



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΕΡΕΥΝΑΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
«ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ»

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ Π.5

«Παρακολούθηση ποιότητας ατμόσφαιρας με εκπόνηση εξειδικευμένων χημικών αναλύσεων και χρήση υπολογιστικών εργαλείων προσομοίωσης διασποράς ρύπων και συνεισφοράς πηγών ρύπανσης στην ευρύτερη περιοχή των Δήμων Δραπετσώνας-Κερατσινίου και Ελευσίνας»

Υπολογισμός διασποράς αέριων ρύπων από βιομηχανική μονάδα υπό διαφορετικές μετεωρολογικές συνθήκες.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ



15 Σεπτεμβρίου 2020

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
2. ΧΩΡΙΚΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΟΣΜΗΡΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ	6
2.1 Η υπολογιστική μεθοδολογία του μοντέλου ατμοσφαιρικής διασποράς ρύπων	6
2.2 Εφαρμογή του μοντέλου ατμοσφαιρικής διασποράς στα πειραματικά δεδομένα	6
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΡΥΠΩΝ¹⁴	
3.1 Δραπετσώνα - Κερατσίνι	14
3.2 Ελευσίνα	16
4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ	19
4.1 Τοπογραφία και προσομοίωση της περιοχής	20
4.2 Μετεωρολογία	21
4.3 Ο υπολογιστικός κώδικας διασποράς	24
4.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά απαγωγού	24
4.5 Αποτελέσματα μοντέλου διασποράς - συμπεράσματα	25
5. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	29
5.1 Δραπετσώνα - Κερατσίνι	29
5.2 Ελευσίνα	36
6. ΣΥΝΟΨΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ	43
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	46

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο πλαίσιο υλοποίησης του έργου «**Παρακολούθηση ποιότητας ατμόσφαιρας με εκπόνηση εξειδικευμένων χημικών αναλύσεων και χρήση υπολογιστικών εργαλείων προσομοίωσης διασποράς ρύπων και συνεισφοράς πηγών ρύπανσης στην ευρύτερη περιοχή των Δήμων Δραπετσώνας-Κερατσινίου και Ελευσίνας**» διεξήχθησαν μετρήσεις ποιότητας αέρα σε 5 σημεία στην περιοχή του δήμου Δραπετσώνας-Κερατσινίου και 4 σημεία στην περιοχή του δήμου Ελευσίνας. Η δειγματοληπτική περίοδος ορίστηκε από Φεβρουάριο έως Οκτώβριο 2019. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις Αιωρούμενης Σωματιδιακής Ύλης ($PM_{2,5}$), Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (οσμηρών και μη οσμηρών) Διοξειδίου του Θείου (SO_2), Μονοξειδίου του Άνθρακα (CO), Διοξειδίου του Αζώτου (NO_2). Τα δείγματα της σωματιδιακής ύλης $PM_{2,5}$ υποβλήθηκαν σε περαιτέρω χημική ανάλυση για τον προσδιορισμό της χημικής τους σύστασης ως προς τα ιόντα (ανιόντα και κατιόντα), στοιχειακό και οργανικό άνθρακα (EC/OC), βαρέα μέταλλα και πολυαρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAHs). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων και των χημικών αναλύσεων παρουσιάζονται στο παραδοτέο Π.3. Στο παραδοτέο (Π.4) παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου αποδέκτη (receptor model), Positive Matrix Factorization (PMF) με σκοπό την ανίχνευση των πηγών των μετρούμενων ρύπων και την εκτίμηση της συνεισφοράς τους στις υπό μελέτη περιοχές.

Στο παρόν παραδοτέο (Π.5) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των μοντέλων ατμοσφαιρικής διασποράς α) DIPCOΤ με σκοπό τον χωρικό εντοπισμό των πηγών εκπομπής οσμηρών ουσιών στις υπό μελέτη περιοχές. Στο μοντέλο εισήχθησαν τα αποτελέσματα μετρήσεων των οργανικών ενώσεων από τα 4 σημεία δειγματοληψίας στον Δήμο Δραπετσώνας-Κερατσινίου (Εικόνα 1.1.) και τα 3 σημεία στον Δήμο Ελευσίνας (Εικόνα 1.2) και περιγράφονται στον πίνακα 1.1. β) WRF, HYSPLIT του Εργαστηρίου Περιβαλλοντικών Ερευνών (ΕΠΕΡ) του ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ». Πραγματοποιήθηκε μοντελοποίηση για την περίπτωση της λειτουργίας απαγωγού βιομηχανίας, που επέλεξε η Περιφέρεια Αττικής με βάση τα

αποτελέσματα των Παραδοτέων Π.3 και Π.4 που αφορούν στον χωρικό προσδιορισμό εντοπισμού πηγών οσμηρών ενώσεων. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των απαγωγών και οι τιμές των εκπομπών των καυσαερίων παραχωρήθηκαν από την Περιφέρεια Αττικής σύμφωνα με τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για λογαριασμό της βιομηχανίας από Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Τα απαιτούμενα μετεωρολογικά δεδομένα ανακτήθηκαν από το ΕΠΕΡ. Η τοπογραφία των περιοχών εξήχθη από το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών του ΕΠΕΡ.

Πίνακας 1.1: Σημεία Δειγματοληψίας

Κωδικός Σημείου Δειγματοληψίας	Χαρακτηριστικά Σημείου Δειγματοληψίας	Περιοχή	Συντεταγμένες	
			X	Y
ΔΚ 1	2ο Δημοτικό Σχολείο Δραπετσώνας	Δραπετσώνα	37° 56' 57" B	23° 37' 25" A
ΔΚ 2	4ο ΓΕΛ Κερατσινίου	Κερατσίνι	37° 57' 2" B	23° 36' 41" A
ΔΚ 3 (Υπόβαθρο)	1ο Ενιαίο Λύκειο Κερατσινίου	Κερατσίνι	37° 58' 6" B	23° 36' 37" A
ΔΚ 4	Οικίσκος Μετρήσεων Ατμοσφαιρικών Ρύπων (Δήμος ΚΔ) – Ζώνη Ανάπλασης	Κερατσίνι	37° 56' 48" B	23° 36' 58" A
ΔΚ 5	(Γέφυρα)	Κερατσίνι	37° 56' 55" B	23° 37' 3" A
Ε 1	3ο Δημοτικό Σχολείο Μάνδρας	Ελευσίνα (Μάνδρα)	38° 3' 7" B	23° 31' 35" A
Ε 2	4ο Δημοτικό	Ελευσίνα	38° 3' 10" B	23° 31' 51"

	Σχολείο Ελευσίνας			A
Ε 3 (Υπόβαθρο)	7ο Δημοτικό Σχολείο Ελευσίνας	Ελευσίνα	38° 2' 26" Β	23° 32' 4" Α
Ε4	Πλησίον ΕΛΠΕ	Ελευσίνα	38° 2' 33,22" Β	23° 30' 24,16" Α



Εικόνα 1.1: Χωρική απεικόνιση σημείων δειγματοληψίας διάχυτων στον Δήμο Δραπετσώνας – Κερατσινίου (ΔΚ1, ΔΚ2, ΔΚ3, ΔΚ4, ΔΚ5).



Εικόνα 1.2: Χωρική απεικόνιση σημείων δειγματοληψίας διάχυτων στον Δήμο Ελευσίνας (Ε1, Ε2, Ε3, Ε4).

2. ΧΩΡΙΚΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΟΣΜΗΡΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ

2.1 Η υπολογιστική μεθοδολογία του μοντέλου ατμοσφαιρικής διασποράς ρύπων

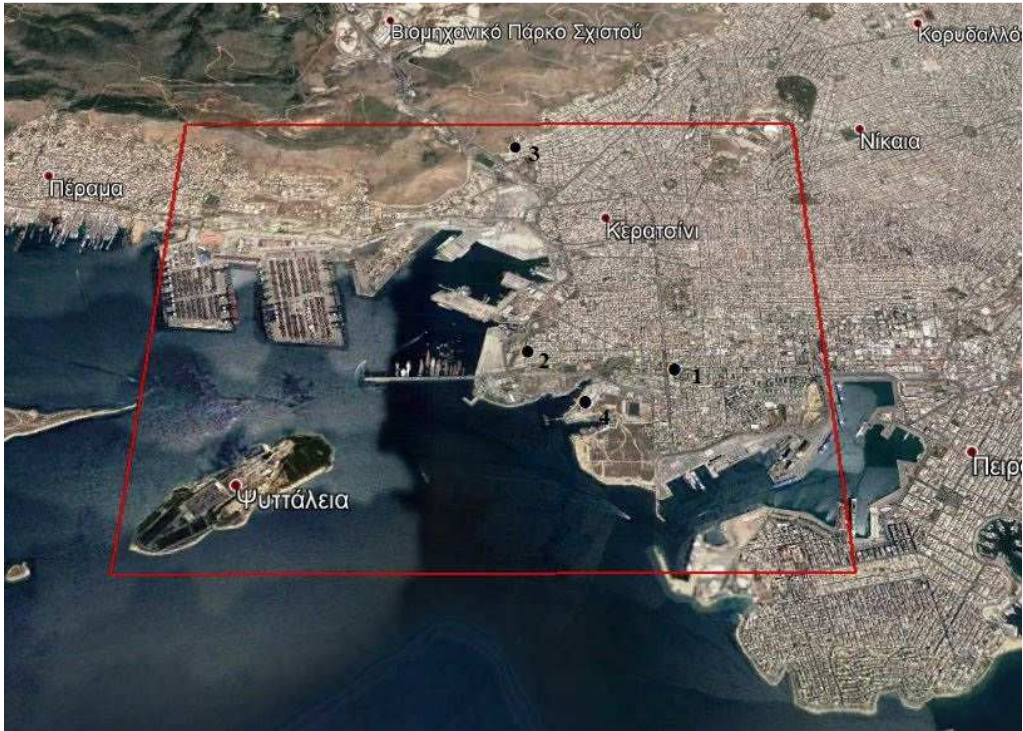
Σκοπός της εργασίας είναι ο χωρικός εντοπισμός των πηγών εκπομπής οσμηρών ουσιών με βάση τα δεδομένα που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν από 4/3/2019 έως 27/9/2019 στην ευρύτερη περιοχή της Δραπετσώνας και 25/2/2019 έως 9/10/2019 στην ευρύτερη περιοχή της Ελευσίνας.

Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το μοντέλο DIPCOT το οποίο έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Ερευνών του ΙΠΡΕΤΕΑ του ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος». Το DIPCOT είναι μοντέλο ατμοσφαιρικής διασποράς τύπου Lagrange το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διασπορά σε περίπλοκη τοπογραφία υπό χωρικά- και χρονικά- μεταβαλλόμενες μετεωρολογικές συνθήκες, αλλά περιέχει και επιλογή χρήσης ως απλούστερο Γκαουσιανό μοντέλο. Η τελευταία αυτή επιλογή χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία. Η θεωρία της μεθοδολογίας παρουσιάζεται στις αναφορές Kovalets et al. (2011), Efthimiou et al. (2017), Kovalets et al. (2018) και Efthimiou et al. (2018). Η μεθοδολογία χρησιμοποιεί τις υπάρχουσες μετρήσεις συγκεντρώσεων αερίων ρύπων σε συνδυασμό με αποτελέσματα μοντέλου ατμοσφαιρικής διασποράς.

2.2 Εφαρμογή του μοντέλου ατμοσφαιρικής διασποράς στα πειραματικά δεδομένα

Αρχικά οριοθετείται γεωγραφικά η περιοχή ενδιαφέροντος και ορίζεται το πεδίο υπολογισμών (computational domain). Το πεδίο περιλαμβάνει τα σημεία όπου έγιναν οι μετρήσεις συγκέντρωσης ατμοσφαιρικών ρύπων και τις περιοχές όπου βρίσκονται οι πιθανές πηγές των ρύπων. Στην Εικόνα 2.1 παρουσιάζεται το πεδίο υπολογισμού που ορίστηκε για την περίπτωση της Δραπετσώνας. Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται οι συντεταγμένες των άκρων

του πεδίου υπολογισμού και οι διαστάσεις του, και στον Πίνακα 2.2 οι συντεταγμένες των σημείων μέτρησης. Αντίστοιχα η Εικόνα 2.2 και οι Πίνακες 2.3 και 2.4 αναφέρονται στην περίπτωση της Ελευσίνας.



Εικόνα 2.1: Πεδίο υπολογισμών και σημεία μέτρησης αερίων ρύπων για την περίπτωση της Δραπετσώνας

Πίνακας 2.1: Οριοθέτηση υπολογιστικού πεδίου για την Δραπετσώνα-Κερατσίνι

Άκρο του υπολογιστικού πεδίου	Συντεταγμένη Χ (m)	Συντεταγμένη Υ (m)
Νοτιοδυτικό	462,900	4,198,400
Βορειοδυτικό	462,900	4,202,400
Βορειοανατολικό	467,900	4,202,400
Νοτιοανατολικό	467,900	4,198,400

Διάσταση κατά άξονα Χ (Δύση – Ανατολή) : 5000 m

Διάσταση κατά άξονα Υ (Νότος – Βορράς) : 4000 m

Πίνακας 2.2: Συντεταγμένες σημείων μέτρησης για την Δραπετσώνα-Κερατσίνι

ID	Γεωγρ. Πλάτος	Γεωγρ. Μήκος	Όνομα	Συν/νη Χ (m)	Συν/νη Υ (m)
1	37.94917	23.62361	2 ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΣΧΟΛΕΙΟ ΔΡΑΠΕΤΣΩΝΑΣ	466,781.48	4,199,953.83
2	37.95056	23.61139	4 ΓΕΛ ΚΕΡΑΤΣΙΝΙΟΥ	465,708.29	4,200,112.34
3	37.96833	23.61028	1 ΕΝΙΑΙΟ ΛΥΚΕΙΟ ΚΕΡΑΤΣΙΝΙΟΥ	465,618.93	4,202,085.24
4	37.94667	23.61611	ΖΩΝΗ ΑΝΑΠΛΑΣΗΣ	466,121.40	4,199,679.14
5	37.94861	23.6175	ΓΕΦΥΡΑ	466,244.31	4,199,894.38



Εικόνα 2.2: Πεδίο υπολογισμών και σημεία μέτρησης αερίων ρύπων για την περίπτωση της Ελευσίνας

Πίνακας 2.3: Οριοθέτηση υπολογιστικού πεδίου για την Ελευσίνα

Άκρο του υπολογιστικού πεδίου	Συντεταγμένη Χ (m)	Συντεταγμένη Υ (m)
Νοτιοδυτικό	456,000	4,208,800
Βορειοδυτικό	456,000	4,213,800
Βορειοανατολικό	462,500	4,213,800
Νοτιοανατολικό	462,500	4,208,800
Διάσταση κατά άξονα Χ (Δύση – Ανατολή) : 6500 m		
Διάσταση κατά άξονα Υ (Νότος – Βοράς) : 5000 m		

Πίνακας 2.4: Συντεταγμένες σημείων μέτρησης για την Ελευσίνα

I D	Γεωγρ. Πλάτος	Γεωγρ. Μήκος	COD E	Όνομα	Συν/νη X (m)	Συν/νη Y (m)
1	23.52639	38.05194	E1	3 ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΣΧΟΛΕΙΟ ΜΑΝΔΡΑΣ	458,297.6 7	4,211,396.3 1
2	23.53083	38.05278	E2	4 ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΣΧΟΛΕΙΟ ΕΛΕΥΣΙΝΑΣ	458,688.0 8	4,211,486.8 7
3	23.54776	38.04077	E3	7 ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΣΧΟΛΕΙΟ ΜΑΝΔΡΑΣ	460,166.7 6	4,210,146.7 9
4	23.50671	38.04256	E4	ΠΛΗΣΙΟΝ ΕΛ.ΠΕ.	456,565.6 9	4,210,364.2 0

Στη συνέχεια το υπολογιστικό πεδίο διακριτοποιείται χωρικά. Χρησιμοποιήθηκε χωρικό βήμα 20 m και στις δύο περιπτώσεις (Δραπετσώνα-Κερατσίνι και Ελευσίνα). Με βάση τις διαστάσεις που παρουσιάζονται στους Πίνακες 2.1 και 2.3, το υπολογιστικό πλέγμα για την περίπτωση της Δραπετσώνας απαρτίζεται από 250 «κελιά» κατά τον άξονα X (Δύση – Ανατολή) επί 200 «κελιά» κατά τον άξονα Y (Νότος – Βορράς), ενώ το υπολογιστικό πλέγμα για την περίπτωση της Ελευσίνας απαρτίζεται από 325 «κελιά» κατά τον άξονα X (Δύση – Ανατολή) επί 250 «κελιά» κατά τον άξονα Y (Νότος – Βορράς). Η θέση πάνω

στο υπολογιστικό πλέγμα χαρακτηρίζεται από τους δείκτες (i, j) , όπου i είναι ο δείκτης του κελιού στον άξονα X και j ο δείκτης του κελιού στον άξονα Y .

