

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΗΠΕΙΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ  
ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Εφαρμογή Internet of Things για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής  
ρύπανσης**



**Γιώργος Ράφτης**

Επιβλέπων καθηγητής

Αλέξανδρος Τζάλλας



# **INTERNET OF THINGS APPLICATION FOR MONITORING AIR POLLUTION**



Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Άρτα, 6/7/2018

## ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής

Αλέξανδρος Τζάλλας ,

Καθηγητής Εφαρμογών

2. Μέλος επιτροπής

Νικόλαος Γιαννακάς,

Πανεπιστημιακός Υπότροφος

3. Μέλος επιτροπής

Μάρκος Τσίπουρας,

Πανεπιστημιακός Υπότροφος

Ο/Η Προϊστάμενος/η του Τμήματος

Χρυσόστομος Στύλιος,

Καθηγητής

© Ράφτης, Γιώργος, 2018.  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

## Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Ράφτης, Γιώργος

Υπογραφή

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο καθηγητή κ. Αλέξανδρο Τζάλλα καθώς και τον κ. Νικόλαο Γιαννακέα για την πολύτιμη βοήθεια και στήριξη που μου παρείχαν κατά την διάρκεια διεκπεραίωσης της πτυχιακής μου εργασίας.



## Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, υλοποιήθηκε μια Εφαρμογή Internet of Things για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε πραγματικό χρόνο δύναται να ενταχθεί σε ένα ευρύτερο πλαίσιο εφαρμογών «Έξυπνης Πόλης», με σκοπό αφενός τον περιορισμό περιβαλλοντικών φαινομένων με χρήση ειδοποιήσεων κινδύνου αλλά και την φροντίδα της υγείας των πολιτών. Η εργασία δίνει έμφαση στο φαινόμενο της Αιθαλομίχλης που δημιουργείται κυρίως την περίοδο του Χειμώνα από την καύση υλικών για θέρμανση.

Αρχικά παρουσιάζονται θέματα σχετικά με τα αίτια δημιουργίας της αιθαλομίχλης καθώς και στην συνέχεια τις επιπτώσεις που έχει στην υγεία του ανθρώπου. Για την υλοποίηση της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε ένας αυτόνομος ασύρματος περιβαλλοντικός σταθμός Smart Environment Pro της εταιρίας Libelium ο οποίος σε συνεργασία με την πλατφόρμα <https://gaia-platform.eu/> τα δεδομένα των ρύπων αποτυπώνονται σε πραγματικό χρόνο. Ο περιβαλλοντικός σταθμός ενσωματώνει αισθητήρες με έμφαση στην αιθαλομίχλη και λειτουργεί ήδη αυτόνομα στον περιαστικό ιστό της πόλης των Ιωαννίνων. Η πλατφόρμα παρακολούθησης παρέχει στατιστικά και οπτικοποιημένα δεδομένα των μετρήσεων, ενώ δίνει την δυνατότητα απόκτησης ιστορικού «ανοιχτών δεδομένων» παρελθόντα χρόνου.

**Λέξεις-κλειδιά:** Δίκτυο αισθητήρων, ατμοσφαιρική ρύπανση, αιθαλομίχλη, αυτόνομος περιβαλλοντικός σταθμός, υγεία.

## Abstract

In this diploma, an Internet of Things Application for Air Pollution Monitoring was implemented. Real-time monitoring of air pollution can be integrated into a wider framework of "Smart City" applications, aiming at limiting environmental phenomena using risk alerts as well as public health care. It emphasizes the phenomenon of Smog, which is created mainly during the winter period by the burning of materials for heating.

Originally, there are issues related to the causes of smog formation and the effects on human health. For the implementation of the application, a stand-alone Smart Environmental Pro wireless environment station was developed by Libelium, which, in collaboration with the platform <https://gaia-platform.eu/>, provides pollutant data in real time. The environmental station incorporates sensors with emphasis on smog and already operates autonomously in the peri urban web of the city of Ioannina. The monitoring platform provides statistical and visualized measurement data, while enabling the acquisition of "open data" history over time.

**Keywords:** Sensor network, atmospheric pollution, smog, autonomous environmental station, health.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	13
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Αιθαλομίχλη</b> .....	14
1.1. Ορισμός Αιθαλομίχλης.....	14
1.2. Αίτια δημιουργίας Αιθαλομίχλης.....	15
1.3 Τύποι και συστατικά αιθαλομίχλης.....	18
1.4 Στατιστικά στοιχεία.....	20
1.4.1 Παγκόσμια στοιχεία.....	20
1.5 Επιπτώσεις στην Υγεία των πολιτών.....	25
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Συστήματα καταγραφής αιθαλομίχλης</b> .....	33
2.1 Όρια φυσιολογικών τιμών.....	33
2.2 Αιθαλομίχλη στην Ελλάδα.....	34
2.3 On line συστήματα παρακολούθησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	36
2.4 Εφαρμογές IoT.....	38
2.5 Εφαρμογές έξυπνης πόλης.....	40
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Περιβαλλοντικός σταθμός της Libelium</b> .....	42
3.1 Μοντέλα Plug & Sense.....	42
3.2 Smart Environment Pro.....	43
3.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά.....	43
3.2.2 Εξωτερική εγκατάσταση.....	45
3.2.3 Ηλιακή τροφοδότηση.....	46
3.3 Προγραμματισμός σταθμού.....	46
3.3.1 Προγραμματισμός σταθμού μέσω USB.....	46
3.3.2 Προγραμματισμός σταθμού μέσω OTAP.....	47
3.4 Μητρική πλακέτα Gases Pro.....	48

3.4.1 Πλακέτα AFE 3 ηλεκτροδίων.....	50
3.4.2 Πλακέτα AFE 4 ηλεκτροδίων.....	50
3.4.3 Πλακέτα AFE Pellistor/NDIR.....	51
3.4.4 Συμβατότητα αισθητήρων.....	52
3.4.5 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά.....	52
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Σύστημα παρακολούθησης της αιθαλομίχλης.....</b>	<b>53</b>
4.1 Βαθμονόμηση αισθητήρων.....	53
4.2 Αισθητήρες.....	53
4.2.1 Αισθητήρας BME280.....	54
4.2.2 Αισθητήρας όζοντος OX-A431.....	55
4.2.3 Αισθητήρας μονοξειδίου του αζώτου NO-A4.....	56
4.2.4 Αισθητήρας διοξειδίου του αζώτου NO-A43F.....	57
4.2.5 Αισθητήρας διοξειδίου του θείου 4-SO2-20.....	58
4.2.6 Αισθητήρας αιωρούμενης ύλης OPC-N2.....	59
4.3 Ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης Waspnote.....	62
4.4 Πρωτόκολλο επικοινωνίας δικτύου WiFi Pro.....	64
4.4.1 Κατανάλωση χρόνου.....	65
4.4.2 Αίτημα Post μέσω πρωτόκολλου HTTPS .....	66
4.5 Πλατφόρμα συλλογής δεδομένων.....	67
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Συμπεράσματα.....</b>	<b>71</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>73</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ένα σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα που επηρεάζει όλες τις αναπτυγμένες και τις αναπτυσσόμενες χώρες. Στην παρούσα λοιπόν πτυχιακή εργασία, υλοποιήθηκε μια Εφαρμογή Internet of Things για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με πρόκληση την αιθαλομίχλη που επηρεάζει την υγεία του ανθρώπου αλλά και του περιβάλλοντος. Εστιάζει στην παρακολούθηση και την ανάλυση των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων, συγκεκριμένα για το όζον ( $O_3$ ), τα σωματίδια ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ), το διοξείδιο του θείου( $SO_2$ ), το μονοξείδιο του αζώτου ( $NO$ ) και διοξείδιο του αζώτου( $NO_2$ ) καθώς και την καταγραφή της θερμοκρασίας, υγρασίας και πίεσης.

Η ανάγκη αυτή καθιστά απαραίτητη μια εξαιρετικά φορητή, αυτόνομη, συνδεδεμένη συσκευή παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης Smart Environment Pro της Libelium. Η λύση περιλαμβάνει οικονομικά αποδοτική εγκατάσταση υλικού και προσαρμοσμένο υλικολογισμικό καθώς ο κόμβος είναι ανεξάρτητος από πλευράς ενέργειας. Έχει φωτοβολταϊκό πάνελ και μπαταρίες λιθίου, οι οποίες επιτρέπουν τη συνεχή αυτόνομη λειτουργία χωρίς την ανάγκη για εξωτερική πηγή ενέργειας. Ο σταθμός είναι εξοπλισμένος με αισθητήρες όπου παίρνουν μετρήσεις από τους παραπάνω ρύπους και στην συνέχεια στέλνονται στην πλατφόρμα επικοινωνίας <https://gaia-platform.eu/>. Η μονάδα αμφίδρομης επικοινωνίας WiFi μεταξύ πλατφόρμας και σταθμού, εξασφαλίζουν τη συνεχή αποτύπωση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο στην πλατφόρμα καθώς και την αναβάθμιση υλικολογισμικού ΟΤΑΡ μέσω εξ' αποστάσεως.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## Αιθαλομίχλη

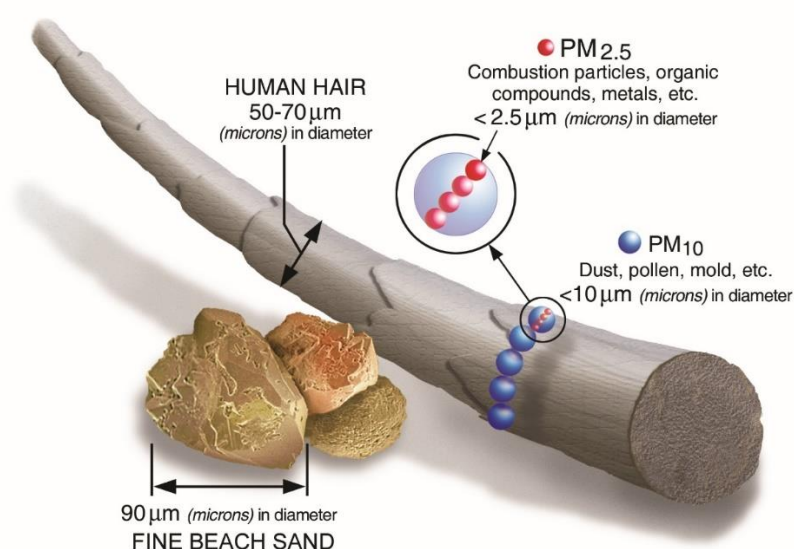
### 1.1 Ορισμός Αιθαλομίχλης

Η αιθαλομίχλη είναι ένας τύπος ατμοσφαιρικού ρύπου που παρουσιάζεται όταν έχουμε υψηλή συγκέντρωση ρύπων, όπως αιωρούμενων σωματιδίων(κυρίως αιθάλης), σε συνδυασμό με τις μετεωρολογικές και τοπογραφικές συνθήκες όπου η φυσική διάχυση της ρύπανσης εμποδίζεται, τότε οι ρύποι παγιδεύονται στην περιοχή με αποτέλεσμα την αύξηση των συγκεντρώσεων ρύπων και τη δημιουργία αιθαλομίχλης. Συνήθως θεωρείται ως κιτρινωπή ή μαύρη ομίχλη η οποία αναστέλλει στην ατμόσφαιρα ή σχηματίζει μια στρώση στον αέρα.[3]



*Εικόνα 1.1: Νέφος αιθαλομίχλης σε μεγάλη πόλη.*

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι μικρά τεμάχια ύλης σε στερεή ή υγρή φάση, όπου είναι κομμάτι της αιθαλομίχλης και μπορούν να αιωρούνται στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Τέτοια σωματίδια είναι: η σκόνη, η αιθάλη (καπνός), διάφορα μέταλλα, το διοξείδιο του θείου, το μονοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου, οξείδια του θείου, όζον, σωματίδια καπνού ή ρύπων και επίσης λιγότερο ορατά σωματίδια όπως είναι ο χλωροφθοράνθρακας (chlorofluorocarbon). Όπου σε συνδυασμό με την σχετικά χαμηλή θερμοκρασία και μεγάλη σχετικά υγρασία αποτελείται αυτό το είδος ορατής ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Σαν αιθάλη (καπνός) αναφέρονται τα μικρά σωματίδια τα οποία προέρχονται από ατελείς καύσεις, είναι μαύρου χρώματος και αποτελούνται κυρίως από άνθρακα(κάρβουνο).



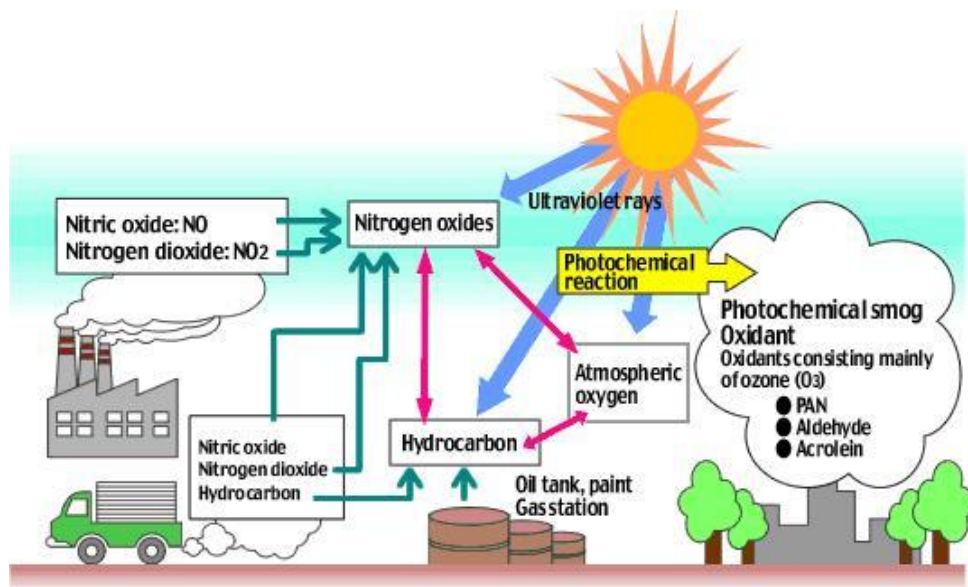
Εικόνα 1.2: Αιωρούμενα σωματίδια ύλης και τα διάφορα μεγέθη τους.

Οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων είναι οι κάθε είδους καύσεις (παραγωγή ενέργειας η ακόμη και θέρμανσης) για τις διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες, η την κυκλοφορία οχημάτων και κάθε είδους μεταφορικών μέσων με αποτέλεσμα να έχει σοβαρές αρνητικές επιπτώσεις στους ανθρώπους, τα φυτά και τα ζώα.[1-2]

## 1.2 Αίτια δημιουργίας Αιθαλομίχλης

Ο ανθρώπινος παράγοντας παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην δημιουργία αυτού του ρυπογόνου νέφους όπου στην σύγχρονη εποχή προέρχεται κυρίως από εκπομπές οχημάτων από κινητήρες εσωτερικής καύσης και βιομηχανικούς καπνούς που αντιδρούν στην ατμόσφαιρα με ηλιακό φως για

να σχηματίσουν δευτερογενείς ρύπους που επίσης συνδυάζονται με τις πρωτογενείς εκπομπές για να σχηματίσουν το σκούρο αυτό φωτοχημικό νέφος που παρατηρείται πάνω από τις πόλεις κυρίως την καλοκαιρινή εποχή. Παρακάτω αναφέρονται οι κύριες αιτίες του νέφους.



Εικόνα 1.3: Διαδικασία δημιουργίας της αιθαλομίχλης από διάφορους παράγοντες.

- **Χρήση άνθρακα ως πηγή ενέργειας**

Ο άνθρακας είναι από καιρό αξιόπιστη πηγή ενέργειας, αλλά έρχεται με τεράστιο κόστος επειδή είναι απίστευτα βρώμικο. Η ίδια χημεία που επιτρέπει στον άνθρακα να παράγει ενέργεια - η διάσπαση των μορίων άνθρακα - παράγει επίσης μια σειρά από βαθιά επιβλαβείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις και ρύπους που βλάπτουν τη δημόσια υγεία. Η ατμοσφαιρική ρύπανση και η υπερθέρμανση του πλανήτη είναι δύο από τις πιο σοβαρές συνέπειες. Η χρήση άνθρακα ως καυσίμου σε θέρμανση ή σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εκλύει υψηλές συγκεντρώσεις οξειδίων του θείου στην ατμόσφαιρα. Τα αποτελέσματα επιδεινώνονται από τα υψηλά επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων στον αέρα και την υγρασία. Η καύση άνθρακα παράγει επίσης σημαντικές ποσότητες καπνού οι οποίες οδηγούν σε ένα περιβάλλον γεμάτο με το νέφος της αιθαλομίχλης. Όταν καίγεται ο άνθρακας, οι χημικοί δεσμοί που συγκρατούν τα άτομα άνθρακα στη θέση τους σπάνε, απελευθερώνοντας ενέργεια και μια σειρά από τοξίνες και ρύπους που εκπέμπονται στον αέρα. Έτσι με την καύση του περιλαμβάνει: υδράργυρο, μόλυβδο, διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου, σωματίδια και διάφορα άλλα βαρέα μέταλλα. Οι επιπτώσεις στην υγεία μπορεί να κυμαίνονται από το άσθμα τις αναπνευστικές δυσκολίες, εγκεφαλικές βλάβες, καρδιακά προβλήματα, καρκίνο, νευρολογικές διαταραχές ακόμη και πρόωρο θάνατο.[3-4]





*Εικόνα 1.4: Παραγωγή ρύπων από την καύση άνθρακα.*

- **Βιομηχανικές και οχηματικές εκπομπές**

Οι εκπομπές από τον τομέα των μέσων μεταφορών που προέρχονται από την καύση ορυκτών καυσίμων σε αυτοκίνητα, φορτηγά, λεωφορεία, μοτοσυκλέτες και σκάφη είναι οι κύριοι συντελεστές σχηματισμού νέφους. Οι βιομηχανίες εκπέμπουν εξίσου πολλές αεριώδεις εκπομπές και καπνούς που οδηγούν σε σχηματισμό νέφους. Το μεγαλύτερο μέρος του νέφους που σχηματίζεται στις μεγάλες πόλεις και είναι αποτέλεσμα των εκπομπών από την κυκλοφορία.

Οι πρωτογενείς παράγοντες είναι τα οξείδια του αζώτου, οι πτητικές οργανικές ενώσεις, το μονοξείδιο του άνθρακα, οι ατμοί, τα οξείδια του θείου και οι υδρογονάνθρακες. Αυτές οι ουσίες αντιδρούν με υγρασία, θερμότητα, ηλιακό φως και αμμωνία μεταξύ άλλων ενώσεων για να σχηματίσουν τους τοξικούς ατμούς, τα σωματίδια και το όζον σε επίπεδο εδάφους που συνθέτουν το νέφος [3].



*Εικόνα 1.5: Εκπομπές ρύπων από σχηματικές καύσεις.*

- **Φυσικά αίτια**

Η αιθαλομίχλη μπορεί επίσης να συμβεί λόγω φυσικών αιτιών όπως ηφαιστειακή έκρηξη ή και κάποιες συγκεκριμένες επιπτώσεις στη ζωή των φυτών. Η ηφαιστειακή έκρηξη εκλύει υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου και σωματιδίων στον αέρα, τα δύο κύρια συστατικά για τον σχηματισμό νέφους. Οι ποσότητες ραδιοανθράκων που παράγονται από κάποια συγκεκριμένα φυτά πιστεύεται ότι προκαλούν νέφος σε ορισμένες περιοχές.



*Εικόνα 1.6: Εκπομπές αιθαλομίχλης από ηφαιστειακές εκρήξεις.*

### **1.3 Τύποι και συστατικά αιθαλομίχλης**

Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να οριστεί ως η εκπομπή επιβλαβών ουσιών στην ατμόσφαιρα. Αυτός ο ευρύς ορισμός εντάσσει επομένως έναν αριθμό ρύπων, μεταξύ των οποίων:

- διοξείδιο του θείου (Sulphur Dioxide  $\text{SO}_2$ ),
- οξειδία του αζώτου (Nitrogen Oxides  $\text{NO}_x$ ),
- όζον (ozone  $\text{O}_3$ ),
- αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter σωματίδια διαφόρων μεγεθών ),
- μονοξείδιο του άνθρακα (Carbon Monoxide  $\text{CO}$ )
- και πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds VOCs).

Τόσο το βιομηχανικό νέφος όσο και το φωτοχημικό νέφος αποτελούν μορφές ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Αν και οι δύο εμφανίζονται στο μάτι ως κίτρινη-καφέ ομίχλη, διαφέρουν με δύο βασικούς τρόπους: χημείας και σύνθεσης. Το βιομηχανικό νέφος συνήθως υπάρχει στις αστικές περιοχές όπου

στα εργοστάσια καίγονται ορυκτά καύσιμα όπως ο άνθρακας, ο οποίος δημιουργεί καπνό και διοξείδιο του θείου που αναμιγνύεται με σταγονίδια ομίχλης για να δημιουργήσει μια παχιά στρώση ομίχλης κοντά στο έδαφος.

Το φωτοχημικό νέφος στην άλλη περίπτωση εμφανίζεται σε ξηρές και ηλιόλουστες περιοχές και δημιουργείται λόγω της αυξημένης χρήσης όλων των ορυκτών καυσίμων, συμπεριλαμβανομένης της βενζίνης, και της καύσης δέντρων και οργανικών αποβλήτων. Αυτές οι εκπομπές συνδυάζονται υπό την παρουσία ηλιακού φωτός για να δημιουργήσουν ένα επιβλαβές περιβάλλον, το οποίο είναι επιβλαβές για την ανθρώπινη υγεία. Τόσο λοιπόν το βιομηχανικό νέφος όσο και το φωτοχημικό νέφος μπορούν να δημιουργήσουν σημαντικούς κινδύνους για την υγεία, συμπεριλαμβανομένου του άσθματος, της βλάβης των πνευμόνων, των βρογχικών λοιμώξεων και καρδιακών προβλημάτων.



*Εικόνα 1.7: Φωτοχημικό νέφος.*

Η χημική σύσταση του φωτοχημικού νέφους είναι ένα μίγμα ρύπων που σχηματίζεται όταν τα οξειδία του αζώτου και οι πτητικές οργανικές ενώσεις αντιδρούν στο ηλιακό φως, δημιουργώντας μια ομίχλη που είναι κοινή στις πόλεις. Οι δύο βασικοί πρωταρχικοί ρύποι, τα οξειδία του αζώτου και οι πτητικές οργανικές ενώσεις, συνδυάζουν σε μια σειρά χημικών αντιδράσεων τη δημιουργία δευτερογενών ρύπων, οι οποίοι είναι επικίνδυνοι όταν εντοπίζονται στην ατμόσφαιρα και στο έδαφος. Τα δύο πλέον κυρίαρχα τοξικά συστατικά που παράγονται σε φωτοχημικό νέφος είναι το όζον και το νιτρικό υπεροξυακετύλιο. Ενώ το όζον μπορεί να παραχθεί φυσικά στο περιβάλλον χωρίς ρύπανση, η αλληλεπίδραση με πτητικές οργανικές ενώσεις αποτρέπει την οξείδωση του αζώτου αφού μετατραπεί σε διοξείδιο του αζώτου - από την κατανάλωση όζοντος. Αυτό οδηγεί σε τοξικά, επιβλαβή επίπεδα όζοντος στο άμεσο περιβάλλον.

Στην αντίθετη περίπτωση το βιομηχανικό νέφος περιέχει δύο κύρια συστατικά: διοξείδιο του θείου και αιωρούμενα σωματίδια σε στερεή ή υγρή φάση, τα οποία περιλαμβάνουν σκόνη και αιθάλη από καύση άνθρακα για θερμότητα και καύσιμα. Αυτά συνδυάζονται με το νερό στην ομίχλη για την παραγωγή όξινης βροχής. Το διοξείδιο του θείου που παράγεται όταν άνθρακας ή άλλα ορυκτά καύσιμα καίγονται διαλύονται στο νερό και γίνεται ένα τοξικό μίγμα παχιάς ομίχλης και σωματιδίων.



