

Πολυτεχνείο Κρήτης

Σχολή Χημικών Μηχανικών και
Μηχανικών Περιβάλλοντος



Τίτλος διπλωματικής εργασίας:

«Υπολογισμός της συγκέντρωσης των αέριων ρύπων και η επίδρασή τους
στην ανθρώπινη υγεία στο λιμάνι του Πειραιά»

Ονοματεπώνυμο: Γαϊτανάς Παναγιώτης

Επιβλέπων Καθηγητής: Λαζαρίδης Μιχάλης

Μέλη επιτροπής: Βουλγαράκης Απόστολος

Τσούτσος Θεοχάρης

Χανιά, Μάρτιος 2022

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Μιχάλη Λαζαρίδη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, με την ανάθεση της διπλωματικής και τη βοήθειά του.

Ακόμα ένα ευχαριστώ στην Δρ. Ελευθερία Χαλβατζάκη για την πολύτιμη βοήθειά που μου έδωσε για την υλοποίηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω τον κ. Τσούτσο και τον κ. Βουλγαράκη που δέχτηκαν να συμμετάσχουν στην αξιολόγηση της διπλωματικής, όπως επίσης και όλους τους καθηγητές του Πολυτεχνείου Κρήτης, για τις γνώσεις που μου έδωσαν.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου και ένα τεράστιο ευχαριστώ στους γονείς μου για τη στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Η ατμοσφαιρική ρύπανση, είναι ένα περίπλοκο, παγκόσμιο φαινόμενο το οποίο παρατηρείται έντονα στις μεγαλουπόλεις. Οι αιτίες που το προκαλούν, είναι κατά βάση, ανθρώπινες δραστηριότητες. Για το λόγο αυτό έχουν δημιουργηθεί, διάφορα πρωτόκολλα προκειμένου να γίνεται ο έλεγχος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αλλά και η αντιμετώπισή της.

Στη παρούσα διπλωματική, μελετήθηκαν οι εκπομπές των ατμοσφαιρικών ρύπων στο λιμάνι του Πειραιά, από τα επιβατηγά πλοία για το έτος 2020. Τα επιβατηγά πλοία χρησιμοποιούν τα λιμάνια για τον ελλιμενισμό τους, μέχρι το επόμενο απόπλου τους. Κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού, παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, από τις βοηθητικές τους μηχανές. Η μηχανές χρησιμοποιούν καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η καύση καυσίμου, παράγει ατμοσφαιρικούς ρύπους, δημιουργώντας έτσι μια αρκετά επιβαρυντική ατμόσφαιρα στις τριγύρω περιοχές. Στη παρούσα μελέτη εξετάζονται οι συγκεντρώσεις των AS_{10} , NO_x , SO_2 και CO.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο ISC3 - ST, το οποίο δημιούργησε η EPA (Environmental Protection Agency). Έπειτα έγινε μέσω των προγραμμάτων MARPLOT και ALOHA, η απεικόνιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε χάρτη. Επιπρόσθετα έγινε ποσοτικός υπολογισμός για τους ρύπους $AS_{2,5}$, NO_x και SO_2 , μέσω μαθηματικών τύπων. Τέλος με το μοντέλο ExDoM2 εκτιμήθηκαν οι επιπτώσεις των ΑΣ στην ανθρώπινη υγεία. Το ExDoM2 είναι ένα ημιεμπειρικό μοντέλο το οποίο χρησιμοποιεί εξισώσεις για τον υπολογισμό της δόσης των ΑΣ στον ανθρώπινο οργανισμό.

Σύμφωνα με το μοντέλο ISC3-ST, η μέγιστη συγκέντρωση του CO, ήταν $41,59 \mu g/m^3$, των AS_{10} $18,23 \mu g/m^3$, του SO_2 $36,2 \mu g/m^3$ και των NO_x $37,75 \mu g/m^3$. Οι συγκεντρώσεις αυτές, είναι μικρότερες από τα θεσμοθετημένα όρια της Ε.Ε. για κάθε ρύπο, γεγονός θετικό για την ποιότητα της ατμόσφαιρας, στην περιοχή του λιμανιού του Πειραιά.

Abstract

Air pollution is a complex, global phenomenon that is mainly observed in big cities. The primary causes are basically human activities. For this reason, various protocols have been created in order to control air pollution, but also to deal with it.

In the present dissertation, the emissions of air pollutants from the passenger ships in the port of Piraeus for the year 2020 were studied. Passenger ships use the ports for their mooring, until their next departure. During mooring, they generate electricity from their auxiliary engines. Engines use fuel to generate electricity. Combustion of fuel, produces air pollutants, thus creating a rather aggravating atmosphere in the surrounding areas. In the present study, the concentrations of PM₁₀, NO_x, SO₂ and CO are examined.

The ISC3-ST model, created by the EPA (Environmental Protection Agency), was used for this purpose. Then, the air pollution was depicted on a map through the MARPLOT and ALOHA programs. In addition, a quantitative calculation was made for PM_{2.5}, NO_x and SO₂ pollutants, through mathematical formulas. Finally, with the ExDoM2 model, the effects of PM on human health were assessed. ExDoM2 is a semi-empirical model that uses equations to calculate the dose of PM in the human body.

According to the ISC3-ST model, the maximum concentration of CO was 41.59 µg/m³, of PM₁₀ 18.23 µg/m³, of SO₂ was 36.2 µg/m³ and of NO_x 37.75 µg/m³. These concentrations are lower than the institutionalized limits of the EU for each pollutant, a fact that is positive for the quality of the atmosphere, in the area of the port of Piraeus.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	6
Περιεχόμενα Εικόνων	8
Περιεχόμενα Πινάκων	9
Περιεχόμενα Πινάκων Παραρτήματος	11
Περιεχόμενα Διαγραμμάτων	11
Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγικά στοιχεία.....	13
1.1 Εισαγωγή	13
1.2 Περιγραφή λιμένα Πειραιά	15
Κεφάλαιο 2^ο: Ατμοσφαιρική ρύπανση και ναυτιλία	16
2.1 Ναυτιλία και εκπομπή ρύπων	16
2.2 Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι	17
2.3 Εκπομπές ρύπων από τους κινητήρες πλοίου.....	18
2.4 Επιπτώσεις στο περιβάλλον από τις εκπομπές ρύπων	18
2.4.1 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου	18
2.4.2 Η όξινη βροχή	20
2.4.3 Φωτοχημικό νέφος	21
2.5 Οι επιπτώσεις των ρύπων στην ανθρώπινη υγεία	22
2.5.1 Οι επιπτώσεις του CO στην ανθρώπινη υγεία	22
2.5.2 Οι επιπτώσεις του SO ₂ στην ανθρώπινη υγεία	22
2.5.3 Οι επιπτώσεις των NO _x στην ανθρώπινη υγεία	23
2.5.4 Οι επιπτώσεις των ΑΣ στην ανθρώπινη υγεία	23
2.6 Νομοθετικά όρια και άλλες διατάξεις	23
2.6.1 Το νομοθετικό πλαίσιο της Ε.Ε.	23
2.6.2 Οι προβλέψεις της Ε.Ε. για το Περιβάλλον.....	27
2.6.3 Το πλαίσιο της Σύμβασης Πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC)	28
2.6.3 Η Συμφωνία του Παρισιού	29
2.6.4 Οι προβλέψεις της Ε.Ε. για τη Ναυτιλία.....	30
2.6.5 Οι προβλέψεις της MARPOL	31
2.6.6 Το πρωτόκολλο του Κιότο.....	33
2.7 Σύγκριση συγκεντρώσεων ρύπων.....	34
2.7.1 Το διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	35
2.7.2 Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	36
2.7.3 Τα οξείδια του αζώτου (NO _x).....	37

2.7.4 Το διοξείδιο του θείου (SO_2)	38
2.7.5 Αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ)	39
2.7.6 Γενική συζήτηση αποτελεσμάτων	43
Κεφάλαιο 3^ο: Περιγραφή πλοίων και τα καύσιμα της ναυτιλίας	44
3.1 Περιγραφή ειδών πλοίων	44
3.2 Μέρη πλοίου	44
3.3 Είδη πλοίων	46
3.4 Αρχές λειτουργίας και περιγραφή εμβολοφόρου παλινδρομικής Μ.Ε.Κ.	47
3.4.1 Οι τετράχρονοι κινητήρες Μ.Ε.Κ.	48
3.4.2 Δίχρονοι μηχανές Μ.Ε.Κ.	49
3.4.3 Χρήσεις πετρελαιοκινητήρων	50
3.4.4 Χρήση βενζινοκινητήρων	50
3.5 Καύσιμα ναυτιλίας	50
Κεφάλαιο 4^ο: Ο υπολογισμός της εκπεμπόμενης μάζας.....	52
4.1 Μεθοδολογία και υπολογισμός των εκπεμπόμενων ρύπων	52
4.2 Υπολογισμός εκπεμπόμενων ρύπων σε τόνους	53
4.2.1 Υπολογισμός Εκπεμπόμενης Μάζας SO_2	53
4.2.2 Υπολογισμός Εκπεμπόμενης Μάζας NO_x	55
4.2.3 Υπολογισμός Εκπεμπόμενης Μάζας $\text{AS}_{2,5}$	57
4.3 Αποτελέσματα εκπομπών και σύγκριση με άλλες έρευνες	59
Κεφάλαιο 5^ο: Το μοντέλο ISC3	62
5.1 Περιγραφή του μοντέλου ISC3	62
Κεφάλαιο 6^ο: Εισαγωγή δεδομένων στο ISC3 και τελικά αποτελέσματα.....	65
6.1 Μετεωρολογικά δεδομένα	65
6.2 Εκτίμηση μετεωρολογικών παραμέτρων	66
6.2.1 Υπολογισμός διεύθυνσης του ανέμου	66
6.2.2 Υπολογισμός ταχύτητας του ανέμου	66
6.2.3 Υπολογισμός Θερμοκρασίας	67
6.2.4 Υπολογισμός Κλάσης ευστάθειας	67
6.2.5 Εκτίμηση ύψους ανάμιξης	67
6.2.6 Υπολογισμός μήκους Monin-Obukhov, παραμέτρου Ψ_m και ταχύτητας τριβής	68
6.3 Μετεωρολογικά αποτελέσματα	70
6.3.1 Αποτελέσματα Ανέμου	70
6.3.2 Αποτελέσματα θερμοκρασιών	71
6.3.3 Ύψος ανάμιξης	71

6.4 Αποτελέσματα μοντέλου ISC3.....	72
Κεφάλαιο 7^ο: Τα προγράμματα ALOHA και MARPLOT	78
7.1 Πρόγραμμα απεικόνισης ALOHA	78
7.1.1 Δεδομένα εισόδου	78
7.2 Marplot	79
7.3 Αποτελέσματα για το SO ₂	80
7.3 Αποτελέσματα για το NO ₂	81
7.4 Αποτελέσματα για τα ΑΣ _{2,5}	83
Κεφάλαιο 8^ο: Το ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα	84
8.1 Το αναπνευστικό σύστημα	84
8.2 Τα όργανα του αναπνευστικού συστήματος – διαδικασία αναπνοής	85
8.3 Οι έννοιες της έκθεσης και της δόσης	86
8.4 Μηχανισμοί εναπόθεσης των ΑΣ στο αναπνευστικό σύστημα	86
8.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την εναπόθεση σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα	87
8.5.1 Ταξινόμηση των ΑΣ με βάση τη συμπεριφορά τους στο αναπνευστικό σύστημα	88
8.6 Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.....	88
8.7 Μηχανισμοί απομάκρυνσης των ΑΣ από το αναπνευστικό σύστημα	90
Κεφάλαιο 9^ο: Μοντέλο δοσομετρίας ExDoM2	91
9.1: Εισαγωγή στο μοντέλο ExDoM2.....	91
9.2 Αποτελέσματα ExDoM 2.....	95
Κεφάλαιο 10^ο: Τελικά συμπεράσματα	100
10.1 Συμπεράσματα και σύγκριση με άλλες έρευνες	100
Κεφάλαιο 11^ο: Προτάσεις μείωσης ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία 103	
11.1 Προτάσεις μείωσης ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία	103
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	105
Ξενόγλωσση.....	105
Ελληνόγλωσση	108
ΔΙΚΤΥΟΓΡΑΦΙΑ.....	111
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	113

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1: Το λιμάνι του Πειραιά και η ευρύτερη περιοχή (πηγή google maps)	15
Εικόνα 2: Οι μηχανισμοί παραγωγής ρύπων (Γεντεκάκης διαδικτυακές σημειώσεις) 17	
Εικόνα 3: Παγκόσμιες εκπομπές CO ₂ από διάφορους οικονομικούς και παραγωγικούς τομείς (Κοτρίκλα, 2015)	19

Εικόνα 4: Ο μηχανισμός του φαινομένου του θερμοκηπίου (πηγή, wikipedia)	19
Εικόνα 5: Η κατανομή πηγών SO ₂ και NO _x (Μελάς κ.α, 2002)	20
Εικόνα 6: Ο μηχανισμός δημιουργίας φωτοχημικού νέφους (Ζάνη, 2014)	21
Εικόνα 7: Το φωτοχημικό νέφος στην Αθήνα	21
Εικόνα 8: Τα μέρη του Πλοίου (πηγή ναυτιλιακές γνώσεις, Ίδρυμα Ευγενίδου)	46
Εικόνα 9: Τομή Μ.Ε.Κ.	48
Εικόνα 10: Σχηματικά οι 4 χρόνοι του κινητήρα (Πηγή: Howstuffworks.com)	49
Εικόνα 11: Δίχρονος κινητήρας Μ.Ε.Κ.	50
Εικόνα 12: Εισαγωγή μετεωρολογικών δεδομένων στο αρχείο του ISC3	63
Εικόνα 13: Παράδειγμα εντολών CO (Επιλογές ελέγχου)	64
Εικόνα 14: Παράδειγμα εντολών SO (Επιλογές πηγής)	64
Εικόνα 15: Παράδειγμα εντολών RE (Πληροφορίες Αποδέκτη, Πολικό σύστημα)	64
Εικόνα 16: Παράδειγμα εντολών RE (Πληροφορίες Αποδέκτη, Καρτεσιανό σύστημα)	64
Εικόνα 17: Παράδειγμα εντολών ME (Πληροφορίες για τα μετεωρολογικά)	65
Εικόνα 18: Παράδειγμα εντολών OU (Επιλογές εξόδου)	65
Εικόνα 19: Παράδειγμα αποτελεσμάτων αρχείου Maxial	65
Εικόνα 20: Ανεμολόγιο	66
Εικόνα 21: Αποτελέσματα ALOHA για το SO ₂	79
Εικόνα 22: Τα αποτελέσματα του ALOHA για το NO ₂	79
Εικόνα 23: Το περιβάλλον στο Marplot (https://www.epa.gov/cameo/marplot-software)	80
Εικόνα 24: Αποτελέσματα για το SO ₂ με τους άνεμους να πνέουν νοτιοανατολικά ...	80
Εικόνα 25: Αποτελέσματα για το SO ₂ με τους άνεμους να πνέουν βορειοδυτικά	81
Εικόνα 26: Αποτελέσματα για το NO ₂ όταν οι άνεμοι πνέουν νοτιοανατολικά	82
Εικόνα 27: Αποτελέσματα για το NO ₂ όταν οι άνεμοι πνέουν βορειοδυτικά	82
Εικόνα 28: Αποτελέσματα για τα ΑΣ _{2,5} όταν οι άνεμοι πνέουν νοτιοανατολικά	83
Εικόνα 29: Αποτελέσματα για τα ΑΣ _{2,5} όταν οι άνεμοι πνέουν βορειοδυτικά	83
Εικόνα 30: Το ανώτερο (upper) και κατώτερο (lower) αναπνευστικό σύστημα	85
Εικόνα 31: Ταξινόμηση των ΑΣ βάση της διαμέτρου τους.	88
Εικόνα 32: Το γραφικό περιβάλλον διεπαφής (GUI) του ExDoM2	92
Εικόνα 33: Εισαγωγή δεδομένων έκθεσης και τρόπου αναπνοής	93
Εικόνα 34: Εισαγωγή δεδομένων πυκνότητας σωματιδίων και άλλων δεδομένων ...	93
Εικόνα 35: Εισαγωγή δεδομένων τύπου ΑΣ και ρυθμού απορρόφησης	94
Εικόνα 36: Η επιλογή start	94
Εικόνα 37: Επιλογή δεδομένων κατανομής μεγέθους και έκθεσης σε μικροπεριβάλλον	95
Εικόνα 38: Η δυναμική ιστοσελίδα εμφάνισης αποτελεσμάτων	95
Εικόνα 39: Η διαδικασία καθαρισμού του ανθρώπινου οργανισμού	96

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1: Η συνεισφορά της ναυτιλίας στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. (IMO, 2009)	20
Πίνακας 2: Τα νομοθετικά όρια της Ε.Ε. για τις συγκεντρώσεις SO ₂	24