Σύμφωνα με τους Efthimiou et al. (2017), Kovalets et al. (2018) και Efthimiou et al. (2018), η μέθοδος εντοπισμού της θέσης της πηγής των αερίων ρύπων βασίζεται στον υπολογισμό της τιμής μιας συνάρτησης συντελεστή συσχέτισης σε κάθε σημείο (i, j) του υπολογιστικού πλέγματος. Η συνάρτηση περιέχει τις τιμές συγκέντρωσης που υπολογίζονται από μοντέλο ατμοσφαιρικής διασποράς και τις τιμές συγκέντρωσης που μετρήθηκαν. Η μορφή της συνάρτησης συντελεστή συσχέτισης είναι η ακόλουθη:

$$J(i, j) = \frac{\langle C_{(i,j)}^c - \langle C_{(i,j)}^c \rangle \rangle (C^o - \langle C^o \rangle)}{[\langle (C_{(i,j)}^c - \langle C_{(i,j)}^c \rangle)^2 \rangle]^{1/2} [(C^o - \langle C^o \rangle)^2]^{1/2}} \quad (1)$$

Η μέση τιμή $\langle \rangle$ υπολογίζεται για όλες τις υπάρχουσες μετρήσεις σε όλες τις θέσεις μέτρησης. $C_{(i,j)}^c$ είναι οι συγκεντρώσεις που υπολογίζονται από το μοντέλο ατμοσφαιρικής διασποράς όταν η πηγή του ρύπου βρίσκεται στη θέση (i, j) του υπολογιστικού πλέγματος και C^o είναι οι συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν.

Η συνάρτηση (1) παρουσιάζει το σημαντικό αποτέλεσμα ότι απεμπλέκει τη διαδικασία εντοπισμού της πηγής του ρύπου από τη διαδικασία υπολογισμού της έντασης της πηγής (ρυθμός έκλυσης ρύπου από την πηγή), η οποία είναι επίσης άγνωστη. Αυτό εξηγείται στη συνέχεια. Οι συγκεντρώσεις C^c που υπολογίζονται από το μοντέλο διασποράς εξαρτώνται από την ένταση της πηγής που θεωρείται στο μοντέλο διασποράς και από τις μετεωρολογικές συνθήκες (π.χ. ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου). Η εξάρτηση της συγκέντρωσης από την ένταση της πηγής για ένα ρύπο «παθητικό» (δηλαδή που απλώς μεταφέρεται από το πεδίο ροής του ανέμου και δεν το επηρεάζει) και χημικά αδρανή είναι γραμμική. Δηλαδή στην συνάρτηση (1) οι συγκεντρώσεις που υπολογίζονται από το μοντέλο ατμοσφαιρικής διασποράς μπορούν να εκφραστούν ως $C^c = a \cdot Q$, όπου Q είναι η ένταση της πηγής του

ρύπου και a είναι συγκεντρωτικά όλοι οι παράγοντες που εισέρχονται στο μοντέλο διασποράς (όπως οι μετεωρολογικές συνθήκες). Είναι φανερό ότι η ένταση Q της πηγής απαλείφεται στη συνάρτηση (1). Επομένως η συνάρτηση (1) για μετρήσεις συγκέντρωσης που έχουν ληφθεί υπό τις ίδιες μετεωρολογικές συνθήκες δεν εξαρτάται από την ένταση της πηγής η οποία λαμβάνεται υπόψη κατά τους υπολογισμούς του μοντέλου ατμοσφαιρικής διασποράς.

Από τη θεωρία που παρουσιάζεται στις αναφορές Kovalets et al. (2011), Efthimiou et al. (2017), Kovalets et al. (2018) και Efthimiou et al. (2018), ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$C_{n,(i,j)}^c = C_n^*(i,j) \quad (2)$$

Δηλαδή η συγκέντρωση $C_{n,(i,j)}^c$ που θα υπολογιζόταν από το μοντέλο διασποράς στη θέση του αισθητήρα n αν η πηγή εκπομπής του ρύπου βρισκόταν στη θέση (i,j) του πλέγματος ισούται με τη συγκέντρωση $C_n^*(i,j)$ που υπολογίζεται από το μοντέλο «αντίστροφης» διασποράς στη θέση (i,j) αν η πηγή βρίσκεται στη θέση του αισθητήρα n . Το μοντέλο αντίστροφης διασποράς λειτουργεί για την περίπτωση κάθε μέτρησης ρύπου αντιστρέφοντας τη διεύθυνση του ανέμου και θέτοντας την πηγή εκπομπής του ρύπου στη θέση του αισθητήρα όπου έγινε η μέτρηση.

Η σχέση (2) μας δίνει τη δυνατότητα να περιορίσουμε κατά πολύ τον αριθμό των «τρέξιμάτων» του μοντέλου διασποράς και επομένως τον απαιτούμενο χρόνο για τον υπολογισμό της συνάρτησης (1). Αντί δηλαδή να χρειάζεται να τρέξουμε το μοντέλο ατμοσφαιρικής διασποράς τοποθετώντας κάθε φορά την πηγή εκπομπής ρύπου σε κάθε κελί (i,j) , τρέχουμε το μοντέλο διασποράς αντιστρέφοντας τη διεύθυνση του ανέμου και τοποθετώντας την πηγή του ρύπου στη θέση του κάθε αισθητήρα μέτρησης, οι οποίοι είναι φυσικά πολύ λιγότεροι από τα κελιά του υπολογιστικού πεδίου. Η συνάρτηση (1) γράφεται επομένως λαμβάνοντας υπόψη την σχέση (2):

$$J(i,j) = \frac{\langle (C^*(i,j) - \langle C^*(i,j) \rangle) (C^o - \langle C^o \rangle) \rangle}{[\langle (C^*(i,j) - \langle C^*(i,j) \rangle)^2 \rangle]^{1/2} [\langle (C^o - \langle C^o \rangle)^2 \rangle]^{1/2}} \quad (3)$$

Στην (3) η μέση τιμή $\langle \quad \rangle$ υπολογίζεται για όλες τις υπάρχουσες μετρήσεις σε όλες τις θέσεις μέτρησης. Η συνάρτηση (3) χρησιμοποιήθηκε για τους σκοπούς της εργασίας αυτής.

Για κάθε θέση μέτρησης και για κάθε διεύθυνση ανέμου για την οποία πραγματοποιήθηκε μέτρηση έτρεξε μοντέλο ατμοσφαιρικής διασποράς αντιστρέφοντας την διεύθυνση του ανέμου και τοποθετώντας μια υποθετική σημειακή πηγή ρύπου στη θέση όπου έγινε η μέτρηση. Έτσι υπολογίστηκαν οι «συγκεντρώσεις» $C^*(i,j)$ που υπεισέρχονται στην συνάρτηση (3) για όλα τα κελιά του υπολογιστικού πεδίου. Επειδή οι μετρήσεις συγκέντρωσης οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν (C^o στην εξίσωση (3)) έγιναν υπό διαφορετικές διευθύνσεις ανέμου, η ένταση της υποθετικής πηγής που τοποθετήθηκε στη θέση της κάθε μέτρησης θεωρείται ανάλογη με την τιμή της εκάστοτε μέτρησης. Έτσι θεωρήθηκε ότι η ένταση της υποθετικής πηγής είχε σε κάθε περίπτωση την αριθμητική τιμή της συγκέντρωσης που μετρήθηκε, εκφρασμένη σε $\mu\text{g/s}$. Με τον τρόπο αυτό αναμένεται να υπάρχει μια πιο συνεπής συσχέτιση μεταξύ των C^* και C^o στην εξίσωση (3).

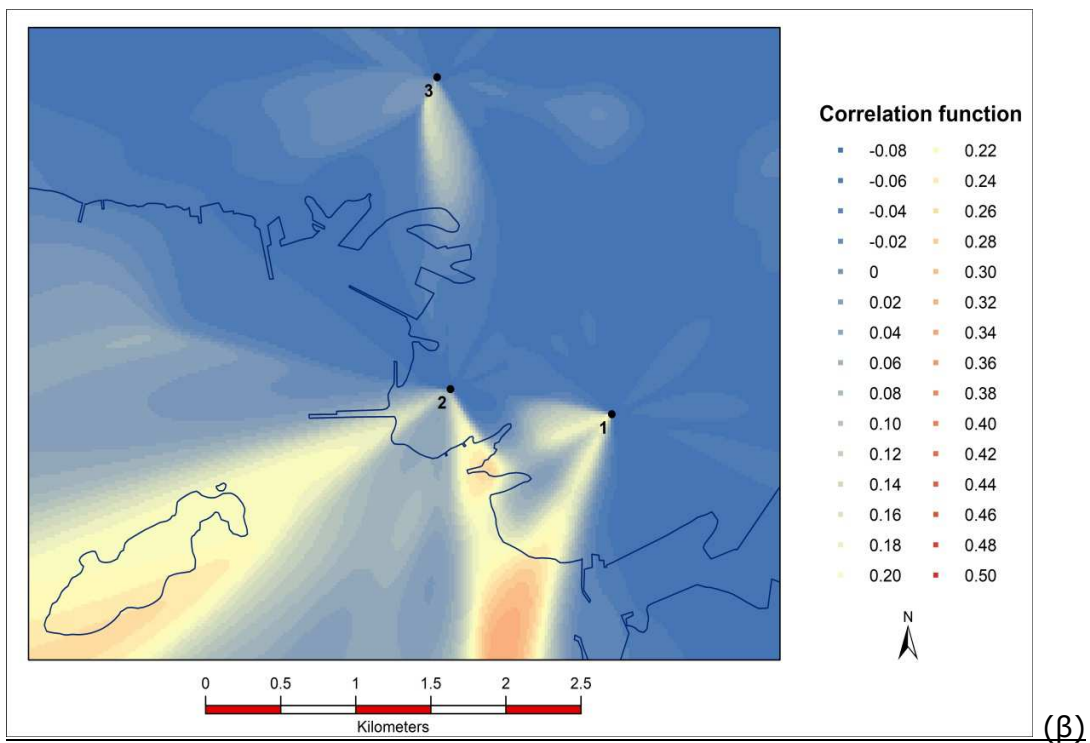
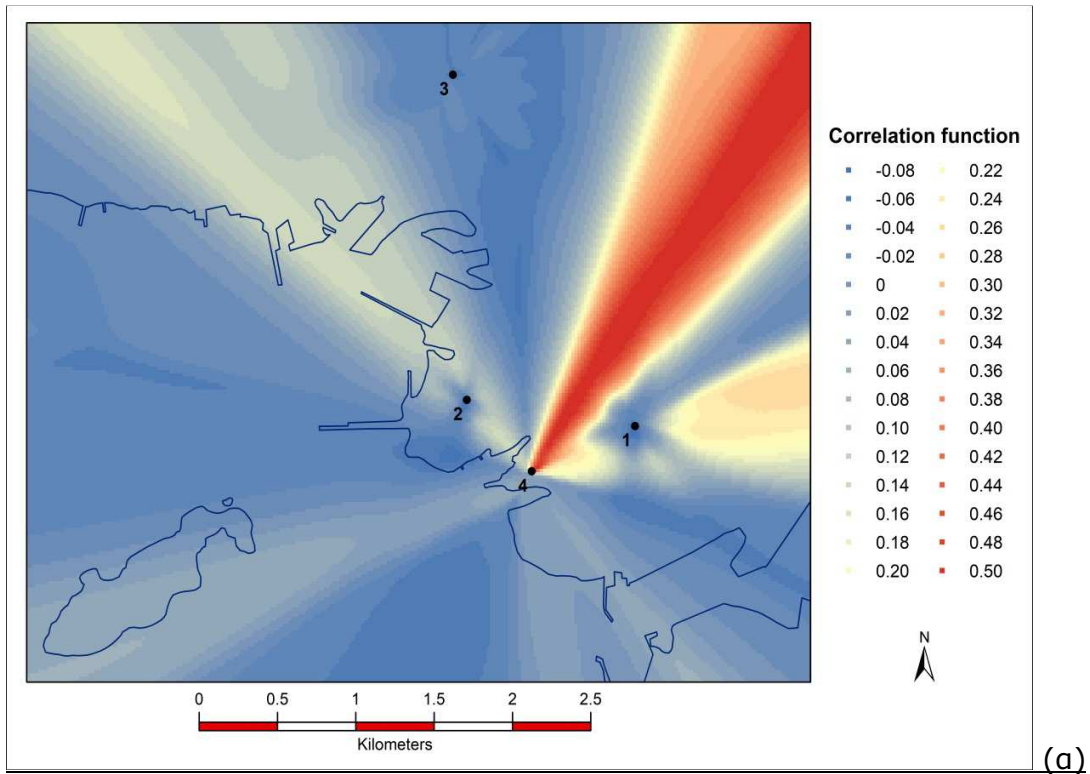
Λόγω του μικρού σχετικά μεγέθους των υπολογιστικών πεδίων έγινε η υπόθεση ότι το πεδίο ροής του ανέμου για κάθε μέτρηση συγκέντρωσης έχει περίπου σταθερή διεύθυνση εντός του υπολογιστικού πεδίου. Επίσης θεωρήθηκε ότι η διεύθυνση του ανέμου δεν αλλάζει κατά τη διάρκεια της κάθε μέτρησης και μπορεί να θεωρηθεί σταθερή και στο διάστημα μεταφοράς του ρύπου από την πηγή του έως τον αισθητήρα. Τέλος θεωρήθηκε ότι σε κάθε μέτρηση το νέφος του ρύπου από την πηγή έως τον αισθητήρα βρίσκεται σε μια χρονικά σταθερή κατάσταση (steady-state plume). Με βάση τις παραπάνω υποθέσεις θεωρήθηκε ότι είναι κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί ως μοντέλο ατμοσφαιρικής διασποράς ένα μοντέλο τύπου Gauss.

Με βάση τις υπολογισμένες συγκεντρώσεις C^* και τις μετρήσεις C^o υπολογίστηκαν οι τιμές της συνάρτησης (3) σε κάθε θέση (i, j) του υπολογιστικού πεδίου. Χρησιμοποιήθηκαν όλες οι περιπτώσεις μετρήσεων οσμηρών θειούχων ενώσεων σε όλες τις θέσεις μέτρησης με τις αντίστοιχες μετρήσεις διεύθυνσης και ταχύτητας ανέμου. Για την περιοχή της Δραπετσώνας-Κερατσινίου εξαιρέθηκαν οι μετρήσεις στη θέση 5 (Εικόνα 2.1 και Πίνακας 2.1 – «Γέφυρα») λόγω της ιδιομορφίας της τοποθεσίας και της επακόλουθης μη αντιπροσωπευτικότητας των μετρήσεων διεύθυνσης και ταχύτητας ανέμου. Οι εκτιμώμενες πιθανές θέσεις της / των πηγών ρύπων είναι οι περιοχές όπου η συνάρτηση συντελεστή συσχέτισης (3) παρουσιάζει μέγιστα.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΡΥΠΩΝ

3.1. Δραπετσώνα - Κερατσίνι

Τα αποτελέσματα για την περιοχή της Δραπετσώνας παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.1, όπου απεικονίζονται οι τιμές της συνάρτησης συντελεστή συσχέτισης (3) με τη μορφή ισοπληθών καμπυλών (contour plots) τοποθετημένων πάνω στους χάρτες των αντίστοιχων περιοχών.



