένας συνδυασμός ηλεκτρονικής γλώσσας και μύτης με σκοπό την ταξινόμηση εκχυλισμάτων ιατρικών φυτών χρησιμοποιώντας την τεχνική τήξης στοιχείων. Η ηλεκτρονική μύτη αποτελείται από μία σειρά αισθητήρων αερίου βασισμένων σε πιεζοηλεκτρικές αρχές χρησιμοποιώντας υλικά στάσιμης φάσης διαφορετικών μεταξύ τους σχεδίων επιλεκτικότητας. Οι αισθητήρες μετρούν τις αλλαγές συχνότητας εξαιτίας της απορρόφησης ρευστοποιημένων ατμών στις επιφάνειές τους. Εν τω μεταξύ, η ηλεκτρονική γλώσσα αποτελείται από ηλεκτρόδια πολυμερών μεμβρανών λιπιδίων ώστε να μιμηθεί την ανθρώπινη γλώσσα για την ανάλυση των υγρών δειγμάτων.

Η αρχή της μέτρησης είναι βασισμένη στις αρχές της δυναμικής μέτρησης, όπου η διαφορά της τάσης μεταξύ των ηλεκτροδίων και του ηλεκτροδίου αναφοράς ελέγχεται. Τα δεδομένα της ηλεκτρονικής μύτης και γλώσσας αναλύονται ξεχωριστά χρησιμοποιώντας ανάλυση στοιχείων πολλών μεταβλητών που βασίζεται στην ανάλυση κύριων τμημάτων και σε πληροφορίες και για τους δύο αισθητήρες που εξάγονται. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται μερικοί αισθητήρες που υπάρχουν σήμερα.

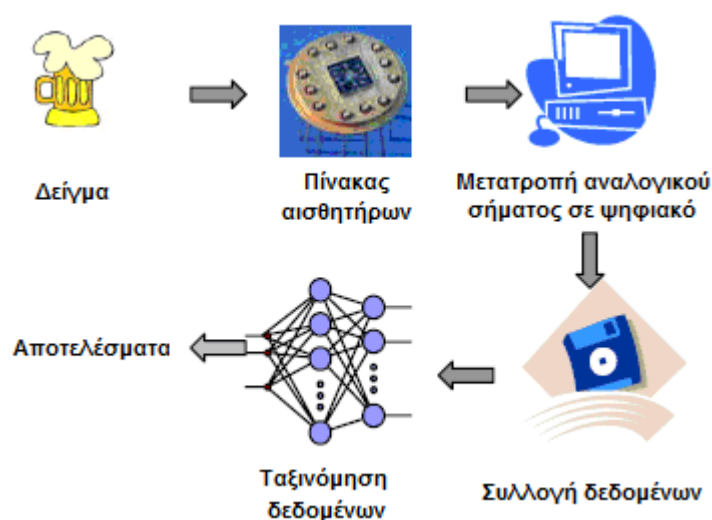


**Εικόνα 2: Αισθητήρες Electronic Nose**

Οι αισθητήρες που περιέχουν σημαντικές πληροφορίες συγχωνεύονται για να βελτιώσουν την απόδοση των συνδυασμένων αισθητήρων. Μέθοδοι στρατηγικής πολλών μεταβλητών όπως η ανάλυση κύριων τμημάτων χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση των δειγμάτων αν και τέτοιες τεχνικές όπως η διακριτική ανάλυση, η ανάλυση οπισθοδρόμησης κύριων τμημάτων και το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση, ταξινόμηση και τον προσδιορισμό των ποσοτήτων των δειγμάτων.

#### **4.3.3 Μεθοδολογία**

Η έρευνα χωρίζεται σε δύο μέρη. Το πρώτο μέρος είναι το υλικό το οποίο έχει ως πεδίο τη χημική θεωρία για την ανίχνευση σημάτων μυρωδιών. Μετά από αυτό, γίνεται χρήση της ηλεκτρικής θεωρίας για τη μετατροπή του σήματος της μυρωδιάς σε ηλεκτρικό σήμα. Το δεύτερο μέρος είναι το λογισμικό για την ταξινόμηση της μπίρας, για το οποίο επιλέγεται μία τεχνική που ονομάζεται νευρικό δίκτυο και η οποία είναι μία τεχνική ανάμεσα σε ηλεκτρονικές μύτες ταξινομημένων μυρωδιών. Αφού μελετηθεί κάθε σύστημα, σχεδιάζεται μία επισκόπησή τους όπως αυτή που φαίνεται στο Σχήμα 14.



Σχήμα 14: Επισκόπηση συστήματος ανάλυσης δείγματος μπίρας

Η επισκόπηση του συστήματος αποτελείται από πέντε διαδικασίες οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

1. Εισαγωγή μπίρας.
2. Όσφρηση της μπίρας με τη σειρά αισθητήρων.
3. Μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό.
4. Συλλογή των στοιχείων.
5. Ταξινόμηση των στοιχείων.

#### **4.3.4 Επεξεργασία δεδομένων εισόδου**

Αυτή η διαδικασία είναι η εισαγωγή του συστήματος. Πριν ξεκινήσει το σύστημα, πρέπει να προετοιμαστούν τα δείγματα (μπύρες) πριν συλλεχθούν τα στοιχεία. Πρώτα, ζεσταίνονται μέχρι η θερμοκρασία τους να φτάσει τους 25 βαθμούς Κελσίου. Πριν αρχίσει η προεπεξεργασία, θερμαίνεται το σύστημα για περίπου 1 με 15 λεπτά. Αυτό θα βοηθήσει ώστε η συλλογή στοιχείων να είναι πιο σταθερή γιατί η θερμοκρασία του συστήματος μυρωδιών είναι ο σημαντικότερος παράγοντας του συστήματος. Αν υπάρξουν προβλήματα όπως εμφάνιση ηλεκτρικού πακέτου από οποιοδήποτε λόγο ή ασταθής ταχύτητα

ροής αέρα, ο οποίος περιέχει μυρωδιές στη διαδικασία, μπορούν να βλάψουν το σύστημα.

