



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΕΙΔΙΚΟΣ ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΣ ΚΟΝΔΥΛΙΩΝ ΕΡΕΥΝΑΣ

Κτίριο ΚΕΔΕΑ, 3ης Σεπτεμβρίου,
Πανεπιστημιούπολη,
546 36 Θεσσαλονίκη
Πρόεδρος: Αν. Καθηγητής Ε. Στυλιανίδης,
Αν. Πρύτανης Έρευνας και Συντονισμού
Τηλ. 2310 995140, Fax 2310 200392
Email: research@rc.auth.gr

ΔΙΑΠΙΣΤΕΥΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

"Εργαστήριο Ελέγχου Ρύπανσης Περιβάλλοντος-Ομάδα
Μέτρησης Αιωρούμενων Σωματιδίων, ΕΕΡΠ-ΟΜΑΣ",
Παλαιό Χημείο, Πανεπιστημιούπολη,
541 24 Θεσσαλονίκη
Επιστ. Υπεύθυνη: Καθηγ. Κ. Σαμαρά-Κωνσταντίνου
Τηλ. 2310 997805, Fax 2310 997747
Email: csamara@chem.auth.gr

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΓΟ

**Παροχή υπηρεσιών μετρήσεων ατμοσφαιρικών ρύπων
στην περιοχή του Εμπορικού Λιμένα Βόλου**

**ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ
(01.06.20-31.05.21)**



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, Νοέμβριος 2021

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

<i>Τίτλος Έργου</i>	Παροχή υπηρεσιών μετρήσεων ατμοσφαιρικών ρύπων στην περιοχή του Εμπορικού Λιμένα Βόλου
<i>Χρονική Διάρκεια</i>	12 μήνες
<i>Φορέας Χρηματοδότησης</i>	ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΛΙΜΕΝΟΣ ΒΟΛΟΥ, Α.Ε.
<i>Ανάδοχος</i>	Διαπιστευμένο Εργαστήριο "Εργαστήριο Ελέγχου Ρύπανσης Περιβάλλοντος-Ομάδα Μέτρησης Αιωρούμενων Σωματιδίων, ΕΕΡΠ-ΟΜΑΣ", Τμήμα Χημείας, Α.Π.Θ.
<i>Επιστημονικώς Υπεύθυνη</i>	Κ. Σαμαρά-Κωνσταντίνου, Καθηγήτρια Τμ. Χημείας Α.Π.Θ.
<i>Επιστημονικοί Συνεργάτες</i>	Δ. Βουτσά, Καθηγήτρια Τμ. Χημείας Α.Π.Θ. Α. Κούρας, Διδάκτωρ Χημείας, ΕΔΙΠ Τμ. Χημείας Α.Π.Θ. Ε. Μανώλη, Διδάκτωρ Χημείας, ΕΔΙΠ Τμ. Χημείας Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Μεθοδολογία	3
1.1. Σταθμός μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης	3
1.2. Δειγματοληψία και χημική ανάλυση των PM10	5
1.2.1. PAHs.....	6
1.2.2. Μέταλλα/μεταλλοειδή.....	7
2. Αποτελέσματα	8
2.1. Online μετρήσεις.....	8
2.2. Συσχέτιση με μετεωρολογικούς παράγοντες.....	13
2.3. Σταθμικές μετρήσεις /αναλύσεις PM10	17
2.2.1. PM10.....	17
2.2.2. PAHs.....	17
2.2.3. Μέταλλα/μεταλλοειδή.....	17
Βιβλιογραφία	23
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.....	25

1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

1.1. Σταθμός μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Ο σταθμός μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης (ΣΜΑΡ) είναι εγκαταστημένος σε οικίσκο που διατέθηκε από την ΟΛΒ Α.Ε. και βρίσκεται στο δυτικό άκρο της περιοχής του λιμένα (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Ο σταθμός μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης (ΣΜΑΡ) του ΟΛΒ

Ο εξοπλισμός του ΣΜΑΡ περιλαμβάνει όργανα online μέτρησης αερίων ρύπων (NO_x , O_3 , αρωματικών υδρογονανθράκων ΒΤΕΧ) και αιωρούμενων σωματιδίων $\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2.5}$, μετεωρολογικό σταθμό, λογισμικό συλλογής και καταγραφής μετρήσεων, Η/Υ και δειγματολήπτη PM_{10} .

Οι τύποι των οργάνων και η αρχή λειτουργίας τους περιγράφονται στον Πίνακα 1. Φωτογραφίες ορισμένων οργάνων δίνονται στην Εικόνα 2.

Οι αναλυτές NO_x , O_3 , ΒΤΕΧ είναι τοποθετημένοι στο εσωτερικό του οικίσκου, σε κλιματιζόμενο χώρο. Ο αυτόματος μετρητής $\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2.5}$ και ο δειγματολήπτης PM_{10} είναι τοποθετημένοι σε ειδικά διαμορφωμένες εξωτερικές θέσεις, στο πλαϊνό και μπροστινό μέρος του οικίσκου. Τα ακροφύσια και οι κεφαλές όλων των συσκευών μέτρησης/δειγματοληψίας βρίσκονται σε κατάλληλο ύψος από το έδαφος σύμφωνα με τις απαιτήσεις των Οδηγιών 2008/107/ΕΚ και 2004/50/ΕΚ [1,5 m (ζώνη αναπνοής) έως 4 m πάνω από το έδαφος].

Η βαθμονόμηση/συντήρηση των αυτόματων αναλυτών NO_x , O_3 , ΒΤΕΧ γίνεται σε μηνιαία βάση από διαπιστευμένο Εργαστήριο ΚΑΜΠΑΣ Ι.Β. & ΣΙΑ Ε.Ε., Επιστημονικά Όργανα Μετρήσεων, σύμφωνα με τα εγχειρίδιο του κάθε οργάνου. Η βαθμονόμηση του μετρητή $\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2.5}$ γίνεται σε τακτική βάση από το διαπιστευμένο Εργαστήριο ΕΕΡΠ-ΟΜΑΣ, Τμήμα Χημείας, Α.Π.Θ., ενώ η ετήσια βαθμονόμηση από την κατασκευάστρια εταιρεία στην Αγγλία.



Εικόνα 2α.
Αναλυτής NO_x



Εικόνα 2β.
Μετρητής $PM_{10}/PM_{2.5}$



Εικόνα 2γ.
Δειγματολήπτης αιωρούμενων
σωματιδίων PM_{10} κατά ISO/IEC
EN-12341

Πίνακας 1. Εξοπλισμός του ΣΜΑΡ του ΟΛΒ

Εξοπλισμός	Τύπος
Αναλυτής NO _x	AC32M, ENVIRONMENT SA
Αναλυτής O ₃	O341M, ENVIRONMENT SA
Αναλυτής αρωματικών υδρογονανθράκων BTEX	VOC71M, ENVIRONMENT SA
Μετρητής PM10/PM2.5	DUSTTRAK™ DRX Aerosol Monitor, TSI
Μετεωρολογικός σταθμός με <ul style="list-style-type: none">– αισθητήριο ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου– αισθητήριο θερμοκρασίας και υγρασίας– αισθητήριο βαρομετρικής πίεσης	LSI-LASTEM
Λογισμικό συλλογής και καταγραφής μετρήσεων	ENVIDAS For Windows της Envitech LTD
Δειγματολήπτης PM10	LVS Ingenieur Derenda, Berlin με κεφαλή PM10 και παροχή 2.3 m ³ /h σε συμφωνία με το πρότυπο ISO/IEC EN-12341

1.2. Δειγματοληψία και χημική ανάλυση των PM10

Η δειγματοληψία των PM10 γίνεται με συχνότητα 1 δείγμα/εβδομάδα σε προζυγισμένο φίλτρο quartz (Tissuquartz Pall, Φ 47 mm). Η διάρκεια των δειγματοληψιών είναι 24 ώρες. Τα φορτισμένα φίλτρα μεταφέρονται στο Εργαστήριο Ελέγχου Ρύπανσης Περιβάλλοντος για προσδιορισμό της συγκέντρωσης των PM10 και περαιτέρω χημική ανάλυση για τον προσδιορισμό των καρκινογόνων συστατικών Β[α]Ρ, As, Cd, Ni σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Οδηγίας 2004/107/ΕΚ. Η δειγματοληψία, χειρισμός και ζύγιση των φίλτρων γίνονται σύμφωνα με το πρότυπο ISO/IEC EN-12341.

Μετά την τελική ζύγιση, τα φίλτρα κόβονται ακριβώς στη μέση και το ένα μισό χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του Β[α]Ρ και άλλων PAHs, ενώ το άλλο μισό για τον προσδιορισμό Ni, Cd, As και άλλων βαρέων μετάλλων.

1.2.1. PAHs

Η εκχύλιση των PAHs από τα φίλτρα πραγματοποιείται σε συσκευή μικροκυμάτων () με μίγμα dichloromethane:n-hexane (3:2 v/v). Μετά τη συμπύκνωση των εκχυλισμάτων αρχικά σε περιστροφικό εξατμιστήρα κενού και στη συνέχεια με ήπιο ρεύμα N₂, έγινε επαναδιάλυση του υπολείμματος σε 1 mL acetonitrile. Οι PAHs προσδιορίζονται με την τεχνική της υγρής χρωματογραφίας υψηλής πίεσης με προγραμματιζόμενο φθορισμομετρικό ανιχνευτή (HPLC/FLD) σύμφωνα με βελτιστοποιημένες διαδικασίες (Manoli et al., 2002; Manoli et al., 2004). Η βαθμονόμηση γίνεται με το πρότυπο NIST Standard Reference Material 1647c που περιέχει 16 PAHs: Naphthalene (Np), Acenaphthylene (Acn), Acenaphthene (Ace), Fluorene (F), Phenanthrene (Ph), Anthracene (An), Fluoranthene (Fl), Pyrene (Py), Benzo[a]anthracene (B[a]An), Chrysene (Chry), Benzo[b]fluoranthene (B[b]Fl), Benzo[k]fluoranthene (B[k]Fl), Benzo[a]pyrene (B[α]Py), diBenzo[a,h]anthracene (dB[α,h]An), Benzo[g,h,i]perylene (B[ghi]Pe), Indeno[1,2,3-c,d]pyrene (I[1,2,3-cd]Py) και με το Benzo[e]pyrene (B[e]Py) που συχνά χρησιμοποιείται ως ένωση αναφοράς. Το Acenaphthylene έχει πολύ ασθενή φθορισμό και γι' αυτό δεν μπορεί να ανιχνευθεί.