Εικόνα 3.1: Γραφική απεικόνιση των τιμών της συνάρτησης συντελεστή συσχέτισης για την περιοχή της Δραπετσώνας (α) λαμβάνοντας υπόψη τις

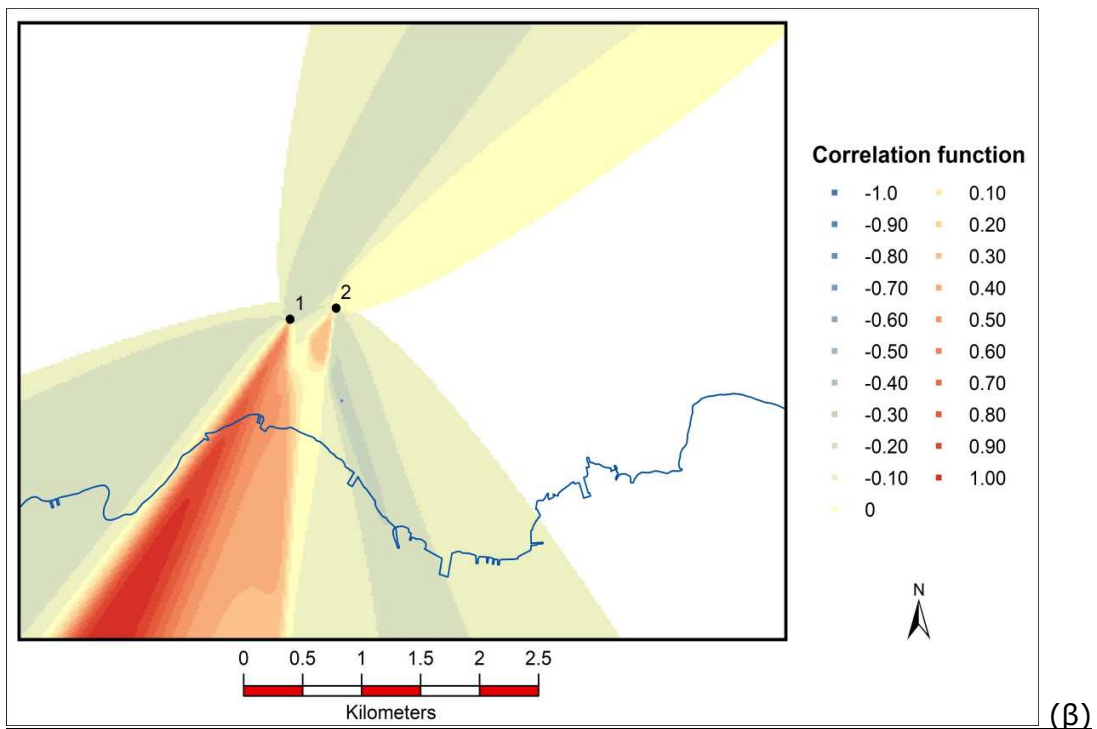
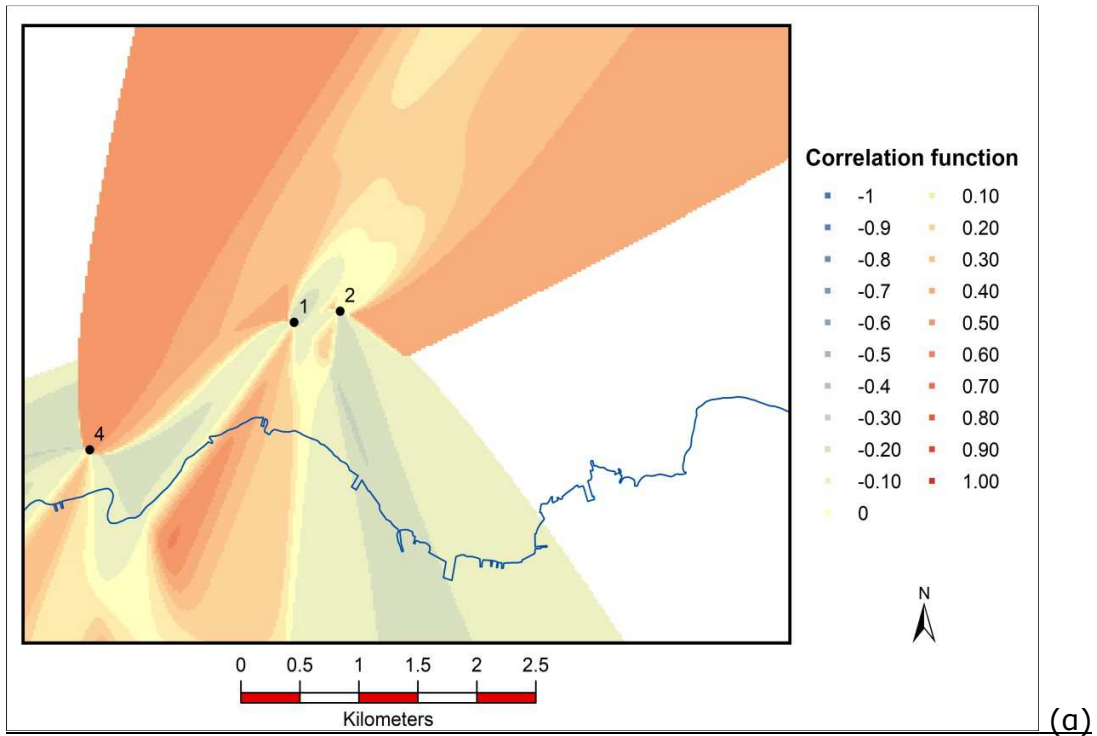
θέσεις μέτρησης 1, 2, 3 και 4, (β) λαμβάνοντας υπόψη τις θέσεις μέτρησης 1, 2 και 3

Για την περιοχή της Δραπετσώνας διαπιστώνεται από την Εικόνα 3.1(α) ότι οι πιθανότερες θέσεις της/των πηγών οσμηρών ρύπων εντοπίζονται σε περιοχή κοντά στη θέση μέτρησης 4 και εκτείνεται στα Βόρεια και Βορειοανατολικά της. Επισημαίνεται ότι οι τιμές συγκέντρωσης οσμηρών ρύπων στη θέση 4 υπό Β-ΒΑ ανέμους ήταν οι υψηλότερες που μετρήθηκαν. Επίσης διαπιστώνεται από την Εικόνα 3.1(α) η ασθενέστερη επίδραση πιθανών πηγών οσμηρών ρύπων στα βορειοδυτικά και στα ανατολικά της θέσης μέτρησης 4.

Στην Εικόνα 3.1(β) απεικονίζεται ο συντελεστής συσχέτισης για την περιοχή της Δραπετσώνας-Κερατσινίου για τα στοιχεία (αποτελέσματα αντίστροφου μοντέλου και μετρήσεις) των θέσεων μέτρησης 1, 2 και 3. Από την Εικόνα 3.1(β) φαίνεται ότι οι συγκεντρώσεις οσμηρών στη θέση 1 επηρεάζονται από πηγές που βρίσκονται στα δυτικά της και στα νότια-νοτιοδυτικά της. Οι συγκεντρώσεις οσμηρών στη θέση 2 επηρεάζονται από πιθανές πηγές ευρισκόμενες στα Νότιο-Νοτιοανατολικά (παράκτιο μέτωπο) αλλά και στα Δυτικά – Νοτιοδυτικά (θαλάσσιο χώρο). Οι τελευταίες είναι πιο ασθενείς όπως δείχνουν οι σχετικά χαμηλές τιμές του συντελεστή συσχέτισης, αλλά υπαρκτές.

3.2 Ελευσίνα

Τα αποτελέσματα για την περιοχή της Ελευσίνας παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.2, όπου απεικονίζονται οι τιμές της συνάρτησης συντελεστή συσχέτισης (3) με τη μορφή ισοπληθών καμπυλών (contour plots) τοποθετημένων πάνω στους χάρτες των αντίστοιχων περιοχών.



Εικόνα 3.2: Γραφική απεικόνιση των τιμών της συνάρτησης συντελεστή συσχέτισης για την περιοχή της Ελευσίνας (α) λαμβάνοντας υπόψη τις θέσεις μέτρησης 1, 2 και 4, (β) λαμβάνοντας υπόψη τις θέσεις μέτρησης 1 και 2

Για την περιοχή της Ελευσίνας από την Εικόνα 3.2(α) διαπιστώνεται ότι οι πιθανότερες θέσεις των πηγών οσμηρών ρύπων εντοπίζονται αφενός σε μια περιοχή Νοτιοανατολικά της θέσης μέτρησης E4 και Νοτιοδυτικά των θέσεων E1 και E2, αφετέρου Βόρεια – Βορειοανατολικά της θέσης E4. Ελλείψει άλλων θέσεων μέτρησης στα βόρεια της θέσης E4, η δεύτερη περιοχή δεν είναι δυνατό να οριοθετηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια. Διαπιστώνεται επίσης η πιθανή ύπαρξη πηγών εκπομπής οσμηρών ρύπων σε περιοχή που εκτείνεται Βορειοανατολικά της θέσης μέτρησης E2. Οι πηγές αυτές φαίνεται ότι επηρεάζουν ασθενέστερα την περιοχή ενδιαφέροντος.

Στην Εικόνα 3.2(β) απεικονίζεται ο συντελεστής συσχέτισης για την περιοχή της Ελευσίνας για τα στοιχεία (αποτελέσματα αντίστροφου μοντέλου και μετρήσεις) των θέσεων μέτρησης E1 και E2. Διαπιστώνεται ότι στις θέσεις αυτές (και ισχυρότερα στη θέση E1) οι συγκεντρώσεις οσμηρών ρύπων επηρεάζονται μόνο από πηγές που βρίσκονται στα νοτιοδυτικά τους. Σημειώνεται επίσης ότι ο συντελεστής συσχέτισης έχει υψηλότερες μέγιστες τιμές στην Εικόνα 3.2(β) από ό,τι στην 3.2(α) το οποίο δείχνει ότι υπάρχει υψηλότερη συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων και υπολογισμένων συγκεντρώσεων στις θέσεις E1 και E2.

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

Σύμφωνα με την περιγραφή της Δράσης 4 της Προγραμματικής Σύμβασης: «..στα πλαίσια υλοποίησης του παραδοτέου θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό προσομοίωσης μετεωρολογίας και διασποράς αερίων ρύπων (WRF, HYSPLIT). Προϋπόθεση υλοποίησης του παραδοτέου είναι η παροχή πληροφοριών από την Περιφέρεια σε στοιχεία που αφορούν στα τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας, στις τιμές των εκπομπών των καυσαερίων και γενικά στις πληροφορίες για τη θέση, τη λειτουργία και το καύσιμο της βιομηχανίας». Με βάση τα αποτελέσματα χωρικού προσδιορισμού των πηγών οσμηρών πτητικών οργανικών ενώσεων του προηγούμενου κεφαλαίου (Κεφ.3) αλλά και του Παραδοτέου Π.3 και Π.4, η Περιφέρεια Αττικής επέλεξε για εφαρμογή του μοντέλου διασποράς των πτητικών οργανικών ενώσεων βιομηχανική μονάδα που εντοπίζεται στην παραπάνω οριζόμενη περιοχή. Πιο συγκεκριμένα: α) για την περιοχή της Δραπετσώνας-Κερατσινίου επέλεξε για την μελέτη μοντελοποίησης ατμοσφαιρικής διασποράς (HYSPLIT), τη λειτουργία απαγωγού βιομηχανίας (OIL ONE) β) για την περιοχή της Ελευσίνας επέλεξε την εγκατάσταση των ΕΛΠΕ. Καθώς όμως και έτσι όπως προκύπτει από την περιβαλλοντική αδειοδότηση των ΕΛΠΕ Ελευσίνας, τα σημεία μέτρησης των πτητικών οργανικών ενώσεων δεν αντιστοιχούν σε σημειακές πηγές (καμινάδες) αλλά σε διάχυτους ρύπους, δεν έγινε χρήση του μοντέλου HYSPLIT.

Δεδομένα για τα τεχνικά χαρακτηριστικά των απαγωγών και τις τιμές των εκπομπών των καυσαερίων παραχωρήθηκαν από την Περιφέρεια Αττικής σύμφωνα με τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για λογαριασμό της βιομηχανίας από ιδιωτικό Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας. Καθώς όμως οι μετρήσεις στους απαγωγούς της μονάδας πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικές ημερομηνίες δεν ήταν δυνατή η πραγματοποίηση αθροιστικής μοντελοποίησης της διασποράς των ρύπων απ' όλη την μονάδα. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε μελέτη η οποία επικεντρώθηκε στην προσομοίωση μιας

συγκεκριμένης ημερομηνίας (4 Μαΐου 2017) για συγκεκριμένο απαγωγό (έξοδο φίλτρου No2 στο Upper Tank). Η επιλογή του συγκεκριμένου απαγωγού έγινε με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων από το ιδιωτικό Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας, όπου έδειξαν τη μέγιστη τιμή συγκεντρώσεων VOC σ' αυτόν τον απαγωγό ενώ είχαμε παράλληλα και ανέμους χαμηλής ταχύτητας που δεν ευνοούσαν την έντονη διασπορά του ρύπου (worst case scenario).

Στα πλαίσια της μελέτης χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία και το λογισμικό προσομοίωσης μετεωρολογίας και διασποράς αερίων ρύπων (WRF, HYSPLIT) του Εργαστηρίου Περιβαλλοντικών Ερευνών (ΕΠΕΡ) του ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ». Η μοντελοποίηση βασίζεται στις τεχνικές πληροφορίες που υπήρχαν διαθέσιμες. Πιο συγκεκριμένα, πληροφορίες για τη θέση της εγκατάστασης αντλήθηκαν από google maps. Στο πλαίσιο των εργασιών, πραγματοποιήθηκε αποκλειστική μοντελοποίηση για την περίπτωση της λειτουργίας του απαγωγού της βιομηχανίας στο υπολογιστικό πεδίο. Τα απαιτούμενα μετεωρολογικά δεδομένα ανακτήθηκαν από το ΕΠΕΡ. Η τοπογραφία των περιοχών εξήχθη από το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών του ΕΠΕΡ.

