



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Μετρήσεις Ποιότητας Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος και Βιοκλιματικών  
Συνθηκών στο Κέντρο της Αθήνας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΖΟΥΝΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΑΜ: 46524

Επιβλέπων Καθηγητές: Σπυρόπουλος Γεώργιος, Μουστρήs Κωνσταντίνος

Αθήνα, Οκτώβριος 2020

***Η παρούσα διπλωματική εργασία αφιερώνεται στους φίλους, στην οικογένεια και σε όσους επιθυμούν ένα καλύτερο μέλλον.***

## Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Μετρήσεις ποιότητας ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος και βιοκλιματικών συνθηκών στο κέντρο της Αθήνας» δημιουργήθηκε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης των προϋποθέσεων για την λήψη του πτυχίου μου από το Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών. Η εκπόνησή της ορίστηκε κατά το χειμερινό εξάμηνο, τον Φεβρουάριο του 2020, με υπεύθυνο καθηγητή τους κύριους Σπυρόπουλο Γεώργιο και Μουστρή Κωνσταντίνο. Ολοκληρώθηκε εντός των προβλεπόμενων χρονικών ορίων, τον Σεπτέμβριο του 2020.

Βασικό αντικείμενο αυτής της εργασίας, όπως μαρτυρά και ο τίτλος της είναι να αποτυπωθεί η υφιστάμενη κατάσταση της ποιότητας του αέρα με τη χρήση συσκευών που φέρουν αισθητήρες χαμηλού κόστους. Τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν κυρίως με τη μορφή διαγραμμάτων αλλά και με τη χρήση δεικτών ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Σπυρόπουλο Γεώργιο για την πολύτιμη βοήθειά του και τις χρήσιμες ιδέες του που συνέβαλλαν στην βελτίωση της εργασίας μου. Ευχαριστώ επίσης τους καθηγητές της σχολής μου για την απόκτηση των απαραίτητων γνώσεων του αντικειμένου και για το γεγονός ότι ενίσχυσαν την αγάπη και προσήλωσή μου στον κλάδο της Μηχανολογίας.

## Περιεχόμενα

Πρόλογος .....	2
Περίληψη .....	6
Abstract.....	7
Κεφάλαιο 1 .....	8
1.1) Ποιότητα αέρα και υγεία.....	8
1.1.1) Κατανόηση βασικών εννοιών .....	8
1.1.2 ) Η έννοια της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	9
1.1.3) Ατμοσφαιρικοί ρύποι .....	9
1.1.4) Αέρια ρύπανση και υγεία .....	12
1.1.5) Αντίκτυπο αέριας ρύπανσης στις βιοκλιματικές συνθήκες .....	14
1.1.6) Χαρακτηρισμός της ποιότητας του αέρα με δείκτες.....	14
1.1.7) Ποιότητα αέρα στους εσωτερικούς χώρους .....	16
1.2) Ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα .....	16
1.2.1) Γεωμορφολογία της Αθήνας.....	16
1.2.2) Κλιματολογία της Αθήνας.....	17
1.2.3) Τρόποι εκδήλωσης ρύπανσης .....	18
1.2.4) Όξινη βροχή και μνημεία.....	19
1.2.5) Αίσθηση της ρύπανσης από τους κατοίκους.....	20
1.3) Σκοπιμότητα παρακολούθησης και καταγραφής της ατμοσφαιρικής ρύπανσης .....	20
1.3.1) Ανάπτυξη της τεχνολογίας.....	20
1.3.2) Οικονομία και περιβάλλον .....	20
1.3.3) Ανθρώπινη υγεία .....	21
1.1.4) Πρόληψη και αντιμετώπιση .....	21
Κεφάλαιο 2 .....	22
2.1) Σταθεροί σταθμοί παρακολούθησης και καταγραφής της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	22
2.1.1) Χαρτογραφική απεικόνιση των σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης .....	22
2.2.2) Πληροφορίες σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης .....	25
2.2.3) Χρονική ανάλυση και μεταφορά δεδομένων των αναλυτών .....	27
2.2.4) Μέθοδοι μέτρησης των ατμοσφαιρικών ρύπων.....	27
2.2.5) Βαθμονόμηση των οργάνων μέτρησης .....	28
2.2) Θεσμικό πλαίσιο για την ατμοσφαιρική ρύπανση.....	29
2.2.1) Οριακές τιμές και τιμές στόχοι των ατμοσφαιρικών ρύπων.....	30
2.2.2) Όρια ενημέρωσης και συναγερμού.....	32

2.2.3) Προϋποθέσεις για την ποιότητα των δεδομένων σχετικά με τη εκτίμηση της ποιότητας του αέρα .....	33
2.2.4) Εθνικές δεσμεύσεις μείωσης των εκπομπών .....	34
2.3) χωρική και χρονική μεταβλητότητα των ρύπων στα αστικά κέντρα .....	34
2.3.1) Χωρική μεταβλητότητα των συγκεντρώσεων των ρύπων .....	35
2.3.2) Ακτινοβολία, ένταση ανέμου και ρύποι.....	35
2.3.3) Μεταβλητότητα και συσχέτιση ρύπων ΑΣ2.5 ,NO2, BC.....	36
2.3.4) Αιωρούμενα σωματίδια στο αστικό περιβάλλον.....	37
2.3.5) Όζον (O <sub>3</sub> ) στο αστικό περιβάλλον.....	37
2.3.6) Χρονική μεταβλητότητα των συγκεντρώσεων των ρύπων .....	38
2.4) Ενημέρωση των πολιτών για τη ποιότητα του αέρα.....	39
2.4.1) Δελτία ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο διαδίκτυο.....	39
2.4.2) Ετήσιες Εκθέσεις για τον Ελλαδικό χώρο .....	39
2.4.3) Χαρτογράφηση ατμοσφαιρικής ρύπανσης .....	40
2.4.4) Εμφάνιση του ευρωπαϊκού δείκτη ρύπανσής επάνω σε διαδραστικό χάρτη .....	41
2.4.5) Ηλεκτρονικές πλατφόρμες ενημέρωσης .....	43
2.4.6) Σύστημα PRAISE-HK .....	44
2.4.7) Εφαρμογές «crowdsensing».....	46
Κεφάλαιο 3 .....	47
3.1) Ανάπτυξη και εφαρμογή των αισθητήρων χαμηλού κόστους.....	47
3.1.1) Ηλεκτροχημικοί αισθητήρες χαμηλού κόστους .....	47
3.1.2) Πλεονεκτήματα των αισθητήρων χαμηλού κόστους .....	49
3.1.3) Μειονεκτήματα των αισθητήρων χαμηλού κόστους.....	49
3.1.4) Η ανάγκη χρήσης των συσκευών χαμηλού κόστους.....	50
3.1.5) Προκλήσεις των συσκευών χαμηλού κόστους.....	51
3.1.6) Διαδίκτυο των πραγμάτων και συσκευές χαμηλού κόστους.....	51
3.2) Εφαρμογές παρακολούθησης της αέριας ρύπανσης με κινητές μετρήσεις.....	52
3.2.1) Εκστρατεία μετρήσεων με πεζούς.....	53
3.2.2) Εκστρατεία μετρήσεων με ποδήλατο.....	54
3.2.3) Εκστρατεία μετρήσεων με κινούμενο όχημα.....	55
3.2.4) Εκστρατεία μετρήσεων με τη χρήση μέσων μαζικής μεταφοράς.....	57
3.2.5) Εφαρμογή μετρήσεων με συσκευές χαμηλού κόστους .....	58
3.3) Καινοτομία της έρευνας .....	59
Κεφάλαιο 4 .....	60

4.1) Περιγραφή του εξοπλισμού .....	60
4.1.1) Εξοπλισμός βάν .....	60
4.1.2) Εξοπλισμός συσκευής ανίχνευσης χαμηλού κόστους.....	66
4.2) Μεθοδολογία λήψης μετρήσεων .....	72
4.2.1) Μεθοδολογία λήψης μετρήσεων με τη συσκευή χαμηλού κόστους.....	72
4.2.2) Μεθοδολογία λήψης μετρήσεων με χρήση οχήματος και όργανα ακριβείας .....	79
Κεφάλαιο 5 .....	84
5.1) Σύγκριση οργάνων Αστεροσκοπείου και των δύο φορητών οργάνων E46 και EBB. ....	84
5.2) Συμπεράσματα πρώτου σταδίου επεξεργασίας .....	88
5.3) Σύγκριση μετρούμενων τιμών Αστεροσκοπείου, βαν και αισθητήρα E46 στις 5/3/2020.....	88
5.4) Συμπεράσματα δευτέρου σταδίου επεξεργασίας .....	91
5.5) Επεξεργασία δεδομένων από την εκστρατεία των δέκα ημερών στα έξι σημεία μελέτης .....	91
5.6) Αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης με τον δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης DAQI... ..	112
5.7) Παρατηρήσεις επεξεργασίας μετρήσεων που αφορούν την εκστρατεία μετρήσεων .....	118
Κεφάλαιο 6 .....	120
6.1) Σχόλια και συμπεράσματα της έρευνας.....	120
Βιβλιογραφία .....	123

## Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια η ανθρωπότητα απασχολείται με διάφορα ζητήματα που αφορούν το περιβάλλον. Ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση. Παράλληλα, πληθώρα μελετών συσχετίζει την ατμοσφαιρική ρύπανση με σοβαρά προβλήματα υγείας όπως καρδιαγγειακές νόσους και λοιμώξεις του αναπνευστικού. Ειδικότερα, εντός των αστικών κέντρων το πρόβλημα είναι οξυμένο, καθώς η ανθρώπινη δραστηριότητα είναι εντονότερη. Την ίδια στιγμή, στις πόλεις κατοικεί το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού. Σύμφωνα με τα παραπάνω, προκύπτει η ανάγκη για καταγραφή και παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα έτσι ώστε να εφαρμοσθούν στρατηγικές μετριασμού του προβλήματος. Δυστυχώς, στην Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα στην Αθήνα, οι σταθεροί σταθμοί παρακολούθησης της αέριας ρύπανσης αδυνατούν να δώσουν τις απαραίτητες πληροφορίες στους ανθρώπους που εκτίθενται σε υψηλές συγκεντρώσεις καθημερινά. Συνεπώς, δημιουργείται η ανάγκη για απόκτηση περισσότερων δεδομένων που αφορούν την ατμοσφαιρική ρύπανση στις περιοχές όπου εκτίθενται οι άνθρωποι. Για να πραγματοποιηθεί κάτι τέτοιο χρειαζόμαστε συσκευές ανίχνευσης ρύπων χαμηλού κόστους διότι το ποσό για κατασκευή σταθερών σταθμών με καταγραφικά είναι απαγορευτικό. Επιπλέον, με τις συσκευές αυτές είμαστε σε θέση να αποτυπώσουμε την υφιστάμενη κατάσταση με περισσότερη λεπτομέρεια.

Στη δική μας έρευνα ο στόχος ήταν να καταγραφούν οι τιμές των ρύπων:  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_1$ , CO,  $NO_2$ ,  $SO_2$  και  $O_3$ , στα σημεία όπου χαρακτηρίζονται από έντονη τουριστική, εμπορική και πολιτισμική δραστηριότητα. Τα σημεία που επιλέχθηκαν, σχημάτιζαν μια ρούτα γύρω από το ιστορικό κέντρο της Αθήνας. Επίσης, η διάρκεια των μετρήσεων ήταν δέκα τυχαίες ημέρες, τις οποίες χωρίσαμε σε τρεις χρονικές ζώνες. Η πρώτη χρονική ζώνη ήταν το πρωί όπου παρατηρείται υψηλή πυκνότητα κυκλοφορίας οχημάτων. Η δεύτερη ζώνη ήταν το μεσημέρι όπου συνήθως αυξάνεται το πλήθος των πεζών που βρίσκεται στο κέντρο. Η τρίτη ζώνη ήταν το βράδυ όπου εμφανίζεται η ρύπανση από τις απογευματινές ώρες αιχμής της κυκλοφορίας.

Πριν απ' όλα αυτά, προηγήθηκαν δοκιμές που έλαβαν χώρα στο Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών αλλά και στο εργαστήριο HME & ΠΡΟΠΕ του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής με σκοπό τη διακρίβωση αυτών των συσκευών. Επιπροσθέτως, πραγματοποιήθηκε ολοήμερη δοκιμή στην οδό Ερμού με καταγραφικά υψηλού κόστους τα οποία ήταν εγκατεστημένα στο ηλεκτροκίνητο βαν του εργαστηρίου HME & ΠΡΟΠΕ. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις παραπάνω δοκιμές, μας επέτρεψαν να χρησιμοποιήσουμε το ένα φορητό όργανο(E46) για την μέτρηση αιωρούμενων σωματιδίων(PM) και μονοξειδίου του άνθρακα(CO).

Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία δεδομένων και κατασκευή διαγραμμάτων με τη βοήθεια του προγράμματος Excel. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για την περιοχή ενδιαφέροντος παρουσιάζονται κατά βάση με διαγράμματα αλλά και με το δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης DAQI. Το συμπέρασμα που εξάγονται, αφορούν τόσο τους μετρούμενους ρύπους όσο και τα σημεία ενδιαφέροντος. Πιο συγκεκριμένα, τα αιωρούμενα σωματίδια παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις τις πρωινές, αλλά και τις βραδινές ώρες. Ακόμη, το μονοξείδιο του άνθρακα, εμφανίζει υψηλές συγκεντρώσεις κοντά σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από συχνή στάθμευση οχημάτων, όπως σταθμοί λεωφορείων.

Όσον αφορά τα σημεία μέτρησης, παρατηρούμε ότι το Θησείο και η Πύλη Αδριανού έχουν το μεγαλύτερο πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης κυρίως μέχρι της απογευματινές ώρες. Από την άλλη, η Ακρόπολη και το Σύνταγμα εμφανίζουν τις χαμηλότερες τιμές συγκεντρώσεων CO και PM. Σε επόμενη έρευνα, απαιτείται η συλλογή περισσότερων δεδομένων έτσι ώστε να δοθεί μια αναλυτικότερη εικόνα για την υφιστάμενη κατάσταση.

# Air Quality and Bioclimatic Measurements in Central Athens

## Abstract

In recent years, humanity has been concerned with environmental issues. One of the more serious ones is air pollution. A plethora of studies has linked it with health issues such as cardiovascular diseases and infections of the lungs. Highly populated areas are especially exposed to such diseases due to the increased activity of people. For that reason, the need for frequent examination of the air quality is apparent. Unfortunately, in Greece and specifically in Athens, stations that examine the air are unable to give the necessary information to people who are exposed to highly polluted areas. Therefore, the need for more data is indispensable. In order for something like that to become reality, we need low cost and low maintenance machines that measure the air pollution accurately. Furthermore, with such machines we will be able to get a more detailed look into the situation.

The goal of our research was to collect data from pollutants: PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, in highly populated areas. The chosen location is a route around the historical center of Athens. The time of the measurements was ten random days which we separated into three different time zones. The first one is morning hours, in which we noticed very high vehicle activity. The second one is around mid-day, where the amount of people compared to vehicles increase around said area. The third and last time zone is nighttime where the pollution levels increase due to the traffic during the first two time zones.

Before all that, we conducted tests at the National Observatory of Athens and the SEA laboratory to measure the accuracy of our equipment. The tests continued throughout the day on Ermou street, using the high-end machinery and the battery power van provided to us by the SEA laboratory. The results of the tests allowed us to use the E46 (portable machine), which is used for measuring the floating particles (PM) and the carbon monoxide (CO) levels in the air.

Once we collected the measurements, we processed them and made graphs using Microsoft Excel and DAQ (air pollution indicator). The results showed us that, the floating particle levels peak during the morning as well as the night hours. In the same token, the carbon monoxide levels seem to reach their potential near areas characterized by the high vehicle activity such as bus stations.

Regarding the spots of measurements, Thisseio and Hadrian's Arch have the biggest problems with air pollution until the evening. On the other hand, Acropolis and Syntagma seem to have the lowest levels of CO and PM. In future research, the collection of more data is necessary. Additional data would lead us to precise results and a clearer picture of the current situation.



# Κεφάλαιο 1

## 1.1) Ποιότητα αέρα και υγεία

Τα τελευταία 50 χρόνια οι ανθρώπινες δραστηριότητες με πρωτοπόρο τη βιομηχανία, έχουν κατασκευάσει πάνω από 50.000 χημικές ενώσεις που καταλήγουν στο περιβάλλον. Οι αέριες εκπομπές διαχέονται στη ατμόσφαιρα και μεταφέρονται με τις αέριες μάζες σε μεγάλες αποστάσεις μακριά από τις πηγές εκπομπής τους. Το μέσο μέσα στο οποίο μεταφέρονται οι αέριοι ρύποι είναι η ατμόσφαιρα και η δυναμική της καθορίζει το χρόνο ζωής τους και την αλληλεπίδραση με τον άνθρωπο. Πολλές από αυτές τις χημικές ενώσεις έχουν μεταφερθεί στη βιόσφαιρα και χαρακτηρίζονται ως τοξικές ή δυναμικά επιβλαβείς. Οι ατμοσφαιρικοί αυτοί ρύποι, λοιπόν, εισέρχονται στο ανθρώπινο σώμα κυρίως μέσω της αναπνοής και δευτερογενώς με δερματική επαφή (Λαζαρίδης, 2017).

### 1.1.1) Κατανόηση βασικών εννοιών

«Ατμόσφαιρα: ονομάζουμε το στρώμα των αερίων που περιβάλλει τη Γη και συμμετέχει σε όλες τις κινήσεις της.» Πιο συγκεκριμένα, αποτελεί έναν φλοιό ύψους περίπου 150 km ή 500 δισεκατομμυρίων τόνων αέρα εάν το μεταφράσουμε σε ποσότητα (Πολυμενεας, 2004).

Ο αέρας: είναι μίγμα που περιέχει ένα συνδυασμό αερίων με σχετικά σταθερή περιεκτικότητα μέχρι τα 100 χλμ.

Ο «καθαρός» αέρας: είναι άχρωμος, άοσμος, και άγευστος. Δεν μπορεί να γίνει αισθητός παρά μόνο όταν κινείται.

Η σύσταση του καθαρού ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα αποτελείται κυρίως από άζωτο και οξυγόνο αλλά και από άλλα συστατικά που παρουσιάζονται στον **πίνακα 1.1** (Μουστρής, 2020).

Αέριος ρύπος: είναι τα αέρια ή αιωρούμενα σωματίδια που είναι τοξικά όταν η συγκέντρωσή τους ξεπερνά ορισμένες τιμές (Κούγκουλος, 2018) .

Έκθεση: είναι η συγκέντρωση του ρύπου που έρχεται σε επαφή με τον άνθρωπο για ορισμένη χρονική περίοδο (Λαζαρίδης, 2017).

**Πίνακας 1.1 :** Σύσταση καθαρού ατμοσφαιρικού αέρα

Συστατικό	Σύμβολο	% Κατά όγκο σύσταση
Άζωτο	N <sub>2</sub>	78.09
Οξυγόνο	O <sub>2</sub>	20.94
Αργό	Ar	0.93
Διοξείδιο του άνθρακα	CO <sub>2</sub>	0.032
Νέο	Ne	0.0018
Ήλιο	He	0.00052
Μεθάνιο	CH <sub>4</sub>	0.00015
Κρυπτό	Kr	0.0001
Υποξείδιο του αζώτου	N <sub>2</sub> O	0.00005
Υδρογόνο	H <sub>2</sub>	0.00005
Ξένο	Xe	0.000008
Όζον	O <sub>3</sub>	(0.01-0.04)*10 <sup>-4</sup>

### 1.1.2 ) Η έννοια της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Ως ατμοσφαιρική ρύπανση ,σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization-W.H.O, 2020), ορίζεται η ύπαρξη ουσιών στην ατμόσφαιρα ,για τέτοιο χρονικό διάστημα και σε τέτοια συγκέντρωση, ώστε να προκαλούνται δυσμενείς επιπτώσεις στους ζωντανούς οργανισμούς (άνθρωπος, ζώα, φυτά) και στις υλικές κατασκευές.

Η αέρια ρύπανση προέρχεται κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (π.χ. κυκλοφορία οχημάτων, καύση ορυκτών για παραγωγή ενέργειας, καύση ξύλου, βιομηχανική δραστηριότητα, βιομάζα κτηνοτροφικών μονάδων) ,αλλά και από φυσικές πηγές (πυρκαγιές , εκρήξεις ηφαιστειών , sahara dust events), (Kjellstrom et al., 2002).

Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης δεν είναι αποτέλεσμα μόνο των πρωτογενών ρύπων, διότι εντός της ατμόσφαιρας συμβαίνουν διάφορες χημικές αντιδράσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προκύπτουν νέοι ρύποι που ονομάζονται δευτερογενείς. Οι δευτερογενείς ρύποι είναι υπεύθυνοι κυρίως για τα φαινόμενα του φωτοχημικού νέφους, της μειωμένης ορατότητας, του ερεθισμού των ματιών και των αναπνευστικών προβλημάτων, αλλά και για μία σειρά καταστροφών στη χλωρίδα και την πανίδα (Πολυμενέας, 2004).

Πιο συγκεκριμένα, πρωτογενείς ονομάζονται οι ρύποι που σχηματίζονται και απελευθερώνονται στο περιβάλλον άμεσα από τις πηγές τους. Τέτοιου είδους ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι το διοξείδιο του θείου, το υδρόθειο, υδρογονάνθρακες, μονοξείδιο του αζώτου, μονοξείδιο του άνθρακα, ο μόλυβδος, ο αμιάντος, τα αιωρούμενα σωματίδια και ο καπνός.

Από την άλλη πλευρά , δευτερογενείς λέγονται οι ρύποι που παράγονται μέσω χημικών αντιδράσεων μεταξύ των οξειδίων του αζώτου, του οξυγόνου της ατμόσφαιρας και των υδρογονανθράκων, σε συνδυασμό με την παρουσία της ηλιακής ακτινοβολίας. Επίσης, δευτερογενείς ρύπους αποτελούν τα προϊόντα οξείδωσης των πρωτογενών ρύπων που περιέχουν θείο, όπως το τριοξείδιο του θείου, το θειικό οξύ και τα θειικά άλατα (Μουστρή, 2020).

### 1.1.3) Ατμοσφαιρικοί ρύποι

Οι αέριοι ρύποι εκπέμπονται και παραμένουν στον ατμοσφαιρικό αέρα σε διάφορες μορφές (αέρια, σκόνη, καπνός, κ.α.). Υπάρχει αρκετά μεγάλος αριθμός ρύπων της ατμόσφαιρας οι οποίοι πιθανόν να διαφοροποιούνται ανάλογα τη περιοχή. Το αξιοσημείωτο της υπόθεσης είναι ότι κάποιοι ρύποι είναι συνήθως άορατοι π.χ. CO ενώ άλλοι μπορούν να διακριθούν από το ανθρώπινο αισθητήριο της όσφρησης π.χ. SO<sub>2</sub> ή της όρασης π.χ. PM<sub>10</sub> (Κούγκουλος, 2018) Επιπροσθέτως, ο χρόνος παραμονής ενός ρύπου στην ατμόσφαιρα μπορεί να ποικίλει από μερικές ώρες μέχρι μερικά χρόνια. Σύμφωνα με τις έρευνες των (Μουστρή, 2020, Ζιώμας, 2007 , Janusz Wojciechowski ,2018) οι βασικότεροι ρύποι της ατμόσφαιρας είναι οι παρακάτω:

#### Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)

Πηγές : καύσεις, παραγωγή τσιμέντου, βιολογικές διαδικασίες

Περιγραφή :

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένα άχρωμο και άοσμο αέριο με πολύ σημαντική συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και την παγκόσμια θέρμανση. Στις συνηθισμένες συγκεντρώσεις δεν

έχει επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία καθώς επίσης δεν συμμετέχει σε χημικές αντιδράσεις οι οποίες μπορούν να παράγουν τους δευτερογενείς ατμοσφαιρικούς ρύπους. Για τον λόγο αυτό, δεν υπάρχουν σε καμιά χώρα οριακές τιμές για τη συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα

#### Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Πηγές: ατελείς καύσεις ορυκτών καυσίμων(από Μ.Μ.Μ. κυρίως) και βιομάζας, οξείδωση μεθανίου, βιολογικές διαδικασίες

Περιγραφή :

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο. Η σημασία του στον σχηματισμό του όζοντος στις αστικές περιοχές είναι γενικά μικρή, ενώ μεγαλύτερος είναι ο ρόλος του στον σχηματισμό του όζοντος υποβάθρου. Το CO είναι μία σημαντική συνιστώσα της αστικής ρύπανσης και της ρύπανσης εσωτερικών χώρων λόγω των επιβλαβών συνεπειών του στην υγεία του ανθρώπου. Συναντάται στις αστικές περιοχές σε πολύ υψηλά επίπεδα και μέσα σε σήραγγες μπορεί να φθάσει και σε συγκεντρώσεις της τάξης των 50 ppm.

#### Διοξείδιου του θείου (SO<sub>2</sub>)

Πηγές: ηφαίστεια, ατελείς καύσεις ορυκτών, οξείδωση υδρόθειου

Περιγραφή :

Άχρωμο αέριο το οποίο είναι άοσμο σε χαμηλές συγκεντρώσεις, ενώ εμφανίζει έντονη ερεθιστική οσμή σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις > 500 ppb. Το 80% των ανθρωπογενών εκπομπών διοξειδίου του θείου προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων από σταθερές πηγές (βιομηχανία, θέρμανση). Από το ποσοστό αυτό, το 85% αποτελεί εκπομπές από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ενώ μόνο το 2% οφείλεται στις εκπομπές του τομέα των μεταφορών. Σημαντικές πηγές, επίσης, είναι τα διυλιστήρια πετρελαίου και τα εργοστάσια επεξεργασίας χαλκού.

#### Διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>)

Πηγές: μηχανές εσωτερικής καύσης, οι καυστήρες κεντρικής θέρμανσης, οι καυστήρες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας οι κλίβανοι που καίγονται ορυκτά καύσιμα.

Περιγραφή:

Είναι αέριο με καφεκίτρινο χρώμα και ιδιόζουσα οσμή. Σε υψηλές συγκεντρώσεις, δίνει το χαρακτηριστικό χρώμα του στην όψη του ουρανού στις αστικές περιοχές. Από τις συνολικές εκπομπές NO<sub>x</sub>, το 90% είναι με την μορφή μονοξειδίου και μόνο το 10% με την μορφή του διοξειδίου του αζώτου. Επομένως, η σημαντικότερη πηγή του είναι η οξείδωση του NO.

#### Μονοξείδιο του αζώτου (NO)

Το Μονοξείδιο του Αζώτου είναι ένα άχρωμο, άγευστο και άοσμο αέριο. Η σημαντικότερη ανθρωπογενής πηγή του NO είναι η καύση ορυκτών καυσίμων και βιομάζας. Προέρχεται από την αντίδραση του υδρογόνου και του οξυγόνου του αέρα στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στις μηχανές καύσης

### Αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ ή PM)

Πηγές: καύση ορυκτών καυσίμων (κάρβουνο, πετρέλαιο, diesel), σκόνη, πυρκαγιές δασών, ηφαίστεια

#### Περιγραφή:

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι τόσο πρωτογενούς όσο και δευτερογενούς προέλευσης και προέρχονται τόσο από ανθρωπογενείς όσο και φυσικές πηγές. Οι φυσικές πηγές, μάλιστα, είναι υπεύθυνες για το 70-90% του συνόλου των αιωρούμενων σωματιδίων.

Σε υψηλές συγκεντρώσεις αποτελούν ένα σημαντικό κίνδυνο για την υγεία του αναπνευστικού. Επιπλέον, απορροφούν και διαχέουν την ορατή ακτινοβολία περιορίζοντας την ορατότητα της ατμόσφαιρας και συμβάλλοντας αρνητικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό τους είναι ο σημαντικός ρόλος τους σε χημικές αντιδράσεις.

### Όζον (O<sub>3</sub>)

Πηγές: εργοστάσια, οι χωματερές, χημικά διαλύματα

#### Περιγραφή:

Είναι ένα αέριο σχετικά ασταθές, άχρωμο, ισχυρά οξειδωτικό, ισχυρά τοξικό με χαρακτηριστική οσμή και κυανό χρώμα. Στην ανώτερη ατμόσφαιρα (στρατόσφαιρα) το όζον είναι ευεργετικό για τον άνθρωπο και το περιβάλλον του αφού απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας. Στην κατώτερη ατμόσφαιρα και κυρίως στο ύψος που κινείται και ζει ο άνθρωπος, το όζον δημιουργείται από πρωτογενείς ρύπους όπως τα οξείδια του αζώτου, τους υδρογονάνθρακες από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων και της βιομηχανίας και τις πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs). Οι παραπάνω ρύποι, με τη συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας, αντιδρούν με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας, κυρίως όταν έχουμε ζεστό και καλό καιρό, παράγοντας όζον.

### Τοξικά μέταλλα

Πηγές: καύσεις, βιομηχανική δραστηριότητα

#### Περιγραφή:

Τα τοξικά μέταλλα (As, Cd, Pb, Hg και Ni), έχουν μεταμορφώσει τους παγκόσμιους βιογεωχημικούς κύκλους εισάγοντας σημαντικές ποσότητες τοξικών μετάλλων στην ατμόσφαιρα. Τα τοξικά μέταλλα μπορούν να διαμένουν ή να προσαρτώνται στα αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ), να μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις και να παραμένουν στο περιβάλλον μέσω του αέρα, του νερού και της γης για πολλά χρόνια.

### Βενζο(a)πυρένιο (BaP)

Το BaP είναι στερεό προϊόν ατελούς καύσης ορυκτών καυσίμων και βιοκαυσίμων. Προέρχεται κυρίως από την οικιακή θέρμανση (ιδίως, καύση ξύλου και άνθρακα), την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς, την αποτέφρωση αποβλήτων, την παραγωγή οπτόανθρακα και την παραγωγή χάλυβα. (Janusz Wojciechowski, 2018). Χρόνος παραμονής των βασικότερων ρύπων είναι ο χρόνος που χρειάζεται ώστε να απομακρυνθεί το μισό της ποσότητας του ρύπου από την ατμόσφαιρα (Κούγκουλος, 2018). Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο χρόνος παραμονής των

ρύπων στη ατμόσφαιρα ποικίλει από μερικές ώρες έως και μερικά χρόνια. Οι μέσοι χρόνοι παραμονής των ρύπων στον ατμοσφαιρικό αέρα φαίνοντα στον **πίνακα 1.II** (Ζιώμας, 2007).

**Πίνακας 1.II :** Μέσοι χρόνοι παραμονής ρύπων στην ατμόσφαιρα

Ουσία	Χρόνος παραμονής
O <sub>3</sub>	0.4 – 90 days
NO	4 – 5 days
NO <sub>2</sub>	2 - 8 days
SO <sub>2</sub>	0.01 – 7 days
CO <sub>2</sub>	2 - 10 years
CO	0.9 - 2.7 years

#### 1.1.4) Αέρια ρύπανση και υγεία

Δυστυχώς, παρά τις μειώσεις των εκπομπών με τεχνολογικά μέσα αλλά και τους διάφορους νομοθετικούς περιορισμούς, η αέρια ρύπανση συνεχίζει να πλήττει την ανθρώπινη υγεία τόσο στις αναπτυσσόμενες χώρες όσο και στις αναπτυγμένες. Ο κάθε ρύπος στην ατμόσφαιρα παράγεται από συγκεκριμένες πηγές και η επίδραση του στην ανθρώπινη υγεία διαφέρει. Στον παρακάτω **πίνακα 1.III** παρουσιάζεται η πηγή προέλευσης του κάθε ρύπου, οι συνέπειες τους στην ανθρώπινη υγεία καθώς επίσης και οι ευάλωτοι σε αυτούς πληθυσμοί σύμφωνα με τους (Kjellstrom et al., 2002).

Στις ευπαθείς ομάδες ανήκουν τα άτομα που κινδυνεύουν περισσότερο από την ατμοσφαιρική ρύπανση. Πιο συγκεκριμένα, άτομα που πάσχουν ήδη από αναπνευστικές παθήσεις, ηλικιωμένοι, παιδιά ή βρέφη καθώς και γυναίκες κατά την εγκυμοσύνη (Janusz Wojciechowski, 2018).

Ειδικότερα, εντός των πόλεων κινδυνεύουν, επίσης, οι ποδηλάτες και οι δρομείς οι οποίοι εκτίθενται συχνά (Grange et al., 2014).

Με βάση τον Π.Ο.Υ., τα αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ), το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>), το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) και το τροποσφαιρικό όζον (O<sub>3</sub>) ορίζονται ως οι πιο επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία ατμοσφαιρικοί ρύποι

Σε παγκόσμιο επίπεδο η ρύπανση της ατμόσφαιρας ευθύνεται για τουλάχιστον 3,3 εκατ. πρόωρους θανάτους ετησίως και ο αριθμός αυτός μπορεί να διπλασιασθεί έως το 2050 (ENERGY PRESS, 2020).

Σε κάποιες δυτικές χώρες, ο αριθμός των θυμάτων από τις εκπομπές ρύπων των ΙΧ είναι διπλάσιος από των αριθμό θυμάτων από τροχαία ατυχήματα (Kjellstrom et al., 2002).

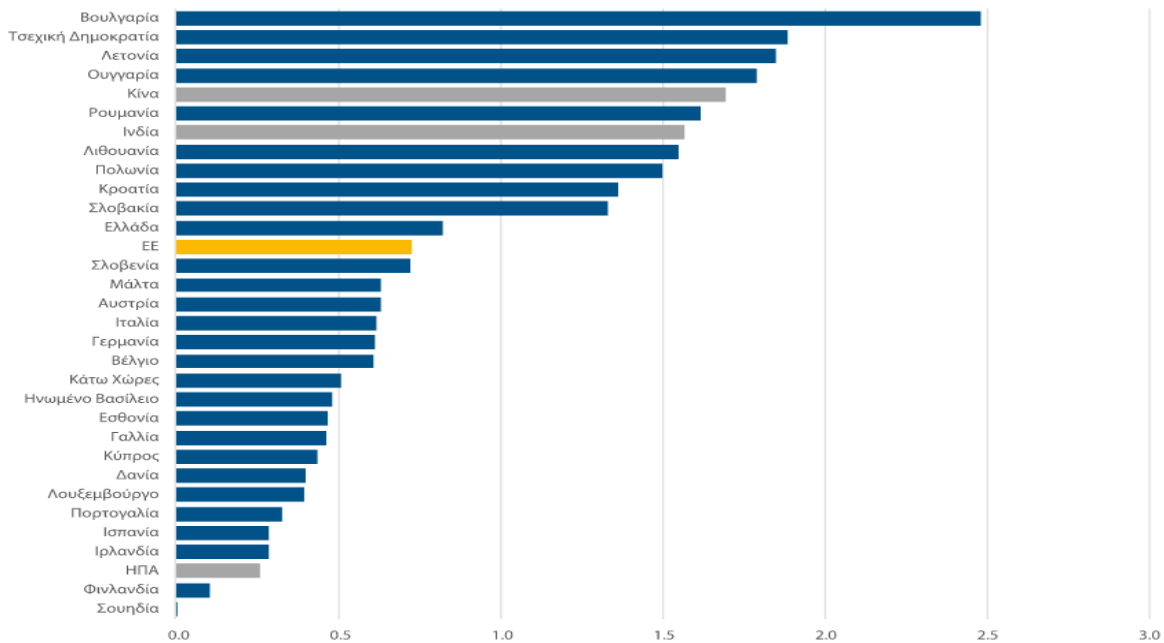
Στην Ευρώπη, η ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλεί περισσότερους από 1000 πρόωρους θανάτους κατά μέσο όρο κάθε ημέρα (Janusz Wojciechowski, 2018)

Στην Αθήνα πρόσφατη μελέτη έδειξε ότι τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 1 μm (PM1) παρουσιάζουν στενή σχέση με τις φλεβοκομβικές αρρυθμίες (Grigoropoulos et al., 2008).

Σύμφωνα με την ειδική έκθεση της Ευρωπαϊκής ένωσης για το 2018, η απώλεια ετών υγιούς ζωής σε μερικά κράτη μέλη της ΕΕ είναι παρόμοια με εκείνη των χωρών οι οποίες συνδέονται συχνά με κακή ποιότητα του αέρα, όπως η Κίνα και η Ινδία. Το 2013 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εκτίμησε ότι το συνολικό εξωτερικό κόστος που συνεπάγεται η ατμοσφαιρική ρύπανση σε ό,τι αφορά τις επιπτώσεις στην υγεία, κυμαίνεται από 330 έως 940 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως.

**Πίνακας 1.III:** Συσχέτιση ρύπων και των πηγών τους με τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.

Ρύπος (πηγή)	Γνωστές επιπτώσεις στην υγεία	Παράγοντες συνεισφοράς	Ιδιαίτερα ευάλωτοι πληθυσμοί
Αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ) (καύση ορυκτών καυσίμων και βιομάζας στις οικιακές θερμάνσεις, βιομηχανική δραστηριότητα, κινητήρες μοτοσυκλετών και αυτοκινήτων, καπνός τσιγάρου)	ερεθισμός και λοίμωξη του ανώτερου αναπνευστικού συστήματος, επιδείνωση και αυξημένη θνησιμότητα από καρδιοαναπνευστικές ασθένειες	διοξείδιο του θείου, μονοξείδιο του θείου, κρύο, ζέστη, υγρασία	Ηλικιωμένοι με αναπνευστικό και καρδιαγγειακές παθήσεις· παιδιά με άσθμα
Διοξείδιο του θείου (NO <sub>2</sub> ) και αερολύματα(καύση ορυκτών καυσίμων, επεξεργασία μετάλλων, πετροχημικές βιομηχανίες, καύση άνθρακα για θέρμανση ή μαγείρεμα)	ερεθισμός του λαιμού, έξαρση καρδιοαναπνευστικών ασθενειών, συμπεριλαμβανομένου του άσθματος	Άσκηση, αιωρούμενα σωματίδια άσθμα	Άτομα με αναπνευστικές ασθένειες (π.χ. παιδιά με άσθμα), ηλικιωμένοι με αναπνευστικές και καρδιαγγειακές παθήσεις
Οξείδια του αζώτου (NO <sub>x</sub> ) (καύση ορυκτών καυσίμων σε υψηλή θερμοκρασία, οχήματα, οικιακές θερμάνσεις)	ερεθισμός των οφθαλμών· λοίμωξη του ανώτερου αναπνευστικού (ιδιαίτερα στα παιδιά) έξαρση άσθματος, ερεθισμός του βρογχικού	Άσκηση, αναπνευστική λοίμωξη, άσθμα	Άτομα με αναπνευστικές ασθένειες (π.χ. παιδιά με άσθμα)
Όζον (O <sub>3</sub> ) (παράγωγο από την αντίδραση ηλιακού φωτός με ρύπους οχημάτων, υδρογονάνθρακες, οξείδια του αζώτου)	ερεθισμός των οφθαλμών και του λαιμού, μειωμένη ικανότητα άσκησης, έξαρση αναπνευστικής νόσου	Άσκηση, αναπνευστική λοίμωξη, άσθμα	Άτομα με αναπνευστικές ασθένειες (π.χ. παιδιά με άσθμα)
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO) (καύση βιομάζας και ορυκτών καυσίμων, καπνός τσιγάρου εξατμίσεις αυτοκινήτων)	Κεφαλαλγία, ναυτία, ζάλη, δύσπνοια, κόπωση, οπτική διαταραχή, σύγχυση, στηθάγχη, κώμα, θάνατος χαμηλό βάρος γέννησης (σε περίπτωση έκθεσης κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης)	Ασθένειες στεφανιαίας αρτηρίας	Άτομα με ισχαιμικές καρδιακές νόσους
Μόλυβδος (Pb) (βενζίνη με μόλυβδο)	Σε παιδιά: νευροψυχολογικές συνέπειες. Σε ενήλικες: υπέρταση, δηλητηρίαση	Άλλες πηγές μόλυβδου, έλλειψη σιδήρου	Παιδιά, έγκυες γυναίκες
Άλλοι ρύποι (τοξικά αέρια, υδρογονάνθρακες, αλδεΐδες, άλλες οργανικές ενώσεις, αμίαντος)	ερεθισμός των οφθαλμών, καρκίνος του πνεύμονα, άσθμα	Κάπνισμα, εκθέσεις κατά τις εργασίες κοντά στις πηγές	Καπνιστές, εργαζόμενοι στον αμίαντο, άτομα με άσθμα, παιδιά



**Εικόνα 1.1 :** Απώλεια ετών υγιούς ζωής από ατμοσφαιρική ρύπανση ανά εκατό κατοίκους (Πηγή: ΠΟΥ, 2012.)

### 1.1.5) Αντίκτυπο αέριας ρύπανσης στις βιοκλιματικές συνθήκες

Ένα επιπλέον αποτέλεσμα των υψηλών συγκεντρώσεων ρύπων σε συνδυασμό με την αστικοποίηση είναι η δημιουργία ενός μικροκλίματος στο οποίο οι επιπτώσεις δεν προβάλλονται μόνο στην άμεση υγεία αλλά επεκτείνονται και στη ποιότητα ζωής των πολιτών. Για παράδειγμα, η ύπαρξη συνθηκών θερμικής δυσφορίας ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες είναι ένα έντονο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι κάτοικοι των αστικών κέντρων. (Moustris et al., 2012)

Επιπλέον, η θερμική δυσφορία είναι από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν την κατάσταση άγχους.

### 1.1.6) Χαρακτηρισμός της ποιότητας του αέρα με δείκτες

Οι δείκτες ατμοσφαιρικής ρύπανσης χρησιμοποιούνται σε παγκόσμια κλίμακα γιατί μπορούν να αποδώσουν πιο πρακτικά και πιο ολοκληρωμένα την καθημερινή εικόνα της ποιότητας του αέρα σε μια περιοχή, σε αντίθεση με την ενδεχόμενη χρησιμοποίηση των τιμών συγκέντρωσης αέριων ρύπων για τον προσδιορισμό της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα (Μουστρής, 2020).

Έτσι προέκυψε η ανάγκη για τη δημιουργία ενός μαθηματικού μοντέλου ώστε οι τιμές συγκεντρώσεων των ρύπων να μετασχηματίζονται σε ένα απλό αριθμό ή ομάδα αριθμών (Ott and Thorn, 1976).

Η μέθοδος υπολογισμού κάθε δείκτη ποιότητας διαφέρει ανάλογα την περιοχή και τον αριθμό ή εύρος τιμών και αν υπάρχει συσχέτιση με επιπτώσεις στην υγεία των οργανισμών (Lokys et al., 2015).

Συνεπώς με βάση τους (Γιαβρούτα 2019, Λαρίση 2012, Μουστρής 2020) οι κυριότεροι δείκτες ατμοσφαιρικής ρύπανσης συνοψίζονται παρακάτω ως εξής :

### Air Quality Index

Ο δείκτης μέτρησης ποιότητας ατμοσφαιρικής ρύπανσης AQI , αφορά την καθημερινή καταγραφή της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα. Ως κύριο στόχο έχει την ενημέρωση του κοινού αλλά και της επιστημονικής κοινότητας για την καθαρότητα ή την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας από τους πέντε κυριότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους που είναι οι εξής: O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, CO, SO<sub>2</sub> και NO<sub>2</sub>.

Για παράδειγμα εάν η τιμή του δείκτη AQI ισούται με 40 τότε η ποιότητα του αέρα χαρακτηρίζεται μέτρια (USEPA, 1999).

Τιμές δείκτη AQI	Κατηγορία ποιότητας αέρα	Πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία
0-50	Καλή	Καμία επίπτωση για το σύνολο του πληθυσμού
51-100	Μέτρια	Μερικές ή καθόλου επιπτώσεις στο σύνολο του πληθυσμού
101-150	Ανθυγιεινή για ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού	Ελαφρά επιδείνωση των συμπτωμάτων στις πιο ευάλωτες κατηγορίες του πληθυσμού, με συμπτώματα ερεθισμού της υγείας του πληθυσμού
151-200	Ανθυγιεινή	Σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία των πιο ευάλωτων ομάδων του πληθυσμού
201-300	Πολύ ανθυγιεινή	Σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του συνόλου σχεδόν του πληθυσμού
301-500	Επικίνδυνα ανθυγιεινή	Σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του συνόλου του πληθυσμού με ανάγκη λήψης άμεσων μέτρων

**Εικόνα 1.2 :** Κατηγοριοποίηση της ποιότητας του αέρα με βάση την τιμή του δείκτη AQI

### Indian Air Quality Index

Ο δείκτης IND – AQI (Indian Air Quality Index, IND – AQI), προτάθηκε από την Ινδία και αξιολογεί τα επίπεδα ποιότητας της ατμόσφαιρας βάση της συγκέντρωση των ρύπων : SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, CO και O<sub>3</sub>.

### Pollution Standards Index

Ο δείκτης PSI (pollution standards index) έχει προταθεί από την αμερικανική υπηρεσία προστασίας του περιβάλλοντος και χρησιμοποιεί συγκεντρώσεις : O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> και CO .

### Daily Air Quality Index

Ο δείκτης DAQx, χρησιμοποιείται σε ημερήσια βάση προκειμένου να αξιολογηθεί το επίπεδο ρύπανσης του ατμοσφαιρικού αέρα. Χρησιμοποιεί τις τιμές συγκεντρώσεων O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>.

### Air Pollution Index

Ο δείκτης API αποτελεί μια γενικευμένη μορφή παροχής πληροφοριών όσον αφορά τη συγκέντρωση των ατμοσφαιρικών ρύπων αλλά και τις επιπτώσεις τους στον καθορισμό των επιπέδων ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα . Χρησιμοποιεί τις τιμές συγκεντρώσεων O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>.

### Bristol Air Pollution Index

Ο δείκτης BAPI, αναπτύχθηκε το 1994, στο Μπρίστολ, Μ.Βρετανία, προκειμένου να παρακολουθεί τα επίπεδα ποιότητας της περιοχής.

### Regional Pollution Index

Ο δείκτης RPI αναπτύχθηκε στο Σύδνεϋ της Αυστραλίας. Ο δείκτης RPI υπολογίζεται δύο φορές την ημέρα και οι ημερήσιες αναφορές των τιμών του δείκτη RPI βασίζονται στις μετρήσεις των συγκεντρώσεων O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>



### European Regional Pollution Index

Ο δείκτης ERPI είναι ουσιαστικά μια παραλλαγή και προσαρμογή του αυστραλιανού τοπικού δείκτη ρύπανσης (RPI) που είδαμε πιο πάνω, προσαρμοσμένο στα ευρωπαϊκά όρια της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

#### **1.1.7) Ποιότητα αέρα στους εσωτερικούς χώρους**

Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες εκτιμάται πως ο αέρας σε ένα αστικό δρόμο με μέτρια κίνηση μπορεί να είναι πιο καθαρός από τον αέρα εντός του σπιτιού μας ή του γραφείου μας. Η ποιότητα του αέρα στα σπίτια μας, στους χώρους εργασίας ή σε άλλους δημόσιους χώρους ποικίλλει σημαντικά, αναλόγως το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του, τον σκοπό του δωματίου, καθώς και τον τρόπο που το χρησιμοποιούμε και το αερίζουμε.

Μερικοί από τους κύριους ατμοσφαιρικούς ρύπους στους εσωτερικούς χώρους είναι: το μονοξείδιο του άνθρακα, τα διοξείδια του αζώτου, τα αιωρούμενα σωματίδια, οι πτητικές οργανικές ενώσεις και το ραδόνιο (ένα ραδιενεργό αέριο που σχηματίζεται στο έδαφος). Αυτοί οι ρύποι προέρχονται από τον καπνό του τσιγάρου, τα αέρια ή τα σωματίδια από την κατανάλωση καυσίμων, από χημικά ή αλλεργιογόνα (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2013).

Σε κάθε περίπτωση το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αποτελεί μείζον ζήτημα για την φύση αλλά και για την ανθρώπινη υγεία, καθώς η αέρια ρύπανση υπάρχει και στους εξωτερικούς χώρους αλλά και στους εσωτερικούς χώρους όπου περνάμε το 80% του χρόνου μας (Γιαβρούτα, 2019).

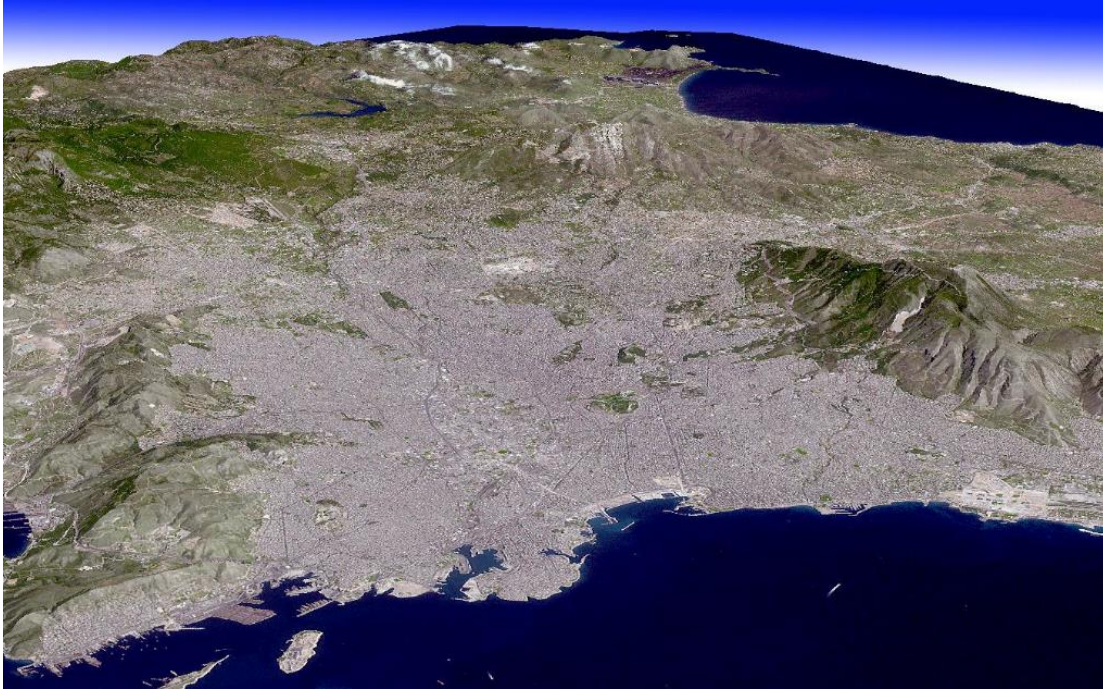
#### **1.2) Ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα**

Τις τελευταίες δεκαετίες μετά το 1970, η αστικοποίηση των Ελλήνων από τις επαρχίες σε συνδυασμό με ανάπτυξη της βιομηχανικής δραστηριότητας καθώς επίσης και η απότομη αύξηση του στόλου των οχημάτων, υποβάθμισαν σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα του αέρα σε ολόκληρη την Ελλάδα.

Η περαιτέρω ανάπτυξη της βιομηχανικής δραστηριότητας στην ευρύτερη περιοχή της αττικής σε συνδυασμό με την υψηλή πυκνότητα κυκλοφορίας οχημάτων και παράλληλα με την απουσία ελεύθερων χώρων πράσινου καθώς και τα ιδιαίτερα τοπογραφικά χαρακτηριστικά του ευρύτερου λεκανοπεδίου και της Αθήνας που δημιουργούν ένα μικροκλίμα, κατέστησαν το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αρκετά οξυμένο. Επομένως τα τελευταία χρόνια έχει δημιουργηθεί η ανάγκη για παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και ενημέρωσης των πολιτών, διότι στην επίδραση των ρύπων στην ανθρώπινη υγεία και στη ποιότητα ζωής είναι άμεση (Καλδέλλης, 2005).

##### **1.2.1) Γεωμορφολογία της Αθήνας**

Το πολεοδομικό συγκρότημα Αθηνών απλώνεται στο λεκανοπέδιο Αττικής, το οποίο περικλείεται από πέντε βουνά: το όρος Αιγάλεω και το Ποικίλο όρος στα δυτικά, την Πάρνηθα στα βορειοδυτικά, την Πεντέλη στα βορειοανατολικά και τον Υμηττό στα ανατολικά. Η Πάρνηθα, με μέγιστο υψόμετρο 1.413 μέτρων, είναι το ψηλότερο από τα βουνά. Ο Σαρωνικός κόλπος οριοθετεί την Αθήνα στα νότια (Καλδέλλης, 2005).



**Εικόνα 2.1:** Τρισδιάστατη φωτογραφία του λεκανοπέδιου αττικής  
(Πηγή: <https://www.flickr.com/photos/24919704@N04/3961286873>)

Η γεωμορφολογία της Αθήνας θεωρείται ως μια από τις πιο ιδιαίτερες στον κόσμο, λόγω των βουνών της, που προκαλούν ένα φαινόμενο θερμοκρασιακής αναστροφής, που σε συνδυασμό με τις ανεξέλεγκτες εκπομπές ρύπων, δημιουργούν προβλήματα αέριας ρύπανσης που αντιμετωπίζει ολόκληρη η πόλη. Αυτό το ζήτημα δεν εμφανίζεται μόνο στην Αθήνα, αλλά και σε πολλές πόλεις του κόσμου όπως το Λος Άτζελες ή η πόλη του Μεξικού.

Ο Κηφισός, ο Ιλισός και ο Ηριδανός είναι οι ιστορικοί ποταμοί της Αθήνας. Το μεγαλύτερο τμήμα της κοίτης τους έχει καλυφθεί από συγκοινωνιακά έργα (Κηφισός: Εθνική Οδός Αθηνών - Λαμίας, Ιλισός: Μιχαλακοπούλου - Καλλιρρόης) συμβάλλοντας στην υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος του Λεκανοπεδίου (el.wikipedia.org, 2020).

### 1.2.2) Κλιματολογία της Αθήνας

Η Αθήνα έχει ένα υποτροπικό Μεσογειακό κλίμα. Το κυριότερο χαρακτηριστικό του Αθηναϊκού κλίματος είναι η εναλλαγή παρατεταμένων ζεστών και ξηρών καλοκαιριών και ήπιων, υγρών χειμώνων. Οι εντάσεις των ανέμων είναι χαμηλές (σπάνια ξεπερνούν τα 6 μποφόρ) και με συχνότερη διεύθυνση την βόρεια-βορειανατολική (Καλδέλλης, 2005).

Σχετικά με την πολεοδομία η Αθήνα απαρτίζεται από υψηλά κτίρια και στενούς δρόμους οι οποίοι εμποδίζουν σε μεγάλο ποσοστό, τα ρεύματα του αέρα και δεν επιτρέπουν σε αυτά να διεισδύσουν μέχρι το κέντρο της πόλης. Με τον τρόπο αυτό επηρεάζεται το μικροκλίμα της πόλης (Chatzinikolaou et al., 2018). Ένα ακόμη χαρακτηριστικό που προκύπτει από την πυκνοκατοικημένη Αθήνα είναι η παρουσία μεγάλων ανακλαστικών επιφανειών (μεταλλικές κατασκευές, τσιμέντο, υαλοπίνακες κ.τ.λ.), που επηρεάζουν την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (Πολυμενέας, 2004). Επιπροσθέτως, πολλές πόλεις όπως και η Αθήνα επηρεάζονται από το φαινόμενο της αστικής θερμνησίδας. Η ύπαρξη αστικής θερμνησίδας οφείλεται στο γεγονός της έντονης ανθρώπινης δραστηριότητας μέσα στην πόλη, αυξάνοντας έτσι τις θερμοκρασίες στο κέντρο σε σχέση με τα προάστια και τις γύρω περιοχές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δαπανώνται μεγάλα ποσά ενέργειας και χρημάτων για της

ανάγκες ψύξης και κλιματισμού των εσωτερικών χώρων. Με αυτές τις ενέργειες οξύνεται το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και του τοπικού κλίματος (Chatzinikolaou et al., 2018).

### 1.2.3) Τρόποι εκδήλωσης ρύπανσης

Γενικά, η ατμοσφαιρική ρύπανση κάτω από ορισμένες συνθήκες μπορεί να φτάσει σε επίπεδα τα οποία δημιουργούν δυσμενείς συνθήκες διαβίωσης. Στη περίπτωση αυτή είναι καθιερωμένο να λέμε ότι έχουμε «νέφος». Το νέφος αυτό λοιπόν, εκδηλώνεται με δύο μορφές (Υ.Π.Ε.Κ.Α , Α, 2020):

#### 1) Φωτοχημικό νέφος

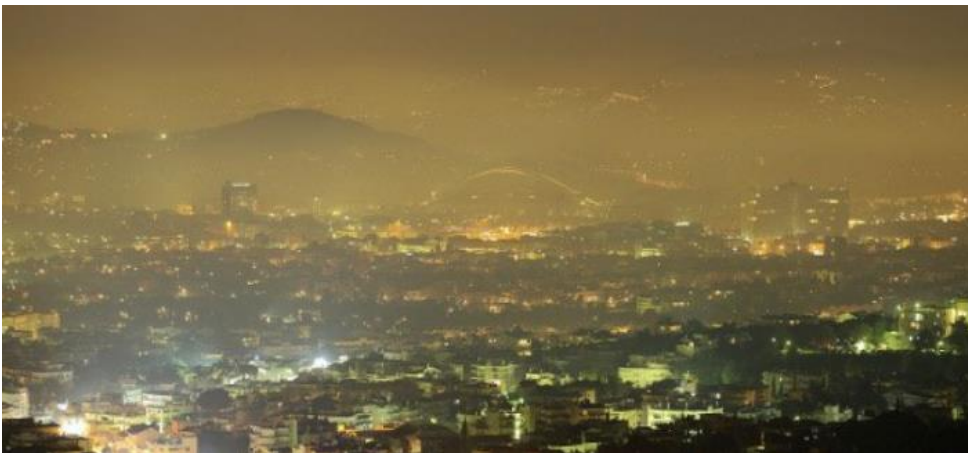
Σχηματίζεται με τη παρουσία υψηλών θερμοκρασιών, μεγάλης διάρκειας ηλιοφάνεια, μικρή σχετική υγρασία και υψηλή συγκέντρωση ρύπων κυρίως NO<sub>x</sub>, CO και O<sub>3</sub>.



**Εικόνα 2.2 :** Φωτοχημικό νέφος στην Αθήνα,  
(Πηγή:<https://simplylife.gr/pages/anakuklwsh/article/id/34>)

#### 2) Νέφος καπνομίχλης

Σχηματίζεται όταν έχουμε υψηλή συγκέντρωση ρύπων, CO , SO<sub>2</sub> και ΑΣ, σε συνδυασμό με σχετικά χαμηλή θερμοκρασία και μεγάλη σχετική υγρασία.



**Εικόνα 2.3 :** Νέφος καπνομίχλης στην Αθήνα  
(Πηγή:<https://www.iefimerida.gr/news/>)

Πιο συγκεκριμένα οι κυριότεροι παράγοντες που οδηγούν στη δημιουργία του νέφους της Αθήνας αλλά και γενικότερα στην ατμοσφαιρική ρύπανση της περιφέρειας είναι οι εξής:

- 1) Υπερβολική συγκέντρωση πληθυσμού (πάνω από 4 εκατ.) σε μια γεωγραφική έκταση 450 km<sup>2</sup>.
  - 2) Έντονες ανθρωπογενείς δραστηριότητες, που περιλαμβάνουν το 50% του συνόλου των αυτοκινήτων τις χώρες, το 40% της εγχώριας βιομηχανικής δραστηριότητας και χιλιάδες μονάδες κεντρικής θέρμανσης που λειτουργούν με βάση το πετρέλαιο.
  - 3) Ιδιόμορφη γεωμορφολογία της Αθήνας με τη μόνη διέξοδο του αέρα από τη λεκάνη που σχηματίζουν τα πέντε βουνά ,το πολυσύχναστο λιμάνι του Πειραιά.
  - 4) Υψηλή ηλιοφάνεια καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.
  - 5) Έλλειψη ρυμοτομίας και απουσία πρασίνου.
- (Καλδέλλης, 2005)

#### 1.2.4) Όξινη βροχή και μνημεία

Το pH της βροχής σε ένα καθαρό περιβάλλον είναι περίπου 5,6. Σε πολλές όμως περιοχές της γης το pH της βροχής είναι μικρότερο από 5,6. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως όξινη βροχή. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη αερίων ρύπων στην ατμόσφαιρα, που εκλύονται από τα εργοστάσια, τις βιομηχανίες, τα αυτοκίνητα, τις κεντρικές θερμάνσεις των σπιτιών κ.λπ. Οι κυριότεροι ρύποι που προκαλούν την όξινη βροχή είναι το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) και τα οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>). Τα μαρμάρινα μνημεία και τα αγάλματα αποτελούνται από ανθρακικά άλατα (CaCO<sub>3</sub>), τα οποία διασπώνται από τα οξέα. Το θειικό οξύ αντιδρά με το ανθρακικό άλας και παράγεται ένα άλλο άλας αρκετά εύθραυστο, ο γύψος. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται γυψοποίηση του μαρμάρου.

Αρχαιολογικοί θησαυροί ανεκτίμητης ιστορικής και πολιτισμικής αξίας, όπως η Ακρόπολη, ή οι πυραμίδες των Μάγιας καταστρέφονται από την όξινη βροχή (Στάυρου, 2010, Κούγκουλος, 2018). Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι αρκετά έργα σημαντικής αξίας μεταφέρονται σε ειδικούς χώρους προκειμένου να προστατευτούν από την ατμοσφαιρική ρύπανση της Αθήνας και την όξινη βροχή. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η μεταφορά των Καρυάτιδων σε ειδικές βιτρίνες με κλιματισμό αζώτου.



**Εικόνα 2.4:** Τμήμα των Καρυάτιδων που απειλείται από την ατμοσφαιρική ρύπανση της Αθήνας (Πηγή:<https://www.chemeng.ntua.gr/courses/dpm/pdf-files/15-koutsoukou-acidrain-2006.pdf>)

### 1.2.5) Αίσθηση της ρύπανσης από τους κατοίκους

Μολονότι οι κάτοικοι των μεγαλουπόλεων είναι απασχολημένοι, βιαστικοί και αδιαφορούν για το τι συμβαίνει γύρω τους, όταν η ποιότητα του αέρα υποβαθμιστεί αυτό γίνεται άμεσα αντιληπτό σχεδόν από όλους τους πολίτες, ειδικά εάν βρίσκονται σε εξωτερικό χώρο. Το γεγονός αυτό έρχεται να επιβεβαιώσει μια πρόσφατη έρευνα των (Pantavanou et al., 2017), όπου οι κάτοικοι των μεσογειακών μητροπόλεων και κατ' επέκταση της Αθήνας αντιλαμβάνονται κάτι διαφορετικό στην ποιότητα του αέρα τη στιγμή που οι συγκεντρώσεις των ρύπων είναι υψηλές και στη πραγματικότητα. Για παράδειγμα, οι υψηλές συγκεντρώσεις ΑΣ συσχετίζονται με την αντίληψη της ύπαρξης σκόνης από τους πολίτες ενώ υψηλές συγκεντρώσεις NOx και CO σχετίζονται με την αντίληψη μιας συνολικά επιβαρυσμένης ατμόσφαιρας. Επίσης πρόσθεσαν ότι η αντίληψη της ποιότητας του αέρα επηρεάζεται από προσωπικούς παράγοντες όπως : η ηλικία , η περιοχή διαμονής, τα συμπτώματα υγείας και η θερμική αίσθηση.

## 1.3) Σκοπιμότητα παρακολούθησης και καταγραφής της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Στον σύγχρονο κόσμο, η ατμοσφαιρική ρύπανση και οι χρόνιες επιπτώσεις της αποτελούν αντικείμενο ιδιαίτερου επιστημονικού, περιβαλλοντικού, κοινωνικού και οικονομικού ενδιαφέροντος. Προκειμένου να οικοδομηθεί μια αποτελεσματική στρατηγική περιορισμού της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, είναι αναγκαίο να διαγνωσθούν πρωτίστως τα προβλήματα της αέριας μόλυνσης και οι πηγές πρόκλησης τους και εν συνεχεία να καθοριστούν βιώσιμες και οικονομικά ανεκτές λύσεις. Πιο συγκεκριμένα για τη διαχείριση και τον έλεγχο της ποιότητας της ατμόσφαιρας, είναι αναγκαία η παρακολούθηση των επιπέδων ρύπανσης, καθώς και ο έλεγχος εκπομπών από της πηγές με την πλέον ισχυρή τεχνολογία.

### 1.3.1) Ανάπτυξη της τεχνολογίας

Τις τελευταίες δεκαετίες, η τεχνολογία έχει δώσει τη δυνατότητα ανάπτυξης μεγάλης ποικιλίας οργάνων και τεχνικών μέτρησης, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να προσδιοριστεί αποτελεσματικά ένας μεγάλος αριθμός ρύπων και χημικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα. Πλέον, η επιστημονική κοινότητα είναι σε θέση να μετράει τους ρύπους, είτε με δειγματοληπτικό τρόπο και μετέπειτα ανάλυση σε εργαστήρια, είτε με συνεχή μέτρηση επιτόπου, είτε με παρατήρηση από μακριά (τηλεπαρατήρηση). Η εξέλιξη αυτή διευκολύνει στη τρισδιάστατη χωροχρονική καταγραφή της σύνθεσης της ατμόσφαιρας που μας περιβάλλει. Οι δεδομένες συνθήκες που έχει προσφέρει η τεχνολογία, αποτελούν γόνιμο έδαφος για την συνεχή αποτίμηση της ατμόσφαιρας στα περισσότερα σημεία όπου «αναπνέει» και δραστηριοποιείται ο άνθρωπος (Γεντεκάκης, 2010).

### 1.3.2) Οικονομία και περιβάλλον

Όσον αφορά την οικονομία, η ατμοσφαιρική ρύπανση παγκοσμίως αλλά και στην Ευρώπη εξακολουθεί να προκαλεί πολλούς πρόωρους θανάτους κάθε χρόνο και να μειώνει το προσδόκιμο ζωής με επακόλουθο τις δαπάνες δισεκατομμυρίων ευρώ κάθε χρόνο για υγειονομική περίθαλψη. Το πρόβλημα της αέριας ρύπανσης στο περιβάλλον είναι ύψιστης σημασίας και χρήζει άμεσης αντιμετώπισης. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι όπως το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου και η αμμωνία, προκαλούν το φαινόμενο της όξινης βροχής η οποία ρυπαίνει τα δάση, τους ποταμούς, τις λίμνες και άλλες φυσικές περιοχές. Ένα ακόμη πρόβλημα είναι ο ευτροφισμός που προκαλείται από

υψηλές ποσότητες χημικών λιπασμάτων με βάση το άζωτο, τα οποία καταλήγουν στη φύση. Πρόκειται για βασικό παράγοντα απώλειας της βιοποικιλότητας. Τα συγκεκριμένα λιπάσματα καταλήγουν σε λίμνες ή υδάτινες οδούς όπου δημιουργούν φύκια τα οποία καταπνίγουν τα ψάρια και άλλα άγρια είδη. Επιπροσθέτως το όζον στο επίπεδο του εδάφους καταστρέφει τα φύλλα των φυτών και επιβραδύνει την ανάπτυξή τους, βλάπτει τα δάση και τα άγρια φυτά και συρρικνώνει τις σοδειές (Κούγκουλος, 2018).

### **1.3.3) Ανθρώπινη υγεία**

Η σημαντικότερη υποχρέωση της πολιτείας είναι να μεριμνά για τα ανθρώπινα αγαθά και ειδικότερα για την υγεία των πολιτών. Συνεπώς, θα πρέπει να επιστρατεύσει όλα τα τεχνολογικά μέσα και το επιστημονικό δυναμικό, προκειμένου να ενημερώνει έγκαιρα και έγκυρα για την υφιστάμενη κατάσταση της ποιότητας αέρα. Αξίζει να σημειώσουμε ότι, η πληροφόρηση των πολιτών για τη ποιότητα του αέρα θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβής ως προς το χώρο και τον χρόνο έτσι ώστε ο κάθε πολίτης να γνωρίζει τι αναπνέει. Ειδικότερα για τις ευπαθείς ομάδες η πρόβλεψη της ποιότητας του αέρα είναι σημαντικότερη έτσι ώστε να αποφευχθούν τα σημεία και οι ώρες με τα υψηλότερα επίπεδα ρύπανσης. Για να μπορεί να συμβεί αυτό είναι απαραίτητη η μακροχρόνια καταγραφή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των μετεωρολογικών στοιχείων.

### **1.1.4) Πρόληψη και αντιμετώπιση**

Οι κρατικοί φορείς θα πρέπει να είναι σε θέση να αφομοιώσουν τα προβλήματα της αέριας ρύπανσης και να προχωρήσουν στην πρόληψη και την άμεση αντιμετώπιση τους. Το γεγονός αυτό προϋποθέτει την αναλυτικότερη καταγραφή της αέριας ρύπανσης και την αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης, ειδικότερα εντός των πόλεων όπου το μικροκλίμα της σε συνδυασμό με την έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα κάνουν το πρόβλημα πολυπλοκότερο (Pantavou et al., 2017).

## Κεφάλαιο 2









### 2.1) Σταθεροί σταθμοί παρακολούθησης και καταγραφής της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Υπεύθυνο για τη λειτουργία του δικτύου μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή των Αθηνών είναι το τμήμα ποιότητας ατμόσφαιρας, που ανήκει στη διεύθυνση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου (ΕΑΡΘ) του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ). Ωστόσο, σταθερούς σταθμούς παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης διαχειρίζονται και ιδιωτικές εταιρίες καθώς επίσης και φορείς όπως πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα. Για παράδειγμα το εργαστήριο ηπίων μορφών ενέργειας και προστασίας περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής διαθέτει ένα ηλεκτρικό όχημα που φέρει τον κατάλληλο εξοπλισμό καταγραφής ρύπων προσφέροντας έτσι τη δυνατότητα τόσο για σταθερές μετρήσεις όσο και για κινητές, όπως θα αναλύσουμε σε επόμενο κεφάλαιο.