Πίνακας 3: Τα νομοθετικά όρια της Ε.Ε. για τις συγκεντρώσεις NO_2	24
Πίνακας 4: Τα νομοθετικά όρια της Ε.Ε. για τις συγκεντρώσεις $\text{A}\Sigma_{10}$ και $\text{A}\Sigma_{2,5}$	25
Πίνακας 5: Τα νομοθετικά όρια της Ε.Ε. για τις συγκεντρώσεις CO	25
Πίνακας 6: Οριακές τιμές SO_2 για την υγεία του ανθρώπου	25
Πίνακας 7: Οριακές τιμές NO_2 για την υγεία του ανθρώπου	26
Πίνακας 8: Οριακές τιμές CO για την υγεία του ανθρώπου.....	26
Πίνακας 9: Οριακές τιμές $\text{A}\Sigma_{10}$ για την υγεία του ανθρώπου.....	26
Πίνακας 10: Οριακές τιμές $\text{A}\Sigma_{2,5}$ για την υγεία του ανθρώπου.....	27
Πίνακας 11: Τα όρια εκπομπών NO_x	33
Πίνακας 12: Οι οδηγίες της Ε.Ε και της IMO για την περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο (Κοτρίκλα, 2015)	33
Πίνακας 13: Οι στόχοι μείωσης ρύπων ανά χώρα σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Κιότο	34
Πίνακας 14: Μέθοδος μέτρησης κάθε ρύπου (Πηγή: ΥΠΕΝ).....	35
Πίνακας 15: Συντελεστής φορτίου για το καλοκαίρι.....	52
Πίνακας 16: Συντελεστής φορτίου για τον υπόλοιπο χρόνο.....	53
Πίνακας 17: Συντελεστές εκπομπών ανά καύσιμο	53
Πίνακας 18: Αναλογία μεταξύ κύριας και βοηθητικής μηχανής.....	53
Πίνακας 19: Τα αποτελέσματα για την εκπεμπόμενη μάζα SO_2 κατά τη διάρκεια ελιγμών	54
Πίνακας 20: Οι τιμές για την εκπεμπόμενη μάζα SO_2 κατά τη διάρκεια του αγκυροβόλιου	54
Πίνακας 21: Η εκπεμπόμενη μάζα SO_2 σε τόνους	54
Πίνακας 22: Τα αποτελέσματα για την εκπεμπόμενη μάζα NO_x κατά τη διάρκεια των ελιγμών	55
Πίνακας 23: Τα αποτελέσματα για την εκπεμπόμενη μάζα NO_x κατά τη διάρκεια του αγκυροβόλιου	55
Πίνακας 24: Η εκπεμπόμενη μάζα NO_x σε τόνους	56
Πίνακας 25: Τα αποτελέσματα για την εκπεμπόμενη μάζα $\text{A}\Sigma_{2,5}$ κατά τη διάρκεια των ελιγμών	57
Πίνακας 26: Τα αποτελέσματα για την εκπεμπόμενη μάζα $\text{A}\Sigma_{2,5}$ κατά τη διάρκεια του αγκυροβόλιου	57
Πίνακας 27: Η εκπεμπόμενη μάζα $\text{A}\Sigma_{2,5}$ σε τόνους	58
Πίνακας 28: Συνολικά αποτελέσματα εκπεμπόμενης μάζας Πειραιά	59
Πίνακας 29: Πίνακας κλάσης ευστάθειας	67
Πίνακας 30: Πίνακας νέφωσης ανάλογα με το μήνα	67
Πίνακας 31: Μετάφραση κλάσεων ευστάθειας για την είσοδο τους στο ISC3	67
Πίνακας 32: Τιμές συντελεστών a, b ανάλογα τη κλάση ευστάθειας (Παπαναστασίου, 2007).....	68
Πίνακας 33: Μήκος τραχύτητας Z_0 ανάλογα την εδαφοκάλυψη	68
Πίνακας 34: Τα αποτελέσματα για το CO	73
Πίνακας 35: Τα αποτελέσματα για τα $\text{A}\Sigma_{10}$	74
Πίνακας 36: Αποτελέσματα για το SO_2	75
Πίνακας 37: Τα αποτελέσματα για τα NO_x	77
Πίνακας 38: Τα αποτελέσματα την έρευνας του κ. Τζαννάτου	101

Πίνακας 39: Αποτελέσματα μελετών για το λιμάνι του Πειραιά	102
Πίνακας 40: Οι μέγιστες συγκεντρώσεις για τα λιμάνια του Πειραιά, Χανίων και Μπρίσμπαν	102

Περιεχόμενα Πινάκων Παραρτήματος

Πίνακας Παραρτήματος 1: Τα αποτελέσματα της εκπεμπόμενης μάζας SO ₂ για τους θερινούς μήνες	114
Πίνακας Παραρτήματος 2: Τα αποτελέσματα της εκπεμπόμενης μάζας SO ₂ για Χειμώνα Άνοιξη Φθινόπωρο	115
Πίνακας Παραρτήματος 3: Αποτελέσματα εκπεμπόμενης μάζας NO _x για τους θερινούς μήνες	117
Πίνακας Παραρτήματος 4: Αποτελέσματα εκπεμπόμενης μάζας NO _x για Χειμώνα Άνοιξη Φθινόπωρο	118
Πίνακας Παραρτήματος 5: Αποτελέσματα εκπεμπόμενης μάζας ΑΣ _{2,5} για το Καλοκαίρι	119
Πίνακας Παραρτήματος 6: Αποτελέσματα εκπεμπόμενης μάζας ΑΣ _{2,5} για Χειμώνα Άνοιξη Φθινόπωρο	121

Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Η συγκέντρωση του CO ₂ στην ατμόσφαιρα.....	35
Διάγραμμα 2: Σύγκριση συγκεντρώσεων CO ανά μήνα για τα έτη 2018-2019 για το λιμάνι του Πειραιά	37
Διάγραμμα 3: Σύγκριση συγκεντρώσεων NO ανά μήνα για τα έτη 2018-2019 για το λιμάνι του Πειραιά	38
Διάγραμμα 4: Σύγκριση συγκεντρώσεων NO ₂ ανά μήνα για τα έτη 2018-2019 για το λιμάνι του Πειραιά	38
Διάγραμμα 5: Σύγκριση συγκεντρώσεων SO ₂ ανά μήνα για τα έτη 2018-2019 για το λιμάνι του Πειραιά	39
Διάγραμμα 6: Σύγκριση συγκεντρώσεων ΑΣ _{2,5} ανά μήνα για τα έτη 2018-2019 για το λιμάνι του Πειραιά	40
Διάγραμμα 7: Σύγκριση συγκεντρώσεων ΑΣ ₁₀ ανά μήνα για τα έτη 2018-2019 για το λιμάνι του Πειραιά	41
Διάγραμμα 8: Σύγκριση συγκεντρώσεων ΑΣ ₁₀ για το λιμάνι Πειραιά και της πόλης των Χανίων για το έτος 2018	42
Διάγραμμα 9: Σύγκριση συγκεντρώσεων ΑΣ ₁₀ για το λιμάνι Πειραιά και της πόλης των Χανίων για το έτος 2019	42
Διάγραμμα 10: Η εκπεμπόμενη μάζα SO ₂ ανά είδος για τις εποχές Χειμώνας- Άνοιξη - Φθινόπωρο.....	54
Διάγραμμα 11: Η εκπεμπόμενη μάζα SO ₂ ανά είδος το καλοκαίρι	55
Διάγραμμα 12: Η εκπεμπόμενη μάζα NO _x ανά είδος για τις εποχές Χειμώνας-Άνοιξη-Φθινόπωρο	56
Διάγραμμα 13: Η εκπεμπόμενη μάζα NO _x ανά είδος για το Καλοκαίρι.....	57
Διάγραμμα 14: Η εκπεμπόμενη μάζα ΑΣ _{2,5} ανά είδος για τις εποχές Χειμώνα Άνοιξη Φθινόπωρο	58
Διάγραμμα 15: Η εκπεμπόμενη μάζα ΑΣ _{2,5} ανά είδος το Καλοκαίρι.....	58

Διάγραμμα 16: Η συνολική εκπεμπόμενη μάζα	59
Διάγραμμα 17: Τα ποσοστά των ρύπων.....	60
Διάγραμμα 18: Σύγκριση εκπεμπόμενης μάζας λιμανιών Πειραιά - Ηρακλείου	60
Διάγραμμα 19: Σύγκριση εκπεμπόμενης μάζας μεταξύ λιμένων.....	61
Διάγραμμα 20: Σύγκριση εκπεμπόμενων ρύπων Ευρωπαϊκών Λιμανιών.....	61
Διάγραμμα 21: Διάγραμμα ταχύτητας ανέμου	70
Διάγραμμα 22: Διάγραμμα Θερμοκρασίας.....	71
Διάγραμμα 23: Διάγραμμα ύψους ανάμιξης	72
Διάγραμμα 24: Η συγκέντρωση του CO ανά εποχή.....	73
Διάγραμμα 25: Οι συγκεντρώσεις των ΑΣ ₁₀ ανά εποχή.....	74
Διάγραμμα 26: Οι συγκεντρώσεις του SO ₂ ανά εποχή	76
Διάγραμμα 27: Οι συγκεντρώσεις των NO _x ανά εποχή	77
Διάγραμμα 28: Η ημερήσια εναποτιθέμενη δόση στο αναπνευστικό σύστημα	97
Διάγραμμα 29: Η αθροιστική εναποτιθέμενη δόση στο αναπνευστικό σύστημα	98
Διάγραμμα 30: Η ημερήσια δόση στο ανθρώπινο σώμα.....	99
Διάγραμμα 31: Η κατακράτηση στο αναπνευστικό σύστημα	99
Διάγραμμα 32: Η δόση στον οισοφάγο και στο αίμα	100

Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγικά στοιχεία

1.1 Εισαγωγή

Η έννοια του «περιβάλλοντος» εσωκλείει το σύνολο των έμβιων οργανισμών και της άβιας ύλης, που υπάρχουν με φυσικό τρόπο στη Γη. Στο φυσικό περιβάλλον κατατάσσονται τα οικοσυστήματα αλλά και παγκόσμιοι φυσικοί πόροι, όπως είναι ο αέρας και το νερό (Meller G. Tyler, 2004). Η σημασία του περιβάλλοντος είναι μείζονος σημασίας για την επιβίωση του ανθρώπου και των οικοσυστημάτων. Το περιβάλλον επιδρά καθοριστικά και άμεσα στην ψυχική και σωματική υγεία του ανθρώπου. Για το λόγο αυτό το Σύνταγμα του 1975 περιέλαβε, για πρώτη φορά στην ιστορία των ελληνικών Συνταγμάτων, ρητές διατάξεις αναφορικά με την προστασία του περιβάλλοντος, ενώ η προστασία του ενισχύθηκε από την αναθεώρηση του Συντάγματος το έτος 2001. Υποστηρίζεται, ότι το άρθρο 24 του Συντάγματος, κατοχυρώνει το δικαίωμα σε ένα περιβάλλον υγιεινό και οικολογικά ισορροπημένο, ως προϋπόθεση της ανθρώπινης ζωής και υγείας αλλά και της ανθρώπινης αξιοπρέπειας, εκφραζόμενη ως απαίτηση για ποιότητα ζωής, αλλά και ως αγαθό με αυτοτελή αξία για τον άνθρωπο. Διάφοροι φορείς όπως για παράδειγμα η Ε.Ε. και ο Ο.Η.Ε. έχουν δώσει συγκεκριμένες κατευθύνσεις με σκοπό την μείωση των εκπομπών με σκοπό την αναβάθμιση της ποιότητας του αέρα αλλά και του περιβάλλοντος γενικότερα.

Μετά την βιομηχανική επανάσταση (18^ο – 19^ο αιώνα), σημειώθηκε αύξηση της ανθρώπινης παρέμβασης στο φυσικό περιβάλλον, τόσο στα αστικά κέντρα όσο και στην ύπαιθρο, λόγω της τεχνολογικής εξέλιξης και της οικονομικής ανάπτυξης. Με αυτό το τρόπο, οι δραστηριότητες των ανθρώπων επιβάρυναν σταδιακά και πολυπαραγοντικά το φυσικό περιβάλλον, το οποίο πλέον αδυνατεί να τις διαχειριστεί, με αποτέλεσμα την εμφάνιση οικολογικών προβλημάτων. Ως εκ τούτου, ρυπαίνεται η ατμόσφαιρα και οι υδάτινοι πόροι, κυρίως από τις καύσεις των κινητήρων των μέσων μεταφοράς (αυτοκίνητα, πλοία, αεροπλάνα), τους καυστήρες των κατοικιών και τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Στην παρούσα διπλωματική θα αναλυθεί η ρύπανση του αέρα από τα πλοία εντός των λιμενικών ορίων.

Ο αέρας, είναι ένα εκ των βασικών στοιχείων του περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα, πρόκειται για ένα φυσικό αγαθό του οποίου η ποιότητα είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον άνθρωπο. Οι σύγχρονες πόλεις είναι πυκνοκατοικημένες και συγκεντρώνουν μεγάλο αριθμό κτιρίων, οχημάτων και ανθρώπων. Η υποβάθμιση του αέρα είναι αποτέλεσμα της τεχνολογικής εξέλιξης, και χαρακτηριστικό που συνδέεται άμεσα με τις ζωή στις μεγαλουπόλεις.

Τα λιμάνια, τα οποία διακρίνονται σε φυσικά και τεχνητά είναι οι ασφαλείς όρμοι, τους οποίους τα πλοία μπορούν να προσεγγίσουν με ασφάλεια και να προβούν σε διάφορες συναλλαγές. Στα λιμάνια συνδέονται οι θαλάσσιες και χερσαίες μεταφορές. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση μεγάλο ποσοστό των εισαγωγών και των εξαγωγών της Ε.Ε. διακινείται μέσω των θαλασσιών οδών, όπως και μεγάλο ποσοστό του εγχώριου εμπορίου. Συνεπώς, η ναυτιλία διαδραματίζει κομβικό ρόλο στην ασφάλεια της αλυσίδας προμηθειών της Ε.Ε. και ιδιαίτερα στην εισαγωγή ενέργειας και πρώτων υλών. Τα σύγχρονα λιμάνια λειτουργούν ως σημείο διαμετακόμισης υπηρεσιών και προϊόντων και σαν συνδετικός κρίκος μεταφορών. Υπάρχουν πάνω από 55.000 πλοία τα οποία μεταφέρουν πάνω από το 90% του παγκόσμιου εμπορίου με πολύ

χαμηλό κόστος (Κοτρίκλα, 2015). Επιπλέον, τα λιμάνια εξυπηρετούν την διακίνηση εμπορευμάτων, επιβατών και παρέχουν διάφορες υπηρεσίες, όπως αποθήκες για τα προϊόντα, δεξαμενές καυσίμων και χώρους για την επισκευή και τη συντήρηση πλοίων. Όλα τα ανωτέρω συνδυαστικά δημιουργούν μια άκρως επιβαρυντική ατμόσφαιρα για τους κατοίκους των γύρω περιοχών, καθώς εισπνέουν αέρα ο οποίος έχει μολυνθεί από αέρια και αιωρούμενα σωματίδια.

Γενικότερα, η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ένα μεγάλο πρόβλημα για τους κατοίκους των αστικών κέντρων. Αναλυτικότερα, η συνεχής υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα δημιουργεί διάφορα προβλήματα υγείας στους κατοίκους (αναπνευστικά κ.ά.). Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι απόρροια ενός μεγάλου εύρους ανθρώπινων δραστηριοτήτων, όπως είναι οι εκπομπές από σταθερές πηγές και οι εκπομπές που προκύπτουν κατά τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Αναντίρρητα, οι θαλάσσιες μεταφορές είναι ο πιο φιλικός προς το περιβάλλον τρόπος μεταφοράς, ειδικά αν συγκριθούν με άλλα μέσα, όπως για παράδειγμα αεροπλάνα ή τις χερσαίες μεταφορές. Το διεθνές ναυτικό επιμελητήριο (ICS), είχε τονίσει ότι η ναυτιλία είναι μέρος της λύσης του προβλήματος των αυξημένων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε μια παρέμβαση του, στη διεθνή σύνοδο για την κλιματική αλλαγή στο Παρίσι το 2015. Ωστόσο, υπάρχουν έρευνες που αντιτίθενται και συγκλίνουν στην άποψη ότι και τα πλοία εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες μάζας οι οποίες ρυπαίνουν τον αέρα. Εκτιμάται ότι οι συνολικές εκπομπές CO₂ από τη ναυτιλία το 2007 παγκοσμίως έφτασαν τους 1.046 εκ. τόνους, 25 εκ. τόνοι ήταν η εκπεμπόμενη μάζα NO_x, 15 εκ. τόνοι η εκπεμπόμενη μάζα SO_x και 1,8 εκ. τόνοι, η εκπεμπόμενη μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων (ΑΣ) (Κοτρίκλα, 2015).