*Εικόνα 1.8: Βιομηχανικό νέφος.*

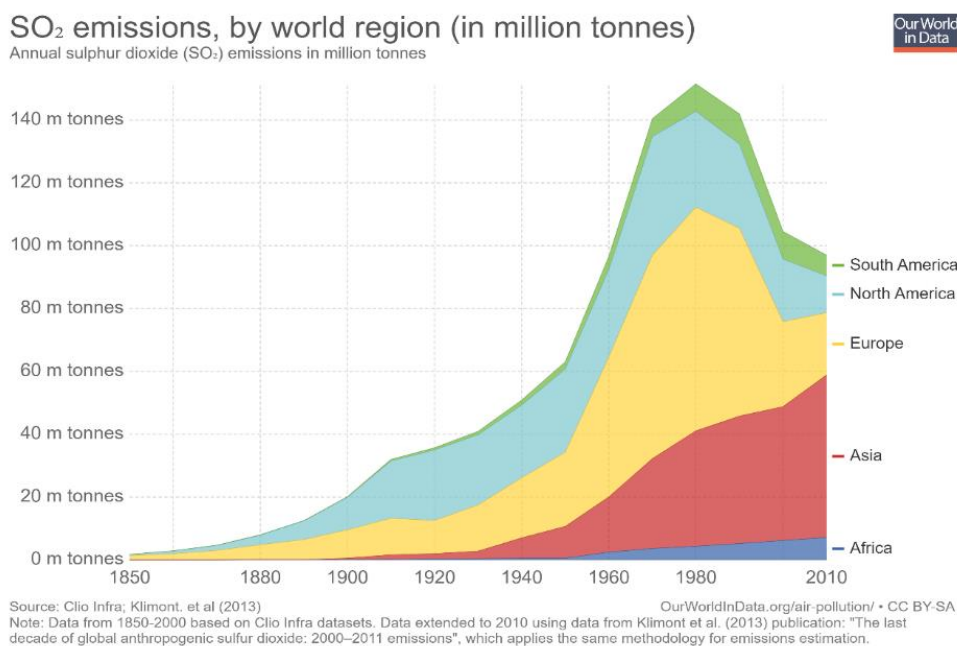
## **1.4 Στατιστικά στοιχεία**

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αναδύεται με διάφορες μορφές, παρέχοντας μια σειρά παραμέτρων με τις οποίες μπορούμε να μετρήσουμε και να παρακολουθήσουμε την αλλαγή με το χρόνο. Τα μακροπρόθεσμα ιστορικά δεδομένα για τη ρύπανση μπορεί να είναι δύσκολο να ανακατασκευαστούν ή να εκτιμηθούν για πολλούς ρύπους, το εύρος των παγκόσμιων δεδομένων περιορίζεται στις τελευταίες δεκαετίες [7].

### **1.4.1 Παγκόσμια στατιστικά στοιχεία**

Η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν αποτελεί πρόβλημα που περιορίζεται σε μία μόνο χώρα. Στην πραγματικότητα, είναι μια παγκόσμια επιδημία που είναι πολύ χειρότερη σε ορισμένες χώρες από ό,τι σε άλλες. Το 2009, τα 27 μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης ανέφεραν σωρευτική μείωση των οξειδίων του θείου κατά περίπου 80% από το 1990. Παρά τα σημαντικά οφέλη στη μείωση της ρύπανσης σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση, μερικές μεγάλες μητροπολιτικές πόλεις όπως το

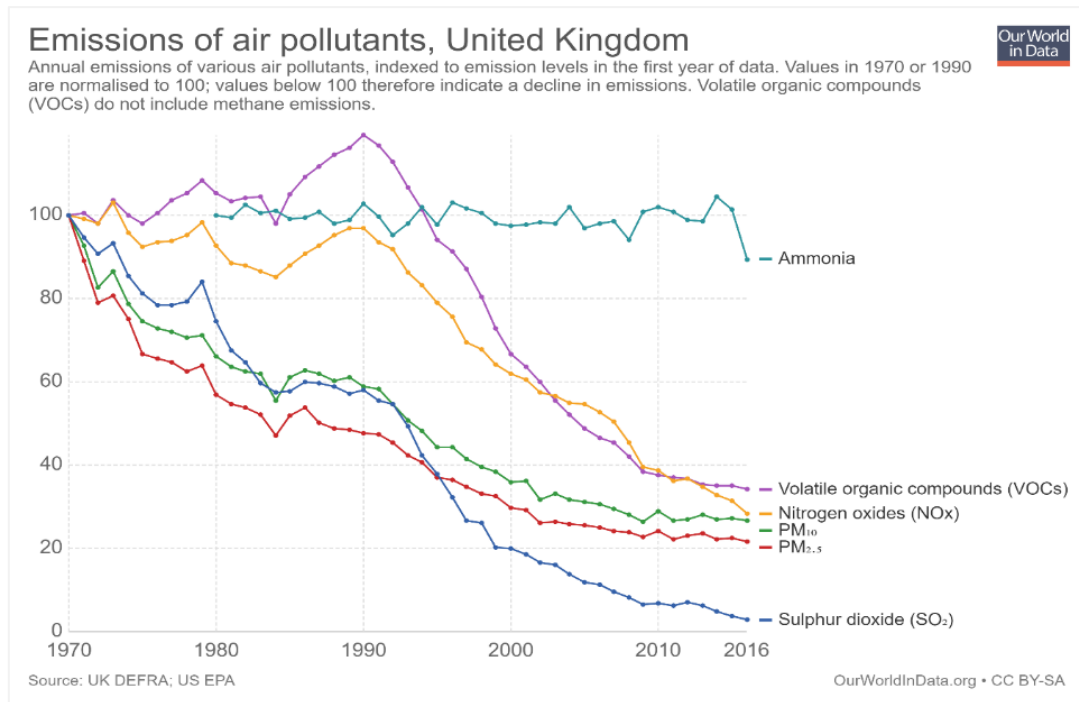
Λονδίνο υποφέρουν σήμερα από τη χειρότερη ποιότητα του αέρα που έχουν δει ποτέ. Σύμφωνα με μια μελέτη της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας, η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Κίνα σχετίζεται με περίπου 656.000 θανάτους ετησίως σε ολόκληρη τη χώρα. Στην ίδια έκθεση της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας αναφέρεται ότι κατά μέσο όρο 2 εκατομμύρια άνθρωποι σκοτώνονται παγκοσμίως κάθε χρόνο λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Στην Ινδία, η ατμοσφαιρική ρύπανση συμβάλλει σε περισσότερους από μισό εκατομμύριο πρόωρους θανάτους κάθε χρόνο [6].



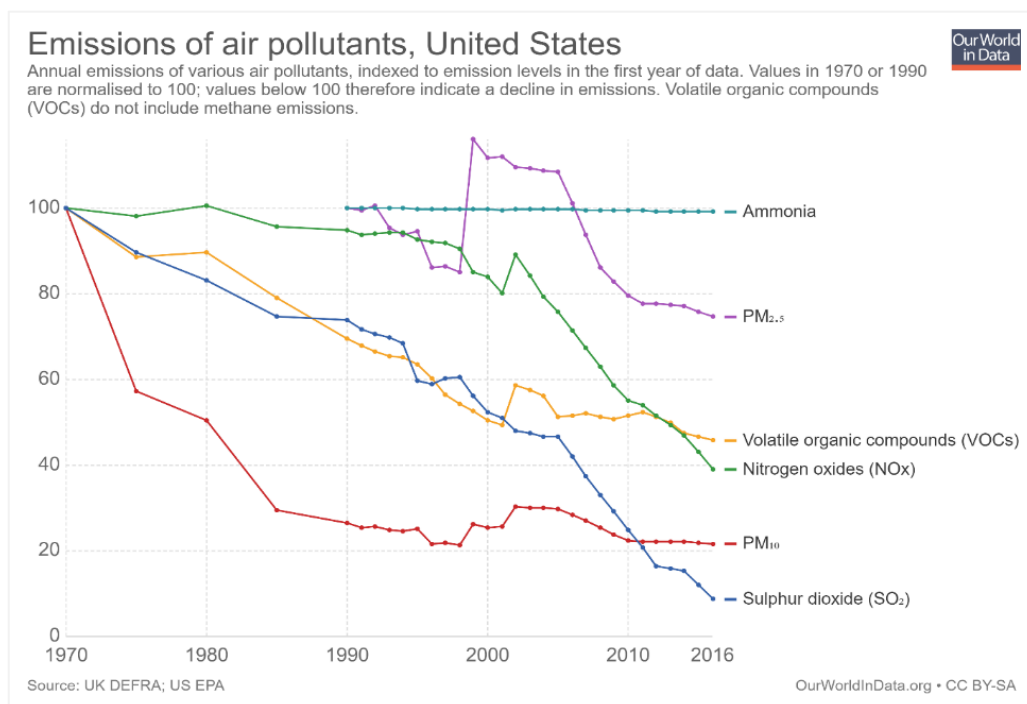
Εικόνα 1.9: Εκπομπές διοξειδίου του θείου ανά έτος σε παγκόσμια κλίμακα.

Τα παρακάτω σχεδιαγράμματα παρουσιάζουν τις ετήσιες εκπομπές διαφόρων ρύπων στο Ενωμένο βασίλειο και στις ηνωμένες πολιτείες της Αμερικής με αναπροσαρμογή στο έτος 1970 (1980 για την αμμωνία), η τιμή του οποίου είναι 100. Οι τιμές μικρότερες από 100 συνεπώς υποδηλώνουν μείωση των ετήσιων εκπομπών (δηλαδή μια τιμή 80 θα υποδηλώνει μείωση κατά 20% σε εκπομπές και μια τιμή 40 θα υποδηλώνει μείωση κατά 60%). Για όλους τους ρύπους, με εξαίρεση την αμμωνία, παρατηρούμε σημαντική μείωση των εκπομπών από το 1970. Οι εκπομπές διοξειδίου του θείου έχουν πέσει περισσότερο από 97% από το 1970 μέχρι και το 2016 καθώς και οι εκπομπές σωματιδίων κατά 20-30% με βάση των ιστορικών επιπέδων.





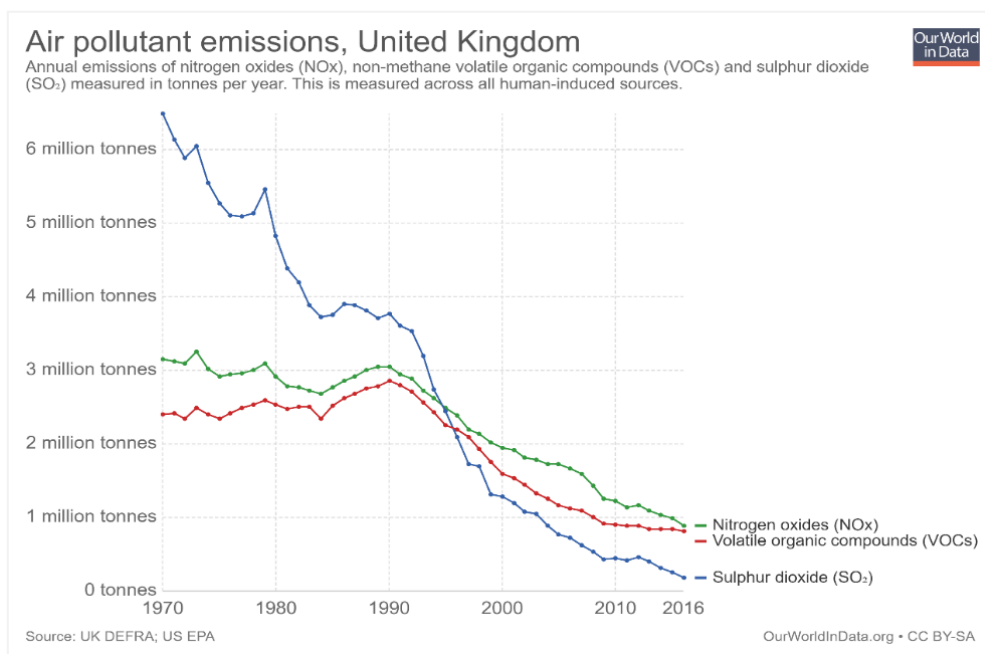
Εικόνα 1.10: Εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων στο ηνωμένο βασίλειο.



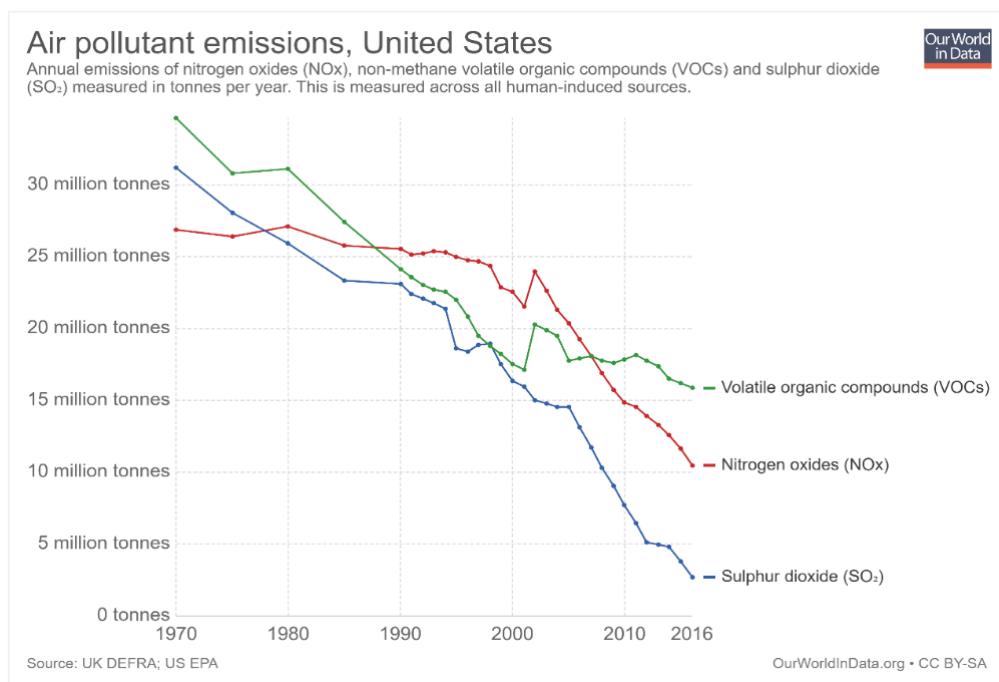
Εικόνα 1.11: Εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων στις Ηνωμένες πολιτείες.

Επίσης, στα παρακάτω διαγράμματα εμφανίζονται τα απόλυτα επίπεδα εκπομπών νιτρικών οξέων και αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα σε τόνους ετησίως. Η πιο δραματική μείωση

παρατηρείται στο διοξείδιο του θείου(SO<sub>2</sub>), με τις εκπομπές να μειώνονται από 6,5 εκατομμύρια τόνους το 1970 σε 180,000 το 2016 αντίστοιχα στο ενωμένο βασίλειο και στις ηνωμένες πολιτείες όπου περιλαμβάνουν και τον ανθρώπινο παράγοντα.

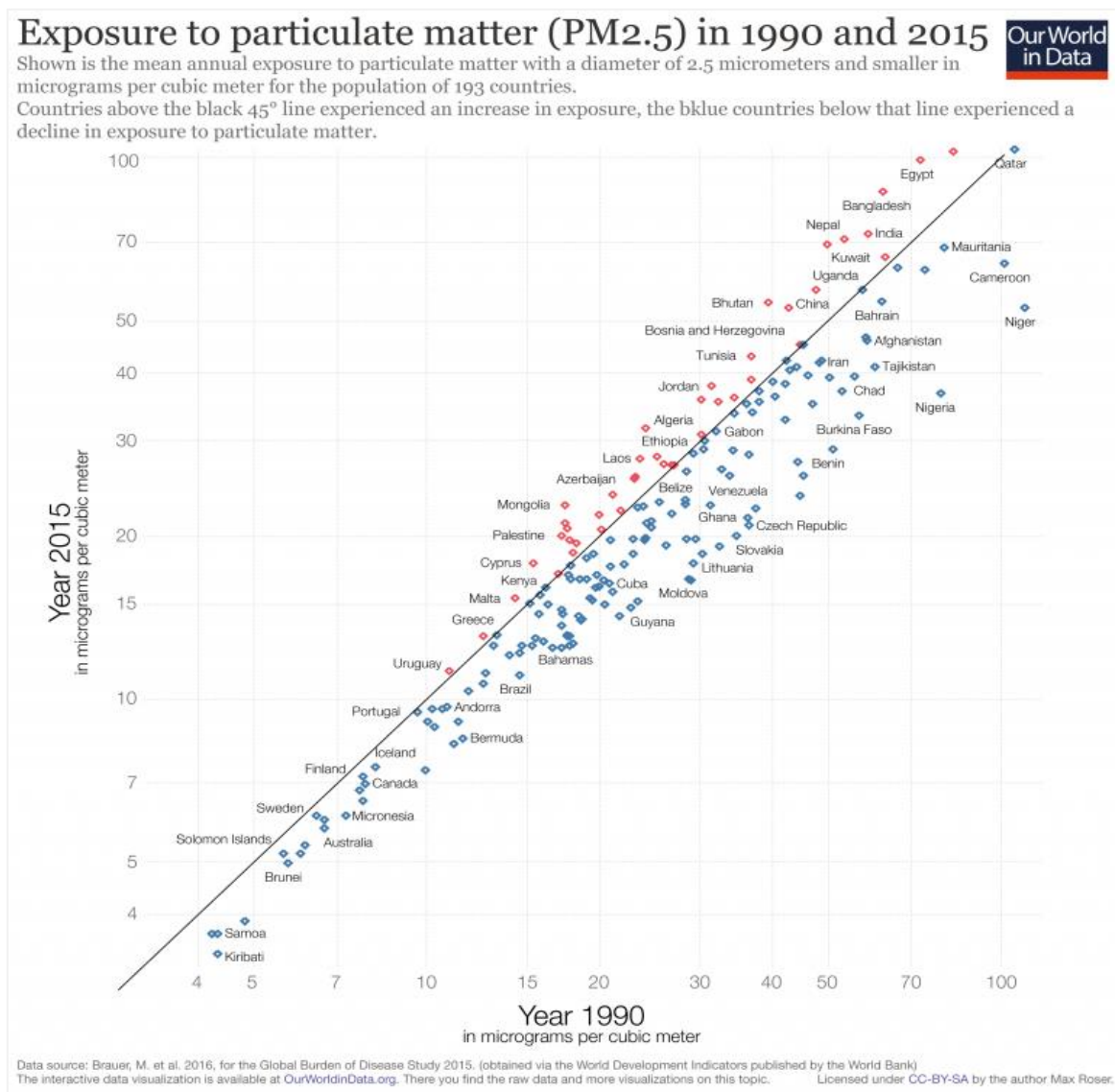


Εικόνα 1.12: Εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων όπως νιτρικά οξέα, αιωρούμενες οργανικές ύλες και διοξείδιο του θείου στο Ηνωμένο βασίλειο.



Εικόνα 1.13: Εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων όπως νιτρικά οξέα, αιωρούμενες οργανικές ύλες και διοξείδιο του θείου στις Ηνωμένες πολιτείες.

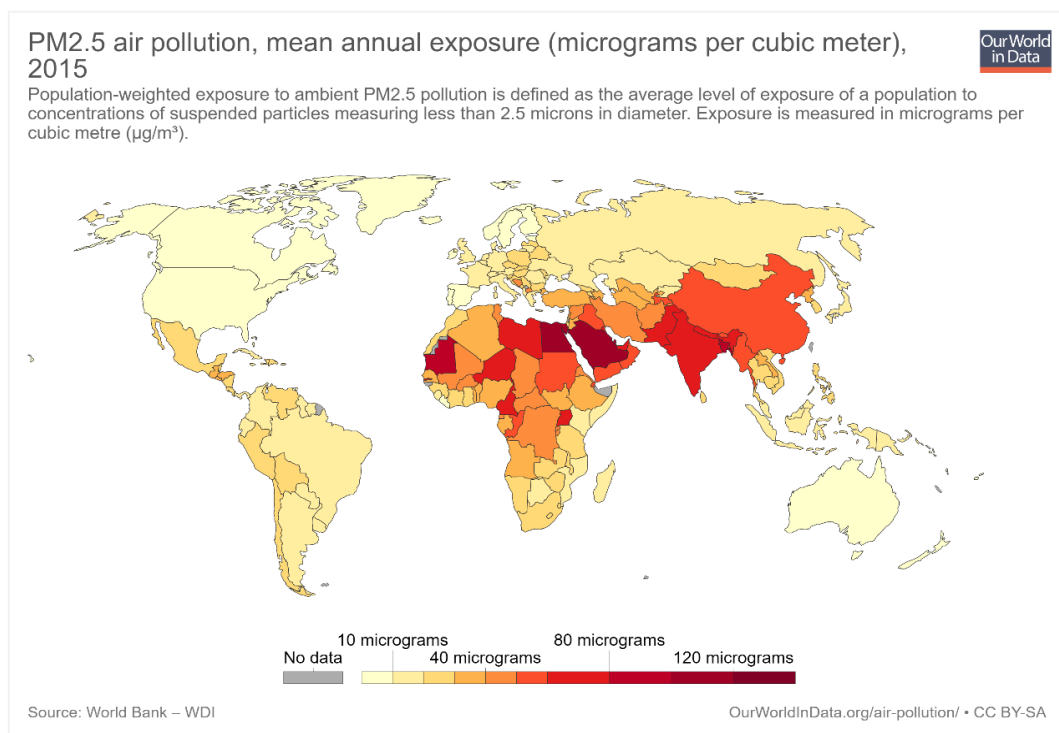
Εδώ, εστιάζουμε σε αιωρούμενα σωματίδια (PM<sub>2.5</sub>), τα οποία είναι ένας από τους πιο σχετικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους για την ανθρώπινη υγεία. Ενώ πολλοί ατμοσφαιρικοί ρύποι μπορούν να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, υπάρχει ιδιαίτερη ανησυχία για τα μικρότερα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 2,5 μm αφού μπορούν να διεισδύσουν στους πνεύμονες, επηρεάζοντας την υγεία του αναπνευστικού συστήματος. Η μέση ετήσια έκθεση, σε μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο, σε σωματίδια (PM<sub>2.5</sub>) παρουσιάζονται στην ακόλουθη απεικόνιση, το 1990 και 25 χρόνια αργότερα.



Εικόνα 1.14: Χώρες που έχουν εκτεθεί σε αιωρούμενη ύλη (PM 2.5) τα έτη 1990 και 2015.



Πρώτον, διαπιστώνουμε ότι στην πλειονότητα των χωρών η έκθεση στα αιωρούμενα σωματίδια (PM<sub>2,5</sub>) μειώνεται. Όλες οι χώρες κάτω από τη γραμμή των 45 °, που έχουν χρώμα μπλε στο οπτικό πεδίο, παρουσίασαν μείωση της έκθεσης σε σωματίδια (βλέπε εικόνα 1.14).



Εικόνα 1.15: Μέση ετήσια τιμή έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια (PM 2.5) παγκοσμίως το 2015.

Δεύτερον, μπορεί να διαπιστωθεί ότι υπάρχει μεγάλη ποικιλία στην έκθεση μεταξύ των διαφόρων χωρών. Το 2015, οι χώρες της Ευρώπης, της Βόρειας Αμερικής και της Ωκεανίας είχαν επίπεδα 5-10µg / m<sup>3</sup> - περίπου 15-20 φορές λιγότερες από τις συγκεντρώσεις στην Αίγυπτο και τη Σαουδική Αραβία, οι οποίες υπερέβησαν τα επίπεδα στα 105 µg / m<sup>3</sup> (βλέπε εικόνα 1.15).

## 1.5 Επιπτώσεις στην Υγεία των πολιτών

Η ατμοσφαιρική ρύπανση του εξωτερικού χώρου είναι ένα σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα υγείας που επηρεάζει όλες τις αναπτυγμένες και τις αναπτυσσόμενες χώρες. Σύμφωνα με εκτιμήσεις του Παγκόσμιου οργανισμού υγείας, το 72% των πρόωρων θανάτων που σχετίζονται με την εξωτερική ατμοσφαιρική ρύπανση οφείλεται σε ισχαιμική καρδιακή νόσο και εγκεφαλικά επεισόδια, ενώ το 14% των θανάτων οφείλεται σε χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια ή οξείες λοιμώξεις του κάτω αναπνευστικού συστήματος και το 14% λόγω του καρκίνου του πνεύμονα.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση λοιπόν μπορεί να θέσει σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία. Διάφορα προβλήματα ανθρώπινης υγείας όπως το εμφύσημα, το άσθμα, η χρόνια βρογχίτιδα, οι μολύνσεις των πνευμόνων και οι καρκίνοι προκαλούνται ή επιδεινώνονται από τις επιπτώσεις του νέφους. Τα αποτελέσματα των εκπομπών αυτών περιλαμβάνουν:[3, 8]



Εικόνα 1.16: Η αιθαλομίχλη και οι επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου.