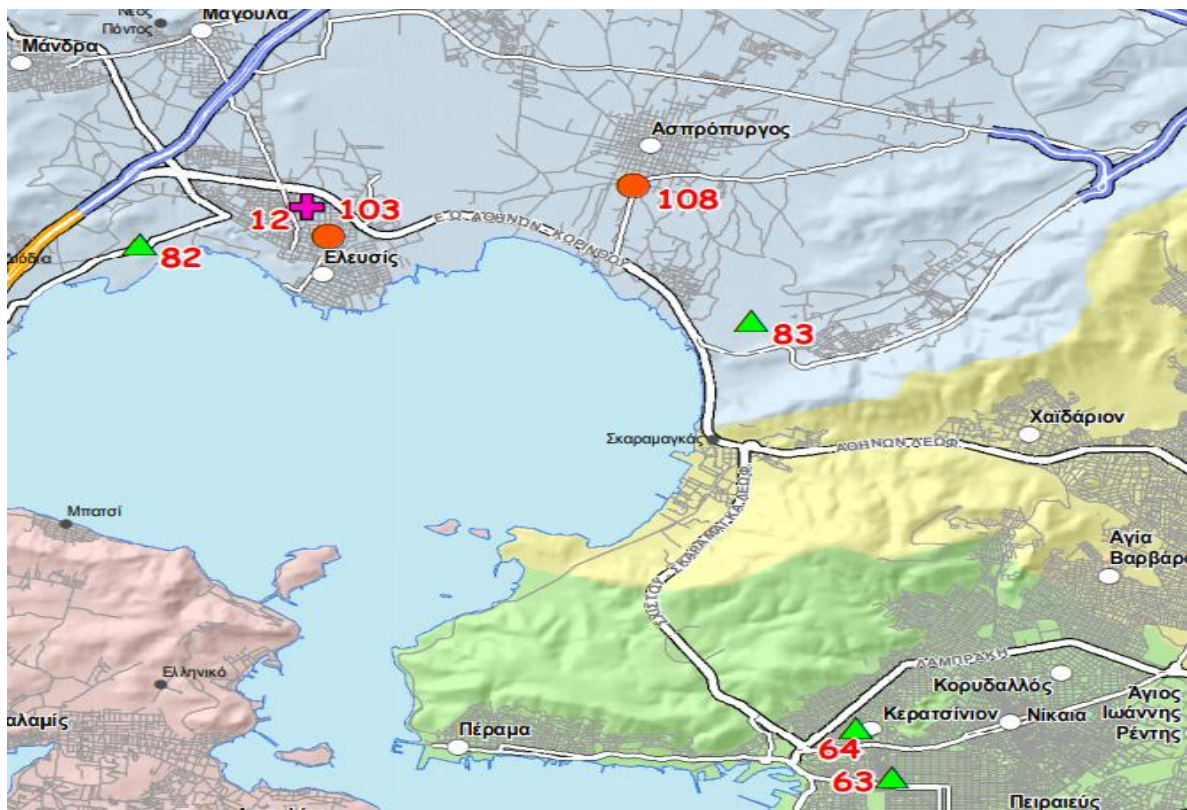
Οι σταθεροί μετρητικοί σταθμοί μέτρησης της αέριας ρύπανσης όπως οι παρακάτω στους οποίους θα γίνει αναφορά, έχουν τοποθετηθεί σε σημεία όπου είναι απαραίτητη η συνεχής παρακολούθηση και καταγραφή των αέριων εκπομπών, λόγω της μεγαλύτερης συσσώρευσης τους σε εκείνες τις περιοχές. Στους πλέον σύγχρονους σταθμούς παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα η συλλογή των δεδομένων είναι αυτοματοποιημένη και έτσι δεν απαιτείται η συνεχής παρουσία του παρατηρητή (Μπιζίμη, 2010).

#### 2.1.1) Χαρτογραφική απεικόνιση των σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης

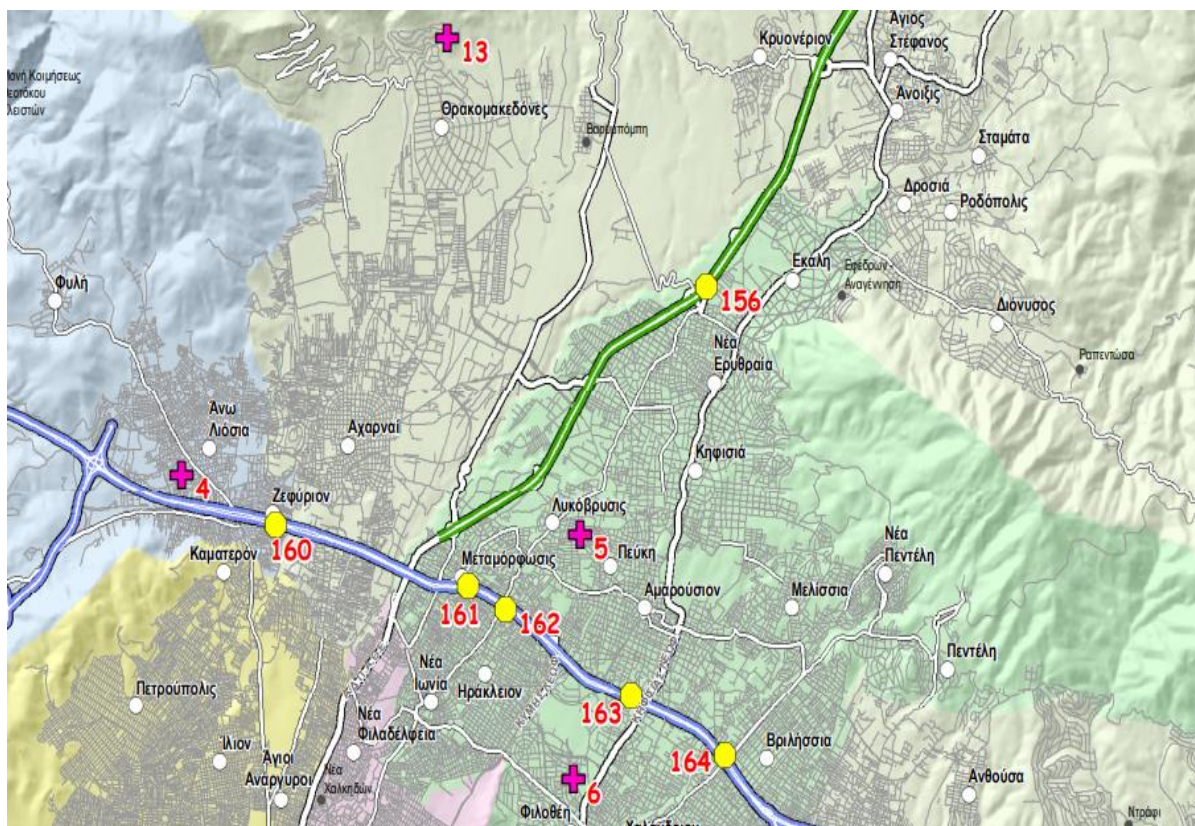
Με βάση το σχετικό υπόμνημα (εικόνα 2.1) παρουσιάζονται στη συνέχεια σε χάρτες (εικόνες 2.2-2.6) οι υπάρχοντες σταθμοί παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σύμφωνα με τη γενική γραμματεία πολιτικής προστασίας, διεύθυνσης σχεδιασμού και αντιμετώπισης εκτάκτων αναγκών.

-  Υ.Π.Ε.Ν. (ΕΔΓΑΡ)
-  ΑΕΠΟ κατηγ. Α1 (Υ.Π.Ε.Ν. )
-  ΑΕΠΟ κατηγ. Α2 (Αποκ. Διοίκ)
-  ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ
-  ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΕΔΓΑΡ
-  ΔΗΜΟΙ
-  ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΑ & ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΙΔΡΥΜΑΤΑ
-  ΙΔΙΩΤΙΚΟΙ ΦΟΡΕΙΣ

Εικόνα 2.1 : Υπόμνημα χαρτών

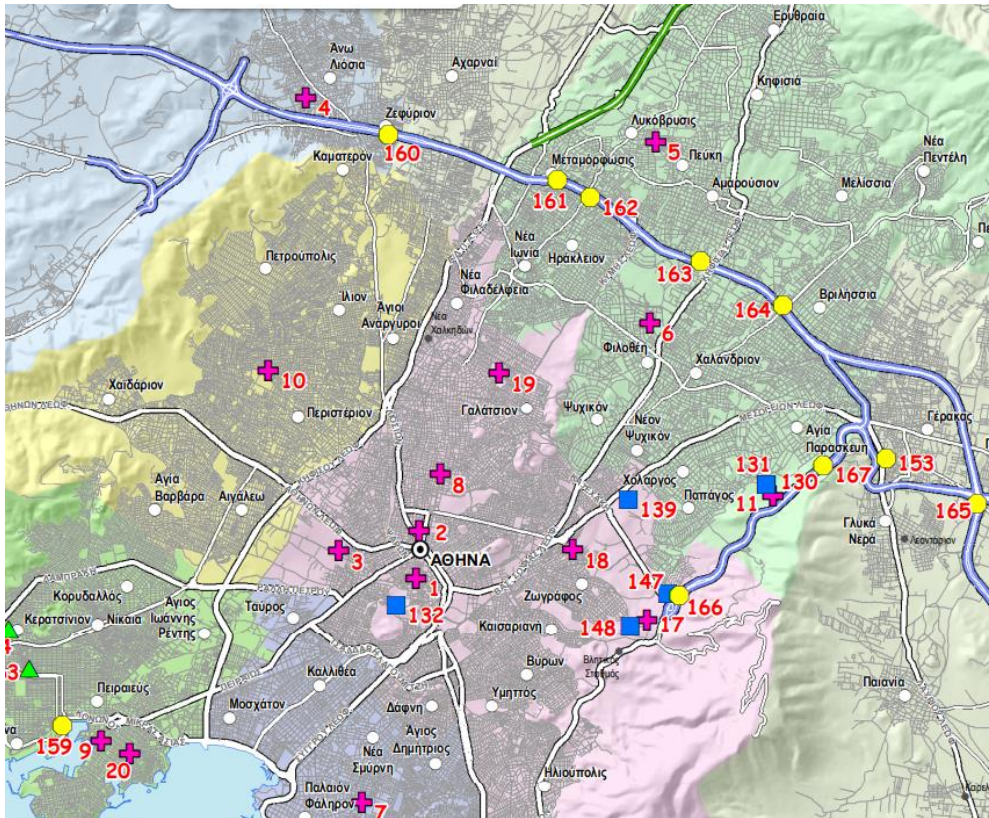


Εικόνα 2.3: Δυτική πλευρά Αττικής με σταθμούς

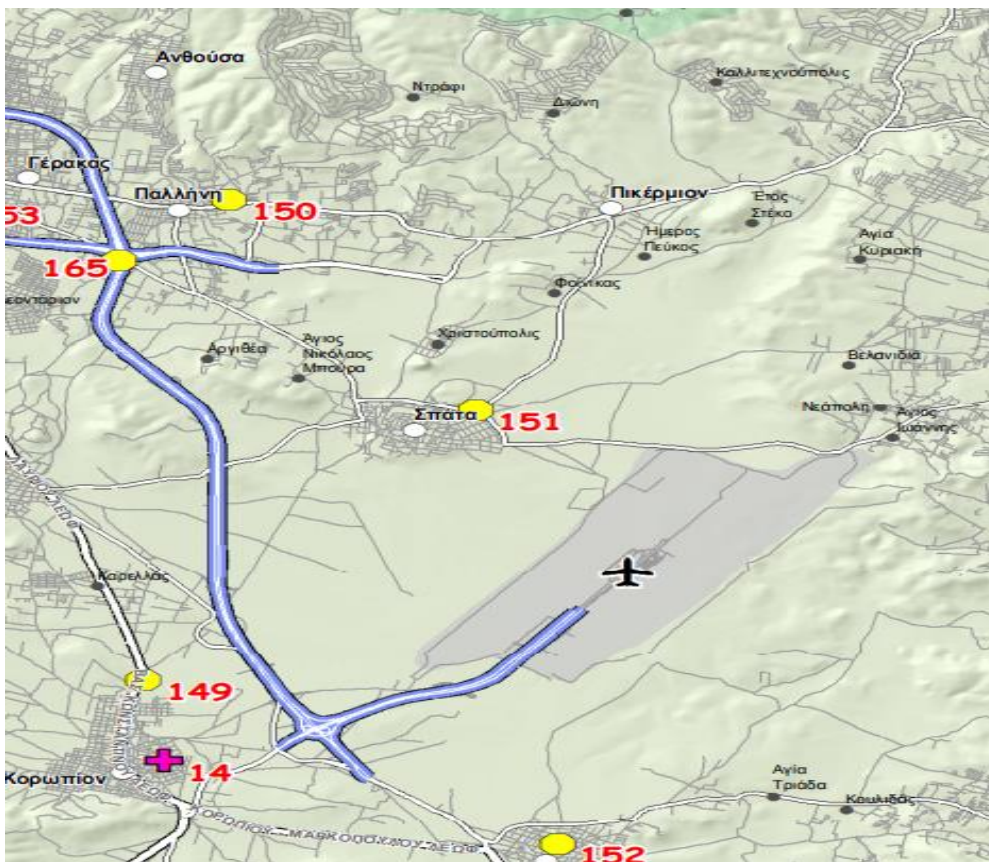


Εικόνα 2.4: Βόρεια πλευρά Αττικής





Εικόνα 2.5: Κεντρική και νότια πλευρά αττικής



Εικόνα 2.6: Ανατολική πλευρά αττικής

## 2.2.2) Πληροφορίες σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Οι υπάρχοντες σταθμοί παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σύμφωνα με τη γενική γραμματεία πολιτικής προστασίας, διεύθυνσης σχεδιασμού και αντιμετώπισης έκτακτων αναγκών παρουσιάζονται επιπλέον και στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 2.I έως και 2.III). Εκτός από τη γεωγραφική θέση τους παρουσιάζονται και οι μετρούμενοι ρύποι του κάθε σταθμού. (Πολιτική Προστασία, 2017)

Οι αριθμοί στη πρώτη στήλη του πίνακα αποτελούν τον συμβολισμό των σταθμών επάνω στους χάρτες απεικόνισης (εικόνα 2.2).

**1: αριθμός που συμβολίζει τον κάθε σταθμό (βλ. πρώτη στήλη πινάκων 2.I και 2.II)**

Εικόνα 2.2 : Υπόμνημα πινάκων

Πίνακας 2.I: Πληροφορίες σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης Αττικής

A/A	Φορέας Λειτουργίας/ Όνομα σταθμού	Γεωγραφικό μήκος	Γεωγραφικό πλάτος	Υψόμετρο	Ρύποι που καταγράφονται
1	ΥΠΕΝ(ΕΔΠΑΡ)/ ΑΘΗΝΑΣ / 2108646939	475861.39	4203144.2	100	SO <sub>2</sub> -NO <sub>x</sub> -CO-O <sub>3</sub>
2	ΥΠΕΝ(ΕΔΠΑΡ)/ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΟΥΣ/ 2108646939	475933.61	4204234.1	95	NO <sub>x</sub> -PM <sub>10</sub>
3	ΥΠΕΝ(ΕΔΠΑΡ)/ΓΕΩΠΟΝΙΚΗ/ 2108646939	474102.17	4203751.2	40	NO <sub>x</sub> -CO-O <sub>3</sub>
4	ΥΠΕΝ(ΕΔΠΑΡ)/ΛΙΟΣΙΑ/ 2108646939	473350.03	4214093.3	165	NO <sub>x</sub> -O <sub>3</sub>
5	ΥΠΕΝ(ΕΔΠΑΡ)/ΛΥΚΟΒΡΥΣΗ/ 2108646939	481326.13	4213079.5	234	NO <sub>x</sub> -O <sub>3</sub> -PM <sub>10</sub> -PM <sub>2,5</sub>
6	ΥΠΕΝ(ΕΔΠΑΡ)/ΜΑΡΟΥΣΙ/ 2108646939	481189.54	4208970.5	170	NO <sub>x</sub> -CO-O <sub>3</sub> -PM <sub>10</sub>
7	ΥΠΕΝ(ΕΔΠΑΡ)/ΝΕΑ ΣΜΥΡΝΗ/ 2108646939	474630.69	4198021	50	NO <sub>x</sub> -CO-O <sub>3</sub>
8	ΥΠΕΝ(ΕΔΠΑΡ)/ΠΑΤΗΣΙΩΝ/ 2108646939	476413.15	4205501	105	SO <sub>2</sub> -NO <sub>x</sub> -CO-O <sub>3</sub> -C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
9	ΥΠΕΝ(ΕΔΠΑΡ)/ΠΕΙΡΑΙΑΣ Ι/ 2108646939	468679.3	4199445.9	4	SO <sub>2</sub> -NO <sub>x</sub> -CO-O <sub>3</sub> -PM <sub>10</sub> -PM <sub>2,5</sub>
10	ΥΠΕΝ(ΕΔΠΑΡ)/ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ/ 2108646939	472497.21	4207882	80	SO <sub>2</sub> -NO <sub>x</sub> -CO-O <sub>3</sub>
11	ΥΠΕΝ(ΕΔΠΑΡ)/ΑΓ. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ/ 2108646939	483995.32	4205000.1	290	NO <sub>x</sub> -O <sub>3</sub> -PM <sub>10</sub> -PM <sub>2,5</sub>
12	ΥΠΕΝ(ΕΔΠΑΡ)/ΕΛΕΥΣΙΝΑ/ 2108646939	459356.06	4211325.4	20	SO <sub>2</sub> -NO <sub>x</sub> -O <sub>3</sub> -PM <sub>10</sub>
13	ΥΠΕΝ(ΕΔΠΑΡ)/ΘΡΑΚΟΜΑΚΕΔΟΝ ΕΣ/ 2108646939	478661.66	4221479.5	550	NO <sub>x</sub> -O <sub>3</sub> -PM <sub>10</sub>
14	ΥΠΕΝ(ΕΔΠΑΡ)/ΚΟΡΩΠΙ/ 2108646939	489215.4	4194584.1	140	NO <sub>x</sub> -O <sub>3</sub> -PM <sub>10</sub>

Επιπλέον σταθερούς σταθμούς καταγραφής των ρύπων φέρουν και τα ερευνητικά ιδρύματα όπως το ΕΘΝΙΚΟ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ και το ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ»

**Πίνακας 2.II:** Πληροφορίες σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης Αττικής (ερευνητικοί φορείς)

A/A	Φορέας Λειτουργίας/ σταθμού	Όνομα	Γεωγραφικό μήκος	Γεωγραφικό πλάτος	Υψόμετρο	Ρύποι που καταγράφονται
131	ΕΚΕΦΕ "ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ"/ 2106503008		341607	4205456	2324	ΑΣ <sub>10</sub> ΑΣ <sub>2,5</sub> ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΚΑΙ ΣΚΕΔΑΣΗ ΦΩΤΟΣ ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ (TSP), ΙΟΝΤΑ, ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ CO <sub>2</sub> -CO-CH <sub>4</sub> O <sub>3</sub> ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΡΑΔΙΟΕΝΕΡΓΩΝ ΙΣΟΤΟΠΩΝ
132	ΕΘΝΙΚΟ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ (ΕΑΑ), ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΡΕΥΝΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ (ΙΕΠΒΑ)/ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΘΗΣΕΙΟΥ		475406.71	4202523.4	105	1. ΑΥΤΟΜΑΤΟΙ ΑΝΑΛΥΤΕΣ: ΑΣ <sub>10</sub> , CO, O <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> (NO, NO <sub>2</sub> ), SO <sub>2</sub> , ΜΑΥΡΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ, ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΥΠΕΡΛΕΠΤΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ. 2. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ ΦΙΛΤΡΑ (ΑΣ <sub>10</sub> , ΑΣ <sub>2,5</sub> ). ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΙΟΝΤΑ, ΜΕΤΑΛΛΑ, ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΚΛΠ 3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ Ρb ΣΤΟ ΚΛΑΣΜΑ PM <sub>10</sub> ΤΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΥΛΗΣ-ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΑΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΣΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΥΓΡΗΣ ΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑΣ ΥΨΗΛΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Ακόμη, Πανεπιστήμια όπως το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Ε.Μ.Π.) και το Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο (Ε.Κ.Π.Α.) φέρουν το δικό τους εξοπλισμό καταγραφής της αέριας ρύπανσης

**Πίνακας 2.III:** Πληροφορίες σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης Αττικής (πανεπιστήμια)

A/A	Φορέας Λειτουργίας/ σταθμού	Όνομα	Γεωγραφικό μήκος	Γεωγραφικό πλάτος	Υψόμετρο	Ρύποι που καταγράφονται
147	ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ/ 210772227		481600.18	4202796.8		PM <sub>2,5</sub>
148	ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ/ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ /ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ		480739.64	4202036.3	246.21	PM <sub>1</sub> , PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΥΠΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΠΗΤΤΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ-CO- SO <sub>2</sub> -NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> -O <sub>3</sub> -CO <sub>2</sub>

Όλοι οι σταθμοί μέτρησης για να δίνουν τις απαιτούμενες πληροφορίες θα πρέπει να έχουν μια συγκεκριμένη κατηγοριοποίηση. Οι παραπάνω σταθμοί κατηγοριοποιούνται σε σταθμούς υποβάθρου, σε σταθμούς αστικής κυκλοφορίας, σε περιαστικούς σταθμούς και σε σταθμούς βιομηχανίας αναλόγως με την τοποθεσία στην οποία βρίσκονται.

Ένας σταθμός «υποβάθρου» αντανακλά τα γενικότερα επίπεδα ρύπανσης της περιοχής αλλά δε βρίσκεται σε άμεση γειτνίαση με οδικούς κόμβους ή βιομηχανικές πηγές εκπομπών (PANACEA, 2020).

Ένας σταθμός «αστικός-κυκλοφορίας», βρίσκεται εντός της αστικής περιοχής της πόλης όπου η κυκλοφορία των οχημάτων είναι πυκνή και έντονη(Λαρίση, 2012).

Ένας σταθμός «βιομηχανίας» γειτνιάζει με μια περιοχή στην οποία η βιομηχανική δραστηριότητα είναι έντονη.

Ένας σταθμός «περιαστικός» είναι τοποθετημένος σε ένα σημείο λίγο έξω από το κέντρο της πόλης.

Προκύπτει λοιπόν ότι οι σταθμοί του **πίνακα 2.1** κατηγοριοποιούνται ως εξής:

Υποβάθρου : Μαρούσι (6), Νέα Σμύρνη (7), Περιστερί (10), Λυκόβρυση (5), Λιόσια (4),

Περιαστικοί: Γεωπονική (3)

Βιομηχανίας: Ελευσίνα (12), Κορωπί (14)

Αστικοί –κυκλοφορίας : Πατησίων (8), Αριστοτέλους (2), Αθηνάς (1)

(Πολιτική προστασία, 2017)

### 2.2.3) Χρονική ανάλυση και μεταφορά δεδομένων των αναλυτών

Αναφορικά με τη χρονική ανάλυση και μεταφορά δεδομένων για τη μέτρηση των ρύπων με τους σταθμούς του ΥΠΕΚΑ (<http://www.ypeka.gr/el-gr/>), αυτό γίνεται σε συνεχή βάση καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Ο χρόνος απόκρισης των αυτομάτων αναλυτών είναι 1 min. Με ένα μικροεπεξεργαστή, που βρίσκεται σε κάθε αυτόματο σταθμό και που είναι συνδεδεμένος με τους αυτόματους αναλυτές, υπολογίζονται κάθε ώρα οι μέσες ωριαίες τιμές ρύπανσης. Οι τιμές αυτές μεταβιβάζονται στον κεντρικό υπολογιστή της Υπηρεσίας, μέσω τηλεφωνικής γραμμής και με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η συνεχής παρακολούθηση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής.

### 2.2.4) Μέθοδοι μέτρησης των ατμοσφαιρικών ρύπων

Οι συγκεντρώσεις των ρύπων στην ατμόσφαιρα μετριοούνται σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας του εκάστοτε οργάνου, είτε σε αναλογία μείγματος κατά όγκο σε μέρη στο εκατομμύριο (ppm), είτε σε πυκνότητα σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Πιο συγκεκριμένα, οι ρύποι που μελετάμε υπολογίζονται σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο αέρα) με εξαίρεση το μονοξείδιο του άνθρακα που υπολογίζεται σε  $\text{mg}/\text{m}^3$  (χιλιοστογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο αέρα). Οι παρακάτω μέθοδοι μετρήσεων για κάθε ρύπο αναφέρονται στους σταθμούς του **πίνακα 2.1**. (Υ.Π.Ε.Κ.Α, Β, 2020).

Για τους σταθμούς των ερευνητικών κέντρων όπως αυτός του Θησείου (Εικόνα 2.7), η κατάσταση είναι λίγο διαφορετική καθώς τα όργανα μέτρησης είναι πιο σύγχρονα και έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια (PANACEA, 2020). Ο εξοπλισμός του σταθμού παρακολούθησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης Θησείου (132), είναι υψηλής χρονικής ανάλυσης και συμπεριλαμβάνει αναλυτές βασικών αέριων ρύπων ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ) και σωματιδιακών ( $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{BC}$ ), μετρητικά συστήματα οπτικών ιδιοτήτων των σωματιδίων (σκέδαση, απορρόφηση) και δειγματολήπτες διαφορετικών κλασμάτων μεγεθών σωματιδίων ( $\text{PM}_{10}$  και  $\text{PM}_{2.5}$ ) σε φίλτρα για περαιτέρω χημικές αναλύσεις από το Εργαστήριο Ατμοσφαιρικής Χημείας (PANACEA, 2020).

**Πίνακας 2.IV:** Μέθοδος μέτρησης του εκάστοτε ρύπου

Ρύπος	Μέθοδος μέτρησης
Μονοξείδιο του άνθρακα(CO)	Απορρόφηση στο υπέρυθρο(NDIR)
Οξείδια του αζώτου (NO <sub>x</sub> )	Χημειοφωταύγεια
Όζον (O <sub>3</sub> )	Απορρόφηση στο υπεριώδες
Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> )	Φθορισμομετρία
Αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ <sub>2.5-10</sub> )	Απορρόφηση β ακτινοβολίας(εκτός από την Ελευσίνα όπου χρησιμοποιείται η σταθμική)
Βενζόλιο (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	Αέρια χρωματογραφία (GC)
Βαρέα μέταλλα	Ατομική απορρόφηση



**Εικόνα 2.7:** Φωτογραφία από το σταθμό παρακολούθησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης Θησείου (Πηγή: προσωπικό αρχείο)

### 2.2.5) Βαθμονόμηση των οργάνων μέτρησης

Οι αναλυτές των αερίων ελέγχονται σύμφωνα με τα αντίστοιχα ευρωπαϊκά τεχνικά πρότυπα EN ή και ISO ως προς τη γραμμικότητα, την ολίσθηση μηδενός και κλίμακας και την επαναληψιμότητα. Η βαθμονόμηση περιλαμβάνει τον έλεγχο της καλής λειτουργίας των οργάνων και τη ρύθμισή τους. Τα βαθμονομητικά των σταθμών συλλέγονται ετησίως στο Εργαστήριο Ποιότητας Ατμόσφαιρας με σκοπό τη διακρίβωση των δυο ροόμετρων που διαθέτουν. Τα υπό διακρίβωση ροόμετρα παραμένουν στο χώρο της διακρίβωσης για εξισορρόπηση της θερμοκρασίας τους για τουλάχιστον 24 ώρες. Η διαδικασία περιλαμβάνει διαβίβαση καθαρού αέρα, ο οποίος παράγεται από μονάδα καθαρού αέρα, στο πρότυπο ροόμετρο αναφοράς του εργαστηρίου και στο ροόμετρο του

βαθμονομητή (ΕΛΟΤ EN ISO 6145-1 και ΕΛΟΤ EN ISO 6145-7). Η διακρίβωση της ροής πραγματοποιείται με σύγκριση των τιμών των πρότυπων εργαστηριακών ροόμετρων με τα υπό διακρίβωση ροόμετρα του βαθμονομητή.

Η βαθμονόμηση των αναλυτών αιωρούμενων σωματιδίων βασίζεται στην απορρόφηση της β-ακτινοβολίας από πρότυπο δείγμα γνωστής συγκέντρωσης. Οι διαδικασίες της βαθμονόμησης γίνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα, όπως αυτά αναφέρονται στα ισχύοντα τεχνικά πρότυπα, ή μετά τη συντήρηση ή επισκευή ενός αναλυτή.

Για τη βαθμονόμηση των αναλυτών SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> και CO στους σταθμούς μέτρησης, απαιτείται παρασκευή πρότυπου αερίου. Αυτή επιτυγχάνεται με διάταξη δυναμικής αραίωσης, που συνδέεται αφενός με μία πηγή "καθαρού" αέρα και αφετέρου με φιάλη που περιέχει μίγμα του εν λόγω αερίου με άζωτο σε γνωστή πρότυπη συγκέντρωση.

Το μεταφερόμενο πρότυπο όζοντος με το οποίο πραγματοποιείται η βαθμονόμηση αναλυτών όζοντος στους σταθμούς, βαθμονομείται στο εργαστήριο με πρότυπο φωτόμετρο όζοντος (βαθμονόμηση Α' βαθμίδας-primary UV calibration) με τη φωτομετρική μέθοδο αναφοράς (ISO 13964) (Υ.Π.Ε.Κ.Α, Γ, 2020).

## 2.2) Θεσμικό πλαίσιο για την ατμοσφαιρική ρύπανση

Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα ενημερωτικά δελτία του Π.Ο.Υ. για την εξωτερική ατμοσφαιρική ρύπανση, το έτος 2016, το 91% του παγκόσμιου πληθυσμού ζούσε σε μέρη όπου δεν πληρούσαν τα επίπεδα οδηγίων για την ποιότητα του αέρα που ορίζει ο Π.Ο.Υ. Επιπροσθέτως, για το ίδιο έτος εκτιμάται ότι η εξωτερική ατμοσφαιρική ρύπανση τόσο στις πόλεις όσο και στις αγροτικές περιοχές προκάλεσε 4,2 εκατομμύρια πρόωρους θανάτους παγκοσμίως.

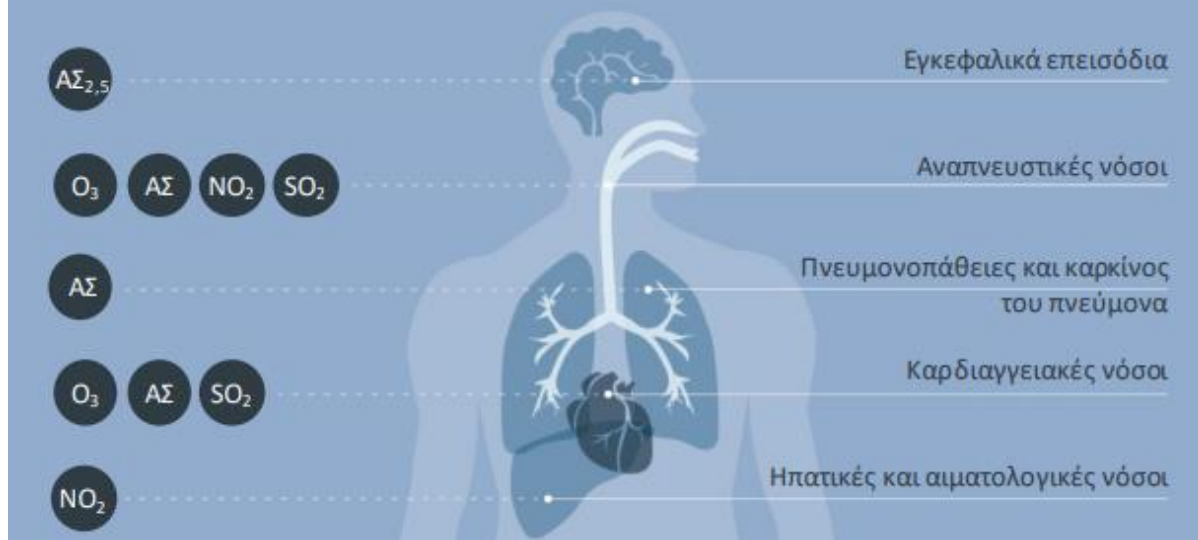
Στην Ευρώπη, λαμβάνουν χώρα 400.000 πρόωροι θάνατοι ετησίως από την ατμοσφαιρική ρύπανση, ενώ το εξωτερικό κόστος που συνεπάγεται σε ό,τι αφορά τις επιπτώσεις στην υγεία ανέρχεται σε εκατοντάδες δισεκατομμύρια ευρώ (Janusz Wojciechowski, 2018).

Στην Αμερική σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη του Π.Ο.Υ, περίπου 249 χιλιάδες πρόωροι θάνατοι οφείλονται στην εξωτερική ατμοσφαιρική ρύπανση και άλλοι 83 χιλιάδες πρόωροι θάνατοι οφείλονται στη χρήση στερεών καυσίμων για οικιακή ενέργεια .

Πιο συγκεκριμένα οι άνθρωποι που ζουν σε αστικές περιοχές είναι ιδιαίτερα εκτεθειμένοι στον κίνδυνο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ο Π.Ο.Υ προσδιορίζει τα αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ), το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) το τροποσφαιρικό όζον (O<sub>3</sub>) και το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) ως τους ατμοσφαιρικούς ρύπους που ευθύνονται για τους περισσότερους από τους εν λόγω πρόωρους θανάτους. Στην εικόνα 2.8 παρουσιάζονται οι κύριες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία από τους τέσσερις ατμοσφαιρικούς ρύπους που προαναφέρθηκαν (Janusz Wojciechowski, 2018).

Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής, στη χώρα μας ισχύουν νομοθετημένα όρια και στόχοι για τους ρύπους διοξείδιο του θείου, αιωρούμενα σωματίδια διοξείδιο του αζώτου, όζον, μονοξείδιο του άνθρακα, βενζόλιο, μόλυβδος, αρσενικό, κάδμιο, υδράργυρος και βενζο(α)πυρένιο, σύμφωνα με τα όρια ποιότητας ατμόσφαιρας που έχουν καθιερωθεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Τα όρια αυτά αναφέρονται τόσο στην προστασία της ανθρώπινης υγείας όσο και των οικοσυστημάτων (Υ.Π.Ε.Κ.Α, Β, 2020).

## ΠΟΙΕΣ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ



**Εικόνα 2.8 :** Κύριες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία από τους ρύπους AΣ, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> και O<sub>3</sub>  
(Πηγή: <https://www.eca.europa.eu>)

Ειδικότερα η οδηγία 2008/50/ΕΚ για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα του 2008 είναι ο ακρογωνιαίος λίθος της πολιτικής της ΕΕ για τον καθαρό αέρα, καθώς θέτει πρότυπα για την ποιότητα του αέρα που καθορίζουν όρια συγκέντρωσης ρύπων στον αέρα που αναπνέουμε. Τις τελευταίες δεκαετίες, οι πολιτικές της ΕΕ συνέβαλαν μεν στη μείωση των εκπομπών, χωρίς όμως να έχει βελτιωθεί αντιστοίχως η ποιότητα του αέρα, με τις επιπτώσεις στη δημόσια υγεία να παραμένουν σημαντικές (Janusz Wojciechowski ,2018).

Αναφορικά με το θεσμικό πλαίσιο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ισχύουν οι βασικές οδηγίες της ΕΕ, μιας και η Ελλάδα διέπετε από τις ίδιες δεσμεύσεις. Συγκεκριμένα, η οδηγίες 2008/50/ΕΚ, 2004/107/ΕΚ καθώς και η 2015/480/ΕΚ που τροποποιεί ορισμένα παραρτήματα και οδηγίες των δύο προηγούμενων ,σε συνδυασμό με την οδηγία 2016/2284, καθορίζουν και αναλύουν κάποια βασικά κομμάτια όπως τα όρια των ατμοσφαιρικών ρύπων, τις προϋποθέσεις που αφορούν τα δεδομένα μετρήσεων ατμοσφαιρικής ρύπανσης, και τις δεσμεύσεις για τη μείωση των εθνικών εκπομπών.

### 2.2.1) Οριακές τιμές και τιμές στόχοι των ατμοσφαιρικών ρύπων

Η οριακή τιμή είναι ένα επίπεδο καθορισμένο βάσει επιστημονικών γνώσεων από ειδικές νομοθετικές διατάξεις με σκοπό να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο σύνολο του περιβάλλοντος .Τα κράτη μέλη πρέπει να μεριμνούν ώστε τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των ρύπων να μην υπερβαίνουν στις ζώνες και τους οικισμούς τους τις οριακές τιμές των παρακάτω **πινάκων 2.V έως 2.VIII** (Οδηγία 2008/50/ΕΚ).

**Πίνακας 2.V:** Οριακές τιμές εκπομπών SO<sub>2</sub>

	Περίοδος αναφοράς για τον υπολογισμό του μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής
Ωριαία οριακή τιμή για προστασία της ανθρώπινης υγείας	1 ώρα	350 µg/m <sup>3</sup> (των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 24 φορές ανά ημερολογιακό έτος)	κανένα
Ημερήσια οριακή τιμή για προστασία της ανθρώπινης υγείας	24 ώρες	125 µg/m <sup>3</sup> υπέρβαση έως 3 φορές ανά έτος	κανένα
Οριακή τιμή για προστασία των οικοσυστημάτων	Ημερολογιακό έτος χειμώνας (1 <sup>η</sup> Οκτωβρίου έως 31 <sup>η</sup> Μαρτίου)	20 µg/m <sup>3</sup>	κανένα

**Πίνακας 2.VI:** Οριακές τιμές εκπομπών NO<sub>x</sub>

	Περίοδος αναφοράς για τον υπολογισμό του μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής
Ωριαία οριακή τιμή για προστασία της ανθρώπινης υγείας	1 ώρα	200 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> (των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 18 φορές ανά ημερολογιακό έτος)	κανένα
Ετήσια οριακή τιμή για προστασία της ανθρώπινης υγείας	Ημερολογιακό έτος	40 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>	κανένα
οριακή τιμή για προστασία των οικοσυστημάτων	Ημερολογιακό έτος	30 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>x</sub>	κανένα

**Πίνακας 2.VII:** Οριακές τιμές εκπομπών ΑΣ<sub>10</sub>

	Περίοδος αναφοράς για τον υπολογισμό του μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής
24ωρη οριακή τιμή για προστασία της ανθρώπινης υγείας	24 ώρες	50 µg/m <sup>3</sup> ΑΣ <sub>10</sub> (των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος)	κανένα
Ετήσια οριακή τιμή για προστασία της ανθρώπινης υγείας	Ημερολογιακό έτος	40 µg/m <sup>3</sup>	κανένα



**Πίνακας 2.VIII:** Οριακές τιμές εκπομπών CO

	Περίοδος αναφοράς για τον υπολογισμό του μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής
οριακή τιμή για προστασία της ανθρώπινης υγείας	Μέγιστη ημερήσια 8ωρη μέση τιμή	10 mg/m <sup>3</sup>	κανένα

Επιπλέον, τα κράτη μέλη λαμβάνουν όλα τα αναγκαία μέτρα που δεν συνεπάγονται δυσανάλογο κόστος ώστε να διασφαλίζουν ότι οι συγκεντρώσεις των ρύπων δεν θα ξεπεράσουν τις τιμές στόχους. Με τον όρο τιμές-στόχοι εννοούμε ένα επίπεδο καθοριζόμενο με σκοπό να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο σύνολο του περιβάλλοντος, που επιτυγχάνεται κατά το δυνατόν εντός δεδομένης χρονικής περιόδου.

Οι τιμές στόχοι του όζοντος τόσο για τη προστασία της ανθρώπινης υγείας όσο και για τη προστασία της βλάστησης παρουσιάζονται στον πίνακα 2.IX.(Οδηγία 2008/50/ΕΚ)

**Πίνακας 2.IX:** Τιμές στόχοι του όζοντος για το 2020

	Παράμετρος	Στόχος
Προστασία ανθρώπινης υγείας	Μέγιστη ημερήσια μέση τιμή 8ώρου σε διάστημα ενός ημερολογιακού έτους	120 µg/m <sup>3</sup>
Προστασία της βλάστησης	ΑΟΤ40* υπολογισμένο βάσει ωριαίων τιμών από το Μάιο έως τον Ιούλιο	6000 µg/m <sup>3</sup> .h

\*Ως ΑΟΤ40 ορίζεται το άθροισμα της διαφοράς μεταξύ ωριαίων συγκεντρώσεων άνω των 80 µg/m<sup>3</sup> και των 80 µg/m<sup>3</sup> σε μια δεδομένη χρονική περίοδο χρησιμοποιώντας μόνο τις ωριαίες τιμές που μετρήθηκαν μεταξύ της 8<sup>ης</sup> π.μ. και της 8<sup>ης</sup> μ.μ. Ώρα Κεντρικής Ευρώπης καθημερινά.

Ας σημειώσουμε επίσης ότι τα κράτη μέλη πρέπει να λαμβάνουν όλα τα αναγκαία μέτρα που δεν συνεπάγονται δυσανάλογο κόστος ώστε να διασφαλίζουν ότι οι συγκεντρώσεις αρσενικού, καδμίου, νικελίου και βενζο(α)πυρενίου που χρησιμοποιούνται ως δείκτης για τον κίνδυνο καρκινογένεσης, δεν υπερβαίνουν τις τιμές στόχους που αναφέρονται στον πίνακα 2.X, που ισχύει από τις 31 Δεκεμβρίου 2012. (Οδηγία 2004/107/ΕΚ)

**Πίνακας 2.X :** Τιμές στόχοι για το αρσενικό, το κάδμιο, το νικέλιο και το βενζο(α)πυρενίο

Ρύπος	Τιμή στόχος(*)
Αρσενικό	6 ng/m <sup>3</sup>
Κάδμιο	5 ng/m <sup>3</sup>
Νικέλιο	20 ng/m <sup>3</sup>
Βενζο(α)πυρενίο	1 ng/m <sup>3</sup>

(\*) για τη συνολική περιεκτικότητα στο κλάσμα των ΑΣ<sub>10</sub> ως μέση τιμή ενός ημερολογιακού έτους

### 2.2.2) Όρια ενημέρωσης και συναγερμού

Ως όριο ενημέρωσης ορίζεται το επίπεδο πέραν του οποίου η βραχύχρονη έκθεση εγκυμονεί κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία (ιδιαίτερα για τις ευπαθείς ομάδες) με αποτέλεσμα να καθίσταται απαραίτητη η άμεση και κατάλληλη πληροφόρηση. Το όριο συναγερμού είναι το επίπεδο πέραν του οποίου υπάρχει κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία του πληθυσμού εν γένει ύστερα από σύντομη έκθεση και κατά τη διαπίστωση του οποίου τα κράτη μέλη πρέπει να λαμβάνουν άμεσα μέτρα.

Στους παρακάτω πίνακες 2.XI έως 2.XIII παρουσιάζονται τα όρια ενημέρωσης και συναγερμού για τους πιο επικίνδυνους ρύπους τόσο για την ανθρώπινη υγεία όσο και για τη προστασία της βλάστησης.

**Πίνακας 2.XI:** Όρια συναγερμού για τους ρύπους εκτός του όζοντος

Ρύπος	Όριο συναγερμού
Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> )	500 µg/m <sup>3</sup>
Διοξείδιο του αζώτου (NO <sub>2</sub> )	400 µg/m <sup>3</sup>

**Πίνακας 2.XII:** Όρια ενημέρωσης και συναγερμού για το όζον

Σκοπός	Περίοδος μέσου όρου	Όριο
Ενημέρωση	1 ώρα	180 µg/m <sup>3</sup>
Συναγερμός	1 ώρα (*)	240 µg/m <sup>3</sup>

\*Η υπέρβαση του ορίου πρέπει να μετριέται ή να προβλέπεται για τρεις συνεχείς ώρες

**Πίνακας 2.XIII:** Κρίσιμα επίπεδα για την προστασία της βλάστησης

Ρύπος και περίοδος μέσου όρου	Κρίσιμο επίπεδο	Περιθώριο ανοχής
Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> ) / Ημερολογιακό έτος και χειμώνας (1 <sup>η</sup> Οκτωβρίου έως 31 Μαρτίου)	20 µg/m <sup>3</sup>	ουδέν
Οξείδιο του αζώτου (NO <sub>x</sub> ) / Ημερολογιακό έτος	30 µg/m <sup>3</sup>	ουδέν

### 2.2.3) Προϋποθέσεις για την ποιότητα των δεδομένων σχετικά με τη εκτίμηση της ποιότητας του αέρα

Με τον όρο εκτίμηση εννοούμε οποιαδήποτε μέθοδο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση, τον υπολογισμό, την πρόβλεψη ή την κατά προσέγγιση εκτίμηση των επιπέδων συγκέντρωσης ρύπων. Με του στόχους εξασφαλίζεται η ποιότητα των δεδομένων ώστε να εκτιμηθεί η κατάσταση του ατμοσφαιρικού αέρα που μας περιβάλλει. Τα κριτήρια για τη πληρότητα των δεδομένων που συγκεντρώνονται αποτελούν μια ακόμη δικλείδα ασφαλείας στο να έχουμε μια ακριβέστερη εκτίμηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας. Οι στόχοι για την ποιότητα των δεδομένων όσον αφορά σταθερές μετρήσεις δηλαδή μετρήσεις που εκτελούνται σε καθορισμένες τοποθεσίες είτε συνεχώς είτε με τυχαία δειγματοληψία, για τον καθορισμό των επιπέδων ρύπανσης, παρουσιάζονται στον πίνακα 2. XIV (Οδηγία 2008/50).

**Πίνακας 2.XIV :** Στόχοι για την ποιότητα των δεδομένων όσον αφορά την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα

Σταθερές μετρήσεις (*)	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO	Βενζόλιο	ΑΣ <sub>10</sub> , ΑΣ <sub>2.5</sub> και μόλυβδος	Όζον και αντίστοιχα NO, NO <sub>2</sub>
Αβεβαιότητα	15%	25%	25%	15%
Ελάχιστη συλλογή δεδομένων	90%	90%	90%	90% το καλοκαίρι 75% το χειμώνα

(\*)Τα κράτη μέλη μπορούν να πραγματοποιούν τυχαίες αντί συνεχών μετρήσεων για το βενζόλιο, το μόλυβδο και τα σωματίδια, εφόσον μπορούν να αποδείξουν στην Επιτροπή ότι η αβεβαιότητα, συμπεριλαμβανομένης της αβεβαιότητας

που οφείλεται στην τυχαία δειγματοληψία, ικανοποιεί το στόχο ποιότητας του 25 % και ότι η χρονική κάλυψη εξακολουθεί να είναι μεγαλύτερη της ελάχιστης χρονικής κάλυψης για τις ενδεικτικές μετρήσεις.

Τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης πραγματοποιούν εκτιμήσεις για τη ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα με βάση τους στόχους της ποιότητας των δεδομένων που προαναφέρθηκαν καθώς επίσης και με τα κριτήρια του πίνακα 2.XV.

**Πίνακας 2.XV :** κριτήρια για τον έλεγχο εγκυρότητας κατά τη συγκέντρωση στοιχείων και τον υπολογισμό στατιστικών παραμέτρων.

Παράμετρος	Απαιτούμενη αναλογία έγκυρων δεδομένων
Τιμές 1 ώρας	75% των τιμών (δηλαδή 45 λεπτά)
Τιμές 8 ωρών	75% των τιμών (δηλαδή 6 ώρες)
Μέγιστος ημερήσιος μέσος όρος 8 ωρών	75% των κυλιόμενων 8ώρων από ωριαίες τιμές (δηλαδή 18 μέσοι όροι 8ώρων ημερησίως)
Τιμές 24 ωρών	75% των ωριαίων μέσων ωρών
Ετήσιος μέσος όρος	90% (*) των ωριαίων τιμών ή (εάν δεν υπάρχουν) των τιμών 24ώρων κατά τη διάρκεια ολόκληρου του έτους

(\*) Στην απαίτηση για τον υπολογισμό του ετήσιου μέσου όρου δεν περιλαμβάνονται οι απώλειες δεδομένων λόγω της τακτικής βαθμονόμησης της συνήθους συντήρησης των οργάνων

#### 2.2.4) Εθνικές δεσμεύσεις μείωσης των εκπομπών

Τα κράτη μέλη είναι υποχρεωμένα να μειώσουν τις ανθρωπογενείς εκπομπές των επιβλαβών ουσιών έως το ημερολογιακό έτος στόχο. Οι δεσμεύσεις αυτές σχετίζονται με τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>), οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>), πτητικών οργανικών ενώσεων εκτός του μεθανίου (NMVOC) καθώς επίσης και με τις εκπομπές αμμωνίας (NH<sub>3</sub>) και λεπτών αιωρούμενων σωματιδίων (ΑΣ<sub>2,5</sub>). Οι δεσμεύσεις μείωσης έχουν έτος αναφοράς το 2005. (Οδηγία 2016/2284)

**Πίνακας 2.XVI :** Δεσμεύσεις για ποσοστά μείωσης των ρύπων με έτος αναφοράς το 2005

	Μείωση SO <sub>2</sub> σε σύγκριση με το 2005	Μείωση NO <sub>x</sub> σε σύγκριση με το 2005	Μείωση NMVOC σε σύγκριση με το 2005	Μείωση NH <sub>3</sub> σε σύγκριση με το 2005	Μείωση PM <sub>2,5</sub> σε σύγκριση με το 2005
Κράτος μέλος	Για τα έτη μεταξύ 2020 και 2029	Για τα έτη μεταξύ 2020 και 2029	Για τα έτη μεταξύ 2020 και 2029	Για τα έτη μεταξύ 2020 και 2029	Για τα έτη μεταξύ 2020 και 2029
Ελλάδα	74 %	31 %	54 %	7 %	35 %

#### 2.3) χωρική και χρονική μεταβλητότητα των ρύπων στα αστικά κέντρα

Σύμφωνα με πολλές και σχετικά σύγχρονες έρευνες (Van Poppel et al., 2013, Shaibal et al., 2015, Kalogridis et al., 2018), οι αέριοι ρύποι που σχετίζονται με την κυκλοφορία των οχημάτων είναι ένας από τους κύριους παράγοντες ανησυχίας στα αστικά κέντρα. Οι σταθεροί σταθμοί παρακολούθησης της αέριας ρύπανσης παρουσιάζουν διάφορους περιορισμούς στο να αξιολογήσουν την πραγματική έκθεση των κατοίκων στους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Αυτό συμβαίνει διότι η συγκέντρωση των ρύπων στα αστικά περιβάλλοντα παρουσιάζει μεγάλη χωρική αλλά και χρονική μεταβλητότητα.

Επιπλέον ο κάθε κάτοικος εντός της πόλης εκτίθεται στη αέρια ρύπανση με ποικίλους τρόπους με αποτέλεσμα κάποιοι να κινδυνεύουν περισσότερο από κάποιους άλλους. Για παράδειγμα ένας ποδηλάτης που εισπνέει περισσότερα λίτρα αέρα βρίσκεται σε δυσμενέστερη θέση από κάποιον που οδηγεί ένα αυτοκίνητο μέσα στη πόλη (Grange et al., 2014).

Αξίζει επίσης να τονίσουμε ότι όσοι πολίτες δουλεύουν κοντά σε δρόμους υψηλής κυκλοφορίας ή σε άλλες πηγές ρύπανσης είναι πιο ευάλωτοι σε ασθένειες που σχετίζονται με τους ατμοσφαιρικούς ρύπους.

Εντός των αστικών κέντρων η μορφολογία είναι πολύπλοκη και με ιδιαίτερα σημεία που επηρεάζουν την διασπορά και κατανομή των ρύπων, όπως υψηλά κτίρια που σχηματίζουν οδικά «φαράγγια» και χώρους πράσινου (πάρκα, άλση). Επιπροσθέτως οι ορεινοί όγκοι και τα βρεχάμενα από θάλασσά τμήματα των πόλεων, όπως η Αθήνα και άλλες πόλεις τις μεσογείου, συνεισφέρουν στη διάχυση των ρύπων. Ένας ακόμη παράγοντας είναι οι διευθύνσεις και οι εντάσεις του ανέμου καθώς επίσης και η ηλιακή ακτινοβολία σε κάθε πόλη.

Η αφομοίωση της εποχικότητας των ρύπων και η καταγραφή των ημερήσιων μοτίβων τους είναι πολύ σημαντικά για την αποτύπωση και αξιολόγηση της ποιότητας του αέρα.

### 2.3.1) Χωρική μεταβλητότητα των συγκεντρώσεων των ρύπων

#### Πράσινοι χώροι

Οι αστικοί χώροι πρασίνου συχνά θεωρούνται ότι παρέχουν σημαντική υπηρεσία καθαρισμού του αέρα, αλλά μόνο μια σχετικά χαμηλή ποσότητα ατμοσφαιρικής ρύπανσης απομακρύνεται από τη βλάστηση. Το γεγονός αυτό φαίνεται να εκπλήσσει την κοινή λογική μας από την έως τώρα άποψη ότι η ποιότητα του αέρα στα πάρκα βελτιώνεται με την απομάκρυνση των ρύπων από τα φυτά.

Ωστόσο, πρέπει να θυμόμαστε ότι οι μειωμένες ταχύτητες ανέμου και οι τύρβες που οφείλονται στα δέντρα των πράσινων χώρων μπορούν να προκαλέσουν υψηλότερα επίπεδα ατμοσφαιρικών ρύπων εντός αυτών. Αντιθέτως μια περίφραξη από συμπαγή τοίχο θα μπορούσε να μειώσει αρκετά τη συγκέντρωση ατμοσφαιρικών ρύπων στους πράσινους χώρους (Xing, 2019).

#### Οδικά φαράγγια

Η ύπαρξη υψηλών κτιρίων σε συνδυασμό με τη μεγάλη πυκνότητα του πληθυσμού και της ανθρώπινης δραστηριότητας (συγκοινωνίες, εμπορική δραστηριότητα, διέλευση οχημάτων κλπ.), αλλά και τον σχετικά στενό σε πλάτος δρόμο, δημιουργεί αστικά «φαράγγια» (Yuan, 2014).

Το κέντρο αυτών των «φαραγγιών» δηλαδή το οδικό δίκτυο και τα πεζοδρόμια, είναι το σημείο συγκέντρωσης των ρύπων (Εικόνα 2.9). Ο λόγος είναι ότι υπάρχει στασιμότητα στη ροή του αέρα και έτσι η διασπορά της αέριας ρύπανσης καθίσταται αδύναμη. Στα φαράγγια αυτά βρέθηκαν επίσης αυξημένα επίπεδα μονοξειδίου του άνθρακα (CO), διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>) και θορύβου (Allen et al., 2009).

### 2.3.2) Ακτινοβολία, ένταση ανέμου και ρύποι

Οι ρύποι όπως το CO, NO, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, NO<sub>2</sub> και PM<sub>2.5</sub> δείχνουν αρνητική συσχέτιση με την ηλιακή ακτινοβολία και τη θερμοκρασία του αέρα. Αντίθετα το όζον και το NO<sub>2</sub> παρουσιάζουν υψηλή τιμή

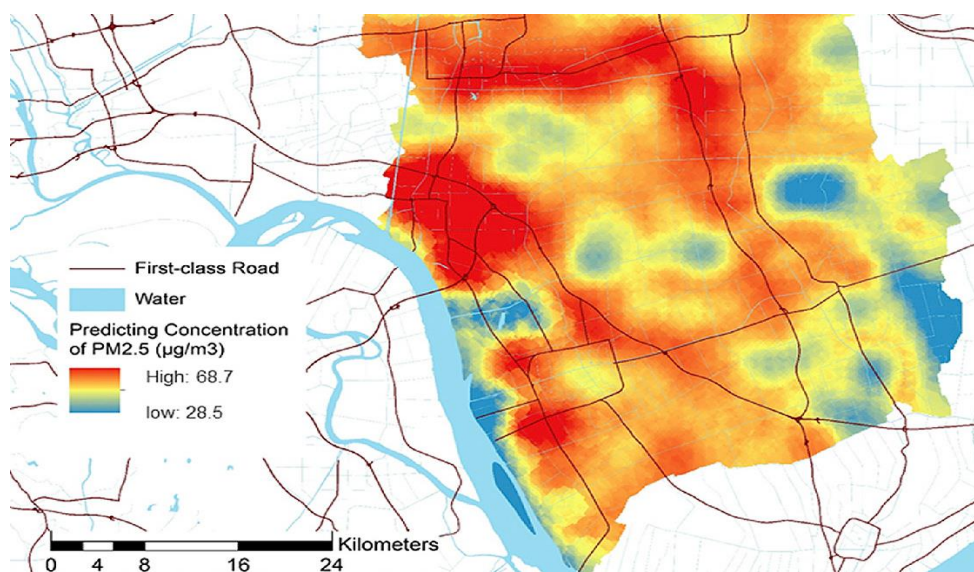
συσχέτισης με τη παρουσία ηλιακής ακτινοβολίας. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει το δεσμό  $O_3$  και  $NO_2$  (το  $NO_2$  αντιδρά με την ακτινοβολία και παράγει όζον) (Battista, 2017).



Εικόνα 2.9: Οδικά φαράγγια του Hong Kong (Πηγή : Allen et al., 2009)

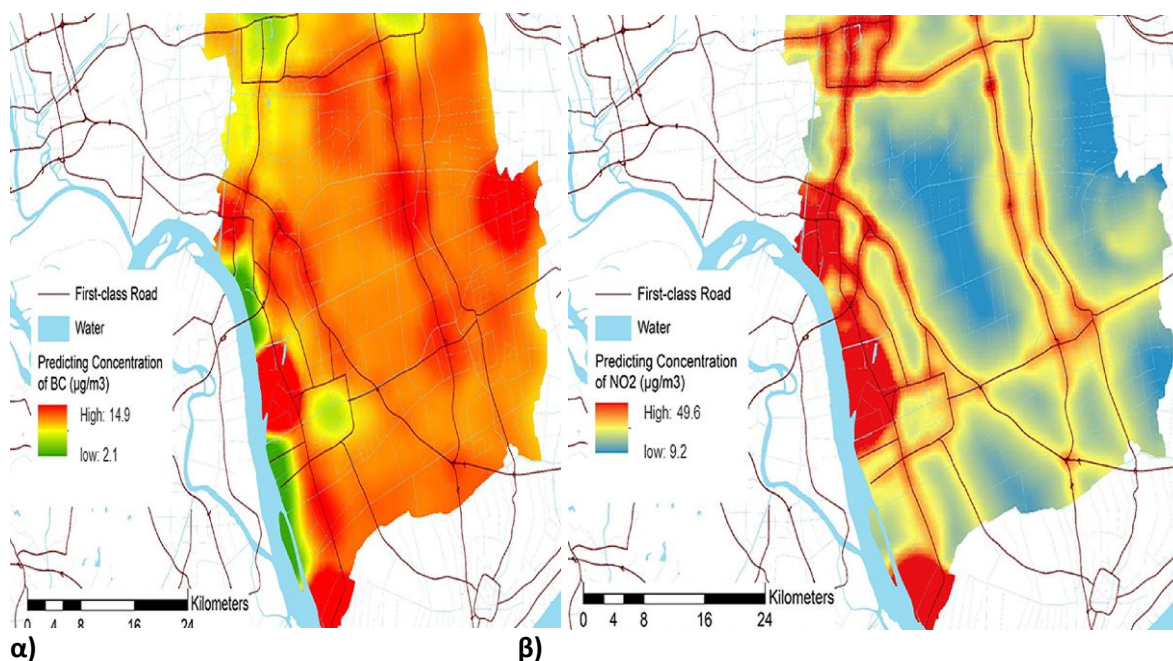
### 2.3.3) Μεταβλητότητα και συσχέτιση ρύπων $AS_{2.5}$ , $NO_2$ , BC

Σε μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε στη περιοχή της Taizhu της Κίνας (Cai,2020) αποδεικνύεται ότι, η μεσοδυτική περιοχή με πιο εντατικά δίκτυα κυκλοφορίας και μεγαλύτερη κάλυψη από γη γεωργικής χρήσης, είχε υψηλότερες συγκεντρώσεις σε  $AS_{2.5}$  από τις ανατολικές και βόρειες περιοχές. Ας σημειωθεί επιπλέον ότι ένα μέρος των  $A.S_{2.5}$  σχηματίζεται από το  $NO_2$  μέσω διαφόρων φωτοχημικών αντιδράσεων (Εικόνα 2.10). Τα παραπάνω σε συνδυασμό με τη παρουσία υπεριώδους ακτινοβολίας παράγουν το όζον το οποίο είναι υπεύθυνο για το φωτοχημικό νέφος στις πόλεις (Agudelo-Castañeda et al., 2020).



Εικόνα 2.10: Διακύμανση των συγκεντρώσεων  $A.S_{2.5}$  στη περιοχή της Taizhu (Πηγή : Cai,2020)

Η χαρτογράφηση αποκαλύπτει επίσης αυξημένες συγκεντρώσεις  $\text{NO}_2$  και  $\text{BC}$  κατά μήκος του κύριου δρόμου ενώ μειώνεται απότομα καθώς η απόσταση από το οδικό δίκτυο αυξάνεται, υποδηλώνοντας ότι η κίνηση των οχημάτων είναι μια σημαντική πηγή για το  $\text{BC}$  και  $\text{NO}_2$  (Εικόνα 2.11). Οι συγκεντρώσεις  $\text{NO}_2$  παρουσιάζουν μεγαλύτερη μεταβλητότητα από άλλους ρύπους (Cai,2020).



**Εικόνα 2.11:α)** Διακύμανση των συγκεντρώσεων  $\text{BC}$  στη περιοχή της Taizhu. **β)** Διακύμανση των συγκεντρώσεων  $\text{NO}_2$  στη περιοχή της Taizhu. (Πηγή : Cai,2020)

#### 2.3.4) Αιωρούμενα σωματίδια στο αστικό περιβάλλον

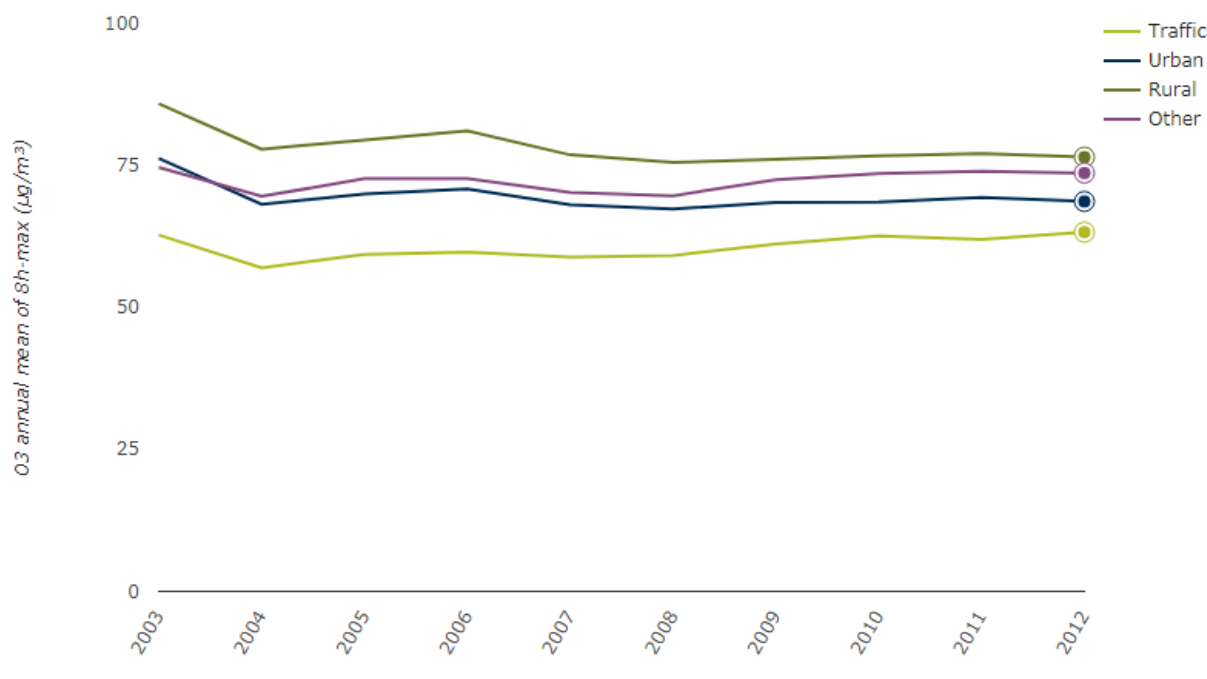
Τα Α.Σ. βρίσκονται σε ψηλότερες συγκεντρώσεις κοντά σε περιοχές με έντονη βιομηχανική δραστηριότητα, σε εργοτάξια και σε δρόμους υψηλής κυκλοφορίας. Επιπλέον τα Α.Σ. δεν παρουσιάζουν έντονη περιοδικότητα σε σχέση με τους άλλους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Αυτό το γεγονός υποδηλώνει ότι μόνο οι συγκεντρώσεις των Α.Σ. δεν εξαρτώνται από τις αστικές συνθήκες του μικροκλίματος. Η συγκέντρωση των  $\text{A.}\Sigma_{10}$  παρουσιάζει μεγαλύτερες συγκεντρώσεις όταν υπάρχει ξηρασία και χαμηλή σχετική υγρασία (Battista, 2017).

#### 2.3.5) Όζον ( $\text{O}_3$ ) στο αστικό περιβάλλον

Οι συγκεντρώσεις  $\text{O}_3$  δείχνουν σημαντική μεταβλητότητα εντός της πόλης με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις να εμφανίζονται στα προάστια της πόλης. Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι το  $\text{O}_3$  μεταφέρεται με την σχετικά υψηλή ένταση του ανέμου εκτός του αστικού κέντρου. Από την άλλη εντός τις αστικής περιοχής όπου η κυκλοφορία οχημάτων και η εμπορική δραστηριότητα είναι έντονη, οι συγκεντρώσεις ήταν χαμηλότερες. Οι χαμηλές αυτές υπάρχουσες συγκεντρώσεις του όζοντος οφείλονταν στις χημικές αντιδράσεις του  $\text{NO}$ .

Επίσης υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος παρατηρούνται σε παράκτιες πόλεις. Μετά τις πρωινές ώρες αιχμής της κυκλοφορίας οχημάτων, οι πρόδρομοι του όζοντος ( $\text{O}_3$ ) συσσωρεύονται στη ατμόσφαιρα και όταν η ηλιακή ακτινοβολία ενισχύεται, η φωτοχημική αντίδραση παράγει το όζον και καταναλώνει τους προδρόμους (Agudelo-Castañeda et al., 2020),(Cai,2020).

Σύμφωνα με προβλέψεις του ευρωπαϊκού οργανισμού περιβάλλοντος, η μελλοντική αλλαγή του κλίματος αναμένεται να αυξήσει τις συγκεντρώσεις του όζοντος. Στην παρακάτω εικόνα 2.12 φαίνεται ο ετήσιος μέσος όρος των ημερήσιων μέγιστων συγκεντρώσεων όζοντος κατά μέσο όρο 8 ωρών ανά τύπο σταθμού.



**Εικόνα 2.12** : Διαχρονική μεταβολή της συγκέντρωσης όζοντος στην Ευρώπη (Πηγή: Janusz Wojciechowski, 2018)

### 2.3.6) Χρονική μεταβλητότητα των συγκεντρώσεων των ρύπων

Γενικότερα, η υψηλή θερμοκρασία το καλοκαίρι συνεισφέρει θετικά στην διασπορά της συγκέντρωσης των ρύπων. Πιο συγκεκριμένα, τα  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $SO_2$  και ο αριθμός AQI βρίσκονται σε σχετικά χαμηλές τιμές από τον Απρίλιο έως τον Σεπτέμβριο. Από την άλλη, το  $CO$  ακολουθεί την αντίστροφη κατάσταση (Tian, 2019).

Αναφορικά με το  $SO_2$ , αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στη λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης τον χειμώνα. Παράλληλα οι υψηλές συγκεντρώσεις του  $NO$ , οφείλονται κυρίως στην εντονότερη κυκλοφορία που παρατηρείται τους χειμερινούς μήνες και τις χειρότερες συνθήκες λειτουργίας των μηχανών των αυτοκινήτων (χαμηλή απόδοση καταλύτη στο ξεκίνημα με κρύα μηχανή) (Υ.Π.Ε.Κ.Α, Β, 2020). Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις των  $PM_{10}$  εμφανίζονται το πρωί κατά τη χειμερινή περίοδο και αργά το απόγευμα την καλοκαιρινή περίοδο (Lu, 2020).

Στη πόλη της Αθήνας, η καύση ξύλων (οικιακή θέρμανση) κατά τους χειμερινούς μήνες συνεισφέρει στις ποσότητες μαύρου άνθρακα στην ατμόσφαιρα κατά 30%, ενώ στον μονοξειδίου του άνθρακα κατά 16% κατά τους χειμερινούς μήνες. Οι προαναφερόμενοι ρύποι ( $CO$  και  $BC$ ), παρουσιάζουν ένα ημερήσιο μοτίβο κατά τη διάρκεια της νύχτας επιβεβαιώνοντας έτσι ότι η καύση ξύλων είναι η κύρια πηγή τους. Επίσης παρουσιάστηκε ένα μέγιστο στις πρωινές ώρες των ημερήσιων συγκεντρώσεων των προαναφερόμενων ρύπων, γεγονός που υποδεικνύει ότι υπάρχει συσχέτιση με την ώρα αιχμής της κυκλοφορίας (Kalogridis et al., 2018).

Μεγαλύτερες τιμές για τους πρωτογενείς ρύπους CO και NO παρουσιάζονται γενικά το πρωί (8-10) και το βράδυ (9-11). Το SO<sub>2</sub>, εξαιτίας των πολύ μικρών επιπέδων συγκεντρώσεων, δεν παρουσιάζει την εικόνα των προηγούμενων πρωτογενών ρύπων. Το διοξείδιο του αζώτου NO<sub>2</sub>, εμφανίζει τις μέγιστες τιμές τις πρωινές ώρες (10-12), δηλαδή παρουσιάζει κάποια χρονική υστέρηση σε σχέση με το NO που είναι απαραίτητη για το σχηματισμό του, ενώ εμφανίζεται και ένα δευτερογενές νυχτερινό μέγιστο (Υ.Π.Ε.Κ.Α, Β, 2020).

## 2.4) Ενημέρωση των πολιτών για τη ποιότητα του αέρα

Ένα από τα σημαντικότερα σημεία στη παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα είναι η παρουσίαση των μετρήσεων και αποτελεσμάτων που κατέγραψαν οι σταθμοί μέτρησης. Η παρουσίαση λοιπόν, πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η παροχή της απαραίτητης πληροφορίας τόσο για τα θέματα ελέγχου όσο και για τα θέματα έρευνας. Το επόμενο εξίσου σημαντικό σημείο είναι η τηλεμεταφορά των δεδομένων η οποία πλέον διατίθεται από τους σταθμούς. Με τη δυνατότητα αυτή τα στοιχεία αποστέλλονται σε πραγματικό χρόνο στην εκάστοτε κεντρική μονάδα και είναι πλέον διαθέσιμα στους ερευνητές και επιστήμονες ώστε και αυτοί με την σειρά τους να τα επεξεργαστούν και να τα γνωστοποιήσουν στην ευρεία κοινότητα. Η ευαισθητοποίηση και η ενημέρωση των πολιτών για την ποιότητα του αέρα διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, η οποία συνιστά μείζον ζήτημα για τη δημόσια υγεία.

Πρόσφατα, το ενδιαφέρον των πολιτών για ζητήματα ποιότητας του αέρα έχει ενταθεί, και όλο ένα και περισσότερο αναζητούν τρόπους και μέσα για ενημερώνονται σχετικά με τη κατάσταση της ποιότητας του αέρα που επικρατεί στη περιοχή τους. Η εξέλιξη της τεχνολογίας και η συνεχής τάση του ανθρώπου να λαμβάνει πληροφορίες ακόμη και μέσω των «έξυπνων τηλεφώνων», οδήγησαν στην ανάπτυξη διάφορων ηλεκτρονικών πλατφόρμων. Ωστόσο υπάρχουν και οι συμβατικοί τρόποι ενημέρωσης, όπως τα ημερήσια δελτία ατμοσφαιρικής ρύπανσης και οι εκθέσεις. Οι ηλεκτρονικές αυτές πλατφόρμες δίνουν πληροφορίες για την ποιότητα του αέρα σε πραγματικό χρόνο και στο σημείο ενδιαφέροντος. Η ενημερωτική κάλυψη κυρίως των αστικών περιοχών που φιλοξενούν τους περισσότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους μπορούν να βοηθήσουν έναν κάτοικο της πόλης να εντοπίσει τις σχετικά λιγότερο μολυσμένες διαδρομές και σημεία (Gryech et al., 2020).