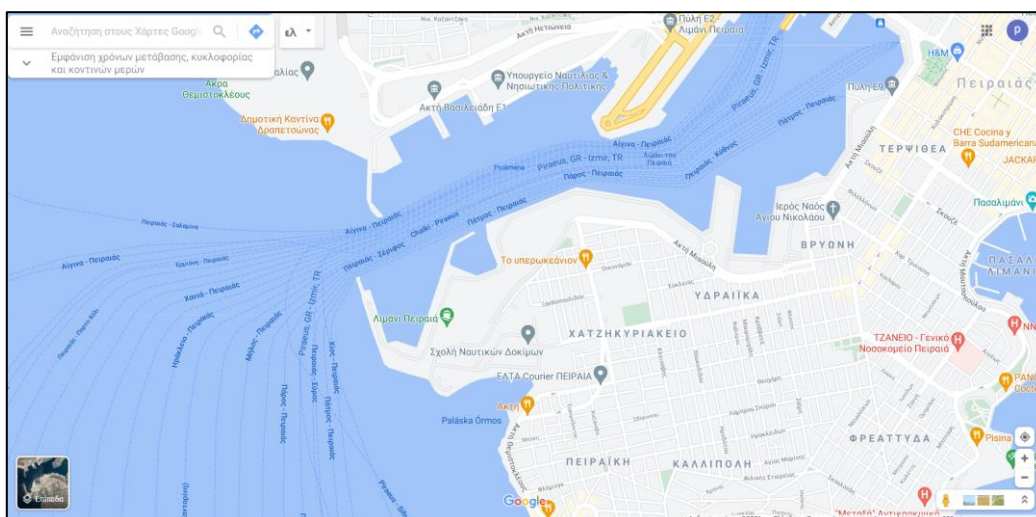
Τα λιμάνια αποτελούν πηγές συγκεντρωμένων εκπεμπόμενων ρύπων. Οι εκπομπές αυτές, εκτός του ότι έχουν παγκόσμιο αντίκτυπο επηρεάζουν ακόμα περισσότερο τη ποιότητα του περιβάλλοντος, ειδικά όταν πρόκειται και για λιμάνι που βρίσκεται σε αστική περιοχή. Επιπρόσθετα, τα πλοία εκτός των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, εκπέμπουν και αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου μικρότερης των 2,5 μm (ΑΣ_{2,5}) που ευθύνονται για τη δημιουργία σημαντικών αναπνευστικών προβλημάτων στους πολίτες (Whall et al., 2007 Sharma, 2006). Βέβαια, τα πλοία ανεξάρτητα από τον τύπο τους θα πρέπει να έχουν ένα λιμάνι για εφοδιασμό και στάθμευση. Κατά τη στάθμευση προκειμένου να τροφοδοτείται από ηλεκτρική ενέργεια το πλοίο, οι βοηθητικές μηχανές βρίσκονται σε λειτουργία. Αυτό προϋποθέτει την κατανάλωση καυσίμου το οποίο παράγει ρύπους (αέρια θερμοκηπίου και άλλα).

Από όλα τα προαναφερθέντα, τονίζεται η ανάγκη ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα λιμάνια όσο και της παρακολούθησης αυτής. Σημαντικό επίσης είναι να μετρούνται και να εκτιμώνται οι διάφορες εκπομπές αερίων. Χρειάζεται επομένως η δημιουργία ενός συστήματος για την μέτρηση και καταγραφή των ρύπων. Η έρευνα αναφορικά με τις επιπτώσεις των καυσαερίων πλοίων στο περιβάλλον είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο. Τα δεδομένα για την εκτίμηση των επιπτώσεων αυτών είναι εξαιρετικά περιορισμένα και ως εκ τούτου δεν υπάρχει πλήρης γνώση των επιπτώσεων και δεν μπορούν να ληφθούν αποφάσεις και ενέργειες με σκοπό την ελαχιστοποίησή τους.

1.2 Περιγραφή λιμένα Πειραιά

Η εργασία αυτή επικεντρώνεται στο λιμάνι του Πειραιά. Ο Δήμος Πειραιώς, έχει σύμφωνα με τη Απογραφή του 2011 έκταση 10,9 τ.χμ. και πληθυσμό 163.688 κατοίκους (γεγονός που τον καθιστά πέμπτο μεγαλύτερο Δήμο της χώρας μετά την εφαρμογή του προγράμματος «Καλλικράτης»). Η ευρύτερη περιοχή του Πειραιά συγκροτεί την Περιφερειακή Ενότητα Πειραιώς, η οποία συνίσταται από τον ομώνυμο δήμο και τέσσερις ακόμη δήμους (Νίκαιας - Αγίου Ιωάννη Ρέντη, Κορυδαλλού, Κερατσινίου - Δραπετσώνας και Περάματος), με συνολικό πληθυσμό 448.997 κατοίκους και έκταση 50,4 τ.χμ. Τέλος, καταλαμβάνει το νοτιοδυτικό τμήμα της Περιφέρειας Πρωτευούσης.

Το συγκεκριμένο λιμάνι είναι το μεγαλύτερο της Ελλάδας και της Μεσόγειου θάλασσας, και ένα από τα μεγαλύτερα του κόσμου. Πρόκειται για ένα φυσικό λιμάνι σημαντικό για την Αττική από την αρχαιότητα. Το 2015 διακινήθηκαν περίπου 17.000 πλοία, ενώ εξυπηρετήθηκαν περίπου 17,5 εκ. επιβάτες (<https://olp.gr/el/statistika-stoixeia>). Έχει 4 σταθμούς τερματικούς σταθμούς. Ο πρώτος είναι ο επιβατικός, ο οποίος δέχεται πλοία και καράβια από την Κρήτη, το Αιγαίο Πέλαγος, και τον Αργοσαρωνικό αλλά και κρουαζιερόπλοια από άλλες χώρες όπως η Κύπρος και το Ισραήλ. Το 2007, ο επιβατικός τερματικός είχε συνολικά 21.522.917 επιβάτες. Ο δεύτερος, είναι ο τερματικός για αυτοκίνητα και άλλα οχήματα, ο οποίος το 2007 είχε 612.840 αυτοκίνητα, 260.605 φορτηγά και 9.920 λεωφορεία. Ο τρίτος, είναι ο εμπορικός τερματικός, στον οποίο εμπορικά πλοία μεταφέρουν εμπορεύματα από και προς τον Πειραιά. Έχει χωρητικότητα 900.000 τετραγωνικά μέτρα και δύο προβλήτες ενώ υπάρχει και μια τρίτη που βρίσκεται υπό κατασκευή. Ο τέταρτος είναι ο τερματικός για φορτίο ο οποίος έχει χωρητικότητα 180.000 τετραγωνικά μέτρα και ετήσιο φορτίο 25.000.000 τόνους. Αξίζει να τονιστεί ότι από το 2020, το λιμάνι του Πειραιά ανήκει κατά πλειοψηφία στην COSCO με το ποσοστό των μετοχών να ανέρχεται στο 67%. (Πηγή, wikipedia)



Εικόνα 1: Το λιμάνι του Πειραιά και η ευρύτερη περιοχή (πηγή google maps)

Κεφάλαιο 2^ο: Ατμοσφαιρική ρύπανση και ναυτιλία

2.1 Ναυτιλία και εκπομπή ρύπων

Ως «ατμοσφαιρική ρύπανση» ορίζεται η παρουσία ρύπων στην ατμόσφαιρα, δηλαδή κάθε είδους ουσιών, θορύβου ή ακτινοβολίας σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια τέτοια ώστε να είναι δυνατόν να προκληθούν αρνητικές συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα. Οι αιτίες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι διάφορες ανθρωπογενείς (όπως για παράδειγμα οι βιομηχανίες και οι μεταφορές), ή μη δραστηριότητες (όπως για παράδειγμα οι εκρήξεις ηφαιστειών). (Αθανάσιος Α. Αργυρίου, *διαδικτυακές σημειώσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας*)

Πρόκειται για ένα φαινόμενο το οποίο υπάρχει σε όλες τις κλίμακες :

- τοπική με έκταση (ακτίνα) επιρροής ~5 km
- αστική με έκταση επιρροής ~50 km
- περιφερειακή με έκταση επιρροής από 50-500 km
- διηπειρωτική με έκταση επιρροής από >500 km
- παγκόσμια με έκταση (ακτίνα) επιρροής όλο τον πλανήτη

Επίσης, στο σημείο αυτό θα πρέπει να γίνει και η διάκριση μεταξύ των εννοιών «ρύπανσης» και «μόλυνσης». Ο όρος «μόλυνση» προϋποθέτει την παρουσία κάποιου παθογόνου μικροοργανισμού και αφορά συνήθως οργανισμούς. Έτσι συχνό είναι το φαινόμενο να γίνεται λόγος για «μόλυνση του περιβάλλοντος» ενώ στην ουσία γίνεται αναφορά στη ρύπανση αυτού. Στις φυσικές πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης εντάσσονται οι πηγές οι οποίες δεν προκαλούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες, αλλά από φυσικούς παράγοντες. Τέτοιες είναι οι εκρήξεις ηφαιστειών και οι πυρκαγιές. Οι περισσότεροι άνθρωποι στη χώρα μας κατοικούν σε μεγάλα αστικά κέντρα. Στις μεγάλες πόλεις παρατηρούνται υπερβάσεις στους δείκτες ποιότητας αέρα (συγκεντρώσεις NO_x , SO_x) αλλά και αιωρούμενων σωματιδίων (ΑΣ).

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας ξεχωρίζουν 35 ρύποι με επίδραση στην ανθρώπινη υγεία οι οποίοι κατηγοριοποιούνται ως εξής (*διαδικτυακές σημειώσεις Ατμοσφαιρικής ρύπανσης κ. Λαζαρίδη*):

- Οργανικοί ρύποι: (Ακρυλονιτρίλιο, 1,2-Διχλωροαιθάνιο, Βινυλοχλωρίδιο, Βενζόλιο, Διχλωρομεθάνιο, Τριχλωροαιθυλένιο, Βουταδιένιο, Φορμαλδεΰδη, Τολουόλη, Διθειάνθρακα, Στυρένιο, Τετραχλωροαιθυλένιο, Μονοξειδίο του Άνθρακα, Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες, Πολυχλωριωμένες, Διβενζοδιοξίνες και Διβενζοφουρένια, Πολυχλωριωμένα Διφαινύλια και Τριφαινύλια)
- Ανόργανοι αέριοι ρύποι (Αρσενικό, Κάδμιο, Υδρόθειο, Αμύαντος, Χρώμιο, Υδράργυρος, Μόλυβδος, Μαγνήσιο, Βανάδιο, Νικέλιο, Λευκόχρυσος)
- Κλασσικοί αέριοι ρύποι (Φωτοχημικοί ρύποι, Διοξείδιο του Θείου, Όζον, Αιωρούμενα Σωματίδια)
- Ρύποι εσωτερικών χώρων (καπνός τσιγάρου, διάφορες υαλώδεις ίνες, ραδόνιο)

Η Ε.Ε. έχει θέσει αυστηρά όρια και κριτήρια με σκοπό τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης τα οποία με τη πρόοδο της τεχνολογίας γίνονται όλο και αυστηρότερα.

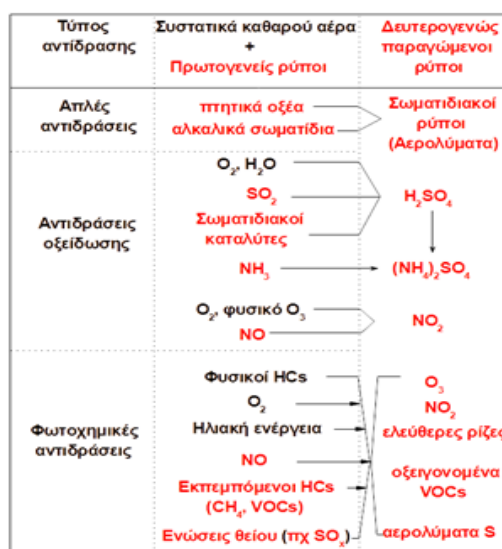
Η ρύπανση ανάλογα με το ρύπο (διαδικτυακές σημειώσεις Έλεγχου Ρύπανσης νερών κ. Ψυλλάκη) μπορεί να διαχωριστεί σε :

- Ρύπανση από φυσικούς παράγοντες (ακτινοβολία, θερμική ρύπανση)
- Χημική ρύπανση (πετρελαιοειδή, εντομοκτόνα, απορρυπαντικά)
- Οργανική ρύπανση (ευτροφισμός, λιπάσματα)
- Βιολογική ρύπανση (μικροοργανισμοί)
- Αισθητική ρύπανση (σκουπίδια)

2.2 Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι

Στην ατμόσφαιρα, στις σημερινές συνθήκες, υπάρχει τεράστια ποικιλία ρύπων, η οποία συνεχώς εμπλουτίζεται και με νέα είδη, λόγω ανάπτυξης και παραγωγής νεότερων χημικών προϊόντων από τις παραγωγικές μονάδες (εργοστάσια, μονάδες παραγωγής ενέργειας).

Οι ρύποι όπως ακριβώς αποβάλλονται στην ατμόσφαιρα από μια πηγή ονομάζονται «πρωτογενείς». Η ατμόσφαιρα, μπορεί να θεωρηθεί ως ένας χημικός αντιδραστήρας, εντός του οποίου λαμβάνουν χώρα ποικίλες αντιδράσεις ομογενείς, ετερογενείς, θερμικές, φωτοχημικές. Ενώ ταυτόχρονα εισέρχονται και εξέρχονται διάφορες ουσίες ή μετακινούνται σε διάφορες αποστάσεις. Έτσι, ένας πρωτογενής ρύπος υφίσταται διάφορες μεταβολές εντός της ατμόσφαιρας, αντιδρά με τους άλλους ρύπους ή με τα συστατικά της καθαρής ατμόσφαιρας, εμπλουτίζοντας έτσι την είδη μεγάλη ποικιλία σε νέους ρύπους που ονομάζονται «δευτερογενείς». (διαδικτυακές σημειώσεις Τεχνολογιών επεξεργασίας αέριων εκπομπών κ. Γεντεκάκη)



Εικόνα 2: Οι μηχανισμοί παραγωγής ρύπων (Γεντεκάκης διαδικτυακές σημειώσεις)

2.3 Εκπομπές ρύπων από τους κινητήρες πλοίου

Κάθε πλοίο εκπέμπει διαφορετικούς ρύπους ανάλογα με το κινητήρα του, το έτος κατασκευής του, το είδος του καυσίμου του, την τεχνολογία του και τα δρομολόγια που εκτελεί. Σε γενικές γραμμές, η ναυτιλία αποτελεί ένα μέσο μεταφοράς αγαθών φιλικό προς το περιβάλλον και ειδικότερα, ως προς τις επιπτώσεις στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, καθώς οι εκπομπές CO₂ ανά μονάδα μεταφορικού έργου είναι σχετικά χαμηλές και μπορεί να συγκριθούν μόνο με τις αντίστοιχες εκπομπές των σιδηροδρομικών μεταφορών. Οι ρύποι που δημιουργούνται από τη ναυσιπλοΐα είναι αποτέλεσμα τής καύσης του καυσίμου στους κινητήρες των πλοίων. Υπάρχουν δύο είδη ρύπων. Το πρώτο είδος συνδέεται με την τεχνολογία και το είδος του κινητήρα (CO, VOC, NO_x) και το δεύτερο συνδέεται από το είδος του καυσίμου (CO₂, ΑΣ και SO_x), τα οποία δημιουργούνται από το θείο και τον άνθρακα που υπάρχουν στα καύσιμα (Κοτρίκλα, 2015).

2.4 Επιπτώσεις στο περιβάλλον από τις εκπομπές ρύπων.

Οι συνέπειες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι περισσότερο εμφανείς και οχλούσες στα λιμάνια, λόγω της ρύπανσης τους από την ναυτιλία. Διάφορες μελέτες έχουν δείξει ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση που προέρχεται από τη θάλασσα μελλοντικά θα είναι ίση με την ρύπανση που προέρχεται από το χερσαίο χώρο. Οι ρύποι που εκπέμπουν τα πλοία συμβάλλουν στα ευρέως γνωστά περιβαλλοντικά προβλήματα (φαινόμενο θερμοκηπίου, όξινη βροχή και φωτοχημικό νέφος). Αναφορά θα πρέπει να γίνει και στην αύξηση της θερμοκρασίας που προκαλούν οι εκπομπές CO₂ μέσω του φαινομένου του θερμοκηπίου, καθώς η θερμοκρασία της Γης αυξάνεται ολοένα και περισσότερο.

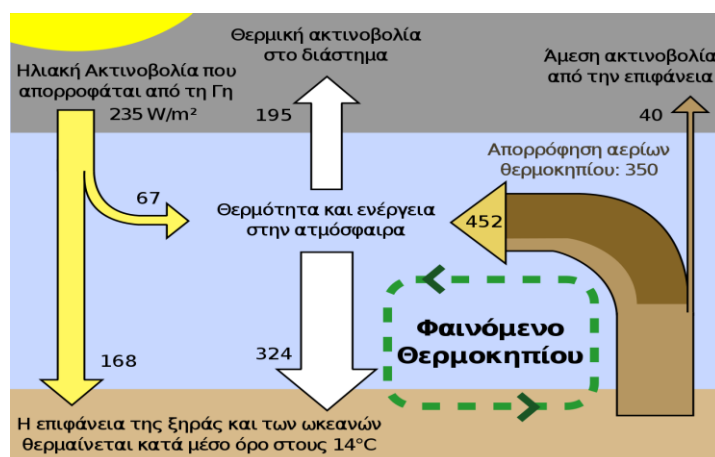
2.4.1 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου (green house effect) αναφέρθηκε αρχικά από τον Josef Fourier το 1824. Σχεδόν ένα αιώνα μετά ο Svante Arrhenius, δίνει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα των φυσικοχημικών αρχών που το διέπουν. Ορισμένα αέρια της ατμόσφαιρας έχουν την ιδιότητα να επιτρέπουν την διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας προς τη Γη, ενώ ταυτόχρονα παρεμποδίζουν και αντανακλούν προς το έδαφος σημαντικό ποσοστό της υπέρυθρης ακτινοβολίας που ανακλάται από την επιφάνεια της Γης. Οι συγκεντρώσεις του CO₂ στην ατμόσφαιρα, δεν ενέχουν άμεσες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Αποτελούν όμως τη βασική αιτία για το σημαντικότερο περιβαλλοντικό πρόβλημα της εποχής μας, το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Υπολογίζεται ότι οι συνολικές εκπομπές CO₂ από τη ναυτιλία το 2007 παγκοσμίως έφτασαν τους 1.046 εκ. τόνους ποσότητα που αντιστοιχεί στο 3,3% των παγκόσμιων εκπομπών. Από την ποσότητα αυτή, 870 εκ. (δηλαδή ένα ποσοστό της τάξης του 2,7%) αποδίδονται στη διεθνή ναυτιλία και το υπόλοιπο ποσοστό (δηλαδή το 0,6%) στην εγχώρια ναυτιλία (Κοτρίκλα, 2015). Το CO₂ είναι το σημαντικότερο αέριο του θερμοκηπίου που εκπέμπεται από τη ναυτιλία σε μεγάλες συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα.