#### **4.3.5 Προεπεξεργασία**

Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται μετά την εισαγωγή. Χρησιμοποιείται για τη συλλογή στοιχείων από ένα σύστημα μυρωδιών και τη μετατροπή του σήματος σε ψηφιακό. Μετά από αυτό, ακολουθεί η διαδικασία του σήματος για φανεί αν η ηλεκτρονική μύτη είναι ικανή να διαβάσει τα δεδομένα ή όχι. Αυτή η διαδικασία μπορεί να χωριστεί σε πέντε μέρη τα οποία είναι τα εξής:

- **Παράδοση μυρωδιών και σύστημα μεταφοράς:** Αυτό το σύστημα έχει σκοπιά τη ροή του αέρα που επιτρέπει στο δείγμα να είναι ανιχνεύσιμο από τον αισθητήρα. Χρησιμοποιείται η μηχανή για να περάσει η ροή του αέρα μέσα από τον αισθητήρα. Για το λόγο αυτό απαιτείται μία σταθερή ροή αέρα που θα ελέγχει τη μυρωδιά η οποία έρχεται σε επαφή με τον αισθητήρα. Αν η ροή του αέρα είναι ασταθής, μπορεί να εγείρει πρόβλημα στη συλλογή στοιχείων.
- **Σύστημα ανίχνευσης μυρωδιών:** Αυτό το τμήμα εστιάζει στην ανίχνευση των αισθητήρων και είναι το σημαντικότερο μέρος του συστήματος της ηλεκτρονικής μύτης. Αν ο αισθητήρας είναι μη ανιχνεύσιμος, μπορεί να μην είναι δυνατή η συλλογή ακατέργαστων στοιχείων. Ο αισθητήρας αντιπροσωπεύει τη διεπαφή στην ηλεκτρονική μύτη και ανιχνεύει τη μυρωδιά αυτού του μέρους.
- **Μετατροπέας σήματος:** Αυτός ο υποτομέας είναι το μέρος που έρχεται σε επαφή με το σύστημα ανίχνευσης μυρωδιάς. Θα ξεκινήσει όταν το σύστημα μυρωδιών ανιχνεύσει τη διαφορά των οσμών. Μετά από αυτό, ο μετατροπέας σήματος θα αρχίσει να μετατρέπει το σήμα που δίνεται από τον αισθητήρα σε γλώσσα μηχανής.
- **Μετατροπέας δεδομένων:** Το τμήμα αυτό θα μετατρέψει τα δεδομένα του αναλογικού σήματος σε ψηφιακά (σε τάση). Μετά από αυτό, χρησιμοποιείται το λογισμικό MatLab για να συλλεχθούν όλα τα στοιχεία.

- Επεξεργασία σήματος: Αυτός ο υποτομέας είναι η επεξεργασία δεδομένων που προέρχονται από το μετατροπέα δεδομένων. Φανερώνει αν τα δεδομένα είναι ανιχνεύσιμα ή όχι. Αν τα δεδομένα είναι ανιχνεύσιμα, θα φανεί το "0" στη βάση δεδομένων.

#### **4.3.6 Διαδικασία αναγνώρισης σχεδίων**

Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιείται για τη λήψη της απόφασης ταξινόμησης των στοιχείων από τον αλγόριθμο εκμάθησης μηχανών. Η αναγνώριση σχεδίων αποσκοπεί στην ταξινόμηση στοιχείων (σχέδια) βασισμένα στη γνώση ή σε στατιστικές πληροφορίες που αποσπάστηκαν από τα σχέδια. Τα ταξινομημένα σχέδια είναι συνήθως ομάδες μετρήσεων ή παρατηρήσεων που καθορίζουν σημεία σε ένα ακατάλληλο πολυδιάστατο διάστημα. Σε αυτό το σύστημα, χρησιμοποιούνται δύο τύποι λήψης αποφάσεων:

- Νευρωνικό δίκτυο: Χρησιμοποιεί την έννοια της εκμάθησης της μηχανής ρυθμίζοντας το βάρος. Σε αυτό το σύστημα, χρησιμοποιείται η έννοια εκπαίδευσης μέσα από τα στοιχεία της μπίρας μέχρι το σύστημα να μάθει το σταθερό βάρος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της μάρκα της μπίρας. Βασισμένο στην πειραματική έρευνα το πρόγραμμα χρησιμοποιεί τη δομή του νευρωνικού δικτύου με 25 κόμβους εισαγωγής, 28 κρυμμένους και 10 κόμβους παραγωγής. Οι 25 κόμβοι εισαγωγής παράγονται από το διαχωρισμό των κόμβων εισαγωγής σε 25 χρονικά διαλείμματα. Οι 28 κρυμμένοι κόμβοι προκύπτουν από τον αριθμό παραγωγής κόμβων συν τους κόμβους εξαγωγής διαιρεμένους δια του 2. Οι 10 κόμβοι παραγωγής αποκτώνται από τους δέκα τύπους μπίρας που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα.
- Βάση κανόνα: Τα στοιχεία αποκτώνται από το σχέδιο νευρωνικού συστήματος το οποίο εκτιμά τη μέση αξία όλων των ελεγκτών που χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση του συστήματος. Το σημαντικότερο είναι να γίνεται χρήση της βάσης κανόνα για την ταξινόμηση των αγνώστων στοιχείων (τα στοιχεία που δεν έχουν υποβληθεί σε προηγούμενη κατεργασία) βασισμένοι στα γνωστά

στοιχεία (τα στοιχεία για τα οποία το σύστημα γνωρίζει τι τύπο έχουν και είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν ως αναφορά).

#### **4.3.7 Τελικό αποτέλεσμα**

Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιείται για την επίδειξη του αποτελέσματος στην οθόνη. Το σύστημα που αναλύεται χρησιμοποιεί αυτή τη διαδικασία για να δείξει τα ταξινομημένα στοιχεία. Αυτή η διαδικασία μπορεί να χωριστεί σε δύο μέρη:

- Αποτέλεσμα: Αυτή η υπο-διαδικασία δείχνει ποια είναι η μάρκα της μπύρας.
- Αναφορά: Δίνει στους χρήστες αναφορά για το αποτέλεσμα.

#### **4.4 Ανίχνευση μικροοργανισμών**

Η μόλυνση του περιβάλλοντος είναι ένας τομέας που παρουσιάζει ολοένα και μεγαλύτερη ανησυχία. Μια συσκευή eNose έχει τη δυνατότητα να εντοπίσει και να ταξινομήσει διάφορους μικροοργανισμούς, βακτήρια και μύκητες.