### 2.4.1) Δελτία ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο διαδίκτυο







Στην Ελλάδα και συγκεκριμένα για το νομό Αττικής, με στόχο την ενημέρωση του κοινού σε τρέχοντα χρόνο και την προστασία της υγείας ευαίσθητων πληθυσμιακών ομάδων ανακοινώνονται με συνεχή ροή τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Αυτό πραγματοποιείται μέσω διαδικτύου και της επίσημης ιστοσελίδας του Υπουργείου ΥΠΕΚΑ που είναι υπεύθυνο για την ενημέρωση των πολιτών. Ένα τυπικό δελτίο ενημέρωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχει τη μορφή όπως αυτή παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.13, (ΥΠΕΚΑ, Γ, 2020).

### 2.4.2) Ετήσιες Εκθέσεις για τον Ελλαδικό χώρο

Εκτός από την καθημερινή ενημέρωση μέσω διαδικτύου, κάθε ημερολογιακό έτος στο πλαίσιο της ενημέρωσης των πολιτών για την κατάσταση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, συντάσσονται ετήσιες και περιοδικές εκθέσεις. Οι εκθέσεις κάνουν μια εκτενέστερη και πιο λεπτομερή αναφορά για την υφιστάμενη κατάσταση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην προς μελέτη περιοχή. Τα όσα εμπεριέχονται σε μια έκθεση παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα 2.14.



## Σταθμοί Αττικής

	Σήμερα 24/04/2020 οι τιμές μέχρι τις 13:00 κυμάνθηκαν:	Χθες 23/04/2020 οι τιμές κυμάνθηκαν:
 <b>Όζον</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>από 5 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> στο σταθμό ΠΑΤΗΣΙΩΝ,</li> <li>μέχρι 99 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> στο σταθμό ΛΙΟΣΙΑ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>από 11 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> στο σταθμό ΠΑΤΗΣΙΩΝ,</li> <li>μέχρι 104 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> στο σταθμό ΘΡΑΚΟΜΑΚΕΔΟΝΕΣ</li> </ul>
	Όρια : ενημέρωσης κοινού 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -- συναγερμού 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Οι μετρήσεις γίνονται σε ωριαία βάση	
 <b>Διοξείδιο του Αζώτου</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>από 2 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> στο σταθμό ΝΕΑ ΣΜΥΡΝΗ,</li> <li>μέχρι 84 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> στο σταθμό ΠΑΤΗΣΙΩΝ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>από 1 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> στο σταθμό ΚΟΡΩΠΙ,</li> <li>μέχρι 83 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> στο σταθμό ΠΑΤΗΣΙΩΝ</li> </ul>
	Όριο συναγερμού 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Οι μετρήσεις γίνονται σε ωριαία βάση	
 <b>Διοξείδιο του Θείου</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>από 2 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> στο σταθμό ΠΑΤΗΣΙΩΝ,</li> <li>μέχρι 8 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> στο σταθμό ΠΕΙΡΑΙΑΣ-1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>από 2 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> στο σταθμό ΠΑΤΗΣΙΩΝ,</li> <li>μέχρι 7 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> στο σταθμό ΠΕΙΡΑΙΑΣ-1</li> </ul>
	Όριο συναγερμού 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Οι μετρήσεις γίνονται σε ωριαία βάση	
 <b>Διοξείδιο του Θείου</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>από 2 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> στο σταθμό ΠΑΤΗΣΙΩΝ,</li> <li>μέχρι 4 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> στο σταθμό ΠΕΙΡΑΙΑΣ-1</li> </ul>
	Οριακή τιμή 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (να μην υπερβαίνεται περισσότερες από 3 φορές το έτος) Οι τιμές είναι σε 24ωρη βάση.	
 <b>Μονοξείδιο του Άνθρακα</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>από 0.1 <math>\text{mg}/\text{m}^3</math> στο σταθμό ΑΘΗΝΑΣ,</li> <li>μέχρι 0.9 <math>\text{mg}/\text{m}^3</math> στο σταθμό ΓΕΩΠΟΝΙΚΗ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>από 0.1 <math>\text{mg}/\text{m}^3</math> στο σταθμό ΠΑΤΗΣΙΩΝ,</li> <li>μέχρι 0.8 <math>\text{mg}/\text{m}^3</math> στο σταθμό ΓΕΩΠΟΝΙΚΗ</li> </ul>
	Δεν έχει θεσπιστεί όριο συναγερμού, Οριακή τιμή 10 $\text{mg}/\text{m}^3$ . Οι τιμές είναι σε 8ωρη βάση	
 <b>Αποσπώμενα Σωματίδια</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>από 13 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> στο σταθμό ΛΥΚΟΒΡΥΣΗ,</li> <li>μέχρι 22 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> στο σταθμό ΠΕΙΡΑΙΑΣ-1</li> </ul>
	Δεν έχει θεσπισθεί όριο συναγερμού -- Οριακή τιμή 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ να μην υπερβαίνεται περισσότερες από 35 φορές το έτος Οι μετρήσεις γίνονται σε 24ωρη βάση	

Εικόνα 2.13: Ημερήσιο δελτίο (24/04/2020) ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΥΠΕΚΑ

### 2.4.3) Χαρτογράφηση ατμοσφαιρικής ρύπανσης

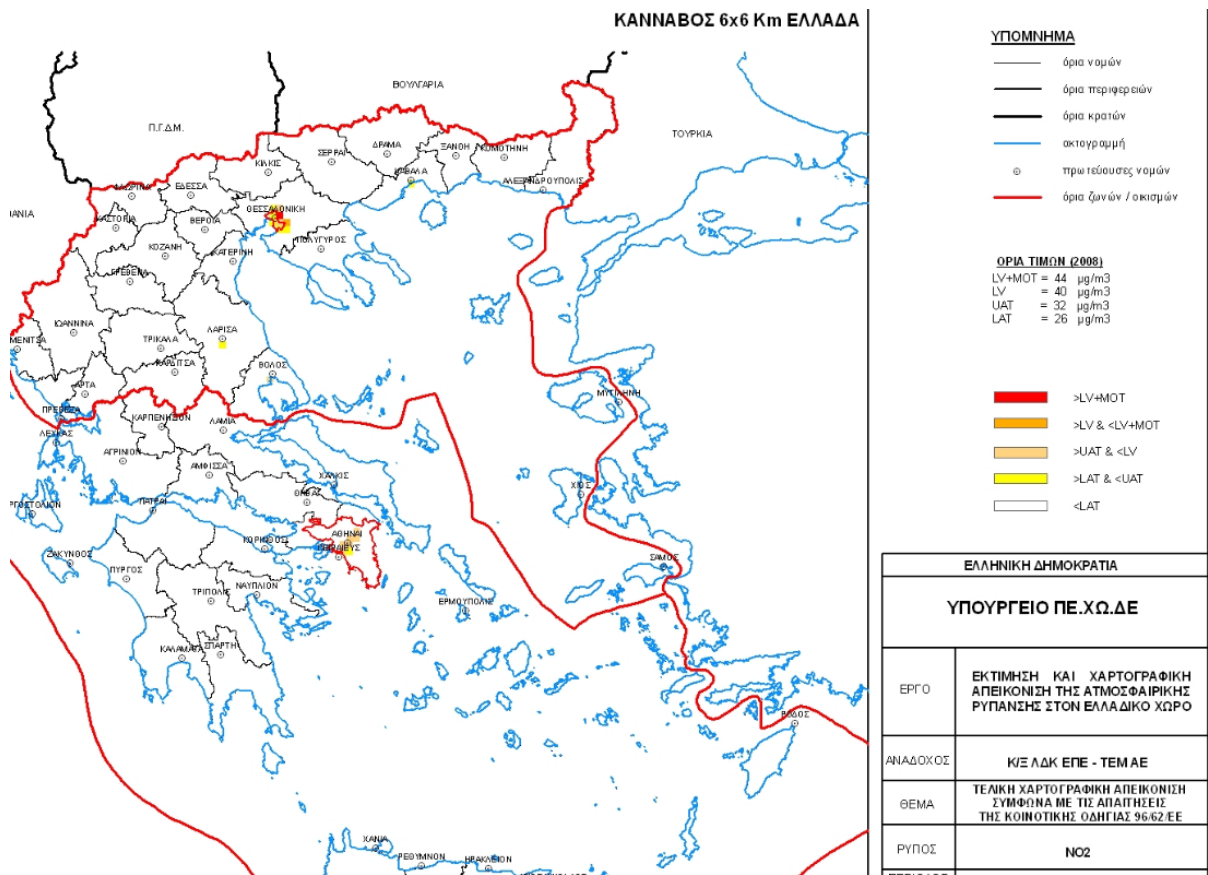
Η χαρτογραφική απεικόνιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στον ελλαδικό χώρο αποτελεί ένα εργαλείο για τη βελτίωση της παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα. Η παρακάτω εικόνα δείχνει στην ανάλογη κλίμακα την κατάσταση της ποιότητας του αέρα με χρώματα. Στο υπόμνημα γίνεται αντιστοίχιση του κάθε χρώματος με την τιμή συγκέντρωσης. Για τον κάθε ρύπο υπάρχει ξεχωριστός χάρτης.

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>4</b>
<b>1. ΔΙΚΤΥΟ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ, ΠΟΥ ΤΗΝ ΕΥΘΥΝΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΕΧΕΙ ΤΟ ΥΠΕΝ.....</b>	<b>6</b>
1.1 Σταθμοί μέτρησης.....	6
1.2 Μετρούμενοι ρύποι.....	8
1.3 Βαθμονόμηση αυτομάτων αναλυτών στους σταθμούς.....	8
1.4 Εθνικό Εργαστήριο Αναφοράς για την Ποιότητα της Ατμόσφαιρας.....	9
1.5 Συμμετοχή της Ελλάδας στη διεργαστηριακή άσκηση των εθνικών εργαστηρίων αναφοράς της ΕΕ.....	10
<b>2. ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΩΝ ΡΥΠΩΝ .....</b>	<b>12</b>
2.1 Διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων .....	12
2.2 Μηνιαία μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων.....	20
2.3 Ημερήσια μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων .....	25
2.4 Ωριαία μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων .....	26
<b>3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗ.....</b>	<b>31</b>
<b>4. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ.....</b>	<b>37</b>
4.1 Αντιμετώπιση επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	37
<b>5. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΜΕ ΟΡΙΑ .....</b>	<b>39</b>
5.1 Σωματίδια (ΑΣ <sub>10</sub> ).....	39
5.2 Σωματίδια (ΑΣ <sub>2,5</sub> ).....	40
5.3 Διοξείδιο του θείου.....	40
5.4 Διοξείδιο του αζώτου.....	41
5.5 Όζον.....	41
5.6 Μονοξείδιο του άνθρακα.....	42
5.7 Βενζόλιο.....	42
<b>6. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ .....</b>	<b>43</b>

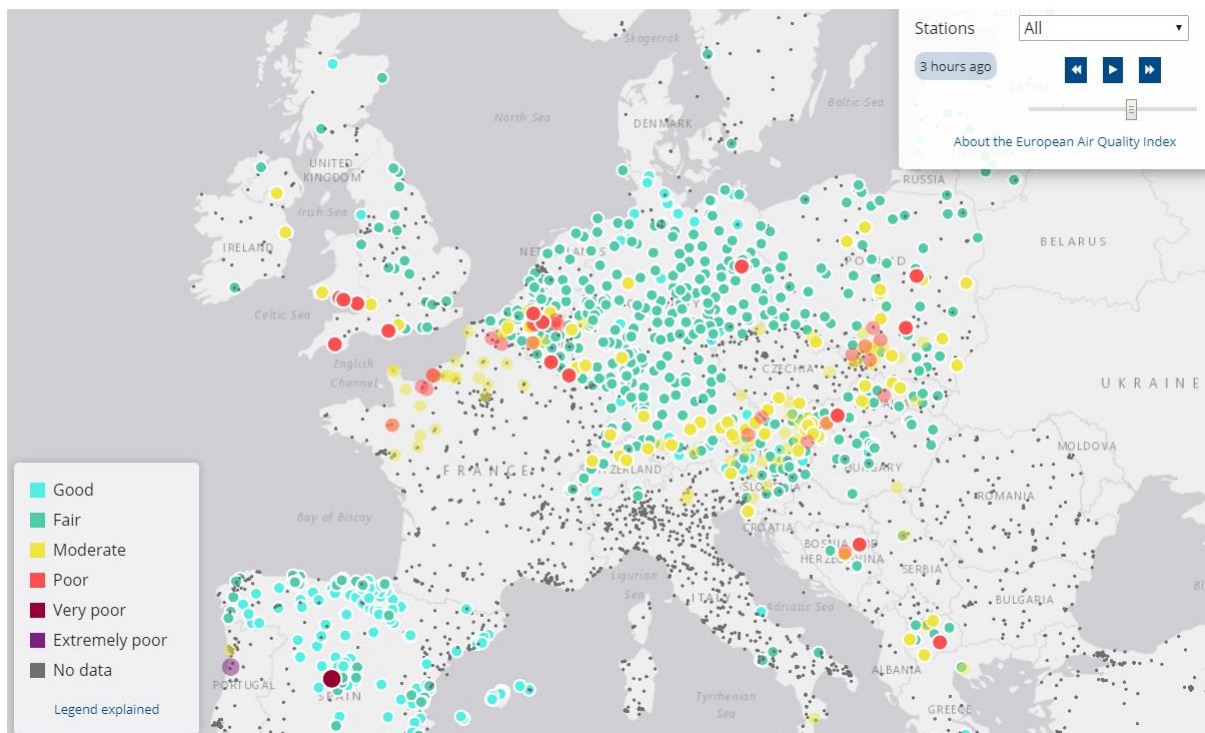
**Εικόνα 2.14:** Τυπικά περιεχόμενα ετήσιας έκθεσης του 2018 από το ΥΠΕΚΑ

#### 2.4.4) Εμφάνιση του ευρωπαϊκού δείκτη ρύπανσης επάνω σε διαδραστικό χάρτη

Από το 2017 και έπειτα, η νέα ηλεκτρονική υπηρεσία του ΕΟΠ και της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, παρέχει πληροφορίες για την τρέχουσα κατάσταση της ποιότητας του αέρα βάσει μετρήσεων που πραγματοποιούνται σε περισσότερους από 2.000 σταθμούς παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα ανά την Ευρώπη. Ο δείκτης αποτελείται από ένα διαδραστικό χάρτη στον οποίο εμφανίζεται η κατά τόπους κατάσταση της ποιότητας του αέρα σε επίπεδο σταθμού, με βάση τις μετρήσεις πέντε βασικών ρύπων (ΑΣ<sub>2,5</sub>, ΑΣ<sub>10</sub>, Ο<sub>3</sub>, ΝΟ<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>), που βλάπτουν την υγεία των ανθρώπων και του περιβάλλοντος. Οι χρήστες μπορούν να μεγεθύνουν ή να αναζητήσουν οποιαδήποτε πόλη ή περιφέρεια της Ευρώπης και να ελέγξουν τη συνολική ποιότητα του αέρα και τις μετρήσεις ανά βασικό ρύπο. Ο δείκτης εμφανίζει τη συνολική βαθμολογία για κάθε σταθμό παρακολούθησης, ο οποίος επισημαίνεται στο χάρτη με μια χρωματιστή κουκκίδα που αντιπροσωπεύει τη χειρότερη βαθμολογία για οποιονδήποτε από τους πέντε ρύπους (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2020).



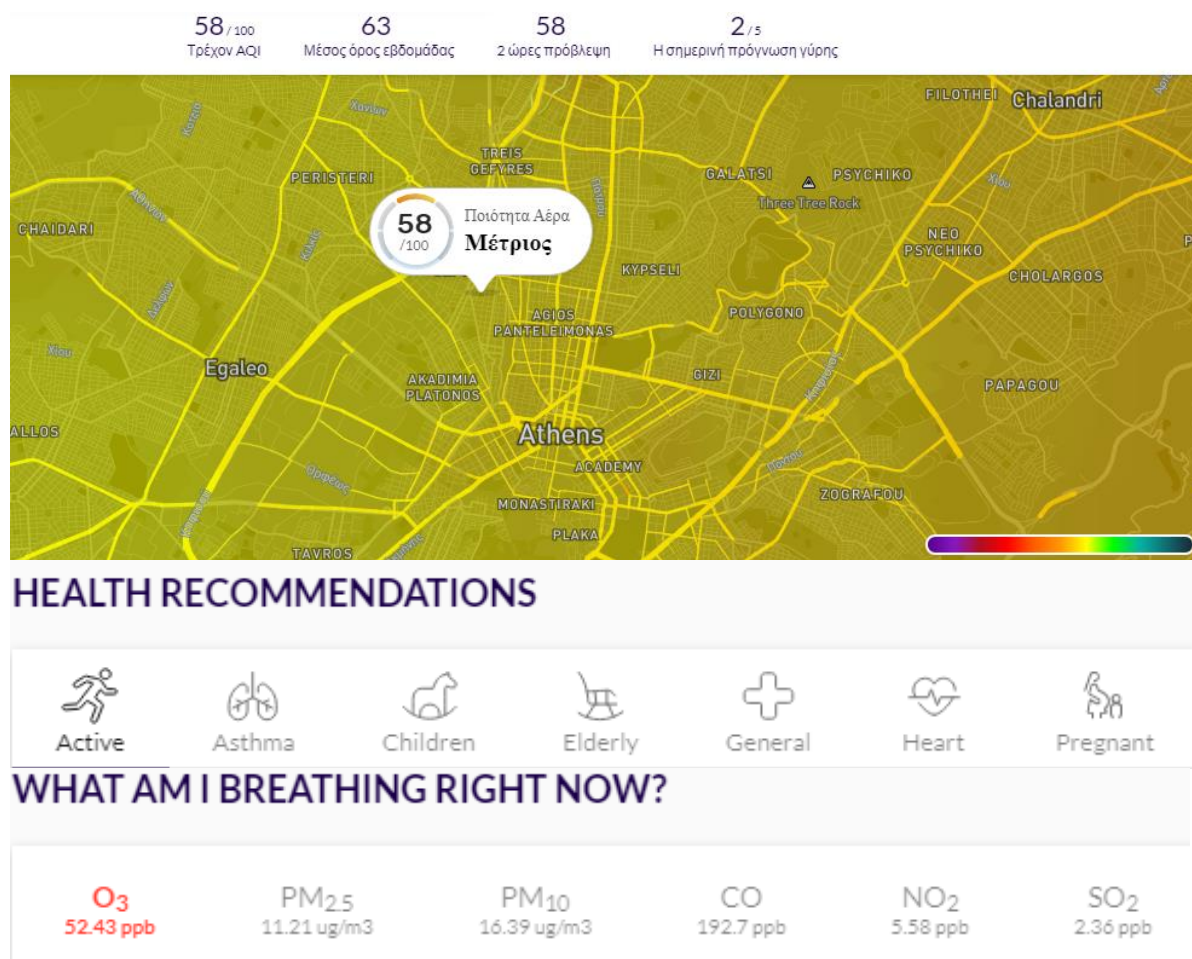
**Εικόνα 2.15:** Χάρτης ατμοσφαιρικής ρύπανσης (24/04/2020) του Υ.Π.Ε.Κ.Α (Πηγή:Υ.Π.Ε.Κ.Α, Ε, 2020)



**Εικόνα 2.16:** Δια δραστήιος χάρτης με ισοδύναμες τιμές των συγκεντρώσεων μέσω του ευρωπαϊκού δείκτη (24/04/2020) (Πηγή:[http://airindex.eea.europa.eu/#\\_blank](http://airindex.eea.europa.eu/#_blank))

## 2.4.5) Ηλεκτρονικές πλατφόρμες ενημέρωσης

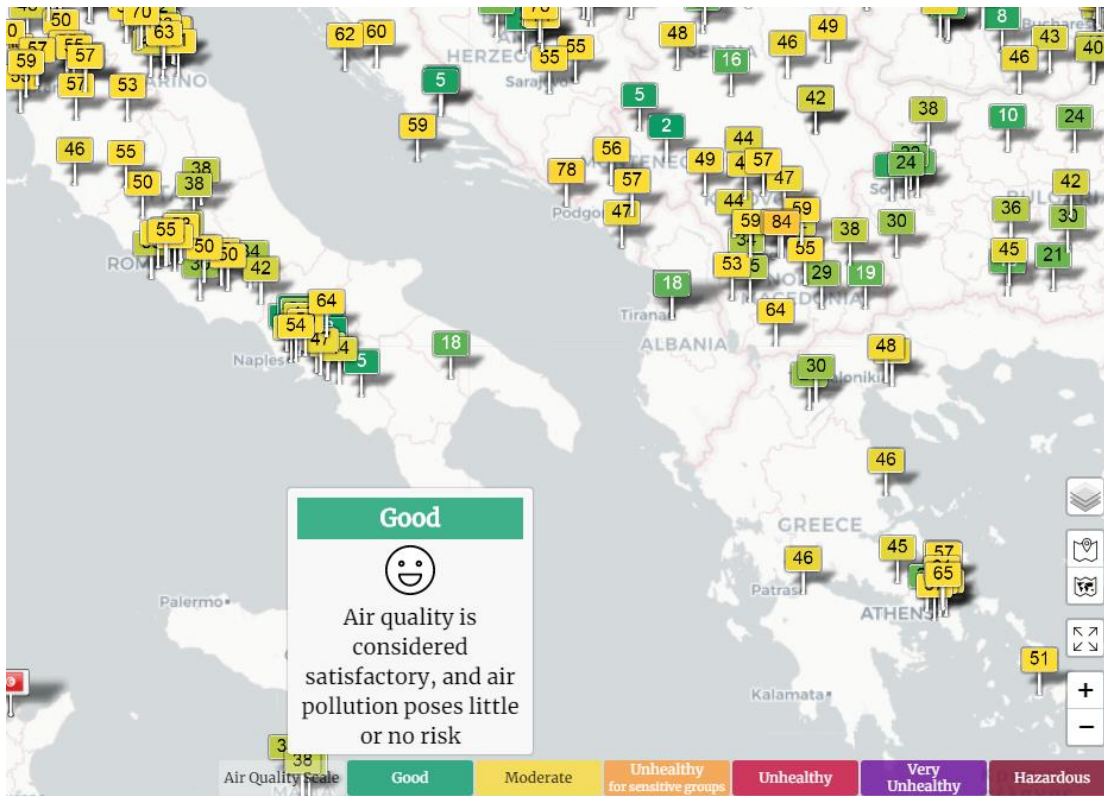
Πολλές ιδιωτικές εταιρίες παρέχουν πληροφορίες για την κατάσταση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, στην στιγμή και στο σημείο όπου βρίσκεσαι .Αυτή η ενημέρωση πραγματοποιείται είτε από τον προσωπικό ηλεκτρονικό υπολογιστή είτε από το smartphone σε μορφή εφαρμογής . Στη παρακάτω εικόνα βλέπουμε τον δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης και τον χαρακτηρισμό της ποιότητας αέρα μέσω αυτού. Επιπλέον περνούμε πληροφορίες για τον ρύπο που εισπνέουμε περισσότερο και έτσι οι ευπαθείς ομάδες γνωρίζουν που δεν θα πρέπει να βρίσκονται έτσι ώστε να μην εκτεθούν.



**Εικόνα 2.17:** Χαρτογράφηση ποιότητας αέρα (24/04/2020) από το breezometer (Πηγή:<https://breezometer.com/air-quality-map/>)

Η ίδια φιλοσοφία ακολουθείται και από άλλα site σε παγκόσμιο επίπεδο . Τέτοια είναι τα :

- <https://www.airvisual.com/greece>
- [https://air-quality.com/country/greece/b1757cf9?lang=en&standard=aqi\\_us](https://air-quality.com/country/greece/b1757cf9?lang=en&standard=aqi_us)
- <https://air.plumelabs.com/air-quality-in-athens-16M3>
- <https://waqi.info/>



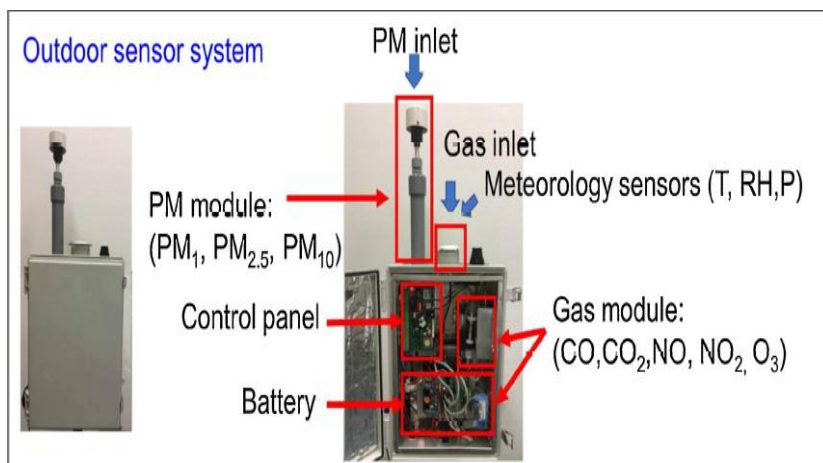
Εικόνα 2.18 : Χαρτης τιμών AQI (24/04/2020) σε παγκόσμια κλίμακα, (Πηγή:<https://waqi.info/>)

#### 2.4.6) Σύστημα PRAISE-HK

Αυτό το σύστημα είναι ένα εξατομικευμένο σύστημα πληροφορικής για την ποιότητα του αέρα σε πραγματικό χρόνο (PRAISE-HK, <http://praise.ust.hk/>). Ενσωματώνεται σε μια διαδραστική εφαρμογή για κινητά. Το PRAISE-HK βασίζεται σε δεδομένα πραγματικού χρόνου σχετικά με τις εκπομπές, την υψηλή αστική μορφολογία, τη μετεωρολογία, τις φυσικές και χημικές διεργασίες που επηρεάζουν τη μεταφορά και το μετασχηματισμό των ρύπων (Che et al., 2020).



Εικόνα 2.19: Εξοπλισμός εξωτερικής παρακολούθησης της ποιότητας αέρα (Che et al., 2020)



**Εικόνα 2.20:** Εσωτερικό μέρος της συσκευής παρακολούθησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Πηγή: Che et al., 2020)

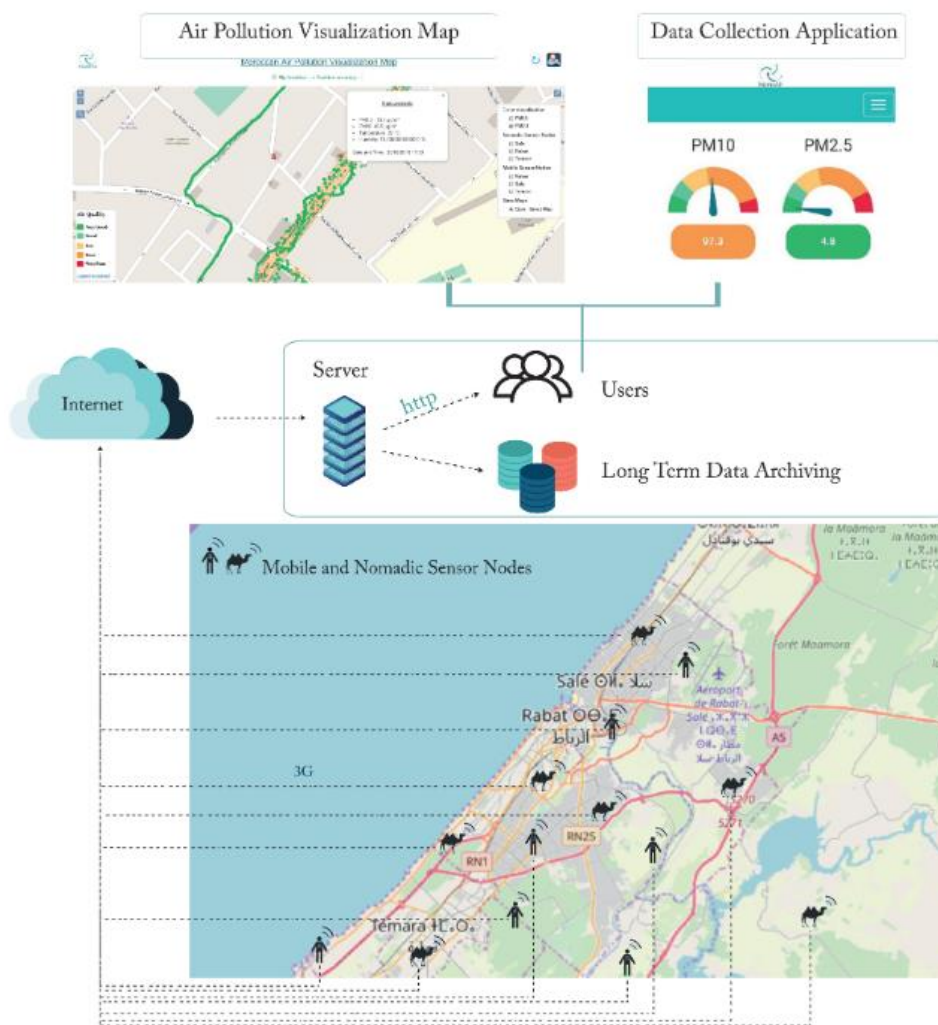


**Εικόνα 2.21:** Οδικός χάρτης ποιότητας αέρα (Πηγή: Che et al., 2020)

### 2.4.7) Εφαρμογές «crowdsensing»

Αρκετό ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι εφαρμογές «crowdsensing», δηλαδή όταν οι ίδιοι οι κάτοικοι της πόλης «μετρούν» συγκεντρώσεις ρύπων. Με αυτή τη μέθοδο επεκτείνονται τα δεδομένα τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο. Επομένως η πληροφορία είναι πιο άμεση και πιο κατανοητή από τους κατοίκους. Το MoreAir είναι ένα σύστημα παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με χαμηλό κόστος και ευκίνητο που επινοήθηκε για τις ανάγκες του Μαρόκο. Στο Μαρόκο η οδική κυκλοφορία έχει μικρότερο αντίκτυπο στις συγκεντρώσεις σωματιδίων (PM) σε σχέση με άλλες πηγές, όπως δημόσια λουτρά, δημόσιοι φούρνοι, υπαίθριες αγορές τροφίμων στο δρόμο κλπ (Gryech et al., 2020).

Τα δεδομένα των μετρήσεων μεταφέρονται μέσω ενός gateway στη βάση δεδομένων ενός server και από εκεί σε μια web πλατφόρμα και σε ένα αποθηκευτικό χώρο για μελλοντική επεξεργασία και αξιοποίηση (Carranco et al., 2017).



Εικόνα 2.22: Αρχιτεκτονική της πλατφόρμας (Gryech et al., 2020)

## Κεφάλαιο 3

### 3.1) Ανάπτυξη και εφαρμογή των αισθητήρων χαμηλού κόστους

Η αύξηση του πληθυσμού στις πόλεις σε συνδυασμό με τη έντονη κυκλοφορία των οχημάτων έχουν οξύνει το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις πόλεις και έχουν ωθήσει τη επιστημονική κοινότητα στο να βρει λύσεις για την διαχείριση και τον μετριασμό της.

Μέχρι το 2014 η καταγραφή της αέριας ρύπανσης πραγματοποιούταν μέσω των σταθερών σταθμών παρακολούθησης. Το δίκτυο σταθμών παρακολούθησης διαχειρίζονται μόνο οι ερευνητικοί και οι κρατικοί φορείς. Οι σταθμοί αυτοί είναι εξοπλισμένοι με εξειδικευμένα όργανα (αναλυτές) για τη μέτρηση ρύπων όπως μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>), διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), όζον (O<sub>3</sub>) και σωματίδια (PM). Η αξιοπιστία των δεδομένων διασφαλίζεται με την βαθμονόμηση των οργάνων και με τη μετεπεξεργασία τους. Οι αναλυτές αυτοί είναι περίπλοκοι, ογκώδεις και ακριβοί, με κάθε όργανο να κοστίζει περίπου 5500 έως 10.000 ευρώ μαζί με σημαντικό αριθμό πόρων που απαιτούνται για τη συνήθη συντήρηση και βαθμονόμησή τους. Τυπικά, όλες η κανονιστικές αποφάσεις για τη διαχείριση της ρύπανσης λαμβάνονται με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα χρονοσειρών μεγάλης διάρκειας, τα οποία επιτρέπουν τη δημιουργία χρονικών τάσεων και στατιστικών.

Επίσης, πολλές πόλεις παγκοσμίως, έχουν θέσει σε εφαρμογή κινητά εργαστήρια για τη συλλογή δεδομένων με σκοπό την λεπτομερέστερη πληροφορία για την ποιότητα του αέρα. Κάτι τέτοιο είναι αναγκαίο για τη καταγραφή της υψηλής χωρικής και χρονικής μεταβλητότητας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης εντός των αστικών κέντρων όμως και αυτό είναι κοστοβόρο. Γενικώς υπάρχει μια παγκόσμια τάση για αύξηση των δεδομένων της ποιότητας αέρα πέρα από του συμβατικούς σταθμούς παρακολούθησης μολονότι η νομοθεσία για τη ρύθμιση της λειτουργίας τους δεν έχει ακόμα τεθεί σε ισχύ.

Φαίνεται λοιπόν πως η απαίτηση για πιο οικονομικά και εύχρηστα συστήματα καταγραφής της χρονικής και χωρικής συγκέντρωσης των ρύπων αυξάνεται. Επίσης αυξάνεται η ανάγκη για ενημέρωση των πολιτών σχετικά με τη ποιότητα του αέρα στη περιοχή τους. Όλα αυτά σε συνδυασμό με τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την αξιολόγηση και διαχείριση της ποιότητας του αέρα, ωθούν στην κατεύθυνση πηρός μια ευκρινέστερη καταγραφή της αέριας ρύπανσης. Οι συσκευές χαμηλού κόστους (100 έως 5000 δολάρια), μπορούν να δημιουργήσουν μια νέα δυναμική στη παρακολούθηση της αέριας ρύπανσης (Ταπεινός, 2019).

Παράλληλα η προηγμένη υπολογιστική και τηλεπικοινωνιακή ισχύς έχει συμβάλει δραματικά στην ανάπτυξη των συσκευών χαμηλού κόστους αφού η διαχείριση των δεδομένων και η οπτικοποίηση τους (π.χ. σε χάρτες) καθίσταται πλέον δυνατή και απλή. Ωστόσο, παραμένουν κάποιες ανησυχίες και ενστάσεις που σχετίζονται με την ανίχνευση χαμηλού κόστους.

#### 3.1.1) Ηλεκτροχημικοί αισθητήρες χαμηλού κόστους

Γενικότερα, οι συσκευές χαμηλού κόστους αποτελούνται από αισθητήρες οι οποίοι σε συνδυασμό με μικροεπεξεργαστές που ελέγχουν τη συσκευή μετατρέπουν το σήμα των αισθητήρων σε μια έξοδο που δίνει στο χρήστη τη πληροφορία για τους ρύπους που υπάρχουν στον περιβάλλοντα αέρα. Οι αισθητήρες λειτουργούν με διαφορετικές αρχές λειτουργίας και παρουσιάζουν εύρος ευαισθησίας και χρόνους απόκρισης. Πιο συγκεκριμένα, οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται ευρέως σε φορητές συσκευές ανίχνευσης αερίων ρύπων. Μπορούν να μετρήσουν τη συγκέντρωση ενός αερίου βασιζόμενοι στην ικανότητα των μορίων του αερίου στόχου να οξειδώνονται ή να μειώνονται

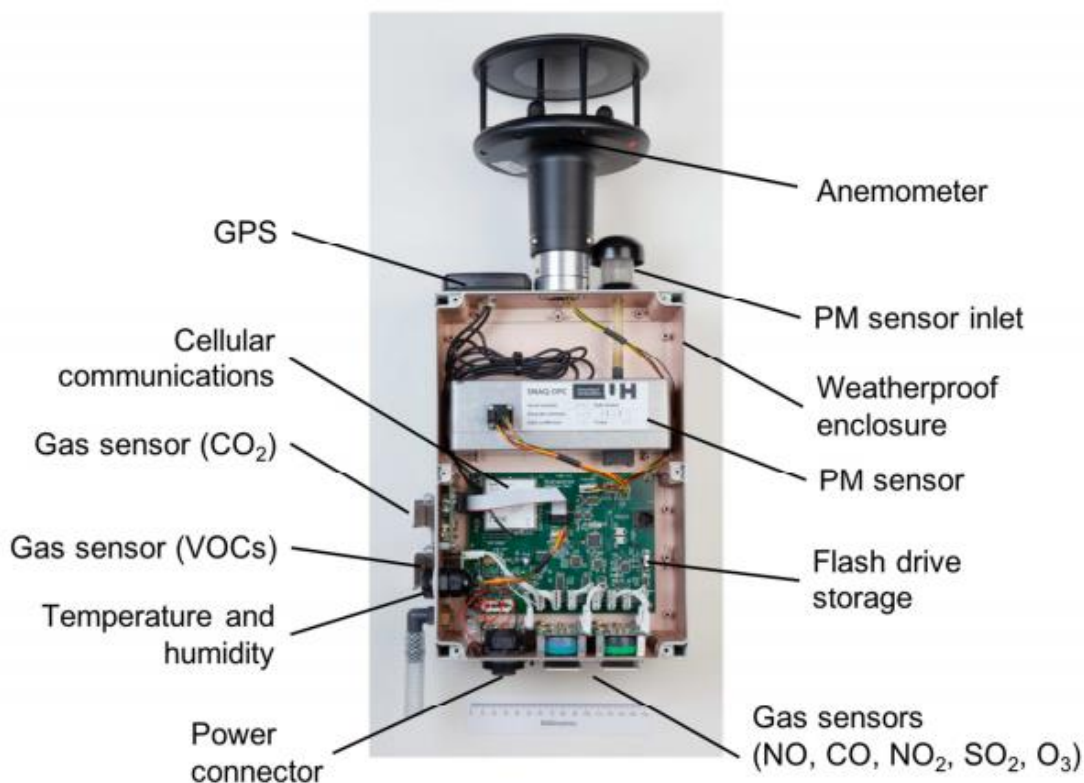


στην επιφάνεια ενός ηλεκτροδίου. Αυτή η αντίδραση δημιουργεί ένα μικρό ηλεκτρικό ρεύμα που μπορεί να ανιχνευθεί και να μετρηθεί (Ταπεινός, 2019),,

Ας σημειώσουμε επιπλέον ότι η διαδικασία βαθμονόμησης των αισθητήρων αερίου πραγματοποιείται σε δύο βήματα. Το πρώτο βήμα είναι ο μηδενικός έλεγχος δηλαδή ο καθορισμός της απόκρισης του αισθητήρα όταν η συγκέντρωση του προς μέτρηση αερίου είναι μηδέν. Το δεύτερο βήμα είναι ο έλεγχος span ο οποίος καθορίζει την απόκριση του αισθητήρα όταν εκτίθεται στο αέριο γνωστής συγκέντρωσης (Kumar et al., 2015).

Οι συσκευές αισθητήρων χαμηλού κόστους περιέχουν έναν αριθμό κοινών συστατικών εκτός από το βασικό αισθητήριο στοιχείο που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση. Τα πρόσθετα συστατικά μέσα σε ένα σύστημα αισθητήρων μπορεί να περιλαμβάνουν υλικό για ενίσχυση σήματος, για επεξεργασία και μετατροπή σήματος (αναλογικό σε ψηφιακό), για τον χειρισμό τάσης και ισχύος, καθώς επίσης περιέχουν μπαταρία και στοιχεία λογισμικού για την επεξεργασία, αποθήκευση δεδομένων και την τηλεμεταφορά τους (π.χ. μέσω WiFi). Επίσης πολλά από τα εμπορικά συστήματα αισθητήρων συνδυάζουν πολλούς αισθητήρες ατμοσφαιρικών ρύπων σε ένα σύστημα και ταυτόχρονα περιλαμβάνουν αισθητήρες παραμέτρων όπως υγρασία ή θερμοκρασία. Η δειγματοληψία συμβαίνει είτε μέσω αντλίας (ενεργητική δειγματοληψία) είτε με παθητική είσοδο (παθητική δειγματοληψία).

Όλα τα παραπάνω στοιχεία εμπεριέχονται σε ένα στεγανό κάλυμμα για την προφύλαξη τους από τα καιρικά φαινόμενα. Συχνά στο προστατευτικό αυτό κάλυμμα είναι τοποθετημένη και μια συσκευή gps για την ακρίβεια θέσης του οργάνου (Lewis, 2018). Συνήθως η διάταξη μια συσκευής ανίχνευσης χαμηλού κόστους έχει την μορφή της εικόνας 3.1.



Εικόνα 3.1 : Συσκευή χαμηλού κόστους (Πηγή: Lewis, 2018)

### 3.1.2) Πλεονεκτήματα των αισθητήρων χαμηλού κόστους

Η πρόοδος στην υποδομή τη ασύρματης επικοινωνίας καθιστά αυτούς τους αισθητήρες ικανούς για τη καταγραφή δεδομένων υψηλής χωρικής ανάλυσης σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Επιπλέον σε αντίθεση με τα συμβατικά, ογκώδη και δαπανηρά αναλυτικά όργανα, αυτές οι συσκευές ανίχνευσης χαμηλού κόστους είναι γενικά συμπαγείς και έχουν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Επίσης οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες, παρουσιάζουν γραμμική απόκριση και μεγάλη ακρίβεια στη μέτρηση συγκεντρώσεων σε μέρη το εκατομμύριο ppm εάν είναι προσεκτικά βαθμονομημένοι (Oletic and Bilas, 2015). Όλα τα προηγούμενα σε συνδυασμό με την προηγμένη υπολογιστική ισχύ για το χειρισμό δεδομένων και την ευρεία επιλογή των πακέτων λογισμικού για την οπτικοποίηση τους, έχουν κάνει την ανάπτυξη και την εξέλιξη των αισθητήρων ακόμα πιο συναρπαστική (Kumar et al., 2015).

### 3.1.3) Μειονεκτήματα των αισθητήρων χαμηλού κόστους

Τα μειονεκτήματα και τα αδύνατα σημεία των αισθητήρων είναι αρκετά, αλλά με τις κατάλληλες βαθμονομήσεις και διορθώσεις των μετρούμενων τιμών μπορούμε να επιτύχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα (Tian, 2019). Μολονότι στα εργαστηριακά περιβάλλοντα οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες χαμηλού κόστους παρουσιάζουν μεγάλη συσχέτιση στις μετρούμενες τιμές γνωστών συγκεντρώσεων ρύπων, όταν μεταφερθούν στο πραγματικό εξωτερικό περιβάλλον η κατάσταση είναι διαφορετική. Αυτό συμβαίνει διότι κατά τη διάρκεια της ημέρας λαμβάνουν χώρα πάρα πολλές χημικές αντιδράσεις και μεταβολές στις μετεωρολογικές συνθήκες (Wei et al., 2018).

Ξεκινώντας να απαριθμήσουμε τα αδύναμα σημεία πρέπει να τονίσουμε αρχικά, ότι το προσδόκιμο ζωής ενός ηλεκτροχημικού αισθητήρα κυμαίνεται από 1 έως 3 χρόνια. Αυτό βέβαια, μπορεί να είναι και παραπάνω αναλόγως με το αέριο το οποίο ανιχνεύουν και τις συνθήκες του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο λειτουργούν (θερμοκρασία, πίεση και υγρασία). Η υψηλές θερμοκρασίες και οι ξηρασίες μειώνουν περεταίρω το χρόνο ζωής τους (Oletic and Bilas, 2015). Δυστυχώς, οι αισθητήρες χαμηλού κόστους είναι λιγότερο ακριβής από τον συμβατικό εξοπλισμό (αναλυτές).

Επιπλέον, οι χαμηλού κόστους ηλεκτροχημικοί αισθητήρες τείνουν να έχουν διασταυρούμενη ευαισθησία με άλλους περιβαλλοντικούς ρύπους όπως NOx και VOCs. Όσο αφορά το σήμα που στέλνεται από τον αισθητήρα, στις υψηλές συγκεντρώσεις το σήμα από τον ατμοσφαιρικό ρύπο μπορεί να είναι ισχυρό, αλλά όταν τα επίπεδα ρύπανσης στον αέρα είναι χαμηλά τότε το σήμα είναι ασθενέστερο (Kumar et al., 2015). Ωστόσο, σε ορισμένες καταστάσεις, η αβεβαιότητα μέτρησης αυτών των συσκευών μπορεί να προσεγγίζει το επίπεδο της "επίσημης" μέτρησης.

Επίσης, είναι γνωστό ότι η σταθερότητα και ακρίβεια των ηλεκτροχημικών αισθητήρων χαμηλού κόστους αερίων υποβαθμίζεται με το πέρασμα του καιρού (Pang, 2018). Οι καιρικές συνθήκες και ιδιαίτερα η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία επηρεάζουν σε σχετικά μεγάλο βαθμό την απόδοση των ηλεκτροχημικών αισθητήρων. Πιο συγκεκριμένα με δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στους ηλεκτροχημικούς αισθητήρες (Alphasense B4 series) για τους ρύπους CO, NO, NO<sub>2</sub> και O<sub>3</sub>, σε εργαστηριακό περιβάλλον, τα αποτελέσματα έδειξαν πως ειδικότερα το NO παρουσιάζει ισχυρή γραμμική συσχέτιση με την θερμοκρασία και την σχετική υγρασία (Wei et al., 2018).

Παράλληλα, μια παρόμοια έρευνα για την απόδοση των αισθητήρων O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, και CO, έδειξε ότι εκείνοι οι αισθητήρες παρουσιάζουν θετική γραμμική εξάρτηση με το μέγεθος της σχετικής υγρασίας (Pang, 2018). Ακόμη μια μελέτη σχετική με αισθητήρες χαμηλού κόστους, Alphasense (OX-B431 και NO2-B43F) που πραγματοποιήθηκε σε εξωτερικό περιβάλλον, απέδειξε ότι η ένταση του ανέμου επηρεάζει σημαντικά την ακρίβειά των αισθητήρων. Αξίζει να σημειώσουμε εδώ ότι για να

αντιμετωπιστεί η επίδραση των καιρικών συνθηκών στους αισθητήρες χαμηλού κόστους, είναι σημαντικό να προσαρμόσουμε μια διαδικασία βαθμονόμησης κοντά σε ένα πρότυπο όργανο με σύγκριση αποτελεσμάτων σε πραγματικό χρόνο (Tian, 2019).

### 3.1.4) Η ανάγκη χρήσης των συσκευών χαμηλού κόστους

Η ποιότητα του αέρα στα αστικά κέντρα αποτελεί επί του παρόντος παγκόσμιο πρόβλημα, το οποίο μπορεί να αποδοθεί στην αύξηση του πληθυσμού, με τις επακόλουθες αυξήσεις στην κυκλοφορία, τη βιομηχανοποίηση και τη χρήση ενέργειας. Δυστυχώς οι τεχνολογικές βελτιώσεις στους κινητήρες χαμηλών εκπομπών έχουν αντισταθμιστεί από την εκθετική αύξηση του αριθμού των οχημάτων. Κατά συνέπεια, λόγω της πυκνής κυκλοφορίας η ατμοσφαιρική ρύπανση αρχίζει να αυξάνεται έχοντας αρνητικές επιπτώσεις σε τοπική, περιφερειακή και παγκόσμια κλίμακα, με σημαντικότερες επιπτώσεις στην υγεία.

Σύμφωνα με την έρευνα των (Britter and Hanna, 2002), η συγκέντρωση ρύπων σε ένα συγκεκριμένο μέρος εξαρτάται κυρίως από τοπικές πηγές εκπομπών και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Η ροή αέριας μάζας η οποία είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά και διάχυση των ρύπων σε αστικά περιβάλλοντα είναι συνήθως ταραχώδης και δύσκολη στη πρόβλεψη χωρίς τα περίπλοκα αριθμητικά εργαλεία μοντελοποίησης. Επιπλέον βασικές και χρήσιμες πληροφορίες όπως οι χάρτες υψηλής ανάλυσης (<1 m) που απεικονίζουν την συγκέντρωση ρύπων σε μεγάλες αστικές περιοχές δεν υπάρχουν προς το παρόν επειδή για τη κατασκευή τους, απαιτείται πληθώρα δεδομένων, ισχυρή υπολογιστική εγκατάσταση και λεπτομέρεια στην εισαγωγή παραμέτρων, που δεν είναι διαθέσιμα για πολλές πόλεις. Αυτή η πολυπλοκότητα σε συνδυασμό με την ανάγκη καταγραφής της αέριας ρύπανσης, δημιουργεί μια πρόκληση σχετικά με τη πραγματική έκθεση του ανθρώπου στους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Μία λύση για να προσεγγίσουμε πιο ακριβή δεδομένα της ποιότητας αέρα, σε περιοχές μικρής κλίμακας είναι η υιοθέτηση μεθόδων μέτρησης με αισθητήρες χαμηλού κόστους.

Παρόλο που αυτές οι μέθοδοι τείνουν να παράγουν χαμηλότερη ποιότητα δεδομένων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα σε μεγάλο αριθμό τοποθεσιών, επιτρέποντας την αξιολόγηση της έκθεσης σε υψηλή ανάλυση. Αξίζει παράλληλα να σημειωθεί ότι οι σταθεροί σταθμοί παρακολούθησης είναι συνήθως μακριά από τις άκρες του δρόμου και από τις περιοχές μεγάλης κυκλοφοριακής συμφόρησης, οι οποίες μπορούν να δημιουργήσουν μια τοπική αύξηση των εκπομπών και κατά συνέπεια των συγκεντρώσεων ρύπων. Όντας απλωμένοι αραιά, γύρω ή μέσα σε μια συγκεκριμένη πόλη, αυτοί οι σταθμοί μπορούν να παρέχουν λεπτομερή δεδομένα χρονοσειρών μεγάλης διάρκειας αλλά για περιορισμένες τοποθεσίες βάσει των σημείων δειγματοληψίας. Συχνά χρησιμοποιούνται προσεγγίσεις με μαθηματικά μοντέλα για να αντιμετωπιστεί αυτό το ζήτημα, αλλά αυτά μπορεί να φέρουν επιστημονικές αβεβαιότητες λόγω ανακριβειών στις συνθήκες εισαγωγής τους.

Τα δεδομένα από δίκτυα αισθητήρων χαμηλού κόστους θα μπορούσαν να παρέχουν ακριβέστερες συνθήκες εισαγωγής για τα μοντέλα που οδηγούν σε πιο αξιόπιστα συμπεράσματα σχετικά με τα επίπεδα ποιότητας του αέρα. Η εφαρμογή λειτουργείας των αισθητήρων χαμηλού κόστους σε σημαντικούς αριθμούς μπορεί επίσης να βοηθήσει στην ανίχνευση σημείων ρύπανσης, καθώς και να αξιολογήσει την έκθεση σε πραγματικό χρόνο έτσι ώστε να σχεδιαστούν στρατηγικές μετριασμού της ρύπανσης. Επιπροσθέτως, τα δεδομένα που συλλέγονται από αυτούς του αισθητήρες διαχειρίζονται, υποβάλλονται σε επεξεργασία και αναλύονται κεντρικά από την εκάστοτε υπηρεσία. Στη συνέχεια, διανέμονται οι προκύπτουσες πληροφορίες σε όλα τα ενδιαφερόμενα μέλη, συμπεριλαμβανομένου και του κοινού, μέσω των εφαρμογών του κινητού τηλεφώνου. Κάτι τέτοιο επιτρέπει στο ευρύ κοινό, να λαμβάνει έγκυρες πληροφορίες σχετικά με την υγεία του και να αποφεύγει τις περιοχές με τα υψηλά επίπεδα ρύπανσης (Kumar et al., 2015).

### 3.1.5) Προκλήσεις των συσκευών χαμηλού κόστους

Οι νέες τεχνολογικές εξελίξεις στην περιβαλλοντική ανίχνευση φέρνουν μαζί, όπως αναμενόταν, ορισμένες τεχνοοικονομικές προκλήσεις. Το πιο σημαντικό από αυτά είναι η αξιοπιστία των μετρούμενων δεδομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης, καθώς οι περισσότεροι αισθητήρες αέριων και σωματιδιακών ρύπων απαιτούν ανεξάρτητη αξιολόγηση κάτω από ένα εύρος περιβαλλοντικών συνθηκών. Άλλες προκλήσεις περιλαμβάνουν τη βελτίωση των αισθητήρων σχετικά με το χρόνο ζωής και λειτουργείας αυτών των συσκευών καθώς επίσης και με τη χρονική απόκριση τους κατά την αποστολή δεδομένων. Οι οικονομικές προκλήσεις περιλαμβάνουν τη μείωση του κόστους συντήρησης, αντικατάστασης μπαταρίας, βαθμονόμησης αλλά και διαχείρισης των δεδομένων.

Πολλές φορές το κόστος διαχείρισης ανάλυσης και οπτικοποίησης των δεδομένων υπερβαίνει το κόστος του ίδιου του συστήματος αισθητήρων. Μια ακόμη πρόκληση έχει να κάνει με την σταθερότητα και ευρωστία τους καθώς παρουσιάζουν ευαισθησία με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Επιπλέον, πρόκληση αποτελεί η ιδιοκτησία και η διάδοση των δεδομένων από τους καταναμημένους αισθητήρες ανίχνευσης ρύπων. Πιο συγκεκριμένα, οι μετρήσεις από τους καταναμημένους αισθητήρες μπορούν να μεταδοθούν σχεδόν σε πραγματικό χρόνο και να αποθηκεύονται σε βάσεις δεδομένων. Ταυτόχρονα παρέχονται διαδικτυακές πλατφόρμες οι οποίες είναι ένα εξαιρετικό μέσο για τη γρήγορη και ξεκάθαρη διάδοση της πληροφορίας. Όμως, κάτι τέτοιο πρέπει να αξιοποιηθεί αποτελεσματικά έτσι ώστε, η διάδοση των δεδομένων να ωφελήσει το κοινό και να βοηθήσει τις αρχές στη διαχείριση της ποιότητας του αέρα.

Με άλλα λόγια πρέπει να δημιουργηθούν κέντρα διαχείρισης δεδομένων, όπου τα δεδομένα θα αποθηκεύονται, θα επικυρώνονται, θα επεξεργάζονται και θα διανέμονται σε μορφή που είναι χρήσιμη και κατανοητή. Για παράδειγμα, δημιουργία οπτικών χωροχρονικών χαρτών αέριας ρύπανσης ή προβλέψεις συγκεντρώσεων και εκθέσεων που σχετίζονται με τα πρότυπα εκπομπών ρύπανσης και τις μετεωρολογικές προβλέψεις.

### 3.1.6) Διαδίκτυο των πραγμάτων και συσκευές χαμηλού κόστους

Στο σύγχρονο κόσμο η πληροφορία και το διαδίκτυο διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη ζωή μας. Επομένως ο συνδυασμός λειτουργίας του διαδικτύου και της πληροφορίας για την ποιότητα του αέρα θεωρείται ιδανικός. Πιο συγκεκριμένα με το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) είναι δυνατή η διασύνδεση υπολογιστικών συσκευών, μέσω του Διαδικτύου, οι οποίες είναι ενσωματωμένες σε καθημερινά αντικείμενα, που τους επιτρέπουν να στέλνουν και να λαμβάνουν δεδομένα. Οι πιθανές εφαρμογές του IoT είναι πολυάριθμες και διεισδύουν σε όλες σχεδόν τις περιοχές της καθημερινής ζωής των ατόμων, των επιχειρήσεων και της κοινωνίας στο σύνολό της. Το IoT μπορεί να καλύψει τομείς όπως μεταφορές, κτίρια, πόλεις, εργοστάσια, υγεία, και φυσικά περιβάλλον και ενέργεια. Η εγκατάσταση αυτού του συστήματος αισθητήρων χαμηλού κόστους με τη τεχνολογία IoT δίνει τη δυνατότητα να αποκτηθεί πληρέστερη εικόνα για την ποιότητα της ατμόσφαιρας στις πόλεις, επικουρώντας τις μετρήσεις από το υφιστάμενο δίκτυο παρακολούθησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης συμβάλλοντας έτσι στη δυνατότητα λήψης αποφάσεων προς μια βιώσιμη πόλη και στην καλύτερη πληροφόρηση του κοινού.

Πολλά ερευνητικά έργα (Oletic and Bilas, 2015),(Carranco et al., 2017), (Tian, 2019) για τη παρακολούθηση της αέριας ρύπανσης ή των μετεωρολογικών συνθηκών έχουν πραγματοποιηθεί με τη χρήση του διαδικτύου των πραγμάτων. Ωστόσο η υλοποίηση αυτής της σύνδεσης δεν είναι πάντα προφανής αλλά πλαισιώνεται από έναν οδηγό δικτύωσης ο οποίος περιγράφει κάποια μοντέλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται από τα έξυπνα αντικείμενα του IoT. Τα τέσσερα αυτά βασικά

μοντέλα επικοινωνίας παρουσιάζουν τις βασικές στρατηγικές σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται για να πραγματοποιείται η επικοινωνία με τις IoT συσκευές. Τα 4 αυτά μοντέλα επικοινωνίας είναι:

Device to Device : Η επικοινωνία Device to Device αντιπροσωπεύει δύο ή περισσότερες συσκευές, που συνδέονται άμεσα και επικοινωνούν μεταξύ τους, χωρίς ενδιάμεσο διακομιστή (server). Μπορούν να επικοινωνούν μέσω πολλών τύπων δικτύων, αλλά συνήθως χρησιμοποιούν Bluetooth ή Z-Wave

Device to Cloud: Η επικοινωνία Device to Cloud περιλαμβάνει μια συσκευή IoT που συνδέεται απευθείας με μια Internet cloud υπηρεσία η οποία επιτρέπει τόσο στο χρήστη όσο και στην εφαρμογή να αποκτήσει απομακρυσμένη πρόσβαση σε μια συσκευή.

Device to Gateway : Το μοντέλο Device to Gateway ουσιαστικά συνδέει μια συσκευή IoT, με τη βοήθεια μιας ενδιάμεσης συσκευής (Gateway), με μια cloud υπηρεσία

Back-End Sharing: Το μοντέλο Back-End Data-Sharing είναι μια αρχιτεκτονική επικοινωνίας, που επιτρέπει στους χρήστες να εξάγουν και να αναλύουν δεδομένα IoT συσκευών από μια cloud υπηρεσία σε συνδυασμό με δεδομένα από άλλες πηγές.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης συσκευών IoT είναι ότι οι χρήστες και οι πάροχοι υπηρεσιών μπορούν να διαχειρίζονται με απλούστερο τρόπο τα συγκεντρωμένα δεδομένα, τις αναλύσεις μεγάλων δεδομένων, την οπτικοποίηση και τις τεχνολογίες ανάλυσης πρόβλεψης ώστε, να αποκομίσουν περισσότερη αξία και νόημα συγκριτικά με τις παραδοσιακές εφαρμογές βάσεων δεδομένων (Μαλούτα και Μίχου, 2019).

### 3.2) Εφαρμογές παρακολούθησης της αέριας ρύπανσης με κινητές μετρήσεις

Η αέρια ρύπανση που σχετίζεται με τη κυκλοφορία των οχημάτων και με τις άλλες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης απασχολεί ιδιαίτερα τις μεγαλουπόλεις. Όπως είδαμε και στη προηγούμενη ενότητα οι σταθεροί σταθμοί καταγραφής της ποιότητας αέρα, παρουσιάζουν διάφορους περιορισμούς στο να αξιολογήσουν την πραγματική έκθεση των πολιτών στους επικίνδυνους ρύπους. Παράλληλα, το κόστος για να απαθανάτεις την ετερογένεια της ρύπανσης στο αστικό περιβάλλον με τους συμβατικούς τρόπους, είναι απαγορευτικό. Επομένως, οι κινητές πλατφόρμες παρακολούθησης της αέριας ρύπανσης συνεχώς εξελίσσονται, δοκιμάζονται και αυξάνονται. Αυτό συμβαίνει διότι οι κινητές μετρήσεις παρέχουν λύση στην αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης της ρύπανσης τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Τυπικά, οι κινητές μετρήσεις διεξάγονται στην περιοχή ενδιαφέροντος με επαναλαμβανόμενες διαδρομές και σε διάφορες ώρες της ημέρας, ανάλογα την μελέτη. Δυστυχώς οι κινητές μετρήσεις εφαρμόζονται σε περιορισμένο αριθμό σημείων λόγω κόστους. Επιπλέον αρκετά θέματα σχετικά με την κάλυψη των απαιτούμενων διαδρομών, τη μεταβλητότητα στη συγκέντρωση υποβάθρου και το χρόνο δειγματοληψίας, παραμένουν εκκρεμή. Οι μελέτες που αφορούν τις κινητές μετρήσεις ώστε να αξιολογήσουν την έκθεση των πολιτών στην αέρια ρύπανση έχουν πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους. Συνήθως, διεξάγονται μετρήσεις με τη χρήση ενός οχήματος που φέρει τον μετρητικό εξοπλισμό (Shaibal et al., 2015), υπάρχουν όμως και περιπτώσεις κατά τις οποίες γίνεται καταγραφή της ποιότητας του αέρα με τη βοήθεια ενός ποδηλάτου που ενσωματώνει των μετρητικό εξοπλισμό (Van Poppel et al., 2013). Ακόμη έχουν γίνει μετρήσεις με πεζούς οι οποίοι μεταφέρουν οι ίδιοι τον εξοπλισμό καταγραφής. (Alas et al., 2019) Εκτός των εφαρμογών αυτών έχουν επίσης τοποθετηθεί όργανα μέτρησης ρύπων στα αστικά μέσα μαζικής μεταφοράς όπως τα λεωφορεία. (Castello et al., 2019)

### 3.2.1) Εκστρατεία μετρήσεων με πεζούς

Σύμφωνα με τους (Alas et al., 2019) πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των ρύπων BC και PM<sub>2,5</sub> τόσο με φορητά όργανα μετρήσεων όσο και με ένα σταθερό σταθμό μέτρησης, που στην πραγματικότητα ήταν ένα κινητό εργαστήριο. Πιο συγκεκριμένα, ο κινητός σταθμός μέτρησης ήταν ένα σακίδιο πλάτης ειδικά διαμορφωμένο για την εύκολη μεταχείριση και μεταφορά από έναν πεζό. Το σακίδιο αυτό ήταν κατασκευασμένο εξωτερικά από ένα αδιάβροχο κάλυμμα για τη προστασία των οργάνων τόσο από δονήσεις όσο και από καιρικά φαινόμενα. Σε απόσταση ενός μέτρου επάνω από αυτό ήταν τοποθετημένο ένα σύστημα εντοπισμού (GPS). Κάτω από το σύστημα εντοπισμού, δηλαδή στο ύψος της αναπνοής του ανθρώπου βρισκόταν η είσοδος δειγματοληψίας του εξωτερικού αέρα. Εντός του σακιδίου υπήρχαν καταγραφικά για τη μέτρηση των προαναφερόμενων ρύπων. Ειδικότερα, για τη μέτρηση μαύρου άνθρακα, χρησιμοποιήθηκε φωτόμετρο απορρόφησης (AethLabs AE51) με χρονική ανάλυση ενός δευτερολέπτου ενώ για τη μέτρηση σωματιδίων, φασματόμετρο (OPSS TSI 3330) με χρονική ανάλυση 10 δευτερολέπτων. Επίσης για τον έλεγχο και συγχρονισμό της λήψης δεδομένων λειτουργούσε μικροϋπολογιστής ο οποίος τροφοδοτούταν από την μπαταρία που περιλάμβανε το σακίδιο (aerosol backpack). Από την άλλη πλευρά ο σταθερός σταθμός βρισκόταν σε ένα κήπο, περίπου 100 μέτρα μακριά από βασικό δρόμο. Ο σταθερός σταθμός ήταν ένα κινητό εργαστήριο εξοπλισμένο με φωτόμετρο απορρόφησης πολλαπλών γωνιών (MAAP Thermo Scientific 5012) με χρονική ανάλυση ενός λεπτού για τη μέτρηση μαύρου άνθρακα ενώ, για τη καταγραφή σωματιδίων διέθετε φασματόμετρο μεγέθους σωματιδίων (MPSS TROPOS) με χρονική ανάλυση 5 λεπτών και ένα αεροδυναμικό φασματόμετρο (APSS TSI 3321) με χρονική ανάλυση 5 λεπτών. Για τη προτεινόμενη μεθοδολογία τους οι ερευνητές χρησιμοποίησαν τα δεδομένα από μια εκστρατεία κινητών μετρήσεων που πραγματοποιήθηκε στη Ρώμη με όνομα (CARE) και σκοπό την αποτίμηση των επιπέδων του ανθρακούχου αεροζόλ στη Μεσόγειο. Επομένως η μεθοδολογία τους, για τη λήψη υψηλής ποιότητας δεδομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αναλύεται με τον παρακάτω τρόπο. Αρχικά, τόσο για τα όργανα του σακιδίου όσο και για τα όργανα αναφοράς που βρίσκονταν στον σταθερό σταθμό, απαιτείται έλεγχος και βαθμονόμηση η οποία θα έχει πραγματοποιηθεί σε διαπιστευμένα εργαστήρια. Στη συνέχεια πρέπει να σχεδιαστεί η εκτελούμενη διαδρομή από την οποία θα περάσουν οι πεζοί με τα φορητά όργανα μέσα στο σακίδιο. Σκοπός κατά τη σχεδίαση της ρούτας αυτής είναι η προσομοίωση διάφορων σεναρίων έκθεσης του ανθρώπου εντός του αστικού περιβάλλοντος. Οι διαδρομές που επέλεξαν να κινηθούν ήταν συνολικού μήκους 9 χλμ. , διάρκειας 2,5 ωρών και περιλάμβαναν τοποθεσίες όπως χώρους στάθμευσης, πεζοδρόμια, νησίδες, φαράγγια δρόμων, διασταυρώσεις δρόμων, κατοικημένα ή εμπορική περιοχή καθώς επίσης και πάρκα. Επιπλέον, εντός της ρούτας θα πρέπει να συμπεριληφθεί ένα σημείο υποβάθρου στο οποίο θα τοποθετηθεί ο σταθερός σταθμός. Αυτή η τοποθεσία θα πρέπει να είναι σχετικά μακριά από σημεία πρόσβασης οχημάτων αλλά όχι σε απόσταση μεγαλύτερη των 100 μέτρων από δρόμο κύριας κυκλοφορίας. Επιπροσθέτως, δεν συνίσταται η γειτνίαση του, με υψηλά κτήρια ή αλλά εμπόδια που «φράζουν» τη συγκεκριμένη τοποθεσία. Έπειτα για τη διασφάλιση της ποιότητας των δεδομένων πρέπει να τηρηθούν τα εκάστοτε πρωτόκολλα. Αναλυτικότερα, απαιτείται η προθέρμανση των οργάνων μέτρησης όπως επίσης και ο έλεγχος ροής από τα σωληνάκια εισαγωγής του δείγματος αέρα. Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι είναι σημαντικός ο συγχρονισμός της ώρας μεταξύ των καταγραφικών. Εν συνεχεία, συνιστούν την ταυτόχρονη εκτέλεση των διαδρομών με δύο σακίδια πλάτης ή γενικότερα με δύο πανομοιότυπα όργανα έτσι ώστε, να υπάρχουν έγκυρα δεδομένα σε περίπτωση σφάλματος κατά την διεξαγωγή μετρήσεων. Αυτό συμβαίνει διότι στις κινητές μετρήσεις είναι αδύνατη η άμεση αναγνώριση σφάλματος και διόρθωσής του, καθώς δεν δύναται η διακοπή λειτουργίας του οργάνου μέτρησης. Εναλλακτικά, προτείνεται η παράλληλη εκτέλεση της προσχεδιασμένης διαδρομής με ένα φορητό όργανο και με ένα όργανο αναφοράς (π.χ. κινητό εργαστήριο). Τέλος επισημαίνεται η σημασία του αριθμού επαναλαμβανόμενων διαδρομών ώστε να επιτευχθούν αντιπροσωπευτικά δεδομένα σχετικά με τη χωρική κατανομή των ρύπων. Κατά την επεξεργασία δεδομένων γίνονται συγκρίσεις μεταξύ σταθερών οργάνων αναφοράς και κινητών οργάνων (σακίδιο). Πιο συγκεκριμένα για τη στατιστική επεξεργασία εφαρμόζεται γραμμική

συσχέτιση μεταξύ των οργάνων αναφοράς και των οργάνων που βρίσκονται στα σακίδια (αποτελέσματα AE51 σε συνάρτηση με αποτελέσματα MAAP) καθώς επίσης υπολογίζεται και ο συντελεστής συσχέτισης.

Επιπλέον σε μία έρευνα των (Van den Bossche, 2016) πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μαύρου άνθρακα (BC) με συμμετέχοντες του κάτοικους της πόλης Αμβέρσα στο Βέλγιο. Οι κινητές αυτές μετρήσεις δεν είχαν συγκεκριμένη δομή και χρονοδιάγραμμα, αλλά εκτελούνταν διαδρομές για έναν ολόκληρο χρόνο σε μια έκταση 3.6 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Οι περισσότερες μετρήσεις λήφθηκαν από τις 10 π.μ. έως τις 4 μ.μ. στις εργάσιμες ημέρες της εβδομάδος. Ειδικότερα ο εξοπλισμός, μεταφέρονταν μέσω ποδηλάτου ή μέσω πεζών σε μια τσάντα η οποία περιείχε σύστημα εντοπισμού (GPS) καθώς επίσης και μικροαιθαλόμετρο (MicroAeth AE51) με χρονική ανάλυση της τάξης του ενός δευτερολέπτου. Τόσο το σύστημα εντοπισμού όσο και ο μετρητής μαύρου άνθρακα είχαν συγχρονίσει τα ρολόγια τους με το ρολόι του διαδικτύου. Ταυτόχρονα εντός της περιοχής μελέτης υπήρχαν δύο σταθεροί σταθμοί παρακολούθησης της αέριας ρύπανσης εξοπλισμένοι με φωτόμετρο απορρόφησης πολλαπλών γωνιών (MAAP). Η μεθοδολογία τους αρχικά, ήταν να χωριστούν σε τρεις ομάδες των δύο ατόμων οι οποίοι έφεραν έκαστος τον προαναφερόμενο εξοπλισμό. Εν συνεχεία η κάθε ομάδα ήταν υπεύθυνη για τη δειγματοληψία σε μία από τις τρεις περιοχές της πόλης. Οι διαδρομές που εκτελούσαν ήταν μεροληπτικές αλλά πολλά από τα σημεία στα οποία περνούσαν σχετιζόνταν με μια παλαιότερη στενευμένη έρευνα τους από την οποία υπήρχαν όμοια δεδομένα. Για τη διασφάλιση της ποιότητας των δεδομένων από το μικροαιθαλόμετρο το οποίο παρουσιάζει θορύβους στο σήμα, ειδικότερα σε χαμηλά επίπεδα συγκεντρώσεων, εφαρμόστηκε το βελτιστοποιημένο πρόγραμμα αλγορίθμου μείωσης θορύβου (ONA). Επίσης, για τη διαχείριση και την επεξεργασία δεδομένων τα μεγάλα τμήματα του δρόμου χωρίστηκαν σε κομμάτια των 50 μέτρων. Πιο συγκεκριμένα, για το κάθε κομμάτι απαιτούνταν τουλάχιστον 8 μετρήσεις με χρονική ανάλυση ενός δευτερολέπτου. Για να μειωθεί ο αντίκτυπος των ακραίων δεδομένων κατά τον υπολογισμό του μέσου όρου των συγκεντρώσεων, εφαρμόστηκε ο σταθμισμένος μέσος. Επιπροσθέτως, για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων που λήφθηκαν με το ποδήλατο και με τους πεζούς, χρησιμοποιήθηκε η δοκιμή Kruskal-Wallis. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι παρά τις αβεβαιότητες σχετικά με τις τιμές συγκεντρώσεων, υπάρχει η δυνατότητα να απαθανατιστεί η χωρική μεταβολή των ρύπων ακόμη και με μεροληπτικό τρόπο.