Εικόνα 3: Παγκόσμιες εκπομπές CO₂ από διάφορους οικονομικούς και παραγωγικούς τομείς (Κοτρίκλα, 2015)

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών του CO₂ οφείλεται στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και στις οδικές μεταφορές. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι μια φυσική διεργασία του συστήματος Γη-ατμόσφαιρα, όπου μέρος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τον ήλιο εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της Γης κατακρατείται από την ατμόσφαιρα και επανεκπέμπεται στη Γη. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου δεν το δημιουργήσαμε εμείς αλλά προϋπήρχε. Χωρίς αυτό, η θερμοκρασία της γης θα ήταν περίπου στους -20°C , αντί για περίπου $+15^{\circ}\text{C}$ που είναι τώρα με συνέπεια την μη ύπαρξη ζωής όπως τουλάχιστον την γνωρίζουμε σήμερα. Δεν μιλάμε λοιπόν για την δημιουργία του φαινομένου στις μέρες μας αλλά για την ενίσχυσή του (Γεντεκάκης, 2010). Η έντονη ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου θα προκαλέσει εκτεταμένες κλιματικές αλλαγές, με πιθανό λιώσιμο των πάγων, πλημμυρίζοντας παράκτιες περιοχές και γενικά μεταβάλλοντας την ισορροπία στο πλανήτη.



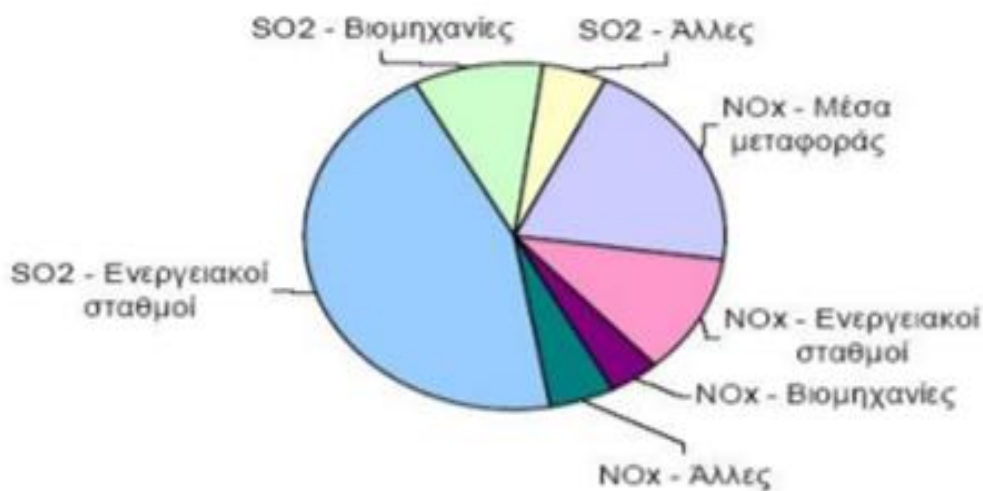
Εικόνα 4: Ο μηχανισμός του φαινομένου του θερμοκηπίου (πηγή, wikipedia)

Ρύπος	Εκπεμπόμενη ποσότητα από τη ναυτιλία (εκ. τόνοι το 2007)*	Καθαρή επίδραση στην παγκόσμια θέρμανση (φαινόμενο θερμοκηπίου)
CO ₂	1046	Ενίσχυση
NO _x	25	Αμελητέα
SO _x	15	Μείωση (τα σωματίδια θεικών)
PM	1,8	Ενίσχυση (η αιθάλη)

Πίνακας 1: Η συνεισφορά της ναυτιλίας στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. (IMO, 2009)

2.4.2 Η όξινη βροχή

Η όξινη εναπόθεση είναι μια διεργασία συνδεδεμένη με την ατμοσφαιρική ρύπανση. Ο όρος αυτός αναφέρεται στη μεταφορά μέσω ατμόσφαιρας όξινων συστατικών. Αυτό περιλαμβάνει την ξηρή εναπόθεση (SO₂, NO₂ και HNO₃) και την υγρή εναπόθεσή τους, ή όπως έχει καθιερωθεί να ονομάζεται όξινη βροχή. Όξινη βροχή ονομάζεται το φαινόμενο όξινων μετεωρολογικών κατακρημνισμάτων, (βροχή, χαλάζι, χιόνι, ομίχλη, πάχνη). Είναι σύνηθες η βροχή να έχει (κάποιο) όξινο χαρακτήρα, λόγω της διάλυσης σε αυτήν αερίων συστατικών με όξινη συμπεριφορά, όπως π.χ. CO₂. Η έννοια της «όξινη βροχής» αναφέρεται στην συγκέντρωση σε αυτήν όξινων διαλυμένων ρύπων, δηλαδή ουσιών (αερίων ή μη) που δεν αποτελούν φυσιολογικά χαρακτηριστικά της καθαρής ατμόσφαιρας, αλλά είναι προϊόντα ανθρώπινης δραστηριότητας ή άλλων ρυπογόνων αιτιών (πχ: ηφαιστειακής δραστηριότητας).



Εικόνα 5: Η κατανομή πηγών SO₂ και NO_x (Μελάς κ.α, 2002)

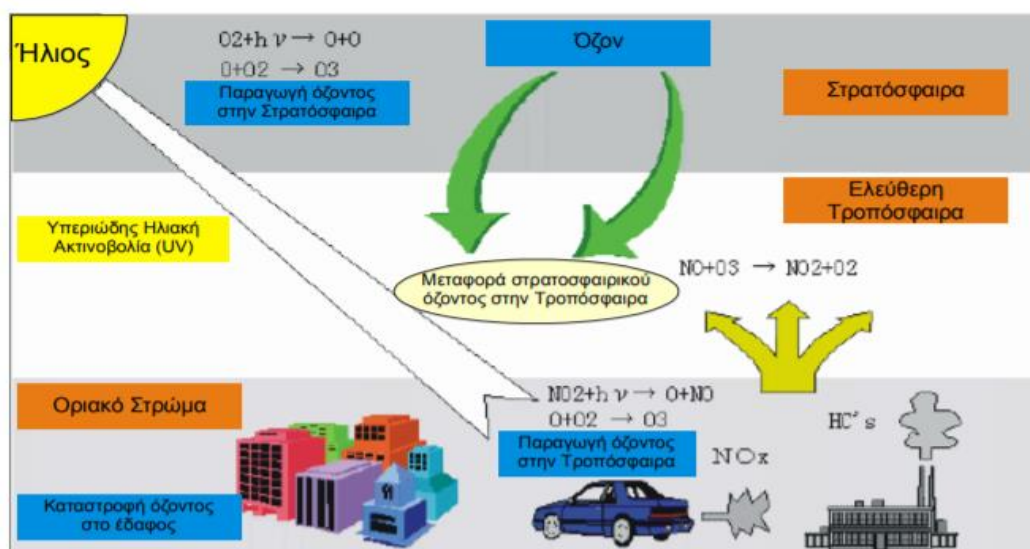
Επειδή τα καυσαέρια ορυκτών καυσίμων, όπως το πετρέλαιο και οι γαιάνθρακες, περιέχουν συχνά (όξινα) NO_x και SO_x, παράγεται όξινη βροχή που περιέχει σε διάλυση τα αντίστοιχα οξέα. Η όξινη βροχή έχει καταστροφικές συνέπειες ανάλογες με την οξύτητα, την οξειδωτικότητα, τη συγκέντρωση σε τοξικές ουσίες, την ποσότητα, τη διάρκεια και τη σύνθεση του εδάφους που κατακρημνίζεται. Τα NO_x και SO_x, με τη βοήθεια του ανέμου, μπορούν να μεταφερθούν σε μακρινές αποστάσεις. Με αυτό το τρόπο, είναι σύνηθες το φαινόμενο να δημιουργείται όξινη βροχή μακριά από τον τόπο εκπομπής, των παραπάνω οξειδίων. Τα πιο σημαντικά αέρια που

οδηγούν στο σχηματισμό της όξινης βροχής είναι το SO_2 και τα NO_x που οξειδώνονται σχηματίζοντας NO_2 και διαλυόμενο στο νερό σχηματίζει HNO_3 .

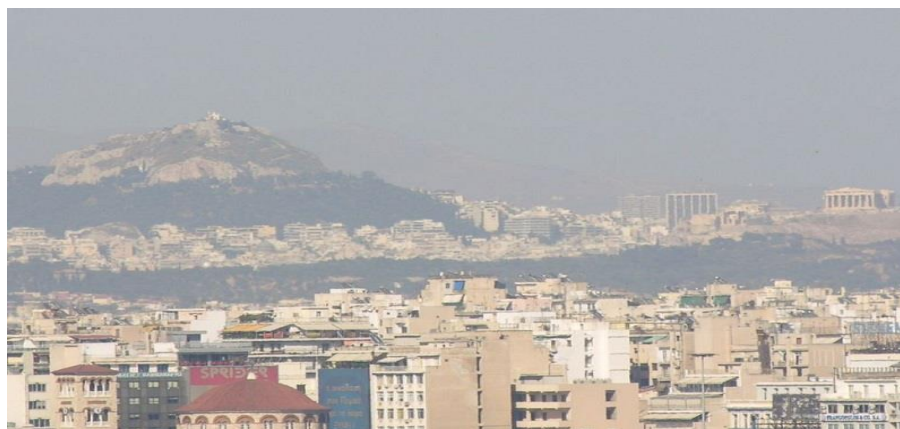
Στη σημείο αυτό, ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει στην καταστροφική επίδραση της όξινης βροχής στις οικίες αλλά και σε διάφορα άλλα μνημεία. Το μάρμαρο των μνημείων όταν αντιδρά με την όξινη βροχή μετατρέπεται σε γύψο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο Παρθενώνας.

2.4.3 Φωτοχημικό νέφος

Το φωτοχημικό νέφος είναι μια μορφή ατμοσφαιρικής ρύπανσης που εμφανίζεται σε μεγάλες πόλεις, όπως είναι η Αθήνα και ο Πειραιάς. Έχει καφετιά - υποκίτρινη απόχρωση και ρυπαίνει τις πόλεις, ιδίως το καλοκαίρι και το φθινόπωρο. Οφείλεται κυρίως στις εκπομπές των NO_x (μαζί με πηλίκες οργανικές ουσίες, κυρίως άκαυστους υδρογονάνθρακες), τα οποία προέρχονται κυρίως από τις εκπομπές των μηχανών εσωτερικής καύση και του O_3 και έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου (ερεθισμό στα μάτια και στους πνεύμονες).



Εικόνα 6: Ο μηχανισμός δημιουργίας φωτοχημικού νέφους (Ζάνη, 2014)



Εικόνα 7: Το φωτοχημικό νέφος στην Αθήνα

Σύμφωνα με τις μετρήσεις του Δικτύου Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης της Αθήνας, στις 21 Ιούνη του 2016 το όζον ξεπερνούσε συστηματικά το όριο αφού η μέση ωριαία συγκέντρωσή του ήταν μεγαλύτερη από 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.5 Οι επιπτώσεις των ρύπων στην ανθρώπινη υγεία

Η ανθρώπινη υγεία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη ποιότητα αέρα που εισπνέουν οι άνθρωποι. Όπως είδαμε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, η ναυτιλία εκπέμπει συγκεκριμένους ρύπους, οι οποίοι έχουν άμεση επίδραση στην υγεία των ανθρώπων, ειδικά στις περιοχές που βρίσκονται κοντά στους λιμένες.

2.5.1 Οι επιπτώσεις του CO στην ανθρώπινη υγεία

Στις σύγχρονες Ευρωπαϊκές πόλεις, η μέση οκτάωρη συγκέντρωση CO, είναι μικρότερη από 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ κάποιες φορές μπορεί να φτάσει και τα 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Συμβάλλει στα διάφορα καρδιακά προβλήματα. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις δημιουργεί λιπώδη στρώματα στα αιμοφόρα αγγεία. Το μονοξείδιο του άνθρακα διαχέεται ταχέως στους πνεύμονες, στα τριχοειδή αγγεία και στις ζωτικές μεμβράνες. Περίπου το 80-90% του απορροφημένου CO ενώνεται με την αιμογλοβίνη σχηματίζοντας την καρβόξυαιμογλοβίνη (HbCO) (Λαζαριδης, 2004), η οποία αποτελεί δείκτη έκθεσης σε CO στο αίμα. Η έλξη της αιμογλοβίνης προς το μονοξείδιο του άνθρακα είναι 200-250 φορές μεγαλύτερη από ότι προς το οξυγόνο. Ο σχηματισμός καρβόξυαιμογλοβίνης μειώνει την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο. Η τοξική επίδραση του μονοξειδίου του άνθρακα είναι εμφανής σε ζωτικά όργανα όπως οι πνεύμονες, η καρδιά, οι σκελετικοί μύες, ενώ γίνεται εμφανής και στα αναπτυσσόμενα έμβρυα. Οι υψηλές συγκεντρώσεις CO, μπορούν να προκαλέσουν πονοκέφαλο, ζάλη, ναυτία, ερεθισμό στα μάτια, δυσκολία στην αναπνοή και πιθανό θάνατο. Διάφορες έρευνες δείχνουν μεγάλη συσχέτιση μεταξύ μόνιμων καρδιακών προβλημάτων από παρατεταμένη έκθεση σε περιβάλλοντα με υψηλή συγκέντρωση CO. Τα ακόλουθα όρια έκθεσης, έχουν προταθεί ανάλογα με το χρόνο έκθεσης έτσι, ώστε να μην υπερβεί η καρβόξυαιμογλοβίνη το επίπεδο των 2,5%:

- 100 mg/m^3 για 15 λεπτά
- 60 mg/m^3 για 30 λεπτά
- 30 mg/m^3 για 1 ώρα
- 10 mg/m^3 για 8 ώρες

2.5.2 Οι επιπτώσεις του SO₂ στην ανθρώπινη υγεία

Λόγω των πολιτικών που αποσκοπούν στη μείωση θειικών ενώσεων στα καύσιμα, οι εκπομπές σε SO₂, έχουν μειωθεί το τελευταίο διάστημα, στις σύγχρονες χώρες. Σε χώρες της Αμερικής, αλλά και της Ευρώπης η μέση συγκέντρωση του SO₂, είναι 20-60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Σε διάφορες πόλεις όμως, που χρησιμοποιείται ακόμα ο άνθρακας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οι συγκεντρώσεις του SO₂ είναι 5-10 φορές μεγαλύτερες. Γενικά, το SO₂ είναι τοξικό για τον άνθρωπο σε οι υψηλές συγκεντρώσεις και είναι πιθανό να προκαλέσει και θάνατο. Βέβαια συνηθέστερες είναι οι περιπτώσεις σοβαρών αναπνευστικών προβλημάτων. Οι ηλικιωμένοι, αλλά και άνθρωποι που υποφέρουν από άσθμα είναι περισσότερο ευαίσθητοι. Τα όρια

ασφαλείας που έχουν προταθεί για το SO₂, είναι 125 µg/m³ για 24ωρη έκθεση και 50 µg/m³ για ετήσια έκθεση (Λαζαρίδης, 2004).

2.5.3 Οι επιπτώσεις των NO_x στην ανθρώπινη υγεία

Σε αστικές περιοχές, οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις NO_x, είναι της τάξης των 20-90 µg/m³ με μέγιστες ωριαίες τιμές που κυμαίνονται από 75-1.015 µg/m³. Η έκθεση σε περιβάλλον με NO_x, προκαλεί ερεθισμό στα μάτια και προβλήματα στην αναπνοή του ανθρώπου. Στα άτομα μικρής ηλικίας η έκθεση σε περιβάλλον με NO_x, οδηγεί στην εμφάνιση οξείας βρογχίτιδας. Επίσης υπάρχουν ενδείξεις για επιπτώσεις στη λειτουργία των πνευμόνων, μετά από μακροχρόνια έκθεση σε περιβάλλον με υψηλές συγκεντρώσεις NO_x, σε άτομα με άσθμα και άλλα χρόνια αναπνευστικά προβλήματα. Έχει προταθεί το όριο των 40 µg/m³, ως ετήσια τιμή συγκέντρωσης του NO₂ (Λαζαρίδης, 2004).

2.5.4 Οι επιπτώσεις των ΑΣ στην ανθρώπινη υγεία

Τα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων ΑΣ₁₀ σε αστικές περιοχές στην Ευρώπη έχουν χειμερινές μέσες τιμές μικρότερες των 20-30 µg/m³. Στη δυτική Ευρώπη τα επίπεδα αυτά είναι υψηλότερα (40-50 µg/m³). Οι επιπτώσεις των ΑΣ στην ανθρώπινη υγεία, αφορούν κυρίως τις επιπτώσεις των ΑΣ₁₀, αφού για τις επιπτώσεις των ΑΣ_{2,5} δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα. Η εισπνοή ΑΣ₁₀, μπορεί να προκαλέσει βήχα, βρογχίτιδα, συμπτώματα του κατώτερου αναπνευστικού αλλά και θάνατο. (Λαζαρίδης, 2004)

2.6 Νομοθετικά όρια και άλλες διατάξεις

2.6.1 Το νομοθετικό πλαίσιο της Ε.Ε.