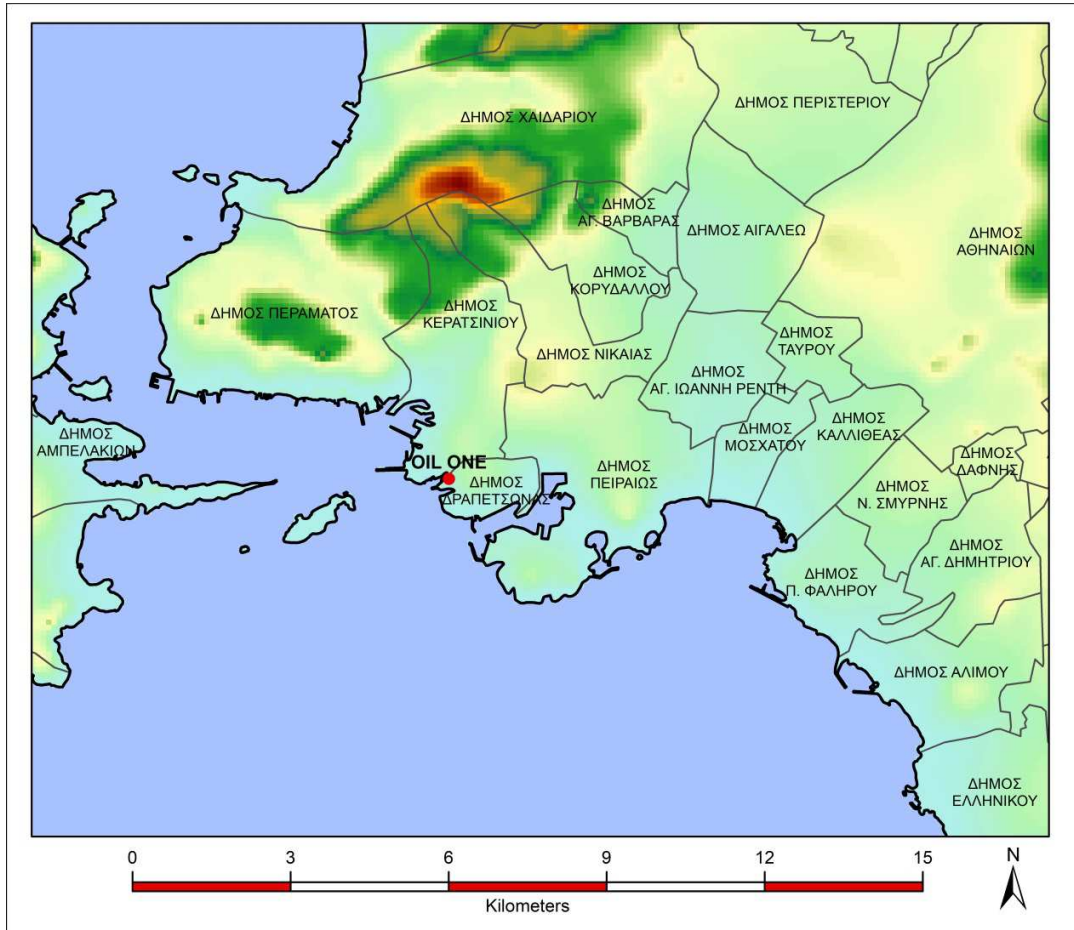
4.1 Τοπογραφία και προσομοίωση της περιοχής

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες της εγκατάστασης όπως ανακτήθηκαν από το google maps είναι οι ακόλουθες:

Πίνακας 1. Συντεταγμένες Κεντροβαρικού Σημείου της Εγκατάστασης (OILONE)

Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος
37°56'51	23°36'59

Αρχικά, οριοθετήθηκε η περιοχή (πεδίο) υπολογισμών για το μοντέλο διασποράς. Το μέγεθος του πεδίου ορίστηκε στα 20 km × 20 km, έτσι ώστε να συμπεριλαμβάνονται οι δήμοι της περιοχής. (Εικόνα 4.1).



Εικόνα 4.1. Τοπογραφικός χάρτης του πεδίου υπολογισμών. Με κόκκινο σημειώνεται η θέση του απαγωγού (OILONE).

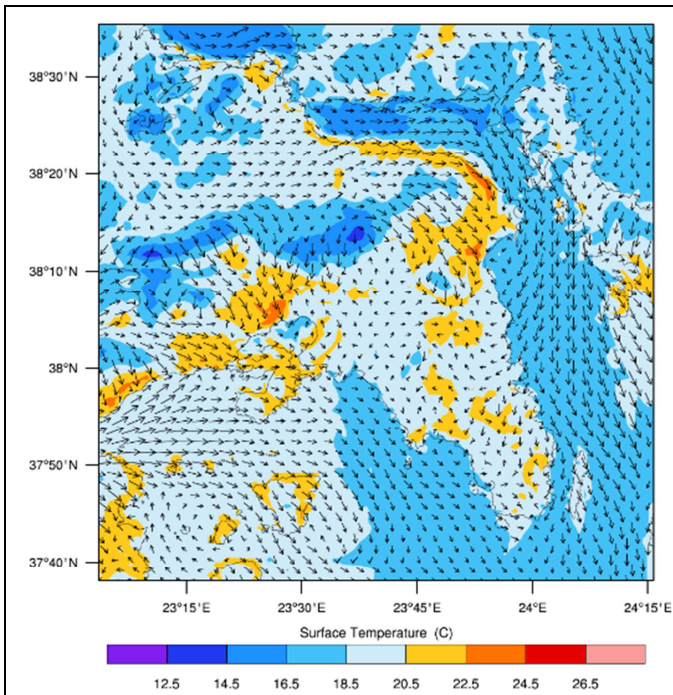
4.2 Μετεωρολογία

Για την προσομοίωση της μετεωρολογίας, τα αρχικά μετεωρολογικά στοιχεία (κατανομή κατά ύψος ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου, θερμοκρασίας και νεφοκάλυψης) ανακτήθηκαν από το European Centre for Medium-Range

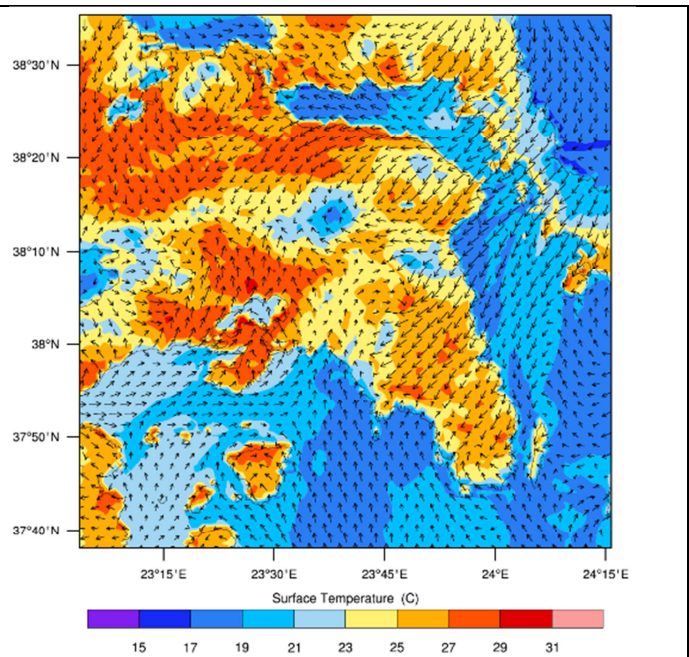
Weather Forecasts (ECMWF) ERA-5 climate re-analysis dataset¹, τα οποία διατίθενται σε 3-ωρη βάση. Από αυτά τα στοιχεία και χρησιμοποιώντας το προγνωστικό μετεωρολογικό μοντέλο μέσης κλίμακας Weather Research Forecast (WRF-ARW) version 3.6.1 (Skamarock et al., 2008), υπολογίστηκαν στο πεδίο υπολογισμών τα τρισδιάστατα πεδία (3-d) όλων των μετεωρολογικών μεταβλητών, σε οριζόντια διακριτική ικανότητα 1 km × 1 km. Σε όλα τα πεδία διαμορφώθηκαν 35 κατακόρυφα επίπεδα πίεσης (vertical levels up to 50 hPa). Τα τρισδιάστατα μετεωρολογικά πεδία υπολογίστηκαν με χρονική ανάλυση 1 ώρας. Ως παράδειγμα, οι Εικόνες 4.2, 4.3, 4.4 και 4.5 παρουσιάζουν τα υπολογισμένα με το WRF πεδία θερμοκρασιών και ανέμου κοντά στο έδαφος στις 06:00, 12:00, 18:00 και 24:00 της 4/5/2017, αντίστοιχα. Τα μετεωρολογικά πεδία χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια ως δεδομένα εισόδου στο μοντέλο διασποράς HYSPLIT.

Η προσομοίωση της μετεωρολογίας της συγκεκριμένης ημερομηνίας έδειξε ομαλό πεδίο σχετικά υψηλών πιέσεων να επικρατούν στην περιοχή με καλές καιρικές συνθήκες. Άνεμοι χαμηλής έντασης έπνεαν στην περιοχή ενδιαφέροντος από δυτικές- νοτιοδυτικές διευθύνσεις από τις πρωινές μέχρι τις μεσημεριανές ώρες, οι οποίες στρέφονται κυρίως σε βορειοανατολικές κατά τις βραδινές. Η θερμοκρασία είναι υψηλή ως προς τη μέση τιμή. Οι μέγιστες τιμές το μεσημέρι κυμαίνονταν μεταξύ 26 και 30 βαθμούς Κελσίου. Η μέση ημερήσια τιμή θερμοκρασίας υπολογίζεται στους 22-24 βαθμούς Κελσίου.

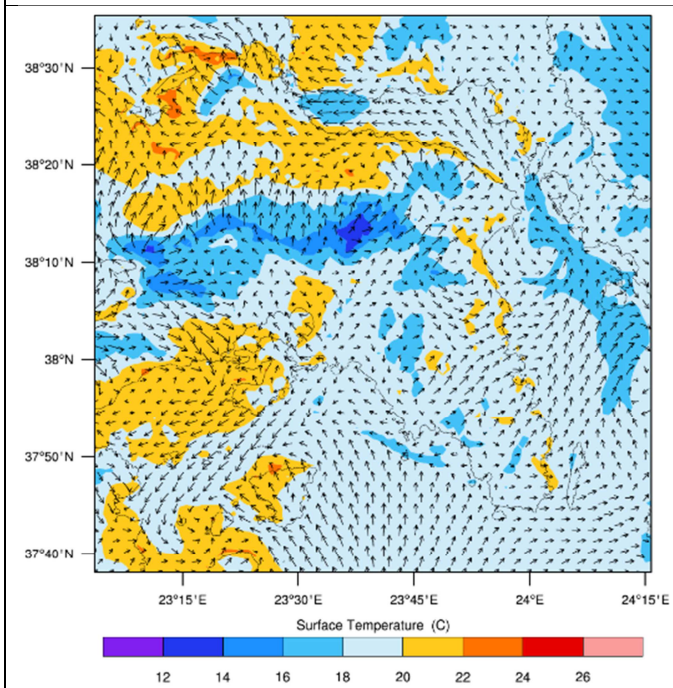
¹ <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation>



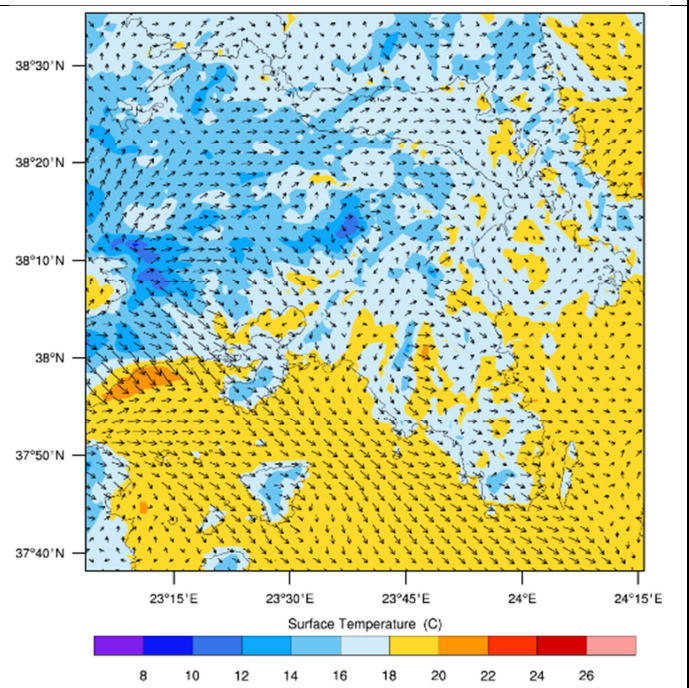
Εικόνα 4.2 Γραφήματα WRF ισοκατανομών θερμοκρασίας εδάφους και ανεμολογικού πεδίου στις 06:00



Εικόνα 4.3 Γραφήματα WRF ισοκατανομών θερμοκρασίας εδάφους και ανεμολογικού πεδίου στις 12:00



Εικόνα 4.4 Γραφήματα WRF ισοκατανομών θερμοκρασίας εδάφους και ανεμολογικού πεδίου στις 18:00



Εικόνα 4.5 Γραφήματα WRF ισοκατανομών θερμοκρασίας εδάφους και ανεμολογικού πεδίου στις 24:00

4.3 Ο υπολογιστικός κώδικας διασποράς

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο ατμοσφαιρικής διασποράς **HYSPLIT**, Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model, (Stein et al., 2015). Ως αποτέλεσμα συντονισμένης εργασίας των NOAA και Australia's Bureau of Meteorology, το μοντέλο αναβαθμίστηκε πρόσφατα και χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές (http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT_info.php).

Το μοντέλο του Air Resources Laboratory's HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT) αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα για τον υπολογισμό τόσο απλών μετακινήσεων αέριων μαζών, όσο και πολύπλοκων προσομοιώσεων διασποράς και απόθεσης. Η υπολογιστική μέθοδος του μοντέλου είναι υβριδική μεταξύ της Lagrangian προσέγγισης, η οποία χρησιμοποιεί ένα κινητό πλαίσιο αναφοράς καθώς οι αέριες μάζες μετακινούνται από την αρχική τους θέση, και της Eulerian προσέγγισης, η οποία χρησιμοποιεί ένα σταθερό τρισδιάστατο κάνναβο (grid) ως πλαίσιο αναφοράς. Η οριζόντια διακριτοποίηση του μοντέλου ορίστηκε στα 500m×500m. Στο μοντέλο, υπολογισμοί μεταφοράς και διάχυσης πραγματοποιούνται σε πλαίσιο Lagrangian ακολουθώντας τη μετακίνηση των αέριων μαζών, ενώ οι συγκεντρώσεις των ρύπων υπολογίζονται πάνω σε ένα σταθερό πλαίσιο.

Το μοντέλο έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να υποστηρίζει μία μεγάλη σειρά προσομοιώσεων σχετικά με την ατμοσφαιρική μεταφορά και διασπορά ρύπων και επικίνδυνων υλικών, καθώς και με την απόθεσή τους στην επιφάνεια της γης.

4.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά απαγωγού

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του απαγωγού και ο ρυθμός των εκπομπών των Πτητικών Οργανικών ενώσεων, που χρησιμοποιήθηκαν ως στοιχεία εισόδου στο μοντέλο διασποράς, παρουσιάζονται στα αποτελέσματα των μετρήσεων

από το Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας (SPECTRUMLABS 2017), όπως αυτά ήταν διαθέσιμα στην Περιφέρεια Αττικής.

Πραγματοποιήθηκαν δύο περιπτώσεις προσομοίωσης με το μοντέλο διασποράς: (1) Η πρώτη προσομοίωσε τη διασπορά από τον απαγωγό μόνο κατά τη διάρκεια του 5ώρου (10:30-15:30) σύμφωνα με τις μετρήσεις του Εργαστηρίου Ελέγχου Ποιότητας (SPECTRUMLABS), ενώ (2) η δεύτερη προσομοίωσε όλο το 24ωρο της 4/5/2017, βασισμένη στην υπόθεση ότι ο ρυθμός εκπομπής του απαγωγού είναι σταθερός και συνεχής για 24 ώρες. Με αυτό τον τρόπο παρουσιάζεται και το σενάριο της συνολικής εκπομπής ρύπων από τον συγκεκριμένο απαγωγό στο συγκεκριμένο 24ωρο στο πεδίο ενδιαφέροντος.