Ο έλεγχος ποιότητας περιλαμβάνει ανάλυση λευκών φίλτρων και αντιδραστηρίων, καθώς και επιφορτισμένων δειγμάτων (spike). Η ανάκτηση των χαμηλού MB PAHs (Np, Ace και F) βρέθηκε σχετικά χαμηλή και με μεγάλες διακυμάνσεις (48–71%) λόγω της μεγάλης πτητικότητας αυτών των ενώσεων. Η ανάκτηση των υπόλοιπων PAHs ήταν σχεδόν ποσοτική (87–108%) και η επαναληψιμότητα της μέτρησής τους (εκφραζόμενη ως σχετική τυπική απόκλιση του ύψους κορυφής) καλύτερη από 10%. Τα όρια ανίχνευσης (LOD) των διαφόρων PAHs κυμάνθηκαν μεταξύ 0.001 και 0.077 ng/m³. Για τη στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων, οι συγκεντρώσεις κάτω από το όριο ανίχνευσης θεωρήθηκαν ίσες με το μισό της τιμής του ορίου.

1.2.2. Μέταλλα / μεταλλοειδή

Ο προσδιορισμός των μετάλλων/μεταλλοειδών στα δείγματα των PM10 πραγματοποιείται με την τεχνική ICP-MS μετά από πέψη των φίλτρων με οξειδωτικό μίγμα οξέων (HCl/HNO₃). Ο έλεγχος ποιότητας περιλαμβάνει ανάλυση λευκών φίλτρων και αντιδραστηρίων, καθώς και επιφορτισμένων δειγμάτων (spike). Το όριο ποσοτικοποίησης (LOQ) για Pb, As, Ni, Mn, Fe, Zn και Cr είναι 0,025 μg/δείγμα, ενώ για το Cd είναι 0,0025 μg/δείγμα.

2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

2.1. Online μετρήσεις

2.1.1. Σύγκριση με τα όρια της Οδηγίας 2008/50/ΕΚ

Σε σύγκριση με τα όρια της Οδηγίας 2008/50/ΕΚ «για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη» που δίνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1:

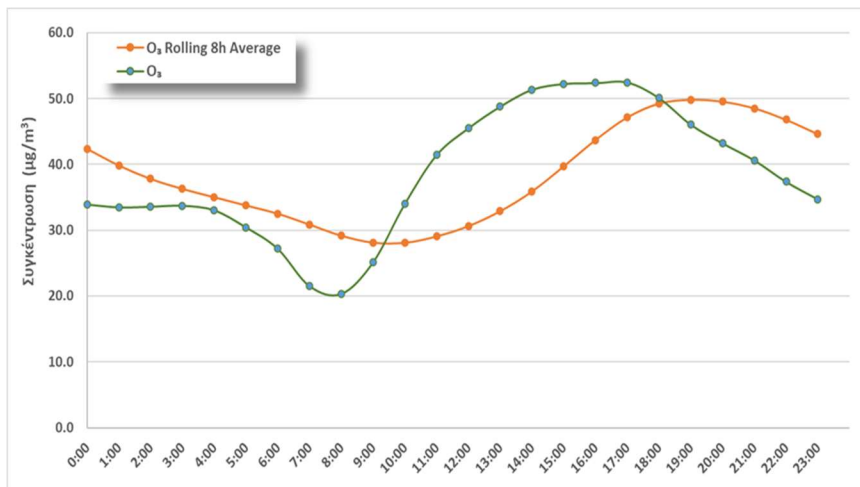
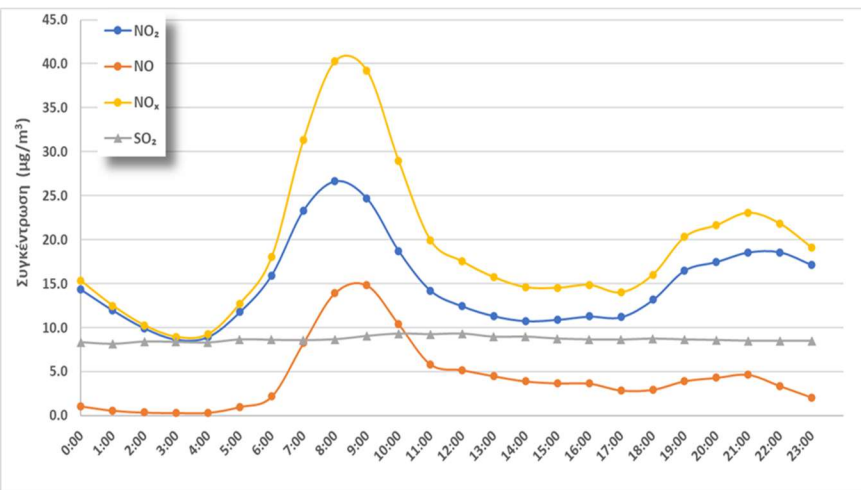
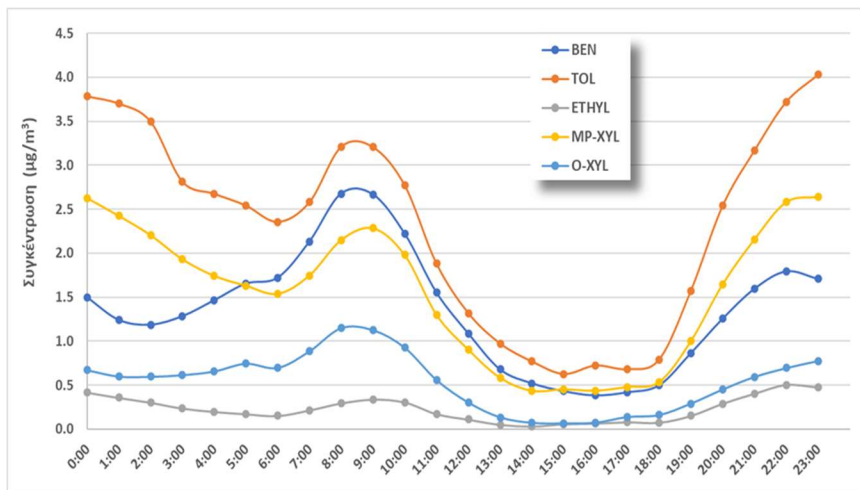
- Η μέση ωριαία τιμή του NO₂ για το χρονικό διάστημα των μετρήσεων ήταν 14,94 μg/m³, κατά πολύ μικρότερη από το ετήσιο όριο (40 μg/m³), ενώ δεν παρατηρήθηκε καμία υπέρβαση του ωριαίου ορίου των 200 μg/m³ (η μέγιστη ωριαία τιμή για το χρονικό διάστημα των μετρήσεων ήταν 97,1 μg/m³).
- Η μέση τιμή του βενζολίου ήταν 1,4 μg/m³, επίσης κατά πολύ μικρότερη του ετήσιου ορίου (5 μg/m³).
- Το SO₂ ξεκίνησε να καταγράφεται από 13.11.2020. Η μέση ημερήσια τιμή SO₂ για το χρονικό διάστημα 13.11.20 – 31.05.21 ήταν 8,7 μg/m³ και δεν παρατηρήθηκε καμία υπέρβαση του ημερήσιου ορίου των 125 μg/m³ (η μέγιστη ημερήσια τιμή γι' αυτό το χρονικό διάστημα ήταν 15,6 μg/m³). Δεν παρατηρήθηκε καμία υπέρβαση του ωριαίου ορίου των 350 μg/m³ (η μέγιστη ωριαία τιμή γι' αυτό το χρονικό διάστημα ήταν 70,1 μg/m³).
- Η μέση τιμή των ημερήσιων συγκεντρώσεων του σωματιδιακού κλάσματος PM₁₀ ήταν 28.6 μg/m³, μικρότερη του ετήσιου ορίου (40 μg/m³), ενώ παρατηρήθηκαν 24 υπερβάσεις του ημερήσιου ορίου για τα PM₁₀ (50 μg/m³): 2 τον Ιούνιο (57-64 μg/m³), 6 τον Ιούλιο (52-71 μg/m³), 1 τον Αύγουστο (66 μg/m³), 4 τον Οκτώβριο (52-91 μg/m³), 2 το Νοέμβριο (51-54 μg/m³), 1 το Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο (84 και 50 μg/m³) και 7 το Φεβρουάριο (55-75 μg/m³).
- Η μέση τιμή των ημερήσιων συγκεντρώσεων του σωματιδιακού κλάσματος PM_{2.5} ήταν 20.3 μg/m³, κάτω από το ετήσιο όριο (25 μg/m³).
- Για το O₃, η μέγιστη τιμή του ημερήσιου μέγιστου κυλιόμενου μ.ο. 8ωρου ήταν 56,8 μg/m³ με όριο τα 200 μg/m³