Βάση της οδηγίας (1999/30,2008/50) έχουν θεσμοθετηθεί τα ακόλουθα ανώτερα και κατώτερα όρια εκτίμησης, εντός οικισμών και ζωνών. Τα όρια αντλήθηκαν από την επίσημη ιστοσελίδα της Ε.Ε. (Πηγές: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L.2008.152.01.0001.01.ELL>, <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1999L0030:20080611:EL:P:DF>)

- Ως *ανώτερο όριο εκτίμησης*, ορίζεται το επίπεδο κάτω από το οποίο μπορεί να χρησιμοποιείται συνδυασμός σταθερών μετρήσεων και τεχνικών προσομοίωσης ή/και ενδεικτικών μετρήσεων για την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα.
- Ως *κατώτερο όριο εκτίμησης*, ορίζεται ο επίπεδο κάτω από το οποίο μπορούν να χρησιμοποιούνται μόνο τεχνικές προσομοίωσης ή αντικειμενικής εκτίμησης για την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα.

SO₂ (Διοξείδιο του Θείου)		
	Προστασία υγείας	Προστασία βλάστησης
Ανώτερο όριο εκτίμησης	60 % της εικοσιτετράωρης οριακής τιμής (75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 3 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος)	60 % του χειμερινού κρίσιμου επιπέδου (12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Κατώτερο όριο εκτίμησης	40 % της εικοσιτετράωρης οριακής τιμής (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 3 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος)	40 % του χειμερινού κρίσιμου επιπέδου (8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Πίνακας 2: Τα νομοθετικά όρια της Ε.Ε. για τις συγκεντρώσεις SO₂

	Ωριαία οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου (NO ₂)	Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου (NO ₂)	Ετήσιο κρίσιμο επίπεδο για την προστασία της βλάστησης και των φυσικών οικοσυστημάτων (NO _x)
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70 % της οριακής τιμής (140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 18 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος	80 % της οριακής τιμής (32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	80 % του κρίσιμου επιπέδου (24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Κατώτερο όριο εκτίμησης	50 % της οριακής τιμής (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 18 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος	65 % της οριακής τιμής (26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	65% του κρίσιμου επιπέδου (19,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Πίνακας 3: Τα νομοθετικά όρια της Ε.Ε. για τις συγκεντρώσεις NO₂

Αιωρούμενα Σωματίδια			
	Μέσος όρος 24 ωρών ΑΣ ₁₀	Μέσος ετήσιος όρος ΑΣ ₁₀	Μέσος ετήσιος όρος ΑΣ _{2,5}
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70 % της οριακής τιμής (35 µg/m ³ , δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος)	70 % της οριακής τιμής (28 µg/m ³)	70 % της οριακής τιμής (17 µg/m ³)
Κατώτερο όριο εκτίμησης	50 % της οριακής τιμής (25 µg/m ³ , δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος)	50 % της οριακής τιμής (20 µg/m ³)	50 % της οριακής τιμής (12 µg/m ³)

Πίνακας 4: Τα νομοθετικά όρια της Ε.Ε. για τις συγκεντρώσεις ΑΣ₁₀ και ΑΣ_{2,5}

CO (Μονοξείδιο του Άνθρακα)	
	Μέσος όρος 8 ωρών
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70 % της οριακής τιμής (7 mg/m ³)
Κατώτερο όριο εκτίμησης	50 % της οριακής τιμής (5 mg/m ³)

Πίνακας 5: Τα νομοθετικά όρια της Ε.Ε. για τις συγκεντρώσεις CO

Στους παρακάτω πίνακες βρίσκονται οι οριακές τιμές για τη προστασία της Υγείας του Ανθρώπου. (Πηγή: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=uriserv%3A0J.L_.2008.152.01.0001.01.ELL#ntr2-L_2008152EL.01003001-E0002)

- Ως *οριακή τιμή*, ορίζεται το επίπεδο καθοριζόμενο βάσει επιστημονικών γνώσεων, με σκοπό να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και/ή στο σύνολο του περιβάλλοντος, το οποίο πρέπει να επιτευχθεί εντός δεδομένης προθεσμίας χωρίς εν συνεχεία υπερβάσεις.
- Ως *περιθώριο ανοχής*, ορίζεται το ποσοστό της οριακής τιμής κατά το οποίο επιτρέπεται να γίνεται υπέρβασή της σύμφωνα με τους όρους της παρούσας οδηγίας

Οριακές τιμές SO ₂ , για την υγεία του ανθρώπου		
Περίοδος μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής
1 ώρα	350 µg/m ³ , δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 24 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος	150 µg/m ³ (43 %)
1 ημέρα	125 µg/m ³ , δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 3 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος	Ουδέν

Πίνακας 6: Οριακές τιμές SO₂ για την υγεία του ανθρώπου

Οριακές τιμές NO ₂ , για την υγεία του ανθρώπου		
Περίοδος μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής
1 ώρα	200 µg/m ³ , δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 18 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος	50 % στις 19 Ιουλίου 1999, μειούμενο από την 1η Ιανουαρίου 2001 και εν συνεχεία ανά εφεξής δωδεκάμηνο κατά ίσα ετήσια ποσοστά ώστε να καταλήξει σε 0 % την 1η Ιανουαρίου 2010
Ημερολογιακό έτος	40 µg/m ³	50 % στις 19 Ιουλίου 1999, μειούμενο από την 1η Ιανουαρίου 2001 και εν συνεχεία ανά εφεξής δωδεκάμηνο κατά ίσα ετήσια ποσοστά ώστε να καταλήξει σε 0 % την 1η Ιανουαρίου 2010

Πίνακας 7: Οριακές τιμές NO₂ για την υγεία του ανθρώπου

Οριακές τιμές CO, για την υγεία του ανθρώπου		
Περίοδος μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής
Μέγιστος ημερήσιος μέσος όρος οκταώρου	10 mg/m ³	60 %

Πίνακας 8: Οριακές τιμές CO για την υγεία του ανθρώπου

Οριακές τιμές ΑΣ ₁₀ , για την υγεία του ανθρώπου		
Περίοδος μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής
1 ημέρα	50 µg/m ³ , δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος	50 %
Ημερολογιακό έτος	40 µg/m ³	20 %

Πίνακας 9: Οριακές τιμές ΑΣ₁₀ για την υγεία του ανθρώπου

Στην παρούσα οδηγία, για τα ΑΣ_{2,5} αναφέρονται τα εξής: Τα λεπτά σωματίδια (ΑΣ_{2,5}) έχουν σοβαρές αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Επίσης ότι επί της παρούσας οδηγίας, δεν υφίσταται συγκεκριμένο όριο κάτω από το οποίο τα ΑΣ_{2,5} είναι ακίνδυνα. Κατά συνέπεια, ο συγκεκριμένος ατμοσφαιρικός ρύπος δεν θα πρέπει να αποτελέσει αντικείμενο ίδιας κανονιστικής ρύθμισης με τους υπόλοιπους. Η προσέγγιση αυτή έχει ως στόχο τη γενική μείωση των συγκεντρώσεων στις μη εκτεθειμένες περιοχές αστικού χαρακτήρα ώστε μεγάλα τμήματα του πληθυσμού να

επωφεληθούν από τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα. Ωστόσο, η παρούσα οδηγία αναφέρει τις παρακάτω οριακές τιμές.

Περίοδος μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Ημερομηνία κατά την οποία πρέπει να έχει επιτευχθεί η οριακή τιμή
ΣΤΑΔΙΟ 1			
Ημερολογιακό έτος	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20 % στις 11 Ιουνίου 2008, μειούμενο έως την 1η του επόμενου Ιανουαρίου και εν συνεχεία ανά εφεξής δωδεκάμηνο κατά ίσα ετήσια ποσοστά ώστε να καταλήξει σε 0 % έως την 1η Ιανουαρίου 2015	1η Ιανουαρίου 2015
ΣΤΑΔΙΟ 2 (Ενδεικτική οριακή τιμή που θα επανεξετασθεί από την Επιτροπή το 2013)			
Ημερολογιακό έτος	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		1η Ιανουαρίου 2020
Ημερολογιακό έτος	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		20 %

Πίνακας 10: Οριακές τιμές $\text{AS}_{2.5}$ για την υγεία του ανθρώπου

2.6.2 Οι προβλέψεις της Ε.Ε. για το Περιβάλλον

Οι στόχοι της Ε.Ε. για το περιβάλλον, έως και 2030 συνοψίζονται στους εξής στόχους (Πηγή: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=CELEX:52014IR2691>) :

- 50 % μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε σύγκριση με τις εκπομπές του 1990
- 40 % μερίδιο της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, καταναμεημένο σε εθνικούς στόχους
- 40 % μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας σε σχέση με το 2005, μέσω της βελτίωσης της αποτελεσματικότητας, επίσης καταναμεημένης σε εθνικούς στόχους.

Η υλοποίηση των παραπάνω στόχων είναι απαραίτητη, προκειμένου να αποφευχθεί η καταστροφική αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από 2 °C και να επιτευχθεί ο μακροπρόθεσμος στόχος της Ε.Ε. (μείωση κατά 80-95 % των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, στόχος της συμφωνίας του Παρισιού για την οποία γίνεται λόγος στο παρακάτω υποκεφάλαιο.

Μέχρι στιγμής (13 Νοεμβρίου 2021) σύμφωνα με τη COP26: έχει σημειωθεί πρόοδος, αλλά απαιτούνται περισσότερες προσπάθειες για να επιτευχθεί ο στόχος του 1,5 βαθμού. Η διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το κλίμα (COP26) ολοκληρώθηκε στη Γλασκόβη του Ηνωμένου Βασιλείου μετά από δύο εβδομάδες διαπραγματεύσεων· σημειώθηκε σημαντική πρόοδος όσον αφορά τις δεσμεύσεις της συμφωνίας του Παρισιού, αλλά υπάρχει ακόμα περιθώριο για περαιτέρω προσπάθειες προς την επίτευξη του στόχου του 1,5 βαθμού Κελσίου.

Το μακρόπνοο πλάνο της Ε.Ε, είναι μια κλιματικά ουδέτερη Ε.Ε. έως το 2050. Αυτό σημαίνει ότι, μέχρι το 2050, η Ε.Ε. θα μειώσει δραστικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και θα βρει τρόπους να αντισταθμίσει τις εναπομένουσες και αναπόφευκτες εκπομπές. Η επίτευξη μηδενικού ισοζυγίου εκπομπών θα ωφελήσει τους ανθρώπους και το περιβάλλον και θα περιορίσει την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Όσον αφορά τη ναυτιλία, η Ε.Ε. στοχεύει στη χρήση ανανεώσιμων καυσίμων και καυσίμων χαμηλών ανθρακούχων εκπομπών στις θαλάσσιες μεταφορές (FuelEU Maritime). Επίσης στόχος είναι να μειωθεί η ένταση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την ενέργεια που χρησιμοποιούν τα πλοία μέχρι και 75 % έως το 2050, με την προώθηση της χρήσης πιο οικολογικών καυσίμων από τα πλοία. Παρά την πρόοδο που σημειώθηκε τα τελευταία χρόνια, ο τομέας της ναυτιλίας εξακολουθεί να βασίζεται σχεδόν εξ ολοκλήρου στα ορυκτά καύσιμα και αποτελεί σημαντική πηγή αερίων του θερμοκηπίου και άλλων επιβλαβών ρύπων. (Πηγή: <https://www.consilium.europa.eu/el/policies/green-deal/eu-plan-for-a-green-transition/>)

2.6.3 Το πλαίσιο της Σύμβασης Πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC)

Η Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή, το πρώτο διεθνές μέτρο με το οποίο επιδιώχθηκε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα, συνήφθη το Μάιο του 1992 και άρχισε να ισχύει το Μάρτιο του 1994. Επιβάλλει σε όλα τα συμβαλλόμενα κράτη, την υποχρέωση να θεσπίσουν εθνικά προγράμματα για τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και να υποβάλλουν τακτικές εκθέσεις, ενώ απαιτεί από τις βιομηχανικές συνυπογράφουσες χώρες, σε αντιδιαστολή με τις αναπτυσσόμενες, να επιτύχουν τη σταθεροποίηση των δικών τους εκπομπών αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου στα επίπεδα του 1990, μέχρι το έτος 2000. Ο στόχος αυτός, ωστόσο, δεν είναι δεσμευτικός.

(Πηγή: <https://ypen.gov.gr/perivallon/klimatiki-allagi/diethneis-diapragmatefseis/symvasi-plaisio-ton-ie-gia-tin-klimati/> , <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52009DC0667&from=EL>)

Με τη διάκριση ανάμεσα σε βιομηχανικά αναπτυγμένες και σε αναπτυσσόμενες χώρες, η Σύμβαση αποδέχεται το γεγονός ότι οι βιομηχανικές χώρες ευθύνονται για το μεγαλύτερο μέρος των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου και ότι διαθέτουν επίσης τη θεσμική και χρηματοοικονομική ικανότητα να τις περιορίσουν.

Το 1994, ήταν ήδη παραδεκτό ότι οι αρχικές δεσμεύσεις βάσει της Σύμβασης δεν αρκούσαν για να αναχαιτιστεί η παγκόσμια αύξηση των εκπομπών αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου. Στις 11 Δεκεμβρίου 1997, οι κυβερνήσεις προχώρησαν ένα βήμα περισσότερο, εγκρίνοντας πρωτόκολλο της Σύμβασης – πλαίσιο στην ιαπωνική πόλη του Κιότο.

Στη Σύμβαση - πλαίσιο, οι συνολικά 186 χώρες που ήταν συμβαλλόμενα μέρη υποδιαιρούνται σε δύο κύριες ομάδες:

- **Μέρη του Παραρτήματος Ι:** πρόκειται για 40 συνολικά βιομηχανικές χώρες [σε αυτές συγκαταλέγονται οι 24 σχετικά εύπορες βιομηχανικές χώρες που ήταν μέλη του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ)]

το 1992, τα (τότε) 15 κράτη μέλη της Ε.Ε. και 11 χώρες με οικονομίες που διέρχονται φάση μετάβασης προς την οικονομία της αγοράς, μεταξύ των οποίων η Ρωσία, οι Βαλτικές χώρες και ορισμένα κράτη της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης] και έναν περιφερειακό οργανισμό οικονομικής ανάπτυξης.

- **Μέρη εκτός του Παραρτήματος Ι:** πρόκειται για τις υπόλοιπες 146 αναπτυσσόμενες χώρες που δεν περιλαμβάνονται στο Παράρτημα Ι [σε αυτές περιλαμβάνονται χώρες που είναι ευάλωτες είτε λόγω των αρνητικών επιπτώσεων της αλλαγής του κλίματος (όπως για παράδειγμα οι χώρες που θα αντιμετωπίσουν σημαντικά προβλήματα εξαιτίας της ανόδου της στάθμης της θάλασσας ή από την ερημοποίηση και την ξηρασία), είτε λόγω των δυνητικών επιπτώσεων στην οικονομία τους εξαιτίας της λήψης μέτρων κατά της κλιματικής αλλαγής από τρίτες χώρες (όπως για παράδειγμα οι χώρες που το εισόδημά τους βασίζεται κυρίως στην παραγωγή και το εμπόριο ορυκτών καυσίμων)]. Αναφέρεται ότι η Σύμβαση δίνει ιδιαίτερη προσοχή σε εκείνες τις 48 χώρες που χαρακτηρίζονται από τα Ηνωμένα Έθνη ως λιγότερο αναπτυγμένες εξαιτίας των περιορισμένων δυνατοτήτων τους να αντιδράσουν στην κλιματική αλλαγή και να προσαρμοστούν στις αρνητικές επιπτώσεις της. Συγκεκριμένα, προβλέπεται ότι θα πρέπει να προβλεφθούν ορισμένα μέσα (όπως για παράδειγμα, η χρηματοδότηση και η μεταφορά τεχνογνωσίας) προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες τους.