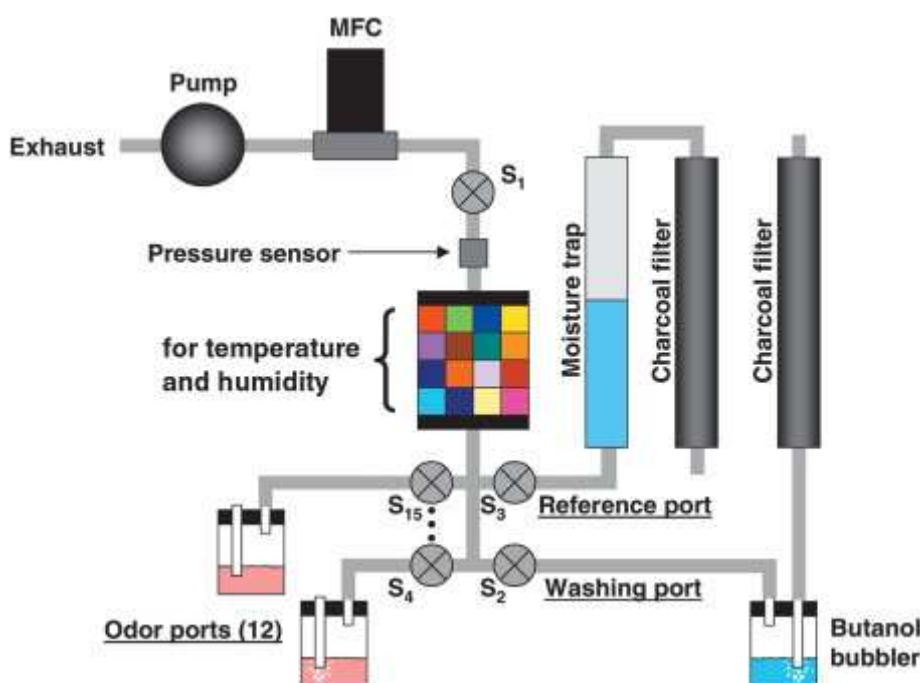
Σε αυτή τη μελέτη, αναλύθηκε η ικανότητα της NC State E – Nose συσκευής, ενός φωτοτυπικού ηλεκτρικού συστήματος που αποτελείται από 15 αισθητήρες μετάλλου-οξειδίου, για την ανίχνευση μυκήτων στα διάφορα στάδια της ανάπτυξής τους. Μύκητες που συναντώνται σε συνθήκες εσωτερικού κλιματισμού είναι αυτοί που επιλέχθηκαν για πειραματισμό. Ο σκοπός του πειράματος ήταν να αποδείξει ότι ένα σύστημα eNose είναι ικανό να διαγνώσει το παρόν αυτών των τύπων μυκήτων σε εμπορικά κτήρια και οικιστικές μονάδες στέγασης.

##### **4.4.1 NC eNose**

Η συσκευή NC eNose σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στο δημόσιο πανεπιστήμιο της Βόρειας Καρολίνας [20], και χρησιμοποιεί μία σειρά αισθητήρων μετάλλου-οξειδίου για να μετρά την οσμή στα δείγματα αέρα όπως φαίνεται και στο Σχήμα 15.



Η συσκευή αυτή αποτελείται από μία δειγματοληπτική μονάδα, από μία διάταξη αισθητήρων και από ένα σύστημα επεξεργασίας σημάτων. Η δειγματοληπτική μονάδα, η οποία αποτελείται από έναν ελεγκτή μαζικού ρεύματος (αέρας), κατευθύνει το δείγμα αέρα που περιέχει την οσμή η οποία υπόκειται σε έρευνα, κατά μήκος της διάταξης αισθητήρων. Η τρέχουσα δομή (διάταξη) επιτρέπει την πραγματοποίηση της δειγματοληψίας μέσα από μία ομάδα 12 συλλεκτών οσμής, ένα αναφορικό δείγμα (φιλτραρισμένου, άοσμου, ξηρού, περιβαλλοντικού αέρα) και έναν παράγοντα πλύσης (περιβάλλον αέρας που βράζει σε διάλυμα βουτυλικής αλκοόλης (βουτανόλης) 2%.



Σχήμα 15: Διαμόρφωση του συστήματος για το NC State eNose

Η αντλία εξάτμισης τραβάει δείγματα αέρα μέσα από το σύστημα. Ο ελεγκτής μαζικής ροής και η αντλία εξάτμισης μπορούν να διαχωριστούν από το σύστημα με τη βοήθεια της σωληνοειδούς βαλβίδας  $s_1$ . Το σύστημα έχει 14 θυρίδες που ελέγχονται από τις σωληνοειδείς βαλβίδες  $s_1$ - $s_{15}$ . Οι θυρίδες  $s_2$ ,  $s_5$  επιτελούν την πλύση (καθάρισμα) και σχετικές λειτουργίες, αντίστοιχα. Οι θυρίδες  $s_4$  μέχρι και την  $s_{15}$  επιλέχθηκαν ως θυρίδες χειρισμού δειγμάτων οσμών. Το σύστημα

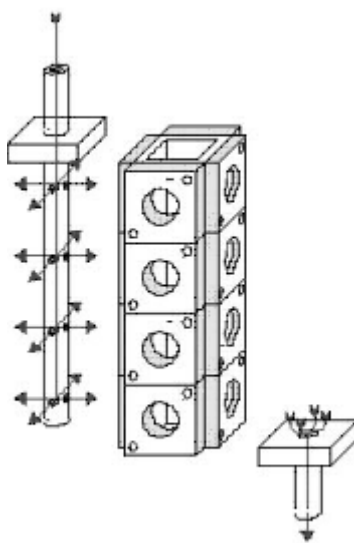
περιλαμβάνει έναν αισθητήρα πίεσης, έναν αισθητήρα θερμοκρασίας-υγρασίας και 15 αισθητήρες (οσμών) μετάλλου-οξειδίου.

