



## **ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ**

**ΤΜΗΜΑ: ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ & ΠΕΡΙΦ. ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ  
ΤΜΗΜΑ: ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

### **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις  
εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής.  
Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"**

**ΕΠΙΒΛΕΨΗ: ΔΡ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ**

**ΜΕΛΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΕΞΕΤΑΣΗΣ: Δρ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΗΛΙΟΥ – Δρ. ΠΑΝΤΕΛΗΣ ΚΟΠΕΛΙΑΣ**

**ΣΥΝΤΑΞΗ**

**ΑΝΑΤΟΛΙΩΤΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2019**

## Περίληψη

Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν έναν από τους βασικότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους που υποβαθμίζουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας των μεγάλων αστικών κέντρων και προκαλούν προβλήματα τόσο στο περιβάλλον όσο και στην ανθρώπινη υγεία.

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώθηκε στην στατιστική ανάλυση και αξιολόγηση των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από τις εργασίες κατασκευής του έργου «ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 3 ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ: ΤΜΗΜΑ ΧΑΙΔΑΡΙ - ΠΕΙΡΑΙΑΣ». Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκε η χωρική συμπεριφορά των αιωρούμενων σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των δέκα μικρομέτρων (PM10, PM2,5).

**Λέξεις κλειδιά:** ατμοσφαιρική ρύπανση, αιωρούμενα σωματίδια, PM10, Μετρό Αθήνας, χωρική συμπεριφορά

## Abstract

Particulate matters are one of the main atmospheric pollutants that degrade the quality of atmosphere of big urban centers and cause problems to both environment and human health. This thesis focused on the statistical analysis of concentrations of particulate matters from the construction of the project "METRO EXTENSION OF LINE 3: CHAIDARI to PIRAEUS Section". More specifically, examined the spatial behavior of particulate matters with aerodynamic diameter less than ten micrometers (PM10, PM2,5).

**Keywords:** air pollution, particulate matter, PM10, Athens Metro, spatial behavior

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου και επιβλέπων της διπλωματικής μου εργασίας, DR Κωνσταντίνο Βογιατζή, για την ανάθεση του πολύ ενδιαφέροντος θέματος καθώς και για την υποστήριξη και συμβολή του στην εκπόνηση της.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση και υποστήριξη που μου παρείχε κατά την διάρκεια της φοίτησης μου στο ΔΠΜΣ αλλά και κατά την διάρκεια εκπόνησης της εν λόγω εργασίας.

©2019 Δημήτριος Ανατολιώτης

Η έγκριση της μεταπτυχιακής εργασίας από το Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Διαχείριση Έργων, Συγκοινωνιακός και Χωρικός Σχεδιασμός» δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

### **Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής**

Επιβλέπων -Πρώτος Εξεταστής

**Dr. Κωνσταντίνος Βογιατζής**

Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής

**Dr. Νικόλαος Ηλιού**

Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής

**Dr. Παντελεήμων Κοπελιάς**

Επ. Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ		ΣΕΛ
	ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	7
	ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	7
	ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	8
	<b>Α΄ ΜΕΡΟΣ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ</b>	11
<b>1.</b>	<b>ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ</b>	12
	1.1 Εισαγωγή	12
	1.2 Ιστορική διαδρομή	13
	1.3 Τα αιωρούμενα σωματίδια και η σημασία τους	15
	1.4 Πηγές Προέλευσης Αιωρούμενων Σωματιδίων	16
	1.5 Φυσικές και Χημικές Ιδιότητες	18
	1.5.1 Διάμετρος των σωματιδίων	19
	1.5.2 Κατηγορίες σωματιδίων σε σχέση με το μέγεθος τους	20
	1.5.3 Χημική σύσταση αιωρούμενων σωματιδίων	22
	1.5.4 Ταχύτητα πτώσης	27
	1.5.5 Προσρόφηση	28
	1.5.6 Σκέδαση και απορρόφηση του φωτός	28
	1.6 Μηχανισμοί σχηματισμού αιωρούμενων σωματιδίων	29
	1.6.1 Πυρηνοποίηση	29
	1.6.2 Συμπύκνωση	31
	1.6.3 Συσσωμάτωση	31
	1.7 Μηχανισμοί απομάκρυνσης αιωρούμενων σωματιδίων	31
<b>2.</b>	<b>ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑ – ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ</b>	34
	2.1 Γενικά	34
	2.2 Στοιχεία πηγών εκπομπής	35
	2.3 Ο ατμοσφαιρικός Κύκλος Διασποράς	35
	2.4 Μοντέλα υπολογισμού ατμοσφαιρικής διασποράς	36
	2.4.1 Τα Γκαουσιανά μοντέλα (ή μοντέλα θυσάνου του Gauss)	37
	2.4.2 Τα αριθμητικά μοντέλα (numerical models)	37
	2.4.3 Τα φυσικά μοντέλα (physical models)	38
	2.4.4 Τα στατιστικά μοντέλα (statistical models)	38
<b>3.</b>	<b>ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ</b>	39
	3.1 Επιπτώσεις στο περιβάλλον	39
	3.1.1 Διάχυση και απορρόφηση του φωτός	39
	3.1.2 Επίδραση των σωματιδίων στην ορατότητα	41
	3.2 Επιπτώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην δημόσια υγεία	42
	3.3 Επίδραση των αιωρούμενων σωματιδίων στο κλίμα	45
	3.3.1 Εισαγωγή	45
	3.3.2 Άμεσες συνέπειες των σωματιδίων στο κλίμα	46
	3.3.3 Έμμεσες συνέπειες των σωματιδίων στο κλίμα	47
	<b>Β΄ ΜΕΡΟΣ</b> <b>Αξιολόγηση των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων κατά τις εργασίες κατασκευής της επέκτασης του Μετρό στον Πειραιά</b>	50
<b>4.</b>	<b>ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΟΥ – ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ</b>	51
	4.1 Γεωγραφική θέση Έργου	51

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 4

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

	4.2	Σύντομη Περιγραφή Έργου	52
	4.3	Μετεωρολογικά Στοιχεία – Κλίμα	53
<b>5.</b>	<b>ΕΛΛΗΝΙΚΟ &amp; ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ – ΙΣΧΥΟΥΣΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ</b>		60
	5.1	Ποιότητα ατμόσφαιρας	60
	5.2	Αιωρούμενα Σωματίδια – Οριακές Τιμές - Στόχοι	60
	5.3	Ισχύουσες Διατάξεις – Νομοθεσία κατά την κατασκευή του έργου	67
	5.4	Συμβατικές Απαιτήσεις	65
	5.4.1	Εγκεκριμένοι Περιβαλλοντικοί Όροι του Έργου	66
	5.4.2	Προγράμματος Κάλυψης Περιβαλλοντικών Όρων και Ετήσιες Αναθεωρήσεις (ΠΚΠΑ)	66
	5.4.3	Ειδική Μελέτη και Πρόγραμμα Παρακολούθησης Αιωρούμενων Σωματιδίων	69
<b>6.</b>	<b>ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ</b>		71
	6.1	Γενικά στοιχεία	71
	6.2	Εκτίμηση Μέγιστων Συγκεντρώσεων Αιωρούμενων Σωματιδίων και Απόστασης εμφάνισης τους στο έδαφος	72
	6.3	Πηγές και Παράγοντες Προέλευσης Αιωρούμενων Σωματιδίων στην περιοχή του Έργου	74
	6.3.1	Ευρύτερη περιοχή έργου	74
	6.3.2	Ζώνη επιρροής του έργου	75
	6.4	Εξοπλισμός μετρήσεων συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων	78
	6.4.1	Συχνότητα Μετρήσεων	78
	6.4.2	Εκθέσεις Αποτελεσμάτων	79
	6.4.3	Πρόγραμμα Παρακολούθησης Αιωρούμενων Σωματιδίων κατά την κατασκευή	80
<b>7.</b>	<b>ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΕΡΓΟΤΑΞΙΩΝ</b>		84
	7.1	Παρουσίαση – Αξιολόγηση αποτελεσμάτων ετήσιων μετρήσεων	84
	7.1.1	Σταθμός Αγ. Βαρβάρα	84
	7.1.2	Σταθμός Κορυδαλλός	90
	7.1.3	Σταθμός Νίκαια	97
	7.1.4	Σταθμός Μανιάτικα	109
	7.1.5	Σταθμός Πειραιάς	112
	7.1.6	Σταθμός Δημοτικό Θέατρο	116
	7.1.7	Φρέαρ Εισόδου TBM	123
	7.1.8	Φρέαρ Ταξιαρχών	130
	7.1.8	Φρέαρ Δεληγιάνη	133
	7.2	Αξιολόγηση της διαχρονικής εξέλιξης των συγκεντρώσεων PM10 και PM2,5	136
	7.2.1	Σταθμός Αγ. Βαρβάρα	137
	7.2.2	Σταθμός Κορυδαλλός	139
	7.2.3	Σταθμός Νίκαια	141
	7.2.4	Σταθμός Μανιάτικα	143
	7.2.5	Σταθμός Πειραιάς	145
	7.2.6	Σταθμός Δημοτικό Θέατρο	147
	7.2.7	Φρέαρ Εισόδου TBM	149
	7.3	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μέγιστων συγκεντρώσεων 2013 - 2018	150

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 5

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

8.	ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	153
9.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	155
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>		158
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ		160
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α		161
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ		
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β		182
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ		
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ		200
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ SCREEN3		

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 6

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1	Η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε από τον P. J. Coulter για την ανίχνευση της ικανότητας συμπύκνωσης των αιωρούμενων σωματιδίων. (Baron and Willeke 2001)	ΣΕΛ. 14
Σχήμα 2	Αντιπροσωπευτική κατανομή αιωρούμενων σωματιδίων κατά μάζα και κυριότερα συστατικά (Watson et al. 1998)	ΣΕΛ. 19
Σχήμα 3	Ιδεατή σχηματική απεικόνιση της επιφανειακής κατανομής των σωματιδίων ενός ατμοσφαιρικού αεροζόλ. (Whitby, 1978, USEPA, 2004)	ΣΕΛ. 21
Σχήμα 4	Τυπική σύσταση σωματιδίων PM10 στο Birmingham, U.K. (Watson et al. 1998)	ΣΕΛ. 27
Σχήμα 5	Ταχύτητα πτώσης αιωρούμενων σωματιδίων σε σχέση με τη διάμετρό τους (Ruzer & Harley, 2005)	ΣΕΛ. 28
Σχήμα 6	Χρόνος αιώρησης σωματιδίων συναρτήσει της διαμέτρου τους (Watson et al. 1997).	ΣΕΛ. 33
Σχήμα 7	Συντελεστής σκέδασης σωματιδίου bsp ανηγμένος στον όγκο του σωματιδίου ως προς την διάμετρό του	ΣΕΛ. 41
Σχήμα 8	Το πεδίο των συγκεντρώσεων επιφανείας το οποίο προκύπτει από εκπομπές μίας πηγής	ΣΕΛ. 73
Σχήμα 9	Ενδεικτική θέση μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στο Σταθμό Αγ. Βαρβάρα	ΣΕΛ. 84
Σχήμα 10	Ενδεικτική θέση μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στο Σταθμό Κορυδαλλός	ΣΕΛ. 90
Σχήμα 11	Ενδεικτική θέση μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στο Σταθμό Νίκαια	ΣΕΛ. 97
Σχήμα 12	Ενδεικτική θέση μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στο Σταθμό Μανιάτικα	ΣΕΛ. 105
Σχήμα 13	Ενδεικτική θέση μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στο Σταθμό Πειραιάς	ΣΕΛ. 112
Σχήμα 14	Ενδεικτική θέση μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στο Σταθμό Δημ. Θέατρο	ΣΕΛ. 116
Σχήμα 15	Ενδεικτική θέση μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στο Φρέαρ TBM	ΣΕΛ. 123
Σχήμα 16	Ενδεικτική θέση μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στο Φρέαρ Ταξιαρχών	ΣΕΛ. 130
Σχήμα 17	Ενδεικτική θέση μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στο Φρέαρ Δεληγιάννη	ΣΕΛ. 133

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1	Ισλανδία - Απρίλιος 2010 (Πηγή:www.photonvolcanica.com)	ΣΕΛ. 16
Εικόνα 2	Δορυφορική εικόνα από τις μεγάλες φωτιές τον Αύγουστο του 2007 στη δυτική και νοτιοδυτική Πελοπόννησο ,φωτογραφία 26/8 από τον δορυφόρο Terra της NASA	ΣΕΛ. 17
Εικόνα 3	Εκπομπές ρύπων από μεγάλες βιομηχανίες	ΣΕΛ. 18
Εικόνα 4	Διείδυση σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα	ΣΕΛ. 43
Εικόνα 5	χάραξη της επέκτασης της Γραμμής 3 από τον επίσταθμο του Χαϊδαρίου μέχρι τον επίσταθμο του Δημοτικού Θεάτρου	ΣΕΛ. 52
Εικόνα 6	φορητό μόνιτορ αιωρούμενων σωματιδίων Dust Trak II	ΣΕΛ. 80
Εικόνα 7	χρήση του Dust Trak II με εξωτερικούς χώρους με αυτόματη λειτουργία	ΣΕΛ. 82

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 7

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΔΙΑΦΘΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν ένα σύνθετο ρύπο της ατμόσφαιρας και συνιστούν κίνδυνο τόσο για την ανθρώπινη υγεία όσο και για το περιβάλλον. Σκοπός της παρούσας διπλωματική εργασίας είναι η αξιολόγηση των επιπτώσεων των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια συγκοινωνιακά έργα. Πιο συγκεκριμένα, μελετάται η χωρική συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10μm (PM10, PM2,5) μέσα από στατιστική επεξεργασία και μελέτη για το χρονικό διάστημα 2013 – 2018 κατά τις εργασίες κατασκευής του έργου «ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 3: ΤΜΗΜΑ ΧΑΙΔΑΡΙ-ΠΕΙΡΑΙΑΣ». Η δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελείται από δύο μέρη.

Το Α' μέρος αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο και παρουσιάζει τα γενικά χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων. Ειδικότερα:

- Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στα αιωρούμενα σωματίδια, τις πηγές προέλευσής τους, τις φυσικές και χημικές ιδιότητες τους, τη χημική τους σύσταση, στους μηχανισμούς σχηματισμού και στους μηχανισμούς απομάκρυνσής τους από την ατμόσφαιρα.
- Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα μοντέλα και τους μηχανισμούς διασποράς των αιωρούμενων σωματιδίων.
- Στο τρίτο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον.

Το Β' μέρος της διπλωματικής εργασίας ασχολείται με τις εκπομπές των αιωρούμενων σωματιδίων κατά τις εργασίες κατασκευής του έργου «ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 3 ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ: ΤΜΗΜΑ ΧΑΙΔΑΡΙ - ΠΕΙΡΑΙΑΣ». Ειδικότερα:

- Στο τέταρτο κεφάλαιο δίνονται γενικά στοιχεία του έργου και της περιοχής εκτέλεσής του, όπως συνοπτική περιγραφή των θέσεων κατασκευής (εργοτάξια) και αναφορά των κλιματολογικών συνθηκών της ευρύτερης περιοχής χωροθέτησής του.
- Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο νομοθετικό πλαίσιο για την ατμοσφαιρική ρύπανση και τα αιωρούμενα σωματίδια. Παρουσιάζονται οι νομοθετικές και κανονιστικές διατάξεις στην Ελλάδα και στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) για την προστασία του περιβάλλοντος. Επίσης περιγράφονται οι περιβαλλοντικές απαιτήσεις του Αναδόχου που απορρέουν από τα συμβατικά τεύχη του έργου.
- Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή του Προγράμματος Μετρήσεων των Αιωρούμενων Σωματιδίων που εφαρμόζεται κατά τις εργασίες κατασκευής του έργου «ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 3: ΤΜΗΜΑ ΧΑΙΔΑΡΙ-ΠΕΙΡΑΙΑΣ». Επίσης περιγράφεται η δομή των Εκθέσεων παρακολούθησης των συγκεντρώσεων των σωματιδίων καθώς και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τις μετρήσεις των συγκεντρώσεων
- Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των μετρήσεων, στατιστική επεξεργασία αξιολόγηση και ανάλυση των τιμών των αιωρούμενων σωματιδίων (PM10-PM2,5), για το χρονικό διάστημα 2013 - 2018 κατά το οποίο έλαβαν χώρα οι μετρήσεις, στους κυριότερους εργοταξιακούς χώρους του έργου, και παρατίθενται τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν.
- Στο όγδοο κεφάλαιο περιγράφονται τα μέτρα που λήφθηκαν κατά την διάρκεια των

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 8

κατασκευαστικών δραστηριοτήτων του έργου για τον περιορισμό των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.

- Τέλος, στο ένατο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα που προκύπτουν μετά τη μελέτη της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναφορικά με την ρύπανση της ατμόσφαιρας από τις εκπομπές των αιωρούμενων σωματιδίων που προήλθαν από τις κατασκευαστικές δραστηριότητες του έργου.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 10

## Α΄ ΜΕΡΟΣ

### Θεωρητική Προσέγγιση



## 1. ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

### 1.1 Εισαγωγή

Τα ατμοσφαιρικά αερολύματα (aerosols) ή αιωρούμενα ατμοσφαιρικά σωματίδια (airborne particulate matter, APM) είναι υγρά ή στερεά σωματίδια, που έχουν διαστάσεις τέτοιες ώστε η αιώρησή τους στην ατμόσφαιρα για εύλογο χρονικό διάστημα (τόσο ώστε να μπορούν να παρατηρηθούν ή να μετρηθούν) να είναι εφικτή. Αν και το εύρος των διαστάσεών τους δεν είναι αυστηρά καθορισμένο, κυμαίνεται από 0,001 έως 100 μm. Ο όρος που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία για την περιγραφή τους είναι αιωρούμενα σωματίδια και θα αναγράφεται χάριν συντομίας ως PM (particulate matter). Οι πηγές των PM μπορεί να είναι φυσικές και ανθρωπογενείς. Μπορούν να εκπεμφθούν απευθείας από τις πηγές τους στην ατμόσφαιρα και ονομάζονται πρωτογενή PM (primary PM) ή να δημιουργηθούν σε αυτή και ονομάζονται δευτερογενή PM (secondary PM). Απαντώνται σε ιδιαίτερα μεγάλη ποικιλία σχημάτων, αλλά συνήθως αναφερόμαστε σε αυτά σαν να έχουν σφαιρικό σχήμα. Η σύστασή τους ποικίλει ιδιαίτερα, ανάλογα με την πηγή και τον τόπο εκπομπής τους. Χαρακτηρίζονται από μία πλειάδα φυσικών και χημικών ιδιοτήτων. Απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα με τις διεργασίες της ξηρής και της υγρής απόθεσης (wet and dry deposition), αλλά είναι πιθανό (ανάλογα με τον χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα) να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις από την περιοχή σχηματισμού τους.

Ανάλογα με τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των PM, μπορεί να τους αποδοθούν διαφορετικές ονομασίες (Seinfeld and Pandis 1998; Hinds 1999):

- Αεροζόλ ή αερόλυμα (Aerosol): Σωματίδια διεσπαρμένα σε αέριο
- Ομίχλη (Fog): Ορατά σωματίδια διεσπαρμένου υγρού, συνήθως νερού, κοντά στο έδαφος. Είναι φυσικό φαινόμενο και η εκδήλωσή του εξαρτάται από τα μετεωρολογικά φαινόμενα.
- Σκόνες (Dusts): Αιωρήματα στερών σωματιδίων προερχόμενα από μηχανικές διεργασίες.
- Αχλή (Haze): Σωματίδια τα οποία μειώνουν την ορατότητα και μπορεί να αποτελούνται από σταγονίδια νερού, ρύπους και σκόνη.
- Σωματίδιο (Particle): Το σωματίδιο μπορεί να είναι υγρό ή στερεό και αποτελείται από μεγάλο αριθμό μορίων τα οποία συγκρατούνται με διαμοριακές δυνάμεις. Ένα σωματίδιο μπορεί να αποτελείται από περισσότερα του ενός σωματίδια, τα οποία είναι ενωμένα και συμπεριφέρονται ως ένα σωματίδιο.
- Αιθαλομίχλη (Smog): Όρος που προκύπτει από τον καπνό (smoke) και την ομίχλη (fog) και χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις εκτεταμένης σωματιδιακής ρύπανσης. Αιθάλη (Soot): Συσσωμάτωμα σωματιδίων άνθρακα, σχηματιζόμενα λόγω ατελούς καύσης υλικών που περιέχουν άνθρακα.
- Βιοαεροζόλ (Bioaerosol): Σωματίδια βιολογικής προέλευσης όπως γύρη, ιοί, βακτήρια και θραύσματα αυτών.
- Σύννεφο (Cloud): Ένα υψηλής πυκνότητας αιώρημα σωματιδίων στον αέρα με αυστηρά καθορισμένα όρια.
- Σωματίδιο (Particulate): Όρος που υποδηλώνει ότι το υπό εξέταση σώμα έχει σωματιδιακές ιδιότητες.
- Νανοςωματίδιο (Nanoparticle): Ένα σωματίδιο με μέγεθος 1-100 nm.

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 12

Υπάρχουν επίσης αρκετοί όροι που περιγράφουν το σχήμα και την προέλευση των σωματιδίων σε ένα αερόλυμα:

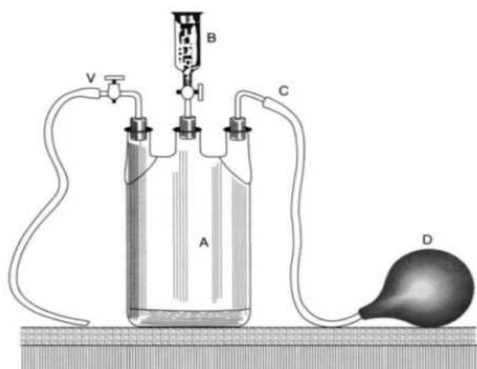
- Συσσωμάτωμα: (Aggregate): Ένα ετερογενές σωματίδιο του οποίου τα συστατικά συγκρατούνται ισχυρά.
- Σύμπλεγμα (Agglomerate): Ένα σύμπλεγμα σωματιδίων που συγκρατούνται μεταξύ τους ασθενώς λόγω δυνάμεων van der Waals
- Πρωτογενή σωματίδια (Primary particles): Σωματίδια που εκπέμπονται απευθείας από την πηγή σχηματισμού του στον αέρα.
- Δευτερογενή σωματίδια (Secondary particles): Σωματίδια που δεν εκπέμπονται πρωτογενώς αλλά σχηματίζονται στον αέρα.

## 1.2 Ιστορική αναδρομή

Όσο και αν ακούγεται αρχικά παράδοξο το πρόβλημα της σωματιδιακής ρύπανσης, αλλά και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης γενικότερα, δεν είναι σύγχρονο. Υπάρχουν αναφορές για την ύπαρξή του από πολλούς αιώνες πριν. Η αισθητή παρουσία της ατμοσφαιρικής ρύπανσης δημιούργησε την ανάγκη κατανόησης του φαινομένου, οδηγώντας κατά συνέπεια στις πρώτες απόπειρες μελέτης του.

Η ιστορία της μελέτης των αιωρούμενων ατμοσφαιρικών σωματιδίων είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη μελέτη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Υπάρχουν αναφορές για την ύπαρξη σωματιδίων στον αέρα που προκαλούσαν δυσάρεστες καταστάσεις ακόμα και από την εποχή της αρχαίας Ρώμης, με τους Ρωμαίους να παραπονούνται για τον κακή ποιότητας αέρα της πόλης. Η πολύ υψηλή ρύπανση της ατμόσφαιρας από αιωρούμενα σωματίδια οδήγησε το 1273 στην απαγόρευση καύσης κάρβουνου στο Λονδίνο. Ο John Evelyn το 1661, ήταν ο πρώτος που δημιούργησε μία έκθεση για τη ρύπανση από αιωρούμενα σωματίδια, αναφερόμενος στην πόλη του Λονδίνου, την οποία κατέθεσε στον Κάρολο τον Β'.

Το 1847, ο H. Becquerel υπέθεσε την ύπαρξη σωματιδίων στον αέρα, τα οποία ονόμασε πυρήνες συμπύκνωσης (condensation nuclei). Η ύπαρξή τους επιβεβαιώθηκε το 1875 από τα πειράματα που διεξήγαγε ο Coulier. Ο Coulier ήταν ο πρώτος που δημοσίευσε εργασία δείχνοντας ότι όταν ο αέρας εκτονώνεται αδιαβατικά, η συμπύκνωση των υδρατμών συμβαίνει εντονότερα σε αφιλτράριστο (αέρα που δεν έχουν αφαιρεθεί τα σωματίδια) παρά σε φιλτραρισμένο αέρα. Η συσκευή του Coulier ήταν επί της ουσίας η πρώτη συσκευή ανίχνευσης πυρήνων συμπύκνωσης (Σχήμα 1).



**Σχήμα 1:** Η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε από τον P. J. Coulier για την ανίχνευση της ικανότητας συμπύκνωσης των αιωρούμενων σωματιδίων. A: διάφανο δοχείο, B: δοχείο με βαθμονόμηση, C: ένωση, D: λαστιχένια αντλία, V: βαλβίδα (Baron and Willeke 2001)

Ο John Aitken ξεκίνησε την έρευνά του πάνω στην συμπύκνωση το 1875 και δημοσίευσε τα αποτελέσματά του από το 1880 και μετά. Ο Aitken ήταν ο πρώτος που ανέπτυξε και χρησιμοποίησε φορητά όργανα συλλογής σωματιδίων σκόνης στην ατμόσφαιρα.

Ο John Tyndall επανέλαβε πειράματα για τη δημιουργία αιωρούμενων σωματιδίων σε εργαστηριακές συνθήκες που είχαν αρχικά πραγματοποιηθεί από τον Leonardo da Vinci (πρώτη καταγεγραμμένη πραγματοποίηση τέτοιων πειραμάτων στην ιστορία). Οι παρατηρήσεις του Tyndall ότι η σκόνη και ο καπνός που υπάρχουν σε ένα δωμάτιο μπορούν να γίνουν εύκολα αντιληπτά από τη σκέδαση που προκαλούν στο φως, χρησιμοποιήθηκε από τον Faraday το 1856 για να αποδείξει την ύπαρξη κολλοειδών σωματιδίων σε διαλύματα. Ο Tyndall είναι ο εφευρέτης του τυνταλόμετρου (tyndallometer) και του νεφελόμετρου (nephelometer).

Ο όρος αεροζόλ (aerosol), χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά το 1918 από τον E. G. Donnan και εισήχθη πρώτη φορά στην βιβλιογραφία το 1920 από τον Schmauss, ο οποίος διατελούσε την εποχή εκείνη Διευθυντής του μετεωρολογικού σταθμού του Μονάχου. Χρησιμοποίησε τον όρο για να συγκρίνει τις χημικές διεργασίες των κολλοειδών με τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε νεφελώδη ατμόσφαιρα. Αφού εντόπισε αρκετές ομοιότητες, χρησιμοποίησε τον όρο αεροζόλ σε αναλογία με τον όρο υδροζόλ που προϋπήρχε. Ο όρος αεροζόλ υποδηλώνει ένα νέφος σωματιδίων ή σταγονιδίων διεσπαρμένο στον αέρα (Sprunyn 1998).

Η γέννηση της επιστήμης της μελέτης των αιρούμενων σωματιδίων εντοπίζεται στο δεύτερο μισό του 19ου αιώνα. Ευρύτερη ανάπτυξη στον τομέα της μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων υπήρξε κυρίως μετά το 1920. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου έγιναν εμφανείς οι αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία από την ύπαρξη στην ατμόσφαιρα σκόνης και αιωρούμενων σωματιδίων από τις βιομηχανικές δραστηριότητες.

Οι πρώτες απόπειρες μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων έγιναν στις αρχές του 1900. Η πρώτη προσέγγιση ήταν απλή και προφανής και περιελάμβανε τη διαβίβαση συγκεκριμένης ποσότητας αέρα από ένα φίλτρο και ζύγιση των συλλεχθέντων σωματιδίων. Τα πρώτα φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν κατασκευασμένα από βαμβάκι. Στην πορεία του χρόνου

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 14

ανακαλύφθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν αρκετές διαφορετικές συσκευές μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων.

### 1.3 Τα αιωρούμενα σωματίδια και η σημασία τους

Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους ρυπαντές της γήινης ατμόσφαιρας. Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού τις τελευταίες δεκαετίες, ο πολλαπλασιασμός με ρυθμό γεωμετρικής προόδου των μέσων μεταφοράς, η εντεινόμενη βιομηχανική, μεταλλευτική και εξορυκτική δραστηριότητα, η ανεξέλεγκτη υπερεκμετάλλευση των πλουτοπαραγωγικών πόρων του πλανήτη και η αστικοποίηση, καθώς και δεκάδες άλλες συνεπακόλουθες των παραπάνω μεταβολές της σχέσης του ανθρώπου με τη βιόσφαιρα, έχουν επιφέρει σημαντική μεταβολή της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα. Από τις σχετικές έρευνες προκύπτει ότι ανεξάρτητα από τις διαχρονικές τάσεις, τα αιωρούμενα σωματίδια (PM<sub>10</sub>) και οι φωτοχημικοί ρύποι αποτελούν σήμερα το σημαντικότερο πρόβλημα του αστικού ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος.

Όσον αφορά τον άνθρωπο, πολλά προβλήματα υγείας (αναπνευστικές δυσλειτουργίες, καρδιακά νοσήματα, καρκίνος θώρακα και δέρματος κ.ά.) συνδέονται με την ρύπανση της ατμόσφαιρας (Preining, 1991, Penner και Mulholland, 1991, Charlson κ.ά., 1992, Dockery κ.ά., 1994, Schwarz κ.ά., 1996, Harrison κ.ά., 1997). Όλα αυτά καθιστούν αναγκαία τη λήψη μέτρων απορρύπανσης, καθώς και τον εντοπισμό των πηγών αυτών των σωματιδίων ώστε να γίνει δυνατή η μείωση των εκπομπών τους στην ατμόσφαιρα, με τη θέσπιση κανόνων και ορίων εκπομπής και την αλλαγή της σχέσης του ανθρώπου με τον πλανήτη.

Τα αιωρούμενα σωματίδια και εν γένει οι ατμοσφαιρικοί ρύποι μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες. Στους πρωτογενείς ρύπους που εκπέμπονται απ' ευθείας από τις διάφορες ανθρωπογενείς και φυσικές πηγές, και στους δευτερογενείς ρύπους που δημιουργούνται στην ατμόσφαιρα μέσω χημικών αντιδράσεων των πρωτογενών ρύπων και άλλων συστατικών της ατμόσφαιρας. Στις διεργασίες αυτές μεταξύ των άλλων περιλαμβάνονται και οι μηχανισμοί ομογενούς και ετερογενούς πυρηνοποίησης (nucleation), με τις οποίες παράγονται σε μικρό χρονικό διάστημα μεγάλες ποσότητες υπέρλεπτων (ultrafine) σωματιδίων, τα οποία εν συνεχεία συμμετέχουν σε περαιτέρω ατμοσφαιρικές διεργασίες όπως είναι η συσσωμάτωση (coagulation) και η συμπύκνωση (condensation).

Οι διεργασίες απομάκρυνσης των αερολυμάτων από την ατμόσφαιρα μπορούν να χωριστούν σε φυσικές και σε χημικές. Στις φυσικές ανήκουν η εναπόθεσή τους στις διάφορες επιφάνειες, διαδικασία γνωστή ως "ξηρά εναπόθεση", μια τυπική φυσική διαδικασία, καθώς και η απομάκρυνσή τους από την ατμόσφαιρα ως υγρά κατακρημνίσματα, διαδικασία η οποία αναφέρεται ως "υγρή εναπόθεση". Στις χημικές διεργασίες που συντελούν στην απομάκρυνση των σωματιδίων από την τροπόσφαιρα ανήκουν οι φωτοχημικές αντιδράσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας, οι οξειδωτικές αντιδράσεις (με ρίζες υδροξυλίου, όζον κ.ά.), οι αντιδράσεις με νιτρικές ρίζες, οξειδία του αζώτου και θείου, με οξέα όπως το νιτρικό και το θειικό οξύ κ.ά.

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

#### 1.4 Πηγές Προέλευσης Αιωρούμενων Σωματιδίων

Τα αιωρούμενα σωματίδια προέρχονται τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς πηγές. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα αιωρούμενα σωματίδια με κριτήριο τον τρόπο σχηματισμού τους χωρίζονται σε πρωτογενή και δευτερογενή. Όσον αφορά τα πρωτογενή σωματίδια, αυτά είναι δυνατόν να προέλθουν από την κίνηση οχημάτων, τη λειτουργία μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τις αστικές και βιομηχανικές καύσεις, τους εμπρησμούς δασών, τα θαλάσσια αερολύματα, την επαναιώρηση σκόνης από τον άνεμο και από την ηφαιστειακή δραστηριότητα. Από την άλλη, τα δευτερογενή σωματίδια παράγονται κυρίως από την έντονη κυκλοφοριακή κίνηση των οχημάτων και από βιομηχανικές διεργασίες.

Στις αστικές περιοχές, η κυρίαρχη πηγή αιωρούμενων σωματιδίων είναι οι κινητήρες των οχημάτων καθώς και ο σχηματισμός σωματιδίων στην ατμόσφαιρα με χημικές αντιδράσεις από τα αέρια οξείδια του αζώτου και του θείου. Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων εμφανίζονται ιδιαίτερα αυξημένες σε περιοχές με μεγαλύτερη πληθυσμιακή πυκνότητα και κοντά σε βιομηχανικές περιοχές (Διαπούλη, 2008).

Σύμφωνα με τον Ζάνη (2008), οι σημαντικότερες φυσικές πηγές είναι:

- Τα ηφαίστεια (που εκλύουν κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του θείου, υδρόθειο και μεθάνιο). Οι εκλύσεις σωματιδίων μιας έκρηξης μπορούν να είναι τέτοιου μεγέθους που να δημιουργήσουν διαταραχή στο περιβάλλον σε μεγάλη απόσταση από την ηφαιστειακή πηγή. Τα νέφη της ηφαιστειακής σωματιδιακής ύλης μπορούν να παραμείνουν στην ατμόσφαιρα πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα (Καραθανάσης, 2006).



Εικόνα 1: Ισλανδία - Απρίλιος 2010 (Πηγή: [www.photovolcanica.com](http://www.photovolcanica.com))

- Οι δασικές πυρκαγιές (που εκλύουν κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα). Η χλωρίδα κατά την καύση της παράγει σωματίδια. Η τέλεια καύση της χλωρίδας έχει ως προϊόν την ιπτάμενη τέφρα. Οι δασικές πυρκαγιές παρόλο που μπορούν να πυροδοτηθούν από τον άνθρωπο, κατατάσσονται στις φυσικές πηγές

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

διότι εκλύουν μεγάλες ποσότητες ρύπων με τη μορφή καπνού και ιπτάμενης τέφρας (Μασσάρα, 2011).



**Εικόνα 2: Δορυφορική εικόνα από τις μεγάλες φωτιές τον Αύγουστο του 2007 στη δυτική και νοτιοδυτική Πελοπόννησο ,φωτογραφία 26/8 από τον δορυφόρο Terra της NASA (Πηγή:<http://el.wikipedia.org>)**

- Οι ωκεανοί και γενικότερα οι θαλάσσιες εκτάσεις (που εκλύουν κυρίως χλωριούχο νάτριο και θειικά άλατα). Από την επιφάνεια των ωκεανών μεταφέρονται σταγονίδια νερού με διάφορα άλατα υπό την επίδραση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας (Καραθανάσης, 2006).
- Η βιολογική αποσύνθεση των φυτών και των ζώων (από την οποία εκλύονται κυρίως υδρογονάνθρακες, αμμωνία και υδρόθειο).
- Η αποσάθρωση του εδάφους (από την οποία εκλύονται κυρίως αιωρούμενα σωματίδια).
- Τα φυτά και τα δέντρα (που εκλύουν κυρίως υδρογονάνθρακες).

Όσον αφορά τις ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης, μπορούμε να θεωρήσουμε ως κύριες τις εξής (Ζάνης, 2008):

- Την κίνηση των οχημάτων. Οι κύριες πηγές εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων από τροχοφόρα είναι: α) τα καυσαέριά τους, β) η επαναιώρηση της σκόνης του δρόμου από την κίνηση των τροχοφόρων στους δρόμους, γ) η φθοράς των ελαστικών κατά την κίνηση των οχημάτων έχει ως αποτέλεσμα β) εκπέμπονται σωματίδια στην ατμόσφαιρα.
- Τη λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης. Η πλέον βασική πηγή οικιακής θέρμανσης είναι η καύση πετρελαίου η οποία αποτελεί σημαντική πηγή έκλυσης αιωρούμενων σωματιδίων και υποβάθμισης του περιβάλλοντος. Σε μερικές περιοχές η καύση ξύλων χρησιμοποιείται για οικιακή θέρμανση η οποία με τη σειρά της αποτελεί μια επιπλέον πηγή έκλυσης σωματιδιακής ρύπανσης.
- Τις εκπομπές του τομέα βιομηχανικής παραγωγής. Οι βιομηχανικές εκπομπές συνεισφέρουν στην παραγωγή αιωρούμενων σωματιδίων σε αστικές περιοχές ανάλογα με την απόσταση της βιομηχανίας από την αστική περιοχή και την τεχνολογία που εφαρμόζουν. Τα αιωρούμενα σωματίδια που εκπέμπονται από τις διαφορετικού τύπου βιομηχανίες παρουσιάζουν ποικίλα χαρακτηριστικά. Το μέγεθός του κυμαίνεται από 0.5 έως 100μμ . Οι βιομηχανίες που εκλύουν σημαντικές ποσότητες σωματιδίων είναι οι μονάδες παραγωγής ενέργειας, οι χημικές βιομηχανίες, οι μονάδες επεξεργασίας γεωργικών προϊόντων, οι βιομηχανίες παραγωγής τροφίμων, οι μεταλλουργικές βιομηχανίες και τα διυλιστήρια πετρελαίου.

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 17



- Τις κατασκευαστικές δραστηριότητες μεγάλων έργων υποδομής, ιδιαίτερα όταν εκτελούνται σε αστικές πυκνοκατοικημένες περιοχές.



Εικόνα 3: Εκπομπές ρύπων από μεγάλες βιομηχανίες (<http://www.econews.gr/wp-content/uploads/2010/10/news-ekpompes-rupwn.jpg>).

### 1.5 Φυσικές και Χημικές ιδιότητες

Οι ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων είναι δύσκολο να γενικευτούν διότι περιλαμβάνουν διάφορα σωματίδια που προκύπτουν από ένα πολύ μεγάλο εύρος δραστηριοτήτων. Η επικινδυνότητα των σωματιδίων εξαρτάται μεταξύ άλλων από τη διάμετρό τους και η πρόσφατη νομοθεσία διαφοροποιεί τα εισπνεύσιμα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 10 μικρά (PM10) και τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 2.5 μικρά (PM2.5). Τα PM2.5 προκύπτουν από τις πηγές καύσης και από τον χημικό μετασχηματισμό αέριων ρύπων στην ατμόσφαιρα. Το αέριο διοξείδιο του θείου για παράδειγμα γρήγορα μετατρέπεται σε μικρά σωματίδια θείου μετά την απελευθέρωση του από τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας και τα χυτήρια. Τα μικρότερα σωματίδια είναι συνήθως πιο επικίνδυνα από τα μεγαλύτερα διότι εισπνέονται πιο βαθιά στους πνεύμονες, όπου εγκαθίστανται και προκαλούν βλάβες στους ευαίσθητους ιστούς που εμπλέκονται στην ανταλλαγή του αέρα. Τα μικρότερα σωματίδια παρέχουν επίσης μεγαλύτερη συνολικά επιφάνεια (για συγκεκριμένο βάρος σωματιδίων) για την πραγματοποίηση χημικών αντιδράσεων, κάνοντας ευκολότερη την προσκόλληση σε αυτά τοξικών ουσιών (όπως τα ίχνη μετάλλου). Τα μικρότερα σωματίδια μπορούν να παραμείνουν στον αέρα για εβδομάδες ή μήνες και επομένως μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις από την πηγή τους.

Τα μεγαλύτερα σωματίδια κυρίως προέρχονται από τα μεταλλεύματα, τις κατασκευαστικές δραστηριότητες, τις πυρκαγιές και την ατμοσφαιρική σκόνη. Εναποτίθενται γρηγορότερα από τα μικρά σωματίδια και επομένως αποτελούν κίνδυνο κυρίως κοντά στην πηγή τους.

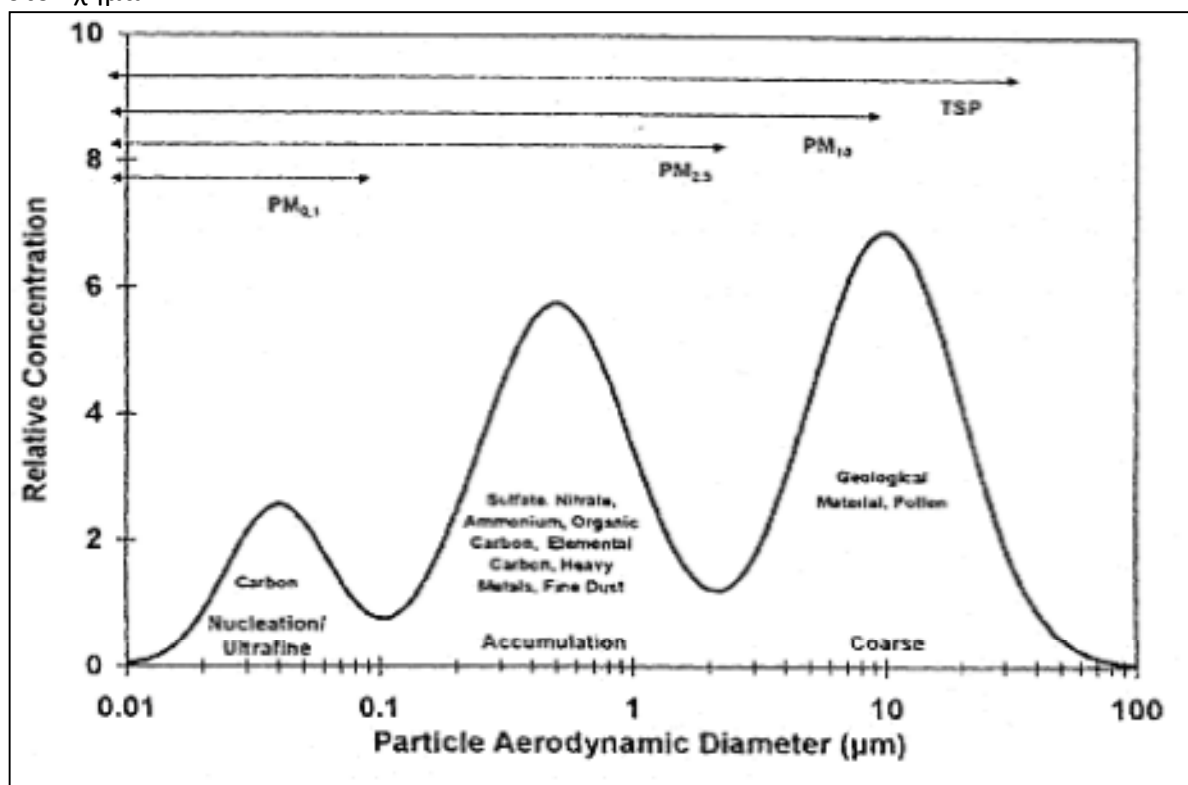
Η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων αποτελεί επίσης σημαντικό χαρακτηριστικό τους εξαιτίας:

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

- της επίδρασης των ρυπαντών στην ανθρώπινη υγεία ανάλογα με τη χημική τους συμπεριφορά και ιδιότητες,
- της αναγνώρισης της πηγής των αερολυμάτων από τη χημική τους σύσταση.

Η κατανομή μάζας των κυριότερων συστατικών των αιωρούμενων σωματιδίων εμφανίζονται στο Σχήμα 2



Σχήμα 2: Αντιπροσωπευτική κατανομή αιωρούμενων σωματιδίων κατά μάζα και κυριότερα συστατικά (Watson et al. 1998)

### 1.5.1 Διάμετρος των σωματιδίων

Η διάμετρος των σωματιδίων (εκφραζόμενο μέσω της αεροδυναμικής διαμέτρου  $D$  ή  $D_p$ ), αποτελεί ίσως την πιο ενδιαφέρουσα παράμετρο των αιωρούμενων σωματιδίων. Αυτό συμβαίνει διότι το μέγεθος ενός σωματιδίου δεν αντανάκλα μόνο την πηγή εκπομπής του και ως εκ τούτου της χημικής του σύστασης, μα και γιατί έχει βρεθεί να υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ του μεγέθους των σωματιδίων και των επιπτώσεων που αυτά έχουν στην υγεία, την ορατότητα και το κλίμα μιας περιοχής. Η αεροδυναμική διάμετρος  $D$  μαθηματικά ορίζεται από την επόμενη σχέση:

$$D = D_g k (\rho_p / \rho_0)^{1/2}$$

όπου  $D_g$  είναι η κλασική γεωμετρική διάμετρος σφαίρας,  $\rho_p$  η πυκνότητα του σωματιδίου,  $\rho_0$  η πυκνότητα αναφοράς ( $1\text{g}/\text{cm}^3$ ) και  $k$  ένας συντελεστής σχήματος, που στην περίπτωση σφαίρας έχει την τιμή 1 (USEPA, 2004, Chen και Fryrear, 2001, Le Roux, 2002).

Υπάρχουν ορισμένοι τύποι (μορφές) ισοδύναμης διαμέτρου (equivalent diameter) (Hinds, 1999, Seinfeld και Pandis, 2006) που χρησιμοποιούνται για να εκφράσουν θεωρητικά την συμπεριφορά του ούτως ή άλλως, μη σφαιρικού συνήθως ατμοσφαιρικού σωματιδίου. Ως ισοδύναμη διάμετρος ορίζεται η διάμετρος σφαιρικού σωματιδίου που έχει την ίδια τιμή μιας

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"



συγκεκριμένης ιδιότητας με αυτή ενός σωματιδίου ακανόνιστου σχήματος (Hinds, 1999). Ο περισσότερο συχνά χρησιμοποιούμενος τύπος είναι αυτός της αεροδυναμικής διαμέτρου  $D$  η οποία ορίζεται ως η διάμετρος σφαίρας με μοναδιαία πυκνότητα ( $1\text{g/cm}^3$ ) που έχει την ίδια μέγιστη ταχύτητα πτώσης στον αέρα με το υπό εξέταση σωματίδιο. Ο ορισμός κατ' αυτόν τον τρόπο της σωματιδιακής διαμέτρου είναι ιδιαίτερα χρήσιμος καθώς αυτός ορίζει ουσιαστικά τον χρόνο παραμονής του σωματιδίου στην ατμόσφαιρα.

Ένας άλλος τύπος διαμέτρου που συχνά χρησιμοποιείται είναι η διάμετρος Stokes  $D_S$ , που ορίζεται ως η διάμετρος μιας σφαίρας που έχει την ίδια πυκνότητα και ταχύτητα καθίζησης με το υπό εξέταση σωματίδιο. Η αεροδυναμική διάμετρος συσχετίζεται με την διάμετρο Stokes, προσεγγιστικά, με την παρακάτω απλοποιημένη εξίσωση:

$$D_a = D_p \rho_p^{1/2}$$

όπου:  $\rho_p$  η πυκνότητα του σωματιδίου

Η διαφορά δηλαδή της διαμέτρου Stokes σε σχέση με την αεροδυναμική διάμετρο είναι ότι η δεύτερη περιλαμβάνει και την αναγωγή της πυκνότητας του σωματιδίου στην μοναδιαία πυκνότητα.

### 1.5.2 Κατηγορίες σωματιδίων σε σχέση με το μέγεθος τους

Τα σωματίδια με διάμετρο  $D > 2,5 \mu\text{m}$  ονομάζονται χονδρόκοκκα ή χονδρά ή αδρά σωματίδια (coarse particles), ενώ εκείνα με διάμετρο  $D < 2,5 \mu\text{m}$  χαρακτηρίζονται ως λεπτόκοκκα ή λεπτά σωματίδια (fine particles). Συνήθως στην κατηγορία των λεπτών σωματιδίων περιλαμβάνεται το μεγαλύτερο μέρος του πλήθους των σωματιδίων και ένα μεγάλο μέρος της συνολικής μάζας (περίπου το 1/3 της μάζας για μη-αστικές περιοχές και το 1/2 αυτής για αστικές περιοχές). Έχει δειχτεί ότι πάνω από το 80% του πλήθους των αιωρούμενων σωματιδίων ανήκει στην κατηγορία των υπέρλεπτων ή των λεπτών σωματιδίων (Morawska κ.ά., 1998a). Ωστόσο η συνολική μάζα αυτών των σωματιδίων είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με τη μάζα των χονδρόκοκκων σωματιδίων τα οποία αποτελούν και το μεγαλύτερο μέρος της αιωρούμενης σωματιδιακής μάζας (Morawska, 2000).

Η κατηγορία των λεπτών σωματιδίων μπορεί με τη σειρά της να διαχωριστεί σε δυο μικρότερες κατηγορίες.

#### Υποκατηγορία πυρήνα (nuclei mode / nuclei range)

Τα σωματίδια αυτά έχουν μέγεθος από 0,01 έως 0,05  $\mu\text{m}$  και προέρχονται άμεσα από πηγές καύσης ή είναι συμπυκνώματα προϊόντων καύσης. Παρουσιάζουν μικρό χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα γιατί συσσωματώνονται μεταξύ τους ή με λίγο μεγαλύτερα σωματίδια, προς σχηματισμό σωματιδίων μεγαλύτερης διαμέτρου. Η υποκατηγορία αυτή χωρίζεται στις επόμενες δύο ομάδες:

- Μεταβατικά σωματίδια πυρήνα (Aitken Nuclei). Αντιπροσωπεύει εκείνη την ομάδα των σωματιδίων πυρήνα που παρουσιάζει τοπικό μέγιστο στην κατανομή κατά πλήθος πάνω από τα 15 nm.
- Υπερλεπτόκοκκα σωματίδια πυρήνα (Ultra-fine Nuclei). Πρόκειται για τα υπόλοιπα σωματίδια πυρήνα. Τα σωματίδια αυτά παρουσιάζουν τοπικό μέγιστο στην κατανομή κατά πλήθος κάτω από τα 15 nm.

#### Υποκατηγορία συσσώρευσης (accumulation range)

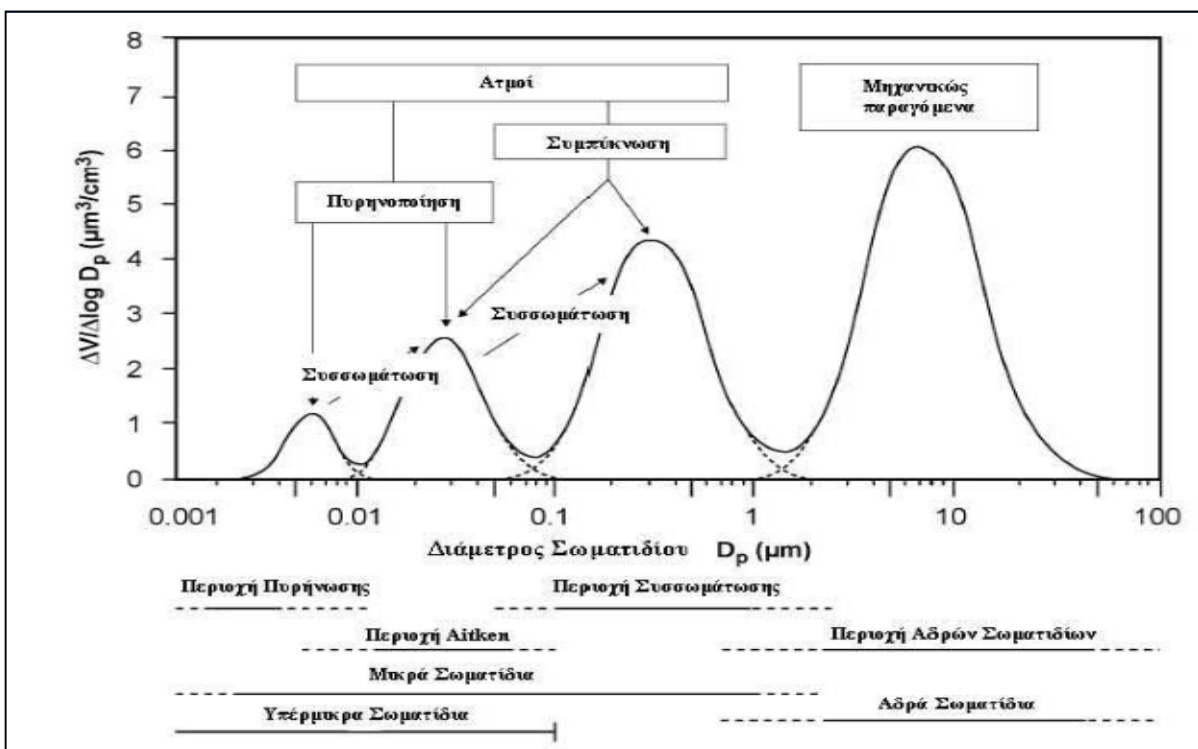
#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Τα σωματίδια αυτά έχουν μέγεθος από 0,05 έως 2,5  $\mu\text{m}$  και παράγονται από συσσωματώσεις μικρότερων σωματιδίων (υποκατηγορίας πυρήνα) και από συμπυκνώσεις επιπρόσθετου υλικού στις συσσωματώσεις αυτές. Παρουσιάζουν χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα από 7 έως 30 ημέρες.

Τα σωματίδια συσώρευσης ομαδοποιούνται με τη σειρά τους σε:

- Σταγονίδια (droplet mode). Είναι δυνατόν να λάβουν χώρα αντιδράσεις υγρής φάσης μεταξύ σταγονιδίων μέσα σε νέφη ή ομίχλη ή παρουσία πολύ υψηλής σχετικής υγρασίας, επάνω στην επιφάνεια αιωρούμενων σωματιδίων. Η συσσωμάτωση που επέρχεται ως αποτέλεσμα, δημιουργεί την ομάδα των σταγονιδίων.
- Συμπυκνώματα (condensation mode). Πρόκειται για μικρότερα σωματίδια από τα προηγούμενα. Σχηματίζονται από τη συσσωμάτωση μη υγροσκοπικών σωματιδίων πυρήνα.



**Σχήμα 3:** Ιδεατή σχηματική απεικόνιση της επιφανειακής κατανομής των σωματιδίων ενός ατμοσφαιρικού αεροζόλ. (Whitby, 1978, USEPA, 2004)

Οι περιοχές που προαναφέρθηκαν έχουν κατηγοριοποιηθεί με αυτό τον τρόπο αναφορικά με τους μηχανισμούς σχηματισμού, τις πηγές, τη σύσταση και τη μεταφορά των σωματιδίων που περιέχονται σ' αυτές. Η περιοχή πυρήνωσης αναφέρεται στα σωματίδια που δεν αναπτύσσονται με μηχανισμούς όπως συσσωμάτωση και συμπύκνωση. Τα σωματίδια της περιοχής Aitken ανήκουν στα σωματίδια που δημιουργούνται ταχύτατα, υπερέχουν αριθμητικά έναντι των υπολοίπων σωματιδίων, ενώ αντιστοιχούν σε ένα πολύ μικρό μόνο ποσοστό της συνολικής μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων. Επιπλέον, τα σωματίδια αυτά δημιουργούνται από συμπύκνωση θερμών ατμών κατά τη διάρκεια της καύσης και από την πυρηνοποίηση (nucleation) ατμοσφαιρικών ειδών προς δημιουργία νέων σωματιδίων και στη συνέχεια με συσσωμάτωση (coagulation) σχηματίζουν μεγαλύτερα σωματίδια.

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Τα μικρά σωματίδια δημιουργούνται με συσσωμάτωση (δύο σωματίδια ενώνονται προς σχηματισμό ενός) ή με συμπύκνωση (μόρια χαμηλής τάσης ατμών συμπυκνώνονται σε ένα σωματίδιο). Καθώς το σωματίδιο αυξάνει σε μέγεθος, ο ρυθμός ανάπτυξης λόγω συσσωμάτωσης και συμπύκνωσης μειώνεται, ενώ τα μικρά σωματίδια «προχωρούν» προς την περιοχή συσσώρευσης. Συνεπώς, τα σωματίδια της περιοχής συσσώρευσης δεν αυξάνουν το μέγεθός τους σε μεγάλα σωματίδια. Ωστόσο, υπό συνθήκες υψηλής σχετικής υγρασίας, τα υγροσκοπικά σωματίδια της περιοχής συσσωμάτωσης αυξάνουν σε μέγεθος, αυξάνοντας ταυτόχρονα την αλληλοεπικάλυψη μεγάλων και μικρών σωματιδίων. Έτσι, η περιοχή συσσώρευσης μπορεί να διαμεριστεί στην υγροσκοπική και τη μη υγροσκοπική περιοχή. Επιπρόσθετα, οι ρύποι αέριας φάσης διαλύονται και αντιδρούν με υγροσκοπικά σωματίδια, οδηγώντας έτσι σε αύξηση του μεγέθους. Ο συνδυασμός των περιοχών πυρήνωσης, Aitken, και συσσώρευσης καλείται περιοχή μικρών σωματιδίων.

Σημαντικός επίσης είναι και ο ρόλος της σχετικής υγρασίας (RH) στην κατανομή των σωματιδίων. Καθώς η RH αυξάνει, τα υγροσκοπικά σωματίδια της περιοχής συσσώρευσης αυξάνονται σε μέγεθος. Σε υψηλά επίπεδα RH, μερικά σωματίδια της περιοχής συσσώρευσης μπορεί να εμφανίσουν διάμετρο  $>1 \mu\text{m}$ . Σε επίπεδα RH = 100%, όπως συμβαίνει σε περιόδους ομίχλης, η περιοχή αυτή εκτείνεται πέρα από τη διάμετρο των  $2,5 \mu\text{m}$ . Ωστόσο, αυτό που δεν έχει ξεκαθαριστεί ακόμη είναι αν σωματίδια  $<1 \mu\text{m}$ , θα μειωθούν σε μέγεθος, αν η RH μειωθεί. Από την άλλη σε χαμηλά επίπεδα RH τα αδρά σωματίδια, μπορεί να διασπαστούν σε μικρότερα και μικρά ποσά μεγάλων σωματιδίων μπορεί να βρεθούν στην περιοχή των μικρών σωματιδίων. Έτσι, ένα δείγμα PM  $2,5$  θα περιλαμβάνει όλα τα σωματίδια της περιοχής συσσώρευσης, εκτός αν η RH είναι πολύ υψηλή. Ωστόσο, σε χαμηλά επίπεδα RH, μπορεί αυτό το δείγμα να περιέχει ένα μικρό κλάσμα των αδρών.

### 1.5.3 Χημική σύσταση αιωρούμενων σωματιδίων

Όσον αφορά τη χημική σύσταση των σωματιδίων αυτή, έχει άμεση σχέση με την πηγή από την οποία προήλθαν τα σωματίδια καθώς και από την μέχρι τη στιγμή που τα εξετάζουμε πορεία τους στην ατμόσφαιρα (θερμοκρασία, υγρασία, ύπαρξη και άλλων ρυπαντών, άνεμος κ.ά.). Για παράδειγμα η σύσταση σωματιδίων που προέρχονται από παραθαλάσσια ή θαλάσσια περιοχή θα αντικατοπτρίζει τη σύσταση του θαλασσινού νερού (κυρίως  $\text{Na}^+\text{Cl}^-$  αλλά και  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ).

Επίσης, τα υπέρλεπτα σωματίδια περιέχουν θειϊκές και πιθανόν οργανικές χημικές ενώσεις. Οι πυρήνες Aitken, που ενδέχεται να παράγονται από διαδικασίες καύσης ή να δημιουργούνται μέσω της συσσωμάτωσης των υπέρλεπτων σωματιδίων και τη συμπύκνωση αέριων προϊόντων χαμηλής τάσης ατμών, καθώς και τα μεγαλύτερα σωματίδια της περιοχής συσσώρευσης περιέχουν κυρίως στοιχεία (π.χ. C, V), θειϊκές και νιτρικές ενώσεις καθώς και οργανικά μόρια. Κατά μέσο όρο στα λεπτά σωματίδια τα  $\text{SO}_4^{2-}$  αποτελούν περίπου το 30 % της μάζας τους και ο συνολικός άνθρακας κατέχει επίσης ένα ποσοστό γύρω στο 30 % (ERCA, 1996). Αντίθετα στα χονδρόκοκκα σωματίδια, που παράγονται βασικά από μηχανικές διαδικασίες, κυριαρχούν στοιχεία του εδάφους και της θάλασσας. Τέτοια είναι για παράδειγμα το αργίλιο το πυρίτιο Si, το ασβέστιο Ca και ο σίδηρος Fe.

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Στα αιωρούμενα σωματίδια που προέρχονται από οποιασδήποτε περιοχή (αστική, αγροτική, θαλάσσια, δασική) υπάρχει οργανικός άνθρακας. Σε πολλές περιπτώσεις το οργανικό κλάσμα φαίνεται να καταλαμβάνει σημαντικό ποσοστό της συνολικής μάζας ενός σωματιδίου και ιδιαίτερα όσον αφορά τα λεπτά σωματίδια που έχουν και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Το ποσοστό αυτό τις περισσότερες φορές κυμαίνεται μεταξύ 10 και 40 %, ενώ συνήθως ξεπερνάει το 30 % όταν πρόκειται για αερολύματα αστικών περιοχών (Kavouras κ.ά., 2002, Chow κ.ά., 1993, 1994). Επιπλέον να σημειωθεί ότι το μεγαλύτερο μέρος των οργανικών ενώσεων βρίσκεται προσροφημένο στο κλάσμα των λεπτών σωματιδίων. Οι παράγοντες που καθορίζουν το ποσοστό αυτό είναι το μοριακό βάρος και η φύση των ενώσεων καθώς και οι μετεωρολογικές συνθήκες (εποχή έτους). Γενικά το κλάσμα των οργανικών στα λεπτά σωματίδια αυξάνεται με την αύξηση του μοριακού βάρους, ενώ μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, καθώς πολλές από τις οργανικές ενώσεις παρουσιάζουν σημαντικό βαθμό πτητικότητας με αποτέλεσμα να οδηγούνται στην αέρια φάση (Cecinato κ.ά., 1999, Simoneit, 1989, Graedel κ.ά., 1986, Kawamura κ.ά., 1996a).

Εκτός όμως από τα οργανικά χημικά μόρια, υπάρχει και μεγάλο πλήθος βιολογικών ειδών, όπως είναι οι μύκητες, τα βακτήρια, η γύρη, τα ένζυμα και οι ιοί που επίσης είναι παρόντα στην ατμόσφαιρα (Chen και Simoneit, 1994, Rogge κ.ά., 1993). Αυτά μπορούν σχετικά εύκολα προσκολλημένα επάνω στην επιφάνεια των λεπτών σωματιδίων να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις από την πηγή παραγωγής τους.

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα σχετικών ερευνητικών μελετών, η μάζα των αιωρουμένων σωματιδίων αποτελείται από τις παρακάτω βασικές κατηγορίες συστατικών (Harrison & Yin 2000):

- Θειικά
- Νιτρικά
- Αμμωνιακά
- Χλωριόντα
- Οργανικό άνθρακα
- Στοιχειακό άνθρακα
- Γεωλογικά υλικά
- Βιολογικά υλικά
- Μέταλλα
- Ισχυρά οξέα

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι χημικές ενώσεις και ομάδες που συνθέτουν την μάζα των αιωρουμένων σωματιδίων.

### ΘΕΙΙΚΑ

Τα θειικά προέρχονται κυρίως από την οξείδωση του διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) στην ατμόσφαιρα και συνήθως βρίσκονται υπό την μορφή θειικού αμμωνίου. Οι ενώσεις αυτές είναι υδατοδιαλυτές και συναντώνται σχεδόν αποκλειστικά στα PM<sub>2,5</sub>. Θειικό νάτριο είναι δυνατόν να ανιχνευθεί σε παραλιακές περιοχές, όπου το θειικό οξύ έχει εξουδετερωθεί από το χλωριούχο νάτριο του θαλάσσιου αλατιού. Παρόλο που ο γύψος και κάποια άλλα γεωλογικά υλικά περιέχουν θειικά, αυτά δεν είναι εύκολα διαλυτοποιήσιμα στο νερό ώστε να αναλυθούν χημικά, είναι πιο άφθονα σε χονδρόκοκκα σωματίδια έναντι των PM<sub>2,5</sub> και συνήθως ταξινομούνται στα γεωλογικά υλικά (Harrison & Yin 2000, Theodosi et al. 2011).

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

### ΝΙΤΡΙΚΑ

Τα νιτρικά σχηματίζονται κυρίως από την οξείδωση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ). Το νιτρικό αμμώνιο ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) είναι το πιο συχνά απαντημένο και βρίσκεται στην ατμόσφαιρα σε ισορροπία με τις πρόδρομες αέριες ουσίες του, την αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ) και τους ατμούς νιτρικού οξέος ( $\text{HNO}_3$ ) (Seinfeld & Pandis 2006, Lunden et al. 2003). Σε ορισμένες περιπτώσεις το νιτρικό νάτριο ( $\text{NaNO}_3$ ) κυριαρχεί. Λόγω της ταχύτερης οξείδωσης του  $\text{NO}_2$  σε σχέση με το  $\text{SO}_2$ , και της ευαισθησίας του  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  στις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις της  $\text{NH}_3$  (οι οποίες επηρεάζουν την διάσπασή του), η χωρική κατανομή των νιτρικών είναι πολύ λιγότερο ομοιόμορφη από αυτή των θεικών (Harrison & Yin 2000, Raes et al. 2000, Theodosi et al. 2011).

### ΑΜΜΩΝΙΑΚΑ

Κατά τον αρχικό σχηματισμό των θεικών και νιτρικών ιόντων στην ατμόσφαιρα, αυτά βρίσκονται υπό την μορφή των αντίστοιχων οξέων. Σταδιακά, τα οξέα αυτά εξουδετερώνονται από την ατμοσφαιρική αμμωνία, σχηματίζοντας αμμωνιακά άλατα. Στις περισσότερες αστικές περιοχές, το αμμωνιακό ιόν ( $\text{NH}_4^+$ ) υπερέχει σημαντικά του ιόντος του υδρογόνου ( $\text{H}^+$ ), το οποίο και αντικαθιστά στη διαδικασία εξουδετέρωσης. Η συντριπτική πλειοψηφία των αμμωνιακών ενώσεων εντάσσεται στο λεπτόκοκκο κλάσμα των σωματιδίων. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς τα χονδρόκοκκα σωματίδια αποτελούνται κυρίως από ορυκτά υλικά, τα οποία είναι αλκαλικά και δεν αντιδρούν με την αέρια αμμωνία (Harrison & Yin 2000, Chow 1995, Harrison & Jones 1995, Theodosi et al. 2011).

### ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ

Η κύρια πηγή των ιόντων χλωρίου είναι το υδρόλυμα θαλάσσης (sea spray), ακόμη και σε περιοχές που βρίσκονται εκατοντάδες χιλιόμετρα από την ακτή. Οι θαλάσσιες πηγές χλωριούχων σωματιδίων συνεισφέρουν κυρίως σε χλωριούχο νάτριο ( $\text{NaCl}$ ). Η κατηγορία αυτή σωματιδίων εντάσσεται στο χονδρόκοκκο κλάσμα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μελέτης που πραγματοποιήθηκε στην Ανταρκτική, όπου, λόγω της προφανούς έλλειψης ανθρωπογενών πηγών, άνω του 70 % των ατμοσφαιρικών σωματιδίων αποτελείται από θαλάσσιο  $\text{NaCl}$ , η κατά μάζα κατανομή μεγέθους παρουσιάζει μέγιστο για σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο περίπου ίση με 3  $\mu\text{m}$  (Veli-Matti et al. 2000).

Κατά τους χειμερινούς μήνες, πηγή χλωριόντων αποτελεί επιπλέον και η ρίψη αλατιού στους δρόμους, για την αντιμετώπιση του πάγου. Τέλος, οι χλωριούχες ενώσεις εισέρχονται στην αέρια σωματιδιακή μάζα και με δευτερογενείς διαδικασίες, όπως η εξουδετέρωση της ατμοσφαιρικής αμμωνίας από του ατμούς υδροχλωρικού οξέος ( $\text{HCl}$ ), το οποίο εκπέμπεται από πηγές όπως αποτεφρωτήρες και σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Οι δευτερογενείς χλωριούχες ενώσεις ανήκουν στο λεπτόκοκκο κλάσμα και συνίστανται κυρίως σε χλωριούχο αμμώνιο (Harrison & Jones 1995, Theodosi et al. 2011).

### ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ

Ο οργανικός άνθρακας είναι δυνατόν να εκπέμπεται από πρωτογενείς πηγές εκπομπής. Σημαντική όμως ποσότητα παράγεται δευτερογενώς, μέσω ατμοσφαιρικών φωτοχημικών διεργασιών μεταξύ πρωτογενών αέριων οργανικών χημικών ειδών, οι οποίες παράγουν χαμηλής πτητικότητας οργανικές ενώσεις. Σύμφωνα με ερευνητικές εργασίες, ο σχηματισμός δευτερογενών σωματιδίων συσχετίζεται με τον λόγο οργανικού προς στοιχειακό άνθρακα. Συγκεκριμένα, τιμές του λόγου άνω του 2 υποδεικνύουν δευτερογενή παραγωγή οργανικού άνθρακα (Kavouras et al. 1999, Prosmittis et al. 2011, Grivas et al. 2011).

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Οι οργανικές ενώσεις που απαντώνται στα αιωρούμενα σωματίδια είναι αλειφατικοί υδρογονάνθρακες, είτε αρωματικές ενώσεις, είτε οξυγονωμένα παράγωγα των υδρογονανθράκων. Οι αλειφατικοί υδρογονάνθρακες που ανιχνεύονται στα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούνται σε μεγάλο ποσοστό από κανονικά αλκάνια, 16 – 36 ατόμων άνθρακα, ενώ σημαντική είναι και η περιεκτικότητα σε διακλαδισμένες και ακόρεστες ενώσεις. Είναι αδρανείς ενώσεις, σχετικά μη τοξικές και δεν συμμετέχουν σε χημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα (Manahan 1994). Τα n-αλκάνια που αποτελούνται μέχρι και από 25 άτομα άνθρακα χαρακτηρίζονται ως πετρογενή (petrogenic) και η παρουσία τους στην ατμόσφαιρα σχετίζεται με εκπομπές και καύση ορυκτών καυσίμων. Αντίθετα, τα C<sub>25</sub> – C<sub>36</sub> αλκάνια χαρακτηρίζονται ως βιογενή και προέρχονται από φυσικές πηγές.

Εκτός από τους αλειφατικούς υδρογονάνθρακες, στις οργανικές ενώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων περιέχονται και πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (Polynuclear Aromatic Hydrocarbons, PAHs), οι οποίοι συγκεντρώνουν μεγάλο ενδιαφέρον λόγω της αποδεδειγμένης καρκινογόνου και μεταλλαξιογόνου δράσης τους (Junker et al. 2000, Kavouras et al. 1999, Menichini et al. 1999). Κύρια διαδικασία σχηματισμού των PAHs είναι η πυροσύνθεση. Κατά την πυροσύνθεση, σε θερμοκρασίες περίπου 500 °C, διαρρηγνύονται οι δεσμοί C-C και C-H των υδρογονανθράκων χαμηλού μοριακού βάρους, προς σχηματισμό ελεύθερων ριζών. Κατόπιν, οι ελεύθερες ρίζες αφυδρογονώνονται και συνδυάζονται χημικά, για να σχηματίσουν δομές αποτελούμενες από αρωματικούς δακτύλιους, ανθεκτικές στις υψηλές θερμοκρασίες. Η ευχέρεια των υδρογονανθράκων να σχηματίσουν PAHs με πυροσύνθεση δίνεται από την ακολουθία (Manahan 1994): *Αρωματικοί > κυκλολεφίνες > ολεφίνες > παραφίνες*

#### ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ

Κατά τις διαδικασίες καύσης, και ιδίως εξαιτίας της κυκλοφορίας οχημάτων, εκπέμπονται σωματίδια αιθάλης, τα οποία περιέχουν άνθρακα υπό μορφή ενός πυρήνα από στερεό μαύρο στοιχειακό άνθρακα (είτε καθαρό γραφίτη ή υψηλού μοριακού βάρους μη πτητική ύλη, όπως πίσσα ή κωκ). Στην επιφάνεια του πυρήνα συχνά υπάρχει επικάλυψη από ημι-πτητικές οργανικές ενώσεις, οι οποίες συμπυκνώνονται από τα αέρια καύσης. Περιέχονται επίσης και κάποιες χαρακτηριστικές ομάδες (υδροξυλικές, φαινολικές, καρβονυλικές, καρβοξυλικές κ.α.). Ο στοιχειακός άνθρακας θεωρείται καλός δείκτης της πρωτογενούς ανθρωπογενούς αέριας ρύπανσης, καθώς οι χημικές μεταβολές του (χημικές αντιδράσεις ή εναλλαγές φάσεων) είναι περιορισμένες γενικά (Offenberg & Baker 2000, Prosmittis et al. 2004, Kim et al. 1999, Molnar et al. 1999 Grivas et al. 2011).

#### ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Στην κατηγορία των γεωλογικών υλικών περιλαμβάνεται επιφανειακή σκόνη από τα αποσαθρωμένα ορυκτά υλικά. Η σύστασή τους δεν είναι σταθερή, αλλά αντιστοιχεί στους γεωλογικούς σχηματισμούς της κάθε περιοχής. Η συγκέντρωσή τους εξαρτάται από τις μετεωρολογικές συνθήκες και τις διαδικασίες οι οποίες οδηγούν στην επαναιώρησή τους από το έδαφος (Harrison & Yin 2000). Ορισμένα από τα φυσικά ορυκτά που έχουν αναγνωρισθεί στην σωματιδιακή μάζα είναι: χαλαζίας (SiO<sub>2</sub>), ασβεστίτης (CaCO<sub>3</sub>), γύψος (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O), αστρίοι (feldspar, KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>), χλωρίτης, καολινίτης, μοντμοριλλονίτης, αιμανίτης κ.α. (Harrison & Jones 1995).

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

### ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Τα υλικά βιολογικής προέλευσης (Biological Aerosol Particles, BAP), περιλαμβάνουν μικροοργανισμούς, όπως βακτήρια, γύρη και τεμαχίδια κυτταρινούχου φυτικού υλικού. Με εξαίρεση κάποιους ιούς, και άλλα σωματίδια που εκπέμπονται είτε από το ανθρώπινο σώμα ή από βιομηχανικές και αστικές δραστηριότητες (για παράδειγμα αποχετευτικό σύστημα), τα σωματίδια αυτά είναι στην πλειοψηφία τους χονδρόκοκκα.

### ΜΕΤΑΛΛΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα μέταλλα που απαντώνται σε μεγάλη αναλογία στην μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων είναι τα: νάτριο, ασβέστιο, μαγνήσιο και κάλιο, υπό την μορφή των ιόντων τους. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αναλύσεων, τα ποσοστά τους επί των συνολικών ιόντων της αέριας σωματιδιακής μάζας είναι κατά προσέγγιση ίσα με 5,6 % για το νάτριο, 1,8 % για το ασβέστιο, 0,8 % για το κάλιο και 0,6 % για το μαγνήσιο (Harrison & Jones 1995, Manalis et al. 2005).

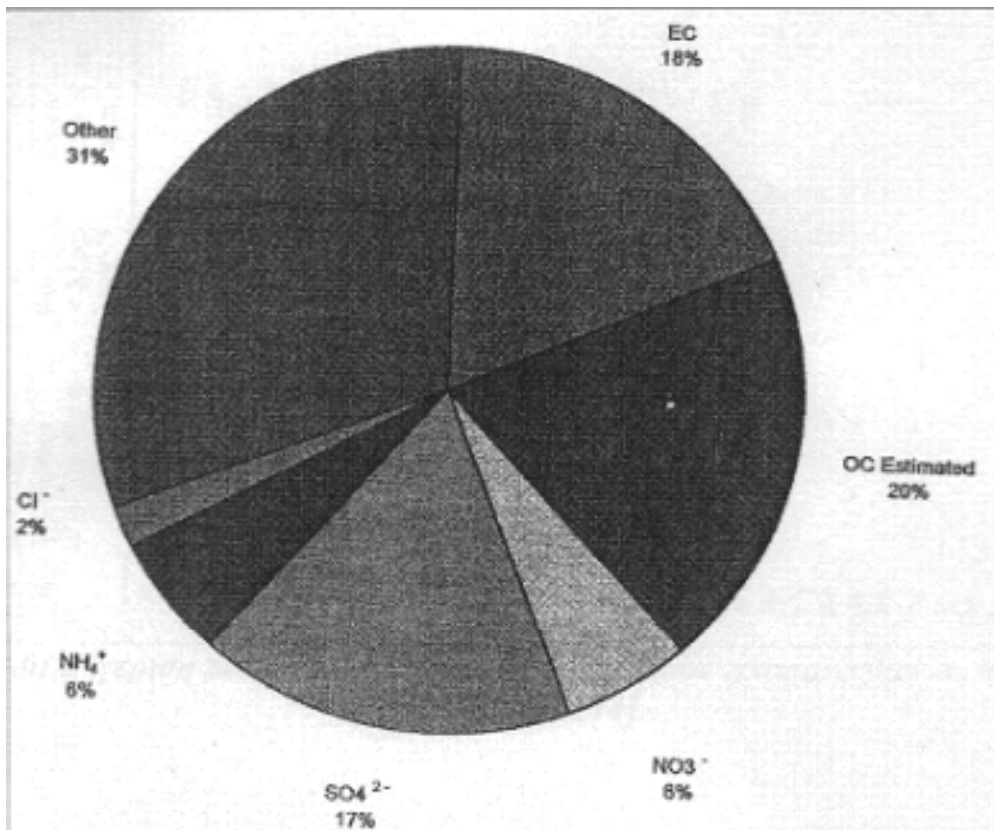
Σε αντίθεση με τα υπόλοιπα ιοντικά είδη, τα παραπάνω μέταλλα εμφανίζονται κυρίως στο χονδρόκοκκο σωματιδιακό κλάσμα, γεγονός αναμενόμενο λόγω της προέλευσής τους από τα θαλάσσια αερολύματα και την επιφανειακή σκόνη. Το νάτριο είναι κυρίως παρόν ως NaCl και Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Harrison & Yin 2000, Manalis et al. 2005).