Εκτός από τις δύο προαναφερθείσες κατηγορίες υπάρχει και η ομάδα των μερών του Παραρτήματος ΙΙ. Η ομάδα αυτή είναι υποσύνολο της ομάδας των μερών του Παραρτήματος Ι. Συγκεκριμένα, αποτελείται από εκείνα τα μέρη του Παραρτήματος Ι που είναι μέλη του ΟΟΣΑ, αλλά όχι από τα μέρη με μεταβατική οικονομία. Τα μέρη του Παραρτήματος ΙΙ οφείλουν να παρέχουν οικονομικούς πόρους στα αναπτυσσόμενα κράτη προκειμένου να τα βοηθήσουν να επιτύχουν τους στόχους μείωσης των εκπομπών τους και να προσαρμοστούν στις αρνητικές επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος. Επιπρόσθετα, τα μέρη του Παραρτήματος ΙΙ οφείλουν να παρέχουν την απαραίτητη τεχνογνωσία για την ανάπτυξη φιλοπεριβαλλοντικών τεχνολογιών τόσο στις χώρες με μεταβατική οικονομία, όσο και στις αναπτυσσόμενες χώρες. Η προβλεπόμενη παροχή της οικονομικής βοήθειας πραγματοποιείται μέσω ειδικού ταμείου, όπως αυτό προβλέπεται από τους οικονομικούς μηχανισμούς της Σύμβασης. (Πηγή: <https://www.consilium.europa.eu/el/press/press-releases/2017/10/13/conclusions-paris-agreement-and-unfccc-meetings/>)

2.6.3 Η Συμφωνία του Παρισιού

Αφετηρία της συμφωνίας του Παρισιού αποτελεί το Πρωτόκολλο του Κιότο. Είναι συμφωνία στο πλαίσιο της Σύμβασης Πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC), που ασχολείται με την μείωση των εκπομπών αερίων, την προσαρμογή και τις οικονομικές της λεπτομέρειες, η οποία υπογράφηκε το 2016. Πρόκειται για μια παγκόσμια συμφωνία 195 χωρών που επιτεύχθηκε το Δεκέμβριο του 2015 και που έχει σαν σχέδιο την συγκράτηση της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη. Η συμφωνία αυτή επιδιώκει τη μείωση της ανόδου της παγκόσμιας θερμοκρασίας σε επίπεδα κάτω των 2 °C σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα, προωθώντας τη σταθεροποίηση της ανόδου, κάτω του 1,5 °C. Κάτι τέτοιο για την

ναυτιλιακή βιομηχανία σημαίνει μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων αλλά και μείωση της καύσης των καυσίμων. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός υιοθέτησε μια στρατηγική το 2018 για την αντιμετώπιση του κλιματικού αποτυπώματος από τις θαλάσσιες μεταφορές. Ένας από τους στόχους της ήταν η μείωση των ετήσιων αερίων του θερμοκηπίου κατά 50% κάτω από τα επίπεδα του 2008 μέχρι το 2050, χωρίς όμως ο στόχος αυτός να συνιστά νομική δέσμευση. (πηγή, Wikipedia)

2.6.4 Οι προβλέψεις της Ε.Ε. για τη Ναυτιλία

Η βελτίωση της βιωσιμότητας των θαλάσσιων μεταφορών είναι ένα από τα κύριους στόχους της Ε.Ε. Αν και οι θαλάσσιες μεταφορές αναγνωρίζονται ως οι πιο ενεργειακά αποδοτικές και περιβαλλοντικά βιώσιμες, η ναυτιλιακή βιομηχανία παράγει ένα εξαιρετικά υψηλό ποσοστό εκπομπών (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2016). Το Waterborne (Ευρωπαϊκή πλατφόρμα έρευνας και καινοτομίας), έχει θέσει ως στόχο την εξάλειψη εκπομπών από τη ναυτιλία, όπως επίσης και τη μετατροπή της ναυτιλίας με βάση τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων αλλά και η γενικότερη βελτίωση της ναυτιλίας περιλαμβάνονται στους στόχους της Ε.Ε. από το 2009 με την στρατηγική στις θαλάσσιες μεταφορές, η Λευκή Βίβλος του 2011 για τις μεταφορές και πιο πρόσφατα η στρατηγική του 2016 για τις χαμηλές εκπομπές και η δήλωση της Βαλέτα 2017.

Το 2013, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, ενσωμάτωσε τις εκπομπές από τη ναυτιλία στην Ευρωπαϊκή πολιτική για το κλίμα, βασιζόμενη στα εξής:

- Παρακολούθηση, αναφορά και επαλήθευση των εκπομπών CO₂ από θαλάσσιες μεταφορές
- Καθορισμός στόχων μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου για τον τομέα των θαλάσσιων μεταφορών
- Ανάπτυξη περαιτέρω μέτρων, συμπεριλαμβανομένων μέτρων που βασίζονται στην αγορά, μεσοπρόθεσμα έως μακροπρόθεσμα

Στην αρχή, εκδόθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ο κανονισμός 2015/757 που αφορά την παρακολούθηση, αναφορά και εξακρίβωση των εκπομπών CO₂ από τις θαλάσσιες μεταφορές τον Απρίλιο 2015. Τον Φεβρουάριο του 2019 η Επιτροπή ενέκρινε την αναθεώρηση του κανονισμού, λαμβάνοντας υπόψη, τη συλλογή δεδομένων του I.M.O. για τη κατανάλωση καυσίμου που εφαρμόζεται σε παγκόσμιο επίπεδο. (Ευρωπαϊκή επιτροπή, 2019)

Η διεθνής ναυτιλία παραμένει το μόνο μέσο μεταφοράς που δεν περιλαμβάνεται στην δέσμευση της Ευρωπαϊκής Ένωσης για μείωση του εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. (Ευρωπαϊκή επιτροπή, 2019).

Το 2019, η Επιτροπή παρουσίασε την Ευρωπαϊκή πράσινη Συμφωνία (EU Green Deal) που καθορίζει πώς να γίνει η Ευρώπη η πρώτη ουδέτερη ως προς το κλίμα ήπειρος έως το 2050, με ενίσχυση της οικονομίας, βελτίωση της υγείας των ανθρώπων και την ποιότητα ζωής.

Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία καλύπτει όλους τους τομείς της οικονομίας, συμπεριλαμβανομένης και της ναυτιλίας. Σε αυτό πλαίσιο, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θα εξετάσει την επέκταση του συστήματος εμπορίας εκπομπών ώστε να καλυφθεί ο ναυτιλιακός τομέας, μαζί με άλλα πιθανά μέτρα που αποσκοπούν στην ενίσχυση του τομέα με συμβολή στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής (Ευρωπαϊκό Green Deal, 2019)

Ξεχωριστός λόγος, θα πρέπει να γίνει για τη πρωτοβουλία της E.E, FuelEU Maritime, η οποία αποσκοπεί στην αύξηση της παραγωγής και της διάδοσης βιώσιμων εναλλακτικών καυσίμων. Η ανάπτυξη και η υλοποίηση των αναγκαίων τεχνολογιών πρέπει να έχει γίνει ήδη μέχρι το 2030 ώστε αυτές να είναι έτοιμες για πολύ ταχύτερες αλλαγές. Στόχος της παραπάνω πρωτοβουλίας, είναι έως το 2050, τα ανανεώσιμα καύσιμα και τα καύσιμα χαμηλών ανθρακούχων εκπομπών να αντιπροσωπεύουν το 86-88% του μίγματος καυσίμων της διεθνούς ναυτιλίας (6-9 %, ο στόχος έως το 2030) (Πηγή: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021PC0562&from=EN>).

2.6.5 Οι προβλέψεις της MARPOL

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναπτυχθούν οι προβλέψεις της MARPOL για τη προστασία του περιβάλλοντος από την ατμοσφαιρική ρύπανση. Το 1973 ο IMO υιοθέτησε τη Διεθνή Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από τα Πλοία, γνωστή ως MARPOL 73/78. Πρόκειται για ένα σύνθετο νομικό κείμενο. Οι προβλέψεις της MARPOL αποτελούνται από τα εξής κεφάλαια και παραρτήματα (Πηγή <http://nee.gr/downloads/93UGS%20pollution%20prevention%20brochure.pdf>) :

- Διεθνής σύμβαση του 1973 για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία και Πρωτόκολλο του 1978 σχετικά με την Διεθνή Σύμβαση του 1973 για την πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης από τα πλοία.
 - Πρωτόκολλο I: Πρόβλεψη σχετικά με ατυχήματα που περιλαμβάνουν ρυπαντικές ουσίες.
 - Πρωτόκολλο II: Διαιτησία.
 - Έξι παραρτήματα:
1. Παράρτημα I (2/10/1983): Κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης από πετρέλαιο. Καλύπτουν την πρόληψη πετρελαϊκής ρύπανσης από λειτουργικά μέτρα, καθώς και από ατυχήματα. Με τις τροποποιήσεις το 1992 στο Παράρτημα I, τα νέα δεξαμενόπλοια επιβάλλεται να είναι διπλού κύτους και καθιερώθηκε σταδιακό πρόγραμμα μετατροπής των υπαρχόντων δεξαμενόπλοιων σε διπλού κύτους, το οποίο αναθεωρήθηκε στη συνέχεια το 2001 και το 2003.
 2. Παράρτημα II (6/4/1987): Κανονισμοί για τον έλεγχο της ρύπανσης από υγρές επιβλαβείς ουσίες που μεταφέρει το πλοίο. Καθορίζουν τα κριτήρια απόρριψης και μέτρων για τον έλεγχο της ρύπανσης από επιβλαβείς ουσίες που μεταφέρονται χύμα. Περίπου 250 ουσίες έχουν εκτιμηθεί και περιληφθεί στον κατάλογο της Σύμβασης. Η απόρριψη των καταλοίπων τους επιτρέπεται μόνον σε ευκολίες υποδοχής μέχρι να εκπληρωθούν ορισμένες συγκεντρώσεις και προϋποθέσεις (που μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με την κατηγορία της ουσίας). Σε κάθε περίπτωση, η απόρριψη επιβλαβών ουσιών δεν επιτρέπεται εντός 12 μιλίων από την πλησιέστερη ξηρά. Αυστηρότεροι περιορισμοί εφαρμόζονται στις περιοχές της Βαλτικής και Μαύρης Θάλασσας.
 3. Παράρτημα III (1/7/1992): Κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης από επιβλαβείς ουσίες σε συσκευασμένη μορφή. Περιέχει γενικές οδηγίες για την έκδοση λεπτομερών προτύπων για συσκευασία, σήμανση, τοποθέτηση ετικετών, έκδοση εγγράφων, στοιβασία, ποσότητες, περιορισμούς, εξαιρέσεις

και αναφορές για την πρόληψη ρύπανσης από επιβλαβείς ουσίες. Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Κώδικας Επικινδύνων Φορτίων (IMDG Code) έχει από το 1991 περιλάβει θαλάσσιους ρυπαντές.

4. Παράρτημα IV (27/9/2003): Κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης από τα λύματα των πλοίων. Αναθεωρήθηκε το 2004. Περιέχει ομάδα κανονισμών σχετικά με την απόρριψη λυμάτων στη θάλασσα, τον εξοπλισμό και συστήματα των πλοίων για τον έλεγχο των απορρίψεων λυμάτων, την παροχή ευκολιών στα λιμάνια και τερματικούς σταθμούς για την παραλαβή λυμάτων και απαιτήσεις για την επιθεώρηση και έκδοση πιστοποιητικών των πλοίων. Οι κανονισμοί εφαρμόζονται σε πλοία που απασχολούνται σε διεθνείς πλόες 400 κόνων χωρητικότητας (gt) και άνω. Τα πλοία απαιτείται να εφοδιάζονται με εγκατάσταση βιολογικού καθαρισμού ή με σύστημα κονιορτοποίησης και απολύμανσης, ή δεξαμενή συγκράτησης λυμάτων.
5. Παράρτημα V (31.12/1988): Κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης από τα απορρίμματα των πλοίων. Απαιτεί τον διαχωρισμό των διαφόρων τύπων απορριμμάτων και καθορίζει τις αποστάσεις από την ξηρά και τον τρόπο που αυτά θα απορριφθούν. Οι απαιτήσεις είναι πολύ αυστηρότερες σε αριθμό “ειδικών περιοχών” αλλά ίσως σημαντικότερο χαρακτηριστικό του Παραρτήματος είναι η πλήρης απαγόρευση απόρριψης στη θάλασσα όλων των μορφών πλαστικών.
6. Παράρτημα VI (19/5/2005): Κανονισμοί για την πρόληψη της αέριας ρύπανσης από πλοία. Οριοθετεί τις εκπομπές με καυσαέρια των πλοίων (SO_x , NO_x και ΑΣ). Αυστηρότερα πρότυπα καθορίζονται για τις Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών που έχουν καθορισθεί από τον Ι.Μ.Ο. (Βαλτικής Θάλασσας, Βορείου Θάλασσας και Βορείου

Στο IMO Tier I, αναφέρονται οι κανονισμοί εκπομπών καυσαερίων του Παραρτήματος VI MARPOL 73/78. Το 2008, υιοθετήθηκαν τροποποιήσεις στο Παράρτημα VI των κανονισμών της MARPOL, από τη MEPC. Οι τροποποιήσεις αυτές αναφέρονται στα όρια εκπεμπόμενων NO_x . Οι τροποποιήσεις αυτές ονομάζονται IMO Tier II και Tier III.

Σύμφωνα με το IMO Tier II, το όριο εκπομπών NO_x για τους κινητήρες σε πλοία με κατασκευή από την 1/1/2011, θα πρέπει να μειωθούν, περίπου 20% από τα επίπεδα IMO Tier I.

- * Σύμφωνα με το IMO Tier III, το όριο εκπομπών Nox για τους κινητήρες σε πλοία με κατασκευή από την 1/1/2016 θα πρέπει να μειωθεί, κατά 80% από τα όρια IMO Tier I. Αυτά τα όρια θα ισχύουν όταν το πλοίο λειτουργεί σε μια καθορισμένη Περιοχή Ελέγχου Εκπομπών (ECA). Έξω από τις περιοχές ECA ισχύουν τα όρια Tier II (*Wärtsilä 2009*). Στο παρακάτω πίνακα απεικονίζονται τα όρια στις εκπομπές NO_x (*Πηγή Ι.Μ.Ο.*).

Table 1: MARPOL Annex VI NO_x Emission Limits. Reprinted from International: IMO Marine Engine Regulations (2011)

Tier	Date	NO _x Limit, g/kWh		
		n < 130	130 ≤ n < 2000	n ≥ 2000
Tier I	2000	17.0	$45 \cdot n^{-0.2}$	9.8
Tier II	2011	14.4	$44 \cdot n^{-0.23}$	7.7
Tier III	2016†	3.4	$9 \cdot n^{-0.2}$	1.96
† In NO _x Emission Control Areas (Tier II standards apply outside ECAs).				

Πίνακας 11: Τα όρια εκπομπών NO_x

Η αναθεωρημένη οδηγία (2012/33) της Ε.Ε. πρόβλεπε ότι το παγκόσμιο όριο της περιεκτικότητας των καυσίμων σε θείο 0,50%, θα εφαρμοστεί σε όλες τις θαλάσσιες περιοχές της Ε.Ε. μέχρι το 2020, και υιοθετεί το όριο του Ι.Μ.Ο. για τις περιοχές ελέγχου των εκπομπών θείου (SECAs) σε 0,10 % από το 2015. (Κοτρίκλα, 2015)

	Maximum fuel sulphur content (by mass) outside EU SECAs*	Maximum fuel sulphur content (by mass) inside EU SECAs*
a) All ships excluding b) and c) below	3.50%** from 18 June 2014 0.50% from 1 Jan 2020	1.00% until 31 Dec 2014 0.10% from 1 Jan 2015
b) Passenger ships on regular services to/from EC ports excluding c) below	1.50% until 1 Jan 2020 0.50% from 1 Jan 2020	Same as above
c) Ships at berth in EC ports	0.10%	0.10%

Πίνακας 12: Οι οδηγίες της Ε.Ε και της Ι.Μ.Ο. για την περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο (Κοτρίκλα, 2015)

2.6.6 Το πρωτόκολλο του Κιότο

Το 1992 οι κυβερνήσεις υιοθέτησαν την σύμβαση του ΟΗΕ για τη κλιματική (UNFCCC). Αυτό ήταν και το εναρκτήριο σημείο μιας συζήτησης και ανταλλαγής απόψεων και πληροφοριών για κοινή δράση στο μέλλον. Με τη τρίτη συνδιάσκεψη των μελών της UNFCCC στο Κιότο της Ιαπωνίας αποφασίστηκε συναινετικά η υιοθεσία ενός πρωτοκόλλου βάσει του οποίου οι ανεπτυγμένες χώρες θα έπρεπε να μειώσουν τις εκπομπές αερίου του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 5% (με τα επίπεδα του 1990) το χρονικό διάστημα 2008 – 2012.

Το άρθρο 2, παράγραφος 2, του Πρωτοκόλλου του Κιότο ορίζει: «Τα Μέλη που συμπεριλαμβάνονται στο Παράρτημα Ι θα επιδιώξουν τον περιορισμό ή τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου που δεν ελέγχονται από το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ από καύσιμα αεροπορίας και ναυτιλίας, μέσω της Διεθνούς Οργάνωσης Πολιτικής Αεροπορίας και του Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας (Ι.Μ.Ο.), αντίστοιχα.» (Ι.Μ.Ο. 2000).

Χώρα	Στόχος (1990**-2008/2012)
ΕΥ-15, Βουλγαρία, Τσεχία, Εσθονία, Λιθουανία, Λιχτενστάιν, Μοναχό, Ρουμανία, Σλοβακία, Σλοβενία, Σουηδία	-8%
Η.Π.Α***	-7%
Καναδάς, Ουγγαρία, Ιαπωνία, Πολωνία	-6%
Κροατία	-5%
Νέα Ζηλανδία, Ρωσία, Ουκρανία	0
Νορβηγία	1%
Αυστραλία	+8%
Ισλανδία	+10%

Πίνακας 13: Οι στόχοι μείωσης ρύπων ανά χώρα σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Κιότο

Διευκρινήσεις:

* Τα 15 Κράτη που ήταν Μέλη της Ε.Ε. το 1997, όταν το Πρωτόκολλο του Κιότο υιοθετήθηκε, συμφώνησαν ότι ο στόχος 8% θα ανακατανεμηθεί μεταξύ τους. Το 8% ήταν ένας συνολικός στόχος των μελών της Ε.Ε. που προερχόταν από το άθροισμα των επιμέρους στόχους των κρατών.