Οι θάλαμοι σωληνώσεων και αισθητήρων είναι κατασκευασμένοι από ανοξείδωτο ατσάλι. Ο θάλαμος των αισθητήρων είναι σχεδιασμένος να ελαχιστοποιεί το νεκρό ήχο. Η διάταξη αισθητήρων αποτελείται από 15 διαφορετικούς αισθητήρες μετάλλου-οξειδίου. Οι δώδεκα από τους δεκαπέντε αισθητήρες μετάλλου-οξειδίου κατασκευάζονται από την Capteur (Didcot, UK) και περιλαμβάνουν αισθητήρες για ισοπροπυλική αλκοόλη, τολουόλη (τολουένιο), υδροφθόριο, διοξείδιο του αζώτου, χλώριο, βουτάνιο, προπάνιο, υδρογόνο, μονοξείδιο του άνθρακα, επτάνιο, όζον και γενικά και ευμετάβλητα μίγματα. Οι εναπομείναντες τρεις αισθητήρες μετάλλου-οξειδίου παράγονται από τη Figaro USA (Glenview, IL) και περιλαμβάνουν μεθάνιο, ένα εύφλεκτο αέριο και έναν αισθητήρα λοιμώδη αέρα. Όλα τα πρότυπα των αισθητήρων αντίδρασης ψηφιοποιούνται και καταγράφονται μέσω της κάρτας National Instruments Acquisition Card της LabVIEW. Οι σωληνοειδείς βαλβίδες είναι κανονικά κλειστές. Η σωληνοειδής βαλβίδα s1 (σωλήνας εξάτμισης) και μία ακατάλληλη σωληνοειδής βαλβίδα εισαγωγής (s2 – s15) ανοίγουν στην αρχή κάθε φάσης και μετά κλείνουν. Ο ελεγκτής μαζικού ρεύματος αέρα πρέπει επίσης να ρυθμιστεί στην αρχή κάθε κύκλου στο σωστό σημείο έναρξης (ανάμεσα στα 0.0 και 1.0 λεπτά μείον 1). Ο κύκλος λειτουργίας για το NC State eNose αποτελείται από τρεις φάσεις οι οποίες είναι πλύση, αναφορά και δείγμα.

- Φάση πλύσης: Οι σωληνοειδείς βαλβίδες s1 και s2 ανοίγουν. Αέρας δωματίου περνά μέσα από ένα ξύλινο φίλτρο ώστε να απομακρυνθούν οι κατάλοιπες περιβάλλουσες οσμές και γίνεται ανάμιξη μέσα σε έναν αναβραστήρα με 2% διαλυμένη βουτανόλη με αποσταγμένο νερό. Το προκύπτον αέριο χρησιμοποιείται για την έκλυση των σωληνώσεων και των αισθητήρων και για την απομάκρυνση ιχνών οσμών από προηγούμενα αέρια δείγματα.
- Φάση αναφοράς: Οι σωληνοειδείς βαλβίδες s1 και s3 ανοίγουν. Αέρας δωματίου περνά μέσα από ένα ξύλινο φίλτρο (για να απομακρύνει τις κατάλοιπες οσμές) και μία παγίδα υγρότητας (παγιδεύει τα σταγονίδια

του νερού στον αέρα). Ο προκύπτων ελεύθερος από οσμές, ξηρός αέρας χρησιμοποιείται ως βοηθητικό αέριο για να αναγκάσει τις αντιστάσεις των αισθητήρων να επιστρέψουν στις αρχικές τους αξίες.

- Φάση δειγματοληψίας: Η σωληνοειδής βαλβίδα s1 και μία ακόμη βαλβίδα (s20-s15) ανοίγουν. Το δείγμα οσμής περνά μέσα από το e-nose. Επιστροφή στη φάση πλύσης.



Σχήμα 16: Ο θάλαμος του αισθητήρα

Εμπορικά διαθέσιμοι οι αισθητήρες μετάλλου-οξειδίου είναι τοποθετημένοι σε έναν ανοξειδωτο θάλαμο. Τα ηλεκτρικά στοιχεία των αισθητήρων βρίσκονται πάνω σε πίνακες κυκλωμάτων μαζί με καλώδια που μεταφέρουν τις αντιδράσεις των αισθητήρων ηλεκτρονικές διεπιφάνειες. Από την κορυφή του θαλάμου, ο αέρας μπαίνει σε έναν κυλινδρικό αγωγό με οπές που εκτοξεύει τα δείγματα αέρα απευθείας πάνω σε κάθε αισθητήρα οσμών. Αφού περάσουν από αισθητήρες, τα ρεύματα αέρα ενώνονται και βγαίνουν από το θάλαμο.

#### 4.4.2 Μέθοδος

Πέντε μύκητες, οι *aspergillus flavus*, *aspergillus niger*, *penicillium chrysogenum*, *cladosporium cladosporioides*, *stachybotrys chartarum*,

επωάστηκαν στους 28 βαθμούς Κελσίου σε πιάτα Petri διαμέτρου 150 mm τα οποία περιείχαν dexteros agar, ένα περίπλοκο μέσο πλούσιο σε θρεπτικές ουσίες και Czapek-Dox agar, ένα ελάχιστου μεγέθους μέσο. Αυτοί οι δύο τύποι μέσων χρησιμοποιήθηκαν για να παρέχουν περιβάλλοντα ανάπτυξης και να παράγουν διαφορετικούς δείκτες ανάπτυξης. Είκοσι τέσσερα πιάτα Petri για κάθε μέσο εμβολιάστηκαν 0,5 ml σπορίου που περιείχε 10.000 ml εις τη μείον 1 condia από κάθε μύκητα, αντίστοιχα.

Οι αιωρήσεις ετοιμάστηκαν με τη βοήθεια ενός μετρητή Spencer με βελτιωμένο ρίγωμα Neubauer. Χρησιμοποιώντας τις λειτουργίες του αυτόματου δειγματολήπτη του NC State E-Nose, τα δείγματα αέρα του κάθε πιάτου Petri τα οποία περιέχουν ένα είδος σε κάθε μέσο, πάρθηκαν για δειγματοληψία τυχαία, δέκα φορές, το κάθε ένα κάθε 24 ώρες και μέρα παρά μέρα για δύο εβδομάδες. Στο διάστημα του πιάτου πάνω από κάθε μύκητα έγινε δειγματοληψία μέσω μίας μικρής τρύπας στο κέντρο του καλύμματος του πιάτου Petri με τη βοήθεια ενός σωλήνα (αγωγού) PVC και ένα φίλτρο 2 μm για την απομάκρυνση των σπορίων.

Τα δεδομένα αναλύθηκαν στο MATLAB με τη χρήση αλγόριθμων επεξεργασίας σήματος από τις Kesmani και Gutierrez-Osuna. Πιο συγκεκριμένα, οι επεξεργαστές πληροφορίες αρχικά συμπύχθηκαν λειτουργικές διαδικασίες οι οποίες παρήγαγαν μια ομάδα τεσσάρων χαρακτηριστικών για κάθε αισθητήρα. Η γραμμική διακρίνουσα ανάλυση χρησιμοποιήθηκε τότε στις συμπυκθέντες πληροφορίες για την αύξηση της διαχωριστικότητας των κατηγοριών. Το εξήντα τοις εκατό των συμπυκθέντων δεδομένων επιλέχθηκαν τυχαία για το σχηματισμός μίας εκπαιδευτικής ομάδας για την αρχειοθέτηση των αλγόριθμων. Οι κοντινότεροι γείτονες K (KNN) και LS τεχνικές χρησιμοποιήθηκαν για να αρχειοθετήσουν το υπόλοιπο σαράντα τοις εκατό των συμπυκθέντων δεδομένων. Αυτή η διαδικασία επαναλήφθηκε 100 φορές και ο μέσος όρος του σκορ χρησιμοποιήθηκε ως το τελικό σκορ αρχειοθέτησης.