### ΙΣΧΥΡΑ ΟΞΕΑ

Ο σχηματισμός θεικών και νιτρικών στην ατμόσφαιρα, μέσω της οξείδωσης των SO<sub>2</sub> και NO<sub>2</sub>, αρχικά γίνεται υπό την μορφή των ισχυρών τους οξέων H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> και HNO<sub>3</sub>. Το νιτρικό οξύ, λόγω της μεγάλης του πτητικότητας, είναι δυνατόν να ενσωματωθεί στα αιωρούμενα σωματίδια μόνο μέσω απώλειας της οξύτητάς του (μέσω είτε αντίδρασης με υδροχλωρικό οξύ ή εξουδετέρωσης από την αμμωνία). Αντιθέτως, το θειικό οξύ είναι μη πτητικό και, μόλις σχηματιστεί, ενσωματώνεται κατευθείαν στα σωματίδια, όπου κατόπιν είναι δυνατόν να εξουδετερωθεί από την αμμωνία της ατμόσφαιρας.

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"



Σχήμα 4: Τυπική σύσταση σωματιδίων PM10 στο Birmingham, U.K. (Watson et al. 1998)

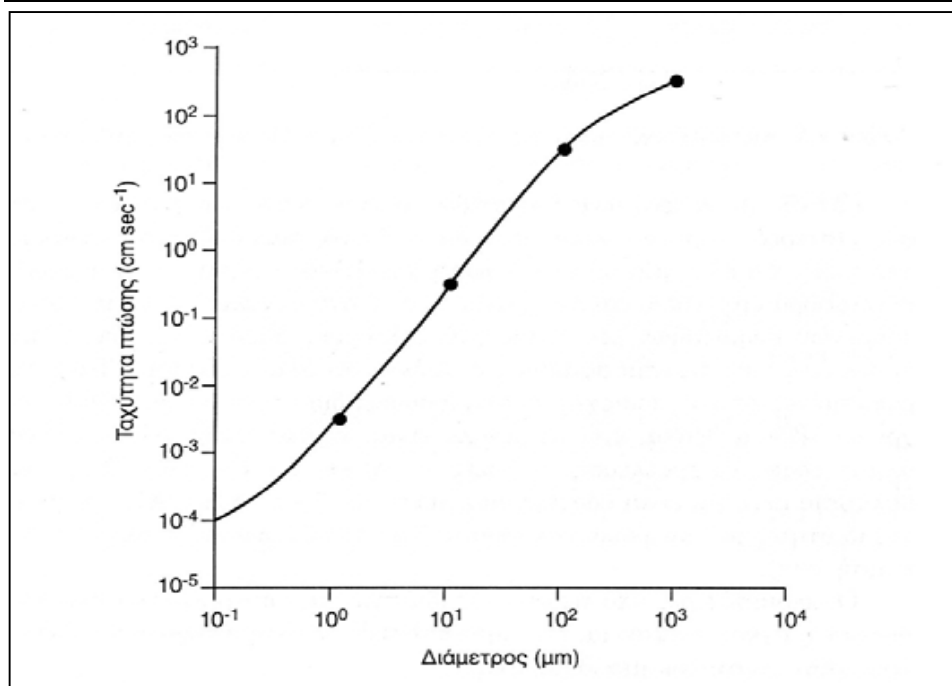
#### 1.5.4 Ταχύτητα πτώσης

Η ταχύτητα πτώσης των αιωρούμενων σωματιδίων περιγράφεται από το νόμο του Stokes. Σύμφωνα με το νόμο του Stokes η ταχύτητα πτώσης είναι ανάλογη της διαμέτρου των αιωρούμενων σωματιδίων:

$$U_{op} = 2g/9 - (d-d')r^2/\eta$$

όπου  $u_{op}$  η οριακή ταχύτητα πτώσης των σωματιδίων,  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας,  $d$  η πυκνότητα του σωματιδίου,  $d'$  η πυκνότητα του μέσου πτώσης,  $\eta$  ο συντελεστής ιξώδους του μέσου πτώσης και  $r$  η ισοδύναμη αεροδυναμική ακτίνα του σωματιδίου.





**Σχήμα 5:** Ταχύτητα πτώσης αιωρούμενων σωματιδίων σε σχέση με τη διάμετρό τους (Ruzer & Harley, 2005)

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5 τα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο  $\geq 10$   $\mu\text{m}$  έχουν σημαντική ταχύτητα πτώσης στην ατμόσφαιρα σε σταθερές συνθήκες. Αντίθετα τα σωματίδια με διάμετρο  $< 10$   $\mu\text{m}$  έχουν πολύ μικρή ταχύτητα πτώσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παραμένουν σε αιώρηση για μεγάλο χρονικό διάστημα στην ατμόσφαιρα και για αυτό προκαλούν προβλήματα στη δημόσια υγεία.

### 1.5.5 Προσρόφηση

Η σωματιδιακή ύλη που αιωρείται στην ατμόσφαιρα έχει πολύ μεγάλη ενεργό επιφάνεια ανά μονάδα μάζας εξαιτίας του μικρού μεγέθους της πλειονότητας των σωματιδίων. Η ενεργός επιφάνεια της σωματιδιακής ύλης που αιωρείται στην ατμόσφαιρα υπολογίζεται σε  $10^6 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  και ευνοεί την προσρόφηση μορίων από την αέρια φάση.

Τα μόρια προσροφώνται ισχυρά στα αιωρούμενα σωματίδια ενώσεις με τάση ατμών  $< 0,1$  mm Hg στους  $25^\circ\text{C}$  (π.χ. μέταλλα που εξατμίζονται από ηφαιστειακές ή βιολογικές διεργασίες, ημιπτητικές οργανικές ενώσεις κλπ).

Η προσρόφηση τοξικών ουσιών (χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, VOCs, βαρέα μέταλλα) στα αιωρούμενα σωματίδια αυξάνει την επικινδυνότητά τους σε ότι αφορά τη δημόσια υγεία.

### 1.5.6 Σκέδαση και απορρόφηση του φωτός

Η σκέδαση και η απορρόφηση φωτός από τα σωματίδια είναι συνάρτηση της σύστασης, της συγκέντρωσης και του μεγέθους των σωματιδίων. Οι πιο αποτελεσματικοί σκεδαστές είναι τα σωματίδια τα οποία είναι περίπου του ίδιου μεγέθους με το μήκος κύματος του ορατού φωτός, δηλαδή εκείνα που έχουν μέγεθος από 400-800nm.

Τα αιωρούμενα σωματίδια σε μεγάλες συγκεντρώσεις μπορούν να μειώσουν την ορατότητα:

- σκεδάζοντας το φως (δηλαδή επανεκπέμποντάς το προς όλες τις κατευθύνσεις

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

- απορροφώντας το φως (δηλαδή μετατρέποντας την απορροφούμενη ενέργεια σε θερμότητα ή χημική ενέργεια)

Η σκέδαση και η απορρόφηση φωτός από ένα μέσο εκφράζονται από το δείκτη διάθλασης (Πίνακας 1).

Υλικό	Δείκτης διάθλασης
Κενό	1,0
Υδρατμοί	1,00025
Αέρας	1,0003
Νερό	1,33
Πάγος	1,31
NaCl	1,55
SiO <sub>2</sub>	1,55
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,53
Αιθάλη	1,96

Τόσο η σκέδαση, όσο και η απορρόφηση του φωτός είναι συνάρτηση της σύστασης, της συγκέντρωσης και του μεγέθους των σωματιδίων. Η μεγαλύτερη μείωση της ορατότητας οφείλεται στο σκεδασμό του φωτός από σωματίδια με μέγεθος στην περιοχή του ορατού φωτός (400-800 nm).

## 1.6 Μηχανισμοί σχηματισμού αιωρούμενων σωματιδίων

Οι πιο χαρακτηριστικές διαδικασίες σχηματισμού των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η πυρηνοποίηση (nucleation) από αέρια με χαμηλή τάση ατμών και η συμπύκνωση (condensation) αερίων με χαμηλή τάση ατμών στα ήδη υπάρχοντα σωματίδια. Επίσης, μπορεί να λάβει χώρα και η συσσώρευση μικρότερων σωματιδίων σε μεγαλύτερα και τελικά κατακρήμνιση των σωματιδίων λόγω βαρύτητας ή ενσωμάτωσής τους στις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις (βροχή, χιόνι) (US EPA, 2004). Στη συνέχεια, περιγράφονται συνοπτικά οι τρεις αυτοί μηχανισμοί σχηματισμού των αιωρούμενων σωματιδίων.

### 1.6.1 Πυρηνοποίηση

Είναι γνωστό ότι ο σχηματισμός και η μεγέθυνση των αιωρούμενων σωματιδίων καθώς και η εν γένει παρουσία τους στην ατμόσφαιρα επηρεάζει τη δυναμική της Kulmala κ.ά., 2001a, 2001b). Η εισαγωγή στην ατμόσφαιρα νέων σωματιδίων πραγματοποιείται με δύο βασικούς μηχανισμούς. Ο πρώτος είναι μέσω της άμεσης εκπομπής τους από πηγές (π.χ. πυρκαγιές, έκρηξη ηφαιστείων, έδαφος, εργοστάσια, καυστήρες θέρμανσης, μηχανοκίνητα τροχοφόρα κτλ.) και ο δεύτερος αφορά τον in situ σχηματισμό αυτών στην ατμόσφαιρα, διαδικασία περισσότερο γνωστή ως πυρηνοποίηση (nucleation) ή επεισόδιο (φαινόμενο) πυρηνοποίησης (nucleation event).

Η πυρηνοποίηση εν γένει, αποτελεί το πρώτο στάδιο για πολλές άλλες διεργασίες, όπως είναι ο βρασμός και η δημιουργία κρυστάλλων. Με τον όρο «πυρηνοποίηση» ορίζουμε συνήθως τη

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

μετάβαση χημικών ενώσεων από την αέρια προς την υγρή ή τη στερεή φάση. Όταν η αλλαγή αυτή των φάσεων πραγματοποιείται απουσία προϋπαρχόντων σωματιδίων τότε το φαινόμενο ονομάζεται ομογενής πυρηνοποίηση (homogeneous nucleation) ενώ στην περίπτωση που οι αέριες ενώσεις αλληλεπιδρούν με αερολύματα που ήδη ενυπάρχουν στο εξεταζόμενο σύστημα τότε μιλάμε για ετερογενή πυρηνοποίηση (heterogeneous nucleation). Επιπλέον, στην περίπτωση που μία μόνο χημική ένωση συμμετέχει στο όλο φαινόμενο, αναφερόμαστε σε ομομοριακή πυρηνοποίηση (homomolecular nucleation), ενώ όταν συμμετέχουν περισσότερες διαφορετικές χημικές ενώσεις ονομάζεται ετερομοριακή (heteromolecular nucleation) (Λαζαρίδης, 2005).

Υπολογιστικά μοντέλα έδειξαν ότι τα συμμετέχοντα σε αυτούς τους μηχανισμούς σωματίδια έχουν αεροδυναμική διάμετρο από ορισμένα νανόμετρα (nm) έως 1 μm (Arstila κ.ά., 1999). Τα σωματίδια αυτά συχνά ευνοούν την ετερογενή πυρηνοποίηση των σωματιδίων με αέριους ρύπους και υδρατμούς (Kerminen και Kulmala, 2002). Η ετερογενής πυρηνοποίηση είναι εκείνη που παρατηρείται πιο συχνά στην γήινη ατμόσφαιρα καθώς, οι ενεργειακές απαιτήσεις της σε σχέση με την ομογενή πυρηνοποίηση είναι πολύ μικρότερες και από την άλλη υπάρχουν σχεδόν πάντα στο μελετούμενο ατμοσφαιρικό σύστημα προϋπάρχοντα σωματίδια που επιτελούν τον ρόλο των ενεργών κέντρων γύρω από τα οποία θα αναπτυχθούν τα έμβρυα (clusters) για την ανάπτυξη μεγαλύτερων σωματιδίων. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια ερευνάται με προσοχή και η περίπτωση της ομογενούς πυρηνοποίησης στην περίπτωση «γένεσης» σωματιδίων με διάμετρο κάποια νανόμετρα (3-10 nm) (Harrison κ.ά., 1999). Η ομογενής πυρηνοποίηση λαμβάνει χώρα σε ατμόσφαιρα υπερκορεσμένου (supersaturated) αερίου.

Στην πραγματικότητα στην ατμόσφαιρα δεν έχουμε απ' ευθείας μετάβαση από την αέρια στην υγρή ή στερεή φάση του αερολύματος. Αρχικά δημιουργείται ένας κρίσιμος πυρήνας μορίων υπό μορφή εμβρύου (cluster), ο οποίος θα μετεξελιχθεί σε σταθερό σωματίδιο, ικανό να συμμετάσχει με τη σειρά του σε περαιτέρω διεργασίες.

Έμμεσες μετρήσεις και θεωρητικοί υπολογισμοί υπολογίζουν ότι το μέγεθος της διαμέτρου των εμβρύων αυτών είναι κοντά στο 1nm, ενώ αποτελούνται από έναν μικρό σχετικά αριθμό μορίων, συγκρατούμενα μεταξύ τους με μη-ομοιοπολικές δυνάμεις van der Waals (Zhang κ.ά., 2012). Επιπλέον η παρουσία και άλλων προϋπαρχόντων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα δεν ευνοεί τον άμεσο μετασχηματισμό των αέριων σε σωματίδια, αλλά την πυρηνοποίηση αυτών επί της επιφάνειας των ήδη υπαρχόντων σωματιδίων. Συμπερασματικά επομένως μπορούμε να πούμε ότι στην ατμόσφαιρα δεν παρατηρείται συχνά ομογενής πυρηνοποίηση παρά μόνον σε ειδικές περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα έπειτα από φαινόμενο υγρής κατακρήμνισης, όπου η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα μειώνεται δραματικά. Επιπλέον είναι σχεδόν αδύνατο να παρατηρηθεί ομογενής ομομοριακή πυρηνοποίηση εξαιτίας της παρουσίας πλήθους ενώσεων, ιόντων και μορίων στην γήινη ατμόσφαιρα (Λαζαρίδης, 2005).

Η αύξηση του μεγέθους των νέων σωματιδίων κατά την διαδικασία του φαινομένου της πυρηνοποίησης είναι πρόβλημα χημικής κινητικής και θερμοδυναμικής και έχει να κάνει με τους διαφορετικούς ρυθμούς πρόσληψης και απομάκρυνσης ύλης από το υπό διαμόρφωση σωματίδιο. Η θεωρία της πυρηνοποίησης περιγράφει τη μεταβολή της συγκέντρωσης των συσσωματωμάτων με την προσθήκη ή την αφαίρεση μορίων, σε συνάρτηση με την ενέργεια

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 30

που απαιτείται για τις διεργασίες αυτές. Η ενέργεια για τη δημιουργία ενός συσσωματώματος μορίων έχει να κάνει με την επιφανειακή τάση και τον όγκο του συσσωματώματος, την επιφάνεια μεταξύ του συσσωματώματος και του ατμοσφαιρικού αέρα, τα χημικά δυναμικά των δύο φάσεων, καθώς και με τη διαφορά πίεσης μεταξύ αυτών των δύο (Debenedetti, 1996). Ως εκ τούτου και τα υπέρλεπτα σωματίδια (σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο έως 100 nm περίπου) με τη σειρά τους έχουν την δυνατότητα, εάν βρεθούν στο κατάλληλο περιβάλλον και υπό τις κατάλληλες συνθήκες, να αυξήσουν τη μάζα και τον όγκο τους και έτσι να αποκτήσουν τις ιδιότητες των πυρήνων συμπύκνωσης νέφους. Εμμέσως δηλαδή η διαδικασία συμπύκνωσης των υπέρλεπτων σωματιδίων θα λέγαμε ότι είναι ικανή να επηρεάσει την μετεωρολογία και το συνολικό ενεργειακό ισοζύγιο της ατμόσφαιρας μιας περιοχής (Jung κ.ά., 2006, Albrecht, 1989).

### 1.6.2 Συμπύκνωση

Η συμπύκνωση όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι η μετάβαση από την αέρια στην υγρή φάση και στην περίπτωση των αιωρούμενων σωματιδίων αφορά στη συμπύκνωση αερίων που γίνεται στην επιφάνεια προϋπαρχόντων αιωρούμενων σωματιδίων. Ο ρυθμός αύξησης του μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων εξαρτάται από την υγρασία και το μέγεθός τους (Λαζαρίδης, 2005).

### 1.6.3 Συσσωμάτωση

Είναι η διαδικασία κατά την οποία τα αιωρούμενα σωματίδια συγκρούονται μεταξύ τους λόγω της σχετικής κίνησης που έχουν το ένα ως προς το άλλο και σχηματίζουν μεγαλύτερα σωματίδια. Το αποτέλεσμα των συγκρούσεων αυτών είναι η μείωση του αριθμού των σωματιδίων και η αύξηση του μεγέθους τους. Όταν η σχετική κίνηση μεταξύ των σωματιδίων προέρχεται από την κίνηση Brown η διεργασία ονομάζεται θερμική συσσωμάτωση. Η σχετική κίνηση των σωματιδίων μπορεί να προέρχεται από εξωτερικές δυνάμεις όπως η βαρύτητα, τα αεροδυναμικά φαινόμενα ή οι ηλεκτρικές δυνάμεις. Στην περίπτωση αυτή η διεργασία ονομάζεται κινηματική συσσωμάτωση (Λαζαρίδης, 2005).

## 1.7 Μηχανισμοί απομάκρυνσης αιωρούμενων σωματιδίων

Ως ατμοσφαιρική απόθεση ορίζεται η διαδικασία εκείνη μέσω της οποίας οι ατμοσφαιρικοί ρύποι μεταφέρονται σε εδαφικές και υδάτινες επιφάνειες, στη βλάστηση καθώς επίσης και στις επιφάνειες των κτισμάτων και των μνημείων προκαλώντας σοβαρά προβλήματα στα οικοσυστήματα και στον άνθρωπο (Raymond et al., 2004, Παπαζάχου, 2012). Γενικά ξεχωρίζουμε τρεις διαφορετικούς τύπους απόθεσης:

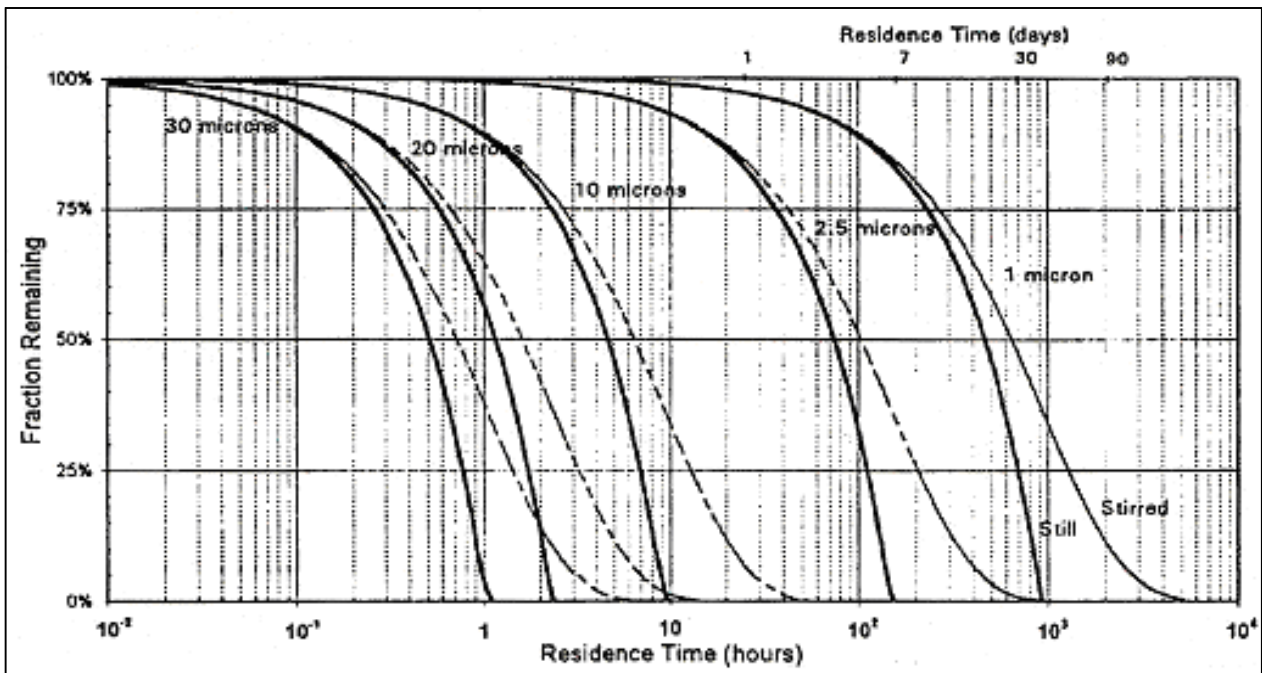
- **Καθίζηση (sedimentation)** ονομάζεται η πτώση λόγω βαρύτητας των σχετικά μεγάλων και βαρέων σωματιδίων. Η καθίζηση απομακρύνει τα μεγάλα σωματίδια από την ατμόσφαιρα, συνήθως σε μικρές αποστάσεις από την πηγή εκπομπής τους.
- **Ξηρή απόθεση (dry deposition)** υφίστανται οι αέριοι ρύποι και τα μικρά σωματίδια τα οποία ακολουθούν αδρανώς τις κινήσεις του αέρα και τα οποία κατακρατούνται, όταν έρθουν σε επαφή, από την υποκείμενη επιφάνεια. Η ξηρή εναπόθεση των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η διαδικασία μεταφοράς των αιωρούμενων σωματιδίων από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της γης (έδαφος,

υδάτινες επιφάνειες λιμνών ή θαλάσσιες, καθώς και περιοχές με βλάστηση) όπου και δεσμεύονται.

- **Υγρή απόθεση (wet deposition)** λαμβάνει χώρα σε περίπτωση υετού οπότε μπορεί να συμβεί κάποιο από τα παρακάτω ενδεχόμενα: Είτε σάρωση των ατμοσφαιρικών ρύπων από την βροχή ή το χιόνι (απόπλυση, wash out) είτε πρόσληψη των ρύπων σε ένα προηγούμενο στάδιο από τα μικρά σταγονίδια του νέφους, τα οποία αργότερα ενώνονται μεταξύ τους φτιάχνοντας σταγόνες βροχής (βροχόπλυση και χιονόπλυση, rain out and snow out). Η υγρή απόθεση είναι ένας εξαιρετικά αποτελεσματικός μηχανισμός απομάκρυνσης των ρύπων από την ατμόσφαιρα.

Ο χρόνος ζωής των αιωρούμενων σωματιδίων εξαρτάται σημαντικά από το μέγεθός τους. Σωματίδια της περιοχής πυρήνωσης, λόγω της κίνησης Brown, αυξάνουν ταχύτητα το μέγεθός τους και μεταπίπτουν προς την περιοχή συσσώρευσης. Επομένως, ο χρόνος ζωής είναι μικρός. Τα σωματίδια της περιοχής συσσώρευσης δεν αυξάνουν σε μέγεθος προς τα μεγάλα σωματίδια, διατηρούνται σε αιώρηση και έχουν μικρή ταχύτητα απόθεσης στις επιφάνειες. Έτσι, μεταφέρονται σε αποστάσεις πολλών χιλιομέτρων και παραμένουν στην ατμόσφαιρα για μεγάλο χρονικό διάστημα, σε αντίθεση με τα μεγάλα σωματίδια. Στην περίπτωση που επικρατούν συνθήκες τύρβης, όπως άνεμοι μεγάλης ταχύτητας, τα μικρότερα από τα σωματίδια της περιοχής των μεγάλων σωματιδίων έχουν μεγάλους χρόνους ζωής στην ατμόσφαιρα και μπορεί να μεταφέρονται ακόμη και σε μεγάλες αποστάσεις. Τελικά απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα με απόθεση μέσα από το οριακό στρώμα του αέρα στην επιφάνεια του εδάφους. Οι ρυθμοί ξηρής απόθεσης εκφράζονται με τον όρο της ταχύτητας απόθεσης, με τιμές ελάχιστες για σωματίδια της περιοχής 0,1-1,0 μm (USEPA, 2004a).

Τα σωματίδια της περιοχής συσσώρευσης απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα πρωταρχικώς μέσω της υγρής απόθεσης. Τα μικρά σωματίδια, και ιδιαίτερα όσα περιέχουν υγροσκοπικά συστατικά με την αύξηση της σχετικής υγρασίας, αυξάνουν το μέγεθός τους και λειτουργούν ως πυρήνες συμπύκνωσης. Τα σωματίδια αυτά ονομάζονται πυρήνες συμπύκνωσης νεφών (cloud condensation nuclei, CCN), και κατά κανόνα έχουν διαμέτρους της τάξης 0,1-0,2 μm. Υπάρχουν, όμως, και μεγαλύτερα CCN της τάξης 0,2-2,0 μm, ενώ τα «γιγαντιαία» CCN, έχουν διαμέτρους >2,0 μm. Οι συγκεντρώσεις των CCN και η σύστασή τους διαφέρουν σημαντικά.



Σχήμα 6:. Χρόνος αιώρησης σωματιδίων συναρτήσει της διαμέτρου τους (Watson et al. 1997).

## 2. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑ – ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

### 2.1 Γενικά

Μία σημαντική ιδιότητα των σωματιδίων που επηρεάζει τόσο την παρατηρούμενη κατανομή μεγέθους, όσο και το πλήθος τους στην ατμόσφαιρα είναι το είδος της κίνησής τους όταν αυτά αιωρούνται στον αέρα. Η κίνηση αυτή ενδέχεται να έχει δύο συνιστώσες, την καθίζηση λόγω βαρύτητας και την κίνηση λόγω τυρβώδους διάχυσης. Στην ελεύθερη τροπόσφαιρα τα σωματίδια υπόκεινται σε βαρυτικές δυνάμεις και ο νόμος του Stokes είναι αυτός που δίνει μαθηματικά την έκφραση της δύναμης αυτής πάνω στα αιωρούμενα σωματίδια. Για τα μικρότερα σωματίδια εκείνη η δύναμη που παίζει καθοριστικό ρόλο στην κίνησή τους είναι η τυρβώδης διάχυση που προκαλείται στην ατμόσφαιρα από την κίνηση των αερίων μαζών. Η κίνηση των υπέρλεπτων σωματιδίων ελέγχεται καθοριστικά από την τυρβώδη κίνηση παρά από την βαρυτική έλξη.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην πραγματική γήινη ατμόσφαιρα, η δύναμη που καθορίζει την κίνηση ενός σωματιδίου είναι η συνισταμένη πολλών δυνάμεων, πέρα από τις κύριες που αναφέρθηκαν (Mc Murry και Rader, 1985). Έτσι ο έλεγχος της μεταφοράς των σωματιδίων καθίσταται ακόμη δυσκολότερος, ενώ μάλλον η μεταφορά αυτή είναι ταχύτερη απ' ό τι θεωρητικά υπολογίζεται.

Τα αιωρούμενα σωματίδια που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα φθάνουν στους αποδέκτες (receptors) μέσω των κινήσεων του αέρα. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται ο όρος διασπορά (dispersion) για να δηλώσει την μεταφορά και εξάπλωση στην ατμόσφαιρα ενός στοιχείου (ρύπου) το οποίο εκπέμπεται από κάποια πηγή. Με τον όρο τυρβώδης διάχυση (turbulent diffusion) εννοούμε την διαδικασία κατά την οποία οι εκπεμπόμενοι ρύποι διασκορπίζονται υπό την επίδραση των τυρβώδων στροβίλων (turbulent eddies). Η μοριακή διάχυση οφείλεται, αντίστοιχα, στις μοριακές κινήσεις. Η τυρβώδης διάχυση είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική και παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στον διασκορπισμό των ρύπων στην ατμόσφαιρα σε αντίθεση με την μοριακή διάχυση η οποία έχει πολύ μικρή συνεισφορά στις ατμοσφαιρικές διεργασίες.

Κεντρικό ρόλο στην ατμοσφαιρική διασπορά, ιδιαίτερα από σημειακές πηγές, παίζει και η έννοια του θυσάνου (plume). Στην ατμοσφαιρική ρύπανση, θυσανός ονομάζεται ένα αναγνωρίσιμο ρεύμα αέρα του οποίου η σύσταση διαφέρει από την αντίστοιχη του περιβάλλοντος.

Οι μετεωρολογικές παράμετροι που παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι:

- η διεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου,
- η ευστάθεια της ατμόσφαιρας που συνδέεται με τη θερμοκρασία,
- η ηλιοφάνεια
- η βροχόπτωση
- η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας
- και έμμεσα η θερμοκρασία.

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

## 2.2 Στοιχεία Πηγών Εκπομπής

Τα χαρακτηριστικά των πηγών εκπομπής είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό της διασποράς γιατί την προσδιορίζουν σε σημαντικό βαθμό, ιδιαίτερα σε μικρές αποστάσεις από την πηγή. Το πιο σημαντικό στοιχείο των πηγών είναι ο ρυθμός εκπομπής των ρύπων, ο οποίος όμως δεν έχει επίδραση στην διασπορά τους. Τα χαρακτηριστικά των πηγών εκπομπής τα οποία είναι σημαντικά για την διασπορά είναι τα παρακάτω:

Η γεωμετρία της εκπομπής έχει μεγάλη σημασία για την εικόνα της διασποράς, τουλάχιστον για αποστάσεις που είναι της ίδιας τάξης μεγέθους ή μικρότερες κάποιων χαρακτηριστικών διαστάσεων της πηγής. Παραδείγματα διαφορετικών περιπτώσεων γεωμετρίας εκπομπής είναι τα παρακάτω:

- σημειακή πηγή (point source) π.χ. καμινάδα,
- εμβαδική πηγή (area source), π.χ. εργοτάξιο
- γραμμική πηγή (line source), π.χ. μεγάλη οδική αρτηρία.

Η χρονική διάρκεια της εκπομπής. Ιδιαίτερη σημασία σε αυτή την ταξινόμηση έχει η διαφορά ανάμεσα στα παρακάτω:

- στιγμιαία εκπομπή (instantaneous release), π.χ. έκρηξη σε βιομηχανικό συγκρότημα ή εκπομπές μικρής χρονικής διάρκειας της τάξης των δευτερολέπτων,
- μακροχρόνια, συνεχή εκπομπή (continuous emission) κατά την οποία η χρονική περίοδος εκπομπής είναι ίση ή μεγαλύτερη από τον χρόνο που απαιτείται για να μεταφερθούν οι ρύποι από την πηγή στο σημείο ενδιαφέροντος

## 2.3 Ο ατμοσφαιρικός Κύκλος Διασποράς

Μια ποικιλία ατμοσφαιρικών μηχανισμών είναι υπεύθυνη για την μεταφορά, τον μετασχηματισμό και την απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων και αέριων ρύπων που εκλύονται στην ατμόσφαιρα.

### Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου

Τα αιωρούμενα σωματίδια και οι αέριοι ρύποι μεταφέρονται μακριά από την πηγή από τον μέσο άνεμο. Η επίδραση του ανέμου στα επίπεδα ρύπανσης είναι διπλή. Η διεύθυνση του ανέμου καθορίζει την περιοχή προς την οποία θα κατευθυνθούν οι ρύποι ενώ η ταχύτητα του ανέμου προσδιορίζει σε μεγάλο βαθμό τον ρυθμό αραιώσης τους. Η διεύθυνση του ανέμου είναι καθοριστικής σημασίας ιδιαίτερα στην περίπτωση που η ρύπανση προέρχεται από σημειακές πηγές. Σε αυτή την περίπτωση τα επίπεδα ρύπανσης σε κάποια συγκεκριμένη περιοχή μπορεί να αλλάξουν δραστικά ακόμη και σε περίπτωση που η διεύθυνση του ανέμου μεταβληθεί με μόνο 10°. Σε αυτά τα πλαίσια η μεταβλητότητα της διεύθυνσης του ανέμου έχει ευεργετικές συνέπειες γιατί διασκορπίζεται η ρύπανση σε μεγαλύτερη γεωγραφική περιοχή με αποτέλεσμα οι τοπικές συγκεντρώσεις να είναι χαμηλότερες. Η οριζόντια μεταφορά (advection) αποτελεί τον πλέον σημαντικό μηχανισμό απομάκρυνσης και αραιώσης των ρύπων.

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 35



Θεωρητικοί υπολογισμοί παρουσιάζουν ότι, για μια τυπική μέση ταχύτητα ανέμου 16km/h, σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των 100μm καθιζάνουν σε απόσταση μέχρις 6-9m από το σημείο εκπομπής τους. Τα σωματίδια διαμέτρου 30-100μm συνήθως υφίστανται παρεμπόδιση στην καθίζηση τους και ανάλογα με τον βαθμό ατμοσφαιρικής ανατάραξης, καθιζάνουν σε απόσταση μέχρις 30-150m από το σημείο εκπομπής. Τα μικρότερα σωματίδια παρουσιάζουν μικρές ταχύτητες καθίζησης λόγω βαρύτητας, με αποτέλεσμα το ποσοστό καθίζησης να επηρεάζεται από την ατμοσφαιρική ανατάραξη.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η (κρατική) Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (Environmental Protection Agency) δίνει τιμή εκπομπής σκόνης 1-10 kg σκόνης/όχημα.km για την κίνηση οχημάτων σε μη ασφαλοστρωμένες επιφάνειες.

Οι αναταρακτικές κινήσεις του αέρα (τυρβώδεις στρόβιλοι) είναι υπεύθυνες για την κατακόρυφη μεταφορά και την διαπλάτυνση του θυσάνου, με τελικό αποτέλεσμα την αραιώση. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται διάχυση (diffusion). Η κλίμακα και η ένταση της αραιώσης εξαρτώνται από τον βαθμό ανατάραξης της ατμόσφαιρας. Σε συνθήκες ευστάθειας (stable conditions) οι τυρβώδεις στρόβιλοι είναι μικρότερης κλίμακας και η κατακόρυφη διάχυση γίνεται αργά ενώ σε συνθήκες μεγάλης αστάθειας (very unstable ή convective conditions) οι τυρβώδεις στρόβιλοι είναι μεγαλύτεροι και η διάχυση πολύ έντονη. Η διάχυση (diffusion) των ρύπων γίνεται μέχρι ένα συγκεκριμένο ύψος από την επιφάνεια της γης το οποίο ονομάζεται ύψος ανάμειξης (mixing height). Το στρώμα το οποίο περιέχεται ανάμεσα στην επιφάνεια της γης και το ύψος ανάμειξης ονομάζεται στρώμα ανάμειξης (mixing layer) ή ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα (atmospheric ή planetary boundary layer).

Κατά τον χρόνο της παραμονής τους στην ατμόσφαιρα οι ρύποι υφίστανται διάφορους χημικούς μετασχηματισμούς λόγω αντιδράσεων είτε μεταξύ τους είτε με τα συστατικά της καθαρής ατμόσφαιρας. Η ατμόσφαιρα είναι ένα αποτελεσματικό εργαστήριο αντιδράσεων μέσα στο οποίο διοχετεύονται χημικά ενεργά συστατικά με αποτέλεσμα την παραγωγή ενός αριθμού καινούργιων ουσιών. Οι καινούργιες ουσίες παράγονται από αέρια και υγρά τα οποία αντιδρούν μεταξύ τους και με τα σωματίδια που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα.

Οι χημικές αντιδράσεις των ρύπων μπορεί να δώσουν και ουσίες οι οποίες δεν είναι ρύποι. Σε πολλές περιπτώσεις όμως στα προϊόντα των χημικών αντιδράσεων περιλαμβάνονται και νέοι ρύποι οι οποίοι ονομάζονται **δευτερογενείς ρύποι (secondary pollutants)** σε αντιδιαστολή με αυτούς που εκπέμπονται από τις πηγές οι οποίοι ονομάζονται **πρωτογενείς ρύποι (primary pollutants)**. Ένα μέρος της ρύπανσης διαφεύγει από το στρώμα ανάμειξης στην **ελεύθερη ατμόσφαιρα (free atmosphere)**. Η απουσία αναταρακτικών κινήσεων στην ελεύθερη ατμόσφαιρα έχει σαν αποτέλεσμα η διάχυση και η κατακόρυφη μεταφορά των ρύπων να γίνεται με πολύ βραδύτερους ρυθμούς. Από την άλλη μεριά, οι αντίστοιχοι ατμοσφαιρικοί μηχανισμοί είναι μεγαλύτερης χωρικής και χρονικής κλίμακας με αποτέλεσμα τα φαινόμενα να επηρεάζουν ευρύτερες περιοχές της γης.

## 2.4 Μοντέλα υπολογισμού ατμοσφαιρικής διασποράς

Ατμοσφαιρικό μοντέλο ονομάζουμε ένα σύστημα εξισώσεων το οποίο χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις φυσικές και/ή τις χημικές διεργασίες στην ατμόσφαιρα. Τελικός στόχος είναι η μαθηματική περιγραφή της χωρικής και χρονικής κατανομής των ατμοσφαιρικών ρύπων. Η

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 36

έννοια του μοντέλου χρησιμοποιείται γενικά για να δηλώσει την χρήση κάποιας θεωρητικής προσέγγισης για τον προσδιορισμό (υπολογισμό σ' αυτή την περίπτωση) των ζητούμενων παραμέτρων σε αντιπαράθεση με τις μετρήσεις οι οποίες αποτελούν τον πειραματικό τρόπο προσδιορισμού της ίδιας ποσότητας.

Οι μέθοδοι μοντελοποίησης της ποιότητας αέρα μπορούν να καταταγούν σε τέσσερις γενικές κατηγορίες: Γκαουσιανά, αριθμητικά, φυσικά και στατιστικά (ή εμπειρικά) μοντέλα.

#### 2.4.1 Τα Γκαουσιανά μοντέλα (ή μοντέλα θυσάνου του Gauss)

Είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη προσέγγιση για τον υπολογισμό της διασποράς αδρανών ρύπων, ιδιαίτερα για ρυθμιστικούς σκοπούς. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της κατηγορίας μοντέλων είναι η απλότητα στη χρήση και οι περιορισμένες απαιτήσεις σε στοιχεία εισαγωγής. Πριν την εφαρμογή κάποιου τέτοιου μοντέλου και προκειμένου να διασφαλιστεί όσο το δυνατόν η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του μοντέλου θα πρέπει να εξετάσουμε το κατά πόσο στην υπό μελέτη περίπτωση πληρούνται οι υποθέσεις πάνω στις οποίες βασίζεται το μοντέλο του θυσάνου του Gauss. Μία βασική καταγραφή περιλαμβάνει τα παρακάτω:

- Η εκπομπή είναι συνεχής ή τουλάχιστον η εκπομπή γίνεται για χρονική περίοδο η οποία είναι μεγαλύτερη του χρόνου διαδρομής από την πηγή ως το σημείο στο οποίο εξετάζουμε τις συγκεντρώσεις. Αν βέβαια η εφαρμογή του μοντέλου θυσάνου του Gauss γίνεται σε ωριαία βάση τότε η εκπομπή θα πρέπει να διαρκεί τουλάχιστον μία ώρα.
- Οι ρύποι είναι σχετικά αδρανείς και στην περίπτωση των αερολυμάτων η διάμετρός τους είναι μικρότερη περίπου από τα 20 μm, άρα παραμένουν αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα για τις χρονικές κλίμακες που μελετάμε. Πρέπει πάντως να τονιστεί ότι σε πολλά μοντέλα χρησιμοποιούνται τεχνικές οι οποίες επιτρέπουν την παράκαμψη αυτού του περιορισμού.
- Στην ατμόσφαιρα επικρατούν συνθήκες στασιμότητας, δηλαδή οι μετεωρολογικές συνθήκες δεν αλλάζουν για το χρονικό διάστημα που χρειάζεται για να μεταφερθούν οι ρύποι από την πηγή ως τους αποδέκτες. Στις περισσότερες περιπτώσεις αυτή η συνθήκη ικανοποιείται σχετικά εύκολα. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη περίπτωση, αν η εφαρμογή του μοντέλου θυσάνου του Gauss γίνεται σε ωριαία βάση τότε θα πρέπει να πληρούται το αυστηρότερο των δύο κριτηρίων (σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει οι συνθήκες στασιμότητας να επικρατούν τουλάχιστον για 60 λεπτά).
- Η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου δεν παρουσιάζουν μεγάλες μεταβολές με το ύψος, τουλάχιστον στο στρώμα που καλύπτει ο θύσανος.

#### 2.4.2 Τα αριθμητικά μοντέλα (numerical models)

Χρησιμοποιούν ένα σύστημα εξισώσεων οι οποίες βασίζονται στις βασικές αρχές διατήρησης της ορμής, της ενέργειας και της μάζας. Για την επίλυση αυτών των εξισώσεων χρησιμοποιούνται αριθμητικές μέθοδοι (από εκεί προέρχεται και το όνομα αυτής της κατηγορίας των μοντέλων). Τα αριθμητικά μοντέλα είναι περισσότερο κατάλληλα για χρήση σε περιπτώσεις πολύπλοκων συνθηκών (περιοχές με έντονο ανάγλυφο, πολύπλοκες μετεωρολογικές συνθήκες κ.τ.λ) αλλά έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις σε δεδομένα εισόδου και υπολογιστική δύναμη. Αποτελούν πολύ χρήσιμα εργαλεία για ερευνητικές δραστηριότητες αλλά η χρήση τους σε επιχειρησιακή βάση είναι πολύ περιορισμένη.

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 37

### 2.4.3 Τα φυσικά μοντέλα (physical models)

Βασίζονται σε μικρής κλίμακας αναπαραστάσεις των φαινομένων σε ειδικά σχεδιασμένα εργαστήρια (αεροσύρραγγες, δεξαμενές νερού κτλ). Έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε εργαστηριακές εγκαταστάσεις και εξοπλισμό αλλά μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε μελέτες φαινομένων και επιδράσεων μικρής κλίμακας (π.χ. επίδραση κτιρίων στην διασπορά ατμοσφαιρικών ρύπων).

### 2.4.4 Τα στατιστικά μοντέλα (statistical models)

Βασίζονται συνήθως σε ημι-εμπειρικές στατιστικές σχέσεις ανάμεσα στα επίπεδα ρύπανσης και σε άλλες μεταβλητές (π.χ. θερμοκρασία, άνεμος κτλ) οι οποίες προσδιορίζονται από υπάρχουσες χρονοσειρές δεδομένων στην περιοχή ενδιαφέροντος. Τα στατιστικά μοντέλα χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει πλήρης κατανόηση των φυσικών και χημικών διεργασιών ή υπάρχει έλλειψη των απαραίτητων βάσεων δεδομένων για την χρήση αριθμητικών ή Γκαουσιανών μοντέλων. Το μεγάλο πλεονέκτημά τους είναι η απλότητα και η ευκολία στην χρήση. Σε πολλές περιπτώσεις η ακρίβειά τους είναι συγκρίσιμη με αυτή άλλων περισσότερο πολύπλοκων προσεγγίσεων.

### 3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Είναι πολύ σημαντικό όταν μελετάμε τους αέριους ρύπους και τις επιπτώσεις τους να ξεχωρίσουμε από την μία την συγκέντρωση των ρύπων στην ατμόσφαιρα, και τις επιπτώσεις της, και από την άλλη την αποτιθέμενη ρύπανση με τις αντίστοιχες επιπτώσεις. Ο λόγος για τον οποίο είναι τόσο σημαντικός αυτός ο διαχωρισμός είναι ότι η κλίμακα των δύο φαινομένων είναι πολύ διαφορετική. Οι απευθείας επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης είναι περισσότερο τοπικό πρόβλημα και οι επιδράσεις είναι μεγαλύτερες στις περιοχές κοντά στην πηγή της ρύπανσης. Από την άλλη πλευρά, η επίδραση της απόθεσης εξαπλώνεται σε πολλές εκατοντάδες ή μερικές χιλιάδες χιλιόμετρα με αποτέλεσμα να αποτελεί ένα σημαντικό διασυνοριακό πρόβλημα.

#### 3.1 Επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον

Η πιο φανερή συνέπεια της αέριας ρύπανσης είναι η μείωση της ορατότητας. Αυτό οφείλεται στα αιωρούμενα σωματίδια, την υγρασία και τους αέριους ρύπους της ατμόσφαιρας τα οποία διασπείρουν (σκεδάζουν) κατά ένα μέρος το ηλιακό φως δημιουργώντας μια ατμόσφαιρα θολή. Το φαινόμενο παρατηρείται έντονα σε περιοχές όπου παράγονται μεγάλες ποσότητες σωματιδίων ή/και αερολυμάτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα μεγάλα αστικά κέντρα στα οποία τα «επεισόδια φωτοχημικής ρύπανσης» είναι έντονα και με μεγάλη σχετικά συχνότητα. Επίσης όταν στην ατμόσφαιρα αυξάνεται η τιμή του ανόργανου άνθρακα (αιθάλη), για παράδειγμα από ατελείς καύσεις, μιλάμε για το «φαινόμενο της αιθαλομίχλης».

Η σκέδαση και η απορρόφηση του φωτός έχει άμεσα αποτελέσματα στο μικροκλίμα της περιοχής, μεταβάλλοντας το ποσό του ηλιακού φωτός που φτάνει τελικά στην επιφάνεια της γης. Τα αιωρούμενα σωματίδια επιδρούν και έμμεσα στο κλίμα μέσω των συνεπειών τους στα σύννεφα, ενεργώντας ως πυρήνες συμπύκνωσης νεφών. Τα σωματίδια πιθανόν να οδηγούν σε υπερθέρμανση του κατώτερου στρώματος της ατμόσφαιρας (τροπόσφαιρα) εάν σε αυτή περιλαμβάνεται κυρίως στοιχειακός άνθρακας ο οποίος απορροφά ισχυρά στο ορατό, αν και η συνήθης συνολική επίδραση των σωματιδίων στο ισοζύγιο υπολογίζεται να είναι αρνητική, δηλαδή να οδηγούν σε ψύξη

##### 3.1.1 Διάχυση και απορρόφηση του φωτός

Η ηλιακή ακτινοβολία που διέρχεται μέσα από την ατμόσφαιρα προς την γήινη επιφάνεια, σκεδάζεται και απορροφάται τόσο από τα αέρια της ατμόσφαιρας όσο και από τα σωματίδια που αιωρούνται σ' αυτήν. Η ένταση της ακτινοβολίας  $I$  που φτάνει τελικά στην επιφάνεια, σε σχέση με την εκπεμπόμενη από τον ήλιο ακτινοβολία  $I_0$ , εκφράζεται μαθηματικά από τη σχέση του νόμου των Beer-Lambert:

$$I / I_0 = e^{-L b_{\text{ext}}}$$

όπου  $L$  είναι το μήκος που διανύει το φως και  $b_{\text{ext}}$  είναι ένας συντελεστής μείωσης της έντασης του φωτός (extinction coefficient), που είναι το άθροισμα της μείωσης λόγω των αερίων ( $b_g$ ) και λόγω των σωματιδίων ( $b_p$ ):

$$b_{\text{ext}} = b_g + b_p = (b_{sg} + b_{ag}) + (b_{sp} + b_{ap})$$

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

όπου οι δείκτες  $s$  και  $a$  δηλώνουν την σκέδαση (scattering) και την απορρόφηση (absorption) αντίστοιχα του φωτός.

Υπολογισμοί έδειξαν (Larson και Cass, 1989) ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της μείωσης του φωτός οφείλεται στην σκέδαση από τα λεπτά σωματίδια, ενώ σημαντική συνεισφορά έχει και η απορρόφηση από τα σωματίδια. Η σκέδαση του φωτός από τα σωματίδια μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις περιοχές ανάλογα με το μέγεθος του σωματιδίου σε σχέση με το μήκος κύματος  $\lambda$  του φωτός. Έτσι έχουμε:

- σκέδαση Rayleigh, για διάμετρο σωματιδίου  $D \ll \lambda$
- σκέδαση Mie, για διάμετρο  $D \sim \lambda$
- σκέδαση για σωματίδια με διάμετρο  $D \gg \lambda$

Καθώς κοντά στην επιφάνεια της γης ενδιαφερόμαστε κυρίως για την ορατή και την υπεριώδη ακτινοβολία, δηλαδή για μήκη κύματος από 290 έως 750nm, η πρώτη περιοχή αφορά σωματίδια με διάμετρο  $D < 0,03 \mu\text{m}$  και η τρίτη για εκείνα με διάμετρο  $D > 10 \mu\text{m}$ . Τα σωματίδια με τιμή διαμέτρου μεταξύ των δύο αυτών τιμών, ανήκουν στην δεύτερη κατηγορία όπου  $D \sim \lambda$ , που όπως ήδη έχουμε δει το διάστημα αυτό είναι και το περισσότερο σημαντικό όσον αφορά τα σωματίδια της ατμόσφαιρας.

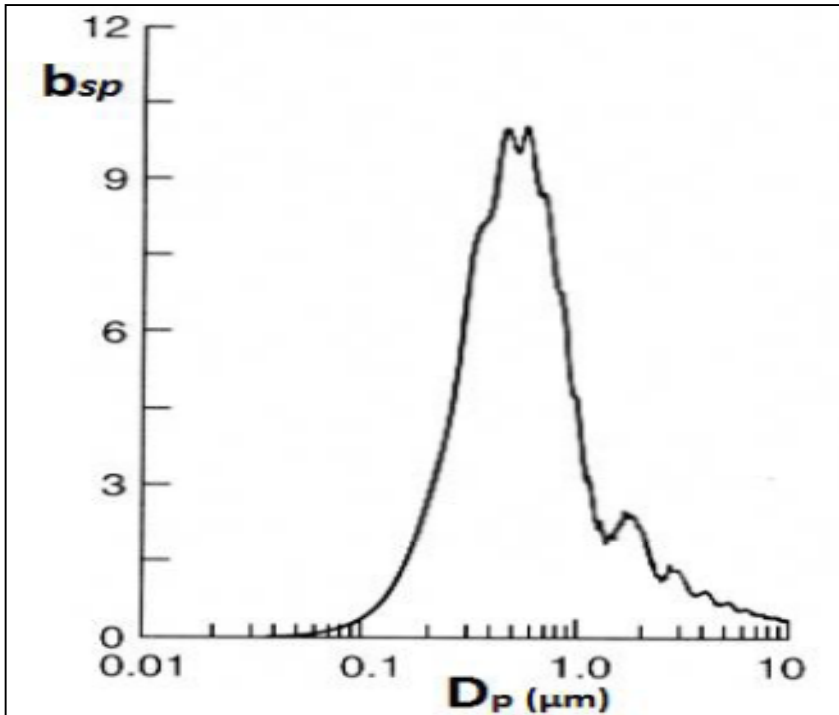
Το 1908 ο Mie ανέπτυξε μια εξίσωση που δίνει την σκέδαση που προκαλεί ακτίνα φωτός με μήκος κύματος  $\lambda$ , σε μια ομογενή σφαίρα διαμέτρου  $D$  όταν σ' αυτήν φτάσει το φως υπό γωνία (Kerker, 1969, Bohren και Huffman, 1983). Ο δείκτης  $m(\lambda)$  ενός υλικού είναι ένας αδιάστατος μιγαδικός αριθμός, εξαρτάται από το μήκος κύματος  $\lambda$  της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και δίνεται από τη σχέση:

$$m(\lambda) = n(\lambda) + i k(\lambda)$$

Το πραγματικό του μέρος  $n(\lambda)$  εκφράζει τη συνιστώσα της σκεδαζόμενης προσπίπτουσας ακτίνας που δεν απορροφάται από το σωματίδιο, ενώ το φανταστικό μέρος  $k(\lambda)$  εκφράζει το μέρος που απορροφάται. Και τα δύο μέρη όπως φαίνεται είναι συνάρτηση του μήκους κύματος  $\lambda$ . Επιπλέον η θεωρία Mie ορίζει και μια δεύτερη παράμετρο, την αδιάστατη παράμετρος μεγέθους  $\alpha$ , η τιμή της οποίας καθορίζει το είδος της αλληλεπίδρασης:

$$\alpha = 2\pi r_p / \lambda$$

όπου  $r_p$  η ακτίνα του αιωρήματος και  $\lambda$  το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Στο Σχήμα 7 που ακολουθεί εμφανίζεται ο συντελεστής σκέδασης για σωματίδια διαφόρων διαμέτρων.



**Σχήμα 7:** Συντελεστής σκέδασης σωματιδίου  $b_{sp}$  ανηγμένος στον όγκο του σωματιδίου ως προς την διάμετρό του (για σωματίδια σφαιρικού σχήματος και  $\lambda=550\text{nm}$ ).

### 3.1.2 Επίδραση των σωματιδίων στην ορατότητα

Μία από τις πιο σημαντικές συνέπειες της ανθρωπογενούς αέριας ρύπανσης είναι η παραγωγή της λεγόμενης «αιθαλομίχλης» (haze), που προκαλεί μείωση στην ορατότητα, δηλαδή μείωση του οπτικού βάθους. Το οπτικό βάθος ή οπτικό βεληνεκές αντικειμένου ορίζεται ως η απόσταση στην οποία ένα μαύρο αντικείμενο μπορεί να διακριθεί όταν προβληθεί στον ορίζοντα. Δύο παράγοντες συμμετέχουν στον υπολογισμό του οπτικού βάθους: η οπτική οξύτητα και η αντιπαραβολή (contrast).

Η αντιπαραβολή ορίζεται ως ο λόγος της φωτεινότητας του αντικειμένου  $B_0$  προς εκείνη που έχει στον ορίζοντα  $B_H$ , μειωμένος κατά μία μονάδα. Δηλαδή:

$$C = (B_0 / B_H) - 1$$

Έχει προταθεί (Middleton, 1952) η εξίσωση Koschmieder:

$$C/C_0 = e^{-Lb_{\text{ext}}}$$

όπου  $C$  είναι η αντιπαραβολή του αντικειμένου σε απόσταση  $L$  από τον παρατηρητή.

Βλέπουμε ότι η αντιπαραβολή  $C$  εξαρτάται από το συντελεστή απορρόφησης και σκέδασης και ως εκ τούτου από τον ίδιο συντελεστή εξαρτάται και το οπτικό βάθος (Finlayson-Pitts και Pitts, 2000).

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Το οπτικό βάθος κυμαίνεται συνήθως από εκατοντάδες μέτρα ή ορισμένα χιλιόμετρα για αστικές περιοχές μέχρι κάποιες εκατοντάδες χιλιόμετρα σε απομακρυσμένες, καθαρές περιοχές. Όσον αφορά τις αστικές περιοχές, τα σωματίδια με διάμετρο στην περιοχή από 0,1 μέχρι 1μm φαίνεται να συμμετέχουν πιο έντονα στη σκέδαση του φωτός.

Έρευνες όσον αφορά το συντελεστή σκέδασης από τα σωματίδια  $b_{sp}$  σε σχέση με τον όγκο των σωματιδίων στην περιοχή 0,1-1 μm (Waggoner και Charlson, 1976, Sverdrup και Whitby, 1980) έδειξαν καλή συσχέτιση μεταξύ τους, αν και τονίζεται ότι σε κάθε περίπτωση η συσχέτιση εξαρτάται σημαντικά και από τη φύση και το ιστορικό των αερίων μαζών. Τα συμπεράσματα αυτά φαίνεται να αφορούν μονάχα τα λεπτά σωματίδια και όχι τα χονδρόκοκκα στα οποία δεν παρουσιάζεται καλή συσχέτιση μεταξύ του μεγέθους τους και του συντελεστή  $b_{sp}$  (Groblicki κ.ά., 1981, Waggoner κ.ά., 1981, Conner κ.ά., 1991).

Σχετικά με την επίδραση που έχει η απορρόφηση νερού από τα σωματίδια στην μείωση της ορατότητας. Τα ατμοσφαιρικά σωματίδια ως γνωστόν είναι υγροσκοπικά, δηλαδή με μεταβολή της υγρασίας μπορούν εύκολα να αποβάλλουν ή να προσλάβουν νερό. Επιπλέον, αναλόγως του μεγέθους και της χημικής τους σύστασης, σωματίδια μπορούν να ενεργήσουν ως πυρήνες συμπύκνωσης νεφών προσλαμβάνοντας μεγάλες ποσότητες νερού ώστε να σχηματιστούν σταγονίδια βροχής. Με δεδομένο ότι η πρόσληψη νερού επιφέρει αύξηση στο μέγεθος (τόσο στη μάζα, όσο και στον όγκο) των σωματιδίων και μείωση στον δείκτη διάθλασης είναι λογικό να αναμένεται μεταβολή και στη σκέδαση του φωτός. Η μεταβολή αυτή έχει βρεθεί με χρήση νεφελομέτρου να είναι θετική (Ho κ.ά., 1974).

Έχει βρεθεί επίσης ότι σωματίδια αστικής περιοχής έχουν μικρότερο συντελεστή υγροσκοπικής μεγέθυνσης από ότι σωματίδια που βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές (McInnes κ.ά., 1998). Αυτό εξηγείται καθώς σε αστικό περιβάλλον ήδη υπάρχουν μεγάλες συγκεντρώσεις σωματιδίων που προκαλούν σκέδαση Mie, σε αντίθεση με απομακρυσμένες (π.χ. ωκεάνιες) περιοχές στις οποίες κυριαρχούν τα υπέρλεπτα και τα χονδρόκοκκα σωματίδια, ενώ δεν αποκλείεται και η χημική σύσταση των αερολυμάτων στα δύο διαφορετικά περιβάλλοντα (αστικό, ωκεάνιο) να συμβάλλει σε αυτόθερμοκρασίες κάτω των 400 °C (Penner και Novakov, 1996). Ωστόσο στην ατμόσφαιρα ο μαύρος άνθρακας δεν υπάρχει καθαρός, αλλά συνυπάρχει στα σωματίδια με άλλες ενώσεις ή στοιχεία.

Οι κύριες πηγές μαύρου άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι οι πυρκαγιές δασικών εκτάσεων και η λειτουργία πετρελαιομηχανών, με αποτέλεσμα σε περιοχές που η συνεισφορά τέτοιων πηγών είναι σημαντική, η απορρόφηση του φωτός να είναι έντονη. Η απορρόφηση του φωτός από τα σωματίδια αναμένεται να οδηγήσει σε θέρμανση της ατμόσφαιρας, ιδιαίτερα σε ρυπασμένες αστικές περιοχές (Liu και Smith, 1995, Horvath, 1995).

### 3.2 Επιπτώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην δημόσια υγεία

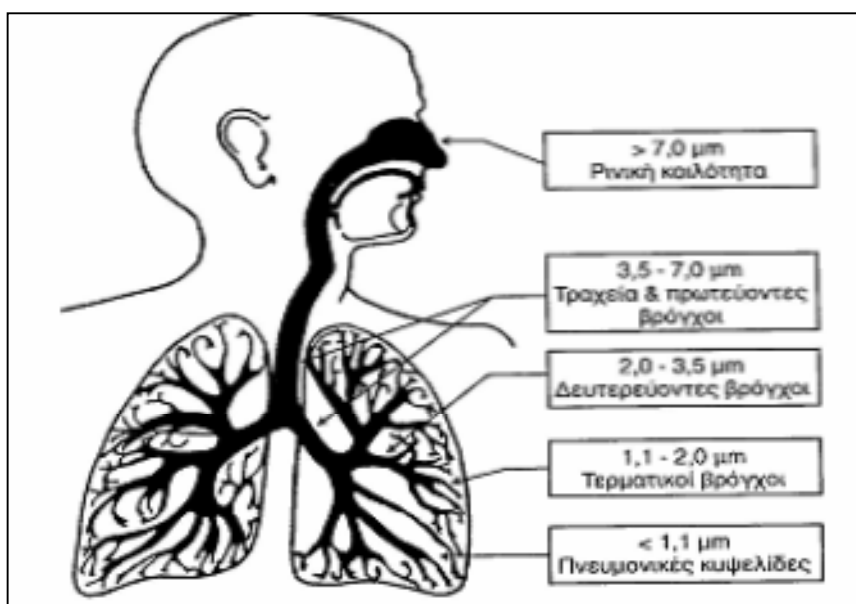
Τα εισπνεόμενα σωματίδια από τον ανθρώπινο οργανισμό διαχωρίζονται ανάλογα με το μέγεθός τους και επικάθονται σε συγκεκριμένο τμήμα της αναπνευστικής οδού (Dockery κ.ά., 1994). Τα διάφορα τμήματα του αναπνευστικού συστήματος διαφέρουν σημαντικά όσον αφορά τη μορφή, το μέγεθος και την ευαισθησία. Επίσης διαφέρουν ως προς τον μηχανισμό αποβολής των σωματιδίων από τα τμήματα αυτά.

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Τα μεγαλύτερα σωματίδια επικάθονται στο άνω τμήμα του αναπνευστικού συστήματος, ενώ τα μικρότερα εισπνεύσιμα σωματίδια εισχωρούν βαθύτερα στους πνεύμονες και παραμένουν εκεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Αυτό δείχνει γιατί τα σωματίδια PM<sub>10</sub>, και ειδικά τα PM<sub>2,5</sub>, είναι πρωταρχικής σημασίας και πρέπει να λαμβάνονται μέτρα ρύθμισης των συγκεντρώσεών τους στην ατμόσφαιρα. Τα PM<sub>2,5</sub> όχι μόνο εισχωρούν, όπως αναφέρθηκε, βαθύτερα στην αναπνευστική οδό και παραμένουν μεγαλύτερο χρόνο στους πνεύμονες απ' ό,τι τα χονδρόκοκκα σωματίδια, μα επιπλέον περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες τοξικών και επικίνδυνων χημικών ενώσεων οι οποίες πιθανόν μακροπρόθεσμα να έχουν αρνητικά αποτελέσματα στην υγεία του ατόμου.

Από τα σωματίδια της ατμόσφαιρας, τα πλέον επικίνδυνα για τον ανθρώπινο οργανισμό είναι τα λεπτά (fine) και τα υπέρλεπτα (ultrafine) σωματίδια καθώς αυτά έχουν διάμετρο ικανή ώστε να διεισδύσουν, μέσω της διαδικασίας της αναπνοής, βαθιά στις κυψελίδες του ανθρώπινου πνεύμονα, δημιουργώντας έτσι μια σειρά από προβλήματα υγείας (Morawska και Salthammer, 2003). Τα σωματίδια αυτά σήμερα παράγονται από τις καύσεις για την κίνηση των τροχοφόρων οχημάτων και από άλλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες και τα επίπεδα τους ειδικά στα μεγάλα αστικά κέντρα έχουν απασχολήσει ιδιαίτερα τους ερευνητές. Χημικές μετατροπές στα λεπτά σωματίδια μπορούν να δημιουργήσουν ή να εμπλουτίσουν τα αερολύματα της ατμόσφαιρας με ουσίες ικανές να προκαλέσουν μεταλλάξεις ή/και καρκινογενέσεις (Oberdorster κ.ά., 1995, Utell και Samet, 1996).



Εικόνα 4: Διείσδυση σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα.

Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι η έκθεση πληθυσμού στα αιωρούμενα λεπτά σωματίδια είναι ίσως πολύ πιο επικίνδυνη από ότι η έκθεση σε άλλους αιωρούμενους στην ατμόσφαιρα ρυπαντές (Vedal, 1997). Τα σημαντικότερα προβλήματα υγείας που μπορούν να προκαλέσουν τα αιωρούμενα σωματίδια είναι η μείωση της δυνατότητας αναπνευστικής λειτουργίας, την αύξηση των συμπτωμάτων στην αναπνευστική οδό (βήχας, μείωση αναπνοής, επεισόδια άσθματος), όπως επίσης χρόνιες πνευμονικές παθήσεις, καρδιοαγγειακές ασθένειες και τέλος, καρκίνο των πνευμόνων. Αξιόπιστες επιδημιολογικές μελέτες δείχνουν ότι μια πιθανή αύξηση στη συγκέντρωση των εισπνεύσιμων (inhaled) σωματιδίων κατά 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  θα προκαλέσει 1 %

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"



αύξηση στην πρόωγη θνησιμότητα (premature mortality) (Schwartz, 1994, Schwartz κ.ά., 1996, Dockery κ.ά., 1993, Bates, 1992). Μάλιστα, η συσχέτιση αυτή φαίνεται να είναι ανεξάρτητη από τις εκάστοτε ημερήσιες κλιματικές συνθήκες και έχει συμπερασματικά διατυπωθεί η άποψη ότι η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας ή άλλοι παράγοντες όπως για παράδειγμα η παρουσία διαφόρων ρυπαντών, είναι αδύνατον να εξηγήσουν πλήρως τη συσχέτιση που παρατηρείται μεταξύ επιπέδου σωματιδιακής ύλης και νοσημάτων. Επιπλέον, ακόμη δεν έχει πλήρως διασαφηνιστεί εάν το πλήθος των σωματιδίων, η διάμετρός τους, η χημική τους σύσταση ή συνδυασμός αυτών επενεργούν στη δημιουργία των παρατηρούμενων προβλημάτων υγείας (Oberdorster κ.ά., 1995).

#### Επιπτώσεις στο Καρδιοαγγειακό σύστημα

Οι επιπτώσεις δυστυχώς δεν περιορίζονται μόνο στο αναπνευστικό, αλλά επιδρούν και στο καρδιοαγγειακό σύστημα. Δηλαδή έχουμε «επίθεση» αυτών των μικροσωματιδίων μέσα στα αγγεία της καρδιάς με αποτέλεσμα να έχουμε στενώσεις σε αυτά τα αγγεία που προκαλούν αύξηση και πάχυνση του λείου μυϊκού συστήματος του τοιχώματος του αγγείου, με αποτέλεσμα ένα αγγείο που φαίνεται φυσιολογικό και δεν έχει αθηρωμάτωση να είναι στην πραγματικότητα φραγμένο και να μπορεί να οδηγήσει σε έμφραγμα. Οι ρύποι αυτοί περνάνε μέσα στο κυκλοφοριακό σύστημα, δημιουργούν στενώσεις αγγείων –για το λόγο αυτό κατεβαίνει και η ηλικία εμφράγματος σε μικρότερες ηλικίες και ακόμα και σε μη καπνίζοντες.

#### Κυκλοφοριακό σύστημα

Τα μικρά σωματίδια PM2.5 δεν απομακρύνονται από το αναπνευστικό σύστημα, ξεπερνούν ταμέσα στο κυκλοφοριακό σύστημα του ανθρώπου, με αποτέλεσμα το αίμα να τα πηγαίνει παντού. Έτσι μπορεί να έχουμε τοξικότητα σε όλα τα όργανα του οργανισμού κι όχι μόνο στο αναπνευστικό.

#### Επιπτώσεις στο DNA

Υπάρχουν μελέτες που καταδεικνύουν διαφορές μεταξύ των ανθρώπων που ζουν στην ύπαιθρο και αυτών που ζουν στις πόλεις στον βλεννογόνο της ρινικής κοιλότητας σε επίπεδο ιστού, κυττάρου αλλά και DNA, που σημαίνει ότι η έκθεση σε ρύπους αφήνει αποτυπώματα στον άνθρωπο. Το γεγονός ότι δεν υπάρχουν πάντα ορατά συμπτώματα σε όσους εκτίθενται στα αιωρούμενα σωματίδια, , δεν σημαίνει ότι δεν έχουν υποστεί βλάβες.

#### Κίνδυνος για τις εγκύους

Κίνδυνος ελλοχεύει για την κυοφορούσα γυναίκα, μιας και στο έμβρυο προκαλούνται βλάβες που δεν φαίνονται άμεσα από την επίδραση των ρύπων. Συνδέονται δε με συγγενείς ανωμαλίες που φαίνονται στο βάθος του χρόνου. Εκτός από τα αιωρομενα σωματίδια, συνήθως υπάρχουν και άλλοι ρύποι στην ατμόσφαιρα όπως τα οξείδια του αζώτου, το οξείδιο του θείου, το όζον, αλλά και οι διοξίνες. Πρόσφατα συνδέεται η συγγενής ανωμαλία του λαγόχειλου με την έκθεση σε διοξίνες.

#### Πνευμονικές παθήσεις

Τα αιωρούμενα σωματίδια από τη στιγμή που εισέλθουν μέσα στον πνεύμονα, θα εγκλωβιστούν και θα φαγοκυτταρωθούν από τα μακροφάγα κύτταρα, τα οποία «σκουπίζουν» τον πνεύμονα. Θα ήταν καλά αν δεν ακολουθούσαν εσωτερικές διαδικασίες των μακροφάγων,

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

δηλαδή η έκκριση κάποιων ουσιών που ευνοούν την ανάπτυξη φλεγμονών και επιβαρύνουν την υγεία γενικότερα.

Τα μακροφάγα κύτταρα παράγουν ακόμα ουσίες που ενεργοποιούν την ανάπτυξη του συνδετικού ιστού. Ο συνδετικός ιστός φυσιολογικά στον άνθρωπο είναι λίγος, χαλαρός και λεπτός και χρησιμεύει στο να στηρίζει τα κύτταρα. Οι ουσίες αυτές που εκκρίνονται όταν τα μακροφάγα έχουν ερεθιστεί από τα αιωρούμενα σωματίδια, προκαλούν την ανάπτυξη συνδετικού ιστού σε μεγάλες ποσότητες με αποτέλεσμα όπου αυτό συμβεί να μειώνεται η ελαστικότητα του πνεύμονα και έτσι να μην γίνεται σωστά η ανταλλαγή των αερίων, δηλαδή της οξυγόνωση του πνεύμονα.

Σε βάθος χρόνου αναπτύσσονται φλεγμονές και χάνεται η κινητικότητα του πνεύμονα. Έτσι σταδιακά προκαλούνται χρόνιες βλάβες, όπως η χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια από την οποία πάσχουν πολλοί Έλληνες.

#### Ανοσοποιητικό σύστημα

Ο χρόνιος ερεθισμός από τους αέριους ρύπους προκαλεί ακόμα και επιβάρυνση στο ανοσοποιητικό σύστημα και δημιουργεί τις προϋποθέσεις να αναπτυχθούν κι άλλοι νόσοι στον άνθρωπο όπως ο καρκίνος.

Συνοψίζοντας λοιπόν μπορούμε με βάση τις έρευνες που έχουν γίνει να πούμε ότι η μακροχρόνια εισπνοή σωματιδίων είναι δυνατόν να προκαλέσει καρδιοαγγειακά, αναπνευστικά και πνευμονικά νοσήματα (άσθμα, πνευμοκονίαση) και καρκινογενέσεις, ενώ αερολύματα που περιέχουν οργανικές ενώσεις προκαλούν πολλές φορές αλλεργικές παθήσεις (Pope κ.ά., 1995, Samet κ.ά., 2000, Schwartz κ.ά., 1999, Pekkanen κ.ά., 1997, Dockery κ.ά., 1989, Pope κ.ά., 1991, Roemer κ.ά., 1993).

### **3.3 Επίδραση των αιωρούμενων σωματιδίων στο κλίμα**

#### **3.3.1 Εισαγωγή**

Εδώ και πολλά χρόνια πιστεύεται ότι τα σωματίδια της ατμόσφαιρας συμμετέχουν στη διαμόρφωση του κλίματος στον πλανήτη. Έτσι, ενώ τον 19ο αιώνα είχε παρατηρηθεί μέση αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του πλανήτη κατά 0,3-0,6 °C, την περίοδο από το 1940 μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1970 η τάση αυτή δεν συνεχίστηκε (IPCC, 1996). Μάλιστα την περίοδο αυτή παρατηρήθηκαν χαμηλότερες από τις φυσιολογικές θερμοκρασίες, οι οποίες αποδόθηκαν κυρίως στην σκέδαση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας εξαιτίας των σωματιδίων/αερολυμάτων, των προερχόμενων από τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Επίσης ο στοιχειακός άνθρακας καθώς και κάποιες οργανικές ενώσεις απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία, ενώ απορρόφηση και εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας συντελείται και από τα ανόργανα συστατικά στοιχεία των σωματιδίων που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα (π.χ. σκόνη). Τα παραπάνω αποτελούν τα άμεσα αποτελέσματα (συνέπειες), όπως ονομάζονται, των αερολυμάτων στο παγκόσμιο κλίμα.

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί εκ νέου αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 0,5°C περίπου, που οφείλεται κυρίως στην εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου. Θα λέγαμε λοιπόν ότι τα αέρια του θερμοκηπίου και τα αιωρούμενα σωματίδια δρουν ανταγωνιστικά στην ατμόσφαιρα της Γης (Charlson κ.ά., 1992). Επιπρόσθετα όμως τα

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 45

σωματίδια της ατμόσφαιρας επιδρούν στο κλίμα και με έμμεσο τρόπο. Στην περίπτωση αυτή μιλάμε για τα έμμεσα αποτελέσματα στο κλίμα. Το κυριότερο από αυτά είναι η έμμεση επίδραση που προκαλούν τα σωματίδια στις ιδιότητες των νεφών, καθώς είναι φανερό ότι τα σύννεφα με τη σειρά τους παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του κλίματος.

Επιπρόσθετα, καθώς η ετερογενής χημεία στην ατμόσφαιρα μπορεί να λάβει χώρα στην επιφάνεια των αιωρούμενων σωματιδίων, είναι πολύ πιθανό οι χημικές αυτές αντιδράσεις να μεταβάλλουν τις συγκεντρώσεις άλλων παραγόντων που επηρεάζουν το κλίμα, όπως είναι τα αέρια του θερμοκηπίου (Winer και Biermann, 1994, DeMore κ.ά., 1997, Penner κ.ά., 1994, Andreae, 1995, Andreae και Crutzen, 1997).

### 3.3.2 Άμεσες συνέπειες των σωματιδίων στο κλίμα

Μια από τις πιο σημαντικές ιδιότητες των σωματιδίων της ατμόσφαιρας είναι η ικανότητα τους να διαχέουν το ηλιακό φως. Η διάμετρος των περισσότερων σωματιδίων είναι περίπου της τάξεως του μήκους κύματος του ορατού φωτός με αποτέλεσμα να έχουμε σκέδαση Mie. Όσο η διάμετρος των σωματιδίων λαμβάνει μικρότερες τιμές τόσο η διάχυση του φωτός προσεγγίζει την περίπτωση διάχυσης κατά Reyleigh.

Η ένταση της σκέδασης κατά Mie είναι μια πολυμεταβλητή συνάρτηση που εξαρτάται από το μήκος κύματος του φωτός, το μέγεθος και τη σύσταση του σωματιδίου, καθώς και τη γωνία σκέδασης. Για σφαιρικού σχήματος σωματίδια, γνωστής σύστασης και μεγέθους, η θεωρία Mie είναι ικανή να προβλέψει το ποσό του εισερχομένου φωτός που σκεδάζεται προς διάφορες κατευθύνσεις. Έτσι μπορεί να υπολογιστεί (Schwartz, 1996) το ποσό του φωτός που επιστρέφει πίσω στο διάστημα, κάτι που είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας όσον αφορά τα άμεσα αποτελέσματα των αερολυμάτων στο παγκόσμιο κλίμα. Το αποτέλεσμα αυτό της ψύξης λόγω επιστροφής μέρους της ηλιακής ακτινοβολίας προς το διάστημα αποκαλείται ως "whitehouse effect".