- 1) **Βήχας και ερεθισμός των ματιών, του θώρακα, της μύτης και του λαιμού:** Τα υψηλά επίπεδα όζοντος μπορούν να ερεθίσουν το αναπνευστικό σύστημα, οδηγώντας σε βήχα και συριγμό. Αυτές οι επιδράσεις γενικά διαρκούν μόνο λίγες ημέρες μετά την έκθεση, αλλά τα σωματίδια στο νέφος μπορεί να συνεχίσουν να βλάπτουν τους πνεύμονες ακόμα και μετά την εξαφάνιση των ερεθισμών.
- 2) **Επιδείνωση του άσθματος:** Οι καταστάσεις άσθματος επιδεινώνονται σοβαρά από το νέφος και προκαλούν κρίσεις άσθματος.
- 3) **Δυσκολίες στην αναπνοή και βλάβη των πνευμόνων:** Βρογχίτιδα, πνευμονία και εμφύσημα είναι μερικές από τις καταστάσεις των πνευμόνων που συνδέονται με τις επιπτώσεις του καπνού καθώς βλάπτει την εσωτερική επιφάνεια των πνευμόνων, καθώς επίσης καθιστά δύσκολο για τους ανθρώπους να αναπνέουν σωστά.
- 4) **Πρόωροι θάνατοι εξαιτίας αναπνευστικών και καρκινικών ασθενειών:** Χιλιάδες πρόωροι θάνατοι στις Ηνωμένες Πολιτείες, στην Ευρώπη και στις ασιατικές χώρες συνδέονται με την εισπνοή σωματιδίων αιθάλης. Τέτοια χημικά σωματίδια περιλαμβάνουν βενζόλιο, φορμαλδεΰδη και βουταδιένιο, τα οποία αποτελούνται όλα από καρκινογόνα που προκαλούν καρκίνο.

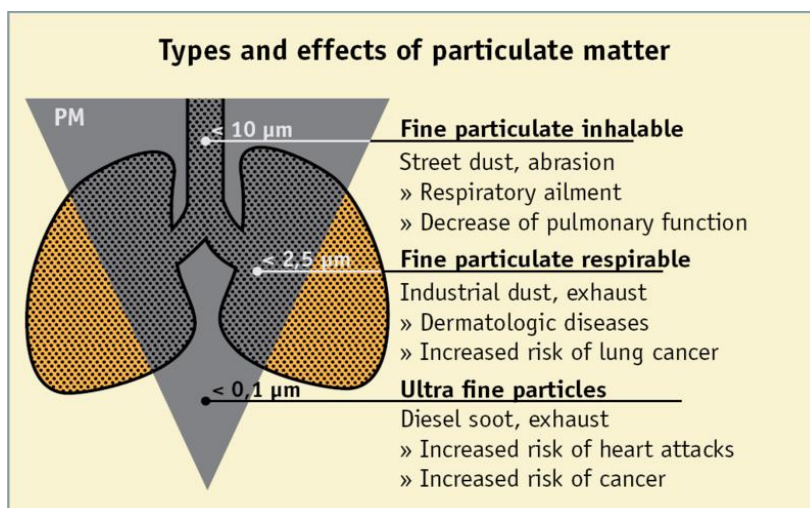
- 5) **Γενετικές ανωμαλίες και χαμηλά βάρη γέννησης:** Η αιθαλομίχλη συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με τις γενετικές ανωμαλίες και το χαμηλό βάρος γέννησης. Οι έγκυες γυναίκες που έχουν εκτεθεί σε νέφος έχουν παιδιά με γενετικές ανωμαλίες. Οι ανωμαλίες που αναπτύσσονται είναι καταστάσεις που εμφανίζονται δυσμορφίες της σπονδυλικής στήλης, και υπανάπτυξη ή απουσία ή μόνο μέρος του εγκεφάλου είναι τα γενετικά ελαττώματα που σχετίζονται με την έκθεση σε νέφος. Επιπλέον, οι μελέτες υποδεικνύουν ότι ακόμη και η έκθεση σε σωματίδια σκουριάς έως και 5 μg μπορεί να προκαλέσει κινδύνους πολύ χαμηλών βαρών κατά την παράδοση.
- 6) **Ο κίνδυνος ανάπτυξης ραχίτιδας:** Το βαρύ νέφος που διαρκεί για παρατεταμένες περιόδους εμποδίζει την ακτινοβολία UV να φτάσει στην επιφάνεια της γης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα χαμηλή παραγωγή βιταμίνης D που οδηγεί σε ραχίτιδα λόγω του μειωμένου μεταβολισμού του ασβεστίου και του φωσφόρου στον μυελό των οστών.
- 7) **Κίνδυνοι από οδικά ατυχήματα ή ακόμα και αεροπορικό δυστύχημα:** Η παρουσία της αιθαλομίχλης παρεμβαίνει με φυσική ορατότητα και ερεθίζει τα μάτια. Σε αυτή τη βάση, μπορεί να αποτρέψει τον οδηγό ή τον ελεγκτή πτήσης από την ανάγνωση σημαντικών σημάτων ή σημάτων, αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα τροχαίων ατυχημάτων ή ακόμη και αεροπορικό δυστύχημα.

Τα στοιχεία τα οποία καθίστανται επικίνδυνα για τον ανθρώπινο οργανισμό όπου βασίζονται σε αξιολόγηση από εμπειρογνώμονες των σημερινών επιστημονικών στοιχείων είναι:

- particulate matter (PM),
  - ozone (O<sub>3</sub>),
  - nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>),
  - sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>)
- 
- **Particulate matter(PM)**

Υπάρχει στενή ποσοτική σχέση μεταξύ της έκθεσης σε υψηλές συγκεντρώσεις μικρών σωματιδίων (PM<sub>10</sub> και PM<sub>2,5</sub>) και της αυξημένης θνησιμότητας ή νοσηρότητας, τόσο καθημερινά όσο και με την πάροδο του χρόνου. Αντίθετα, όταν μειώνονται οι συγκεντρώσεις μικρών και λεπτών σωματιδίων, η σχετική θνησιμότητα θα μειωθεί επίσης - υποθέτοντας ότι άλλοι παράγοντες παραμένουν οι ίδιοι. Αυτό επιτρέπει στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής να προβάλλουν τις βελτιώσεις της υγείας του πληθυσμού που θα μπορούσαν να αναμένονται εάν μειωθεί η

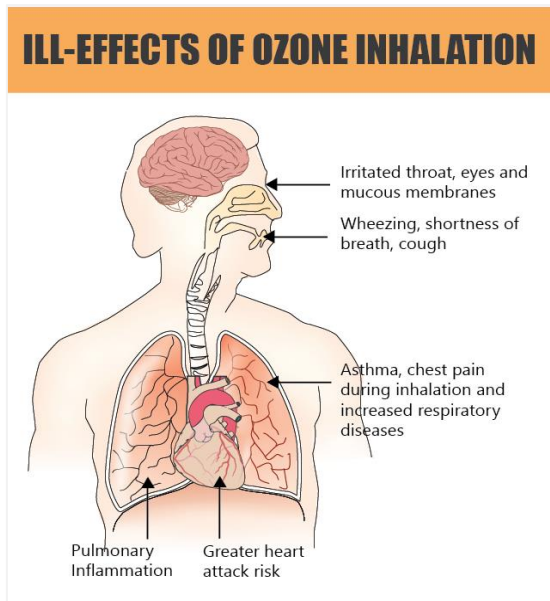
ατμοσφαιρική ρύπανση. Η μικρή ρύπανση των σωματιδίων έχει επιπτώσεις στην υγεία ακόμη και σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις - πράγματι δεν έχει εντοπιστεί κατώφλι κάτω από το οποίο δεν παρατηρείται καμία βλάβη στην υγεία. Επομένως, τα όρια κατευθυντήριων γραμμών του Παγκόσμιου οργανισμού υγείας για το 2005 αποσκοπούσε στην επίτευξη των χαμηλότερων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων.



Εικόνα 1.17: Τύποι και επιπτώσεις από την έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια.

- **Ozone(O<sub>3</sub>)**

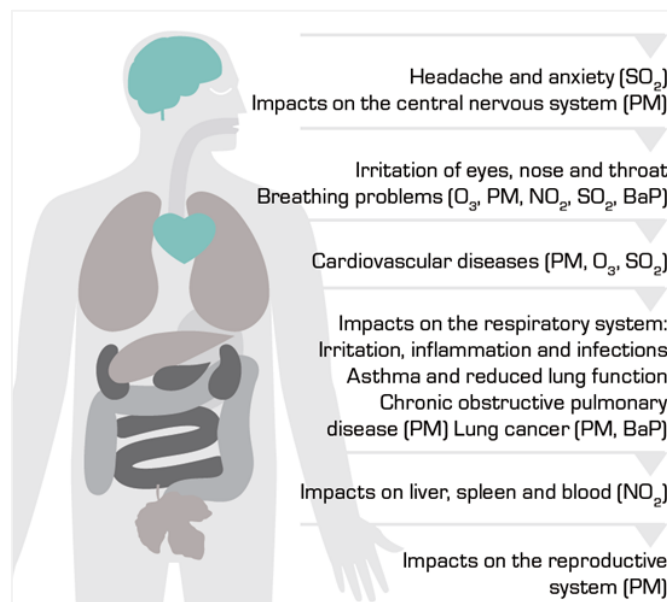
Το υπερβολικό όζον στον αέρα μπορεί να έχει αξιοσημείωτη επίδραση στην ανθρώπινη υγεία. Μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα, να προκαλέσει άσθμα, να μειώσει τη λειτουργία των πνευμόνων και να προκαλέσει πνευμονικές παθήσεις. Στην Ευρώπη αυτή τη στιγμή είναι ένας από τους ατμοσφαιρικούς ρύπους που προκαλούν τις μεγαλύτερες ανησυχίες. Πολλές ευρωπαϊκές μελέτες έχουν αναφέρει ότι η ημερήσια θνησιμότητα αυξάνεται κατά 0,3% και ότι για τις καρδιακές παθήσεις κατά 0,4%, ανά 10 μg / m<sup>3</sup> αύξηση της έκθεσης σε όζον.



Εικόνα 1.18: Επιπτώσεις στην υγεία από την εισπνοή όζοντος.

- **Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>)**

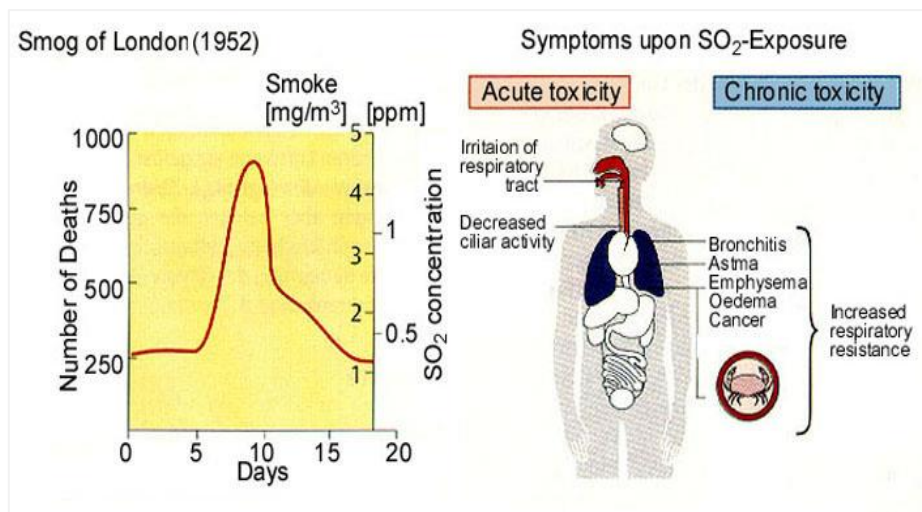
Επιστημονικές μελέτες έχουν δείξει ότι τα συμπτώματα της βρογχίτιδας στα παιδιά με άσθμα αυξάνονται σε συνδυασμό με τη μακροχρόνια έκθεση στο NO<sub>2</sub>. Η μείωση της πνευμονικής λειτουργίας σχετίζεται επίσης με το NO<sub>2</sub> σε συγκεντρώσεις που σήμερα μετριοούνται (ή παρατηρούνται) στις πόλεις της Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής.



Εικόνα 1.19: Επιπτώσεις στην υγεία από την έκθεση σε διοξείδιο του αζώτου και άλλων βλαβερών στοιχείων της αιθαλομίχλης.

- **Sulfur Dioxide (SO<sub>2</sub>)**

Το διοξείδιο του θείου μπορεί να επηρεάσει το αναπνευστικό σύστημα και τις λειτουργίες των πνευμόνων και προκαλεί ερεθισμό στα μάτια. Η φλεγμονή της αναπνευστικής οδού προκαλεί βήχα, έκκριση βλέννας, επιδείνωση του άσθματος και χρόνια βρογχίτιδα και κάνει τους ανθρώπους πιο επιρρεπείς σε λοιμώξεις της αναπνευστικής οδού. Οι εισαγωγές νοσοκομείων για καρδιακή νόσο και θνησιμότητα αυξάνονται στις ημέρες με υψηλότερα επίπεδα SO<sub>2</sub>. Όταν το SO<sub>2</sub> συνδυάζεται με νερό, σχηματίζει θειικό οξύ όπου είναι και το κύριο συστατικό της όξινης βροχής που είναι η αιτία της αποψίλωσης.

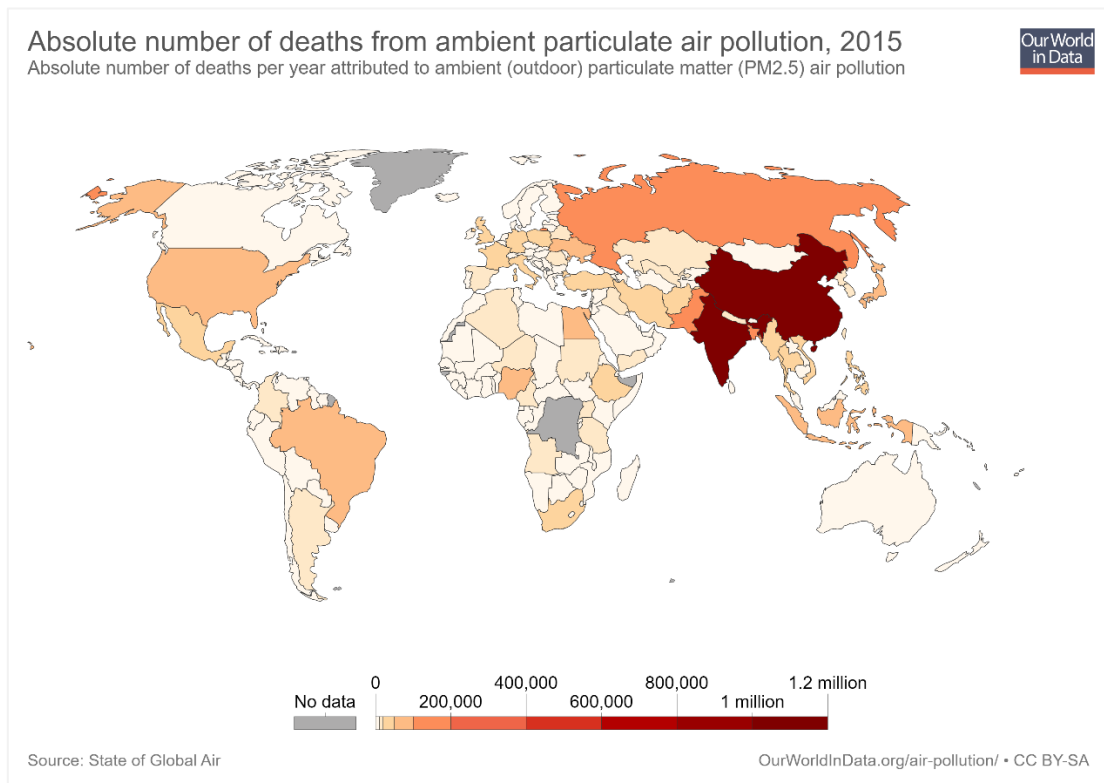


Εικόνα 1.20: Επιπτώσεις στην υγεία από την έκθεση στο διοξείδιο του θείου στο Λονδίνο το 1952.

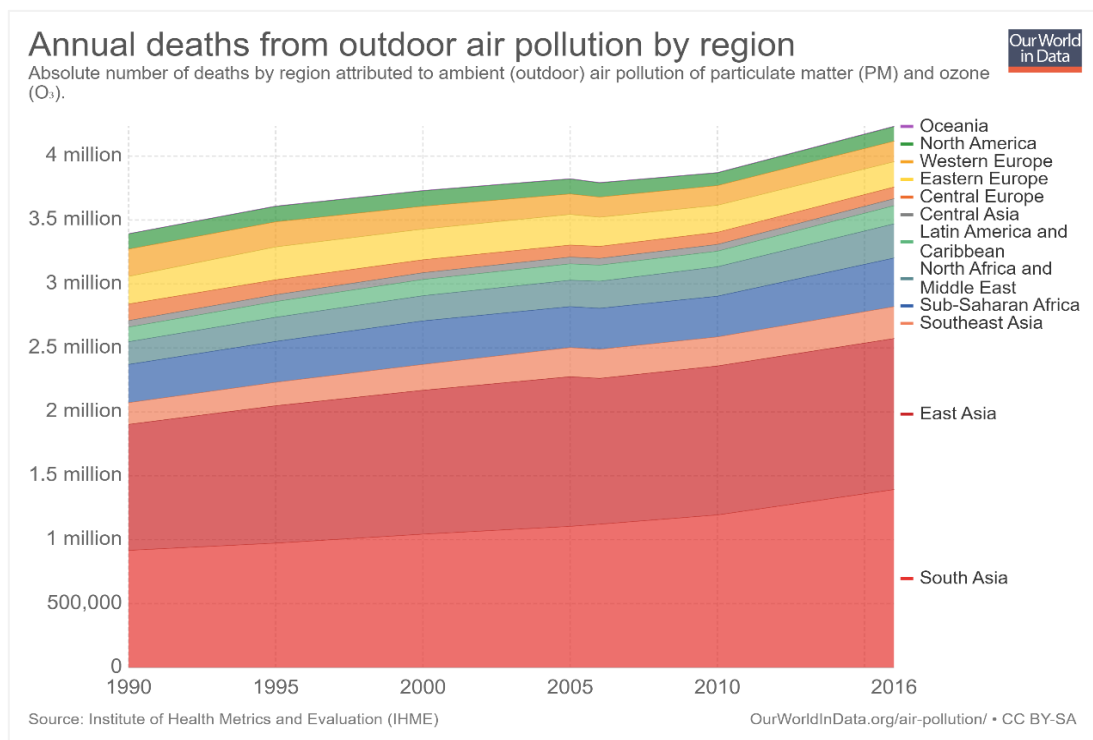
Ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας υπολογίζει ότι 3 εκατομμύρια άνθρωποι πεθαίνουν κάθε χρόνο από την εξωτερική ρύπανση της ατμόσφαιρας. Στο πρώτο γράφημα (βλέπε εικόνα 1.23) βλέπουμε τον απόλυτο αριθμό θανάτων από σωματίδια αιωρούμενης ύλης (PM<sub>2.5</sub>) το 2015 ως μέτρο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι ότι δεν λαμβάνει υπόψη το μέγεθος του πληθυσμού. Έτσι μπορούμε να αναμένουμε ότι ο αριθμός των θανάτων θα είναι υψηλότερος σε χώρες με μεγαλύτερους πληθυσμούς και θα αυξηθεί σύμφωνα με την αύξηση του πληθυσμού. Αναμένεται λοιπόν ότι ο αριθμός των θανάτων θα είναι υψηλότερος σε χώρες με δημογραφικό πληθυσμό μεγαλύτερης ηλικίας.

Παρομοίως στο δεύτερο γράφημα βλέπουμε η πλειονότητα των θανάτων που σχετίζονται με τη ρύπανση όχι μόνο αιωρούμενης ύλης (PM<sub>2.5</sub>) αλλά και του όζοντος (O<sub>3</sub>) είναι μόνο στην Ασία - Νότια, Νοτιοανατολική και Ανατολική Ασία, αντιπροσωπεύοντας μόνο 3 εκατομμύρια το 2016. Επιπλέον στο τρίτο γράφημα γίνεται αναφορά των θανάτων ανά χώρα από το 1990 έως και το

2016 με την πλειοψηφία θανάτων μεταξύ της Ινδίας και της Κίνας από εκπομπές αιωρούμενης ύλης (PM<sub>2.5</sub>) αλλά και του όζοντος (O<sub>3</sub>). [7]



Εικόνα 1.21: Απόλυτος αριθμός θανάτων από την ατμοσφαιρική ρύπανση των σωματιδίων το έτος 2015.



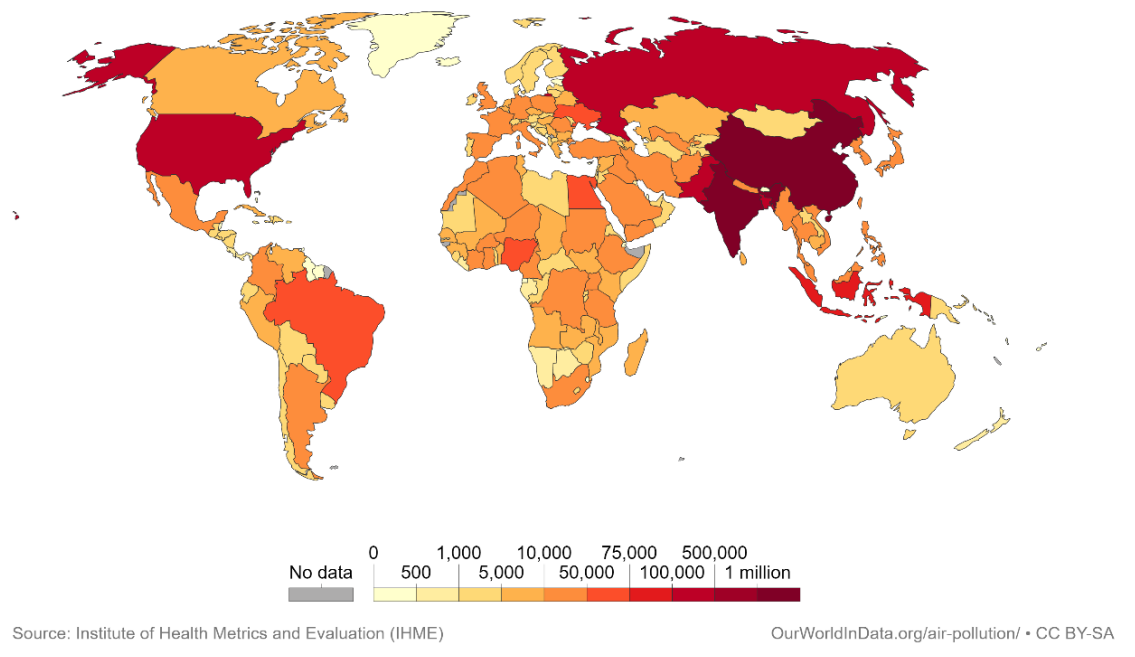
Εικόνα 1.22: Ετήσιοι θάνατοι από ατμοσφαιρική ρύπανση (αιωρούμενα σωματίδια και όζον) ανά περιοχή.



## Absolute number of deaths from outdoor air pollution, 2016

Absolute number of deaths by country attributed to ambient (outdoor) air pollution of particulate matter (PM) and ozone (O<sub>3</sub>).

Our World  
in Data



Εικόνα 1.23: Απόλυτος αριθμός θανάτων από ατμοσφαιρική ρύπανση (Αιωρούμενα σωματίδια και όζον) το έτος 2016.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Συστήματα καταγραφής αιθαλομίχλης

#### 2.1 Όρια φυσιολογικών τιμών

Τα κριτήρια ή τα πρότυπα ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα είναι συγκεντρώσεις ρύπων στον αέρα (συνήθως εξωτερικός, αλλά μερικές φορές αέρα εσωτερικού χώρου) που καθορίζονται για διάφορους λόγους, μεταξύ άλλων για την προστασία της ανθρώπινης υγείας, των κτιρίων, των καλλιεργειών, της βλάστησης, των οικοσυστημάτων, άλλους σκοπούς.