#### **4.4.3 Αποτελέσματα**

Τα δεδομένα αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας δύο πρωτόκολλα κατάταξης. Στο πρώτο πρωτόκολλο, τα δεδομένα ομαδοποιήθηκαν σε 12 τάξεις, δηλαδή πέντε

είδη μύκητα αναπτυγμένα σε PDA και CZ αντίστοιχα, συν δύο ελέγχους (τα δύο μέσα PDA και CZ χωρίς ανάπτυξη μύκητα). Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα I. Μετά από 24 ώρες ανάπτυξης το ποσοστό ταξινόμησης ήταν 90% για το KNN και 76% για το LS. Η ταξινόμηση για τις 12 τάξεις έφτασε στο μέγιστο μετά από πέντε μέρες ανάπτυξης, με ακρίβεια του 96% για τα 94% για τα LS. Μετά την πέμπτη μέρα, το ποσοστό ταξινόμησης άρχισε να μειώνεται αργά. Μέχρι τη 15<sup>η</sup> μέρα, το ποσοστό ταξινόμησης μειώθηκε στο 89% για τα KNN και στο 69% για τα LS.

#### **4.5 Αεροδιαστημικές εφαρμογές**

Η εκπαιδευσιμότητα μίας ηλεκτρονικής μύτης καθώς και η ικανότητα να συλλέγει αισθητήρες για να αντιδρά σε μία ακολουθία αντιδράσεων, έκανε αυτόν τον τύπο συσκευής χρήσιμο για πολλές εφαρμογές όσον αφορά τον έλεγχο της ποιότητας του αέρα σε ένα περιβάλλον όπου οι πιθανοί μολυσματικοί παράγοντες είναι γνωστοί. Σε αυτήν την ενότητα θα παρουσιαστεί μία εφαρμογή η οποία ελέγχει την παρουσία επικίνδυνων συστατικών του αέρα που υπάρχουν σε ένα κλειστό περιβάλλον. Η εφαρμογή της ηλεκτρονικής μύτης ως ελεγκτή ποιότητας αέρα είναι όργανο ελέγχου γεγονότος, όπου γεγονότα χαμηλής συγκέντρωσης που δεν παρουσιάζουν κίνδυνο δεν αναφέρονται ενώ γεγονότα συγκέντρωσης που πλησιάζουν ένα επικίνδυνο επίπεδο αναφέρονται ώστε να υπάρξει “θεραπευτική” πράξη [23]. Η ηλεκτρονική μύτη που χρησιμοποιείται σε αυτή την εφαρμογή δεν είναι συσκευή που αναλύει τον αέρα για όλα τα παρόντα συστατικά αλλά ούτε συναγερμός που ηχεί στην παρουσία αλλαγών στην ατμόσφαιρα.

Παρουσιάζοντας την τεχνολογία Electronic Nose δε θα μπορούσε να παραληφθεί η αναφορά στη συσκευή που δημιούργησε η NASA. Η συσκευή που περιγράφεται εδώ χρησιμοποιήθηκε ως ελεγκτής ποιότητας αέρα σε ένα πείραμα στη NASA στο διαστημικό λεωφορείο Flight STS-95 και σχεδιάστηκε για να γεμίσει το κενό ανάμεσα στο συναγερμό που δεν είχε την ικανότητα να ξεχωρίζει τα συστατικά.

#### **4.5.1 Πείραμα πτήσης JPL Enose**

Για την εφαρμογή ελέγχου δυσμενούς γεγονότος στο διαστημικό λεωφορείο η ηλεκτρονική μύτη JPL [8] “εκπαιδεύτηκε” να αντιδρά σε 12 συστατικά. Τα 10 από αυτά ήταν ενώσεις με πιθανότητα διαρροής και τα άλλα δύο ήταν αλλαγή υγρασίας και ατμού ιατρικού απορροφητικού μάκτρου (2-προπανόλη και νερό) τα οποία χρησιμοποιούνταν καθημερινά για να επιβεβαιώσουν πως η συσκευή λειτουργούσε. Η ηλεκτρονική μύτη εκπαιδεύτηκε να αναγνωρίζει και να ποσοτικοποιεί τις 10 μολυσματικές ενώσεις σε μέγιστου επιτρεπτά επίπεδα συγκέντρωσης μίας ώρας σε διαστημόπλοιο (SMAC).

Οι 10 μολυσματικοί παράγοντες επιλέχτηκαν από μία λίστα ενώσεων για τις οποίες τα δείγματα αέρα ελέγχθηκαν μετά από πτήση διαστημικού λεωφορείου. Στη συσκευή δεύτερης γενιάς, η οποία αυτήν την περίοδο βρίσκεται υπό ανάπτυξη, θα υπάρξουν 10-12 πρόσθετες ενώσεις. Η ευαισθησία που απαιτείται για τη συσκευή στη 1 ώρα SMAC στην πειραματική πτήση και στις 24 ώρες SMAC για τη συσκευή δεύτερης γενιάς. Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει τις 24 ώρες SMAC και το χαμηλότερο επίπεδο που ανιχνεύτηκε από την ηλεκτρονική μύτη πρώτης γενιάς στο JLP όπου τα χαμηλότερα επίπεδα ορίστηκαν από τα SMAC και δεν αποτελούν απαραίτητα όρια ανίχνευσης.

**Πίνακας 3: Επίπεδα ανίχνευσης ουσιών σε διάστημα 24 ωρών**

Compound	SMAC 1 hr (ppm) [**]	SMAC 24 hr (ppm) [**]	Detected at JPL (ppm)
Methanol	30	10	5
Ethanol	2000	500	50
2-Propanol	400	100	50
Methane	5300	5300	3000
Ammonia	30	20	20
Benzene	10	3	10
Formaldehyde	0.4	0.1	10
Freon 113	50	50	20
Indole	1	0.3	0.03
Toluene	16	16	15
Acetaldehyde		6	
Acetone		270	
Acetonitrile		4	
2-Butanone		150	
Chlorobenzene		10	
Dichloromethane		35	
Furan		0.1	
Hexamethyltricyclosilane		25	
Hydrazine		0.3	
Methyl hydrazine		0.002	
Tetrahydrofuran		40	
1,1,1-Trichloroethane		11	
<i>o,p</i> -Xylenes		100	

Ανώτερο τμήμα: Στοχοθετημένες ενώσεις από την πρώτης γενιάς ηλεκτρονική μύτη, με 1 ώρα και 24 ωρών SMACs.