2.1.2. Χρονικές διακυμάνσεις

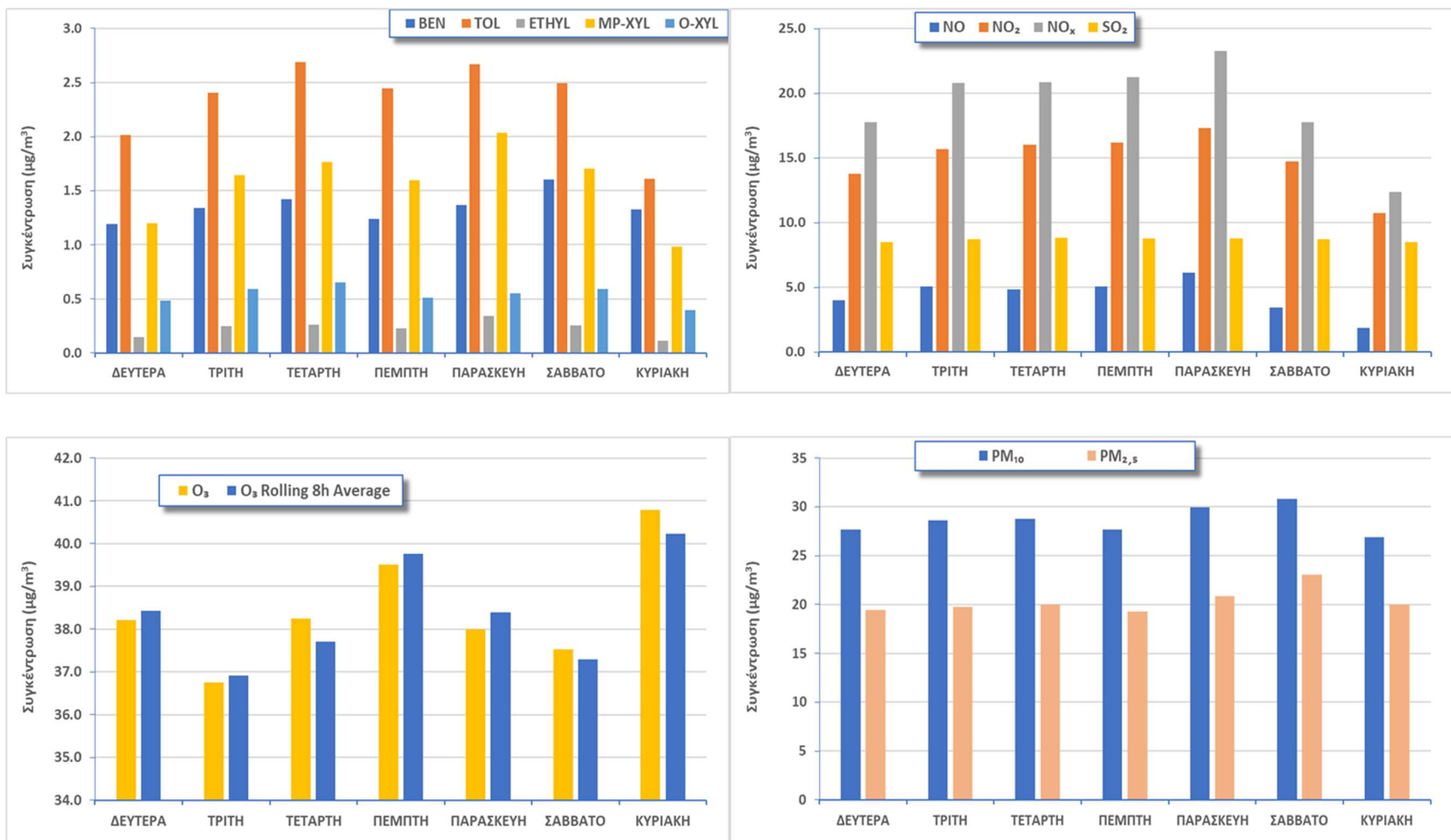
Οι μέσες διακυμάνσεις (ημερήσια, εβδομαδιαία και μηνιαία) των συγκεντρώσεων BTEX, NO_x, O₃, PM₁₀ και PM_{2.5} κατά το χρονικό διάστημα 01.06.20-01.06.21 δίνονται στα Σχήματα 2.1.1, 2.1.2 και 2.1.3, αντίστοιχα.

Όπως προκύπτει, οι πρωτογενείς ρύποι BTEX, NO_x, PM₁₀ και PM_{2.5} εμφανίζουν δύο μέγιστα στη διάρκεια του 24ώρου, ένα πρωινό (~8:00) και ένα βραδινό (~22:00), τα οποία σχετίζονται με την ημερήσια διακύμανση των πηγών εκπομπής (κυκλοφορία, οικιακή θέρμανση), αλλά και των

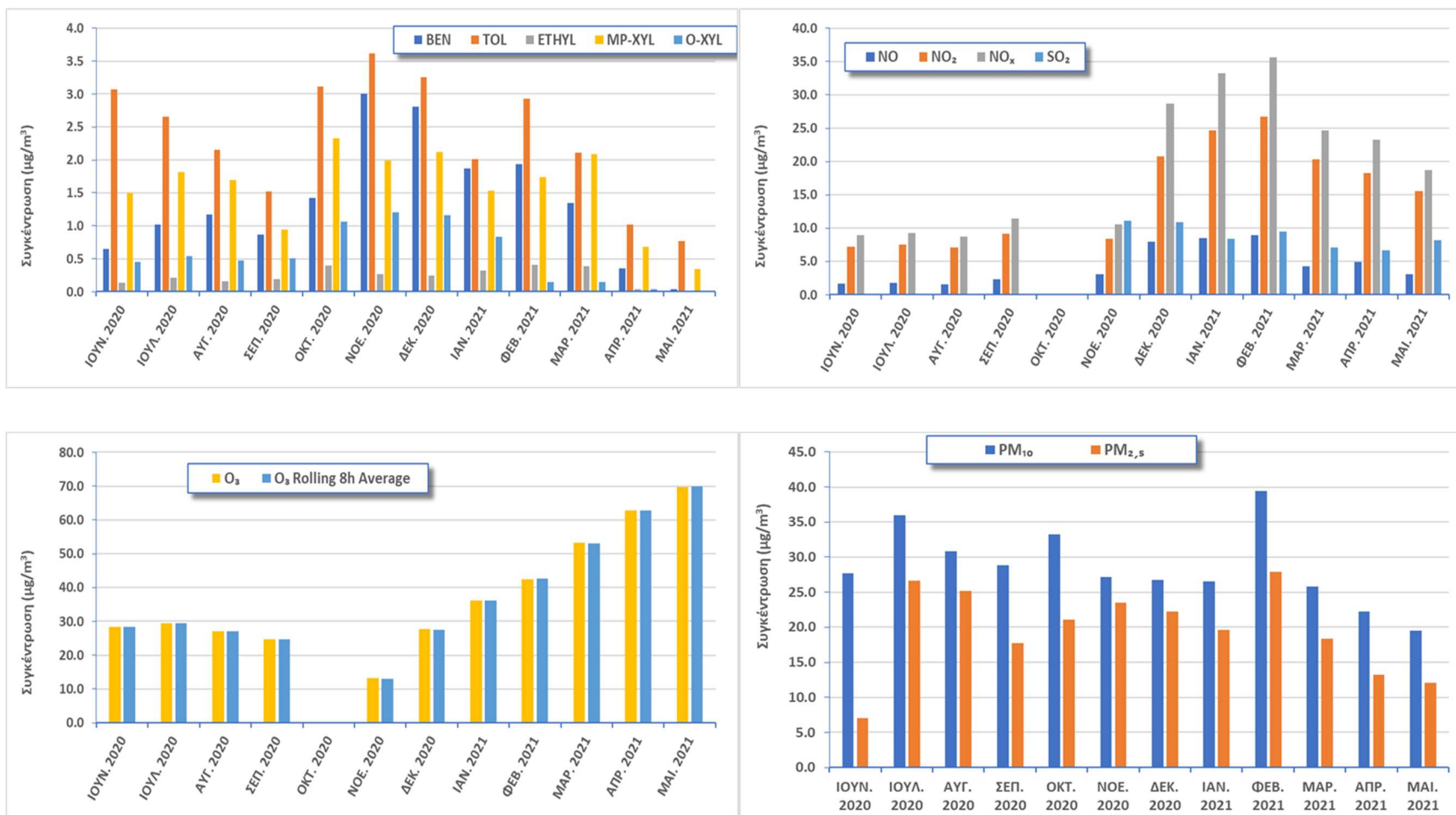
μετεωρολογικών συνθηκών (ύψος ανάμιξης, ταχύτητα ανέμου). Η ημερήσια διακύμανση του O_3 που είναι δευτερογενής ρύπος είναι αντίθετη με μέγιστο μεταξύ 15:00-17:00. Το SO_2 δεν φαίνεται να έχει ημερήσια διακύμανση. Μικρή εβδομαδιαία διακύμανση παρατηρείται για το O_3 με σχετικά υψηλότερες τιμές το σαββατοκύριακο.