### 3.2.2) Εκστρατεία μετρήσεων με ποδήλατο

Σύμφωνα με τους (Van Roppel et al., 2013) , συλλέχθηκαν δεδομένα από συγκεντρώσεις ρύπων όπως UFP, PM<sub>2,5</sub> και BC σε μια μικρή πόλη του Βελγίου. Ο τρόπος διεξαγωγής των μετρήσεων ήταν η εγκατάσταση του εξοπλισμού μέτρησης σε ένα ποδήλατο με το οποίο τελούσαν διαδρομές σε διάφορα σημεία της πόλης. Το ποδήλατο ήταν εξοπλισμένο με τις εξής τεχνολογικές διατάξεις: μετρητής σωματιδίων (P-Trak Ultrafine Model 8525) για τη μέτρηση εξαιρετικά λεπτών σωματιδίων (UFP), ένα μικροαιθαλόμετρο (AE51, Magee Scientific) για μετρήσεις μαύρου άνθρακα (BC) και ένας οπτικός μετρητής σωματιδίων (Grimm Dust monitor 1.108) για μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων (PM<sub>2,5</sub>). Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε GPS για την καταγραφή της τοποθεσίας. Όλα τα προηγούμενα δεδομένα ήταν συγχρονισμένα και καταγράφονταν ως αρχεία csv, δηλαδή, αρχεία διαχωρισμένα με κόμμα. Η μεθοδολογία που ακολουθήσαν για την πραγματοποίηση των μετρήσεων περιλάμβανε αρχικά τον σχεδιασμό των διαδρομών που θα εκτελούσαν. Πιο συγκεκριμένα, χώρισαν την προς μελέτη περιοχή σε έξι ζώνες. Η πρώτη ζώνη ήταν ένας δρόμος από τον οποίο τα οχήματα είχαν πρόσβαση στο αστικό κέντρο. Η δεύτερη ζώνη ήταν ένας δρόμος ο οποίος βρισκόταν μέσα στο αστικό κέντρο, το ίδιο και η τρίτη ζώνη με τη διαφορά ότι η πυκνότητα κυκλοφορίας ήταν μικρότερη σε σχέση με τη δεύτερη ζώνη. Η τέταρτη ζώνη ήταν ο δρόμος που αποτελούσε τον δακτύλιο του αστικού κέντρου. Η πέμπτη ζώνη ήταν ένας πράσινος χώρος που βρισκόταν πλησίον δρόμου χαμηλής έντασης κυκλοφορίας οχημάτων. Η έκτη και τελευταία ζώνη ήταν μια κατοικημένη περιοχή. Σε αυτές

τις ζώνες λοιπόν, εκτελέστηκαν 20 ρούτες σε διάρκεια δέκα ημερών, πιο ειδικά, 2 ρούτες την ημέρα με χρόνο δειγματοληψίας περίπου 50 λεπτών για τη κάθε ρούτα. Σχετικά με την επεξεργασία δεδομένων και κυρίως του μαύρου άνθρακα, διαπιστώθηκαν θόρυβοι στο σήμα ειδικά όταν οι συγκεντρώσεις ήταν πολύ χαμηλές. Η σκέψη τους ήταν να αυξήσουν τον χρονικό μέσο όρο ώστε να διορθώνεται το σφάλμα. Έτσι όμως θα έχαναν την υψηλή χρονική ανάλυση και επομένως η αξιολόγηση της χωρικής μεταβλητότητας θα ήταν ανακριβής. Επομένως για να μειώσουν τον θόρυβο αλλά ταυτόχρονα να κρατήσουν δεδομένα υψηλής χρονικής ανάλυσης, συμφωνήθηκε να χρησιμοποιήσουν ένα βελτιστοποιημένο πρόγραμμα αλγορίθμου μείωσης θορύβου (ONA). Με αυτό τον τρόπο καταφέραν να κρατήσουν το 90% των δεδομένων με χρονική ανάλυση μόλις ενός δευτερολέπτου. Η ανάλυση των δεδομένων παρουσιάστηκε με τη βοήθεια του μέσου όρου συγκεντρώσεων για κάθε ζώνη ξεχωριστά. Επίσης, οι στατιστικές δοκιμές έχουν πραγματοποιηθεί με τη χρήση της μη παραμετρικής δοκιμής Wilcoxon. Ακόμη, έγινε μια γραμμική συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων ρύπων στις διάφορες ζώνες. Σε τούτη την έρευνα επιπλέον στόχος ήταν η ποσοτικοποίηση της συγκέντρωσης υποβάθρου η οποία είναι σημαντική γνώση για την εφαρμογή αποτελεσματικών στρατηγικών μετριασμού των εκπομπών. Αναλυτικότερα συμπεριλάβαν την ζώνη πέντε ώστε να έχουν μία ενδεικτική πληροφορία για τη συγκέντρωση υποβάθρου. Ωστόσο δεδομένου ότι η πράσινη αυτή περιοχή μπορεί περιστασιακά να επηρεάζεται από τις τοπικές πηγές, προτιμήθηκε η χρήση εκατοστημορίων της αντί για μέσους όρους.

Τα αποτελέσματα της παραπάνω ερευνάς έδειξαν ότι οι επαναλαμβανόμενες μετρήσεις εντός της ίδιας ημέρας δίνουν πληροφορίες για την χωρική μεταβολή των ρύπων στα αστικά περιβάλλοντα. Επιπλέον οι ζώνες που περιλάμβαναν δρόμους με υψηλή πυκνότητα κίνησης οχημάτων παρουσίασαν αυξημένες συγκεντρώσεις UFP και BC κατά 2- 3 φορές περισσότερο εν σύγκριση με τις υπόλοιπες ζώνες ενώ η συγκέντρωση PM<sub>2,5</sub> ήταν μόνο κατά 10% αυξημένη. Κατά την στατιστική επεξεργασία τους συμπέραναν ότι το εκατοστημόριο P25 εκτιμά αρκετά καλά την συγκέντρωση υποβάθρου. Επίσης η τοπική σύνθεση των συγκεντρώσεων των ρύπων σε ένα αστικό περιβάλλον δείχνει να καθορίζεται από την διόρθωση υποβάθρου. Ταυτόχρονα με την διόρθωση υποβάθρου μειώνεται η ανάγκη για πραγματοποίηση περισσότερων διάδρομων προκειμένου να έχουμε πιο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα.

Επιπλέον πραγματοποιήθηκε μια ακόμη έρευνα από τους (Nastos et.al, 2017) με σκοπό την αξιολόγηση της θερμικής άνεσης σε πανεπιστημιακή εγκατάσταση στην Αθήνα. Πιο συγκεκριμένα στις 29 Ιουλίου του έτους 2015 είχε τοποθετηθεί στην οροφή ενός κτιρίου μετρητικός εξοπλισμός για τη καταγραφή μετεωρολογικών δεδομένων με σκοπό την αποτίμηση του μέσου θερμικού περιβάλλοντος, σε χρονικά διαστήματα 5 λεπτών. Παράλληλα για την εκτέλεση των κινητών μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ποδήλατο το οποίο έφερε τον απαραίτητο εξοπλισμό τόσο για τον εντοπισμό θέσης (GPS) όσο και για τη καταγραφή βιοκλιματικών δεδομένων όπως θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ένταση ανέμου και ηλιακή ακτινοβολία σε χρονικά διαστήματα 5 δευτερολέπτων. Τα όργανα μέτρησης ήταν τοποθετημένα στο ποδήλατο σε ύψος 1.5 μέτρων. Ειδικότερα, πραγματοποιήθηκαν δύο διαδρομές, μία το μεσημέρι με διάρκεια 25 λεπτών και μία το βράδυ με την ίδια περίπου χρονική διάρκεια. Για την επεξεργασία και παρουσίαση των αποτελεσμάτων τους χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή προσομοίωσης του χωρικού μοτίβου των βιοκλιματικών δεδομένων ENVI-met 3.1. Επίσης για τη χαρτογράφηση της χωρικής κατανομής των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ArcGIS 10.2.

### 3.2.3) Εκστρατεία μετρήσεων με κινούμενο όχημα

Μια εφαρμογή κινητών μετρήσεων ,πραγματοποιήθηκε στη βόρεια Καρολίνα από τους (Shaibal et al., 2015) έτσι ώστε να καταγραφούν οι συγκεντρώσεις ρύπων που προέρχονται κυρίως από την κυκλοφορία οχημάτων, όπως : NO<sub>2</sub> , CO<sub>2</sub>,CO, BC, PM<sub>2,5-10</sub> και UFP. Οι μετρήσεις έγιναν εν κινήσει με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικού οχήματος που ενσωμάτωνε τον μετρητικό εξοπλισμό. Ο μετρητικός



εξοπλισμός περιλάμβανε ένα σύστημα εντοπισμού (GPS) ενώ για τους ρύπους χρησιμοποιήθηκαν οι εξής διατάξεις : για το NO<sub>2</sub> χρησιμοποιήθηκε φασματοσκόπιο μετατόπισης φάσης εξασθενημένης κοιλότητας (CAPS), για το CO<sub>2</sub> φασματοσκοπικό αισθητήρας τύπου (NDIR), για το CO διπλό κβαντικό λέιζερ καταρράκτη, για το BC απλό φορητό αιθαλόμετρο, για τα PM<sub>2,5-10</sub> φασματομετρητή αεροδυναμικών σωματιδίων, για το UFP φασματομέτρο σωματιδίων καυσαερίων κινητήρα. Επίσης, ο χρόνος απόκρισης των οργάνων ήταν της τάξης του ενός δευτερολέπτου. Η μεθοδολογία λήψης των μετρήσεων τους αποτελείται από τα παρακάτω βήματα. Αρχικά, πριν από τη λήψη μετρήσεων είχαν χωρίσει την προς μελέτη περιοχή σε 5 ζώνες. Πιο συγκεκριμένα, δημιούργησαν τρεις βασικές ζώνες: η πρώτη(1) ζώνη ήταν η ευρύτερη περιοχή των τριών κομητειών (της βόρειας Καρολίνα), η δεύτερη(2) ζώνη ήταν μια αστικοποιημένη περιοχή και η τρίτη(3) ζώνη ήταν μια περιοχή με υψηλή πυκνότητα φωτός. Παράλληλα ανέπτυξαν άλλες τρεις δευτερεύουσες ζώνες : η τέταρτη ζώνη(4) αποτελούταν από δρόμους-γραμμές λεωφορείων, η πέμπτη(5) από δρόμους με υψηλή πυκνότητα κυκλοφορίας οχημάτων και η έκτη(6) από δρόμους που παρουσιάζουν «συμφόρηση». Το επόμενο βήμα της μεθοδολογίας τους ήταν να εξετάσουν τόσο από τους χάρτες google όσο και από την άμεση διέλευση τους, την προσβασιμότητα των διαδρομών από τις οποίες θα γινόταν η δειγματοληψία. Εξαιτίας των περιορισμών στην αυτονομία της μπαταρίας του ηλεκτρικού οχήματος, οι διαδρομές που ακολούθησαν ήταν 12 σε πλήθος και κυμαίνονταν από 5,2 έως 18,1 χλμ. . Οι διαδρομές αυτές διασχίζαν τις ζώνες με αποτέλεσμα μια διαδρομή να περιλαμβάνει 1,2 ή και περισσότερες ζώνες. Η παρακολούθηση τους διήρκεσε 2 μήνες και οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν τις πρωινές ώρες αιχμής. Σε κάθε διαδρομή η δειγματοληψία διαρκούσε 2 ημέρες διότι λαμβάναν χώρα δύο δρομολόγια.

Η μεθοδολογία επεξεργασίας των μετρήσεων τους ακολούθησε την εξής σειρά. Πρώτα αφαιρέθηκαν τα δεδομένα τα οποία είχαν καταγραφεί εκτός της ξεκάθαρης περιοχής -ζώνης. Δεύτερον, απαλείφθηκαν τα δεδομένα που είχαν ληφθεί από οποιαδήποτε ζώνη σε χρόνο λιγότερο από 2 λεπτά, διότι κάτι τέτοιο δεν θα είναι ενδεικτικό για τη χωρική μεταβλητότητα των ρύπων. Επιπλέον για κάθε ρύπο, σε κάθε δρομολόγιο (δύο δρομολόγια σε μία διαδρομή), βρέθηκε η διάμεσος τιμή. Έπειτα, από τις δυο διάμεσες τιμές (της κάθε διαδρομής) προκύπτει ο μέσος όρος των συγκεντρώσεων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τις 9 περίπου εκτιμήσεις των συγκεντρώσεων για τις ζώνες 3,4,5 και 6, ενώ για τις ζώνες 1 και 2 οι εκτιμήσεις δεν ήταν επαρκείς. Οι συγκρίσεις μεταξύ των ζωνών 3,4,5 και 6 έγιναν με τη χρήση της δοκιμής Wilcoxon.

Τα συμπεράσματα που προκύψαν ήταν πως η ζώνη 5 και 6 παρουσίασαν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε σωματιδιακούς ρύπους όπως τα PM λόγω των προϊόντων των φρένων και των ελαστικών οχημάτων.

Επιπλέον σύμφωνα με τον (Henninger, 2011) λήφθηκαν μετρήσεις του ρύπου CO<sub>2</sub> καθώς επίσης και CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> από το 2002 έως το 2010 στη περιοχή του Essen της Γερμανίας. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με ένα κινητό εργαστήριο στο οποίο είχαν τοποθετηθεί τα όργανα μέτρησης των αέριων ρύπων σε ύψος 1,5 μέτρα ενώ στα 2 μέτρα ήταν τοποθετημένα τα όργανα μέτρησης ατμοσφαιρικών συνθηκών. ο εξοπλισμός αποτελούταν από τις εξής τεχνολογικές διατάξεις: υπέρυθρος απορροφητής για τη μέτρηση CO<sub>2</sub> και CO ενώ για το O<sub>3</sub> απορροφητής υπεριώδους ακτινοβολίας, για τα NO<sub>x</sub> χημειοφωτάγεια. Αναλυτικότερα, η θέση των οργάνων ήταν στο δεξί μέρος του αυτοκινήτου ώστε να μην υπάρχει επιρροή από την διέλευση άλλων οχημάτων, κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας. Η δειγματοληψία λάμβανε χώρα κατά τη διάρκεια ολόκληρης της εβδομάδας και κυρίως στις ώρες αιχμής αλλά και μετά από αυτές. Σχετικά με την περιοχή μελέτης οι ερευνητές τονίζουν τους βασικούς παράγοντες επιλογής της διαδρομής που πρόκειται να εκτελεστεί. Αυτοί οι παράγοντες είναι: 1)όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ποικιλία στους τύπους των περιοχών εντός της πόλης έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι αντιπροσωπευτικά, 2)επιλογή του τελευταίου και πρώτου σημείου δειγματοληψίας να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε τα σημεία-οδοί να είναι όμοια και συγκρίσιμα Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας είναι η ταχύτητα κίνησης του οχήματος-εργαστηρίου η οποία κυμαίνονταν από 30 έως 60 χλμ. ανά ώρα ,αναλόγως το δρόμο για να

προσομοιάζει τις ταχύτητες οδήγησης στην πόλη. Κατά την επεξεργασία των μετρήσεων έγινε το τεστ σημαντικότητας, ανάλυση συσχέτισης και product-moment analysis ώστε να βρεθούν οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> στην πόλη.

### 3.2.4) Εκστρατεία μετρήσεων με τη χρήση μέσων μαζικής μεταφοράς

Σύμφωνα με τους (Castello et al., 2019) πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της αέριας ρύπανσης στα πλαίσια του προτζεκτ Cagliari 2020 με τη χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς. Πιο συγκεκριμένα, αισθητήρες χαμηλού κόστους τοποθετήθηκαν σε ορισμένα λεωφορεία ενώ παράλληλα υπήρχε ένας σταθερός σταθμός παρακολούθησης ανάμεσα στη ρούτα που εκτελούσαν. Οι μετρούμενοι ρύποι ήταν PM<sub>10-2.5</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, και NO. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στη διαβίβαση δεδομένων εντός του δικτύου των αισθητήρων που είναι εγκατεστημένο στην αστική περιοχή. Το δίκτυο αυτό λειτουργούσε με δύο τύπους συστημάτων κινητής επικοινωνίας : ο πρώτος τύπος ήταν μια εμπορική πλατφόρμα για κινητά που βασίζεται σε τεχνολογίες εξέλιξης στο διηλεκές (LTE) και στο παγκόσμιο σύστημα κινητών τηλεπικοινωνιών (UMTS) και ο δεύτερος τύπος, ένα δίκτυο χαμηλής ισχύος ευρείας περιοχής (LPWAN) ειδικευμένο για εφαρμογές διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) . Ο εξοπλισμός καταγραφής αέριων ρύπων ο οποίος, ήταν εγκατεστημένος στα λεωφορεία είχε τις εξής τεχνολογίες : για τη μέτρηση των σωματιδίων PM<sub>10-2.5</sub> χρησιμοποιήθηκε οπτικός μετρητής σωματιδίων, για τη μέτρηση CO, CO<sub>2</sub> χρησιμοποιήθηκαν οπτικοί αισθητήρες, ενώ για τους υπόλοιπους ρύπους χρησιμοποιήθηκαν ηλεκτροχημικοί αισθητήρες. Τα κόστη αυτού του μετρητικού εξοπλισμού ήταν 300 - 2000 €, 100 - 300 € και 50 - 150 € για κάθε τεχνολογία αντιστοίχως. Ο χρόνος απόκρισης τους ήταν μερικά δευτερόλεπτα. Επιπλέον συστήματα εντοπισμού (GPS) ήταν τοποθετημένα τόσο στα λεωφορεία όσο και στο σταθερό σταθμό μέτρησης, έτσι ώστε να συσχετίζονται τα δεδομένα των επιπέδων ρύπανσης με το χρόνο, τη θέση και την ταχύτητα του συγκεκριμένου οχήματος. Επίσης ο χρόνος πραγματοποίησης των μετρήσεων ήταν συγχρονισμένος με τον απόλυτο χρόνο UTC για να ευθυγραμμίζονται όλες οι μετρήσεις στον ίδιο άξονα του χρόνου. Τα δεδομένα από τα κινούμενα λεωφορεία λαμβάνονταν από μια μονάδα συλλογής δεδομένων ενώ για τον σταθερό σταθμό, η απόκτηση δεδομένων γινόταν με τη βοήθεια ενός απομακρυσμένου διακομιστή.

Η μεθοδολογία λήψης των μετρήσεων τους ακολουθούσε μια πρωτότυπη και αποτελεσματική διαδικασία. Αρχικά επειδή η ταχύτητα του εκάστοτε οχήματος ήταν μεταβαλλόμενη και καθώς η υψηλή ταχύτητα ανέμου επηρεάζει την ποιότητα των μετρήσεων, στόχος ήταν η απόρριψη αυτών των μετρούμενων τιμών. Επομένως ο συλλέκτης δεδομένων είχε προγραμματιστεί έτσι ώστε να απορρίπτει τις μετρούμενες τιμές των ρύπων όταν η ταχύτητα του λεωφορείου ξεπερνούσε το ανώτατο όριο. Στη συνέχεια τα λεωφορεία είχαν να πραγματοποιήσουν 24 προκαθορισμένες διαδρομές και οι μετρήσεις λαμβάναν χώρα ολόκληρο το 24ωρο. Επιπροσθέτως, ο σταθερός σταθμός βρισκόταν δίπλα στη διαδρομή των λεωφορείων αλλά και ανάμεσα από δύο στάσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την άμεση συσχέτιση των δεδομένων του σταθερού σταθμού ο οποίος είναι και σταθμός αναφοράς, με τα δεδομένα από τα διερχόμενα λεωφορεία.

Ειδικότερα, καθώς το λεωφορείο πλησιάζει τη περιοχή όπου βρίσκεται ο σταθερός σταθμός, ο συλλέκτης δεδομένων λαμβάνει μετρήσεις από τα PM<sub>10</sub> σε μικρότερη χρονική ανάλυση, επιτρέποντας έτσι την καθοδόν βαθμονόμηση. Με τη βαθμονόμηση του ενός λεωφορείου σε κάποια διαδρομή ήταν δυνατόν να πετύχουν λήψη ποιοτικών δεδομένων και για τις υπόλοιπες διαδρομές. Κατά την επεξεργασία δεδομένων τους φτιάξανε ένα διάγραμμα το οποίο δείχνει τα επίπεδα συγκεντρώσεων των PM<sub>10</sub> σε μg/m<sup>3</sup> στη διάρκεια του 24ώρου. Με την μελέτη των αποτελεσμάτων εξάγεται το συμπέρασμα ότι για να έχουμε έγκυρα δεδομένα είναι απαραίτητος ο συνυπολογισμός παραγόντων όπως: η ακριβής θέση του οργάνου μέτρησης, η ακρίβεια του οργάνου μέτρησης και η σύγκριση αποτελεσμάτων με αυτά που προκύπτουν από τον σταθερό σταθμό μέτρησης.

### 3.2.5) Εφαρμογή μετρήσεων με συσκευές χαμηλού κόστους

Σύμφωνα με τους (Spygroylos et.al, 2018) στα πλαίσια παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της αξιολόγησης των αισθητήρων χαμηλού κόστους χρησιμοποιήθηκε μια συσκευή χαμηλού κόστους η οποία μετρούσε τα επίπεδα συγκεντρώσεων των ρύπων παράλληλα με έναν σταθερό σταθμό. Η συσκευή αυτή με τους ηλεκτροχημικούς αισθητήρες (Alphasense Ltd), έχει τη δυνατότητα να μετράει αέριους ρύπους οι οποίοι απασχολούν ιδιαίτερα τα αστικά κέντρα όπως CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> και H<sub>2</sub>S. Ταυτόχρονα, οι τεχνολογικές διατάξεις που εφαρμόζονται για τη μέτρηση σωματιδιακών ρύπων όπως PM<sub>10-2.5</sub> είναι ένας οπτικός μετρητής σωματιδίων και για τα VOCs είναι ένας ανιχνευτής φωτονικοποίησης (PID). Τέλος για τη μέτρηση CO<sub>2</sub> χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος μη διασποράς στο υπέρυθρο (NDIR). Μετρούνται επίσης η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία και η ατμοσφαιρική πίεση. Ο σταθερός σταθμός ήταν αυτός του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, ο οποίος βρίσκεται δίπλα στο λόφο Φιλοπάππου και σε απόσταση 100 μέτρων από έναν δρόμο χαμηλής πυκνότητας κυκλοφορίας οχημάτων. Το σημείο αυτό επιλέχθηκε διότι ήταν μέσα στο ιστορικό κέντρο της Αθήνας καθώς επίσης αντιπροσώπευε τη ρύπανση υποβάθρου της πόλης. Οι μετρήσεις των οργάνων χαμηλού κόστους και του σταθερού σταθμού ήταν συγχρονισμένες και λάμβαναν χώρα για 16 συνεχόμενες ημέρες, το έτος 2018. Αξίζει να σημειώσουμε εδώ ότι τη συγκεκριμένη περίοδο είχαν συμβεί δύο Saharan dust ,τα οποία σύμφωνα με τους ερευνητές επηρέασαν τα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα η συσκευή χαμηλού κόστους ήταν ρυθμισμένη ώστε να μετράει NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> και PM<sub>10</sub> σε χρονικά διαστήματα 2 δευτερολέπτων. Από την άλλη ο σταθμός του Αστεροσκοπείου διέθετε αυτόματους αναλυτές (Horriba AP-360 και Thermo 49i) για τη καταγραφή NO<sub>x</sub> και O<sub>3</sub> αντιστοίχως, με χρονική ανάλυση ενός λεπτού. Για τα PM<sub>10</sub> χρησιμοποιείται ένα σύστημα μέτρησης σωματιδίων εξασθένησης βήτα-ακτινοβολίας. Επιπλέον, για τα PM<sub>2.5</sub> χρησιμοποιήθηκαν δειγματοληπτικά χαμηλού όγκου Derenda. Η μεθοδολογία που εφαρμόσαν χωρίζεται σε τρία βασικά βήματα. Πρώτον, ήταν ο συγχρονισμός της ώρας μεταξύ της συσκευής χαμηλού κόστους και των καταγραφικών του σταθερού σταθμού παρακολούθησης, με σκοπό την συμφωνία και τη δυνατότητα της μετεπεξεργασίας και σύγκρισής των μετρούμενων δεδομένων. Ειδικότερα, κάθε όργανο είχε προγραμματιστεί να καταγράφει στο μικρότερο δυνατό χρονικό διάστημα έτσι ώστε αργότερα να είναι εφικτός ο προσδιορισμός του τελικού χρονικού διαστήματος και να μην υπάρχουν διαφοροποιήσεις κατά τη σύγκριση δεδομένων. Εν συνεχεία, έπρεπε να καθοριστούν οι διαφορές και να γίνει συσχέτιση των μετρούμενων τιμών από τους ηλεκτροχημικούς αισθητήρες και από τον σταθερό σταθμό. Πιο συγκεκριμένα, για τα δεδομένα που προκύψαν αποφασίστηκε ότι τα διαστήματα θα εφαρμόζονταν σε ωριαία βάση. Επίσης, για τη καλύτερη σύγκριση δεδομένων σχεδιάζεται διάγραμμα με κατακόρυφο άξονα τις ωριαίες τιμές που προκύπτουν από τους ηλεκτροχημικούς αισθητήρες και με οριζόντιο άξονα τις τιμές από τον σταθερό σταθμό. Από τη διαδικασία αυτή προκύπτει και ο συντελεστής συσχέτισης (R<sup>2</sup>). Επιπροσθέτως για να υπολογιστεί το μέσο μέγεθος των σφαλμάτων, υπολογίζεται το μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE). Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι, ότι εάν είναι ανάγκη να εκτιμηθεί η ποιότητα του αέρα, τότε οι συσκευές χαμηλού κόστους αποδίδουν σε μεγάλο βαθμό. Από τη άλλη όμως αυτές οι συσκευές αδυνατούν να μετρήσουν απόλυτες τιμές με ακρίβεια.

Μια επιπλέον μελέτη των (Carranco et al., 2017) αφορούσε τη παρακολούθηση μετεωρολογικών δεδομένων με τη χρήση συσκευών χαμηλού κόστους οι οποίες βασίζονται στην ιδέα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων (WSN) και στο διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT). Ειδικότερα τέθηκαν σε παράλληλη εφαρμογή ένας αισθητήρας χαμηλού κόστους για τη μέτρηση πίεσης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας (Bosch BME280) με κόστος 660\$ και ένας σταθερός μετεωρολογικός σταθμός με όργανα υψηλής ακρίβειας (Vaisala HMP155) κόστους 5000\$. Η διάρκεια των συγχρονισμένων μετρήσεων ήταν ένας μήνας. Τα καταγεγραμμένα δεδομένα στέλνονταν ασύρματα σε μια πύλη (gateway) και από εκεί σε έναν διακομιστή (server) έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα συνεχούς αποθήκευσης δεδομένων και διαχείρισής τους. Για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων τους εφαρμόστηκαν : μέση απόλυτη μετατόπιση (MAD), μέσο απόλυτο ποσοστό σφάλματος (MAPE), μέση

τετραγωνική μετατόπιση (MSD) και συντελεστής συσχέτισης (R). Επιπλέον έγιναν κοινά διαγράμματα χρονομετρών για το όργανο Bosch και Vaisala και για όλες της παραμέτρους (θερμοκρασία, πίεση, υγρασία). Τέλος γίνεται διάγραμμα συσχέτισης των δύο οργάνων με τα αποτελέσματα να αποδεικνύουν ότι με την κατάλληλη διόρθωση μπορεί να επιτευχθεί 95% συσχέτιση.

### 3.3) Καινοτομία της έρευνας

Η ανάγκη για παρακολούθηση της ατμόσφαιρας έχει παρουσιαστεί εκτενέστερα στα προηγούμενα κεφάλαια. Επίσης, ειδικότερα σε χώρες της Αμερικής και της Ευρώπης πληθώρα ερευνών έχει πραγματοποιηθεί έτσι ώστε να αξιολογηθεί η ποιότητα του αέρα στα αστικά κέντρα και συνεπώς η έκθεση του ανθρώπου στους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών τείνουν να είναι περισσότερο αξιόπιστα με το πέρασμα του χρόνου και σε πλήθος τέτοιο ώστε να υπάρχει δυνατότητα πρόβλεψης των συγκεντρώσεων για την επόμενη ώρα και ημέρα. Δυστυχώς, στην Ελλάδα έως τώρα, δεν έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές εκστρατείες κινητών μετρήσεων έτσι ώστε να υπάρξει λεπτομερέστερη και ακριβέστερη αποτίμηση των επιπέδων ρύπανσης ιδίως στα αστικά κέντρα. Επιπλέον, η ενημέρωση του κοινού σχετικά με την αποτίμηση της ποιότητας του αέρα γίνεται με τέτοιο τρόπο που δεν είναι εύληπτη για τους περισσότερους πολίτες. Επομένως, με τη συγκεκριμένη έρευνα στοχεύουμε στο να αποτυπωθεί η υφιστάμενη κατάσταση της ποιότητας του αέρα στο αστικό κέντρο της Αθήνας και εν συνεχεία να απεικονιστεί με τον κατάλληλο τρόπο (Μουστρής, 2018). Απαριθμώντας τα στοιχεία καινοτομίας και τα επακόλουθα οφέλη παίρνουμε τις παρακάτω προτάσεις :

- Με τη συγκεκριμένη μελέτη, πραγματοποιείται προσεκτική παρακολούθηση των χαρακτηριστικών της ποιότητας την ατμόσφαιρας στο ιστορικό κέντρο της Αθήνας. Πιο ειδικά το ιστορικό κέντρο της Αθήνας είναι μια περιοχή μικρής κλίμακας η οποία χαρακτηρίζεται από έντονη οικονομική και πολιτισμική δραστηριότητα. Συνεπώς μια μελέτη σαν αυτή θα επιφέρει θετικά αποτελέσματα στον οικονομικό τομέα καθώς ο τουρισμός επηρεάζεται από τη διαφήμιση μιας πόλης που διακατέχεται από περιβαλλοντική συνείδηση. Ακόμη με αυτές τις πληροφορίες υπάρχει δυνατότητα για τη βέλτιστη διαχείριση της πολιτιστικής κληρονομιάς και ειδικότερα των αρχαίων μνημείων που βρίσκονται στην εν λόγω περιοχή.
- Επίσης, η συγκεκριμένη έρευνα δύναται να αποτελέσει έναυσμα για μετέπειτα εφαρμογές μεγαλύτερης κλίμακας, αλλά και πληροφορίες σχετικά με τη χωρική και χρονική μεταβολή των ρύπων. Αυτό θα αποτελέσει γόνιμο έδαφος έτσι ώστε με τη συμβολή των κρατικών φορέων να δημιουργηθεί ένα σύγχρονο δίκτυο παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με μεγαλύτερη ευκρίνεια στην αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης. Ακόμη δίνεται η δυνατότητα για τη δημιουργία μιας «έξυπνης πόλης», με συμμετοχή των μέσων μαζικής μεταφοράς, αλλά και των ίδιων των πολιτών.
- Με την επεξεργασία των δεδομένων της μελέτης μας, θα προκύψουν πληροφορίες για την υφιστάμενη κατάσταση της προς μελέτη περιοχής και έπειτα η πολιτεία θα είναι σε θέση να λάβει τα κατάλληλα μέτρα πρόληψης και αντιμετώπισης του προβλήματος. Επιπροσθέτως, με τα απαραίτητα δεδομένα στη κατοχή μας, θα υπάρχει δυνατότητα για την ανάπτυξη μιας βέλτιστης πλατφόρμας ενημέρωσης του κοινού.
- Κατά την διεξαγωγή κινητών μετρήσεων με διάφορα μέσα τα οποία θα παρουσιαστούν στο επόμενο κεφάλαιο, στο κέντρο της Αθήνας, είμαστε σε θέση να αναφέρουμε τις προκλήσεις που έχει κανείς να αντιμετωπίσει με το κάθε ένα από αυτά. Είναι κατανοητό ότι η διεξαγωγή και παρουσίαση μιας τέτοιας έρευνας δεν έγκειται μόνο στην ποιότητα των μετρήσεων αλλά και στο πόσο πρακτικά είναι εφικτή. Μην ξεχνάμε ότι η Αθήνα αποτελείται από στενούς πολυσύχναστους δρόμους και με περιορισμένο χώρο για στάθμευση. Την ίδια στιγμή οι γραφειοκρατικές διαδικασίες είναι αρκετά χρονοβόρες ειδικά για ένα επιστημονικό θέμα το οποίο δεν είναι ακόμα ώριμο.

## Κεφάλαιο 4

### 4.1) Περιγραφή του εξοπλισμού

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε ήταν δύο συσκευές χαμηλού κόστους με ενσωματωμένους ηλεκτροχημικούς αισθητήρες. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν αναλυτές υψηλού κόστους τα οποία ήταν εγκατεστημένα στο ηλεκτρικό βαν του εργαστηρίου ΗΜΕ & ΠΡΟΠΕ.

#### 4.1.1) Εξοπλισμός βάν

Το βασικότερο μέρος του μετρητικού εξοπλισμού είναι οι αναλυτές οι οποίοι όμως για να λειτουργούν, εξαρτώνται και από άλλα τεχνολογικά μέσα. Ειδικότερα οι αναλυτές χρειάζονται κάποιο δείγμα αέρα για να το αναλύσουν και να εξάγουν τα δεδομένα, κάτι τέτοιο είναι εφικτό με τη χρήση αντλιών οι οποίες μεταφέρουν το δείγμα μέσω σωλήνων μικρής διαμέτρου. Εν συνεχεία για την απεικόνιση και καταγραφή των δεδομένων χρησιμοποιείται ηλεκτρονικός υπολογιστής στον οποίο είναι εγκατεστημένο το πρόγραμμα που μας δίνει πληροφόρηση σε πραγματικό χρόνο αλλά και τα ιστορικά δεδομένα. Επιπλέον για την διατήρηση της θερμοκρασίας κάτω από 26 βαθμούς Κελσίου εντός του βαν χρησιμοποιήστε κλιματιστικό. Στην παρακάτω εικόνα 4.1 φαίνεται η συνολική διάταξη του εξοπλισμού μέσα στο βαν.



**Εικόνα 4.1:** Διάταξη εξοπλισμού εντός του βαν  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)

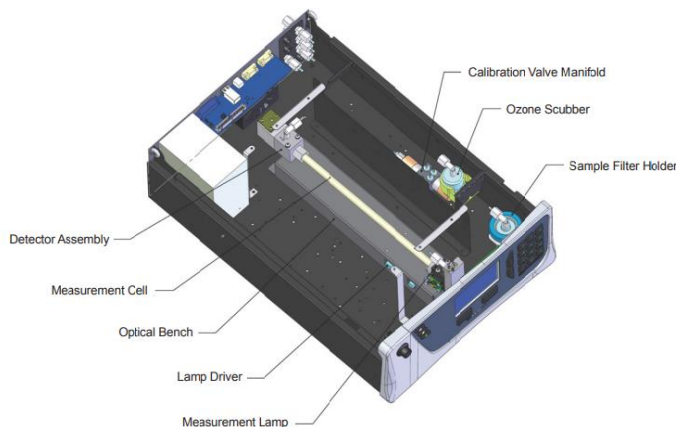
#### 4.1.1.1) Περιγραφή αναλυτών

Οι αναλυτές που φέρει το ηλεκτρικό βάν έχουν την ακόλουθη μορφή εξωτερικά όπως στη εικόνα 4.2. Πιο συγκεκριμένα στην οθόνη απεικονίζεται, η στιγμιαία τιμή της συγκέντρωσης του ρύπου σε ppm και η μέση τιμή του ενός λεπτού. Επιπλέον αναγράφεται η ημερομηνία και η ώρα καθώς επίσης και η ένδειξη ανίχνευσης usb.



**Εικόνα 4.2:** Εξωτερική μορφή του αναλυτή  
(Πηγή: <https://www.ecotech.com>)

#### 1) Αναλυτής O<sub>3</sub>



**Εικόνα 4.3** Εσωτερικό του αναλυτή O<sub>3</sub>  
(Πηγή: <https://www.ecotech.com>)

#### Προδιαγραφές του αναλυτή όζοντος

Εύρος: 0 - 20 ppm

Μονάδες συγκέντρωσης: mg/m<sup>3</sup>, µg/ m<sup>3</sup>, ng/m<sup>3</sup>, ppm, ppb or ppt

Θόρυβος: < 0.25 ppb

Χαμηλότερο ανιχνεύσιμο όριο: < 0.5 ppb

Γραμμικότητα: < 1 % ολόκληρης της κλίμακας

Ακρίβεια: 0.5 ppb ή 0.2 % (το μεγαλύτερο)

Μηδενική μετατόπιση: 24 hours: < 0.3 ppb

7 days: < 0.3 ppb

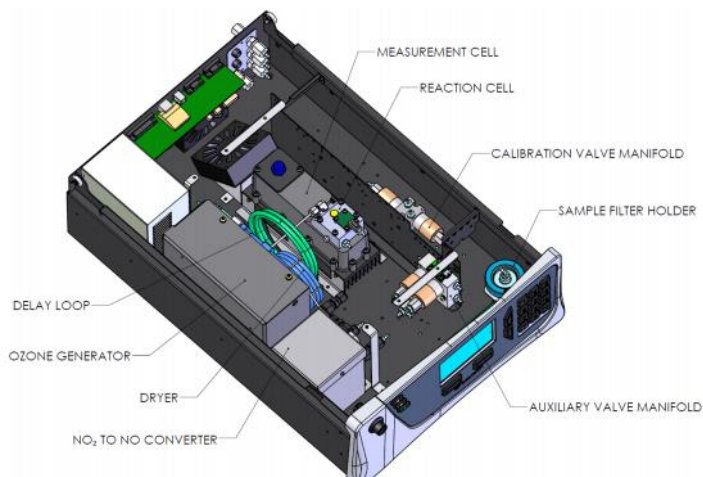
Μετατόπιση εύρους: 7 days: < 0.5 % ή < 0.3 ppb (το μεγαλύτερο)

Χρόνος απόκρισης: 30 seconds to 95 %  
Αναφορά STP: , 0 °C, 20 °C, 25 °C στα 101.3 kPa  
Ρυθμός ροής δείγματος: 500 cc/min  
Εύρος θερμοκρασίας: 0 to 40 °C  
Ισχύς : 100 - 240 VAC, 50 - 60 Hz  
Κατανάλωση ενέργειας: 260 VA (κατά την εκκίνηση)  
150 VA (ονομαστικό)  
Διαστάσεις: 429 x 175 x 638 mm  
Βάρος: 17.2 kg  
ΜΕΓΙΣΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ:3000 μέτρα από το επίπεδο της θάλασσας.

### Φόρτωση δεδομένων

Αφαιρούμενη μονάδα μνήμης USB 8 GB με δυνατότητα αποθήκευσης του εσωτερικού του καταγραφικού δεδομένων  
Εσωτερικός καταγραφέας δεδομένων (μπορεί να καταγράψει έως και 12 από 200+ παραμέτρους)  
Διάστημα καταγραφεία (1 δευτερόλεπτο έως 24 ώρες)  
Χωρητικότητα αποθήκευσης ~ 10 χρόνια (ορισμένο σε διάστημα ενός λεπτού)

### II) Αναλυτής NO<sub>x</sub>



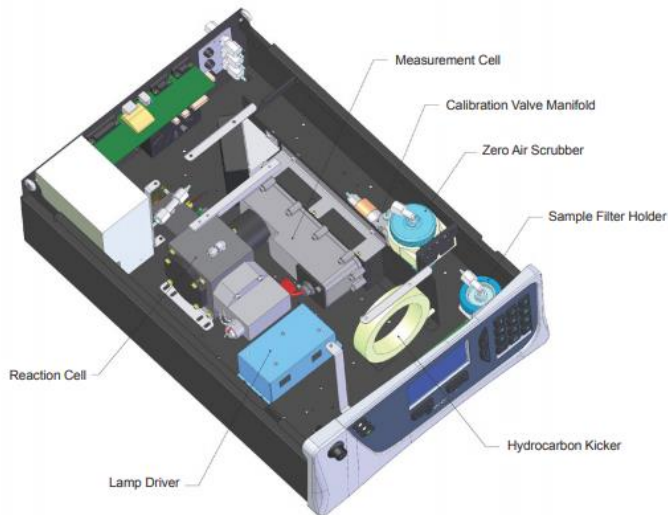
**Εικόνα 4.4:** Εσωτερικό του αναλυτή NO<sub>x</sub>  
(Πηγή:<https://www.ecotech.com>)

### Προδιαγραφές του αναλυτή NO<sub>x</sub>

Εύρος: 0 - 20 ppm  
Μονάδες συγκέντρωσης: mg/m<sup>3</sup> , μg/ m<sup>3</sup> , ng/m<sup>3</sup> , ppm, ppb or ppt  
Θόρυβος: < 0.2 ppb  
Χαμηλότερο ανιχνεύσιμο όριο: < 0.4 ppb  
Γραμμικότητα: < 1 % ολόκληρης της κλίμακας  
Ακρίβεια: 0.4 ppb ή 0.5 % (το μεγαλύτερο)  
Μηδενική μετατόπιση: 24 hours: < 0.5 ppb  
7 days: < 0.5 ppb  
Μετατόπιση εύρους 7 days: < 1 % ή < 0.5 ppb (το μεγαλύτερο)  
Χρόνος απόκρισης: 15 seconds to 95 %  
Αναφορά STP: , 0 °C, 20 °C, 25 °C στα 101.3 kPa  
Ρυθμός ροής δείγματος: 400 cc/min  
Εύρος θερμοκρασίας: 0 to 40 °C

Ισχύς : 100 - 240 VAC, 50 - 60 Hz  
Κατανάλωση ενέργειας: 265 VA (κατά την εκκίνηση)  
190 VA (ονομαστικό)  
Διαστάσεις: 429 x 175 x 638 mm  
Βάρος: 21.9 kg  
ΜΕΓΙΣΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ: 3000 μέτρα από το επίπεδο της θάλασσας.  
Η φόρτωση δεδομένων είναι ίδια με αυτή του αναλυτή όζοντος

### III) Αναλυτής SO<sub>2</sub>



**Εικόνα 4.5:** Εσωτερικό του αναλυτή SO<sub>2</sub>  
(Πηγή: <https://www.ecotech.com>)

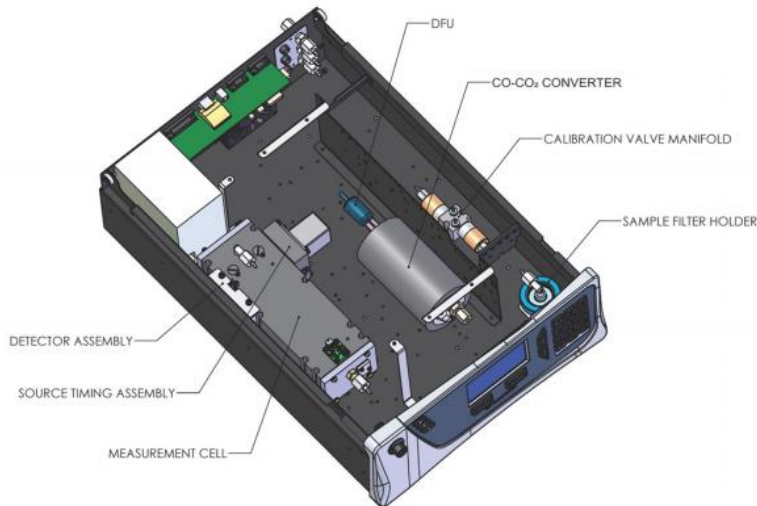
#### Προδιαγραφές του αναλυτή SO<sub>2</sub>

Εύρος: 0 - 20 ppb  
Μονάδες συγκέντρωσης: mg/m<sup>3</sup>, µg/m<sup>3</sup>, ng/m<sup>3</sup>, ppm, ppb or ppt  
Θόρυβος: < 0.15 ppb  
Χαμηλότερο ανιχνεύσιμο όριο: < 0.3 ppb ή 0.2% τις συγκέντρωσης (το μεγαλύτερο)  
Γραμμικότητα: < 1 % ολόκληρης της κλίμακας  
Ακρίβεια: 0.5 ppb ή 0.5 % (το μεγαλύτερο)  
Μηδενική μετατόπιση: 24 hours: < 0.5 ppb  
7 days: < 0.5 ppb  
Μετατόπιση εύρους 7 days: < 0.5 % ή < 0.5 ppb (το μεγαλύτερο)  
Χρόνος απόκρισης: 60 seconds στο 95 %  
Αναφορά STP: , 0 °C, 20 °C, 25 °C στα 101.3 kPa  
Ρυθμός ροής δείγματος: 725 cc/min  
Εύρος θερμοκρασίας: 0 to 40 °C  
Ισχύς : 100 - 240 VAC, 50 - 60 Hz  
Κατανάλωση ενέργειας: 255 VA (κατά την εκκίνηση)  
180 VA (ονομαστικό)  
Διαστάσεις: 429 x 175 x 638 mm  
Βάρος: 18.1 kg  
ΜΕΓΙΣΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ: 3000 μέτρα από το επίπεδο της θάλασσας.  
Η φόρτωση δεδομένων είναι ίδια με αυτή του αναλυτή όζοντος



#### IV) Αναλυτής CO

Η ιδιαιτερότητα του συγκεκριμένου αναλυτή είναι ότι φέρει εσωτερικά μια πλάκα (measurement cell) η οποία συγκρατείται με 4 κοχλίες και κατά τη διαδικασία μετρήσεων πρέπει να είναι λυμένοι. Αντίθετα κατά τη μεταφορά του εξοπλισμού πρέπει να συσφίγγονται.



**Εικόνα 4.6:** εσωτερικό του αναλυτή CO  
(Πηγή: <https://www.ecotech.com>)

#### Προδιαγραφές του αναλυτή CO

Εύρος: 0 - 200 ppm

Μονάδες συγκέντρωσης: mg/m<sup>3</sup>, μg/m<sup>3</sup>, ng/m<sup>3</sup>, ppm, ppb or ppt

Θόρυβος: < 0.02 ppm ή 0.2% της συγκέντρωσης (το μεγαλύτερο)

Χαμηλότερο ανιχνεύσιμο όριο: < 0.04 ppm

Γραμμικότητα: < 1 % ολόκληρης της κλίμακας

Ακρίβεια: 0.1 ppm ή 0.1 % (το μεγαλύτερο)

Μηδενική μετατόπιση: 24 hours: < 0.1 ppm

7 days: < 0.1 ppm

Μετατόπιση εύρους 7 days: < 0.5 % ή < 0.1 ppm (το μεγαλύτερο)

Χρόνος απόκρισης: 60 seconds στο 95 %

Αναφορά STP: , 0 °C, 20 °C, 25 °C στα 101.3 kPa

Ρυθμός ροής δείγματος: 1000 cc/min

Εύρος θερμοκρασίας: 0 to 40 °C

Ισχύς : 100 - 240 VAC, 50 - 60 Hz

Κατανάλωση ενέργειας: 260 VA (κατά την εκκίνηση)

150 VA (ονομαστικό)

Διαστάσεις: 429 x 175 x 638 mm

Βάρος: 17.8 kg

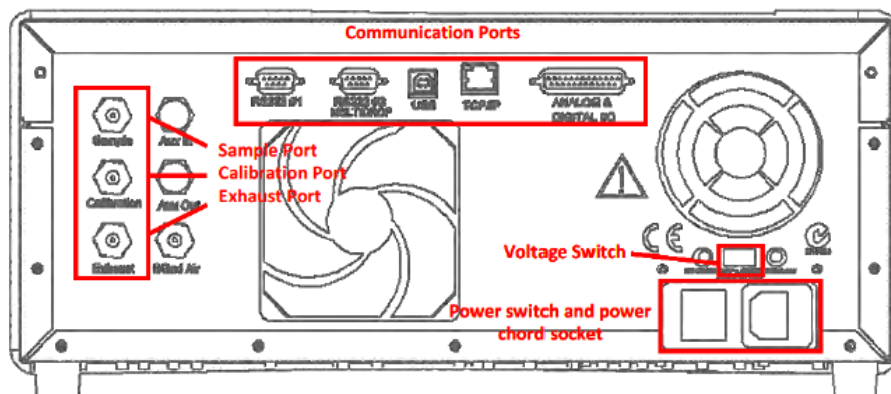
ΜΕΓΙΣΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ: 3000 μέτρα από το επίπεδο της θάλασσας.

Η φόρτωση δεδομένων είναι ίδια με αυτή του αναλυτή όζοντος

**Όλες οι παραπάνω πληροφορίες σχετικά με τους αναλυτές, αντλήθηκαν από τα τεχνικά φυλλάδια της εταιρίας ECOTECH**

#### 4.1.1.2) Σύνδεση αναλυτών με αντλίες

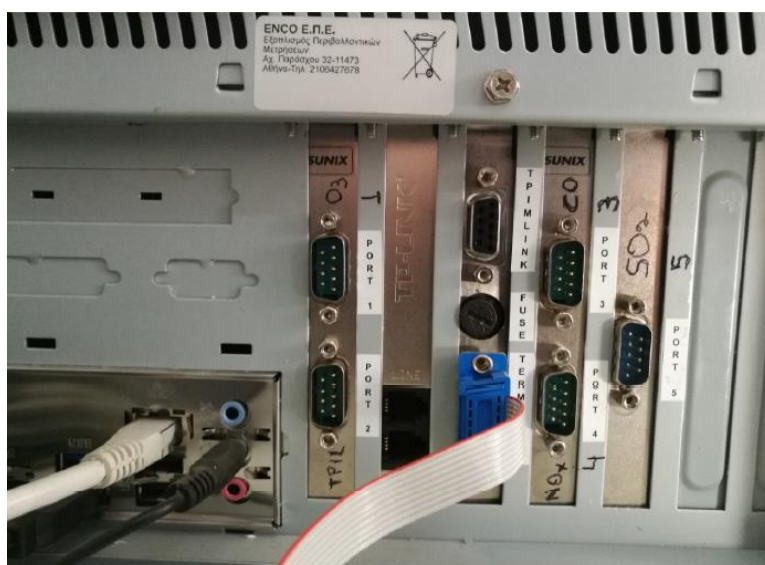
Οι αναλυτές είναι συνδεδεμένοι με σωληνάκια κατασκευασμένα από τεφλόν και διαμέτρου (1/4 της ίντσας) τα οποία καταλήγουν στην αντλία για την παροχέτευση δείγματος αέρα, από το περιβάλλον, στην είσοδο του αναλυτή (sample port). Επίσης ο αναλυτής έχει μια έξοδο (exhaust port) η οποία αποβάλλει τον αέρα στο περιβάλλον μετά τη διαδικασία της λήψης και επεξεργασίας του δείγματος αέρα. Στη παρακάτω εικόνα 4.6 παρουσιάζεται η μορφή του αναλυτή από την πίσω πλευρά (Εργαστήριο Η.ΜΕ & ΠΡΟΠΕ, 2017).



Εικόνα 4.7: Πίσω μέρος του αναλυτή  
(Πηγή: Εργαστήριο Η.ΜΕ & ΠΡΟΠΕ, 2017)

#### 4.1.1.3) Σύνδεση αναλυτών με ηλεκτρονικό υπολογιστή

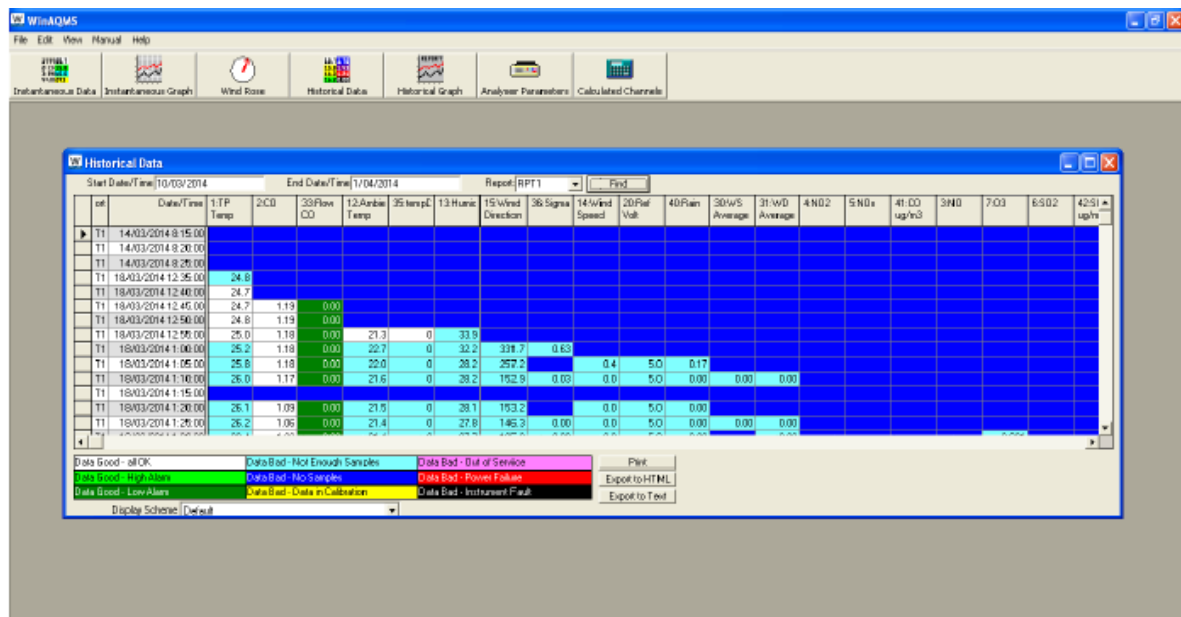
Ο κάθε ένας από τους παραπάνω αναλυτές συνδέεται μέσω ενός καλωδίου, με μία θύρα από την μονάδα του υπολογιστή. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στη σύνδεση του εκάστοτε αναλυτή με την προκαθορισμένη θύρα της μονάδας, έτσι ώστε να λειτουργήσει σωστά το πρόγραμμα. Στην εικόνα 4.7 παρουσιάζονται οι θύρες στο πίσω μέρος την μονάδας του υπολογιστή (Εργαστήριο Η.ΜΕ & ΠΡΟΠΕ, 2017).



Εικόνα 4.8: Θύρες για τη σύνδεση αναλυτών με η/υ  
(Πηγή: Εργαστήριο Η.ΜΕ & ΠΡΟΠΕ, 2017)

#### 4.1.1.4) Πρόγραμμα WinAQMS

Στον ηλεκτρονικό υπολογιστή είναι εγκατεστημένο το πρόγραμμα WinAQMS το οποίο έχει τη δυνατότητα να καταγράφει τα δεδομένα ακόμη και εάν ο χρήστης δεν το έχει ανοίξει. Επιπλέον με το προαναφερόμενο πρόγραμμα έχουμε τη δυνατότητα να βλέπουμε τις μετρήσεις τόσο των αναλυτών όσο και των μετρητικών οργάνων ( βροχόμετρο, ανεμόμετρο κλπ.) σε πραγματικό χρόνο. Τέλος μπορούμε να δούμε το ιστορικό των δεδομένων (εικόνα 4.9) και τα διαγράμματα τους ορίζοντας τις επιθυμητές ημερομηνίες.



Εικόνα 4.9: Ιστορικά δεδομένα από το πρόγραμμα WinAQMS (Πηγή: Εργαστήριο Η.ΜΕ & ΠΡΟΠΕ, 2017)

#### 4.1.2) Εξοπλισμός συσκευής ανίχνευσης χαμηλού κόστους

Ο μετρητικός εξοπλισμός χαμηλού κόστους είναι ελαφρύς και εύκολος στη μεταφορά του καθώς αποτελείται από τη συσκευή μέτρησης αέριων ρύπων (η συσκευή μαύρου χρώματος στην εικόνα 4.10) και από τη συσκευή μέτρησης σωματιδιακών ρύπων (η συσκευή άσπρου χρώματος στην εικόνα 4.10). Η συσκευή αυτή εμπεριέχει στο εσωτερικό της μια μπαταρία η οποία φορτίζει με ηλεκτρικό ρεύμα με αποτέλεσμα να λειτουργεί τουλάχιστον για μια ολόκληρη ημέρα. Στη περίπτωση που οι μετρήσεις θα γίνονται για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς την δυνατότητα άμεσης σύνδεσης της συσκευής στο ηλεκτρικό ρεύμα, δίνεται ακόμη φωτοβολταϊκό και μπαταρία. Στην εικόνα 4.11 παρουσιάζεται η σύνδεση της βασικής διάταξης ανίχνευσης ρύπων με το φωτοβολταϊκό και την μπαταρία (LIBELIUM, 2020).



**Εικόνα 4.10:** Διάταξη ανίχνευσης ρύπων χωρίς παροχή ρεύματος  
(Πηγή: LIBELIUM, 2020)

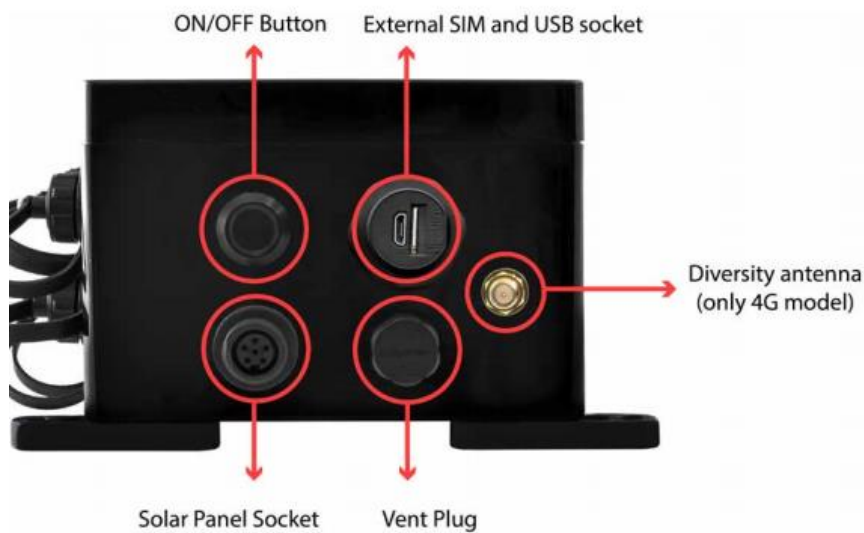


**Εικόνα 4.11:** Διάταξη βασικού εξοπλισμού σε σύνδεση με φωτοβολταϊκό πάνελ και μπαταρία  
(Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

#### **4.1.2.1) Περιγραφή κυρίου σώματος συσκευής**

Το κύριο σώμα της συσκευής ανίχνευσης αέριων ρύπων έχει τοποθετηθεί με 4 κοχλίες επάνω σε ένα τμήμα ξύλου όπως στην εικόνα 4.11 για την εύκολη μεταφορά και στήριξή του μαζί με τον αισθητήρα σωματιδίων. Ειδικότερα το κύριο σώμα της συσκευής, φέρει υποδοχή για τη σύνδεση κεραίας η οποία είναι αρκετά ευαίσθητη και χρειάζεται προσοχή κατά τη μεταφορά και λειτουργία του οργάνου. Επιπλέον στη συσκευή υπάρχει υποδοχή για τη σύνδεση φ/β-μπαταρίας ή για την απευθείας σύνδεση σε πρίζα. Για την έναρξη και τον τερματισμό λειτουργίας της συσκευής υπάρχει

το κουμπί ON/OFF. Τέλος, για την σύνδεση του οργάνου με κάποια υπολογιστική συσκευή, υπάρχει θύρα USB και SIM. Στην παρακάτω εικόνα 4.12 παρουσιάζονται τα μέρη της βασικής συσκευής (LIBELIUM, 2020).



**Εικόνα 4.12:** Κύριο σώμα της συσκευής  
(Πηγή: LIBELIUM, 2020)

#### 4.1.2.2) Σύνδεση αισθητήρων

Οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες που προσαρτίζονται στο κύριο σώμα της συσκευής φέρουν μια ετικέτα με αναγραφόμενο τον εκάστοτε ρύπο που μετρούν (εικόνα 4.12). Κατά τη σύνδεση των αισθητήρων με το κύριο σώμα της συσκευής πρέπει να δοθεί προσοχή σε ποια υποδοχή θα προσαρτηθεί ο κάθε αισθητήρας. Η διάρκεια ζωής των βαθμονομημένων αισθητήρων αερίου είναι 6 μήνες από την αγορά του προϊόντος με μέγιστη ακρίβεια. Για το επόμενο διάστημα χρειάζεται εκ νέου βαθμονόμηση. Οι αισθητήρες που απαρτίζουν το χρησιμοποιούμενο όργανο μέτρησης μας είναι: αισθητήρας πίεσης, υγρασίας, και θερμοκρασίας σε ένα ενιαίο στέλεχος καθώς επίσης και αισθητήρες CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>



**Εικόνα 4.13:** Σύνδεση αισθητήρων με κύριο σώμα συσκευής  
(Πηγή: LIBELIUM, 2020)

### **Προδιαγραφές αισθητήρων**

Τάση τροφοδοσίας: 3,3 V

Τυπικό ρεύμα ύπνου: 0,1  $\mu$ A

Μέγιστο ρεύμα ύπνου: 0,3  $\mu$ A

#### Αισθητήρας θερμοκρασίας

Εύρος λειτουργίας: -40 ~ +85  $^{\circ}$ C

Πλήρες εύρος ακρίβειας: 0 ~ +65  $^{\circ}$ C

Ακρίβεια:  $\pm 1$   $^{\circ}$ C (εύρος 0  $^{\circ}$ C ~ +65  $^{\circ}$ C)

Χρόνος απόκρισης: 1,65 δευτερόλεπτα (απόκριση 63% από +30 έως +125  $^{\circ}$  C).

Τυπική κατανάλωση: 1  $\mu$ A

#### Αισθητήρας υγρασίας

Εύρος μέτρησης: 0 ~ 100% της σχετικής υγρασίας

Ακρίβεια:  $<\pm 3\%$  RH (στους 25  $^{\circ}$ C, εύρος 20 ~ 80%)

Υστέρηση:  $\pm 1\%$  RH

Θερμοκρασία λειτουργίας: -40 ~ +85  $^{\circ}$ C

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

Τυπική κατανάλωση: 1,8  $\mu$ A

Μέγιστη κατανάλωση: 2,8  $\mu$ A

#### Αισθητήρας CO

CO-A4

Ονομαστική περιοχή: 0 έως 25 ppm

Μέγιστη υπερφόρτωση: 2000 ppm

Μακροπρόθεσμη μετατόπιση ευαισθησίας:  $<10\%$  αλλαγή / έτος στον αέρα του εργαστηρίου

Μακροπρόθεσμη μηδενική μετατόπιση:  $<\pm 100$  ppb ισοδύναμη αλλαγή / έτος στο αέρα του εργαστηρίου

Χρόνος απόκρισης:  $\leq 20$  δευτερόλεπτα

Ευαισθησία: 220 έως 375 nA / ppm

Ακρίβεια: έως και 0,1 ppm

Εύρος θερμοκρασίας: -30  $^{\circ}$ C έως 50  $^{\circ}$ C

Υγρασία λειτουργίας: 15 έως 90% RH χωρίς συμπύκνωση

Εύρος πίεσης: 80 έως 120 kPa

Θερμοκρασία αποθήκευσης: 0  $^{\circ}$ C έως 20  $^{\circ}$ C

Αναμενόμενη διάρκεια λειτουργίας: 3 χρόνια στον αέρα

#### Αισθητήρας O<sub>3</sub>

OX-A431

Ονομαστική περιοχή: 0 έως 18 ppm

Μέγιστη υπερφόρτωση: 50 ppm

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

Χρόνος απόκρισης (T90):  $\leq 45$  δευτερόλεπτα

Ευαισθησία: -200 έως -550 nA / ppm

Ακρίβεια: έως και  $\pm 0,2$  ppm

Υψηλή διασταυρούμενη ευαισθησία με αέριο NO<sub>2</sub>. Διόρθωση μπορεί να είναι απαραίτητη σε περιβάλλοντα με NO<sub>2</sub>.

Εύρος θερμοκρασίας: -20  $^{\circ}$ C έως 40  $^{\circ}$ C

Υγρασία λειτουργίας: 15 έως 85% RH χωρίς συμπύκνωση

Εύρος πίεσης: 80 έως 120 kPa  
Θερμοκρασία αποθήκευσης: 3 °C έως 20 °C  
Αναμενόμενη διάρκεια λειτουργίας: > 24 μήνες στον αέρα

#### Αισθητήρας NO<sub>2</sub>

4-NO2-20

Ονομαστική περιοχή: 0 έως 20 ppm  
Μέγιστη υπερφόρτωση: 250 ppm  
Μακροχρόνια μετατόπιση εξόδου: <2% σήματος / μήνα  
Χρόνος απόκρισης : ≤ 30 δευτερόλεπτα  
Ευαισθησία: 600 ± 150 nA / ppm  
Ακρίβεια: έως και 0,1 ppm  
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 λειτουργίας: 2 χρόνια στον αέρα

#### Αισθητήρας SO<sub>2</sub>

SO2-A4

Ονομαστική περιοχή: 0 έως 20 ppm  
Μέγιστη υπερφόρτωση: 100 ppm  
Μακροπρόθεσμη μετατόπιση ευαισθησίας: <± 15% αλλαγή / έτος στον αέρα του εργαστηρίου  
Μακροχρόνια μηδενική μετατόπιση: <20 ppb ισοδύναμη αλλαγή / έτος στον αέρα του εργαστηρίου  
Χρόνος απόκρισης : ≤ 20 δευτερόλεπτα  
Ευαισθησία: 320 ± 480 nA / ppm  
Ακρίβεια: έως και 0,1 ppm  
Εύρος θερμοκρασίας: -30 °C έως 50 °C  
Υγρασία λειτουργίας: 15 έως 90% RH χωρίς συμπύκνωση  
Εύρος πίεσης: 80 έως 120 kPa  
Θερμοκρασία αποθήκευσης: 0 °C έως 20 °C  
Αναμενόμενη διάρκεια λειτουργίας: 2 χρόνια στον αέρα

#### **4.1.2.3) Αισθητήρας αιωρούμενων σωματιδίων**

Ο αισθητήρας αιωρούμενων σωματιδίων βρίσκεται τοποθετημένος και αυτός επάνω στο τμήμα ξύλου με τέτοιο τρόπο ώστε να μην περιορίζεται η ροή του αέρα από την είσοδο και έξοδο του αισθητήρα. Η αρχή λειτουργίας του συγκεκριμένου αισθητήρα είναι να προσροφά τον αέρα του περιβάλλοντος με την αντλία που βρίσκεται στο εσωτερικό, να αναλύει αυτό το δείγμα και ένα συνεχία να αποβάλλει τον αέρα από την έξοδο προς το περιβάλλον. Στην εικόνα 4.14 φαίνεται επίσης και η υποδοχή για τη σύνδεση του αισθητήρα με την υπόλοιπη συσκευή μέτρησης.

#### **Προδιαγραφές αισθητήρα σωματιδίων**

Εύρος σωματιδίων (μm): 0,35 έως 40  
Διάστημα δειγματοληψίας (δευτερόλεπτα): 1 έως 30 ιστογράμματα  
Συνολικός ρυθμός ροής: 5,5 L / min  
Ρυθμός ροής δείγματος: 280 mL / min

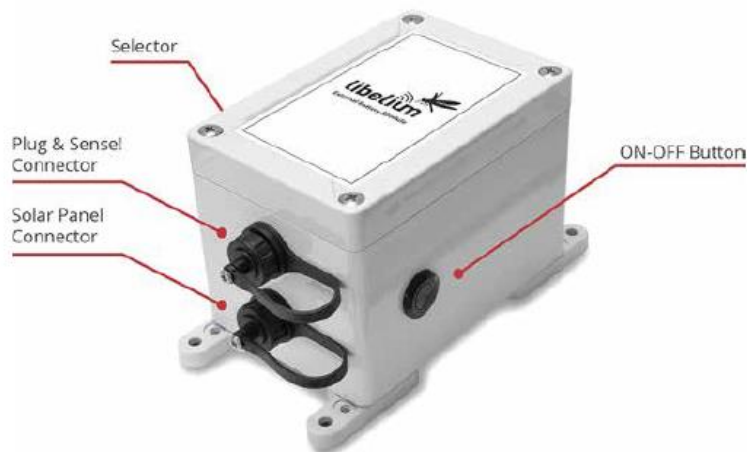
Μέγιστος ρυθμός μέτρησης σωματιδίων: 10000 σωματίδια / δευτερόλεπτο  
Λειτουργία μέτρησης (λείζερ και ανεμιστήρας ενεργοποιημένος): 270 mA @ 5 Volts (τυπικό)  
Εύρος τάσης: 4,8 έως 5,2 V DC  
Εύρος θερμοκρασίας: -10 °C έως 50 °C  
Υγρασία λειτουργίας: 0 έως 99% RH χωρίς συμπύκνωση



**Εικόνα 4.14:** Κάτοψη αισθητήρα σωματιδίων (Πηγή: LIBELIUM, 2020)

#### 4.1.2.4) Μπαταρία

Η μπαταρία συνδέεται με το φωτοβολταϊκό και παρέχει ρεύμα στη συσκευή μέσω ενός επιλογέα, με 3 διαφορετικούς τρόπους. Όταν ο επιλογέας βρίσκεται στη θέση 1,2,3, ο χρόνος φόρτισης της συσκευής θα είναι αντίστοιχα 5,15,30 λεπτά ανά ημέρα. Η φόρτιση της συσκευής λαμβάνει χώρα 5 λεπτά από τη στιγμή που θα εκκινήσουμε την μπαταρία με το κουμπί ON/OFF. Εάν πρέπει να αλλάξουμε τη λειτουργία παροχής ρεύματος, πρέπει πρώτα να απενεργοποιήσουμε τη μπαταρία με το κουμπί OFF, διαφορετικά η μετακίνηση του επιλογέα δεν θα έχει κανένα αποτέλεσμα. Στην παρακάτω εικόνα 4.13 παρουσιάζονται τα βασικά σημεία της μπαταρίας



**Εικόνα 4.15:** Μπαταρία παροχής ρεύματος της συσκευής (Πηγή: LIBELIUM, 2020)

#### Προδιαγραφές μπαταρίας

Απόδοση μπαταρίας: 26 Ah, μη επαναφορτιζόμενη μπαταρία  
Διαστάσεις: 122 mm x 82 mm x 84 mm  
Εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας: -30 °C έως 70 °C  
Ποσοστό αυτοεκφόρτισης : Χαμηλό



Περίβλημα: αδιάβροχο, πολυανθρακικό  
Τάση ηλιακού συλλέκτη: έως 18 V

#### 4.1.2.5) **Σύνδεση αισθητήρων**

Για τη λειτουργία και μεταφορά αρχείων από τη συσκευή ανίχνευσης στον υπολογιστή υπάρχει εγκατεστημένος ένας server (TCP) ο οποίος ταυτοποιεί τη συσκευή μέσω του υλικολογισμικού (firmware). Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε μορφή κειμένου έτσι ώστε να μην καταλαμβάνουν πολύ χώρο από τη μνήμη. Για τη σύνδεση της συσκευής στο διαδίκτυο απαιτείται μια άλλη συσκευή η οποία μπορεί να είναι είτε ενσύρματη είτε ασύρματη (έξυπνο τηλέφωνο, ρούτερ).