Κατώτερο τμήμα: Ενώσεις που εξετάστηκαν από τη δεύτερης γενιάς ηλεκτρονική μύτη, με 24 ωρών SMAC.

Ο παραπάνω πίνακας στο τελευταίο τμήμα του δείχνει μία λίστα ενώσεων για το δεύτερο σετ και τα 24 ωρών SMACs τους. Τα δεδομένα αντίδρασης του αισθητήρα σε αυτές τις ενώσεις δεν είναι διαθέσιμα ακόμα. Ως όργανο ελέγχου γεγονότος, δε χρειάζεται να είναι σημαντικά πιο ευαίσθητο από τα επίπεδα των 24 ωρών SMACs. Όταν η συγκέντρωση ενός μολυσματικού παράγοντα

πλησιάζει το 35% του AMAC, μπορούν να γίνουν μετρήσεις για να αφαιρεθεί η ένωση από τον αέρα και να ληφθούν μέτρα στην πηγή της μόλυνσης.

Περαιτέρω εκπαίδευση στο λογισμικό είναι δυνατή στο situ, αλλά για ακριβή αναγνώριση (προσδιορισμό) και προσδιορισμό της ποσότητας, η εκπαίδευση πρέπει να γίνεται σε ένα περιβάλλον στο οποίο είναι δυνατό να υπάρχουν ακριβείς συγκεντρώσεις ενώσεων με τη σειρά ενδιαφέροντος.

Για όλες τις περιπτώσεις εκτός από εκείνη της φορμαλδεΐδης, η ηλεκτρονική μύτη έχει την ικανότητα ανίχνευσης της ένωσης σε κάτω από τη 1 ώρα SMAC. Το όριο ευαισθησίας για τη φορμαλδεΐδη στη συσκευή της πειραματικής πτήσης είναι 10 ppm. Επιλέγοντας ένα διαφορετικό σετ πολυμερών σωμάτων με πολυμερή σώματα που έχουν μεγαλύτερη δυνατότητα απορρόφησης φορμαλδεΐδης, είναι δυνατό να ανιχνευθεί αυτή η ένωση κάτω από τα επίπεδα των 24 ωρών SMAC.

Η ηλεκτρονική μύτη είναι επίσης ικανή να απλοποιήσει σήματα για την αναγνώριση και τον προσδιορισμό της ποσότητας μιγμάτων δύο ενώσεων με συγκρατημένη επιτυχία (σχεδόν 60%). Αναμένεται ότι με περισσότερη εκπαίδευση και μία πιο εκλεκτική ομάδα πολυμερών σωμάτων θα καταστεί δυνατή η ανίχνευση χαμηλότερων συγκεντρώσεων ενώσεων και απλοποίησης μίγματος τριών ή και τεσσάρων ενώσεων.

#### **4.6 Ποιότητα των ψαριών με τη βοήθεια μιας eNose συσκευής**

Ανάμεσα στις πολυάριθμες εφαρμογές που μπορεί να έχει η τεχνολογία Electronic Nose η ανάλυση των τροφίμων είναι από η πιο ελπιδοφόρα ώστε να βρει το δρόμο για τη βιομηχανική παραγωγή. Επειδή η ανθρώπινη όσφρηση έρχεται πολύ συχνά σε αλληλεπίδραση με τρόφιμα, αποτελεί ένα πολύ καλό πεδίο για να συγκριθεί το ανθρώπινο οσφρητικό σύστημα με μία συσκευή Electronic Nose [8].

Σε αυτό το σημείο θα εξεταστεί μια εφαρμογή για την αξιολόγηση της ποιότητας των ψαριών το οποίο αποτελεί ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα για τις ικανότητες της τεχνολογίας αυτής στον τομέα των τροφίμων.



#### **4.6.1 Ορισμός του προβλήματος**

Όσον αφορά τα ψάρια είναι σημαντικό να αποφασιστεί ο βαθμός φρεσκάδας. Αυτός ο βαθμός καθορίζεται από τον αριθμό των ημερών αποθήκευσης σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία. Για το είδος του προϊόντος, θέματα όπως η διάκριση ανάμεσα στα φρέσκα και αποψυγμένα δείγματα και η διατήρηση μίας συνεχούς θερμοκρασίας κατά την αποθήκευση, είναι μεγάλης σημασίας. Στην παρούσα περίοδο, είναι διαθέσιμες πολλές μέθοδοι βασισμένες σε διαφορετικές αρχές μέτρησης οι οποίες δίνουν μετρήσεις της φρεσκάδας των ψαριών. Τα φυσικά χαρακτηριστικά του ψαριού όπως τα ρεολογικά (κρουστή σάρκα και υφή) και τα ηλεκτρικά (αντίσταση) μπορεί μερικές φορές να σχετίζονται με τις μέρες αποθήκευσης.

Για παράδειγμα, η αντίσταση του ψαριού είναι, για πολλά είδη όπως ο σολομός και ο μπακαλιάρος, ένας καλός δείκτης του χρόνου μετά το ψάρεμά τους. Παρ' όλα αυτά, αυτή η μέθοδος δεν είναι αποτελεσματική σε περιπτώσεις κατεψυγμένων και αποψυγμένων ψαριών.

#### **4.6.2 Εγγύηση ποιότητας τροφίμων και ποτών**

Εξαιτίας του υψηλού αριθμού ρευστών συστατικών που εμπεριέχονται στη διαδικασία και του γεγονότος ότι αυτά αλλάζουν δυναμικά, η μέτρηση της φρεσκάδας του ψαριού κατά τη διάρκεια μακράς περιόδου αποθήκευσης, μπορεί να επιτευχθεί με πολυσυστατική μέθοδο [26]. Αυτή είναι μια τυπική εφαρμογή ηλεκτρονικής ακίδας με την οποία ο αριθμός μη επιλεγμένων και μερικώς διασταυρωμένων συσχετισμένων αισθητήρων χρησιμοποιείται για να παρέχει μία ποιοτική ανάλυση δειγμάτων.

Διαφορετικές ηλεκτρονικές ακίδες έχουν χρησιμοποιηθεί κατά το παρελθόν για την ανίχνευση της φρεσκάδας ψαριών. Αποκτήθηκαν ενδιαφέροντα αποτελέσματα με διαφορετικής τεχνολογίας αισθητήρες όπως ημιαγωγοί μετάλλου-οξειδίου αισθητήρων αερίου, ηλεκτροχημικοί αισθητήρες και TSMRs. Παρακάτω περιγράφεται η εφαρμογή του Libra Nose στη μέτρηση φρεσκάδας, κατά τη διάρκεια αποθήκευσης, του αριθμού δειγμάτων φιλέτων μπακαλιάρου.