Σχήμα 2.1.1. Μέση ημερήσια διακύμανση των συγκεντρώσεων BTEX, NO_x, SO₂, O₃, PM₁₀ και PM_{2.5} κατά το χρονικό διάστημα 01.06.20-31.05.21



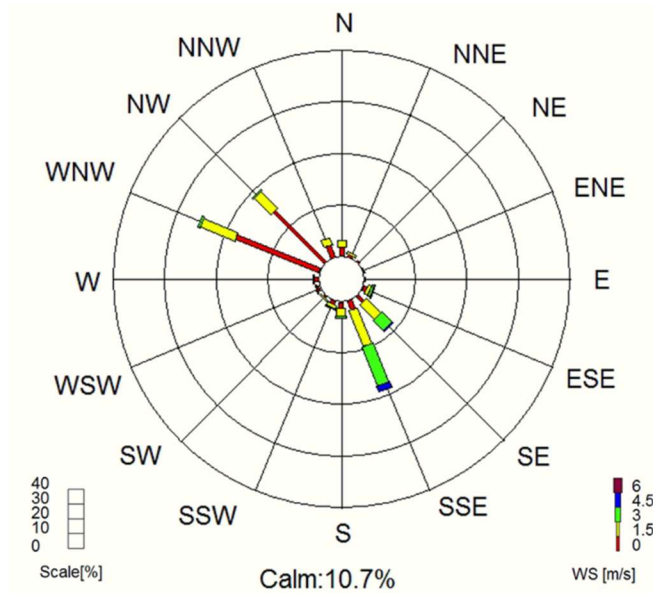
Σχήμα 2.1.2. Μέση εβδομαδιαία διακύμανση των συγκεντρώσεων BTEX, NO_x, SO₂, O₃, PM₁₀ και PM_{2.5} κατά το χρονικό διάστημα 01.06.20-31.05.21



Σχήμα 2.1.3. Μέση μηνιαία διακύμανση των συγκεντρώσεων BTEX, NO_x, O₃, PM₁₀ και PM_{2.5} κατά το χρονικό διάστημα 01.06.20-31.05.21

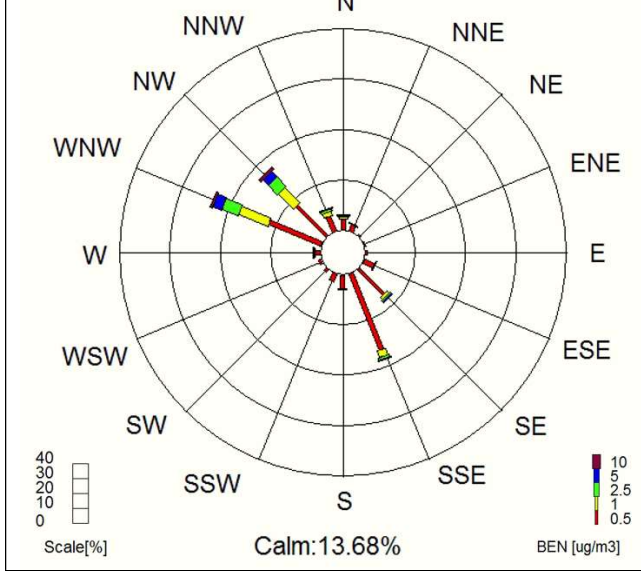
2.1.3. Συσχέτιση με μετεωρολογικούς παράγοντες

Η συχνότητα εμφάνισης και η ταχύτητα των επικρατούντων ανέμων κατά τη διάρκεια της περιόδου των μετρήσεων δίνεται στο ροδόγραμμα του Σχήματος 2.1.4. Τα αντίστοιχα ροδογράμματα των συγκεντρώσεων των αέριων ρύπων δίνονται στα Σχήματα 2.1.5α και 2.1.5β.

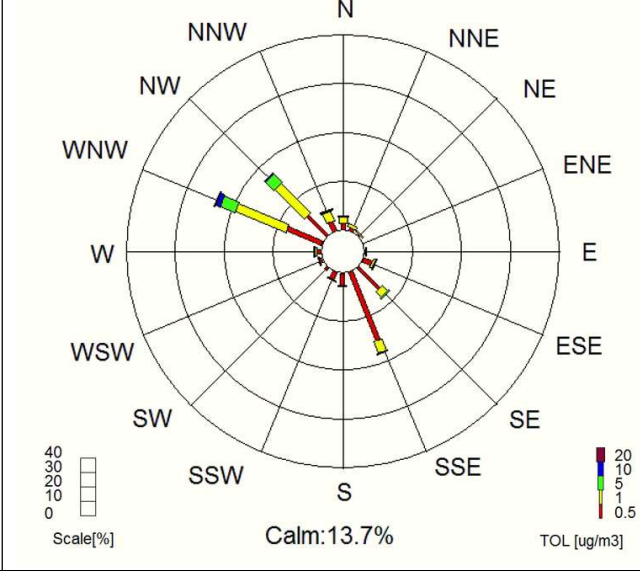


Σχήμα 2.1.4. Συχνότητα εμφάνισης και μέση ταχύτητα ανέμου ανά διεύθυνση προέλευσης κατά την περίοδο των μετρήσεων

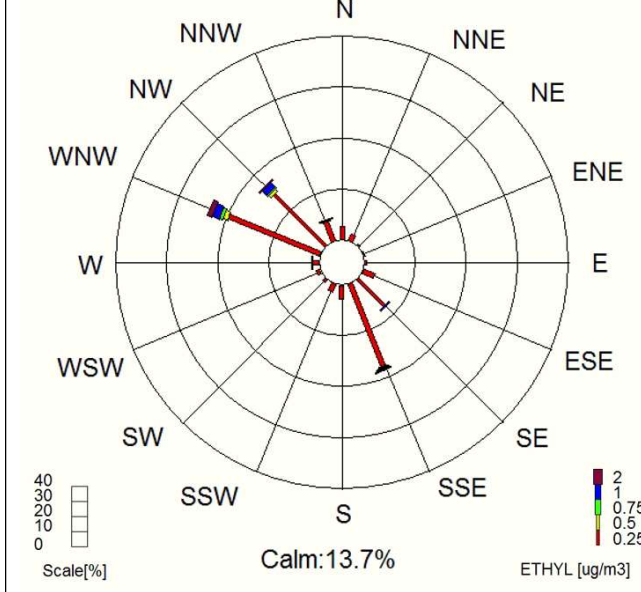
Pollution Rose for Benzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 01/06/2020 00:00 – 31/05/2021 24:00 Station O.L. Volos AVG: 15min



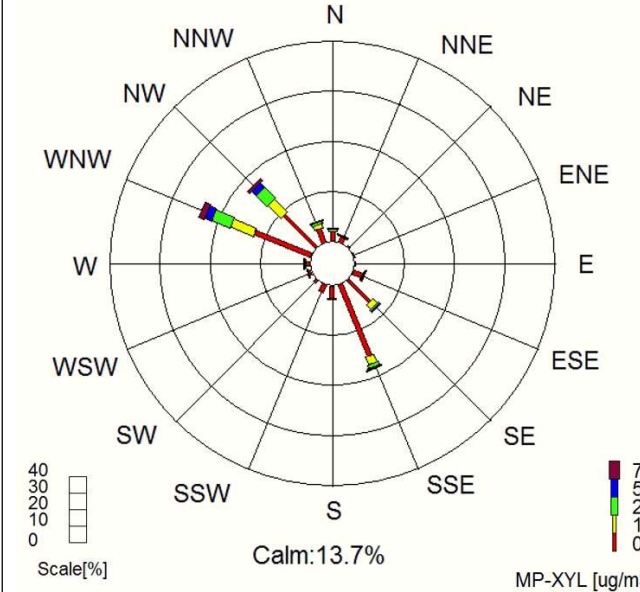
Pollution Rose for Toluene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 01/06/2020 00:00 – 31/05/2021 24:00 Station O.L. Volos AVG: 15min



Pollution Rose for EthylBenzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 01/06/2020 00:00 – 31/05/2021 24:00 Station O.L. Volos AVG: 15min

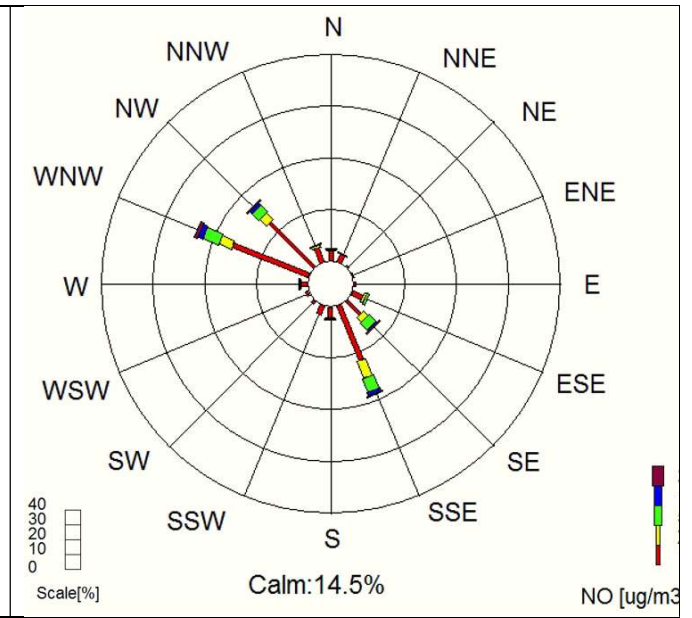
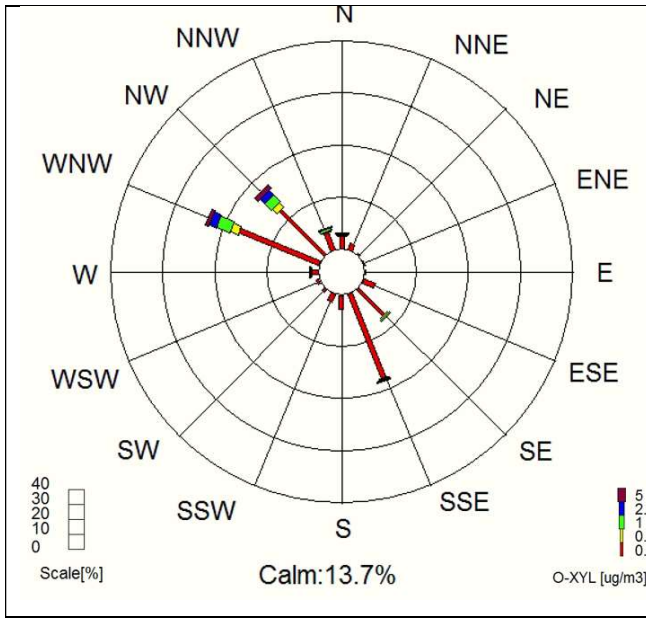