** Οι στόχοι έχουν διαφοροποιηθεί από το 1990.

*** Οι ΗΠΑ έχουν δηλώσει πρόθεση μη υιοθέτησης του πρωτοκόλλου.

2.7 Σύγκριση συγκεντρώσεων ρύπων

Στο παρόν υποκεφάλαιο θα αναλυθούν οι κύριοι ρύποι που προέρχονται από τα πλοία, ενώ θα λάβει χώρα και μια σύγκριση των συγκεντρώσεων τους για τις χρονιές 2018 - 2019. Οι μετρήσεις λήφθηκαν από το σταθμό μέτρησης συγκέντρωσης ρύπων του Υ.Π.ΕΝ. που βρίσκεται μέσα στον Ο.Λ.Π. Η μέτρηση των ρύπων γίνεται σε συνεχή βάση καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Ο χρόνος απόκρισης των αυτομάτων αναλυτών είναι της τάξης του ενός λεπτού, δηλαδή ο κάθε αναλυτής δίνει μια τιμή περίπου κάθε λεπτό. Με ένα μικροεπεξεργαστή, που βρίσκεται σε κάθε αυτόματο σταθμό και που είναι συνδεδεμένος με τους αυτόματους αναλυτές, υπολογίζονται κάθε ώρα οι μέσες ωριαίες τιμές ρύπανσης. Έπειτα υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι για κάθε μήνα. Επίσης συγκρίθηκαν οι συγκεντρώσεις των ΑΣ₁₀ του λιμανιού του Πειραιά με τις συγκεντρώσεις ΑΣ₁₀ των Χανίων για τις παραπάνω χρονιές. Ο σταθμός που υπάρχει στα Χανιά μετρά μόνο συγκεντρώσεις ΑΣ₁₀. (Πηγή μετρήσεων <https://ypen.gov.gr/perivallon/poiotita-tis-atmosfairas/dedomena-metriseon-atmosfairikis-rypansis/>, δεδομένα μετρήσεων του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης ανά σταθμό μέτρησης)

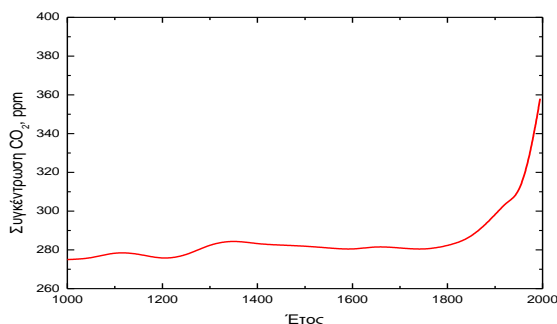
Η μέθοδοι μέτρησης κάθε ρύπου αναφέρονται στο παρακάτω πίνακα. Οι παραπάνω ρύποι υπολογίζονται σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$, εξαιρουμένου του CO που μετράται σε mg/m^3 .

Ρύπος	Μέθοδος μέτρησης
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	Απορρόφηση στο υπέρυθρο (NDIR)
Οξείδια του αζώτου (NO,NO ₂)	Χημειοφωταύγεια
Όζον (O ₃)	Απορρόφηση στο υπεριώδες
Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	Φθορισμομετρία
Αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ ₁₀ –ΑΣ _{2,5})	Απορρόφηση β ακτινοβολίας

Πίνακας 14: Μέθοδος μέτρησης κάθε ρύπου (Πηγή: Υ.Π.ΕΝ)

2.7.1 Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), συνίσταται από δύο άτομα οξυγόνου και ένα άτομο άνθρακα και αποτελεί προϊόν καύσης ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, βενζίνη). Οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν σημαντικό παράγοντα αύξησης των εκπομπών CO₂. Διάφορες έρευνες δείχνουν επιδείνωση της κατάστασης. Γενικά η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα είναι μικρή. Οι μετακινήσεις των οχημάτων και οι βιομηχανικές δραστηριότητες έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης του. Είναι ο κύριος ρύπος που προκαλεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου που οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας. Η ναυτιλία εκπέμπει συνολικά περίπου το 3% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂. Είναι σημαντικός ρύπος της ναυτιλίας, διότι αφενός χαρακτηρίζεται από μακροζωία, και αφετέρου παράγεται από την καύση καυσίμου στο κινητήρα. Στις μέρες μας υπάρχει συστηματική παρακολούθηση των επιπέδων του CO₂ σε παγκόσμια κλίμακα. Τα δεδομένα που προκύπτουν εισάγονται ως δεδομένα σε μοντέλα πρόβλεψης των αλλαγών του παγκόσμιου κλίματος. Σύμφωνα με ερευνητές το επίπεδο του CO₂ της ατμόσφαιρας μπορεί να διπλασιαστεί στο άμεσο μέλλον, αφού όπως βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα, η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ είναι εκθετική. Για το CO₂, το όργανο του Υ.Π.ΕΝ, δεν μετρά συγκεντρώσεις



Διάγραμμα 1: Η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα

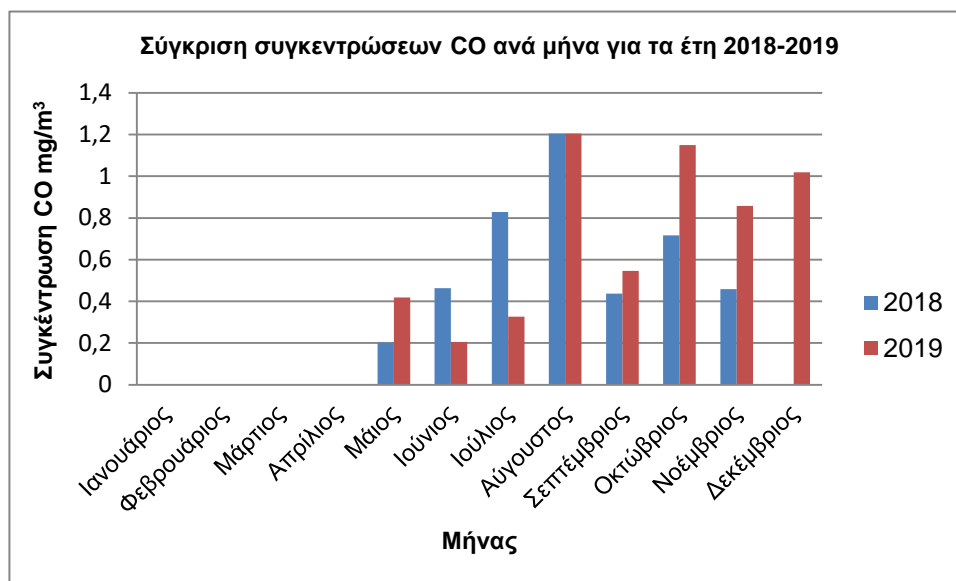
Η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα (συνεχής γραμμή) κατά τα τελευταία 1000 χρόνια. Η γραμμή προκύπτει από τον μέσω όρο πολλών μετρήσεων σε διάφορα μέρη του πλανήτη. Πηγή δεδομένων IPCC. (Ατμοσφαιρική Ρύπανση,

Γεντεκάκης, 2010). Ο I.M.O, υιοθέτησε από το 2011 το δείκτη EEDI (Energy Efficiency Design Index) και ισχύει για τα πλοία από το 2013 και μετά. Το EEDI είναι ένα εργαλείο που επιτρέπει στους σχεδιαστές και κατασκευαστές να επιλέξουν από διάφορες διαθέσιμες οικονομικά αποδοτικές τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό πλοίου. Ο σχεδιασμός εκφράζεται σε γραμμάρια CO₂ ανά μίλι χωρητικότητας πλοίου (η μικρότερη τιμή δείχνει καλύτερη αποδοτικότητα). Η διατύπωση λαμβάνει υπόψη τις εκπομπές, τη χωρητικότητα και την ταχύτητα του πλοίου (Vladimir, Nikola 2017). Εκτός το EEDI υπάρχει και ο SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan) όπου υιοθετήθηκε από τον IMO και αφορά κανονισμούς και μετρήσεις. Απαιτείται σε όλα τα πλοία άνω των 400 GT με διεθνές ταξίδια από την 1η Ιανουαρίου 2013. Επίσης υπάρχει και ο ΕΕΟΙ (Λειτουργικός δείκτης ενεργειακής απόδοσης). ο οποίος είναι ένα εργαλείο για τη μέτρηση των εκπομπών CO₂ στο περιβάλλον ανά μεταφορά. Επίσης, δείχνει την πραγματική απόδοση μεταφοράς ενός πλοίου σε λειτουργία. Η μονάδα του ΕΕΟΙ εξαρτάται από τη μέτρηση του φορτίου που μεταφέρεται ή την εργασία μεταφοράς που πραγματοποιείται, π.χ., τόνος CO₂ / (τόνοι / ναυτικά μίλια), τόνος CO₂ / (άτομο / ναυτικά μίλια) κ.λπ. Το ΕΕΟΙ υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο, στο οποίο μια μικρότερη τιμή ΕΕΟΙ σημαίνει ένα πιο ενεργειακά αποδοτικό πλοίο: (TRAN 2017)

$$ΕΕΟΙ = \frac{\text{Πραγματικές εκπομπές CO}_2}{\text{Πραγματοποιούμενο Μεταφορικό Έργο}}$$

2.7.2 Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα αποτελείται από ένα άτομο άνθρακα και ένα άτομο οξυγόνου. Πρόκειται για ένα δηλητηριώδες αέριο, προϊόν της ατελούς καύσης, που ελευθερώνεται από τις εξατμίσεις και τις καμινάδες. Ευθύνεται για τις περισσότερες χημικές δηλητηριάσεις από οποιοδήποτε άλλον ρύπο. Ο χρόνος παραμονής του στην τροπόσφαιρα κυμαίνεται από 30 έως 90 μέρες. Πρόκειται για έναν από τους πιο μαζικά παραγόμενους πρωτογενείς ρύπους. Οι μεταφορές εκπέμπουν το 77% του συνολικού μονοξειδίου του άνθρακα. Στις πόλεις με έντονη κυκλοφορική συμφόρηση το πρόβλημα γιγαντώνεται. Ακολουθούν οι βιομηχανικές διαδικασίες το 7% η καύση ορυκτών καυσίμων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 5% (σημειώσεις Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας του Α.Π.Θ). Στο διάγραμμα 2 γίνεται η σύγκριση συγκεντρώσεων CO για τα έτη 2018 και 2019 για το λιμάνι του Πειραιά. Οι τιμές των συγκεντρώσεων και στα δύο έτη επέχουν πολύ από τα όρια που έχει θεσπίσει η Ε.Ε, τόσο για συγκεντρώσεις εντός κατοικημένης ζώνης, όσο και για τη προστασία της υγείας του ανθρώπου. Τα όρια συγκέντρωσης για το CO, εκφράζονται με μέσο όρων τιμών ανά οκτάωρο. Το όργανο του υπουργείου, εξάγει μία τιμή συγκέντρωσης, ανά ώρα. Αφού υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι ανά οκτάωρο τιμών, παρατηρήθηκε ότι το θεσμοθετημένο όριο της Ε.Ε. δεν υπερβαίνεται (μέγιστη ημερήσια οκτάωρη τιμή: 10 mg/m³). Η μέγιστη συγκέντρωση παρατηρείται κατά το μήνα Αύγουστο, λόγω της αυξημένης κίνησης του λιμανιού κατά την τουριστική περίοδο. Συγκεκριμένα, η μέγιστη συγκέντρωση και για τα δύο έτη είναι 1,2 mg/m³, το μήνα Αύγουστο.

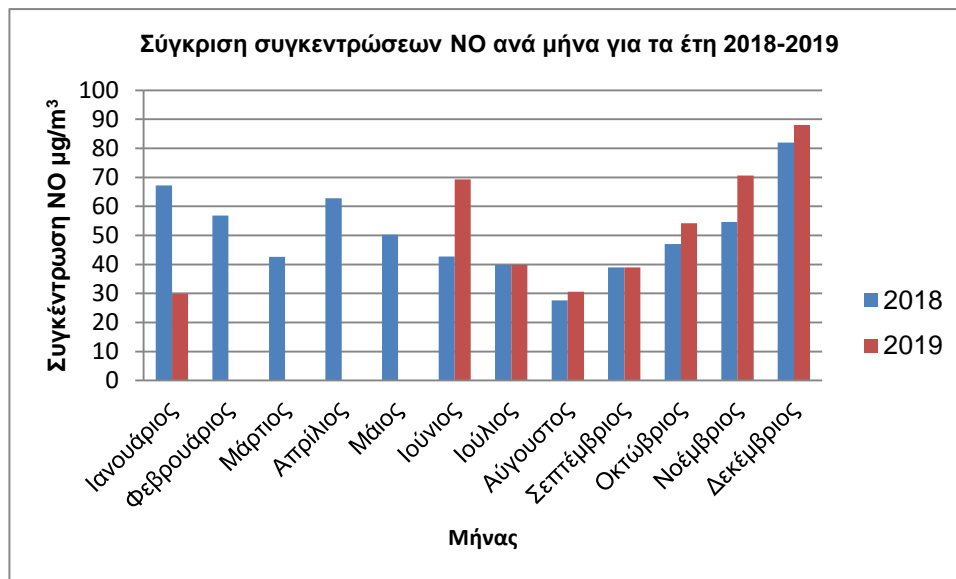


Διάγραμμα 2: Σύγκριση συγκεντρώσεων CO ανά μήνα για τα έτη 2018-2019 για το λιμάνι του Πειραιά

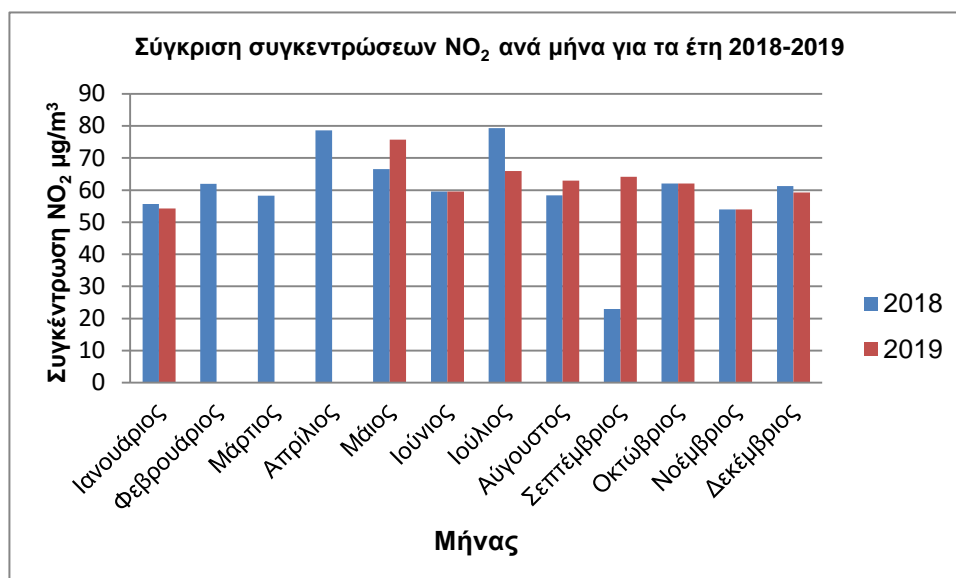
2.7.3 Τα οξείδια του αζώτου (NO_x)

Τα οξείδια του αζώτου παράγονται κατά την καύση καύσιμης ύλης, καθώς και σε φωτοχημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα. Τα κύρια οξείδια του αζώτου είναι το NO και το NO_2 . Συχνά εξετάζονται ταυτόχρονα, αφού το NO_2 (δευτερογενής ρύπος), προκύπτει από την οξείδωση του NO (πρωτογενής ρύπος). Το NO_2 έχει μικρό χρόνο ζωής (περίπου 1 μέρα, με το μετασχηματισμό του όμως σε HNO_3 , ο χρόνος ζωής του αυξάνεται (περίπου στη 1 εβδομάδα), με αποτέλεσμα την αύξηση της πιθανότητας επιστροφής του ρύπου στην επιφάνεια της γης ως όξινη βροχή (Γεντεκάκης, 2010). Το NO παράγεται από την καύση ορυκτών καυσίμων (αεροπλάνα, αυτοκίνητα, πλοία). Το NO_2 παράγεται κυρίως από την οξείδωση το NO και από την καύση ορυκτών καυσίμων. Οι κυριότερες πηγές NO_x είναι η καύση ορυκτών καυσίμων σε εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και εργοστάσια (45%) καθώς και στα μεταφορικά μέσα (49%) (σημειώσεις Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας του Α.Π.Θ). Είναι από τους κύριους συντελεστές του φωτοχημικού νέφους. Στα διαγράμματα 3 και 4 γίνεται η σύγκριση συγκεντρώσεων NO και NO_2 αντίστοιχα, για τα έτη 2018 και 2019. Η μέγιστη συγκέντρωση NO_2 για το 2018 είναι $79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και εντοπίζεται τους μήνες Απρίλη και Ιούλιο, ενώ για το 2019 είναι $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (το μήνα Ιούλιο). Όσον αφορά τις υπερβάσεις του ορίου για το NO_2 , ισχύουν τα εξής:

- Υπερβάσεις του ορίου μέσης ωριαίας τιμής ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$), για την υγεία του ανθρώπου: Δεν παρατηρήθηκαν υπερβάσεις.
- Υπερβάσεις του ορίου μέσης ετήσιας τιμής ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$): Παρατηρήθηκαν οριακές υπερβάσεις της ετήσιας οριακής τιμής και τα δύο έτη. (Μέση ετήσια τιμή $41,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ το 2019 και $53,9$ το 2018)
- Υπερβάσεις του ανώτερου ορίου εκτίμησης (η τιμή των $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$, δεν πρέπει να υπερβαίνεται παραπάνω από 18 φορές για κατοικημένη ζώνη). Μετά από έλεγχο των τιμών του Υπουργείου, δεν παρατηρήθηκε καμία υπέρβαση στις τιμές αυτές.