Είναι χρήσιμο να αναφερθούν μερικά χαρακτηριστικά αισθητήρων που βασίζονται σε μεταλλοπορφυρίνη σε σχέση με την εφαρμογή της φρεσκάδας του ψαριού. Όπως γράφτηκε παραπάνω, μερικά από τα χαρακτηριστικά επιλεκτικότητας των μεταλλοπορφυρινών μπορούν να αποδοθούν στο στοιχείο HSAB. Με αυτό το πρίσμα η χρήση του Mn (III) ιόντος, ενός σκληρού οξέως, αναμένεται να δώσει υψηλότερη ευαισθησία ως προς τις αμίνες ή τα αποτελούμενα από θειικό οξύ και μέταλλα. Αυτό το πλάνο απλοποιείται γιατί δε θεωρεί το ρόλο της πορφυρίνης δεσμευτικό.

Τα πειράματα έδειξαν ότι προσφέρει μία καλή εξήγηση μόνο για την επιλεκτικότητα ως προς τις αμίνες, αλκοόλες και θειικά άλατα. Επομένως, οι μεταλλοπορφυρίνες παρέχουν τον τρόπο σχεδιασμού βελτιωμένων αισθητήρων στις οσμές ψαριών στα πρώτα και τελευταία στάδια αποθήκευσής τους.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος φιλέτων μετρήθηκε για κάθε ψάρι η πλευρά του κόκκαλου των δεξιών φιλέτων και κάθε δείγμα μετρήθηκε δύο φορές. Η διακύμανση σε συχνότητα διακύμανσης των QMB εξετάστηκε σε σταθερή βάση και χρησιμοποιήθηκε ως γνώρισμα του αισθητήρα [27]. Ο φιλτραρισμένος περιβάλλον αέρας χρησιμοποιήθηκε ως αναφορά. Η αιθανόλη και η κεκορεσμένη πίεσή της, μετρήθηκαν πριν και μετά από κάθε συνεδρία μετρήσεων με σκοπό να ελεγχθεί η σταθερότητα των αισθητήρων. Η θερμοκρασία της επιφάνειας του φιλέτου μαγνητοσκοπήθηκε κατά τη διάρκεια της μέτρησης και αποδείχτηκε ότι η διακύμανσή της ήταν ανάμεσα στους 7 και 10 βαθμούς κελσίου. Δεν παρατηρήθηκε συσχετισμός μεταξύ των αντιδράσεων των αισθητήρων και της θερμοκρασίας του φιλέτου. TMA και TVB-N αποσπάστηκαν από τους μύες των ψαριών και μετρήθηκαν με τη βοήθεια μίας συμβατικής μεθόδου απόσπασης ροής και ανάλυσης αερίου.

Τα δεδομένα της ηλεκτρονικής ακίδας αναλύθηκαν από μερικώς αντιδιαστελλόμενη ανάλυση (PLS-DA). Όλες οι μετρήσεις που μεταφέρθηκαν στο Matlab 5.0 PLS-DA αποτελούν μία επιβλεπόμενη μέθοδο ταξινόμησης στην οποία η έρευνα για βελτιωμένες αντιδιαστελλόμενες ρυθμίσεις γίνεται με τη βοήθεια του PLS. Η συνδρομή στην τάξη αναπαρίσταται αριθμητικά με ένα κωδικό αριθμό. Συγκεκριμένα, το  $\gamma$ -block στο PLS περιέχει έναν αριθμό

μεταβλητών ίσο με εκείνον των τάξεων και η συνεισφορά ενός στοιχείου δεδομένων εκφράζεται βάζοντας την αντίστοιχη μεταβλητή στο ένα (1) και όλες τις άλλες στο μηδέν (0). Τότε, εμφανίζεται στην κατηγορία ένα άγνωστο δείγμα του οποίου η παραγωγή είναι υψηλότερη των υπολοίπων. Αυτή η διαδικασία γίνεται πρότυπη όταν χρησιμοποιούνται ποσοτικοί προσανατολιστικοί ταξινομητές όπως το νευρωνικό κύκλωμα.

Το PLS-DA παρέχει τόσο έναν ποσοτικό υπολογισμό διάκρισης των κατηγοριών όσο και βαθμολογίες και καταστάσεις προς οπτική επιθεώρηση του διαχωρισμού των δεδομένων. Επίσης, παρέχει τη συνεισφορά των αισθητήρων ξεχωριστά στη διάταξη. Η σημασία αυτών των καταστάσεων είναι διαφορετική από εκείνες που αποκτήθηκαν από την ανάλυση των αρχικών δεδομένων. Σε αυτήν την περίπτωση [29], οι μετέπειτα μεταβλητές αποφασίζονται με μία επιβλεπόμενη διαδικασία που σκοπό έχει τη δεδομένη συνεισφορά των κατηγοριών, έτσι ώστε ακόμη και αν η βαθμολογία των δύο πρώτων μετέπειτα μεταβλητών δείχνει (μερική) επικάλυψη η περιεκτικότητα όλων των μετέπειτα (τελευταίων) μπορεί να πετύχει το διαχωρισμό των κατηγοριών. Παρ' όλα αυτά, αυτές οι βαθμολογήσεις, ως γραμμική προβολή, είναι ενδεικτικές της διανομής των δεδομένων στους αισθητήρες. Η αξιολόγηση των χαρακτηριστικών των κατηγοριών μπορεί να αποκτηθεί μέσω μίας εκπαιδευτικής και τεκμηριωμένης διαδικασίας χρησιμοποιώντας την τεχνική τεκμηρίωσης "αφήνω ένα έξω".

#### **4.6.3 Συμπεράσματα**

Η ποιότητα των τροφών και των ποτών είναι φυσικά ένα θέμα που ερευνάται πολύ με συσκευές ηλεκτρονικών ακίδων. Παρ' όλα αυτά, οι αναφερόμενες μελέτες πραγματοποιήθηκαν ως επί το πλείστον σε ακαδημαϊκά ιδρύματα. Σε πολλές περιπτώσεις τα αποτελέσματα είναι πολύ ενδιαφέροντα για τη βελτίωση του αντικειμένου αλλά μόνο σπάνια αποτελούν τη βάση για άμεση εργοστασιακή εκμετάλλευση. Απαιτείται ακόμη μεγαλύτερη βασική έρευνα.