Το συνολικό αποτέλεσμα της σκέδασης εξαρτάται και από την επιφάνεια που προσπίπτει το εισερχόμενο φως (Andreae κ.ά., 1995, Haywood και Shine, 1997). Έτσι, εάν πρόκειται για «σκούρα» επιφάνεια, όπως είναι η επιφάνεια των ωκεανών για παράδειγμα, έχουμε ψύξη καθώς η σκέδαση που προκαλείται από τα σωματίδια αυξάνει την ανακλαστικότητα (albedo) της περιοχής. Ωστόσο, εάν η επιφάνεια έχει ήδη υψηλό δείκτη ανακλαστικότητας, με ένα albedo μεγαλύτερο του 0,5, όπως συμβαίνει στην περίπτωση π.χ. μιας χιονισμένης επιφάνειας ή μιας μεγαλούπολης (όπου παράλληλα στην τελευταία περίπτωση έχουμε την εκπομπή μεγάλων ποσοτήτων αιωρούμενων σωματιδίων) τότε η σκέδαση από τα σωματίδια μπορεί να οδηγήσει στη μείωση του καθαρού ποσού ανάκλασης. Η αιτία του γεγονότος αυτού είναι ότι μέρος του φωτός που ανακλάται από την επιφάνεια, υπόκειται σε νέα ανάκλαση από τα σωματίδια της ατμόσφαιρας, με αποτέλεσμα να κινηθεί εκ νέου προς την Γη με άμεση συνέπεια την απορρόφηση μέρους αυτού από τα σωματίδια (και τα αέρια) της ατμόσφαιρας. Αυτή η αυξημένη πιθανότητα απορρόφησης του φωτός εξαιτίας των αποτελεσμάτων της πολλαπλής σκέδασης συνεπάγεται μια μείωση στην ανακλαστικότητα και άρα έναν θετικό παράγοντα όσον αφορά το ενεργειακό ισοζύγιο (radiative forcing) στην επιφάνεια της Γης (Haywood και Shine, 1997, Charlson κ.ά., 1992b).

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Πέρα από τη σκέδαση, ενδέχεται σε ορισμένες περιπτώσεις τα αερολύματα της ατμόσφαιρας να απορροφούν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Σημαντικό ρόλο στο φαινόμενο αυτό φαίνεται να έχει η χημική σύσταση των σωματιδίων. Η ακτινοβολία που απορροφάται μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια που συμμετέχει στη θέρμανση της τροπόσφαιρας, κάτι που επηρεάζει τη γενική κυκλοφορία στην ατμόσφαιρα (Penner κ.ά., 1994, Tegen κ.ά., 1997).

Αν και τα θεϊκά αερολύματα δε φαίνεται να απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία, αντίθετα τα σωματίδια στοιχειακού (μαύρου) σιδηρού στην ατμόσφαιρα. Η απορρόφηση αυτή επιφέρει μια θετική μεταβολή στο ενεργειακό ισοζύγιο της ατμόσφαιρας. Το φαινόμενο της απορρόφησης συμβαίνει ταυτόχρονα με το φαινόμενο της σκέδασης, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα μια αρνητική ενεργειακή μεταβολή. Εν τέλει τα σωματίδια αυτά επηρεάζουν το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που θα φτάσει στο κάτω μέρος της τροπόσφαιρας και το οποίο θα επηρεάσει και θα συμμετάσχει στη φωτοχημεία της ατμόσφαιρας της Γης (Haywood και Shine, 1997).

Τέλος, όσον αφορά την απορρόφηση της υπέρυθρης (IR) ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τη Γη, αυτή μπορεί να συμβεί από σωματίδια σκόνης για παράδειγμα και οδηγεί σε μια θετική ενεργειακή μεταβολή. Βλέπουμε λοιπόν ότι συνολικά στην ατμόσφαιρα έχουμε τόσο θετικές όσο και αρνητικές ενεργειακές μεταβολές εξ αιτίας της σκέδασης και της απορρόφησης του φωτός. Μάλιστα με τη συνεχή βιομηχανοποίηση περιοχών, την αποψίλωση δασών, την αύξηση της αγροτικής παραγωγής και πλήθος άλλων ανθρώπινων δραστηριοτήτων έχουμε μια σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα πράγμα που οδηγεί στη σημαντική συνεισφορά των σωματιδίων στις κλιματικές αλλαγές, μέσω των διαδικασιών που μόλις αναφέρθηκαν (Tegen κ.ά., 1996). Ωστόσο υπάρχουν πολλές δυσκολίες ώστε αυτές οι ποιοτικές παρατηρήσεις να μπορούν αξιόπιστα και με ακρίβεια να ποσοτικοποιηθούν (Sokolik κ.ά., 1998).

### 3.3.3 Έμμεσες συνέπειες των σωματιδίων στο κλίμα

Πέρα από τα άμεσα αποτελέσματα στο ενεργειακό ισοζύγιο της ατμόσφαιρας λόγω της διάχυσης και της απορρόφησης του φωτός, τα σωματίδια έχουν και έμμεση επίδραση στο κλίμα. Πολλές φορές η έμμεση αυτή επίδραση προκαλεί μεγαλύτερες μεταβολές στην ατμόσφαιρα σε σχέση με την άμεση επίδραση. Τα έμμεσα αποτελέσματα βασίζονται στη δυνατότητα που έχουν ορισμένα αερολύματα να δρουν ως πυρήνες συμπύκνωσης νέφους (cloud condensation nuclei, CCN) (Bougiatioti κ.ά., 2009). Αυτό συνεπάγεται μεταβολή της συγκέντρωσης του πλήθους των σταγονιδίων στο σύννεφο καθώς και της κατανομής του μεγέθους τους, στοιχεία που καθορίζουν σημαντικά το ρυθμό κατακρήμνισής τους. Επιπρόσθετα, τέτοιες μεταβολές στα χαρακτηριστικά του νέφους θεωρείται ότι μεταβάλλουν τον χρόνο ζωής και το μέγεθός του (Cess κ.ά., 1997, Lohmann και Feichter, 1997). Τα νέφη μειώνουν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία ανακλώντας ένα σημαντικό ποσό αυτής πίσω προς το διάστημα (κύριο αποτέλεσμα), αλλά σε μεγάλα ύψη μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε θέρμανση της τροπόσφαιρας διαμέσου της αλληλεπίδρασης με την μεγάλο μήκους κύματος (υπέρυθρης) ηπειρωτικής θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τη Γη προς το διάστημα.

Ήδη από το 1974 ο Twomey σε εργασία του υποστήριζε ότι οι ανθρωπογενείς εκπομπές μπορούν να επηρεάσουν τις ιδιότητες των νεφών και το albedo (ανάκλαση ηλιακής ενέργειας ή διαφορετικά λευκάγεια του πλανήτη), κάτι που σημαίνει ότι μπορούν έμμεσα να επηρεάσουν

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

το κλίμα σε παγκόσμια κλίμακα (Twomey, 1974, Charlson κ.ά., 1987). Το βασικό σκεπτικό της θεωρίας αυτής είναι ότι οι ανθρωπογενείς εκπομπές, όπως είναι το SO<sub>2</sub> και ένα πλήθος άλλων χημικών ενώσεων, που συμμετέχουν στο σχηματισμό σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, ενδεχομένως να συνεισφέρουν στη δημιουργία πυρήνων συμπύκνωσης νέφους (CCN) και έτσι έμμεσα να μπορούν να επηρεάσουν το κλίμα (Pirjola κ.ά., 1999).

Όσον αφορά δε την επίδραση των αερολυμάτων στην ετερογενή χημεία της ατμόσφαιρας να σημειώσουμε ότι είναι ιδιαίτερα σημαντική για τα αέρια του θερμοκηπίου. Για παράδειγμα στις επιφάνειες των σωματιδίων είναι πολύ πιθανό να έχουμε καταστροφή των σχετικά ευαίσθητων χημικά μορίων του όζοντος ή το σχηματισμό άλλων μορίων π.χ. N<sub>2</sub>O (Wiesen κ.ά., 1995).

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 49

## Β' ΜΕΡΟΣ

# Αξιολόγηση των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων κατά τις εργασίες κατασκευής της επέκτασης του Μετρό στον Πειραιά

#### 4. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΟΥ – ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η επέκταση της γραμμής III του Μετρό (τμήμα Χαϊδάρι – Πειραιάς) αναπτύσσεται σε περιοχές του Δήμου Πειραιά και των Δήμων της ευρύτερης περιοχής (Νίκαια, Κορυδαλλός, Αγ. Βαρβάρα) που σήμερα έχουν έντονα προβλήματα κυκλοφορίας και χαμηλό επίπεδο εξυπηρέτησης από μέσα μαζικής μεταφοράς.

Με την κατασκευή της επέκτασης του Μετρό προς τον Πειραιά θα εξυπηρετούνται καθημερινά 132.000 επιβάτες, ενώ ο συνολικός χρόνος από το Λιμάνι έως το Αεροδρόμιο θα διανύεται με το Μετρό μόλις σε 45 λεπτά. Επιπρόσθετα, με τη λειτουργία του έργου θα κυκλοφορούν καθημερινά περίπου 23.000 ΙΧ οχήματα λιγότερα, επιφέροντας αντίστοιχα μείωση των ρύπων CO<sup>2</sup> κατά 120 τόνους ημερησίως.

Ιδιαίτερα δε, στον Σταθμό ΠΕΙΡΑΙΑ προβλέπεται να δημιουργηθεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό Συγκοινωνιακό Κέντρο, συνενώνοντας λειτουργικά δύο γραμμές Μετρό (Γραμμή 1 και Γραμμή 3), το Λιμάνι, τον Προαστιακό Σιδηρόδρομο και το Τραμ, το οποίο προβλέπεται επίσης να διέλθει από την περιοχή αυτή, διευκολύνοντας έτσι τις μετεπιβιβάσεις μεταξύ όλων των μέσων μεταφοράς. Η κατασκευή της σήραγγας του Μετρό πραγματοποιήθηκε με Μηχάνημα Ολομέτωπης Κοπής (TBM) προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η αναπόφευκτη όχληση στη λειτουργία των Δήμων.

##### 4.1 Γεωγραφική Θέση Έργου

Η προς κατασκευή επέκταση της γραμμής 3 του ΜΕΤΡΟ, τμήμα ΧΑΪΔΑΡΙ – ΠΕΙΡΑΙΑΣ, βρίσκεται στο νομό Αττικής και εκτείνεται εντός των διοικητικών ορίων των Περιφερειών Αθηνών και Πειραιώς και πιο συγκεκριμένα εντός των διοικητικών ορίων των Δήμων Αγ. Βαρβάρας, Κορυδαλλού, Νίκαιας – Αγ. Ιρένη και Πειραιά

Η επέκταση της γραμμής 3 του ΜΕΤΡΟ, τμήμα ΧΑΪΔΑΡΙ – ΠΕΙΡΑΙΑΣ, θα είναι μήκους 7,6χλμ με 6 σύγχρονους σταθμούς, θα συνδέει το μεγαλύτερο λιμάνι της χώρας με το Αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος και προβλέπεται να εξυπηρετεί σε καθημερινή βάση 135.000 επιβάτες.





Εικόνα 5: χάραξη της επέκτασης της Γραμμής 3 από τον επίσταθμο του Χαϊδαρίου μέχρι τον επίσταθμο του Δημοτικού Θεάτρου

## 4.2 Σύντομη Περιγραφή Έργου

Η χάραξη της επέκτασης της Γραμμής 3 από τον επίσταθμο του Χαϊδαρίου μέχρι τον επίσταθμο του Δημοτικού Θεάτρου έχει μήκος περίπου 7,55χλμ και περιλαμβάνει έξι (6) νέους σταθμούς. Η αρχή της χάραξης τοποθετείται στη Χ.Θ. 1+418,552 και το πέρας στη Χ.Θ. 8+968,954.

Το Έργο περιλαμβάνει:

- Τον Σταθμό «Αγ. Βαρβάρα», κατασκευαζόμενο με τη μέθοδο ανοικτού ορύγματος.
- Τον Σταθμό «Κορυδαλλός», κατασκευαζόμενο με τη μέθοδο ανοικτού ορύγματος.
- Τον Σταθμό «Νίκαια», κατασκευαζόμενο εν μέρει με τη μέθοδο ανοικτού ορύγματος και εν μέρει με υπόγεια εκσκαφή.
- Τον Σταθμό «Μανιάτικα» κατασκευαζόμενο με τη μέθοδο υπόγεια εκσκαφής.
- Τον Σταθμό «Πειραιάς» κατασκευαζόμενο με τη μέθοδο κάλυψης και εκσκαφής (cover and cut) από πάνω προς τα κάτω (top to down) με τη χρήση διαφραγματικών τοίχων.
- Τον Σταθμό «Δημοτικό Θέατρο» κατασκευαζόμενο εν μέρει με τη μέθοδο ανοικτού ορύγματος και εν μέρει με υπόγεια εκσκαφή.
- Σήραγγα διπλής τροχιάς μήκους 127μ που κατασκευάζεται με υπόγεια διάνοιξη και συνδέει το φρέαρ εισόδου TBM με το τέλος της σήραγγας του επίσταθμου του σταθμού Χαϊδαρίου.
- Σήραγγα μήκους 6.505,522μ διπλής τροχιάς που κατασκευάζεται με τη χρήση TBM από το φρέαρ TBM στη Χ.Θ. 1+582,74 έως τη Χ.Θ. 8+ 748,262.

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

- Σήραγγα μήκους 220,70μ. τριπλής τροχιάς που κατασκευάζεται με υπόγεια διάνοιξη από τη Χ.Θ. 8+ 748,262 έως την Χ.Θ. 8+968,954.

Στο έργο επίσης περιλαμβάνονται τα παρακάτω φρέατα, τα οποία θα κατασκευασθούν με τη μέθοδο ανοικτού ορύγματος:

- Το Φρέαρ Εισόδου TBM: Φρέαρ εκκίνησης του TBM, το οποίο θα κλείσει μετά το πέρας του Έργου.
- Το Φρέαρ Κομνηνού: Φρέαρ αερισμού μεταξύ του φρέατος εισόδου TBM και σταθμού Αγ. Βαρβάρας.
- Το Φρέαρ Μεγάλου Αλεξάνδρου: Φρέαρ αερισμού μεταξύ των σταθμών Αγ. Βαρβάρας - Κορυδαλλού.
- Το Φρέαρ Ταξιαρχών: Δεύτερο φρέαρ αερισμού και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού μεταξύ των σταθμών Αγ. Βαρβάρας - Κορυδαλλού.
- Το Φρέαρ Πισιδίας: Φρέαρ αερισμού μεταξύ των σταθμών Κορυδαλλού - Νίκαιας.
- Το Φρέαρ Βλαχάκου: Φρέαρ αερισμού μεταξύ των σταθμών Νίκαιας - Μανιάτικα.
- Το Φρέαρ Μελά: Φρέαρ αερισμού του τμήματος Μανιάτικα-Πειραιά.
- Το Φρέαρ Ρολόι: Φρέαρ αερισμού μεταξύ των σταθμών Πειραιά και Δημοτικού Θεάτρου.
- Το Φρέαρ Δεληγιάνη: Φρέαρ στην πλατεία Δεληγιάνη, το οποίο θα χρησιμεύσει για πρόσβαση για την κατασκευή της τριπλής σήραγγας NATM του επιστάθμου και για την ανάσυρση του TBM.
- Το Φρέαρ Πανεπιστημίου: Τερματικό φρέαρ αερισμού στη Χ. Θ. 8+932,70, στο γωνιακό άκρο του προαυλίου χώρου του Πανεπιστημίου Πειραιά.

Με εξαίρεση το φρέαρ εισόδου TBM και το φρέαρ Δεληγιάνη όλα τα φρέατα διαθέτουν εξόδους έκτακτης ανάγκης.

Επίσης περιλαμβάνονται Φρέατα Εκτόνωσης / Αερισμού που τοποθετούνται στην περιοχή εκατέρωθεν κάθε σταθμού και είναι είτε ενσωματωμένα στον κάθε σταθμό είτε ξεχωριστές κατασκευές σε γειτνίαση με αυτόν.

### 4.3 Μετεωρολογικά Στοιχεία – Κλίμα

Τα μετεωρολογικά στοιχεία που αφορούν την περιοχή μελέτης καθώς και την ευρύτερη περιοχή του έργου προέρχονται κυρίως από το μετεωρολογικό σταθμό του Πειραιά της Ε.Μ.Υ., και καλύπτουν τα έτη από 1966 ως 1998.

Το κλίμα της περιοχής μελέτης με μία πρώτη προσέγγιση είναι μεσογειακό με κύριο χαρακτηριστικό το ξηρό και θερμό καλοκαίρι και τον ήπιο και χωρίς πολλές βροχοπτώσεις χειμώνα.

Στη συνέχεια δίνονται συνοπτικά ορισμένα μετεωρολογικά στοιχεία από τον προαναφερόμενο σταθμό.

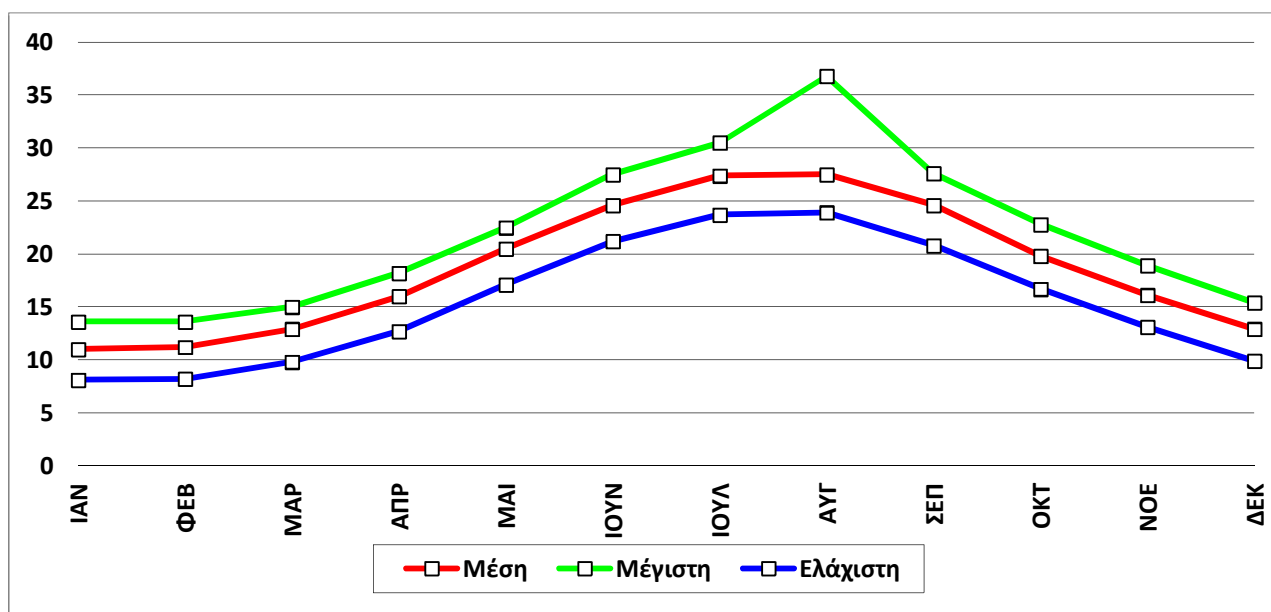
### A. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 2, ο χειμώνας δεν είναι ιδιαίτερα ψυχρός. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι περίπου 18,7°C με θερμότερο μήνα τον Αύγουστο (36,8°C) και ψυχρότερο τον Ιανουάριο (8,1°C).

Στο Διάγραμμα 1 παρουσιάζεται γραφικά η κατανομή συχνότητας των μέσων μηνιαίων, μεγίστων και ελαχίστων θερμοκρασιών.

Μήνας	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	ΕΤΟΣ
Μέση θερμοκρασία	11,0	11,2	12,9	16,0	20,5	24,6	27,4	27,5	24,6	19,8	16,1	12,9	18,7
Μέση Μέγιστη	13,6	13,6	15,0	18,2	22,5	27,5	30,5	36,8	27,6	22,8	18,9	15,4	21,9
Μέση Ελάχιστη	8,1	8,2	9,8	12,7	17,1	21,2	23,7	23,9	20,8	16,7	13,1	9,9	15,4
Απολύτως Μέγιστη	22,2	21,2	28,0	27,2	31,8	38,4	42,0	38,4	37,0	33,0	26,4	22,2	37,3
Απολύτως Ελάχιστη	-2,0	-1,8	-1,0	3,7	7,0	14,6	15,6	18,0	12,6	7,0	3,0	-0,5	6,4

Πίνακας 2: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αέρος (°C)



Διάγραμμα 1: Μέση μηνιαία, μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία

### B. ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ

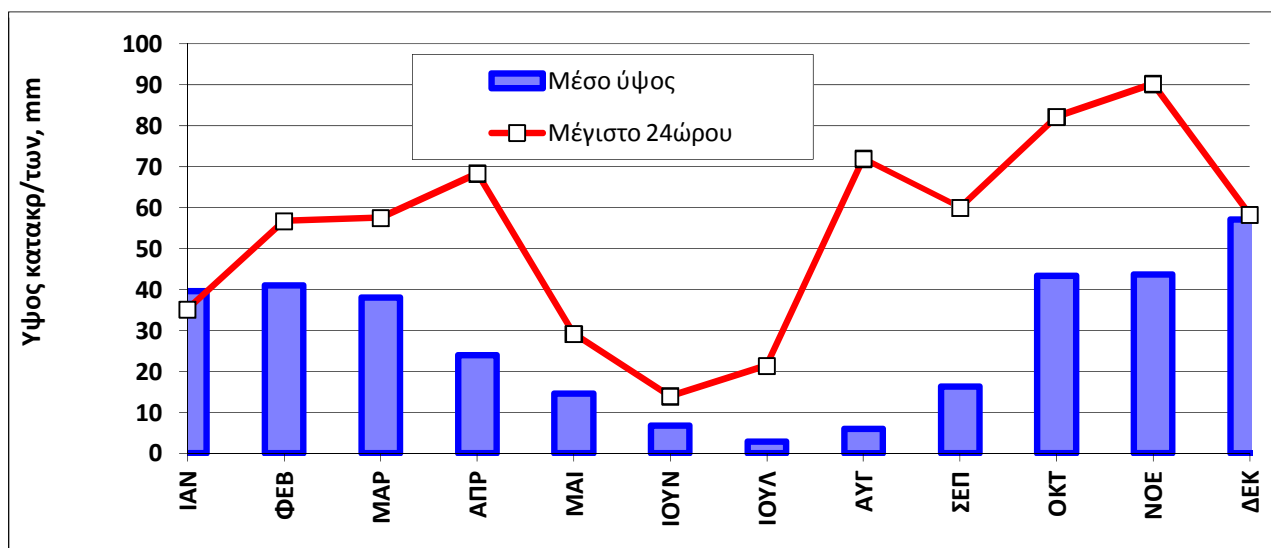
Η μέση ετήσια βροχοπτώση στην περιοχή με βάση τα στοιχεία του Μ.Σ. Πειραιά κατά μέσον όρο φθάνει μόλις τα 332,8 mm, ενώ η μέγιστη ημερήσια φθάνει τα 90,3 mm και παρατηρείται το Νοέμβριο. Τα μέσα μηνιαία ύψη βροχής καθώς και τα μέγιστα 24ώρου παρουσιάζονται στον Πίνακα 3 και στο Διάγραμμα 2.

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	ΕΤΟΣ
Μέσο ύψος υετού σε mm	39,5	41,0	38,0	23,9	14,5	6,8	2,8	6,0	16,2	43,3	43,7	57,1	<b>27,7</b>
Μέγιστο ύψος υετού 24ώρου σε mm	35,2	56,8	57,5	68,4	29,2	14,0	21,4	72,0	60,0	82,3	90,3	58,3	<b>53,8</b>

Πίνακας 3: Μέσα μηνιαία ύψη βροχής και μέγιστα 24ώρου



Διάγραμμα 2: Μηνιαίο συνολικό ύψος βροχής και μέγιστο ύψος 24ώρου

Οι εντάσεις των βροχών, όπως φαίνεται στο προηγούμενο διάγραμμα είναι ιδιαίτερα χαμηλές. Τα μέγιστα 24ωρα ύψη βροχής που έχουν παρατηρηθεί κυμαίνονται από 90,3 mm το Νοέμβριο έως 2,8 mm τον Ιούλιο.

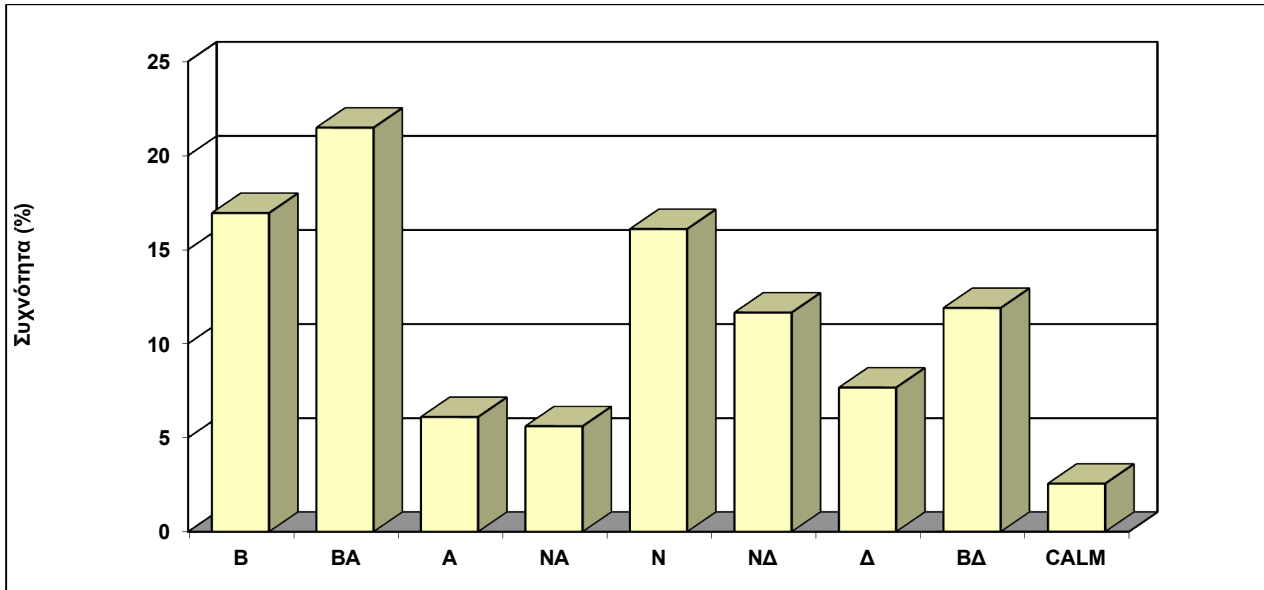
#### Γ. ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Σύμφωνα με τα ανεμολογικά στοιχεία του Μ.Σ. Πειραιά προκύπτει ότι στην εξεταζόμενη περιοχή οι επικρατούντες διευθύνσεις ανέμων είναι η ΒΑ (21,478%), η Β (16,941%), η Ν (16,090%) και η ΝΔ (11,650%). Σημειώνεται ότι το ποσοστό νηνεμίας είναι 2,558%, ενώ οι άνεμοι που πνέουν στην περιοχή (σε ποσοστό 95%) δεν ξεπερνούν τα 6 Beaufort.

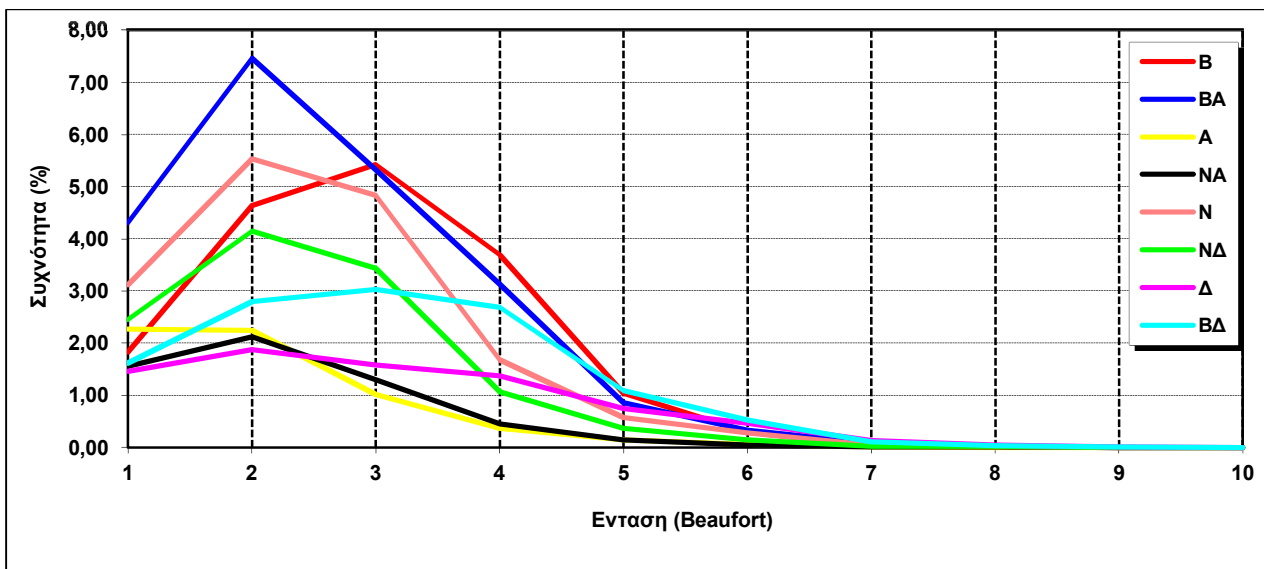
Στο Διάγραμμα 3 παρουσιάζεται η κατανομή συχνότητας διεύθυνσης των ανέμων για την περιοχή μελέτης, σύμφωνα με τα ανεμολογικά στοιχεία που δόθηκαν από την Ε.Μ.Υ. για το χρονικό διάστημα 1966-1998, ενώ στο Διάγραμμα 4 παρουσιάζεται η συχνότητα των εντάσεων ανά διεύθυνση. Όσον αφορά στην ένταση των ανέμων αυτή δεν ξεπερνά σε μεγάλο ποσοστό τα 8 BEAUFORT και πιο συγκεκριμένα τα υπερβαίνει κατά 0.4 ημέρες τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Αύγουστο.

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"



Διάγραμμα 3: Κατανομή συχνότητας διεύθυνσης ανέμων και νηνεμίας



Διάγραμμα 4: Κατανομή συχνότητας έντασης ανέμου ανά διεύθυνση

#### Δ. ΥΓΡΑΣΙΑ

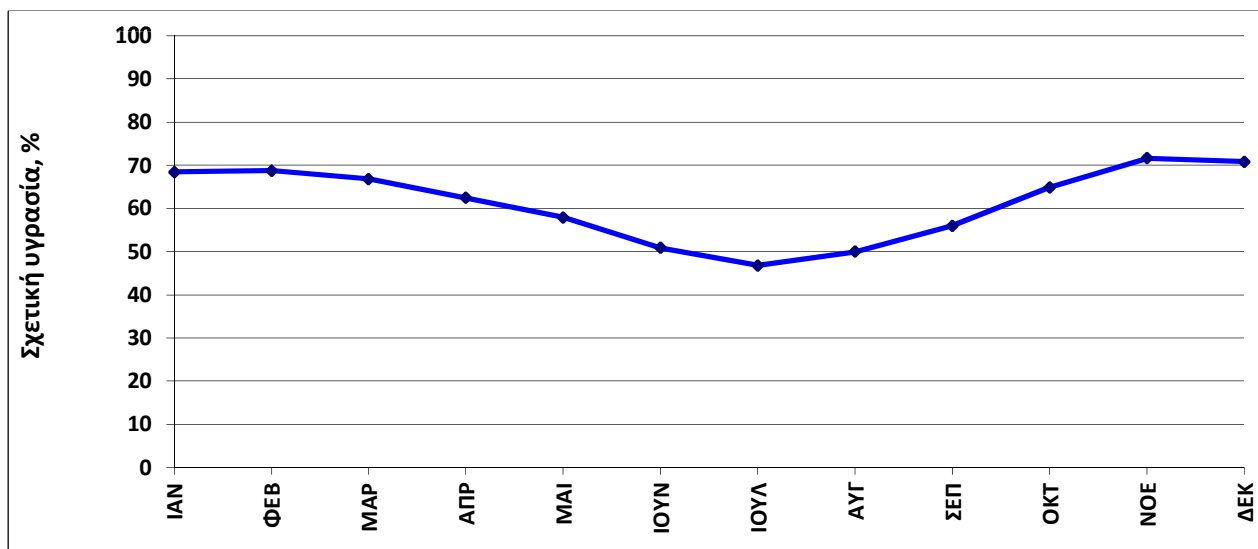
Ενώ οι θερμοκρασίες ενός τόπου εμφανίζουν σχετική σταθερότητα σε μία ευρύτερη έκταση (με μία μικρή βαθμιδωτή μεταβολή συναρτήσεως του υψομέτρου), οι υγρασίες παρουσιάζουν σοβαρές ενίοτε μεταβολές από περιοχή σε περιοχή, με μικρή απόσταση μεταξύ τους. Έτσι οι μέσες μηνιαίες σχετικές υγρασίες που έχει καταγράψει η Ε.Μ.Υ. στην περιοχή παρατίθενται στον Πίνακα 4. Στο Διάγραμμα 5 φαίνεται παραστατικά η διακύμανση της μέσης υγρασίας.

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Μήνας	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	ΕΤΟΣ
Υγρασία	68,4	68,7	66,8	62,4	57,9	50,9	46,8	50,0	56,0	64,9	71,6	70,8	61,3

Πίνακας 4: Μέσες μηνιαίες σχετικές υγρασίες



Διάγραμμα 5: Κατανομή συχνότητας μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας

Ο Ιούλιος και Αύγουστος είναι οι πιο ξηροί μήνες του έτους για την περιοχή, ενώ ο Νοέμβριος και ο Δεκέμβριος οι πιο υγροί.

## Κλιματολογικά Στοιχεία

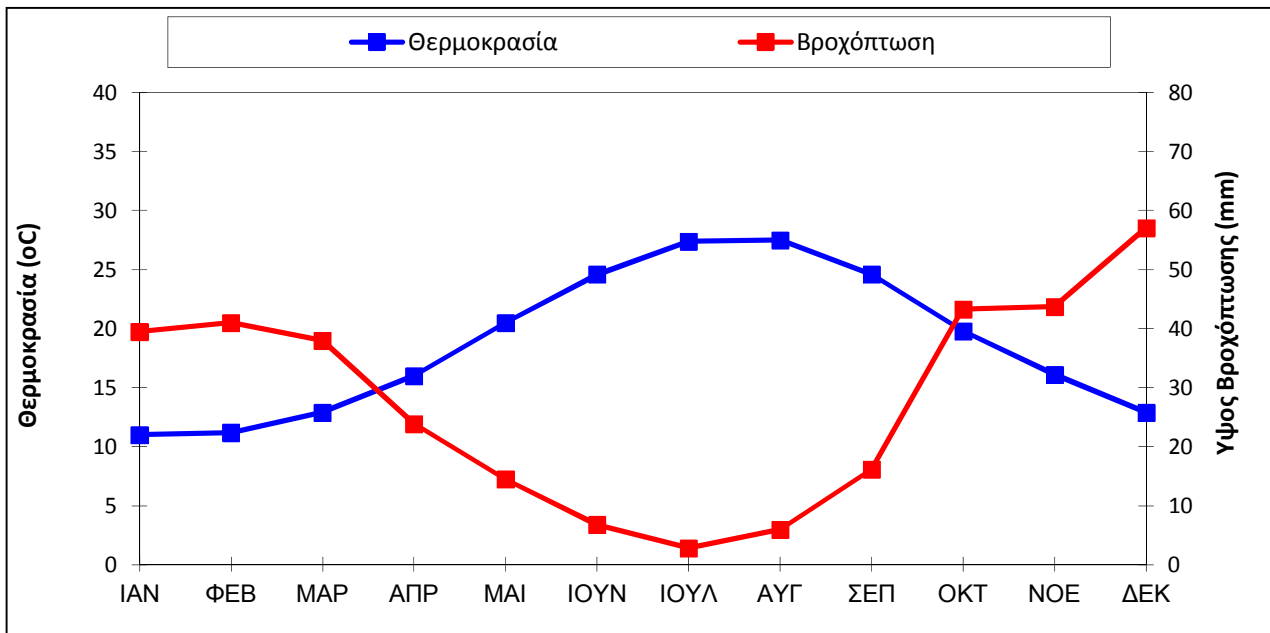
### Α. Ομβροθερμικό διάγραμμα

Οι Gausseu και Bagnouls απεικονίζουν με ένα διάγραμμα που καλείται "ομβροθερμικό διάγραμμα" την πορεία, μήνα προς μήνα, της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας σε °C και του μέσου μηνιαίου ύψους βροχής σε mm. Η περίοδος κατά την οποία η καμπύλη του όμβρου βρίσκεται χαμηλότερα από την καμπύλη της θερμοκρασίας θεωρείται ως ξηρή. Η διάκριση αυτή σύμφωνα με τα ομβροθερμικά διαγράμματα είναι περισσότερο κατατοπιστική από τους αριθμοδείκτες και αποδίδει περισσότερο την πραγματική "οικολογικά" ξηρή περίοδο, αν συνυπολογιστούν παράγοντες όπως αποταμιεύματα του εδάφους σε διαθέσιμο νερό, μορφολογικές και φυσικές ιδιότητες του εδάφους καθώς και το βάθος του.

Στην περιοχή μελέτης οι ξηρές ημέρες, για την περίοδο 1966-1998, υπολογίζονται σε  $\chi=190$  ( $\chi$  = ξηρές ημέρες). Το ομβροθερμικό διάγραμμα της περιοχής μελέτης με τα στοιχεία του Μετεωρολογικού Σταθμού Πειραιά για την περίοδο 1966-1998 απεικονίζεται στο Διάγραμμα 6.

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"



Διάγραμμα 6: Ομβροθερμικό διάγραμμα Μ.Σ. Πειραιά

Με βάση το Διάγραμμα 6 η ξηρή περίοδος στην ευρύτερη περιοχή μελέτης αρχίζει τα μέσα προς τέλη Μαρτίου και λήγει στις αρχές Οκτωβρίου. Λαμβάνοντας υπόψη και το Διάγραμμα 2 την ίδια περίοδο το ύψος βροχής είναι ιδιαίτερα μικρό γεγονός το οποίο υποδηλώνει τη διαμόρφωση ξηρής περιόδου.

#### Β. Ομβροθερμικό πηλίκο Emburger, $Q_2$

Για το χαρακτηρισμό του κλίματος θεωρούμε συνήθως τους παράγοντες θερμοκρασία και υδατικές συνθήκες είτε με τον υπολογισμό αριθμοδεικτών (κλιματικοί ή βιοκλιματικοί δείκτες), είτε με την απεικόνιση σχετικών κλιματικών διαγραμμάτων. Τέτοιες μαθηματικές εκφράσεις ή αριθμοί ονομάζονται κλιματικοί ή βιοκλιματικοί δείκτες αντίστοιχα, ανάλογα με το αντικείμενο που επηρεάζουν.

Για την περιοχή της Μεσογείου καλά αποτελέσματα δίνει ο τύπος "ομβροθερμικό πηλίκο" του Emburger, όπως παρουσιάζεται στην εξίσωση που ακολουθεί

$$Q_2 = \frac{P \times 1000}{\left(\frac{M+m}{2}\right) \times (M-m)} \quad (1)$$

όπου:

$P$  = η ετήσια βροχόπτωση (σε mm)

$M$  = η μέση τιμή των μέγιστων θερμοκρασιών του θερμότερου μήνα του έτους (σε °K)

$m$  = η μέση τιμή των ελάχιστων θερμοκρασιών του ψυχρότερου μήνα του έτους (σε °K)

Όσο μικρότερος είναι ο δείκτης  $Q_2$ , τόσο ξηρότερο είναι το κλίμα. Με βάση τις τιμές του  $Q_2$  και την τιμή του  $m$  συντάσσει ο Emburger τα λεγόμενα κλιματικά διαγράμματα. Στο Διάγραμμα 7 παρουσιάζεται το κλιματόγραμμα του Emburger, για τον Ελληνικό χώρο με βάση τις συντεταγμένες  $Q_2$  και  $m$ .

Ο Μαυρομάτης (1980) διακρίνει τέσσερις βιοκλιματικούς ορόφους:

"Ξηρό", "Ημίξηρο", "Υφυγρο" και "Υγρό"

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

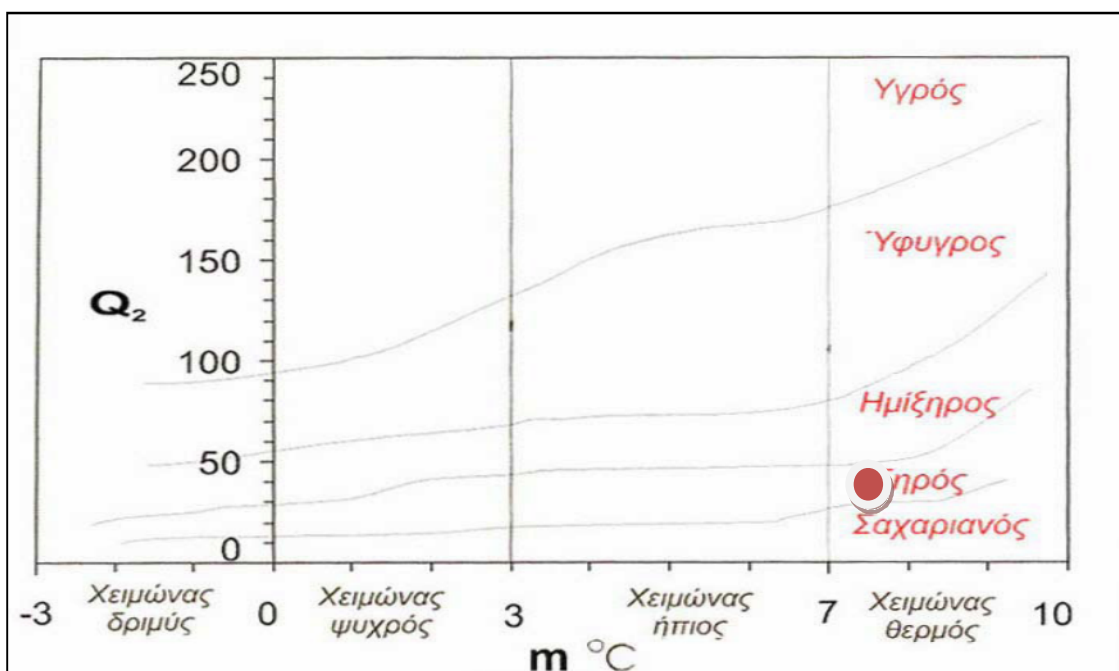


και τέσσερις υποορόφους με βάση την τιμή του  $m$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) σε:  
"χειμώνα θερμό" ( $m > 7^{\circ}\text{C}$ ), "χειμώνα ήπιο" ( $3 < m < 7^{\circ}\text{C}$ ), "χειμώνα ψυχρό" ( $0 < m < 3^{\circ}\text{C}$ ) και  
"χειμώνα δριμύ" ( $-10 < m < 0^{\circ}\text{C}$ ).

Έτσι, σύμφωνα με τα στοιχεία της Ε.Μ.Υ. (Μ.Σ. Πειραιά) υπολογίζεται το ομβροθερμικό πηλίκιο Embarger με βάση την εξίσωση (1) ως εξής:

$$M = 36,8^{\circ}\text{C}, m = 8,1^{\circ}\text{C}, P = 332,8 \text{ mm και επομένως } Q_2 = 39,24$$

Ο δείκτης  $Q_2$  καθώς και ο δείκτης  $m$ , σύμφωνα με το διάγραμμα του Embarger κατά Μαυρομάτη για την Ελλάδα δηλώνει ότι ο βιοκλιματικός όροφος της περιοχής μελέτης είναι ξηρός με υποόροφο χειμώνα θερμό.



Διάγραμμα 7: βιοκλιματικό διάγραμμα Embarger



## 5. ΕΛΛΗΝΙΚΟ & ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ – ΙΣΧΥΟΥΣΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

### 5.1 Ποιότητα ατμόσφαιρας

Στην Ελλάδα ισχύουν νομοθετημένα όρια και στόχοι για τους αέριους ρύπους διοξείδιο του θείου, αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ10), διοξείδιο του αζώτου, όζον, μονοξείδιο του άνθρακα, βενζόλιο, μόλυβδος, αρσενικό, κάδμιο, και βενζο(α)πυρενίο σύμφωνα με τις ισχύουσες Εθνικές και Ευρωπαϊκές Νομοθετικές διατάξεις. Τα όρια αυτά ισχύουν τόσο στην προστασία της ανθρώπινης υγείας όσο και των οικοσυστημάτων που μας περιβάλλουν.

Οι οδηγίες που έχουν εκδοθεί μέχρι σήμερα και αφορούν στην ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι:

- Οδηγία 1996/62/ΕΚ για την εκτίμηση και διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος (ΚΥΑ 3277/209/2000, ΦΕΚ 180/Β/17-2-2000).
- Οδηγία 1999/30/ΕΚ για τις οριακές τιμές διοξειδίου του θείου, οξειδίων του αζώτου, σωματιδίων και μολύβδου, στον αέρα του περιβάλλοντος (ΠΥΣ 34/30.5.2002, ΦΕΚ 125/Α/5-6-02).
- Οδηγία 2000/69/ΕΚ για τις οριακές τιμές βενζολίου και μονοξειδίου του άνθρακα στον αέρα του περιβάλλοντος (ΚΥΑ 9238/332, ΦΕΚ 405/Β/27.2.05).
- Οδηγία 2002/3/ΕΚ σχετικά με το όζον στον ατμοσφαιρικό αέρα (ΚΥΑ ΗΠ 38638/2016, ΦΕΚ 1334/Β/21.9.05). 2003/76/ΕΚ της Επιτροπής, της 11ης Αυγούστου 2003, για τροποποίηση της οδηγίας 70/220/ΕΟΚ του Συμβουλίου σχετικά με τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν κατά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από εκπομπές προερχόμενες από οχήματα με κινητήρα
- Οδηγία 2004/107/ΕΚ σχετικά με το αρσενικό, το κάδμιο, τον υδράργυρο, το νικέλιο και τους πολυκυκλικούς υδρογονάνθρακες στον ατμοσφαιρικό αέρα (ΚΥΑ ΗΠ 22306/1075/Ε103, ΦΕΚ 920Β/8.6.07).
- Οδηγία 2008/50/ΕΚ για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη, η οποία συσσωματώνει την 1996/62/ΕΚ και τις τρεις θυγατρικές της (1999/30/ΕΚ, 2000/69/ΕΚ και 2002/3/ΕΚ), όπως και την απόφαση 97/101/ΕΚ για την καθιέρωση διαδικασίας για την αμοιβαία ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης από μεμονωμένους σταθμούς και δίκτυα.
- Οδηγία 2016/2284/ΕΕ "σχετικά με τη μείωση των εθνικών εκπομπών ορισμένων ατμοσφαιρικών ρύπων"

Με τις οδηγίες αυτές ορίζεται για κάθε αέριο ρύπο μία οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας, με το αντίστοιχο έτος έναρξης ισχύος της. Παράλληλα δίνεται και ένα περιθώριο για την πλήρη εφαρμογή και τήρηση του ορίου, το οποίο αθροίζεται στην οριακή τιμή, δίνοντας έτσι την ενδεικτική οριακή τιμή, η οποία ισχύει στο μεσοδιάστημα έως το έτος που τίθεται σε ισχύ η οριακή τιμή. Το περιθώριο ανοχής κάθε χρόνο μειώνεται, έτσι ώστε στην ημερομηνία ισχύος του νέου ορίου να μηδενιστεί.

### 5.2 Αιωρούμενα Σωματίδια – Οριακές Τιμές - Στόχοι

Οι δυσμενείς εξελίξεις των περιβαλλοντικών προβλημάτων οδήγησαν τις αρχές των κρατών της Ευρωπαϊκής Κοινότητας στην αναζήτηση ολοκληρωμένων σχεδιαστικών επιλογών για την αναβάθμιση της ποιότητας του αστικού περιβάλλοντος. Στο θεσμικό πεδίο, μεταξύ των

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 60

επιλογών αυτών περιλαμβάνεται ο προσδιορισμός συστήματος περιβαλλοντικών δεικτών και ο καθορισμός νέων ορίων ποιότητας της ατμόσφαιρας σε συνδυασμό με δράσεις περιορισμού των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων.

Οι δυνατότητες της εκάστοτε διοίκησης να ελέγξει τις πηγές και τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, συχνά υπαγορεύονται από διεθνείς και εθνικές πολιτικές και νόμους. Η Ευρωπαϊκή Ένωση εκδίδει Οδηγίες-Πλαίσια, βάσει των οποίων οφείλουν τα κράτη μέλη να προσαρμόζουν την εθνική τους νομοθεσία. Κάθε Οδηγία-Πλαίσιο της Ε.Ε. προβλέπει την έκδοση θυγατρικών Οδηγιών, οι οποίες αναφέρονται σε ένα ρύπο ή μία κατηγορία ρύπων.

Η παλαιότερη θυγατρική Οδηγία της Ε.Ε. για τα ΡΜ, που είχε εκδοθεί το 1983, αναφερόταν στα ολικά αιωρούμενα σωματίδια (TSP) και πρότεινε τις παρακάτω τιμές:

Περίοδος αναφοράς	Τιμές ορίων για αιωρούμενα σωματίδια
ΕΤΟΣ (1 Απριλίου - 31 Μαρτίου)	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (διάμεσος ημερήσιων μέσων τιμών απ' όλο το έτος)
ΧΕΙΜΩΝΑΣ (1 Οκτωβρίου μέχρι 31 Μαρτίου)	130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (διάμεσος ημερήσιων μέσων τιμών απ' όλο το χειμώνα)
ΕΤΟΣ (αποτελείται από μονάδες 24ωρων περιόδων μετρήσεων)	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (98% όλων των ημερήσιων μέσων τιμών που λήφθηκαν όλο το έτος)

**Πίνακας 5:** Τιμές Ορίων για Αιωρούμενα Σωματίδια (Μέθοδος μαύρου καπνού)

Στις 24 Μαρτίου 1999, η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε, μετά από επίπονη προετοιμασία, μια νέα θυγατρική Οδηγία για τον έλεγχο της ποιότητας της ατμόσφαιρας, που αναφέρεται στα αιωρούμενα σωματίδια PM10. Η οδηγία αναφέρει ότι τα κράτη μέλη οφείλουν να λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα, ώστε οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM10 στον ατμοσφαιρικό αέρα να μην ξεπερνούν τις οριακές τιμές που δίδονται στον Πίνακα 2, στο συντομότερο δυνατό χρονικό διάστημα και πριν από τις αναφερόμενες στην οδηγία ημερομηνίες. Επίσης, σύμφωνα με την Οδηγία, τα κράτη μέλη οφείλουν να εγκαταστήσουν και να λειτουργήσουν σταθμούς μέτρησης για τη συλλογή στοιχείων σχετικών με τις συγκεντρώσεις των PM2,5. Τα κράτη μέλη οφείλουν να διαβιβάζουν ετησίως στην Επιτροπή, όχι αργότερα από εννέα μήνες μετά το τέλος κάθε έτους, τον αριθμητικό μέσο, το διάμεσο, το 98ο εκατοστημόριο και τη μέγιστη συγκέντρωση, όπως υπολογίζονται από τις 24-ωρες μετρήσεις PM2,5 μέσα στο έτος. Στόχος της καταγραφής των επιπέδων συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5 ήταν η συλλογή στοιχείων για την θέσπιση οριακών τιμών και για το κλάσμα αυτό (Οδηγία 1999/30/EC).

Τον Δεκέμβριο του 2004, εκδόθηκε η τελική έκθεση της ομάδας εργασίας C.A.F.E (Clean Air For Europe), πάνω στην αιωρούμενη σωματιδιακή ρύπανση, που συστάθηκε από την Ε.Ε., με στόχο να:

- θέσει τις προτεραιότητες για τον μελλοντικό σχεδιασμό της πολιτικής ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- αναθεωρήσει τα ισχύοντα πρότυπα ποιότητας αέρα και
- αναπτύξει καλύτερα συστήματα συλλογής δεδομένων και πρόβλεψης των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Μετά από ενδελεχή μελέτη των διαθέσιμων στοιχείων από μετρήσεις των επιπέδων συγκέντρωσης των ΡΜ στην Ευρώπη και από σχετικές επιδημιολογικές μελέτες, η ομάδα εργασίας C.A.F.E. καταλήγει στην επιλογή της συγκέντρωσης των σωματιδίων ΡΜ<sub>2,5</sub>, και όχι αυτής των ΡΜ<sub>10</sub>, ως βασικό μέτρο της έκθεσης του πληθυσμού σε αέρια σωματιδιακή ρύπανση. Η ομάδα αναφέρει ότι η ετήσια οριακή τιμή των ΡΜ<sub>2,5</sub> δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 20 μg/m<sup>3</sup>, ενώ προτείνει και 24-ωρη οριακή τιμή ίση με 35 μg/m<sup>3</sup> (να μην υπερβαίνεται περισσότερο από το 10 % των ημερών μέσα στο έτος). Παράλληλα, υποστηρίζει ότι οι οριακές τιμές για τα σωματίδια ΡΜ<sub>10</sub> που έχουν ορισθεί στο στάδιο 2 της θυγατρικής οδηγίας 1999/30/ΕC, είναι απαραίτητο να διατηρηθούν, ώστε να επιτευχθεί και ο έλεγχος των χονδρόκοκκων σωματιδίων ΡΜ<sub>2,5-10</sub> (CAFE 2004).

Οδηγία 99/30/ΕΚ - Πράξη Υπουργικού Συμβουλίου 34/30.5.02 (ΦΕΚ 125/Β) - για τον καθορισμό νέων οριακών τιμών για τις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων (ΡΜ<sub>10</sub>) καθώς και των υπόλοιπων αέριων ρύπων. Με τη νέα νομοθεσία καταργείται η μέθοδος του μαύρου καπνού (τιμές Πίνακα 1) για τον προσδιορισμό των σωματιδίων και αντικαθίσταται με τη μέτρηση των συγκεντρώσεων των σωματιδίων διαμέτρου μικρότερης των 10μm (ΑΣ<sub>10</sub>). Τα όρια που καθορίζονται για τον καπνό βάσει της παλιάς νομοθεσίας ίσχυαν μέχρι 31-12-2004.

Τα κράτη μέλη είναι υποχρεωμένα να μετρούν τα ΑΣ<sub>10</sub> σωματίδια ενημερώνοντας την Ευρωπαϊκή Ένωση για τυχόν υπερβάσεις των τιμών στόχων ΑΣ<sub>10</sub> που σταδιακά μειώνονται έτσι ώστε να επιτευχθεί συμμόρφωση με τα νέα όρια την 1-1-2005. Σχετικά με τα όρια των αιωρούμενων σωματιδίων, όπως ορίζονται από την ανωτέρω οδηγία, είναι 50μg/m<sup>3</sup> με περιορισμό μέγιστου αριθμού ημερών υπέρβασης.

Πιο αναλυτικά, σύμφωνα με το Παράρτημα ΙΙΙ της ανωτέρω οδηγίας οι οριακές τιμές για τα σωματίδια ΑΣ<sub>10</sub> παρουσιάζονται στον Πίνακα 6 που ακολουθεί:

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Όριο	Περίοδος αναφοράς για τον υπολογισμό	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Προθεσμία συμμόρφωσης προς την οριακή τιμή
24ωρη οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	24 ώρες	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος	50% κατά την έναρξη ισχύος της οδηγίας μειούμενο από 1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 2001 και στη συνέχεια κάθε 12 μήνες κατά ίσο ετήσιο ποσοστό ώστε να φτάσει το 0% την 1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 2005	1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 2005
Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	Ημερολογιακό έτος	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50% κατά την έναρξη ισχύος της οδηγίας μειούμενο από 1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 2001 και στη συνέχεια κάθε 12 μήνες κατά ίσο ετήσιο ποσοστό ώστε να φτάσει το 0% την 1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 2005	1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 2005
24ωρη οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	24 ώρες	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 7 φορές ανά ημερολογιακό έτος	Θα υπολογιστεί βάσει δεδομένων και θα είναι ισοδύναμο με την οριακή τιμή όπως ορίζεται παραπάνω	1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 2010
Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	Ημερολογιακό έτος	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50% κατά την 1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 2005, μειούμενο στη συνέχεια κάθε 12 μήνες κατά ίσο ετήσιο ποσοστό ώστε να φτάσει το 0% την 1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 2010	1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 2010

**Πίνακας 6: Οριακή τιμή ΑΣ<sub>10</sub> (οδηγία 99/30/ΕΚ)**

Στις 21 Μαΐου 2008 εκδόθηκε η πιο πρόσφατη Οδηγία (2008/50/ΕΚ) του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του συμβουλίου για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη. Στους Πίνακες 3 και παρουσιάζονται οι σχετικές οριακές τιμές για τα σωματίδια PM<sub>10</sub> και PM<sub>2,5</sub> αντίστοιχα.

Οδηγία 2008/50/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου όπου αναφέρεται ότι τα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 2.5 $\mu\text{m}$  (ΑΣ<sub>2,5</sub>) έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και δεν υφίσταται επί του παρόντος συγκεκριμένο όριο συγκέντρωσης κάτω από το οποίο τα PM<sub>2.5</sub> είναι ακίνδυνα. Στην παραπάνω οδηγία καθορίζεται εθνικός στόχος μείωσης της έκθεσης, τιμή στόχος και οριακή τιμή για τα PM<sub>2.5</sub>.

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 63

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

	Τιμή ορίου	Περιορισμοί	Περιθώριο ανοχής	Ημερομηνία συμμόρφωσης
<b>Ημερήσιο όριο (Περίοδος αναφοράς: 24 ώρες)</b>				
<b>Οριακή τιμή</b>	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Μέγιστος αριθμός υπερβάσεων: 35 ανά ημερολογιακό έτος	50%	1 Ιανουαρίου 2005
<b>Ανώτερο όριο εκτίμησης</b>	70% της οριακής τιμής (35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Μέγιστος αριθμός υπερβάσεων: 35 ανά ημερολογιακό έτος		
<b>Κατώτερο όριο εκτίμησης</b>	50% της οριακής τιμής (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Μέγιστος αριθμός υπερβάσεων: 35 ανά ημερολογιακό έτος		
<b>Ετήσιο όριο (Περίοδος αναφοράς: 1 ημερολογιακό έτος)</b>				
<b>Οριακή τιμή</b>	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		20%	1 Ιανουαρίου 2005
<b>Ανώτερο όριο εκτίμησης</b>	70% της οριακής τιμής (28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			
<b>Κατώτερο όριο εκτίμησης</b>	50% της οριακής τιμής (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			

**Πίνακας 7:** Οριακές τιμές της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας για τα  $\text{PM}_{10}$  (Οδηγία 2008/50/ΕΚ)

<b>Οριακή τιμή</b>			
Περίοδος μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Ημερομηνία επίτευξης οριακής τιμής
<b>Στάδιο 1</b>			
Ημερολογιακό έτος	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20% στις 11 Ιουνίου 2008 έως την 1 <sup>η</sup> του επόμενου Ιανουαρίου και εν συνέχεια ανά εφεξής δωδεκάμηνο κατά ίσα ετήσια ποσοστά ώστε να καταλήξει σε 0% έως την 1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 2015	1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 2015
<b>Στάδιο 2</b>			
Ημερολογιακό έτος	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		1 <sup>η</sup> Ιανουαρίου 2020

**Πίνακας 8:** Οριακή τιμή  $\text{PM}_{2.5}$  (οδηγία 2008/50/ΕΚ)

Σύμφωνα με την νέα οδηγία το Κράτος Μέλος μπορεί να ζητήσει παράταση ως και 3 χρόνια μετά την ημερομηνία που μπαίνει σε ισχύ η νέα οδηγία για μια συγκεκριμένη ζώνη. Το αίτημα υποβάλλεται προς εκτίμηση από την επιτροπή. Σε τέτοιες περιπτώσεις μέσα στο διάστημα της

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 64

παράτασης τα όρια των τιμών που ισχύουν είναι η οριακή τιμή + το μέγιστο περιθώριο ανοχής (35 μέρες στα 75μg/m<sup>3</sup>) για ημερήσια οριακή τιμή PM<sub>10</sub> και 48μg/m<sup>3</sup> για ετήσιο οριακή τιμή PM<sub>10</sub>.

Τέλος σύμφωνα με την **ΚΥΑ 4740/Β/ 23-10-2018**: “Μείωση των εθνικών εκπομπών ορισμένων ατμοσφαιρικών ρύπων, τροποποίηση της Οδηγίας 2003/35/ΕΚ και κατάργηση της Οδηγίας 2001/81/ ΕΚ - μεταφορά στο εθνικό δίκαιο της Οδηγίας (ΕΕ) 2016/2284 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου (ΕΕL 344/1/17.12.2016)”, η Ελλάδα δεσμεύεται για την μείωση των εκπομπών PM<sub>2,5</sub> κατά 35% για το χρονικό διάστημα 2020-2029 και κατά 50% για το χρονικό διάστημα από το 2030 και μετά, σε σχέση με τις αντίστοιχες εκπομπές του 2005.

Σύμφωνα με τη νομοθεσία της Ε.Ε. η οριακή τιμή είναι δεσμευτική από την ημερομηνία που τίθεται σε ισχύ και μπορεί να παραβιαστεί μόνο στις περιπτώσεις που επιτρέπονται από την νομοθεσία. Πρέπει να τεθεί μια τιμή στόχος λιγότερο αυστηρή προς επίτευξη μέχρι να τεθεί σε ισχύ η οριακή τιμή.

Η νέα οδηγία εισάγει επιπλέον στόχους ως προς την έκθεση του πληθυσμού στα PM<sub>2,5</sub>. Αυτοί οι στόχοι τίθενται σε εθνικό επίπεδο και βασίζονται στο μέσο δείκτη έκθεσης (ΑΕΙ). Ο μέσος δείκτης έκθεσης ορίζεται ως η μέση ετήσια συγκέντρωση PM<sub>2,5</sub> που προκύπτει από επιλεγμένους σταθμούς μέτρησης σε αστικές περιοχές ώστε να εκτιμάται καλύτερα η έκθεση του πληθυσμού σε PM<sub>2,5</sub>.

Οι στόχοι των ανωτέρω Οδηγιών για την ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι:

- Ο καθορισμός οριακών τιμών και ορίων συναγερμού για τις συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων, ώστε να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται, ή να μειώνονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο σύνολο του περιβάλλοντος,
- Η εκτίμηση των συγκεντρώσεων με βάση κοινές μεθόδους και κριτήρια,
- Η συλλογή κατάλληλων πληροφοριών για τις συγκεντρώσεις και η εξασφάλιση ότι οι πληροφορίες αυτές τίθενται στη διάθεση του κοινού

### 5.3 Ισχύουσες Διατάξεις – Νομοθεσία κατά την κατασκευή του έργου

Κατά τη διάρκεια κατασκευής του έργου θα εξασφαλίζεται η τήρηση όλων των Νόμων και των σχετικών διατάξεων που απορρέουν από την Εθνική και Κοινοτική Νομοθεσία για τους αέριους ρύπους καθώς και η τήρηση των περιβαλλοντικών όρων του έργου.

#### Νομικό Πλαίσιο

- **Νόμος 1650/86** (ΦΕΚ 160/Α/16.10.86) σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος. Κεφάλαιο ζ, Κυρώσεις - Αστικές Ευθύνες
  - Άρθρο 28 ποινικές κυρώσεις
  - Άρθρο 29 αστικές ευθύνες
  - Άρθρο 30 διοικητικές κυρώσεις
- **Πράξη Υπουργικού Συμβουλίου 11/14.2.97 (ΦΕΚ 19/Α)**. Γίνεται αναφορά στα μέτρα για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από το όζον.

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

- **Πράξη Υπουργικού Συμβουλίου 34/30.5.02 (ΦΕΚ 125/Β)**. Γίνεται αναφορά στις οριακές και κατευθυντήριες τιμές ποιότητας της ατμόσφαιρας σε SO<sub>2</sub> (διοξείδιο του θείου), NO<sub>2</sub> (διοξείδιο του αζώτου) και οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>), σωματιδίων και μολύβδου.
- **Κοινή Υπουργική Απόφαση 9238/332/04 (ΦΕΚ 405/Β/27.2.04)**. Αναφέρεται στις οριακές και κατευθυντήριες τιμές ποιότητας της ατμόσφαιρας σε βενζόλιο και CO.
- **Π.Δ 307/86, Π.Δ 77/93, Π.Δ 90/99 και Π.Δ 339/2001** για την «Προστασία της υγείας των εργαζομένων που εκτίθενται σε ορισμένους χημικούς παράγοντες κατά τη διάρκεια της εργασίας τους» και την «Προστασία των εργαζομένων από φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς παράγοντες»
- **Π.Δ. 90/97** «Καθορισμός οριακών τιμών έκθεσης και ανώτατων οριακών τιμών έκθεσης των εργαζομένων σε ορισμένους χημικούς παράγοντες κατά τη διάρκεια της εργασίας τους σε συμμόρφωση με της Οδηγίες 91/322/ΕΟΚ και 96/94/ΕΚ της Επιτροπής και τροποποίηση και συμπλήρωση του Π.Δ. 307/86 όπως τροποποιήθηκε με το Π.Δ. 77/93.
- **Π.Δ 225 / 89** «Υγιεινή και Ασφάλεια στα Υπόγεια Έργα» που ισχύει για εργασίες σε χώρους που βρίσκονται εξ ολοκλήρου κάτω από την επιφάνεια της γης (π.χ. σήραγγες) καθώς επίσης και σε εργασίες που εκτελούνται στα υπόγεια στεγασμένα τμήματα των οικοδομικών ή άλλης φύσης εργοταξιακών έργων και σε στάθμη χαμηλότερη των 6.00 μ. κάτω από την επιφάνεια της γης.
- **Οδηγία 99/30/ΕΚ** - Πράξη Υπουργικού Συμβουλίου 34/30.5.02 (ΦΕΚ 125/Β) - για τον καθορισμό νέων οριακών τιμών για τις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων (PM<sub>10</sub>) καθώς και των υπόλοιπων αέριων ρύπων.
- **Οδηγία 2008/50/ΕΚ** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του συμβουλίου για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα.
- **ΚΥΑ 4740/Β/ 23-10-2018**: Μείωση των εθνικών εκπομπών ορισμένων ατμοσφαιρικών ρύπων, τροποποίηση της Οδηγίας 2003/35/ΕΚ και κατάργηση της Οδηγίας 2001/81/ ΕΚ - μεταφορά στο εθνικό δίκαιο της Οδηγίας (ΕΕ) 2016/2284 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου (ΕΕL 344/1/17.12.2016).

## 5.4 Συμβατικές Απαιτήσεις

Σύμφωνα τις Γενικές Προδιαγραφές του Έργου και σε συνδυασμό με την υποχρέωση για λήψη όλων των απαραίτητων μέτρων προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι επιπτώσεις των εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων, που προέρχονται από τις κατασκευαστικές εργασίες του έργου, στο περιβάλλον, καθώς και τη διασφάλιση της τήρησης της Εθνικής και Κοινοτικής Νομοθεσίας, είναι απαραίτητα: α) η τήρηση των Εγκεκριμένων Περιβαλλοντικών Όρων του Έργου, β) η εκπόνηση Προγράμματος Κάλυψης Περιβαλλοντικών Όρων, γ) η εκπόνηση της Ειδικής Μελέτης και Προγράμματος Παρακολούθησης Αιωρούμενων Σωματιδίων, για τον έλεγχο της σκόνης.

### 5.4.1 Εγκεκριμένοι Περιβαλλοντικοί Όροι του Έργου

Κατά τις εργασίες κατασκευής του έργου, θα πρέπει να τηρούνται απαραίτητα οι εγκεκριμένοι περιβαλλοντικοί όροι σε σχέση με την ατμοσφαιρική ρύπανση, οι οποίοι προβλέπουν τα εξής:

- Να γίνεται συστηματική διαβροχή των εργοταξιακών υλικών κατά την εκτέλεση των χωματουργικών εργασιών

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

- Να γίνεται τακτική διαβροχή όλων των γυμνών επιφανειών, ιδίως κατά την θερινή περίοδο, ώστε να παρεμποδίζεται η διασπορά της σκόνης.
- Να γίνεται διαβροχή των μεταφερόμενων από και προς το έργο προϊόντων εκσκαφών και αδρανών υλικών.
- Να πλένονται οι τροχοί των φορτηγών πριν από την έξοδό τους από τα εργοτάξια, όπου συνεχίζονται οι εκσκαφές με κατάλληλη συλλογή των υγρών αποβλήτων, αφαίρεση της λάσπης και αποχέτευση.
- Να καλύπτονται με κατάλληλο κάλυμμα, τα φορτηγά μεταφοράς αδρανών υλικών και χωματισμών, για τον περιορισμό της σκόνης.
- Να γίνεται τακτική συντήρηση των φίλτρων σκόνης των στομιών εξαερισμού του υπογείου έργου.

Τα προϊόντα εκσκαφών θα αποκομίζονται προς απόρριψη, σύμφωνα με την ΕΠΟ, σε ανενεργά λατομεία που έχουν καθορισθεί ή θα καθορισθούν σύμφωνα με το άρθ. 25 του Ν. 2742/99, ή σε εγκεκριμένους χώρους διάθεσης αποβλήτων. Θα δίνεται προσοχή ως προς τα έργα υποδομής που πρέπει πιθανά να προηγηθούν και τον τρόπο διάστρωσης και συμπύκνωσης των υλικών και διαμόρφωσης κλίσεων.

#### 5.4.2 Προγράμματος Κάλυψης Περιβαλλοντικών Όρων και Ετήσιες Αναθεωρήσεις (ΠΚΠΑ)

Στο ΠΚΠΑ γίνεται αναλυτική περιγραφή των προληπτικών μέτρων που θα ληφθούν καθώς και των εξοπλισμών και εγκαταστάσεων προκειμένου να αποτραπεί η διαφυγή ρυπαντών στην ατμόσφαιρα, καθώς και τους τρόπους ελέγχου των αιωρούμενων σωματιδίων που παράγονται σε όλες τις περιοχές που αναπτύσσονται κατασκευαστικές δραστηριότητες. Συγκεκριμένα προβλέπονται τα κάτωθι:

- Ο Ανάδοχος εντός (50) ημερολογιακών ημερών από την υπογραφή της Σύμβασης θα υποβάλλει προς έγκριση στην ΑΜ Έκθεση στην οποία θα παρουσιάζεται αναλυτικά το Πρόγραμμα Κάλυψης των Περιβαλλοντικών Απαιτήσεων (ΠΚΠΑ) που αφορά στην περιγραφή του συνόλου των απαιτούμενων μέτρων και διαδικασιών, που θα εφαρμοστούν κατά την κατασκευή του Έργου, ώστε να διασφαλιστεί η εφαρμογή των περιβαλλοντικών απαιτήσεων, όπως αυτές περιγράφονται στο παρόν τεύχος και προβλέπονται στην Εθνική και Κοινοτική Νομοθεσία και στην Απόφαση Έγκρισης των Περιβαλλοντικών Όρων του Έργου (ΚΥΑ 143033/03.08.2009, που τροποποιήθηκε με την ΚΥΑ Α.Π. οικ 203707/23.09.2011). Το ΠΚΠΑ θα συναρτάται άμεσα από τον χρονικό προγραμματισμό των κατασκευαστικών εργασιών και θα αναθεωρείται ετησίως, οπότε και θα υποβάλλεται από τον Ανάδοχο στην ΑΜ Αναθεωρητική Έκθεση όπου θα αναφέρονται οι αποκλίσεις από το Εγκεκριμένο ΠΚΠΑ.
- Το ΠΚΠΑ θα πρέπει να είναι προσαρμοσμένο στις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή του έργου καθώς και στο είδος και την οργάνωση των κατασκευαστικών εργασιών. Συγκεκριμένα θα πρέπει να περιλαμβάνει :
  - αναλυτική παρουσίαση των εργοταξιακών χώρων: Ανά εργοταξιακό χώρο θα παρουσιάζονται οι γειτνιάζουσες χρήσεις με φωτογραφική απεικόνιση και αναφορά στην απόσταση από αυτές, οι αναμενόμενες οχλήσεις και τα κατάλληλα μέτρα προστασίας.

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"



- συνοπτική παρουσίαση της οργάνωσης και χρονικού προγραμματισμού των κατασκευαστικών εργασιών (πχ διάρκεια εκσκαφών, πασσαλο-εμπήξεων, λειτουργία συγκεκριμένων μηχανημάτων όπως κομπρεσέρ κτλ) και των απαιτούμενων ανά περίπτωση δράσεων (πχ παρακολούθηση θορύβου, αιωρούμενων σωματιδίων) και των κατάλληλων μέτρων αντιμετώπισης, ανάλογα με τη φύση του περιβαλλοντικού προβλήματος και τις δυνατότητες κατάλληλου χρονικού προγραμματισμού των εργασιών ώστε να μην πραγματοποιούνται παράλληλα εργασίες υψηλής όχλησης.

Συγκεκριμένα το ΠΚΠΑ θα πρέπει μεταξύ άλλων να περιέχει λεπτομερή ανάλυση των κάτωθι περιβαλλοντικών παραμέτρων:

α) Αέριοι Ρύποι και Αιωρούμενα Σωματίδια: Περιγραφή των προληπτικών μέτρων που θα ληφθούν καθώς και των εξοπλισμών και εγκαταστάσεων προκειμένου να αποτραπεί η διαφυγή ρυπαντών στην ατμόσφαιρα. Τρόπους ελέγχου των αιωρούμενων σωματιδίων που παράγονται σε όλες τις περιοχές που αναπτύσσονται κατασκευαστικές κλπ δραστηριότητες. Όλα τα προτεινόμενα μέτρα θα οριστικοποιηθούν στο πλαίσιο της Ειδικής Μελέτης και των Μηνιαίων Εκθέσεων Αποτελεσμάτων Προγράμματος Παρακολούθησης Αέριων Ρύπων και Αιωρούμενων Σωματιδίων.

β) Μέτρα και διατάξεις ελέγχου θορύβου και δονήσεων που δημιουργούνται κατά τη λειτουργία των πάσης φύσεως κινητών και σταθερών μηχανημάτων με ιδιαίτερη έμφαση σε κατασκευαστικές διαδικασίες που περιλαμβάνουν υπαίθριες μηχανολογικές εγκαταστάσεις, πασσαλοεμπήξεις, υδραυλικές σφύρες κλπ. Οι προτάσεις αυτές θα οριστικοποιηθούν στο πλαίσιο της Ειδικής Μελέτης Ελέγχου Θορύβου και Δονήσεων κατά την Κατασκευή, όπως ορίζεται στις σχετικές προδιαγραφές.

γ) Περιγραφή των προληπτικών μέτρων που θα ληφθούν καθώς και των εξοπλισμών και εγκαταστάσεων, προκειμένου να αποτραπεί η διαφυγή ρυπαντών σε επιφανειακά και υπόγεια νερά στο έδαφος.

δ) Περιγραφή μεθόδων διαχείρισης των πάσης φύσεως στερεών και υγρών αποβλήτων, με έμφαση σε τυχόν τοξικά ή υψηλής ρύπανσης απόβλητα.

ε) Προτάσεις ολοκληρωμένης διαχείρισης των εκσκαπτόμενων υλικών με έμφαση στα μέτρα που θα ληφθούν κατά την μεταφορά τους, καθώς και στην επιλογή των χώρων απόθεσης αυτών. Οι προτάσεις αυτές θα οριστικοποιηθούν στην Ειδική Μελέτη Διαχείρισης Προϊόντων Εκσκαφής & Υλικών Κατασκευής που θα εκπονήσει ο Ανάδοχος, όπως ορίζεται στην παράγραφο 6 της παρούσας Προδιαγραφής.

ζ) Για κάθε επί μέρους εργοταξιακό χώρο ο Ανάδοχος θα υποβάλλει στην ΑΜ «Ειδική Μελέτη Προστασίας Αστικού Πρασίνου και Χλωρίδας», που θα περιλαμβάνει τοπογραφικό διάγραμμα του εργοταξιακού χώρου με σημειωμένα τα υφιστάμενα δένδρα – θάμνους – πράσινο, αναλυτική περιγραφή του κάθε υφιστάμενου δέντρου (είδος, περίμετρος, ύψος, ηλικία) και φωτογραφική κάλυψη, εντοπισμό των δένδρων που θα πρέπει να κοπούν, μεταφερθούν ή/και αποκατασταθούν. Η Μελέτη αυτή θα ενσωματωθεί στην Έκθεση του Προγράμματος Κάλυψης Περιβαλλοντικών Απαιτήσεων.

η) Αντιμετώπιση εκτάκτων καταστάσεων που αφορούν σε περιβαλλοντική υποβάθμιση και μείωση της ασφάλειας και υγείας εργαζομένων και περιοίκων. Πρόκειται για αντιμετώπιση περιβαλλοντικών θεμάτων που προϋπάρχουν και που εκτιμάται ότι μπορεί να εντοπιστούν στην άμεση περιοχή του έργου (π.χ. ρύπανση εδαφών σε

εργοταξιακό χώρο, όπου παλαιότερα λειτουργούσε μία βιομηχανική μονάδα υψηλής όχλησης, πρατήριο βενζίνης κτλ) καθώς και περιβαλλοντικών ατυχημάτων κατά την κατασκευή του έργου. Σε κάθε τέτοια περίπτωση ο Ανάδοχος είναι υπεύθυνος για την διεξοδική διερεύνηση του προβλήματος και την πρόταση ειδικών μέτρων αντιμετώπισης στην ΑΜ. Σε κάθε περίπτωση ο Ανάδοχος είναι υπεύθυνος για την απόδοση των χώρων στην ίδια κατάσταση που τους παρέλαβε ή στην κατάσταση που προσδιορίζεται από τα Συμβατικά Τεύχη.