Σημαντικό για κάθε αριθμητικό πρότυπο είναι να διασφαλιστεί ότι παρέχεται η μέση περίοδος, η μονάδα και τα στατιστικά μέτρα (π.χ. το 98ο εκατοστημόριο των ωρών μέτρησης που μετράτε σε ένα ημερολογιακό έτος σε μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ )). Χωρίς όλες αυτές τις τρεις πτυχές το κριτήριο είναι συγκεχυμένο και χωρίς νόημα. Τα κριτήρια μπορούν να οριστούν σε διάφορες μονάδες (π.χ.  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ , μέρη ανά δισεκατομμύριο κατ 'όγκο (ppbv), μέρη ανά δισεκατομμύριο κατά μάζα (ppb (μάζα)), μέρη ανά εκατομμύριο (ppm)) και είναι δυνατή η μετατροπή αυτές τις μονάδες αν γνωρίζετε τη μοριακή μάζα του ρύπου και τη θερμοκρασία στην οποία θέλετε να μετατρέψετε. Διαφορετικές θερμοκρασίες χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο και επομένως είναι σημαντικό να δηλώνεται η θερμοκρασία μετατροπής (εάν υπάρχει). Οι περισσότεροι ρύποι έχουν περιβαλλοντικά κριτήρια στην περιοχή των μερών ανά δισεκατομμύριο (ppb) /  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ . Ορισμένοι έχουν μικρότερες μονάδες (π.χ. οι διοξίνες είναι συχνά σε pico grams /  $\text{m}^3$ ). Άλλοι έχουν μεγαλύτερες μονάδες (π.χ. μονοξείδιο του άνθρακα (CO) σε  $\text{mg} / \text{m}^3$ ). Η ρύπανση μέσω αιωρούμενων σωματιδίων (π.χ. PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1.0</sub>) καθορίζεται σε μονάδες μάζας (π.χ.  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ) και όχι σε μονάδες όγκου (ppmv). Παρακάτω είναι μια λίστα με τα διαθέσιμα όρια σε όλο τον κόσμο. Υπάρχουν πολλές διασταυρούμενες αναφορές (π.χ. η International Finance Corp (IFC)) έχουν τα δικά τους κριτήρια, αλλά είναι ένα αντίγραφο αυτών που καθορίζει ο Παγκόσμιος οργανισμός υγείας [8].







Ρύποι	Μέσος όρος χρόνου	Επίπεδα εκπομπών
SO <sub>2</sub>	Μέση τιμή ώρας Μέση τιμή 24 ωρών	500 µg/m <sup>3</sup> 20 µg/m <sup>3</sup>
NO		<i>Δεν υπάρχει θεσπισμένο όριο</i>
NO <sub>2</sub>	Μέση τιμή ώρας Μέση τιμή έτους Μέση τιμή 24 ωρών	200 µg/m <sup>3</sup> 40 µg/m <sup>3</sup> 50 µg/m <sup>3</sup>
O <sub>3</sub>	Μέγιστη μέση τιμή 8 ωρών	100 µg/m <sup>3</sup>
PM <sub>1</sub>		<i>Δεν υπάρχει θεσπισμένο όριο</i>
PM <sub>2.5</sub>	24 ώρες κατά μέσο όρο 1 έτος κατά μέσο όρο	25 µg/m <sup>3</sup> 10 µg/m <sup>3</sup>
PM <sub>10</sub>	24 ώρες κατά μέσο όρο 1 έτος κατά μέσο όρο	50 µg/m <sup>3</sup> 20 µg/m <sup>3</sup>

Πίνακας 1: Θεσμοθετημένα όρια για τις μετρήσεις περιβαλλοντικών παραγόντων

## 2.2 Αιθαλομίχλη στην Ελλάδα

Στο παρακάτω διάγραμμα θα δούμε τα ποσοστά από τις εκπομπές ρύπων στην Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα από σταθμούς στις περιοχές της Αθήνας, Θεσσαλονίκης και Πάτρας όπου έχουν εγκαταστημένους σταθμούς καταγραφής ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

*Αθήνα 12/03/2018*

ATTICA STATIONS		
	Today on 26/03/2018 the levels until 13:00 varied:	Yesterday on 25/03/2018 the levels varied:
 Ozone	<ul style="list-style-type: none"> <li>from 1 µg/m<sup>3</sup> at the PATISION, station</li> <li>to 120 µg/m<sup>3</sup> at the N.SMYRNI station</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>from 1 µg/m<sup>3</sup> at the PATISION, station</li> <li>to 123 µg/m<sup>3</sup> at the N.SMYRNI station</li> </ul>
Public information level 180 µg/m <sup>3</sup> -- Alarm level 240 µg/m <sup>3</sup> . Hourly mean values		
 Nitrogen Dioxide	<ul style="list-style-type: none"> <li>from 2 µg/m<sup>3</sup> at the AG.PARASKEYH, station</li> <li>to 90 µg/m<sup>3</sup> at the PIREAUS station</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>from 2 µg/m<sup>3</sup> at the THRAKOMAKEDONES, station</li> <li>to 97 µg/m<sup>3</sup> at the PIREAUS station</li> </ul>
Alarm Level 400 µg/m <sup>3</sup> Hourly mean values.		
 Sulfur Dioxide	<ul style="list-style-type: none"> <li>from 2 µg/m<sup>3</sup> at the ATHINAS, station</li> <li>to 18 µg/m<sup>3</sup> at the ELEFSINA station</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>from 2 µg/m<sup>3</sup> at the PIREAUS, station</li> <li>to 18 µg/m<sup>3</sup> at the PIREAUS station</li> </ul>
Alarm Level 500 µg/m <sup>3</sup> Hourly mean values.		
 Sulfur Dioxide		<ul style="list-style-type: none"> <li>from 3 µg/m<sup>3</sup> at the KOROPI, station</li> <li>to 10 µg/m<sup>3</sup> at the ELEFSINA station</li> </ul>
Limit value 125 µg/m <sup>3</sup> -- Not to be exceeded more than 3 times per year. 24 hourly values.		
 Carbon Monoxide	<ul style="list-style-type: none"> <li>from 0.1 mg/m<sup>3</sup> at the PATISION, station</li> <li>to 1.0 mg/m<sup>3</sup> at the PATISION station</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>from 0.2 mg/m<sup>3</sup> at the PATISION, station</li> <li>to 1.0 mg/m<sup>3</sup> at the PATISION station</li> </ul>
Limit value 10 mg/m <sup>3</sup> . 8 hourly values		
 Particulate Matter		<ul style="list-style-type: none"> <li>from 38 µg/m<sup>3</sup> at the THRAKOMAKEDONES, station</li> <li>to 57 µg/m<sup>3</sup> at the KOROPI station</li> </ul>
Undefined Alarm level. Limit value 50 µg/m <sup>3</sup> -- not to be exceeded more than 35 time per year. 24 hourly values.		


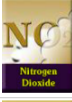


Εικόνα 2.1: Ημερήσια μέτρηση ατμοσφαιρικών ρύπων στην πόλη της Αθήνας.

Πάτρα 26-03- 2018

26-03-2018		
	Σταθμός ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΔΡΟΣΟΠΟΥΛΟΥ	Σταθμός ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΥ
<b>NO<sub>2</sub></b> (διοξείδιο του αζώτου)	• από 10 µg/m <sup>3</sup> μέχρι 70 µg/m <sup>3</sup>	• από 17 µg/m <sup>3</sup> μέχρι 61 µg/m <sup>3</sup>
	Ωριαία οριακή τιμή <b>200 µg/m<sup>3</sup></b> (να μην υπερβαίνεται περισσότερες από 18 φορές το έτος). Οριο συναγερμού <b>400 µg/m<sup>3</sup></b> . Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται σε ωριαία βάση.	
<b>CO</b> (μονοξείδιο το άνθρακα)	<b>0,53</b> mg/m <sup>3</sup>	<b>0,64</b> mg/m <sup>3</sup>
	Δεν έχει θεσπιστεί όριο συναγερμού, Μέγιστη ημερήσια μέση τιμή οκταώρου <b>10 mg/m<sup>3</sup></b> . Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται σε 8ωρη βάση.	
<b>SO<sub>2</sub></b> (διοξείδιο του θείου)	--- µg/m <sup>3</sup>	<b>4</b> µg/m <sup>3</sup>
	Ημερήσια οριακή τιμή <b>125 µg/m<sup>3</sup></b> (να μην υπερβαίνεται περισσότερες από 3 φορές το έτος). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται σε ημερήσια βάση. Οριο συναγερμού <b>500 µg/m<sup>3</sup></b> .	
<b>PM-10</b> (σωματίδια)	<b>141</b> µg/m <sup>3</sup>	<b>139</b> µg/m <sup>3</sup>
	Δεν έχει θεσπισθεί όριο συναγερμού - <b>Ημερήσια οριακή τιμή 50 µg/m<sup>3</sup></b> να μην υπερβαίνεται περισσότερες από 35 φορές το έτος. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται σε ημερήσια βάση.	
<b>O<sub>3</sub></b> (όζον)	• από 18 µg/m <sup>3</sup> μέχρι 97 µg/m <sup>3</sup>	--- µg/m <sup>3</sup>
	Ωριαία οριακή τιμή ενημέρωσης κοινού <b>180 µg/m<sup>3</sup></b> . Ωριαία οριακή τιμή συναγερμού <b>240 µg/m<sup>3</sup></b> . Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται σε ωριαία βάση.	

Εικόνα 2.2: Ημερήσια μέτρηση ατμοσφαιρικών ρύπων στην πόλη της Πάτρας.

Θεσσαλονίκη 27-3-2018

	Σήμερα 21/03/2018 οι τιμές μέχρι τις 13:00 κυμάνθηκαν:	Χθες 20/03/2018 οι τιμές κυμάνθηκαν:
 <b>O<sub>3</sub></b> Ozone	-	-
	Όριο: ενημέρωσης κοινού 180 µg/m <sup>3</sup> – συναγερμού 240 µg/m <sup>3</sup> . Οι μετρήσεις γίνονται σε ωριαία βάση.	
 <b>NO<sub>2</sub></b> Nitrogen Dioxide	-	-
	Όριο συναγερμού 400 µg/m <sup>3</sup> . Οι μετρήσεις γίνονται σε ωριαία βάση.	
 <b>SO<sub>2</sub></b> Sulfur Dioxide	-	-
	Όριο συναγερμού 500 µg/m <sup>3</sup> . Οι μετρήσεις γίνονται σε ωριαία βάση.	
 <b>SO<sub>2</sub></b> Sulfur Dioxide	-	-
	Οριακή τιμή 125 µg/m <sup>3</sup> (να μην υπερβαίνεται περισσότερες από 3 φορές το έτος). Οι τιμές είναι σε 24ωρη βάση.	
 <b>CO</b> Carbon Monoxide	-	-
	Δεν έχει θεσπιστεί όριο συναγερμού. Οριακή τιμή 10 mg/m <sup>3</sup> . Οι τιμές είναι σε 8ωρη βάση.	
 <b>PM-10</b> Particulate Matter	-	Από 8 µg/m <sup>3</sup> στο σταθμό ΠΑΝΟΡΑΜΑ, μέχρι 30 µg/m <sup>3</sup> στο σταθμό ΑΓΙΑΣ ΣΟΦΙΑΣ
	Δεν έχει θεσπισθεί όριο συναγερμού. Οριακή τιμή 50 µg/m <sup>3</sup> να μην υπερβαίνεται περισσότερες από 35 φορές το έτος. Οι μετρήσεις γίνονται σε 24ωρη βάση.	

Εικόνα 2.3: Ημερήσια μέτρηση ατμοσφαιρικών ρύπων στην πόλη της Θεσσαλονίκης.

### 2.3 On line συστήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Ο Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών (ΑΙΑ) είναι ο μεγαλύτερος αερολιμένας της Ελλάδας, ο οποίος λειτουργεί από το 1996, εξυπηρετώντας συνολικά περίπου 20 εκατ. επιβατών το 2016, σημειώνοντας αύξηση 10,7% σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Δίνοντας ισχυρή δέσμευση για την προστασία του περιβάλλοντος, είναι ο πρώτος αερολιμένας στην Ελλάδα, ο οποίος είναι ουδέτερος από το άνθρακα (επίπεδο 3+, 2016) και ένας από τους 28 παγκοσμίως.



*Εικόνα 2.4: Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών*

Για τη δέσμευση της ΑΙΑ στην προστασία του περιβάλλοντος συμβαδίζει με την καινοτομία. Το 2016, αναζητώντας μια καινοτόμο, εξωχρηματιστηριακή λύση στην περιβαλλοντική παρακολούθηση, ανάλυση και υποβολή εκθέσεων, ο ΑΙΑ συνεργάστηκε με την Ex Machina. Πρέπει να αντιμετωπιστούν δύο προκλήσεις: η ανάγκη να καταστεί δυνατή η παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε αυθαίρετες τοποθεσίες και η ανάγκη να κατανοηθούν καλύτερα τα επίπεδα των επιπέδων θορύβου των αεροσκαφών, επηρεάζοντας τις γειτονικές κοινότητες. Η πρώτη πρόκληση αφορούσε την παρακολούθηση και την ανάλυση των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων, συγκεκριμένα για το όζον (O<sub>3</sub>) και τα σωματίδια (PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>).

Η Ex Machina αντιμετώπισε την ανάγκη με μια εξαιρετικά φορητή, αυτόνομη, συνδεδεμένη συσκευή παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η λύση περιλαμβάνει οικονομικά αποδοτική συναρμολόγηση υλικού εκτός του ραφιού με προσαρμοσμένο υλικολογισμικό. Κάθε σταθμός (αισθητήρας κόμβου) είναι εξοπλισμένος με αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, ατμοσφαιρικής πίεσης, όζοντος και σωματιδίων. Οι μονάδες αμφίδρομης επικοινωνίας, GPRS και LoRaWAN, εξασφαλίζουν τη συνεχή ροή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο στο νέφος, καθώς και τη

μεταφόρτωση δεδομένων χύδην και την αναβάθμιση υλικολογισμικού OTA. Η υποδομή επικοινωνιών LoRaWAN επιτρέπει επιπλέον τη χρήση διαφόρων ειδών χρήσης ασύρματων αισθητήρων χαμηλής κατανάλωσης σε σημεία του αεροδρομίου, όπως η παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων, η παρακολούθηση της εσωτερικής ατμόσφαιρας / ποιότητας του αέρα, η διαχείριση χώρου στάθμευσης κ.λπ.

Ο κόμβος είναι ανεξάρτητος από πλευράς ενέργειας, φέρει φωτοβολταϊκό πάνελ και μπαταρίες λιθίου, οι οποίες επιτρέπουν τη συνεχή αυτόνομη λειτουργία χωρίς την ανάγκη για εξωτερική πηγή ενέργειας.



*Εικόνα 2.5: Αυτόνομος κόμβος παρακολούθησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης.*

Η περίπτωση θορύβου των αεροσκαφών ήταν πολύ πιο δύσκολη διαδικασία. Η Ex Machina ανέπτυξε μια σειρά από κόμβους μέτρησης ήχου για την παρακολούθηση και αναφορά των επιπέδων θορύβου κατά την απογείωση. Ακριβώς όπως οι κόμβοι παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα, οι κόμβοι παρακολούθησης ήχου είναι αυτόνομοι, φέρουν φωτοβολταϊκά πάνελ και μπαταρίες και χρησιμοποιούν διπλές ασύρματες επικοινωνίες (GPRS, LoRaWAN). Μέσω της συνδυασμένης ανάλυσης των αποκτηθέντων δεδομένων, η θέση των αεροσκαφών μπορεί να εντοπιστεί και να αναφερθεί στο περιβαλλοντικό τμήμα του αερολιμένα για περαιτέρω στατιστική ανάλυση, ενισχύοντας έτσι τις δυνατότητες παρακολούθησης του περιβάλλοντος.

Η χρήση του παραπάνω αυτόνομου κόμβου έρχεται σε συνδυασμό της πλατφόρμας IoT η οποία παρέχει πολύτιμες και πρακτικές γνώσεις στον πελάτη για τη συμμόρφωση με τις κανονιστικές διατάξεις καθώς και για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη βελτίωση των σχέσεων με τις γύρω κοινότητες. Άλλες βιομηχανίες που μπορούν να επωφεληθούν από αυτή τη λύση είναι

τα διυλιστήρια πετρελαίου, η χαλυβουργία, η βιομηχανία τσιμέντου και εξόρυξης, οι παραγωγοί ενέργειας, κατασκευαστές κλπ [9].

## 2.4 Εφαρμογές IoT

Το Internet of Things σύμφωνα με αναλυτές είναι το τεχνολογικό μέλλον που θα κάνει τη ζωή μας πιο εύκολη με εκτίμηση ότι 20+ δισεκατομμύρια συσκευές θα συνδεθούν στο Διαδίκτυο έως το 2020. Σε αυτό το εκρηκτικό Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), οι χρήστες, τα πράγματα και οι υπηρεσίες cloud συνδέονται χρησιμοποιώντας το Διαδίκτυο για να επιτρέψουν νέες περιπτώσεις χρήσης και νέα επιχειρηματικά μοντέλα σε πολλαπλές αγορές και εφαρμογές. Βασίζεται κυρίως σε συσκευές ή αντικείμενα που χρησιμοποιούνται σε καθημερινή βάση με εύρος εφαρμογών από αυτοματισμούς σπιτιών μέχρι και συσκευές που τις φοράμε. Χρησιμοποιούν ενσωματωμένους αισθητήρες για τη συλλογή δεδομένων και την ανάληψη κάποιας δράσης σε αυτά μέσα σε ένα δίκτυο. Κάπως έτσι λειτουργεί ένα κτίριο που χρησιμοποιεί αισθητήρες για την αυτόματη ρύθμιση της θέρμανσης ή του φωτισμού.[14-15]

Μερικές από τις εφαρμογές όπου γίνεται εφαρμογή είναι: Αυτοματισμοί κτιρίων και σπιτιών, έξυπνων πόλεων, έξυπνες κατασκευές, αυτοκινητοβιομηχανίες, φορητές συσκευές(wearables), υγεία ή ακόμη και στον τομέα της γεωργίας.[16, 20]

### Αυτοματισμοί κτιρίων και σπιτιών

- Συνδεδεμένες συσκευές(ψυγείο, πλυντήριο, κλιματιστικό)
- Πίνακες ελέγχου ( αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής) για ασφάλεια κτιρίων
- Έλεγχος φωτισμού
- Έξυπνη κλειδαριά
- Έξυπνος θερμοστάτης
- Ασύρματος αισθητήρας περιβάλλοντος (θερμοκρασία, υγρασία, φως του περιβάλλοντος, ποιότητα του αέρα)

### Έξυπνες πόλεις

- Ασύρματο φωτισμό ( Προσθήκη ασύρματων χειριστηρίων και αισθητήρων στο φωτισμό του δρόμου καθιστά ικανή μια έξυπνη πόλη)
- Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- Κάμερες παρακολούθησης

- Επικοινωνία μέσω ασύρματου δικτύου

### **Έξυπνες βιομηχανικές κατασκευές**

- Ρομποτική
- Μονάδα επικοινωνίας
- CPU (ελεγκτής PLC)
- Υδραυλικές βαλβίδες
- Βιομηχανική επικοινωνία
- Φορητή οθόνη
- Ρομποτικός έλεγχος

### **Αυτοκινητοβιομηχανία**

- Διαχείριση κινητήρα
- Βοηθός έξυπνης οδήγησης
- Αυτοματοποιημένη διαχείριση έκτακτης ανάγκης
- Έξυπνα συστήματα ασφαλείας

### **Φορητές συσκευές**

- Αυξημένη πραγματικότητα (Augmented reality) και διασκέδαση
- Υγεία
- Τοποθεσία και παρακολούθηση
- Έξυπνα ρολόγια
- Φορητές συσκευές γυμναστικής και δραστηριοτήτων

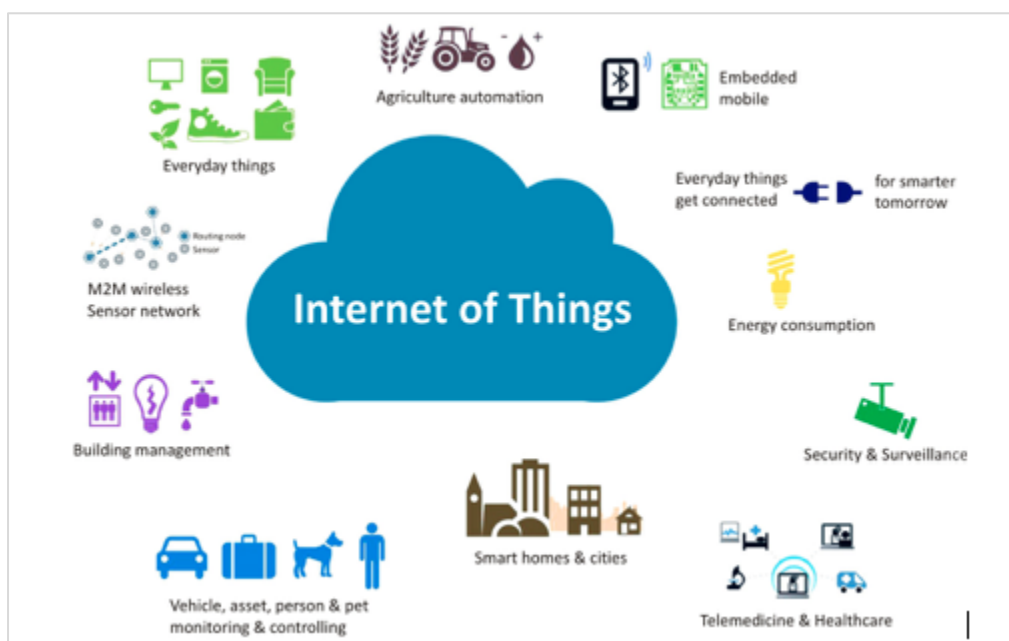
### **Υγεία**

- Ασύρματη παρακολούθηση ασθενών
- Παρακολούθηση ιατρικών στοιχείων (φαρμακα)
- Παρακολούθηση της χρήσης του εξοπλισμού (αισθητήρες κρεβατιών, θερμοκρασία δωματίου)

### **Γεωργία**

- Μετατροπείς & φορτιστές ισχύος για γεωργικό εξοπλισμό
- Παρακολούθηση ψυχρής αλυσίδας για την διασφάλιση μεταφοράς ευαίσθητων προϊόντων όπως τρόφιμα σε ψυγεία
- Αισθητήρες για γεωργικό εξοπλισμό
- Δορυφορική παρακολούθηση καλλιεργειών





Εικόνα 5.1: Εφαρμογές IoT.

## 2.5 Εφαρμογές έξυπνης πόλης

Για την βελτίωση των καθημερινών μετακινήσεων και το επίπεδο ζωής του πολίτη, ο δήμος Ιωαννιτών υλοποιεί το έργο «Ολοκληρωμένη πλατφόρμα διαχείρισης και παρακολούθησης της κυκλοφορίας με στόχο την πληροφόρηση των πολιτών για τις συνθήκες κίνησης μέσω πολλαπλών καναλιών επικοινωνίας». Οι στόχοι της πλατφόρμας αυτής επικεντρώνονται κυρίως :

- Στην βελτίωση της ενημέρωσης του πολίτη σχετικά με τις κυκλοφοριακές συνθήκες ,διαθεσιμότητα θέσεων στάθμευσης σε πραγματικό χρόνο.
- Στην μείωση κυκλοφοριακής συμφόρησης μέσω της έγκαιρης ενημέρωσης του πολίτη για την κατάσταση του οδικού δικτύου.
- Την απόκτηση επικαιροποιημένων δεδομένων σχετικά με κυκλοφοριακά ζητήματα (χρόνοι διαδρομής, θέσεις στάθμευσης κ.λπ.), προς επεξεργασία, για τη συνεχή μελέτη και υποβολή προτάσεων, με τη δημιουργία βάσης δεδομένων από το αρμόδιο Τμήμα του Δήμου.

Οι παραπάνω αυτοί στόχοι επιτυγχάνονται μέσω μιας πλατφόρμας όπου διαχειρίζεται τηλεματικές πληροφορίες η οποία παρέχει:

- Την εποπτεία των χώρων στάθμευσης μέσω ειδικής εφαρμογής και τη δυναμική και σε πραγματικό χρόνο πληροφόρηση των οδηγών για τις διαθέσιμες θέσεις στάθμευσης σε δύο



χώρους στάθμευσης (με δυνατότητα επέκτασης μελλοντικά και σε άλλους χώρους στάθμευσης) μέσω των δυο πινακίδων πληροφόρησης.