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία αφορούσε την παρουσίαση της τεχνολογίας Electronic Nose. Παρ' ότι η τεχνολογία αυτή έχει αρκετά χρόνια που πρωτοεμφανίστηκε λόγω της πολυπλοκότητας του ανθρώπινου οσφρητικού συστήματος ακόμη δεν είναι δυνατόν να υποστηριχθεί ότι κάποια στιγμή θα δημιουργηθεί πιστό αντίγραφο του συστήματος αυτού.

Στην προσπάθεια της όσο το δυνατόν καλύτερα παρουσίασης της τεχνολογίας αυτής επιλέχθηκαν κάποιες εφαρμογές που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί και θεωρούνται ως οι πιο αντιπροσωπευτικές του χώρου. Επειδή όμως, η τεχνολογία Electronic Nose βρίσκεται ακόμη σε αρχικό στάδιο και στους περισσότερους ανθρώπους είναι άγνωστη, η εργασία αυτή πρέπει να θεωρηθεί ότι αποτελεί μία καλή αρχή για την εισαγωγή του αναγνώστη στο αντικείμενο που πραγματεύεται και για τη γνωριμία με τον τρόπο λειτουργίας των συσκευών eNose και τις εφαρμογές που πιθανόν να δημιουργηθούν στο μέλλον.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. [www.goarticles.com](http://www.goarticles.com)
2. Chang, B. and Subramian, V. (2008), Electronic Noses Sniff Success, Spectrum, IEEE, Volume: 45, Issue: 3, pp. 50-56.
3. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
4. G. Riva and F. Davide (2001). Communication through virtual technology: Identity community and technology in the internet age, IOS Press Amsterdam. pp. 194-219.
5. Weiser M., Gold R., and Brown J. S. (1999), The origins of ubiquitous computing research at PARC in the late 1980s, IBM Systems journal.
6. Dryer, D. C. (1999), At what cost pervasive? A social computing view of mobile computing systems, IBM Systems journal.
7. Ark, S. (1999), A look at human interaction with pervasive computers, IBM Systems journal.
8. Pearce, C., Schiffman, S., Nagle, T. and Gardner, W. (2003), Handbook of Machine Olfaction, Wiley-VCH, Indianapolis, USA.
9. P. Mombaerts (1999). Molecular biology of odorant receptors in vertebrates. Annu. Rev. Neurosci. 22, 487–509.
10. P. Mombaerts (1999). Seven-transmembrane proteins as odorant and chemosensory receptors. Science 1999, 286, 707–711.
11. K. Persaud, G. Dodd (1982), Nature 1982, 299, 352-355.

12. Strike, D., Meijerink, M. and Koudelka H. (1999), Electronic noses – A mini-review, Vol. 364, No 6, pp. 499-505.

13. H.Maricou, D.Pereira, L.Verschuere, S.Philips and W. Verstraete Centre of Environmental Studies, University of Ghent, Coupure Links 653, B-9000 Ghent, Belgium. Measurements of some volatile compounds by means of the electronic nose.

14. S. C. Erzurum, T. Burch, D. Laskowski, P. J. Mazzone, T. Mekhail, C. Jennings, J. K. Stoller, R. F. Machado, J. Pyle, O. Deffenderfer and R. A. Dweik, (2005). “Can the Electronic Nose Really Sniff out Lung Cancer?” *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* Vol 172. pp. 1060-1061.

15. [www.bestneo.com](http://www.bestneo.com)

16. Διαμαντάρας, Κ. (2007), Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα, Εδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα, Ελλάδα.

17. T. Berger, H. Ziegler, M. Krausa. Proc. Of SPIE, 4038, (2000), 452–461

18. J. W. Gardner and J. Yinon (2004) Electronic Noses & Sensors for the Detection of Explosives, 01-28. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.

19. M. la Grone, C. Cumming, M. Fisher, D.Reust,R.Taylor Proc of SPIE 3710 (1999) 409–420.

20. B. G. Kermani (1996) On using artificial neural networks and genetic algorithms to optimize performance of an electronic nose. Ph.D. Dissertation, Department of Electrical Engineering, North Carolina State University.

21. Beer Classification by Electronic Nose, Department of Computer Science, Faculty of Science, Mahidol University Thailand.

22. Ζήβελδης, Α. (2004), Η “Αθέατη” Τεχνολογία: Pervasive Computing, 4ο Συνέδριο ΕΤΠΕ, 29/09 – 03/10/2004.

23. <http://science.nasa.gov>

24. Brezmes, J., Canyellas, N. (1997), Application of Artificial Neural Networks to the Design and Implementation of Electronic Olfactory Systems, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1240, pp. 1183-1192.

25. Beer Classification by Electronic Nose,(2008) Department of Computer Science, Faculty of Science, Mahidol University, Proceedings of the 2008 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, Hong Kong.

26. Blatt, R., Bonarini, A., Calabro, E., Matteo Della Torre, Matteucci, M. and Pastorino, U. (2007), Lung Cancer Identification by an Electronic Nose, Neural Networks, 2007. IJCNN 2007. International Joint Conference, pp. 1423-1428.

27. Gardner, W. and Bartlett, N. (1992), Sensors and Sensory Systems for an Electronic Nose, NATO, ASI Series E Vol 212, Kluwer Academic Publishers, London.

28. Gardner, J.W. and Bartlett, P.N. (1999), Electronic noses. Principles and applications. Oxford University Press, Oxford, Uk.

29. Keller, P., Kangas, J., Liden, L., Hashem and S., Kouzes, R. (1995), Electronic Noses and their applications, IEEE Northcon/Technical Applications Conference.

30. Kress-Rogers, E. (1997), Handbook of Biosensors and Electronic Noses. Medicine, Food and the Environment, CRC Press, New York, USA.

31. Maricou, H., Pereira, D., Verschuere, L., Philips, S. and Verstraete, W. (1998), Measurements of some volatile compounds by means of the electronic nose, Earth and Environmental Science, Vol. 107, Numbers 1-4.

32. Mielle, P. (1996), Trends in Food Science & Technology, Vol. 19, Supplement 1.

33. Osuna, G., Nagle, T. and Shiffman, S. (1998), The how and why of electronic nose, IEEE Spectrum, pp. 22-34.

34. Simon, S., James, D. and Zulfiquar, A. (2006), Data analysis for electronic nose systems, Microchimica Acta, Volume 156, Numbers 3-4.

35. <http://www.icrc.org/eng/mines>

36. <http://jpl.nasa.gov/>