#### 5.4.3 Ειδική Μελέτη και Πρόγραμμα Παρακολούθησης Αιωρούμενων Σωματιδίων

Στην εν λόγω μελέτη περιγράφονται όλα τα προτεινόμενα μέτρα για τον περιορισμό της εκπομπής των αιωρούμενων σωματιδίων καθώς και το Πρόγραμμα Παρακολούθησης των αιωρούμενων σωματιδίων σε σταθερή εποχιακή βάση. Από το πρόγραμμα παρακολούθησης αξιολογείται η ανάγκη εφαρμογής πρόσθετων / διορθωτικών μέτρων καταπολέμησης των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Συγκεκριμένα προβλέπονται τα κάτωθι:

Ο Ανάδοχος πριν την έναρξη των εργασιών, θα πρέπει να εκπονήσει την ειδική μελέτη και το πρόγραμμα παρακολούθησης των αιωρούμενων σωματιδίων προκειμένου να ελαχιστοποιήσει τις αρνητικές επιπτώσεις των εκπομπών στην ατμόσφαιρα.

Η ανωτέρω μελέτη θα προτείνει την εφαρμογή δέσμης κατάλληλων μέτρων τα οποία είναι υποχρεωμένος να εφαρμόσει ο Ανάδοχος. Παράλληλα θα καθορίζει το πρόγραμμα παρακολούθησης των αιωρούμενων σωματιδίων, δηλαδή την μεθοδολογία εκτέλεσης των μετρήσεων, τον ειδικό εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί για τις μετρήσεις, την συχνότητα των μετρήσεων κατά την διάρκεια των κατασκευαστικών εργασιών.

Ο έλεγχος με ειδικό εξοπλισμό των εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων, σε κάθε εργοταξιακό χώρο, θα εκτελείται σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία 1999/30/ΕΚ – Πράξη Υπουργικού Συμβουλίου 34/30.05.02 (ΦΕΚ 125/Β). Η δέσμη των μέτρων αντιμετώπισης των εκπομπών θα περιλαμβάνει κατ' ελάχιστο τους εξής όρους και περιορισμούς:

- Σε κάθε κατασκευαστική δραστηριότητα ή εργοταξιακό χώρο όπου υπάρχει αυξημένη πιθανότητα εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων, θα πρέπει να χρησιμοποιείται ειδικός εξοπλισμός για την συγκράτηση της σκόνης, ενώ οι χρόνοι υλοποίησης των δραστηριοτήτων αυτών θα πρέπει να ελαχιστοποιούνται.
- Σε εγκαταστάσεις προσωρινού αερισμού των σηράγγων, κατά την διάρκεια εργασιών με υψηλές εκπομπές σκόνης, πρέπει να χρησιμοποιούνται φίλτρα ή ισοδύναμες διατάξεις για τον περιορισμό των εκπομπών στο περιβάλλον.
- Θα εξασφαλίζεται συστηματική διαβροχή κατά την φόρτωση και αποκομιδή και απόθεση των υλικών εκσκαφής, των αδρανών υλικών καθώς και των εργοταξιακών διαδρόμων κίνησης των οχημάτων.
- Ο χειρισμός των μηχανημάτων θα γίνεται τρόπο ο οποίος θα ελαχιστοποιεί τις εκπομπές σκόνης, ενώ η ταχύτητα κίνησης των οχημάτων εντός των εργοταξιακών εγκαταστάσεων θα πρέπει να είναι πολύ χαμηλή.

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

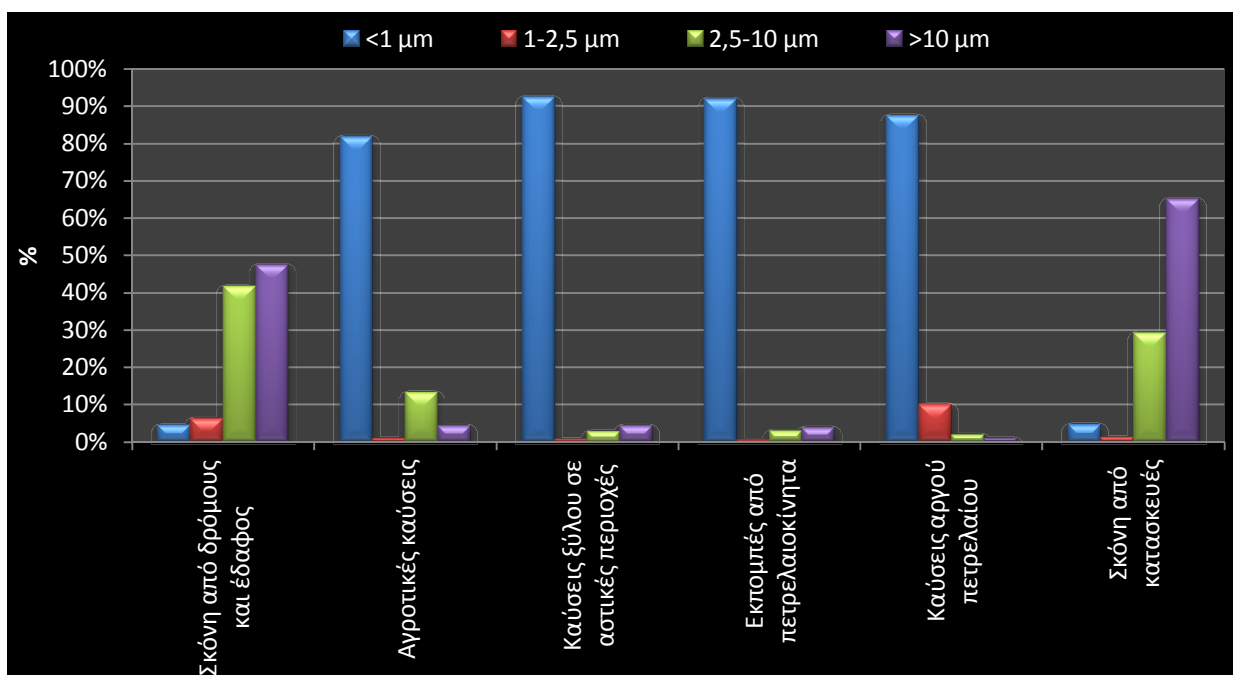
"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

- Απαγορεύεται η υπερπλήρωση των οχημάτων μεταφοράς χωματισμών και αδρανών υλικών και επιβάλλεται η κάλυψη των μεταφερόμενων υλικών ώστε να εμποδίζεται η διασπορά των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.

## 6. ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

### 6.1 Γενικά στοιχεία

Για μία τυπική σύνθεση εργοταξίου και για τις μέσες μετεωρολογικές και εδαφολογικές συνθήκες, εκτιμάται ότι οι μέγιστες εκπομπές σκόνης δεν αναμένεται να υπερβούν τα 20gr/sec. Από τις εκπομπές αυτές, μόνο ένα ποσοστό παρουσιάζει ενδιαφέρον για παραπέρα διερεύνηση όσον αφορά τις επιπτώσεις στον άνθρωπο. Έτσι, σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες (Διάγραμμα 1), μόνο το 34,9% του ολικού αιωρούμενου υλικού (TSP) που εκπέμπεται από εργασίες κατασκευής, αποτελείται από σωματίδια μικρότερης διαμέτρου των 10μm, δηλαδή τα λεγόμενα PM-10 (Watson, 1999). Είναι όμως γνωστό ότι από όλα τα αιωρούμενα, τα PM-10 αποτελούν ουσιαστικά πιθανό κίνδυνο για τον άνθρωπο, αφού αυτά λόγω του μεγέθους τους είναι εισπνεύσιμα και μπορούν να διεισδύσουν και να παραμείνουν στους βρόγχους. Μάλιστα τα πιο επικίνδυνα είναι τα μικρότερα των 2,5μm (PM-2,5) τα οποία είναι αναπνεύσιμα και μπορούν να διεισδύσουν στο κυτταρικό τοίχωμα των πνευμόνων (Graedel, 1988).

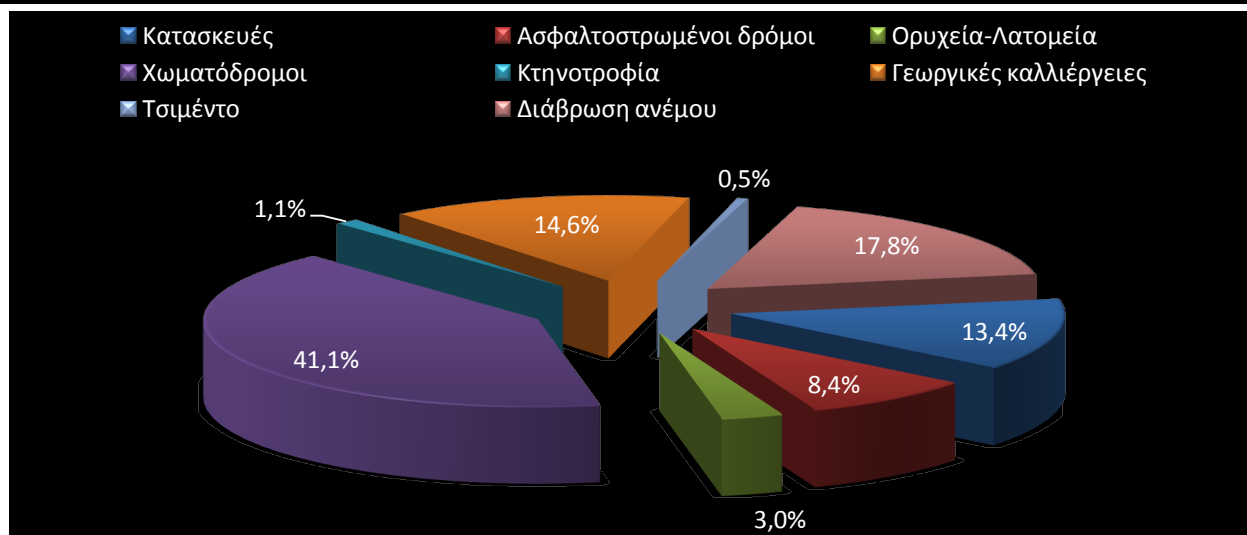


Διάγραμμα 8: Κατανομή μεγέθους αιωρούμενων στερεών ανά πηγή προέλευσης

Όσον αφορά την ποσοτική κατανομή σε σχέση με τις άλλες πηγές ρύπανσης, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 2, τα PM-10 από τις εργασίες κατασκευής, αποτελούν μόνο το 13,4% του συνόλου των παρατηρούμενων στις ΗΠΑ PM-10, ενώ συγκρίσιμο είναι το ποσοστό από τις καλλιέργειες (14,7%) και άλλες πηγές.

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"



**Διάγραμμα 9:** Συμμετοχή διαφόρων πηγών στην εκπομπή PM-10

Με βάση τα προαναφερθέντα ο ρυθμός εκπομπής PM-10 κατά τη δυσμενέστερη ημέρα εργασίας εκτιμάται σε 7gr/sec.

Τέλος, σύμφωνα με τις ίδιες ως άνω πηγές, τα TSP δεν μεταφέρονται εύκολα. Μάλιστα εκτιμάται ότι το 75% περίπου των PM-10 (και σχεδόν το σύνολο των μεγαλύτερων σωματιδίων) παραμένει 1-2m πάνω από το έδαφος και αιωρείται για διάστημα μερικών λεπτών, καθιζάνοντας σε απόσταση μερικών δεκάδων μέτρων μετά τη θέση αρχικής τους αιώρησης.

Συμπερασματικά λοιπόν από τις υπολογισθείσες εκπομπές εκείνες οι οποίες ενδιαφέρουν περισσότερο είναι οι εκπομπές PM-10 που παραμένουν για μεγάλο χρόνο αιωρούμενες και συνεπώς μπορούν να μεταφερθούν με τον αέρα σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Με βάση τα προαναφερθέντα ο ρυθμός εκπομπής PM-10 που μπορούν να μεταφερθούν σε σημαντική απόσταση, κατά τη δυσμενέστερη ημέρα εργασίας εκτιμάται ότι δε θα υπερβαίνει τα 2gr/sec.

## 6.2 Εκτίμηση Μέγιστων Συγκεντρώσεων Αιωρούμενων Σωματιδίων και Απόστασης εμφάνισης τους στο έδαφος

Πριν την έναρξη της εφαρμογής του προγράμματος μετρήσεων των αιωρούμενων σωματιδίων, και στα πλαίσια της "ειδικής μελέτης ελέγχου αιωρούμενων σωματιδίων" έγινε εκτίμηση των μέγιστων συγκεντρώσεων Αιωρούμενων Σωματιδίων καθώς και των αναμενόμενων μέγιστων αποστάσεων όπου αυτές εμφανίζονται στο έδαφος, με χρήση κατάλληλου μοντέλου υπολογισμού της ατμοσφαιρικής διασποράς (SCREEN3 της USEPA) για τους σημαντικότερους εργοταξιακούς χώρους κατασκευής του έργου.

### Υπολογισμός Μέγιστων Συγκεντρώσεων

Με βάση τα μοντέλα διασποράς που περιγράφηκαν στο κεφ. 2 για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων PM-10 στην άμεση περιοχή του έργου εφαρμόστηκε, επιλέχθηκε και εφαρμόστηκε το γκαουσιανό μοντέλο διασποράς ρύπων SCREEN3 της USEPA, για ουδέτερη κατάσταση ευστάθειας ατμόσφαιρας (κατά Pasquill), για επίπεδο έδαφος και θεωρώντας το εργοτάξιο κατασκευής και διαμόρφωσης ως εμβαδική πηγή. Τα γκαουσιανά μοντέλα, όπως προαναφέρθηκε, αποτελούν την πιο επιβεβαιωμένη από πειραματικές μετρήσεις και την περισσότερο διαδεδομένη μέθοδο εκτίμησης της διασποράς των αέριων ρύπων. Το βασικό

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

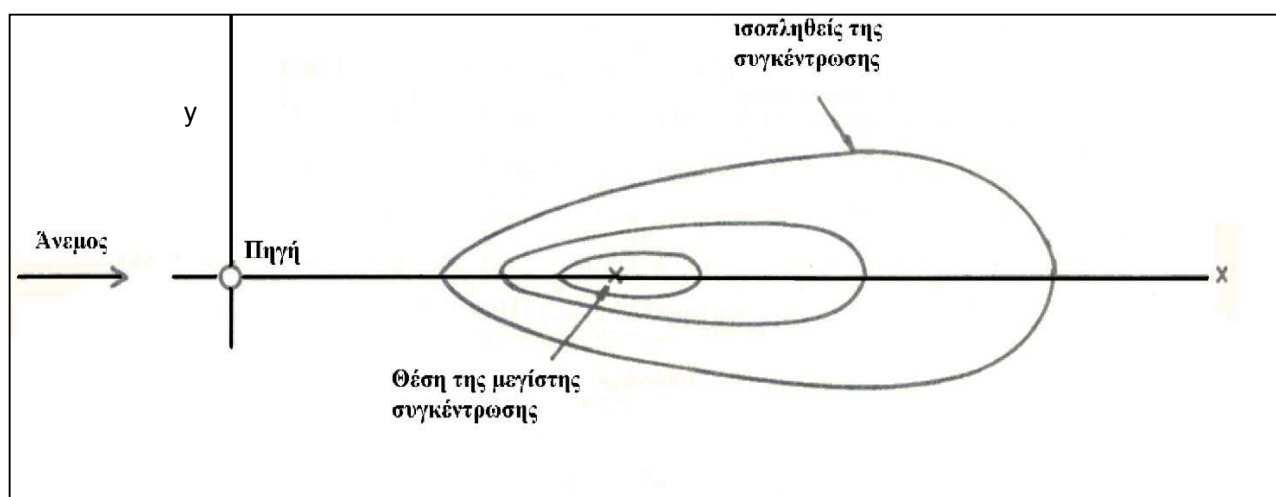
"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι παρέχει εκτιμήσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με ελάχιστα απαιτούμενα δεδομένα που είναι τα μεγέθη της μέσης ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου και η γενική κατάσταση ευστάθειας της ατμόσφαιρας, ενώ δεν είναι απαραίτητη η γνώση μεγεθών που σχετίζονται με την τυρβώδη κίνηση και τα οποία είναι πολύ δύσκολο να μετρηθούν. Από την άλλη μεριά όμως, οι εκτιμήσεις των συγκεντρώσεων των ρύπων δεν είναι δυνατόν να θεωρηθούν απόλυτα ακριβείς και για το λόγο αυτό η μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως για την εκτίμηση της "δυσμενέστερης περίπτωσης".

Από την εφαρμογή του μοντέλου διασποράς ρύπων SCREEN3 προέκυψε ότι για το μέσο σενάριο μετεωρολογικών συνθηκών, η μέγιστη συγκέντρωση PM-10 δε θα υπερβεί τα  $45\mu\text{g}/\text{m}^3$ , στην περιοχή του Σταθμού Πειραιάς (Πίνακας 9).

#### Προσδιορισμός της απόστασης των μεγίστων Συγκεντρώσεων Αιωρούμενων Σωματιδίων - Σκόνης στο έδαφος

Στο παρακάτω σχήμα εμφανίζονται σχηματικά οι συγκεντρώσεις επιφανείας από μια πηγή. Στην άμεση γειτονία της πηγής οι συγκεντρώσεις είναι μηδενικές αλλά σε κάποια απόσταση από αυτήν αρχίζουν οι συγκεντρώσεις να αυξάνονται μέχρι ενός σημείου όπου εμφανίζεται ένα μέγιστο. Κατόπιν, αρχίζει η βαθμιαία μείωση των συγκεντρώσεων.



**Σχήμα 8 :** Το πεδίο των συγκεντρώσεων επιφανείας το οποίο προκύπτει από εκπομπές μίας πηγής

Οι κανονισμοί για την ποιότητα αέρα αφορούν τις μέγιστες συγκεντρώσεις στο έδαφος και γι' αυτό είναι σημαντικό να μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο του θυσάνου του Gauss για να προσδιορίσουμε την απόσταση από την πηγή όπου αναμένονται.

Από την εφαρμογή του μοντέλου διασποράς ρύπων SCREEN3 προέκυψε ότι για το μέσο σενάριο μετεωρολογικών συνθηκών, η μέγιστη απόσταση όπου αναμένεται να εμφανισθεί η μέγιστη συγκέντρωση PM-10 είναι 100m στην περιοχή του Σταθμού Πειραιάς (Πίνακας 9).

Εργοταξιακή Εγκατάσταση	Μέγιστη πλευρά (m)	Ελάχιστη πλευρά (m)	Μέγιστη συγκέντρωση PM-10 (μg/m <sup>3</sup> )	Απόσταση εμφάνισης στο έδαφος (m)
ΦΡΕΑΡ ΤΒΜ	93,00	46,00	35,96	50
ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	128,00	33,00	37,37	60
ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΥΡΥΔΑΛΛΟΣ	137,00	95,00	40,84	60
ΣΤΑΘΜΟΣ ΝΙΚΑΙΑ	96,00	88,00	38,50	60
ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΝΙΑΤΙΚΑ	125,00	55,00	39,46	60
ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑΣ	180,00	70,00	<b>44,98</b>	<b>100</b>
ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜ. ΘΕΑΤΡΟ	80,00	63,00	35,24	50

**Πίνακας 9 :** Εκτίμηση μέγιστων συγκεντρώσεων και εμφάνισης τους στην επιφάνεια του εδάφους

### 6.3 Πηγές και Παράγοντες Προέλευσης Αιωρούμενων Σωματιδίων στην περιοχή του Έργου

Όπως προαναφέρθηκε, οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές που εκπέμπουν ρύπους στην ατμόσφαιρα είναι τα οχήματα, η βιομηχανία και η θέρμανση.

Η συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων σε μία περιοχή καθορίζεται από τρεις βασικούς παράγοντες: α) τις πηγές ρύπανσης β) τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή γ) τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Οι διάφοροι πιθανοί συνδυασμοί των προαναφερόμενων τριών παραγόντων σε κάθε περιοχή, μπορούν είτε να ευνοούν τη συσσώρευση των αιωρούμενων σωματιδίων, είτε να συμβάλλουν στην απομάκρυνση αυτών.

Επιπλέον, οι μετεωρολογικές παράμετροι που παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι:

- η διεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου,
- η ευστάθεια της ατμόσφαιρας που συνδέεται με τη θερμοκρασία,
- η ηλιοφάνεια

Άλλες παράμετροι που συντελούν σημαντικά στη διαμόρφωση των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι η βροχόπτωση, η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας και έμμεσα η θερμοκρασία.

#### 6.3.1 Ευρύτερη περιοχή έργου

Από μετρήσεις στην περιοχή του λεκανοπεδίου της Αθήνας (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών - 2010) προκύπτει ότι, μικρότερες τιμές ρύπανσης για όλους τους ρύπους, εκτός του όζοντος (O<sub>3</sub>), παρατηρούνται με ανέμους του βορειοανατολικού τομέα, γεγονός που κύρια αποδίδεται στους ακόλουθους λόγους:

- Η κλειστή τοπογραφία του λεκανοπεδίου της Αθήνας, δυσχεραίνει την κυκλοφορία και τον αερισμό, συνεπώς και τη διάχυση των ρύπων λόγω της ύπαρξης ορεινών όγκων που περικλείουν την περιοχή της πρωτεύουσας,

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

- Οι επικρατούσες διευθύνσεις του ανέμου στο Λεκανοπέδιο είναι Βορειοανατολικών ή Νοτιοδυτικών διευθύνσεων με αποτέλεσμα τη μεταφορά και διασπορά των ρύπων ως επί το πλείστον σε συγκεκριμένες περιοχές.
- Οι βόρειοι άνεμοι είναι συνοπτικοί και έχουν συνήθως μεγάλη μέση ταχύτητα, συντελώντας έτσι καθοριστικά στη διάχυση των ρύπων και τη μεταφορά τους προς τον Σαρωνικό.
- Σε περίπτωση ασθενούς ή απουσίας συνοπτικής ροής, οι νότιοι άνεμοι είναι αποτέλεσμα τοπικού συστήματος κυκλοφορίας (θαλάσσια αύρα), γεγονός που ευνοεί τη μεταφορά από το κέντρο και ανάπτυξη υψηλών συγκεντρώσεων δευτερογενών (φωτοχημικών) ρύπων στο βόρειο τομέα του λεκανοπεδίου.

### 6.3.2 Ζώνη επιρροής του έργου

Κατά τη φάση κατασκευής του έργου οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα θα προέρχονται από τις εξής δραστηριότητες:

#### ➤ Κίνηση των οχημάτων.

Η έκλυση της σκόνης οφείλεται στην εφαρμογή μηχανικής δύναμης (βάρους οχημάτων) πάνω σε χαλαρό έδαφος με αποτέλεσμα την κονιοποίηση και τις αποξέσεις στην επιφάνεια των υλικών. Σύμφωνα με την Αμερικάνικη Υπηρεσία Περιβάλλοντος (USEPA) οι εκπομπές της σκόνης από την κίνηση των οχημάτων εξαρτώνται από τη μέση ταχύτητα κίνησης των οχημάτων, τον κυκλοφοριακό φόρτο, το μέσο βάρος των οχημάτων, το μέσο αριθμό των τροχών των οχημάτων και το ποσοστό του εδάφους σε ιλύ και αργιλικά ορυκτά.

Στην συνέχεια γίνεται συνοπτική περιγραφή των μηχανημάτων και του εξοπλισμού που απαιτείται για την εκτέλεση των διαφόρων φάσεων κατασκευής του έργου, και ο οποίος είναι "υπεύθυνος" για την παραγωγή και την διάδοση των αιωρούμενων σωματιδίων, ούτως ώστε να είναι πιο ξεκάθαρες οι αιτίες προέλευσης του προβλήματος και κατ' επέκταση ρεαλιστικότερες οι προτεινόμενες λύσεις για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων στο περιβάλλον.

#### 1. Παρακάμψεις δικτύων ΟΚΩ & κυκλοφοριακές παρακάμψεις

Περιλαμβάνονται οι απαιτούμενες εργασίες για την παράκαμψη δικτύων κοινής ωφέλειας (υπόγειων & εναέριων) εντός και εκτός εργοταξίου. Οι συνήθεις εργασίες όσον αφορά τα υπόγεια δίκτυα είναι εκσκαφή τάφρων και φρεατίων, τοποθέτηση σωλήνων και φρεατίων και εγκιβωτισμός τους, επανεπίχωση των τάφρων και φρεατίων και συμπύκνωση του υλικού επανεπίχωσης και αποκατάσταση της πρότερης κατάστασης.

Κατά την διάρκεια των εργασιών παράκαμψης δικτύων θα χρησιμοποιούνται κατά θέση:

- Ασφαλοκόπτης
- Εκσκαφέας, φορτωτής και χωματοργικό αυτοκίνητο κατά την διάρκεια εκσκαφής και αεροσυμπιεστής
- Παπαγάλος ή άλλο ανυψωτικό μηχάνημα κατά την τοποθέτηση σωλήνων και φρεατίων
- Αυτοκινούμενη αντλία σκυροδέματος και αυτοκινούμενος αναμικτήρας σκυροδέματος για τον εγκιβωτισμό των σωλήνων ή την κατασκευή φρεατίων
- Φορτωτής και δονητικό μηχάνημα κατά την διάρκεια επίχωσης και συμπύκνωσης

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 75



## 2. Κατασκευή φρεατοπασσάλων και κεφαλόδεσμων

Περιλαμβάνονται οι απαιτούμενες εργασίες για την κατασκευή πασσάλων και κεφαλόδεσμων αντιστήριξης της εκσκαφής. Κατά την διάρκεια των εργασιών κατασκευής θα χρησιμοποιούνται κατά θέση:

- Δύο γεωτρήπανα για την διάτρηση των πασσάλων
- Ένας φορτωτής για την φόρτωση των προϊόντων εκσκαφής των πασσάλων
- Δύο χωματουργικά αυτοκίνητα για την αποκομιδή των προϊόντων εκσκαφής των πασσάλων
- Ένας αυτοκινούμενος γερανός για την τοποθέτηση του σιδηρού σπλισμού των πασσάλων και την σκυροδέτηση τους
- Δύο ή και περισσότεροι αυτοκινούμενοι αναμικτήρες σκυροδέματος κατά την σκυροδέτηση πασσάλων και κεφαλόδεσμων.
- Ένας εκσκαφέας και δύο χωματουργικά αυτοκίνητα κατά την διάρκεια των εργασιών αποκάλυψης των πασσάλων για την κατασκευή του κεφαλόδεσμου

## 3. Εκσκαφή και προσωρινή αντιστήριξη σταθμών – φρεάτων και σηράγγων NATM

Η εκσκαφή θα πραγματοποιείται σε φάσεις και θα ακολουθείται αμέσως από την εφαρμογή της προσωρινής αντιστήριξης. Κατά την διάρκεια των εργασιών εκσκαφής θα χρησιμοποιούνται κατά θέση

### Επιφάνεια δρόμου

- Οικοδομικός γερανός ή / και γερανός αχιβάδα για την μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής από το επίπεδο της εκσκαφής στην επιφάνεια
- Χωματουργικά αυτοκίνητα και φορτωτής για την φόρτωση και μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής
- Αεροσυμπιεστής για γενικές απαιτήσεις
- Υποσταθμός ΔΕΗ η/και γεννήτρια
- Σιλό σκυροδέματος και αυτοκινούμενοι αναμικτήρες σκυροδέματος
- Σιλό τσιμέντου

### Επίπεδο εκσκαφής

- Δύο εκσκαφείς και ένας φορτωτής κατά την διάρκεια εκσκαφής
- Αντλία εκτοξευόμενου σκυροδέματος
- Αντλία τσιμεντενέματος

## 4. Σήραγγα διπλής τροχιάς (TBM)

Περιλαμβάνονται οι απαιτούμενες εργασίες για την κατασκευή της σήραγγας διπλής τροχιάς. Η εκσκαφή πραγματοποιείται με το μηχάνημα ολομέτωπης κοπής με ασπίδα TBM. Κατά την διάρκεια των εργασιών εκσκαφής χρησιμοποιούνται κατά θέση:

### Επιφάνεια δρόμου

- Γερανογέφυρες για την μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής από το επίπεδο της εκσκαφής στην επιφάνεια
- Χωματουργικά αυτοκίνητα και φορτωτές για την φόρτωση και μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

- Αεροσυμπιεστής για γενικές απαιτήσεις
- Υποσταθμός ΔΕΗ η/και γεννήτρια
- Ανεμιστήρας

Επίπεδο εκσκαφής

- μηχάνημα ολομέτωπης κοπής με ασπίδα TBM κατά την διάρκεια εκσκαφής
- ταινίες μεταφοράς προϊόντων εκσκαφής

➤ **Χωματουργικές εργασίες (εκσκαφές, αποθέσεις, αδρανή υλικά).**

Οι εκσκαπτικές εργασίες αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων. Εκτιμάται ότι η ποσότητα των υλικών που αποθηκεύεται προσωρινά στα εργοτάξια δεν είναι σημαντική, ενώ λαμβάνεται μέριμνα από τον Ανάδοχο για την όσο το δυνατόν συντομότερη απομάκρυνση των άχρηστων υλικών εκσκαφής προς τους εγκεκριμένους χώρους απόθεσης.

Οι ποσότητες υλικών εκσκαφής του έργου δίνονται στον Πίνακα 10:

ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΕΚΣΚΑΦΩΝ (m <sup>3</sup> )
Σταθμός Αγ. Βαρβάρα	87.700
Σταθμός Κορυδαλλός	102.600
Σταθμός Νίκαια	81.300
Σταθμός Μανιάτικα	78.000
Σταθμός Πειραιάς	124.300
Σταθμός Δημοτικό Θέατρο	109.200
Σήραγγα διπλής τροχιάς (TBM)	455.000
Σήραγγα διπλής τροχιάς (Συμβατικά μέσα)	12.600
Σήραγγα τριπλής τροχιάς (Συμβατικά μέσα)	33.600
Φρέαρ Εισόδου TBM	22.700
Φρέαρ Κομνηνού	4.600
Φρέαρ Μεγάλου Αλεξάνδρου	2.200
Φρέαρ Ταξιαρχών	7.000
Φρέαρ Πισιδίας	3.800
Φρέαρ Βλαχάκου	5.900
Φρέαρ Μελά	3.200
Φρέαρ Ρολόι	2.100
Φρέαρ Δεληγιάννη	9.200
Φρέαρ Πανεπιστημίου	4.300

**Πίνακας 10:** Ποσότητες υλικών εκσκαφής ανά εργοταξιακό χώρο

Η πρόσθεση αδρανών υλικών σε ένα σωρό ή η μεταφορά τους από αυτόν, όπως και η συνεχής απόθεση και διάστρωσή τους αποτελούν πηγές για την εκπομπή αιωρούμενων σωματιδίων. Οι εκπομπές που δημιουργούνται στην περίπτωση αυτή εξαρτώνται κυρίως από το ποσοστό του

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

εδάφους σε ύψος, τη μέση ταχύτητα του ανέμου, το ύψος πτώσης και την περιεχόμενη υγρασία στο υλικό.

#### 6.4 Πρόγραμμα Παρακολούθησης Αιωρούμενων Σωματιδίων κατά την κατασκευή

Για την κατασκευή του έργου «ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 3: ΤΜΗΜΑ ΧΑΙΔΑΡΙ-ΠΕΙΡΑΙΑΣ», απαιτείται η εκτέλεση προγράμματος μετρήσεων για την παρακολούθηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων σε όλους τους εργοταξιακούς χώρους, σε σταθερή εποχιακή βάση με έμφαση στους θερινούς μήνες, με ειδικό κινητό εξοπλισμό. Από το πρόγραμμα παρακολούθησης αξιολογείται η ανάγκη εφαρμογής πρόσθετων / διορθωτικών μέτρων καταπολέμησης της σκόνης κατά την εκτέλεση των έργων.

##### 6.4.1 Συχνότητα Μετρήσεων

Ο έλεγχος με κινητό εξοπλισμό των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων στα εργοτάξια, εκτελέστηκε σύμφωνα με το ημερήσιο πρόγραμμα λειτουργίας των εργοταξίων και καθ' όλη την διάρκεια των κατασκευαστικών εργασιών που μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές εκπομπές.

Ο έλεγχος (με βάση εγκεκριμένες μετρήσεις) πραγματοποιείται κατ' ελάχιστον κατά την θερινή περίοδο, Μάιος – Σεπτέμβριος, για κάθε εργοταξιακό χώρο. Η συγκεκριμένη περίοδος για την διεξαγωγή των εγκεκριμένων μετρήσεων προτείνεται με βάση το δυσμενέστερο σενάριο, κατά το οποίο ενδέχεται να εμφανιστεί έξαρση των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων, εξαιτίας της μείωσης των βροχοπτώσεων οι οποίες λειτουργούν ως φυσικό μέσο καταστολής της σκόνης, σε συνδυασμό με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Με βάση την ανωτέρω πρόταση πραγματοποιούνται τουλάχιστον τρεις (3) εγκεκριμένες μετρήσεις (24ωρες) σε ετήσια βάση για κάθε έναν από τους οκτώ (8) κύριους εργοταξιακούς χώρους (6 Σταθμοί, Φρέαρ TBM, Τερματικό Φρέαρ), γεγονός που σημαίνει 24 εγκεκριμένες μετρήσεις ανά έτος.

Επίσης για την εκτέλεση μετρήσεων και ελέγχου διακύμανσης των συγκεντρώσεων (ωριαίες τιμές), δείγματα αέρα λαμβάνονται αμέσως μετά την έναρξη των εκσκαφών (συμπεριλαμβανομένου και των εργασιών κατασκευής των φρεατοπασσάλων) σε κάθε εργοταξιακό χώρο. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται, κατά το δυνατόν, στις δυσμενέστερες από άποψη εκπομπών σκόνης, εργασίες κατασκευής κάθε μήνα. Οι μετρήσεις επαναλαμβάνονται σε μηνιαία βάση.

Το ανωτέρω πρόγραμμα έχει την δυνατότητα να εξασφαλίζει την παροχή εγκεκριμένων μετρήσεων καθώς και μετρήσεων ελέγχου διακύμανσης των συγκεντρώσεων και την σύγκρισή τους με τα Εθνικά Όρια τα οποία ισχύουν σήμερα σε ετήσια βάση, προκειμένου να αξιολογηθεί αν σημειώνεται υπέρβαση των ορίων, και με την θεώρηση ότι στα 24ωρα μετρήσεων (σε κάθε εργοτάξιο), έχουν επιτευχθεί οι δυσμενέστερες συνθήκες εκπομπής.

Τα δείγματα λήφθηκαν από πραγματικούς χώρους εργασίας. Οι δειγματοληψίες εκτελέστηκαν από ειδικευμένα άτομα ή εξωτερικά εργαστήρια. Αντίγραφο των αποτελεσμάτων των μετρήσεων και η σύγκρισή τους με τα εθνικά πρότυπα υποβάλλεται κάθε μήνα στην ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ

##### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Οι έλεγχοι των εκπομπών σκόνης στα εργοτάξια, πραγματοποιούνται με κινητό εξοπλισμό, ώστε να εξασφαλίζουν την παροχή εγκεκριμένων μετρήσεων καθώς και μετρήσεων ελέγχου διακύμανσης της σκόνης, για την σύγκριση τους με τα Εθνικά Όρια που ισχύουν σήμερα.

Σύμφωνα με την νέα οδηγία **1999/30/ΕΚ** και την ενσωμάτωσή της στην Εθνική Νομοθεσία (**Π.Υ.Σ 34/30.5.02 (ΦΕΚ 125/Β)**), τα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10 μικρών (PM10) δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  ως μέση τιμή περισσότερες από 35 ημέρες το χρόνο ενώ η μέση ετήσια (ημερολογιακό έτος) τιμή δεν πρέπει να υπερβαίνει τα  $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Για τις ωριαίες τιμές δεν υπάρχουν όρια, και ως εκ τούτου οι τιμές αυτές είναι χρήσιμες μόνο για την αξιολόγηση της χρονικής διακύμανσης των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων, πλέον επιβαρημένων ωρών με σκοπό την αξιολόγηση άμεσης λήψης επιπλέον μέτρων κατά την φάση εργασιών που δημιουργούν τοπική έξαρση στην σκόνη.

#### 6.4.2 Εκθέσεις Αποτελεσμάτων

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων γίνεται, όπως προαναφέρθηκε σε μηνιαία βάση, και η έκθεση περιλαμβάνει κατ'ελάχιστον τις παρακάτω πληροφορίες:

- Μεθοδολογία μέτρησης (24ωρες μετρήσεις – ωριαίες τοπικές μετρήσεις διακύμανσης συγκεντρώσεων).
- Σχεδιάγραμμα κάθε εργοταξιακού χώρου και της περιοχής πλησίον σε αυτό, στο οποίο φαίνονται οι θέσεις των μετρήσεων.
- Περιγραφή των εργασιών που εκτελούνταν στο εργοτάξιο την περίοδο των μετρήσεων, με αναφορά στα μηχανήματα και το επίπεδο εκτέλεσης των εργασιών.
- Περιγραφή των μετεωρολογικών συνθηκών κατά τις ημέρες των μετρήσεων, με ιδιαίτερη αναφορά στην διεύθυνση (και στην ένταση αν είναι δυνατόν) των επικρατούντων ανέμων, στην παρουσία βροχής και στην θερμοκρασία (ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες).
- Εκτύπωση του δελτίου πρόγνωσης καιρού για την ημέρα μέτρησης από τον διαδικτυακό τόπο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών ([www.meteo.gr](http://www.meteo.gr)).
- Εκτύπωση όλων των στοιχείων κάθε μέτρησης, μέσω του ειδικού λογισμικού του οργάνου μέτρησης (όπως προτείνονται στην συνέχεια) που παρέχει ο κατασκευαστής, και μεταφορά τους σε αρχείο Η/Υ για περαιτέρω επεξεργασία (διαγράμματα συγκεντρώσεων – χρόνου, μέγιστες και ελάχιστες τιμές συγκεντρώσεων, κατανομή μετρήσεων κλπ).
- Συγκεντρωτικά έντυπα παρουσίασης των αποτελεσμάτων των μετρήσεων στα οποία θα φαίνεται η τελική επιβάρυνση της ατμόσφαιρας από τις εκπομπές που προέρχονται από τις κατασκευαστικές εργασίες, καθώς και η σύγκρισή τους με τις ανώτερες τιμές που προκύπτουν με βάση τα Εθνικά όρια.

Επίσης στην μηνιαία έκθεση προτείνονται πιθανά πρόσθετα έκτακτα μέτρα για την μείωση των εκπομπών σκόνης στην περίπτωση υπέρβασης των ορίων, καθώς και πιθανές διορθωτικές ενέργειες για βελτίωση της εφαρμογής των μέτρων που προτείνονται.

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

### 6.4.3 Εξοπλισμός μετρήσεων συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων

Μέθοδος αναφοράς για εγκεκριμένες μετρήσεις  $AS_{10}$  αποτελεί κάθε δειγματολήπτης ο οποίος συλλέγει επί φίλτρου την σκόνη σύμφωνα με το **EN12341** όπως καθορίζεται στο άρθρο IV παράρτημα IX της οδηγίας **1999/30/ΕΚ** και στην Εθνική Νομοθεσία (**Π.Υ.Σ 34/30.5.02 (ΦΕΚ 125/Β)**).

Για την εφαρμογή του προγράμματος παρακολούθησης των αιωρούμενων σωματιδίων, χρησιμοποιήθηκαν εξειδικευμένα όργανα μέτρησης που περιγράφονται στην συνέχεια.

#### 1. ΣΥΣΚΕΥΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ TSI DUST TRAK II

Κατασκευαστής: TSI Inc., 500 Cardigan Rd., Shoreview, MN 55126, ΗΠΑ

Τύπος: DUST TRAK II AEROSOL MONITORS 8533

#### Τεχνική περιγραφή

Φορητό σύστημα με οθόνη αφής, on-line μέτρησης συγκέντρωσης σκόνης σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους του αμερικανικού Οίκου TSI.

Η συσκευή Dust Trak II Aerosol Monitor βασίζεται στην αρχή της φωτομετρίας (περίθλαση) και διαθέτει ενσωματωμένα αντλία, εσωτερική μνήμη και data-logger για την αυτόματη αποθήκευση των μετρούμενων τιμών (κινητών μέσων όρων) σε προγραμματιζόμενα διαστήματα, καθώς και τη δυνατότητα μετάδοσης των μετρούμενων τιμών σε Η/Υ. Μετρά τα κλάσματα με αεροδυναμική διάμετρο έως 10 ή 4 (αναπνεύσιμο κλάσμα) ή 2,5 ή 1μm, ήτοι τα κλάσματα PM10, respirable κατά ΕΛΟΤ EN 481, PM4, PM2,5, PM1.



Εικόνα 6: φορητό μόνιτορ αιωρούμενων σωματιδίων Dust Trak II

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

### Τεχνικά χαρακτηριστικά

Καταλληλότητα	Για εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους
Περιοχή σωματιδίων	0 - 10 µm
Δυνατότητα χωριστής μέτρησης των κλασμάτων	Total Dust PM10 (ισοδύναμη αεροδυναμική διάμετρος < 10 µm), respirable (ισοδύναμη αεροδυναμική διάμετρος < 4-5 µm), PM2,5 (ισοδύναμη αεροδυναμική διάμετρος < 2,5 µm), PM1 (ισοδύναμη αεροδυναμική διάμετρος < 1 µm)
Περιοχή μέτρησης	0,001 - 150 mg/m <sup>3</sup> (βαθμονόμηση κατά ISO 12103-1, A1 test dust)
Ανάλυση	0,001 mg/m <sup>3</sup> ή 0,1% της ένδειξης
Παροχή αντλίας	3,0 l/min
Ένδειξη	Άμεση on-line ένδειξη της συγκέντρωσης στην ψηφιακή οθόνη του οργάνου
Μνήμη Data logger	5 MB, >60.000 σετ μετρήσεων (45 ημέρες logging ενός λεπτού)
Συχνότητα αποθήκευσης	ανά ένα δευτερόλεπτο έως ανά μία ώρα, επιλεγόμενος από τον χρήστη
Έξοδοι	USB θύρα και Ethernet
Ειδοποίηση (Alarm)	Ρελέ 4-Pin Mini-DIN connector / ηχητικό buzzer
Λειτουργία	Επαναφορτιζόμενη μπαταρία Li-Ion 6600 mAh και με τροφοδοτικό ρεύματος
Οθόνη	5,7" VGA colour αφής
Σήμανση	CE
Θερμοκρασία λειτουργίας	0 – 50°C
Διαστάσεις	135 x 216 x 224 mm
Βάρος	1,6 kg χωρίς μπαταρίες
Μεταφορά	Σκληρό βαλιτσάκι για το όργανο και όλα τα παρελκόμενα, ιμάντας ανάρτησης για το όργανο

Η συσκευή είναι βαθμονομημένη με πρότυπη σκόνη κατά ISO 12103-1, A1 test dust. Βαθμονόμηση σε όλα τα είδη σκόνης μπορεί εύκολα να γίνει με παράλληλη μέτρηση με πρότυπο σταθμικό σύστημα κατά EN 12341.

Διατίθεται με σύστημα για αυτόματη λειτουργία σε εξωτερικούς χώρους (Environmental Enclosure), υπό οποιεσδήποτε συνθήκες.

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"



**Εικόνα 7:** χρήση του Dust Trak II με εξωτερικούς χώρους με αυτόματη λειτουργία

Η τεχνολογία αυτή παρέχει ιδιαίτερα επαναλήψιμες μετρήσεις σκόνης και μπορεί να παρέχει ακριβείς μετρήσεις όταν βαθμονομηθεί τοπικά (στον χώρο και με την σκόνη που θα λειτουργήσει).

Οι μετρήσεις με το ανωτέρω σύστημα δειγματοληψίας εκτελέσθηκαν από Ανάδοχο

## 2. Δειγματολήπτης σκόνης DERENDA LVS3.1 με κεφαλή ΑΣ<sub>10</sub> ή ΑΣ<sub>2,5</sub>

Για την δειγματοληψία ΑΣ<sub>10</sub> ή ΑΣ<sub>2,5</sub> χρησιμοποιήθηκαν δειγματολήπτες ενός φίλτρου. Οι δειγματολήπτες συλλέγουν δείγμα σκόνης επι προζυγισμένου φίλτρου για 24 ώρες.

Η επαναζύγιση του φίλτρου σε πιστοποιημένο εργαστήριο επιτρέπει τον υπολογισμό της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.

Ανάλογα με την κεφαλή δειγματοληψίας, ο κάθε δειγματολήπτης συλλέγει αιωρούμενα σωματίδια PM<sub>10</sub> ή/και PM<sub>2.5</sub>.



Στο συγκεκριμένο έργο χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο:

- **DERENDA LVS3.1 με κεφαλή ΑΣ<sub>10</sub> ή ΑΣ<sub>2,5</sub>**



Είναι κατάλληλος για συνεχόμενη λειτουργία σε εξωτερικούς χώρους, με δυνατότητα συνεχούς, αυτόματης λειτουργίας και με αντίστοιχη άντληση ατμοσφαιρικού αέρα πάνω σε φίλτρο πραγματικής διαμέτρου 47mm. Περιλαμβάνει αντλία κενού, σειριακή θύρα RS232 για μεταφορά δεδομένων, ψηφιακή φωτιζόμενη οθόνη απεικόνισης ενδείξεων μέτρησης, κατάλληλους αισθητήρες για μέτρηση υγρασίας, θερμοκρασίας, ατμοσφαιρικής πίεσης και κεφαλή δειγματοληψίας ΑΣ<sub>10</sub> ή ΑΣ<sub>2,5</sub> (ανάλογα με την παράμετρο την οποία συλλέγει). Δέχεται ένα φίλτρο διαμέτρου 47 χιλιοστών. Οι δειγματολήπτες του Οίκου DERENDA (Γερμανίας) αποτελούν όργανα αναφοράς για τη συλλογή αιωρούμενων σωματιδίων ΑΣ<sub>10</sub> ή ΑΣ<sub>2,5</sub> σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα EN12341 & EN14907 αντίστοιχα.

Περιγραφή λειτουργίας : Το αέριο δείγμα οδηγείται στην είσοδο του δειγματολήπτη μέσω μιας αντλίας κενού με δυνατότητα μέγιστης παροχής αέρα 4 m<sup>3</sup>/h. Η τιμή της ροής ελέγχεται ηλεκτρονικά και μπορεί να ρυθμιστεί από 1.0 - 3.5 m<sup>3</sup>/h με ακρίβεια καλύτερη από 2%, μέσω περιοριστή, που παρεμβάλλεται μεταξύ του φίλτρου και της αντλίας. Η κεφαλή δειγματοληψίας επιτρέπει τη διέλευση σωματιδίων (με αεροδυναμική διάμετρο ανάλογη με την κεφαλή που χρησιμοποιείται) τα οποία κατευθύνονται και επικάθονται στο φίλτρο διαμέτρου 47 mm. Στην οθόνη της συσκευής απεικονίζεται ο όγκος του αέριου δείγματος. Ο χρόνος δειγματοληψίας (ο οποίος μπορεί να είναι από 1 – 1000 ώρες) ελέγχεται μέχρι το τέλος της λειτουργίας από το μικροϋπολογιστή και αποθηκεύεται στη μνήμη του συστήματος. Οι πληροφορίες που αποθηκεύονται στη μνήμη, μπορούν να εμφανιστούν στην οθόνη. Ο δειγματολήπτης λειτουργεί με τροφοδοσία 230V – 50/60Hz.

Σε περίπτωση διακοπής της ηλεκτρικής τροφοδοσίας, όλα τα αποθηκευμένα στοιχεία διατηρούνται στη μνήμη για μεγάλο χρονικό διάστημα, μέσω ενσωματωμένης μπαταρίας υψηλής χωρητικότητας.

Οι δειγματολήπτες ελέγχονται για την σωστή λειτουργία τους πριν και μετά τις δειγματοληψίες (ροές, θερμοκρασίες).

Οι μετρήσεις με το ανωτέρω σύστημα δειγματοληψίας εκτελέσθηκαν από τον Σύμβουλο Μελετητή του Αναδόχου ΣΣΣ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.



## 7. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΕΡΓΟΤΑΞΙΩΝ

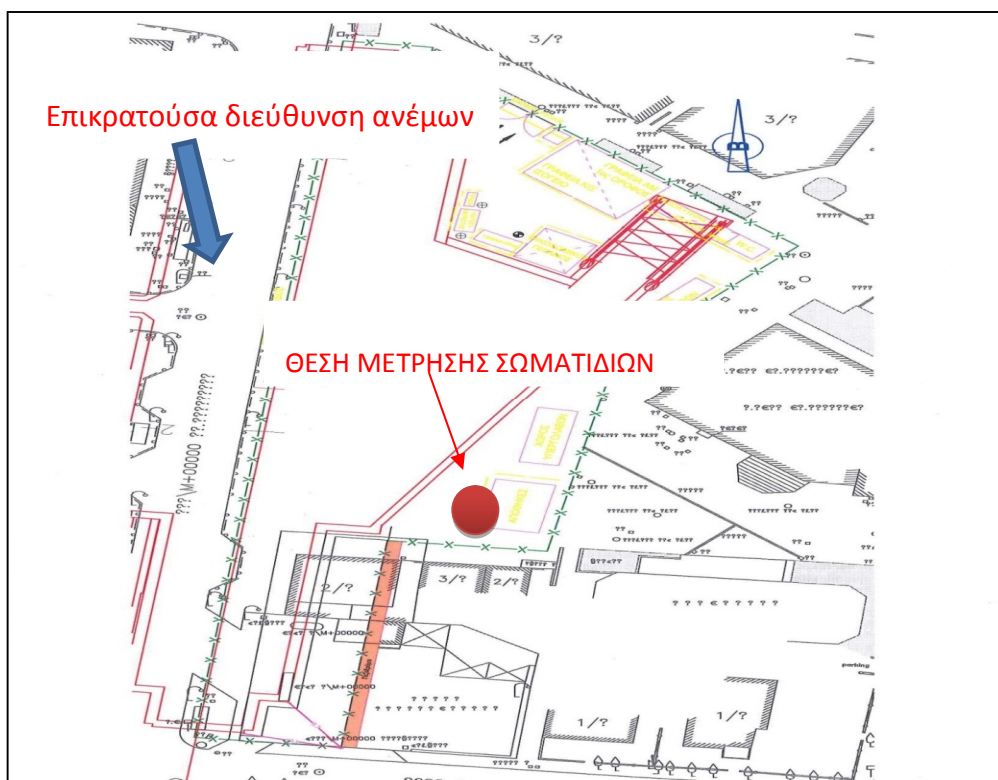
Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μετρήσεων των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 και PM2,5, ανά εργοταξιακό χώρο, που αφορούν το χρονικό διάστημα 2013 – 2018. Η εφαρμογή του προγράμματος μετρήσεων στους εργοταξιακούς χώρους έγινε με την έναρξη των εργασιών εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης και περατώθηκε με τις εργασίες επανεπίχωσης των σταθμών – φρεάτων.

### 7.1 Παρουσίαση - Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Ετήσιων Μετρήσεων

#### 7.1.1 Σταθμός Αγ. Βαρβάρα

##### Ενδεικτική Θέση Μέτρησης

Στο Σχήμα 9 παρουσιάζεται ενδεικτική θέση όπου πραγματοποιήθηκαν οι 24ωρες μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, με τον ειδικό κινητό σταθμό μετρήσεων (DUST TRAK II), κατάλληλα εξοπλισμένο με σύστημα " Environmental Enclosure", ώστε να παραμένει ανεπηρέαστος από τις εξωτερικές κλιματολογικές συνθήκες και να εξασφαλίζεται η ακριβεία των μετρήσεων.



Σχήμα 9: Ενδεικτική θέση μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στο Σταθμό Αγ. Βαρβάρα

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μετρήσεων των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 και PM2,5 που αφορούν το Σταθμό Αγ. Βαρβάρα για το χρονικό διάστημα 2013 – 2017

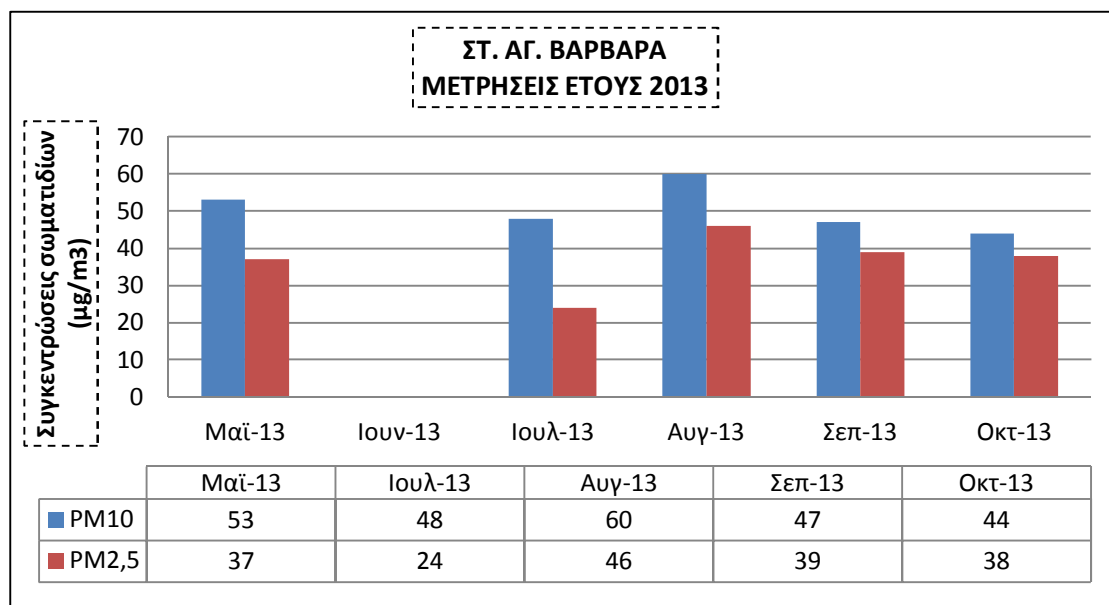
##### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	PM10	PM2,5
Μαϊ-13	53	37
Ιουλ-13	48	24
Αυγ-13	60	46
Σεπ-13	47	39
Οκτ-13	44	38
Μαϊ-14	30	26
Ιουν-14	30	27
Ιουλ-14	24	19
Αυγ-14	42	35
Σεπ-14	59	43
Μαϊ-15	41	24
Ιουν-15	35	33
Ιουν-16	36	22
Αυγ-16	37	34
Ιουν-17	29	21
Ιουλ-17	34	19
Σεπ-17	27	16
Οκτ-17	47	42

**Πίνακας 11:** Αναλυτικά αποτελέσματα μετρήσεων συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων Σταθμού Αγ. Βαρβάρα

### Έτος 2013



**Διάγραμμα 10:** Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2013

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

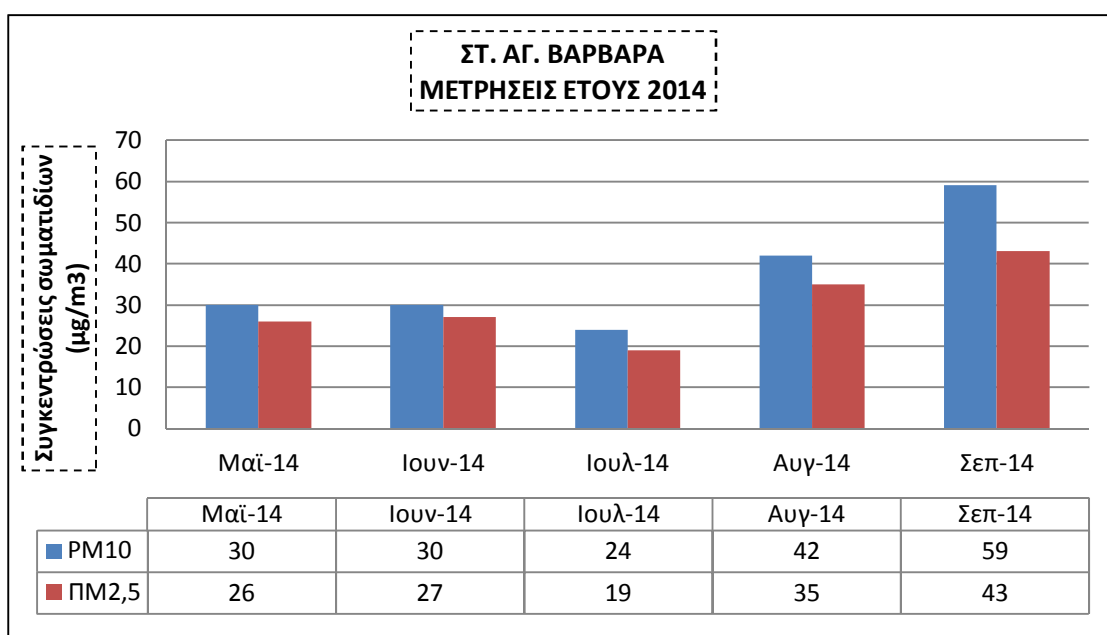
"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα παρατηρήθηκαν υπερβάσεις των συγκεντρώσεων των σωματιδίων PM10, κατά τους μήνες Μάιο και Αύγουστο.

Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν όλους τους μήνες των μετρήσεων υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20μg/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν τους ανωτέρω μήνες ήταν: επιχώσεις αγωγών δικτύων ΟΚΩ πλησίον του σταθμού και διάτρηση, απομάκρυνση προϊόντων εκσκαφής, φρεατοπασσάλων τον Μάιο και εκσκαφή και προσωρινή αντιστήριξη (εφαρμογή εκτοξευόμενου κυροδέματος) του 1<sup>ου</sup> επιπέδου του σταθμού τον Αύγουστο. Οι εν λόγω εργασίες προκαλούν σημαντική εκπομπή σκόνης, και εκτελούνται στο αρχικό επίπεδο οδού.

### Έτος 2014



**Διάγραμμα 11:** Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2014

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα παρατηρήθηκαν υπερβάσεις των συγκεντρώσεων των σωματιδίων PM10, τον μήνα Σεπτέμβριο.

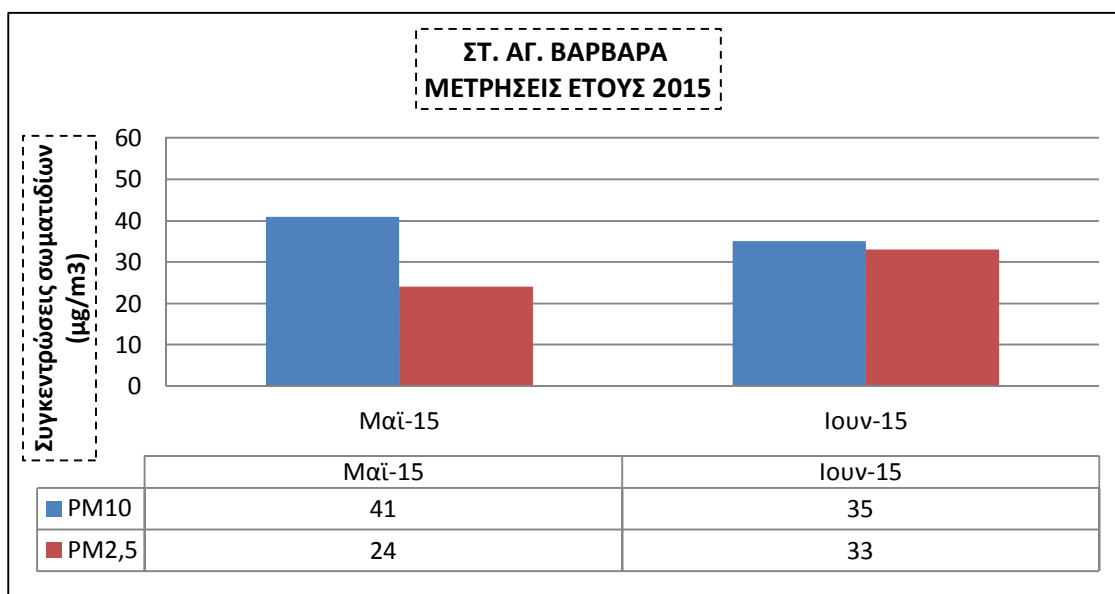
Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν όλους τους μήνες των μετρήσεων, εκτός του Ιουλίου, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20μg/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν τους ανωτέρω μήνες ήταν σκυροδετήσεις της τελικής επένδυσης του σταθμού. Οι εν λόγω εργασίες προκαλούν εκπομπές σκόνης μιας και εκτελούνται στο σύνολό τους (εισκόμιση σιδηρού οπλισμού - μεταλλότυπων - σκαλωσιών - έτοιμου σκυροδέματος) στο αρχικό επίπεδο οδού.

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

**Έτος 2015**



**Διάγραμμα 12:** Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2015

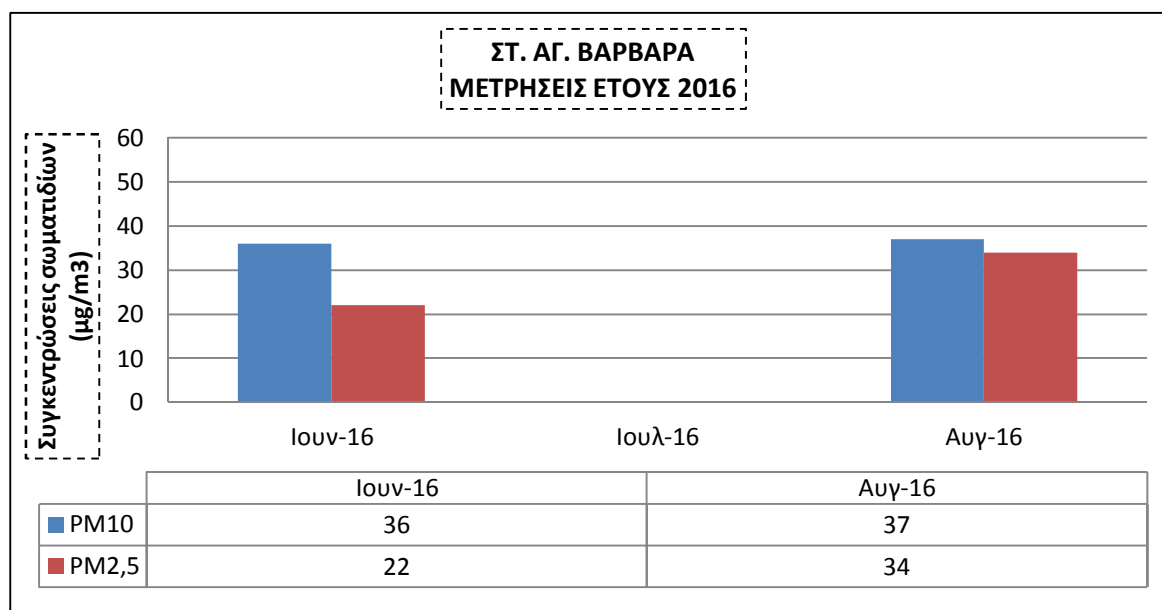
Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα δεν καταγράφηκαν υπερβάσεις των συγκεντρώσεων των σωματιδίων PM10. Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν και στους δύο μήνες των μετρήσεων, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20µgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν τους ανωτέρω μήνες ήταν σκυροδετήσεις της τελικής επένδυσης του σταθμού. Οι εν λόγω εργασίες προκαλούν εκπομπές σκόνης μιας και εκτελούνται στο σύνολό τους (εισκόμιση σιδηρού οπλισμού - μεταλλότυπων - σκαλωσιών - έτοιμου σκυροδέματος) στο αρχικό επίπεδο οδού.

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

**Έτος 2016**



**Διάγραμμα 13:** Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2016

Όπως φαίνεται και από το ανωτέρω διάγραμμα δεν καταγράφηκαν υπερβάσεις των συγκεντρώσεων των σωματιδίων PM10.

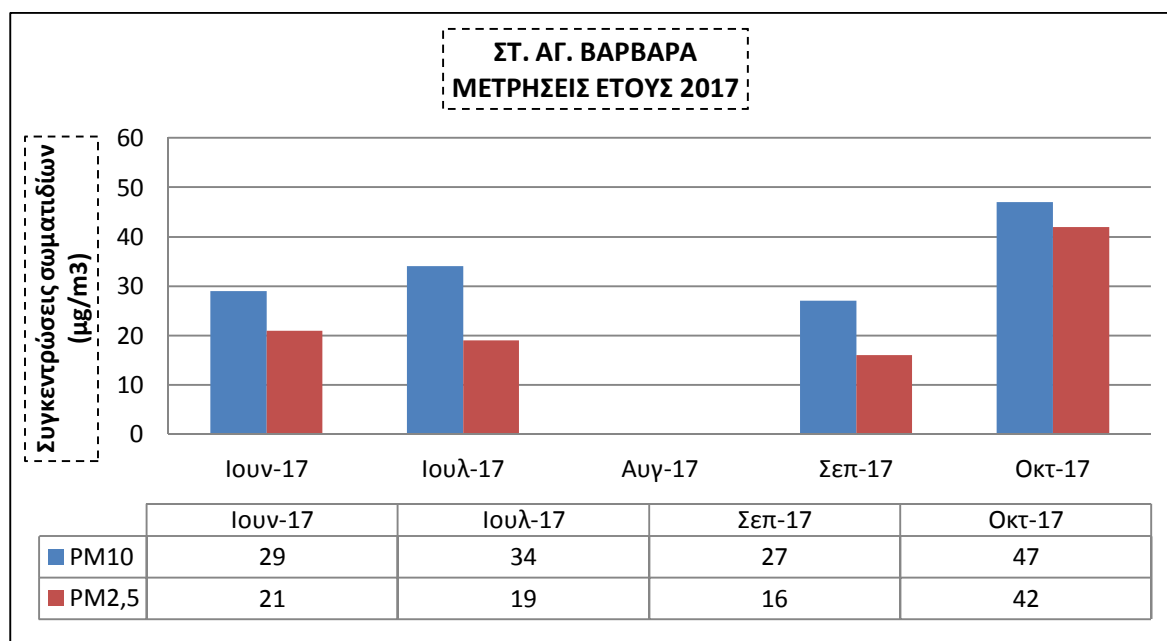
Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν και στους δύο μήνες των μετρήσεων, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20μgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν το 2016, κατά τους θερινούς μήνες, ήταν αρχιτεκτονικές εργασίες εντός του σταθμού οι οποίες δεν προκαλούν σημαντικές εκπομπές σκόνης μιας και εκτελούνται στο σύνολό τους στο εσωτερικό του σταθμού. Γι'αυτό το λόγο εκτελέσθηκαν δύο συνολικά μετρήσεις.

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

**Έτος 2017**



**Διάγραμμα 14:** Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2017

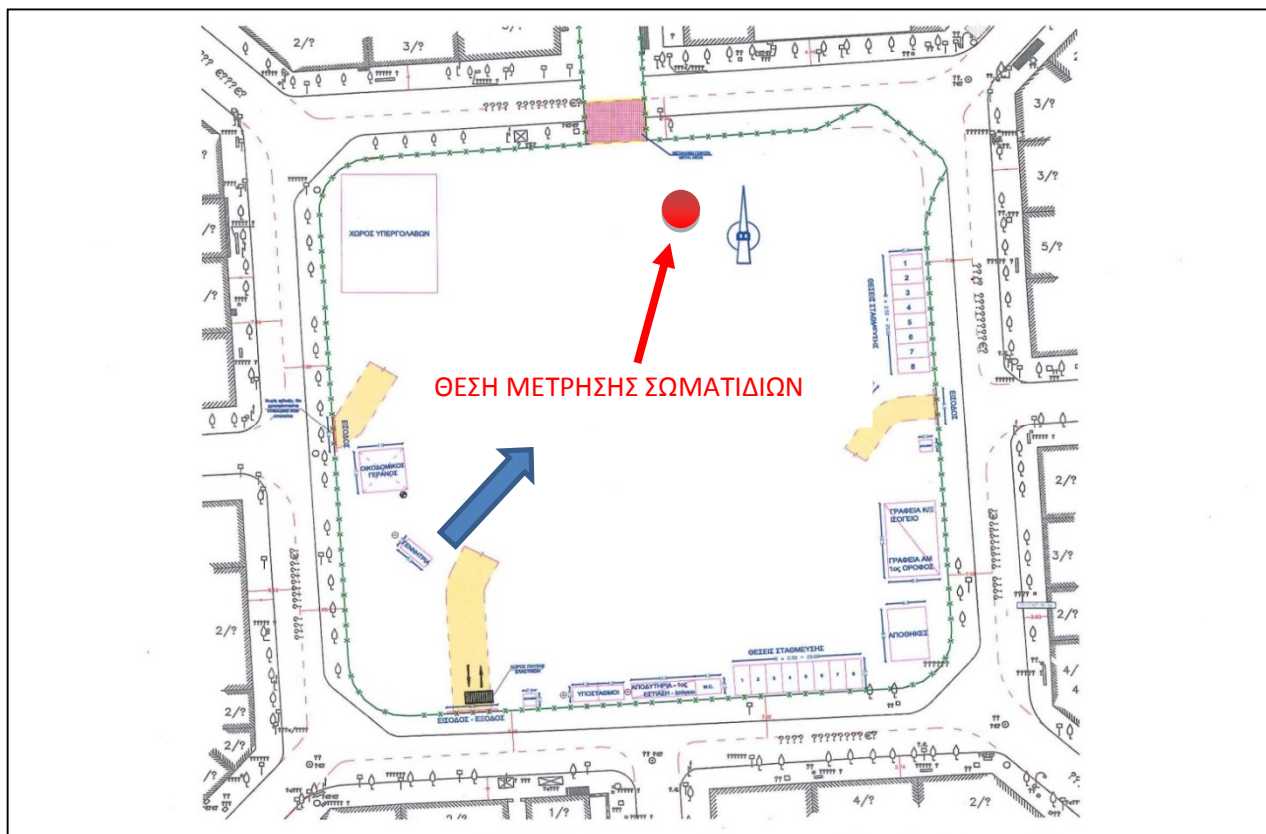
Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα δεν καταγράφηκαν υπερβάσεις των συγκεντρώσεων των σωματιδίων PM10. Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, καταγράφηκε υψηλότερη τιμή από την τιμή στόχο των 20µgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020, μόνο τον μήνα Οκτώβριο

Οι εργασίες που εκτελούνταν, κατά τους θερινούς μήνες του 2017, ήταν αρχιτεκτονικές εργασίες εντός του σταθμού οι οποίες δεν προκαλούν σημαντικές εκπομπές σκόνης μιας και εκτελούνται στο σύνολό τους στο εσωτερικό του σταθμού. Τον Οκτώβριο όμως εκτελέσθηκαν εργασίες επιχώσεων και οδοστρωσίας στην επιφάνεια του σταθμού προκειμένου να αποδοθεί στην κυκλοφορία τμήμα της κατάληψης του σταθμού. Αποτέλεσμα αυτών των εργασιών ήταν οι αυξημένες τιμές των συγκεντρώσεων των σωματιδίων, χωρίς ωστόσο να καταγραφεί κάποια υπέρβαση.

### 7.1.2 Σταθμός Κορυδαλλός

#### Ενδεικτική Θέση Μέτρησης

Στο Σχήμα 10 παρουσιάζεται ενδεικτική θέση όπου πραγματοποιήθηκαν οι 24ωρες μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, με τον ειδικό κινητό σταθμό μετρήσεων (DUST TRAK II), κατάλληλα εξοπλισμένο με σύστημα " Environmental Enclosure", ώστε να παραμένει ανεπηρέαστος από τις εξωτερικές κλιματολογικές συνθήκες και να εξασφαλίζεται η ακριβεία των μετρήσεων. Επίσης εκτελέστηκαν μετρήσεις με δειγματολήπτη DERENDA LVS3.1 με κεφαλή ΑΣ<sub>10</sub> ή ΑΣ<sub>2,5</sub> κατά τα πρότυπα EN12341 & EN14907 αντίστοιχα.



**Σχήμα 10:** Ενδεικτική θέση μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στο Σταθμό Κορυδαλλός

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μετρήσεων των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> και PM<sub>2,5</sub> που αφορούν το Σταθμό Κορυδαλλός για το χρονικό διάστημα 2013 – 2018

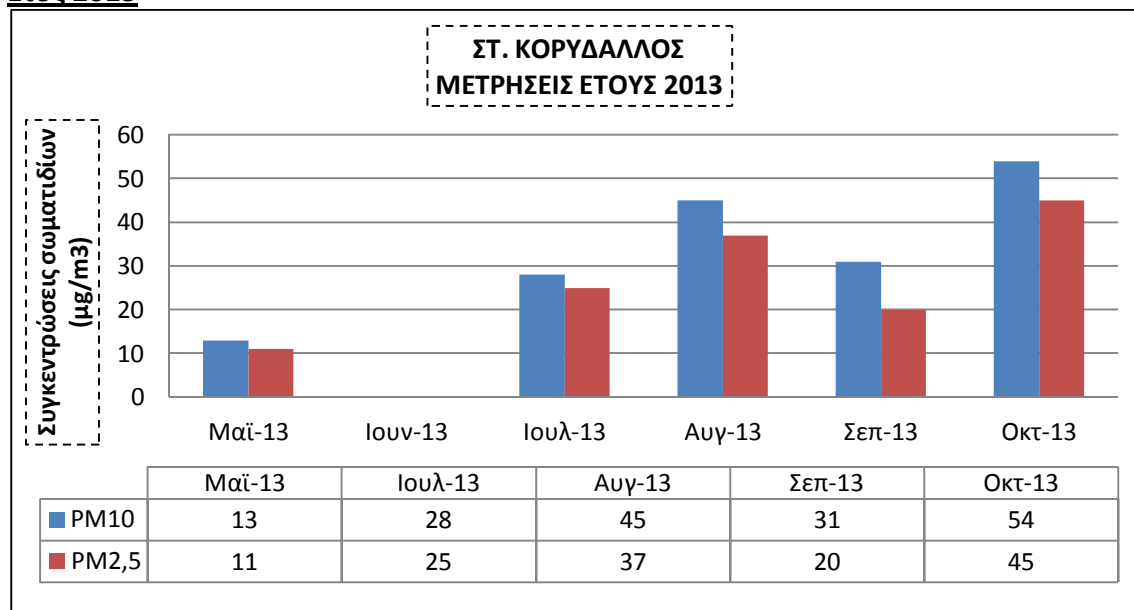
ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	PM10	PM2,5
Μαϊ-13	13	11
Ιουλ-13	28	25
Αυγ-13	45	37
Σεπ-13	31	20
Οκτ-13	54	45
Μαϊ-14	46,27	
Ιουν-14	36	33
Ιουλ-14	30	28
Αυγ-14	39	36
Σεπ-14	34	32
Ιουν-16	39	22
Ιουλ-16	56,13	54,54
Αυγ-16	40	37
Σεπ-16	47	31
Ιουλ-17	49,55	51,55
Αυγ-17	38	32
Οκτ-17	61	57
Μαϊ-18	42	18
Ιουν-18	18	13
Ιουλ-18	39	36
Ιουλ-18	37,9	34
Αυγ-18	75	69
Σεπ-18	51	48

**Πίνακας 12:** Αναλυτικά αποτελέσματα μετρήσεων συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων Σταθμού Κορυδαλλός

Οι μετρήσεις με πράσινο χρώμα εκτελέστηκαν σύμφωνα με τα πρότυπα EN12341 & EN14907 από τον Σύμβουλο Μελετητή του Αναδόχου ΣΣΕ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.



**Έτος 2013**



**Διάγραμμα 15:** Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2013

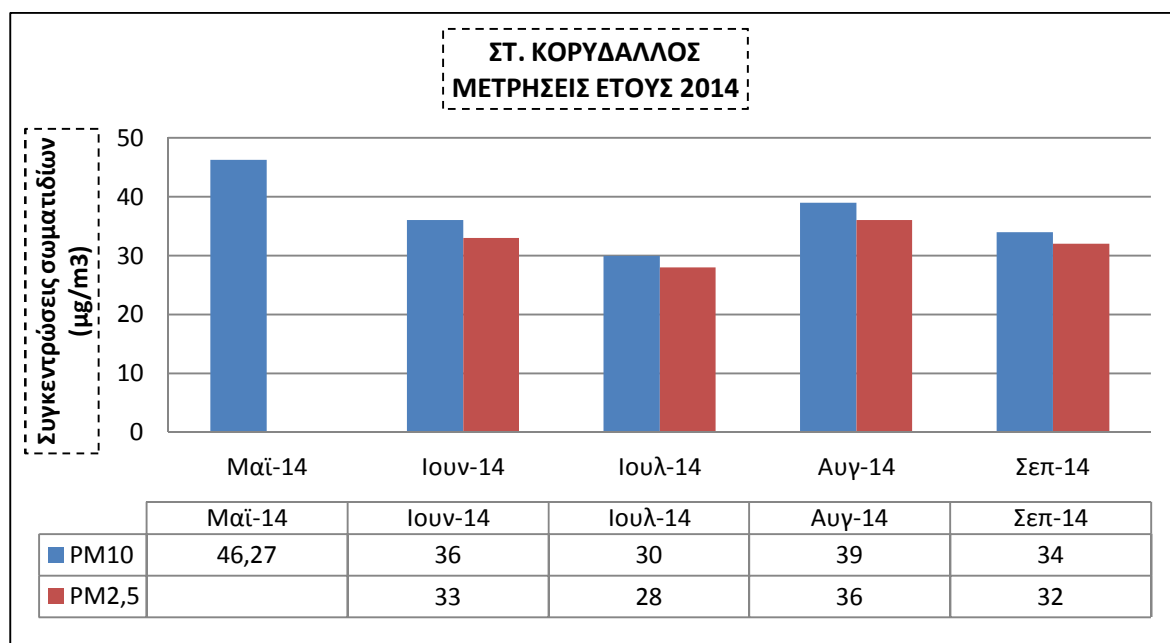
Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των σωματιδίων PM10 τον μήνα Οκτώβριο. Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Οκτώβριο, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20µg/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα ήταν η εκσκαφή και προσωρινή αντιστήριξη (εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος, διάτρηση και πάκτωση προεντεταμένων αγκυρίων) του 1<sup>ου</sup> επιπέδου του σταθμού. Οι εν λόγω εργασίες προκαλούν σημαντική εκπομπή σκόνης, και εκτελούνται στο επίπεδο οδού.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

**Έτος 2014**



**Διάγραμμα 16:** Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2014

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα δεν καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 σε όλη την περίοδο των μετρήσεων.