- Την εποπτεία του οδικού δικτύου του κέντρου της πόλης των Ιωαννίνων μέσω εξειδικευμένης συγκοινωνιακής πλατφόρμας διαχείρισης κυκλοφορίας και των ανιχνευτών φόρτου κίνησης και την δυναμική πληροφόρηση των διερχόμενων οδηγών σχετικά με τις τρέχουσες κυκλοφοριακές συνθήκες μέσω των τεσσάρων πινακίδων μεταβλητών μηνυμάτων VMS.
- Την πληροφόρηση των δημοτών και επισκεπτών του Δήμου μέσω μιας διαδικτυακής πύλης (web/ mobile portal) και μιας εφαρμογής συστήματος πληροφόρησης κοινού μέσω SMS για τις τρέχουσες κυκλοφοριακές συνθήκες στο οδικό δίκτυο, τις διαθέσιμες θέσεις στάθμευσης, πληροφορίες για τα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς του Δήμου Ιωαννιτών και της σχεδίασης διαδρομής κάνοντας χρήση διαφορετικών μέσων μετακίνησης.

Ο Δήμος Ιωαννιτών ολοκληρώνοντας το έργο «Ολοκληρωμένη πλατφόρμα διαχείρισης και παρακολούθησης της κυκλοφορίας με στόχο την πληροφόρηση των πολιτών για τις συνθήκες κίνησης μέσω πολλαπλών καναλιών επικοινωνίας», αποδεικνύει ότι η υλοποίηση και η εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών μπορεί να λειτουργήσει θετικά προς τον πολίτη και να βελτιώσει την καθημερινότητά του.[17]



Εικόνα 5.2: Πλατφόρμα ενημέρωσης πολιτών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Περιβαλλοντικός σταθμός της Libelium

#### 3.1 Μοντέλα Plug & Sense

Η γραμμή Plug & Sense σας επιτρέπει να αναπτύξετε εύκολα δίκτυα Internet of Things σε ένα εύκολο και κλιμακωτό τρόπο, εξασφαλίζοντας το ελάχιστο κόστος συντήρησης. Η νέα πλατφόρμα αισθητήρων αποτελείται από 10 διαφορετικούς τύπους Plug & Sense όπου και διαφέρουν μεταξύ τους ανάλογα με την εφαρμογή που πρόκειται να υλοποιηθεί:[10]

- **Smart Environment Pro**

Το Smart Environment PRO ενεργοποιεί τον υπολογισμό του δείκτη ποιότητας αέρα (Air Quality Index-AQI), χάρη στους 16 αισθητήρες αερίων που παρέχουν εξαιρετικά ακριβείς τιμές ppm και έναν αισθητήρα σωματιδίων υψηλής απόδοσης.

- **Smart Agriculture**

Το Smart Agriculture έχει σχεδιαστεί για την παρακολούθηση των αμπελώνων για την ενίσχυση της ποιότητας του κρασιού, την επιλεκτική άρδευση στα γήπεδα του γκολφ και τον έλεγχο των συνθηκών σε θερμοκήπια, μεταξύ άλλων.

- **Smart Water**

Το Smart Water επιτρέπει την παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων σε ποτάμια, λίμνες και θάλασσα.

- **Smart Water Ions**

Το Smart Water Ions ειδικεύεται στη μέτρηση της συγκέντρωσης ιόντων νερού, επιτρέποντας τον έλεγχο της ποιότητας των υδάτων σε ποτάμια, λίμνες και θάλασσα.

- **Smart Cities PRO**

Οι κύριες εφαρμογές για αυτό το Wasmote Plug & Sense! μοντέλο είναι χάρτες θορύβου (παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των ακουστικών επιπέδων στους δρόμους μιας πόλης [LeqA in dBA]), ποιότητα του αέρα, διαχείριση αποβλήτων, έξυπνος φωτισμός κλπ.

- **Smart Parking**

Το Smart Parking επιτρέπει τον εντοπισμό των διαθέσιμων σημείων στάθμευσης τοποθετώντας τον κόμβο στο πεζοδρόμιο. Λειτουργεί με μαγνητικό αισθητήρα που ανιχνεύει εά υπάρχει όχημα ή όχι.

- **Smart Security**

Οι κύριες εφαρμογές για αυτό το Wasmote Plug & Sense! Είναι ο έλεγχος πρόσβασης περιμετρικά, ανίχνευση παρουσίας υγρού και ανοίγματα θυρών και παραθύρων. Εκτός αυτού, ένα σύστημα ρελέ επιτρέπει σε αυτό το μοντέλο να αλληλεπιδρά με εξωτερικές ηλεκτρικές μηχανές.

- **4-20 mA Current Loop**

Οι εφαρμογές για αυτό το Plug & Sense! μοντέλο επικεντρώνεται στην προσθήκη ασύρματης σύνδεσης σε συσκευές 4-20 mA και στη σύνδεσή τους με το Cloud.

- **Radiation Control**

Ο κόμβος αυτός έχει σχεδιαστεί για τη μέτρηση των επιπέδων ραδιενέργειας. Περιλαμβάνει έναν αισθητήρα Geiger που ανιχνεύει σωματίδια γ και β.

- **Ambient Control**

Το Ambient Control σας επιτρέπει να δημιουργείτε βασικές παραμέτρους περιβαλλοντικής παρακολούθησης χρησιμοποιώντας τους αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, ατμοσφαιρικής πίεσης και φωτεινότητας. Εκτός από αυτό, η κίνηση και οι δονήσεις μπορούν να μετρηθούν από το εσωτερικό επιταχυνσιόμετρο.

## 3.2 Smart Environment Pro

### 3.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Το μοντέλο που χρησιμοποιούμε για την υλοποίηση της εφαρμογής μας που μετρά την περιβαλλοντική μόλυνση του αέρα είναι ο Smart Environment Pro και είναι ένας από τους ασύρματους αυτόνομους κόμβους της σειράς αυτής. Αποτελείται από ένα ανθεκτικό αδιάβροχο

περίβλημα με συγκεκριμένες εξωτερικές υποδοχές για τη σύνδεση των αισθητήρων, του ηλιακού πίνακα, της κεραίας και ακόμη και του καλωδίου USB, προκειμένου για επαναπρογραμματισμό. Έχει σχεδιαστεί ειδικά για να είναι εύκολος στην ανάπτυξη και συντήρηση.



*Εικόνα 3.1: Περιβαλλοντικός σταθμός της Libelium Smart Environment Pro*

Είναι ειδικά σχεδιασμένος για να είναι επεκτάσιμος εύκολο να αναπτύξει και να διατηρήσει αισθητήρες που μπορούν εύκολα να συνδεθούν απλά βιδώνοντας τους στα κάτω βύσματα για να προσθέσετε νέες ικανότητες ανίχνευσης για να μπορέσει με τον ίδιο τρόπο οι αισθητήρες να είναι εύκολο να αντικατασταθούν σε περίπτωση βλάβης ή χαμηλής ακρίβειας στις ατμοσφαιρικές μετρήσεις.



*Εικόνα 3.2: Εύκολα προσβάσιμες θύρες αισθητήρων.*

- Υλικό: πολυανθρακικό
- Σφράγιση: πολυουρεθάνη
- Βίδες κάλυψης: ανοξείδωτος χάλυβας
- Προστασία εισχώρησης: IP65
- Αντοχή σε κρούση: IK08
- Ονομαστική τάση μόνωσης AC: 690 V
- Ονομαστική τάση μόνωσης DC: 1000 V
- Χωρίς βαρύ μέταλλο: Ναι
- Αδιάβροχο: true - nach UL 746 C
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος (ελάχιστη): -30 ° C \*
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος (μέγιστη): 70 ° C \*
- Βάρος κατά προσέγγιση: 800 g

### 3.2.2 Εξωτερική εγκατάσταση σταθμού

Για την εξασφάλιση του χαμηλότερου κόστους συντήρησης της μπαταρίας δικτύου αισθητήρων μπορεί να επαναφορτιστεί χρησιμοποιώντας τις εσωτερικές ή εξωτερικές επιλογές ηλιακού πίνακα. Το εξωτερικό ηλιακό πάνελ τοποθετείται σε ένα στήριγμα 45 βαθμών που εξασφαλίζει τη μέγιστη απόδοση κάθε εξωτερική εγκατάσταση.



*Εικόνα 3.3: Εγκατάσταση περιβαλλοντικού σταθμού.*

Έχει σχεδιαστεί ειδικά για την τοποθέτηση σε κολώνες φωτισμού όπου παρέχονται μεταλλικά καλώδια για την εύκολη προσαρμογή του κόμβου.

### 3.2.3 Ηλιακή τροφοδότηση

Η μπαταρία μπορεί να φορτιστεί χρησιμοποιώντας το αδιάβροχο καλώδιο USB, αλλά και τις εσωτερικές ή εξωτερικές επιλογές ηλιακού πίνακα. Η επαναφορτιζόμενη μπαταρία έχει φορτίο 6600 mAh, πράγμα που εξασφαλίζει το χρόνο εργασίας χωρίς διακοπή κατά τις εβδομάδες όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι χαμηλότερη. Ο εξωτερικός ηλιακός πίνακας είναι τοποθετημένος σε ένα στήριγμα 45° που εξασφαλίζει τη μέγιστη απόδοση κάθε εξωτερικού χώρου εγκατάσταση. Για την εσωτερική επιλογή, ο ηλιακός πίνακας είναι ενσωματωμένος στο μπροστινό μέρος του περιβλήματος, ιδανικό για χρήση όπου ο χώρος είναι περιορισμένος.



Εικόνα 3.4: Εξωτερικός και ενσωματωμένος πίνακας ηλιακής τροφοδότησης.

## 3.3 Προγραμματισμός σταθμού

### 3.3.1 Προγραμματισμός σταθμού μέσω USB

Ο κόμβος μπορεί να επαναπρογραμματιστεί με δύο τρόπους. Ο βασικός προγραμματισμός γίνεται μέσω της θύρας usb όπου συνδέετε το usb με την εξωτερική εξωτερική θύρα του κόμβου και έπειτα στον υπολογιστή για να ανεβάσετε την νέα έκδοση (firmware) [11].





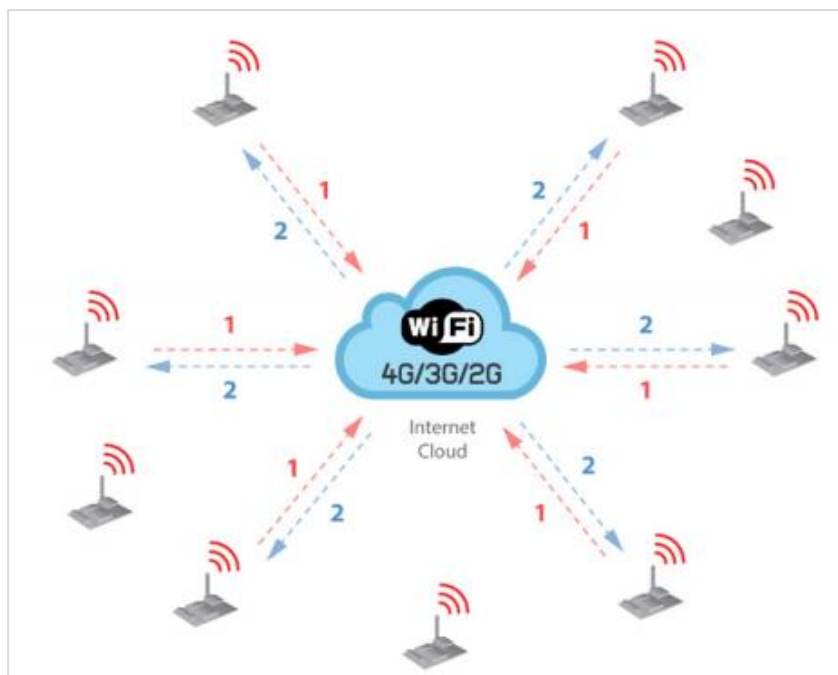
Εικόνα 3.5: Προγραμματισμός κόμβου μέσω USB.

### 3.3.2 Προγραμματισμός σταθμού μέσω OTAP

Ο προγραμματισμός μέσω του αέρα(Over The Air Programming -OTAP) είναι επίσης ένας τρόπος προγραμματισμού μέσω απόστασης αφού ο κόμβος έχει ήδη εγκατασταθεί και έχει συνδεθεί σε σημείο πρόσβασης στο δίκτυο (Access point) με αυτή την τεχνική μπορείτε να επαναπρογραμματίσετε έναν ή περισσότερους κόμβους αισθητήρων ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας τον φορητό υπολογιστή. Όταν χρησιμοποιείτε η μονάδα WiFi, ο σταθμός συνδέεται με το σημείο πρόσβασης που έχει ορίσει ο χρήστης και ακολουθεί η διαδικασία του απομακρυσμένου προγραμματισμού OTAP. Έτσι λοιπόν με την συνάρτηση requestOTA () επιτρέπει να ανοίξει η επικοινωνία με το πρωτόκολλο FTP στον επιθυμητό διακομιστή FTP και να ζητηθεί η νέα έκδοση λογισμικού στον κόμβο. Αυτή η λειτουργία χρειάζεται τέσσερις παραμέτρους εισόδου:

- server: διεύθυνση IP ή διεύθυνση URL του διακομιστή FTP
- port: αριθμός θύρας (21 είναι ο προεπιλεγμένος αριθμός θύρας για FTP)
- username: Όνομα χρήστη για το άνοιγμα της λειτουργίας FTP
- password: Κωδικός πρόσβασης που απαιτείται για το άνοιγμα της λειτουργίας FTP

Οι τρόποι επικοινωνίας υλοποιούνται ακόμη μέσω 3g αλλά μπορούν να επιλεγούν διάφορες τεχνολογίες ραδιοσυχνότητας για την αποστολή πληροφοριών. Μερικές από τις διαθέσιμες τεχνολογίες πρωτοκόλλων επικοινωνίας είναι: zigbee,4G και GPRS.[11, 18]



Εικόνα 3.6: Προγραμματισμός κόμβου με την χρήση OTAP.

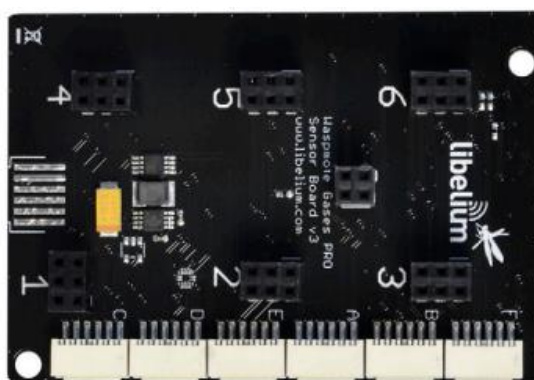
### 3.4 Μητρική πλακέτα Gases Pro

Όλοι οι διαθέσιμοι αισθητήρες συνδέονται με το Waspmote μέσω της "μητρικής πλακέτας" Gases PRO.

Βάρος: 20 g

Διαστάσεις: 73,5 x 51 x 22 mm (χωρίς αισθητήρες)

Εύρος θερμοκρασίας : [-20 °C, 65 °C]



Εικόνα 3.7: Μητρική πλακέτα Gases Pro.



Η πλακέτα αισθητήρων αερίων Waspmote PRO v3 έχει σχεδιαστεί για την παρακολούθηση περιβαλλοντικών παραμέτρων, όπως π.χ. τη θερμοκρασία, την υγρασία, την πίεση, τα σωματίδια στον αέρα (σκόνη) και 16 διαφορετικούς τύπους αερίων. Το επιτρέπει συμπεριλαμβάνοντας ταυτόχρονα 6 μονάδες AFE (Analog Front End) (4 σε Plug & Sense!). Μια μονάδα AFE αποτελείται από μία στρογγυλή πλακέτα AFE και έναν κυλινδρικό αισθητήρα. Κάθε πίνακας AFE είναι έτοιμος να διαχειριστεί τον εγκατεστημένο αισθητήρα αερίου και να πραγματοποιήσει τη μετατροπή από σήμα τάσης ή ρεύματος σε ψηφιακή τιμή.

Επίσης, μια EEPROM (μη πτητική μνήμη) αποθηκεύει τα βασικά δεδομένα για τον αισθητήρα, όπως είδος αισθητήρα αερίου, ευαισθησία ή γραμμή βάσης. Αυτό επιτρέπει στον χρήστη να συνδέσει τη μονάδα AFE στις διαθέσιμες πρίζες της πλακέτας αισθητήρων Gases PRO και ο προγραμματισμός του Waspmote γίνεται εύκολα. Κάθε μονάδα AFE έχει προγραμματιστεί και βαθμονομηθεί για έναν μοναδικό αισθητήρα αερίου. Κάθε ενότητα AFE περιέχει τις συγκεκριμένες παραμέτρους βαθμονόμησης για τη μονάδα αισθητήρα που είναι συνδεδεμένη, αλλάζοντας έτσι τις πλακέτες AFE μεταξύ τους οι αισθητήρες θα προκαλέσουν στον αισθητήρα να διαβάσει λανθασμένες τιμές. Μπορεί ακόμη και να καταστρέψει τον αισθητήρα. Τα αέρια που μπορούν να παρακολουθούνται είναι:

- Μονοξείδιο του άνθρακα - CO
- Διοξείδιο του άνθρακα - CO<sub>2</sub>
- Μοριακό οξυγόνο - O<sub>2</sub>
- Όζον - O<sub>3</sub>
- Νιτρικό Οξείδιο - NO
- Διοξείδιο του αζώτου - NO<sub>2</sub>
- Διοξείδιο του θείου - SO<sub>2</sub>
- Αμμωνία - NH<sub>3</sub>
- Μεθάνιο και άλλα καύσιμα αέρια - CH<sub>4</sub>
- Μοριακό υδρογόνο - H<sub>2</sub>
- Σουλφίδιο υδρογόνου - H<sub>2</sub>S
- Υδροχλωρικό - HCl
- Κυανιούχο υδρογόνο - HCN
- Φωσφίνη - PH<sub>3</sub>
- Οξείδιο αιθυλενίου - ETO
- Χλώριο - Cl<sub>2</sub>

### 3.4.1 Πλακέτα AFE 3 ηλεκτροδίων

Αυτή η πλακέτα AFE έχει αναπτυχθεί για τη διαχείριση ενός ηλεκτροχημικού αισθητήρα αερίου 3 ηλεκτροδίων, αποθήκευση συγκεκριμένων παραμέτρων του αισθητήρα στην EEPROM του (μη πτητική μνήμη) και εκτελεί μια μέτρηση χρησιμοποιώντας τον ADC του. Καθώς η μνήμη EEPROM αποθηκεύει τα παραμετρικά χαρακτηριστικά ενός συγκεκριμένου αισθητήρα, οι πίνακες AFE δεν πρέπει να εναλλάσσονται μεταξύ των αισθητήρων.



Εικόνα 3.8: Πλακέτα AFE 3 ηλεκτροδίων.

Τα αέρια που χρησιμοποιούν την πλακέτα AFE 3 ηλεκτροδίων είναι:

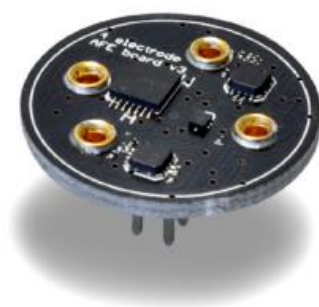
- Μονοξείδιο του άνθρακα για υψηλές συγκεντρώσεις - CO
- Μοριακό οξυγόνο - O<sub>2</sub>
- Αμμωνία - NH<sub>3</sub>
- Μοριακό υδρογόνο - H<sub>2</sub>
- Σουλφίδιο υδρογόνου - H<sub>2</sub>S
- Υδροχλωρικό - HCl
- Κυανιούχο υδρογόνο - HCN
- Φωσφίνη - PH<sub>3</sub>
- Οξείδιο αιθυλενίου - ETO
- Χλώριο - Cl<sub>2</sub>

### 3.4.2 Πλακέτα AFE 4 ηλεκτροδίων

Αυτός ο πίνακας AFE έχει αναπτυχθεί για τη διαχείριση ενός ηλεκτροχημικού αισθητήρα αερίου 4 ηλεκτροδίων, αποθηκεύει συγκεκριμένες παραμέτρους του αισθητήρα και της πλακέτας στην

EEPROM (μη πτητική μνήμη) και εκτελεί μια μέτρηση χρησιμοποιώντας τον ADC(αναλογικός σε ψηφιακός μετατροπέας).

Ένας ηλεκτροχημικός αισθητήρας αερίου 4 ηλεκτροδίων λειτουργεί ως ένας αισθητήρας αερίου 3 ηλεκτροδίων. Μετρητής(counter), αναφοράς(reference) και της εργασίας(working) ηλεκτρόδιο χρησιμοποιείται κανονικά για να ρυθμίσει την τάση πόλωσης και να παράγει το ρεύμα. Το τέταρτο ηλεκτρόδιο, συνήθως που ονομάζεται βοηθητικό (auxiliary) ηλεκτρόδιο, λειτουργεί ως επιπλέον ηλεκτρόδιο εργασίας και χρησιμοποιείται για την αντιστάθμιση των παραλλαγών που παράγεται από τη θερμοκρασία στο ρεύμα γραμμής βάσης και επιτυγχάνεται καλύτερη ακρίβεια αερίου. Η αποζημίωση θα εκτελείται αυτόματα από τη βιβλιοθήκη API.[11]



Εικόνα 3.9: Πλακέτα AFE 4 ηλεκτροδίων.

Τα αέρια που χρησιμοποιούν την πλακέτα AFE 4 ηλεκτροδίων είναι:

- Οζόν - O<sub>3</sub>
- Μονοξείδιο του άνθρακα για χαμηλές συγκεντρώσεις - CO
- Νιτρικό Οξείδιο για χαμηλές συγκεντρώσεις - NO
- Υψηλής ακρίβειας διοξειδίου του αζώτου - NO<sub>2</sub>
- Υψηλής ακρίβειας διοξειδίου του θείου - SO<sub>2</sub>

### 3.4.3 Πλακέτα AFE Pellistor/NDIR

Η πλακέτα AFE Pellistor(ανιχνευτής αερίων) /NDIR(μη διαπερατού αισθητήρα υπεράυθρων) έχει αναπτυχθεί για τη διαχείριση ενός αισθητήρα αερίου Pellistor ή ενός αισθητήρα NDIR, αποθηκεύει συγκεκριμένες παραμέτρους του αισθητήρα και της πλακέτας στην EEPROM (μη πτητική μνήμη) και εκτελεί μια μέτρηση χρησιμοποιώντας τον ADC(αναλογικός σε ψηφιακός μετατροπέας).[11]



Εικόνα 3.10: Πλακέτα AFE Pellistor/NDIR.