Pollution Rose for m+p-Xylenes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 01/06/2020 00:00 – 31/05/2021 24:00 Station O.L. Volos AVG: 15min



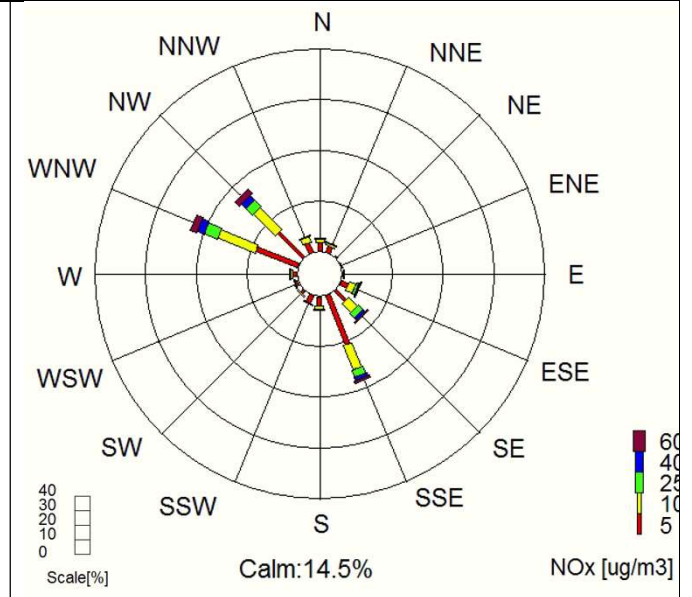
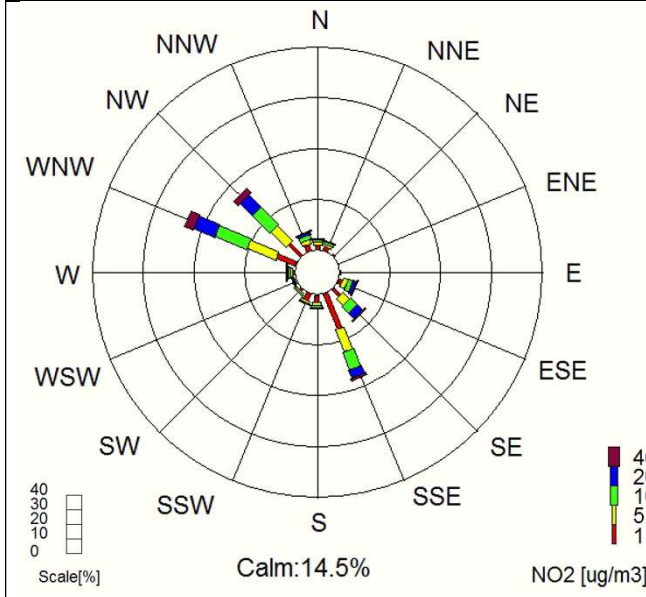
Pollution Rose for o-Xylene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 01/06/2020 00:00 – 31/05/2021 24:00 Station O.L. Volos AVG: 15min

Pollution Rose for NO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 01/06/2020 00:00 – 31/05/2021 24:00 Station O.L. Volos AVG: 5min



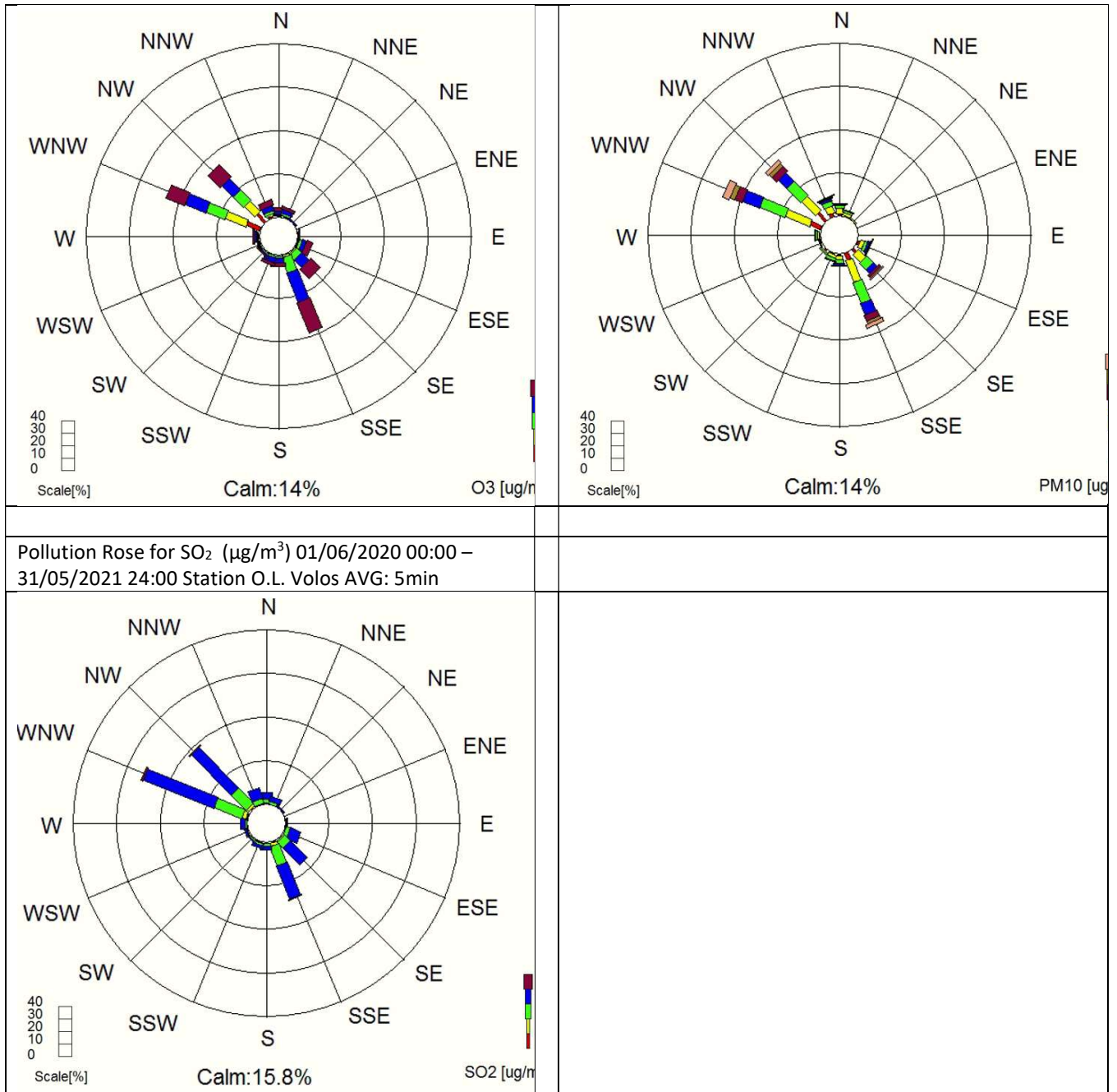
Pollution Rose for NO₂ (µg/m³) 01/06/2020 00:00 – 31/05/2021 24:00 Station O.L. Volos AVG: 5min

Pollution Rose for NO_x (µg/m³) 01/06/2020 00:00 – 31/05/2021 24:00 Station O.L. Volos AVG: 5min



Pollution Rose for Ozone (µg/m³) 01/06/2020 00:00 – 31/05/2021 24:00 Station O.L. Volos AVG: 5min

Pollution Rose for PM₁₀ (µg/m³) 01/06/2020 00:00 – 31/05/2021 24:00 Station O.L. Volos AVG: 5min

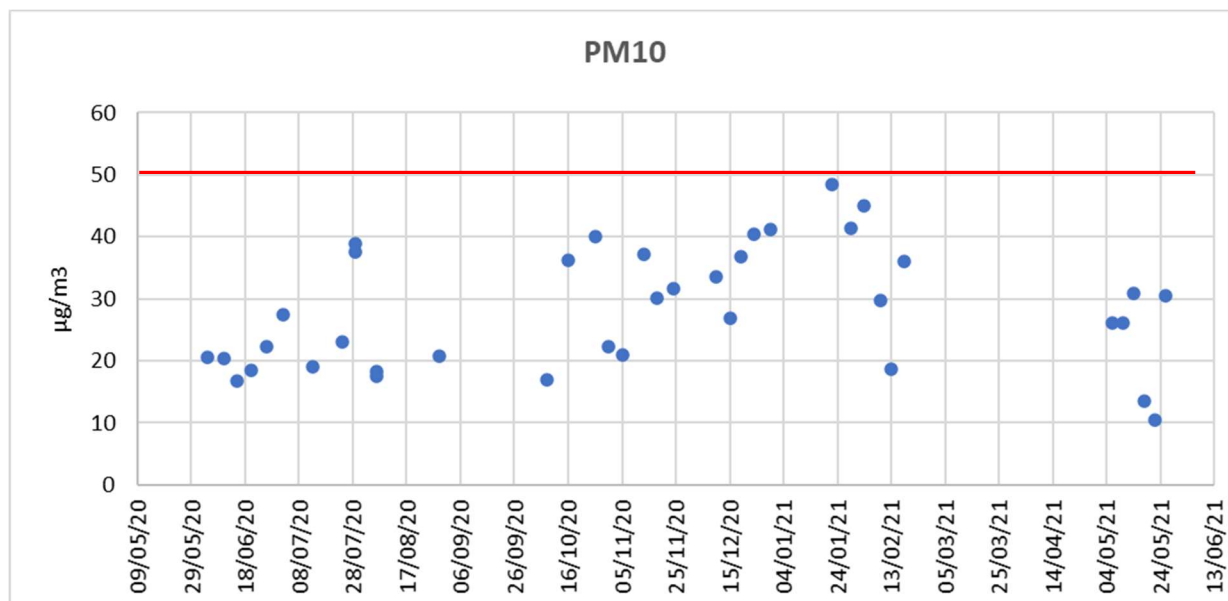


Σχήμα 2.1.5. Ροδογράμματα των συγκεντρώσεων των αέριων ρύπων (5minAverage)

2.2. Σταθμικές μετρήσεις/αναλύσεις PM10

2.2.1. PM10

Οι συγκεντρώσεις των PM10 που συλλέχθηκαν σε φίλτρο για χημική ανάλυση και προσδιορίστηκαν σταθμικά κυμάνθηκαν μεταξύ 10,5 και 48,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, όλες κάτω από το ημερήσιο όριο της Οδηγίας 2008/50/ΕΚ (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Σχήμα 2.2.1).