## 4.2) **Μεθοδολογία λήψης μετρήσεων**

Όπως είδαμε και στις προηγούμενες ενότητες οι αισθητήρες χαμηλού κόστους είναι σε θέση να απεικονίσουν την κατάσταση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Την ίδια στιγμή πληθώρα ερευνών έχει πραγματοποιήσει εκστρατείες μετρήσεων με σκοπό να αποτιμηθούν οι συγκεντρώσεις των ρύπων ιδιαίτερα στα αστικά κέντρα. Αυτό που συνάγεται ως συμπέρασμα από τα παραπάνω είναι ότι ο τρόπος με τον οποίο θα καταγραφεί η ποιότητα του αέρα καθορίζει την εγκυρότητα και την αντιπροσωπευτικότητα των δεδομένων μας ειδικά όταν οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε σύντομο χρονικό διάστημα. Επιπλέον το γεγονός ότι οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με συσκευές χαμηλού κόστους συνεπάγεται ότι απαιτείται ένας κατάλληλος σχεδιασμός για την διεξαγωγή μετρήσεων. Είναι ορατό λοιπόν ότι πρέπει να ακολουθηθεί μια κατάλληλη μεθοδολογία έτσι ώστε να δώσουμε την απαραίτητη πληροφορία για την ποιότητα του αέρα. Στις περισσότερες έρευνες οι μετρήσεις διεξάγονταν είτε με όργανα χαμηλού κόστους είτε με συσκευές ακριβείας υψηλού κόστους. Επίσης, επιλέγουμε να καταγράψουμε συγκεκριμένα τους αέριους ρύπους ( $O_3$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$ ) και τους σωματιδιακούς (PM) διότι είναι οι πιο επικίνδυνοι για την υγεία και ταυτόχρονα είναι εκείνοι που επικρατούν περισσότερο στις αστικά κέντρα σύμφωνα με τους (Shaibal et al., 2015). Στη συγκεκριμένη έρευνα οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με όργανα χαμηλού κόστους ενώ υπήρξε μια ακόμη εκστρατεία μετρήσεων με όργανα ακριβείας για την ακριβέστερη καταγραφή των αέριων ρύπων. Επιπροσθέτως πριν την διεξαγωγή μετρήσεων σε πραγματικό περιβάλλον έγιναν δοκιμές διαστήματος 40 ημερών σε σύγκριση με τα όργανα ακριβείας του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών.

### 4.2.1) **Μεθοδολογία λήψης μετρήσεων με τη συσκευή χαμηλού κόστους**

Σε πρώτο στάδιο για τη εξακρίβωση της εγκυρότητας των δεδομένων καθώς επίσης και της συνδεσιμότητας της συσκευής στο διαδίκτυο, πραγματοποιήθηκαν συγχρονισμένες μετρήσεις με τα όργανα του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Για τη διαδικασία αυτή χρειάζεται περίπου ένας μήνας σύμφωνα με τους (Carranco et al., 2017). Στη δική μας μελέτη αυξήσαμε λίγο την χρονική περίοδο αυτή διότι υπήρχαν προβλήματα στη σύνδεση της συσκευής με το μόντεμ του Αστεροσκοπείου, με αποτέλεσμα την διακεκομμένη λειτουργία τους. Κατά την εγκατάσταση του εξοπλισμού μας στο χώρο του αστεροσκοπείου, δόθηκε έμφαση στις εξής παραμέτρους. Αρχικά εγκαταστήσαμε τις δύο συσκευές χαμηλού κόστους δίπλα δίπλα και στο πλησιέστερο δυνατό σημείο με τα όργανα ακριβείας του Αστεροσκοπείου όπως στην εικόνα 4.16. Επίσης δόθηκε προσοχή στην τοποθέτηση και διαδρομή των καλωδίων ώστε αυτά να μην τσακίζουν και να μην πιέζονται από άλλες διατάξεις. Εν συνεχεία συγχρονίσαμε την ώρα από τις συσκευές μας με την ώρα των οργάνων του αστεροσκοπείου, κάτι τέτοιο έχει πραγματοποιηθεί και από τους (Castello et al., 2019).



**Εικόνα 4.16 :** Εγκατάσταση εξοπλισμού στο Αστεροσκοπείο  
(Πηγή: Προσωπικό αρχείο)

Τα δεδομένα που λάβαμε από το Αστεροσκοπείο και από τα δύο συνεγκατεστημένα φορητά όργανα EBB και E46 ήταν σε ωριαία βάση για το διάστημα 29/10/2019 έως 3/12/2019 και φαίνονται στις παρακάτω εικόνες 4.17, 4.18 και 4.19. κατά την επεξεργασία δεδομένων του Αστεροσκοπείου μετατράπηκαν οι αέριοι ρύποι από ppb σε ppm.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2											$\mu\text{g m}^{-3}$	
3	Date (UTC+02:00)	O3 (ppb)	CO (ppm)	NO (ppb)	NO2 (ppb)	NOx (ppb)	SO2 (ppb)	Temp (C)	RH (%)	PM1	PM2.5	PM10
4	10/29/19 0:00	1.01038	0.58838	10.2492	42.43	52.67933		17.7	75	26.0758	28.0083	32.4399
5	10/29/19 1:00	0.87887	0.69432	29.453	37.74083	67.193		17.4	76	27.3598	29.2848	34.2788
6	10/29/19 2:00	0.83937	0.65002	33.6092	36.00733	69.617		16.8	75	27.4277	29.2368	33.3942
7	10/29/19 3:00	0.58498	0.48252	20.968	31.86967	52.83733		16.5	78	26.4279	28.0672	31.412
8	10/29/19 4:00	0.5665	0.42812	17.316	28.6495	45.96583		15.9	79	26.3103	27.8592	30.8222
9	10/29/19 5:00	0.55372	0.38393	20.66	27.5545	48.214		15.8	80	26.7932	28.4797	33.1299
10	10/29/19 6:00	0.52393	0.45477	46.5162	26.82583	73.34283		15.3	81	28.319	30.0527	33.9632
11	10/29/19 7:00	0.76648	0.69887	78.3848	32.2195	110.6048		15.2	81	29.0844	31.3921	38.3037
12	10/29/19 8:00	1.21633	1.11733	114.828	43.7705	158.5995		15.7	81	30.6358	33.9268	45.8159
13	10/29/19 9:00	5.22288	0.82208	65.8015	47.41067	113.212		16.9	76	30.6681	33.7669	44.9063
14	10/29/19 10:00	13.6474	0.4306	9.36267	40.24733	49.6095		19.0	72	26.6076	28.8723	36.1078
15	10/29/19 11:00	21.5886	0.22243	3.72633	26.05367	29.77967		21.0	60	22.1943	23.9073	28.4167
16	10/29/19 12:00	29.1321	0.20218	1.5555	20.6865	22.242		22.3	59	21.3543	22.9166	26.6722
17	10/29/19 13:00	34.7688	0.17807	0.63533	16.68667	17.32167		23.5	50	21.6592	23.1949	27.0375
18	10/29/19 14:00	38.4202	0.19842	0.23167	14.393	14.62533		23.3	54	22.1603	23.6472	27.3341
19	10/29/19 15:00	36.9056	0.19875	0.17017	15.5235	15.69417		23.7	48	22.8975	24.4159	28.1351
20	10/29/19 16:00	35.6383	0.19115	0.00167	15.01567	15.01783		22.6	60	22.2332	23.7052	27.0889
21	10/29/19 17:00	35.3808	0.19623	-0.131	13.00967	12.87833		21.0	67	21.5399	22.8942	25.9963
22	10/29/19 18:00	30.1233	0.23077	-0.17367	15.718	15.54483		20.0	69	22.0402	23.4757	26.8818
23	10/29/19 19:00	26.3693	0.2713	-0.11267	18.99167	18.87933		19.5	71	22.8857	24.397	27.7572

**Εικόνα 4.17** Δεδομένα του αστεροσκοπίου σε ωριαία βάση για το χρονικό διάστημα 29/10/2019 έως 3/12/2019.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	EBB - No1	SO2	Pressure	R. Humidity	Tc	PM10	PM2.5	PM1	NO2	O3	CO
2	2019-10-29 10:00:00	0.084	100533.1875	44.9346	26.2	14.6	10.76	7.04	0	0.0368	3.9177
3	2019-10-29 11:00:00	0.000713043	100544.4535	47.75255652	25.42956522	14.64826087	8.199130435	5.914782609	0	0.003908696	1.434804348
4	2019-10-29 12:00:00	0	100540.3119	50.75221538	23.67711538	13.10192308	7.331538462	5.212307692	0	0.001536538	0.709323077
5	2019-10-29 13:00:00	0	100515.0009	47.30463462	24.64711538	10.47711538	6.903846154	4.973846154	0	0.000369231	0.626482692
6	2019-10-29 14:00:00	0	100499.8231	44.932302	25.0844	10.1692	6.981	5.0832	0	0.000344	0.592196
7	2019-10-29 15:00:00	0	100469.4861	49.65077647	24.13764706	12.47647059	7.556862745	5.641764706	0	0.010619608	0.607009804
8	2019-11-01 11:00:00	0	100645.8685	64.91294634	18.9995122	12.79487805	5.287073171	2.17195122	0	0	0.992756098
9	2019-11-01 12:00:00	0	100615.9164	64.74535098	18.80509804	10.97490196	4.65627451	2.060392157	0	0	1.000262745
10	2019-11-01 13:00:00	0	100607.4835	63.60638679	18.83528302	10.29867925	4.478867925	1.811509434	0	0	1.034396226
11	2019-11-01 14:00:00	0	100595.6936	62.05776471	19.1545098	10.05352941	4.772156863	2.220196078	0	0	1.02104902
12	2019-11-01 15:00:00	0	100584.7006	62.88936731	18.66538462	9.590769231	4.7825	2.174230769	0	0	1.022761538
13	2019-11-01 16:00:00	0	100605.0194	67.02028462	17.36	9.433269231	4.579230769	1.975961538	0	0	1.054822692
14	2019-11-01 17:00:00	0	100628.9145	67.82430769	16.56730769	12.27423077	5.157115385	2.233076923	0	0	1.068961538
15	2019-11-01 18:00:00	0	100680.069	69.26699615	16.12230769	9.635769231	5.352692308	2.628846154	0	0	1.075894231
16	2019-11-01 19:00:00	0	100724.1114	68.56666863	15.98098039	11.1854902	5.418823529	2.720588235	0	0	1.060398039
17	2019-11-01 20:00:00	0	100762.1044	65.84685	16.09096154	9.199423077	5.145961538	2.878076923	0	0	1.050082692
18	2019-11-01 21:00:00	0	100799.2739	70.11625	15.785	11.64019231	5.876923077	2.964615385	0	0	1.095573077
19	2019-11-01 22:00:00	0	100794.3158	72.2907	15.50865385	15.03326923	6.259615385	2.884230769	0	0	1.092259615
20	2019-11-01 23:00:00	0	100783.3145	72.383	15.63980769	13.32634615	5.992115385	2.579615385	0	0	1.055317308
21	2019-11-02 00:00:00	0	100766.7945	72.51427143	15.59755102	12.92142857	6.064081633	2.572653061	0	0	1.053126531
22	2019-11-02 01:00:00	0	100775.1584	74.58654423	15.28288462	18.46403846	6.705192308	2.372692308	0	0	1.011015385
23	2019-11-02 02:00:00	0	100757.9079	77.50351731	14.85557692	16.07057692	6.801153846	2.262692308	0	0	1.017025
24	2019-11-02 03:00:00	0	100738.8307	78.86544118	14.69941176	16.63392157	6.391568627	2.122745098	0	0	1.005015686

**Εικόνα 4.18:** Δεδομένα του οργάνου EBB σε ωριαία βάση για το χρονικό διάστημα 29/10/2019 έως 3/12/2019.

M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
E46 - No2	SO2	Pressure	R. Humidi	Tc	PM10	PM2.5	PM1	NO2	O3	CO
	0.51005	100494.082	46.7041	26.085	28.965	11.655	8.12	0	0.1757	4.25185
	0.33527	100502.0949	47.40835	26.158	16.34	9.284	6.901	0	0.13033	1.590965
	0.240546154	100494.9066	48.45524808	25.17903846	12.88711538	7.661923077	5.451346154	0	0.121751923	0.607959615
	0.224880392	100471.619	45.98002549	25.76431373	13.61588235	7.494117647	5.454117647	0	0.132411765	0.492933333
	0.213475	100459.8642	47.23997308	24.74980769	12.76423077	7.769807692	5.722115385	0	0.132473077	0.46305
	0.213179167	100436.0446	50.4139875	23.85208333	14.34291667	8.195	6.002083333	0	0.139929167	0.48245
	0.463254762	100605.0848	70.49346429	19.59404762	12.29428571	4.929761905	2.149761905	0.047240476	0.267740476	0.473030952
	0.2714	100580.1523	71.05178077	19.23346154	11.07596154	4.746538462	2.236730769	0.021244231	0.230596154	0.499155769
	0.275396154	100566.9354	69.39233077	19.28788462	9.569807692	4.603846154	2.006923077	0.017669231	0.228157692	0.537257692
	0.275355769	100554.9225	66.73965	19.72	11.08115385	5.040961538	2.454230769	0.017005769	0.227432692	0.485532692
	0.267667308	100547.3755	68.96538269	19.00730769	11.07423077	5.078076923	2.436346154	0.020923077	0.232828846	0.517742308
	0.276959615	100565.9016	74.87051346	17.65153846	11.25134615	5.4875	2.376730769	0.028698077	0.235726923	0.537676923
	0.278537255	100588.9969	76.15357059	16.81823529	12.1354902	5.524705882	2.512352941	0.026966667	0.235333333	0.562913725
	0.272876923	100645.8044	78.37319615	16.3525	12.61365385	5.814230769	2.942115385	0.028092308	0.235990385	0.564388462
	0.275407692	100685.8075	77.31989615	16.1975	12.00230769	5.764230769	3.104230769	0.020953846	0.234301923	0.548126923
	0.270980769	100727.8932	73.310975	16.31788462	10.34403846	5.459615385	3.133653846	0.019188462	0.232065385	0.538625
	0.280801923	100760.6511	79.55399423	16.02923077	11.52288462	6.307884615	3.404230769	0.030519231	0.233938462	0.586017308
	0.286221569	100755.0577	82.53669216	15.7527451	13.58156863	6.498039216	3.208627451	0.028696078	0.232178431	0.585621569
	0.279992308	100743.0879	82.62014038	15.88788462	13.75115385	6.365192308	2.916730769	0.022744231	0.228742308	0.529892308
	0.282544231	100726.0598	83.00150385	15.81596154	16.81230769	6.682115385	2.921730769	0.022451923	0.228276923	0.516965385
	0.289140385	100734.6534	86.19339808	15.53730769	16.58846154	7.094230769	2.735192308	0.021178846	0.229753846	0.500490385
	0.285276471	100718.5862	91.41373529	15.08235294	17.94647059	6.880392157	2.547058824	0.022880392	0.228092157	0.495386275
	0.287115385	100701.4817	94.07835577	14.92115385	17.56326923	6.641730769	2.479230769	0.021888462	0.227048077	0.481563462

**Εικόνα 4.19:** Δεδομένα του οργάνου E46 σε ωριαία βάση για το χρονικό διάστημα 29/10/2019 έως 3/12/2019.

Σε επόμενο βήμα, λόγω της διακοπόμενης σύνδεσης των οργάνων στο wi-fi κάναμε αρκετές επανεκκινήσεις των οργάνων προκειμένου να ξανασυνδεθούν στο διαδίκτυο. Το γεγονός αυτό, μας ωθεί στο να πραγματοποιηθούν εκ νέου δοκιμές στο εργαστήριο προκειμένου να γίνουν κατανοητά τα αδύναμα σημεία του συγκεκριμένου εξοπλισμού.

Όσον αφορά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι οι αισθητήρες αέριων ρύπων (O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO) και των δύο συσκευών αδυνατούσαν να μετρήσουν τα σχετικά μικρά επίπεδα

ρύπανσης, της προς μελέτη περιοχής. Επομένως, με τις μετρήσεις των ρύπων ( $O_3$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$ ) θα δινόταν, απλώς μια γενική εικόνα της ποιότητας του αέρα. Από την άλλη, οι αισθητήρες σωματιδιακών ρύπων έδειξαν καλή συσχέτιση και ακρίβεια.

Εν συνεχεία, για να εξακριβωθούν οι παραπάνω πληροφορίες, έλαβε χώρα μια πρώτη εκστρατεία μετρήσεων, αυτή τη φορά όμως με κινητή παροχή διαδικτύου. Ειδικότερα με το hot spot ενός έξυπνου τηλεφώνου που είχαμε μαζί μας.

Η πρώτη εκστρατεία μετρήσεων λοιπόν πραγματοποιήθηκε στις 18/12/2019 με το ένα από τα δύο όργανα χαμηλού κόστους, το ακριβέστερο. Εντός τις μέρας λοιπόν, πραγματοποιήθηκαν 3 ρούτες, η μια εκ των οποίων έλαβε χώρα με τη χρήση ποδηλάτου.

Αναλυτικότερα, επάνω στη σχάρα του ποδηλάτου είχε τοποθετηθεί η συσκευή, σε ύψος ενός μέτρου και με αυτό το τρόπο επιτυγχάναμε τη ταχύτερη μετακίνηση από σημείο σε σημείο. Το πρόβλημα όμως ήταν ότι οι προεπιλεγμένοι δρόμοι, ήταν πλακόστρωτοι και επομένως το ποδήλατο δονούταν αρκετά. Κάτι τέτοιο είχε ως αποτέλεσμα την ανεπιθύμητη αποσυναρμολόγηση των αισθητήρων από την συσκευή.

Αξίζει να σημειώσουμε επιπλέον, ότι εντός της μέρας δοκιμάσαμε τη σύνδεση του οργάνου τόσο με το δίκτυο της Cosmote όσο και με της Vodafone. Το αποτέλεσμα ήταν ότι τα όργανα δουλεύαν αδιάληπτα με το δίκτυο της Cosmote ενώ με το δίκτυο Vodafone υπήρχαν διακοπές στη λειτουργεία.

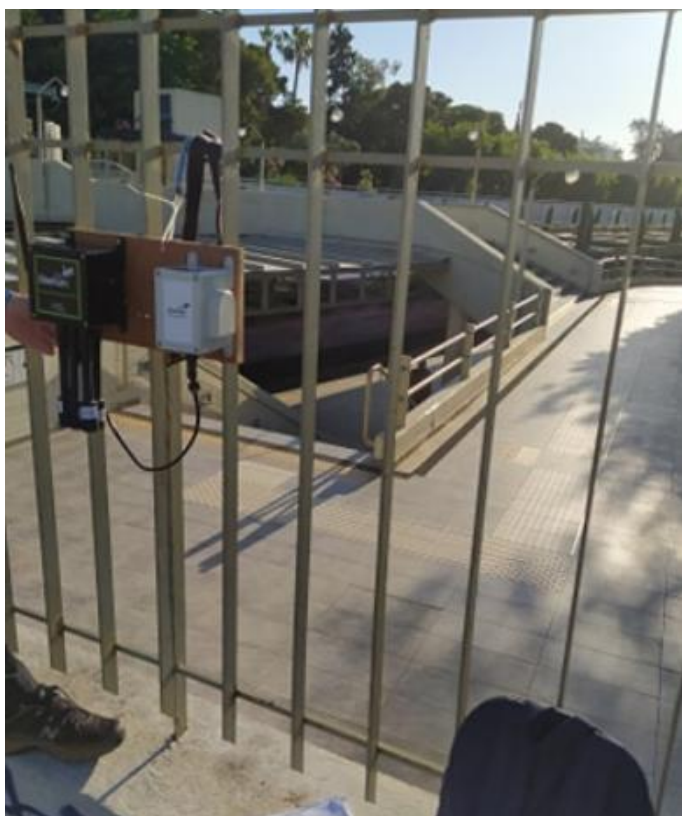
Δοκιμάζοντας όλα τα παραπάνω καταλήξαμε στο γεγονός ότι οι ρούτες που θα εκτελέσουμε θα γίνουν με τα πόδια και όχι με ποδήλατο, ενώ ταυτόχρονα το έξυπνο κινητό θα είναι εφοδιασμένο με δεδομένα κινητής τηλεφωνίας, από το δίκτυο της Cosmote. Με τα έως τώρα δεδομένα είμαστε σε θέση να αναλύσουμε την περαιτέρω μεθοδολογία λήψης μετρήσεων στο κέντρο της Αθήνας με την συσκευή χαμηλού κόστους.

Αναλυτικότερα:

**1)** Σε πρώτο στάδιο σχεδιάζεται η ρούτα η οποία περιλαμβάνει 6 σημεία ενδιαφέροντος. Μέσα στη ρούτα πρέπει να συμπεριλάβουμε τουλάχιστον ένα σημείο υποβάθρου όπου πλησίον θα βρίσκεται και ο σταθερός σταθμός όπως έκαναν και οι (Alas et al., 2019). Στη δική μας μελέτη το σημείο υποβάθρου ήταν σταθμός παρακολούθησης τη αέριας ρύπανσης του Αστεροσκοπείου στο Θησείο, ενώ το σημείο όπου περνάμε τις μετρήσεις ήταν 200 μέτρα πιο μακριά. Για τα υπόλοιπα σημεία σκεφτόμαστε όπως και ο (Shaibal et al., 2015), (Van den Bossche, 2016), δηλαδή, χωρίζουμε την προς μελέτη περιοχή σε ζώνες.

Ειδικότερα, όπως φαίνεται και στις εικόνες 4.20 έως 4.24, τα σημεία που επιλέχθηκαν, ήταν ο σταθμός ηλεκτρικού του Θησείου, η πλατεία της Ακρόπολης, το πεζοδρόμιο απέναντι από την πύλη Αδριανού, η πλατεία Συντάγματος (δυστυχώς δεν υπάρχει φωτογραφία – καταστροφή αρχείου), η πεζοδρομημένη διασταύρωση Ερμού και Ευαγγελίστριας, η πλατεία Μοναστηρακίου. Το συνολικό μήκος της ρούτας ήταν περίπου 3 χιλιόμετρα.

Αξίζει εδώ να σημειωθεί, ότι από τη μεταφορά μας από το ένα σημείο στο άλλο το όργανο παρέμενε ανοιχτό έτσι ώστε να μην χρειάζεται ζέσταμα για κάθε σημείο. Το κάθε σημείο από τα προαναφερόμενα, απείχε από το προηγούμενο και από το επόμενο περίπου 10 λεπτά. Με αυτό το τρόπο η κάθε ρούτα τελείωνε σε μιάμιση ώρα περίπου. Σκοπός κατά τη σχεδίαση της ρούτας αυτής είναι η προσομοίωση διάφορων σεναρίων έκθεσης του ανθρώπου εντός του αστικού περιβάλλοντος της ιστορικής Αθήνας.



**Εικόνα 4.20:** Θησείο σταθμός ηλεκτρικού



**Εικόνα 4.21 :** Πλατεία Ακροπόλεως



Εικόνα 4.22 : Απέναντι πεζοδρόμιο Πύλης Αδριανού



Εικόνα 4.23 : Ερμού και Ευαγγελίστριας



**Εικόνα 4.24 :** Πλατεία Μοναστηρακίου

**2)** Σε επόμενο στάδιο μελετάται το πόσες ρούτες χρειάζεται να γίνουν προκειμένου να έχουμε μια έγκυρη εικόνα για τη ποιότητα του αέρα στην προς μελέτη περιοχή. Για παράδειγμα οι (Van Roppel et al., 2013) προτείνουν δύο ρούτες ανά ημέρα μέσα σε 10 τυχαίες ημέρες του έτους.

Στη δική μας περίπτωση πραγματοποιήθηκαν 3 ρούτες ανά ημέρα τις ώρες αιχμής της κυκλοφορίας ώστε να απεικονίσουμε και την χρονική μεταβολή των ρύπων εντός της ημέρας. Παρόμοια μέθοδο ακολουθήσε και ο ερευνητής (Henninger, 2011). Ο χρόνος δειγματοληψίας στο κάθε σημείο ήταν περίπου 10 λεπτά λαμβάνοντας έτσι περίπου 5 τιμές για κάθε σημείο. Ο συνολικός αριθμός που εκτελέσαμε ήταν 30 ρούτες σε 10 τυχαίες ημέρες.

**3)** Σε τελικό στάδιο ασχολούμαστε με το τρόπο εγκατάστασης και μεταφοράς του εξοπλισμού ώστε να είναι εύκολος στη μετακίνηση και τη στήριξη του στο κατάλληλο ύψος. Πιο συγκεκριμένα, τοποθετήσαμε τον εξοπλισμό επάνω σε ένα τμήμα ξύλου όπως φαίνεται στην εικόνα 4.25.

Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δίνεται και στο γεγονός ότι ο αισθητήρας σωματιδίων λειτουργεί με απορρόφηση δείγματος αέρα και έτσι δεν πρέπει να καλύπτεται από άλλα τμήματα του εξοπλισμού. Αξίζει ακόμη να σημειώσουμε ότι τόσο η κεραία της συσκευής όσο και οι αισθητήρες, είναι ευαίσθητα εξαρτήματα και θα πρέπει να μην τραυματίζονται ούτε κατά τη μεταφορά τους ούτε κατά την τοποθέτησή τους στο σημείο της μέτρησης.



Εικόνα 4.25: Τοποθέτηση συσκευών στο ξύλο μεταφοράς

Τα δεδομένα από τις μετρήσεις με το φορητό όργανο E46 στα προαναφερόμενο σημεία για τις δέκα διαφορετικές μέρες, παρουσιάζονται στη παρακάτω εικόνα 4.26.

E46	datetime		Pressure	R. Humidity	Tc	PM10	PM2.5	PM1
	2019-12-18 07:40:27	Θησείο	102204.8	100	10.28	20.98	12.4	7.17
	2019-12-18 07:49:31		102213	100	9.28	28.84	21.66	12.98
	2019-12-18 07:51:37		102214.2	100	9.11	27.48	18.57	12.22
	2019-12-18 07:56:01		102215.9	100	8.83	34.67	19.89	12.67
	2019-12-18 08:07:26		102221.9	100	8.59	70.51	26.23	16.79
	2019-12-18 08:39:29	Ακροπολη	101815.2	100	12.97	17.22	11.65	7.73
	2019-12-18 08:41:34		101809.8	100	13.81	10.57	9.67	7.47
	2019-12-18 08:43:44		101823.6	100	14.42	22.72	16.05	9.16
	2019-12-18 08:45:51	Πύλη	101812.5	100	14.36	30.98	16.53	10.62
	2019-12-18 08:47:57		101855.9	100	13.86	37.87	25.41	14.8
	2019-12-18 08:50:03		101938.2	100	13.43	21.41	13.05	8.96
	2019-12-18 08:52:10		102024.4	100	12.78	14.91	11.82	8.43
	2019-12-18 08:54:16	Σύνταγμα	102031.2	100	12.8	50.43	14.98	7.29
	2019-12-18 08:56:21		102008.4	100	13.74	19.05	11.18	6.9
	2019-12-18 08:58:31		102004.7	100	14.67	22.98	14.66	7.98
	2019-12-18 09:00:37		101998.9	98.5664	15.5	19.91	12.9	6.22

Εικόνα 4.26: Δεδομένα από το δεύτερο φορητό όργανο E46

#### 4.2.2) Μεθοδολογία λήψης μετρήσεων με χρήση οχήματος και όργανα ακριβείας.

Πληθώρα ερευνών για τη καταγραφή τη αέριας ρύπανσης στα αστικά κέντρα, με τη χρήση οχημάτων όπως οι (Shaibal et al., 2015) (Henninger, 2011) (Castello et al., 2019) έχουν πραγματοποιηθεί



προκειμένου να δοθεί μια ακριβέστερη εικόνα σε σχέση με τις συσκευές χαμηλού κόστους. Αποτελεί κοινό τόπο το γεγονός ότι, τα χρησιμοποιούμενα αυτά οχήματα πρέπει να είναι ηλεκτροκίνητα, προκειμένου να μην συνεισφέρουν στην αέρια ρύπανση του προς μελέτη χώρου. Επιπλέον, τα οχήματα αυτά φέρουν εξοπλισμό ακριβείας διότι δεν τίθεται θέμα βάρους για την μεταφορά τους. Αντιθέτως, προκύπτουν άλλα προβλήματα όπως η στάθμευση του οχήματος, η προσβασιμότητα στο χώρο ενδιαφέροντος κλπ. Όλα τα παραπάνω σε συνδυασμό με την αδυναμία της δικής μας συσκευής χαμηλού κόστους να δώσει έγκυρες τιμές για τους ρύπους ( $O_3$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$ ) μας οδήγησαν στο να εξετάσουμε τουλάχιστον ένα σημείο της προς μελέτη περιοχής με τη χρήση ενός ηλεκτροκίνητου βαν που φέρει εξοπλισμό υψηλής ακριβείας. Με το τρόπο αυτό εξετάζουμε τόσο τη κατάσταση της ποιότητας του αέρα σε ένα αρκετά ενδιαφέρον και κοσμικό σημείο όσο και την δυνατότητα πραγματοποίησης μετρήσεων με όχημα στο πολυσύχναστο κέντρο της Αθήνας. Παρακάτω θα αναλυθεί η διαδικασία καταγραφής ρύπων με το ηλεκτροκίνητο βαν καθώς επίσης και οι σχετικές διαδικασίες για την χορήγηση των απαιτούμενων αδειών μιας τέτοιας ενέργειας.

#### 4.2.2.1) Επιλογή του σημείου στάθμευσης

Η επιλογή του σημείου στάθμευσης του οχήματος είναι αρκετά σημαντική παράμετρος κατά την λήψη μετρήσεων με το όχημα που φέρει τον εξοπλισμό ακριβείας. Πιο συγκεκριμένα, πρέπει να συνδυαστεί κατάλληλα το σημείο που θέλουμε να μελετήσουμε με την γενικότερη μορφολογία του χώρου ώστε να λαμβάνουμε έγκυρα και αδιάληπτα δεδομένα. Παράλληλα, για την λειτουργία των οργάνων μέτρησης απαιτείται εξωτερική πηγή ρεύματος. Αναλύοντας περισσότερο τις συνιστώσες του ζητήματος πρέπει αρχικά να αναφέρουμε ότι το σημείο ενδιαφέροντος θα εμπεριέχεται εντός της προσχεδιασμένης ρούτας και ταυτόχρονα θα δίνει μια εικόνα για την ευρύτερη περιοχή. Στη συνέχεια, θα πρέπει να ελέγξουμε την προσβασιμότητα του σημείου τόσο μέσω των χαρτών google όσο και μέσω της φυσικής πρόσβασής μας όπως έκαναν και οι (Shaibal et al., 2015).

Στη δική μας έρευνα, μεταβήκαμε με τη βοήθεια μοτοσυκλετών σε κάθε σημείο ενδιαφέροντος ώστε να είμαστε ευέλικτοι μέσα στο αστικό κέντρο. Ταυτόχρονα ελέγξαμε και τη κλίση του οδοστρώματος διότι κάποιος δρόμος με ανοδική η καθοδική κλίση θα ήταν εμπόδιο για την μέτρηση με τον αναλυτή  $CO$  (περισσότερες λεπτομέρειες για τον εξοπλισμό στο κεφάλαιο 4.1). Επιπλέον, πρέπει να δοθεί έμφαση στη σήμανση των δρόμων, καθώς σε πάρα πολλά σημεία εντός της Αθήνας δεν επιτρέπεται η στάθμευση.

Στην περίπτωση όπου θα χρειαστεί κάποια μετακίνηση του βαν, η διαδικασία πρέπει να επαναληφθεί από την αρχή διότι τα μηχανήματα πρέπει να απενεργοποιηθούν και να ενεργοποιηθούν ξανά. Το γεγονός αυτό μας εξαναγκάζει στην εύρεση μιας θέσης στάθμευσης στην οποία εξασφαλίζεται η πολύωρη στάση με το ηλεκτροκίνητο όχημα μας. Στο επόμενο στάδιο αφού έχουμε καταγράψει τα σημεία που παρέχουν ρεύμα (πίλαρ), τα συνδυάζουμε με τις προαναφερόμενες συνιστώσες.

Απλούστερα, ψάχνουμε ένα σημείο το οποίο μας ενδιαφέρει και έπειτα συνδυάζουμε την δυνατότητα παροχής ρεύματος στο όχημα μας με τη δυνατότητα στάθμευσης του και τη προσβασιμότητα του. Μια ακόμη συνιστώσα εξίσου σημαντική είναι η αποφυγή στάθμευσης σε σκιερό μέρος διότι κάτι τέτοιο επηρεάζει τις τιμές των συγκεντρώσεων και ιδιαίτερα του όζοντος που είναι φωτοχημικός ρύπος. Μόλις αποφασιστεί το σημείο στάθμευσης και ληφθούν οι απαραίτητες άδειες από τους αρμόδιους φορείς, είμαστε έτοιμοι να μεταβούμε στο μέρος που επιλέξαμε και να εγκαταστήσουμε τον εξοπλισμό προκειμένου να ξεκινήσουν οι μετρήσεις.

#### 4.2.2.2) Διαδικασίες για νόμιμη στάθμευση και ηλεκτροδότηση

Η άδεια στάθμευσης ενός οχήματος σε ένα σταθερό σημείο για τη διάρκεια όλης της μέρας και ιδιαίτερα σε χώρους όπου υπάρχουν αρχαιολογικά μνημεία αλλά και σε χώρους που είναι στενοί και με έντονη κυκλοφορία, είναι πολύπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την άδεια και την δυνατότητα ηλεκτροδότησης αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα το οποίο πρέπει να λυθεί. Σχετικά, με την άδεια στάθμευσης του βαν, λοιπόν πρέπει να απευθυνθούμε: στη Τροχαία η οποία είναι υπεύθυνη για την νομιμότητα της στάθμευσης σε γενικό πλαίσιο, στον αντιδήμαρχο Αθηνών ο οποίος είναι υπεύθυνος για την στάθμευση σε πεζοδρόμους της Αθήνας, στην εφορία αρχαιοτήτων η οποία διευθετεί θέματα σχετικά με τα αρχαία μνημεία και ό,τι είναι γειτονικά σε αυτά και στην Δημοτική Αστυνομία η οποία είναι αρμόδια για τη στάθμευση σε δρόμους και πεζοδρόμους της Αθήνας.

Παράλληλα, για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στο όχημα μας πρέπει να απευθυνθούμε: στον διευθυντή του Ηλεκτρολογικού τμήματος Αθηνών, στον προϊστάμενο τμήματος, τον Γενικό Γραμματέα, τον Προϊστάμενο του τμήματος ανθεκτικότητας και βιωσιμότητας της διεύθυνσης στρατηγικού σχεδιασμού. Ολοκληρώνοντας τις παραπάνω διαδικασίες, είμαστε σε θέση για την ολοήμερη εκστρατεία μετρήσεων με το ηλεκτροκίνητο βαν

#### **4.2.2.3) Εγκατάσταση και λειτουργία του εξοπλισμού**

Μετά την πραγματοποίηση των διαδικασιών επιλογής του χώρου στάθμευσης και αδειοδότησης, ακολουθεί η διαδικασία εγκατάστασης και ενεργοποίησης του εξοπλισμού ώστε να αρχίσουν οι μετρήσεις. Η χρονική περίοδος των μετρήσεων διαφέρει από έρευνα σε έρευνα για παράδειγμα οι (Ranasinghe et al., 2016) πραγματοποίησαν δυο ρούτες ανά ημέρα διότι οι μετρήσεις τους ήταν κινητές. Στη δική μας έρευνα επιλέξαμε σταθερή ολόημερη μέτρηση προκειμένου να δώσουμε έμφαση στη χρονική μεταβολή των ρύπων εντός της ημέρας σε ένα σημείο όπου χαρακτηρίζεται από έντονη κυκλοφορία. Η χρονική διάρκεια της μέτρησης μας ήταν από τις πρώτες πρωινές ώρες αιχμής 8:00 μέχρι τις τελευταίες βράδυνες 10:30 περίπου. Η ημερομηνία πραγματοποίησης των μετρήσεων ήταν 5/3/2020. Συνίσταται για την ευκολότερη εύρεση θέσης στάθμευσης να γίνει η άφιξη αρκετά νωρίτερα. Ένας ακόμη λόγος για την νωρίτερη άφιξη είναι η σχετικά χρονοβόρα διαδικασία για την εγκατάσταση του εξοπλισμού και την προθέρμανση των αναλυτών. Αφότου έχουν καθοριστεί τα παραπάνω είμαστε σε θέση να αναλύσουμε τα βήματα για την εγκατάσταση και λειτουργία του εξοπλισμού.

Πρώτον, συνδέουμε το κεντρικό πολύπριζο του οχήματος με την παροχή ρεύματος από το πύλαρ. Δεύτερον, στήνουμε τον μετρητικό εξοπλισμό (βροχόμετρο, πυρανόμετρο, ανεμόμετρο κλπ.). Έπειτα λύνουμε τους κοχλίες συγκράτησης της πλάκας του αναλυτή CO. Στη συνέχεια ενεργοποιούμε του αναλυτές και τον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Σε επόμενο βήμα βγάζουμε στο έξω μέρος του οχήματος τα σωληνάκια δειγματοληψίας των αναλυτών. Στο σημείο αυτό προσέχουμε το που και το πώς θα το στερεώσουμε διότι δεν πρέπει να μπαίνουν ακαθαρσίες σε αυτό και ταυτόχρονα θα πρέπει να είναι από την πλευρά του πεζοδρομίου ώστε να μην επηρεάζεται ο αέρας από τα διερχόμενα οχήματα (Henninger, 2011). Τέλος, επιθυμούμε να βρίσκεται στο ύψος αναπνοής του ανθρώπου σχετικά με την λήψη δεδομένων ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα.

Αρχικά, ελέγχουμε εάν το usb είναι τοποθετημένο στον ηλεκτρονικό υπολογιστή ώστε να αποθηκεύονται εκεί οι τιμές. Κάνουμε έλεγχο εάν στέλνονται δεδομένα από τους αναλυτές προς τον υπολογιστή και έπειτα περιμένουμε 30 λεπτά προκειμένου να προθερμαθούν οι αναλυτές. Ρυθμίζουμε το χρόνο δειγματοληψίας στο ένα λεπτό και ελέγχουμε την ημερομηνία και την ώρα που φαίνεται στις οθόνες των αναλυτών.

Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι, στη περίπτωση που η θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου όπου βρίσκονται τα όργανα ξεπεράσει τους 26°C τότε ανοίγουμε το κλιματιστικό που φέρει το βαν. Στη

παρακάτω εικόνα φαίνεται η θέση στάθμευσης του βαν αλλά και ο εξοπλισμός που μόλις είχε εγκατασταθεί στο επάνω μέρος του οχήματος.



**Εικόνα 4.27 :** Σταθμευμένο βαν με τον εγκατεστημένο εξοπλισμό

Τα δεδομένα που προέκυψαν από την ολόημερη εκστρατεία μετρήσεων στις 5/3/2020 τόσο από το ηλεκτρικό βαν όσο και από το αστεροσκοπείο αλλά και από το φορητό όργανο E46, παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	datetime	SO2	Pressure	R. Humidity	Tc	PM10	PM2.5	PM1	NO2	O3	CO
2	2020-03-05 10:00:00	0.315409091	100066.8018	43.57093636	17.48090909	16.64181818	6.366363636	2.659090909	0.094309091	0.250018182	0.719509091
3	2020-03-05 11:00:00	0.31386875	100065.6411	41.63646875	17.995625	15.28875	6.08875	2.790625	0.05665	0.25156875	0.51519375
4	2020-03-05 12:00:00	0.309677778	100026.158	36.54035556	19.34444444	10.81555556	3.797777778	1.661111111	0.050766667	0.242466667	0.770922222
5	2020-03-05 13:00:00	0.295828	99976.84093	37.058708	19.2888	8.2832	3.2676	1.3624	0.043104	0.249256	0.628508
6	2020-03-05 14:00:00	0.285556	99938.06656	35.516252	20.3984	6.8784	3.5296	1.5528	0.02518	0.233468	0.65618
7	2020-03-05 15:00:00	0.280041667	99937.68554	35.093575	20.28333333	10.97833333	3.2175	1.416666667	0.041966667	0.235466667	0.75885
8	2020-03-05 16:00:00	0.292826923	99961.3146	36.09246538	19.43576923	5.911538462	3.266153846	1.686153846	0.045665385	0.244646154	0.7744
9	2020-03-05 17:00:00	0.2992	100006.5371	42.14176667	17.81041667	11.97541667	3.988333333	1.774583333	0.223708333	0.251545833	0.959070833
10	2020-03-05 18:00:00	0.411174074	100097.1233	51.8834963	16.24814815	15.24888889	6.53962963	3.223703704	0.462462963	0.247025926	0.877681481
11	2020-03-05 19:00:00	0.4304625	100171.8441	57.1947875	15.47791667	13.97625	6.421666667	3.097083333	0.430870833	0.375329167	0.347370833
12	2020-03-05 20:00:00	1.784037037	100257.9326	65.66029259	13.96703704	19.48814815	7.23	3.192962963	0.733466667	0.806788889	0.811677778
13	2020-03-05 21:00:00	1.4471125	100309.5986	74.1791375	13.664375	19.654375	9.51375	4.889375	0.84524375	1.0049875	0.5802125

**Εικόνα 4.28 :** Δεδομένα σε ωριαία βάση από το φορητό όργανο E46 το οποίο λάμβανε μετρήσεις την ημέρα 5/3/2020.

	A	B	C	D	E	F	G
1	<b>DateTime</b>	<b>O3(µg/m3)</b>	<b>CO(mg/m3)</b>	<b>NO(µg/m3)</b>	<b>NOx(µg/m3NO2)</b>	<b>NO2(µg/m3)</b>	<b>SO2(µg/m3)</b>
2	3/5/2020 0:00	32.3	0.42	0.3	45.7	45.3	8.1
3	3/5/2020 1:00	35.8	0.41	0.3	35.6	35.5	7.8
4	3/5/2020 2:00	37.7	0.29	0.3	32.4	32.3	7.2
5	3/5/2020 3:00	37.9		0.3	28.9	28.6	6.9
6	3/5/2020 4:00	33.1	0.20	0.3	32.3	32.3	6.7
7	3/5/2020 5:00	22.8	0.30	5.9	51.2	42.3	6.4
8	3/5/2020 6:00	11.5	0.31	19.1	85.9	56.7	7.2
9	3/5/2020 7:00	14.9	0.46	6.8	69.8	59.5	6.4
10	3/5/2020 8:00	15.7	0.41	20.0	95.4	64.7	7.8
11	3/5/2020 9:00	39.3	0.52	5.2	46.6	38.6	8.6
12	3/5/2020 10:00	45.4	0.30	3.2	31.7	26.9	12.0
13	3/5/2020 11:00	46.1	0.27	3.3	34.7	29.7	11.7
14	3/5/2020 12:00	55.5	0.28	2.1	24.0	20.8	11.9
15	3/5/2020 13:00	57.1		1.4	19.9	17.8	10.4
16	3/5/2020 14:00	57.5	0.20	1.5	20.1	17.9	10.0
17	3/5/2020 15:00	54.0	0.20	1.5	24.5	22.2	9.4
18	3/5/2020 16:00	54.9	0.22	0.8	20.5	19.2	9.9
19	3/5/2020 17:00	49.3	0.20	0.3	24.3	23.6	9.5
20	3/5/2020 18:00	42.1	0.26	0.3	35.2	34.8	8.8
21	3/5/2020 19:00	46.0		0.3	29.1	29.0	7.8
22	3/5/2020 20:00	37.3		0.6	37.5	37.0	7.3
23	3/5/2020 21:00	10.1		17.7	96.0	68.8	7.2
24	3/5/2020 22:00	10.6		24.7	105.4	67.5	7.0
25	3/5/2020 23:00	10.9		46.5	137.7	66.5	7.9

**Εικόνα 4.29:** Δεδομένα σε ωριαία βάση από τα σταθερά όργανα του αστεροσκοπείου από την ημέρα 5/3/2020.

	A	B	C	D	E	F
1						
2	<b>Date/Time</b>	<b>CO mg/m3</b>	<b>SO2 µg/m3</b>	<b>O3 µg/m3</b>	<b>NO2 µg/m3</b>	
3	3/5/2020 10:00	-7,25	64,46	16,13	53,94	
4	3/5/2020 10:01	-7,39	61,50	35,67	87,64	
5	3/5/2020 10:02	-7,06	62,15	12,17	50,40	
6	3/5/2020 10:03	-9,32	61,81	86,83	124,71	
7	3/5/2020 10:04	-9,40	52,98	61,60	147,85	
8	3/5/2020 10:05	-9,24	49,74	27,56	89,92	
9	3/5/2020 10:06	-8,09	53,87	17,79	61,47	
10	3/5/2020 10:07	-8,60	51,79	48,05	108,20	
11	3/5/2020 10:08	-7,10	47,91	35,86	98,39	
12	3/5/2020 10:09	-6,59	54,57	5,74	39,58	
13	3/5/2020 10:10	-6,70	61,40	7,40	39,18	
14	3/5/2020 10:11	-7,65	62,40	9,77	45,35	
15	3/5/2020 10:12	-8,19	65,80	9,94	44,01	
16	3/5/2020 10:13	-8,18	63,12	24,93	79,28	
17	3/5/2020 10:14	-7,90	58,08	60,48	93,55	
18	3/5/2020 10:15	-7,31	49,20	107,85	214,80	
19	3/5/2020 10:16	-7,81	45,85	27,03	78,38	
20	3/5/2020 10:17	-8,41	46,82	29,51	77,72	
21	3/5/2020 10:18	-9,34	48,54	21,53	67,63	
22	3/5/2020 10:19	-9,71	50,99	20,32	66,32	
23	3/5/2020 10:20	-11,19	49,68	21,84	73,95	

**Εικόνα 4.30:** Δεδομένα ανά ένα λεπτό από τα σταθερά όργανα που φέρει το ηλεκτροκίνητο βαν στις 5/3/2020.

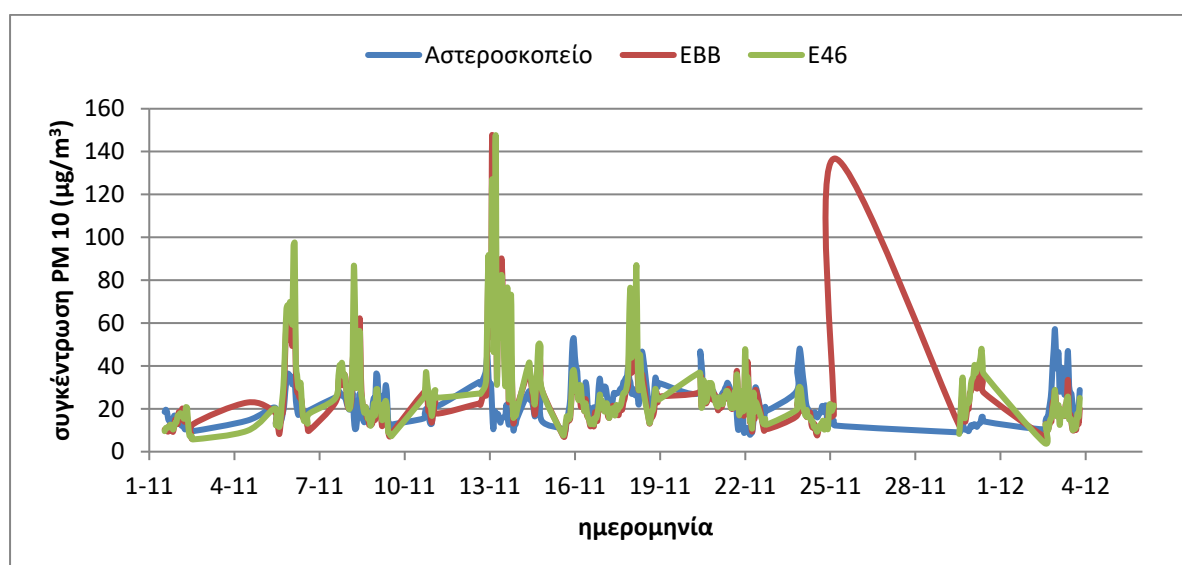
Για την σύγκριση δεδομένων σε ωριαία βάση έχει υπολογισθεί ο μέσος όρος των παραπάνω δεδομένων για κάθε ώρα ξεχωριστά.

## Κεφάλαιο 5

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε αναλυτικά τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων μας, η οποία έγινε στο πρόγραμμα Excel. Τα δεδομένα αποτελούνται από τις τιμές των ατμοσφαιρικών ρύπων  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_1$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $CO$  και  $O_3$ , οι οποίοι έχουν μετρηθεί τόσο από τα διακριβωμένα όργανα του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, όσο και από τα όργανα που είχαμε στη διάθεσή μας. Πιο συγκεκριμένα από τα φορητά όργανα E46 και EBB αλλά και από τα σταθερά καταγραφικά που φέρει το βαν του εργαστηρίου ηπίων μορφών ενέργειας και προστασίας περιβάλλοντος του πανεπιστημίου δυτικής αττικής. Οι επεξεργασία δεδομένων χωρίζεται σε τέσσερα στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι η σύγκριση των δεδομένων του Αστεροσκοπείου με τα δεδομένα από τα φορητά όργανα E46 και EBB προκειμένου να διαπιστωθεί η συσχέτιση τους. Ειδικότερα, το χρονικό διάστημα σύγκρισης ήταν περίπου ένας μήνας. Το δεύτερο στάδιο είναι η επεξεργασία δεδομένων από την ολοήμερη μέτρηση με το βαν και το φορητό όργανο E46 στις 5/3/2020, προκειμένου να δούμε σε πραγματικές συνθήκες έντονης ρύπανσης την ποιότητα των δεδομένων μας. Στο τρίτο στάδιο, γίνεται επεξεργασία μετρήσεων από της ρούτες που πραγματοποιήθηκαν στα έξι σημεία του κέντρου της Αθήνας με το φορητό όργανο E46. Κάτι τέτοιο, έχει ως αποτέλεσμα να προβληθεί η κατάσταση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης κατά τη διάρκεια της ημέρας στα έξι σημεία ενδιαφέροντος και ταυτόχρονα να δοθεί προσοχή στη τοποθεσία που εμφανίζει της μεγαλύτερες συγκεντρώσεις συνολικά. Σε τελικό στάδιο παρουσιάζονται οι τιμές του δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης DAQ έτσι ώστε να γίνει πιο εύκολα κατανοητή η υφιστάμενη κατάσταση της ποιότητας του αέρα, στα σημεία ενδιαφέροντος.

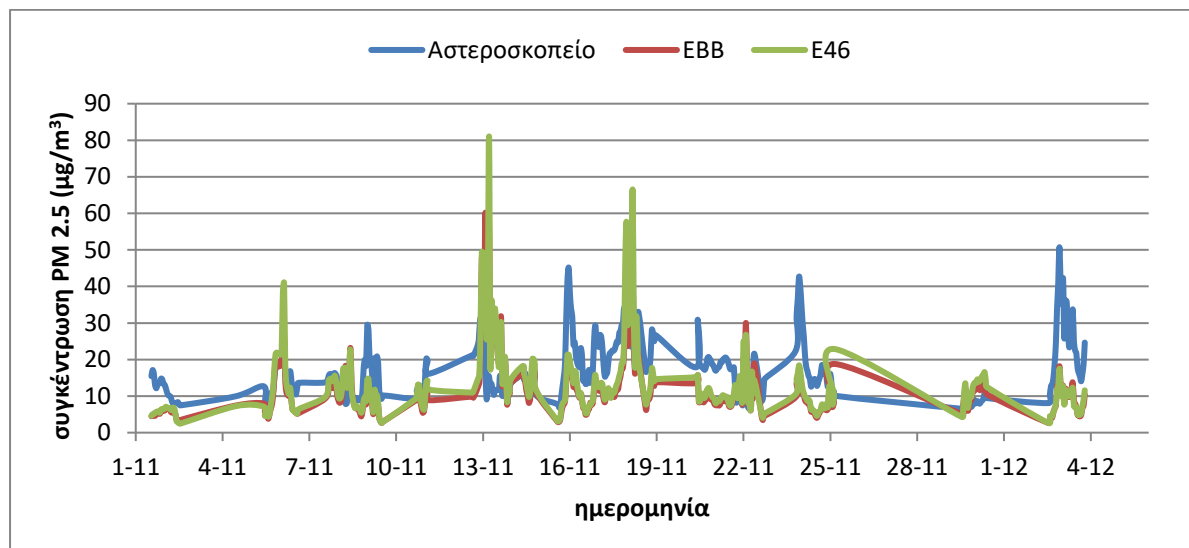
### 5.1) Σύγκριση οργάνων Αστεροσκοπείου και των δύο φορητών οργάνων E46 και EBB.

Όπως προαναφέρθηκε, για το χρονικό διάστημα 10/9/2019 έως 3/12/2019, πραγματοποιήθηκαν συγχρονισμένες μετρήσεις των οργάνων του Αστεροσκοπείου και των φορητών οργάνων E46 και EBB τα οποία ήταν συνεγκατεστημένα εντός του χώρου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Πιο συγκεκριμένα για την σύγκριση των δεδομένων χρειάζεται να ταυτιστούν οι μετρήσεις σε επίπεδο χρόνου. Στη δική μας έρευνα υπήρχαν αρκετές διακοπές λειτουργίας και επομένως τα δεδομένα χρήζανε περαιτέρω επεξεργασίας προκειμένου να φιλτραριστούν οι τιμές για τον κοινό χρόνο λειτουργίας και των τριών οργάνων. Τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν τους ρύπους  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_1$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $CO$  και  $O_3$  και παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα.



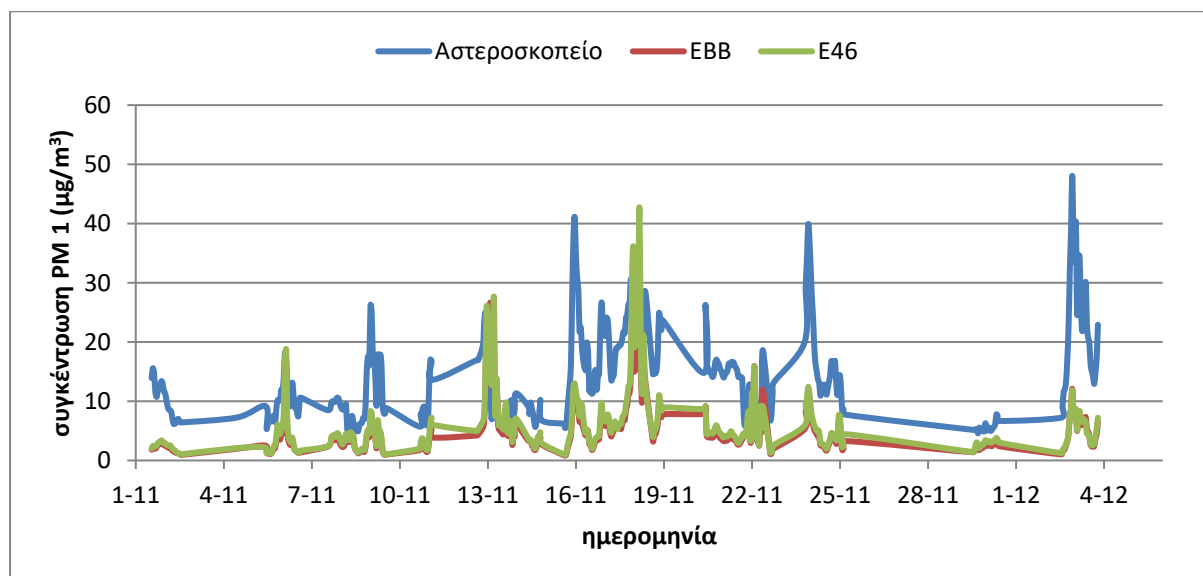
**Διάγραμμα 5.1.1:** Συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων ( $PM_{10}$ ) για το χρονικό διάστημα 1/11/2019 έως 3/12/2019.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι κατά το διάστημα των δοκιμών τα δύο φορητά όργανα E46 και EBB παρουσιάζουν πλήρη συσχέτιση των μετρούμενων τιμών και ειδικότερα, της τάξης του 91.2%. Ταυτόχρονα, οι μετρήσεις του Αστεροσκοπείου εν συγκρίσει με τις μετρήσεις των δύο φορητών οργάνων απέχουν κατά απόλυτη τιμή, παρ' όλα αυτά, προβάλλουν πανομοιότυπο μοτίβο σε όλο το χρονικό διάστημα μελέτης. Επιπλέον το φορητό όργανο E46 εμφανίζει καλύτερη συσχέτιση με τις μετρούμενες τιμές του Αστεροσκοπείου  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



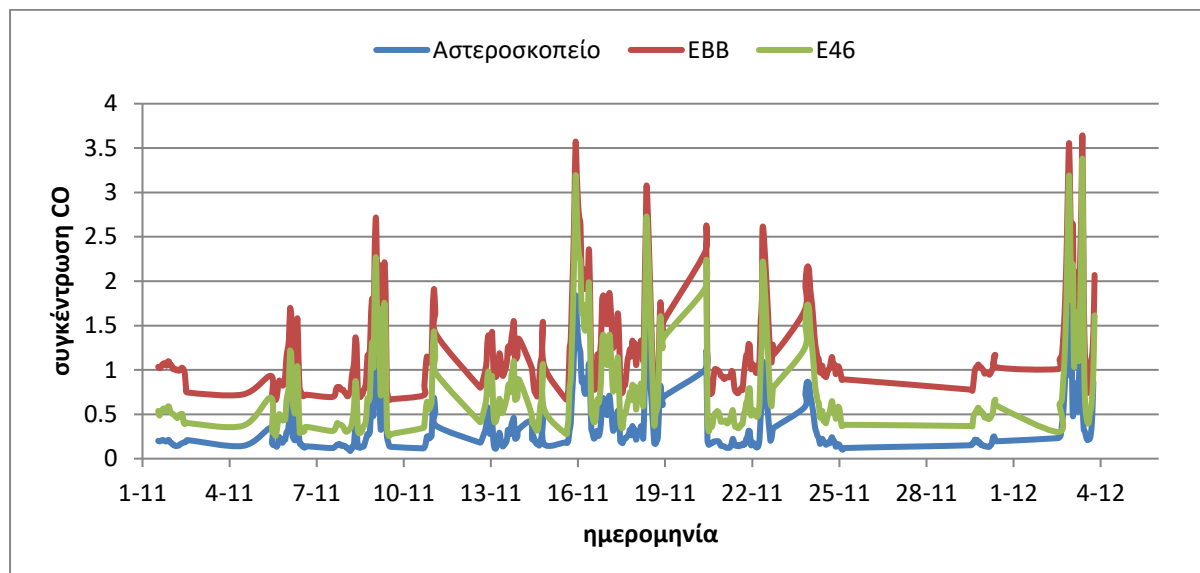
**Διάγραμμα 5.1.2:** Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων (PM 2.5) για το χρονικό διάστημα 1/11/2019 έως 3/12/2019.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι κατά το διάστημα των δοκιμών τα δύο φορητά όργανα E46 και EBB παρουσιάζουν πλήρη συσχέτιση των μετρούμενων τιμών και ειδικότερα, της τάξης του 93.8%. Ταυτόχρονα, οι μετρήσεις του Αστεροσκοπείου εν συγκρίσει με τις μετρήσεις των δύο φορητών οργάνων απέχουν κατά απόλυτη τιμή, παρ' όλα αυτά, προβάλλουν πανομοιότυπο μοτίβο σε όλο το χρονικό διάστημα μελέτης. Επιπλέον το φορητό όργανο E46 εμφανίζει καλύτερη συσχέτιση με τις μετρούμενες τιμές του Αστεροσκοπείου.



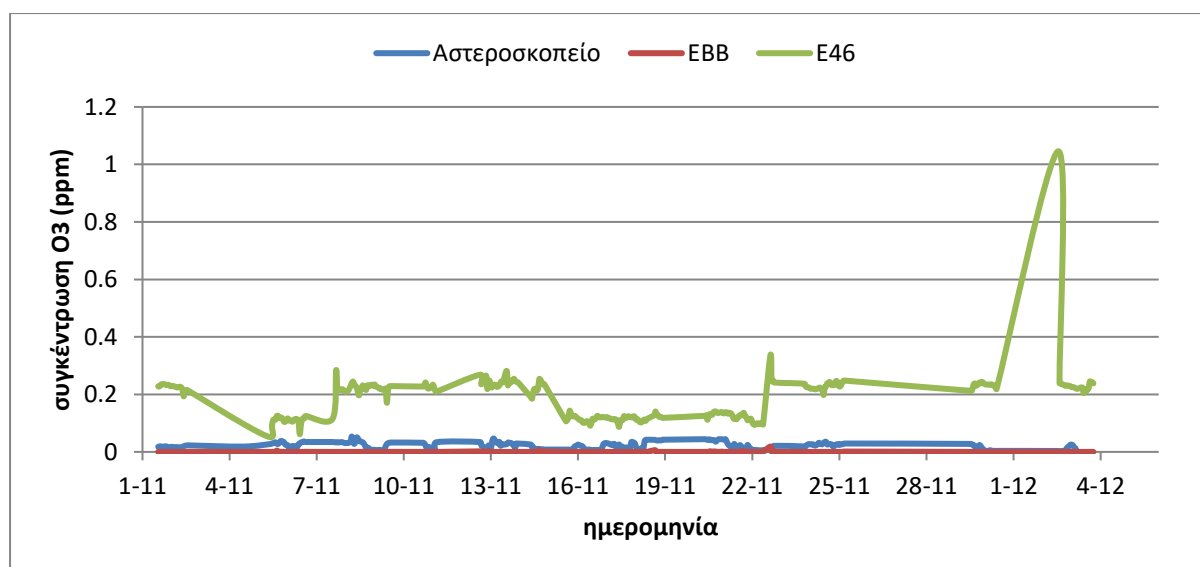
**Διάγραμμα 5.1.3:** Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων (PM 1) για το χρονικό διάστημα 1/11/2019 έως 3/12/2019.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι κατά το διάστημα των δοκιμών τα δύο φορητά όργανα E46 και EBB παρουσιάζουν πλήρη συσχέτιση των μετρούμενων τιμών και ειδικότερα, της τάξης του 95.8%. Ταυτόχρονα, οι μετρήσεις του Αστεροσκοπείου εν συγκρίσει με τις μετρήσεις των δύο φορητών οργάνων απέχουν κατά απόλυτη τιμή, παρ' όλα αυτά, προβάλλουν πανομοιότυπο μοτίβο σε όλο το χρονικό διάστημα μελέτης. Επιπλέον το φορητό όργανο E46 εμφανίζει καλύτερη συσχέτιση με τις μετρούμενες τιμές του Αστεροσκοπείου.



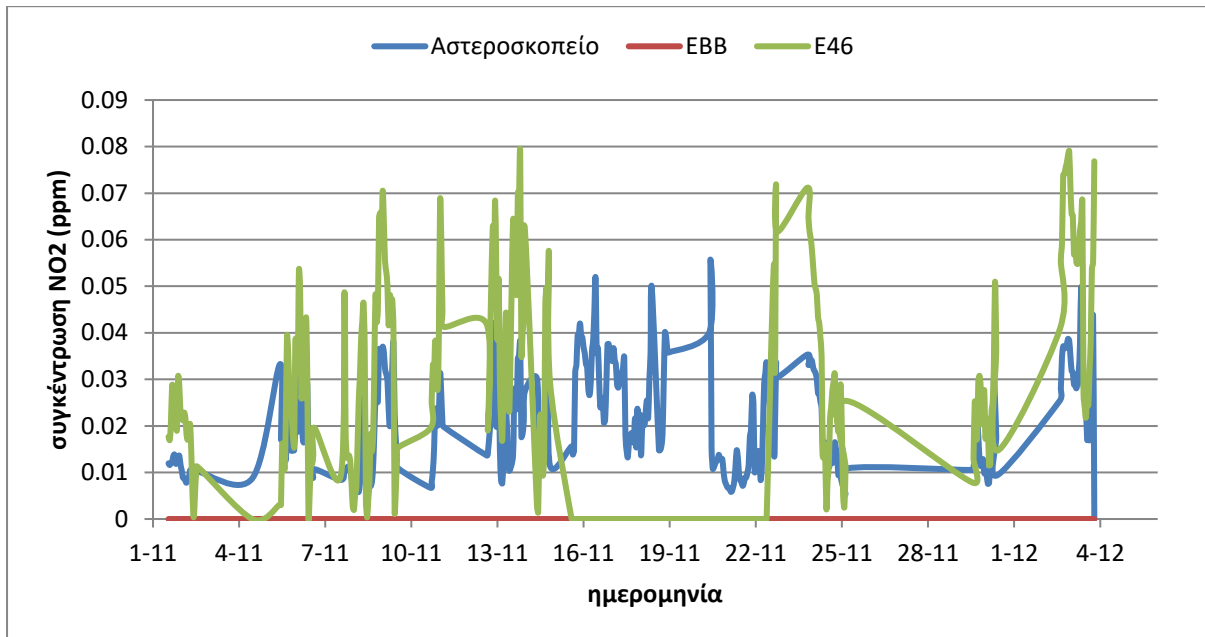
**Διάγραμμα 5.1.4:** Συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα (CO) για το χρονικό διάστημα 14/11/2019 έως 2/12/2019.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι κατά το διάστημα των δοκιμών τα δύο φορητά όργανα E46 και EBB παρουσιάζουν πλήρη συσχέτιση των μετρούμενων τιμών και ειδικότερα, της τάξης του 98.6%. Επιπλέον, οι μετρήσεις του Αστεροσκοπείου εν συγκρίσει με τις μετρήσεις των δύο φορητών οργάνων E46 και EBB παρουσιάζουν συσχέτιση 84% και 83% αντίστοιχα. Ταυτόχρονα, εμφανίζουν πανομοιότυπο μοτίβο σε όλο το χρονικό διάστημα μελέτης. Επιπροσθέτως, το φορητό όργανο E46 εμφανίζει καλύτερη συσχέτιση με τις μετρούμενες τιμές του Αστεροσκοπείου σε σχέση με το φορητό όργανο EBB.



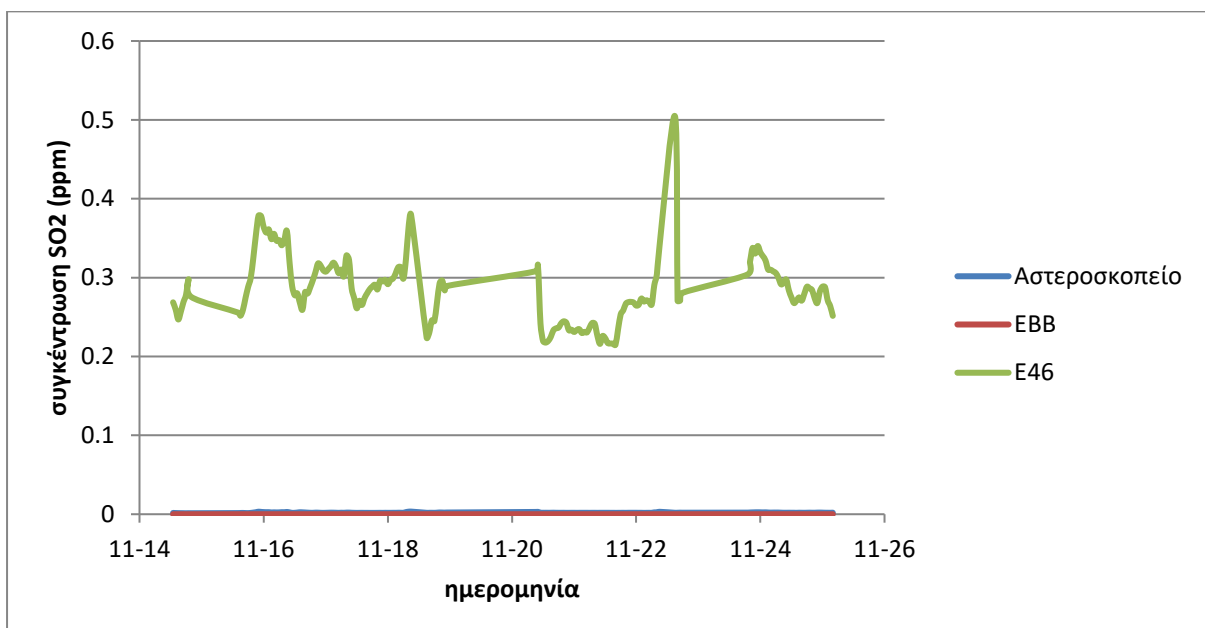
**Διάγραμμα 5.1.5:** Συγκέντρωσης όζοντος (O3) για το χρονικό διάστημα 1/11/2019 έως 3/12/2019.

Στο παραπάνω διάγραμμα τα δεδομένα του Αστεροσκοπείου απέχουν κατά απόλυτη τιμή με τα δύο φορητά όργανα αλλά παράλληλα δεν προβάλλουν και κοινό μοτίβο με αυτά, στο προς μελέτη χρονικό διάστημα. Επίσης τα δυο φορητά όργανα μεταξύ τους δεν παρουσιάζουν κάποια αξιοσημείωτη συσχέτιση όπως γινόταν με τα αιωρούμενα σωματίδια και το μονοξείδιο του άνθρακα.



**Διάγραμμα 5.1.6:** Συγκέντρωσης διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>) για το χρονικό διάστημα 1/11/2019 έως 3/12/2019.

Στο παραπάνω διάγραμμα τα δεδομένα του Αστεροσκοπείου απέχουν κατά απόλυτη τιμή με τα δύο φορητά όργανα αλλά παράλληλα δεν προβάλλουν και κοινό μοτίβο με αυτά, στο προς μελέτη χρονικό διάστημα. Επίσης τα δυο φορητά όργανα μεταξύ τους δεν παρουσιάζουν κάποια αξιοσημείωτη συσχέτιση όπως γινόταν με τα αιωρούμενα σωματίδια και το μονοξείδιο του άνθρακα.



**Διάγραμμα 5.1.7:** Συγκέντρωσης διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) για το χρονικό διάστημα 14/11/2019 έως 25/11/2019.



Στο παραπάνω διάγραμμα τα δεδομένα του Αστεροσκοπείου απέχουν κατά απόλυτη τιμή με τα δύο φορητά όργανα αλλά παράλληλα δεν προβάλλουν και κοινό μοτίβο με αυτά, στο προς μελέτη χρονικό διάστημα. Επίσης τα δυο φορητά όργανα μεταξύ τους δεν παρουσιάζουν κάποια αξιοσημείωτη συσχέτιση όπως γινόταν με τα αιωρούμενα σωματίδια και το μονοξειδίο του άνθρακα.

## 5.2) Συμπεράσματα πρώτου σταδίου επεξεργασίας

Συμπερασματικά για τα παραπάνω επτά διαγράμματα έχουμε να παρατηρήσουμε τα εξής:

Α) οι μετρήσεις μονοξειδίου του άνθρακα έχουν μεγάλη ακρίβεια τόσο κατά απόλυτη τιμή όσο και στο μοτίβο που ακολουθούν, σε σχέση με τα όργανα του Αστεροσκοπείου.