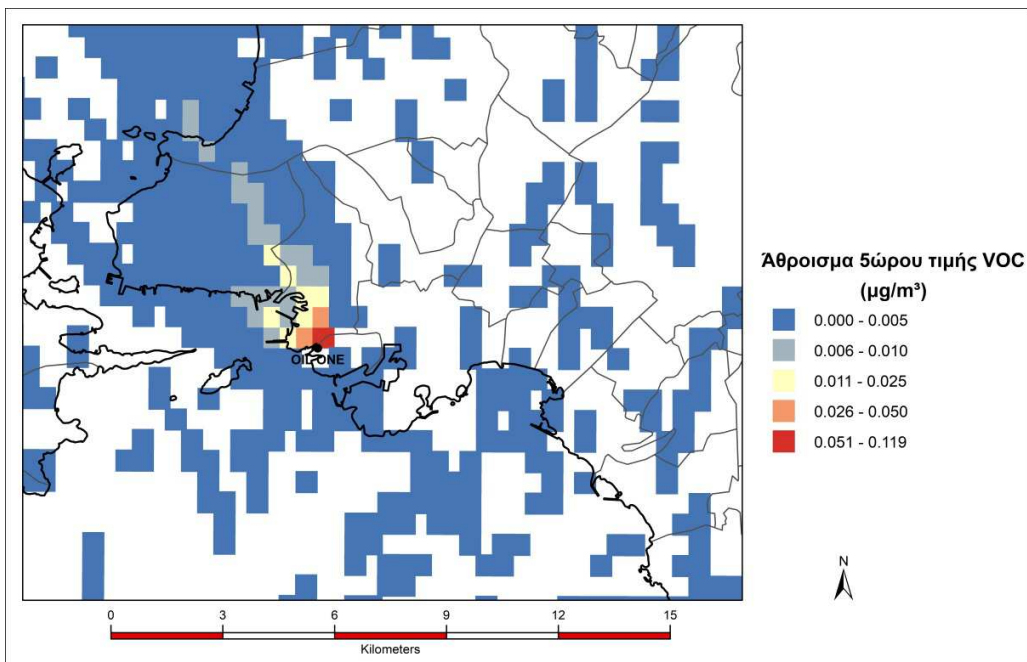
4.5 Αποτελέσματα μοντέλου διασποράς - συμπεράσματα

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα του μοντέλου HYSPLIT σχετικά με τη διασπορά των αερίων ρύπων (VOC) από τον συγκεκριμένο απαγωγό (Φίλτρο 2, Upper Tank Farm της εγκατάστασης), στη διάρκεια της συγκεκριμένης ημερομηνίας (4/5/2017).

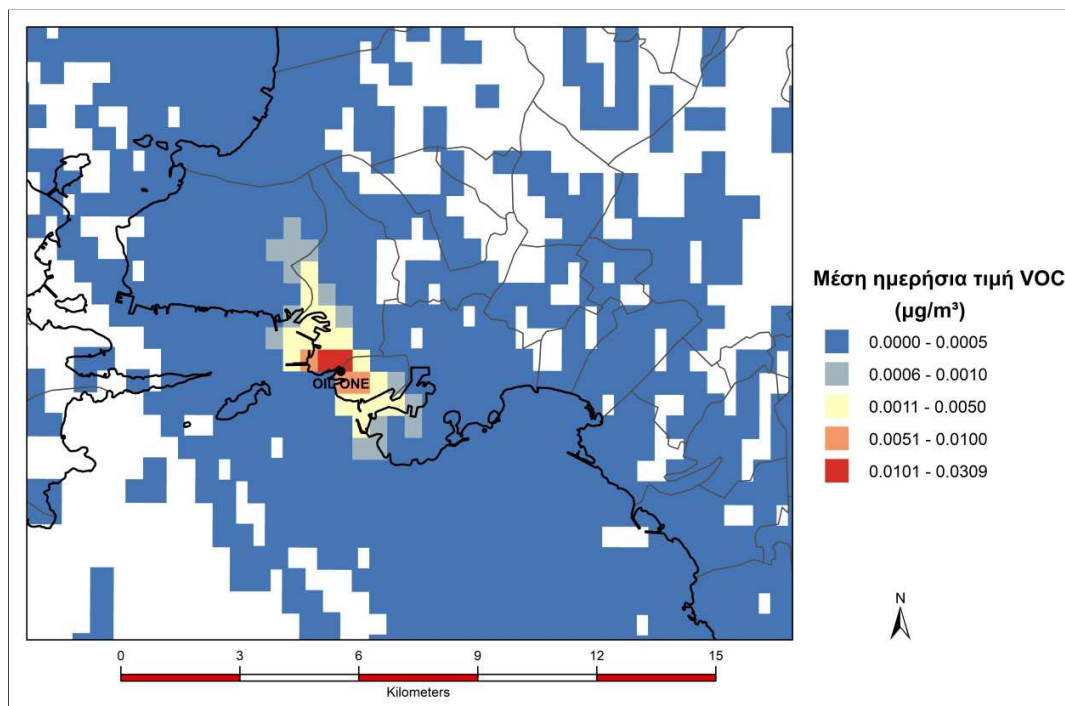
Θα πρέπει να τονιστεί ότι δεν υπάρχει Οδηγία που να καθορίζει όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας για VOC σε συνολικό επίπεδο πλην της Οδηγίας 2008/50/ΕΚ για το Βενζόλιο που θέτει ως οριακή τιμή, τη μέση ετήσια τιμή των $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (σε ισχύ από το 2010). Ως εκ τούτου, δε δύναται να γίνει σύγκριση των υπολογισμένων τιμών με το αντίστοιχο όριο ποιότητας της ατμόσφαιρας λόγω της μη διαθέσιμης πληροφορίας, που θα ήταν απαραίτητη για τον υπολογισμό των μέσων ετησίων τιμών των οργανικών πτητικών ενώσεων.

Οι χωρικές κατανομές των συγκεντρώσεων των πτητικών οργανικών ενώσεων, όπως αυτές υπολογίστηκαν από το ατμοσφαιρικό μοντέλο, παρουσιάζονται ως ισοϋψείς σε χάρτες της περιοχής ενδιαφέροντος με διακριτοποίηση $500 \text{ m} \times 500 \text{ m}$. Στην Εικόνα 4.6 απεικονίζονται οι χωρικές ισοκατανομές του αθροίσματος των συγκεντρώσεων των αερίων ρύπων κατά

τη διάρκεια του 5ωρου 10:30-15:30 (4/5/2017), όπως αυτές υπολογίστηκαν με την προσομοίωση (1). Οι μέγιστες τιμές των συγκεντρώσεων VOC υπολογίστηκαν σε χαμηλά επίπεδα και συγκεκριμένα σε εύρος 0.05-0.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στην περιοχή της εγκατάστασης. Στην Εικόνα 4.7 απεικονίζονται οι χωρικές ισοκατανομές της μέσης ημερήσιας τιμής των συγκεντρώσεων VOC, όπως αυτές υπολογίστηκαν με την προσομοίωση (2). Παρατηρείται ότι οι μέγιστες τιμές της μέσης ημερήσιας συγκέντρωσης κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα μεταξύ 0.01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και 0.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στην περιοχή της εγκατάστασης.



Εικόνα 4.6 Χωρικές ισοκατανομές του αθροίσματος των συγκεντρώσεων VOC κατά τη διάρκεια του 5ωρου 10:30-15:30 (4/5/2017).



Εικόνα 4.7 Χωρικές ισοκατανομές της μέσης ημερήσιας τιμής των συγκεντρώσεων VOC (4/5/2017).

Η παραπάνω μελέτη πραγματοποιεί μοντελοποίηση της διασποράς οργανικών ενώσεων από έναν απαγωγό της εγκατάστασης σε συγκεκριμένη ημερομηνία. Οι μετρήσεις στους υπόλοιπους απαγωγούς της μονάδας πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικές ημερομηνίες με διαφορετικές μετεωρολογικές συνθήκες και ως εκ τούτου δεν μπορούν να ενταχθούν στους ίδιους υπολογισμούς. Προκειμένου να εκτιμηθεί η συνολική συνεισφορά της μονάδας στην διασπορά ολικών οργανικών ενώσεων θα πρέπει να πραγματοποιηθεί η παραπάνω μελέτη για όλους τους απαγωγούς/σημεία εκπομπής οργανικών ενώσεων για τους οποίους θα υπάρχουν δεδομένα/μετρήσεις που θα έχουν πραγματοποιηθεί την ίδια ημέρα (ίδιες μετεωρολογικές συνθήκες), σε μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα και θα έχουν επαναληφθεί σε διαφορετική εποχή ώστε να έχουμε δεδομένα από διαφορετικά μοντέλα καιρού. Επίσης, προκειμένου να αποτυπωθεί η συνεισφορά της μονάδας στη διασπορά οσμωρών ενώσεων είναι σημαντικό να προσδιορισθεί η χημική σύσταση των απερίων ως προς τις επιμέρους οσμωρές πτητικές οργανικές ενώσεις,

προκειμένου να μπορεί να συγκριθούν οι συγκεντρώσεις τους με το κατώφλι οσμής της κάθε ένωσης. Οι μετρήσεις εκπομπών ολικών πτητικών οργανικών ενώσεων από τα καμινάερα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον προσδιορισμό της συνεισφορά της μονάδας σε φαινόμενα όχλησης καθώς δεν γνωρίζουμε ποιες και σε ποια συγκέντρωση οσμηρές ενώσεις περιλαμβάνονται στις ολικές ΠΟΕ που μετρώνται.

5. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Δραπετσώνα - Κερατσίνι

Στα πλαίσια του ερευνητικού έργου του ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» που αφορούσε στην παρακολούθηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στον δήμο Δραπετσώνας – Κερατσινίου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ποιότητας ατμόσφαιρας από τον Φεβρουάριο έως τον Οκτώβριο του 2019 και εφαρμογή στατιστικών μοντέλων ανίχνευσης και εκτίμηση συνεισφοράς των πηγών ρύπανσης.

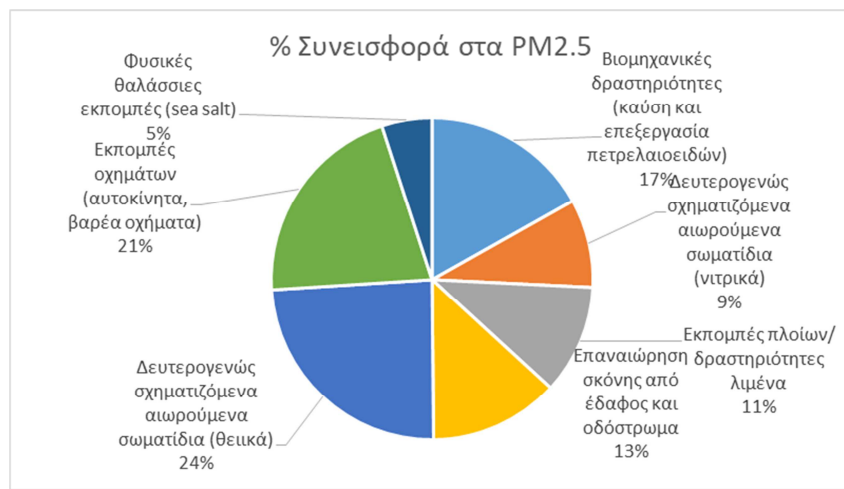
Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε:

A. ΓΕΝΙΚΑ:

- ✓ **Λεπτομερής αποτύπωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας της περιοχής** με μετρήσεις μεγάλης κλίμακας (χωρικής και χρονικής) των κυριότερων δεικτών ατμοσφαιρικής ρύπανσης όπως: α) Πτητικών Οργανικών Ενώσεων και θειούχων ενώσεων β) σωματιδιακής ύλης και χημική σύσταση αυτής σε πολυαρωματικούς υδρογονάνθρακες, ιόντα, οργανικό/στοιχειακό άνθρακα, βαρέα μέταλλα, διοξίνες, PCBs και γ) ανόργανων ενώσεων (NO_x, CO, SO₂).
- ✓ **Χαρακτηρισμός και συνεισφορά όλων των τοπικών πηγών στην ποιότητα της ατμόσφαιρας της περιοχής**, βάσει των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των παραπάνω ρύπων.

Οι πηγές αυτές για τα σωματίδια (PM_{2.5}) είναι: βιομηχανία (factor 1), δευτερογενώς σχηματιζόμενοι ρύποι (factor 2, 5), εκπομπές πλοίων (factor 3), επαναιώρηση σκόνης από έδαφος και οδόστρωμα (factor 4), εκπομπές οχημάτων (factor 6) και θαλάσσιες πηγές (7).

Στο διάγραμμα 5.1 αποτυπώνεται η συνεισφορά κάθε πηγής για τη σωματιδιακή ύλη (PM_{2.5}):



Σχήμα 5.1: συνεισφορά κάθε πηγής στη σωματιδιακή ύλη (PM2.5) στην Δραπετσώνα – Κερατσίνι

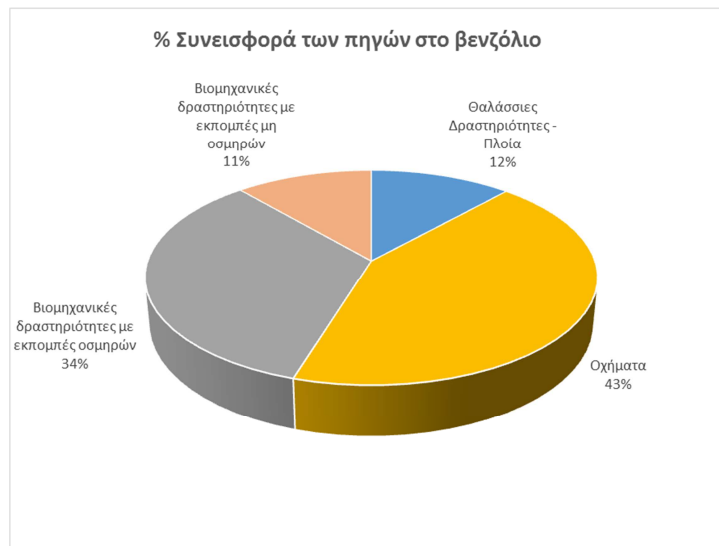
Οι πηγές για τις πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC) είναι: εκπομπές πλοίων/δραστηριότητες λιμένα (factor 1), εκπομπές οχημάτων (factor 2), βιομηχανικές δραστηριότητες εκπομπών οσμηρών ενώσεων (factor 3), βιομηχανικές δραστηριότητες εκπομπών μη οσμηρών ενώσεων (factor 4)

Στο διάγραμμα 5.2 αποτυπώνεται η συνεισφορά κάθε πηγής για τις πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs):



Σχήμα 5.2: συνεισφορά κάθε πηγής στις πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) στην Δραπετσώνα – Κερατσίνι

Στο διάγραμμα 5.3 αποτυπώνεται η συνεισφορά κάθε πηγής **στο βενζόλιο**:



Σχήμα 5.3: συνεισφορά κάθε πηγής στις συγκεντρώσεις βενζολίου στην Δραπετσώνα – Κερατσίνι

Στο διάγραμμα 5.4 αποτυπώνεται η συνεισφορά κάθε πηγής **στις οσμηρές θειούχες ενώσεις**:



Σχήμα 5.4: συνεισφορά κάθε πηγής στις συγκεντρώσεις οσμηρών θειούχων ενώσεων στην Δραπετσώνα – Κερατσίνι

B. ΕΙΔΙΚΑ (ΟΣΜΕΣ):

- ✓ **Ταυτοποίηση (ποιοτική και ποσοτική) των χημικών ενώσεων που προκαλούν τα φαινόμενα δυσωδίας.**

Από το σύνολο των οσμηρών θειούχων ενώσεων, οι συγκεντρώσεις των: μερκαπτανών, σουλφιδίων και θειοφαινίων (Methyl-mercaptan, sec-butylmercaptan, n-Butylmercaptan, Dimethyl disulfide, 1-Propanethiol, 2-methyl-thiophene, Diethyl disulfide, Diphenyl-sulfide Carbonyl sulfide και Dimethyl sulfide), βρέθηκαν αυξημένες κατά τη διάρκεια των οσμηρών ημερών σε σχέση με τις αντίστοιχες που προέκυψαν τις μη οσμηρές ημέρες. Ιδιαίτερα για τις ενώσεις sec-butylmercaptan, methyl-mercaptan, 2-methyl-thiophene, οι διαφορές προέκυψαν στατιστικά σημαντικές.