Σχήμα 2.2.1. Ημερήσιες σταθμικές συγκεντρώσεις PM10 κατά το χρονικό διάστημα 01.06.20-31.05.21

2.2.2. PAHs

Οι συγκεντρώσεις των PAHs που ανιχνεύθηκαν στα δείγματα PM10 δίνονται στον Πίνακα 2.2.1. Οι συγκεντρώσεις του B[α]Pγ κυμάνθηκαν από 0,006 μέχρι 1,497 ng/m^3 με μέση τιμή 0,178 ng/m^3 . Η τιμή αυτή είναι πολύ χαμηλότερη της τιμής-στόχου της Οδηγίας 2004/107/ΕΚ (1 ng/m^3 ως μέση ετήσια τιμή).

2.2.3. Μέταλλα/ μεταλλοειδή

Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων/ μεταλλοειδών που προσδιορίστηκαν στα δείγματα PM10 όπου ολοκληρώθηκαν οι αναλύσεις, δίνονται στον Πίνακα 2.2.2. Οι μέσες συγκεντρώσεις των νομοθετημένων μετάλλων είναι κάτω από τις τιμές-στόχους της Οδηγίας 2004/107/ΕΚ (6, 5, 20 και 500 ng/m^3 για As, Cd, Ni, Pb, ως μέση ετήσια τιμή).

Πίνακας 2.2.1. Συγκεντρώσεις PAHs (ng/m³)

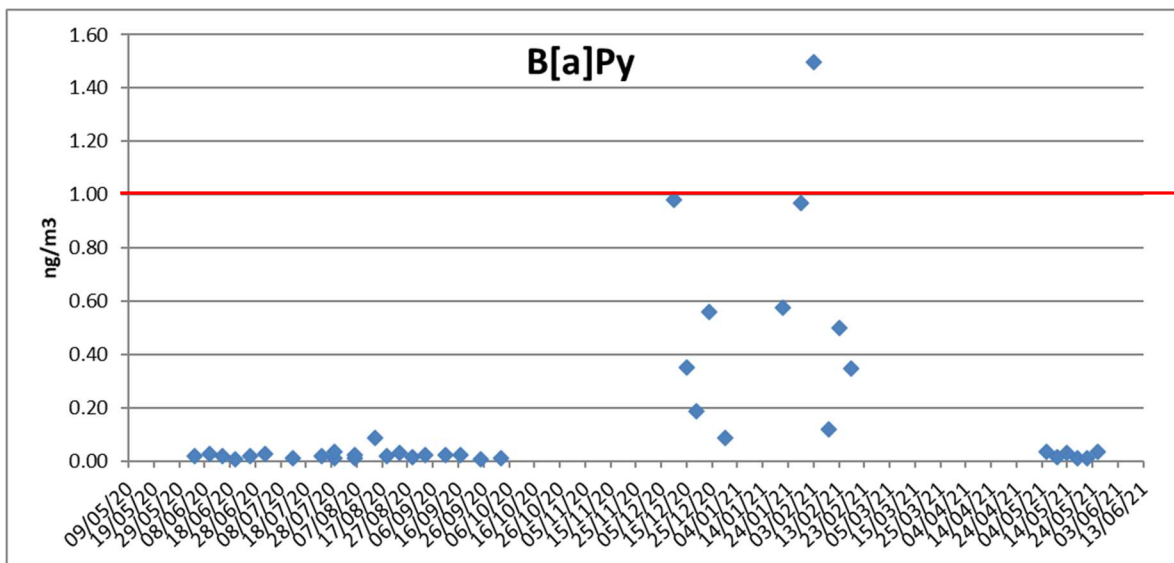
Ημερομηνία	Ph	An	Fl	Py	B[a]An	Chry	B[b]Fl	B[k]Fl	B[a]Py	dB[a,h]An	B[ghi]Pe	IPy
04/06/20	1.365	0.009	0.038	0.012	0.026	0.038	0.062	0.023	0.019	0.007	0.078	0.058
10/06/20	0.090	0.004	0.034	0.035	0.008	0.020	0.056	0.021	0.026	0.011	0.103	0.092
15/06/20	0.078	0.002	0.018	0.016	0.005	0.017	0.043	0.015	0.017	0.005	0.067	0.048
20/06/20	0.088	0.002	0.023	0.019	0.019	0.015	0.029	0.009	0.006	0.004	0.033	0.024
26/06/20	0.083	0.002	0.043	0.032	0.002	0.025	0.055	0.020	0.016	0.006	0.074	0.056
02/07/20	1.816	0.011	0.107	0.106	0.031	0.028	0.063	0.022	0.027	0.008	0.068	0.059
13/07/20	0.136	0.003	0.029	0.024	0.005	0.015	0.029	0.010	0.012	0.004	0.024	0.021
24/07/20	0.129	0.003	0.044	0.033	0.006	0.024	0.036	0.012	0.017	0.003	0.030	0.022
29/07/20	0.112	0.006	0.061	0.050	0.011	0.030	0.055	0.020	0.022	0.006	0.061	0.050
06/08/20	0.065	0.003	0.019	0.016	0.004	0.014	0.035	0.014	0.015	0.004	0.041	0.032
14/08/20	0.080	0.009	0.046	0.060	0.019	0.026	0.124	0.058	0.088	0.050	0.611	0.418
19/08/20	0.090	0.004	0.022	0.017	0.002	0.014	0.033	0.013	0.018	0.004	0.043	0.028
24/08/20	0.092	0.002	0.044	0.035	0.006	0.025	0.045	0.018	0.030	0.005	0.058	0.039
29/08/20	0.049	0.002	0.022	0.023	0.003	0.011	0.025	0.008	0.014	0.004	0.035	0.024
03/09/20	0.082	0.002	0.048	0.042	0.006	0.029	0.044	0.015	0.023	0.005	0.044	0.032
11/09/20	0.108	0.002	0.051	0.044	0.012	0.029	0.060	0.021	0.024	0.006	0.065	0.053
17/09/20	0.138	0.003	0.069	0.058	0.015	0.043	0.054	0.021	0.023	0.006	0.049	0.040
25/09/20	0.085	0.002	0.020	0.024	0.009	0.009	0.022	0.007	0.006	0.003	0.031	0.020
03/10/20	0.121	0.003	0.031	0.032	0.007	0.019	0.029	0.010	0.011	0.004	0.042	0.045
10/12/20	0.247	0.000	1.201	0.386	0.747	1.075	2.102	0.851	0.982	0.241	2.133	1.993
15/12/20	0.090	0.000	0.230	0.101	0.179	0.415	0.966	0.365	0.350	0.114	0.930	0.894
19/12/20	0.064	0.049	0.295	0.023	0.166	0.224	0.431	0.281	0.186	0.091	0.695	0.224
24/12/20	0.240	0.000	0.696	0.098	0.453	0.840	1.782	0.719	0.559	0.177	1.600	1.550
30/12/20	0.063	0.002	0.225	0.056	0.069	0.160	0.581	0.233	0.086	0.052	0.476	0.501
22/01/21	0.115	0.204	0.557	0.118	0.370	0.627	1.414	0.574	0.575	0.145	1.255	1.137

Ημερομηνία	Ph	An	Fl	Py	B[a]An	Chry	B[b]Fl	B[k]Fl	B[a]Py	dB[a,h]An	B[ghi]Pe	IPy
29/01/21	0.121	0.165	0.522	0.177	0.468	0.804	1.303	0.558	0.967	0.165	1.463	1.174
03/02/21	0.189	0.189	0.645	0.209	0.929	0.875	1.498	0.626	1.497	0.220	1.707	1.338
09/02/21	0.070	0.012	0.126	0.094	0.056	0.139	0.228	0.092	0.118	0.027	0.274	0.192
13/02/21	0.107	0.109	0.532	0.205	0.425	0.734	0.973	0.407	0.498	0.101	0.946	0.773
18/02/21	0.094	0.065	0.273	0.188	0.209	0.467	0.682	0.274	0.348	0.080	0.749	0.709
06/05/21	0.089	0.004	0.034	0.037	0.023	0.038	0.074	0.027	0.033	0.010	0.098	0.079
10/05/21	0.054	0.025	0.031	0.012	0.006	0.023	0.011	0.013	0.015	0.005	0.048	0.012
14/05/21	0.073	0.005	0.038	0.042	0.008	0.049	0.055	0.021	0.031	0.006	0.097	0.055
18/05/21	0.073	0.005	0.023	0.028	0.011	0.015	0.023	0.007	0.011	0.003	0.026	0.020
22/05/21	0.052	0.003	0.023	0.028	0.035	0.015	0.022	0.008	0.010	0.003	0.029	0.023
26/05/21	0.063	0.004	0.034	0.037	0.017	0.030	0.052	0.020	0.032	0.008	0.075	0.050
MEAN	0.179	0.024	0.167	0.068	0.115	0.184	0.347	0.143	0.178	0.042	0.375	0.315
STDEV	0.345	0.052	0.259	0.076	0.219	0.304	0.568	0.234	0.335	0.066	0.569	0.508
MIN	0.038	0.000	0.013	0.012	0.002	0.009	0.011	0.007	0.006	0.003	0.024	0.012
MAX	1.816	0.204	1.201	0.386	0.929	1.075	2.102	0.851	1.497	0.241	2.133	1.993