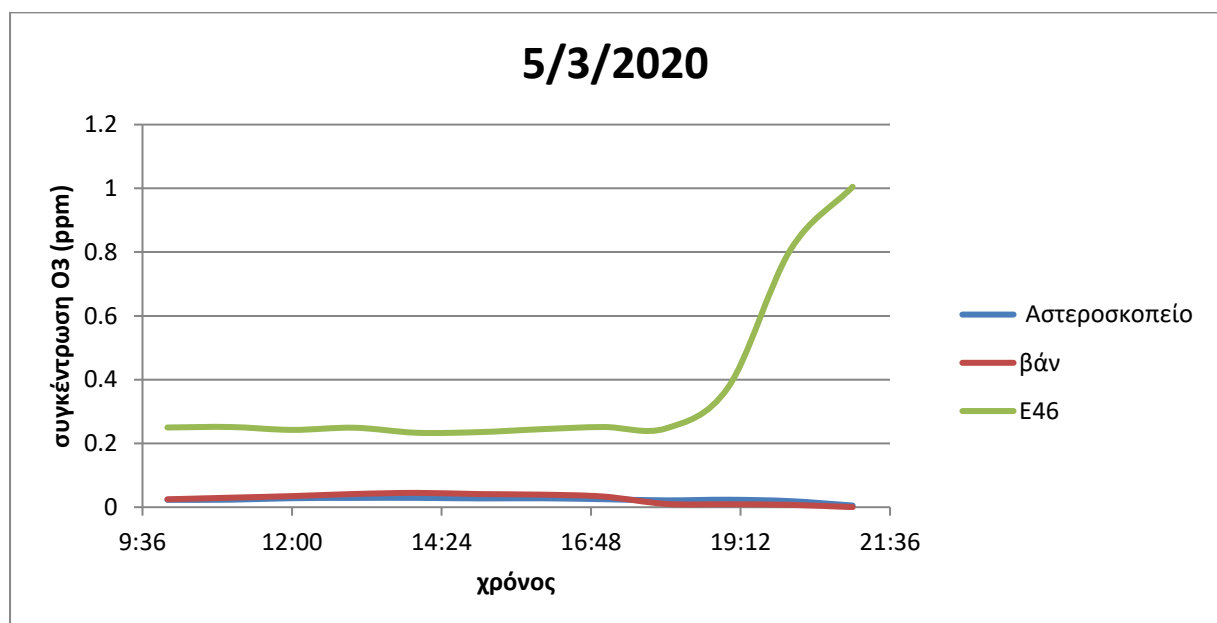
Β) οι μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_1$ ) απέχουν ελάχιστα κατά απόλυτη τιμή σε σχέση με τις τιμές του Αστεροσκοπείου αλλά το μοτίβο που ακολουθούν είναι πανομοιότυπο. Στη πραγματικότητα, το γεγονός αυτό, μπορεί να δώσει μια πολύ καλή εικόνα για τη ρύπανση στην προς μελέτη περιοχή και ειδικότερα στην αποτύπωση της χωρικής και χρονικής μεταβλητότητας των ρύπων.

Γ) για τους ρύπους  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$ , τα δεδομένα που προκύπτουν δεν είναι έγκυρα για να μας δώσουν την εικόνα που θέλουμε, ώστε να χαρακτηρίσουμε τη ποιότητα του αέρα στη προς μελέτη περιοχή.

Δ) το φορητό όργανο E46 εμφανίζει μεγαλύτερη ακρίβεια από το όργανο EBB καθώς σε όλους τους μετρούμενους ρύπους παρουσίασε τιμές, εγγύτερες σε αυτές του Αστεροσκοπείου.

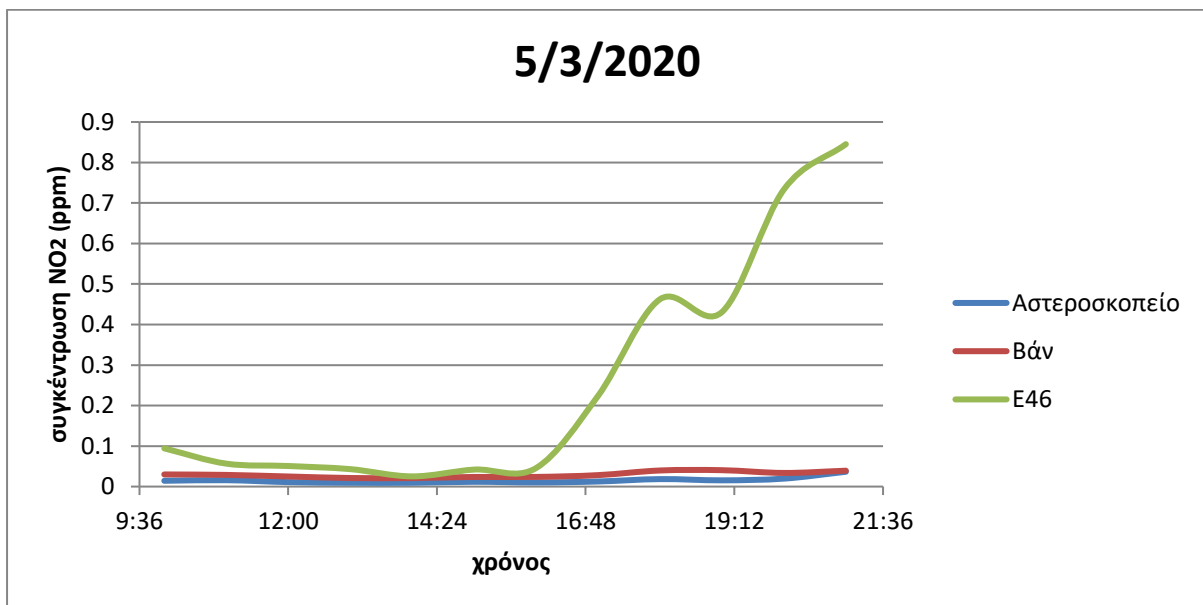
## 5.3) Σύγκριση μετρούμενων τιμών Αστεροσκοπείου, βαν και αισθητήρα E46 στις 5/3/2020.

Στο δεύτερο στάδιο της επεξεργασίας δεδομένων αντλούμε τις ωριαίες τιμές από το Αστεροσκοπείο στις 5/3/2020. Παράλληλα έχουμε σταθμεύσει το βαν στη συμβολή της οδού Θησέως και Ερμού ώστε να λάβουμε ολόήμερες μετρήσεις (στις 5/3/2020) με τα καταγραφικά. Επάνω από το βαν υπήρχε συνεχώς ενεργό το φορητό όργανο E46. Είναι αντιληπτό ότι επιλέξαμε το χαμηλού κόστους όργανο E46 διότι παρουσιάζει μεγαλύτερη ακρίβεια από το EBB. Επιπλέον, οι κοινοί μετρούμενοι ρύποι των τριών διαφορετικών οργάνων ήταν το:  $CO$ ,  $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ .

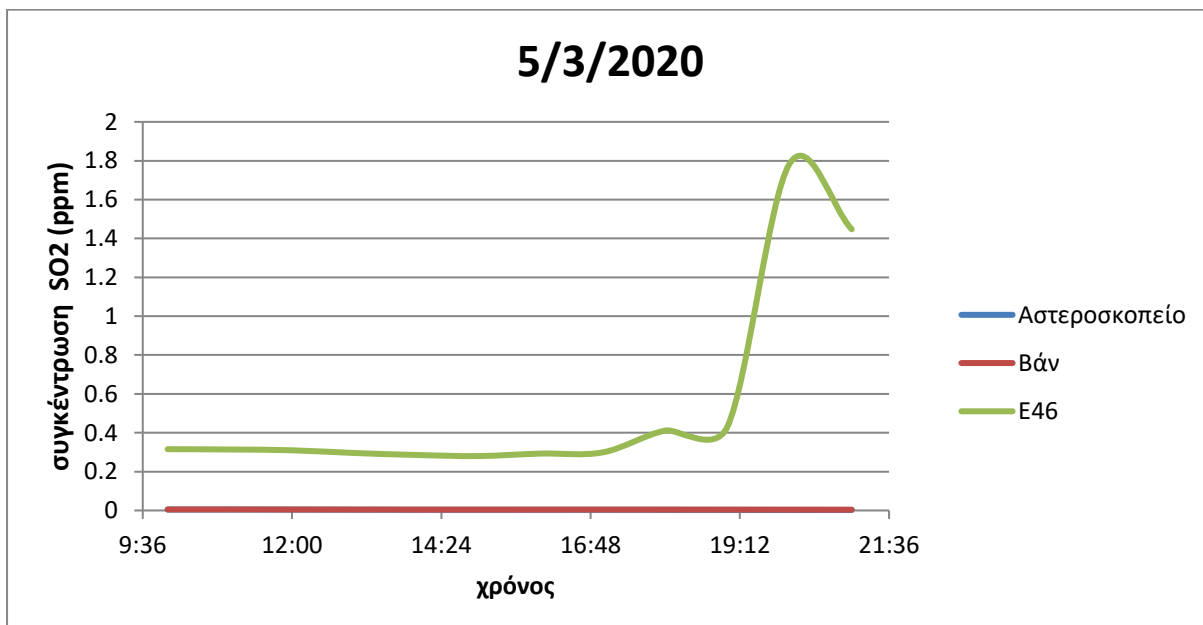


Διάγραμμα 5.3.1: Ωριαίων τιμών συγκέντρωσης  $O_3$  στη διάρκεια της ημέρας 5/3/2020.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι οι μετρήσεις του αστεροσκοπίου με τις μετρήσεις των καταγραφικών του βαν έχουν καλή συσχέτιση και πιο συγκεκριμένα, της τάξης του 70%. Επιπλέον, από τις 10:00 έως 17:00 παρατηρούμε ότι οι τιμές της ρύπανσης που καταγράφει το βαν είναι μεγαλύτερες από αυτές του Αστεροσκοπίου. Κάτι τέτοιο είναι λογικό, εφόσον το βαν βρίσκεται επάνω στο δρόμο ενώ ο σταθμός του αστεροσκοπίου βρίσκεται εντός πράσινου χώρου. Από την άλλη πλευρά μετρά τις 17:30 η κατάσταση αλλάζει για το όζον, στη προς μελέτη περιοχή. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι το όζον είναι ένας φωτοχημικός ρύπος και επομένως στο σημείο στάθμευσης του βαν όπου υπάρχουν κτήρια να μην διέρχεται η ηλιακή ακτινοβολία. Όσον αφορά το φορητό όργανο E46, εμφανίζει μεγάλες διαφοροποιήσεις στις μετρούμενες τιμές ειδικά μετά τις 18:00. Το συμβάν αυτό, μπορεί να οφείλεται τόσο στην έντονη κυκλοφορία οχημάτων όσο και στο γεγονός ότι ο αισθητήρας χαμηλού κόστους ήταν τοποθετημένος στα 3 μέτρα ύψος ενώ η είσοδος του δείγματος αέρα των καταγραφικών ήταν σε ύψος 1.5 μέτρα.



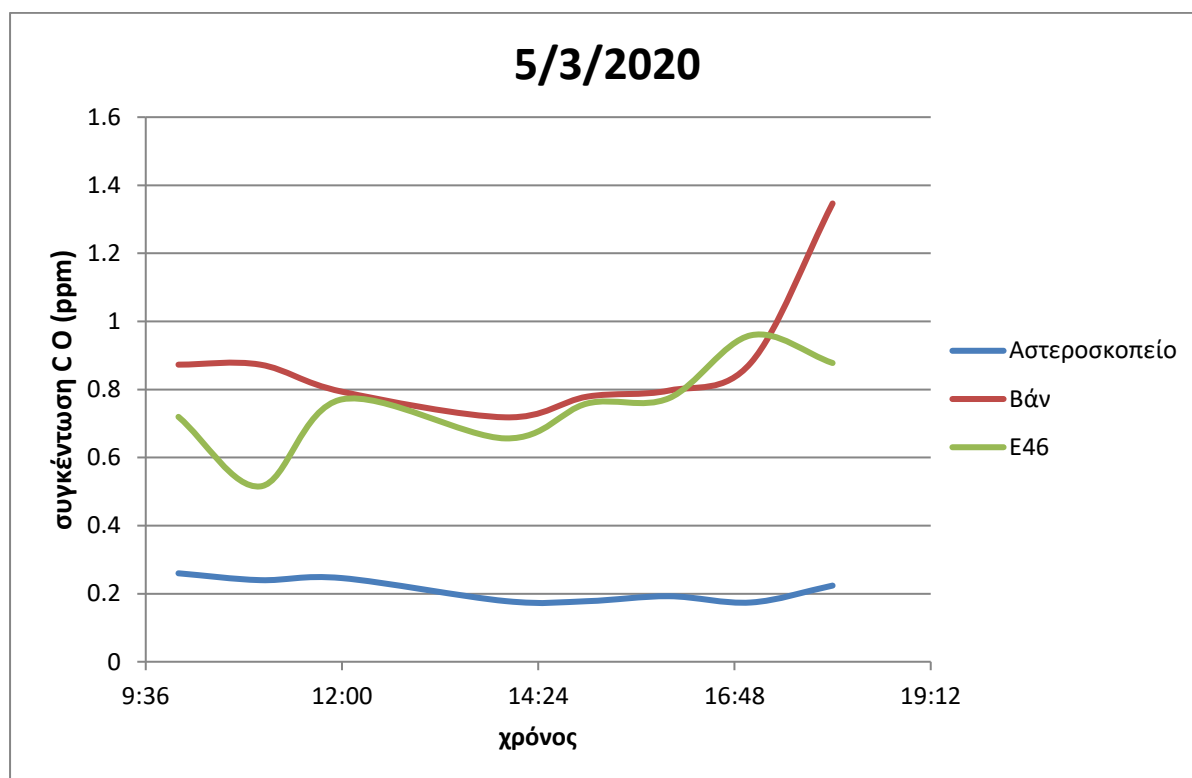
**Διάγραμμα 5.3.2:** Ωριαίων τιμών συγκέντρωσης NO<sub>2</sub> στη διάρκεια της ημέρας 5/3/2020.



**Διάγραμμα 5.2.3:** Ωριαίων τιμών συγκέντρωσης SO<sub>2</sub> στη διάρκεια της ημέρας 5/3/2020.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι οι μετρήσεις του αστεροσκοπείου με τις μετρήσεις των καταγραφικών του βαν έχουν μέτρια συσχέτιση και πιο συγκεκριμένα, της τάξης του 50%. Επιπλέον, σε όλη τη διάρκεια της ημέρας, παρατηρούμε ότι οι τιμές της ρύπανσης που καταγράφει το βαν είναι μεγαλύτερες από αυτές του Αστεροσκοπείου. Κάτι τέτοιο είναι λογικό, εφόσον το βαν βρίσκεται επάνω στο δρόμο ενώ ο σταθμός του αστεροσκοπείου βρίσκεται εντός πράσινου χώρου. Επίσης, καθώς πλησιάζουμε το απόγευμα η συγκέντρωση  $\text{NO}_2$  αυξάνεται καθώς το διοξείδιο του αζώτου είναι ρύπος που οφείλεται κυρίως στην κυκλοφορία οχημάτων. Από την άλλη πλευρά το φορητό όργανο E46, εμφανίζει μεγάλες διαφοροποιήσεις στις μετρούμενες τιμές ειδικότερα μετά τις 18:00.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι οι μετρήσεις του αστεροσκοπείου με τις μετρήσεις των καταγραφικών του βαν έχουν καλή συσχέτιση και πιο συγκεκριμένα, της τάξης του 69%. Επιπλέον, σε όλη τη διάρκεια της ημέρας, παρατηρούμε ότι οι τιμές της ρύπανσης που καταγράφει το βαν είναι μεγαλύτερες από αυτές του Αστεροσκοπείου. Κάτι τέτοιο είναι λογικό, εφόσον το βαν βρίσκεται επάνω στο δρόμο ενώ ο σταθμός του αστεροσκοπείου βρίσκεται εντός πράσινου χώρου. Επίσης, καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας η συγκέντρωση  $\text{SO}_2$  παραμένει σχετικά σταθερή. Από την άλλη πλευρά το φορητό όργανο E46, εμφανίζει μεγάλες διαφοροποιήσεις στις μετρούμενες τιμές ειδικότερα μετά τις 19:00.



**Διάγραμμα 5.2.4:** Ωριαίων τιμών συγκέντρωσης CO στη διάρκεια της ημέρας 5/3/2020.

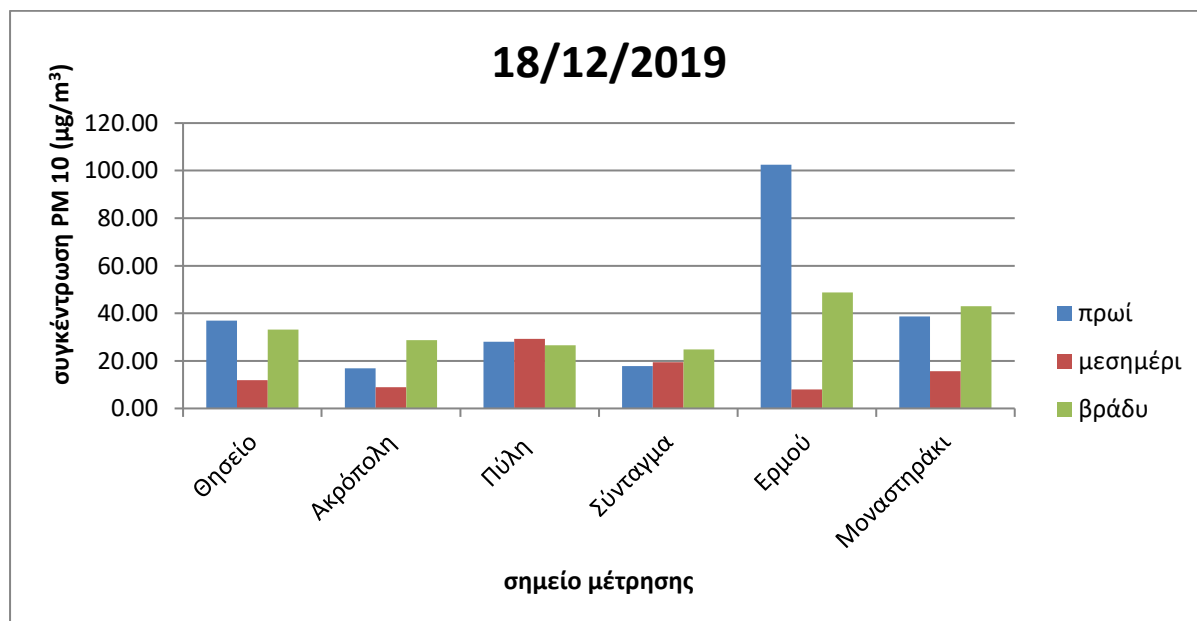
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι οι μετρήσεις του αστεροσκοπείου με τις μετρήσεις των καταγραφικών του βαν δεν έχουν καλή συσχέτιση αλλά ακολουθούν το παρόμοιο μοτίβο. Επιπλέον, σε όλη τη διάρκεια της ημέρας, παρατηρούμε ότι οι τιμές της ρύπανσης που καταγράφει το βαν είναι μεγαλύτερες από αυτές του Αστεροσκοπείου. Κάτι τέτοιο είναι λογικό, εφόσον το βαν βρίσκεται επάνω στο δρόμο ενώ ο σταθμός του αστεροσκοπείου βρίσκεται εντός πράσινου χώρου. Επίσης, μετά τις 17:00 βλέπουμε αύξηση στη συγκέντρωση του CO γεγονός που συνδέεται με την κυκλοφορία οχημάτων και με τις καμινάδες των εστιατορίων. Από την άλλη πλευρά το φορητό όργανο E46, εμφανίζει μεγάλες διαφοροποιήσεις στις μετρούμενες τιμές με σχεδόν αντίθετη τάση, από την αρχή μέχρι το τέλος της ημέρας.

## 5.4) Συμπεράσματα δευτέρου σταδίου επεξεργασίας

Συμπερασματικά, αξίζει να αναφέρουμε ότι σε πραγματικές συνθήκες τα πράγματα είναι αρκετά διαφορετικά. Πιο συγκεκριμένα οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ) της συσκευής χαμηλού κόστους δεν ήταν ικανοί ώστε να δώσουν μια ξεκάθαρη εικόνα για τη ρύπανση στην οδό Ερμού. Ειδικότερα ο αισθητήρας  $\text{CO}$  ήταν πολύ κοντά στις μετρήσεις των καταγραφικών του βαν, όμως θα πρέπει να δοθεί προσοχή στην τοποθέτηση του στο κατάλληλο ύψος αλλά και στον επαρκή αριθμό δείγματος ώστε να εξαχθούν έγκυρες πληροφορίες. Παρ' όλα αυτά, με τα καταγραφικά του βαν τα οποία παρουσίασαν πολύ καλή συσχέτιση με εκείνα του αστεροσκοπίου, είχαμε τη δυνατότητα να χαρακτηρίσουμε την ποιότητα της ατμόσφαιρας στο προς μελέτη σημείο. Κλείνοντας με το δεύτερο στάδιο επεξεργασίας μετρήσεων, είμαστε σε θέση να προχωρήσουμε στην επόμενη φάση της έρευνας η οποία είναι η διεξαγωγή εκστρατείας μετρήσεων με σκοπό της αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης.

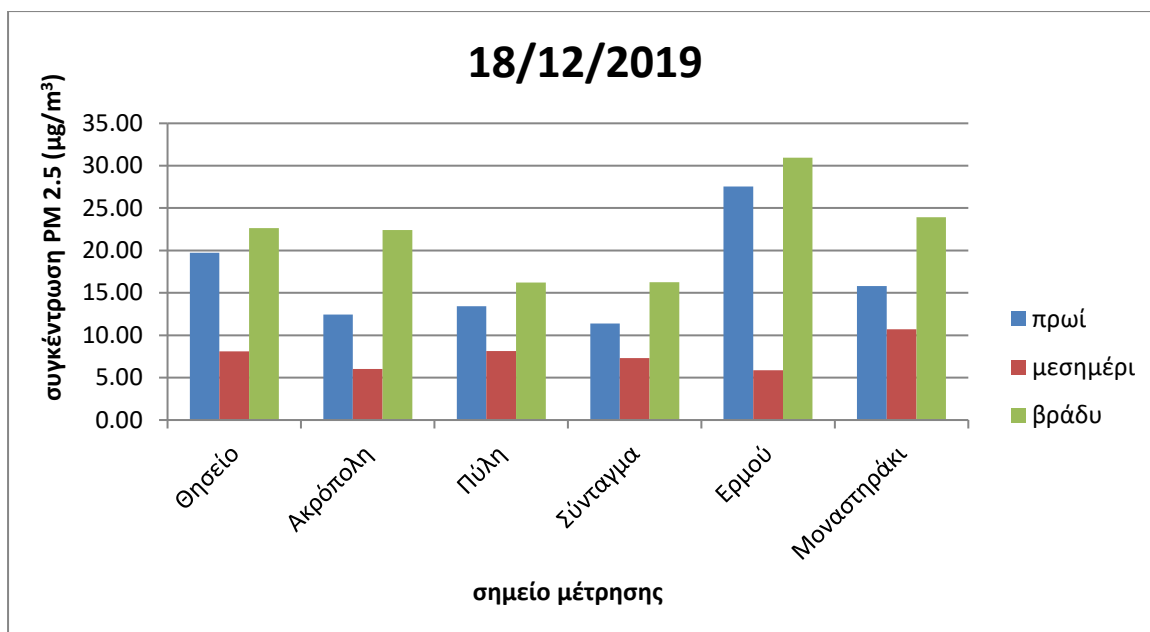
## 5.5) Επεξεργασία δεδομένων από την εκστρατεία των δέκα ημερών στα έξι σημεία μελέτης

Στο τρίτο στάδιο προσπαθούμε να αποτυπώσουμε την υφιστάμενη κατάσταση της ποιότητας του αέρα. Πιο συγκεκριμένα με αυτή την επεξεργασία θα είμαστε σε θέση να αναφέρουμε την ιδιαιτερότητα και τη ποιότητα του αέρα για τα έξι σημεία ενδιαφέροντος στις ημερομηνίες που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.



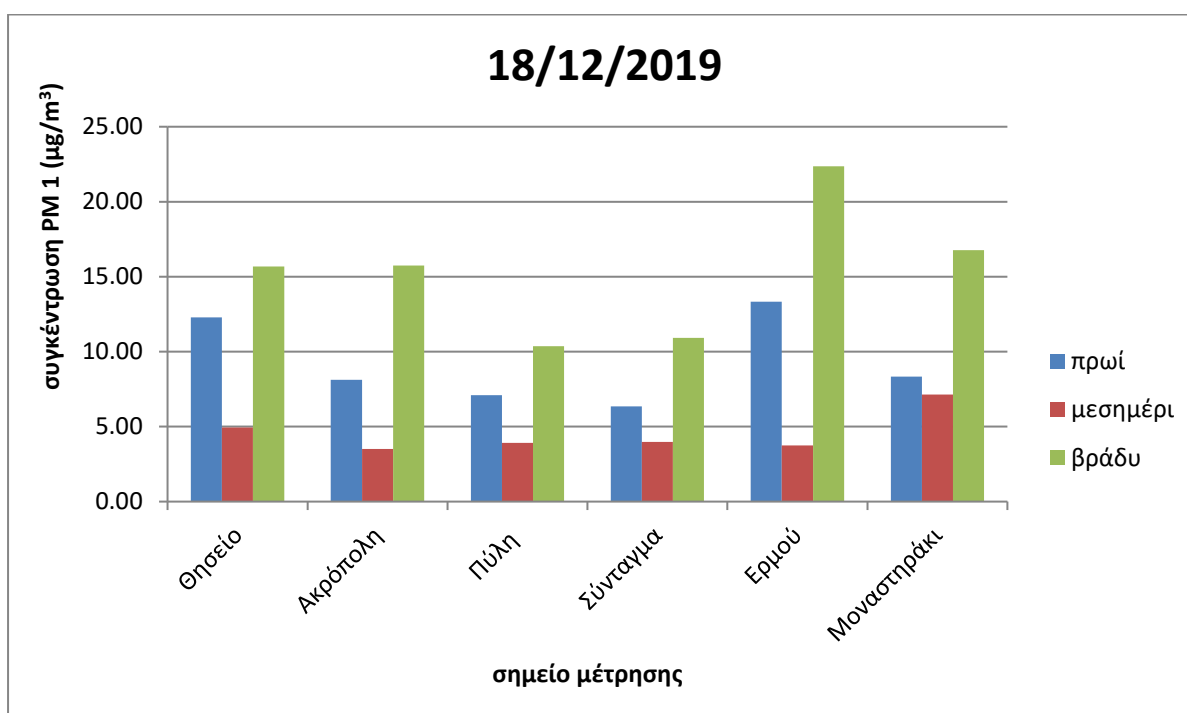
**Διάγραμμα 5.5.1:** Συγκεντρώσεων PM 10 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 18/12/2019.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε την υψηλότερη τιμή συγκέντρωσης PM 10 στην οδό Ερμού. Το συμβάν αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι πρωί τα μαγαζιά της Ερμού τροφοδοτούνται από μικρά φορτηγά τα οποία σταθμεύουν στον πεζόδρομο, πλησίον του σημείου μέτρησης. Επιπλέον παρατηρούμε ότι σε όλα τα σημεία ενδιαφέροντος, η συγκέντρωση των σωματιδίων είναι χαμηλότερη τις μεσημεριανές ώρες με εξαίρεση την Πύλη Αδριανού. Μια πιθανή αιτία για την υψηλή συγκέντρωση σωματιδίων στην Πύλη Αδριανού είναι η έντονη κυκλοφορία οχημάτων τις μεσημεριανές ώρες.



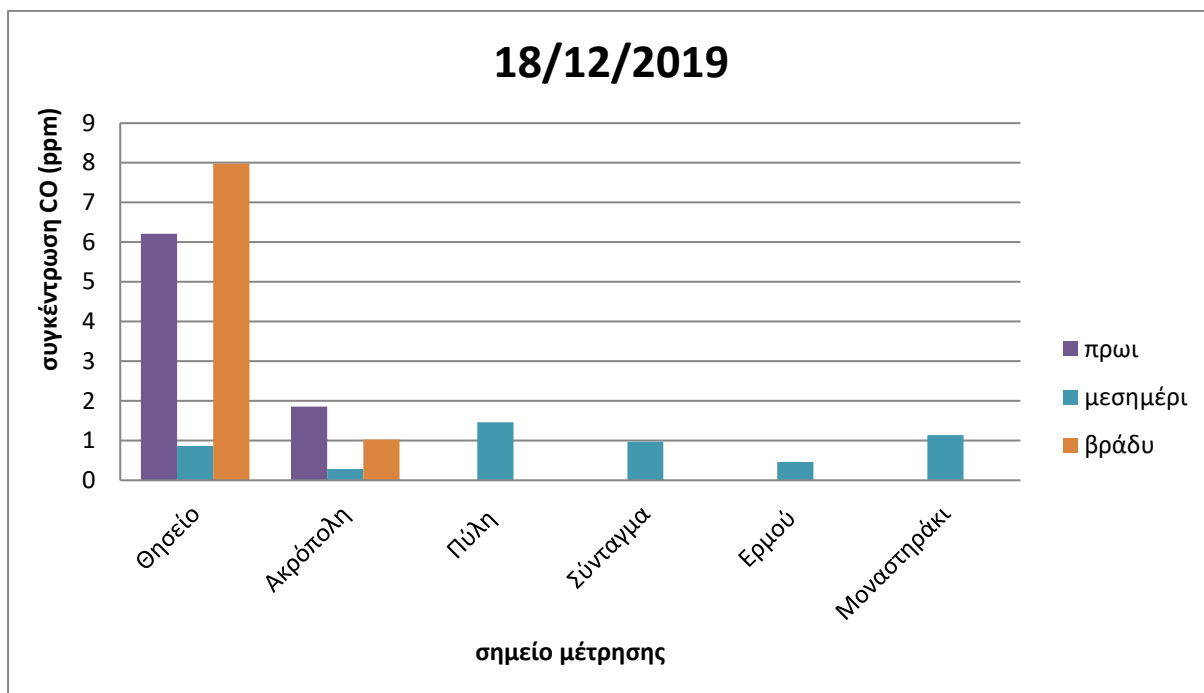
**Διάγραμμα 5.5.2:** Συγκεντρώσεων PM 2.5 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 18/12/2019.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε την υψηλότερη τιμή συγκέντρωσης PM 2.5 στην οδό Ερμού τόσο τις πρωινές όσο και τις βραδυνές ώρες. Επιπλέον παρατηρούμε ότι σε όλα τα σημεία ενδιαφέροντος, η συγκέντρωση των σωματιδίων είναι χαμηλότερη τις μεσημεριανές ώρες ενώ υψηλότερη τις βραδινές.



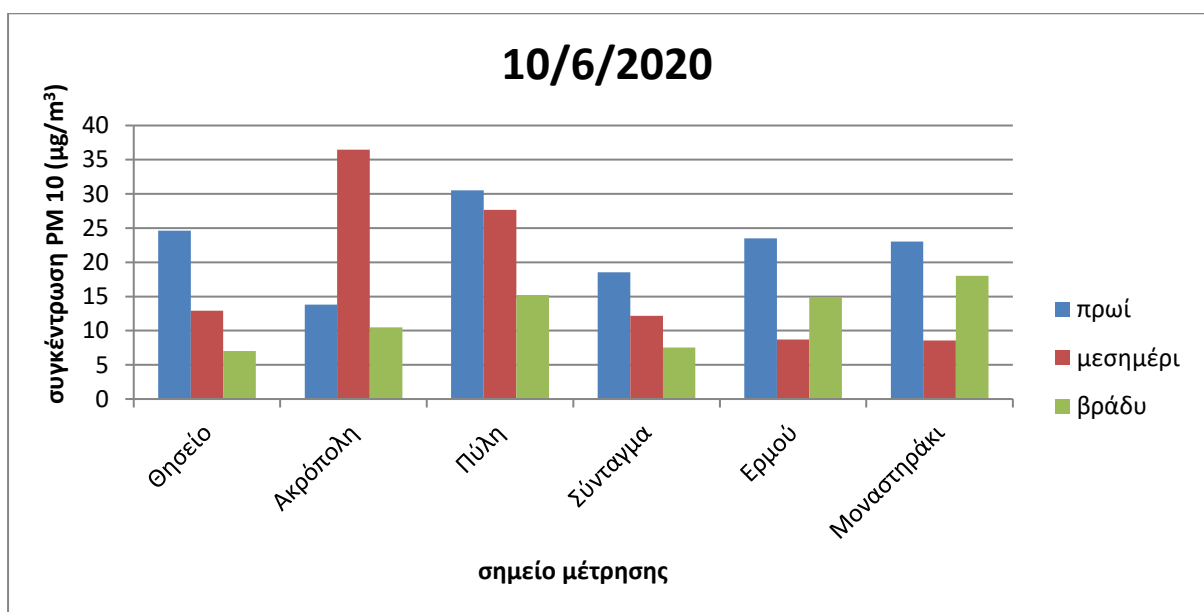
**Διάγραμμα 5.5.3:** Συγκεντρώσεων PM 1 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 18/12/2019.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε την υψηλότερη τιμή συγκέντρωσης PM 1 στην οδό Ερμού τόσο τις πρωινές όσο και τις βραδινές ώρες. Επιπλέον παρατηρούμε ότι σε όλα τα σημεία ενδιαφέροντος, η συγκέντρωση των σωματιδίων είναι χαμηλότερη τις μεσημεριανές ώρες ενώ υψηλότερη τις βραδινές.



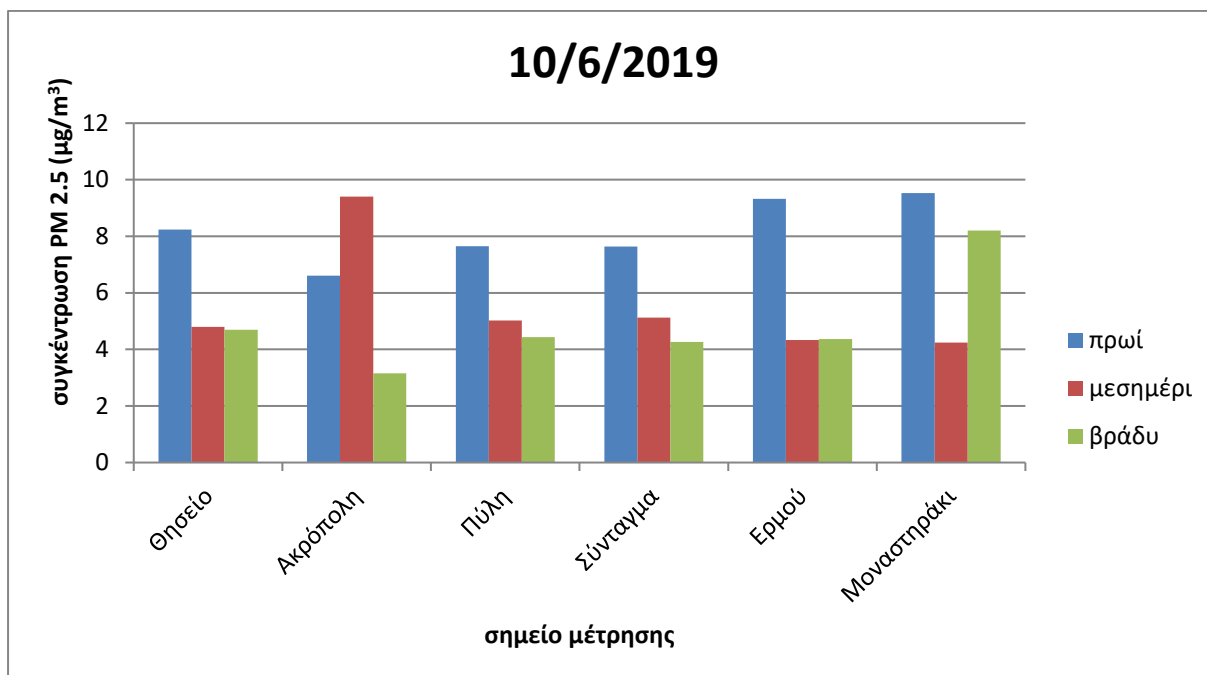
**Διάγραμμα 5.5.4:** Συγκεντρώσεων CO στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 18/12/2019.

Στο παραπάνω διάγραμμα δεν μπορούμε να σχολιάσουμε κάτι με βεβαιότητα καθώς έχουμε αρκετές μηδενικές τιμές, ενώ για το Θησείο και την Ακρόπολη οι συγκεντρώσεις CO δείχνουν αρκετά υψηλές.



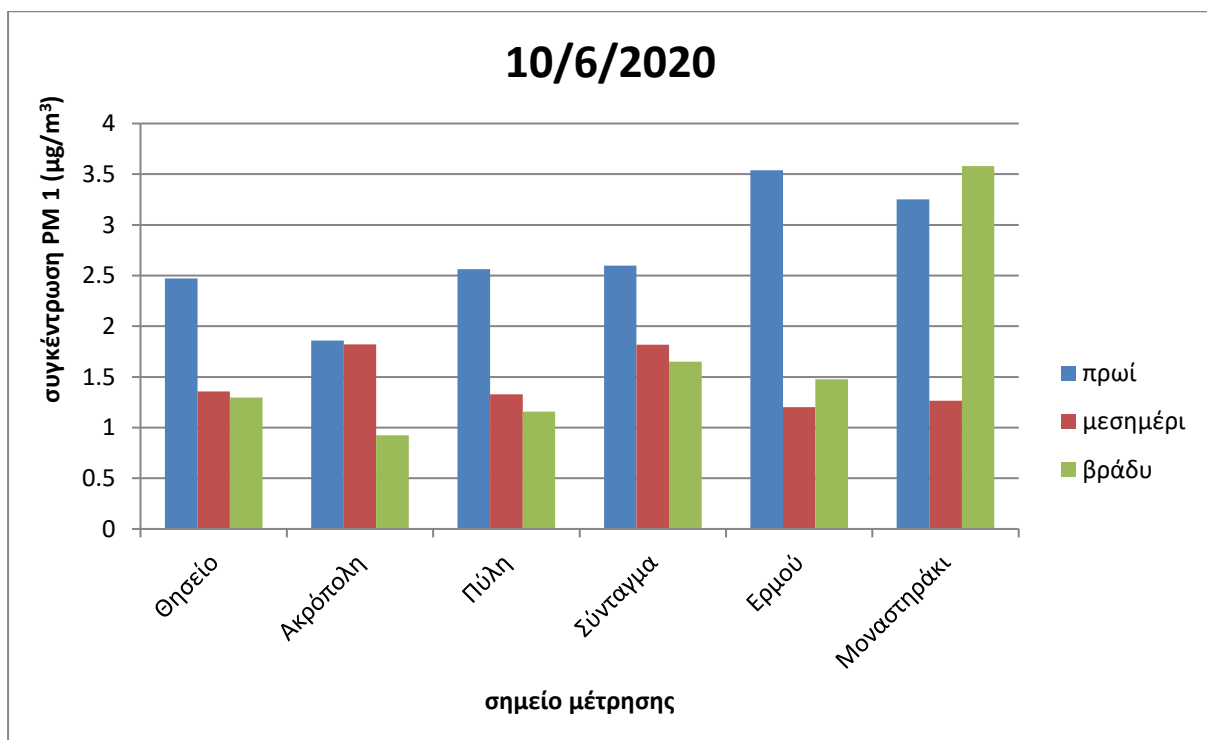
**Διάγραμμα 5.5.5:** Συγκεντρώσεων PM 10 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 10/6/2020.

Στο παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε μια υψηλή τιμή στη συγκέντρωση PM 10 το μεσημέρι στην Ακρόπολη, κάτι που μπορεί να αποδοθεί στο ότι την ώρα της μέτρησης σταθμεύουν τουριστικά λεωφορεία πλησίον του φορητού οργάνου. Επιπλέον η υψηλή τιμή στην Πύλη Αδριανού οφείλεται στο γεγονός της έντονης κυκλοφορίας οχημάτων τις πρωινές ώρες αιχμής. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι τις απογευματινές ώρες στο σύνταγμα πραγματοποιήθηκε πορεία με συνέπεια την μη κυκλοφορία οχημάτων. Κάτι τέτοιο, επιβεβαιώνεται από την χαμηλή τιμή των σωματιδίων, στη βραδινή μέτρηση.



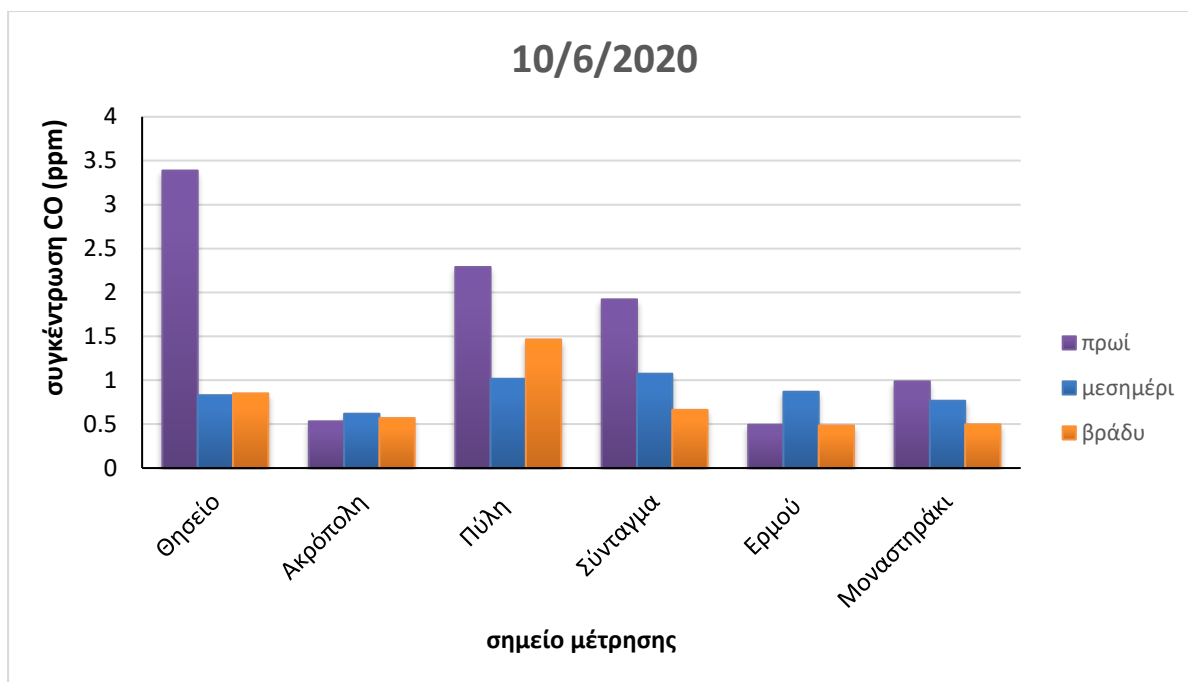
**Διάγραμμα 5.5.6:** Συγκεντρώσεων PM 2.5 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 10/6/2020.

Στο διάγραμμα αυτό παρατηρούμε την ίδια περίπου κατάσταση με αυτή των PM 10 γεγονός που υποδεικνύει την σχέση σωματιδίων με διαφορετική αεροδυναμική διάμετρο.



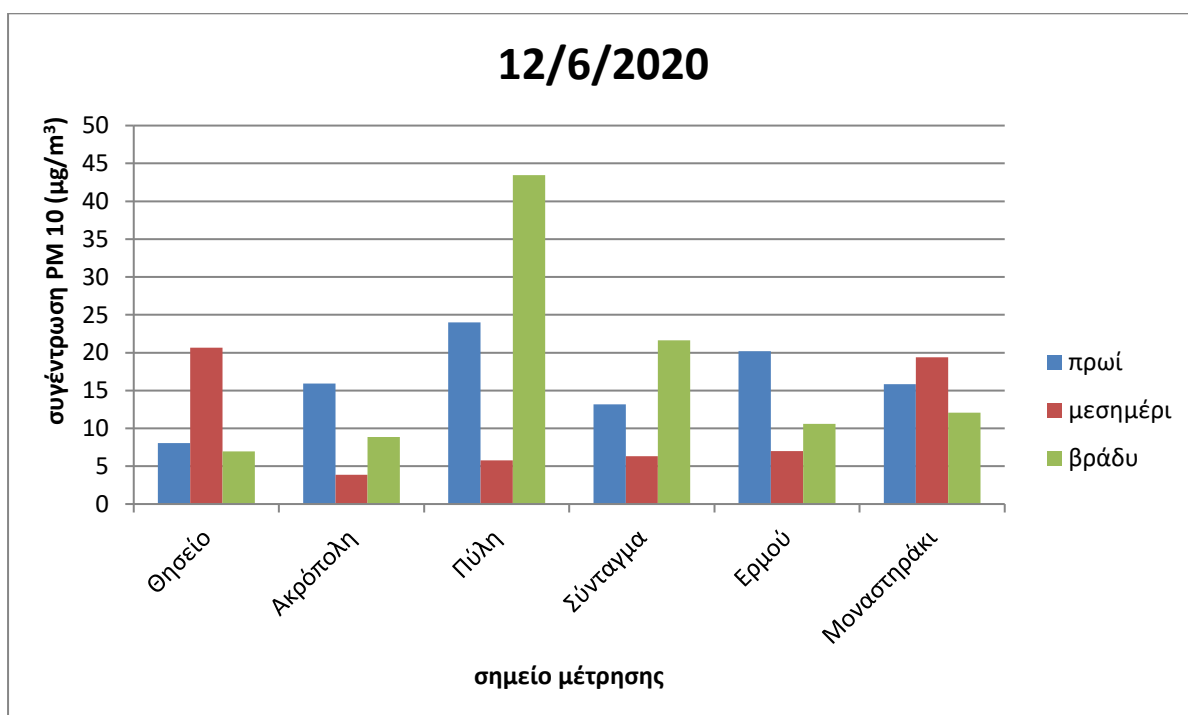
**Διάγραμμα 5.5.7:** Συγκεντρώσεων PM 1 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 10/6/2020.

Στο διάγραμμα αυτό παρατηρούμε την ίδια περίπου κατάσταση με αυτή των PM 2.5 με εντονότερη τη διαφορά συγκεντρώσεως στην οδό Ερμού και στο Μοναστηράκι.



**Διάγραμμα 5.5.8:** Συγκεντρώσεων CO στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 10/6/2020.

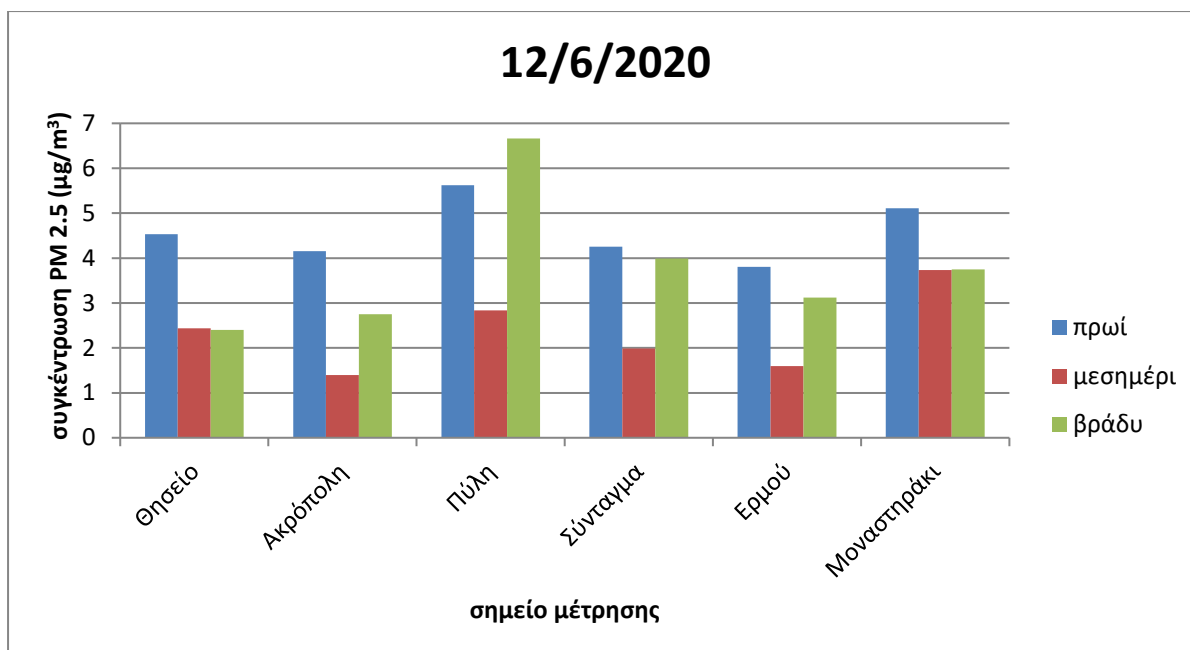
Στο παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε μια υψηλή συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα στο Θησείο, τις πρωινές ώρες. Αυτό το συμβάν, οφείλεται στο γεγονός ότι μερικά μέτρα από το σημείο μέτρησης υπάρχει αφετηρία των υπεραστικών λεωφορείων τα οποία είναι περισσότερα κατά τις πρωινές ώρες.



**Διάγραμμα 5.5.9:** Συγκεντρώσεων PM 10 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 12/6/2020.

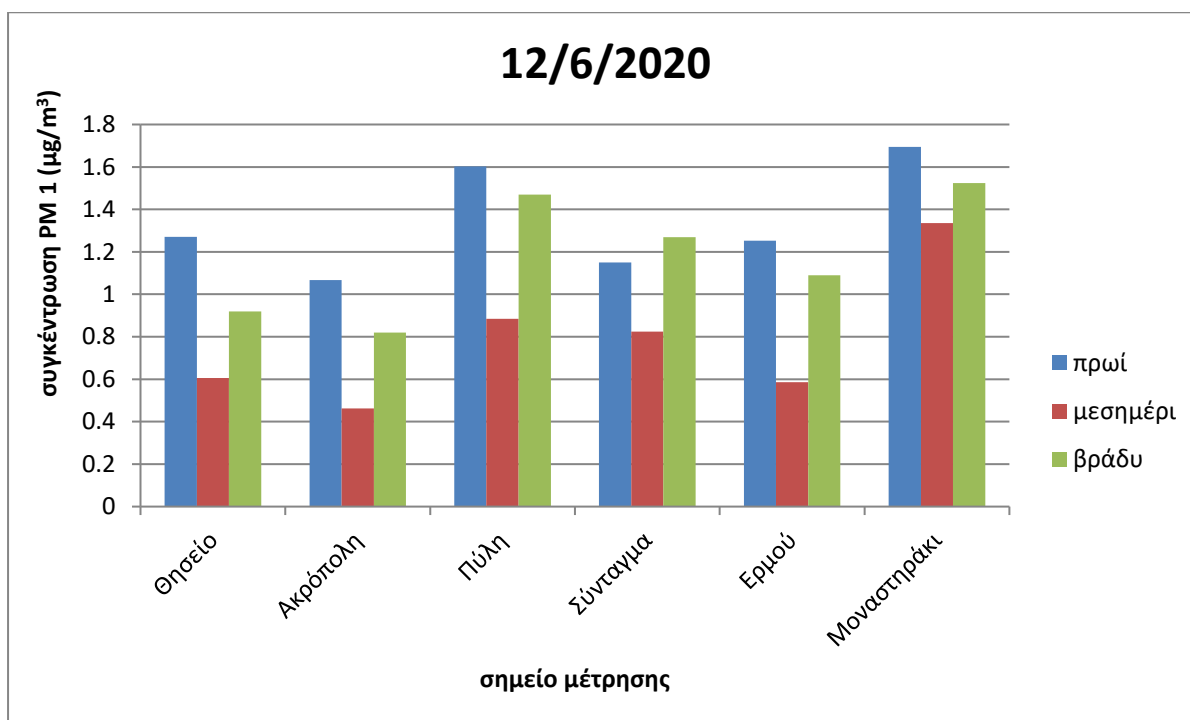
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε χαμηλές συγκεντρώσεις τις μεσημεριανές ώρες. Επίσης στην Πύλη Αδριανού υπάρχει υψηλή συγκέντρωση πιθανόν λόγω έντονης κυκλοφορίας οχημάτων που σημειώθηκε εκείνη την ώρα.





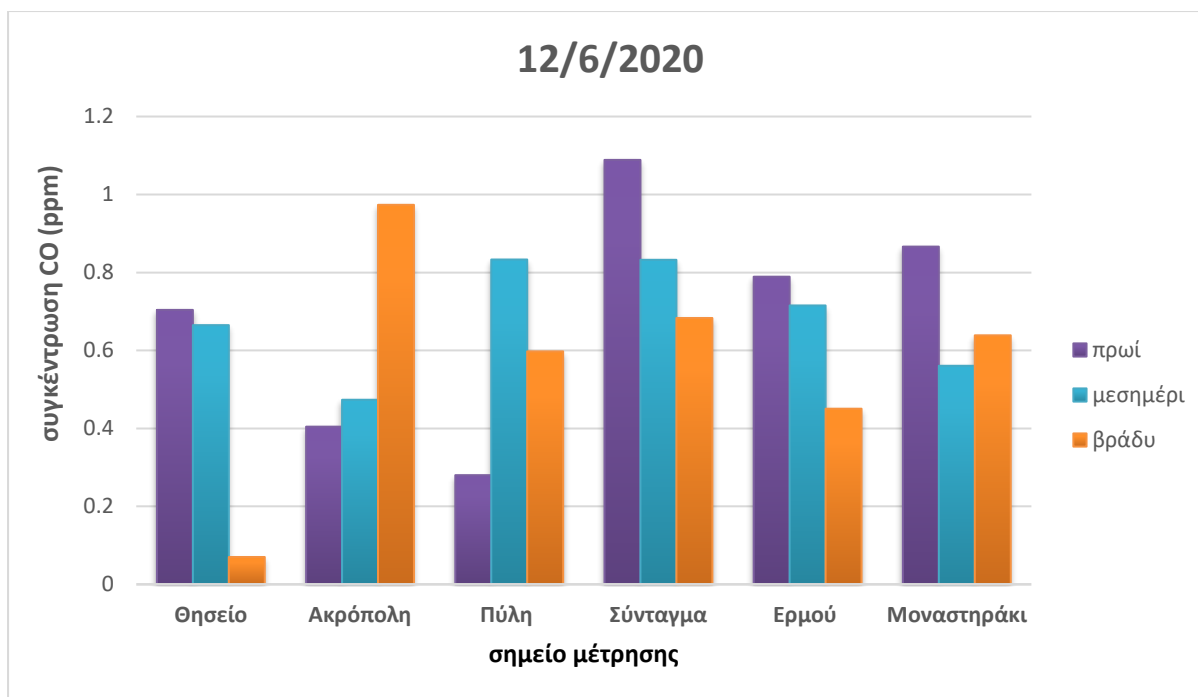
**Διάγραμμα 5.5.10:** Συγκεντρώσεων PM 2.5 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 12/6/2020.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε χαμηλές συγκεντρώσεις τις μεσημεριανές ώρες. Επίσης στην Πύλη Αδριανού υπάρχει υψηλή συγκέντρωση πιθανόν λόγω έντονης κυκλοφορίας οχημάτων που σημειώθηκε εκείνη την ώρα. Επιπλέον υψηλή συγκέντρωση παρουσιάζει και το Θησείο.



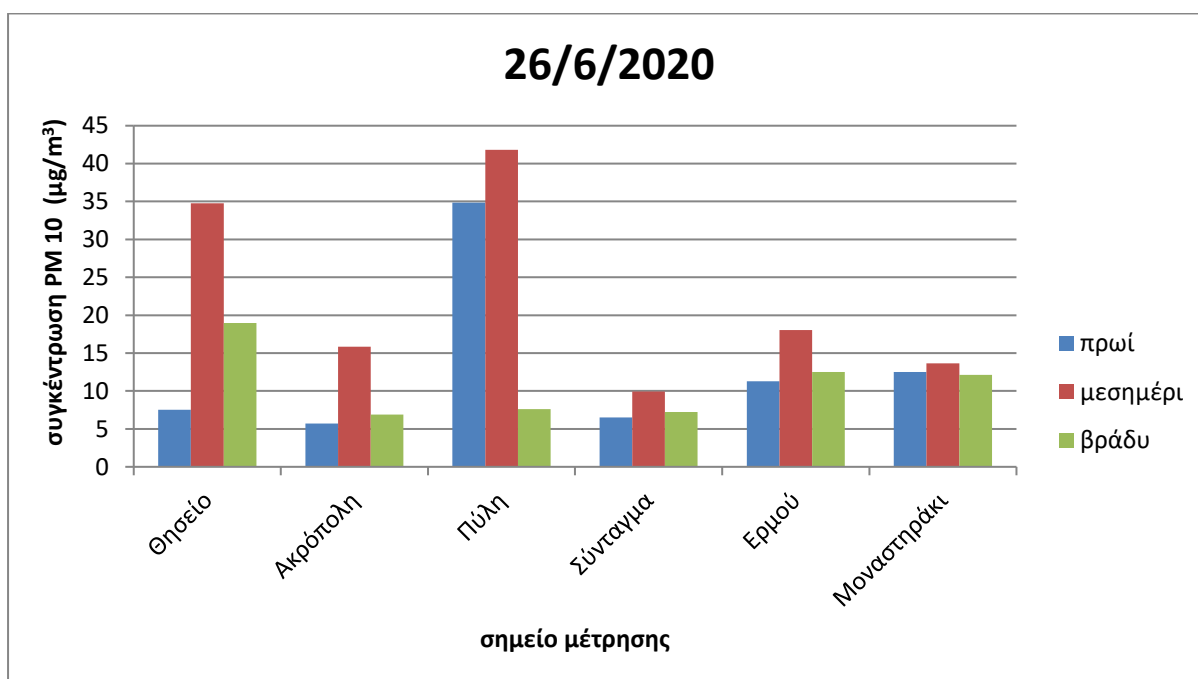
**Διάγραμμα 5.5.11:** Συγκεντρώσεων PM 1 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 12/6/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε χαμηλές συγκεντρώσεις τις μεσημεριανές ώρες. Επίσης στην Πύλη Αδριανού υπάρχει υψηλή συγκέντρωση πιθανόν λόγω έντονης κυκλοφορίας οχημάτων που σημειώθηκε εκείνη την ώρα. Επιπλέον υψηλή συγκέντρωση παρουσιάζει το Θησείο αλλά και το Μοναστηράκι.



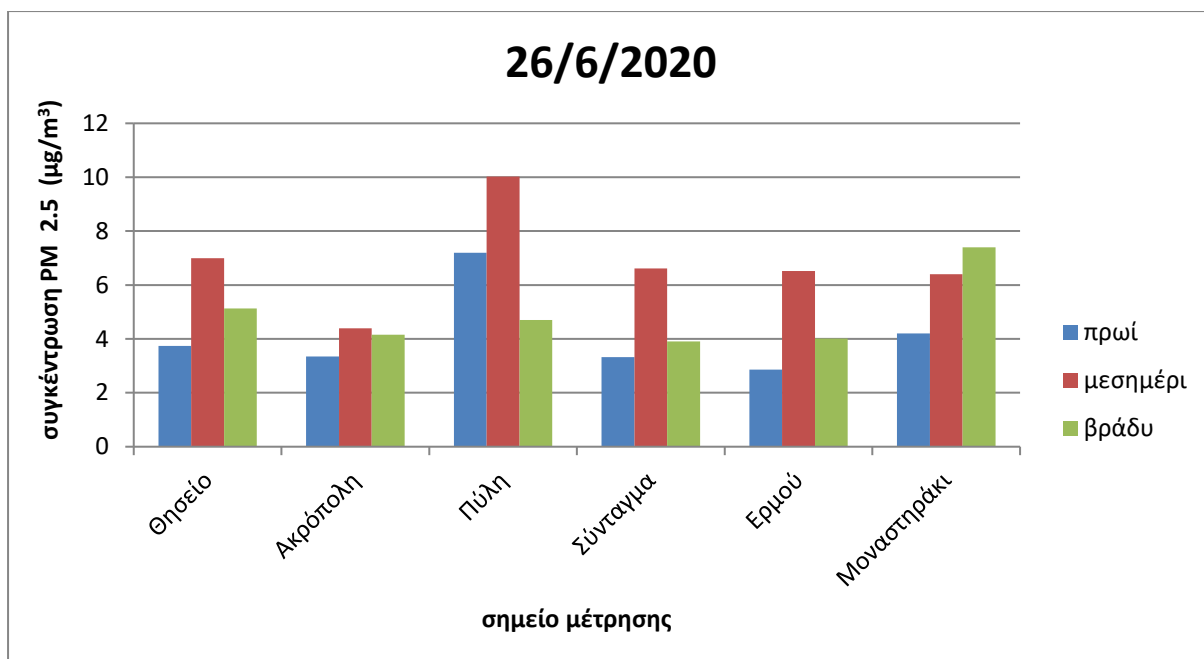
**Διάγραμμα 5.5.12:** Συγκεντρώσεων CO στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 12/6/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε υψηλές τιμές συγκεντρώσεων στο Σύνταγμα. Επιπλέον τα επίπεδα ρύπανσης στο Θησείο είναι πάρα πολύ χαμηλά τις βραδινές ώρες.



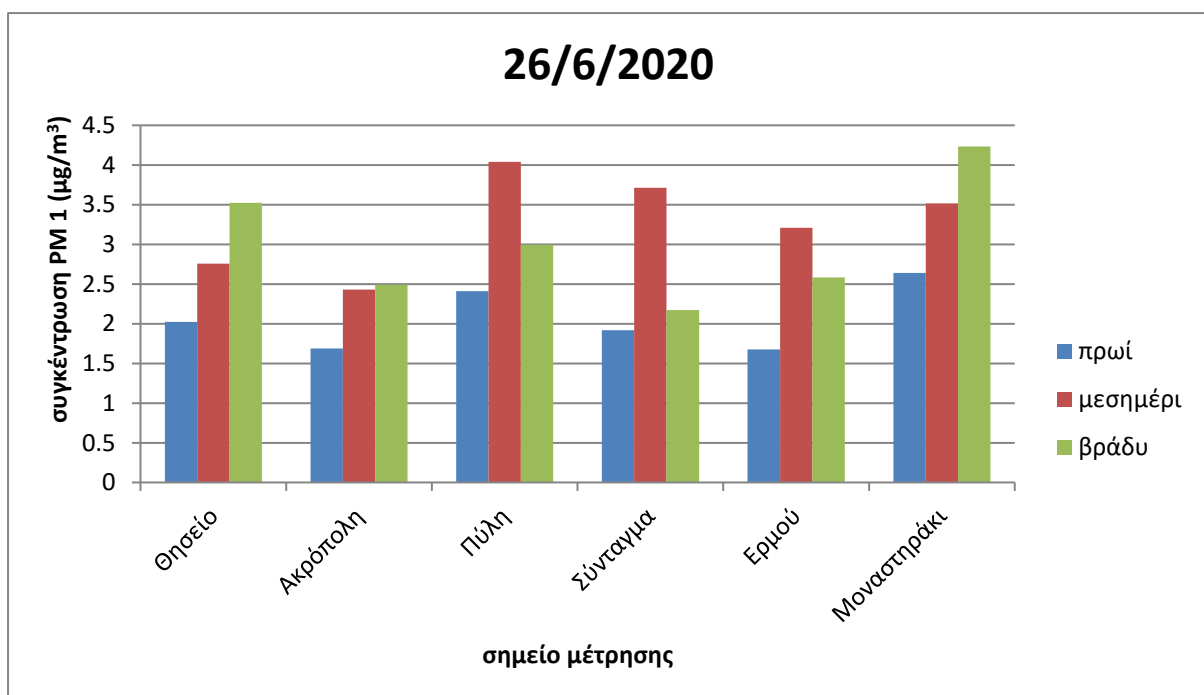
**Διάγραμμα 5.5.13:** Συγκεντρώσεων PM 10 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 26/6/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε αυξημένη συγκέντρωση σωματιδίων στη Πύλη Αδριανού λόγω κυκλοφορίας οχημάτων τις πρωινές ώρες αιχμής. Επιπλέον βλέπουμε αυξημένη συγκέντρωση τις μεσημεριανές ώρες στο Θησείο που μπορεί να οφείλονται στα σταθμευμένα υπεραστικά λεωφορεία που βρίσκονται μερικά μέτρα πιο κάτω από το σημείο μέτρησης.



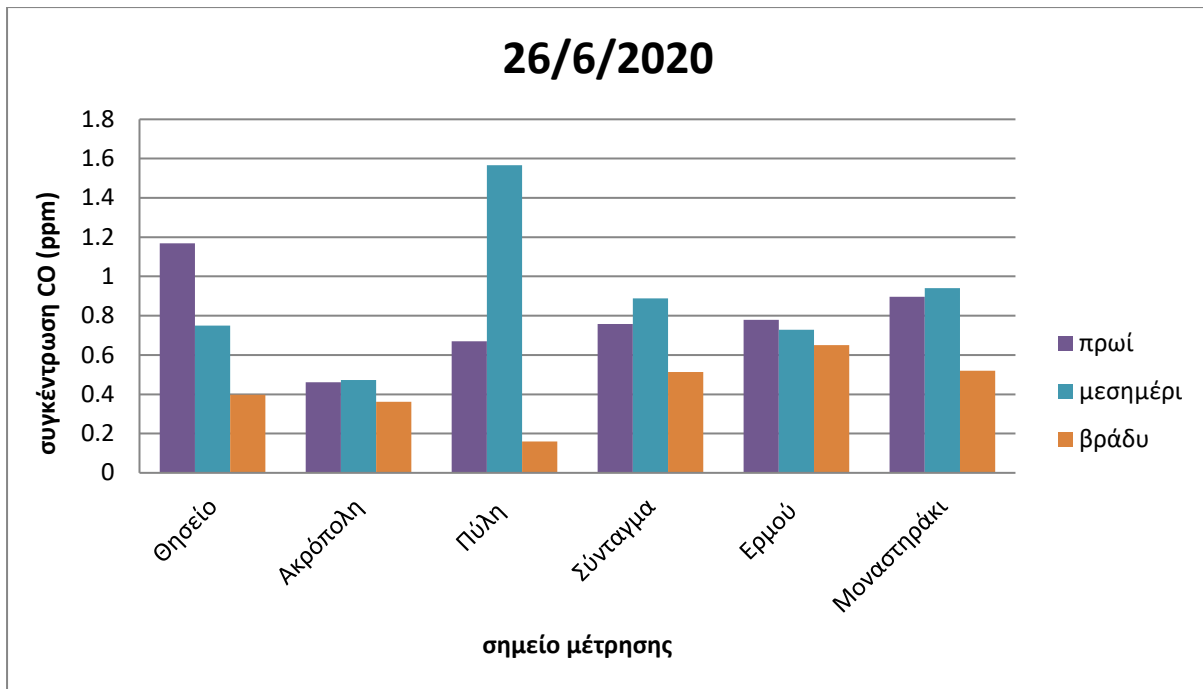
**Διάγραμμα 5.5.14:** Συγκεντρώσεων PM 2.5 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 26/6/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε αυξημένη συγκέντρωση σωματιδίων στη Πύλη Αδριανού λόγω κυκλοφορίας οχημάτων τις πρωινές ώρες αιχμής. Επιπλέον βλέπουμε αυξημένη συγκέντρωση τις μεσημεριανές ώρες στο Θησείο που μπορεί να οφείλονται στα σταθμευμένα υπεραστικά λεωφορεία που βρίσκονται μερικά μέτρα πιο κάτω από το σημείο μέτρησης.



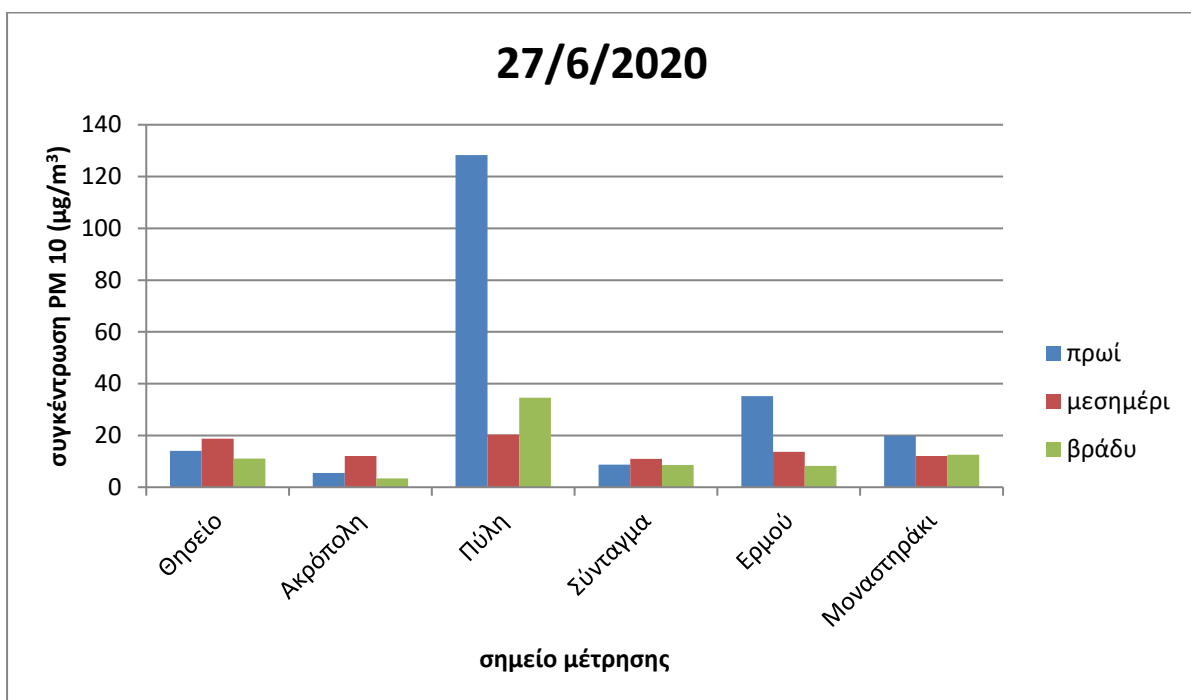
**Διάγραμμα 5.5.15:** Συγκεντρώσεων PM 1 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 26/6/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε αυξημένη συγκέντρωση σωματιδίων στη Πύλη Αδριανού λόγω κυκλοφορίας οχημάτων τις πρωινές ώρες αιχμής. Επιπλέον βλέπουμε αυξημένη συγκέντρωση τις βραδινές ώρες στο Μοναστηράκι που μπορεί να οφείλονται στα σταθμευμένα ταξί που βρίσκονται μερικά μέτρα από το σημείο μέτρησης.