Από τις αρωματικές πτητικές οργανικές ενώσεις τα: βενζόλιο, τολουόλιο, ξυλόλια, κυκλοεξάνιο, εννεάνιο, ισοπροπυλοβενζόλιο και στυρένιο βρέθηκαν με αυξημένες συγκεντρώσεις κατά τη διάρκεια των οσμηρών ημερών σε σχέση με τις αντίστοιχες που προέκυψαν τις μη οσμηρές ημέρες. Παρά το γεγονός ότι οι παραπάνω ενώσεις (βενζόλιο, τολουόλιο, ξυλόλια κ.α) δεν είναι οσμηρές στις συγκεντρώσεις στις οποίες ανιχνεύθηκαν, το γεγονός ότι ακολουθούν την αυξητική τάση των οσμηρών ενώσεων τις ημέρες που παρατηρούνται έντονες δυσσομίες υποδηλώνει πιθανή κοινή προέλευση αυτών.

- ✓ **Περιγραφή των πηγών προέλευσης των παραπάνω ενώσεων όπου βάσει της βιβλιογραφίας αποδίδονται κυρίως σε πετρελαιοειδή.**

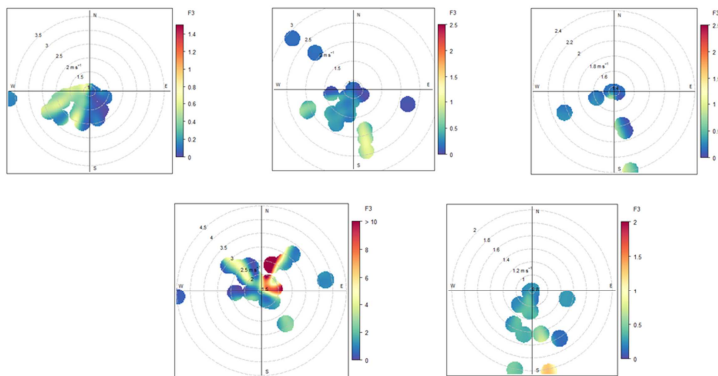
Οι μερκαπτάνες (μέθυλο-μερκαπτάνη αίθυλο-μερκαπτάνη, και πρόπυλο-μερκαπτάνη) είναι συστατικά του ακατέργαστου πετρελαίου και του φυσικού αερίου και έχουν ισχυρή, δυσάρεστη οσμή. Τα θειοφαινία είναι μία κατηγορία ενώσεων που εμφανίζεται συνήθως στο κλάσμα βενζολίου των αποσταγμάτων λιθανθρακόπισσας. Τα σουλφίδια περιλαμβάνουν έναν αριθμό ενώσεων που είναι δύσσομες και παράγονται κατά την επεξεργασία και καύση ορυκτών καυσίμων, όπως ο άνθρακας και το πετρέλαιο. Το Βενζόλιο, τολουόλιο, ξυλόλια βρίσκονται σε φυσική μορφή στο αργό πετρέλαιο και τη βενζίνη και

απελευθερώνονται στο περιβάλλον ανεξάρτητα από το εάν αυτά τα καύσιμα καίγονται ή όχι. Το κυκλοεξάνιο υπάρχει στο ακατέργαστο πετρέλαιο, και πιθανόν, απελευθερώνεται στο περιβάλλον κατά την αποθήκευση, χρήση και εξευγενισμό των προϊόντων πετρελαίου. Το εννεάνιο είναι ένα συστατικό στο κλάσμα παραφίνης του ακατέργαστου πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Το ισοπροπυλοβενζόλιο ή αλλιώς κουμένιο είναι ένα φυσικό συστατικό του αργού πετρελαίου και μπορεί να απελευθερωθεί στο περιβάλλον από διάφορες ανθρωπογενείς πηγές, συμπεριλαμβανομένων των επεξεργασμένων καυσίμων υδρογονανθράκων.

- ✓ **Χωρικός προσδιορισμός της περιοχής στην οποία εντοπίζονται οι πιθανές πηγές έκλυσης των οσμηρών χημικών ενώσεων.**

A. Η εφαρμογή του μοντέλου PMF στα δεδομένα των Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (οσμηρών και μη οσμηρών) ανέδειξε όπως προαναφέρθηκε τέσσερις (4) παράγοντες (Factors) οι οποίοι αντιστοιχήθηκαν σε τέσσερις πηγές ή ομάδες πηγών (εκπομπές πλοίων, κίνηση οχημάτων, βιομηχανικές δραστηριότητες εκπομπών οσμηρών ενώσεων, βιομηχανικές δραστηριότητες εκπομπών μη οσμηρών ενώσεων).

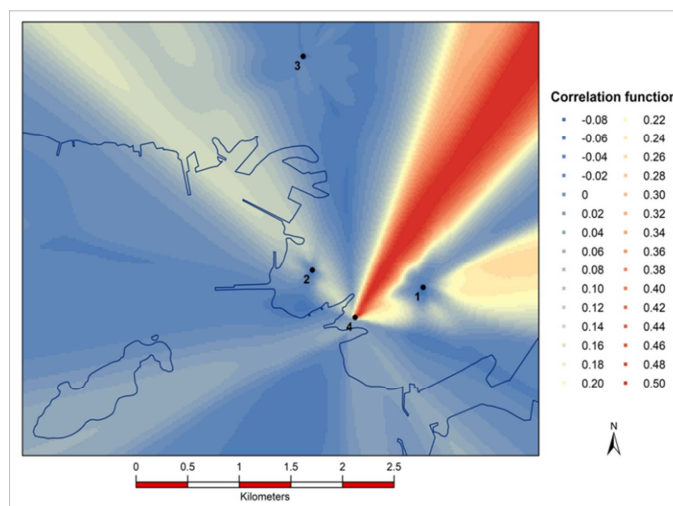
Από τη συσχέτισή του προφίλ του παράγοντα 3 (factor 3) που αντιστοιχεί σε δραστηριότητες με εκπομπές οσμηρών ενώσεων με το προφίλ του ανέμου που απεικονίζεται στο σχήμα 4.5, υποδεικνύεται ότι: Στο σημείο ΔΚ1, η προέλευση της πηγής των οσμηρών ενώσεων συνδέεται με ανέμους του δυτικού τομέα (δυτικούς νότιο-δυτικούς), στο ΔΚ2 με ανέμους του νότιου τομέα (νότιους νοτιο-δυτικούς και νοτιο-ανατολικούς ανέμους), στο ΔΚ3 με νότιους, στο ΔΚ4 με ανέμους κυρίως από τον βόρειο-ανατολικό τομέα και στο ΔΚ5 από το νότιο τομέα. Ιδιαίτερα έντονη είναι η παρουσία αυτής της πηγής στο ΔΚ4 (ζώνη ανάπλασης) όπου παρουσιάζονται υψηλές συγκεντρώσεις σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου υποδεικνύοντας την παρουσία της πηγής σε μικρή απόσταση και με κατεύθυνση από τον βόρειο τομέα.



Σχήμα 5.5: Συσχέτιση της συνεισφοράς της πηγής που αντιστοιχεί σε δραστηριότητες με εκπομπές οσμηρών ενώσεων με την διεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου στα σημεία ΔΚ1, ΔΚ2, ΔΚ3, ΔΚ4 και ΔΚ5.

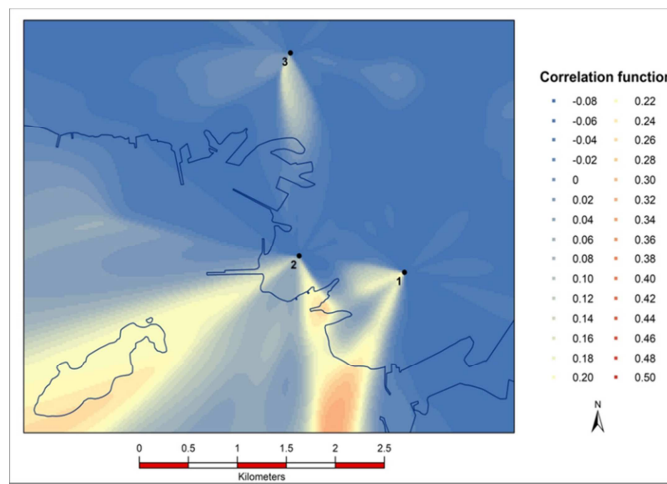
Β. Η εφαρμογή του μοντέλου διασποράς DIPROT στα δεδομένα των Πτητικών Οργανικών Ενώσεων ανέδειξε για την περιοχή της Δραπετσώνας ότι:

- ✓ οι πιθανότερες θέσεις της/των πηγών οσμηρών ρύπων εντοπίζονται σε περιοχή κοντά στη θέση μέτρησης 4 και εκτείνεται στα Βόρεια και Βορειοανατολικά της ενώ διαπιστώνεται και ασθενέστερη επίδραση πιθανών πηγών οσμηρών ρύπων στα Βορειοδυτικά και στα Ανατολικά της συγκεκριμένης θέσης (σχήμα 5.6) αλλά σε χαμηλότερη ένταση.



Σχήμα 5.6 Γραφική απεικόνιση των τιμών της συνάρτησης συντελεστή συσχέτισης για το σημείο 4 για την περιοχή Δραπετσώνας

- ✓ Οι συγκεντρώσεις οσμηρών στη θέση 1 επηρεάζονται από πηγές που βρίσκονται στα Δυτικά και Νότια-Νοτιοδυτικά της ενώ στη θέση 2 επηρεάζονται από πιθανές πηγές ευρισκόμενες στα Νότιο-Νοτιοανατολικά (παράκτια ζώνη) αλλά και στα Δυτικά – Νοτιοδυτικά (θαλάσσιος χώρος). Οι τελευταίες είναι πιο ασθενείς όπως δείχνουν οι σχετικά χαμηλές τιμές του συντελεστή συσχέτισης, αλλά υπαρκτές (σχήμα 4.7)

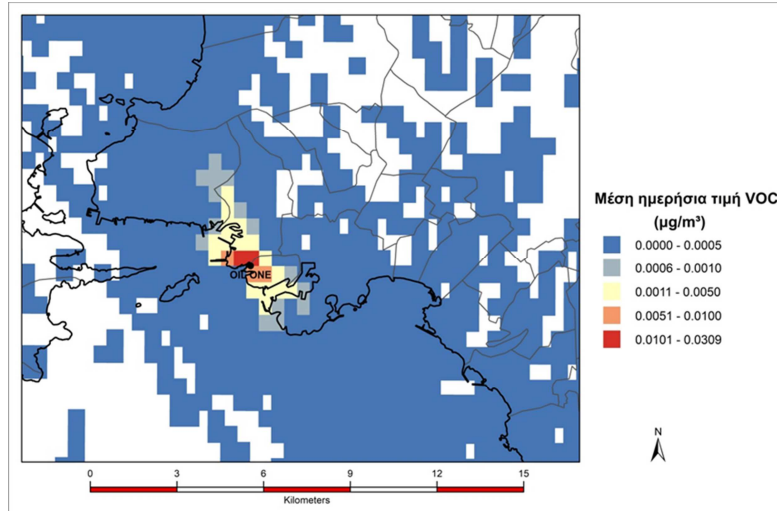


Σχήμα 5.7 Γραφική απεικόνιση των τιμών της συνάρτησης συντελεστή συσχέτισης για το σημείο 1, 2 για την περιοχή Δραπετσώνας

Γ. Η εφαρμογή του μοντέλου διασποράς HYSPLIT στα δεδομένα εκπομπών Πτητικών Οργανικών Ενώσεων από απαγωγό βιομηχανικής μονάδας.

Με βάση τα αποτελέσματα του χωρικού εντοπισμού των πιθανών πηγών οσμηρών ενώσεων, η Περιφέρεια Αττικής επέλεξε για την εφαρμογή της μοντελοποίησης ατμοσφαιρικής διασποράς βιομηχανική μονάδα στη περιοχή της Δραπετσώνας – Κερατσινίου (OILONE). Το παραπάνω μοντέλο αποτιμά ποσοτικά και αξιολογεί τις συγκεντρώσεις σε Ολικές Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOC) στην περιοχή από τη λειτουργία απαγωγού (έξοδος φίλτρου No2 στο Upper Tank) της εγκατάστασης. Οι μέγιστες τιμές των συγκεντρώσεων VOC στην περιοχή της εγκατάστασης για το 5ωρο δειγματοληψίας υπολογίστηκαν στο εύρος 0.05-0.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ενώ οι μέγιστες

τιμές της μέσης ημερήσιας συγκέντρωσης κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα μεταξύ $0.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $0.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (σχήμα 5.8)



Εικόνα 5.8 Χωρικές ισοκατανομές της μέσης ημερήσιας τιμής των συγκεντρώσεων VOC (4/5/2017).

Καθώς όμως οι μετρήσεις στους υπόλοιπους απαγωγούς της μονάδας πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικές ημερομηνίες δεν ήταν δυνατή η πραγματοποίηση αθροιστικής μοντελοποίησης της διασποράς των ρύπων από όλη την μονάδα. Για το λόγο αυτό η μελέτη επικεντρώθηκε στην προσομοίωση του συγκεκριμένου απαγωγού για μια συγκεκριμένη ημερομηνία (4 Μαΐου 2017).

Επίσης, μετρήσεις των επιμέρους οσμηρών ενώσεων που πιθανό να εκλύονται από τους απαγωγούς είναι απαραίτητες για την σύγκριση των συγκεντρώσεων τους με το κατώφλι οσμής της κάθε ένωσης. Με τον τρόπο αυτό θα είναι εφικτό να αποτυπωθεί η συνεισφορά της μονάδας στη διασπορά οσμηρών ενώσεων. Μόνο από τις μετρήσεις εκπομπών ολικών πτητικών οργανικών δεν είναι εφικτό να γνωρίζουμε εάν και σε τι συγκεντρώσεις εκλύονται οσμηρές ενώσεις ώστε να προσδιορίσουμε τη διασπορά και κατ' επέκταση την επίδραση τους σε φαινόμενα όχλησης.

5.2 Ελευσίνα

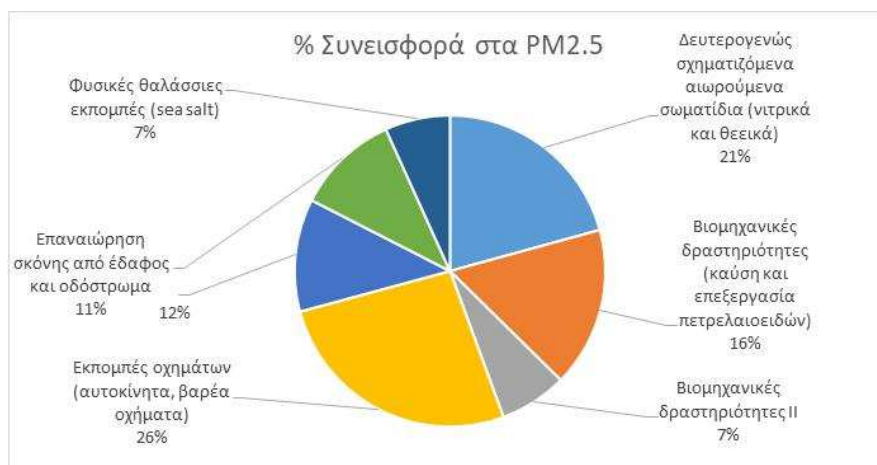
Στα πλαίσια του ερευνητικού έργου του ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» που αφορούσε στην παρακολούθηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στον δήμο Ελευσίνας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ποιότητας ατμόσφαιρας από τον Φεβρουάριο έως τον Οκτώβριο του 2019 και εφαρμογή στατιστικών μοντέλων ανίχνευσης και εκτίμηση συνεισφοράς των πηγών ρύπανσης.

Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε:

A. ΓΕΝΙΚΑ:

- ✓ **Λεπτομερής αποτύπωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας της περιοχής** με μετρήσεις μεγάλης κλίμακας (χωρικής και χρονικής) των κυριότερων δεικτών ατμοσφαιρικής ρύπανσης όπως: α) Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (οσμηρών και μη οσμηρών), β) σωματιδιακής ύλης και χημική σύσταση αυτής σε πολυαρωματικούς υδρογονάνθρακες, ιόντα, οργανικό/στοιχειακό άνθρακα, βαρέα μέταλλα, διοξίνες, PCBs και γ) ανόργανων ενώσεων (NO_x, CO, SO₂).
- ✓ **Χαρακτηρισμός και συνεισφορά όλων των τοπικών πηγών στην ποιότητα της ατμόσφαιρας της περιοχής**, βάσει των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των παραπάνω ρύπων.

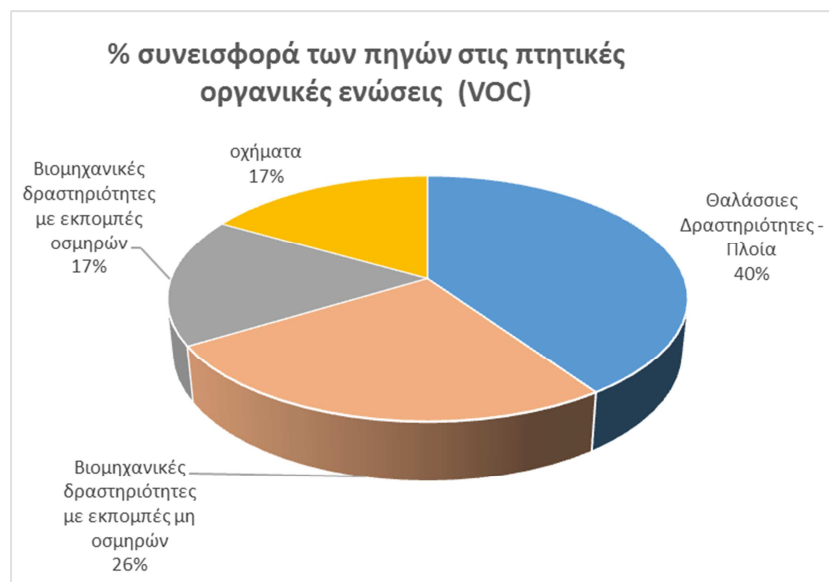
Οι πηγές αυτές για τα σωματίδια (PM_{2.5}) είναι: δευτερογενώς σχηματιζόμενοι ρύποι (factor 1), βιομηχανία πετρελαιοειδών (factor 2), βιομηχανικές δραστηριότητες II (factor 3), εκπομπές οχημάτων (factor 4), εκπομπές πλοίων (factor 5), επαναιώρηση σκόνης από έδαφος και οδόστρωμα (factor 6), θαλάσσιες πηγές (factor 7). Στο διάγραμμα 5.8 αποτυπώνεται η συνεισφορά κάθε πηγής για τη σωματιδιακή ύλη (PM_{2.5}):



Σχήμα 5.9: Συνεισφορά κάθε πηγής στη σωματιδιακή ύλη (PM2.5) στην Ελευσίνα

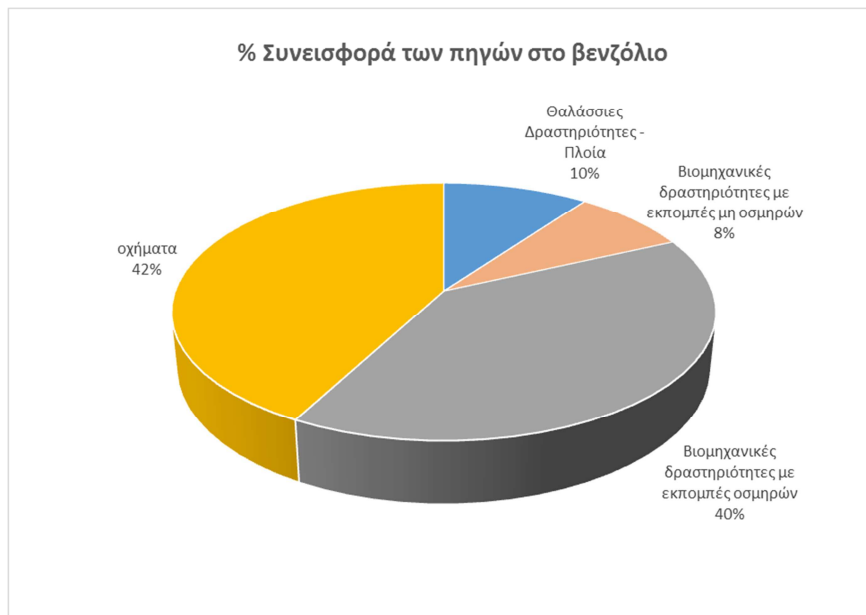
Οι πηγές για τις πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC) είναι: εκπομπές πλοίων/δραστηριότητες λιμένα (factor 1), βιομηχανικές δραστηριότητες εκπομπών μη οσμηρών ενώσεων (factor 2), βιομηχανικές δραστηριότητες εκπομπών οσμηρών ενώσεων (factor 3), εκπομπές οχημάτων (factor 4)

Στο διάγραμμα 5.10 αποτυπώνεται η συνεισφορά κάθε πηγής στις πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs):



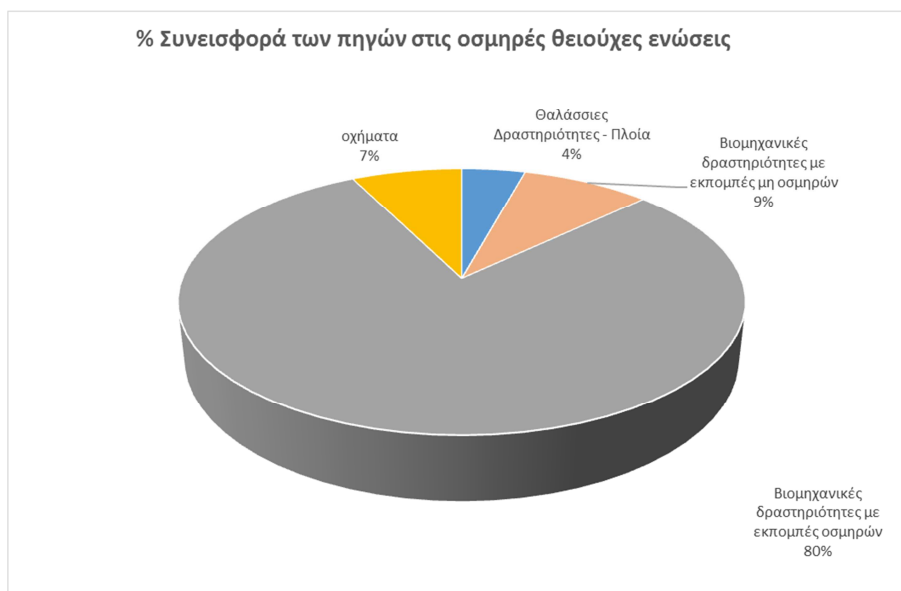
Σχήμα 5.10: Συνεισφορά κάθε πηγής στις πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) στην Ελευσίνα

Στο διάγραμμα 5.11 αποτυπώνεται η συνεισφορά κάθε πηγής **στο βενζόλιο**:



Σχήμα 5.11: Συνεισφορά κάθε πηγής στις συγκεντρώσεις βενζολίου στην Ελευσίνα

Στο διάγραμμα 5.12 αποτυπώνεται η συνεισφορά κάθε πηγής **στις οσμηρές θειούχες ενώσεις**:



Σχήμα 5.12: Συνεισφορά κάθε πηγής στις συγκεντρώσεις οσμηρών θειούχων ενώσεων στην Ελευσίνα

B. ΕΙΔΙΚΑ (ΟΣΜΕΣ):

- ✓ **Ταυτοποίηση (ποιοτική και ποσοτική) των χημικών ενώσεων που προκαλούν τα φαινόμενα δυσωδίας.**

Οι συγκεντρώσεις όλων των οσμηρών θειούχων οργανικών ενώσεων βρέθηκαν αυξημένες κατά τη διάρκεια των οσμηρών ημερών σε σχέση με τις αντίστοιχες που προέκυψαν τις μη οσμηρές ημέρες. Ιδιαίτερα για τις ενώσεις tert-Butylmercaptan, n-Butyl mercaptan, 3-methyl-thiophene, Diphenyl sulfide και sec-butyl mercaptan η διαφορά προέκυψε σημαντική.

Από τις αρωματικές πτητικές οργανικές ενώσεις τα: βενζόλιο, τολουόλιο, ξυλόλια, ισοπροπυλοβενζόλιο και στυρένιο βρέθηκαν με αυξημένες συγκεντρώσεις κατά τη διάρκεια των οσμηρών ημερών σε σχέση με τις αντίστοιχες που προέκυψαν τις μη οσμηρές ημέρες με διαφορές στατιστικά σημαντικές. Όσον αφορά στις συγκεντρώσεις του κυκλοξανίου και του εννεανίου, βρέθηκαν αυξημένες κατά τη διάρκεια των οσμηρών ημερών, χωρίς όμως η διαφορά να προκύψει στατιστικά σημαντική. Παρά το γεγονός ότι οι παραπάνω ενώσεις (βενζόλιο, τολουόλιο, ξυλόλια κ.α) δεν είναι οσμηρές στις συγκεντρώσεις στις οποίες ανιχνεύθηκαν, το γεγονός ότι ακολουθούν την αυξητική τάση των οσμηρών ενώσεων τις ημέρες που παρατηρούνται έντονες δυσοσμίες, υποδηλώνει πιθανή κοινή προέλευση αυτών.

- ✓ **Περιγραφή των πηγών προέλευσης των παραπάνω ενώσεων όπου βάσει της βιβλιογραφίας αποδίδονται κυρίως σε πετρελαιοειδή.**

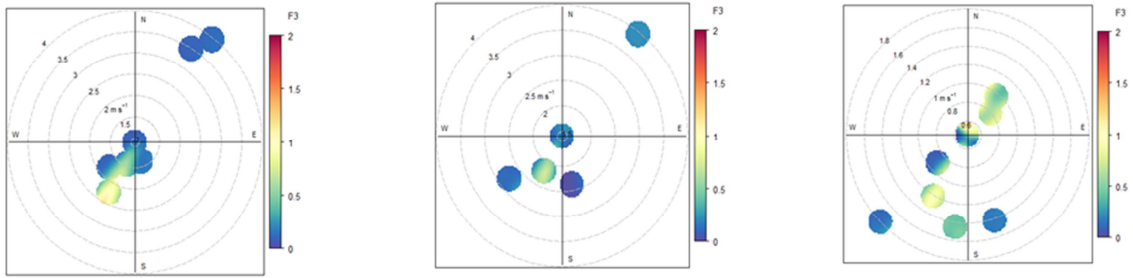
Οι μερκαπτάνες (μέθυλο-μερκαπτάνη, αιθυλο-μερκαπτάνη, και πρόπυλο-μερκαπτάνη) είναι συστατικά του ακατέργαστου πετρελαίου και του φυσικού αερίου και έχουν ισχυρή, δυσάρεστη οσμή. Τα θειοφαίνια είναι μία κατηγορία ενώσεων που εμφανίζεται συνήθως στο κλάσμα βενζολίου των αποσταγμάτων λιθανθρακόπισσας. Τα σουλφίδια περιλαμβάνουν έναν αριθμό ενώσεων που είναι δύσσομες και παράγονται κατά την επεξεργασία και καύση ορυκτών καυσίμων, όπως ο άνθρακας και το πετρέλαιο. Το βενζόλιο, τολουόλιο, ξυλόλια βρίσκονται σε φυσική μορφή στο αργό πετρέλαιο και τη βενζίνη και

απελευθερώνονται στο περιβάλλον ανεξάρτητα από το εάν αυτά τα καύσιμα καίγονται ή όχι. Το κυκλοεξάνιο υπάρχει στο ακατέργαστο πετρέλαιο, και πιθανόν, απελευθερώνεται στο περιβάλλον κατά την αποθήκευση, χρήση και εξευγενισμό των προϊόντων πετρελαίου. Το εννεάνιο είναι ένα συστατικό στο κλάσμα παραφίνης του ακατέργαστου πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Το ισοπροπυλοβενζόλιο ή αλλιώς κουμένιο είναι ένα φυσικό συστατικό του αργού πετρελαίου και μπορεί να απελευθερωθεί στο περιβάλλον από διάφορες ανθρωπογενείς πηγές, συμπεριλαμβανομένων των επεξεργασμένων καυσίμων υδρογονανθράκων.

- ✓ **Χωρικός προσδιορισμός της περιοχής στην οποία εντοπίζονται οι πιθανές πηγές έκλυσης των οσμηρών χημικών ενώσεων.**

A. Η εφαρμογή του μοντέλου PMF στα δεδομένα των Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (οσμηρών και μη οσμηρών) ανέδειξε όπως προαναφέρθηκε τέσσερις (4) παράγοντες (Factors) οι οποίοι αντιστοιχήθηκαν σε τέσσερις πηγές ή ομάδες πηγών (εκπομπές πλοίων, βιομηχανικές δραστηριότητες εκπομπών μη οσμηρών ενώσεων, βιομηχανικές δραστηριότητες εκπομπών οσμηρών ενώσεων, κίνηση οχημάτων).

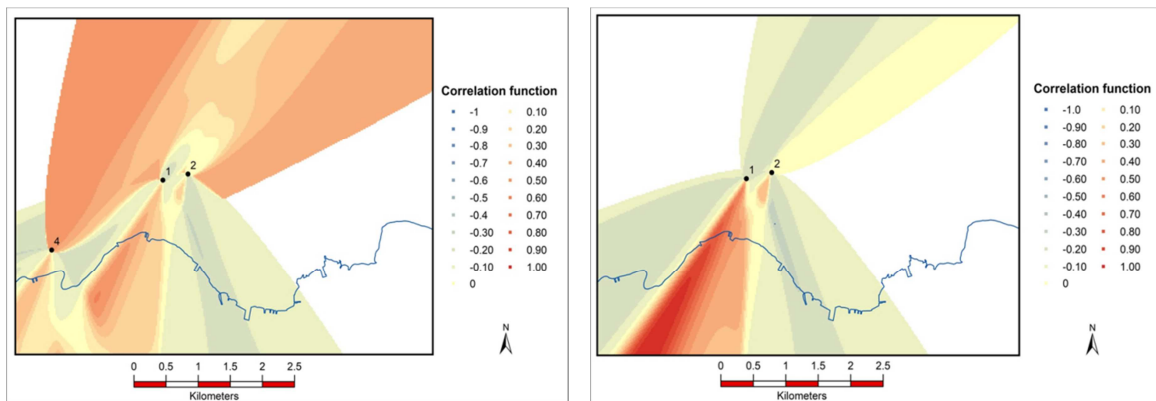
Από τη συσχέτισή του προφίλ του παράγοντα 3 (factor 3) που αντιστοιχεί σε δραστηριότητες με εκπομπές οσμηρών ενώσεων με το προφίλ του ανέμου που απεικονίζεται στο σχήμα 5.13, υποδεικνύεται ότι: Στο σημείο E1, η προέλευση της πηγής των οσμηρών ενώσεων συνδέεται με ανέμους του δυτικού τομέα (δυτικούς νότιο-δυτικούς), στο E2 με ανέμους επίσης του δυτικού τομέα (νότιους νοτιο-δυτικούς και νοτιο-ανατολικούς ανέμους), ενώ στο E4 βόρειο ανατολικούς & νότιου δυτικούς. Ιδιαίτερα έντονη είναι η παρουσία αυτής της πηγής στο E4 (πλησίον ΕΛΠΕ) όπου παρουσιάζονται υψηλές συγκεντρώσεις σε χαμηλής ταχύτητας ανέμους από διαφορετικές κατευθύνσεις, υποδεικνύοντας την παρουσία της πηγής πλησίον του σημείου.