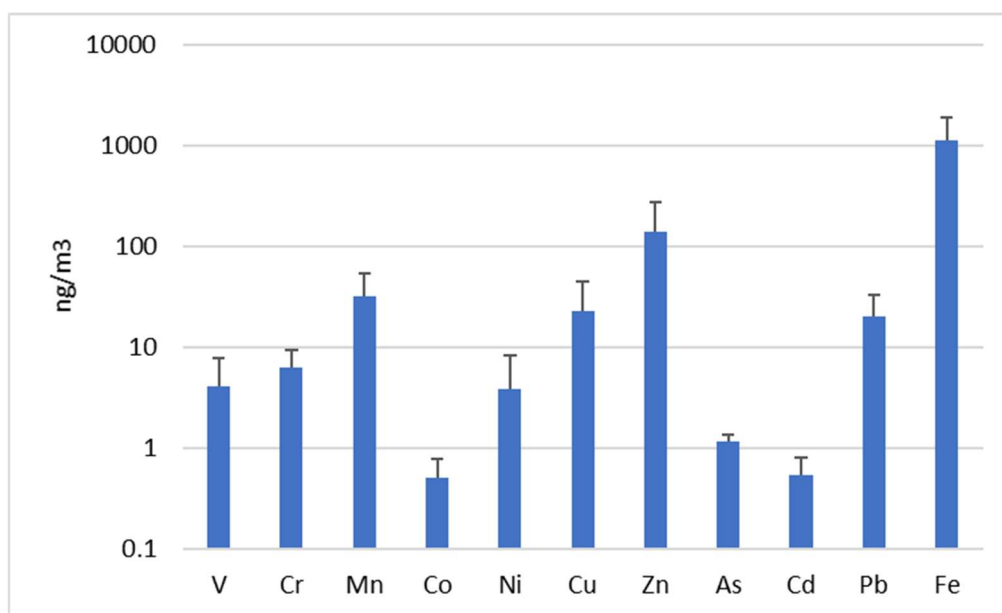
Πίνακας 2.2.2. Συγκεντρώσεις μετάλλων/μεταλλοειδών στα PM10 (ng/m³)

Ημερομηνία	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Fe
04/06/20	1.6	8.3	36.9	0.4	3	65	390	1.3	0.2	16.5	1465
10/06/20	1.9	4.1	20.5	0.2	2	93.1	497	1	0.2	32.6	568
15/06/20	1.1	4.6	11.8	0.4	2.5	6.8	290	<0.7	0.6	13.3	380
20/06/20	1.4	4.7	18.1	0.3	2.7	22.5	443	<0.7	0.2	11.8	606
26/06/20	<0.2	5.6	15	0.3	2	17.6	31	<0.7	0.4	15.4	544
02/07/20	<0.2	7.7	22.6	0.3	2.1	38.6	56	<0.7	0.3	12.5	979
13/07/20	<0.2	5.9	13.2	0.3	1.1	26.4	<2	<0.7	0.4	9.1	396
24/07/20	<0.2	7.6	21	0.4	2.5	30.3	17	<0.7	0.4	15.2	875
29/07/20	1.5	8.7	65.9	0.6	3.6	29.3	219	<0.7	0.8	39.2	1443
29/07/20	1.6	10.4	67.3	0.6	6.1	35.8	258	<0.7	0.8	42.4	1528
06/08/20	<0.2	4.5	13.2	0.3	1.6	51.1	48	<0.7	0.5	10.5	586
06/08/20	<0.2	3.3	12.9	<0.1	2.7	27.4	27	<0.7	<0.1	7	522
29/08/20	<0.2	10.5	47.2	0.8	26.6	33.5	151	<0.7	<0.1	24.9	1817
08/10/20	<0.2	3.5	41.8	<0.1	3.1	11.8	<2	<0.7	1	12.9	801
16/10/20	<0.2	8.5	32.5	0.8	7.7	34.1	122	<0.7	<0.1	22.3	2021
26/10/20	0.9	18	136.1	1	13.1	39.1	238	<0.7	<0.1	70.8	4380
31/10/20	<0.2	12	44.6	1	7.7	23.7	147	<0.7	<0.1	21.6	1884
05/11/20	<0.2	1.8	15.8	<0.1	1	<0.1	<2	<0.7	<0.1	5.3	477
13/11/20	1.1	8.1	41.6	<0.1	2.7	7.3	119	<0.7	0.8	36.6	988
18/11/20	<0.2	3.5	18.6	<0.1	2.9	<0.1	<2	<0.7	0.8	11.6	690
24/11/20	<0.2	5.9	29.4	<0.1	4.7	4.7	10	<0.7	<0.1	21	741
10/12/20	<0.2	8.9	41.1	<0.1	5.5	13.5	<2	<0.7	<0.1	25.5	2326
15/12/20	<0.2	2.7	22.1	<0.1	1.6	0.5	59	<0.7	<0.1	29.6	1121
19/12/20	<0.2	6.1	29.9	<0.1	3.4	2.3	150	<0.7	0.8	26.4	741
24/12/20	<0.2	4.2	45.9	<0.1	1.4	4.7	13	<0.7	0.5	19.9	967
30/12/20	<0.2	4.4	28.1	<0.1	2.9	<0.1	<2	<0.7	<0.1	11.2	949
22/01/21	<0.2	5	28.6	<0.1	4	5.5	<2	<0.7	<0.1	17.9	1921
29/01/21	<0.2	6.5	31.9	<0.1	2	<0.1	49	<0.7	<0.1	24.7	748

Ημερομηνία	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Fe
03/02/21	<0.2	5.7	26.6	<0.1	2.5	<0.1	28	<0.7	<0.1	12.3	772
09/02/21	<0.2	9.8	43.5	<0.1	3.6	4.4	<2	<0.7	<0.1	11	2139
13/02/21	<0.2	2.7	5.4	<0.1	<0.1	<0.1	<2	<0.7	<0.1	<0.1	175
18/02/21	<0.2	5.5	38.5	<0.1	1	1.2	140	<0.7	<0.1	27.7	1005
06/05/21	<0.2	7.6	28.3	<0.1	3.8	4.2	<2	<0.7	<0.1	5.1	1726
10/05/21	<0.2	5.9	26.4	<0.1	1.2	4.2	<2	<0.7	<0.1	30.1	1279
14/05/21	<0.2	3.1	20.3	0.5	2.5	<0.1	<2	<0.7	<0.1	5.1	713
18/05/21	<0.2	6.6	31.2	<0.1	1.8	<0.1	43	<0.7	<0.1	16.4	1220
22/05/21	<0.2	5	22.9	<0.1	2.9	<0.1	50	<0.7	<0.1	12.7	945
26/05/21	<0.2	5.7	28.8	<0.1	2.1	<0.1	55	<0.7	<0.1	19	1179
03/02/21	<0.2	5.7	26.6	<0.1	2.5	<0.1	28	<0.7	<0.1	12.3	772
09/02/21	<0.2	9.8	43.5	<0.1	3.6	4.4	<2	<0.7	<0.1	11	2139
13/02/21	<0.2	2.7	5.4	<0.1	<0.1	<0.1	<2	<0.7	<0.1	<0.1	175
18/02/21	<0.2	5.5	38.5	<0.1	1	1.2	140	<0.7	<0.1	27.7	1005
06/05/21	<0.2	7.6	28.3	<0.1	3.8	4.2	<2	<0.7	<0.1	5.1	1726
10/05/21	<0.2	5.9	26.4	<0.1	1.2	4.2	<2	<0.7	<0.1	30.1	1279
14/05/21	<0.2	3.1	20.3	0.5	2.5	<0.1	<2	<0.7	<0.1	5.1	713
18/05/21	<0.2	6.6	31.2	<0.1	1.8	<0.1	43	<0.7	<0.1	16.4	1220
22/05/21	<0.2	5	22.9	<0.1	2.9	<0.1	50	<0.7	<0.1	12.7	945
26/05/21	<0.2	5.7	28.8	<0.1	2.1	<0.1	55	<0.7	<0.1	19	1179
MEAN	4.06	6.38	32.3	0.51	3.88	22.8	140	1.15	0.54	20.2	1148
STDEV	3.70	3.09	22.2	0.26	4.49	21.7	138	0.21	0.26	12.8	763
MIN	0.90	1.80	5.40	0.20	1.00	0.50	10.0	1.00	0.20	5.10	175
MAX	11.5	18.0	136	1.00	26.6	93.1	497	1.30	1.00	70.8	4380



Σχήμα 2.2.2. Ημερήσιες συγκεντρώσεις B[a]P κατά το χρονικό διάστημα 01.06.20-31.05.21



Σχήμα 2.2.3. Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις μετάλλων/μεταλλοειδών κατά το χρονικό διάστημα 01.06.20-31.05.21