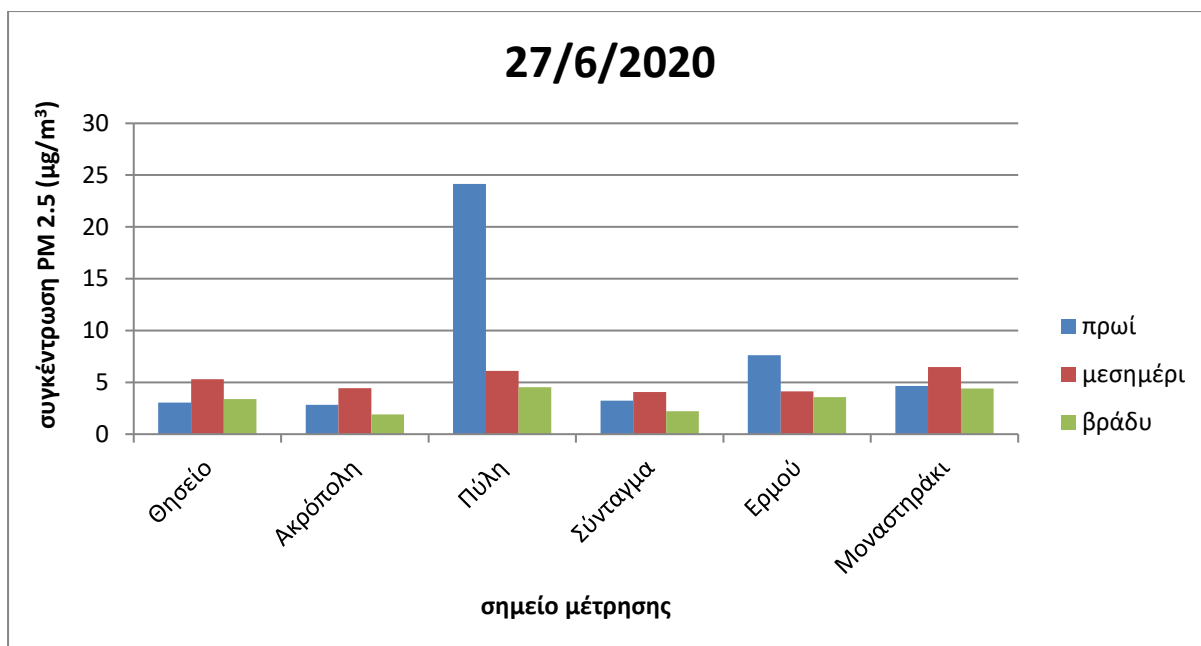
**Διάγραμμα 5.5.16:** Συγκεντρώσεων CO στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 26/6/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα υψηλή τιμή συγκέντρωσης το μεσημέρι στη πύλη πιθανότατα λόγω αυξημένης κυκλοφορίας οχημάτων.



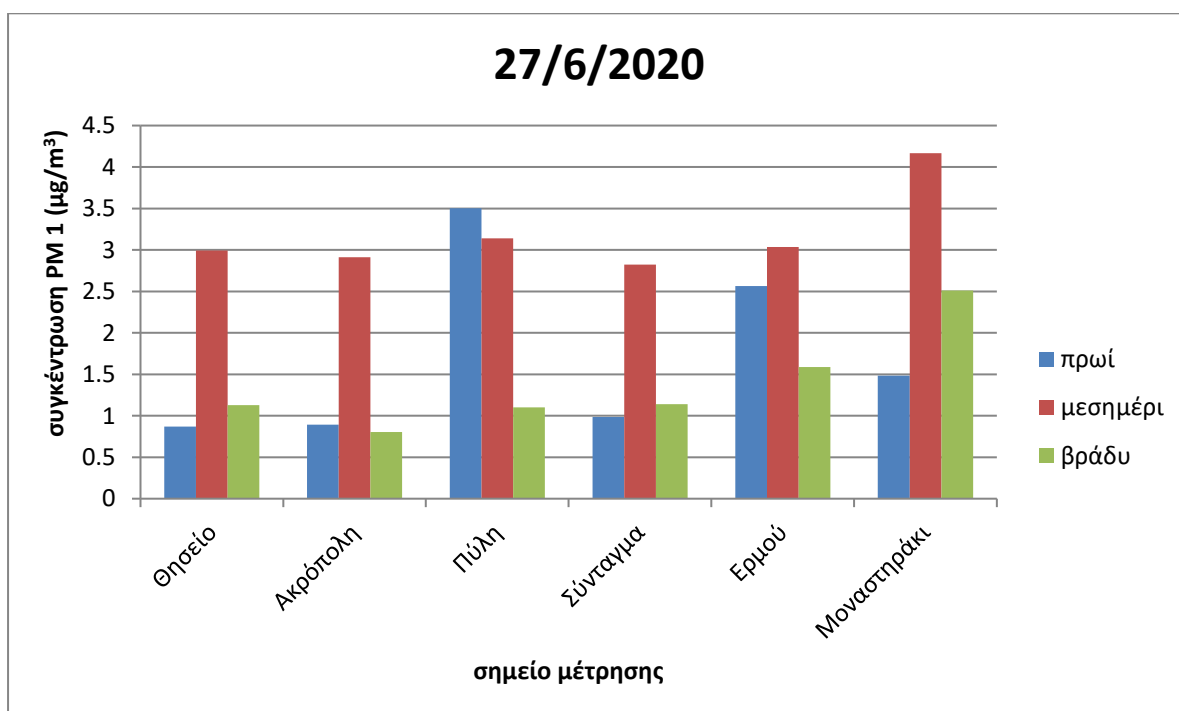
**Διάγραμμα 5.5.17 :** Συγκεντρώσεων PM 10 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 27/6/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε μια αρκετά μεγάλη συγκέντρωση σωματιδίων στην Πύλη Αδριανού, που οφείλεται σε φορτηγό το οποίο στάθμευσε πλησίον του οργάνου μέτρησης . Για τις υπόλοιπες περιοχές οι τιμές κυμαίνονται όπως και τις προηγούμενες ημέρες .



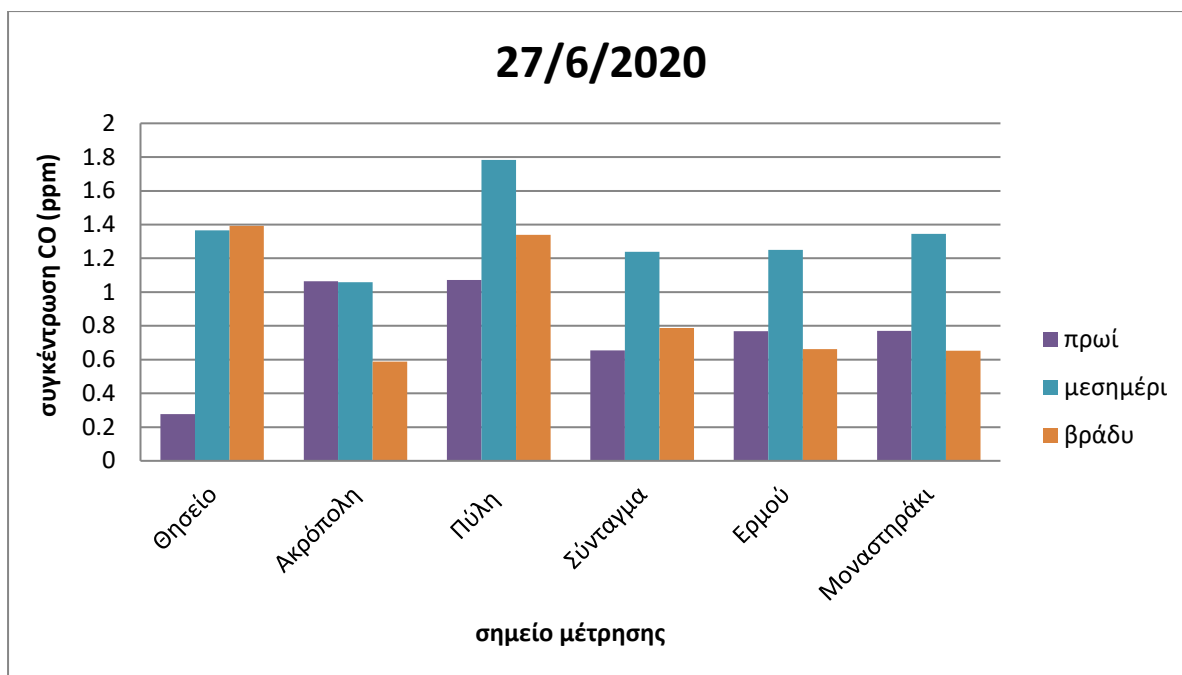
**5.5.18) Διάγραμμα συγκεντρώσεων PM 2.5 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 27/6/2020**

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε μια αρκετά μεγάλη συγκέντρωση σωματιδίων στην Πύλη Αδριανού, που οφείλεται σε φορτηγό το οποίο στάθμευσε πλησίον του οργάνου μέτρησης. Για τις υπόλοιπες περιοχές οι τιμές κυμαίνονται όπως και τις προηγούμενες ημέρες.



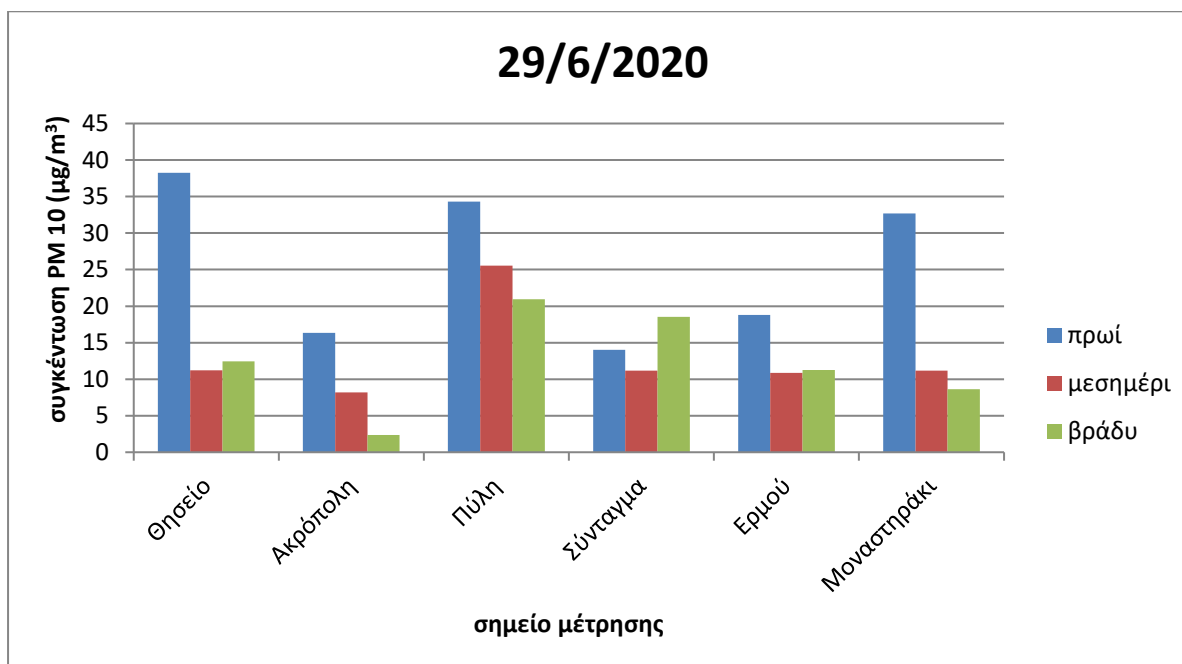
**Διάγραμμα 5.5.19: Συγκεντρώσεων PM 1 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 27/6/2020**

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε μια αρκετά μεγάλη συγκέντρωση σωματιδίων σε όλες τις περιοχές και ειδικότερα τις μεσημεριανές ώρες. Για τις υπόλοιπες ώρες της ημέρας, τα επίπεδα ρύπανσης είναι σχετικά χαμηλά. Στο Μοναστηράκι για ακόμη μια φορά παρατηρείται υψηλή συγκέντρωση PM 1.



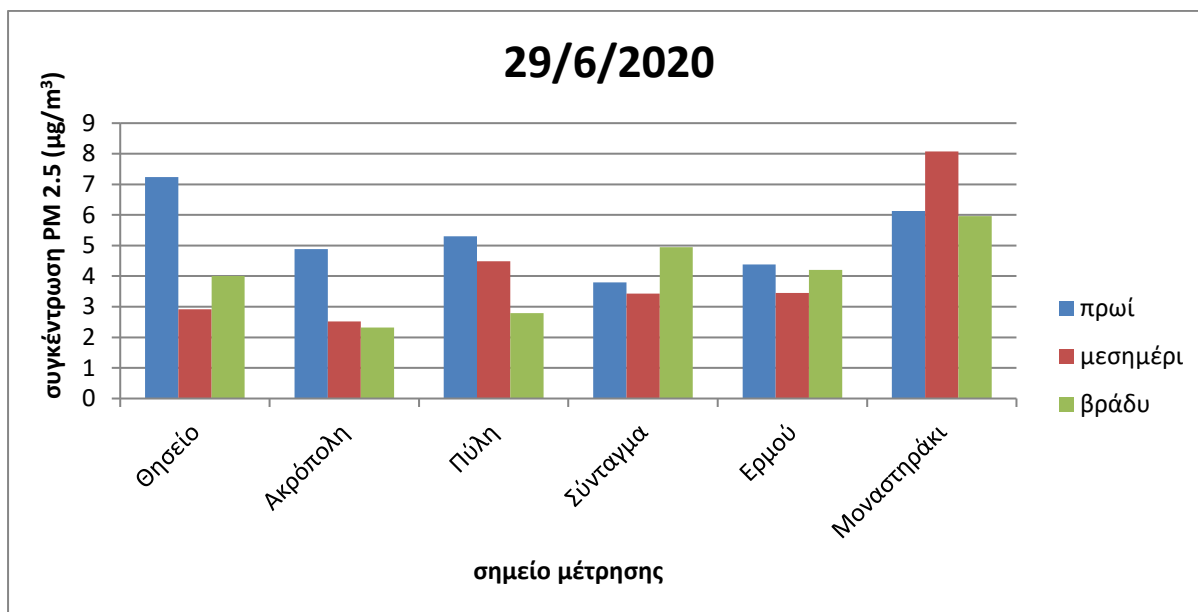
**Διάγραμμα 5.5.20:** Συγκεντρώσεων CO στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 27/6/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε υψηλές τιμές κυρίως τις μεσημεριανές ώρες. Επιπλέον τα επίπεδα ρύπανσης από το μονοξείδιο του άνθρακα είναι υψηλότερα στη Πύλη Αδριανού λόγω αυξημένης κυκλοφορίας οχημάτων.



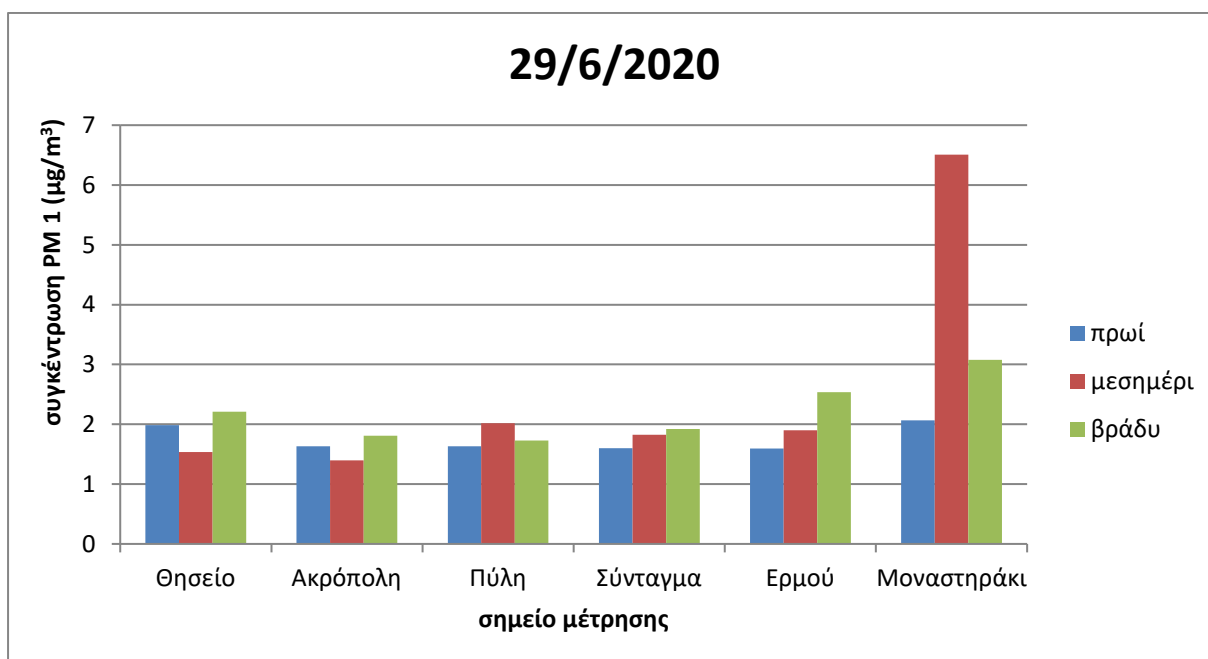
**Διάγραμμα 5.5.21:** Συγκεντρώσεων PM10 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 29/6/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε αυξημένη συγκέντρωση σωματιδίων στη Πύλη Αδριανού λόγω κυκλοφορίας οχημάτων τις πρωινές ώρες αιχμής. Επιπλέον βλέπουμε αυξημένη συγκέντρωση τις πρωινές ώρες στο Θησείο που μπορεί να οφείλονται στα σταθμευμένα υπεραστικά λεωφορεία που βρίσκονται μερικά μέτρα πιο κάτω από το σημείο μέτρησης. Επίσης στο μοναστηράκι, τις πρωινές ώρες σημειώθηκε έντονη κυκλοφορία οχημάτων η οποία συνάδει με την υψηλή τιμή σωματιδίων στη περιοχή.



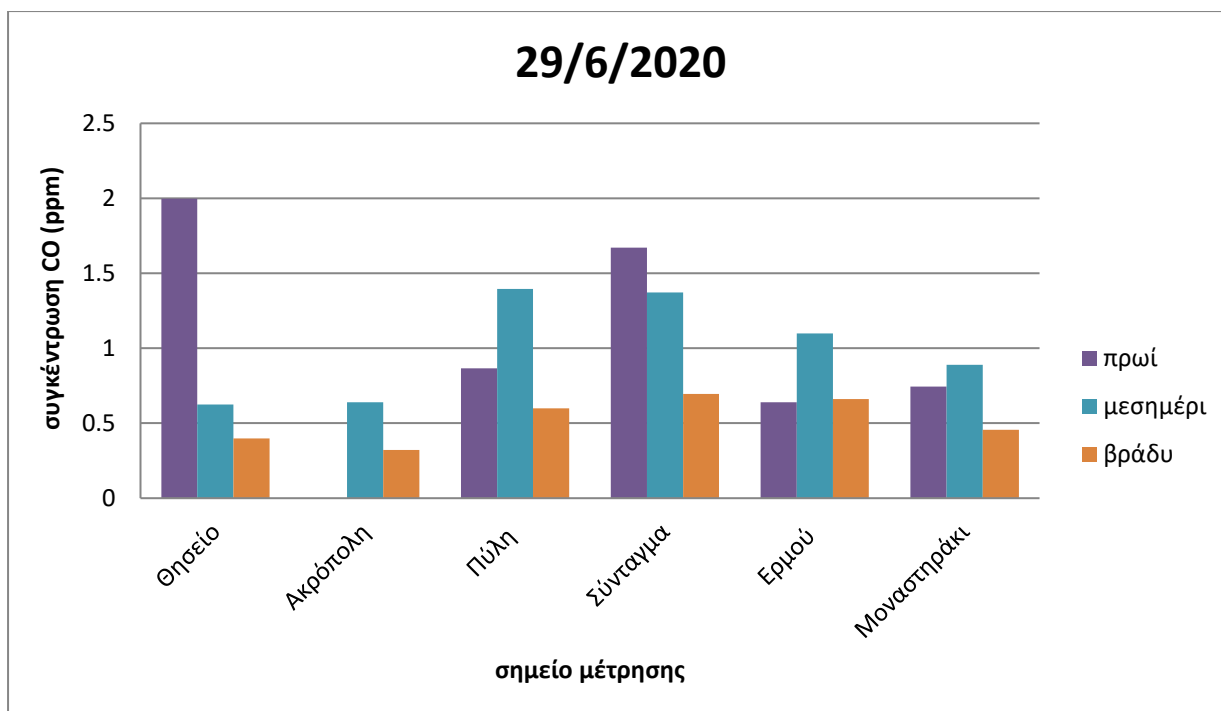
**Διάγραμμα 5.5.22:** Συγκεντρώσεων PM 2.5 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 29/6/2020.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε αυξημένη συγκέντρωση σωματιδίων στη Πύλη Αδριανού λόγω κυκλοφορίας οχημάτων τις πρωινές ώρες αιχμής. Επιπλέον βλέπουμε αυξημένη συγκέντρωση τις μεσημεριανές ώρες στο Θησείο που μπορεί να οφείλονται στα σταθμευμένα υπεραστικά λεωφορεία που βρίσκονται μερικά μέτρα πιο κάτω από το σημείο μέτρησης.



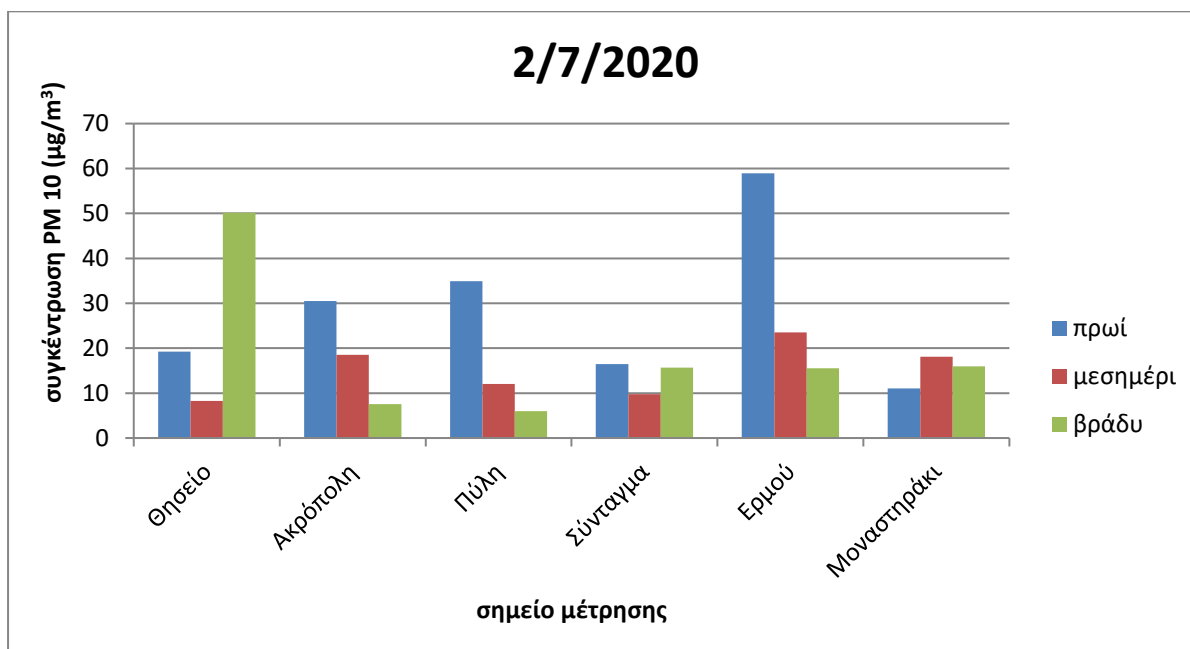
**Διάγραμμα 5.5.23:** Συγκεντρώσεων PM1 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 29/6/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε μια αρκετά μεγάλη συγκέντρωση σωματιδίων σε όλες τις περιοχές και ειδικότερα τις μεσημεριανές ώρες. Για τις υπόλοιπες ώρες της ημέρας, τα επίπεδα ρύπανσης είναι σχετικά χαμηλά. Στο Μοναστηράκι για ακόμη μια φορά παρατηρείται υψηλή συγκέντρωση PM 1.



**Διάγραμμα 5.5.24:** Συγκεντρώσεων CO στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 29/6/2020

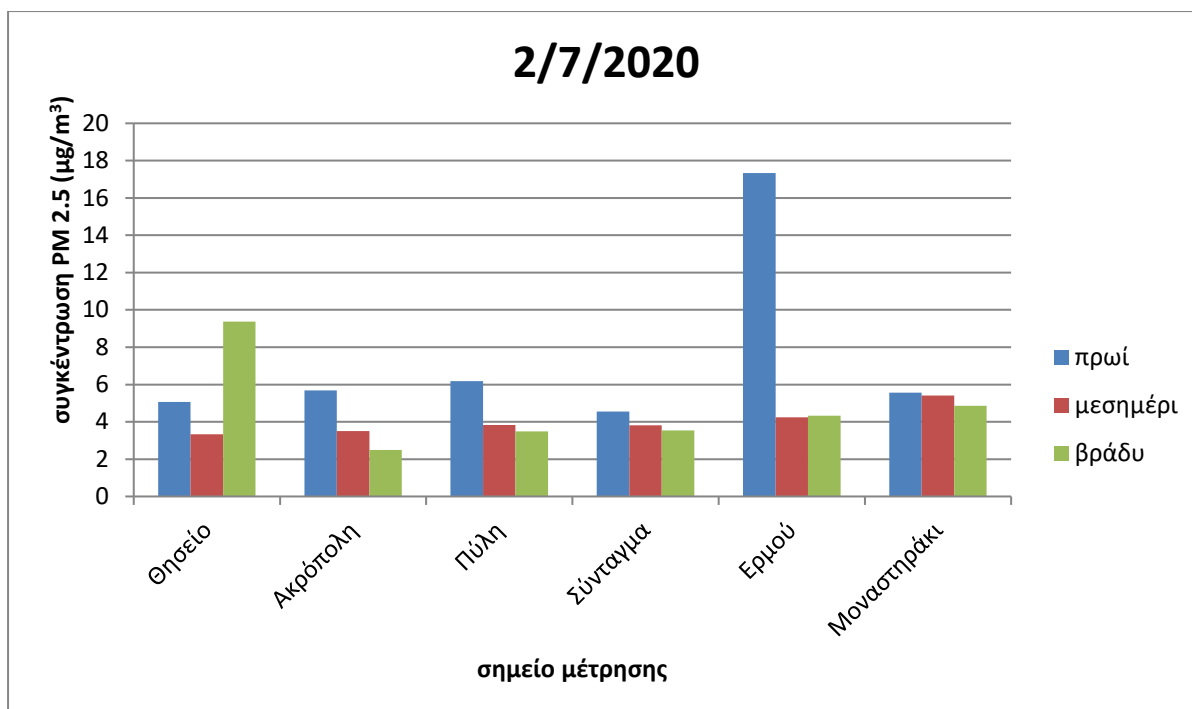
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε υψηλή τιμή το πρωί στο Θησείο και στο Σύνταγμα. Επιπλέον, στην Ακρόπολη έχει καταγραφεί μηδενική τιμή ρύπανσης σε αντίθεση με προηγούμενες φορές που εμφανίζει κάποιες τιμές συγκέντρωσης.



**Διάγραμμα 5.5.25:** Συγκεντρώσεων PM 10 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 2/7/2020

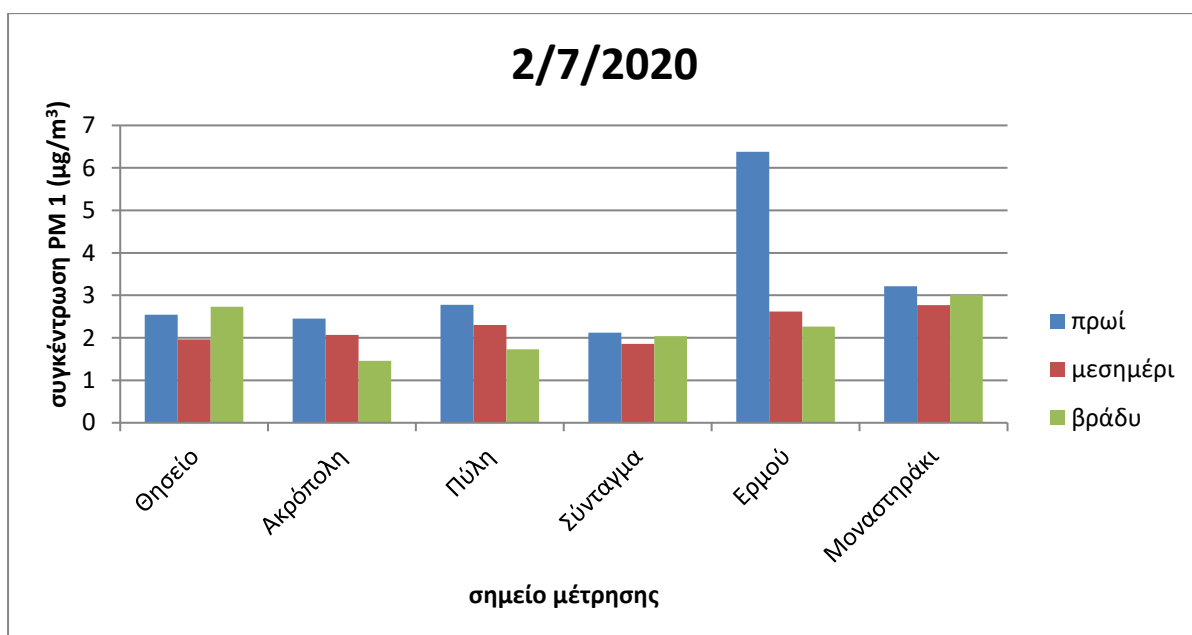
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούνται υψηλές τιμές συγκέντρωσης σωματιδίων τις πρωινές ώρες. Πιο συγκεκριμένα στην οδό Ερμού παρουσιάζεται μια πολύ μεγάλη τιμή η οποία πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι εκείνο το πρωί συναντήσαμε ένα καθαριστικό όχημα του δήμου (βούρτσα) το οποίο πέρασε από μπροστά την ώρα της μέτρησης.





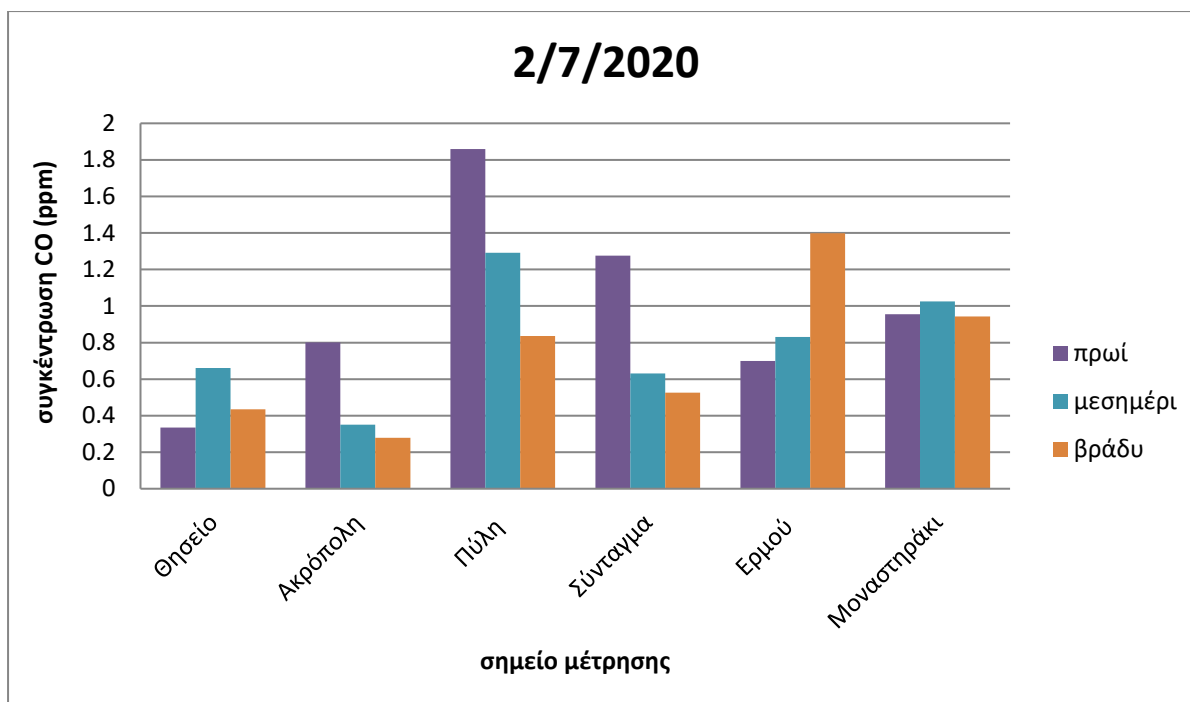
**Διάγραμμα 5.5.26:** Συγκεντρώσεων PM 2.5 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 2/7/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούνται υψηλές τιμές συγκέντρωσης σωματιδίων τις πρωινές ώρες. Πιο συγκεκριμένα στην οδό Ερμού παρουσιάζεται μια πολύ μεγάλη τιμή η οποία πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι εκείνο το πρωί συναντήσαμε ένα καθαριστικό όχημα του δήμου (βούρτσα) το οποίο πέρασε από μπροστά την ώρα της μέτρησης.



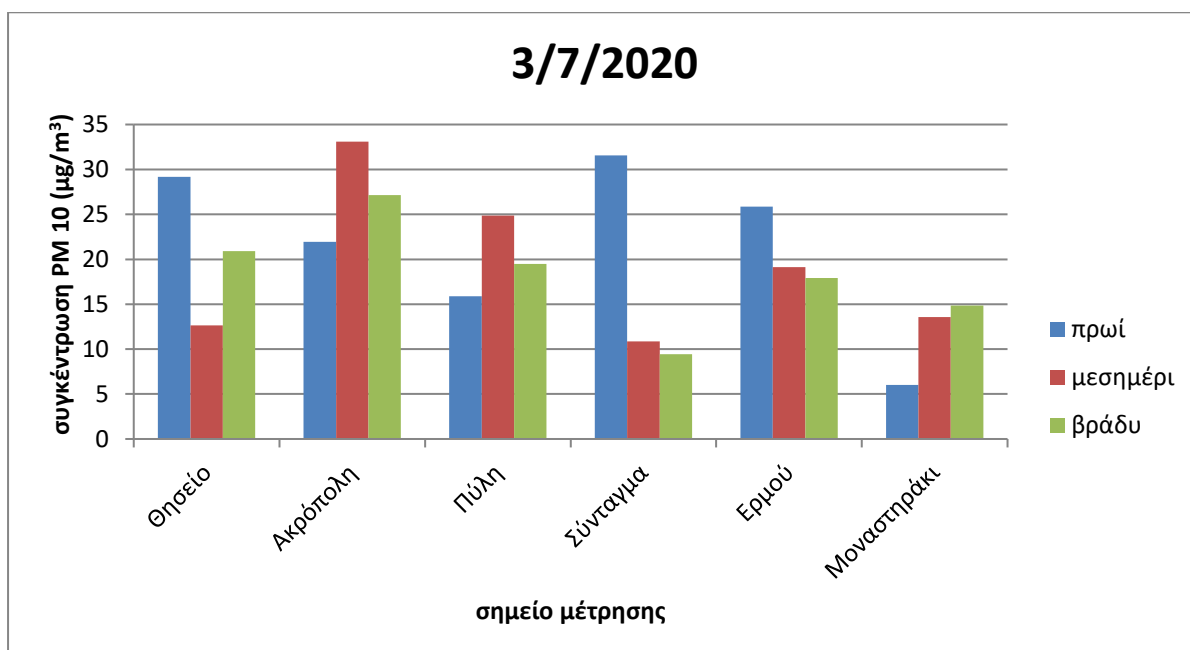
**Διάγραμμα 5.5.27:** Συγκεντρώσεων PM 1 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 2/7/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούνται υψηλές τιμές συγκέντρωσης σωματιδίων τις πρωινές ώρες. Πιο συγκεκριμένα στην οδό Ερμού παρουσιάζεται μια πολύ μεγάλη τιμή η οποία πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι εκείνο το πρωί συναντήσαμε ένα καθαριστικό όχημα του δήμου (βούρτσα) το οποίο πέρασε από μπροστά την ώρα της μέτρησης.



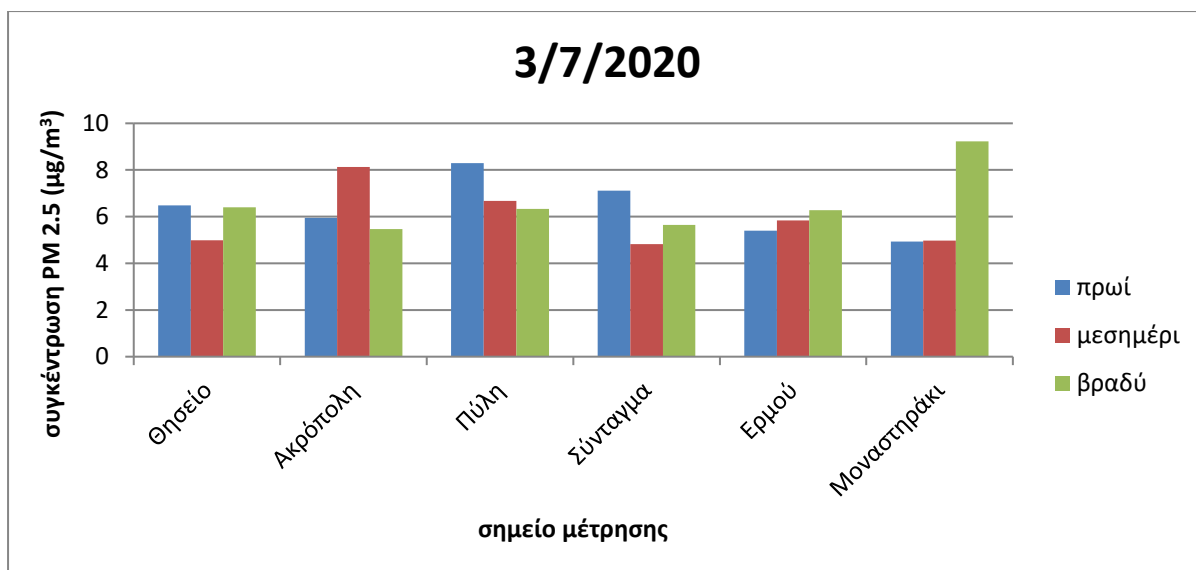
**Διάγραμμα 5.5.28:** Συγκεντρώσεων CO στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 2/7/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε υψηλές τιμές συγκεντρώσεων το πρωί στη Πύλη Αδριανού και στο Σύνταγμα λόγω κυκλοφορίας οχημάτων. Επίσης, βλέπουμε μια υψηλή τιμή στην Ερμού το βράδυ.



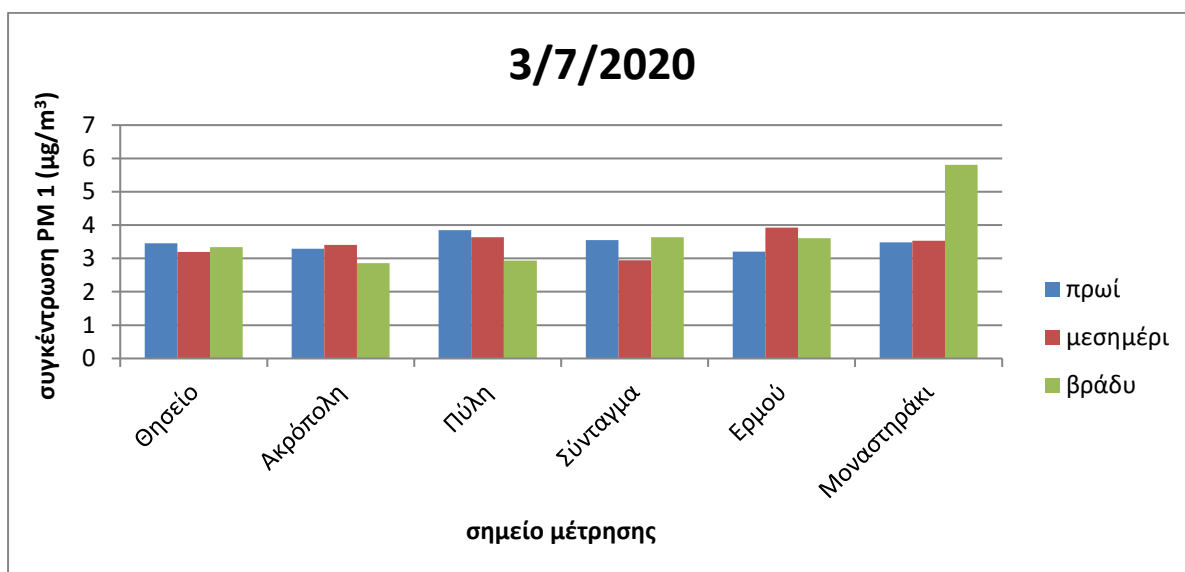
**Διάγραμμα 5.5.29:** Συγκεντρώσεων PM 10 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 3/7/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούνται υψηλές τιμές συγκέντρωσης σωματιδίων τις πρωινές ώρες. Πιο συγκεκριμένα στην οδό Ερμού παρουσιάζεται μια πολύ μεγάλη τιμή η οποία πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι εκείνο το πρωί συναντήσαμε ένα καθαριστικό όχημα του δήμου (βούρτσα) το οποίο πέρασε από μπροστά την ώρα της μέτρησης. Επίσης, στο Σύνταγμα και στο Θησείο βλέπουμε υψηλές τιμές πιθανόν λόγω κυκλοφορίας. Επιπροσθέτως, στην Ακρόπολη το μεσημέρι σημειώθηκε άφιξη τουριστικού λεωφορείου στην προς μελέτη περιοχή.



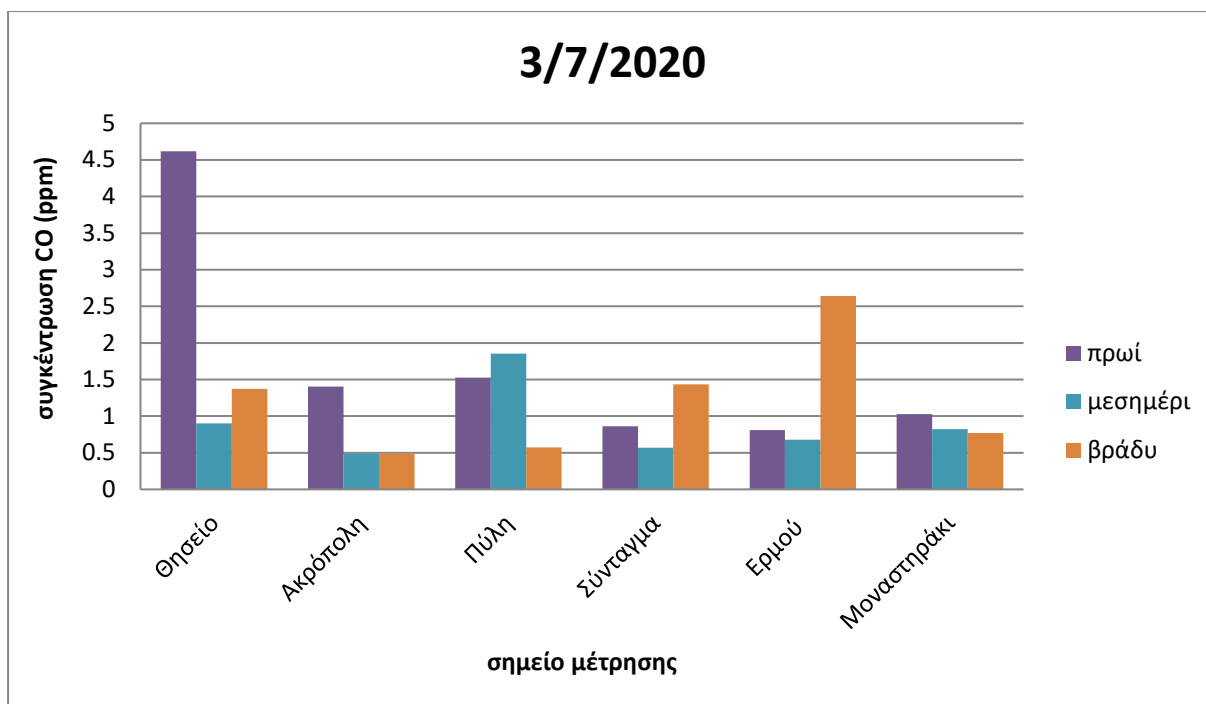
**Διάγραμμα 5.5.30:** Συγκεντρώσεων PM 2.5 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 3/7/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούνται υψηλές τιμές συγκέντρωσης σωματιδίων τις πρωινές ώρες. Εξάιρεση αποτελεί το Μοναστηράκι και η Ερμού όπου παρουσιάζουν τη μέγιστη συγκέντρωση το βράδυ. Επίσης, στο Σύνταγμα και στο Θησείο βλέπουμε υψηλές τιμές πιθανόν λόγω κυκλοφορίας. Επιπροσθέτως, στην Ακρόπολη το μεσημέρι σημειώθηκε άφιξη τουριστικού λεωφορείου στην προς μελέτη περιοχή.



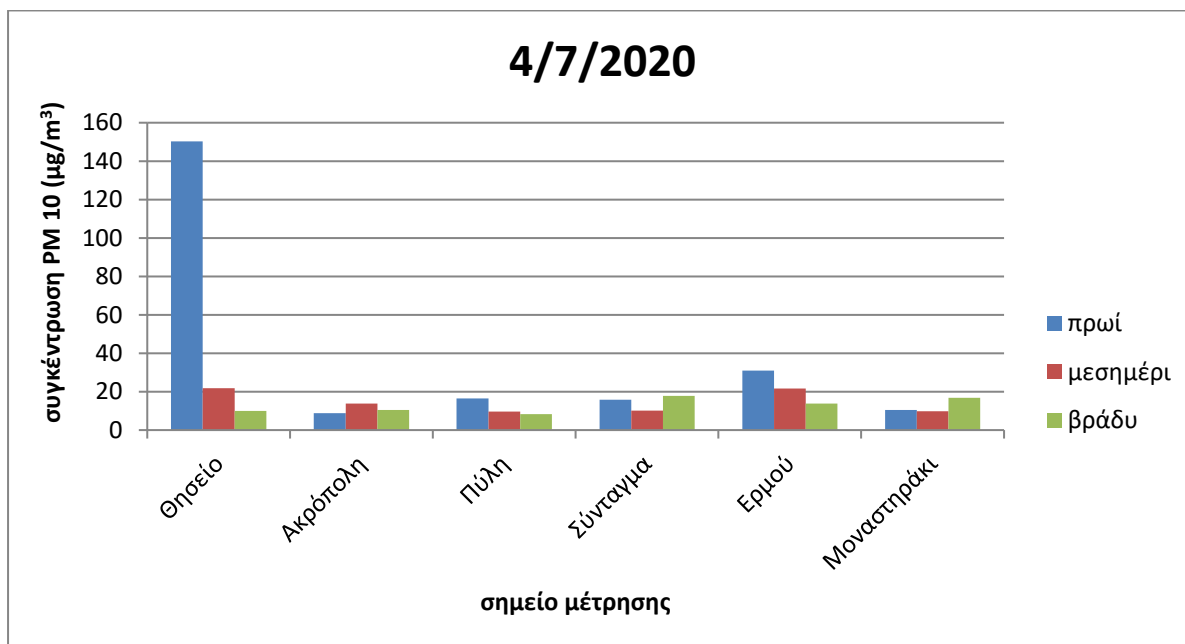
**Διάγραμμα 5.5.31:** Συγκεντρώσεων PM 1 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 3/7/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούνται υψηλές τιμές συγκέντρωσης σωματιδίων τις πρωινές ώρες. Εξάιρεση αποτελεί το Μοναστηράκι και η Ερμού όπου παρουσιάζουν τη μέγιστη συγκέντρωση το βράδυ. Επίσης, στο Σύνταγμα και στο Θησείο βλέπουμε υψηλές τιμές πιθανόν λόγω κυκλοφορίας. Επιπροσθέτως, στην Ακρόπολη το μεσημέρι σημειώθηκε άφιξη τουριστικού λεωφορείου στην προς μελέτη περιοχή.



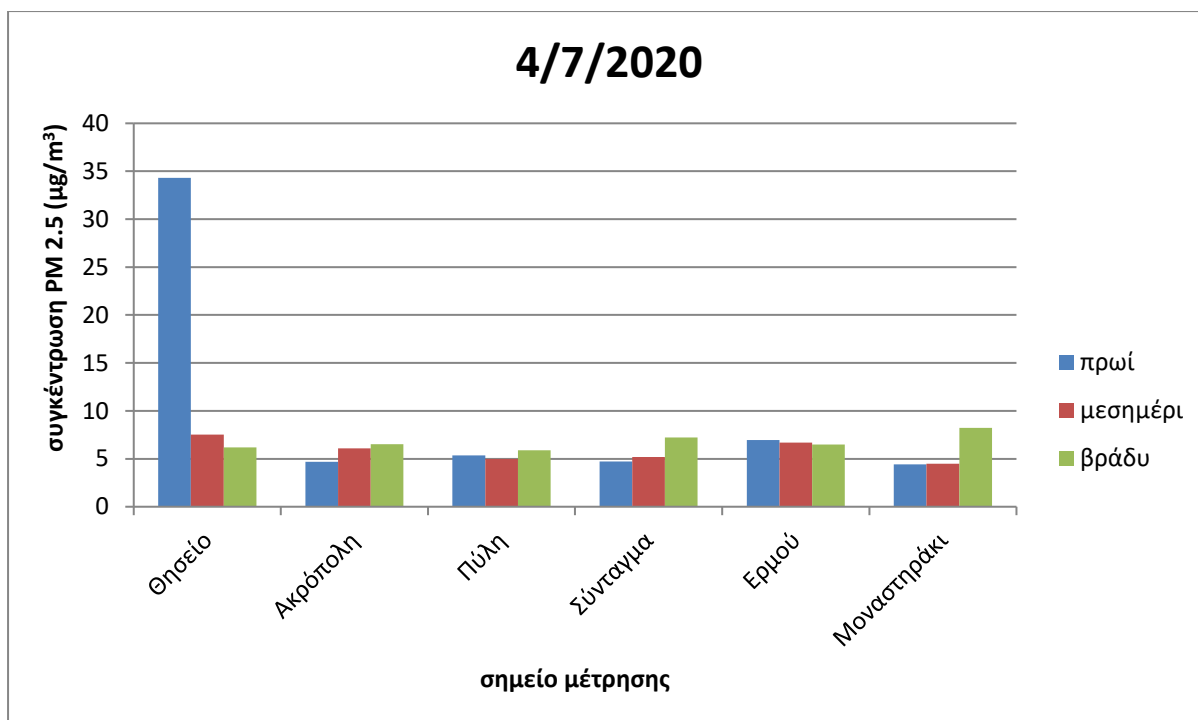
**Διάγραμμα 5.5.32:** Συγκεντρώσεων CO στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 3/7/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε υψηλή τιμή στην Ερμού το βράδυ. Επίσης, βλέπουμε μια υψηλή τιμή στο Θησείο το πρωί που ομοιάζει με την προηγούμενη μέρα.



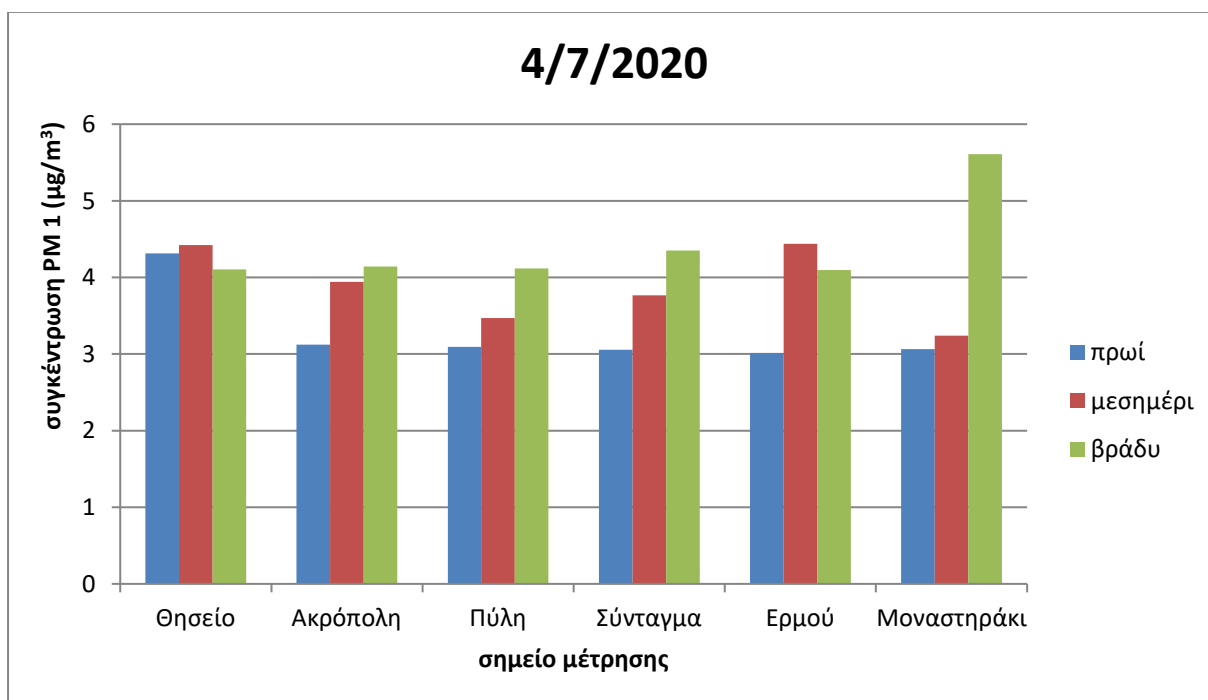
**Διάγραμμα 5.5.33:** Συγκεντρώσεων PM 10 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 4/7/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε αυξημένη συγκέντρωση σωματιδίων στο Θησείο που μπορεί να οφείλονται στα σταθμευμένα υπεραστικά λεωφορεία που βρίσκονται μερικά μέτρα πιο κάτω από το σημείο μέτρησης. Επίσης τη συγκεκριμένη μέρα αναγκαστήκαμε να αλλάξουμε σημείο διότι εκτελούνταν έργα. Το νέο σημείο μέτρησης βρισκόταν κοντά στα εκτελούμενα έργα και επομένως η μέτρηση πιθανόν να έχει επηρεαστεί.



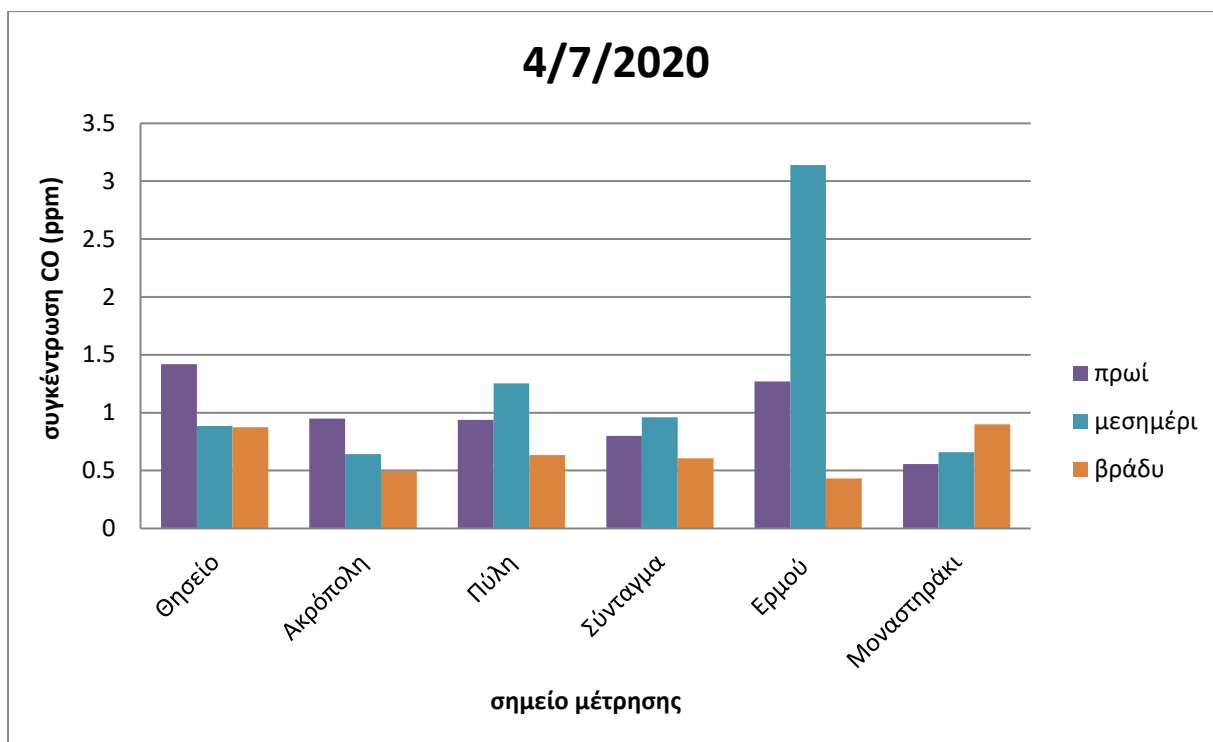
**Διάγραμμα 5.5.34:** Συγκεντρώσεων PM 2.5 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 4/7/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε αυξημένη συγκέντρωση σωματιδίων στο Θησείο που μπορεί να οφείλονται στα σταθμευμένα υπεραστικά λεωφορεία που βρίσκονται μερικά μέτρα πιο κάτω από το σημείο μέτρησης. Επίσης τη συγκεκριμένη μέρα αναγκαστήκαμε να αλλάξουμε σημείο διότι εκτελούνταν έργα. Το νέο σημείο μέτρησης βρισκόταν κοντά στα εκτελούμενα έργα και επομένως η μέτρηση πιθανόν να έχει επηρεαστεί.



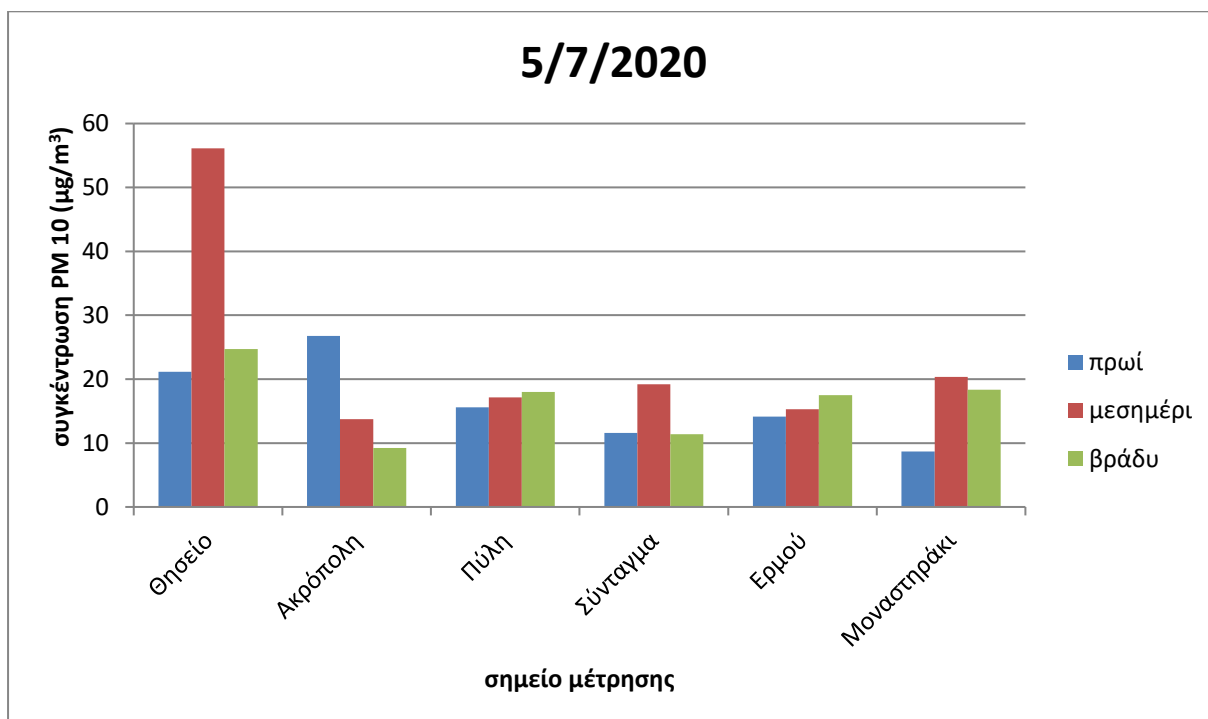
**Διάγραμμα 5.5.35:** Συγκεντρώσεων PM 1 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 4/7/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε αυξημένη συγκέντρωση σωματιδίων τις μεσημεριανές αλλά και τις βραδινές ώρες με το Μοναστηράκι να έχει τη μεγαλύτερη συγκέντρωση το βράδυ.



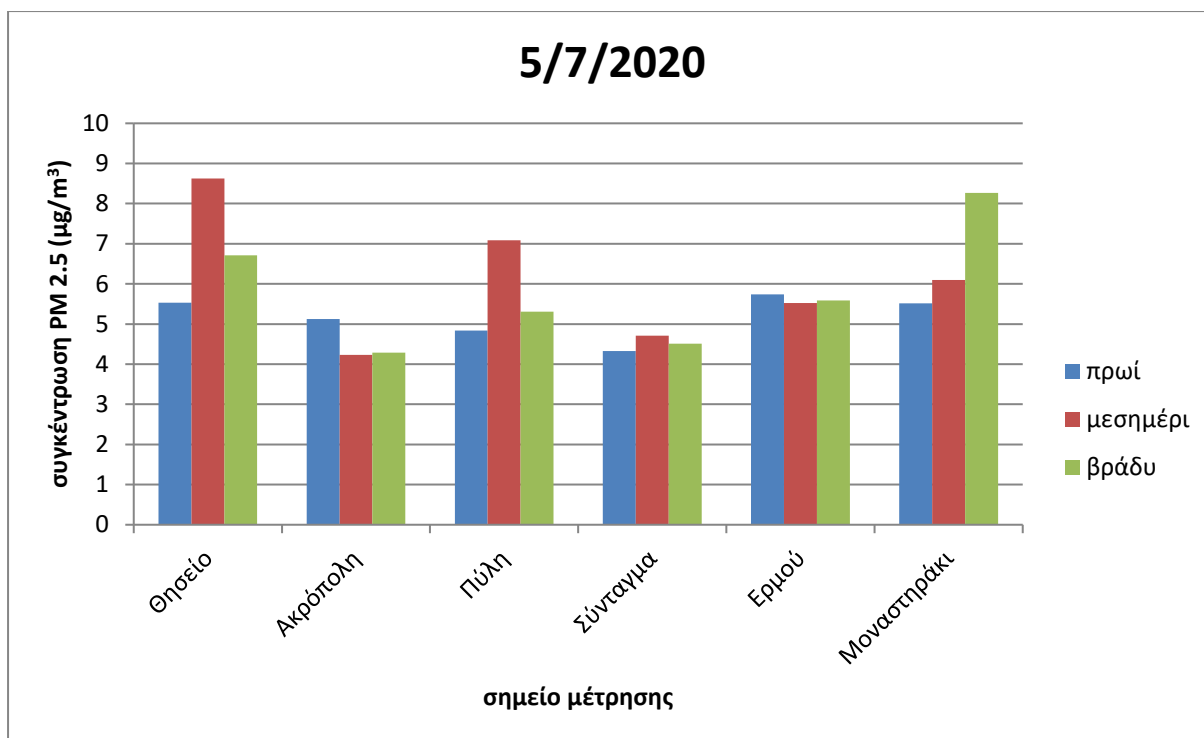
**Διάγραμμα 5.5.36:** Συγκεντρώσεων CO στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 4/7/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε υψηλή τιμή συγκέντρωσης στην οδό Ερμού το μεσημέρι. Επιπλέον τα επίπεδα ρύπανσης από το μονοξείδιο του άνθρακα είναι χαμηλότερα το βράδυ στην Ερμού, κάτι που δεν συνέβη τις δύο προηγούμενες ημέρες.



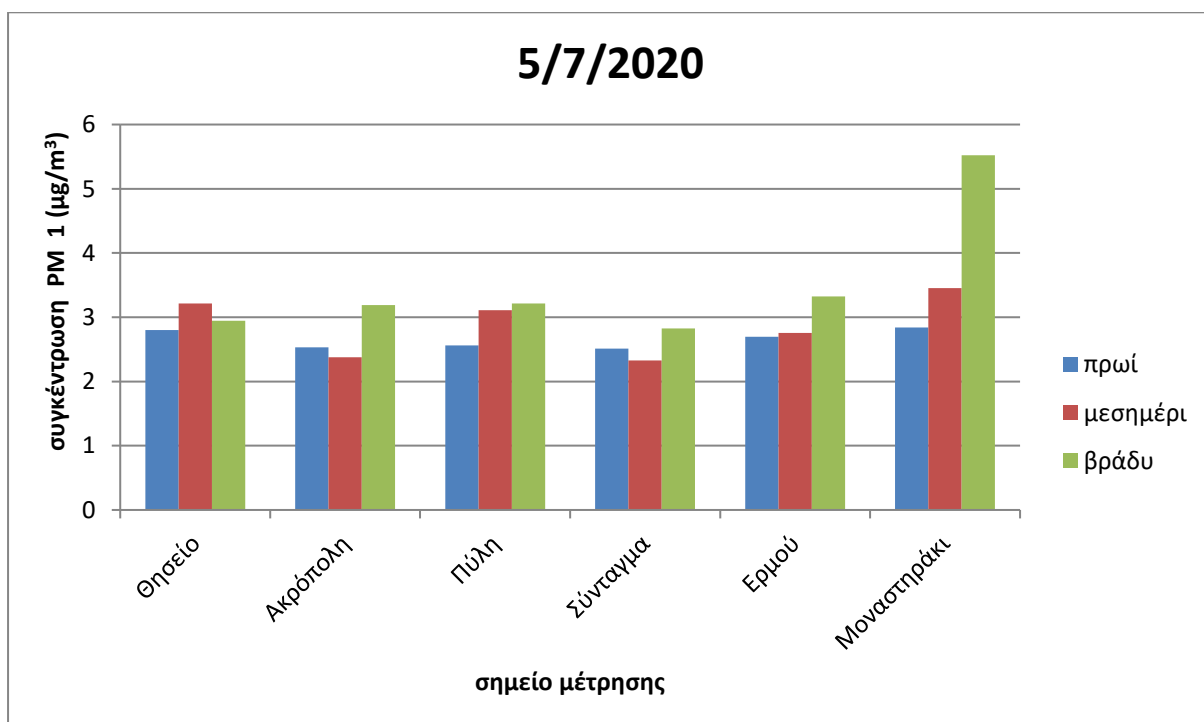
**Διάγραμμα 5.5.37:** Συγκεντρώσεων PM 10 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 5/7/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε αυξημένη συγκέντρωση σωματιδίων κυρίως τις μεσημεριανές αλλά και τις βραδινές ώρες. Επίσης, στο Θησείο το μεσημέρι, βλέπουμε μια μεγάλη τιμή PM 10.



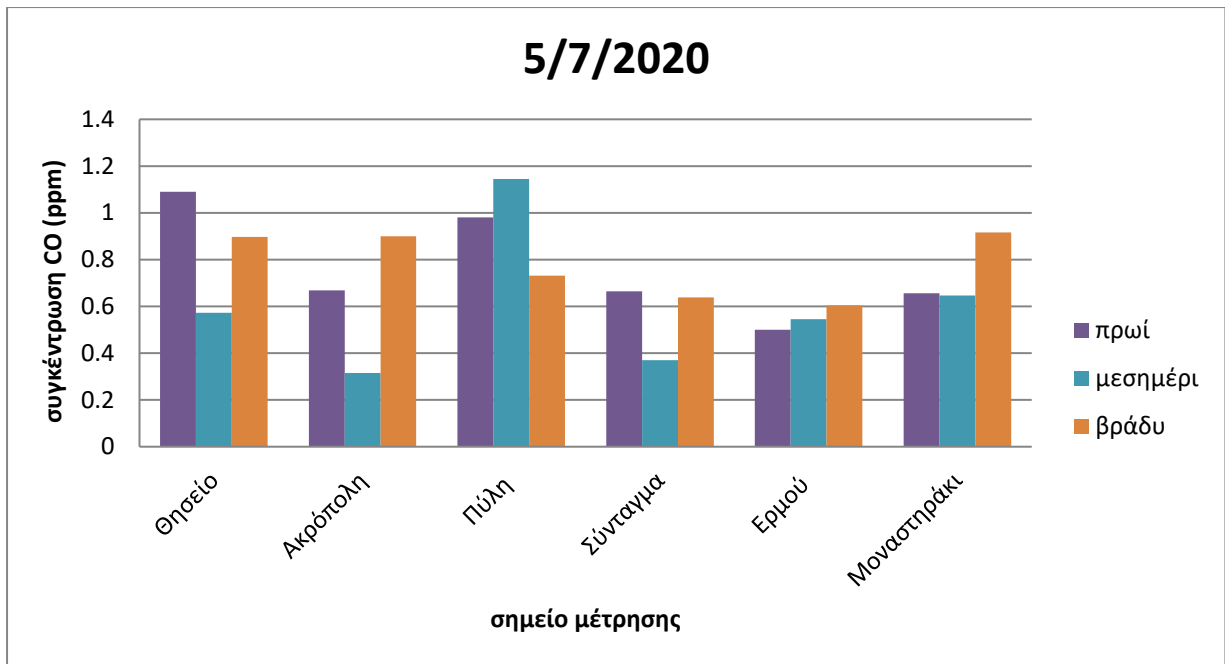
**Διάγραμμα 5.5.38:** Συγκεντρώσεων PM 2.5 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 5/7/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε αυξημένη συγκέντρωση σωματιδίων τις μεσημεριανές αλλά και τις βραδινές ώρες με το Μοναστηράκι να έχει τη μεγαλύτερη συγκέντρωση το βράδυ. Επίσης, στο Θησείο το μεσημέρι, βλέπουμε μια μεγάλη τιμή PM 2.5



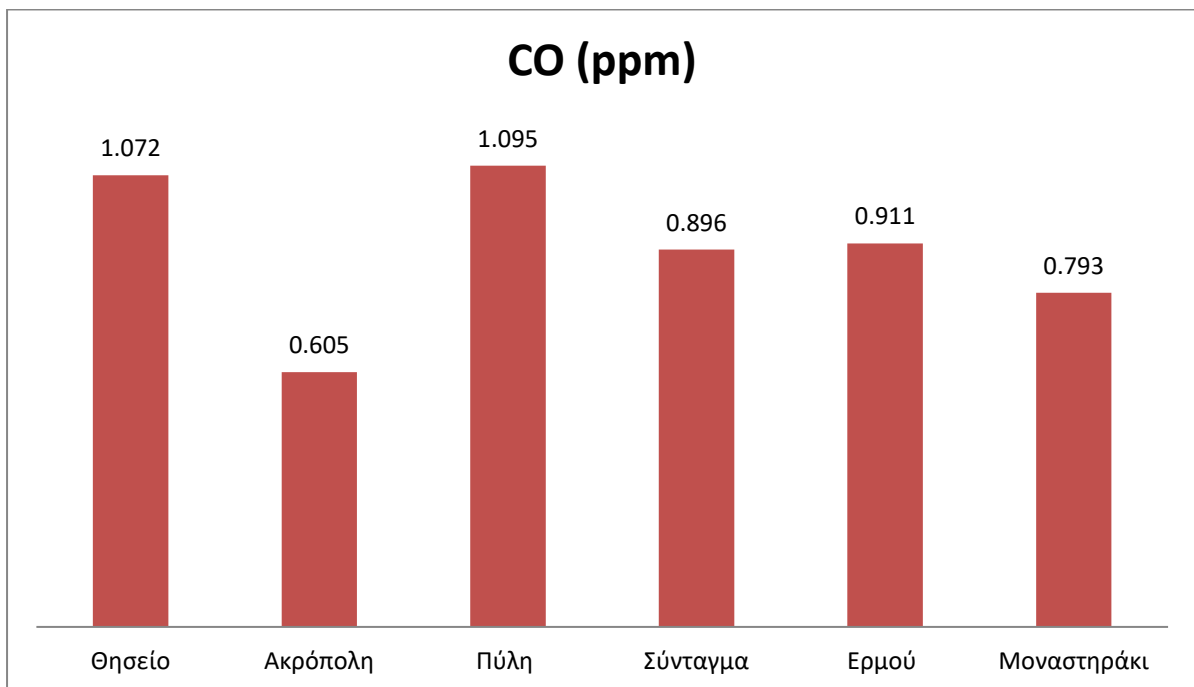
**Διάγραμμα 5.5.39:** Συγκεντρώσεων PM 1 στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 5/7/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε αυξημένη συγκέντρωση σωματιδίων τις μεσημεριανές αλλά και τις βραδινές ώρες με το Μοναστηράκι να έχει τη μεγαλύτερη συγκέντρωση το βράδυ.