Σχήμα 5.13: Συσχέτιση της συνεισφοράς της πηγής που αντιστοιχεί σε δραστηριότητες με εκπομπές οσμηρών ενώσεων με την διεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου στα σημεία E1, E2 και E4.

B. Η εφαρμογή του μοντέλου διασποράς DIPLOT στα δεδομένα των Πτητικών Οργανικών Ενώσεων ανέδειξε για την περιοχή της Ελευσίνας ότι:

- ✓ οι πιθανότερες θέσεις των πηγών οσμηρών ρύπων εντοπίζονται σε μια περιοχή Βόρεια – Βορειοανατολικά και Νοτιοδυτικά της θέσης μέτρησης E4 καθώς και Νοτιοδυτικά των θέσεων E1 και E2. Διαπιστώνεται επίσης η πιθανή ύπαρξη πηγών εκπομπής οσμηρών ρύπων σε περιοχή που εκτείνεται Βορειοανατολικά της θέσης μέτρησης E2 (σχήμα 5.14)



Σχήμα 5.14 Γραφική απεικόνιση των τιμών της συνάρτησης συντελεστή συσχέτισης για την περιοχή της Ελευσίνας

6. ΣΥΝΟΨΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ

Σκοπός του ερευνητικού έργου είναι η ολοκληρωμένη επιστημονική διερεύνηση για να εξακριβωθούν τα πιθανά αίτια σχετικά με την υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας από δυσάρεστες οσμές που εμφανίζονται σε συγκεκριμένη περιοχή του Πειραιά (Δραπετσώνα – Κερατσίνι) και της Ελευσίνας.

Στα πλαίσια του έργου επετεύχθη ο παραπάνω σκοπός υλοποιώντας 3 βασικούς πυλώνες δράσεων:

1. Ταυτοποίηση (ποιοτική και ποσοτική) των χημικών ενώσεων που επηρεάζουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας και εκείνων που προκαλούν δυσάρεστες οσμές στις 2 περιοχές (Παραδοτέο Π.3)

Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες από Φεβρουάριο έως Οκτώβριο του 2019, εκπονώντας στις 2 υπό μελέτη περιοχές 2.000 αναλύσεις δειγμάτων για προσδιορισμό: πτητικών οργανικών ενώσεων, θειούχων ενώσεων, σωματιδίων, πολυαρωματικών υδρογονανθράκων, οργανικού/στοιχειακού άνθρακα, ιόντων, βαρέων μετάλλων, διοξινών, πολυχλωριωμένων διφαινυλίων, οξειδίων αζώτου, διοξειδίου του θείου, μονοξειδίου του άνθρακα.

- Από τα αποτελέσματα των παραπάνω αναλύσεων, τα οποία παρουσιάζονται στο Π.3 (σελ. 12-22 & 37-46) προσδιορίστηκαν ως πιθανές αιτίες οσμών οι ενώσεις των μερκαπτανών, σουλφιδίων, θειοφαινίων, αρωματικών υδρογονανθράκων κ.α όπως αναλυτικά περιγράφονται στο Π.3 σελ. 22-24, 49-50. Οι παραπάνω ενώσεις σε συνδυασμό με την διακύμανση των συγκεντρώσεων μη οσμηρών ενώσεων που ανιχνεύτηκαν (βενζολίου, τολουολίου, ξυλολίων, ισοπρόπυλοβενζολίου, στυρενίου, κυκλοεξανίου κ.α - Π.3 σελ 24, 50) και βάσει της βιβλιογραφίας αποδίδονται κυρίως σε πετρελαιοειδή (ακατέργαστο πετρέλαιο, λιθανθρακόπισσα, πρόσθετα φυσικού αερίου, κλάσμα παραφίνης κ.α) όπως αναλυτικά περιγράφονται στο Π.3 σελ. 25, 26, 50, 51.

2. Χωρικός προσδιορισμός της περιοχής στην οποία εντοπίζονται οι πιθανές πηγές έκλυσης των οσμηρών χημικών ενώσεων (Παραδοτέα Π.4, Π.5)

- Με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων των παραπάνω χημικών ενώσεων έγινε χαρακτηρισμός και εκτίμηση της συνεισφοράς των πηγών στις συγκεντρώσεις των οσμηρών και μη ενώσεων εφαρμόζοντας το στατιστικό μοντέλο καταμερισμού πηγών PMF.

- ✓ Από την εισαγωγή στο μοντέλο της χημικής σύστασης των σωματιδίων σε πολυαρωματικούς υδρογονάνθρακες, ιόντα, βαρέα μέταλλα και οργανικό/στοιχειακό άνθρακα προέκυψαν 7 πηγές (*βιομηχανικές δραστηριότητες πετρελαιοειδών, δευτερογενώς σχηματιζόμενα νιτρικά, θειικά, εκπομπές πλοίων/δραστηριότητες λιμένα, επαναιώρηση σκόνης, εκπομπές οχημάτων, φυσικές θαλάσσιες εκπομπές*) οι οποίες περιγράφονται στο Π.4 (σελ. 14-19, 32-37) ενώ το ποσοστό συνεισφοράς τους για τις 2 περιοχές παρουσιάζεται στην σελ. 19 και 37 αντίστοιχα.
- ✓ Από την εισαγωγή στο μοντέλο των οργανικών και θειούχων ενώσεων προέκυψαν 4 πηγές (*εκπομπές πλοίων/δραστηριότητες λιμένα, εκπομπές οχημάτων, δραστηριότητες επεξεργασίας πετρελαιοειδών και επεξεργασίας λυμάτων, βιομηχανικές δραστηριότητες εκπομπής μη οσμηρών*) οι οποίες περιγράφονται στο Π.4 (σελ. 23-28, 39-42) με το ποσοστό συνεισφοράς τους να παρουσιάζεται στο Π.5 (σελ. 30-31, 38-39)

Και στις 2 περιοχές βρέθηκαν κοινές πηγές σωματιδίων και πτητικών οργανικών ενώσεων αλλά με διαφορετικό ποσοστό συνεισφοράς τους στην ποιότητα ατμόσφαιρας της κάθε περιοχής.

- Από τη συσχέτιση της συνεισφοράς της πηγής οσμηρών ενώσεων (αποτελέσματα του παραπάνω μοντέλου της PMF) με μετεωρολογικά δεδομένα (Π.4 - χρήση R-plots) καθώς και από το μαθηματικό μοντέλο διασποράς ρύπων DIPLOT (Π.5 - μοντέλο αντίστροφης διασποράς), ορίστηκαν χωρικά οι περιοχές πιθανής προέλευσης των οσμηρών ενώσεων.

- ✓ Οι περιοχές αυτές για την περιοχή Δραπετσώνας – Κερατσινίου είναι α) στην παράκτια ζώνη δυτικά της πόλης (ΔΝΔ του ΔΚ1) όπως απεικονίζεται στο Π.4 σελ. 26 και Π5 σελ.15 πιθανά από μονάδες πετρελαιοειδών και β) με μικρότερη ένταση, εντός της θαλάσσιας περιοχής δυτικά του ΔΚ2, πιθανά από μονάδα επεξεργασίας λυμάτων (Π5 σελ. 15).
- ✓ Για την Ελευσίνα, οι πιθανές πηγές ορίζονται στην περιοχή ΝΔ του Ε1, Ε2 όπως απεικονίζεται στο Π.4 σελ. 41, Π5 σελ.17 ενώ με μικρότερη ένταση φαίνεται πιθανή επίδραση από ΒΑ Π5. σελ. 17

3. Μελέτη διασποράς Ολικών Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (ΠΟΕ) από βιομηχανική μονάδα με χρήση μοντέλου WRF/HYSPLIT (Π.5 σελ. 19-28).

Προϋπόθεση υλοποίησης της μελέτης διασποράς, βάσει σύμβασης, ήταν η παροχή στοιχείων από την Περιφέρεια Αττικής που θα αφορούν την επιλεγείσα μονάδα και θα προέρχονται από μετρήσεις εκπομπών οι οποίες πραγματοποιούνται από την ίδια την μονάδα με βάση τους όρους της περιβαλλοντικής της αδειοδότησης. Με την εισαγωγή των δεδομένων (ολικές ΠΟΕ) που υπήρχαν διαθέσιμα από την Περιφέρεια Αττικής για την μονάδα που επέλεξε για εφαρμογή της μελέτης διασποράς (OIL ONE) δεν αποτυπώνεται η επίδραση της βιομηχανίας σε φαινόμενα δυσάρεστων οσμών στην περιοχή. Απαιτείται η επιμέρους σύσταση των εκπεμπόμενων ολικών οργανικών ενώσεων και αν σ' αυτή περιλαμβάνονται και σε ποια συγκέντρωση οσμηρές ενώσεις.

Πρόταση Μελλοντικής Εργασίας

Μετρήσεις εκπομπών των επιμέρους οσμηρών ενώσεων που πιθανό να εκλύονται από τους απαγωγούς των μονάδων που δραστηριοποιούνται στην περιοχή που προσδιορίστηκε από την παρούσα μελέτη (Π.4, Π.5), είναι απαραίτητες για την σύγκριση των συγκεντρώσεων τους με το κατώφλι οσμής και τον προσδιορισμό του βαθμού επίδρασης της κάθε μιας στην περιοχή. Συγκεκριμένα προτείνονται μετρήσεις εκπομπών των ενώσεων που

ανιχνεύθηκαν, από την παρούσα μελέτη, ότι προκαλούν τα φαινόμενα
δυσάρεστων οσμών και επηρεάζουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας της
Δραπετσώνας-Κερατσινίου και της Ελευσίνας (Π.3).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Andronopoulos, et.al. 2009. RODOS-DIPCOT Model Description and Evaluation, Report RODOS(RA2)-TN(09)-01

Almeida-Silva, M., et.al 2016. Source apportionment of indoor PM10 in elderly care center. Environ. Sci. Pollut. Res. 23 (8), 7814–7827.

Amato, F. et.al, 2016. AIRUSE-LIFE+: a harmonized PM speciation and source apportionment in five southern European cities. Atmos. Chem. Phys. 16 (5), 3289–3309.

Argyropoulos, G., et.al. 2017. Source apportionment of PM10 and PM2.5 in major urban Greek agglomerations using a hybrid source-receptor modeling process. Sci. Total Environ. 601–602, 906–917.

Bari et al., 2015. Source apportionment of indoor and outdoor volatile organic compounds at homes in Edmonton, Canada. Building and Environment 90, 114-124

Carslaw, D.C., Ropkins, K., 2012. Open air-an R package for air quality data analysis. Environ. Model. Softw. 27-28, 52–61.

Efthimiou, G.C., Kovalets, I.V., Argyropoulos, C.D., Venetsanos, A., Andronopoulos, S., Kakosimos, K.E. (2018) Evaluation of an inverse modelling methodology for the prediction of a stationary point pollutant source in complex urban environments, Building and Environment 143, 107-119, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.07.003>

Efthimiou G.C., I.V. Kovalets, A. Venetsanos, S. Andronopoulos, C.D. Argyropoulos, K. Kakosimos (2017), An optimized inverse modelling method for determining the location and strength of a point source releasing airborne material in urban environment, Atmospheric Environment 170, 118-129, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.09.034>

Hopke PK, K. Ito, T. Mar, W.F. Christensen, D.J. Eatough and R.C. Henry et al. (2006) PM source apportionment and health effects: 1. Intercomparison of source apportionment results, Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology 16, 275–286

Kovalets I.V., Andronopoulos S., Venetsanos A.G., Bartzis J.G (2011) "Identification of strength and location of stationary point source of atmospheric pollutant in urban

conditions using computational fluid dynamics model", *Mathematics and Computers in Simulation*, **82**, pp. 244-257, <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2011.07.002>

Kovalets I.V., G.C. Efthimiou, S. Andronopoulos, A.G. Venetsanos, C.D. Argyropoulos, K.E. Kakosimos (2018), Inverse identification of unknown finite-duration air pollutant release from a point source in urban environment, *Atmospheric Environment* 181, 82–96, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.03.022.3>.

Leuchner et al., 2010. VOC source–receptor relationships in Houston during TexAQS-II. *Atmospheric Environment* 44, 4056–4067

Miller et al., 2011. Spatial Variability and Application of Ratios between BTEX in Two Canadian Cities. *Scientific World Journal*. 2011; 11: 2536–2549.

Mircea, M., Calori, G., Pirovano, G. and Belis, C., 2020. European guide on air pollution source apportionment for particulate matter with source oriented models and their combined use with receptor models , EUR 30082 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-10698-2 (online), doi:10.2760/470628 (online), JRC119067.

Paatero P, 1997. Least squares formulation of robust non-negative factor analysis. *Chemometr. Intelligent Lab. Syst.* 6037: 23-35

Paatero, P and Tapper U., 1993. Positive matrix factorization: a non-negative factor model with optimal utilization of error estimates of data values. *Environmetrics* 5:111-126.

Pérez, N., Pey, J., Reche, C., Alastuey, A., Querol, X., 2016. Impact of harbour emissions on ambient PM10 and PM2.5 in Barcelona (Spain): evidences of secondary aerosol formation within the urban area. *Sci. Total Environ.* 571, 237–250.

Pey, J., Pérez, N., Cortés, J., Alastuey, A., Querol, X., 2013. Chemical fingerprint and impact of shipping emissions over a western Mediterranean metropolis: primary and aged contributions. *Sci. Total Environ.* 463–464, 497–507.

Polissar A.V., P.K Hopke, WC. Malm, J.F Sisler. *Atmospheric Aerosol over Alaska: 2. Elemental Composition and Sources*, *J.Geophys. Res.* 103: 19. 045-19;057

Salameh, D., Detournay, A., Pey, J., Pérez, N., Liguori, F., Saraga, D., Bove, M.C., Brotto, P., Cassola, F., Massabò, D., Latella, A., Pillon, S., Formenton, G., Patti, S., Armengaud, A., Piga, D., Jaffrezo, J.L., Bartzis, J., Tolis, E., Prati, P., Querol, X., Wortham, H., Marchand, N., 2015. PM2.5 chemical composition in five European Mediterranean cities: a 1-year study. *Atmos. Res.*, 155, 102-117.

Saraga, D., Tolis, E., Maggos, T., Vasilakos C., Bartzis, J., 2019. PM2.5 source apportionment for the port city of Thessaloniki, Greece. *Science of the Total Environment* 650 (2): 2337-2354

Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. G. Duda, X.-Y. Huang, W. Wang, and J. G. Powers, 2008: A description of the Advanced Research WRF version 3. NCAR Technical Note 475, http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw_v3.pdf

SpectrumLabs. Air emission test reports May 2017.

Stein, A. F., R. R. Draxler, G. D. Rolph, B. J. B. Stunder, M. D. Cohen, and F. Ngan, 2015: NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **96**, 2059–2077, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>.

Viana, M., Kuhlbusch, T.A.J., Querol, X., Alastuey, A., Harrison, R.M., Hopke, P.K., et al., 2008. Source apportionment of particulate matter in Europe: a review of methods and results. *J. Aerosol Sci.* 39 (10), 827–849.

Waked, A., Favez, O., Alleman, L.Y., ... Jaffrezo, J.-L., ... Leoz-Garziandia, E., 2014. Source apportionment of PM10 in a north-western Europe regional urban background site (Lens, France) using positive matrix factorization and including primary biogenic emissions. *Atmos. Chem. Phys.* 14 (7), 3325–3346.

Wang et al. 2012. Characterization of volatile organic compounds in the urban area of Beijing from 2000 to 2007. *Journal of Environmental Sciences*, 24, Issue 1, 95-101

Yurdakul et al. 2013. Volatile organic compounds in suburban Ankara atmosphere, Turkey: Sources and variability. *Atmospheric Research*, Volumes 120–121, 298-31