Τα αέρια που χρησιμοποιούν Pellistor AFE πλακέτα είναι:

- Μεθάνιο και άλλα καύσιμα αέρια - CH<sub>4</sub>
- Διοξείδιο του άνθρακα - CO<sub>2</sub>

#### 3.4.4 Συμβατότητα αισθητήρων

- Ο αισθητήρας CH<sub>4</sub> των εύφλεκτων αερίων AFE και ο αισθητήρας CO<sub>2</sub> AFE μπορούν να χρησιμοποιήσουν μόνο την θύρα 1, οπότε το σύνολο του αριθμού των αισθητήρων που τοποθετούνται πάνω στην πλακέτα περιορίζεται στο 1.
- Η κεντρική υποδοχή προορίζεται για τον αισθητήρα BME280 (Αισθητήρας θερμοκρασίας, υγρασίας και πίεσης).
- Οι υπόλοιποι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιήσουν όλες τις υποδοχές.[11]

#### 3.4.5 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά

- Τάση τροφοδοσίας πίνακα-πλακέτα: 3,3 V και 5 V
- Τάση τροφοδοσίας αισθητήρων: Αισθητήρες αερίου και BME280 3,3 V. Αισθητήρας σκόνης σωματιδίων, 3,3 V και 5 V
- Μέγιστο εισερχόμενο ρεύμα (συνεχές): 200 mA
- Μέγιστο εισερχόμενο ρεύμα (κορυφή): 400 mA [11]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Πρωτότυπο σύστημα παρακολούθησης της αιθαλομίχλης

#### 4.1 Βαθμονόμηση αισθητήρων

Όλοι οι αισθητήρες της πλακέτας Gases PRO είναι γραμμικοί [11], έτσι συμπεριφέρονται σύμφωνα με μια απλή γραμμή όπως  $y = f(x) = m x + c$ . Από την άλλη τα αισθητήρια του πίνακα αισθητήρων αερίων (Gases Pro Board) δείχνουν μια λογαριθμική απόκριση, η οποία είναι πιο δύσκολη. Όλοι οι αισθητήρες αερίου για την Gases PRO πλακέτα βαθμονομούνται από τους κατασκευαστές αισθητήρων στα εργαστήριά τους. Μια διαδικασία βαθμονόμησης (calibration) δυο σημείων εκτελείται για μέγιστη ακρίβεια, με ελεγχόμενες συγκεντρώσεις αερίου σε κενό θάλαμο. Λόγω της γραμμικής φύσης των αισθητήρων, αυτά τα 2 σημεία είναι αρκετά για να διορθώσουν τις 2 πιθανές μετακινήσεις  $m$  (κλίση) και  $c$  (σταθερή μετατόπιση). Μας προσφέρουν ένα πιστοποιητικό βαθμονόμησης για κάθε άτομο αισθητήρα, με δύο παραμέτρους βαθμονόμησης. Το Libelium αποθηκεύει αυτές τις παραμέτρους σε μνήμη EEPROM, μη πτητική μνήμη τσιπ μέσα σε κάθε αισθητήρα αερίου. Όταν ο χρήστης πραγματοποιεί ανάγνωση αισθητήρα, το σύστημα λογισμικού που σχεδιάστηκε από το Libelium διαβάζει το σήμα αισθητήρα και τις 2 παραμέτρους. Όλες αυτές οι 3 τιμές επεξεργάζονται από το σύστημα. Μετά από αυτό, ο υπολογισμός αντιστάθμισης θερμοκρασίας εφαρμόζεται επίσης. Από αυτά τα δεδομένα λαμβάνουμε την τελική τιμή συγκέντρωσης σε ppm (Parts per million). Βαθμονόμηση γίνεται επίσης και στον αισθητήρα θερμοκρασίας, υγρασίας και πίεσης για τα αέρια PRO. Υπάρχουν 3 σημεία βαθμονόμησης για τη θερμοκρασία, 6 σημεία για την υγρασία και 9 σημεία για την πίεση. Αυτές οι 3 παράμετροι αντισταθμίζονται αυτόματα και με αυτόν τον τρόπο ο χρήστης παίρνει ακριβείς μετρήσεις.

#### 4.2 Αισθητήρες

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούμε παρατίθενται παρακάτω μαζί με τα χαρακτηριστικά τους:

## 4.2.1 Αισθητήρας BME280

Ο BME280 είναι ένας ψηφιακός αισθητήρας θερμοκρασίας, υγρασίας και πίεσης που αναπτύχθηκε από τη Bosch Sensortec.

### Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά:

Τάση τροφοδοσίας: 3.3 V

Συνήθη ρεύμα ύπνου: 0,1  $\mu$ A

Μέγιστο ρεύμα ύπνου: 0,3  $\mu$ A

### Αισθητήρας θερμοκρασίας:

Περιοχή λειτουργίας: -40 ~ +85 °C

Πλήρες εύρος ακρίβειας: 0 ~ +65 °C

Ακρίβεια:  $\pm 1$  °C (εύρος 0 °C ~ +65 °C)

Χρόνος απόκρισης: 1,65 δευτερόλεπτα (απόκριση 63% από +30 έως +125 °C)

Τυπική κατανάλωση: μέτρηση 1  $\mu$ A

### Αισθητήρας υγρασίας:

Εύρος μέτρησης: 0 ~ 100% της σχετικής υγρασίας (για θερμοκρασίες <0 °C και > 60 °C βλέπε εικόνα παρακάτω)

Ακρίβεια:  $\leq \pm 3\%$  RH (στους 25 °C, εύρος 20 ~ 80%)

Υστέρηση:  $\pm 1\%$  RH

Θερμοκρασία λειτουργίας: -40 ~ +85 °C

Χρόνος απόκρισης (63% του βήματος 90% έως 0% ή 0% έως 90%): 1 δευτερόλεπτο

Τυπική κατανάλωση: Μέτρηση 1,8  $\mu$ A

Μέγιστη κατανάλωση: Μέτρηση 2,8  $\mu$ A

### Αισθητήρας πίεσης:

Εύρος μέτρησης: 30 ~ 110 kPa

Εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας: -40 ~ +85 °C

Πλήρες εύρος ακρίβειας θερμοκρασίας: 0 ~ +65 °C

Απόλυτη ακρίβεια:  $\pm 0,1$  kPa (0 ~ 65 °C)

Τυπική κατανάλωση: Μέτρηση 2,8  $\mu$ A

Μέγιστη κατανάλωση: Μέτρηση 4,2  $\mu$ A

### Υποδοχές για Plug & Sense !:

- SOCKET\_E



Εικόνα 4.1: Αισθητήρας BME280.

#### 4.2.2 Αισθητήρας όζοντος OX-A431

##### Αέριο: O<sub>3</sub>(Οζον)

Αισθητήρας: OX-A431

##### Χαρακτηριστικά απόδοσης:

Ονομαστική περιοχή: 0 έως 18 ppm

Μέγιστη υπερφόρτιση: 50 σελ / λεπτό

Μακροπρόθεσμη ευαισθησία Παραμόρφωση: -20 έως -40% αλλαγή / έτος

Χρόνος απόκρισης (T90): ≤ 45 δευτερόλεπτα

Ευαισθησία: -200 έως -550 nA / ppm

Ακρίβεια: τόσο καλή όσο ± 0,2 ppm \* (ιδανικές συνθήκες)

Υψηλή διασταυρούμενη ευαισθησία με αέριο NO<sub>2</sub>.

Έτσι, η παραγωγή NO<sub>2</sub> θα είναι ένα μείγμα από O<sub>3</sub> και NO<sub>2</sub>. Ένας απλός τρόπος για να διορθώσετε αυτό το φαινόμενο είναι να αφαιρέσετε την NO<sub>2</sub> συγκέντρωση από το O<sub>3</sub> συγκέντρωση με NO<sub>2</sub> αισθητήρα αερίου.

##### Συνθήκες λειτουργίας:

Εύρος θερμοκρασίας: -30 °C έως 40 °C

Υγρασία λειτουργίας: 15 έως 85% RH χωρίς συμπύκνωση

Εύρος πίεσης: 80 έως 120 kPa

Θερμοκρασία αποθήκευσης: 3 °C έως 20 °C

Αναμενόμενη διάρκεια ζωής: > 24 μήνες στον αέρα

##### Υποδοχές για Plug & Sense !:

- SOCKET\_A
- SOCKET\_B

- SOCKET\_C
- SOCKET\_F

Μέση κατανάλωση: μικρότερη από 1 mA



Εικόνα 4.2: Αισθητήρας όζοντος OX-A431

### 4.2.3 Αισθητήρας μονοξειδίου του αζώτου NO-A4

**Αέριο: NO** (Το υποκατάστατο του είναι το μονοξείδιο του αζώτου (NO) για χαμηλές συγκεντρώσεις)

Αέριο: NO

Αισθητήρας: NO-A4

#### **Χαρακτηριστικά απόδοσης**

Ονομαστική περιοχή: 0 έως 18 ppm

Μέγιστη υπερφόρτιση: 50 σελ / λεπτό

Μακροπρόθεσμη ευαισθησία: <20% αλλαγή / έτος στον εργαστηριακό αέρα, μηνιαία εξέταση

Μακροπρόθεσμος μηδενικός ρυθμός: 0 έως 50 ppb ισοδύναμη αλλαγή / έτος στον εργαστηριακό αέρα

Χρόνος απόκρισης (T90): ≤ 25 δευτερόλεπτα

Ευαισθησία: 350 έως 550 nA / ppm

Ακρίβεια: τόσο καλή όσο ± 0,2 ppm \* (ιδανικές συνθήκες)

#### **Συνθήκες λειτουργίας**

Εύρος θερμοκρασίας: -30 °C έως 50 °C

Υγρασία λειτουργίας: 15 έως 85% RH χωρίς συμπύκνωση

Εύρος πίεσης: 80 έως 120 kPa

Θερμοκρασία αποθήκευσης: 0 °C έως 20 °C

Αναμενόμενη διάρκεια ζωής: 2 χρόνια στον αέρα

#### **Υποδοχές για Plug & Sense !:**



- SOCKET\_A
- SOCKET\_B
- SOCKET\_C
- SOCKET\_F

Μέση κατανάλωση: μικρότερη από 1 mA



Εικόνα 4.3: Αισθητήρας μονοξειδίου του αζώτου NO-A4.

#### 4.2.4 Αισθητήρας διοξειδίου του αζώτου NO-A43F

##### Αέριο: NO<sub>2</sub>

Αισθητήρας: NO<sub>2</sub>-A43F (Το υποκατάστατο του είναι αέριο υψηλής περιεκτικότητας σε διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>))

##### Χαρακτηριστικά απόδοσης

Ονομαστική περιοχή: 0 έως 20 ppm

Μέγιστη υπερφόρτιση: 50 ppm

Μακροπρόθεσμη ευαισθησία: <-20% έως -40% αλλαγή / έτος στον εργαστηριακό αέρα, μηνιαία εξέταση

Μακροπρόθεσμος μηδενικός στόχος: <20 ppb ισοδύναμη αλλαγή / έτος στον εργαστηριακό αέρα

Χρόνος απόκρισης (T90): ≤ 60 δευτερόλεπτα

Ευαισθησία: -175 έως -450 nA / ppm

Ακρίβεια: τόσο καλή όσο ± 0,1 ppm \* (ιδανικές συνθήκες)

O<sub>3</sub> ικανότητα φίλτρου @ 2 ppm:> 500 ppm \* hrs

##### Συνθήκες λειτουργίας

Εύρος θερμοκρασίας: -30 °C έως 40 °C

Υγρασία λειτουργίας: 15 έως 85% RH χωρίς συμπύκνωση

Εύρος πίεσης: 80 έως 120 kPa

Θερμοκρασία αποθήκευσης: 0 °C έως 20 °C

Αναμενόμενη διάρκεια ζωής: 2 χρόνια στον αέρα

**Υποδοχές για Plug & Sense !:**

- SOCKET\_A
- SOCKET\_B
- SOCKET\_C
- SOCKET\_F

Μέση κατανάλωση: μικρότερη από 1 mA



*Εικόνα 4.4 : Αισθητήρας διοξειδίου του αζώτου NO-A43F*

#### **4.2.5 Αισθητήρας διοξειδίου του θείου 4-SO2-20**

**Αέριο: SO<sub>2</sub>**

Αισθητήρας: 4-SO2-20

**Χαρακτηριστικά απόδοσης**

Ονομαστική περιοχή: 0 έως 20 ppm

Μέγιστη υπερφόρτιση: 150 ppm

Παραμόρφωση μακροχρόνιου αποτελέσματος: <2% σήμα / μήνα

Χρόνος απόκρισης (T90): ≤ 45 δευτερόλεπτα

Ευαισθησία: 500 ± 150 nA / ppm

Ακρίβεια: τόσο καλή όσο ± 0,2 ppm \* (ιδανικές συνθήκες)

**Συνθήκες λειτουργίας**

Εύρος θερμοκρασίας: -20 °C έως 50 °C

Υγρασία λειτουργίας: 15 έως 90% RH χωρίς συμπύκνωση

Εύρος πίεσης: 90 έως 110 kPa

Θερμοκρασία αποθήκευσης: 0 °C έως 20 °C

Αναμενόμενη διάρκεια ζωής: 2 χρόνια στον αέρα

**Υποδοχές για Plug & Sense !:**

- SOCKET\_A
- SOCKET\_B
- SOCKET\_C
- SOCKET\_F

Μέση κατανάλωση: μικρότερη από 1 mA



Εικόνα 4.5: Αισθητήρας διοξειδίου του θείου 4-SO2-20

## 4.2.6 Αισθητήρας αιωρούμενης ύλης OPC-N2

**Particle matter Sensor (Αισθητήρας αιωρούμενης ύλης)**

Αισθητήρας: OPC-N2

**Χαρακτηριστικά απόδοσης**

Κατάταξη με λέιζερ: Κλάση 1 ως κλειστό περίβλημα

Περιοχή σωματιδίων (um): 0,38 έως 17 σφαιρικό ισοδύναμο μέγεθος (με βάση το RI 1,5)

Κατηγοριοποίηση μεγέθους (σάνταρ): 16 κάδοι λογισμικού

Διάστημα δειγματοληψίας (δευτερόλεπτα): περίοδος ιστόγραμμα 1 έως 10

Συνολική παροχή: 1,2 L / λεπτό

Ρυθμός ροής δείγματος: 220 κ.εκ. / λεπτό

Μέγιστος ρυθμός μέτρησης σωματιδίων: 10000 σωματίδια / δευτερόλεπτο

Μέγιστη πιθανότητα σύμπτωσης: 0,91% στα 10 σωματίδια / L

0,24% στα 500 σωματίδια / mL

**Χαρακτηριστικά ισχύος**

Λειτουργία μέτρησης (ενεργοποιημένο λέιζερ και ανεμιστήρας): 250 mA @ 5 V (τυπικό)

Εύρος τάσης: 4.8 έως 5.2 V DC

#### **Συνθήκες λειτουργίας**

Εύρος θερμοκρασίας: -10 °C έως 50 °C

Υγρασία λειτουργίας: 0 έως 99% RH χωρίς συμπύκνωση

Αυτός ο αισθητήρας έχει υψηλή κατανάλωση ρεύματος. Είναι πολύ σημαντικό να ενεργοποιήσετε τον αισθητήρα για να εκτελέσετε ένα μέτρο και

τότε, απενεργοποιήστε την για να εξοικονομήσετε μπαταρία. Επίσης, συνιστάται να λειτουργείτε με ελάχιστο επίπεδο μπαταρίας 40%, μόνο για να αποφύγετε

(λόγω υψηλών κορυφών ρεύματος) που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε επαναφορά στο σύστημα.

Τα σωματίδια αποτελούνται από μικρά στερεά ή υγρά σωματίδια που επιπλέουν στον αέρα. Η προέλευση αυτών των σωματιδίων μπορεί να είναι

η βιομηχανική δραστηριότητα, καυσαέρια από κινητήρες ντίζελ, θέρμανση κτιρίων, γύρη κλπ. Αυτά τα μικροσκοπικά σωματίδια μπαίνουν στο μας

όταν αναπνέουμε. Οι υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδιακής ύλης μπορεί να είναι επιβλαβείς για τον άνθρωπο ή τα ζώα, οδηγώντας σε

τις αναπνευστικές και στεφανιαίες νόσους και ακόμη και τον καρκίνο του πνεύμονα. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο αποτελεί βασική παράμετρο για την ποιότητα του αέρα

Δείκτης. Μερικά παραδείγματα:

- Αλλεργιογόνα γάτας: 0,1-5 μm
- Γύρη: 10-100 μm
- Βότανα: 0,5-10 μm
- Καπνός πετρελαίου: 1-10 μm
- Σκόνες τσιμέντου: 5-100 μm
- Καπνός καπνού: 0,01-1 μm

Όσο μικρότερα είναι τα σωματίδια, τόσο πιο επικίνδυνα, διότι μπορούν να διεισδύσουν περισσότερο στους πνεύμονές μας. Πολλές φορές τα σωματίδια ταξινομούνται:

- PM1: Μάζα (σε  $\mu\text{g}$ ) όλων των σωματιδίων μικρότερων από 1  $\mu\text{m}$ , σε 1  $\text{m}^3$ .
- PM2.5: Μάζα (σε  $\mu\text{g}$ ) όλων των σωματιδίων μικρότερων από 2,5  $\mu\text{m}$ , σε 1  $\text{m}^3$ .
- PM10: Μάζα (σε  $\mu\text{g}$ ) όλων των σωματιδίων μικρότερων από 10  $\mu\text{m}$ , σε 1  $\text{m}^3$ .

Πολλές χώρες και οργανώσεις υγείας έχουν μελετήσει την επίδραση της σωματιδιακής ύλης στους ανθρώπους και έχουν ορίσει τα μέγιστα όρια. Ως αναφορά, οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις είναι περίπου 20  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  για τα PM2,5 και περίπου 50  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  για τα PM10.



*Εικόνα 4.6: Αισθητήρας αιωρούμενης ύλης*

Όπως και οι συμβατικοί μετρητές οπτικών σωματιδίων, το OPC-N2 μετράει το φως που διαχέεται από μεμονωμένα σωματίδια που μεταφέρεται σε ένα ρεύμα δείγματος αέρα μέσω μιας ακτίνας λέιζερ. Αυτές οι μετρήσεις χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του μεγέθους των σωματιδίων (που σχετίζεται με την ένταση του φωτός που διασκορπίζεται μέσω μιας βαθμονόμησης με βάση τη θεωρία σκέδασης Mie) και τον αριθμό συγκέντρωσης των σωματιδίων.

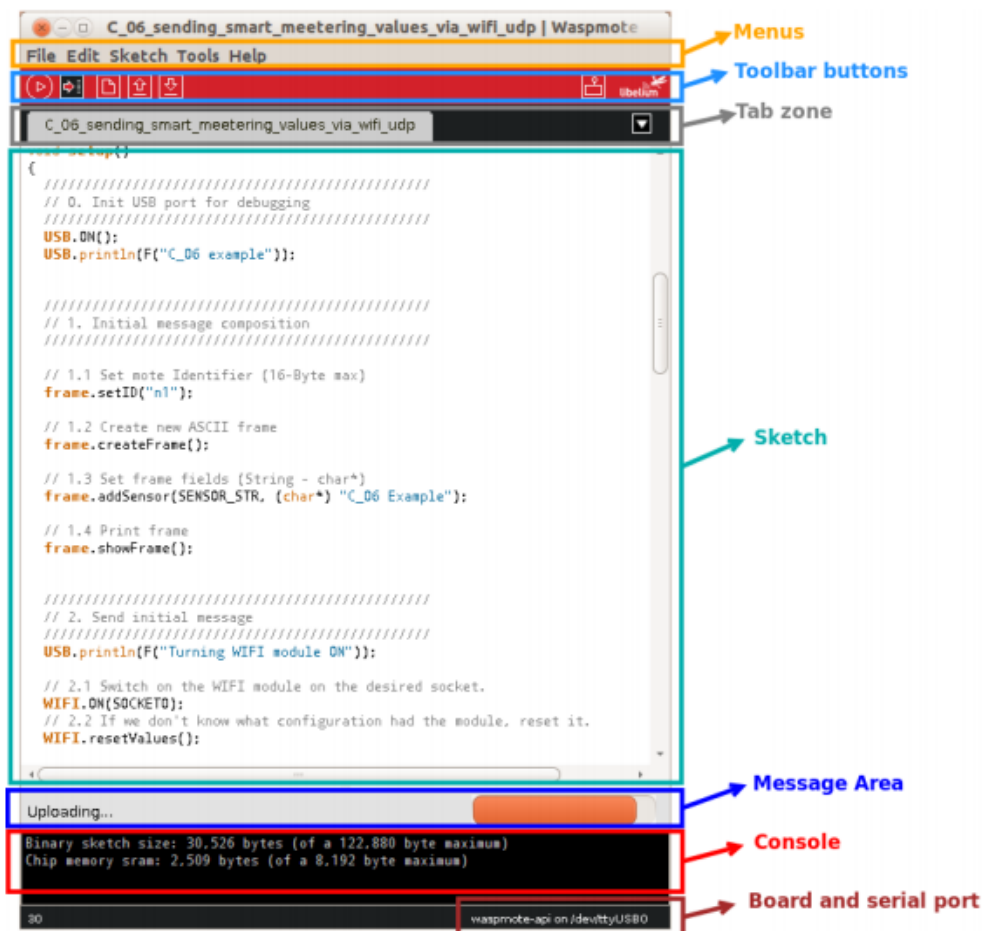
Η φόρτωση μάζας σωματιδίων - PM2.5 ή PM10, υπολογίζεται κατόπιν από τα φάσματα μεγέθους σωματιδίων και δεδομένων συγκέντρωσης, υποθέτοντας την πυκνότητα και τον δείκτη διάθλασης. Για να παράγει το ρεύμα αέρα, ο OPC-N2 χρησιμοποιεί μόνο ένα μικρό ανεμιστήρα χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας.

Ο OPC-N2 ταξινομεί κάθε μέγεθος σωματιδίων, σε ταχύτητες μέχρι  $\sim 10.000$  σωματίδια ανά δευτερόλεπτο, προσθέτοντας τη διάμετρο σωματιδίων σε ένα από τα 16 "δοχεία" που καλύπτουν το εύρος μεγέθους από  $\sim 0.38$  έως 17  $\mu\text{m}$ . Τα προκύπτοντα ιστογράμματα μεγέθους σωματιδίων μπορούν να αξιολογούνται από τους χρόνους δειγματοληψίας που ορίζονται από το χρήστη από 1

έως 10 δευτερόλεπτα, τα ιστόγραμμα που περιέχουν δεδομένα μεταδίδονται μαζί με άλλα διαγνωστικά και περιβαλλοντικά δεδομένα (θερμοκρασία αέρα και πίεση αέρα). Όταν το ιστόγραμμα διαβαστεί, οι μεταβλητές στη βιβλιοθήκη ενημερώνονται αυτόματα.

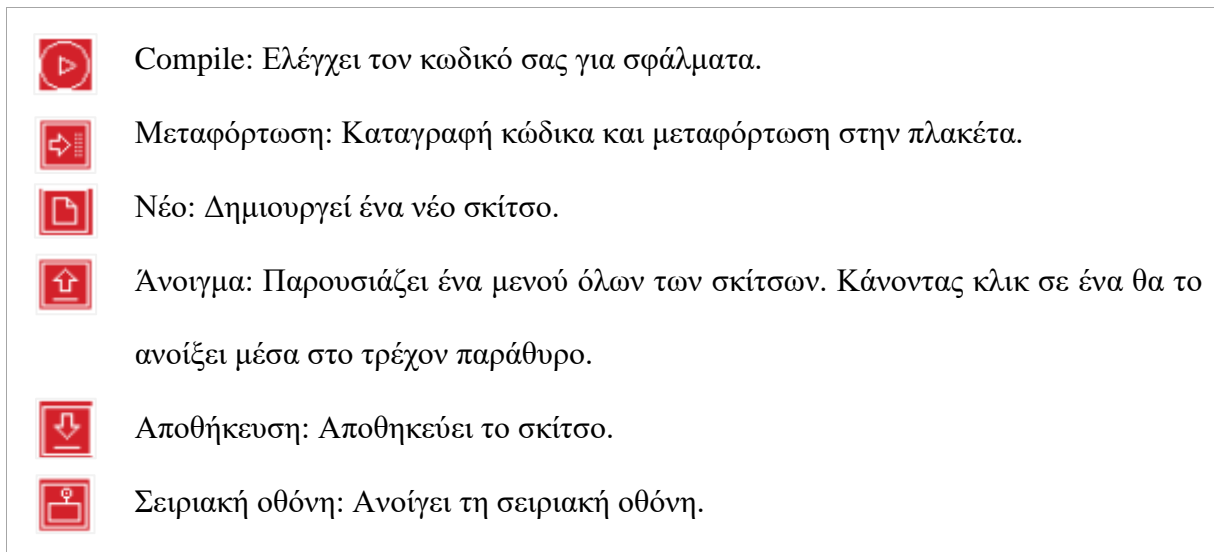
### 4.3 Ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης Wasmote

Ο κώδικας που αναπτύσσεται χρησιμοποιώντας το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης Wasmote IDE της libelium χαρακτηρίζεται ως σκίτσο. Αυτά τα σκίτσα γράφονται στον επεξεργαστή κειμένου και αποθηκεύονται με επέκταση αρχείου ".pde". Η περιοχή μηνυμάτων παρέχει ανατροφοδότηση κατά την αποθήκευση και εξαγωγή και εμφανίζει σφάλματα. Η κονσόλα εμφανίζει την έξοδο κειμένου από το IDE συμπεριλαμβανομένων των πλήρων μηνυμάτων σφάλματος και άλλων πληροφοριών. Στην κάτω δεξιά γωνία του παραθύρου εμφανίζεται η ονομασία της πλακέτας και η σειριακή θύρα. Το περιβάλλον αυτό σας επιτρέπει να διαχειρίζεστε σκίτσα με περισσότερα από ένα αρχεία (στη ζώνη καρτελών). Αυτά μπορεί να είναι κανονικά αρχεία κώδικα Wasmote (.pde) ή αρχεία όπως: C files (.c extension), C++ files (.cpp), ή header files (.h) [12].