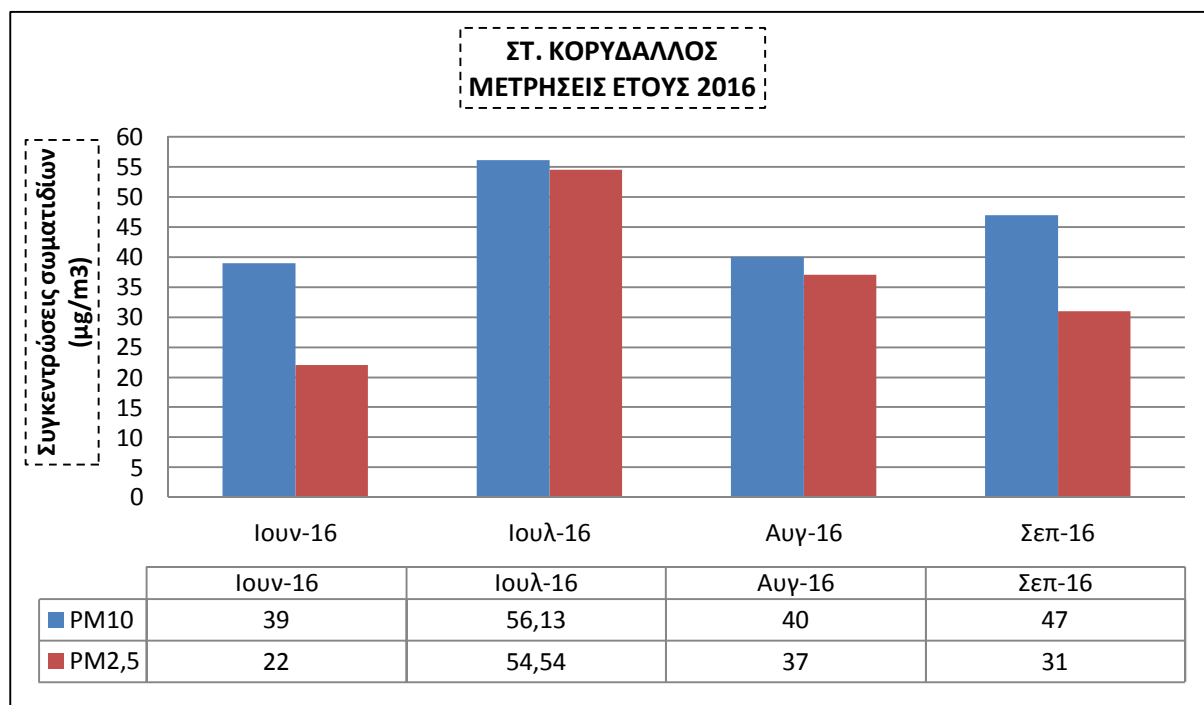
Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν όλους τους μήνες των μετρήσεων, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20µgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν τους ανωτέρω μήνες ήταν σκυροδετήσεις της τελικής επένδυσης του σταθμού. Οι εν λόγω εργασίες μπορούν να προκαλέσουν εκπομπές σκόνης μιας και εκτελούνται στο σύνολό τους (εισκόμιση σιδηρού οπλισμού - μεταλλότυπων - σκαλωσιών - έτοιμου σκυροδέματος) στο αρχικό επίπεδο οδού.

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

**Έτος 2016**



**Διάγραμμα 17:** Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2016

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 τον μήνα Ιούλιο..

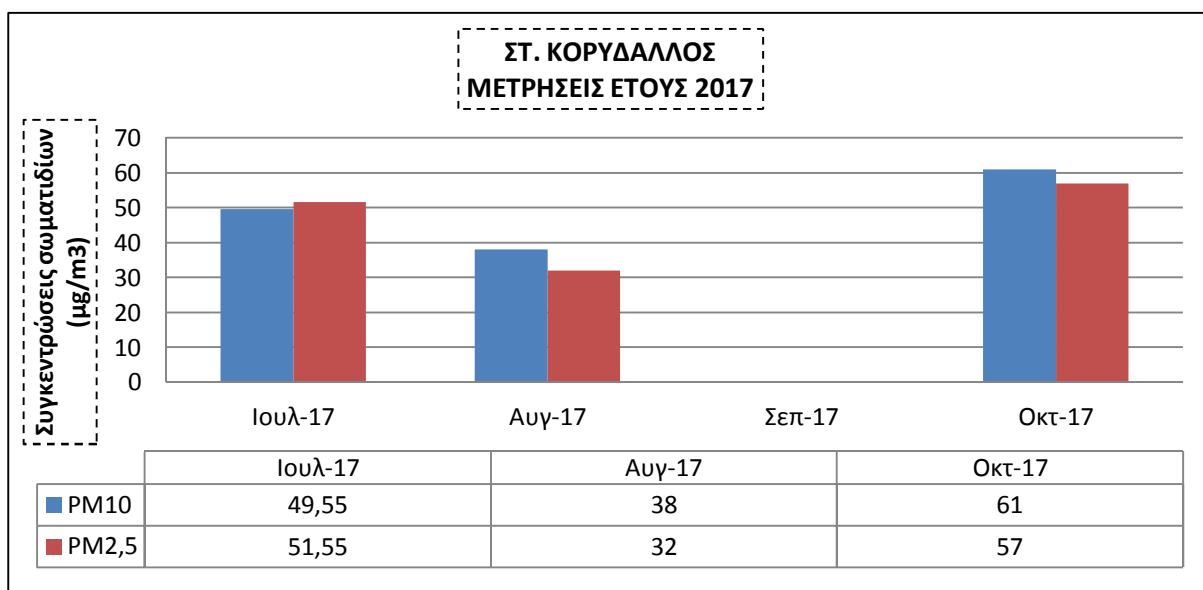
Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν όλους τους μήνες των μετρήσεων, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20μg/m<sup>3</sup> για το έτος 2020 με ιδιαίτερα υψηλή τιμή τον μήνα Ιούλιο, λόγω της εκτέλεσης των εργασιών τοιχοποιίας που προαναφέρθηκαν.

Οι εργασίες που εκτελούνταν τους ανωτέρω μήνες ήταν σκυροδετήσεις της τελικής επένδυσης του σταθμού. Οι εν λόγω εργασίες μπορούν να προκαλέσουν εκπομπές σκόνης μιας και εκτελούνται στο σύνολό τους (εισκόμιση σιδηρού οπλισμού - μεταλλότυπων - σκαλωσιών - έτοιμου σκυροδέματος) στο αρχικό επίπεδο οδού. Επίσης εκτελούνταν εργασίες τοιχοποιίας και εφαρμογής επιχρισμάτων εντός του σταθμού, οι οποίες δίνουν σημαντικές εκπομπές σωματιδίων τα οποία διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα από τα "ανοίγματα" του σταθμού.

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

**Έτος 2017**



**Διάγραμμα 18: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2017**

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 τους μήνες Ιούλιο και Οκτώβριο.

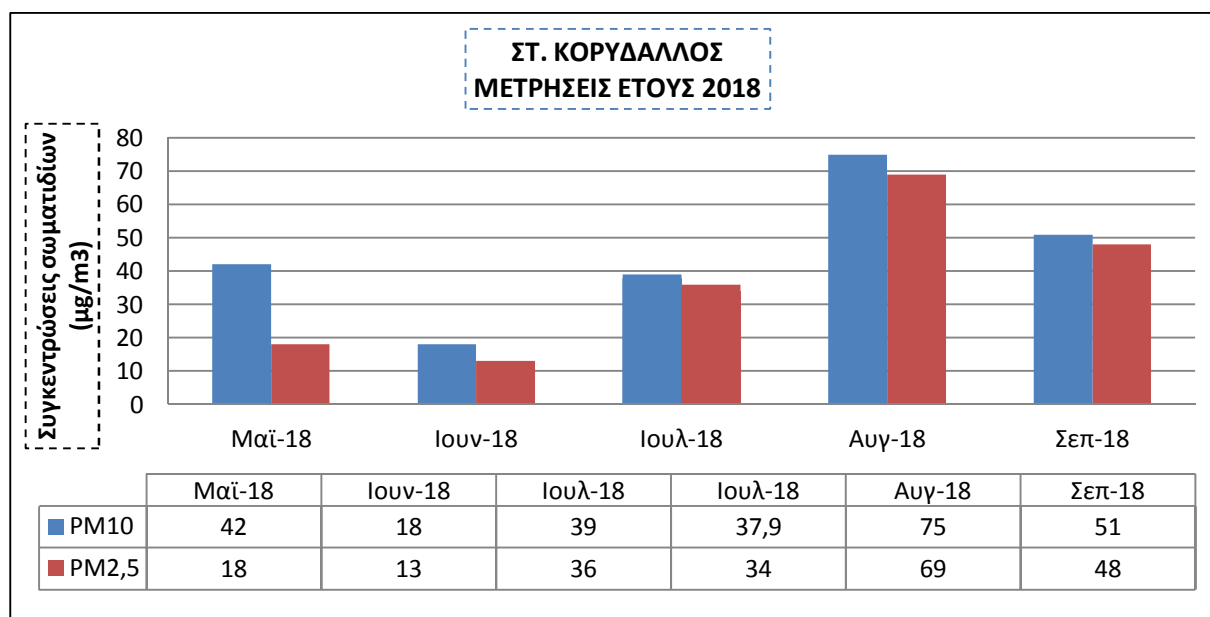
Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν όλους τους μήνες των μετρήσεων, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20µgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020 με ιδιαίτερα υψηλή τιμή τον μήνα Ιούλιο, λόγω της εκτέλεσης των εργασιών που προαναφέρθηκαν.

Οι εργασίες που εκτελούνταν σε όλη την διάρκεια της θερινής περιόδου ήταν οι εργασίες αποκομιδής των προϊόντων εκσκαφής της σήραγγας TBM, οι οποίες ξεκίνησαν να εκτελούνται από το σταθμό του Κορυδαλλού από το 2017 και μετά, λόγω της ολικής μετεγκατάστασης των υποστηρικτικών εγκαταστάσεων του TBM. Για την εκτέλεση των ανωτέρω εργασιών χρησιμοποιούνταν βαρέα οχήματα μεταφοράς, ενώ η συχνότητα των διελεύσεων ανήλθε σε 1 διεύση / 5-7 λεπτά της ώρας.

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Έτος 2018



**Διάγραμμα 19:** Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2018

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο.

Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20µgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020 κατά τους μήνες Ιούλιο – Αύγουστο και Σεπτέμβριο.

Οι εργασίες που εκτελούνταν σε όλη την διάρκεια της θερινής περιόδου ήταν οι εργασίες εκσκαφής των Προσβάσεων του σταθμού, εργασίες επιχώσεων της οροφής σταθμού καθώς και εργασίες βαφών και επιχρισμάτων. Οι εν λόγω εργασίες προκαλούν σημαντικές εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.

Από την ωριαία ανάλυση των μετρήσεων προέκυψε ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις, οι οποίες επηρέασαν σημαντικά την τελική τιμή, καταγράφηκαν κυρίως βραδυνές ώρες και συγκεκριμένα από τις 20:00 την 29/08/2018 έως τις 03:00 την 30/08/2018, με τις μέγιστες συγκεντρώσεις να καταγράφονται από την 01:00 έως 02:00 την 30/08/2018. Οι ώρες κατά τις οποίες καταγράφηκαν οι υψηλές συγκεντρώσεις δεν είναι ώρες εργασίας του εργοταξίου, και πιθανών αυτές οι τιμές να οφείλονται σε πολύ ισχυρούς τοπικούς ανέμους κατά την συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

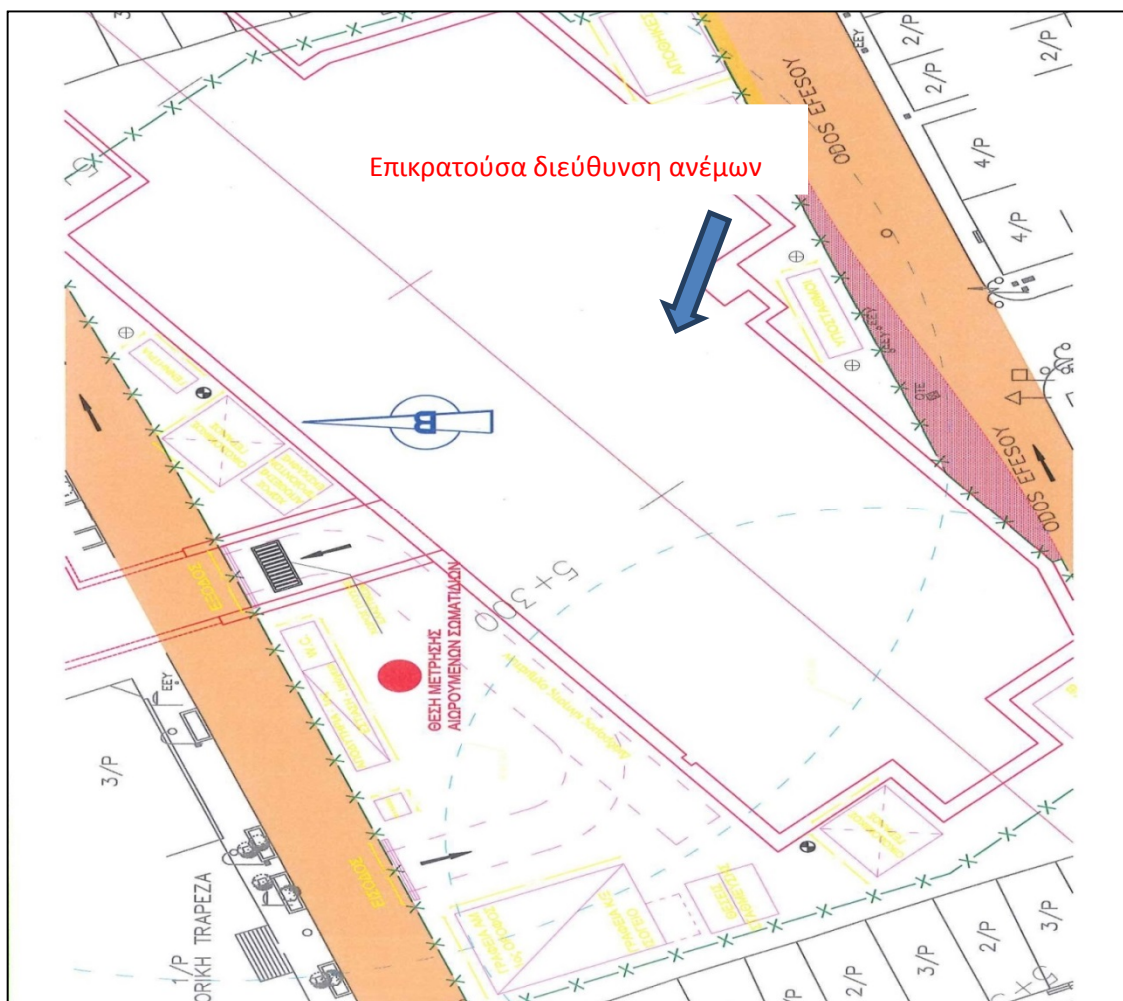
"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 96

### 7.1.3 Σταθμός Νίκαια

#### Ενδεικτική Θέση Μέτρησης

Στο Σχήμα 10 παρουσιάζεται ενδεικτική θέση όπου πραγματοποιήθηκαν οι 24ωρες μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, με τον ειδικό κινητό σταθμό μετρήσεων (DUST TRAK II), κατάλληλα εξοπλισμένο με σύστημα " Environmental Enclosure", ώστε να παραμένει ανεπηρέαστος από τις εξωτερικές κλιματολογικές συνθήκες και να εξασφαλίζεται η ακριβεία των μετρήσεων. Επίσης εκτελέστηκαν μετρήσεις με δειγματολήπτη DERENDA LVS3.1 με κεφαλή ΑΣ<sub>10</sub> ή ΑΣ<sub>2,5</sub> κατά τα πρότυπα EN12341 & EN14907 αντίστοιχα.



**Σχήμα 11:** Ενδεικτική θέση μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στο Σταθμό Νίκαια

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μετρήσεων των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> και PM<sub>2,5</sub> που αφορούν το Σταθμό Νίκαια για το χρονικό διάστημα 2013 – 2018.

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

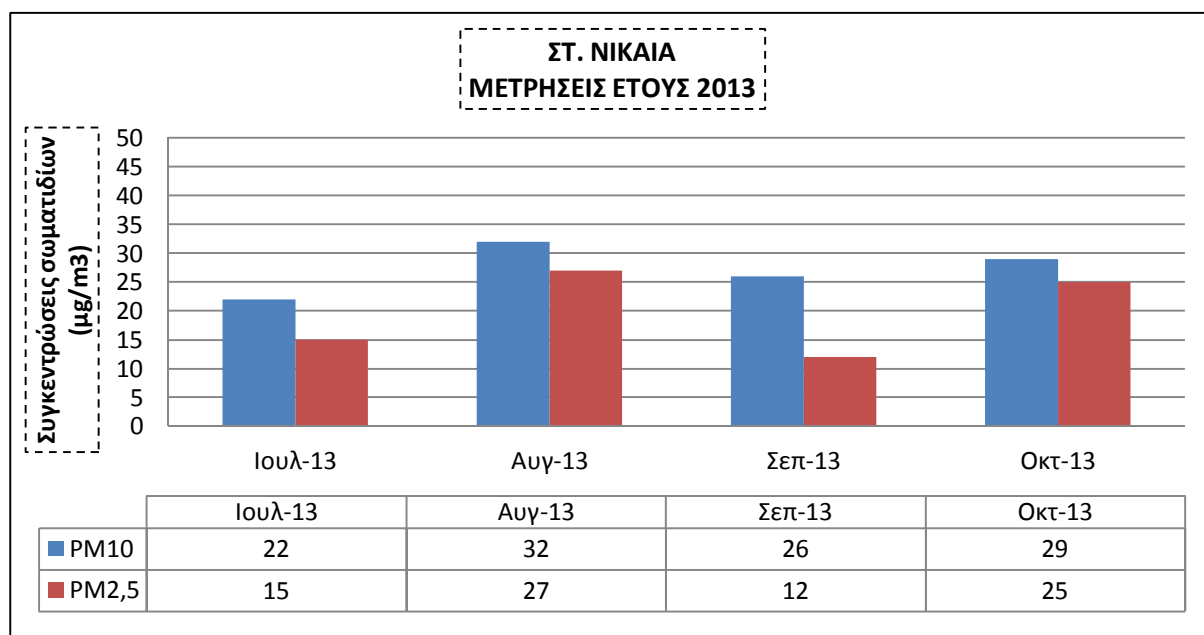
"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	PM10	PM2,5
Ιουλ-13	22	15
Αυγ-13	32	27
Σεπ-13	26	12
Οκτ-13	29	25
Μαϊ-14	42,89	
Ιουν-14	58	47
Ιουλ-14	48	38
Αυγ-14	38	32
Σεπ-14	29	26
Μαϊ-15	22	19
Ιουν-15	31	17
Ιουλ-16	39	24
Αυγ-16	44	28
Ιουν-17	42	23
Αυγ-17	48	31
Ιουλ-18	41	37
Σεπ-18	44	33

**Πίνακας 13:** Αναλυτικά αποτελέσματα μετρήσεων συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων Σταθμού Νίκαια

Οι μετρήσεις με πράσινο χρώμα εκτελέστηκαν σύμφωνα με τα πρότυπα EN12341 & EN14907 από τον Σύμβουλο Μελετητή του Αναδόχου ΣΣΕ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.

**Έτος 2013**



**Διάγραμμα 20:** Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2013

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα δεν καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 κατά τους μήνες Ιούλιο έως Οκτώβριο. Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν τους μήνες Αύγουστο και Οκτώβριο, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20µgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

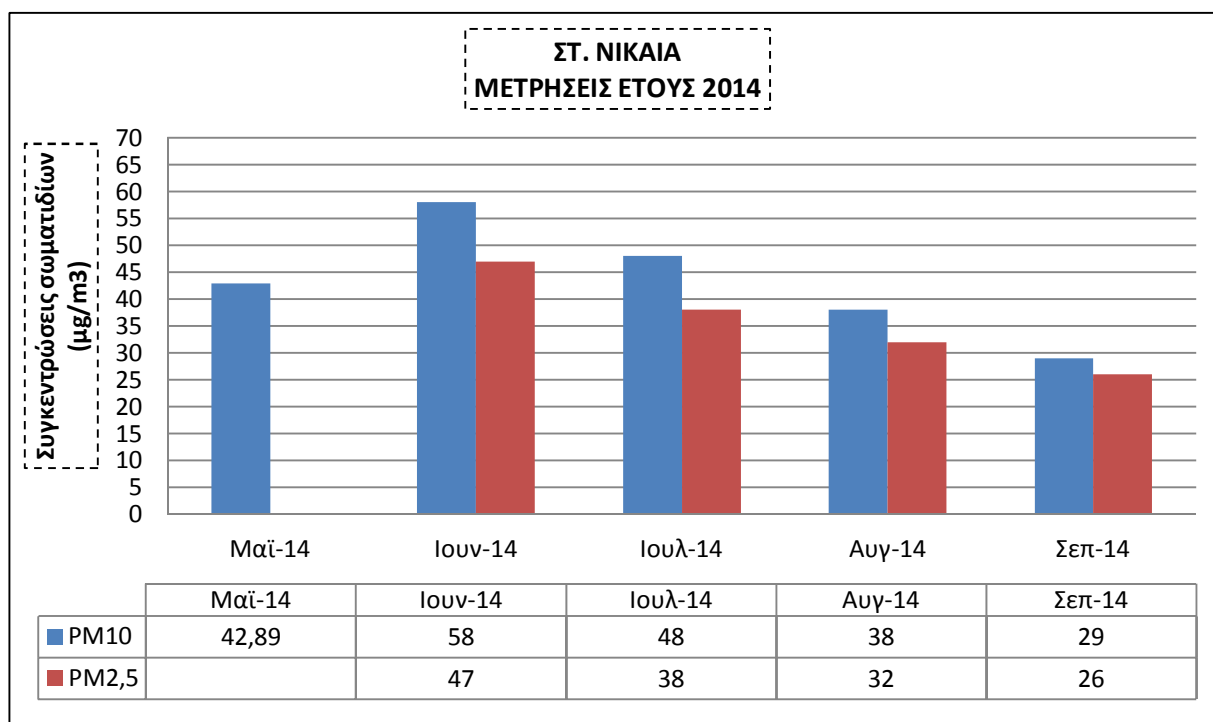
Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα ήταν: τους μήνες Ιούλιο – Αύγουστο εκτελούνταν εργασίες διάτρησης φρεατοπασσάλων, ενώ Σεπτέμβριο – Οκτώβριο άρχισαν οι εργασίες εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης (εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος, διάτρηση και πάκτωση προεντεταμένων αγκυριών) του 1<sup>ου</sup> επιπέδου του σταθμού. Οι εν λόγω εργασίες μπορούν να προκαλέσουν σημαντική εκπομπή σκόνης, και εκτελούνται στο επίπεδο οδού.

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"



**Έτος 2014**



**Διάγραμμα 21:** Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2014

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 κατά τον μήνα Ιούνιο, ενώ καταγράφηκε σχετικά υψηλή τιμή και τον μήνα Ιούλιο.

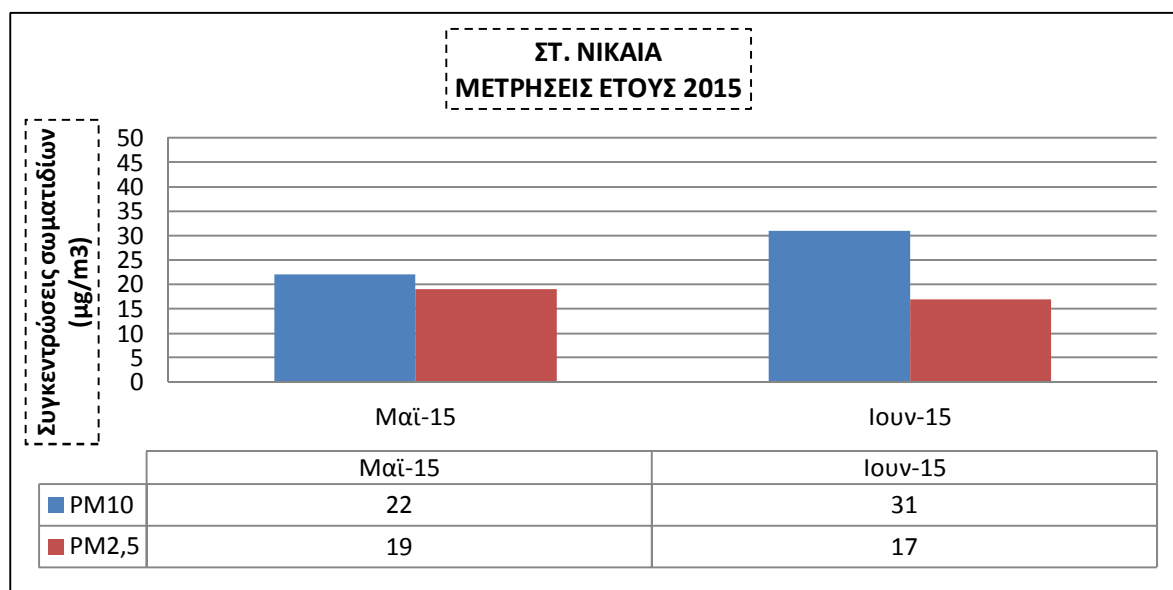
Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν τους μήνες Ιούνιο και Σεπτέμβριο υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20µg/m<sup>3</sup> για το έτος 2020, με ιδιαίτερα υψηλές τιμές τους μήνες Ιούνιο – Ιούλιο.

Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα ήταν εργασίες εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης (εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος, διάτρηση και πάκτωση προεντεταμένων αγκυρίων) του 6<sup>ου</sup> επιπέδου του σταθμού καθώς και εργασίες κατασκευής της τελικής επένδυσης του σταθμού. Οι εν λόγω εργασίες μπορούν να προκαλέσουν σημαντική εκπομπή σκόνης.

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

**Έτος 2015**



**Διάγραμμα 22: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2015**

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα δεν καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 και PM2,5 κατά τους μήνες Μάιο και Ιούνιο.

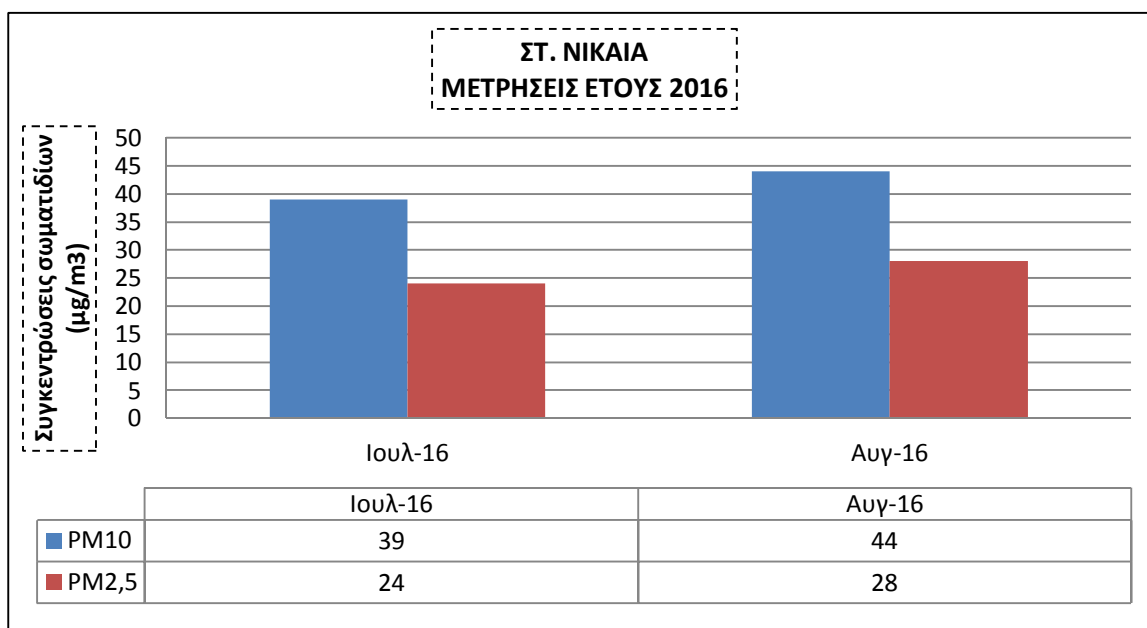
Το έτος 2015 εκτελέστηκαν κατασκευαστικές εργασίες μόνο τους μήνες Μάιο και Ιούνιο, της θερινής περιόδου και ως εκ τούτου οι μετρήσεις περιορίστηκαν σε αυτούς τους μήνες.

Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα ήταν εργασίες κατασκευής της τελικής επένδυσης του σταθμού.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

**Έτος 2016**



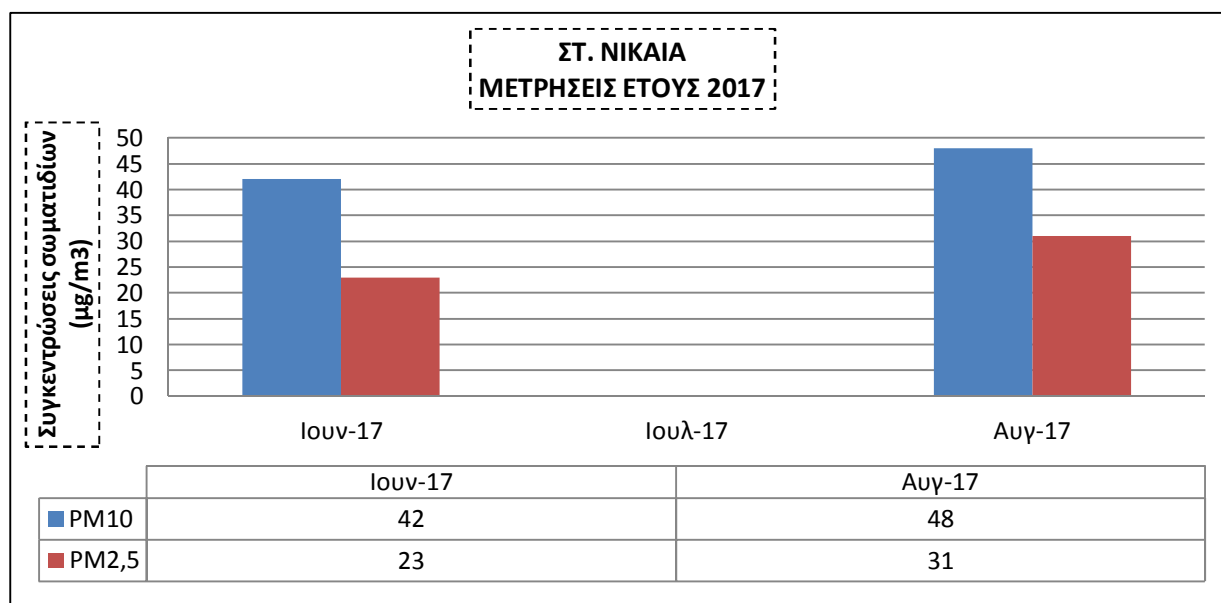
**Διάγραμμα 23: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2016**

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα δεν καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο.

Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20µgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα ήταν εργασίες κατασκευής της τελικής επένδυσης, καθώς και εργασίες τοιχοποιίας εντός του σταθμού.

**Έτος 2017**



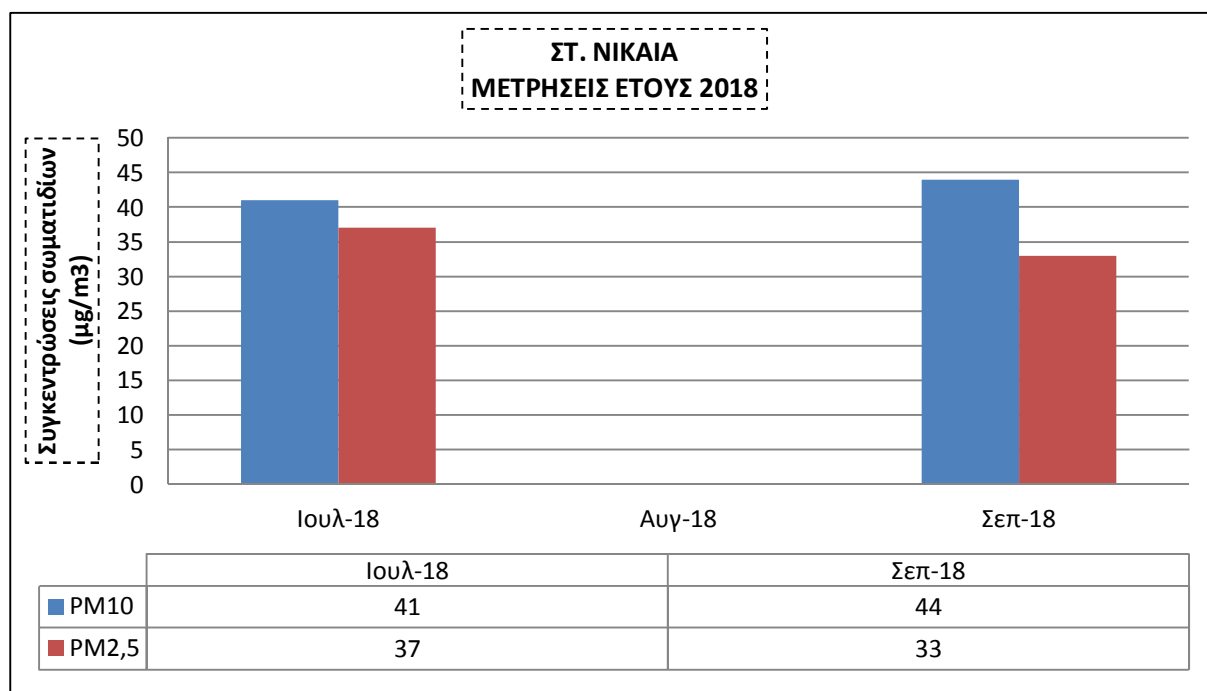
**Διάγραμμα 24: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2017**

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα δεν καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 κατά τους μήνες Ιούνιο και Αύγουστο.

Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν τους μήνες Ιούνιο και Αύγουστο υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20µgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα ήταν αρχιτεκτονικές εργασίες εντός του σταθμού (τοποθέτηση κεραμικών πλακιδίων, βαφές κλιμακοστασίων). Επίσης εκτελέσθηκαν εργασίες επίχωσης της πλάκας οροφής του σταθμού στο επίπεδο οδού. Οι εργασίες των βαφών μπορούν να δώσουν σημαντικές εκπομπές σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, λόγω των εργασιών λείανσης των επιφανειών που πρόκειται να διαστρωθούν. Επίσης οι εργασίες επιχώσεων είναι ιδιαίτερα επιβαρυντικές στην παραγωγή σκόνης, λόγω της μεταφοράς και της διάσπρωσης αδρανών υλικών.

**Έτος 2018**



**Διάγραμμα 25: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2018**

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα δεν καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 κατά τους μήνες Ιούνιο και Αύγουστο. Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν τους μήνες Ιούλιο και Σεπτέμβριο υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20µgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα ήταν αρχιτεκτονικές εργασίες εντός του σταθμού (τοποθέτηση γρανιτών) καθώς και εργασίες εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης της σήραγγας αερισμού του σταθμού. Οι εργασίες των εκσκαφών μπορούν να δώσουν σημαντικές εκπομπές σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.

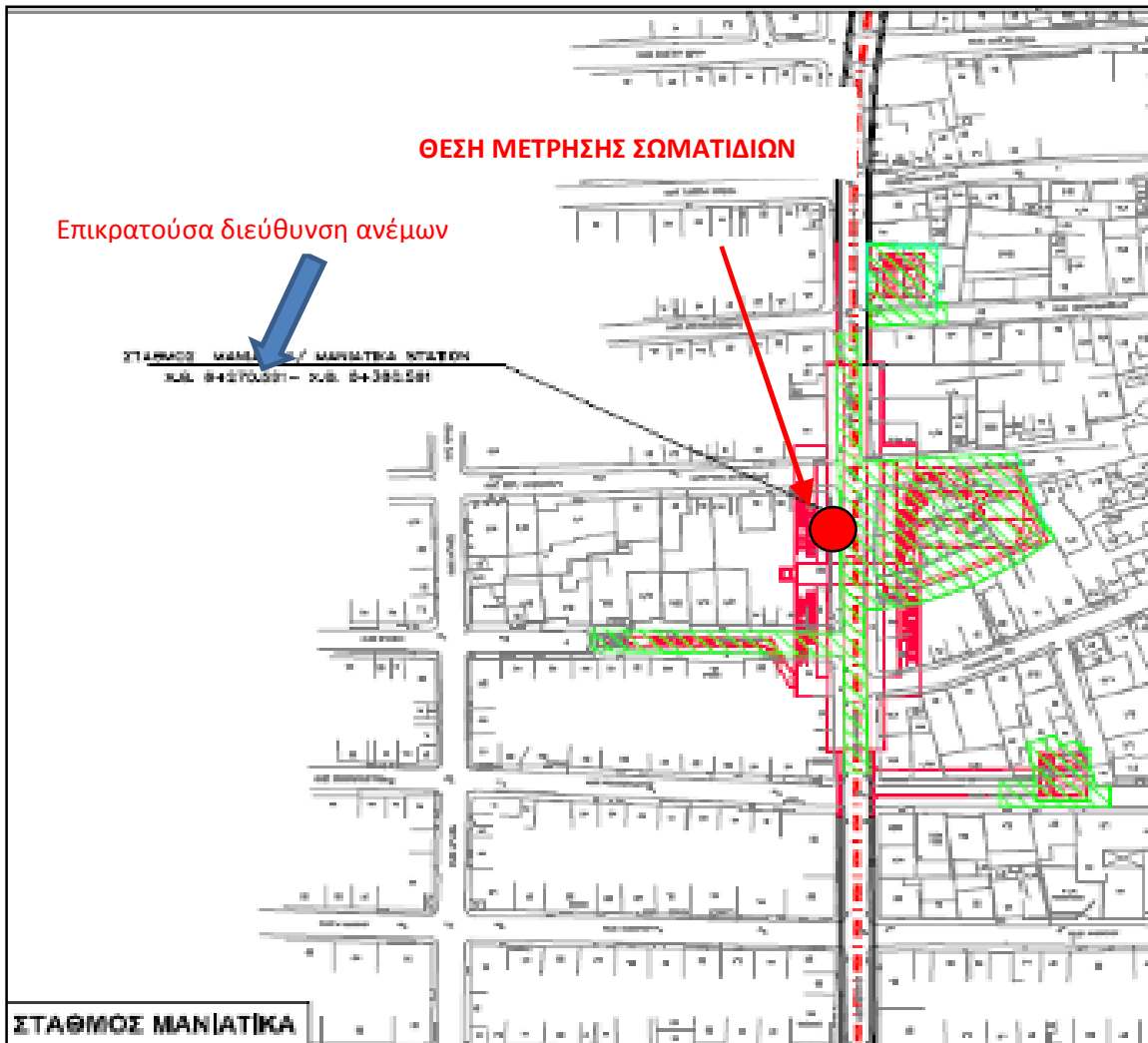
**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

#### 7.1.4 Σταθμός Μανιάτικα

##### Ενδεικτική Θέση Μέτρησης

Στο Σχήμα 10 παρουσιάζεται ενδεικτική θέση όπου πραγματοποιήθηκαν οι 24ωρες μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, με τον ειδικό κινητό σταθμό μετρήσεων (DUST TRAK II), κατάλληλα εξοπλισμένο με σύστημα " Environmental Enclosure", ώστε να παραμένει ανεπηρέαστος από τις εξωτερικές κλιματολογικές συνθήκες και να εξασφαλίζεται η ακριβεία των μετρήσεων. Επίσης εκτελέστηκαν μετρήσεις με δειγματολήπτη DERENDA LVS3.1 με κεφαλή  $AS_{10}$  ή  $AS_{2,5}$  κατά τα πρότυπα EN12341 & EN14907 αντίστοιχα.



**Σχήμα 12:** Ενδεικτική θέση μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στο Σταθμό Μανιάτικα

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μετρήσεων των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων  $PM_{10}$  και  $PM_{2,5}$  που αφορούν το Σταθμό Μανιάτικα για το χρονικό διάστημα 2014 – 2018.

##### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

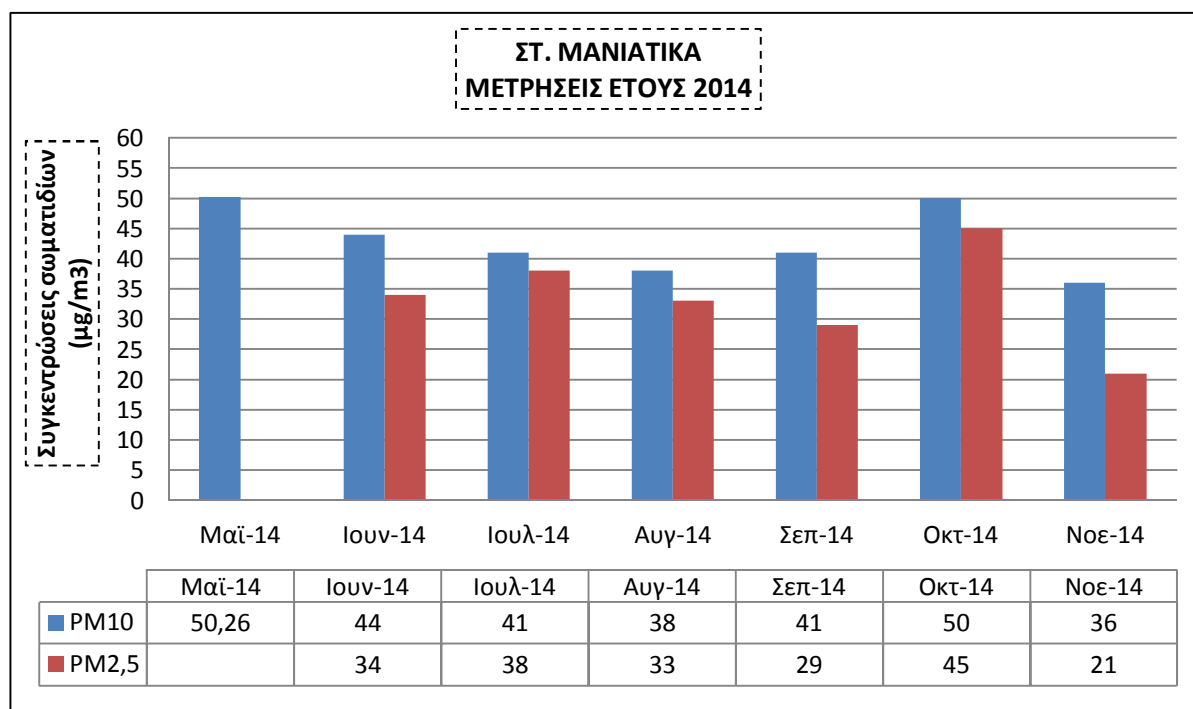
"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	PM10	PM2,5
Μαϊ-14	50,26	
Ιουν-14	44	34
Ιουλ-14	41	38
Αυγ-14	38	33
Σεπ-14	41	29
Οκτ-14	50	45
Νοε-14	36	21
Μαϊ-15	53	35
Ιουν-15	44	34
Μαϊ-16	29	20
Ιουν-16	46	29
Ιουλ-16	43,01	41,65
Αυγ-16	21	18
Σεπ-16	48	28
Ιουν-17	41	25
Αυγ-17	22	17
Σεπ-17	37	34
Μαϊ-18	39	28
Ιουν-18	40	22
Ιουλ-18	58,29	46,51
Αυγ-18	58	50
Σεπ-18	42	25

**Πίνακας 14:** Αναλυτικά αποτελέσματα μετρήσεων συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων Σταθμού Μανιάτικα

Οι μετρήσεις με πράσινο χρώμα εκτελέστηκαν σύμφωνα με τα πρότυπα EN12341 & EN14907 από τον Σύμβουλο Μελετητή του Αναδόχου ΣΣΕ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.

Έτος 2014



**Διάγραμμα 26: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2014**

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 τον μήνα Μάιο. Ωστόσο παρουσιάζονται σε όλο το χρονικό διάστημα των μετρήσεων ιδιαίτερα υψηλές τιμές συγκεντρώσεων έως και 50µgr/m<sup>3</sup>.

Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν σε όλους τους μήνες των μετρήσεων, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20µgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

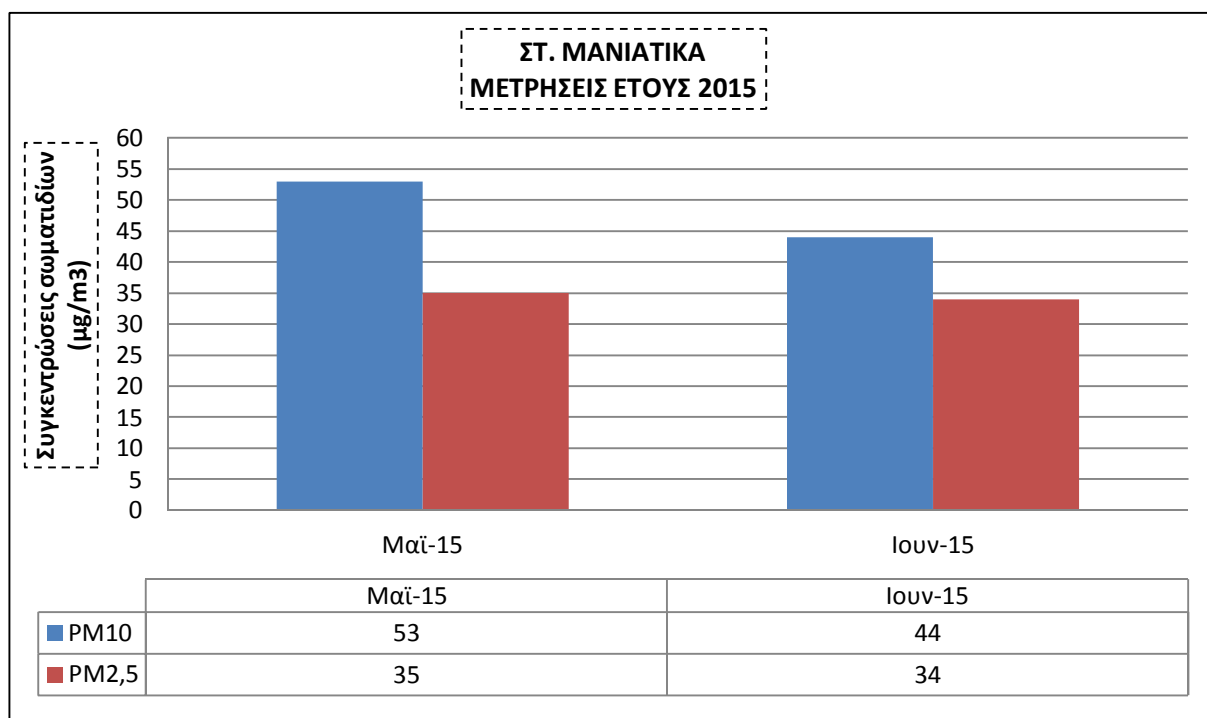
Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα ήταν εργασίες εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης (εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος, διάτρηση και πάκτωση προεντεταμένων αγκυρίων) του 1<sup>ου</sup> επιπέδου του σταθμού. Οι εν λόγω εργασίες μπορούν να προκαλέσουν σημαντική εκπομπή σκόνης, ιδιαίτερα σε περίπτωση που εκτελούνται σε πολύ σκληρά πετρώματα όπως αυτά που συναντούνται στον σταθμό Μανιάτικα (Ασβεστόλιθοι).

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"



**Έτος 2015**



**Διάγραμμα 27: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2015**

Το έτος 2015 εκτελέστηκαν κατασκευαστικές εργασίες μόνο τους μήνες Μάιο και Ιούνιο, της θερινής περιόδου και ως εκ' τούτου οι μετρήσεις περιορίστηκαν σε αυτούς τους μήνες.

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 τον μήνα Μάιο.

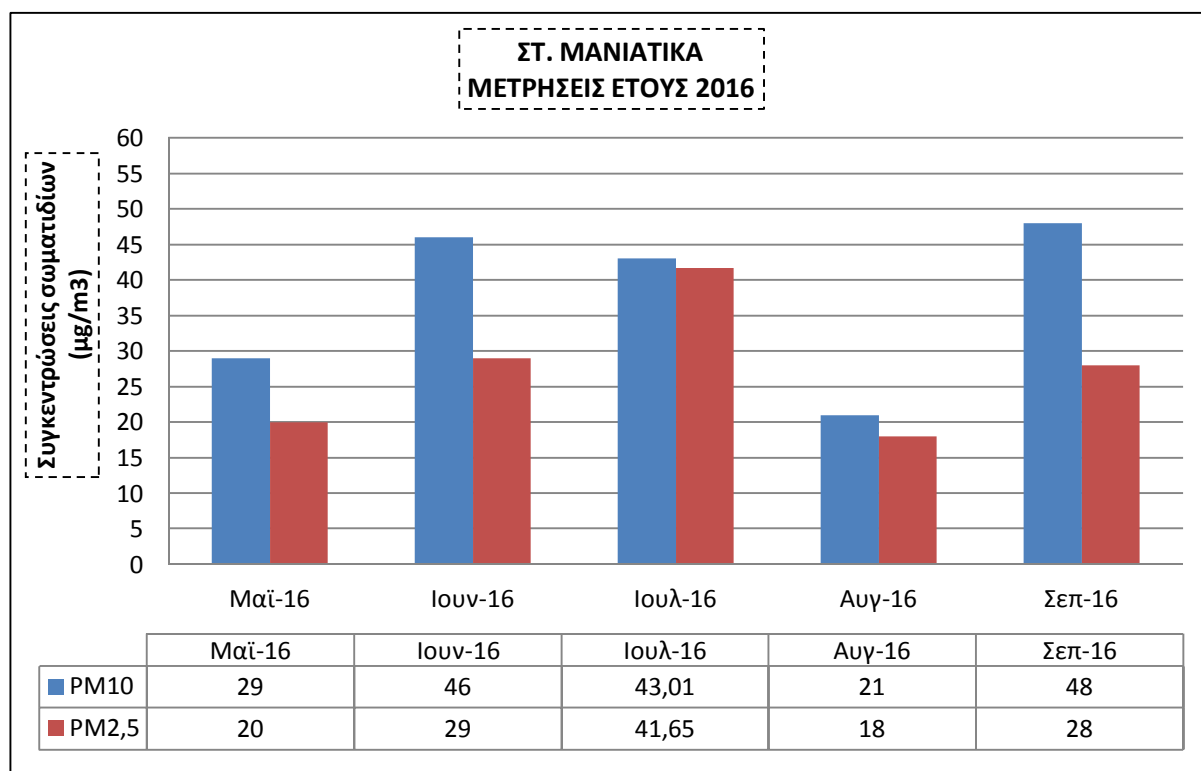
Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν σε όλους τους μήνες των μετρήσεων, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20µgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα ήταν εργασίες εκκαφής και προσωρινής αντιστήριξης (εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος, διάτρηση και πάκτωση προεντεταμένων αγκυριών) του 3<sup>ου</sup> επιπέδου του σταθμού. Οι εν λόγω εργασίες μπορούν να προκαλέσουν σημαντική εκπομπή σκόνης, ιδιαίτερα σε περίπτωση που εκτελούνται σε πολύ σκληρά πετρώματα όπως αυτά που συναντούνται στον σταθμό Μανιάτικα (Ασβεστόλιθοι).

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

**Έτος 2016**



**Διάγραμμα 28: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2016**

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα δεν καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10. Ωστόσο μετρήθηκαν υψηλές τιμές τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο, και Σεπτέμβριο.

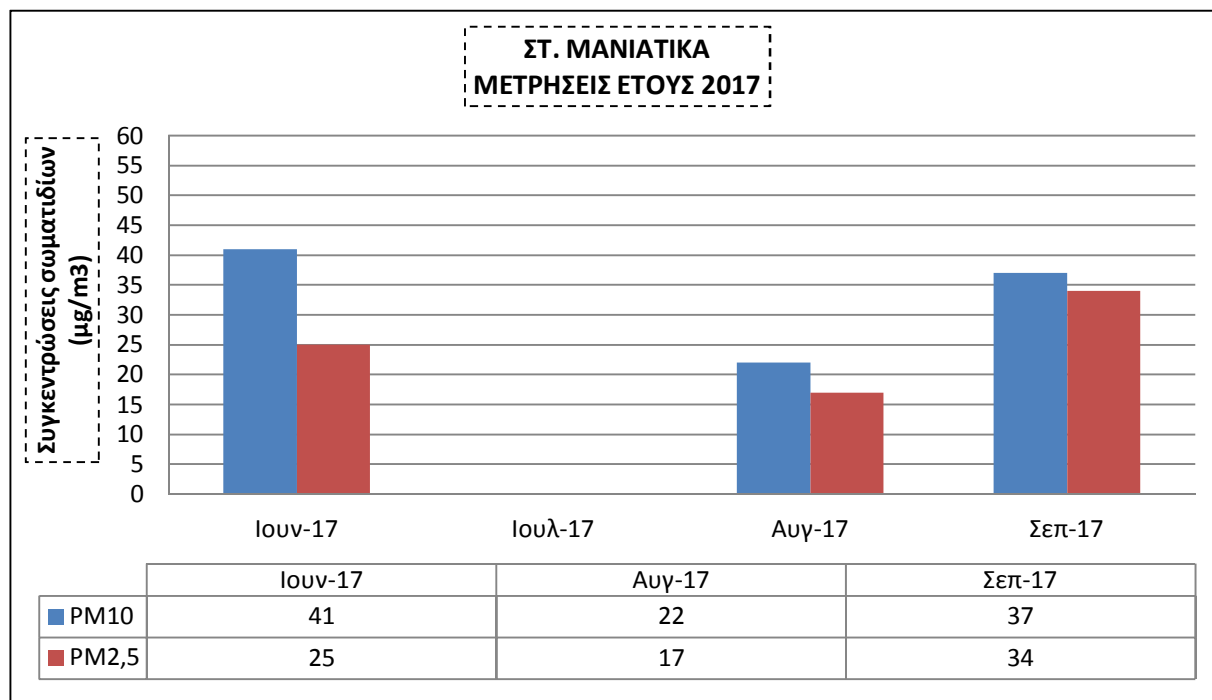
Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν σε όλους τους μήνες των μετρήσεων, εκτός του Αυγούστου, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20µgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα, εκτός του Αυγούστου, ήταν εργασίες εκκαφής και προσωρινής αντιστήριξης (εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος, διάτρηση και πάκτωση προεντεταμένων αγκυριών) του 6<sup>ου</sup> επιπέδου του σταθμού. Επίσης εκτέλεσθηκαν εργασίες κατασκευής της τελικής επένδυσης του υπόγειου τμήματος του σταθμού, κατά τους μήνες Μάιο - Ιούνιο. Τον Αύγουστο δεν εκτελέσθηκαν εργασίες στον σταθμό εξαιτίας της παρουσίας και της συντήρησης του TBM στο σταθμό. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση χαμηλών τιμών συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

**Έτος 2017**



**Διάγραμμα 29: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2017**

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα δεν καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10. Ωστόσο μετρήθηκαν υψηλές τιμές τον μήνα Ιούνιο.

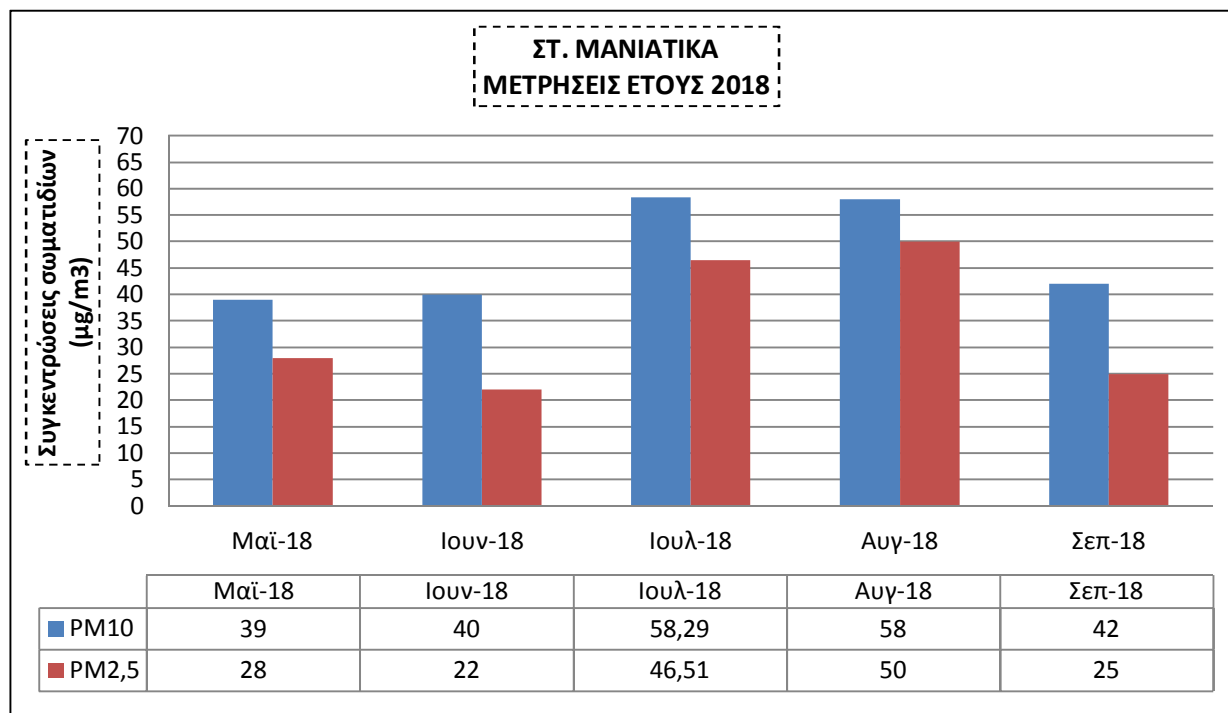
Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν σε όλους τους μήνες των μετρήσεων, εκτός του Αυγούστου, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20µgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα, εκτός του Αυγούστου, ήταν εργασίες εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης (εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος, διάτρηση και πάκτωση προεντεταμένων αγκυρίων) του αντλιοστασίου σταθμού, του Νότιου Φρέατος αερισμού και του υπόγειου τμήματος εξόδου διαφυγής. Επίσης εκτελούνταν εργασίες αποκομιδή προϊόντων εκσκαφής.

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

**Έτος 2018**



**Διάγραμμα 30: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2018**

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα βλέπουμε ότι καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, ενώ μετρήθηκαν σχετικά υψηλές τιμές και τους υπόλοιπους μήνες.

Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν σε όλους τους μήνες των μετρήσεων, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20µgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα, ήταν οι εργασίες εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης (εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος, διάτρηση και πάκτωση προεντεταμένων αγκυριών) των υπόγειων τμημάτων των εξόδων και των κλιμακοστασίων του σταθμού. Επίσης εκτελούνταν εργασίες αποκομιδή προϊόντων εκσκαφής.

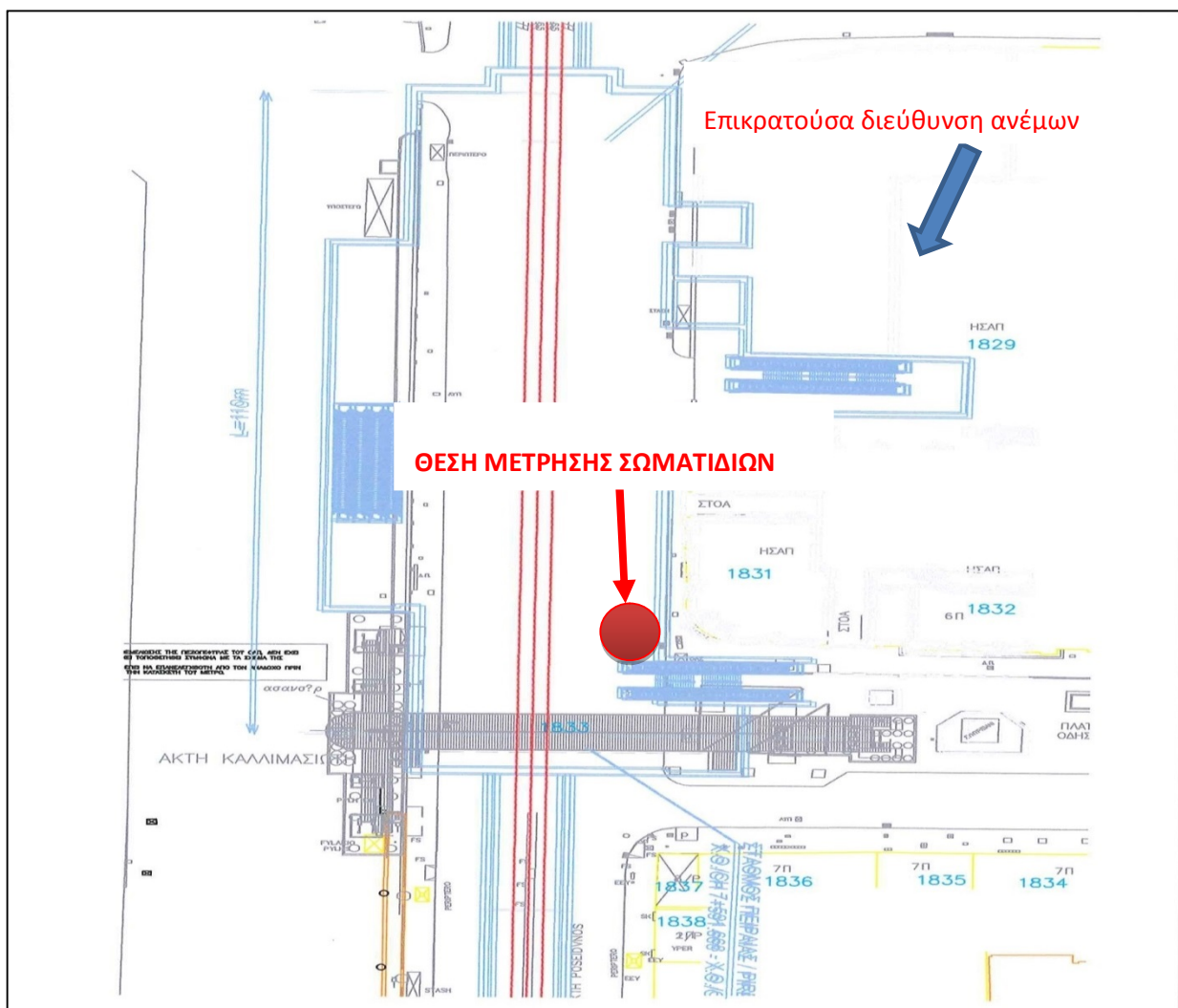
**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

### 7.1.5 Σταθμός Πειραιάς

#### Ενδεικτική Θέση Μέτρησης

Στο Σχήμα 10 παρουσιάζεται ενδεικτική θέση όπου πραγματοποιήθηκαν οι 24ωρες μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, με τον ειδικό κινητό σταθμό μετρήσεων (DUST TRAK II), κατάλληλα εξοπλισμένο με σύστημα " Environmental Enclosure", ώστε να παραμένει ανεπηρέαστος από τις εξωτερικές κλιματολογικές συνθήκες και να εξασφαλίζεται η ακριβεία των μετρήσεων. Επίσης εκτελέστηκαν μετρήσεις με δειγματολήπτη DERENDA LVS3.1 με κεφαλή ΑΣ<sub>10</sub> ή ΑΣ<sub>2,5</sub> κατά τα πρότυπα EN12341 & EN14907 αντίστοιχα.



Σχήμα 13: Ενδεικτική θέση μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στο Σταθμό Πειραιά

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αναλυτικά αποτελέσματα των μετρήσεων των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> και PM<sub>2,5</sub> που αφορούν το Σταθμό Πειραιά για το χρονικό διάστημα 2016 – 2018. Οι εργασίες στον σταθμό ξεκίνησαν το έτος 2016.

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

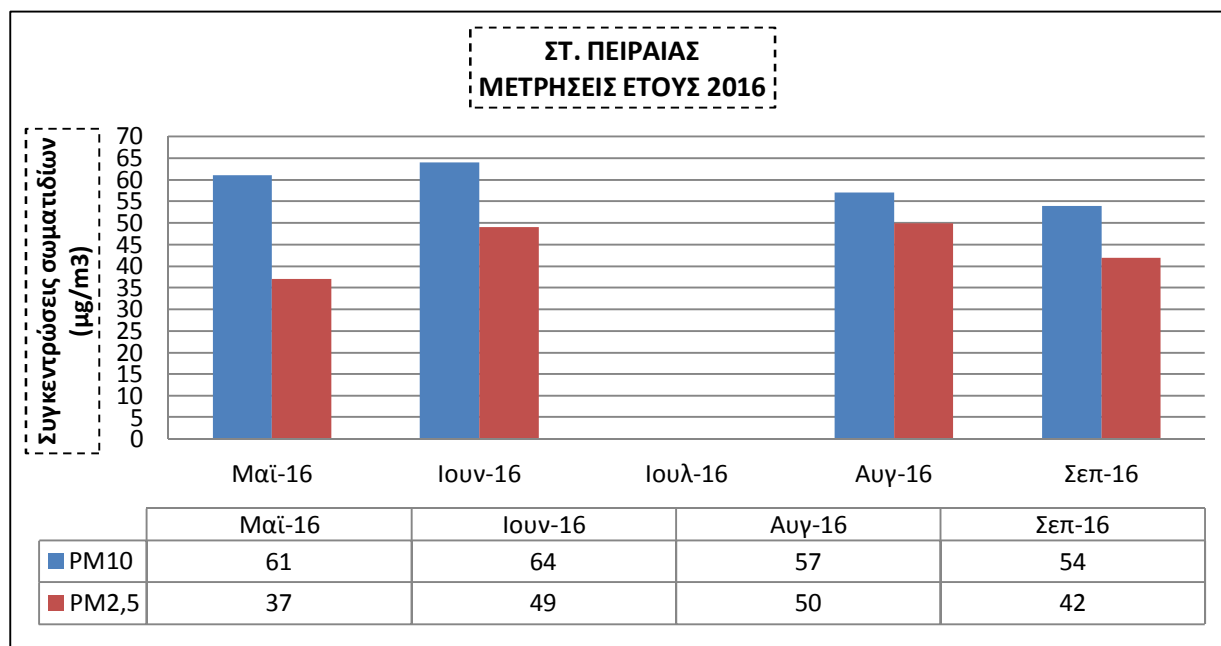
"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	PM10	PM2,5
Μαϊ-16	61	37
Ιουν-16	64	49
Αυγ-16	57	50
Σεπ-16	54	42
Ιουν-17	63	49
Αυγ-17	49,21	54,12
Αυγ-17	58	43
Σεπ-17	21	18
Οκτ-17	70	67
Μαϊ-18	46	32
Ιουν-18	40	24
Ιουλ-18	50	48
Ιουλ-18	36,11	31,32
Αυγ-18	41	35
Σεπ-18	51	42

**Πίνακας 15:** Αναλυτικά αποτελέσματα μετρήσεων συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων Σταθμού Πειραιά

Οι μετρήσεις με πράσινο χρώμα εκτελέστηκαν σύμφωνα με τα πρότυπα EN12341 & EN14907 από τον Σύμβουλο Μελετητή του Αναδόχου ΣΣΕ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.

### Έτος 2016



**Διάγραμμα 31:** Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2016

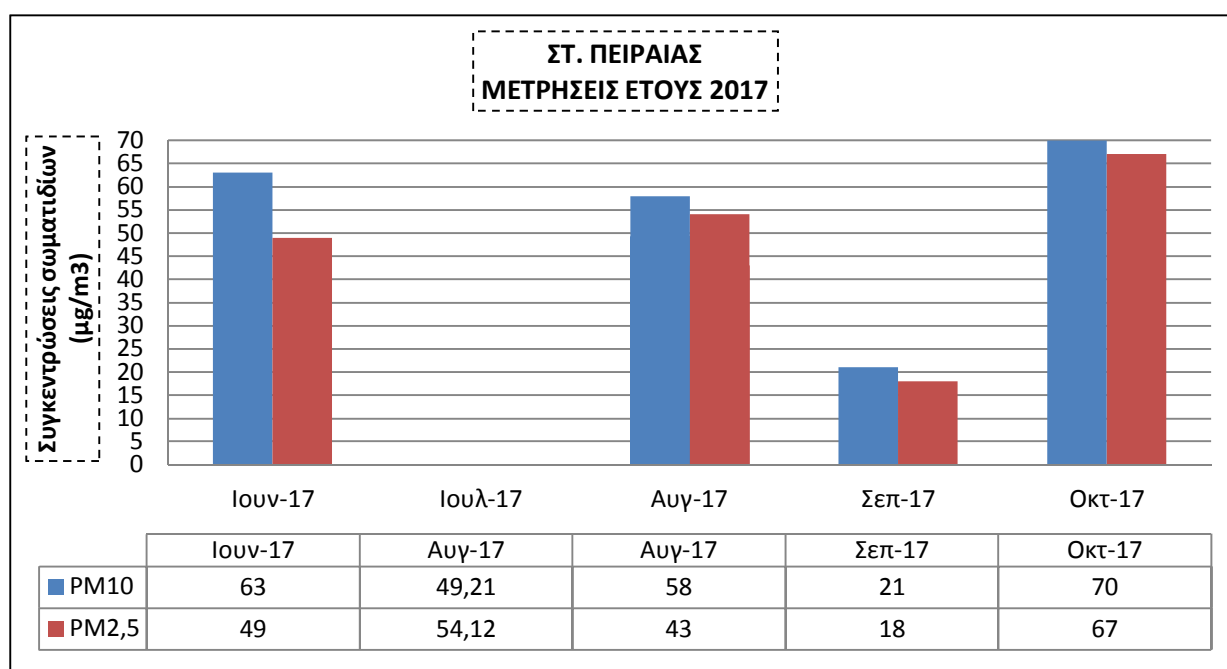
### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα βλέπουμε ότι καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 σε όλους τους μήνες των μετρήσεων. Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, επίσης ήταν σε όλους τους μήνες των μετρήσεων, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20μg/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα, ήταν οι εργασίες εκσκαφής και σκυροδέτησης διαφραγματικών τοίχων με χρήση μπεντονίτη και η αποκομιδή προϊόντων εκσκαφής. Οι εν λόγω εργασίες πραγματοποιήθηκαν με ειδικά μηχανήματα βαρέως τύπου των οποίων η κίνηση και μόνο προκαλεί σημαντικές εκπομπές σωματιδίων. Επίσης ιδιαίτερα επιβαρυντική είναι και η χρήση μπεντονίτη λόγω του λεπτόκοκκου χαρακτήρα του υλικού.

### Έτος 2017



**Διάγραμμα 32: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2017**

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα βλέπουμε ότι καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10, κατά τους μήνες Ιούνιο, Αύγουστο και Οκτώβριο.

Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, επίσης ήταν σε όλους τους μήνες των μετρήσεων, εκτός του Σεπτεμβρίου, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20μg/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν τον Ιούνιο και τον Αύγουστο, ήταν οι εργασίες εκσκαφής και σκυροδέτησης διαφραγματικών τοίχων με χρήση μπεντονίτη και η αποκομιδή προϊόντων εκσκαφής. Επίσης εκτελούνταν εργασίες διάτρησης και κατασκευής φρεατοπασσάλων. Τον Οκτώβριο εκτελούνταν εργασίες εκσκαφής και σκυροδέτησης του κεφαλόδεσμου των

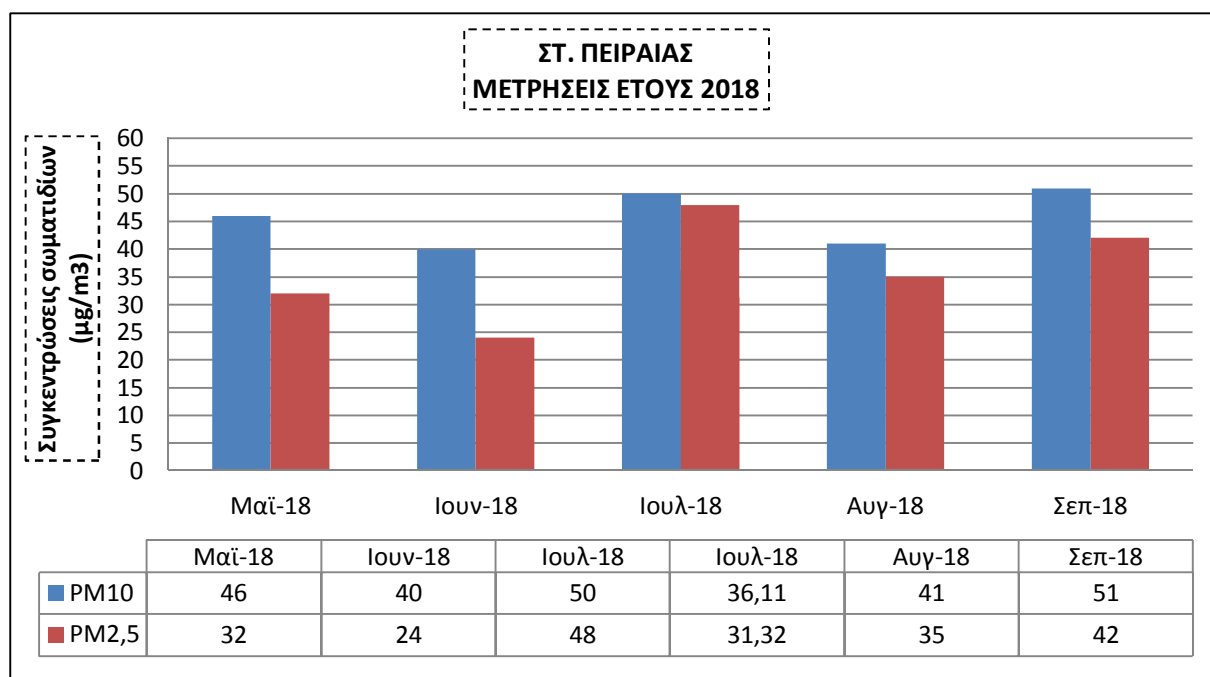
#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

διαφραγματικών τοίχων. Οι εν λόγω εργασίες πραγματοποιήθηκαν με ειδικά μηχανήματα βαρέως τύπου των οποίων η κίνηση και μόνο προκαλεί σημαντικές εκπομπές σωματιδίων. Επίσης ιδιαίτερα επιβαρυντική είναι και η χρήση μπεντονίτη λόγω του λεπτόκοκκου χαρακτήρα του υλικού.

Τον μήνα Σεπτέμβριο εκτελέσθηκαν μόνο εργασίες κατασκευής των φρεατίων άντλησης των υπόγειων υδάτων του σταθμού με αποτέλεσμα την καταγραφή χαμηλών τιμών συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων.

### Έτος 2018



**Διάγραμμα 33: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2018**

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα βλέπουμε ότι καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10, τον μήνα Σεπτέμβριο, ενώ όλες οι μετρήσεις έδωσαν σχετικά υψηλές τιμές συγκέντρωσης σωματιδίων.

Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, επίσης ήταν σε όλους τους μήνες των μετρήσεων, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20µgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν τον Ιούνιο και τον Αύγουστο, ήταν οι εργασίες εκσκαφής και τοποθέτησης των αντιρήδων αντιστήριξης του σταθμού. Οι εν λόγω εργασίες πραγματοποιήθηκαν με ειδικά μηχανήματα βαρέως τύπου των οποίων η κίνηση και μόνο προκαλεί σημαντικές εκπομπές σωματιδίων.