Βιβλιογραφία

- Argyropoulos, G., Samara, C., 2008. Source apportionment in Volos and planning of environmental policy for air quality improvement. Technical Report. Aristotle University of Thessaloniki (in Greek).
- Argyropoulos G., C. Samara C., Diapouli, E. Eleftheriadis K., Papaoikonomou K., Kungolos A., 2017. Source apportionment of PM10 and PM2.5 in major urban Greek agglomerations using a hybrid source-receptor modeling process. *The Science of the Total Environment* 601-602, 906-917.
- Bairachtari K., Saraga D., Moysiadi A., Vasilakos CH. and Maggos T., PAHs concentration levels in the ambient air of a suburban area in Athens and in a rural area near a timber processing plant. *Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes, Greece, 3-5 September 2015.*
- Diapouli E., Grigoratos Th., Proias G., Vasilatou V., Maggos Th., Samara C., A. Kungolos, Eleftheriadis K. PM chemical composition and sources in the greater area of Volos during the LIFE+ACEPT-AIR Project (submitted).
- Diapouli E., Manousakas M., Vratolis S., Vasilatou V., Maggos Th., Saraga D., Grigoratos Th., Argyropoulos G., Voutsas D., Samara C., Eleftheriadis K., 2017. Evolution of air pollution source contributions over one decade, derived by PM10 and PM2.5 source apportionment in two metropolitan urban areas in Greece. *Atmos. Environ.* 164, 416-430.
- Eleftheriadis K., Diapouli E., Gini M.I., Vasilatou V., Samara C., Argyropoulos G., 2011. Source apportionment of airborne particulate matter for three urban centers in Greece. *European Aerosol Conference, 4-9 Sept, 2011.*
- Emmanouil C., Drositi E., Vasilatou V., Diapouli E., Krikonis K., Eleftheriadis K., Kungolos A., 2017. Study on particulate matter air pollution, source origin, and human health risk based of PM10 metal content in Volos City, Greece. *Toxicological & Environmental Chemistry: 1-19.* doi:10.1080/02772248.2016.1242005.
- Manoli E., Kouras A., Samara C., 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the Greek atmospheric environment, 16th International Symposium on Environmental Pollution and its Impact on Life in the Mediterranean Region, 24-27 Sept 2011, Ioannina, Greece.
- Manoli E., Kouras A., Karagkiozidou O., Argyropoulos G., Voutsas D., Samara C., 2016. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) at traffic and urban background sites of northern Greece: source apportionment of ambient PAH levels and PAH-induced lung cancer risk. *Environ Sci Pollut Res* 23(4):3556-68.
- Manoli E., Chelioti A., Kouras A., Voutsas D., Samara C., Kampanos H., 2015. Concentrations of gaseous and particulate pollutants in the port of Volos, Greece. *CEMEPE & SECOTOX 2015, Mykonos Island, June 14-18.*
- Manoli E., Chelioti-Chatzidimitriou A., Karageorgou K., Kouras A., Voutsas D., Samara C., Kampanos I., 2017. Polycyclic aromatic hydrocarbons and trace elements bounded to airborne PM10 in the harbor of Volos, Greece: Implications for the impact of harbor activities. *Atmospheric Environment* 167, 61-72.
- Moustris K.P., Proias G.T., Larissi I.K., Nastos P.T., Koukouletsos K.V., Palitsos A.G., 2015. Health impacts due to particulate air pollution in Volos City, Greece. *Journal of*

- Environmental Science and Health, Part A. VOL. 0, No. 0, 1-6 (<http://dx.doi.org/10.1080/10934529.2015.1079099>)
- Papaioannou A.B., Viras L.G, Nastos P.T., Paliatsos A.G., 2010. Temporal evolution of sulfur dioxide and nitrogen oxides in the city of Volos, Greece. *Environmental Monitoring and Assessment* 161, 485-494.
- Proias G., Grigoratos T., Diapouli E., Vratolis S., Vasilatou V., Saraga D., Maggos Th., Samara C., Kungolos A., Kipouros S., Eleftheriadis K. Chemical composition and sources of PM10 and PM2.5 in the greater area of Volos during the LIFE+ACEPT-AIR Project. Book of Abstracts of the 4th International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE) and SECOTOX Conference ISBN: 978-960-6865-67-1, Mykonos Island, Greece, June 24-28, 2013.
- Proias G., Moustiris K., Larissi I., Nastos P., Paliatsos A. Temporal evolution of PM10 concentrations during 2001- 2013 in the city of Volos, Greece MESAEP 2015, Crete, September 26 - 30 2015.
- Proias G.T., Moustiris K.P., Larissi I.K., Nastos P.T. and Paliatsos A.G., 2012. AMBIENT PM10 CONCENTRATIONS AND THE IMPACT OF WIND AT AN URBAN SITE IN CENTRAL GREECE. *Fresenius Environmental Bulletin* 21(7a), 1935 – 1941.
- Saffari A., Daher N., Samara C., Voutsas D., Kouras A., Manoli E., Karagkiozidou O., Vlachokostas Ch., Moussiopoulos N., Shafer M.M., Schauer J.J., Sioutas C., 2013. Increased Biomass Burning Due to the Economic Crisis in Greece and Its Adverse Impact on Wintertime Air Quality in Thessaloniki, *Environ. Sci. Technol.* 47, 13313–13320.
- Tolis I.E., Saraga E.D., Filiou F.K., Tziavos I.N., Tsiaousis P.Ch., Dinas A. Bartzis G.J., 2014. One-year intensive characterization on PM2.5 nearby port area of Thessaloniki, Greece. *Environ Sci Pollut Res*, DOI 10.1007/s11356-014-3883-7.
- Tzoumaka N.P., Kelessis G.A., Petrakakis J.M., Samara C., Papagiannopoulos M.N., Zoumakis M.N., Tzourelis G., 2008. Experimental measurements of C2-C5 and C6-C10 in urban area of Thessaloniki, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 17 (10A), 1594-1600.
- Voutsas D., Samara C., Kouimtzis Th., Ochsenkuhn K., 2002. Elemental composition of airborne particulate matter in the multi-impacted urban area of Thessaloniki, Greece. *Atmospheric Environment*, 36, 4453-4462.
- Γρηγοράτος Θ., Αργυρόπουλος Γ., Νικολάου Κ., Κουμπαρέλος Γ., Σαμαρά Κ., 2012. Αιωρούμενα Σωματίδια PM10 στην ευρύτερη περιοχή του Βόλου: Επίπεδα συγκεντρώσεων - Χημική σύσταση - Πηγές, 1ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Θεσσαλίας, 8-10 Σεπτεμβρίου, Σκιάθος, Πρακτικά σελ. 8.
- Μανώλη Ε., Χελιώτη Α., Κούρας Α., Βουτσά Δ., Σαμαρά Κ., Καμπανός Η. , 2015. Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM10 και γονοτοξικών συστατικών στο λιμάνι του Βόλου. 12ο Συνέδριο Χημείας Ελλάδας-Κύπρου, Θεσσαλονίκη
- Πρώιας Γ., Ελευθεριάδης Κ., Διαπούλη Ε., Βράτολης Σ., Βασιλάτου Β., Κούγκολος Α., Κηπουρός Σ., Παλιατσός Α.Γ., 2012. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM10 ΚΑΙ PM2.5 ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΘΕΡΙΝΗ ΚΑΙ ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2011 – 2012 ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ LIFE + ACEPT-AIR. Βιβλίο Περιλήψεων 1ου Περιβαλλοντικού Συνεδρίου Θεσσαλίας Σκιάθος, 8-10 Σεπτεμβρίου 2012, ISBN 978-960-6865-49-7.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Οριακές τιμές της Οδηγίας 2008/50/EC

NO₂

Περίοδος μέσου όρου	Τιμή ορίου (μg/m ³)	Περιορισμοί
1 ώρα	200	Να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 18 φορές το χρόνο
Ημερολογιακό έτος	40	-
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70% της ωριαίας οριακής τιμής (140 μg/m ³)	Να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 18 φορές το χρόνο
	80% της ετήσιας οριακής τιμής (32 μg/m ³)	-
Κατώτερο όριο εκτίμησης	50% της ωριαίας οριακής τιμής (100 μg/m ³)	Να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 3 φορές το χρόνο
	65% της ετήσιας οριακής τιμής (26 μg/m ³)	-
Όριο συναγερμού Ωραία τιμή για 3 συνεχόμενες ώρες	400 μg/m ³	

O₃

	Περίοδος μέσου όρου	Τιμή ορίου (μg/m ³)	Περιορισμοί
Τιμή-στόχος	Μέγιστη ημερήσια 8ωρη τιμή	120	Δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 25 φορές το χρόνο για διάστημα 3 ετών
Όριο ενημέρωσης	Ωραία τιμή	180	
Όριο συναγερμού	Ωραία τιμή	240	

Βενζόλιο

Περίοδος μέσου όρου	Τιμή ορίου (μg/m ³)
Ημερολογιακό έτος	5
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70% της οριακής τιμής (3.5 μg/m ³)
Κατώτερο όριο εκτίμησης	40% της οριακής τιμής (2 μg/m ³)

PM₁₀

Περίοδος μέσου όρου	Τιμή ορίου (μg/m ³)	Περιορισμοί
1 ημέρα	50	Να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές το χρόνο
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70% της ημερήσιας οριακής τιμής (35 μg/m ³)	
Κατώτερο όριο εκτίμησης	50% της ημερήσιας οριακής τιμής (25 μg/m ³)	
Ημερολογιακό έτος	40	
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70% της ημερήσιας οριακής τιμής (28 μg/m ³)	
Κατώτερο όριο εκτίμησης	50% της ημερήσιας οριακής τιμής (20 μg/m ³)	

PM_{2.5}

Περίοδος μέσου όρου	Τιμή ορίου (μg/m ³)	Περιορισμοί
Ημερολογιακό έτος	25	-
	20	Ενδεικτική οριακή τιμή προς επίτευξη την 1.1.2020
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70% της ημερήσιας οριακής τιμής (17 μg/m ³)	
Κατώτερο όριο εκτίμησης	50% της ημερήσιας οριακής τιμής (12 μg/m ³)	