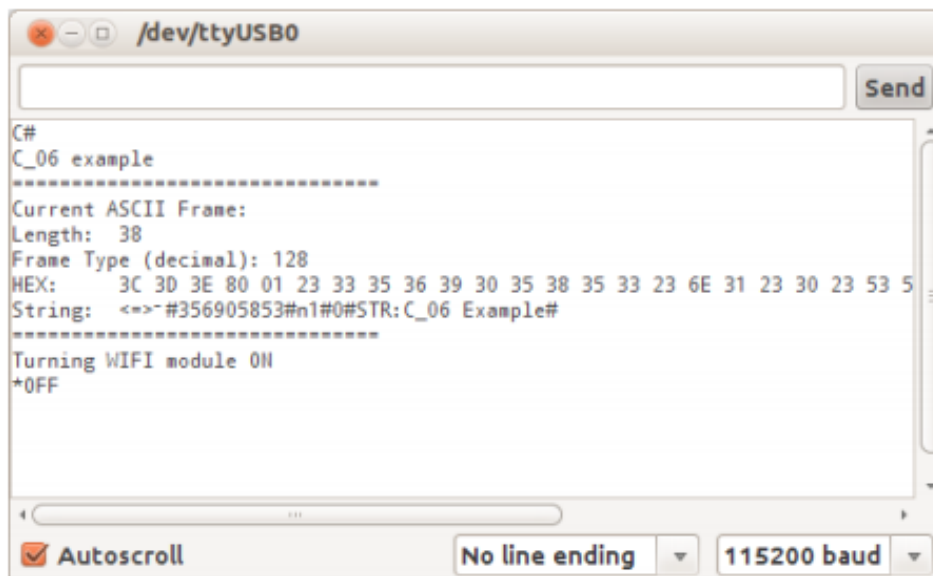


Εικόνα 4.7: Το περιβάλλον ανάπτυξης λογισμικού

Τα κουμπιά της γραμμής εργαλείων σας επιτρέπουν να επαληθεύετε και να ανεβάζετε προγράμματα, να δημιουργείτε, να ανοίγετε και να αποθηκεύετε σκίτσα και να ανοίγετε τη σειριακή οθόνη.



Η σειριακή οθόνη εμφανίζει δεδομένα που αποστέλλονται από την πλακέτα Wasp mote (μέσω USB ή σειριακής πλακέτας).



Εικόνα 4.8: Η σειριακή οθόνη που εμφανίζει δεδομένα.

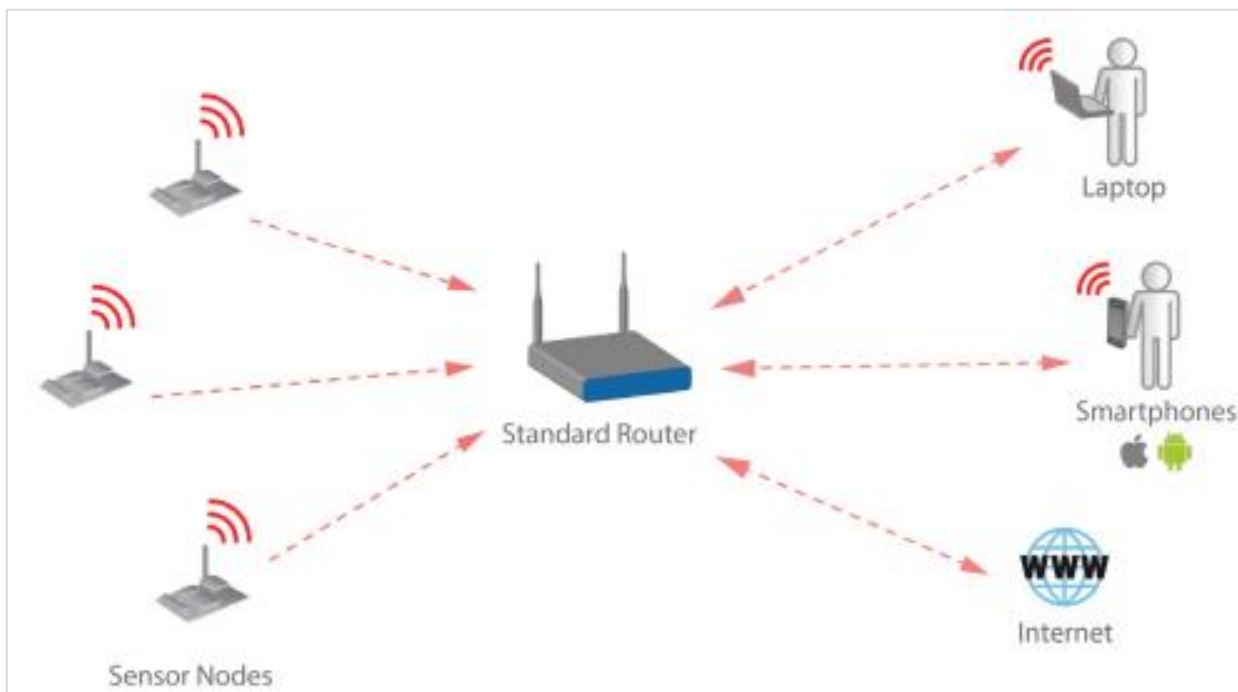
Επιλέξτε την ταχύτητα μετάδοσης από το αναπτυσσόμενο μενού που αντιστοιχεί στην ταχύτητα του Wasp mote v12 (USB = 115200 bps).

Για να στείλετε δεδομένα στην πλακέτα, πληκτρολογήστε κείμενο και κάντε κλικ στο κουμπί "Send" ή πατήστε Enter.

#### 4.4 Πρωτόκολλο επικοινωνίας δικτύου WiFi Pro

Το πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιεί το Smart environment Pro είναι το Wifi Pro καθώς ο κόμβος μπορεί να συνδεθεί με οποιοδήποτε τυπικό δρομολογητή που έχει διαμορφωθεί ως σημείο πρόσβασης (Access Point -Router) και στη συνέχεια στέλνει δεδομένα σε άλλες συσκευές στο ίδιο δίκτυο, όπως φορητοί υπολογιστές και έξυπνα τηλέφωνα. Μόλις συνδεθεί με το Access Point, οι κόμβοι ενδέχεται να ζητήσουν μια διεύθυνση IP χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο DHCP ή χρησιμοποιώντας μια προκαθορισμένη στατική διεύθυνση IP. Η σύνδεση AP μπορεί να κρυπτογραφηθεί, οπότε ο χρήστης πρέπει να καθορίσει τον κωδικό της ενότητας WiFi PRO.

Οι κόμβοι μπορούν επίσης να συνδεθούν με έναν τυπικό δρομολογητή WiFi που είναι εξοπλισμένος με DSL ή καλωδιακή διασύνδεση και να στέλνουν δεδομένα σε έναν διακομιστή που βρίσκεται στο Διαδίκτυο. Έτσι επιτρέπεται στους χρήστες να λαμβάνουν αυτά τα δεδομένα από το Cloud.



Εικόνα 4.9: Επικοινωνία συσκευών μέσω του δρομολογητή και του πρωτοκόλλου WiFi.

Η μονάδα WiFi PRO διαχειρίζεται το UART (Universal asynchronous receiver-transmitter) όπου διαμεσολαβεί στην σειριακή επικοινωνία υπολογιστών ή και ενσωματωμένων υπολογιστικών συστημάτων - Embedded Computer Systems όπως μικροελεγκτές και μπορεί να συνδεθεί στις θύρες SOCKET0 ή SOCKET1.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της μονάδας WiFi Pro παρατίθενται παρακάτω:



- **Ισχύς μετάδοσης TX:**
  - 802.11b: 17 dBm
  - 802.11g: 14 dBm
  - 802.11n: 12 dBm
- **Ευαισθησία λήψης RX:**
  - 802.11b @ 11Mbps PER <8%: -87 dBm
  - 802.11b @ 1Mbps PER <8%: -94 dBm
  - 802.11g @ 54Mbps PER <10%: -73 dBm
  - 802.11g @ 6Mbps PER <10%: -86 dBm
  - 802.11n MCS0 PER <10%: -86 dBm
  - 802.11n MCS0 PER <10%: -70 dBm
- **Κατανάλωση Wifi Pro chipset:**
  - Τάση τροφοδότησης 3.3 V
  - Λειτουργία μετάδοσης TX: 350 mA
  - Λειτουργία λήψης RX: 130 mA
- **Πρωτόκολλα Internet:** ARP, ICMP, IP, UDP, TCP, DHCP, DNS, NTP, HTTP, FTP
- **Πρωτόκολλα ασφαλείας:** SSL3 / TLS1, HTTPS, RSA, AES-128/256, 3DES, RC-4, SHA-1, MD-5, WEP, WPA και WPA2
- Επιτάχυνση στο HW: AES, 3DEC και SHA
- **Ασύρματες προδιαγραφές:**
  - Πρότυπα: IEEE 802.11b / g / n
  - Συχνότητα:
  - Ευρώπη: 2.412 - 2.472 GHz
  - ΗΠΑ: 2.412 - 2.462 GHz
  - Ιαπωνία: 2.412 - 2.484 GHz
- **Κανάλια:** 1 έως 11
- **Κεραία:**
  - Σύνδεση UFL και βύσμα σύνδεσης: UFL

Waspote OEM: κεραία on-chip

#### 4.4.1 Κατανάλωση χρόνου

Ο παρακάτω πίνακας περιγράφει το μέσο χρόνο που πέρασε για μερικές ενέργειες σε μια μόνο δοκιμή για αρκετές προσπάθειες. Ορισμένες από αυτές τις ενέργειες έχουν περίπου σταθερό χρόνο, όπως την τροφοδοσία της μονάδας ή την εκτέλεση HTTP / Λειτουργίες FTP. Ωστόσο, οι ενέργειες

που σχετίζονται με τη σύνδεση AP ή το άνοιγμα της περιόδου σύνδεσης FTP εξαρτώνται από τα τρίτα μέρη και έχουν μεγαλύτερη διακύμανση από τη μέση τιμή. Για παράδειγμα, η διαδικασία σύνδεσης στο δίκτυο μπορεί να διαρκέσει από μερικά δευτερόλεπτα έως περισσότερα σε είκοσι δευτερόλεπτα.

Action	Time consumption
Power ON	~1.8s
Power ON + Join AP	~7s
Perform HTTP GET (already joined AP)	~0.5s
Perform HTTP POST (already joined AP)	~ 0.4 s
Perform HTTP POST (already joined AP)	~ 0.8 s
Perform FTP upload 10KB file (already joined AP)	~ 2.5 s
Perform FTP download 10KB file (already joined AP)	~ 17.6 s

*Εικόνα 4.10: Μέσος χρόνος που πέρασε για την ολοκλήρωση ορισμένων λειτουργιών*

#### 4.4.2 Αίτημα POST μέσω πρωτοκόλλου HTTPS

Η συνάρτηση `post()` υποβάλλει ένα αίτημα POST απλού κειμένου σε ένα διακομιστή ιστού (server) που ορίζεται από τη συνάρτηση `setURL()`. Το πεδίο "Τύπος περιεχομένου:" του αιτήματος POST ορίζεται από τη συνάρτηση `setContenttype()`. Χρησιμοποιείται μια προεπιλεγμένη τιμή τύπου "application / x-www-form-urlencoded".

Αυτή η λειτουργία χρειάζεται τέσσερις διαφορετικές εισόδους:

- Τύπος(Type): Ο τύπος πρωτοκόλλου πρέπει να είναι "http" για απλό HTTP ή "https" για HTTPS
- Host: Αυτό είναι το όνομα κεντρικού υπολογιστή ή η διεύθυνση IP
- Θύρα(Port): Από 0 έως 65535. Η προεπιλεγμένη θύρα HTTP είναι 80 ενώ η HTTPS είναι 443.
- Σύνδεσμος(Link-Url): Απόλυτος σύνδεσμος για ανάκτηση στον καθορισμένο κεντρικό υπολογιστή

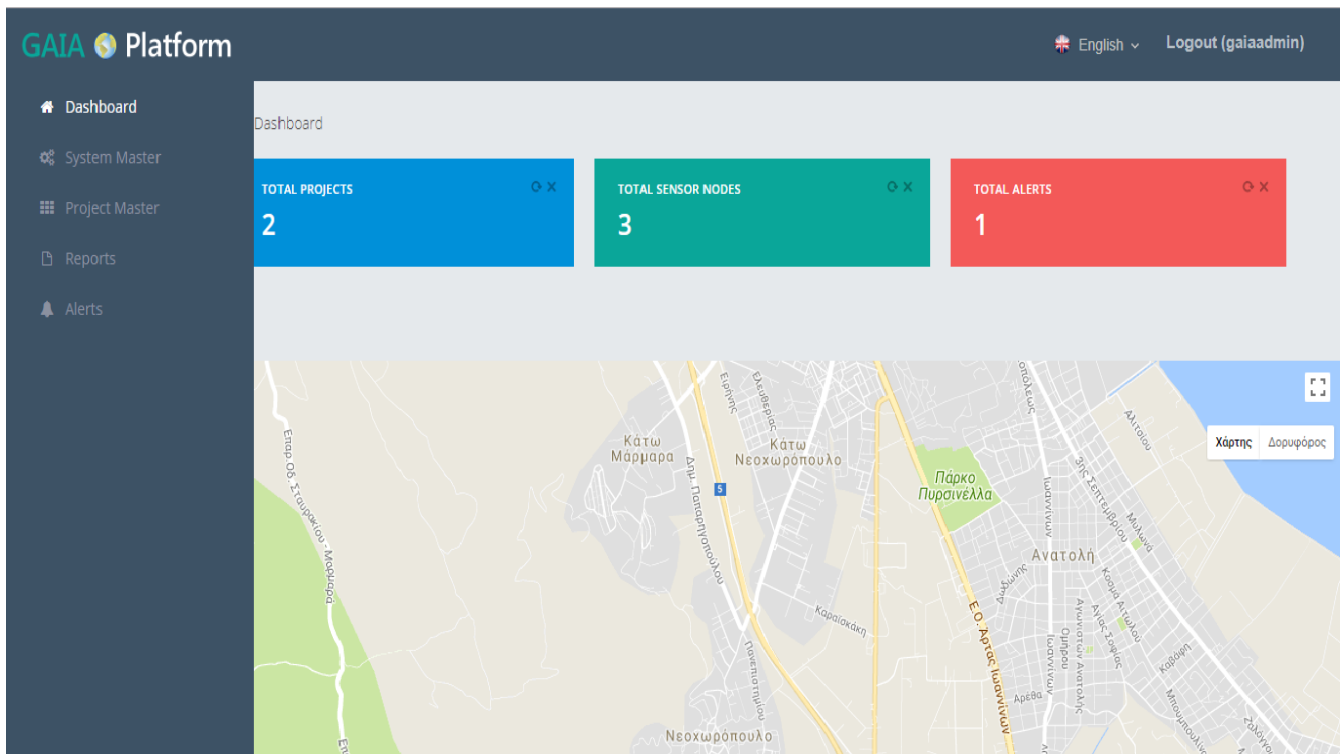
Με την επιτυχημένη ανάρτηση, η απάντηση από τον κεντρικό υπολογιστή (Host) αποθηκεύεται στο χαρακτηριστικό `_buffer`. Εκτός αυτού, το `_length` χαρακτηριστικό καθορίζει το μήκος της αποθηκευμένης απάντησης.[19]

Παράδειγμα χρήσης μεθόδου HTTP POST:

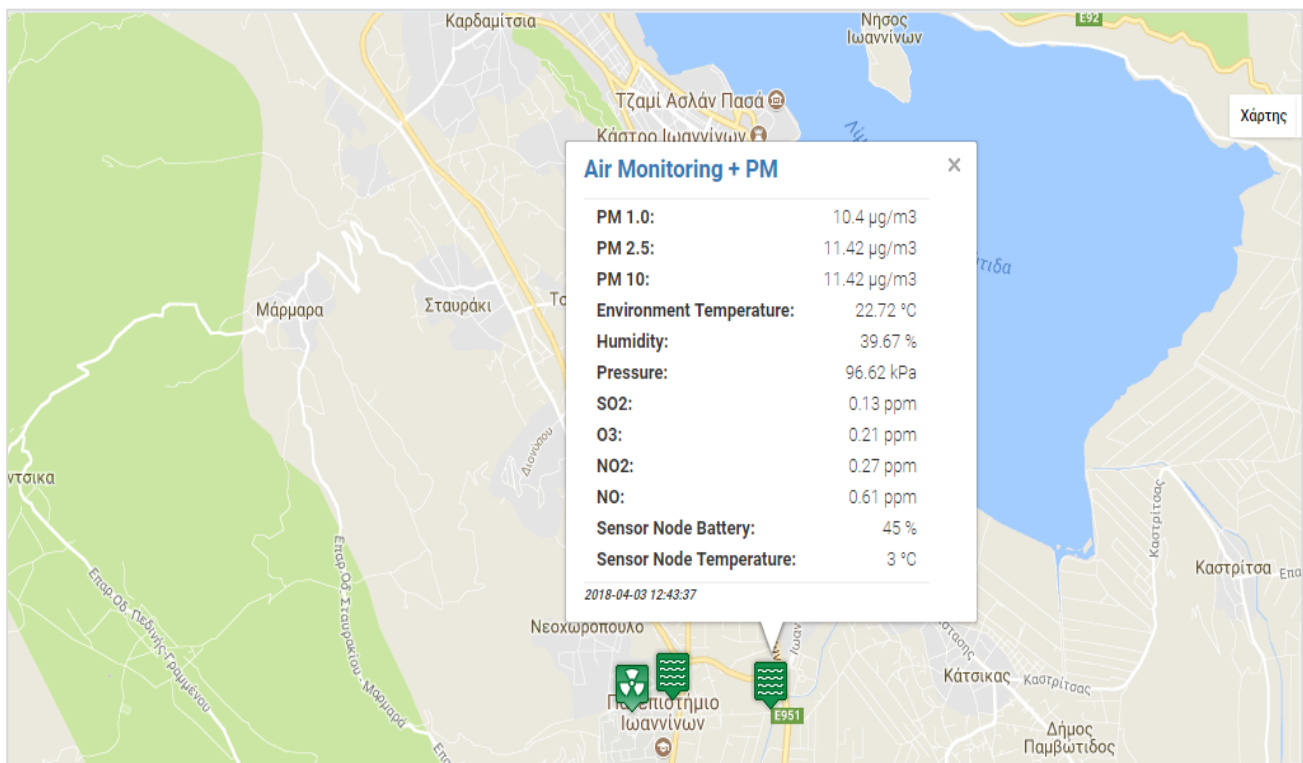
```
{  
char type[] = "http";  
char host[] = "pruebas.libelium.com";  
char port[] = "80";  
char url[] = "getpost_frame_parser.php?";  
////////////////////////////////////  
WIFI_PRO.setURL( type, host, port, link);  
WIFI_PRO.post("varA=1&varB=2&varC=3&varD=4&varE5=5");  
}
```

#### 4.5 Πλατφόρμα συλλογής δεδομένων

Η συλλογή των δεδομένων από τις μετρήσεις συλλέγονται σε μια IoT πλατφόρμα δικτύων(<https://gaia-platform.eu/>). Η παρακάτω πλατφόρμα παρέχει σε πραγματικό χρόνο ενημέρωση σχετικά με την ποιότητα του αέρα καθώς υπάρχει μια αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του κόμβου και της πλατφόρμας στην περιοχή όπου έχει στηθεί το δίκτυο αισθητήρων και αποτελείται από αυτόνομους κόμβους όπου επικοινωνούν μέσω μιας πύλης δικτύου (Gateway) για την μετάδοση τους στην πλατφόρμα. Οι αισθητήρες που είναι ενσωματωμένοι επάνω στον κόμβο είναι: θερμοκρασίας, υγρασίας, πίεσης, αιωρούμενης ύλης για μετρήσεις 1, 2.5 και 10 mm και τέλος οι αισθητήρες αερίων (διοξειδίου του θείου - SO<sub>2</sub>, διοξείδιο του αζώτου- NO<sub>2</sub>, μονοξείδιο του αζώτου - NO, Οζόν - O<sub>3</sub> [13].