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

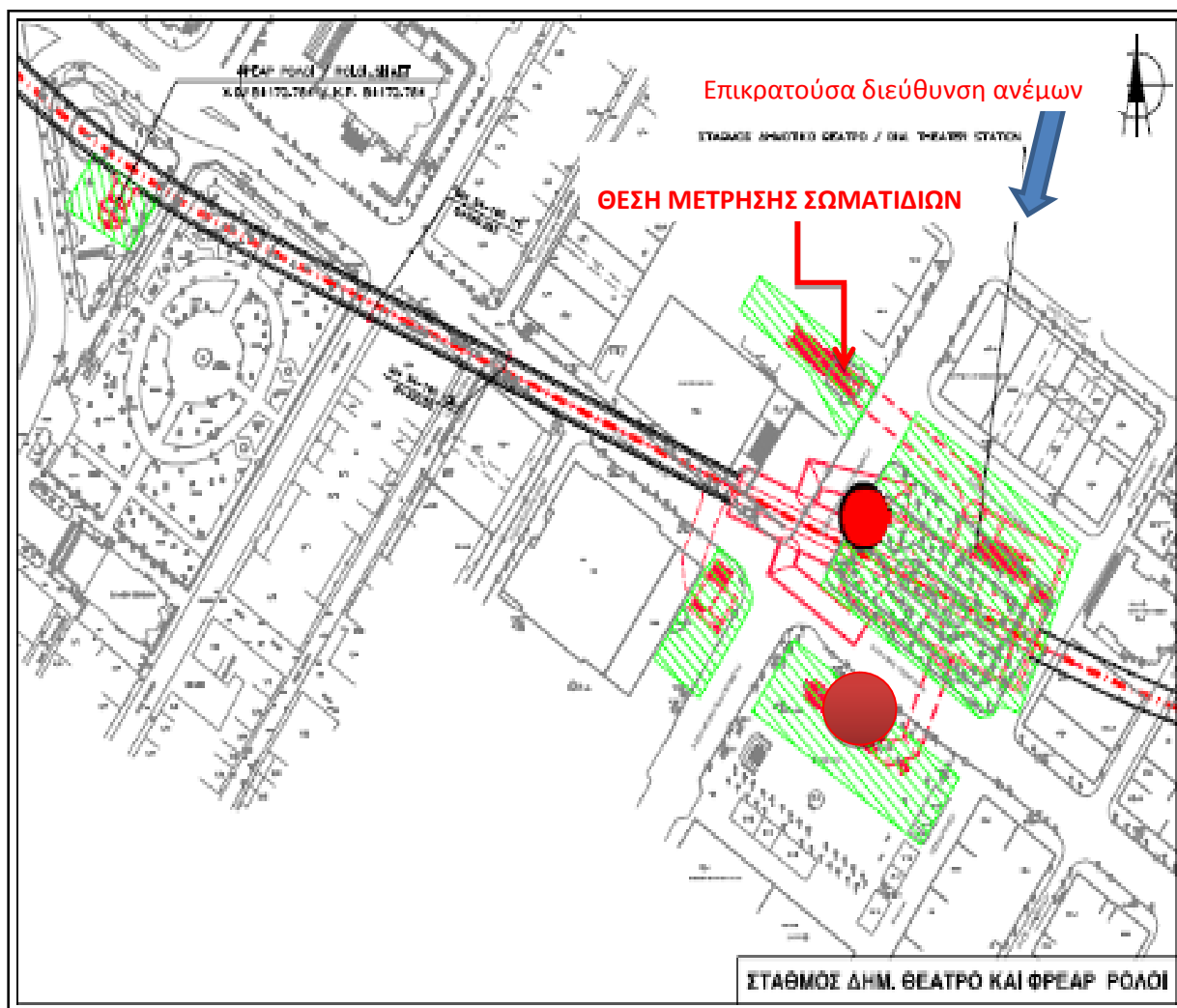
"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"



### 7.1.6 Σταθμός Δημοτικό Θέατρο

#### Ενδεικτική Θέση Μέτρησης

Στο Σχήμα 10 παρουσιάζεται ενδεικτική θέση όπου πραγματοποιήθηκαν οι 24ωρες μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, με τον ειδικό κινητό σταθμό μετρήσεων (DUST TRAK II), κατάλληλα εξοπλισμένο με σύστημα " Environmental Enclosure", ώστε να παραμένει ανεπηρέαστος από τις εξωτερικές κλιματολογικές συνθήκες και να εξασφαλίζεται η ακριβεία των μετρήσεων. Επίσης εκτελέστηκαν μετρήσεις με δειγματολήπτη DERENDA LVS3.1 με κεφαλή ΑΣ<sub>10</sub> ή ΑΣ<sub>2,5</sub> κατά τα πρότυπα EN12341 & EN14907 αντίστοιχα.



**Σχήμα 14:** Ενδεικτική θέση μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στο Σταθμό Δημοτικό Θέατρο

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αναλυτικά αποτελέσματα των μετρήσεων των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> και PM<sub>2,5</sub> που αφορούν το Σταθμό Δημοτικό Θέατρο για το χρονικό διάστημα 2014 – 2018.

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	PM10	PM2,5
Μαϊ-14	49,74	
Ιουν-14	35	29
Ιουλ-14	38	31
Αυγ-14	32	24
Σεπ-14	37	28
Οκτ-14	47	42
Νοε-14	25	21
Μαϊ-15	41	30
Ιουν-15	32	28
Μαϊ-16	22	16
Ιουν-16	38	32
Ιουλ-16	48,84	48,44
Αυγ-16	53	46
Σεπ-16	42	26
Μαϊ-17	44	27
Ιουν-17	57	50
Ιουλ-17	49,55	51,55
Αυγ-17	55	42
Οκτ-17	56	53
Ιουλ-18	29,98	31,84
Αυγ-18	44	39
Σεπ-18	47	32

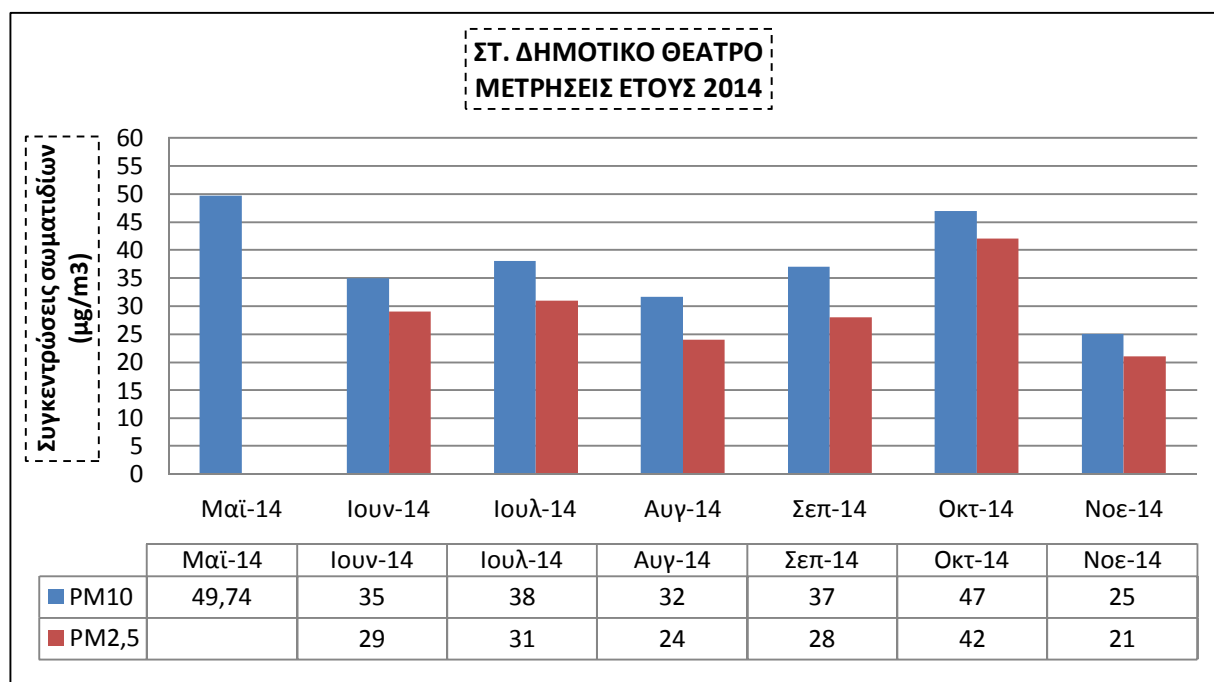
**Πίνακας 16:** Αναλυτικά αποτελέσματα μετρήσεων συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων Σταθμού Δημοτικό Θέατρο

Οι μετρήσεις με πράσινο χρώμα εκτελέστηκαν σύμφωνα με τα πρότυπα EN12341 & EN14907 από τον Σύμβουλο Μελετητή του Αναδόχου ΣΣΕ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Έτος 2014



Διάγραμμα 34: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2014

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα δεν καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 κατά τους μήνες των μετρήσεων. Ωστόσο παρουσιάζονται σε όλο το χρονικό διάστημα υψηλές τιμές συγκεντρώσεων από 37 - 49,74µgr/m<sup>3</sup>.

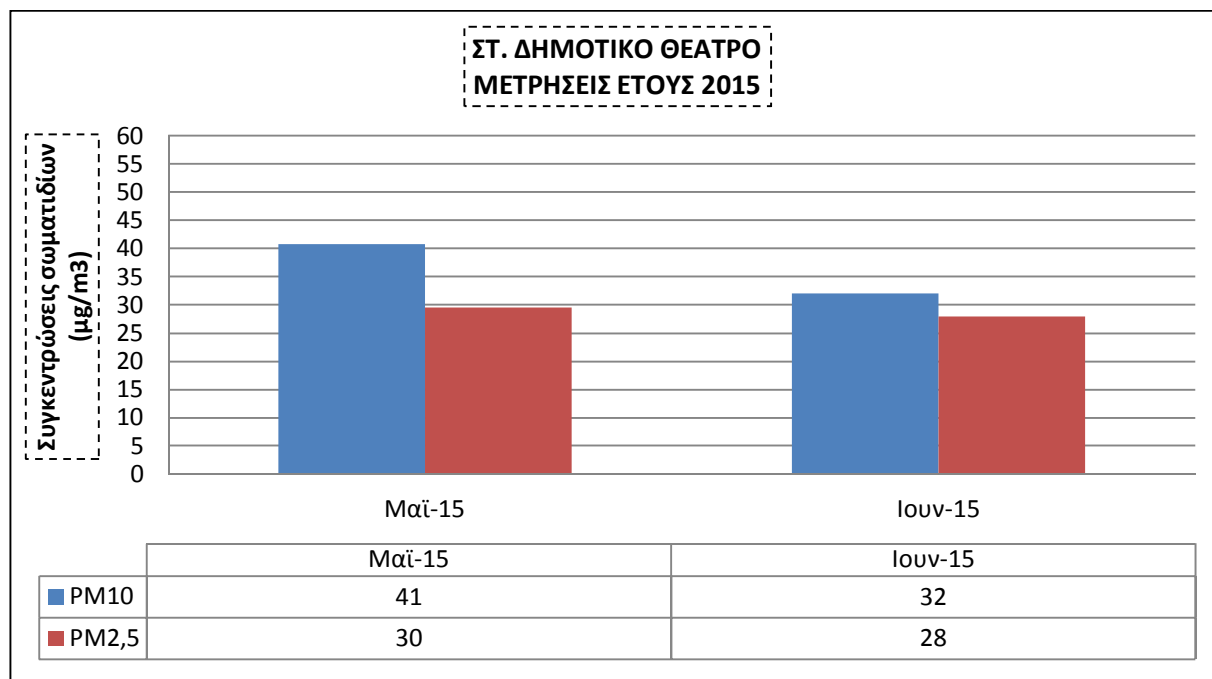
Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν σε όλους τους μήνες των μετρήσεων, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20µgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα ήταν αρχικά (Μάιο) εργασίες διάτρησης και κατασκευής των φρεατοπασσάλων, και στην συνέχεια (Ιούνιος – Νοέμβριος) οι εργασίες εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης (εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος, διάτρηση και πάκτωση προεντεταμένων αγκυριών) των 3 πρώτων επιπέδων του σταθμού. Οι εν λόγω εργασίες μπορούν να προκαλέσουν σημαντική εκπομπή σκόνης, ιδιαίτερα σε περίπτωση που εκτελούνται σε πετρώματα πλούσια σε αργιλικά υλικά, όπως αυτά που συναντούνται στον σταθμό Δημοτικό Θέατρο (μάργες - ψαμμίτες).

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

## Έτος 2015



**Διάγραμμα 35: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2015**

Το έτος 2015 εκτελέστηκαν κατασκευαστικές εργασίες μόνο τους μήνες Μάιο και Ιούνιο, της θερινής περιόδου και ως εκ' τούτου οι μετρήσεις περιορίστηκαν σε αυτούς τους μήνες.

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα δεν καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 κατά τους μήνες των μετρήσεων.

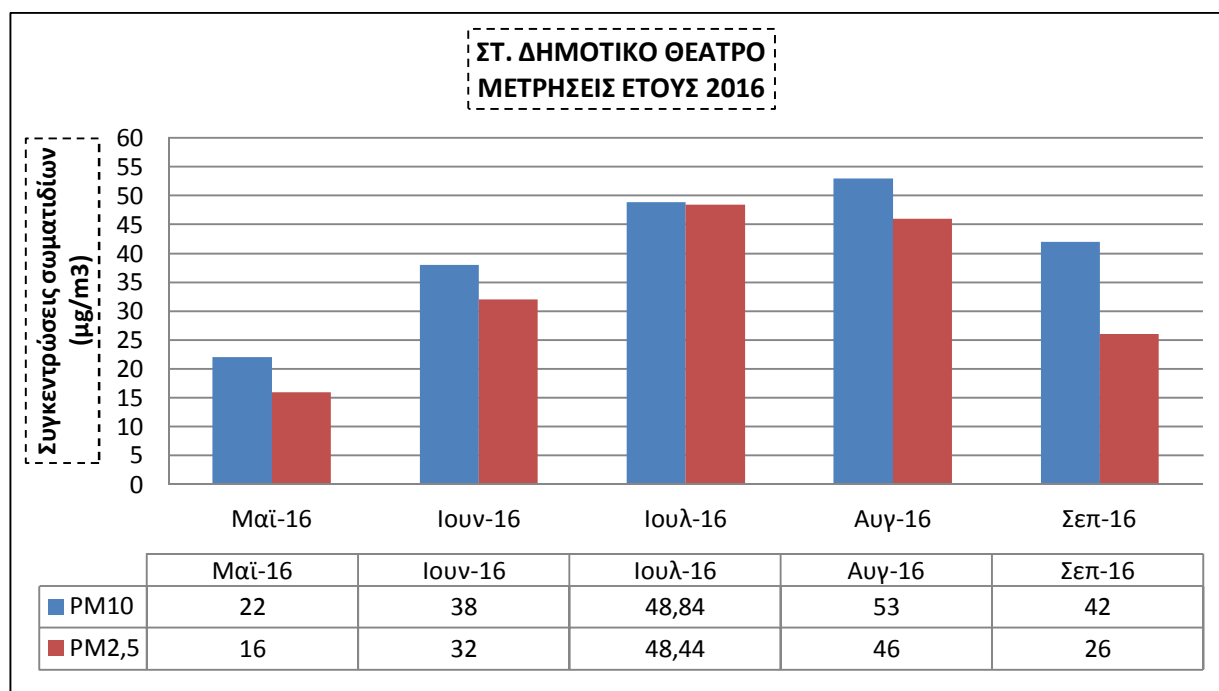
Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν σε όλους τους μήνες των μετρήσεων, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20µg/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα ήταν οι εργασίες εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης (εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος, διάτρηση και πάκτωση προεντεταμένων αγκυρίων) του τελικού επιπέδου του σταθμού. Οι εν λόγω εργασίες μπορούν να προκαλέσουν σημαντική εκπομπή σκόνης, ιδιαίτερα σε περίπτωση που εκτελούνται σε πετρώματα πλούσια σε αργιλικά υλικά, όπως αυτά που συναντούνται στον σταθμό Δημοτικό Θέατρο (μάργες - ψαμμίτες). Στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα οι εν λόγω εργασίες εκτελούνταν σε σημαντικό βάθος από την επιφάνεια του εδάφους κα ως εκ' τούτου παρήγαγαν χαμηλές εκπομπές σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Έτος 2016



**Διάγραμμα 36: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2016**

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 τον Αύγουστο, ενώ υψηλές συγκεντρώσεις καταγράφηκαν επίσης τους μήνες Ιούλιο και Σεπτέμβριο.

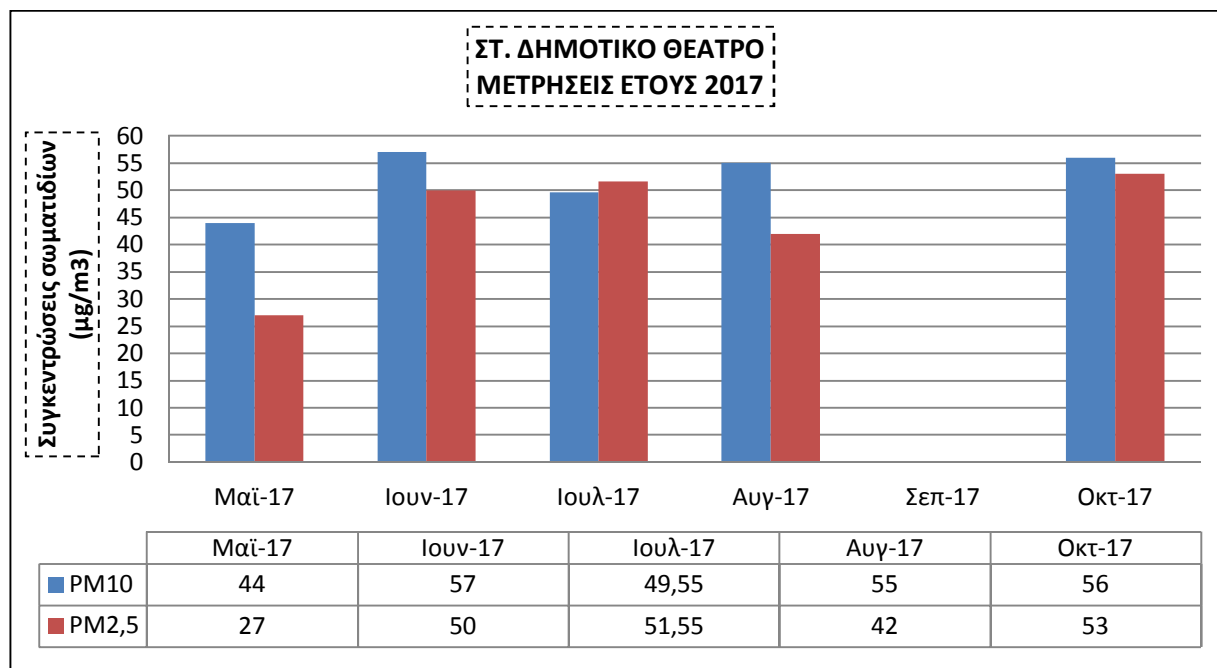
Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν σε όλους τους μήνες των μετρήσεων, εκτός του Μαΐου, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20µgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα ήταν οι εργασίες εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης (εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος, διάτρηση και πάκτωση προεντεταμένων αγκυριών) των φρεατίων εξαερισμού του σταθμού και εργασίες σκυροδέτησης της τελικής επένδυσης του σταθμού. Οι εν λόγω εργασίες μπορούν να προκαλέσουν σημαντική εκπομπή σκόνης, ιδιαίτερα σε περίπτωση που εκτελούνται σε πετρώματα πλούσια σε αργιλικά υλικά, όπως αυτά που συναντούνται στον σταθμό Δημοτικό Θέατρο (μάργες - ψαμμίτες). Στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα οι εν λόγω εργασίες εκτελούνταν σε σημαντικό βάθος από την επιφάνεια του εδάφους κα ως εκ τούτου δεν παρήγαγαν σημαντικές εκπομπές σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

**Έτος 2017**



**Διάγραμμα 37: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2017**

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 τους μήνες Ιούνιο – Αύγουστο και Οκτώβριο, ενώ υψηλές συγκεντρώσεις καταγράφηκαν επίσης τους μήνες Μάιο και Ιούλιο.

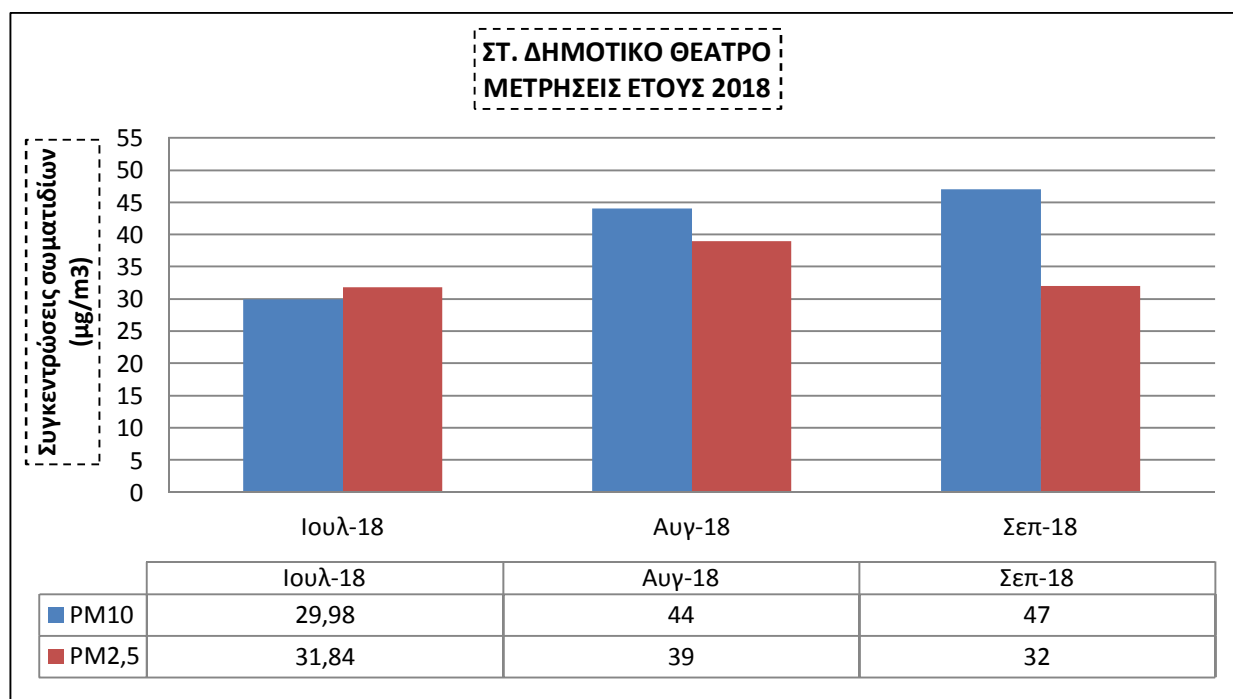
Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν σε όλους τους μήνες των μετρήσεων, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20µgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα ήταν οι εργασίες εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης (εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος, διάτρηση και πάκτωση προεντεταμένων αγκυριών) των φρεατίων εξαερισμού, των κλιμακοστασίων και των εισόδων του σταθμού. Οι εν λόγω εργασίες μπορούν να προκαλέσουν σημαντική εκπομπή σκόνης, ιδιαίτερα σε περίπτωση που εκτελούνται σε πετρώματα πλούσια σε αργιλικά υλικά, όπως αυτά που συναντούνται στον σταθμό Δημοτικό Θέατρο (μάργες - ψαμμίτες).

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

**Έτος 2018**



**Διάγραμμα 38: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2018**

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 τους μήνες Ιούνιο – Αύγουστο και Οκτώβριο, ενώ υψηλές συγκεντρώσεις καταγράφηκαν επίσης τους μήνες Μάιο και Ιούλιο.

Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν σε όλους τους μήνες των μετρήσεων, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20µg/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα ήταν οι εργασίες εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης (εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος, διάτρηση και πάκτωση προεντεταμένων αγκυρίων) των φρεατίων εξαερισμού, των κλιμακοστασίων και των εισόδων του σταθμού. Οι εν λόγω εργασίες μπορούν να προκαλέσουν σημαντική εκπομπή σκόνης, ιδιαίτερα σε περίπτωση που εκτελούνται σε πετρώματα πλούσια σε αργιλικά υλικά, όπως αυτά που συναντούνται στον σταθμό Δημοτικό Θέατρο (μάργες - ψαμμίτες).

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

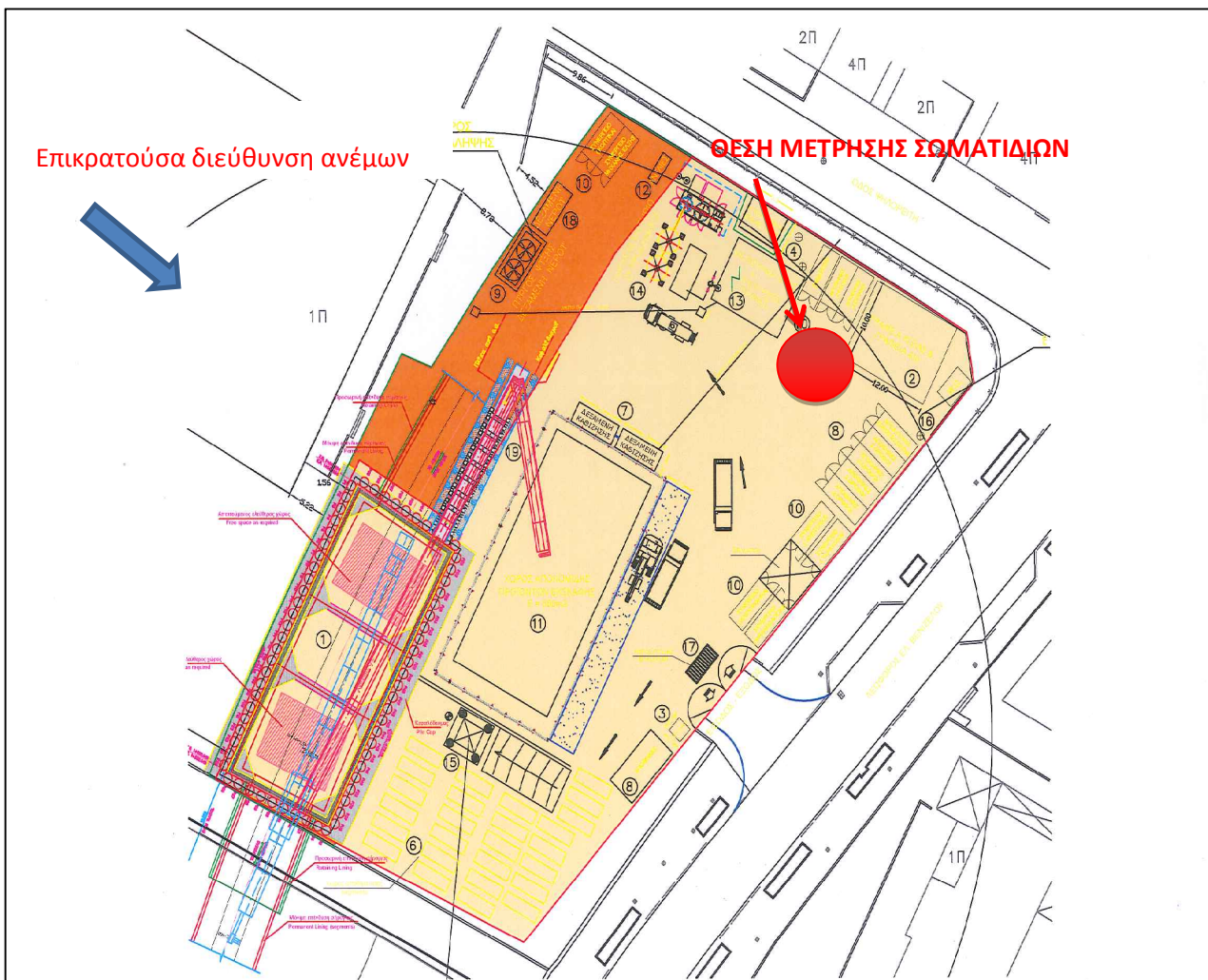
"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"



### 7.1.7 Φρέαρ Εισόδου TBM

#### Ενδεικτική Θέση Μέτρησης

Στο Σχήμα 10 παρουσιάζεται ενδεικτική θέση όπου πραγματοποιήθηκαν οι 24ωρες μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, με τον ειδικό κινητό σταθμό μετρήσεων (DUST TRAK II), κατάλληλα εξοπλισμένο με σύστημα " Environmental Enclosure", ώστε να παραμένει ανεπηρέαστος από τις εξωτερικές κλιματολογικές συνθήκες και να εξασφαλίζεται η ακριβεία των μετρήσεων. Επίσης εκτελέστηκαν μετρήσεις με δειγματολήπτη DERENDA LVS3.1 με κεφαλή ΑΣ<sub>10</sub> ή ΑΣ<sub>2,5</sub> κατά τα πρότυπα EN12341 & EN14907 αντίστοιχα.



**Σχήμα 15:** Ενδεικτική θέση μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στο Φρέαρ Εισόδου TBM

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αναλυτικά αποτελέσματα των μετρήσεων των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> και PM<sub>2,5</sub> που αφορούν το Φρέαρ Εισόδου TBM για το χρονικό διάστημα 2013 – 2018.

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

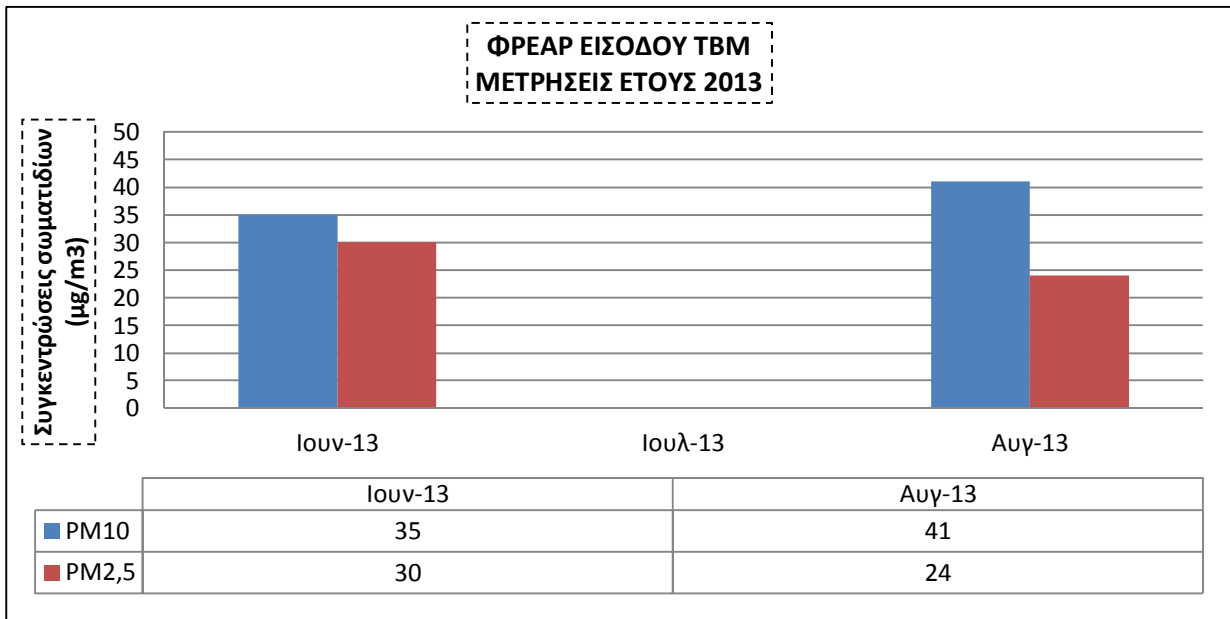


ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	PM10	PM2,5
Ιουν-13	35	30
Αυγ-13	41	24
Μαϊ-14	28	9
Ιουν-14	31	23
Ιουλ-14	48	39
Αυγ-14	35	28
Σεπ-14	47	40
Οκτ-14	42	33
Νοε-14	41	18
Μαϊ-16	34	21
Ιουν-16	52	42
Ιουλ-16	37,9	37,39
Αυγ-16	39	27
Σεπ-16	48	40
Ιουλ-17	39	21
Σεπ-17	41	24
Ιουν-18	39	26
Αυγ-18	50	43

**Πίνακας 17:** Αναλυτικά αποτελέσματα μετρήσεων συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων Φρέατος Εισόδου TBM

Οι μετρήσεις με πράσινο χρώμα εκτελέστηκαν σύμφωνα με τα πρότυπα EN12341 & EN14907 από τον Σύμβουλο Μελετητή του Αναδόχου ΣΣΕ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.

**Έτος 2013**



**Διάγραμμα 39: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2013**

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα δεν καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 κατά τους μήνες των μετρήσεων.

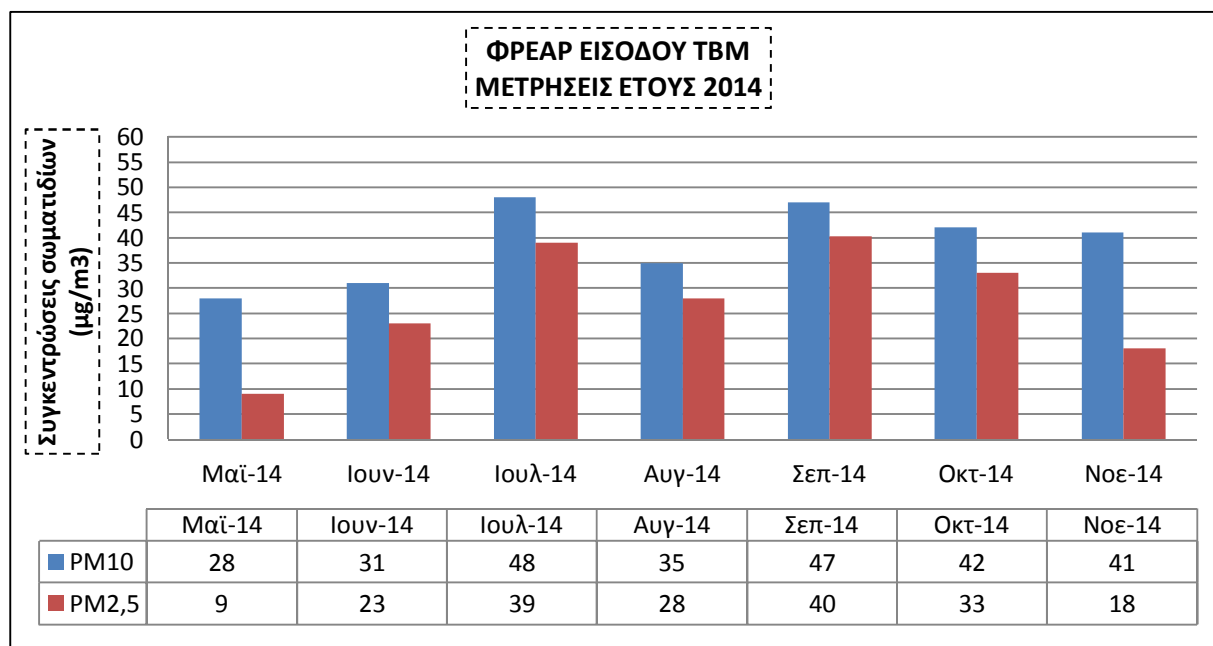
Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν σε όλους τους μήνες των μετρήσεων, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20μg/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα ήταν εργασίες κατασκευής των εργοταξιακών εγκαταστάσεων και προεργασίες κατασκευής των φρεατοπασσάλων του φρέατος (κατασκευή σιδηρού οπλισμού, προδιατρήσεις).

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Έτος 2014



**Διάγραμμα 40: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2014**

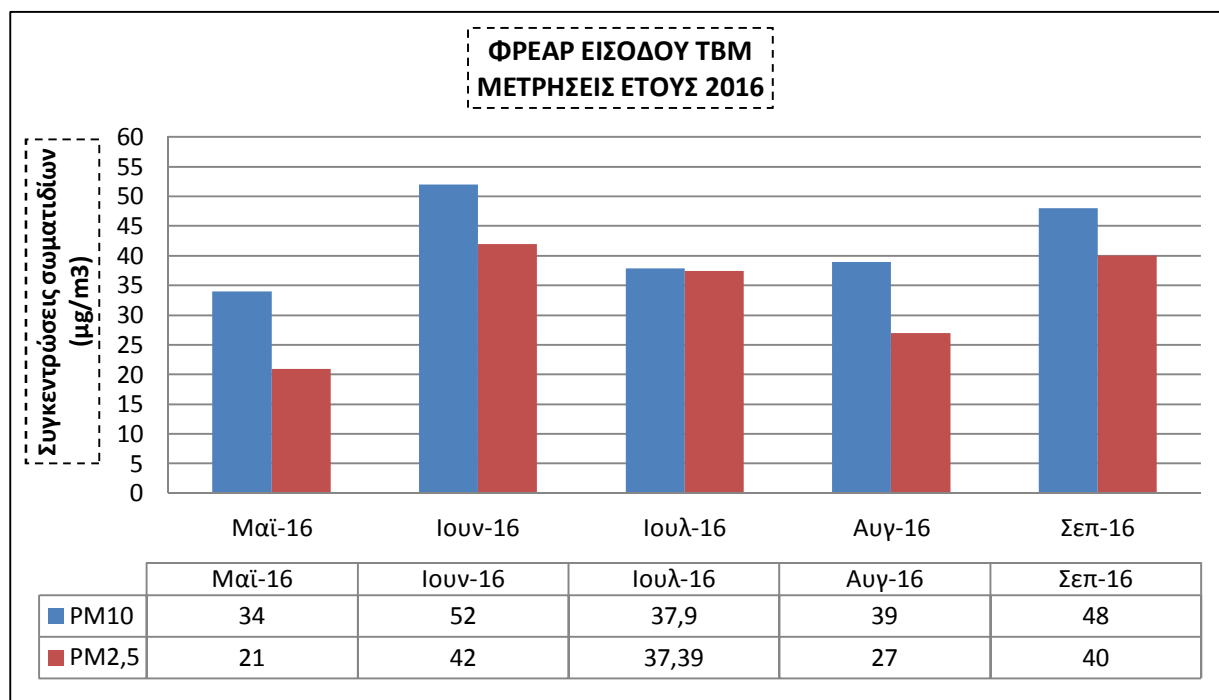
Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα δεν καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 κατά τους μήνες των μετρήσεων. Καταγράφηκαν όμως σχετικά υψηλές τιμές συγκεντρώσεων τους μήνες Ιούλιο, Σεπτέμβριο - Οκτώβριο. Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν σε όλους τους μήνες των μετρήσεων, εκτός των Μαΐου και Νοεμβρίου, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20μg/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα ήταν εργασίες εσκαφής της σήραγγας ΤΒΜ και οι εργασίες αποκομιδής των προϊόντων εσκαφής. Οι εν λόγω εργασίες και κυρίως η αποκομιδή των προϊόντων εσκαφής, λόγω των σημαντικών ποσοτήτων που μεταφέρονταν καθημερινά, προκαλούν σημαντικές εκπομπές σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Έτος 2016



**Διάγραμμα 41: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2016**

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 τον μήνα Ιούνιο. Καταγράφηκαν όμως σχετικά υψηλές τιμές συγκεντρώσεων τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο.

Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν σε όλους τους μήνες των μετρήσεων, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20μg/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

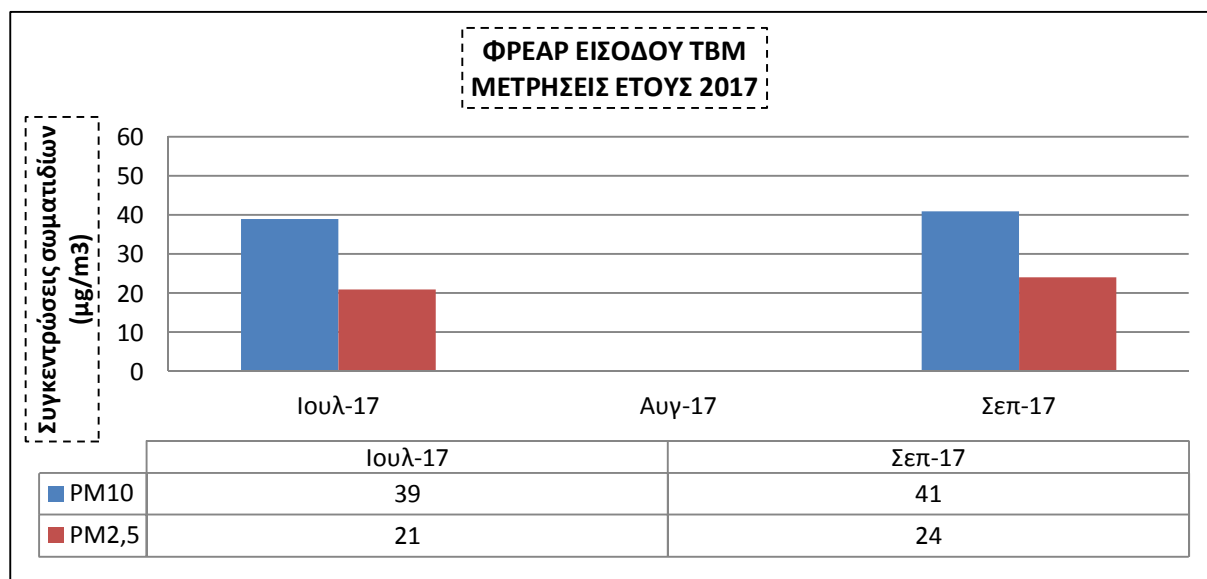
Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα ήταν εργασίες εσκαφής της σήραγγας TBM και οι εργασίες αποκομιδής των προϊόντων εσκαφής. Οι εν λόγω εργασίες και κυρίως η αποκομιδή των προϊόντων εσκαφής, λόγω των σημαντικών ποσοτήτων που μεταφέρονταν καθημερινά, προκαλούν σημαντικές εκπομπές σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 127

**Έτος 2017**



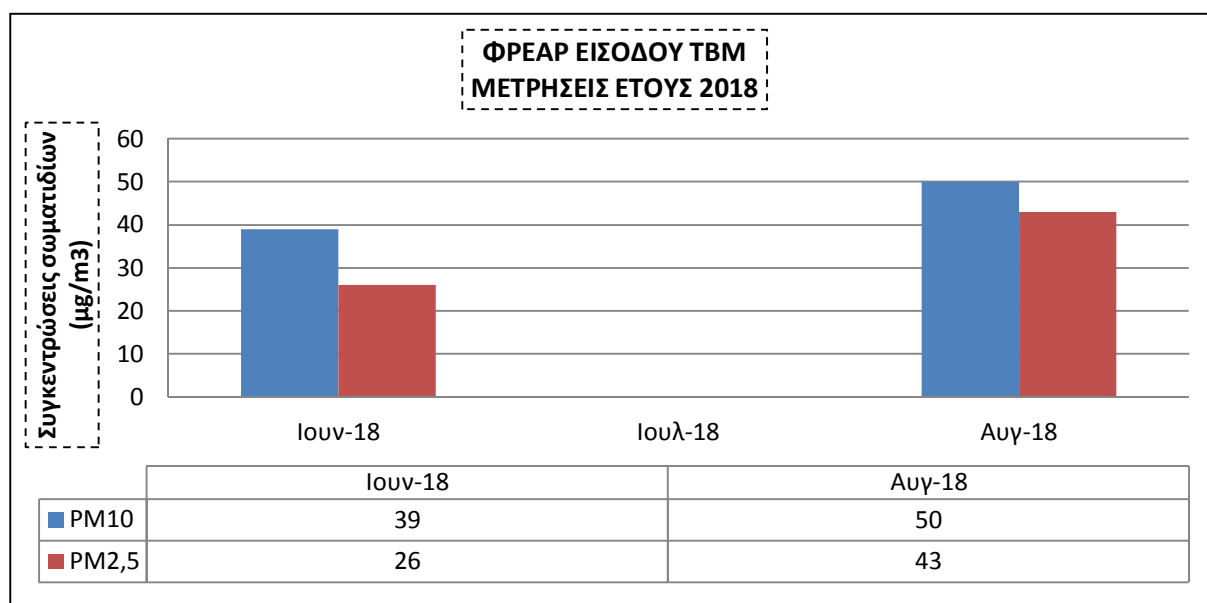
**Διάγραμμα 42: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2017**

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα δεν καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10.

Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν σε όλους τους μήνες των μετρήσεων, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20μgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα ήταν εργασίες κατασκευής της τελικής επένδυσης του φρέατος καθώς και εργασίες αποξήλωσης των εγκαταστάσεων του ΤΒΜ.

**Έτος 2018**



**Διάγραμμα 43: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2018**

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα δεν καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10.

Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν και τους δύο μήνες των μετρήσεων, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20μgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα ήταν εισκόμιση – καταβίβαση υλικών Η/Μ και υλικών σιδηροδρομικής επιδομής στην σήραγγα ΤΒΜ.

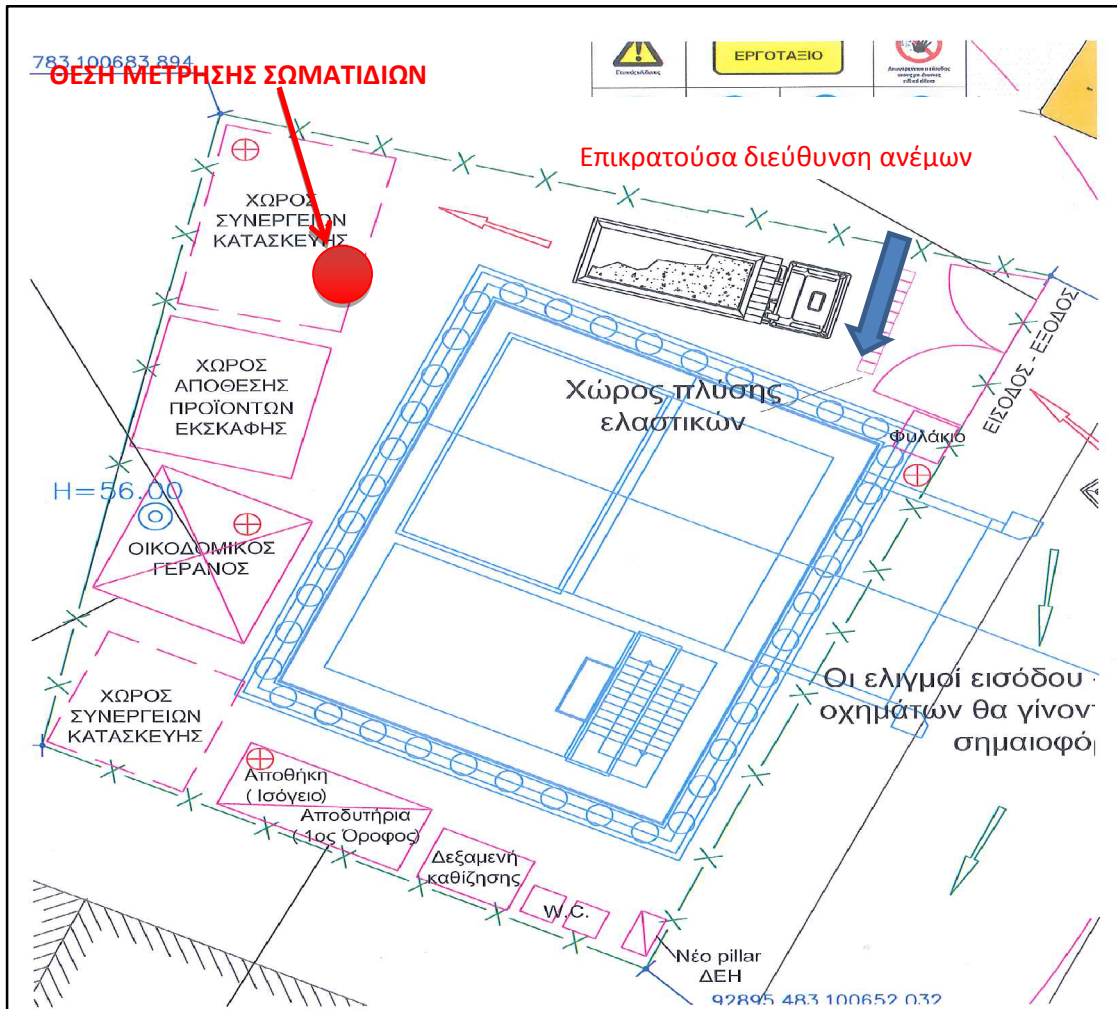
**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

### 7.1.8 Φρέαρ Ταξιαρχών

#### Ενδεικτική Θέση Μέτρησης

Στο Σχήμα 10 παρουσιάζεται ενδεικτική θέση όπου πραγματοποιήθηκαν οι 24ωρες μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, με τον ειδικό κινητό σταθμό μετρήσεων (DUST TRAK II), κατάλληλα εξοπλισμένο με σύστημα " Environmental Enclosure", ώστε να παραμένει ανεπηρέαστος από τις εξωτερικές κλιματολογικές συνθήκες και να εξασφαλίζεται η ακαριερότητα των μετρήσεων.



**Σχήμα 16:** Ενδεικτική θέση μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στο Φρέαρ Ταξιαρχών

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αναλυτικά αποτελέσματα των μετρήσεων των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 και PM2,5 που αφορούν το Φρέαρ Ταξιαρχών για το χρονικό διάστημα 2015 – 2016.

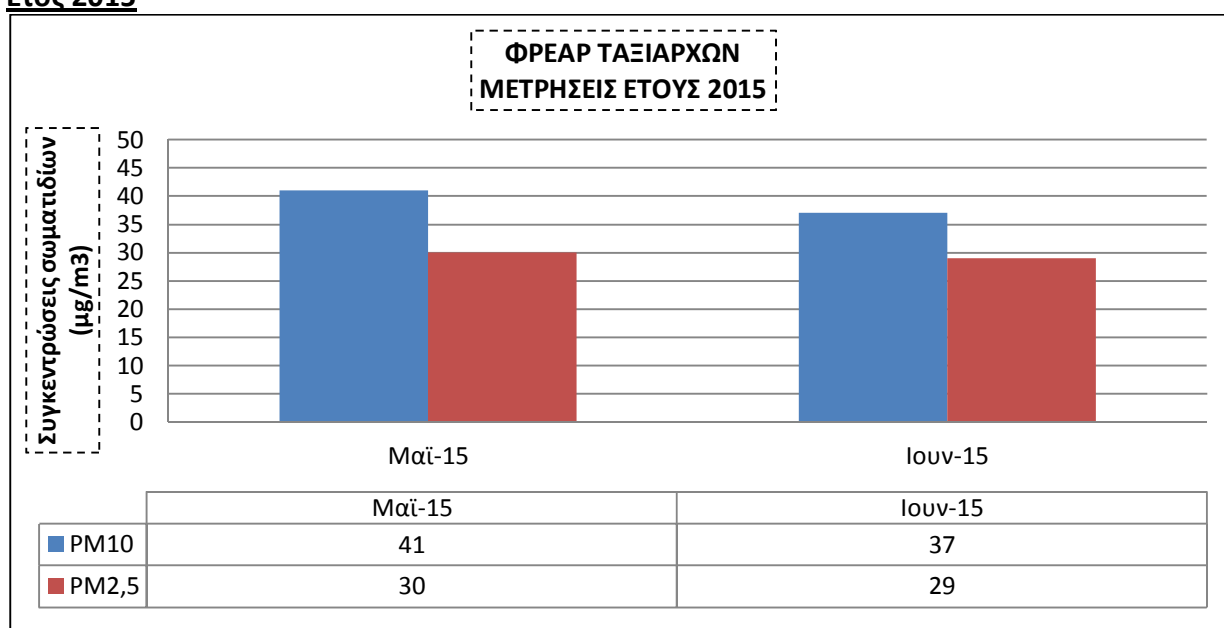
#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	PM10	PM2,5
Μαϊ-15	41	30
Ιουν-15	37	29
Μαϊ-16	47	32
Ιουλ-16	44	28

**Πίνακας 18** :Αναλυτικά αποτελέσματα μετρήσεων συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων Φρέατος Ταξιαρχών

### Έτος 2015



**Διάγραμμα 44: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2015**

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα δεν καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10.

Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν και τους δύο μήνες των μετρήσεων, υψηλότερη από την τιμή στόχο των  $20\mu\text{gr}/\text{m}^3$  για το έτος 2020.

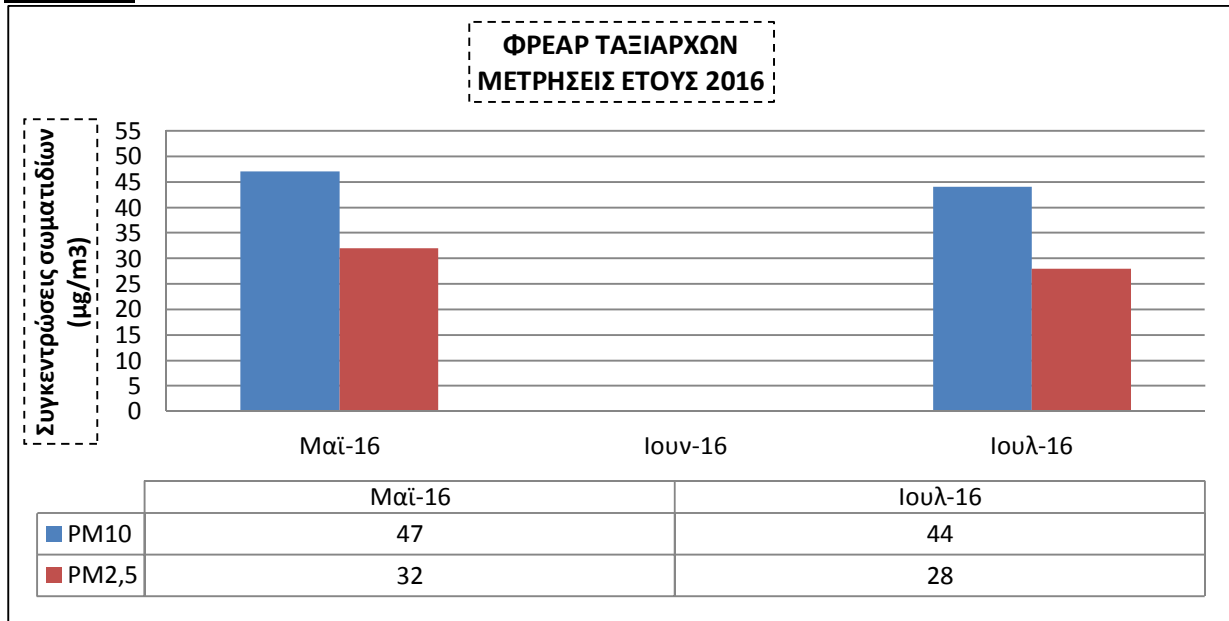
Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα ήταν η εκσκαφή και προσωρινή αντιστήριξη του φρέατος, καθώς και η αποκομιδή των προϊόντων εκσκαφής.

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"



**Έτος 2016**



**Διάγραμμα 45: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2016**

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα δεν καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10. Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν και τους δύο μήνες των μετρήσεων, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20µgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα ήταν η εκσκαφή και προσωρινή αντιστήριξη του φρέατος, καθώς και η αποκομιδή των προϊόντων εκσκαφής.

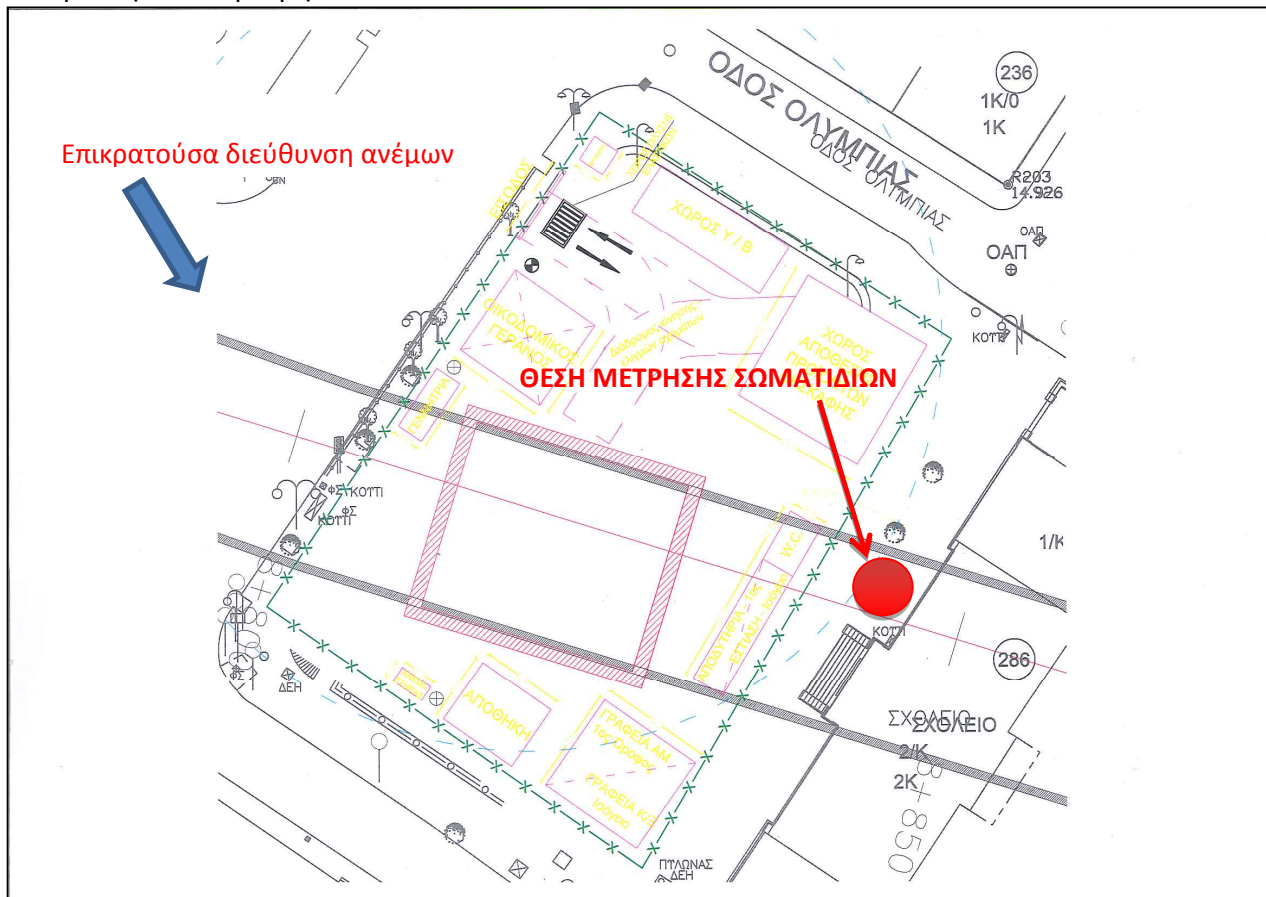
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

### 7.1.9 Φρέαρ Δεληγιάννη

#### Ενδεικτική Θέση Μέτρησης

Στο Σχήμα 15 παρουσιάζεται ενδεικτική θέση όπου πραγματοποιήθηκαν οι 24ωρες μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, με τον ειδικό κινητό σταθμό μετρήσεων (DUST TRAK II), κατάλληλα εξοπλισμένο με σύστημα " Environmental Enclosure", ώστε να παραμένει ανεπηρέαστος από τις εξωτερικές κλιματολογικές συνθήκες και να εξασφαλίζεται η ακαριερότητα των μετρήσεων.



Σχήμα 17: Ενδεικτική θέση μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στο Φρέαρ Δεληγιάννη

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αναλυτικά αποτελέσματα των μετρήσεων των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 και PM2,5 που αφορούν το Φρέαρ Ταξιαρχών για το χρονικό διάστημα 2014 – 2016.

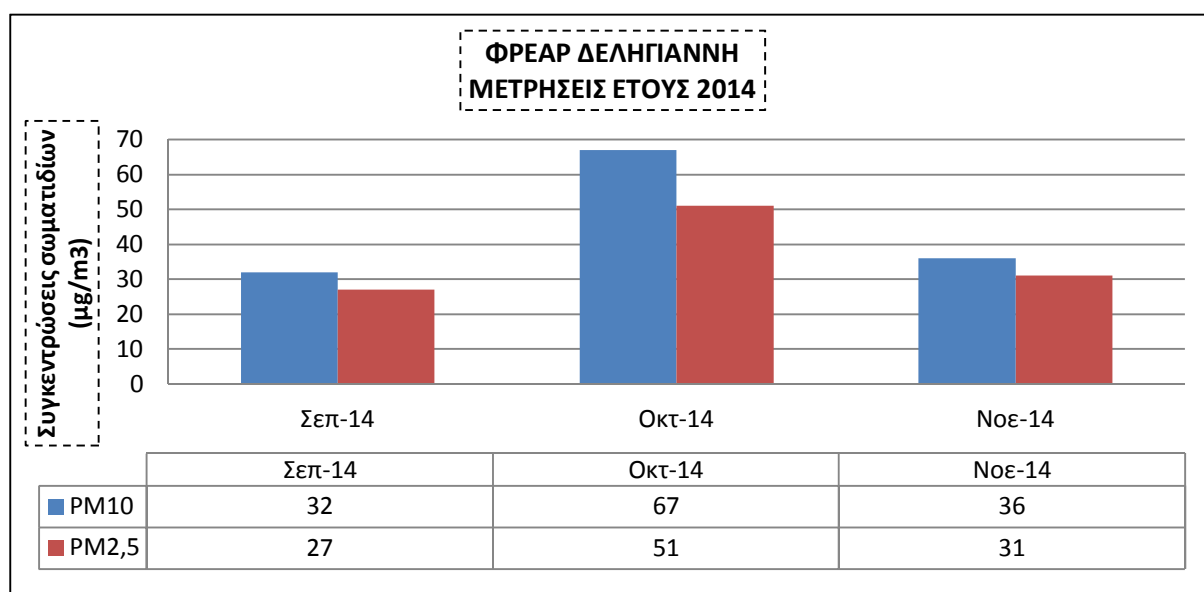
#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	PM10	PM2,5
Σεπ-14	32	27
Οκτ-14	67	51
Νοε-14	36	31
Μαϊ-15	63	56
Ιουν-15	40	35
Μαϊ-16	50	46
Ιουν-16	24	7
Αυγ-16	52	45
Σεπ-16	25	18

**Πίνακας 19** :Αναλυτικά αποτελέσματα μετρήσεων συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων Φρέατος Δεληγιάνη

### Έτος 2014



**Διάγραμμα 46:** Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2014

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 τον μήνα Οκτώβριο.

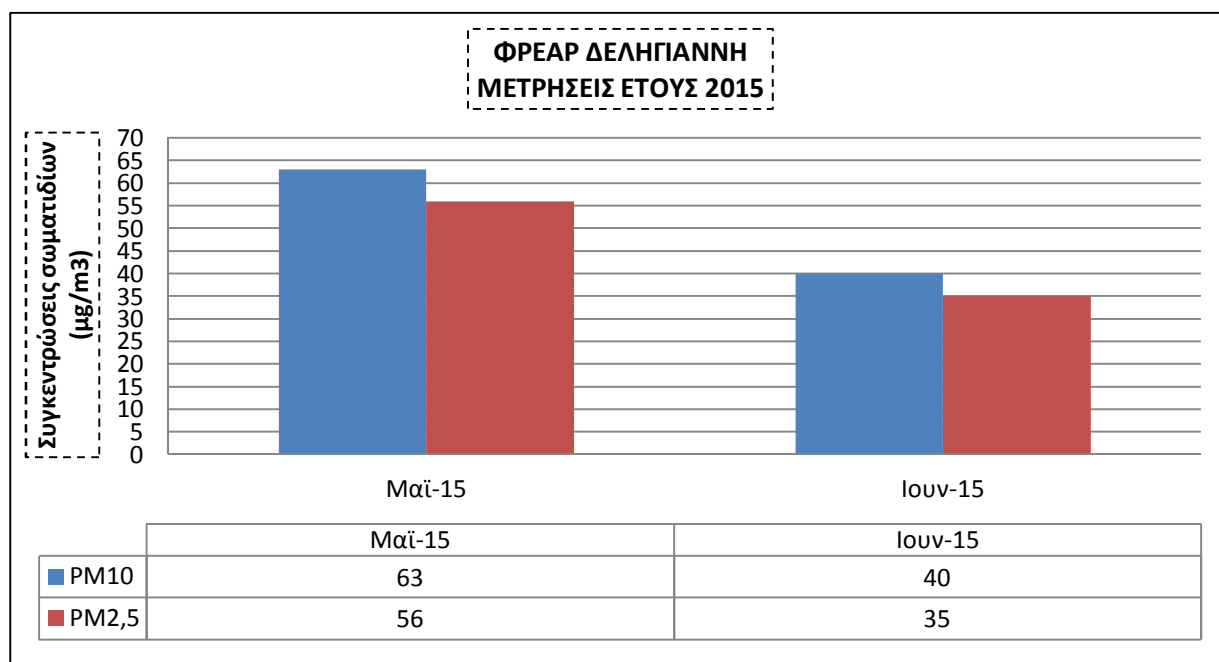
Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν και τους δύο μήνες των μετρήσεων, υψηλότερη από την τιμή στόχο των  $20\mu\text{g}/\text{m}^3$  για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα ήταν η εκσκαφή και προσωρινή αντιστήριξη του φρέατος, καθώς και η αποκομιδή των προϊόντων εκσκαφής.

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

**Έτος 2015**

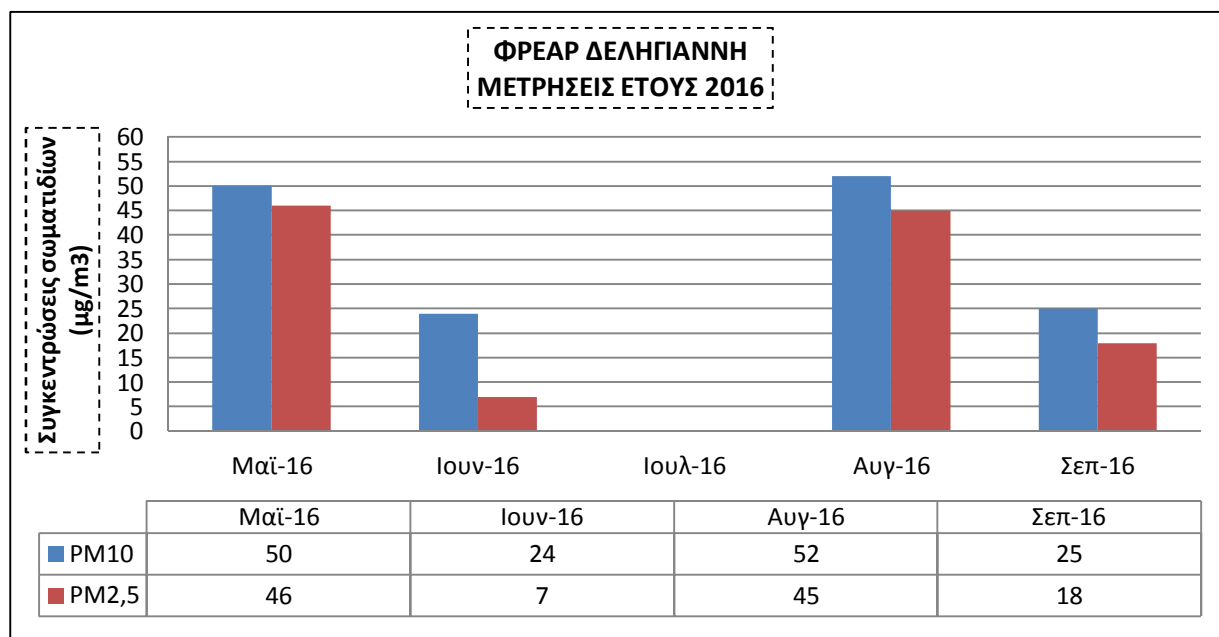


**Διάγραμμα 47: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2015**

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 τον μήνα Μάιο. Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν και τους δύο μήνες των μετρήσεων, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20µgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα ήταν η εκσκαφή και προσωρινή αντιστήριξη της σήραγγας τριπλής τροχιάς, καθώς και η αποκομιδή των προϊόντων εκσκαφής.

## Έτος 2016



**Διάγραμμα 48: Μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 έτους 2016**

Όπως φαίνεται από το ανωτέρω διάγραμμα καταγράφηκε υπέρβαση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 τον μήνα Αύγουστο και οριακή τιμή τον Μάιο. Όσον αφορά την τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM2,5, ήταν τους μήνες Μάιο και Αύγουστο, υψηλότερη από την τιμή στόχο των 20µgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020.

Οι εργασίες που εκτελούνταν κατά το ανωτέρω διάστημα ήταν η εκσκαφή και προσωρινή αντιστήριξη της σήραγγας τριπλής τροχιάς, καθώς και η αποκομιδή των προϊόντων εκσκαφής. Τον Ιούνιο και κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων εκτελούνταν μόνο εργασίες εκσκαφής της σήραγγας τριπλής τροχιάς χωρίς αποκομιδή προϊόντων εκσκαφής από το εργοτάξιο.

## 7.2 Αξιολόγηση της διαχρονικής εξέλιξης των συγκεντρώσεων PM10 και PM2,5

Στην συνέχεια παρουσιάζονται διαγράμματα με τους ετήσιους και μηνιαίους μέσους όρους των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων, από τους οποίους εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα για την διαχρονική εξέλιξη των εκπομπών στην ατμόσφαιρα κατά την διάρκεια των κατασκευαστικών εργασιών.

Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι τοπικά καταγράφηκαν υψηλές τιμές συγκεντρώσεων σωματιδίων PM10 (παρ. 7.1) και κατά τον μήνα Οκτώβριο σε κάποιους εργοταξιακούς χώρους. Οι τιμές αυτές, όπως έδειξε η αναλυτική (ανά 3 λεπτά) καταγραφή τους εμφανίστηκαν κυρίως τις βραδυνές (19:00 – 24:00) και τις πρώτες πρωινές ώρες (05:30 – 07:00) κατά τις οποίες δεν εκτελούνταν κατασκευαστικές εργασίες και οφείλονταν πιθανότατα στην λειτουργία των μέσων θέρμανσης των κατοικιών (καλοριφέρ, τζάκια). Ως εκ τούτου δεν συμπεριληφθησαν στην στατιστική επεξεργασία στην παρούσα παράγραφο.

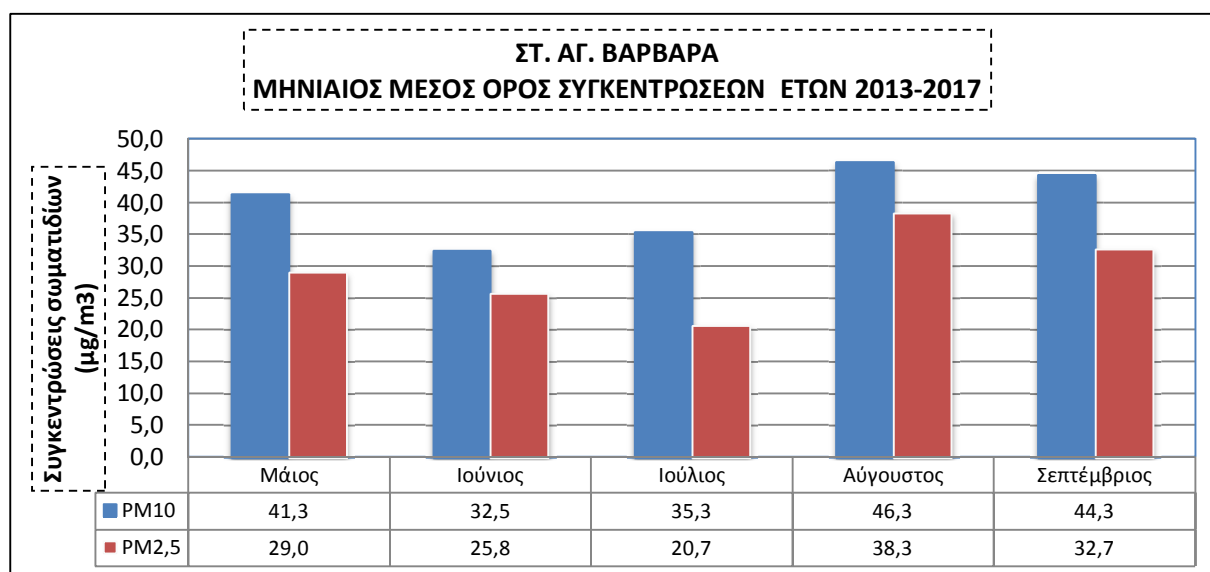
### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 136

### 7.2.1 Σταθμός Αγ. Βαρβάρα

Μηνιαίος Μέσος Όρος συγκεντρώσεων για την χρονική περίοδο 2013 - 2017



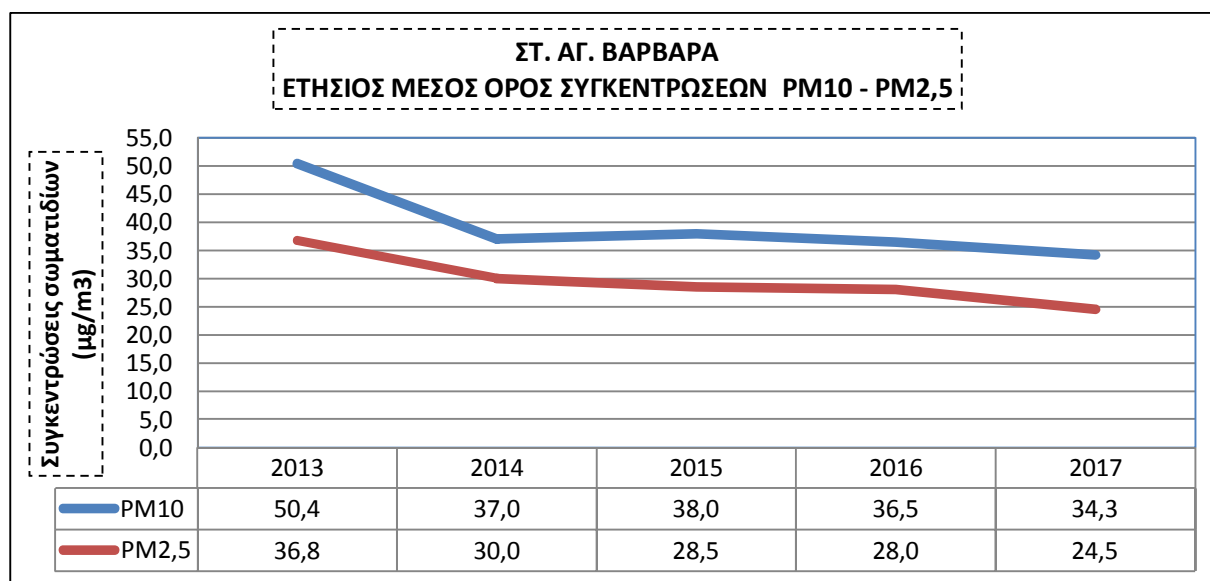
**Διάγραμμα 49: Μηνιαίος μέσος όρος συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 κατά τα έτη 2013 - 2017**

Από το ανωτέρω διάγραμμα φαίνεται ότι οι μήνες με τις μεγαλύτερες εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων, στην περιοχή του σταθμού είναι ο Αύγουστος και ο Σεπτέμβριος και κατά δεύτερο λόγο ο Μάιος, με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 40 – 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  για τα PM10 και 30 – 38  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  για τα PM2,5. Επίσης από την επεξεργασία των τιμών του ανωτέρω διαγράμματος προκύπτει ότι υπάρχει σημαντική συμμετοχή των συγκεντρώσεων των PM2,5 με τιμές που κυμαίνονται από 60 – 80% σε σχέση με τις τιμές των PM10.