Διάγραμμα 5.5.40: Συγκεντρώσεων CO στα σημεία ενδιαφέροντος για την ημέρα 5/7/2020

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε για ακόμη μια φορά υψηλές τιμές στην Πύλη Αδριανού το μεσημέρι. Επίσης, το πρωί στο Θησείο, παρατηρείται υψηλή τιμή μονοξειδίου του άνθρακα.



Διάγραμμα 5.5.41: Συνολικής αποτίμησης της ποιότητας του αέρα βάσει της συγκέντρωσης CO

Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει τον μέσο όρο συγκεντρώσεων CO για τις εννιά ημέρες του καλοκαιριού. Η τιμές συγκεντρώσεων CO από τις 18/12/2019 δεν έχουν συμπεριληφθεί καθώς υπάρχουν αρκετές μηδενικές τιμές που υποδηλώνουν ανακρίβεια στις μετρήσεις μας. Βάσει του διαγράμματος βλέπουμε ως πιο καθαρή περιοχή την Ακρόπολη ενώ η περιοχή με την περισσότερη ρύπανση από CO είναι η Πύλη Αδριανού.



## 5.6) Αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης με τον δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης DAQI

Σε αυτό το στάδιο επεξεργασίας δεδομένων, στόχος είναι η αποτύπωση της ποιότητας του αέρα στα σημεία ενδιαφέροντος με τέτοιο τρόπο ώστε ο κάθε πολίτης που βρίσκεται στο κέντρο της Αθήνας να ενημερώνεται με εύληπτο τρόπο. Επιπλέον, με τη βοήθεια των δεικτών ατμοσφαιρικής ρύπανσης, είμαστε σε θέση να αξιολογήσουμε το κάθε επιλεγμένο σημείο. Ο δείκτης ατμοσφαιρικής ρύπανσης που επιλέχθηκε είναι ο DAQI (Daily Air Quality Index) διότι οι συγκεντρώσεις μας είναι καταγεγραμμένες σε ξεχωριστές μεμονωμένες μέρες. Επίσης, ο δείκτης αυτός είναι ένας σχετικά αυστηρός δείκτης καθώς έχει επινοηθεί από χώρα της Ευρώπης και ειδικότερα από τη Βρετανία (UK AIR, 2020). Το γεγονός ότι η Αθήνα είναι μια πόλη με πολλούς κατοίκους αλλά και τουρίστες οι οποίοι την επισκέπτονται όλο τον χρόνο μας ωθεί στο να εξάγουμε αποτελέσματα που βασίζονται σε αυστηρότερα κριτήρια όπως αυτά του δείκτη DAQI. Για τον υπολογισμό του παραπάνω δείκτη απαιτούνται ολόήμερες μετρήσεις, παρ' όλα αυτά στα πλαίσια τούτης της διπλωματικής κάνουμε τη παραδοχή ότι ο ημερήσιος μέσος όρος δεν θα προέρχεται από 24 ωριαίες τιμές αλλά από 3 ωριαίες τιμές (μια το πρωί, μια το μεσημέρι και μια το βράδυ). Επιπροσθέτως, ο υπολογισμός του δείκτη πραγματοποιείται ξεχωριστά για κάθε ένα από τα έξι σημεία. Τέλος οι τιμές DAQI, υπολογίστηκαν μόνο για τα PM 10 καθώς για το μονοξείδιο του άνθρακα απαιτούνται μέσες τιμές κυλιόμενου οκταώρου ενώ για τα PM 2.5 και PM 1 δεν προβλέπεται τιμή του δείκτη.

Ο υπολογισμός του δείκτη γίνεται με τον εξής τρόπο. Για παράδειγμα η ημερήσια μέση τιμή συγκέντρωσης PM 10 στις 18/12/2019 είναι  $27.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$  στο Θησείο. Το επόμενο βήμα είναι να εισάγουμε αυτή τη τιμή στην εκάστοτε συνάρτηση από τον πίνακα 5.1, η οποία στην προκειμένη περίπτωση είναι:

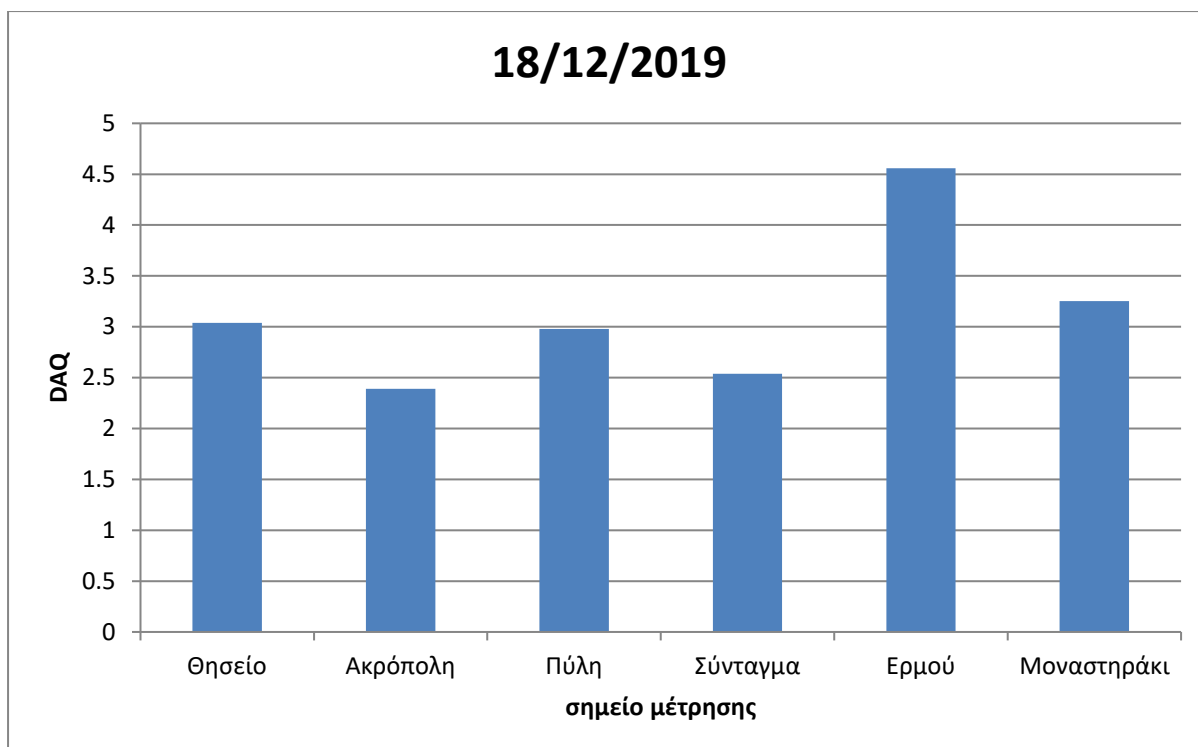
$$DAQx = 0.0604 \cdot C + 1.2919$$

(όπου C η μέση ημερήσια τιμή συγκέντρωσης των PM 10 σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Το αριθμητικό αποτέλεσμα που προκύπτει είναι  $DAQ=3$  και η κατηγορία της ποιότητας του αέρα για το σημείο είναι: «ικανοποιητική». Με όμοιο τρόπο, υπολογίζεται ο δείκτης για τα υπόλοιπα σημεία με τη διαφορά ότι αλλάζει η συνάρτηση σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα 5.1. (Μουστρής, 2020)

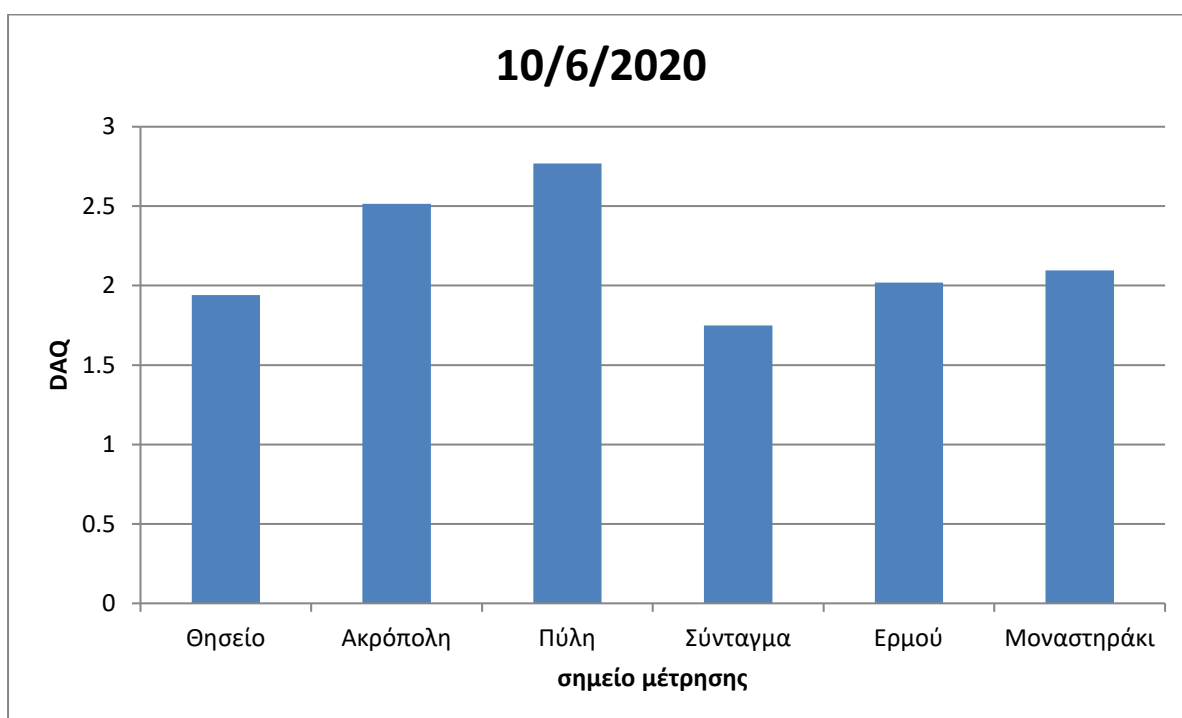
**Πίνακας 5.1:** Συναρτήσεις υπολογισμού DAQI

PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Συνάρτηση	Τιμή DAQx	Τάξη DAQ	Κατηγορία ποιότητας αέρα
0.0-9.9	$0.0909 \cdot C + 0.5$	0.5-1.4	1	Πολύ καλή
10.0-19.9	$0.0909 \cdot C + 0.5909$	1.5-2.4	2	Καλή
20.0-34.9	$0.0604 \cdot C + 1.2919$	2.5-3.4	3	Ικανοποιητική
35.0-49.9	$0.0604 \cdot C + 1.3859$	3.5-4.4	4	Επαρκής
50.0-99.9	$0.018 \cdot C + 3.5982$	4.5-5.4	5	Κακή
$\geq 100$	$0.055 \cdot C$	5.5-6	6	Πολύ κακή



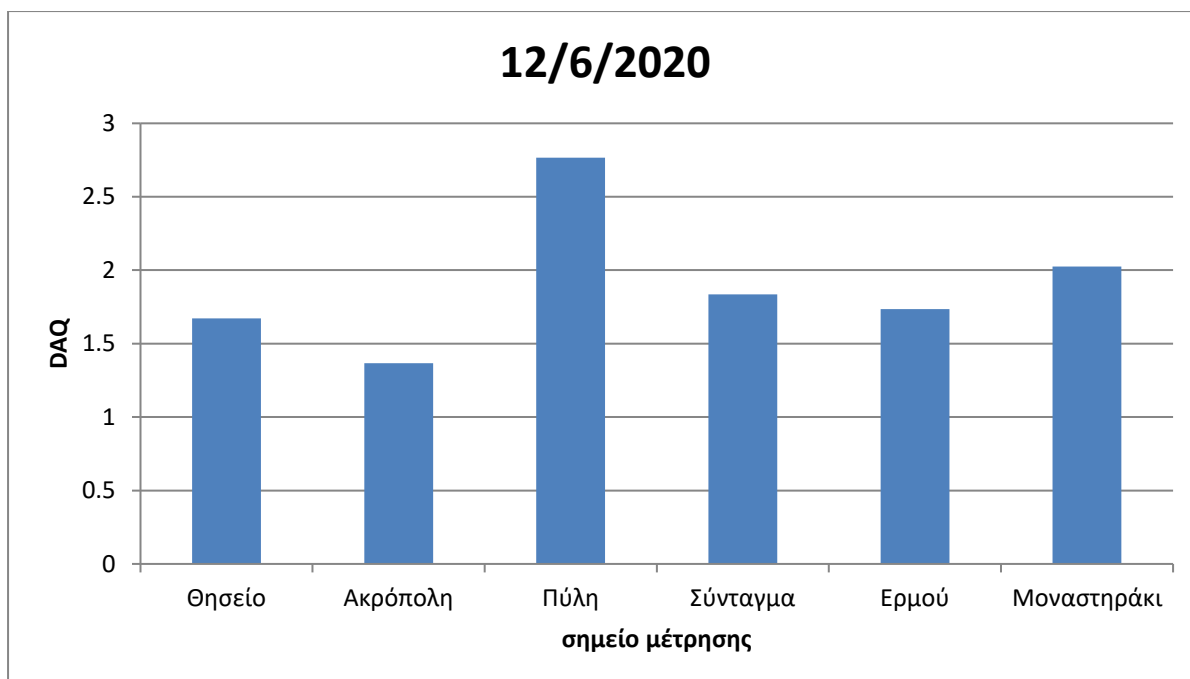
**Διάγραμμα 5.6.1:** Τιμές DAQ για το κάθε σημείο μέτρησης στις 18/12/2019

Για το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι στο Θησείο και στο Μοναστηράκι η ποιότητα αέρα στις 18/12/2019 είναι ικανοποιητική ενώ στα υπόλοιπα σημεία είναι καλή.



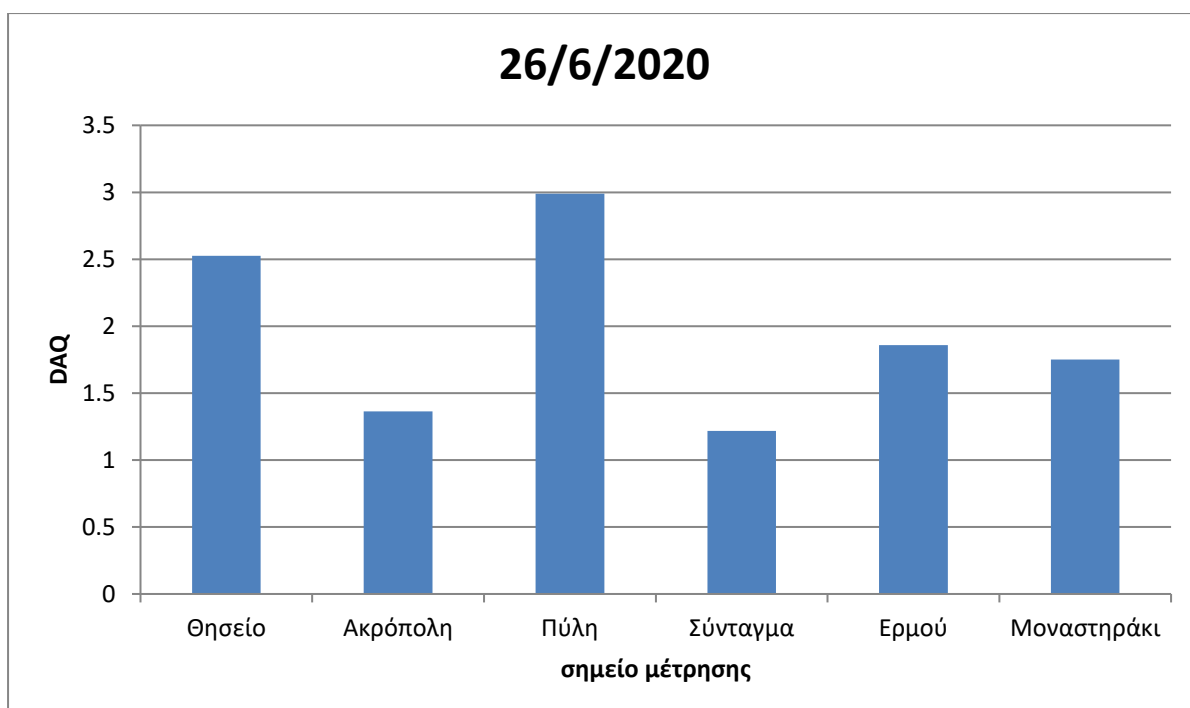
**Διάγραμμα 5.6.2:** Τιμές DAQ για το κάθε σημείο μέτρησης στις 10/6/2020

Για το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι στην Ακρόπολη και στην Πύλη Αδριανού η ποιότητα αέρα στις 10/6/2020 είναι ικανοποιητική ενώ στα υπόλοιπα σημεία είναι καλή.



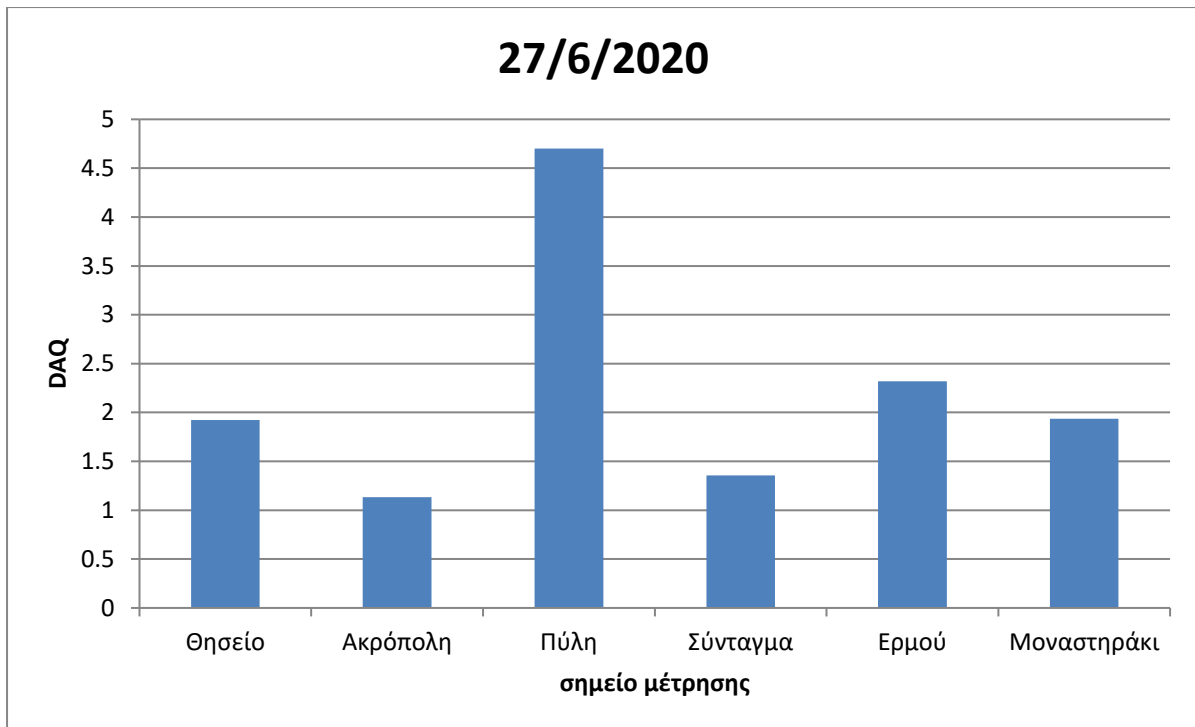
**Διάγραμμα 5.6.3:** Τιμές DAQ για το κάθε σημείο μέτρησης στις 12/6/2020

Για το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι στην Ακρόπολη η ποιότητα του αέρα είναι πολύ καλή ενώ στην Πύλη Αδριανού η ποιότητα αέρα είναι ικανοποιητική. Στα υπόλοιπα σημεία η ποιότητα του αέρα στις 12/6/2020 είναι καλή.



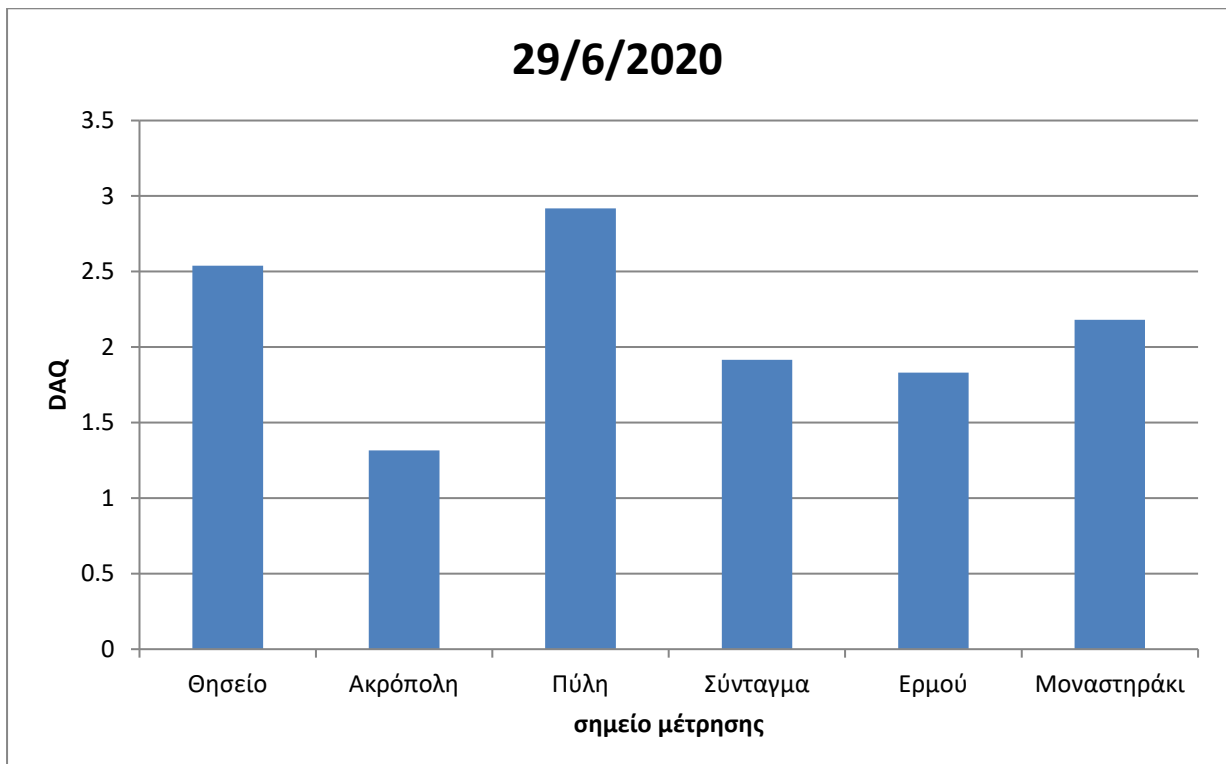
**Διάγραμμα 5.6.4:** Τιμές DAQ για το κάθε σημείο μέτρησης στις 26/6/2020

Για το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι η ποιότητα αέρα στο Θησείο και στη Πύλη Αδριανού είναι ικανοποιητική ενώ στην Ερμού και στο Μοναστηράκι είναι καλή. Στο σύνταγμα η κατάσταση είναι πολύ καλή.



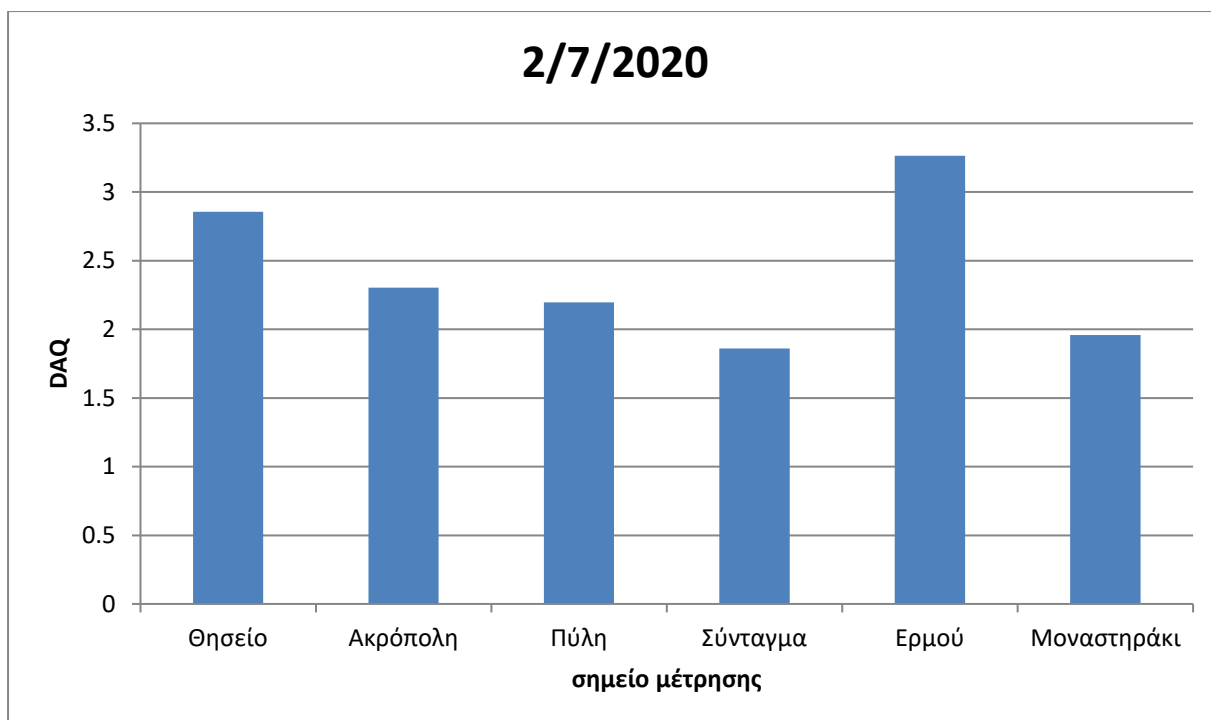
**Διάγραμμα 5.6.5:** Τιμές DAQ για το κάθε σημείο μέτρησης στις 27/6/2020

Για το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι η ποιότητα του αέρα είναι κακή στη Πύλη Αδριανού. Στην Ερμού, στο Μοναστηράκι και στο Θησείο η κατάσταση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι καλή ενώ στην Ακρόπολη πολύ καλή.



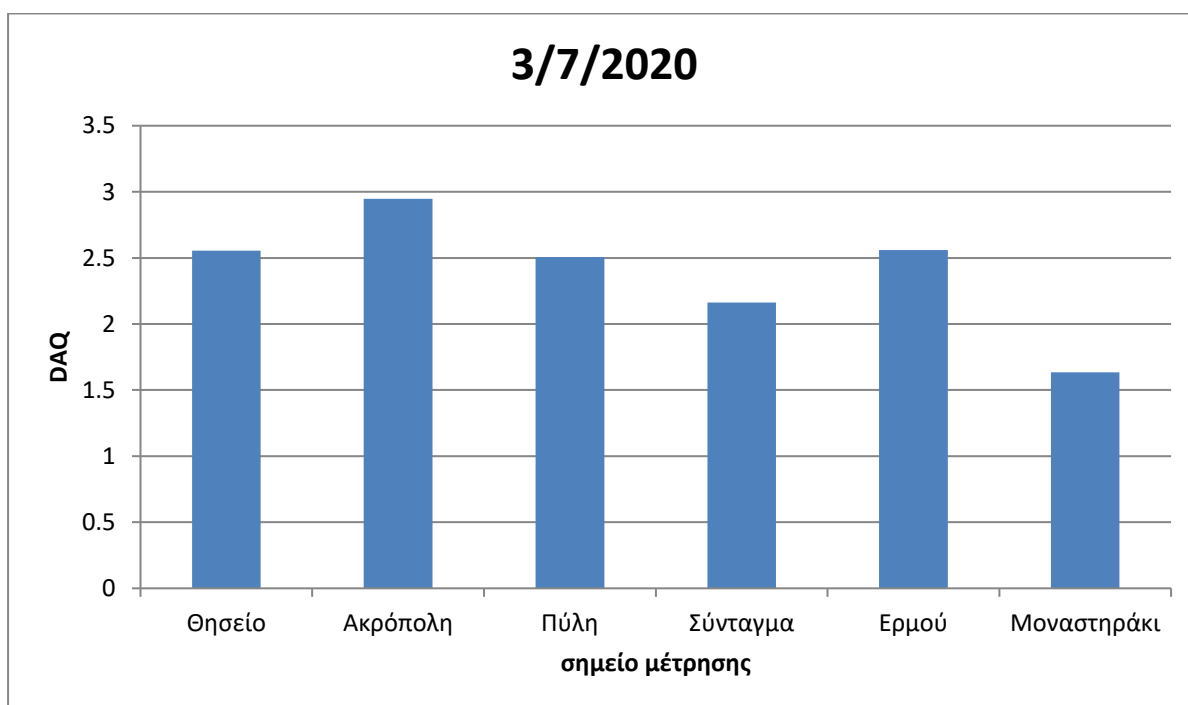
**Διάγραμμα 5.6.6:** Τιμές DAQ για το κάθε σημείο μέτρησης στις 29/6/2020

Για το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι η ποιότητα αέρα στο Θησείο και στη Πύλη Αδριανού είναι ικανοποιητική ενώ στις υπόλοιπες περιοχές είναι καλή.



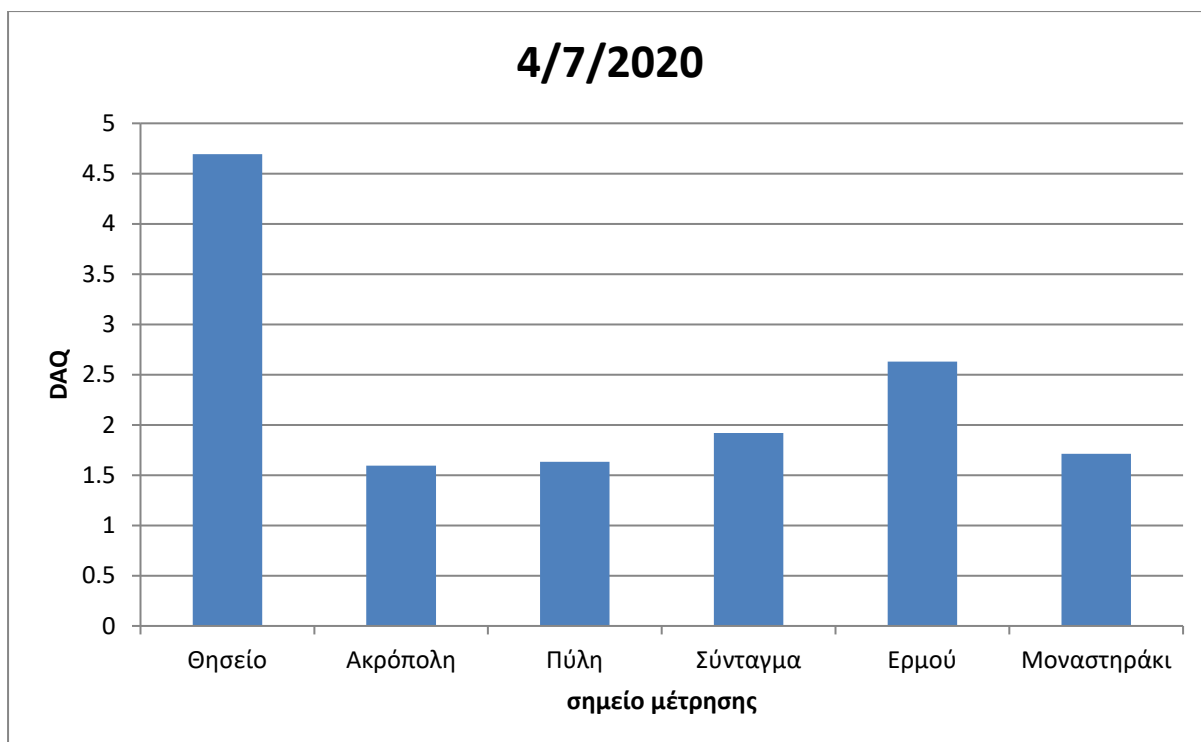
**Διάγραμμα 5.6.7:** Τιμές DAQ για το κάθε σημείο μέτρησης στις 2/7/2020

Για το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι η ποιότητα αέρα στο Θησείο και στην Ερμού είναι ικανοποιητική ενώ στις υπόλοιπες περιοχές είναι καλή.



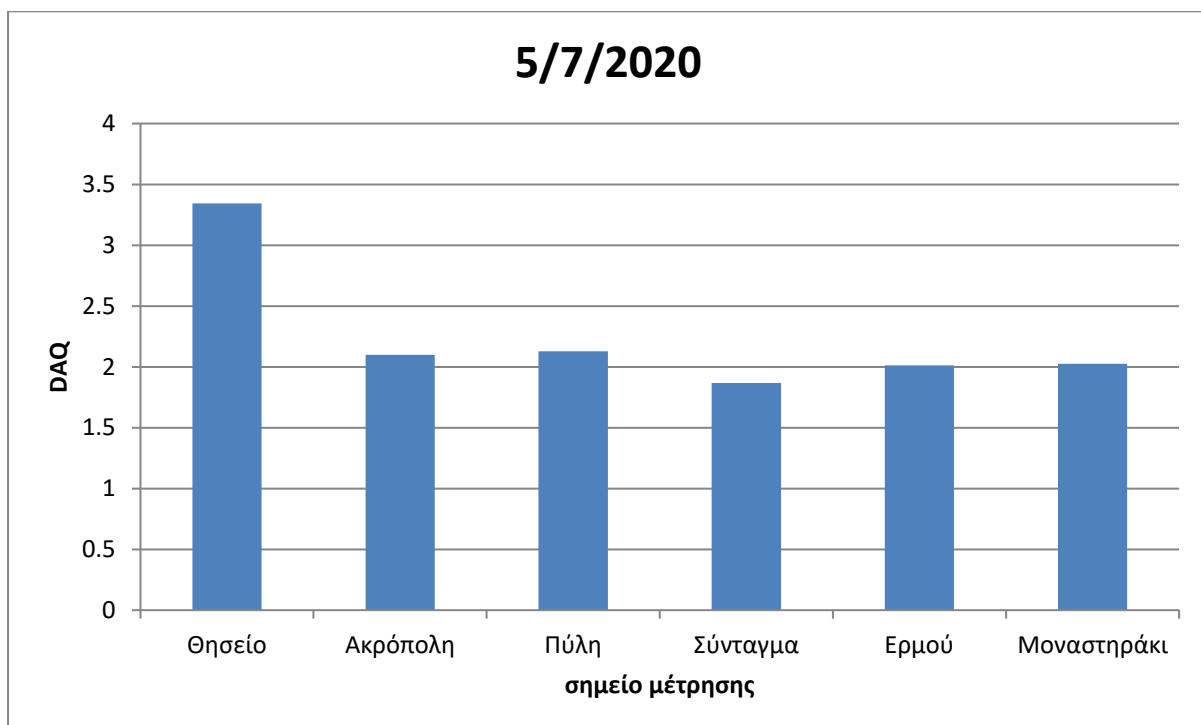
**Διάγραμμα 5.6.8:** Τιμές DAQ για το κάθε σημείο μέτρησης στις 3/7/2020

Για το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι η ποιότητα αέρα στο Μοναστηράκι και στο Σύνταγμα είναι ικανοποιητική ενώ στις υπόλοιπες περιοχές είναι καλή.



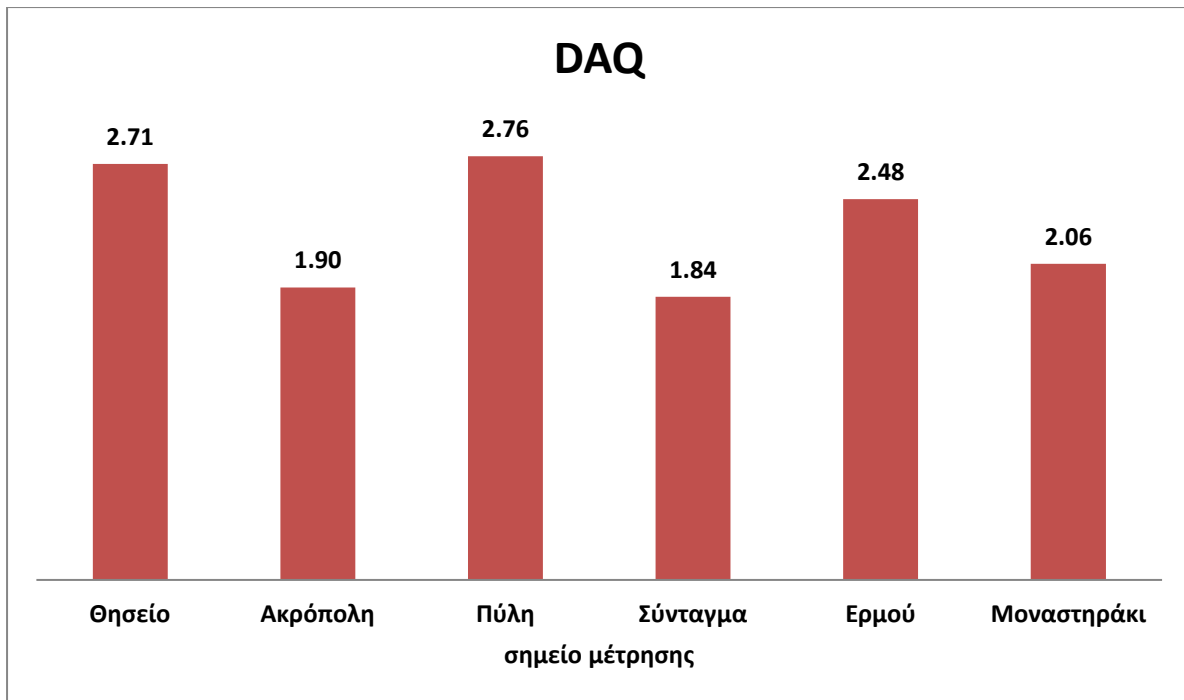
**Διάγραμμα 5.6.9:** Τιμές DAQ για το κάθε σημείο μέτρησης στις 4/7/2020

Για το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι η ποιότητα αέρα στο είναι κακή ενώ στην Ερμού είναι ικανοποιητική. Στα υπόλοιπα σημεία η κατάσταση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι καλή



**Διάγραμμα 5.6.10:** Τιμές DAQ για το κάθε σημείο μέτρησης στις 5/7/2020

Για το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι η ποιότητα του αέρα στο Θησείο είναι ικανοποιητική ενώ στα υπόλοιπα σημεία είναι καλή.



**Διάγραμμα 5.6.11:** Συνολικής αποτίμησης της ποιότητας του αέρα για τις δέκα ημέρες μετρήσεων

Όπως προαναφέρθηκε η τιμή DAQ αφορά τα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο 10  $\mu\text{m}$ . Στο παραπάνω διάγραμμα, παρατηρούμε ότι για το σύνολο των δεκαήμερων μετρήσεων η περιοχή με την χειρότερη ποιότητα αέρα σχετικά με τα PM 10 είναι η Πύλη του Αδριανού ενώ η πιο καθαρή περιοχή είναι το Σύνταγμα.

### 5.7) Παρατηρήσεις επεξεργασίας μετρήσεων που αφορούν την εκστρατεία μετρήσεων

Από την επεξεργασία μετρήσεων στο τρίτο και τέταρτο στάδιο προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα τόσο για τα σημεία και την ποιότητα του αέρα τους όσο και για τις ώρες της ημέρας, οι οποίες διαφέρουν όσον αφορά τη συγκέντρωση ρύπων. Πριν απ' όλα αυτά όμως, πρέπει να σχολιάσουμε την τάση του κάθε ρύπου, δηλαδή το που και το πότε συγκεντρώνεται σε μεγαλύτερες τιμές.

Αρχικά, τα αιωρούμενα σωματίδια παρουσιάζουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις κυρίως τις πρωινές, αλλά και τις βραδινές ώρες. Από την άλλη πλευρά, οι τιμές των σωματιδίων είναι χαμηλότερες το μεσημέρι. Επιπλέον, το μονοξειδίο του άνθρακα, εμφανίζει μεγάλες τιμές συγκέντρωσης τις μεσημεριανές ώρες και ειδικότερα στα σημεία όπου παρατηρείται έντονη κυκλοφορία οχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, το σημείο που χαρακτηρίζεται από την πιο έντονη κυκλοφορία οχημάτων είναι η Πύλη Αδριανού.

Όσον αφορά το νομικό πλαίσιο, το ανώτατο όριο που ορίζει η Ευρωπαϊκή Ένωση, δηλαδή τα 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ξεπεράστηκε μόνο 4 φορές, και αυτό σε περιπτώσεις όπου κάποιος εξωτερικός παράγοντας επηρέαζε τις μετρήσεις. Επιπροσθέτως, το ανώτατο όριο του μονοξειδίου του άνθρακα, δηλαδή, τα 10  $\text{mg}/\text{m}^3$  (ή 8.7 ppm), δεν είχε υπερβεί σε κανένα σημείο και σε καμία μέρα.

Σχετικά με τα επιλεγμένα σημεία μέτρησης και την τάση τους στη συγκέντρωση ρύπων αναφέρουμε ορισμένες αξιοσημείωτες διαπιστώσεις. Πρώτον, η Πύλη Αδριανού ειδικά τις μεσημεριανές ώρες

όταν ,δηλαδή, η πυκνότητα κυκλοφορίας είναι μεγάλη, συγκεντρώνει μεγάλες τιμές CO. Παράλληλα, οι τιμές συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων, όπως φαίνεται και από τον δείκτη DAQ σε όλες τις ημέρες, δείχνουν αρκετά υψηλές στη Πύλη Αδριανού αλλά και στο Θησείο. Ακόμη, το Μοναστηράκι, προβάλλει ένα μοτίβο στη συγκέντρωση PM 1 ειδικά τις βραδινές αλλά και τις μεσημεριανές ώρες. Ταυτόχρονα, για το Θησείο, αξίζει να αναφέρουμε ότι συγκεντρώνει και αιωρούμενα σωματίδια αλλά και μονοξειδίο του άνθρακα ειδικότερα τις πρωινές ώρες. Οι αιτίες που πιθανόν να συμβαίνει αυτό είναι το γεγονός ότι πλησίον του Θησείου υπάρχει αφετηρία λεωφορείων. Επίσης, σε εκείνο το σημείο υπάρχουν άλση και πάρκα τριγύρω που το έδαφος τους είναι χωμάτινο ή από ψιλό χαλίκι. Για το σημείο της Ακρόπολης δεν υπάρχει συγκεκριμένο μοτίβο, αλλά υπάρχει συνήθως υψηλή τιμή σωματιδίων και μονοξειδίου του άνθρακα τις ημέρες και τις ώρες όπου σταθμεύουν τουριστικά πούλμαν πλησίον του σημείου μέτρησης. Επιπλέον, στην Ερμού έχουμε αρκετές μέρες μεγάλη συγκέντρωση σωματιδίων τις πρωινές ώρες και αυτό οφείλεται στη κινητικότητα των μικρών φορτηγών που εφοδιάζουν το πρωί τα καταστήματα αλλά και στα οχήματα του δήμου που καθαρίζουν τον πεζόδρομο της Ερμού. Τέλος, το Σύνταγμα δεν παρουσιάζει συγκεκριμένο μοτίβο και, επομένως, ο χαρακτηρισμός του σημείου δεν θα είναι τόσο ακριβής. Παρ' όλα αυτά δείχνει να είναι η πιο καθαρή περιοχή από αιωρούμενα σωματίδια PM10.

Απ' όλα τα παραπάνω, αλλά και από τους δείκτες DAQ για όλα τα σημεία και όλες τις μέρες χαρακτηρίζουμε ως καθαρότερο σημείο την Ακρόπολη και το Σύνταγμα ενώ ως πιο μολυσμένο το Θησείο και τη Πύλη Αδριανού. Σε γενικότερο πλαίσιο, μπορούμε να πούμε ότι η κατάσταση στα περισσότερα σημεία είναι καλή εκτός από μερικές εξαιρέσεις σε κάποια σημεία και σε κάποιες μέρες όπου παρατηρούνται έντονα φαινόμενα μόλυνσης. Μια τέτοια μέρα είναι η 18/12 και η 27/7.



## Κεφάλαιο 6

### 6.1) Σχόλια και συμπεράσματα της έρευνας

Σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ, το έτος 2016, καταγράφηκαν 4,2 εκατομμύρια θάνατοι από ατμοσφαιρική ρύπανση και το νούμερο αυτό αυξάνεται κάθε χρόνο. Πιο συγκεκριμένα στην Ευρώπη σημειώθηκαν 400.000 θάνατοι λόγω κακής ποιότητας του αέρα. Τα προβλήματα υγείας που σχετίζονται με την ποιότητα του αέρα είναι αρκετά αλλά ταυτόχρονα και σοβαρά καθώς επηρεάζουν άμεσα το αναπνευστικό αλλά και το καρδιαγγειακό σύστημα. Το φαινόμενο αυτό ανησυχεί περισσότερο τους κατοίκους των αστικών περιοχών οι οποίοι βρίσκονται για μεγάλο χρονικό διάστημα εκτεθειμένοι στους επικίνδυνους ρύπους. Όπως προαναφέρθηκε οι πιο επικίνδυνοι ρύποι για την ανθρώπινη υγεία είναι: τα αιωρούμενα σωματίδια(PM) το διοξείδιο του θείου(SO<sub>2</sub>), το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) και το όζον (O<sub>3</sub>). Παρόλα αυτά και άλλοι ρύποι όπως ο μόλυβδος (Pb) ή το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) εξακολουθούν να είναι σημαντικοί και επικίνδυνοι. Οι κύριες πηγές αυτών των ρύπων είναι οι μηχανές των οχημάτων αλλά και άλλα παραπροϊόντα των αυτοκινήτων όπως η σκόνη από τα φρένα τους ή μικροσκοπικά τεμάχια από τα ελαστικά τους. Επίσης η βιομηχανία και η καύση ορυκτών καυσίμων αποτελούν βασική πηγή ανθρωπογενούς ρύπανσης. Ειδικότερα, στην Αθήνα το πρόβλημα οφείλεται στη παλαιότητα του στόλου οχημάτων αλλά και στη μορφολογία της περιοχής η οποία εγκλωβίζει την ρύπανση. Είναι απαραίτητο λοιπόν για το δικό μας καλό αλλά και για το καλό των επόμενων γενεών, να αφιερώσουμε ένα μέρος της επιστήμης στη παρακολούθηση της αέριας ρύπανσης κυρίως στα αστικά κέντρα όπως αυτό της Αθήνας. Με αυτό τρόπο και έχοντας την γνώση στα χέρια μας, θα είμαστε σε θέση να λάβουμε τα κατάλληλα μέτρα ώστε να αμβλύνουμε το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Δυστυχώς η γνώση και τα δεδομένα που έχουμε για την ποιότητα του αέρα στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας αλλά και ειδικότερα στο ιστορικό κέντρο της, είναι ελλείψεις. Οι υπάρχοντες σταθεροί σταθμοί παρακολούθησης παρότι είναι εξοπλισμένοι με ακριβά και βαθμονομημένα όργανα, αδυνατούν να δώσουν μια αναλυτική εικόνα για την κατάσταση της αέριας ρύπανσης στην Αθήνα. Ακόμη και αν υπάρχουν μακροχρόνια δεδομένα η πρόβλεψη και η αποτύπωση της ποιότητας του αέρα είναι αδύναμες σε αυτή τη φάση. Συνεπώς, είναι απαραίτητη η αύξηση των δεδομένων κυρίως σε επίπεδο χώρου. Πιο συγκεκριμένα χρειάζονται δεδομένα από περισσότερα σημεία εντός του κέντρου της Αθήνας. Επιπλέον, στην Ελλάδα η ενημέρωση του κοινού σχετικά με την ποιότητα του αέρα είναι ελλιπής καθώς υπάρχουν περίπου 10 διακριβωμένοι σταθμοί παρακολούθησης σε όλη την Αθήνα. Επιπροσθέτως ο τρόπος ενημέρωσης για την ποιότητα του αέρα δεν είναι κατανοητός και εύληπτος από τους περισσότερους κατοίκους της πόλης. Επομένως υπάρχει άμεση ανάγκη για ανάπτυξη εφαρμογών ενημέρωσης του κοινού με τον πιο οικονομικό και άμεσο τρόπο.

Μελετώντας τα παραπάνω, οδηγούμαστε στη σκέψη ότι πρέπει με κάποιο τρόπο να λάβουμε δεδομένα από περισσότερα σημεία στην περιοχή ενδιαφέροντος και με οικονομικότερο τρόπο καθώς το κόστος ενός σταθερού σταθμού μέτρησης είναι απαγορευτικό. Παράλληλα, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια αύξηση στην χρήση συσκευών ανίχνευσης ρύπων χαμηλού κόστους. Επομένως, η χρήση τέτοιων συσκευών θα είναι το μέσο με το οποίο θα λάβουμε τις πληροφορίες που θέλουμε για την περιοχή ενδιαφέροντος. Αυτές οι συσκευές χαμηλού κόστους όμως, δεν έχουν δοκιμαστεί πλήρως όσον αφορά την αξιοπιστία των δεδομένων τους. Αξίζει όμως να σημειώσουμε ότι, πληθώρα ερευνών έχει θέσει σε εφαρμογή διάφορα πρότζεκτ αλλά και ολόκληρες έρευνες με σκοπό να αξιολογηθούν αυτοί οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα αποτελέσματά τους ήταν ενθαρρυντικά για την μελλοντική εφαρμογή τους σε επόμενες έρευνες. Στη δική μας έρευνα λοιπόν αποφασίσαμε να πραγματοποιήσουμε μετρήσεις σε σημεία ενδιαφέροντος,

θέτοντας σε εφαρμογή αισθητήρες χαμηλού κόστους. Σκοπός μας ήταν η αποτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης τη ποιότητας του αέρα στο ιστορικό κέντρο της Αθήνας.

Οι αρχικές δοκιμές αυτών των συσκευών πραγματοποιήθηκαν στον χώρο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Πιο ειδικά, συνεχικαταστήσαμε τον μετρητικό εξοπλισμό μας μαζί με εκείνον του Αστεροσκοπείου. Τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά για τα PM 10, PM 2.5 και PM 1 καθώς εμφάνισαν καλή συσχέτιση τα δύο όργανα χαμηλού κόστους μεταξύ τους και ταυτόχρονα παρουσίασαν πανομοιότυπο μοτίβο με αυτό των καταγραφικών του αστεροσκοπείου. Επίσης, για το CO, η συσχέτιση των δύο οργάνων χαμηλού κόστους ήταν 98.6% ταυτόχρονα η συσχέτιση του πρώτου οργάνου (E46) και του δευτέρου οργάνου (EBB) με τα καταγραφικά του Αστεροσκοπείου ήταν αντίστοιχα 84% και 83%. Όμως, για τους αισθητήρες NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, τα αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικά. Σε αυτό το στάδιο, αξίζει να παρατηρήσουμε ότι υπήρχαν αρκετές διακοπές κατά τη λειτουργία των οργάνων γεγονός που μας ωθεί στο περεταίρω φιλτράρισμα τιμών καθώς είναι γνωστό ότι το όργανο θέλει μερικά λεπτά αφότου ανοίξει ώστε να δώσει σωστές τιμές. Επίσης κάτι τέτοιο αυξάνει το απαιτούμενο χρονικό διάστημα δοκιμών.

Στο επόμενο στάδιο της έρευνας μας πραγματοποιήθηκε σε πραγματικές συνθήκες, ολόημερη μέτρηση στις 5/3/2020. Η δοκιμή αυτή έγινε με τη χρήση ενός ηλεκτροκίνητου βαν του εργοστασίου HME & ΠΡΟΠΕ του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Εντός του βαν υπήρχαν τοποθετημένα βαθμονομημένα καταγραφικά υψηλού κόστους. Τα αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικά για το φορητό όργανο E46 όσον αφορά τους ρύπους NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>. Δυστυχώς, δεν είχαμε εικόνα για τα αιωρούμενα σωματίδια. Για το CO τα δεδομένα του βαν ήταν κοντά στα δεδομένα των φορητών οργάνων αλλά δεν μπορούμε να πούμε με σιγουριά κάτι. Τέλος, τα καταγραφικά του βαν παρουσίασαν πολύ καλή συσχέτιση με αυτά του Αστεροσκοπείου, γεγονός που μας δίνει εικόνα για μελλοντικές έρευνες. Αξίζει εδώ να σημειώσουμε ότι για μια τέτοια έρευνα, είναι απαραίτητες οι διαδικασίες ηλεκτροδότησης που απαιτούνται για τα καταγραφικά και τον Η/Υ αλλά και οι διαδικασίες αδειοδότησης για τη στάθμευση του οχήματος.

Στο κύριο στάδιο της έρευνας μας, τελέσαμε ρούτες στα έξι σημεία ενδιαφέροντος για 10 τυχαίες μέρες. Οι μετρήσεις λάμβαναν χώρα 3 φορές την ημέρα δηλαδή, πρωί, μεσημέρι και βράδυ. Τα αποτελέσματα που προκύψαν είχαν μεγάλο ενδιαφέρον. Πιο συγκεκριμένα, για το Θησείο παρατηρήθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις PM και CO ειδικά τις πρωινές ώρες. Επίσης, για τη Πύλη Αδριανού προκύπτει η γνώση ότι συγκεντρώνει τόσο CO όσο και PM τις μεσημεριανές ώρες αιχμής της κυκλοφορίας. Ακόμη, για τη Ερμού φαίνεται ότι μολύνεται από PM τις πρωινές ώρες όπου πραγματοποιούνται ανεφοδιασμοί καταστημάτων με φορτηγάκια. Επιπλέον στην Ακρόπολη παρατηρούνται οι πιο καθαρές μέρες και ώρες με εξαιρέσεις όπου συμπίπτουν με τις αφίξεις τουριστικών λεωφορείων και ταξί. Για το Σύνταγμα μπορούμε να πούμε ότι είναι το πιο καθαρό τις περισσότερες μέρες παρά τη διέλευση οχημάτων. Τέλος στο Μοναστηράκι, φαίνονται υψηλές συγκεντρώσεις PM 2.5 και PM 1 κυρίως τις βραδινές ώρες. Συνολικά είμαστε σε θέση να αξιολογήσουμε ως το πιο καθαρό σημείο την Ακρόπολη και το Σύνταγμα ενώ ως το πιο μολυσμένο το Θησείο και την Πύλη Αδριανού. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι τις πρώτες μέρες υπήρχε πρόβλημα στη συνδεσιμότητα του οργάνου με το δίκτυο της περιοχής. Μετά από δοκιμές παρατηρήσαμε ότι το δίκτυο της COSMOTE είναι καλύτερο στην προς μελέτη περιοχή και έτσι συνεχίσαμε να δουλεύουμε μόνο με αυτό. Επιπροσθέτως, πρέπει να δοθεί έμφαση στο ύψος όπου θα τοποθετηθεί το όργανο αλλά και στην ακριβή θέση του ώστε να μην επηρεάζεται από τυχαίες πηγές ρύπανσης. Ακόμη, πρέπει να δοθεί προσοχή στη μεταφορά του οργάνου καθώς ο ερευνητής που μετράει μεταφέρεται συχνά από σημείο σε σημείο και εντός περιοχών με συνωστισμό.

Σε επόμενη έρευνα είναι θεμιτό να δοθεί έμφαση στα εξής σημεία. Αρχικά, χρειάζονται περισσότερες μέρες μετρήσεων μέσα στο χρόνο. Πιο συγκεκριμένα πρέπει να ληφθούν μετρήσεις και για τις 4 εποχές του χρόνου αλλά ταυτόχρονα να συμπεριλαμβάνονται ημέρες του σαββατοκύριακου αλλά

και της ενδιάμεσης εβδομάδος. Με αυτό τον τρόπο θα δοθεί μια αντικειμενική εικόνα για την ατμοσφαιρική ρύπανση στην προς μελέτη περιοχή. Επιπλέον, κατά τη διεξαγωγή μετρήσεων θα πρέπει να λειτουργούν δύο φορητά όργανα ταυτόχρονα ώστε να αποφεύγονται τυχαία σφάλματα. Προϋπόθεση για την παράλληλη των δύο οργάνων είναι η βαθμονόμηση και δοκιμή τους με όργανα ακριβείας όπως αυτά του Αστεροσκοπείου. Ακόμη για την αύξηση του πλήθους δεδομένων αλλά και για την καλύτερη αποτίμηση της ποιότητας αέρα στη περιοχή, απαιτούνται, μετρήσεις και σε ενδιάμεσα σημεία. Τα ενδιάμεσα αυτά σημεία θα πρέπει να επιλεγθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να προσομοιάζουν την παρουσία ενός ανθρώπου σε διάφορα σενάρια έκθεσης. Από την εφαρμογή των παραπάνω προκύπτει μια ακόμη ανάγκη ώστε να παρουσιαστούν καταλλήλως τα αποτελέσματα. Πιο ειδικά απαιτείται η κατασκευή μιας πλατφόρμας ενημέρωσης του κοινού. Η πλατφόρμα αυτή θα πρέπει να περιλαμβάνει τόσο τις τρέχουσες τιμές ρύπανσης σε μορφή διαδραστικού χάρτη, όσο και τις προβλεπόμενες τιμές που θα προκύπτουν από μαθηματικά μοντέλα. Συνεπώς είναι απαραίτητη και η κατασκευή ενός μαθηματικού μοντέλου πρόβλεψης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη περιοχή ενδιαφέροντος.

## Βιβλιογραφία

### ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Agudelo-Castañeda, D., Paoli, F.D., Morgado-Gamero, W.B., Mendoza, M., Parody, A., Maturana, A.Y., Teixeira, E.C., 2020. Assessment of the NO<sub>2</sub> distribution and relationship with traffic load in the Caribbean coastal city. *Sci. Total Environ.* 9.
- Alas, H.D.C., Weinhold, K., Costabile, F., Di Ianni, A., Müller, T., Pfeifer, S., Di Liberto, L., Turner, J.R., Wiedensohler, A., 2019. Methodology for high-quality mobile measurement with focus on black carbon and particle mass concentrations. *Atmospheric Meas. Tech.* 12, 4697–4712. <https://doi.org/10.5194/amt-12-4697-2019>
- Allen, R.W., Davies, H., Cohen, M.A., Mallach, G., Kaufman, J.D., Adar, S.D., 2009. The spatial relationship between traffic-generated air pollution and noise in 2 US cities\$. *Environ. Res.* 9.
- Battista, G., 2017. Correlation between air pollution and weather data in urban areas: Assessment of the city of Rome (Italy) as spatially and temporally independent regarding pollutants. *Atmos. Environ.* 8.
- Britter, R.E., Hanna, S.R., 2002. FLOW AND DISPERSION IN URBAN AREAS 31.
- Carranco, J.S., Salgado, F.D., Sellers, C., Torres, H., 2017. Comparative analysis of meteorological monitoring using an integrated low-cost environmental unit based on the Internet of Things (IoT) with an Automatic Meteorological Station (AWS), in: 2017 IEEE Second Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM). Presented at the 2017 IEEE Second Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM), IEEE, Salinas, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/ETCM.2017.8247466>
- Castello, P., Muscas, C., Pegoraro, P.A., Sulis, S., 2019. A Proposal for a Data Concentrator for Smart City Applications, in: 2019 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC). Presented at the 2019 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), IEEE, Auckland, New Zealand, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/I2MTC.2019.8826987>
- Chatzinikolaou, E., Chalkias, C., Dimopoulou, E., 2018. URBAN MICROCLIMATE IMPROVEMENT USING ENVI-MET CLIMATE MODEL. *ISPRS - Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* XLII–4, 69–76. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-69-2018>
- Che, W., Frey, H.C., Fung, J.C.H., Ning, Z., Qu, H., Lo, H.K., Chen, L., Wong, T.-W., Wong, M.K.M., Lee, O.C.W., Carruthers, D., Cheung, F., Chan, J.W.M., Yeung, D.W., Fung, Y.H., Zhang, X., Stocker, J., Hood, C., Hohenberger, T.L., Leung, K.W., Louie, P.Y.K., Li, A.T.Y., Sun, L., Wei, P., Li, Z., Zhang, Y., Wang, M., Shen, Q., Huang, W., Lee, E., Patwary, A., Lei, X.,

- Cheng, S., Shakhaoat Hossain, M., Tang, K.T.J., Lao, X., Leung, R., Chan, D., Li, Y., Yuan, Z., Lau, A.K.H., 2020. PRAISE-HK: A personalized real-time air quality informatics system for citizen participation in exposure and health risk management. *Sustain. Cities Soc.* 54, 101986. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101986>
- Grange, S.K., Dirks, K.N., Costello, S.B., Salmond, J.A., 2014. Cycleways and footpaths: What separation is needed for equivalent air pollution dose between travel modes? *Transp. Res. Part Transp. Environ.* 32, 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.07.014>
  - Grigoropoulos, K.N., Nastos, P.T., Ferentinos, G., Gialouris, A., Vassiliou, T., Mavroidakos, J., Avgeri, D., Kalabokis, V., Saratsiotis, D., 2008. SPATIAL DISTRIBUTION OF PM<sub>1</sub> AND SINUS ARRHYTHMIAS IN ATHENS, GREECE. *Fresenius Environ. Bull.* 17, 6.
  - Gryech, I., Ben-Aboud, Y., Guermah, B., Sbihi, N., Ghogho, M., Kobbane, A., 2020. MoreAir: A Low-Cost Urban Air Pollution Monitoring System. *Sensors* 20, 998. <https://doi.org/10.3390/s20040998>
  - Henninger, S., 2011. A Mobile Measuring Methodology to Determine Near Surface Carbon Dioxide within Urban Areas, in: Popovic, D. (Ed.), *Air Quality-Models and Applications*. InTech. <https://doi.org/10.5772/16549>
  - Kalogridis, A.-C., Vratolis, S., Liakakou, E., Gerasopoulos, E., Mihalopoulos, N., Eleftheriadis, K., 2018. Assessment of wood burning versus fossil fuel contribution to wintertime black carbon and carbon monoxide concentrations in Athens, Greece. *Atmospheric Chem. Phys.* 18, 10219–10236. <https://doi.org/10.5194/acp-18-10219-2018>
  - Kjellstrom, T.E., Neller, A., Simpson, R.W., 2002. Air pollution and its health impacts: the changing panorama. *Med. J. Aust.* 177, 604–608. <https://doi.org/10.5694/j.1326-5377.2002.tb04982.x>
  - Kumar, P., Morawska, L., Martani, C., Biskos, G., Neophytou, M., Sabatino, S.D., Bell, M., Norford, L., Britter, R., 2015. The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities. *Environ. Int.* 7.
  - Lewis, A.C., n.d. Low-cost sensors for the measurement of atmospheric composition: overview of topic and future applications 68.
  - Lokys, H.L., Junk, J., Krein, A., 2015. Future Changes in Human-Biometeorological Index Classes in Three Regions of Luxembourg, Western-Central Europe. *Adv. Meteorol.* 2015, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2015/323856>
  - Lu, K.-F., 2020. Characterizing temporal and vertical distribution patterns of traffic-emitted pollutants near an elevated expressway in urban residential areas. *Build. Environ.* 11.

- Moustris, K.P., Proias, G.T., Larissi, I.K., Nastos, P.T., Paliatsos, A.G., 2012. BIOCLIMATIC AND AIR QUALITY CONDITIONS IN THE GREATER ATHENS AREA, GREECE, DURING THE WARM PERIOD OF THE YEAR: TRENDS, VARIABILITY AND PERSISTENCE. *Fresenius Environ. Bull.* 21, 7.
- Oletic, D., Bilas, V., 2015. Design of sensor node for air quality crowdsensing, in: 2015 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS). Presented at the 2015 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS), IEEE, Zadar, Croatia, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/SAS.2015.7133628>
- Ott, W.R., Thorn, G.C., 1976. Air Pollution Index Systems in the United States and Canada. *J. Air Pollut. Control Assoc.* 26, 460–470. <https://doi.org/10.1080/00022470.1976.10470272>
- Pang, X., 2018. The impacts of water vapour and co-pollutants on the performance of electrochemical gas sensors used for air quality monitoring 11.
- Pantavou, K., Lykoudis, S., Psiloglou, B., 2017. Air quality perception of pedestrians in an urban outdoor Mediterranean environment: A field survey approach. *Sci. Total Environ.* 574, 663–670. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.090>
- Ranasinghe, D.R., Choi, W., Winer, A.M., Paulson, S.E., 2016. Developing High Spatial Resolution Concentration Maps Using Mobile Air Quality Measurements. *Aerosol Air Qual. Res.* 16, 1841–1853. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.07.0484>
- Shaibal, M., Luther, S., Halley, B., Casson, S., Lucas, N., Sue, K., Ronald, W., 2015. Comparison of modeled traffic exposure zones using on-road air pollution measurements. *Atmospheric Pollut. Res.* 6, 82–87. <https://doi.org/10.5094/APR.2015.010>
- Tian, Y., 2019. Analysis of spatial and seasonal distributions of air pollutants by incorporating urban morphological characteristics 14.
- Van den Bossche, J., 2016. Opportunistic mobile air pollution monitoring: A case study with city wardens in Antwerp. *Atmos. Environ.* 14.
- Van Poppel, M., Peters, J., Bleux, N., 2013. Methodology for Setup and Data Processing of Mobile Air Quality Measurements to Assess the Spatial Variability of Concentrations in Urban Environments. *Environ. Pollut.* 183, 224–233. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.020>
- Wei, P., Ning, Z., Ye, S., Sun, L., Yang, F., Wong, K., Westerdahl, D., Louie, P., 2018. Impact Analysis of Temperature and Humidity Conditions on Electrochemical Sensor Response in Ambient Air Quality Monitoring. *Sensors* 18, 59. <https://doi.org/10.3390/s18020059>
- Xing, Y., 2019. Role of vegetation in deposition and dispersion of air pollution in urban parks. *Atmos. Environ.* 11.

- Yuan, C., 2014. Improving air quality in high-density cities by understanding the relationship between air pollutant dispersion and urban morphologies. Build. Environ. 14.
- Janusz Wojciechowski, Ατμοσφαιρική ρύπανση: Η προστασία της υγείας μας παραμένει ανεπαρκής, Πρακτικά ευρωπαϊκού συνεδρίου, 2018
- ΠΟΥ, «Public Health and Environment (PHE): ambient air pollution DALYs attributable to ambient air pollution», 2012
- UK AIR, DAILY AIR QUALITY INDEX, 2020

### **ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Λαζαρίδης Μιχάλης, Ατμοσφαιρική Ρύπανση με Στοιχεία Μετεωρολογίας, Αθήνα 2010
- Καλδέλλης Ιωάννης, Χαλβατζής Κωνσταντίνος, Περιβάλλον και Βιομηχανική Ανάπτυξη, Αθήνα 2005
- Πολυμενέας Παναγιώτης, Η Ατμοσφαιρική Ρύπανση στο Λεκανοπέδιο Αττικής, διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου Τμήμα Περιβάλλοντος, Μυτιλήνη 2004
- Μαλούτα Θεανώ, Μίχου Ελένη, Το Διαδίκτυο Των Πραγμάτων (IoT), Αθήνα 2019
- Ταπεινός Δημήτριος, AIR QUALITY MONITORING DEVICES WITH LOW COST PORTABLE AMBIENT SENSORS, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Θεσσαλία, 2019
- Κούγκουλος Αθανάσιος, ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, Αθήνα 2018
- Μουστρής Κωνσταντίνος, 2020, Εκπαιδευτικές σημειώσεις μαθήματος ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- Ζιώμας Ιωάννης, 2007, Εκπαιδευτικές σημειώσεις μαθήματος ατμόσφαιρας-ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- Λαρίση Ιωάννα, Ατμοσφαιρική ρύπανση δείκτες, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Αθήνα 2012
- Γιαβρούτα Ολυμπία, Συγκριτική μελέτη δεικτών ποιότητας αέρα σε ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο στην Αθήνα, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα 2019
- Υ.Π.Ε.Κ.Α, Α, Περιβάλλον, Ποιότητα της ατμόσφαιρας, 2020
- Υ.Π.Ε.Κ.Α, Β, Περιβάλλον, Ποιότητα της ατμόσφαιρας, μετρούμενοι ρύποι και μέθοδοι μέτρησης, 2020
- Υ.Π.Ε.Κ.Α, Γ, Περιβάλλον, Ποιότητα της ατμόσφαιρας, Εκθέσεις, 2020
- Υ.Π.Ε.Κ.Α, Δ, Περιβάλλον, Ποιότητα της ατμόσφαιρας, Δελτία ατμοσφαιρικής ρύπανσης 2020

- Υ.Π.Ε.Κ.Α, Ε, Περιβάλλον, Ποιότητα της ατμόσφαιρας, Χαρτογράφηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, 2020
- Γεντεκάκης Ιωάννης, Ατμοσφαιρική ρύπανση, επιπτώσεις, έλεγχος και εναλλακτικές τεχνολογίες, Αθήνα 2010.
- Μπιζίμη Αικατερίνη, ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ-ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΗΓΕΣ, Τ.Ε.Ι. Καβάλας, Καβάλα 2010
- ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΕΚΤΑΚΤΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ, Χαρτογραφική απεικόνιση σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης, Αθήνα 2017
- ΡΑΝΑΚΕΑ, Ερευνητικοί σταθμοί, Αθήνα 2020
- Μουστερής Κωνσταντίνος, Αξιολόγηση της Ποιότητας του Αέρα και των Βιομετεωρολογικών Συνθηκών στο Ιστορικό Κέντρο της Αθήνας, με Χρήση Νευρωνικών Δικτύων και Περιβαλλοντικών Μετρήσεων σε Πραγματικό Χρόνο, Ερευνητική πρόταση, Αθήνα 2018
- Εργαστήριο ΗΜΕ & ΠΡΟΠΕ, Τεχνικό φυλλάδιο μετρητικού εξοπλισμού, Αθήνα, 2017
- LIBELIUM SMART ENVIRONMENT PRO, Τεχνικός οδηγός ηλεκτροχημικών αισθητήρων, 2020