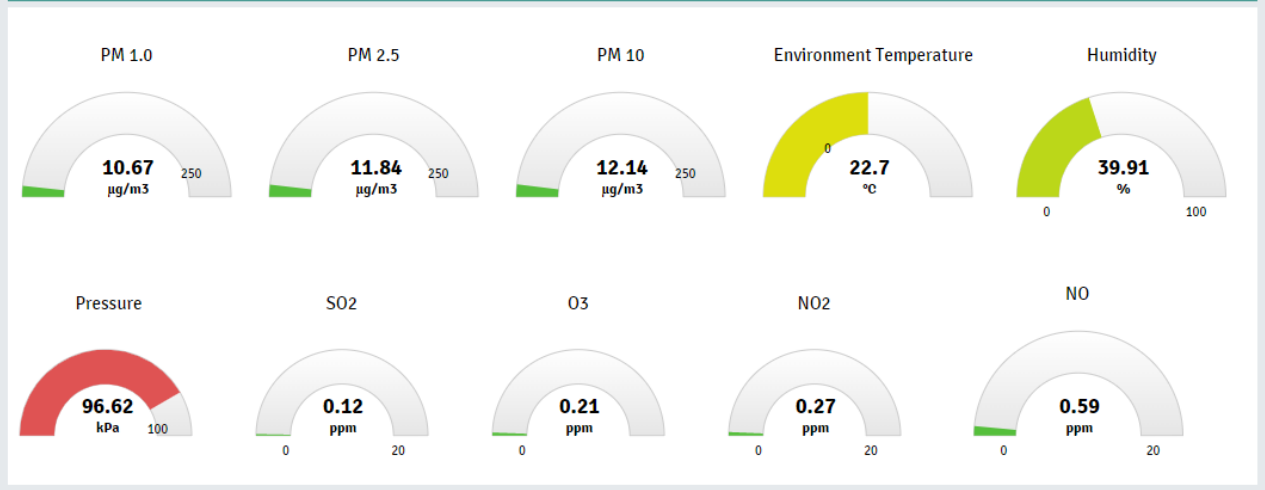


Εικόνα 4.11: Πλατφόρμα συλλογής δεδομένων



Εικόνα 4.12: Πλατφόρμα συλλογής δεδομένων

Most Recent Values - 2018-04-03 12:49:57

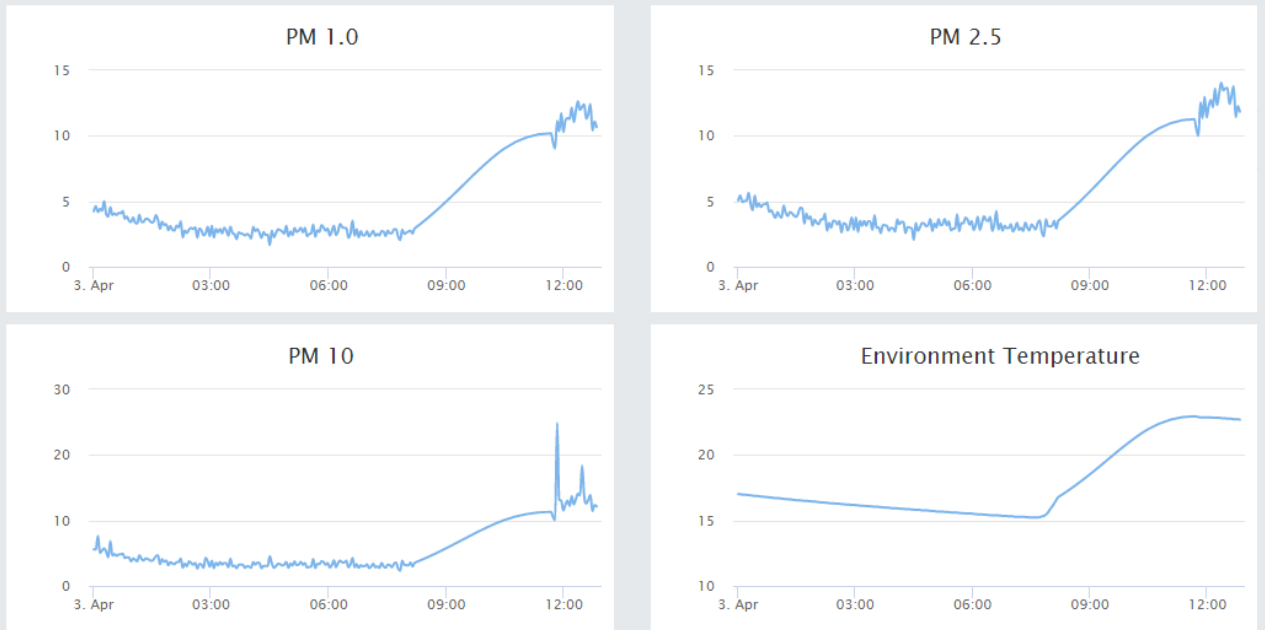


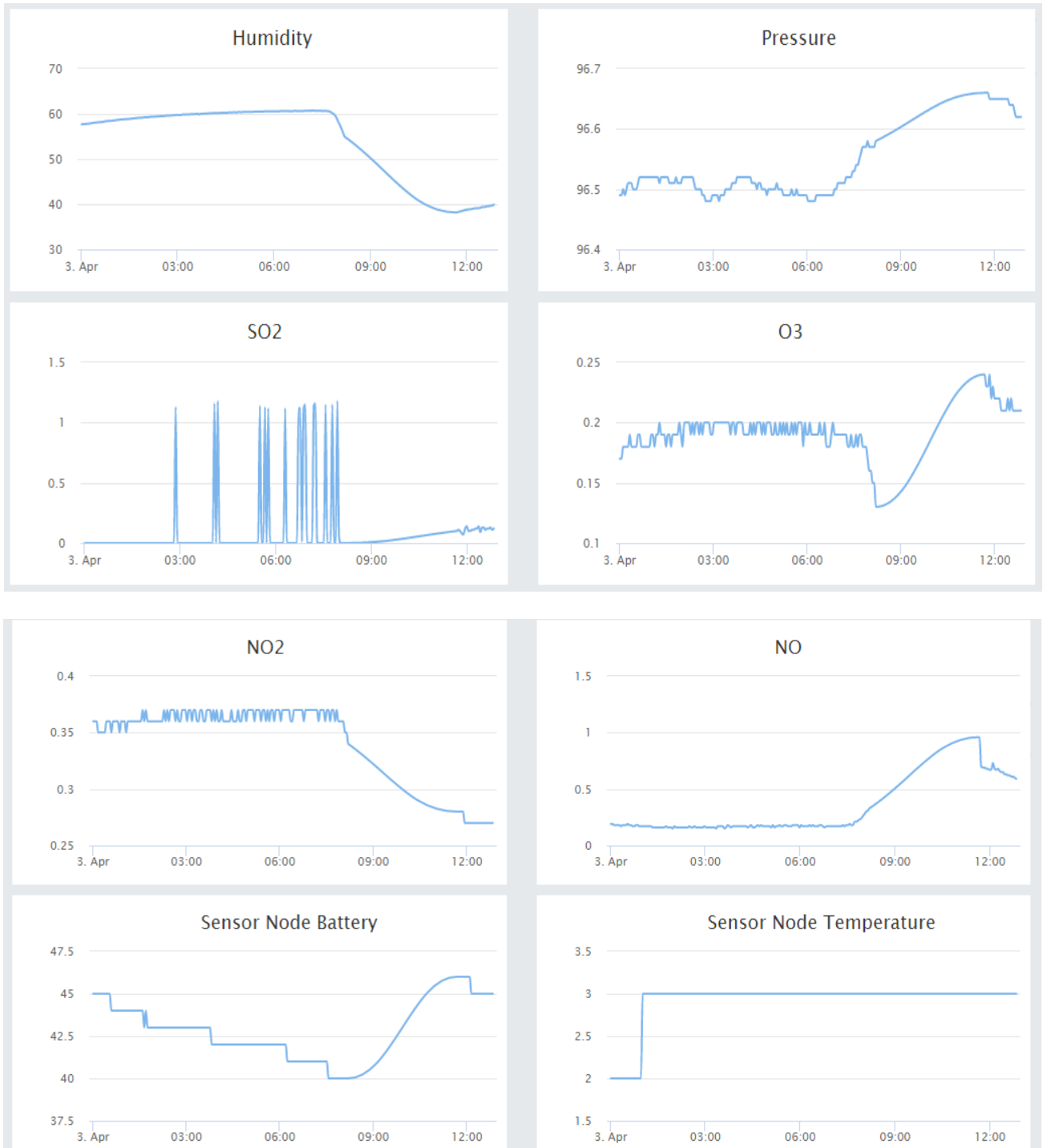
Most Recent Variations

SO <sub>2</sub> :	0.01 ppm (8.33%)	O <sub>3</sub> :	0 ppm (0%)	NO <sub>2</sub> :	0 ppm (0%)
PM 1.0:	-0.42 µg/m <sup>3</sup> (-3.94%)	PM 2.5:	-0.43 µg/m <sup>3</sup> (-3.63%)	PM 10:	-0.22 µg/m <sup>3</sup> (-1.81%)
Environment Temperature:	-0.02 °C (-0.09%)	Humidity:	0.21 % (0.53%)	Pressure:	0 kPa (0%)
Sensor Node Temperature:	0 °C (0%)	NO:	-0.01 ppm (-1.69%)	Sensor Node Battery:	0 % (0%)

2018-04-03 12:49:57

2018-04-03





*Εικόνα 4.13: Γραφήματα μετρήσεων ατμοσφαιρικής ρύπανσης και εμφάνιση στην πλατφόρμα.*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### Συμπεράσματα

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, υλοποιήθηκε μια Εφαρμογή Internet of Things για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με πρόκληση την αιθαλομίχλη που επηρεάζει την υγεία του ανθρώπου αλλά και του περιβάλλοντος. Εστιάζει στην παρακολούθηση και την ανάλυση των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων, συγκεκριμένα για το όζον (O<sub>3</sub>), τα σωματίδια (PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>), το διοξείδιο του θείου(SO<sub>2</sub>),το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και διοξείδιο του αζώτου(NO<sub>2</sub>) καθώς και την καταγραφή της θερμοκρασίας ,υγρασίας και πίεσης.

Η παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης γίνεται σε πραγματικό χρόνο και μπορούμε να πούμε ότι εντάσσεται σε μια μεγαλύτερη κατηγορία εφαρμογών «Εξυπνης Πόλης» σαν ένα δίκτυο αισθητήρων, με σκοπό τον περιορισμό των αρνητικών περιβαλλοντικών φαινομένων με χρήση ειδοποιήσεων κινδύνου αλλά και την φροντίδα της υγείας των πολιτών. Έμφαση δίνεται στο φαινόμενο της Αιθαλομίχλης όπου δημιουργείται κυρίως την περίοδο του Χειμώνα από την καύση υλικών για θέρμανση. Κατά την διάρκεια της χειμερινής εποχής τα δεδομένα έδειξαν αυξημένα επίπεδα ρύπων τις ημέρες όπου υπήρχε αιθαλομίχλη η καύση ορυκτών καυσίμων όπως ο άνθρακας και το πετρέλαιο είναι αναγκαία για την θέρμανση. Μετά την χειμερινή περίοδο τα δεδομένα έδειξαν ακριβώς το αντίθετο όπου τα επίπεδα των ρύπων είχαν μειωθεί αισθητά διότι δεν γινόταν καύση των παραπάνω ορυκτών σε μεγάλο βαθμό.

Για την υλοποίηση της εφαρμογής αυτής, η ανάγκη για μια συσκευή παρακολούθησης του φαινομένου καθίστανται απαραίτητη. Η λύση της Libelium για τον φορητό και αυτόνομο κόμβο Smart Environment Pro αποτελεί μια εξαιρετική λύση καθώς ο σταθμός έχει εγκατασταθεί τον Νοέμβριο του 2017 και είναι εξοπλισμένος με αισθητήρες όπου λειτουργεί ήδη αυτόνομα στον περιαστικό ιστό της πόλης των Ιωαννίνων και λαμβάνει μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο από τους παραπάνω ρύπους και στην συνέχεια αποστέλλονται στην πλατφόρμα επικοινωνίας <https://gaia-platform.eu/> καθώς επίσης ο κόμβος είναι ανεξάρτητος από πλευράς ενέργειας. Έχει φωτοβολταϊκό πάνελ και μπαταρίες λιθίου, οι οποίες επιτρέπουν τη συνεχή αυτόνομη λειτουργία χωρίς την ανάγκη

για εξωτερική πηγή ενέργειας. Στην άλλη περίπτωση η πλατφόρμα παρακολούθησης παρέχει στατιστικά και οπτικοποιημένα δεδομένα των μετρήσεων, ενώ δίνει την δυνατότητα απόκτησης ιστορικού «ανοιχτών δεδομένων» παρελθόντα χρόνου. Όσον αφορά τη μεθοδολογία, η πτυχιακή επικεντρώνεται στην εμπειρική ανάλυση των συλλεγμένων δεδομένων από την πλατφόρμα όπου ερευνητές θα μπορούν να λαμβάνουν τα ανοιχτά δεδομένα για μελέτη η ακόμη να δημιουργήσουν δικές τους εφαρμογές στο πεδίο της υγείας όπως εφαρμογή κινητού για ασθενής με άσθμα.

Το παρόν σύστημα μελλοντικά θα μπορούσε να παραμετροποιηθεί έτσι ώστε να εστιάζει σε άλλες ατμοσφαιρικές ρυπάνσεις όπως η σκόνη από την Αφρική που αποτελείται κυρίως από αιωρούμενα σωματίδια και επιδεινώνουν τα άτομα με αναπνευστικά προβλήματα, τους ρύπους από βιομηχανικές και σχηματικές εκπομπές, η ακόμα και το φωτοχημικό νέφος όπου εμφανίζεται σε ξηρές και ηλιόλουστες περιοχές και δημιουργείται λόγω της αυξημένης χρήσης όλων των ορυκτών καυσίμων, συμπεριλαμβανομένης της βενζίνης, και της καύσης δέντρων και οργανικών αποβλήτων. Αυτές οι εκπομπές συνδυάζονται υπό την παρουσία ηλιακού φωτός για να δημιουργήσουν ένα επιβλαβές περιβάλλον, το οποίο είναι επιβλαβές για την ανθρώπινη υγεία.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=894&language=el-GR>
- [2] <https://wonderopolis.org/wonder/what-is-smog>
- [3] <https://www.conserve-energy-future.com/causes-effects-solutions-to-smog-pollution.php>
- [4] [https://www.ucsusa.org/clean-energy/coal-and-other-fossil-fuels/coal-air-pollution#.Wp\\_F1OhubIU](https://www.ucsusa.org/clean-energy/coal-and-other-fossil-fuels/coal-air-pollution#.Wp_F1OhubIU)
- [5] <https://www.usnews.com/news/best-countries/articles/2017-01-13/the-health-effects-of-beijings-smog>
- [6] [https://greenliving.lovetoknow.com/Air\\_Pollution\\_Statistics](https://greenliving.lovetoknow.com/Air_Pollution_Statistics)
- [7] <https://ourworldindata.org/air-pollution>
- [8] <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>
- [9] <https://exm.gr/case-study-airport/>
- [10] <http://www.libelium.com/products/plug-sense/models/>
- [11] [http://www.libelium.com/downloads/documentation/gases\\_sensor\\_board\\_pro.pdf](http://www.libelium.com/downloads/documentation/gases_sensor_board_pro.pdf)
- [12] [http://www.libelium.com/downloads/documentation/v12/waspmote\\_ide\\_user\\_guide.pdf](http://www.libelium.com/downloads/documentation/v12/waspmote_ide_user_guide.pdf)
- [13] <https://gaia-platform.eu/>
- [14] [http://www.ti.com/ww/en/internet\\_of\\_things/iot-overview.html](http://www.ti.com/ww/en/internet_of_things/iot-overview.html)
- [15] [https://www.sas.com/el\\_gr/insights/big-data/internet-of-things.html](https://www.sas.com/el_gr/insights/big-data/internet-of-things.html)
- [16] [http://www.ti.com/ww/en/internet\\_of\\_things/iot-applications.html](http://www.ti.com/ww/en/internet_of_things/iot-applications.html)
- [17] <http://itransport.ioannina.gr/index.php/el/home/>
- [18] [http://www.libelium.com/downloads/documentation/over\\_the\\_air\\_programming.pdf](http://www.libelium.com/downloads/documentation/over_the_air_programming.pdf)
- [19] [http://www.libelium.com/downloads/documentation/wifi\\_networking\\_guide.pdf](http://www.libelium.com/downloads/documentation/wifi_networking_guide.pdf)
- [20] <https://www.kaaproject.org/automotive/>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

```
#include <BME280.h>
#include <WaspSensorGas_Pro.h>
#include <WaspOPC_N2.h>
#include <WaspWIFI_PRO.h>
//variables initialization
char SERIAL_ID[17]="12246F057C105446";
char BATTERY[4] = "BAT";
char IN_TEMP[7] = "INTEMP";
char TIME_STAMP[3] = "TS";
char S_ID[5]= "S_ID";
char CONNECTOR_A_SO2[4] = "SO2";
char CONNECTOR_B_O3[3] = "O3";
char CONNECTOR_C_NO2[4] = "NO2";
char CONNECTOR_D_PM1[4] = "PM1";
char CONNECTOR_D_PM2_5[6] = "PM2_5";
char CONNECTOR_D_PM10[5] = "PM10";
char CONNECTOR_E_TCA[4] = "TCA";
char CONNECTOR_E_HUM[5] = "HUMA";
char CONNECTOR_E_PRES[5] = "PRES";
char CONNECTOR_F_NO[4] = "NO";

uint8_t socket = SOCKET0;
char type[] = "http";
char host[] = "api.gaia-platform.eu";
char port[] = "80";
char url[] = "loggerPro.php";
uint8_t error;
//checking if wifi is connected and sets the module time for each server
void setModuleTime(){

    uint8_t error;
    uint8_t status;
    char SERVER1[] = "gr.pool.ntp.org";
    char SERVER2[] = "gr.pool.ntp.org";
```

```

char SERVER3[] = "gr.pool.ntp.org";
char SERVER4[] = "gr.pool.ntp.org";
uint8_t time_zone = 2;
RTC.ON();
RTC.setTime("13:01:11:06:12:33:00");
status = WIFI_PRO.isConnected();
if (status == true) {
    error = WIFI_PRO.setTimeServer(1, SERVER1);
    if (error == 0) {
        USB.println(F("3.1. Time Server1 set OK"));
    }
    else {
        USB.println(F("3.2. Cannot set Primary time server"));
        WIFI_PRO.printErrorCode();
        status = false;
    }
    error = WIFI_PRO.setTimeServer(2, SERVER2);
    if (error == 0) {
        USB.println(F("3.2. Time Server2 set OK"));
    }
    else {
        error = WIFI_PRO.setTimeServer(2, SERVER3);
        if (error == 0) {
            USB.println(F("3.2. Time Server3 set OK"));
        }
        else {
            error = WIFI_PRO.setTimeServer(2, SERVER4);
            if (error == 0) {
                USB.println(F("3.2. Time Server4 set OK"));
            }
            else {
                USB.println(F("3.2. Cannot set any time server"));
                WIFI_PRO.printErrorCode();
                status = false;
            }
        }
    }
}
}

```

```

    }
}
//Sets the network time-of-day activation flag to 'flag'. If this flag is
//enabled (1), waspmote will retrieve an updated time reading the next time it
//goes online
if (status == true) {
    error = WIFI_PRO.timeActivationFlag(true);
    if (error == 0) {
        USB.println(F("3.3. Network Time-of-Day Activation Flag set OK"));
    }
    else {
        USB.println(F("3.3. Error calling 'timeActivationFlag' function"));
        WIFI_PRO.printErrorCode();
        status = false;
    }
}
//Permanently sets the Greenwich mean time offset, in
//hours.
if (status == true) {
    error = WIFI_PRO.setGMT(time_zone);
    if (error == 0) {
        USB.print(F("3.4. GMT set OK to "));
    }
    else {
        USB.println(F("3.4. Error calling 'setGMT' function"));
        WIFI_PRO.printErrorCode();
    }
}
//Sets the time from wifi
error = WIFI_PRO.setTimeFromWIFI();
if (error == 0) {
    USB.print(F("3. Set RTC time OK. Time:"));
}
else
{
    USB.println(F("3. Error calling 'setTimeFromWIFI' function"));
}

```

```

        WIFI_PRO.printErrorCode();
        status = false;
    }
    pinMode(GP_I2C_MAIN_EN, OUTPUT);
}
void switchONWiFi(){
    //Open WiFi and check if opened
    error = WIFI_PRO.ON(socket);
    if (error == 0) {
        USB.println(F("1. WiFi switched ON"));
    }
    else {
        USB.println(F("1. WiFi did not initialize correctly"));
    }
    //Set the URL address and check if its correct
    error = WIFI_PRO.setURL(type, host, port, url);
    if (error == 0) {
        USB.println(F("2. Set URL OK"));
    }
    else {
        USB.println(F("3. Error calling 'setURL' function"));
        WIFI_PRO.printErrorCode();
    }
}
void setup () {
    USB.ON(); //Enable the USB
    switchONWiFi();// call the function "switchONWiFi()"
    setModuleTime();// call the function "setModuleTime()"
    WIFI_PRO.OFF(socket);//turn off the wifi module
    RTC.ON();// enable Real Time Clock (RTC)
    USB.println(F("4. WiFi switched OFF"));
    USB.println(F("Setup done\n\n"));
}

void loop() {
    //variables initialization

```

```

Gas O3(SOCKET_B),NO(SOCKET_F),NO2(SOCKET_C),SO2(SOCKET_A);
char *data;
float temperature, humidity, pressure,concO3, concNO, concNO2,concSO2, PM1,PM2_5,PM10;
char *temperature_String,*humidity_String, *pressure_String,
*time_Str,*concO3_String,*concNO_String,          *concNO2_String,          *concSO2_String,
*PM1_String,*PM2_5_String,*PM10_String,*batteryLevelString,*internal_tempString;
int status1, measure,batteryLevel,internal_temp;
uint8_t status;
unsigned long previous;
timestamp_t  time;
unsigned long epoch;
//binds memory for each string
batteryLevelString=(char *)malloc(4*sizeof(char));
internal_tempString=(char *)malloc(4*sizeof(char));
concO3_String=(char *)malloc(6*sizeof(char));
concNO_String=(char *)malloc(6*sizeof(char));
concNO2_String=(char *)malloc(6*sizeof(char));
concSO2_String=(char *)malloc(6*sizeof(char));
temperature_String=(char *)malloc(7*sizeof(char));
humidity_String=(char *)malloc(7*sizeof(char));
pressure_String=(char *)malloc(7*sizeof(char));
PM1_String=(char *)malloc(6*sizeof(char));
PM2_5_String=(char *)malloc(6*sizeof(char));
PM10_String=(char *)malloc(6*sizeof(char));
time_Str=(char *)malloc(20*sizeof(char));
data=(char *)malloc(200*sizeof(char));
/*sets the microcontroller to the sleep mode for 10 seconds. It enables RTC interruption
to
    be able to wake up the microcontroller when the RTC alarm is generated. It
    uses Alarm1 on the RTC due to this Alarm. It switches on all the switches on
    the Waspnote board. * /
PWR.deepSleep("00:00:02:00", RTC_OFFSET, RTC_ALM1_MODE1, ALL_ON);
USB.println(F("Getting Measurements\n\n"));
PWR.getBatteryLevel();// gets the value of the battery
batteryLevel = PWR.getBatteryLevel();
itoa(batteryLevel, batteryLevelString, 10);

```

```

RTC.getTemperature(); //gets the value of the internal temperature
internal_temp = RTC.getTemperature();
itoa(internal_temp, internal_tempString, 10);
digitalWrite(GP_I2C_MAIN_EN, HIGH);
//Enable the sensors
BME.ON();
O3.ON();
NO.ON();
NO2.ON();
SO2.ON();
//gets the values for each sensor and converts it to string
concO3 = O3.getConc();
Utils.float2String(concO3,concO3_String , 2);
USB.printf("O3: %s\n",concO3_String);
concNO = NO.getConc();
Utils.float2String(concNO,concNO_String , 2);
concNO2 = NO2.getConc();
Utils.float2String(concNO2,concNO2_String , 2);
concSO2 = SO2.getConc();
Utils.float2String(concSO2,concSO2_String , 2);
temperature = BME.getTemperature(BME280_OVERSAMP_16X, BME280_FILTER_COEFF_OFF);
Utils.float2String(temperature,temperature_String , 2);
humidity = BME.getHumidity(BME280_OVERSAMP_16X);
Utils.float2String(humidity,humidity_String , 2);
pressure = BME.getPressure(BME280_OVERSAMP_16X, BME280_FILTER_COEFF_OFF);
Utils.float2String(pressure/1000,pressure_String , 2);
digitalWrite(GP_I2C_MAIN_EN, LOW);
//Opens the OPC_N2 sensor and performs the particle measurement
status1 = OPC_N2.ON();
if (status1 == 1) {
    USB.println(F("Particle sensor started"));
}
else {
    USB.println(F("Error starting the particle sensor"));
}
if (status1 == 1) {

```

```

// Power the fan and the laser and perform a measure of 5 seconds
measure = OPC_N2.getPM(5000,5000);
if (measure == 1) {
    PM1=OPC_N2._PM1;
    Utils.float2String(PM1,PM1_String , 2);
    PM2_5=OPC_N2._PM2_5;
    Utils.float2String(PM2_5,PM2_5_String , 2);
    PM10=OPC_N2._PM10;
    Utils.float2String(PM10,PM10_String , 2);
}
else {
    USB.print(F("Error performing the measure. Error code:"));
    USB.println(measure, DEC);
}
}
OPC_N2.OFF(); //close the OPC_N2 sensor
epoch = RTC.getEpochTime(); //Get the epoch time based on RTC settings
RTC.breakTimeAbsolute( epoch, &time );/* break the given time by 'epoch' into time
components: year, month, date,
// day (week day), hour, minute and seconds.*/
sprintf(time_Str,"%d-%02d-
%02d%02d:%02d:%02d", (2000+time.year),time.month,time.date,time.hour,time.minute,time.sec
ond);
sprintf(data,"S_ID=%s&%s=%s&%s=%s&%s=%s&%s=%s&%s=%s&%s=%s&%s=%s&%s=%s&%s=%s&%s=%s&
%s=%s&%s=%s",
    SERIAL_ID,
    TIME_STAMP,time_Str,
    BATTERY, batteryLevelString,
    IN_TEMP, internal_tempString,
    CONNECTOR_A_S02 , concS02_String,
    CONNECTOR_B_O3 , concO3_String,
    CONNECTOR_C_NO2 , concNO2_String,
    CONNECTOR_F_NO , concNO_String,
    CONNECTOR_E_TCA , temperature_String,
    CONNECTOR_E_HUM , humidity_String,
    CONNECTOR_E_PRES , pressure_String,
    CONNECTOR_D_PM1 , PM1_String,

```



```

CONNECTOR_D_PM2_5 , PM2_5_String,
CONNECTOR_D_PM10 , PM10_String
);

//if wifi is connected Submits a plain text POST request to a web server defined in the
URL param
switchONWiFi();
status = WIFI_PRO.isConnected();
if( status == true ) {
    USB.print(F("2. WiFi is connected OK\n"));
    error = WIFI_PRO.post(data);
    if( error == 0 ) {
        USB.println(F("HTTPS POST OK"));
        USB.print(F("Server answer:"));
        USB.println(WIFI_PRO._buffer, WIFI_PRO._length);
    }
    else {
        USB.println(F("Error calling 'post' function"));
        USB.println(data);
        WIFI_PRO.printErrorCode();
    }
}
else {
    USB.print(F("2. WiFi is connected ERROR"));
}
WIFI_PRO.OFF(socket);
USB.println(F("3. WiFi switched OFF\n\n"));

/*sets the microcontroller to the sleep mode for 10 seconds. It enables RTC
interruption to
be able to wake up the microcontroller when the RTC alarm is generated. It
uses Alarm1 on the RTC due to this Alarm. It switches on all the switches on
the Waspote board.*/
PWR.deepSleep("00:00:00:10", RTC_OFFSET, RTC_ALM1_MODE1, ALL_ON);
//unbind the memory from each string
free(batteryLevelString);
free(internal_tempString);
free(concO3_String);

```

```
free(concNO_String);  
free(concNO2_String);  
free(concSO2_String);  
free(temperature_String);  
free(humidity_String);  
free(pressure_String);  
free(PM1_String);  
free(PM2_5_String);  
free(PM10_String);  
free(time_Str);  
free(data);  
}
```