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

**Έτησιος Μέσος Όρος συγκεντρώσεων για την χρονική περίοδο 2013 – 2017**



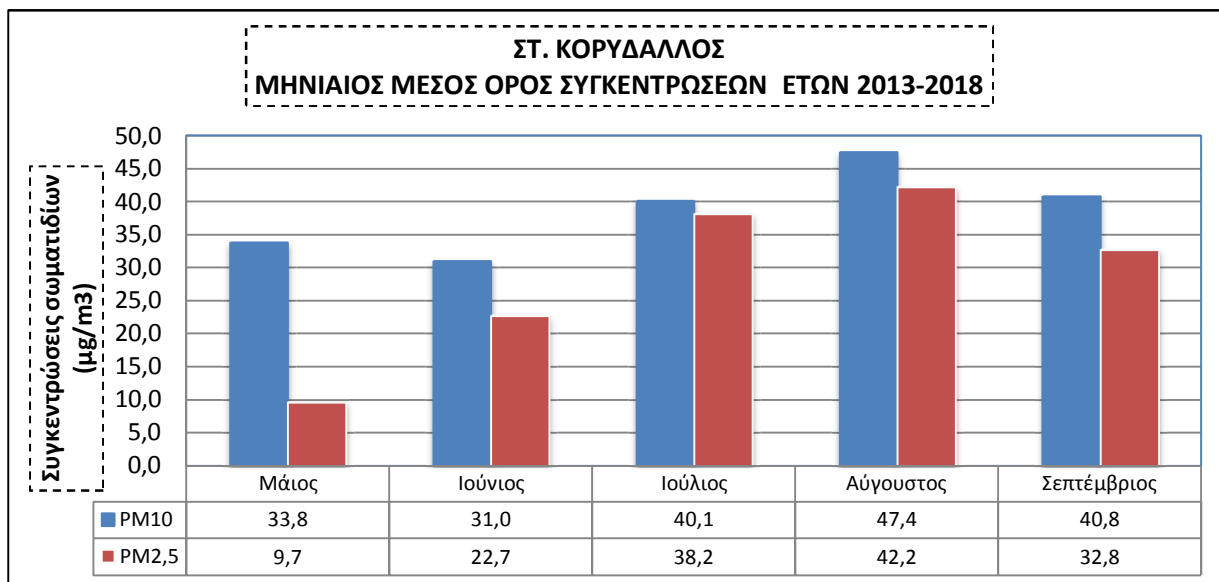
**Διάγραμμα 50: Μέσος όρος συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 κατά τα έτη 2013 - 2017**

Με βάση το ανωτέρω διάγραμμα βλέπουμε ότι οι υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης σωματιδίων PM10 καταγράφηκαν από το 2013 έως το 2014, διάστημα κατά το οποίο εκτελούνταν οι εργασίες εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης του σταθμού. Το διάστημα 2014 - 2015 όπου εκτελούνταν εργασίες σκυροδετήσεων της τελικής επένδυσης του σταθμού, μειώνονται σημαντικά και δείχνουν μια σταθερή πορεία έως το 2016 όπου αρχίζουν να μειώνονται λόγω της φύσης των εργασιών (αρχιτεκτονικές – Η/Μ εντός σταθμού).

Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM2,5 παρουσίασαν υψηλότερες τιμές από την τιμή στόχο των 20µgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020, καθ'όλη την διάρκεια των εργασιών, ενώ προκύπτει επίσης ότι υπάρχει σημαντική συμμετοχή των συγκεντρώσεων των PM2,5 με τιμές που κυμαίνονται από 70 – 80% σε σχέση με τις τιμές των PM10.

## 7.2.2 Σταθμός Κορυδαλλός

### Μηνιαίος Μέσος Όρος συγκεντρώσεων για την χρονική περίοδο 2013 – 2018

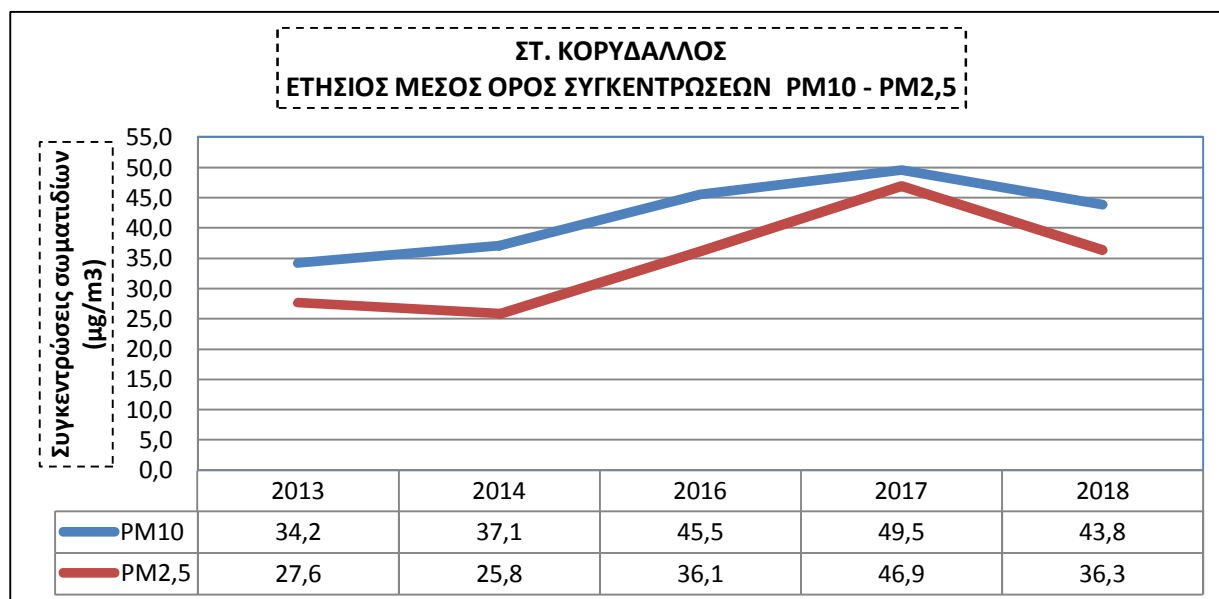


**Διάγραμμα 51: Μηνιαίος μέσος όρος συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 κατά τα έτη 2013 - 2018**

Από το ανωτέρω διάγραμμα φαίνεται ότι οι μήνες με τις μεγαλύτερες εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων, στην περιοχή του σταθμού είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος και κατά δεύτερο λόγο ο Σεπτέμβριος, με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 40 – 47  $\mu\text{gr}/\text{m}^3$  για τα PM10 και 32 – 42  $\mu\text{gr}/\text{m}^3$  για τα PM2,5. Επίσης από την επεξεργασία των τιμών του ανωτέρω διαγράμματος προκύπτει ότι υπάρχει σημαντική συμμετοχή των συγκεντρώσεων των PM2,5 με τιμές που κυμαίνονται, αν εξαιρέσουμε τον Μάιο, από 70 – 95% σε σχέση με τις τιμές των PM10.



**Έτησιος Μέσος Όρος συγκεντρώσεων για την χρονική περίοδο 2013 – 2018**



**Διάγραμμα 52: Μέσος όρος συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 κατά τα έτη 2013 - 2018**

Με βάση το ανωτέρω διάγραμμα, αλλά και όσα περιγράφηκαν ανωτέρω, βλέπουμε ότι οι υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης σωματιδίων PM10 καταγράφηκαν από το έτος 2017, διάστημα κατά το οποίο εκτελούνταν οι εργασίες αποκομιδής των προϊόντων εκσκαφής της σήραγγας ΤΒΜ με χρήση βαρέων οχημάτων και με πολύ πυκνές διελεύσεις καθ' όλη την χρονική διάρκεια των εργασιών. Οι εργασίες εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης του σταθμού δεν έδωσαν υψηλές τιμές συγκεντρώσεων των σωματιδίων PM10.

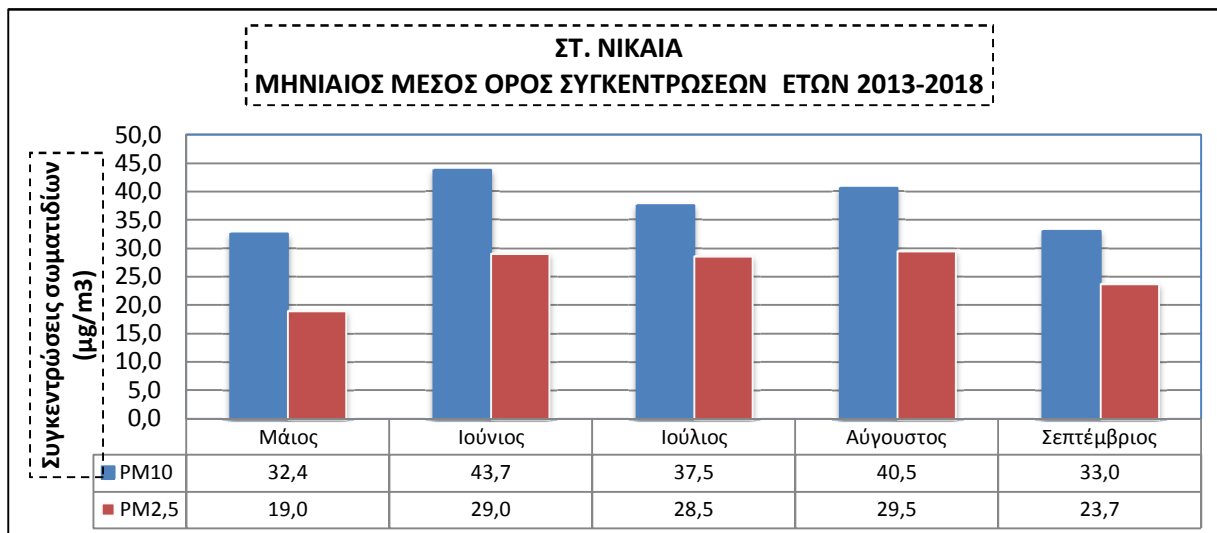
Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM2,5 παρουσίασαν υψηλότερες τιμές από την τιμή στόχο των 20µgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020, καθ' όλη την διάρκεια των εργασιών, ενώ προκύπτει επίσης ότι υπάρχει σημαντική συμμετοχή των συγκεντρώσεων των PM2,5 με τιμές που κυμαίνονται από 70 – 95% σε σχέση με τις τιμές των PM10.

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

### 7.2.3 Σταθμός Νίκαια

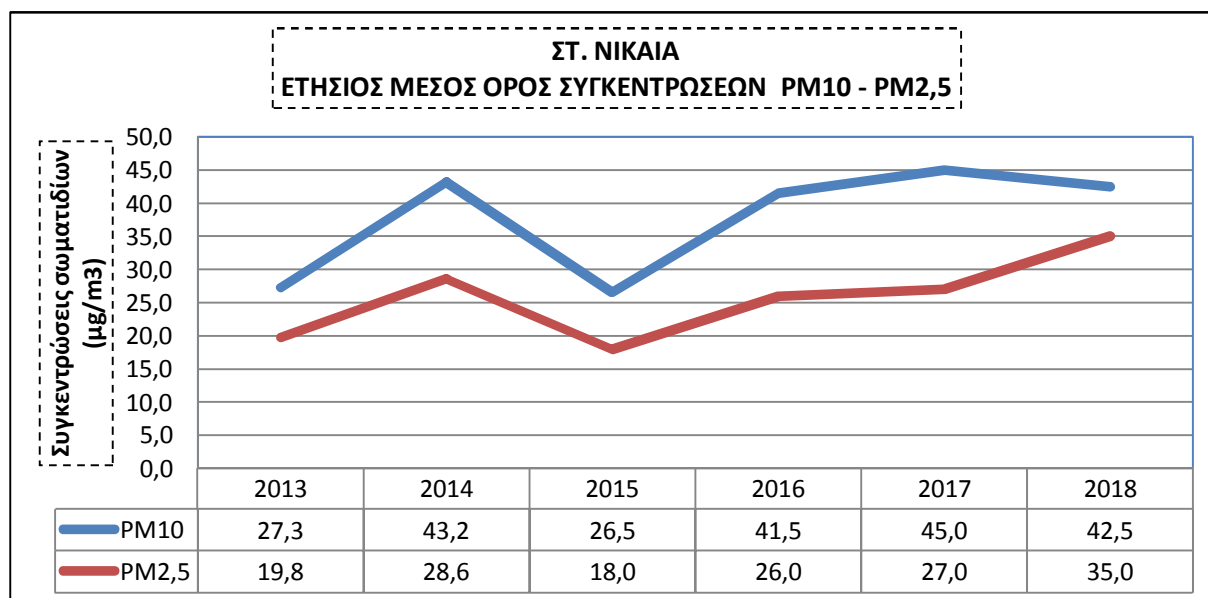
#### Μηνιαίος Μέσος Όρος συγκεντρώσεων για την χρονική περίοδο 2013 – 2018



**Διάγραμμα 53: Μηνιαίος μέσος όρος συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 κατά τα έτη 2013 - 2018**

Από το ανωτέρω διάγραμμα φαίνεται ότι οι μήνες με τις μεγαλύτερες εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων, στην περιοχή του σταθμού είναι ο Ιούνιος και ο Αύγουστος και κατά δεύτερο λόγο ο Ιούλιος, με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 37 – 44  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  για τα PM10 και περίπου στα 29  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  για τα PM2,5. Επίσης από την επεξεργασία των τιμών του ανωτέρω διαγράμματος προκύπτει ότι υπάρχει σημαντική συμμετοχή των συγκεντρώσεων των PM2,5 με τιμές που κυμαίνονται, αν εξαιρέσουμε τον Μάιο, από 60 – 75% σε σχέση με τις τιμές των PM10.

**Έτησιος Μέσος Όρος συγκεντρώσεων για την χρονική περίοδο 2013 – 2018**



**Διάγραμμα 54: Μέσος όρος συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 κατά τα έτη 2013 - 2018**

Με βάση το ανωτέρω διάγραμμα, αλλά και όσα περιγράφηκαν ανωτέρω, βλέπουμε ότι οι υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης σωματιδίων PM10 καταγράφηκαν τα έτη 2014 και 2017-2018. Σε αυτές τις χρονικές περιόδους εκτελούνταν εργασίες εκσκαφής του σταθμού (2014) και των βοηθητικών σηράγγων του (2017), καθώς και εργασίες βαφών και επιχώσεων της πλάκας οροφής του σταθμού (2017).

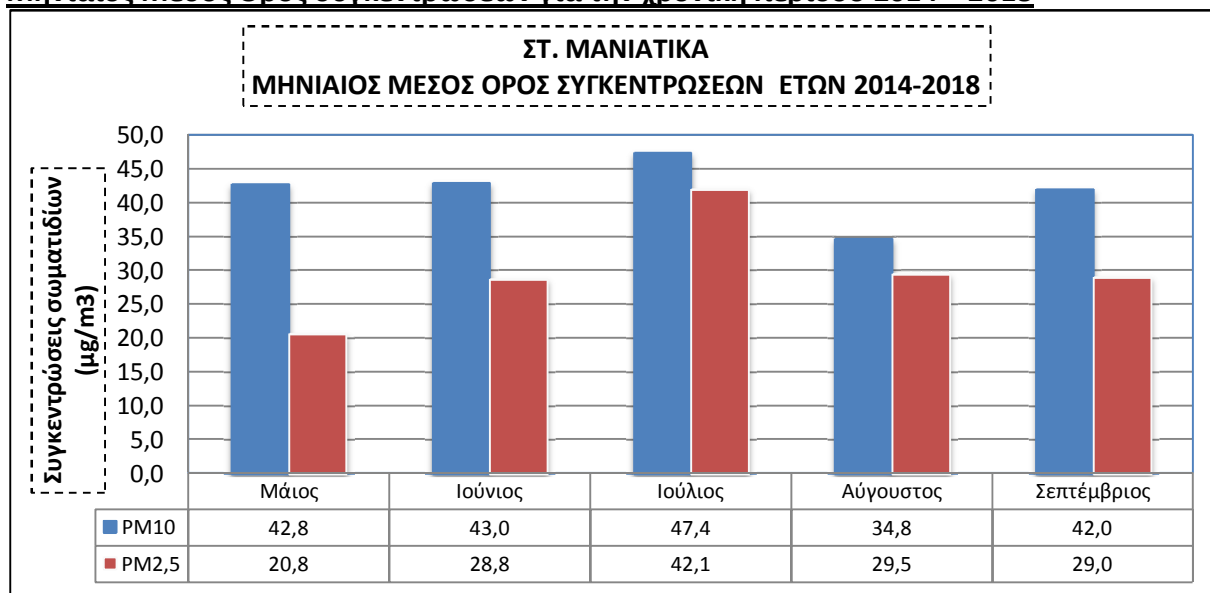
Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM2,5 παρουσίασαν υψηλότερες τιμές από την τιμή στόχο των 20µgr/m<sup>3</sup> για το έτος 2020, κατά τα έτη 2014 και 2016 – 2018, ενώ προκύπτει επίσης ότι υπάρχει σημαντική συμμετοχή των συγκεντρώσεων των PM2,5 με τιμές που κυμαίνονται από 60 – 80% σε σχέση με τις τιμές των PM10.

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

#### 7.2.4 Σταθμός Μανιάτικα

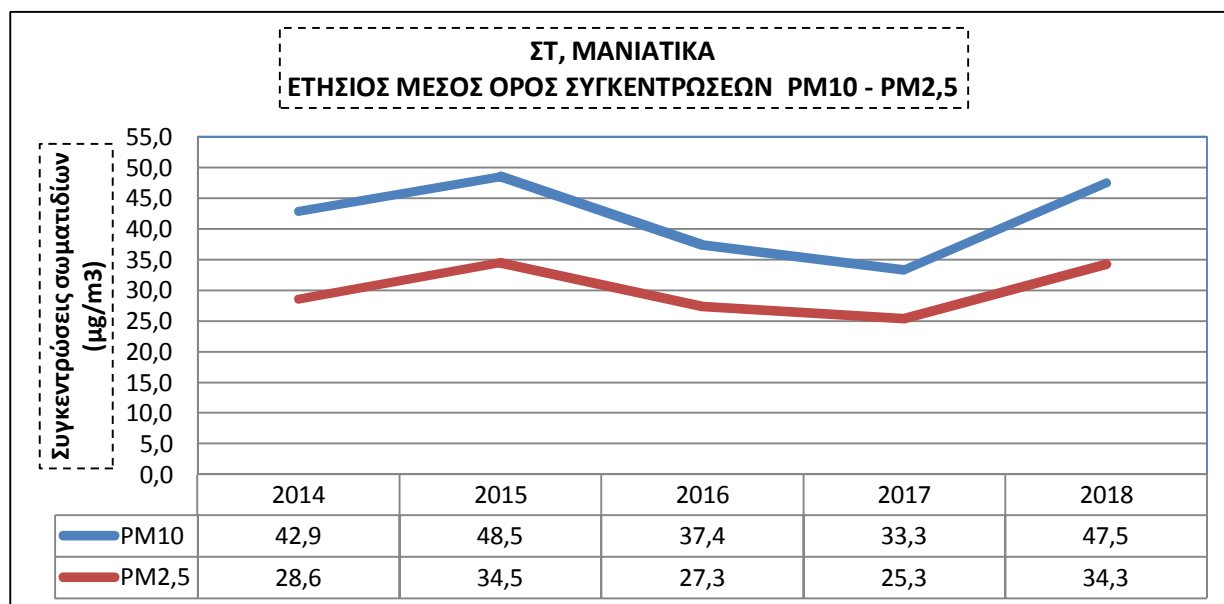
#### Μηνιαίος Μέσος Όρος συγκεντρώσεων για την χρονική περίοδο 2014 – 2018



**Διάγραμμα 55: Μηνιαίος μέσος όρος συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 κατά τα έτη 2014 - 2018**

Από το ανωτέρω διάγραμμα φαίνεται ότι οι μήνες με τις μεγαλύτερες εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων, στην περιοχή του σταθμού είναι ο Ιούνιος και ο Ιούλιος και κατά δεύτερο λόγο ο Σεπτέμβριος, με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 42 – 47  $\mu\text{gr}/\text{m}^3$  για τα PM10 και από 28 - 42  $\mu\text{gr}/\text{m}^3$  για τα PM2,5. Επίσης από την επεξεργασία των τιμών του ανωτέρω διαγράμματος προκύπτει ότι υπάρχει σημαντική συμμετοχή των συγκεντρώσεων των PM2,5 με τιμές που κυμαίνονται, αν εξαιρέσουμε τον Μάιο, από 65 – 85% σε σχέση με τις τιμές των PM10.

**Έτησιος Μέσος Όρος συγκεντρώσεων για την χρονική περίοδο 2014 – 2018**



**Διάγραμμα 56:** Μέσος όρος συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 κατά τα έτη 2014 - 2018

Με βάση το ανωτέρω διάγραμμα, αλλά και όσα περιγράφηκαν ανωτέρω, βλέπουμε ότι οι υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης σωματιδίων PM10 καταγράφηκαν τα έτη 2015 και 2018. Σε αυτές τις χρονικές περιόδους εκτελούνταν εργασίες εκσκαφής και αντιστήριξης των αρχικών επιπέδων του σταθμού (2015) καθώς και των βοηθητικών σηράγγων του και προσβάσεων (2018). Τα έτη 2016 – 2017 εκτελούνταν εργασίες εκσκαφής και αντιστήριξης των τελικών επιπέδων του σταθμού καθώς και εργασίες σκυροδετήσεων της τελικής επένδυσης του υπόγειου τμήματος του σταθμού.

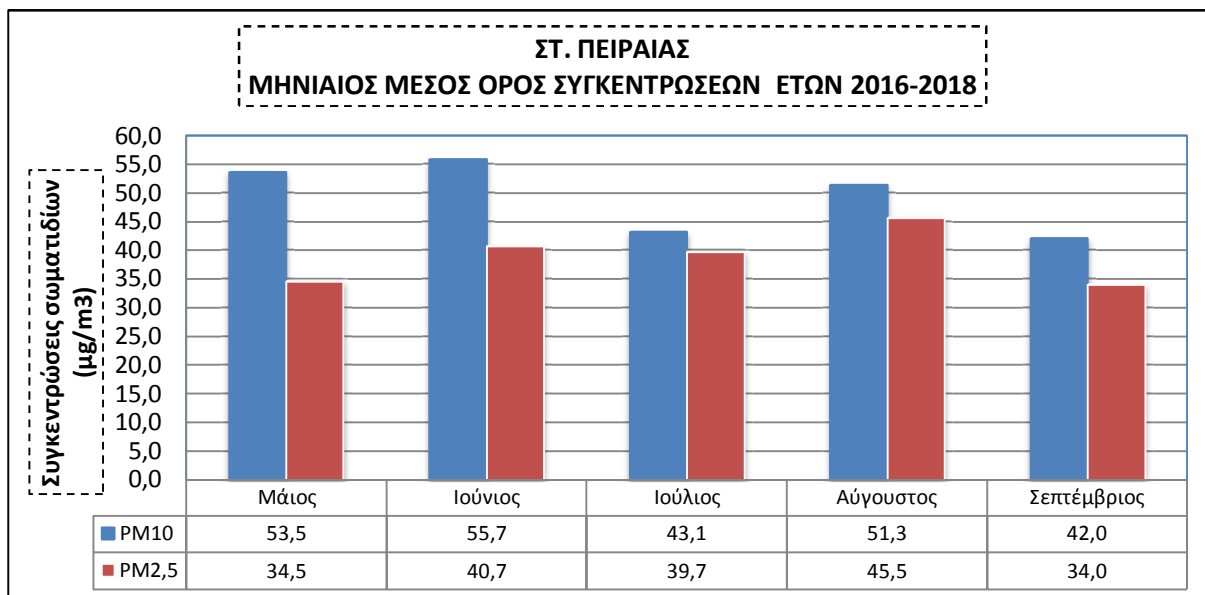
Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM2,5 παρουσίασαν υψηλότερες τιμές από την τιμή στόχο των  $20\mu\text{g}/\text{m}^3$  για το έτος 2020, καθ' όλη την διάρκεια των εργασιών, ενώ προκύπτει επίσης ότι υπάρχει σημαντική συμμετοχή των συγκεντρώσεων των PM2,5 με τιμές που κυμαίνονται από 65 – 75% σε σχέση με τις τιμές των PM10.

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

## 7.2.6 Σταθμός Πειραιάς

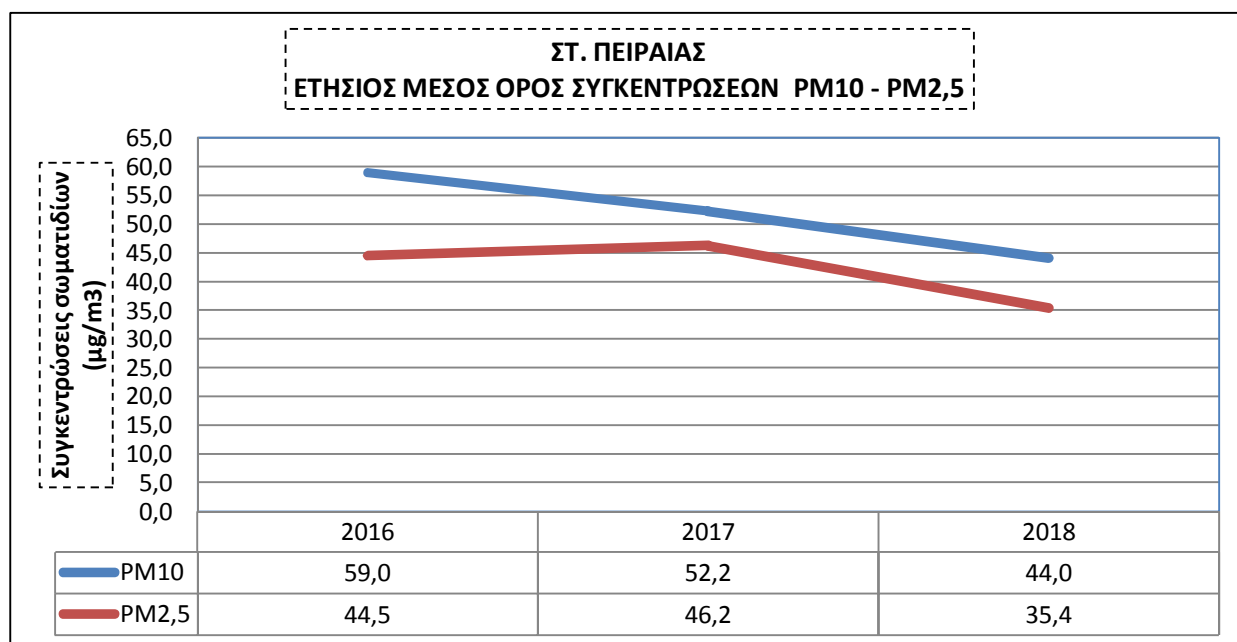
### Μηνιαίος Μέσος Όρος συγκεντρώσεων για την χρονική περίοδο 2016 – 2018



**Διάγραμμα 57: Μηνιαίος μέσος όρος συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 κατά τα έτη 2016 - 2018**

Από το ανωτέρω διάγραμμα φαίνεται ότι όλοι οι μήνες παρουσιάζουν σημαντικές εκπομές οι οποίες είναι μεγαλύτερες των 40  $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ , ενώ οι μήνες με τις μεγαλύτερες εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων, στην περιοχή του σταθμού είναι ο Μάιος και ο Ιούνιος και κατά δεύτερο λόγο ο Αύγουστος, με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 51 – 56  $\mu\text{gr}/\text{m}^3$  για τα PM10 και από 35 - 45  $\mu\text{gr}/\text{m}^3$  για τα PM2,5. Επίσης από την επεξεργασία των τιμών του ανωτέρω διαγράμματος προκύπτει ότι υπάρχει σημαντική συμμετοχή των συγκεντρώσεων των PM2,5 με τιμές που κυμαίνονται, από 65 – 90% σε σχέση με τις τιμές των PM10.

**Έτησιος Μέσος Όρος συγκεντρώσεων για την χρονική περίοδο 2016 - 2018**



**Διάγραμμα 58: Μέσος όρος συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 κατά τα έτη 2016 - 2018**

Με βάση το ανωτέρω διάγραμμα, αλλά και όσα περιγράφηκαν ανωτέρω, βλέπουμε ότι οι υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης σωματιδίων PM10 και PM2,5 καταγράφηκαν το έτος 2016 κατά την κατασκευή των διαφραγματικών τοίχων αντιστήριξης του σταθμού. Στην συνέχεια οι συγκεντρώσεις μειώνονται σταδιακά για να φθάσουν στο χαμηλότερο επίπεδο το 2018, διάστημα κατά το οποίο εκτελούνταν οι εργασίες εκσκαφής και τοποθέτησης αντηρίδων αντιστήριξης του σταθμού.

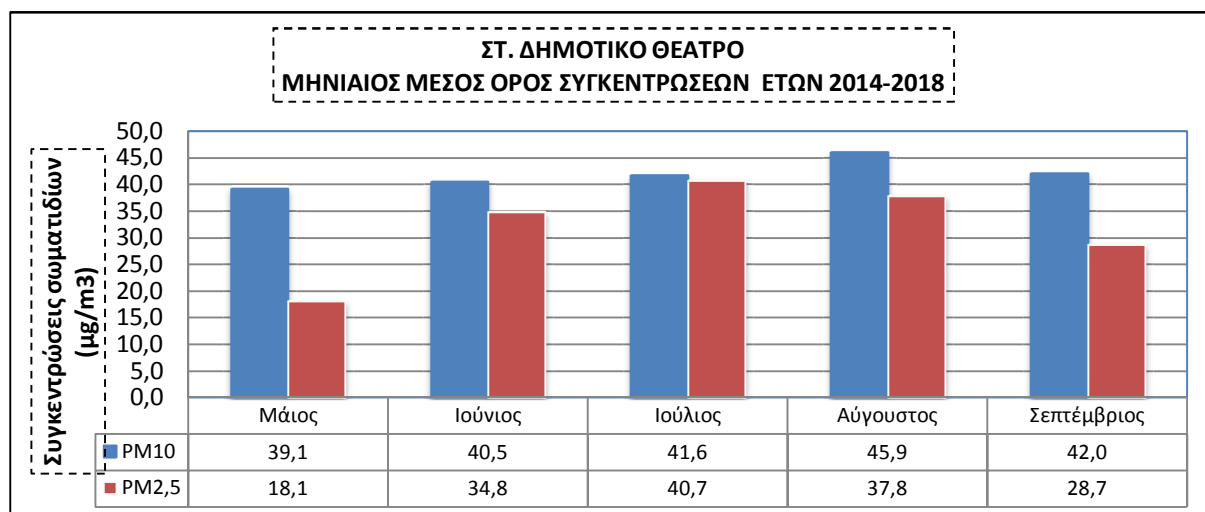
Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM2,5 παρουσίασαν υψηλότερες τιμές από την τιμή στόχο των 20µg/m<sup>3</sup> για το έτος 2020, καθ' όλη την διάρκεια των εργασιών, ενώ προκύπτει επίσης ότι υπάρχει σημαντική συμμετοχή των συγκεντρώσεων των PM2,5 με τιμές που κυμαίνονται από 75 – 90% σε σχέση με τις τιμές των PM10.

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

## 7.2.6 Σταθμός Δημοτικό Θέατρο

### Μηνιαίος Μέσος Όρος συγκεντρώσεων για την χρονική περίοδο 2014 – 2018

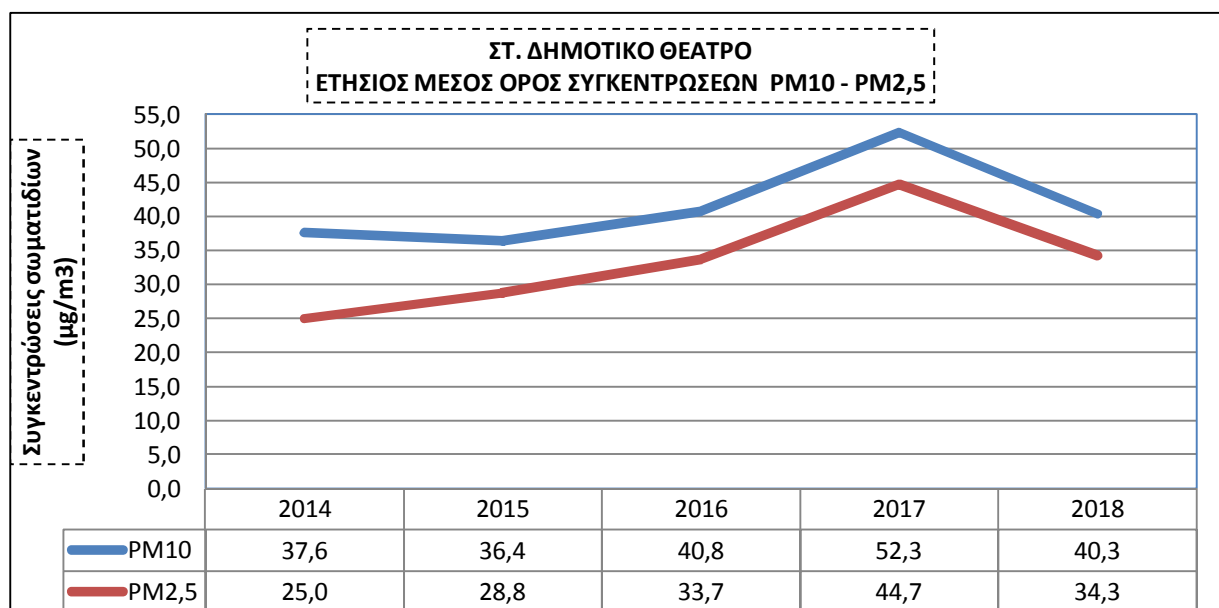


**Διάγραμμα 59: Μηνιαίος μέσος όρος συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 κατά τα έτη 2014 - 2018**

Από το ανωτέρω διάγραμμα φαίνεται ότι όλοι οι μήνες παρουσιάζουν σημαντικές εκπομές οι οποίες είναι μεγαλύτερες των  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , με τις μεγαλύτερες εκπομπές στην περιοχή του σταθμού να καταγράφονται τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από  $42 - 46 \mu\text{g}/\text{m}^3$  για τα PM10 και από  $35 - 41 \mu\text{g}/\text{m}^3$  για τα PM2,5. Επίσης από την επεξεργασία των τιμών του ανωτέρω διαγράμματος προκύπτει ότι υπάρχει σημαντική συμμετοχή των συγκεντρώσεων των PM2,5 με τιμές που κυμαίνονται, εκτός του Μαΐου, από  $68 - 98\%$  σε σχέση με τις τιμές των PM10.



**Έτησιος Μέσος Όρος συγκεντρώσεων για την χρονική περίοδο 2014 - 2018**



**Διάγραμμα 60: Μέσος όρος συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 κατά τα έτη 2014 - 2018**

Με βάση το ανωτέρω διάγραμμα, αλλά και όσα περιγράφηκαν ανωτέρω, βλέπουμε ότι οι υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης σωματιδίων PM10 και PM2,5 καταγράφηκαν το έτος 2017 κατά την ταυτόχρονη εκσκαφή και προσωρινή αντιστήριξη των φρεατίων εξαερισμού, των κλιμακοστασίων και των εισόδων του σταθμού. Επίσης εκτελούνταν κατά το 2017 και εργασίες σκυροδετήσεων της τελικής επένδυσης του κεντρικού σώματος του σταθμού

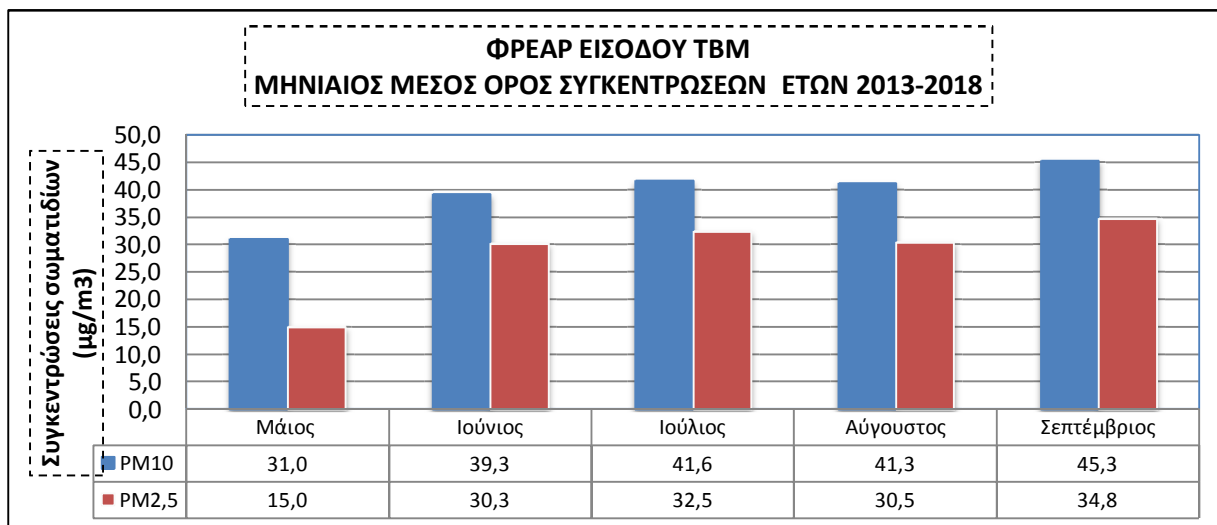
Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM2,5 παρουσίασαν υψηλότερες τιμές από την τιμή στόχο των 20µg/m<sup>3</sup> για το έτος 2020, καθ' όλη την διάρκεια των εργασιών, ενώ προκύπτει επίσης ότι υπάρχει σημαντική συμμετοχή των συγκεντρώσεων των PM2,5 με τιμές που κυμαίνονται από 65 – 85% σε σχέση με τις τιμές των PM10.

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

### 7.2.7 Φρέαρ Εισόδου TBM

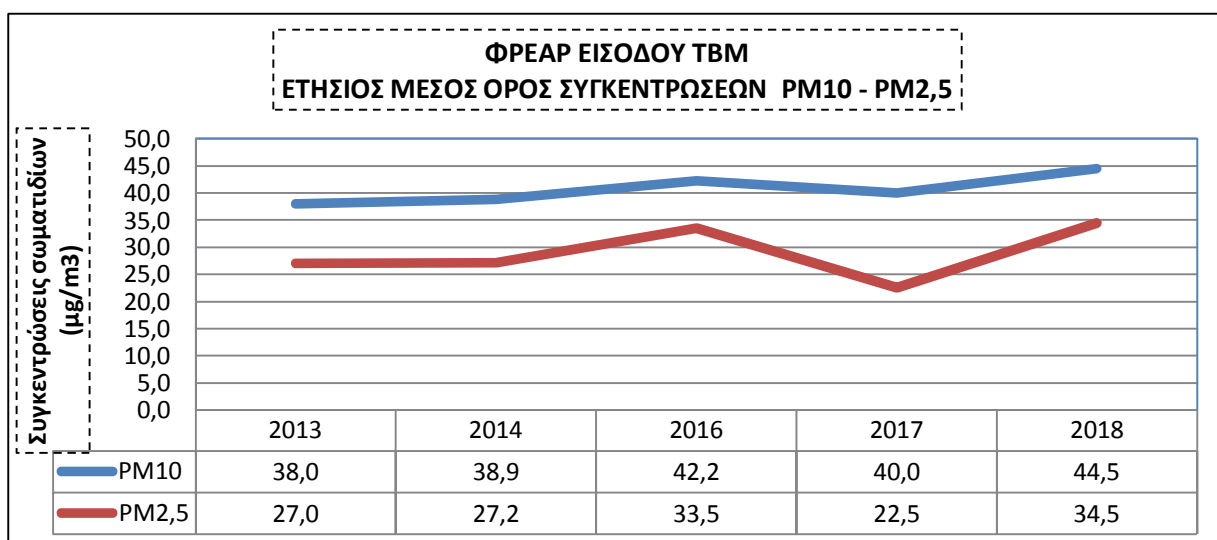
#### Μηνιαίος Μέσος Όρος συγκεντρώσεων για την χρονική περίοδο 2013 – 2018



**Διάγραμμα 61: Μηνιαίος μέσος όρος συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 κατά τα έτη 2014 - 2018**

Από το ανωτέρω διάγραμμα φαίνεται ότι όλοι οι μήνες, εκτός του Μαΐου, παρουσιάζουν σημαντικές εκπομπές οι οποίες είναι μεγαλύτερες των 40 µg/m<sup>3</sup>, με τις μεγαλύτερες εκπομπές στην περιοχή του σταθμού να καταγράφονται τους μήνες Ιούλιο και Σεπτέμβριο με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 42 – 45 µg/m<sup>3</sup> για τα PM10 και από 30 - 35 µg/m<sup>3</sup> για τα PM2,5. Επίσης από την επεξεργασία των τιμών του ανωτέρω διαγράμματος προκύπτει ότι υπάρχει σημαντική συμμετοχή των συγκεντρώσεων των PM2,5 με τιμές που κυμαίνονται, εκτός του Μαΐου, από 74 – 77% σε σχέση με τις τιμές των PM10.

#### Έτησιος Μέσος Όρος συγκεντρώσεων για την χρονική περίοδο 2013 - 2018



**Διάγραμμα 62: Μέσος όρος συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10, PM2,5 κατά τα έτη 2013 - 2018**

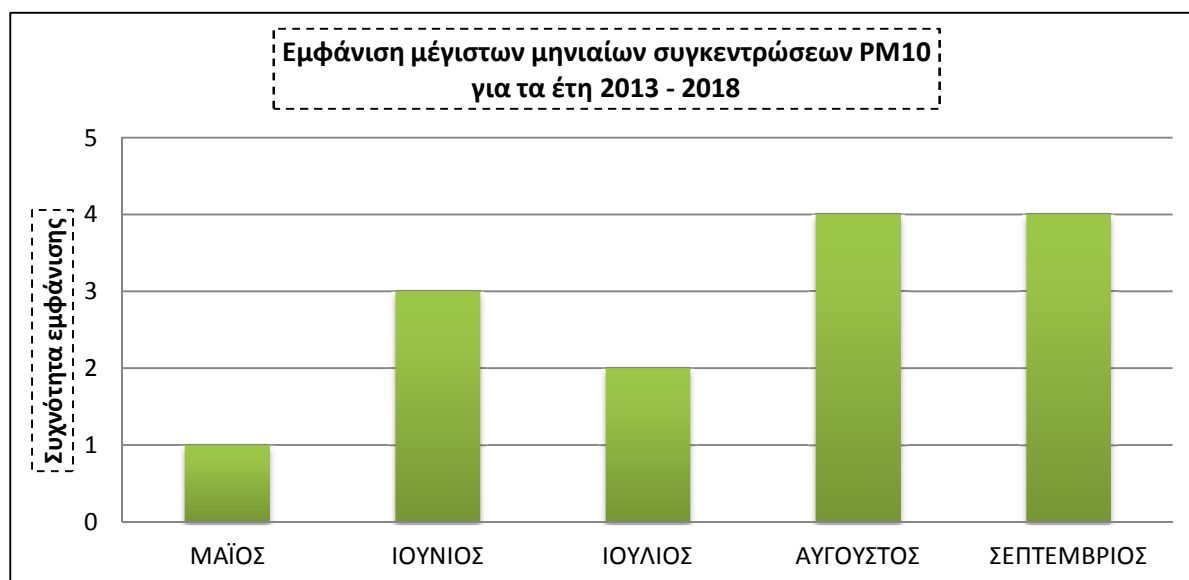
#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Με βάση το ανωτέρω διάγραμμα, αλλά και όσα περιγράφηκαν ανωτέρω, βλέπουμε ότι οι υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης σωματιδίων PM<sub>10</sub> και PM<sub>2,5</sub> καταγράφηκαν το έτος 2018. Οι καταγραφές αυτές σημειώθηκαν σε χρονική περίοδο κατά την οποία δεν εκτελούνταν εργασίες οι οποίες θα μπορούσαν να δώσουν σημαντικές εκπομπές σκόνης. Είναι μάλιστα υψηλότερες των συγκεντρώσεων που καταγράφηκαν κατά τα έτη 2014-2016 όπου εκτελούνταν οι εργασίες αποκομιδής των προϊόντων εκσκαφής της σήραγγας TBM. Το γεγονός αυτό μπορεί να εξηγηθεί από τις δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούσαν, κυρίως τον μήνα Αύγουστο (πολύ ισχυροί ΒΔ/οι άνεμοι), οι οποίες επιβάρυναν την περιοχή μέτρησης με εκπομπές σωματιδίων από εξωτερικές του εργοταξίου πηγές, όπως η παρακείμενη οδική κυκλοφορία. Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM<sub>2,5</sub> παρουσίασαν υψηλότερες τιμές από την τιμή στόχο των 20μg/m<sup>3</sup> για το έτος 2020, καθ' όλη την διάρκεια των εργασιών, ενώ προκύπτει επίσης ότι υπάρχει σημαντική συμμετοχή των συγκεντρώσεων των PM<sub>2,5</sub> με τιμές που κυμαίνονται από 55 – 80% σε σχέση με τις τιμές των PM<sub>10</sub>.

### 7.3 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μέγιστων συγκεντρώσεων κατά τα έτη 2013 - 2018

Από τα διαγράμματα της ανωτέρω παρ. 7.2, προέκυψαν οι μεγαλύτερες μηνιαίες και ετήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM<sub>10</sub> που καταγράφηκαν κατά την διάρκεια των κατασκευστικών εργασιών, από την έναρξή τους το έτος 2013 έως και το έτος 2018. Στα διαγράμματα 63 & 64 παρουσιάζεται η συχνότητα εμφάνισης των μέγιστων (2 τιμών κάθε φορά) καταγραφών, τόσο σε μηνιαία όσο και σε ετήσια βάση. Στο διάγραμμα 65 δίνεται ο μέσος όρος των καταγραφών των σωματιδίων PM<sub>10</sub> και PM<sub>2,5</sub> για κάθε εργοταξιακό χώρο



**Διάγραμμα 63: Συχνότητα εμφάνισης μέγιστων μηνιαίων συγκεντρώσεων σωματιδίων PM<sub>10</sub>, κατά τα έτη 2013 - 2018**

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

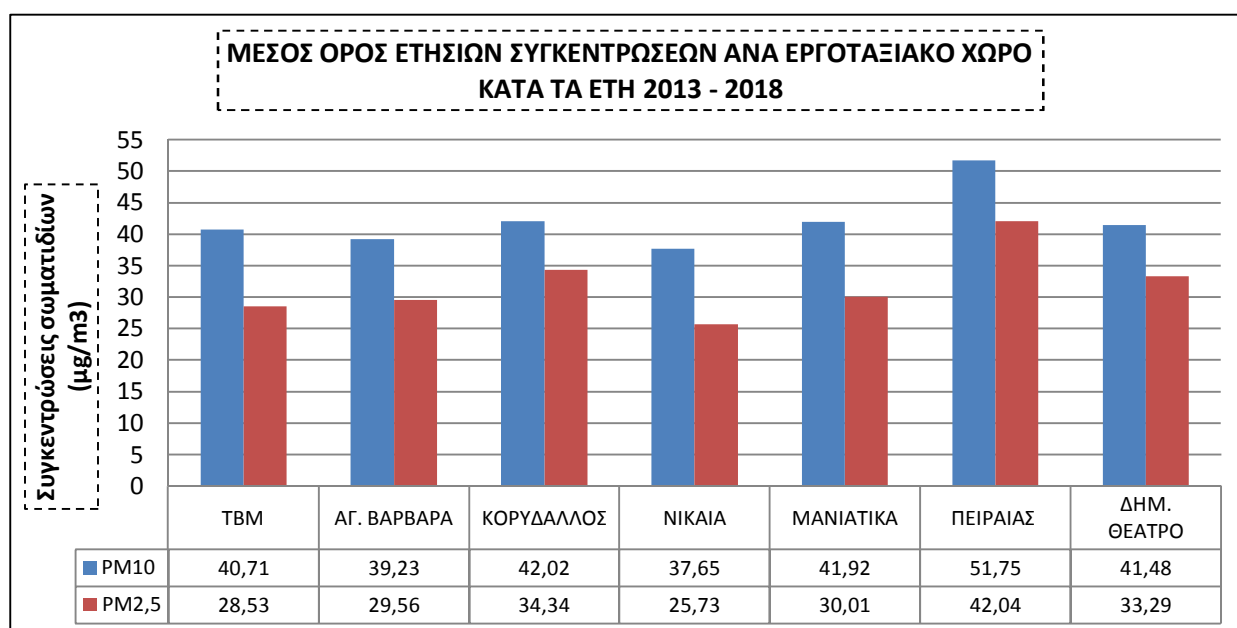
"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"



**Διάγραμμα 64: Συχνότητα εμφάνισης μέγιστων ετήσιων συγκεντρώσεων σωματιδίων PM10, κατά τα έτη 2013 - 2018**

Από τα ανωτέρω διαγράμματα προκύπτει ότι κατά τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο καταγράφησαν οι μεγαλύτερες τιμές των σωματιδίων PM10, γεγονός απόλυτα λογικό μιας και οι συγκεκριμένοι μήνες είναι οι ξηρότεροι της θερινής περιόδου.

Επίσης φαίνεται ότι κατά τα έτη 2016 και 2017 καταγράφησαν οι μεγαλύτερες τιμές των σωματιδίων PM10, γεγονός αναμενόμενο λόγω ότι αυτή την περίοδο υπήρχε πλήρη ανάπτυξη των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων του έργου σε όλους τους εργοταξιακούς χώρους.



**Διάγραμμα 65: Μέσος όρος συγκεντρώσεων σωματιδίων PM10, PM2,5 ανά εργοταξιακό χώρο τα έτη 2013 - 2018**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Από το ανωτέρω διάγραμμα προκύπτει ότι οι μέγιστες συγκεντρώσεις, τόσο των σωματιδίων PM10 όσο και των PM2,5 καταγράφηκαν στο Σταθμό του Πειραιά, ενώ ακολουθούν ο Σταθμός Κορυδαλλός και ο Σταθμός Μανιάτικα.

Οι υψηλές καταγραφές στον σταθμό του Πειραιά μπορούν να αιτιολογηθούν από δύο λόγους:

- Από την φύση των εργασιών, όπως εκσκαφές διαφραγματικών τοίχων και κυρίως σταθμού σε λεπτόκοκκα υλικά με χρήση μπεντονιτικού αιωρήματος, μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής και εισκόμιση των βαρέως τύπου μεταλλικών αντηρίδων αντιστήριξης του σταθμού με βαρέα οχήματα.
- Από τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, όπως ισχυροί άνεμοι με μεγάλη συχνότητα εμφάνισης καθ'όλη την διάρκεια του έτους και ιδιαίτερα κατά την θερινή περίοδο.

Οι υψηλές καταγραφές στον σταθμό του Κορυδαλλού σημειώθηκαν κυρίως τα έτη 2016 – 2017, χρονική περίοδο κατά την οποία μεταφέρθηκαν στον σταθμό οι υποστηρικτικές εγκαταστάσεις του TBM και εκτελούνταν οι εργασίες αποκομιδής των προϊόντων εκσκαφής της σήραγγας TBM με βαρέα οχήματα μεταφοράς με μεγάλη συχνότητα διελεύσεων σε όλη την διάρκεια της ημέρας.

Στον σταθμό Μανιάτικα οι υψηλές καταγραφές οφείλονται στην παρατεταμένη περίοδο εκσκαφών του σταθμού (οι εκσκαφές συνεχίζονται ακόμα) και στην παρουσία του πολύ σκληρού κρυσταλλικού ασβεστόλιθου που αποτελεί το υπόβαθρο του σταθμού, ο οποίος παράγει σημαντικές εκπομπές σωματιδίων κατά την εκσκαφή του.

## 8. ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Εκτός των μέτρων που προβλέπονται από τους Εγκεκριμένους Περιβαλλοντικούς Όρους του Έργου, ο Ανάδοχος εφάρμοσε πρόσθετα μέτρα για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των επιπτώσεων από τις εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων στην άμεση περιοχή του έργου. Τα μέτρα αυτά συνοψίζονται στα εξής:

- Τα δρομολόγια των αυτοκινήτων που εξυπηρετούν τα εργοτάξια είναι σαφώς καθορισμένα με στόχο την αποφυγή της διέλευσής τους κατά το δυνατόν από περιοχές κατοικίας.
- Περίφραξη των εργοταξίων για τον περιορισμό της διασποράς της σκόνης και για την προστασία των κατοικημένων περιοχών γύρω από τους εργοταξιακούς χώρους.
- Συχνή διαβροχή (καταιονισμός) όλων των περιοχών όπου γίνεται διαταραχή της επιφάνειας του εδάφους (π.χ. επιφάνειες αποψίλωσης και διαμόρφωσης εργοταξίων, εργοταξιακοί χώροι στάθμευσης των μηχανημάτων/οχημάτων, κλπ).
- Συχνή διαβροχή των επιφανειών και των μετώπων εκσκαφής.
- Συχνή διαβροχή των διαδρομών κίνησης εντός του εργοταξίου.
- Ειδική μέριμνα για διαβροχή των χωμάτων επιφανειών κατά την καλοκαιρινή περίοδο και κατά τις περιόδους που φυσούν ισχυροί άνεμοι.
- Διαβροχή των υλικών εκσκαφής, των αδρανών και αποθέσεων, που συγκεντρώνονται σε σωρούς, ώστε να περιορίζεται η έκλυση σκόνης.
- Βυτιοφόρο όχημα διαβροχής και όχημα σκούπας είναι πάντα διαθέσιμο στα εργοτάξια για την καταστολή της σκόνης.
- Τα υλικά των εκσκαφών φορτώνονται αμέσως σε φορτηγά και μεταφέρονται προς διάθεση σε λατομικούς χώρους ή τη χωματερή, ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία σωρών και οι εκπομπές σκόνης. Η επάνω επιφάνεια του φορτίου των προϊόντων εκσκαφής πρέπει να διαβρέχεται ελαφρά ώστε να αποκτήσει μια κρούστα που θα εμποδίζει την διασπορά σκόνης.
- Τα φορτηγά που μεταφέρουν χαλαρά υλικά και υλικά σε μορφή χύδην καλύπτονται με κουκούλα.
- Δεν πραγματοποιείται υπερπλήρωση της καρότσας των φορτηγών με χαλαρά υλικά, αλλά διατηρείται κάποιο χαμηλότερο ύψος γεμίματος από αυτό που μπορεί να χωρέσει, ώστε να αποφεύγεται η παραγωγή σκόνης κατά τη διάρκεια της μεταφοράς του υλικού.
- Πραγματοποιείται συχνή διαβροχή κατά τη φόρτωση και εκφόρτωση χωμάτων και αδρανών με κριτήριο την υγρασία τους, ώστε να αποφεύγονται οι εκπομπές σκόνης.
- Στις εισόδους και εξόδους των εργοταξίων έχει εγκατασταθεί σύστημα πλύσης/καθαρισμού των τροχών, ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία σκόνης και τα οχήματα να κυκλοφορούν καθαρά.
- Στις περιπτώσεις που τα μεταφερόμενα υλικά εκσκαφής πέφτουν και λερώνουν ασφαλτοστρωμένες επιφάνειες έξω από την περίμετρο του εργοταξίου, αυτές θα καθαρίζονται άμεσα.
- Τοποθέτηση των χαλαρών και χύδην υλικών σε καθορισμένες θέσεις του εργοταξίου ώστε να μην διαταράσσονται από τις διάφορες δραστηριότητες των εργαζομένων.
- Περίφραξη ή σκέπασμα με πλαστική μεμβράνη των χαλαρών και χύδην υλικών για να αποφεύγεται η διασπορά τους με τον αέρα.

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 153

- ❑ Ελαχιστοποίηση των αποθέσεων υλικών (κυρίως εκσκαφών ή επιχώσεων) σε σωρούς. Όπου αυτή είναι απαραίτητη γίνεται από το ελάχιστο δυνατό ύψος του μηχανήματος.
- ❑ Προγραμματισμός και συντονισμός εργασιών και μετακινήσεων των μηχανημάτων και οχημάτων, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι εκπομπές σκόνης και καυσαερίων.
- ❑ Τα φορτηγά κινούνται με μικρές ταχύτητες μέσα στους εργοταξιακούς χώρους και σε συγκεκριμένες διαδρομές. Τοποθέτηση πινακίδων μεγίστων ορίων ταχύτητας για όλες τις μη ασφαλτοστρωμένες επιφάνειες του εργοταξίου.
- ❑ Ο χειρισμός των μηχανημάτων γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιούνται οι εκπομπές σκόνης.
- ❑ Σε κάθε κατασκευαστική δραστηριότητα όπου υπάρχει πιθανότητα εκπομπής σκόνης, χρησιμοποιείται εξοπλισμός που εξασφαλίζει τη συγκράτηση σκόνης, ενώ οι χρόνοι υλοποίησης των δραστηριοτήτων αυτών ελαχιστοποιούνται (εφόσον είναι εφικτό).
- ❑ Ο μηχανολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στο έργο εξασφαλίζει τη συγκράτηση της σκόνης.
- ❑ Στα στόμια εξαερισμού του υπογείου έργου πραγματοποιείται τακτική συντήρηση των φίλτρων σκόνης.
- ❑ Τα οχήματα που χρησιμοποιούνται στο έργο διαθέτουν βεβαίωση ελέγχου από ΚΤΕΟ και κάρτα καυσαερίων σε ισχύ.
- ❑ Εφαρμόζεται συμμόρφωση με όλη τη σχετική Εθνική και Ευρωπαϊκή νομοθεσία για τις εκπομπές καυσαερίων.
- ❑ Τα μηχανήματα και οχήματα στα εργοτάξια σβήνουν τις μηχανές τους όταν δεν παράγουν εργασία.
- ❑ Τα φορτηγά κλείνουν τις μηχανές τους όταν αυτές βρίσκονται σε αδράνεια (πχ όταν περιμένουν να γεμίσουν οι καρότσες τους), ώστε να ελαχιστοποιούνται οι εκπομπές καυσαερίων.
- ❑ Οι εξατμίσεις των μηχανημάτων/οχημάτων δεν είναι στραμμένες προς το έδαφος.
- ❑ Το κάψιμο των υλικών και των αποβλήτων, καθώς και το άναμα φωτιάς στους χώρους των εργοταξίων απαγορεύεται.
- ❑ Το προσωπικό του έργου και οι υπεργολάβοι εκπαιδεύονται από τον υπεύθυνο περιβάλλοντος, και καθοδηγούνται ούτως ώστε να ελαχιστοποιείται η ρύπανση της ατμόσφαιρας από τις κατασκευαστικές δραστηριότητες του έργου.

## 9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώθηκε στην μελέτη της δυναμικής των αιωρούμενων σωματιδίων, στην περιοχή κατασκευής του έργου "Επέκταση της γραμμής 3 του ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ στον Πειραιά". Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν μακροχρόνιες (2013 – 2018) μετρήσεις, στους σημαντικότερους εργοταξιακούς χώρους εκτέλεσης του έργου, σύμφωνα με το πρόγραμμα μετρήσεων που αναφέρθηκε στο Κεφ. 6 της παρούσας

Σκοπός αυτών ήταν η εκτίμηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων, καθώς και της κατανομής τους ανάλογα με την διάμετρο και η πιθανή μηνιαία και ετήσια διακύμανση τους. Η εργασία εστιάστηκε ακόμα στην συνεισφορά της σκόνης της προερχόμενης από τις διαφορετικές κατασκευαστικές εργασίες του έργου.

Τα συμπεράσματα στα οποία μπορούμε να καταλήξουμε, μετά την ανάλυση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων, που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από τις εργασίες κατασκευής υπόγειων συγκοινωνιακών έργων και συγκεκριμένα από την κατασκευή του έργου "Επέκταση της γραμμής 3 του ΜΕΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ στον Πειραιά", είναι τα κάτωθι:

1. Οι κατασκευαστικές εργασίες που παράγουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων είναι κατά φθίνουσα σειρά:
  - οι εργασίες εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης (κατασκευή φρεατοπασσάλων, εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος, διάτρηση και πάκτωση προεντεταμένων αγκυριών), ιδιαίτερα όταν αυτές εκτελούνται στα αρχικά επίπεδα των εργασιών εκσκαφής των σταθμών και των φρεάτων.
  - σημαντικές εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων παράγουν επίσης οι εργασίες μεταφοράς των προϊόντων εκσκαφής, ιδιαίτερα όταν η συχνότητα των διελεύσεων των οχημάτων μεταφοράς είναι μεγάλη στην διάρκεια της ημέρας, όπως στην περίπτωση των εργοταξίων του φρέατος εισόδου TBM και του σταθμού "Κορυδαλλός". Από αυτούς τους δύο εργοταξιακούς χώρους πραγματοποιήθηκε το σύνολο των εργασιών αποκομιδής των προϊόντων εκσκαφής της σήραγγας TBM.
  - σημαντικές εκπομπές αλλά μικρής χρονικής διάρκειας, παράγονται από τις εργασίες λείανσης των επιχρισμάτων της τοιχοποιίας που προηγούνται των βαφών των σταθμών.
  - τέλος οι εργασίες της τελικής επίχωσης της οροφής των σταθμών και των φρεάτων, παράγουν σημαντικές εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων λόγω της φύσης τους (επεξεργασία αδρανών υλικών) και της εκτέλεσης τους στο ανώτερο επίπεδο της οδού.
2. Οι μήνες με τις μεγαλύτερες καταγραφές συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10 κατά τα έτη 2013 έως 2018 είναι οι Αύγουστος και Σεπτέμβριος που είναι οι τελευταίοι χρονικά μήνες της ξηρής θερινής περιόδου.
3. Τα έτη με τις μεγαλύτερες καταγραφές συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM10 είναι τα έτη 2016 και 2017, όπου υπήρχε πλήρη ανάπτυξη των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων σε όλους τους εργοταξιακούς χώρους.
4. Οι μέγιστες συγκεντρώσεις, τόσο των σωματιδίων PM10 όσο και των PM2,5 καταγράφηκαν

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 155



στο Σταθμό του Πειραιά, επιβεβαιώνοντας την αρχική εκτίμηση της “ειδικής μελέτης διαχείρισης αιωρούμενων σωματιδίων”, ενώ ακολουθούν ο Σταθμός Κορυδαλλός και ο Σταθμός Μανιάτικα.

Οι υψηλές καταγραφές στον σταθμό του Πειραιά μπορούν να αιτιολογηθούν από δύο λόγους:

- Από την φύση των εργασιών, όπως εκσκαφές διαφραγματικών τοίχων και κυρίως σταθμού σε λεπτόκοκκα υλικά με χρήση μπεντονιτικού αιωρήματος, μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής και εισκόμιση των βαρέως τύπου μεταλλικών αντιρήδων αντιστήριξης του σταθμού με βαρέα οχήματα.
- Από τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, όπως ισχυροί άνεμοι με μεγάλη συχνότητα εμφάνισης καθ’όλη την διάρκεια του έτους και ιδιαίτερα κατά την θερινή περίοδο.

Οι υψηλές καταγραφές στον σταθμό του Κορυδαλλού σημειώθηκαν κυρίως τα έτη 2016 – 2017, χρονική περίοδο κατά την οποία μεταφέρθηκαν στον σταθμό οι υποστηρικτικές εγκαταστάσεις του TBM ΚΑΙ εκτελούνταν οι εργασίες αποκομιδής των προϊόντων εκσκαφής της σήραγγας TBM με βαρέα οχήματα μεταφοράς με μεγάλη συχνότητα διελεύσεων σε όλη την διάρκεια της ημέρας.

Στον σταθμό Μανιάτικα οι υψηλές καταγραφές οφείλονται στην παρατεταμένη περίοδο εκσκαφών του σταθμού (οι εκσκαφές συνεχίζονται ακόμα) και στην παρουσία του πολύ σκληρού κρυσταλλικού ασβεστόλιθου που αποτελεί το υπόβαθρο του σταθμού, ο οποίος παράγει σημαντικές εκπομπές σωματιδίων κατά την εκσκαφή του.

5. Οι καταγραφές των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 ήταν πολύ σημαντικές σε όλους τους εργοταξιακούς χώρους και για όλη την χρονική διάρκεια των εργασιών (2013 – 2018), ξεπερνώντας, εκτός των σταθμών Αγ. Βαρβάρα και Νίκαια, την ετήσια οριακή τιμή των  $40\mu\text{gr}/\text{m}^3$  της οδηγίας 99/30/ΕΚ. Πρέπει όμως να σημειωθεί εδώ ότι οι μετρήσεις εκτελέστηκαν μόνο κατά την θερινή περίοδο, η οποία είναι και η πιο δυσμενής από άποψης κλιματολογικών συνθηκών, και όχι σε συνεχή ετήσια βάση γεγονός που πιθανότατα θα μείωνε τον μέσο όρο των συγκεντρώσεων των σωματιδίων.
6. Οι καταγραφές των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM2,5 ήταν πολύ σημαντικές σε όλους τους εργοταξιακούς χώρους και για όλη την χρονική διάρκεια των εργασιών (2013 – 2018), ξεπερνώντας την τιμή στόχο των  $20\mu\text{gr}/\text{m}^3$  για το 2020, της οδηγίας 2008/50/ΕΚ, φθάνοντας σε ποσοστό το 60 – 85% των συγκεντρώσεων των PM10, ενώ σε μερικές περιπτώσεις (σταθμοί Πειραιάς – Δημ. Θέατρο) άγγιξαν ή ξεπέρασαν και το 90%. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό και καταδεικνύει ότι η εκτέλεση των μεγάλων έργων υποδομής προκαλεί σημαντικές εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων PM2,5, τα οποία όπως αναφέρθηκαν στο Μέρος Α΄ της παρούσας εργασίας, μπορούν να επιφέρουν σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων, ιδιαίτερα όταν αυτά εκτελούνται μέσα σε πυκνοκατοικημένο αστικό ιστό. Πρέπει επίσης εδώ να σημειωθεί ότι οι εκπομπές σωματιδίων από τις κατασκευαστικές εργασίες έχουν περιορισμένη χρονική και τοπική διάρκεια, εξαρτώνται από την φύση των εργασιών, όπως προαναφέρθηκε, αίρονται δε πλήρως μετά το τέλος των εργασιών κατασκευής.

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 156

Ως γενική εκτίμηση θα μπορούσαμε να πούμε, ότι με την τήρηση των προτεινόμενων στην μέτρων, καθώς και με την εφαρμογή ενός αναλυτικού προγράμματος παρακολούθησης των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων, μπορεί να επιτευχθεί στο βαθμό του δυνατού η ελαχιστοποίηση των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων τόσο στην άμεση όσο και στην ευρύτερη περιοχή από τις εργασίες κατασκευής του έργου.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Βογιατζής Κωνσταντίνος "Περιβαλλοντική Τεχνική" – Εκδόσεις Συμμετρία - 2015
2. Δ.Σ. Καϊλίδη, Ρύπανση Φυσικού Περιβάλλοντος. Εκδόσεις Κ. Χριστοδουλίδη – 1991.
3. Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών "Ρύπανση και Θόρυβος στην περιοχή Χαϊδαρίου" – 2010.
4. ΑΠΘ / Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας: Δ. Μελάς "Ατμοσφαιρική διάχυση και διασπορά" – 2007.
5. Διαδύκτιο – Διευθύνσεις: Υπουργείου Εσωτερικών - Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας – ΥΠΕΧΩΔΕ – Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών – Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία.
6. ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.
7. "Μηνιαίες εκθέσεις μετρήσεων περιβαλλοντικών παραμέτρων, έτη 2013-2018" Κ/Ξ J&P ΑΒΑΞ ΑΕ – GHELLA SPA – ALSTOM TRANSPORT SA – Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος
8. "Μηνιαίες Εκθέσεις μετρήσεων αιωρούμενων σωματιδίων στα εργοτάξια, έτη 2014,2016,2017,2018" ΣΣΕ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΑΕ
9. Γεντεκάκης Ι. (2010). *Ατμοσφαιρική Ρύπανση: Επιπτώσεις, Έλεγχος και Εναλλακτικές Τεχνολογίες*". Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
10. Διαπούλη Ε. (2008). *Έκθεση Υποομάδων Πληθυσμού σε Αέρια Σωματιδιακή Ρύπανση*'. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα
11. Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (1999). Κλιματικά στοιχεία των σταθμών της ΕΜΥ (περίοδος 1955-1997). Αθήνα
12. Ζάνης Π. (2008). *Σημειώσεις για την Ρύπανση και Χημεία της Ατμόσφαιρας*". Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη
13. Καζαντζή Α. (2011). *Μελέτη και Ανάλυση Συσχετίσεων των Σωματιδίων PM10 με τα Σωματίδια PM2.5 και τις Μετεωρολογικές Παραμέτρους για την Περιοχή της Θεσσαλονίκης*'. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη
14. Καραθανάσης Σ. (2006). *Ατμοσφαιρική Ρύπανση: Ορισμός, Επιπτώσεις, Πηγές από Βιομηχανικές και Βιοτεχνικές Δραστηριότητες, Τεχνολογία Αντιμετώπισης, Νομοθεσία*'. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
15. Κούγκολος Α. (2007). *"Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Μηχανική"*. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
16. Κόλλια Π. (2012). *Μελέτη Σωματιδιακής Ρύπανσης στην Ευρύτερη Περιοχή της Θεσσαλονίκης*'. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη
17. Λαζαρίδης Μ. (2005). *Ατμοσφαιρική Ρύπανση με Στοιχεία Μετεωρολογίας*'. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
18. Μασσάρα Β. (2011). *Αιωρούμενα Σωματίδια στην Ατμόσφαιρα της Πάτρας*'. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Βιολογίας του Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα
19. Μελάς Δ. (2007). *Φυσική Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος*". Εργαστήριο Φυσικής Ατμόσφαιρας του Τμήματος Φυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη
20. Παπαζάχου Ν. (2012). *Προσδιορισμός Οργανικών και Ανόργανων Ανιόντων στα Αιωρούμενα Σωματίδια της Ατμόσφαιρας και στην Αποτιθέμενη Σκόνη Μνημείων*'. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Χημείας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 158

21. Ραψομανίκης, Σ.Χ. και Καστρινάκης, Ε.Γ. (2009). *Βασικές Αρχές Αντιρρυπαντικής Τεχνολογίας Ατμοσφαιρικών ρύπων*. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
22. Ρεμουντάκη Ε. (2012). *Μηχανισμοί Κινητικότητας Ρύπων (Μετάλλων)*. Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνολογίας Προστασίας Περιβάλλοντος στη Μεταλλουργία και Τεχνολογία Υλικών του Τμήματος Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα
23. Σαμαρά - Κωνσταντίνου Κ., Κουϊμτζής Θ., Βουτσά Δ., Κούρας Α., Μανώλη Ε., Αργυρόπουλος Γ., Νικολάου Κ., Σταμπουντζής Ε., Κουμπαρέλος Γ. (2008). *Προσδιορισμός της Συμβολής Πηγών στην Ατμοσφαιρική Ρύπανση του Βόλου και Σχεδιασμός Ιεραρχημένης Περιβαλλοντικής Πολιτικής για την Αναβάθμιση της Ποιότητας της Ατμόσφαιρας*. Ερευνητικό Έργο, Φάση II, Τελική Έκθεση, Εργαστήριο Ελέγχου
24. «Δυναμική των ατμοσφαιρικών αερολυμάτων και μελέτη του δυναμικού πυρηνοποίησής τους στην ανατολική Μεσόγειο» ΚΟΠΑΝΑΚΗΣ ΗΛΙΑΣ – Διδακτορική διατριβή 2015

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

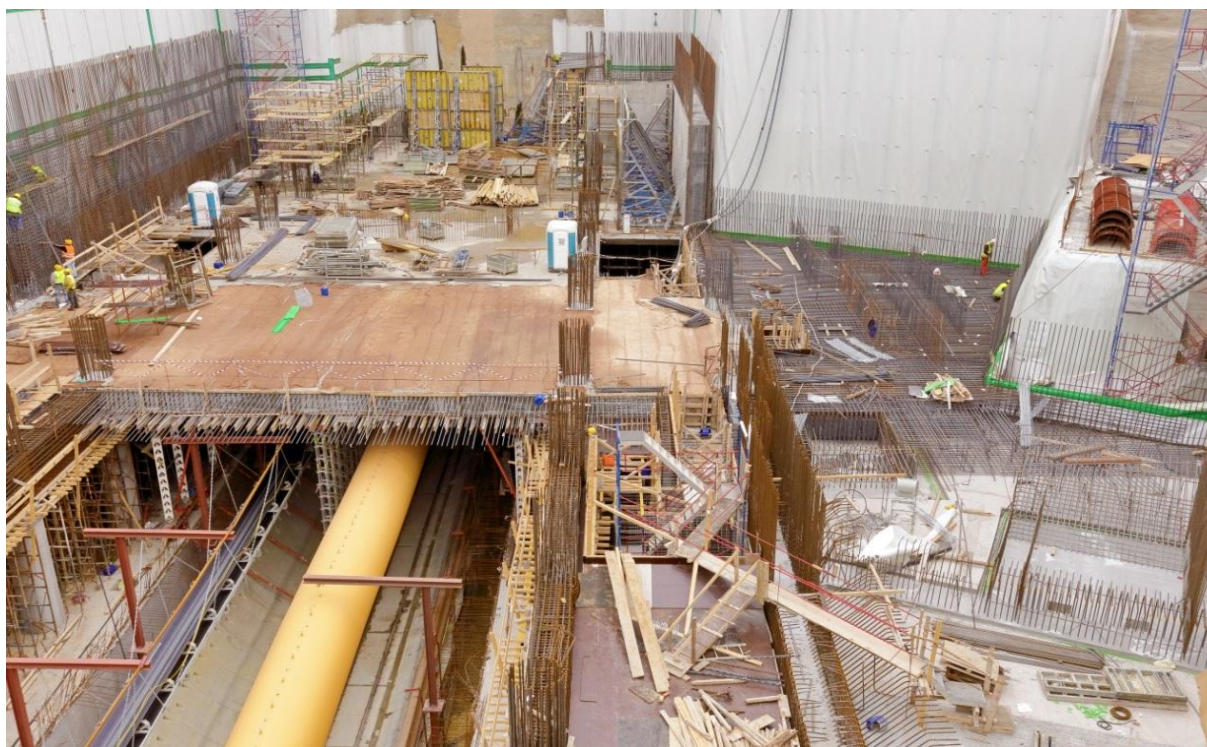
## ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ



**ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ**



**ΦΩΤΟ 1:** ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΚΣΑΦΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ - 2013



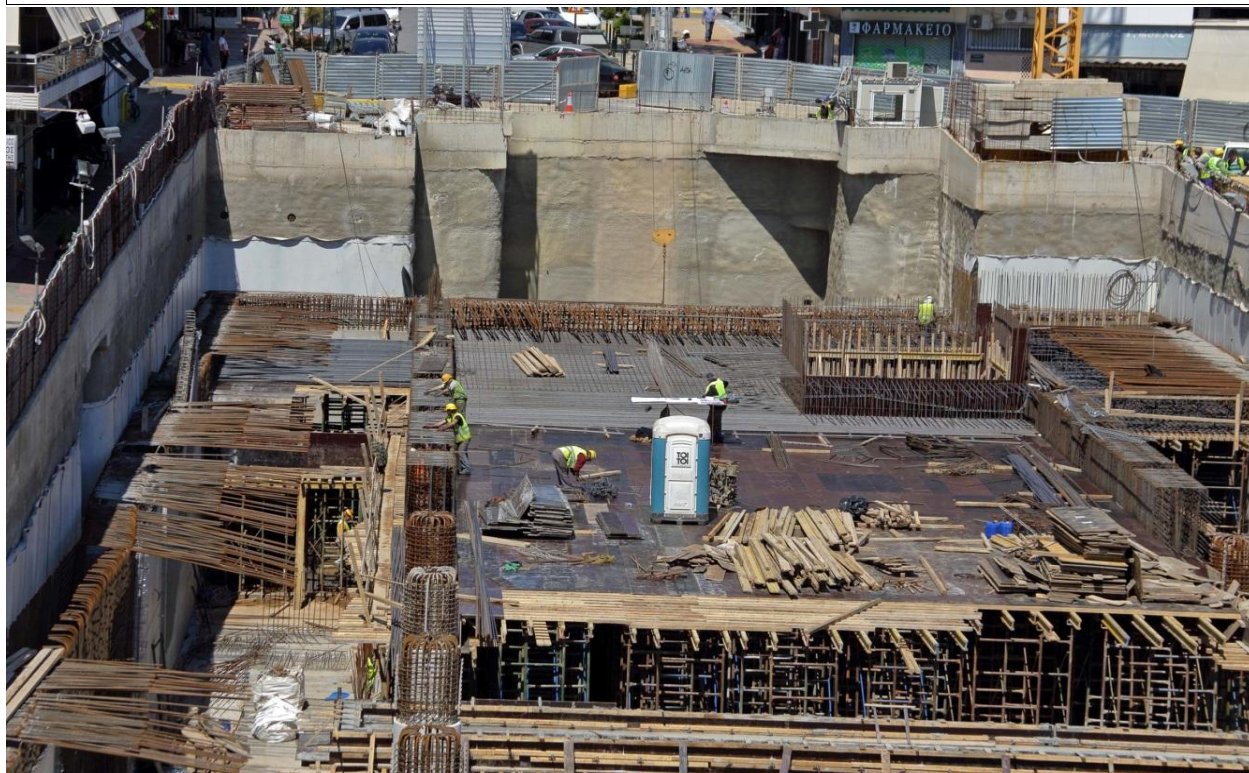
**ΦΩΤΟ:2** ΑΠΟΨΗ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΜΕΝΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΕΚΔΟΣΗΣ ΕΙΣΙΤΗΡΙΩΝ - 2014

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά

Σελίδα 162





**ΦΩΤΟ 3:** ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΙΔΗΡΟΠΛΙΣΜΟΥ ΠΛΑΚΑΣ ΟΡΟΦΗΣ - 2015



**ΦΩΤΟ 4:** ΑΠΟΨΗ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΟΡΟΦΟΥ - 2016

---

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

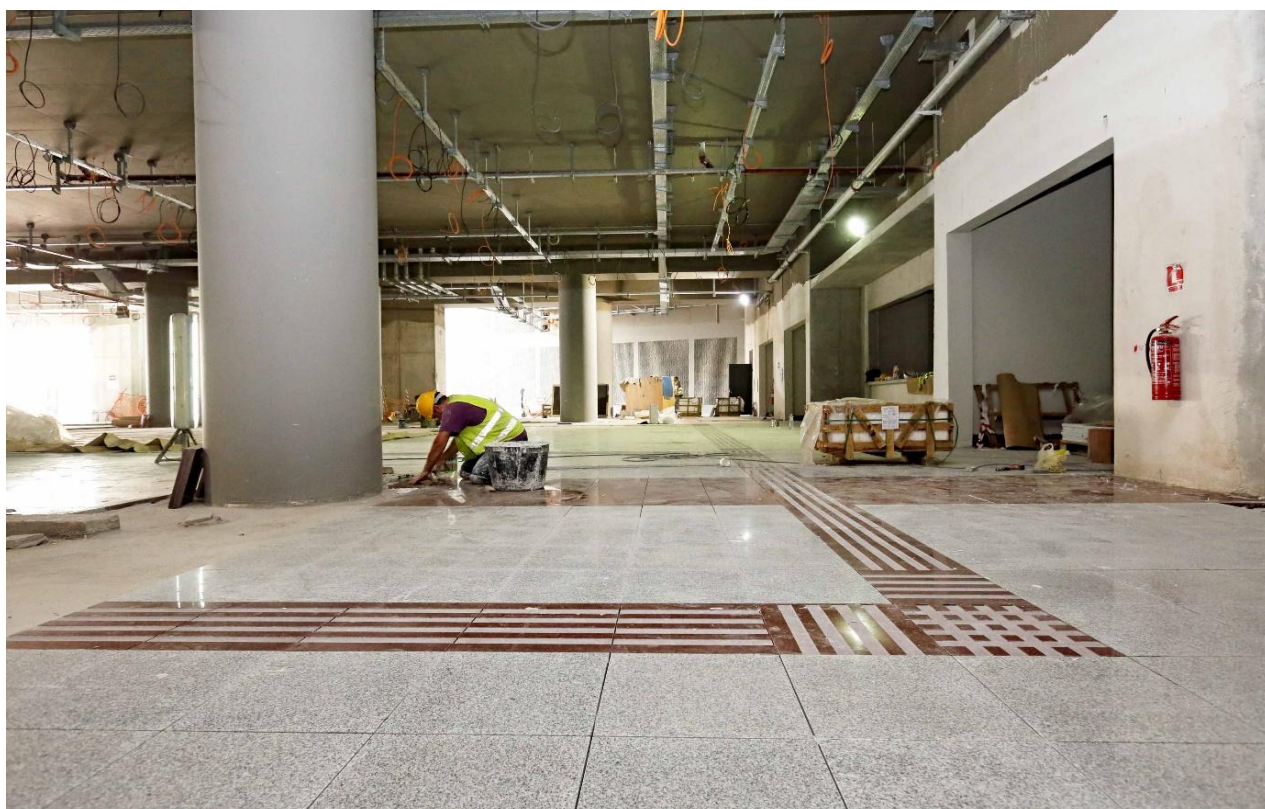
Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά

Σελίδα 163





**ΦΩΤΟ 5** ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗ Γ ΦΑΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΤΡΟΧΙΩΝ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑΣ – 2017



**ΦΩΤΟ 6:** ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΠΛΑΚΩΝ ΓΡΑΝΙΤΗ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΚΔΟΣΗΣ ΕΙΣΙΤΗΡΙΩΝ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ - 2018

---

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά

Σελίδα 164



**ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΥΡΔΑΛΛΟΣ**



**ΦΩΤΟ 7:** ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΚΣΑΦΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ – 2013



**ΦΩΤΟ 8::** ΣΚΥΡΟΔΕΤΣΗ ΠΛΑΚΑΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΑΠΟΒΑΘΡΩΝ - 2014

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά

Σελίδα 165





**ΦΩΤΟ 9:** ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΤΩ ΠΛΑΚΑΣ ΟΡΟΦΗΣ – 2015



**ΦΩΤΟ 10:** ΑΠΟΨΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΠΟΒΑΘΡΩΝ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ - 2016

---

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά

Σελίδα 166





**ΦΩΤΟ 11:** ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΠΙΧΩΣΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΟΡΟΦΗΣ - 2017



**ΦΩΤΟ 12:** ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ (ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ Νο.1) - 2018

---

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά**

Σελίδα 167



**ΣΤΑΘΜΟΣ ΝΙΚΑΙΑ**



**ΦΩΤΟ 13:** ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΚΣΑΦΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ - 2013



**ΦΩΤΟ 14 :** ΑΠΟΨΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ NATM (ΦΑΣΗ Α1 ΕΚΣΚΑΦΗΣ) - 2014

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά

Σελίδα 168





**ΦΩΤΟ 15:** ΑΠΟΨΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗΣ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΚΔΟΣΗΣ ΕΙΣΙΤΗΡΙΩΝ - 2015



**ΦΩΤΟ 16:** ΑΠΟΨΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ ΣΤΑΘΜΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΟΡΟΦΟΥ - 2016

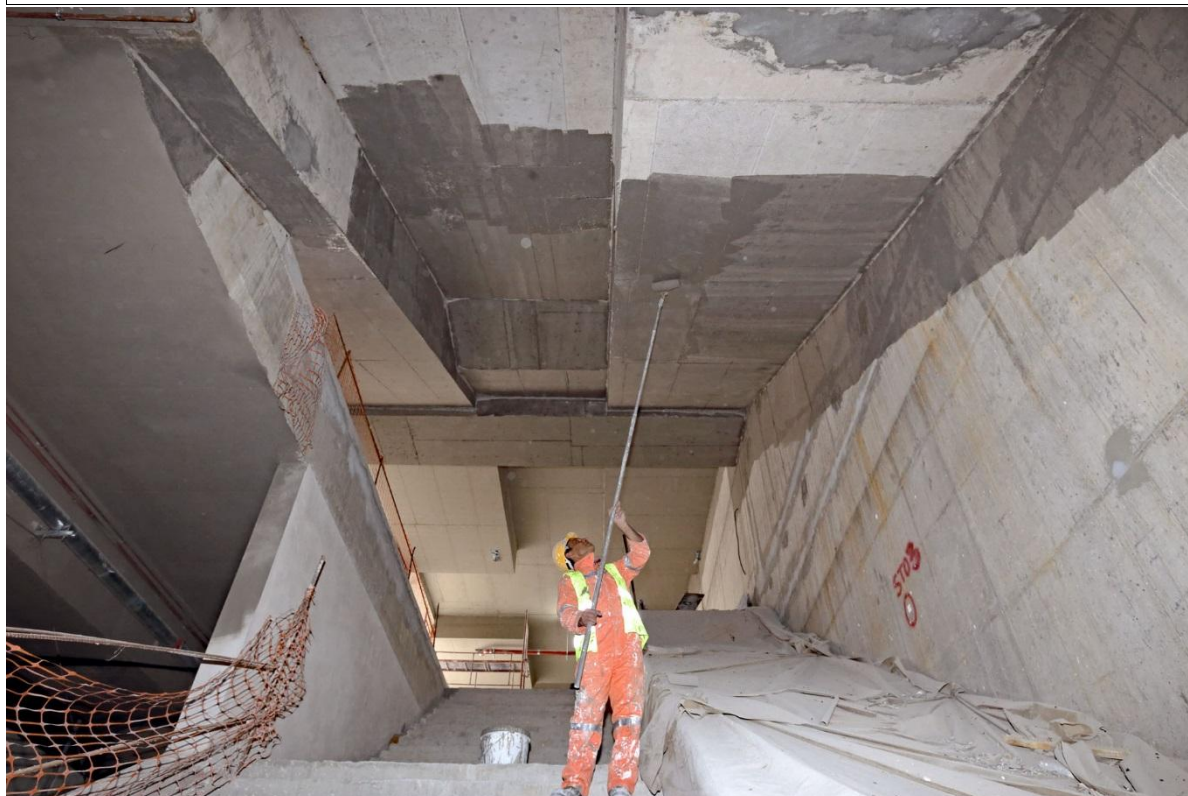
---

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

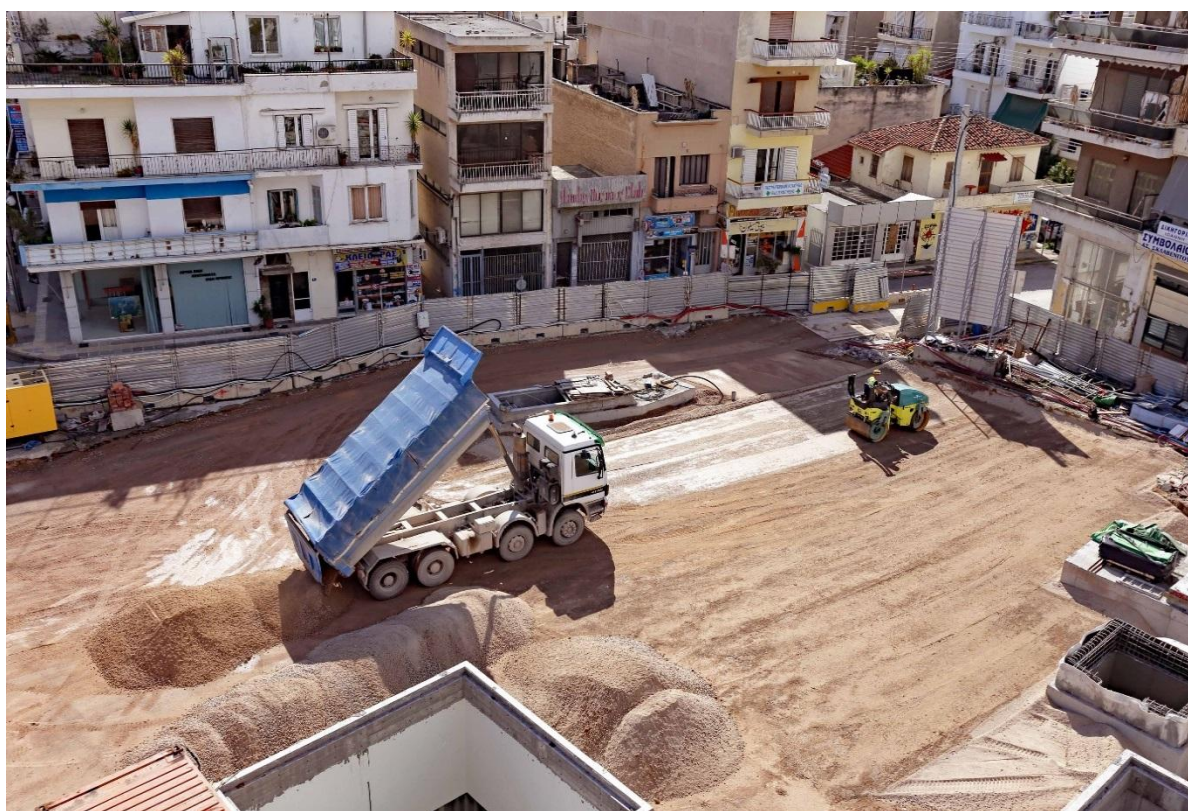
**Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά**

Σελίδα 169





**ΦΩΤΟ 17:** ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΧΡΩΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΣΤΙΣ ΑΠΟΒΑΘΡΕΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ - 2017



**ΦΩΤΟ 18:** ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΠΙΧΩΣΗΣ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΟΔΟΥ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ - 2018

---

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά

Σελίδα 170



**ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΝΙΑΤΙΚΑ**



**ΦΩΤΟ 19:** ΕΚΣΚΑΦΗ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ ΣΤΑΘΜΟΥ - 2014



**ΦΩΤΟ 20:** ΑΠΟΨΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΘΑΛΑΜΟΥ ΠΡΟΣΒΟΛΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΝΑΤΜ ΣΤΑΘΜΟΥ - 2014

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

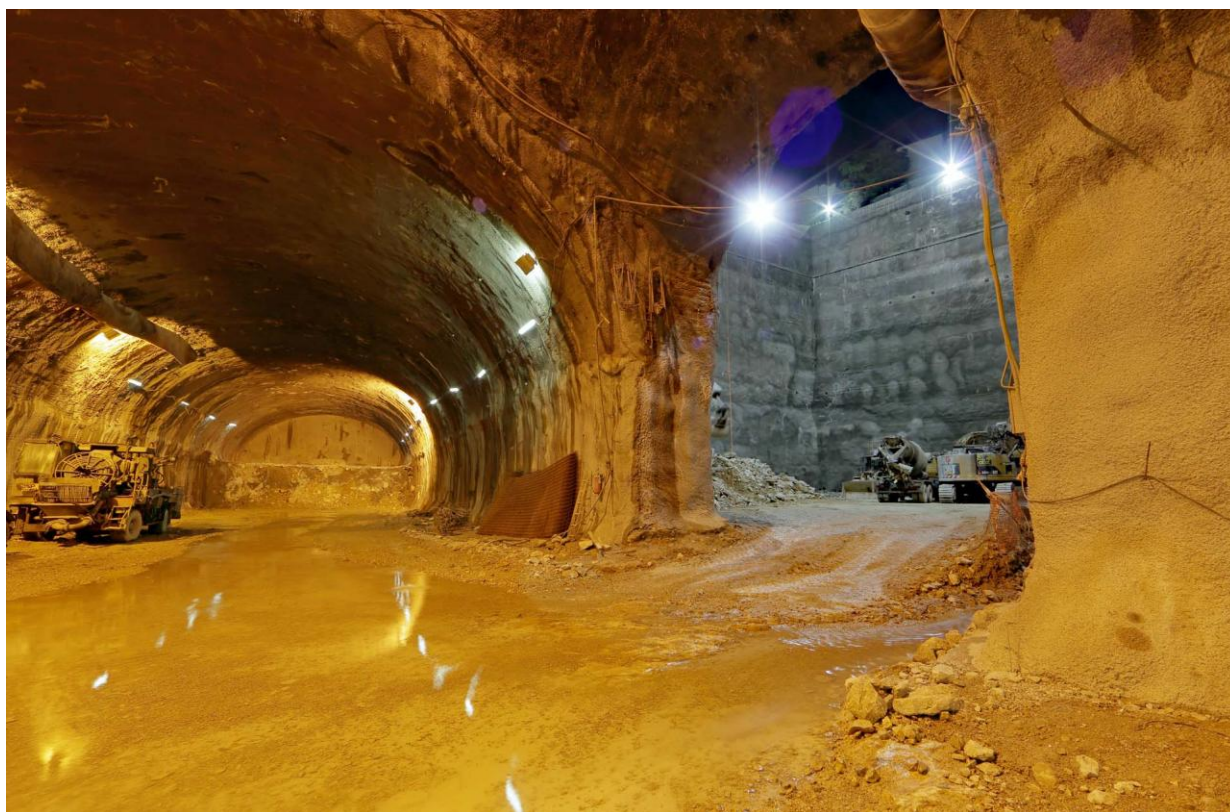
Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά

Σελίδα 171





**ΦΩΤΟ 21:** ΚΑΘΑΙΡΕΣΗ ΜΕΣΑΙΟΥ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ ΒΟΡΕΙΑΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΣΤΑΘΜΟΥ - 2015



**ΦΩΤΟ 22:** ΑΠΟΨΗ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΦΑΣΗΣ Β ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ (ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣ ΝΙΚΑΙΑ) - 2016

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

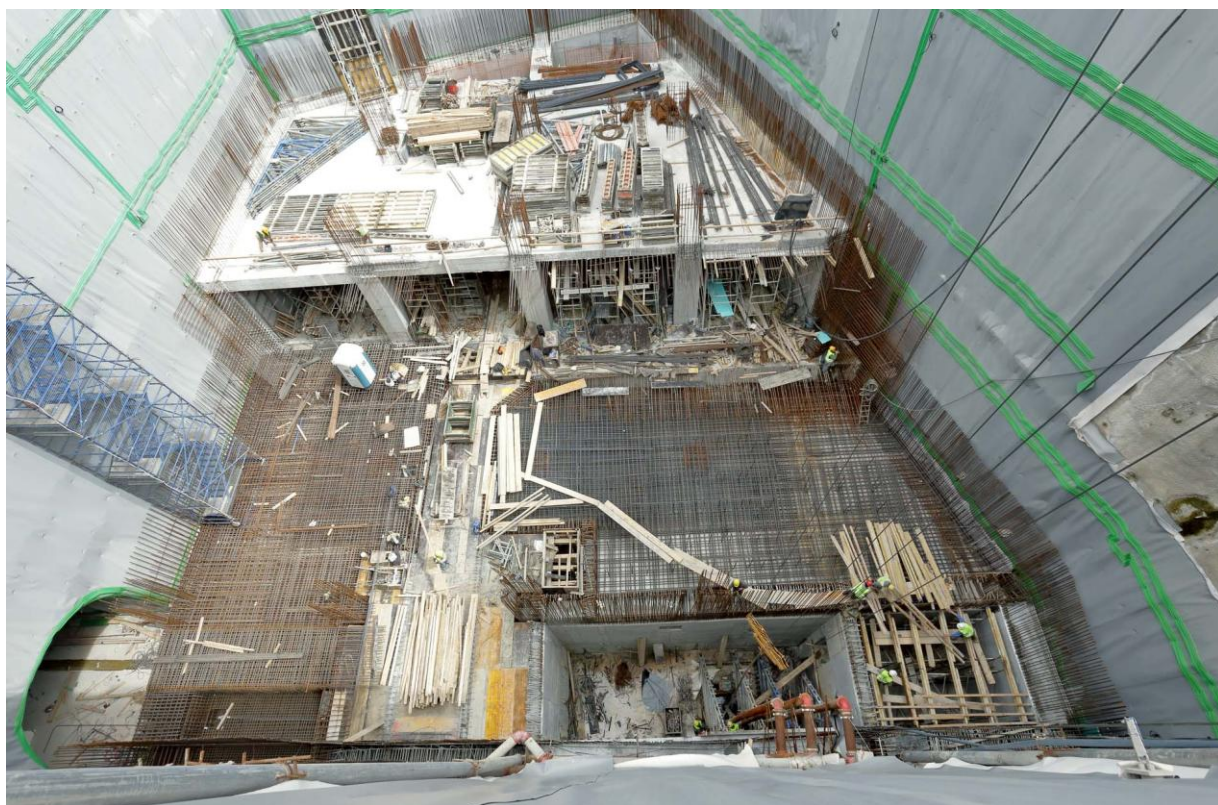
Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά

Σελίδα 172





**ΦΩΤΟ 23:** ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΜΟΝΙΜΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΘΟΛΟΥ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ - 2017



**ΦΩΤΟ 24:** ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΙΜΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ ΣΤΑΘΜΟΥ - 2018

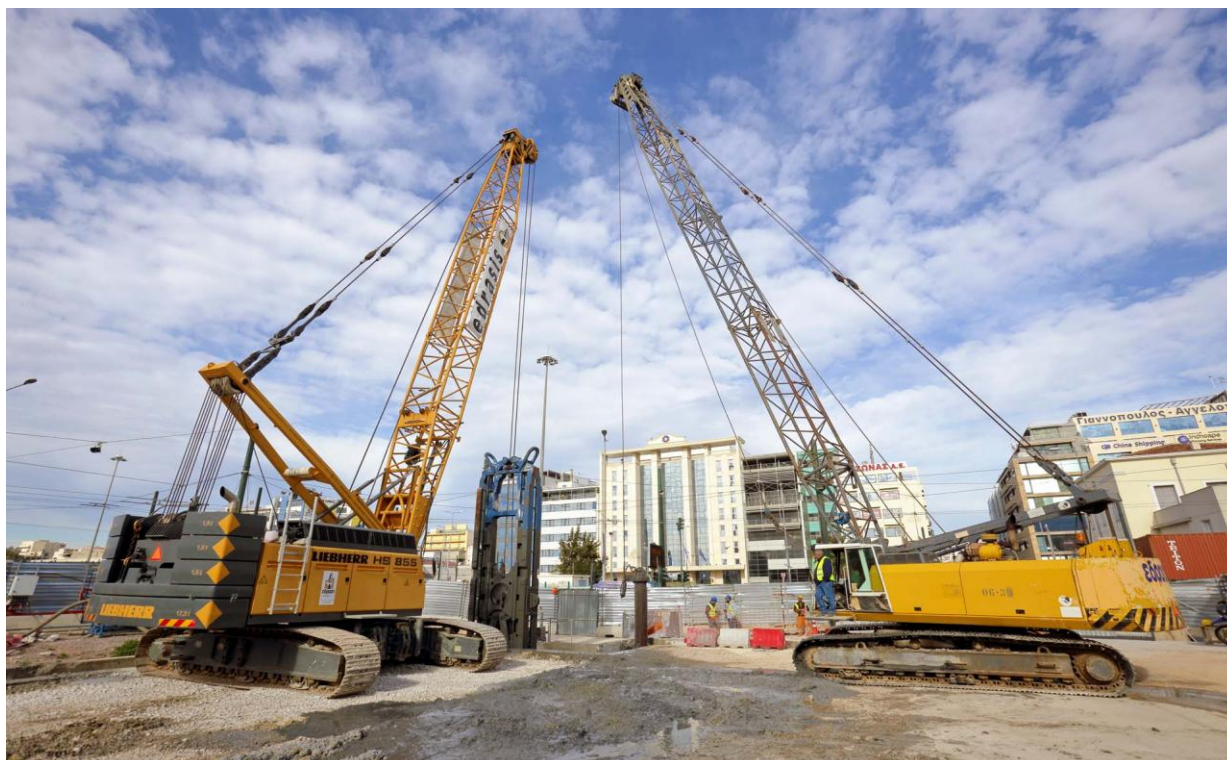
**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά

Σελίδα 173



**ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑΣ**



**ΦΩΤΟ 25:** ΕΚΣΚΑΦΗ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΤΟΙΧΩΝ – 2016



**ΦΩΤΟ 26:** ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΙΔΗΡΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ - 2016

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά

Σελίδα 174





**ΦΩΤΟ 27:** ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΑΣΣΑΛΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ Νο.3 - 2017



**ΦΩΤΟ 28:** ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ 3<sup>ΗΣ</sup> ΣΤΑΘΜΗΣ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ - 2018

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά

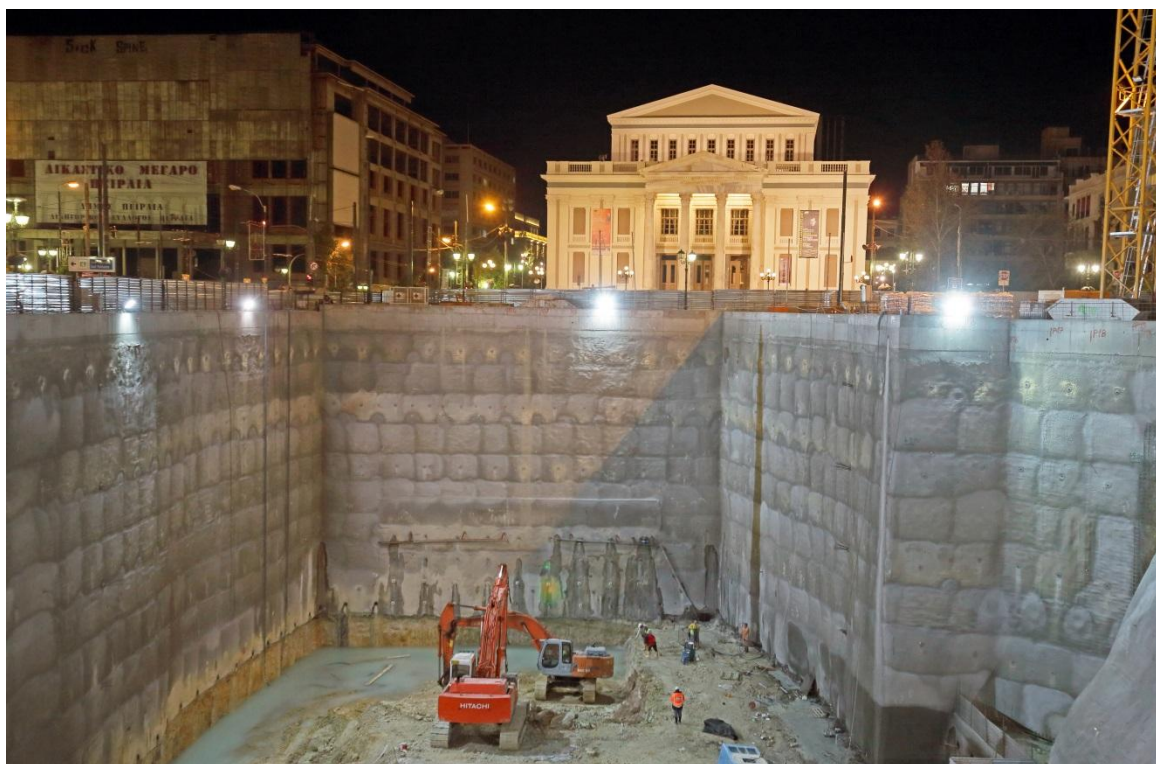
Σελίδα 175



**ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ**



**ΦΩΤΟ 29:** ΕΚΣΚΑΦΗ 3<sup>ΟΥ</sup> ΕΠΙΠΕΔΟΥ (ΠΛ.ΑΓ.ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ) - 2014



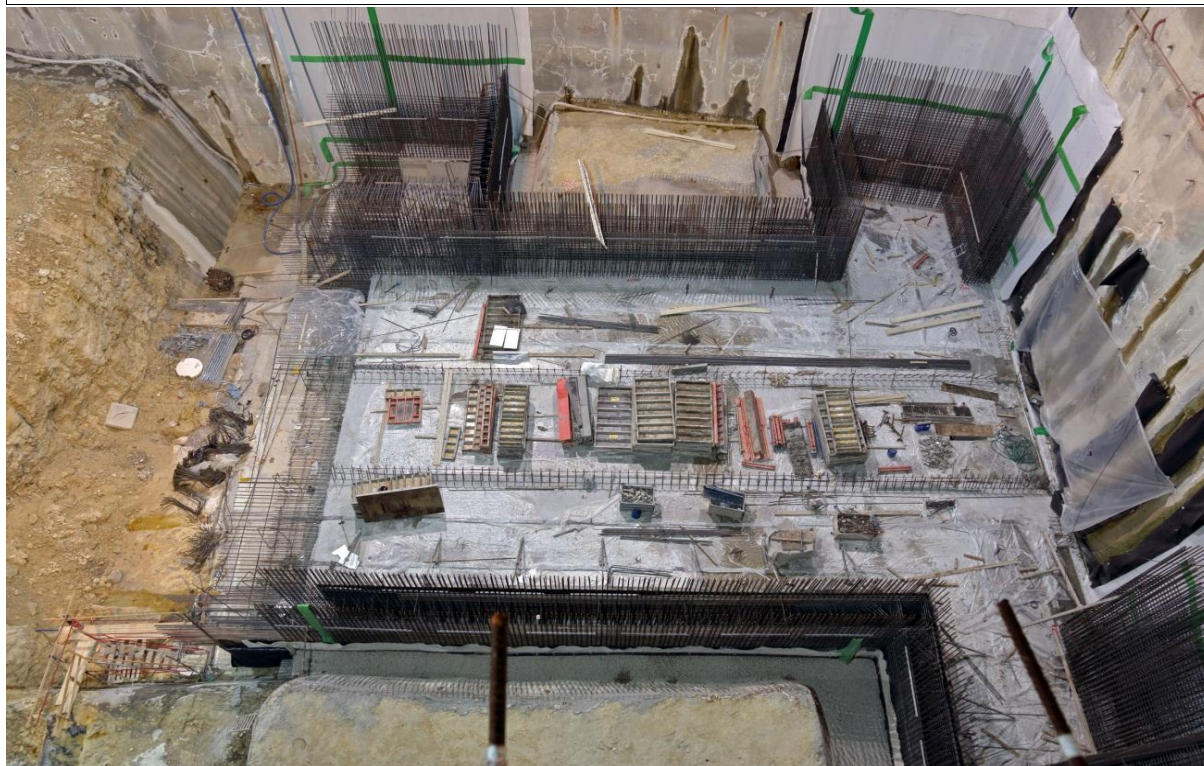
**ΦΩΤΟ 30:** ΕΚΣΚΑΦΗ 6<sup>ΟΥ</sup> ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ ΠΛ.ΑΓΙΟΥ ΚΩΝ/ΝΟΥ – ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2014

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά

Σελίδα 176





**ΦΩΤΟ 31:** ΑΠΟΨΗ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΜΕΝΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ – 2015



**ΦΩΤΟ 32:** ΑΠΟΨΗ ΒΑΣΙΚΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ NATM ΣΤΑΘΜΟΥ - 2016

---

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά

Σελίδα 177





**ΦΩΤΟ 33:** ΑΠΟΨΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΕΙΣΙΤΗΡΙΩΝ ΣΤΑΘΜΟΥ - 2016



**ΦΩΤΟ 34:** ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΟΝΙΜΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΝΟΤΙΑΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΛΙΜΑΚΟΣΤΑΣΙΟΥ - 2017

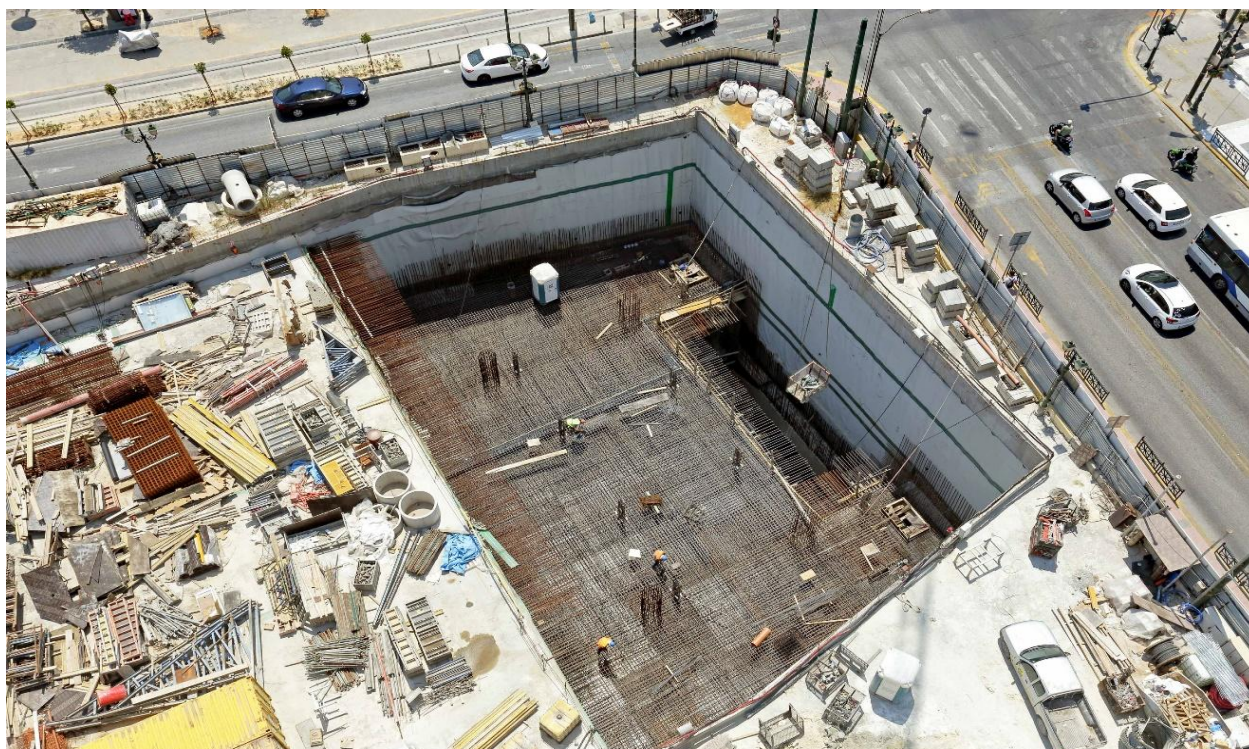
---

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

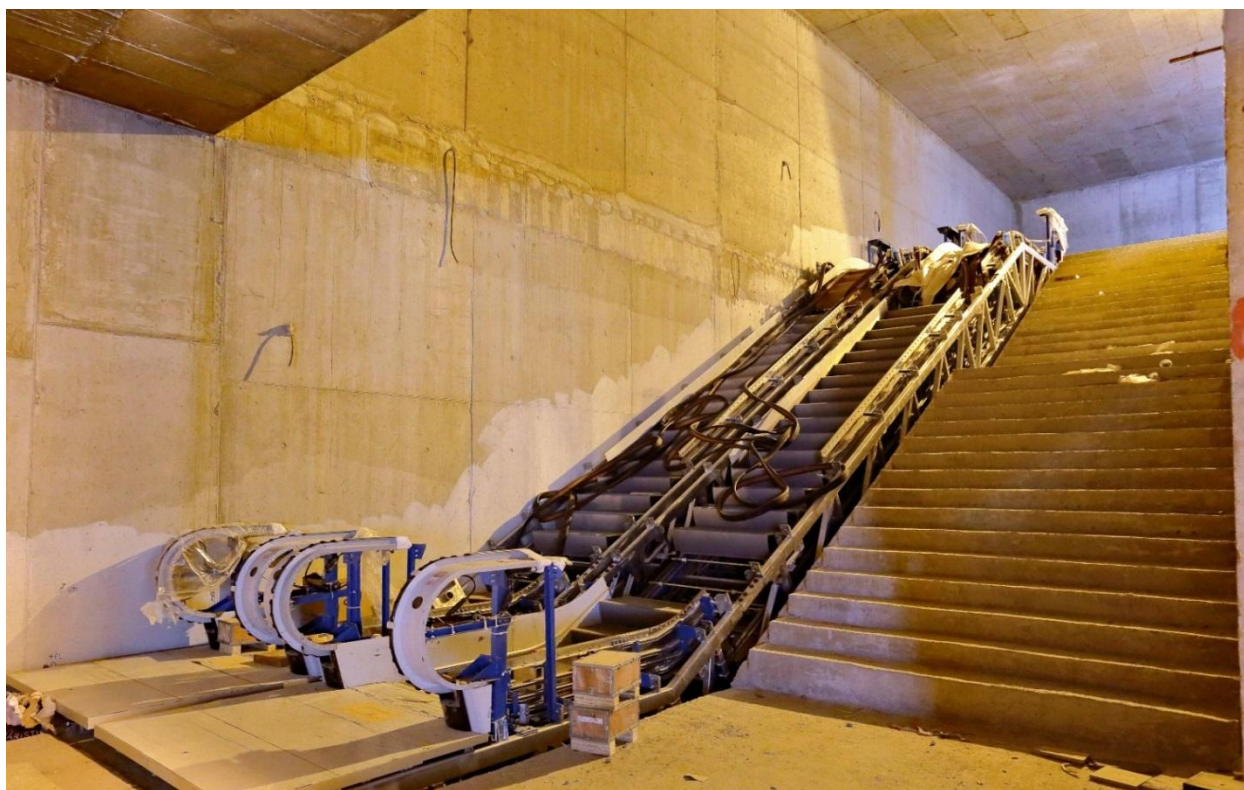
Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά

Σελίδα 178





**ΦΩΤΟ 35:** ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΣΙΔΗΡΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΠΛΑΚΑΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΟΡΟΦΟΥ - 2018



**ΦΩΤΟ 36:** ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΥΛΙΟΜΕΝΩΝ ΚΛΙΜΑΚΩΝ - 2018

---

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά

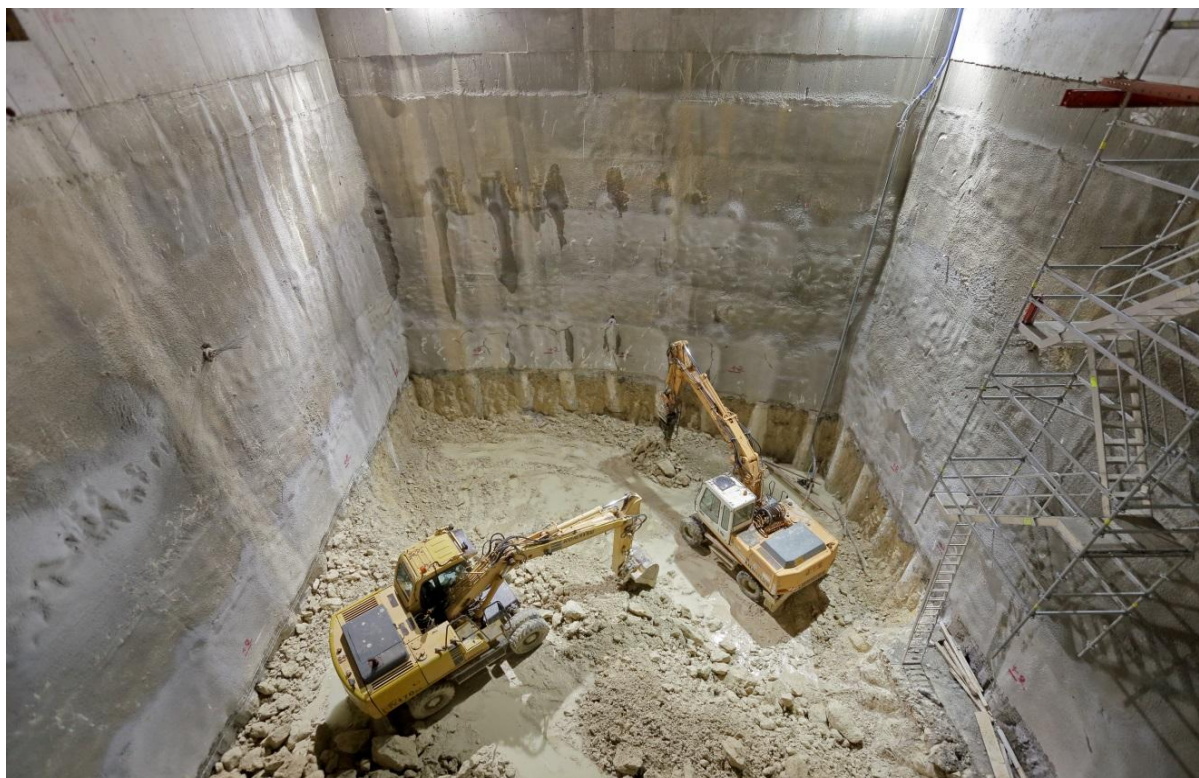
Σελίδα 179



**ΦΡΕΑΡ ΔΕΛΗΓΙΑΝΝΗ**



**ΦΩΤΟ 37:** ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ - 2014



**ΦΩΤΟ 38:** ΕΚΣΚΑΦΗ 3<sup>ΟΥ</sup> ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΤΟΥ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ ΦΡΕΑΤΟΣ – 2015

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά

Σελίδα 180



**ΦΡΕΑΡ ΤΑΞΙΑΡΧΩΝ**



**ΦΩΤΟ 39:** ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΠΑΣΣΑΛΩΝ – 2014



**ΦΩΤΟ 40:** ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΦΡΕΑΤΟΣ - 2016

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά

Σελίδα 181

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**

**ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ**

**ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ**

ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΜΑΪΟΣ 2013

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 1

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	28/05/2013	ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΥΡΥΔΑΛΛΟΣ	13	11		20,5			-7,5			50	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2020: 25	
2	29/05/2013	ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	53	37		98			- 45					
						-								

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής.  
Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ**

**ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ**

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΙΟΥΝΙΟΣ 2013

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 2

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	27/06/2013	ΦΡΕΑΡ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΒΜ	35	30		35,0			0			<b>50</b> Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2015: <b>25</b>		

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΙΟΥΛΙΟΣ 2013

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 3

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	24/07/2013	ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΡΥΔΑΛΛΟΣ	28,0	25,0		18,0			+10,0			50	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2015: 25	
2	23/07/2013	ΣΤΑΘΜΟΣ ΝΙΚΑΙΑ	22,0	15,0		26,0			-4,0					

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής.  
Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ**

**ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ**

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2013

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 4

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	27/08/2013	ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	60,0	46,0		41,0			+19,0			<b>50,0</b>	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2015: <b>25,0</b>	
2	28/08/2013	ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΥΡΥΔΑΛΛΟΣ	45,0	37,0		44,0			+1,0					
3	29/08/2013	ΣΤΑΘΜΟΣ ΝΙΚΑΙΑ	32,0	27,0		46,0			-14,0					
4	30/08/2013	ΦΡΕΑΡ ΤΒΜ	41,0	24,0		-								

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 172

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2013

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 5

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	27/09/2013	ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	47,0	39,0		30,0			+17,0			<b>50,0</b>	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2015: <b>25,0</b>	
2	19/09/2013	ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΥΡΥΔΑΛΛΟΣ	31,0	20,0		29,0			+2,0					
3	26/09/2013	ΣΤΑΘΜΟΣ ΝΙΚΑΙΑ	26,0	12,0		34,0			-28,0					

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής.  
Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 173



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2013

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 6

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	21/10/2013	ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	44,0	38,0		30,0			+14,0			<b>50,0</b>	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2015: <b>25,0</b>	
2	22/10/2013	ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΥΡΥΔΑΛΛΟΣ	54,0	45,0		42,0			+12,0					
3	24/10/2013	ΣΤΑΘΜΟΣ ΝΙΚΑΙΑ	29,0	25,0		26,0			+3,0					

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής.  
Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 174

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ**

**ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ**

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΜΑΪΟΣ 2014

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 7

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	21/05/2014	ΦΡΕΑΡ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΒΜ	28,0	9,0		36,0						<b>50,0</b>	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2015: <b>25,0</b>	
2	28/05/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	30,0	26,0		45,0								
3	28/05/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΡΥΔΑΛΛΟΣ	46,27			45,0		+1,27						
4	28/05/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΝΙΚΑΙΑ	42,89			45,0								
5	28/05/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΝΙΑΤΙΚΑ	50,26			45,0		+5,26						
6	28/05/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ	49,74			45,0		+2,74						

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"**

Σελίδα 175

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ**

**ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ**

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΙΟΥΝΙΟΣ 2014

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 8

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	12/06/2014	ΦΡΕΑΡ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΒΜ	31,0	23,0		38,0			-7,0			<b>50,0</b>	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2015: <b>25,0</b>	
2	23/06/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	30,0	27,0		31,0			-1,0					
3	24/06/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΡΥΔΑΛΛΟΣ	36,0	33,0		34,0			+2,0					
4	25/06/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΝΙΚΑΙΑ	58,0	47,0		41,0			+17,0					
5	26/06/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΝΙΑΤΙΚΑ	44,0	34,0		51,0			-7,0					
6	30/06/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ	35,0	29,0		23,0			+12,0					

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής.  
 Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 176

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ**

**ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ**

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΙΟΥΛΙΟΣ 2014

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 9

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	22/07/2014	ΦΡΕΑΡ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΒΜ	48,0	39,0		29,5			+18,5			<b>50,0</b>	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2015: <b>25,0</b>	
2	23/07/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	24,0	19,0		26,0			-2,0					
3	28/07/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΥΡΥΔΑΛΛΟΣ	30,0	28,0		27,5			+2,5					
4	24/07/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΝΙΚΑΙΑ	48,0	38,0		38,5			+9,5					
5	30/07/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΝΙΑΤΙΚΑ	41,0	38,0		30,0			+11,0					
6	29/07/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ	38,0	31,0		28,0			+10,0					

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής.  
 Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 177

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ**

**ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ**

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2014

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 10

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	07/08/2014	ΦΡΕΑΡ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΒΜ	35,0	28,0		31,5			+3,5			<b>50,0</b>	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2015: <b>25,0</b>	
2	25/08/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	42,0	35,0		33,0			+11,0					
3	26/08/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΥΡΥΔΑΛΛΟΣ	39,0	36,0		30,0			+9,0					
4	27/08/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΝΙΚΑΙΑ	38,0	32,0		34,0			+4,0					
5	28/08/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΝΙΑΤΙΚΑ	38,0	33,0		40,0			-2,0					
6	29/08/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ	36,0	25,0										
7	30/08/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ	22,0	18,0										
8	31/08/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ	37,0	29,0										

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"**

Σελίδα 178

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ**

**ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ**

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2014

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 11

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	19/09/2014	ΦΡΕΑΡ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΒΜ	44,0	37,0		-						<b>50,0</b>	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2015: <b>25,0</b>	
2	20/09/2014	ΦΡΕΑΡ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΒΜ	51,0	44,0		-								
	21/09/2014	ΦΡΕΑΡ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΒΜ	46,0	40,0		36,0			+10,0					
3	22/09/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	59,0	43,0		71,5			-12,5					
4	24/09/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΥΡΥΔΑΛΛΟΣ	34,0	32,0		29,0			+5,0					
5	25/09/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΝΙΚΑΙΑ	29,0	26,0		34,0			-5,0					
6	23/09/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΝΙΑΤΙΚΑ	41,0	29,0		91,0			-50,0					
8	29/09/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ	37,0	28,0		26,0			+11,0					
9	30/09/2014	ΦΡΕΑΡ ΔΕΛΗΓΙΑΝΝΗ	32,0	27,0		27,0			+5,0					

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"**

Σελίδα 179

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ**

**ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ**

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2014

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 12

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	13/10/2014	ΦΡΕΑΡ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΒΜ	42,0	33,0		30			+12,0			<b>50,0</b>	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2015: <b>25,0</b>	
2	30/10/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΝΙΑΤΙΚΑ	50,0	45,0		17,5			+32,5					
3	20/10/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ	47,0	42,0		31,0			+16,0					
4	21/10/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ	47,0	42,0		34,0			+13,0					
5	14/10/2014	ΦΡΕΑΡ ΔΕΛΗΓΙΑΝΝΗ	67,0	51,0		54,0			+13,0					

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"**

Σελίδα 180

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ**

**ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ**

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2014

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 13

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	22/11/2014	ΦΡΕΑΡ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΒΜ	41,0	18,0								<b>50,0</b>	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2015: <b>25,0</b>	
2	25/11/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΝΙΑΤΙΚΑ	36,0	21,0		17,50		+18,5						
3	20/11/2014	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ	25,0	21,0		16,50		+8,50						
4	18/11/2014	ΦΡΕΑΡ ΔΕΛΗΓΙΑΝΝΗ	36,0	31,0		31,50		+4,50						
5	20/11/2014	ΦΡΕΑΡ ΔΕΛΗΓΙΑΝΝΗ	23,0	17,0		16,50		+6,50						

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"**

Σελίδα 181



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ**

**ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ**

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΜΑΪΟΣ 2015

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 14

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	20/05/2015	ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	41,0	24,0		38,0			+3,0			<b>50,0</b>	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2015: <b>25,0</b>	
2	21/05/2015	ΦΡΕΑΡ ΔΕΛΗΓΙΑΝΝΗ	63,0	56,0		42,0			+21,0					
3	22/05/2015	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ	47,0	41,0										
4	23/05/2015	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ	27,0	23,0										
5	25/05/2015	ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΝΙΑΤΙΚΑ	53,0	35,0		34,0			+19,0					
6	26/05/2015	ΣΤΑΘΜΟΣ ΝΙΚΑΙΑ	22,0	19,0		32,0			-10,0					
7	27/05/2015	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ	42,0	21,0		42,0			0,0					
8	28/05/2015	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ	47,0	33,0		28,0			+19,0					
9	29/05/2015	ΦΡΕΑΡ ΤΑΞΙΑΡΧΩΝ	41,0	30										

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"**

Σελίδα 182

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΙΟΥΝΙΟΣ 2015

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 15

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	22/06/2015	ΦΡΕΑΡ ΤΑΞΙΑΡΧΩΝ	37,0	29,0		28,0			+9,0			<b>50,0</b>	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2015: <b>25,0</b>	
2	23/06/2015	ΦΡΕΑΡ ΔΕΛΗΓΙΑΝΝΗ	40,0	35,0		25,0			+15,0					
3	24/06/2015	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ	32,0	28,0		38,0			-6,0					
4	25/06/2015	ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΝΙΑΤΙΚΑ	44,0	34,0		46,0			-2,0					
5	26/06/2015	ΣΤΑΘΜΟΣ ΝΙΚΑΙΑ	31,0	17,0										
6	29/06/2015	ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	35,0	33,0		52,0			-17,0					

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής.  
Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 183

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ**

**ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ**

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΜΑΪΟΣ 2016

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 16

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	23/05/2016	ΦΡΕΑΡ ΔΕΛΗΓΙΑΝΝΗ	50,0	46,0		30,0			+20,0			<b>50,0</b> Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2020: <b>20,0</b>		
2	24/05/2016	ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑΣ	61,0	37,0		38,0			+23,0					
3	25/05/2016	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ	22,0	16,0		32,0			-10,0					
4	26/05/2016	ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΝΙΑΤΙΚΑ	29,0	20,0		28,0			+1,0					
5	30/05/2016	ΦΡΕΑΡ ΤΒΜ	34,0	21,0		33,0			+1,0					
6	31/05/2016	ΦΡΕΑΡ ΤΑΞΙΑΡΧΩΝ	47,0	32,0		53,0			-6,0					

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής.  
 Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 184

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΙΟΥΝΙΟΣ 2016

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 17

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	22/06/2016	ΦΡΕΑΡ ΤΒΜ	52,0	42,0		49,5			+2,50		-697,4	<b>50,0</b>	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2020: <b>20,0</b>	
2	23/06/2016	ΦΡΕΑΡ ΔΕΛΗΓΙΑΝΝΗ	24,0	0,007		36,50			-12,50					
3	24/06/2016	ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	36,0	22,0		-			-					
4	27/06/2016	ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΥΥΔΑΛΛΟΣ	39,0	22,0		44,0			-5,0					
5	28/06/2016	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜ. ΘΕΑΤΡΟ	38,0	32,0		45,0			-7,0					
6	29/06/2016	ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑΣ	64,0	49,0		25,0			+39,0					
7	30/06/2016	ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΝΙΑΤΙΚΑ	46,0	29,0		32,0			+14,0					

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής.  
Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 185

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΙΟΥΛΙΟΣ 2016

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 18

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	28/07/2016	ΦΡΕΑΡ ΤΒΜ	37,90	37,39								50,0	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2020: 20,0	
2	25/07/2016	ΦΡΕΑΡ ΤΑΞΙΑΡΧΩΒ	44,0	28,0										
3	27/08/2016	ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΥΡΥΔΑΛΛΟΣ	56,13	54,54										
4	26/07/2016	ΣΤΑΘΜΟΣ ΝΙΚΑΙΑ	39,0	24,0										
5	25/07/2016	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜ. ΘΕΑΤΡΟ	48,84	48,44										
6	26/07/2016	ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΝΙΑΤΙΚΑ	43,01	41,65										

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής.  
Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 186

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2016

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 19

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	22/08/2016	ΦΡΕΑΡ ΤΒΜ	39,0	27,0		39,0			0,0			<b>50,0</b>	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2020: <b>20,0</b>	
2	31/08/2016	ΦΡΕΑΡ ΔΕΛΗΓΙΑΝΝΗ	52,0	45,0		47,0			+5,0					
3	23/08/2016	ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	37,0	34,0		47,0			-10,0					
4	24/08/2016	ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΥΥΔΑΛΛΟΣ	40,0	37,0		31,0			+9,0					
5	25/08/2016	ΣΤΑΘΜΟΣ ΝΙΚΑΙΑ	44,0	28,0		49,0			-5,0					
6	26/08/2016	ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΝΙΑΤΙΚΑ	21,0	18,0		-			-					
6	29/08/2016	ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑΣ	57,0	50,0		34,0			+23,0					
7	30/08/2016	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜ. ΘΕΑΤΡΟ	53,0	46,0		41,0			+12,0					

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής.  
Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 187



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2016

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 20

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	27/09/2016	ΦΡΕΑΡ ΤΒΜ	48,0	40,0		21,0			+27,0			<b>50,0</b>	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2015: <b>20,0</b>	
2	20/09/2016	ΦΡΕΑΡ ΔΕΛΗΓΙΑΝΝΗ	25,0	18,0		20,50			+4,5					
3	21/09/2016	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜ. ΘΕΑΤΡΟ	42,0	26,0		17,0			+25,0					
4	26/09/2016	ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑΣ	54,0	42,0		21,50			+32,50					
5	22/09/2016	ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΝΙΑΤΙΚΑ	48,0	28,0		19,0			+29,0					

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής.  
Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 188

ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΜΑΪΟΣ 17

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 21

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	23/05/2017	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜ. ΘΕΑΤΡΟ	44,0	27,0		38,0			+6,0			50,0	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2020: 20,0	

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΙΟΥΝΙΟΣ 2017

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 22

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	26/06/2017	ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	29,0	21,0		34,0			-5,0			<b>50,0</b>	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2020: <b>20,0</b>	
2	27/06/2017	ΣΤΑΘΜΟΣ ΝΙΚΑΙΑ	42,0	23,0		37,0			+5,0					
3	28/06/2017	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜ. ΘΕΑΤΡΟ	57,0	50,0										
4	29/06/2017	ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑΣ	63,0	49,0		62,0			+1,0					
5	30/06/2017	ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΝΙΑΤΙΚΑ	41,0	25,0										

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής.  
Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 190

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΙΟΥΛΙΟΣ 2017

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 23

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	31/07/2017	ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΡΥΔΑΛΛΟΣ	44,44	80,72								50,0	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2020: 20,0	
2	31/07/2017	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜ. ΘΕΑΤΡΟ	49,55	51,55										
3	01/08/2017	ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑΣ	49,21	54,12										
	25/07/2017	ΦΡΕΑΡ ΤΒΜ	39,0	21,0										
	27/07/2017	ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	34,0	19,0										

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής.  
Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 191

ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2017

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 24

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	24/08/2017	ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΡΥΔΑΛΛΟΣ	38,0	32,0		29,0			+9,0			<b>50,0</b>	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2020: <b>20,0</b>	
2	25/08/2018	ΣΤΑΘΜΟΣ ΝΙΚΑΙΑ	48,0	31,0										
3	30/08/2017	ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΝΙΑΤΙΚΑ	22,0	17,0		34,0			-12,0					
4	29/08/2017	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜ. ΘΕΑΤΡΟ	55,0	42,0		-			-					
5	01/08/2017	ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑΣ	58,0	43,0		-			-					

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής.  
Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ**

**ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ**

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2017

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 25

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	21/09/2017	ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	27,0	16,0		39,0			-12,0			<b>50,0</b>	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2020: <b>20,0</b>	
2	22/09/2017	ΦΡΕΑΡ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΒΜ	41,0	24,0		-								
3	25/09/2017	ΣΤΑΘΜΟΣ ΝΙΚΑΙΑ	44,0	31,0		35,0			+9,0					
4	26/09/2017	ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΝΙΑΤΙΚΑ	37,0	34,0		34,0			+3,0					
5	27/09/2017	ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑΣ	21,0	18,0		31,0			-10,0					

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"**

Σελίδα 193



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2017

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 26

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	19/10/2017	ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	47,0	42,0		30,0			+17,0			50,0	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2020: 20,0	
2	20/10/2017	ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΡΥΔΑΛΛΟΣ	61,0	57,0		-								
3	24/10/2017	ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑΣ	70,0	67,0		35,0			+35,0					
4	26/10/2017	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜ. ΘΕΑΤΡΟ	56,0	53,0		30,0			+26,0					

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής.  
Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 194

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΜΑΪΟΣ 2018

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 27

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	23/05/2018	ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑΣ	46,0	32,0								50,0	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2020: 20,0	
2	24/05/2018	ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΝΙΑΤΙΚΑ	39,0	28,0										
3	29/05/2018	ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΡΥΔΑΛΛΟΣ	42,0	18,0										

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής.  
Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 195

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ**

**ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ**

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΙΟΥΝΙΟΣ 2018

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 28

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
	26/06/2018	ΦΡΕΑΡ ΤΒΜ	39,0	26,0								<b>50,0</b>	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2020: <b>20,0</b>	
1	27/06/2018	ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑΣ	40,0	24,0										
2	28/06/2018	ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΡΥΔΑΛΛΟΣ	18,0	13,0										
3	29/06/2018	ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΝΙΑΤΙΚΑ	40,0	22,0										

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"**

Σελίδα 196

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΙΟΥΛΙΟΣ 2018

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 29

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	10/07/2018	ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑΣ	50,0	48,0								50,0	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2020: 20,0	
2	10/07/2018	ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑΣ	36,11	31,32										
3	12/07/2018	ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΡΥΔΑΛΛΟΣ	39,0	36,0										
4	12/07/2018	ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΡΥΔΑΛΛΟΣ	37,90	46,51										
5	17/07/2018	ΣΤΑΘΜΟΣ ΝΙΚΑΙΑ	41,0	37,0										
6	09/07/2018	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜ. ΘΕΑΤΡΟ	29,98	31,84										

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής.  
Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 197

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΑΥΓΟΥΣΤΟΣΟΣ 2018

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 30

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	28/08/2018	ΦΡΕΑΡ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΒΜ	50,0	43,0								<b>50,0</b>	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2020: <b>20,0</b>	
2	29/08/2018	ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΡΥΔΑΛΛΟΣ	75,0	69,0										
3	30/08/2018	ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΝΙΑΤΙΚΑ	58,0	50,0										
4	31/08/2018	ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑΣ	41,0	35,0										
5	27/08/2018	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ	44,0	39,0										

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής.  
Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"

Σελίδα 198

ΕΝΤΥΠΟ 24ΩΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

ΜΗΝΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2018

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ: 31

Α/Α	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (μg/m <sup>3</sup> )			ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ (μg/m <sup>3</sup> )		
			PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ	PM-10	PM-2,5	ΛΕΠΤΗ ΣΚΟΝΗ
1	24/09/2018	ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΟΡΥΔΑΛΛΟΣ	51,0	48,0								50,0	Τιμή στόχος με έτος επίτευξης το 2020: 20,0	
2	26/09/2018	ΣΤΑΘΜΟΣ ΝΙΚΑΙΑ	44,0	33,0										
3	20/09/2018	ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΝΙΑΤΙΚΑ	42,0	25,0										
4	21/09/2018	ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑΣ	51,0	42,0										
5	25/09/2018	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ	47,0	32,0										

Ημερομηνία

Για τον Ανάδοχο

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής.  
Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά"



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

# ΥΠΟΛΟΓΙΜΟΙ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ PM10 ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ SCREEN3

\*\*\*\*\* SCREEN3 MODEL \*\*\*\*\*

\*\*\*\* VERSION DATED 96043 \*\*\*\*

ENTER TITLE FOR THIS RUN (UP TO 79 CHARACTERS):

**METRO ATHINAS / EXTENSION OF LINE 3: SECTION HAIDARI - RIRAEUS / FREAR TBM**

ENTER SOURCE TYPE:

P FOR POINT

F FOR FLARE

A FOR AREA

V FOR VOLUME

ENTER SOURCE TYPE AND ANY OF THE ABOVE OPTIONS: A

ENTER EMISSION RATE (G/(S-M\*\*2)): 0.07

ENTER SOURCE RELEASE HEIGHT (M): 0

ENTER LENGTH OF LARGER SIDE FOR AREA (M): 93

ENTER LENGTH OF SMALLER SIDE FOR AREA (M): 46

ENTER RECEPTOR HEIGHT ABOVE GROUND (FOR FLAGPOLE RECEPTOR) (M): 1.5

ENTER URBAN/RURAL OPTION (U=URBAN, R=RURAL): U

SEARCH THROUGH RANGE OF DIRECTIONS TO FIND THE MAXIMUM?

ENTER Y OR N: Y

ENTER CHOICE OF METEOROLOGY;

1 - FULL METEOROLOGY (ALL STABILITIES & WIND SPEEDS)

2 - INPUT SINGLE STABILITY CLASS

3 - INPUT SINGLE STABILITY CLASS AND WIND SPEED

ENTER STABILITY CLASS, 1(=A) TO 6(=F): 4

ENTER ANEMOMETER HEIGHT WIND SPEED (M/S): 2,5

---

#### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά

Σελίδα 201

USE AUTOMATED DISTANCE ARRAY? ENTER Y OR N: N

USE DISCRETE DISTANCES? ENTER Y OR N: Y

\*\*\*\*\*

\*\*\* SCREEN DISCRETE DISTANCES \*\*\*

\*\*\*\*\*

DIST	CONC	U10M	USTK	MIX HT	PLUME	MAX DIR
(M)	(UG/M**3)	STAB (M/S)	(M/S)	(M)	HT(M)	(DEG)

-----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 10

10.	.2770E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	7.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 20

20.	.3017E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	7.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 30

30.	.3228E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	2.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 40

40.	.3410E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	0.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 50

50.	.3596E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	13.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 60

60.	.3309E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	0.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 100

100.	.1402E+05	4	2.5	2.5	800.0	.00	6.
------	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

\*\*\*\*\*

\*\*\* SUMMARY OF SCREEN MODEL RESULTS \*\*\*

\*\*\*\*\*

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά**

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

CALCULATION    MAX CONC    DIST TO    TERRAIN

PROCEDURE    (UG/M\*\*3)    MAX (M)    HT (M)

-----  
SIMPLE TERRAIN    .3596E+06    50.    0.

\*\*\*\*\* SCREEN3 MODEL \*\*\*\*\*

\*\*\*\* VERSION DATED 96043 \*\*\*\*

ENTER TITLE FOR THIS RUN (UP TO 79 CHARACTERS):

**METRO ATHINAS / EXTENSION OF LINE 3: SECTION HAIDARI - PIRAEUS/ STATION AG. VARVARA**

ENTER SOURCE TYPE:

P    FOR POINT

F    FOR FLARE

A    FOR AREA

V    FOR VOLUME

ENTER SOURCE TYPE AND ANY OF THE ABOVE OPTIONS: A

ENTER EMISSION RATE (G/(S-M\*\*2)): 0.07

ENTER SOURCE RELEASE HEIGHT (M): 0

ENTER LENGTH OF LARGER SIDE FOR AREA (M): 128

ENTER LENGTH OF SMALLER SIDE FOR AREA (M): 33

ENTER RECEPTOR HEIGHT ABOVE GROUND (FOR FLAGPOLE RECEPTOR) (M): 1.5

ENTER URBAN/RURAL OPTION (U=URBAN, R=RURAL): U

SEARCH THROUGH RANGE OF DIRECTIONS TO FIND THE MAXIMUM?

ENTER Y OR N: Y

ENTER CHOICE OF METEOROLOGY;

1 - FULL METEOROLOGY (ALL STABILITIES & WIND SPEEDS)

2 - INPUT SINGLE STABILITY CLASS

3 - INPUT SINGLE STABILITY CLASS AND WIND SPEED

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά**

Σελίδα 203

ENTER STABILITY CLASS, 1(=A) TO 6(=F): 4

ENTER ANEMOMETER HEIGHT WIND SPEED (M/S): 2.5

USE AUTOMATED DISTANCE ARRAY? ENTER Y OR N: N

USE DISCRETE DISTANCES? ENTER Y OR N: Y

\*\*\*\*\*

\*\*\* SCREEN DISCRETE DISTANCES \*\*\*

\*\*\*\*\*

DIST	CONC	U10M	USTK	MIX HT	PLUME	MAX DIR
(M)	(UG/M**3)	STAB	(M/S)	(M/S)	(M)	HT (M)
						(DEG)

-----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 10

10.	.3134E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	0.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 20

20.	.3300E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	0.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 30

30.	.3437E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	0.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 40

40.	.3553E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	0.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 50

50.	.3652E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	0.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 60

60.	.3737E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	0.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 100

100.	.1917E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	0.
------	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

\*\*\*\*\*

\*\*\* SUMMARY OF SCREEN MODEL RESULTS \*\*\*

\*\*\*\*\*

CALCULATION	MAX CONC	DIST TO	TERRAIN
-------------	----------	---------	---------

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά**

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

PROCEDURE	(UG/M**3)	MAX (M)	HT (M)
SIMPLE TERRAIN	.3737E+06	60.	0.

```
***** SCREEN3 MODEL *****  
  
**** VERSION DATED 96043 ****  
  
ENTER TITLE FOR THIS RUN (UP TO 79 CHARACTERS):  
ATHENS METRO /EXTENSION OF LINE 3: SECTION HAIDARI-PIREAUS/STATION KORYDALLOS  
  
ENTER SOURCE TYPE:  
  
    P  FOR POINT  
  
    F  FOR FLARE  
  
    A  FOR AREA  
  
    V  FOR VOLUME  
  
ENTER SOURCE TYPE AND ANY OF THE ABOVE OPTIONS: A  
  
ENTER EMISSION RATE (G/(S-M**2)): 0.07  
  
ENTER SOURCE RELEASE HEIGHT (M): 0  
  
ENTER LENGTH OF LARGER SIDE FOR AREA (M): 137  
  
ENTER LENGTH OF SMALLER SIDE FOR AREA (M): 95  
  
ENTER RECEPTOR HEIGHT ABOVE GROUND (FOR FLAGPOLE RECEPTOR) (M): 1.5  
  
ENTER URBAN/RURAL OPTION (U=URBAN, R=RURAL): U  
  
SEARCH THROUGH RANGE OF DIRECTIONS TO FIND THE MAXIMUM?  
  
ENTER Y OR N: Y  
  
ENTER CHOICE OF METEOROLOGY;  
  
1 - FULL METEOROLOGY (ALL STABILITIES & WIND SPEEDS)  
  
2 - INPUT SINGLE STABILITY CLASS  
  
3 - INPUT SINGLE STABILITY CLASS AND WIND SPEED
```

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά**

Σελίδα 205



ENTER STABILITY CLASS, 1(=A) TO 6(=F): 4

ENTER ANEMOMETER HEIGHT WIND SPEED (M/S): 2.5

USE AUTOMATED DISTANCE ARRAY? ENTER Y OR N: N

USE DISCRETE DISTANCES? ENTER Y OR N: Y

\*\*\*\*\*

\*\*\* SCREEN DISCRETE DISTANCES \*\*\*

\*\*\*\*\*

DIST	CONC	U10M	USTK	MIX HT	PLUME	MAX DIR
(M)	(UG/M**3)	STAB	(M/S)	(M/S)	(M)	HT (M)
-----						

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 10

10.	.3399E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	29.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 20

20.	.3563E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	28.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 30

30.	.3711E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	27.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 40

40.	.3847E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	25.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 50

50.	.3971E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	23.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 60

60.	.4084E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	15.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 100

100.	.3324E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	33.
------	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

\*\*\*\*\*

\*\*\* SUMMARY OF SCREEN MODEL RESULTS \*\*\*

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά**

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

\*\*\*\*\*

CALCULATION    MAX CONC    DIST TO    TERRAIN

PROCEDURE    (UG/M\*\*3)    MAX (M)    HT (M)

-----  
SIMPLE TERRAIN    .4084E+06    60.    0.

\*\*\*\*\* SCREEN3 MODEL \*\*\*\*\*

\*\*\*\* VERSION DATED 96043 \*\*\*\*

**ATHENS METRO /EXTENSION OF LINE 3:SECTION HAIDARI-PIREAEUS/ STATION NIKAIA**

ENTER SOURCE TYPE:

P    FOR POINT

F    FOR FLARE

A    FOR AREA

V    FOR VOLUME

ENTER SOURCE TYPE AND ANY OF THE ABOVE OPTIONS: A

ENTER EMISSION RATE (G/(S-M\*\*2)): 0.07

ENTER SOURCE RELEASE HEIGHT (M): 0

ENTER LENGTH OF LARGER SIDE FOR AREA (M): 96

ENTER LENGTH OF SMALLER SIDE FOR AREA (M): 88

ENTER RECEPTOR HEIGHT ABOVE GROUND (FOR FLAGPOLE RECEPTOR) (M): 1.5

ENTER URBAN/RURAL OPTION (U=URBAN, R=RURAL): U

SEARCH THROUGH RANGE OF DIRECTIONS TO FIND THE MAXIMUM?

ENTER Y OR N: Y

ENTER CHOICE OF METEOROLOGY;

1 - FULL METEOROLOGY (ALL STABILITIES & WIND SPEEDS)

2 - INPUT SINGLE STABILITY CLASS

3 - INPUT SINGLE STABILITY CLASS AND WIND SPEED

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά**

Σελίδα 207

3

ENTER STABILITY CLASS, 1(=A) TO 6(=F): 4

ENTER ANEMOMETER HEIGHT WIND SPEED (M/S): 2.5

USE AUTOMATED DISTANCE ARRAY? ENTER Y OR N: N

USE DISCRETE DISTANCES? ENTER Y OR N: Y

\*\*\*\*\*

\*\*\* SCREEN DISCRETE DISTANCES \*\*\*

\*\*\*\*\*

DIST	CONC	U10M	USTK	MIX HT	PLUME	MAX DIR	
(M)	(UG/M**3)	STAB	(M/S)	(M/S)	(M)	HT (M)	(DEG)

-----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 10

10.	.3040E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	41.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 20

20.	.3240E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	41.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 30

30.	.3418E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	40.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 40

40.	.3576E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	40.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 50

50.	.3720E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	39.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 60

60.	.3850E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	37.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 100

100.	.2071E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	42.
------	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά**

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

\*\*\*\*\*

\*\*\* SUMMARY OF SCREEN MODEL RESULTS \*\*\*

\*\*\*\*\*

CALCULATION	MAX CONC	DIST TO	TERRAIN
PROCEDURE	(UG/M**3)	MAX (M)	HT (M)

-----  
SIMPLE TERRAIN .3850E+06 60. 0.

\*\*\*\*\* SCREEN3 MODEL \*\*\*\*\*

\*\*\*\* VERSION DATED 96043 \*\*\*\*

**ATHENS METRO /EXTENSION OF LINE 3:SECTION HAIDARI-PIREAUS/ STATION MANIATIKA**

ENTER SOURCE TYPE:

P FOR POINT

F FOR FLARE

A FOR AREA

V FOR VOLUME

ENTER SOURCE TYPE AND ANY OF THE ABOVE OPTIONS: A

ENTER EMISSION RATE (G/(S-M\*\*2)): 0.07

ENTER SOURCE RELEASE HEIGHT (M): 0

ENTER LENGTH OF LARGER SIDE FOR AREA (M): 125

ENTER LENGTH OF SMALLER SIDE FOR AREA (M): 55

ENTER RECEPTOR HEIGHT ABOVE GROUND (FOR FLAGPOLE RECEPTOR) (M): 1.5

ENTER URBAN/RURAL OPTION (U=URBAN, R=RURAL): U

SEARCH THROUGH RANGE OF DIRECTIONS TO FIND THE MAXIMUM?

ENTER Y OR N: Y

ENTER CHOICE OF METEOROLOGY;

1 - FULL METEOROLOGY (ALL STABILITIES & WIND SPEEDS)

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά**

Σελίδα 209

2 - INPUT SINGLE STABILITY CLASS

3 - INPUT SINGLE STABILITY CLASS AND WIND SPEED

ENTER STABILITY CLASS, 1(=A) TO 6(=F): 4

ENTER ANEMOMETER HEIGHT WIND SPEED (M/S): 2.5

USE AUTOMATED DISTANCE ARRAY? ENTER Y OR N: N

USE DISCRETE DISTANCES? ENTER Y OR N: Y

\*\*\*\*\*

\*\*\* SCREEN DISCRETE DISTANCES \*\*\*

\*\*\*\*\*

DIST	CONC	U10M	USTK	MIX HT	PLUME	MAX DIR
(M)	(UG/M**3)	STAB	(M/S)	(M/S)	(M)	HT (M)
-----						
(M)	(UG/M**3)	STAB	(M/S)	(M/S)	(M)	HT (M)

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 10

10.	.3153E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	7.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 20

20.	.3347E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	5.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 30

30.	.3519E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	2.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 40

40.	.3692E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	0.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 50

50.	.3827E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	0.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 60

60.	.3946E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	0.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 100

100.	.2215E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	15.
------	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά**

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΔΠΜΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

\*\*\*\*\*

\*\*\* SUMMARY OF SCREEN MODEL RESULTS \*\*\*

\*\*\*\*\*

CALCULATION	MAX CONC	DIST TO	TERRAIN
PROCEDURE	(UG/M**3)	MAX (M)	HT (M)

-----  
SIMPLE TERRAIN .3946E+06 60. 0.

\*\*\*\*\* SCREEN3 MODEL \*\*\*\*\*

\*\*\*\* VERSION DATED 96043 \*\*\*\*

**ATHENS METRO /EXTENSION OF LINE 3:SECTION HAIDARI-PIREAEUS/ STATION PIRAEUS**

ENTER SOURCE TYPE:

P FOR POINT

F FOR FLARE

A FOR AREA

V FOR VOLUME

ENTER SOURCE TYPE AND ANY OF THE ABOVE OPTIONS: A

ENTER EMISSION RATE (G/(S-M\*\*2)): 0.07

ENTER SOURCE RELEASE HEIGHT (M): 0

ENTER LENGTH OF LARGER SIDE FOR AREA (M): 180

ENTER LENGTH OF SMALLER SIDE FOR AREA (M): 70

ENTER RECEPTOR HEIGHT ABOVE GROUND (FOR FLAGPOLE RECEPTOR) (M): 1.5

ENTER URBAN/RURAL OPTION (U=URBAN, R=RURAL): U

SEARCH THROUGH RANGE OF DIRECTIONS TO FIND THE MAXIMUM?

ENTER Y OR N: Y

ENTER CHOICE OF METEOROLOGY;

1 - FULL METEOROLOGY (ALL STABILITIES & WIND SPEEDS)

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά**

Σελίδα 211



2 - INPUT SINGLE STABILITY CLASS

3 - INPUT SINGLE STABILITY CLASS AND WIND SPEED

ENTER STABILITY CLASS, 1(=A) TO 6(=F): 4

ENTER ANEMOMETER HEIGHT WIND SPEED (M/S): 2.5

USE AUTOMATED DISTANCE ARRAY? ENTER Y OR N: N

USE DISCRETE DISTANCES? ENTER Y OR N: Y

\*\*\*\*\*

\*\*\* SCREEN DISCRETE DISTANCES \*\*\*

\*\*\*\*\*

DIST	CONC	U10M	USTK	MIX HT	PLUME	MAX DIR
(M)	(UG/M**3)	STAB	(M/S)	(M/S)	(M)	HT (M)
-----						
(M)	(UG/M**3)	STAB	(M/S)	(M/S)	(M)	HT (M)

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 10

10.	.3676E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	3.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 20

20.	.3943E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	1.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 30

30.	.4078E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	1.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 40

40.	.4196E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	2.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 50

50.	.4187E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	0.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 60

60.	.4285E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	0.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 100

100.	.4498E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	19.
------	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 120

120.	.3052E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	17.
------	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά**

\*\*\*\*\*  
\*\*\* SUMMARY OF SCREEN MODEL RESULTS \*\*\*  
\*\*\*\*\*

CALCULATION	MAX CONC	DIST TO	TERRAIN
PROCEDURE	(UG/M**3)	MAX (M)	HT (M)

-----  
SIMPLE TERRAIN .4498E+06 100. 0.

\*\*\*\*\* SCREEN3 MODEL \*\*\*\*\*

\*\*\*\* VERSION DATED 96043 \*\*\*\*

**ATHENS METRO /EXTENSION OF LINE 3:SECTION HAIDARI-PIREAUS/ DIMOTIKO THEATRO**

ENTER SOURCE TYPE:

- P FOR POINT
- F FOR FLARE
- A FOR AREA
- V FOR VOLUME

ENTER SOURCE TYPE AND ANY OF THE ABOVE OPTIONS: A

ENTER EMISSION RATE (G/(S-M\*\*2)): 0.07

ENTER SOURCE RELEASE HEIGHT (M): 0

ENTER LENGTH OF LARGER SIDE FOR AREA (M): 80

ENTER LENGTH OF SMALLER SIDE FOR AREA (M): 63

ENTER RECEPTOR HEIGHT ABOVE GROUND (FOR FLAGPOLE RECEPTOR) (M): 1.5

ENTER URBAN/RURAL OPTION (U=URBAN, R=RURAL): U

SEARCH THROUGH RANGE OF DIRECTIONS TO FIND THE MAXIMUM?

ENTER Y OR N: Y

ENTER CHOICE OF METEOROLOGY;

1 - FULL METEOROLOGY (ALL STABILITIES & WIND SPEEDS)

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά**

Σελίδα 213

2 - INPUT SINGLE STABILITY CLASS

3 - INPUT SINGLE STABILITY CLASS AND WIND SPEED

ENTER STABILITY CLASS, 1(=A) TO 6(=F): 4

ENTER ANEMOMETER HEIGHT WIND SPEED (M/S): 2.5

USE AUTOMATED DISTANCE ARRAY? ENTER Y OR N: N

USE DISCRETE DISTANCES? ENTER Y OR N: Y

\*\*\*\*\*

\*\*\* SCREEN DISCRETE DISTANCES \*\*\*

\*\*\*\*\*

DIST	CONC	U10M	USTK	MIX HT	PLUME	MAX DIR	
(M)	(UG/M**3)	STAB	(M/S)	(M/S)	(M)	HT (M)	(DEG)

-----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 10

10.	.2707E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	34.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 20

20.	.2939E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	33.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 30

30.	.3164E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	31.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 40

40.	.3352E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	29.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 50

50.	.3524E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	34.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 60

60.	.3224E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	37.
-----	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

ENTER DISTANCE (M) (0 TO EXIT): 100

100.	.1391E+06	4	2.5	2.5	800.0	.00	33.
------	-----------	---	-----	-----	-------	-----	-----

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Αξιολόγηση των επιπτώσεων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες κατασκευής σε υπόγεια έργα συγκοινωνιακής υποδομής. Η περίπτωση της επέκτασης του μετρό στον Πειραιά**

\*\*\*\*\*

\*\*\* SUMMARY OF SCREEN MODEL RESULTS \*\*\*

\*\*\*\*\*

CALCULATION	MAX CONC	DIST TO	TERRAIN
PROCEDURE	(UG/M**3)	MAX (M)	HT (M)

-----  
SIMPLE TERRAIN .3524E+06 50. 0.