Διάγραμμα 3: Σύγκριση συγκεντρώσεων NO ανά μήνα για τα έτη 2018-2019 για το λιμάνι του Πειραιά



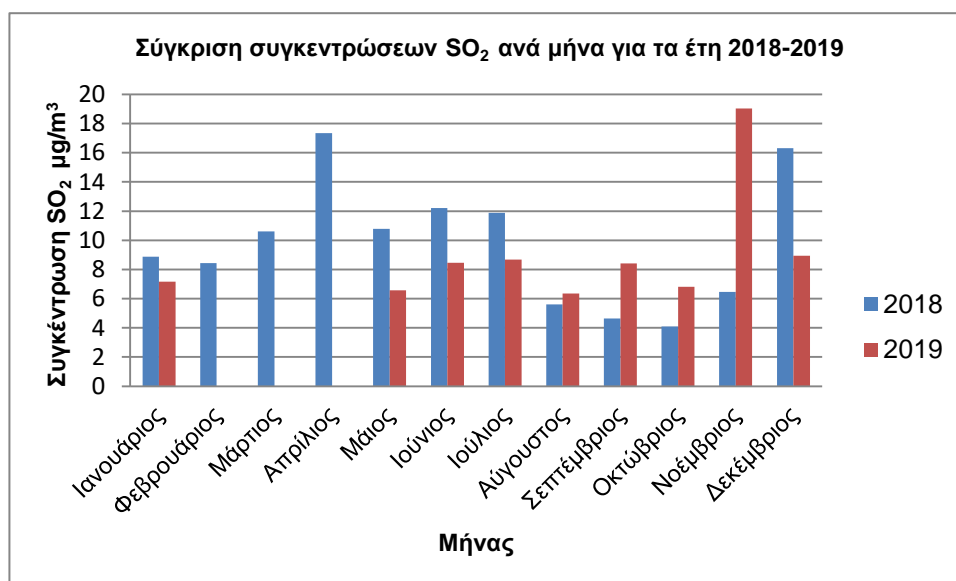
Διάγραμμα 4: Σύγκριση συγκεντρώσεων NO₂ ανά μήνα για τα έτη 2018-2019 για το λιμάνι του Πειραιά

2.7.4 Το διοξείδιο του θείου (SO₂)

Το διοξείδιο του θείου είναι ένα άχρωμο αέριο. Σε υψηλές συγκεντρώσεις έχει έντονη ερεθιστική οσμή. Οι κυριότερες πηγές SO₂ είναι οι καύσεις ορυκτών καυσίμων και η επεξεργασία ορυκτών πόρων. Οι καύσεις στους κινητήρες είναι υπεύθυνες για το 85% των εκπομπών ενώ μόλις 7% οφείλεται στα μέσα μεταφοράς. Οι εκπομπές του διοξειδίου του θείου έχουν μειωθεί μέσω της μείωσης της περιεκτικότητας του θειικών ενώσεων στα καύσιμα. Στο διάγραμμα 5 γίνεται η σύγκριση συγκεντρώσεων για το SO₂ για το λιμάνι του Πειραιά για τα έτη 2018-2019. Η μέγιστη συγκέντρωση για το 2018 είναι 17 µg/m³, κατά το μήνα Απρίλιο και για το 2019 19 µg/m³, κατά το μήνα Νοέμβριο. Όσον αφορά, τα θεσμοθετημένα όρια της Ε.Ε για το SO₂, ισχύουν τα εξής:

- Υπερβάσεις του ορίου μέσης ωριαίας τιμής (350 µg/m³): Δεν παρατηρήθηκαν υπερβάσεις.
- Υπερβάσεις του ορίου μέσης ημερήσιας τιμής (125 µg/m³): Δεν παρατηρήθηκαν υπερβάσεις

- Υπερβάσεις του ανώτερου ορίου εκτίμησης: (η τιμή των $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 3 φορές το χρόνο για κατοικημένη περιοχή): Δεν παρατηρήθηκαν υπερβάσεις.



Διάγραμμα 5: Σύγκριση συγκεντρώσεων SO_2 ανά μήνα για τα έτη 2018-2019 για το λιμάνι του Πειραιά

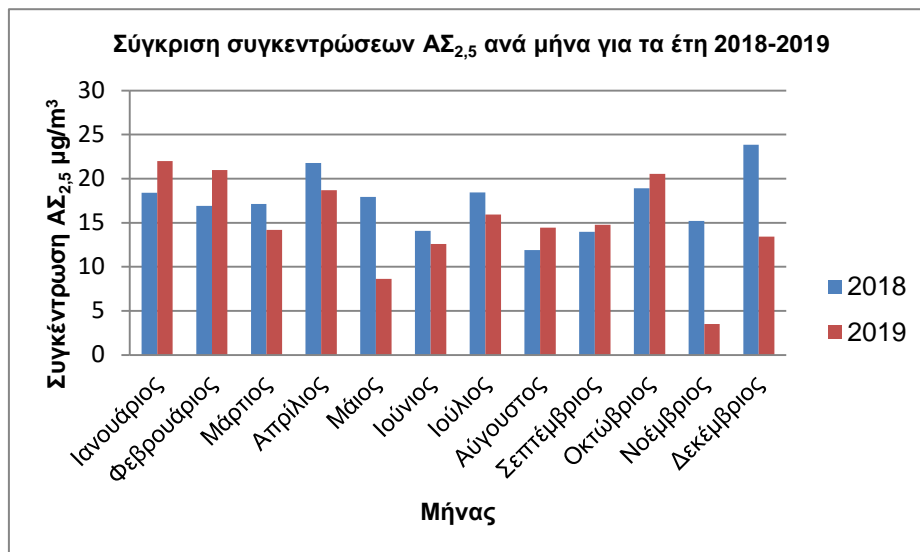
2.7.5 Αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ)

Πρόκειται για τα σωματίδια τα οποία αιωρούνται στην ατμόσφαιρα και έχουν διάμετρο από 1 nm έως και 100 μm . Τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 10 μm σχηματίζουν τα λεγόμενα «αερολύματα». Γνωστά παραδείγματα αιωρούμενων σωματιδίων είναι η τέφρα, ο καπνός και η σκόνη. Τα σωματίδια συμμετέχουν σε φωτοχημικές διεργασίες στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα την αλλαγή της χημικής τους σύστασης και του μεγέθους τους. Τα αιωρούμενα σωματίδια, χαρακτηρίζονται από μεταβαλλόμενη χημική σύσταση, μέγεθος και σχήμα. Η φυσική σύνθεση, η μορφολογία, οι φυσικές και θερμοδυναμικές ιδιότητες των σωματιδίων μεταβάλλονται ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή και το χρόνο παραμονής τους σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές και μεταβάλλονται με τη πάροδο του χρόνου. (Λαζαρίδης, Διαδικτυακές σημειώσεις Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης). Εκτιμάται ότι το 2007 εξέπεμψε 1,8 εκ. τόνους αιωρούμενων σωματιδίων (Κοτρίκλα, 2015). Οι πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων είναι και «πρωτογενείς» (πρωτογενή σωματίδια που προέρχονται από τη βιομηχανική δραστηριότητα, την καύση καυσίμου, τις μεταφορές) και «δευτερογενείς» (νιτρικά και θειικά άλατα, πτητικές ενώσεις VOC). Τα $\text{AS}_{2,5}$ (τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 2,5 μm) είναι τα πλέον επικίνδυνα για τον άνθρωπο λόγω της βαθύτερης διείσδυσης και εναπόθεσης τους στο ανθρώπινο σώμα. (Lidia Morawska & Salthammer, 2006)

Στο διάγραμμα 6 γίνεται η σύγκριση συγκεντρώσεων $\text{AS}_{2,5}$ για το λιμάνι του Πειραιά για τα έτη 2018 και 2019. Το 2018 η μέγιστη συκέντρωση ήταν $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$, το μήνα Δεκέμβριο, ενώ το 2019 η μέγιστη συκέντρωση ήταν $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$, το μήνα Ιανουάριο. Όσον αφορά τις υπερβάσεις των θεσμοθετημένων ορίων, ισχύουν τα εξής:

- Υπερβάσεις του ορίου μέσης ετήσιας τιμής ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$): Δεν παρατηρήθηκαν υπερβάσεις.

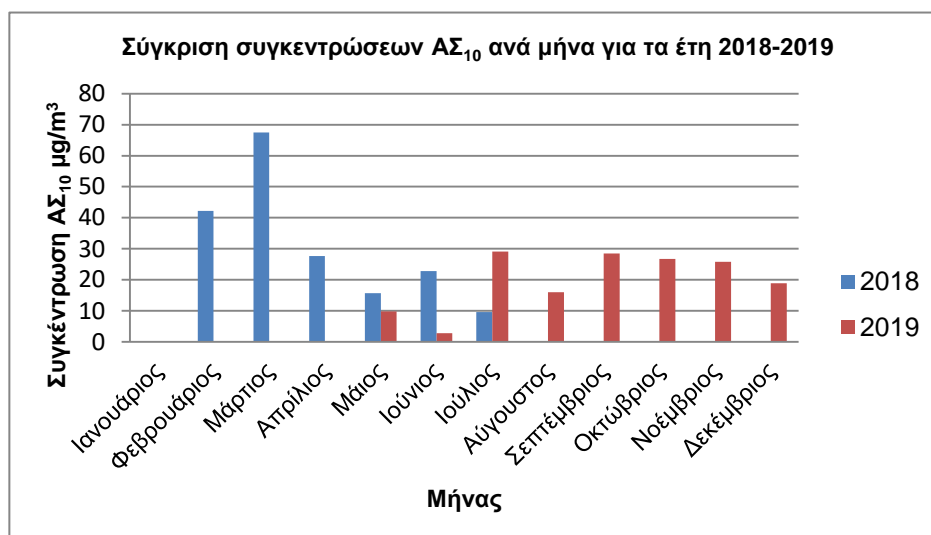
- Υπερβάσεις του ανώτερου ορίου εκτίμησης (η μέση ετήσια τιμή να μην υπερβαίνει τα $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$): Υπερβαίνεται και τις δύο χρονιές. Ο μέσος όρος συγκεντρώσεων το 2018 ήταν $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και το 2019 $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Διάγραμμα 6: Σύγκριση συγκεντρώσεων $\text{A}\Sigma_{2,5}$ ανά μήνα για τα έτη 2018-2019 για το λιμάνι του Πειραιά

Στο διάγραμμα 7 γίνεται ανάλογη σύγκριση για τα $\text{A}\Sigma_{10}$. Το 2018 η μέγιστη συγκέντρωση ήταν $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (το μήνα Μάρτιο), ενώ το 2019 η μέγιστη συγκέντρωση ήταν $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (το μήνα Ιούλιο). Όσον αφορά τις υπερβάσεις των θεσμοθετημένων ορίων, ισχύουν τα εξής:

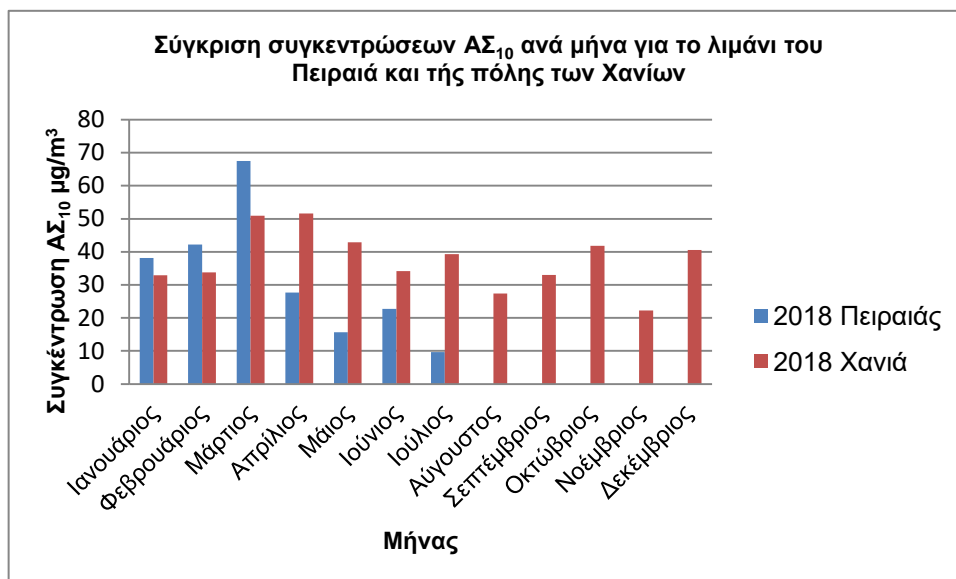
- Υπερβάσεις του ορίου μέσης ημερήσιας τιμής ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$): Παρατηρήθηκαν συνολικά 22 υπερβάσεις (ημέρες) του ορίου που αφορά στη μέση ημερήσια τιμή, το έτος 2018 και 17 υπερβάσεις (ημέρες) το 2019.
- Υπερβάσεις του ορίου μέσης ετήσιας τιμής ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$): Δεν παρατηρήθηκαν υπερβάσεις.
- Υπερβάσεις του ανώτερου ορίου εκτίμησης (η τιμή των $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος). Παρατηρήθηκαν συνολικά 34 υπερβάσεις (μέρες) το 2018 και 23 υπερβάσεις (ημέρες) το 2019). Επομένως δεν παρατηρείται υπέρβαση.
- Υπέρβαση μέσης ετήσιας οριακής τιμής ($28 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Ο μέσος όρος συγκεντρώσεων το 2018 ήταν $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και το 2019 ήταν $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Επομένως, δεν παρατηρείται υπέρβαση της μέσης ετήσιας οριακής τιμής.



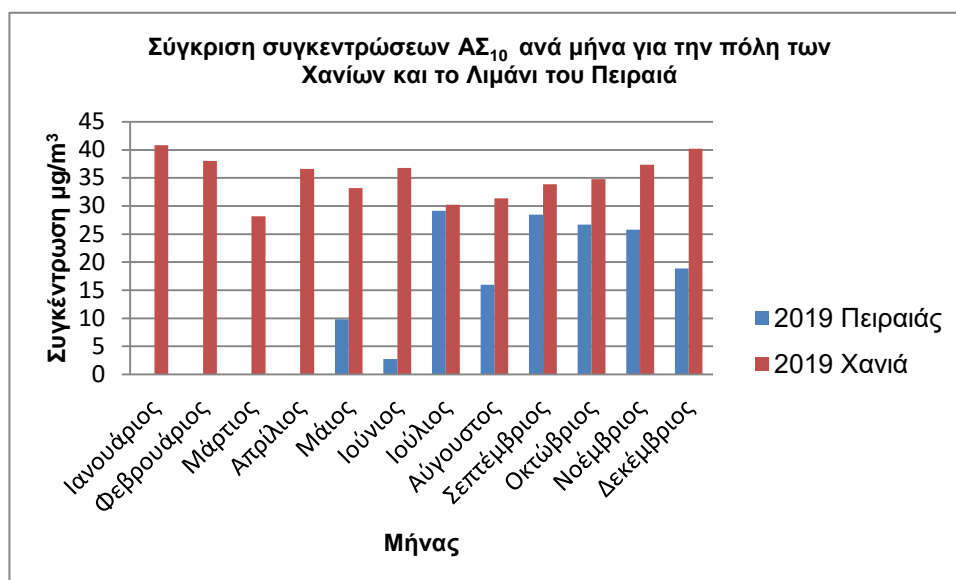
Διάγραμμα 7: Σύγκριση συγκεντρώσεων ΑΣ₁₀ ανά μήνα για τα έτη 2018-2019 για το λιμάνι του Πειραιά

Στο διάγραμμα 8 συγκρίνονται οι τιμές των συγκεντρώσεων ΑΣ₁₀ για το έτος 2018 μεταξύ των Χανίων και του Πειραιά. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση παρατηρείται στο λιμάνι του Πειραιά κατά το μήνα Μάρτιο (69 µg/m³), τιμή μεγαλύτερη από τη μέγιστη συγκέντρωση των Χανίων για το έτος 2018 (51 µg/m³). Όσον αφορά τα θεσμοθετημένα όρια, ισχύουν τα εξής:

- Για τον Πειραιά, αναλύθηκαν στο προηγούμενο διάγραμμα.
- Για τα Χανιά ισχύουν τα παρακάτω:
 1. Υπερβάσεις του ορίου μέσης ημερήσιας τιμής (50 µg/m³): Παρατηρήθηκαν συνολικά 14 υπερβάσεις (ημέρες) του ορίου που αφορά τη μέση ημερήσια τιμή.
 2. Υπερβάσεις του ορίου μέσης ετήσιας τιμής (40 µg/m³): Δεν παρατηρήθηκε υπέρβαση.
 3. Υπερβάσεις του ανώτερου ορίου εκτίμησης (η τιμή των 35 µg/m³, δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος). Παρατηρήθηκαν συνολικά 26 υπερβάσεις (ημέρες) το 2018 και 23 το 2019. Επομένως δεν παρατηρείται υπέρβαση.
 4. Υπέρβαση μέσης ετήσιας οριακής τιμής (28 µg/m³). Παρατηρείται υπέρβαση της παραπάνω τιμής.



Διάγραμμα 8: Σύγκριση συγκεντρώσεων ΑΣ₁₀ για το λιμάνι Πειραιά και της πόλης των Χανίων για το έτος 2018



Διάγραμμα 9: Σύγκριση συγκεντρώσεων ΑΣ₁₀ για το λιμάνι Πειραιά και της πόλης των Χανίων για το έτος 2019

Στο διάγραμμα 9 συγκρίνονται οι τιμές συγκεντρώσεων ΑΣ₁₀ για το έτος 2019 μεταξύ των Χανίων και του Πειραιά. Η μέγιστη συγκέντρωση για το λιμάνι των Χανίων, παρατηρείται το μήνα Ιανουάριο (41 µg/m³). Η μέγιστη συγκέντρωση για το έτος 2019 στο λιμάνι του Πειραιά είναι 29 µg/m³, και υπολογίστηκε το μήνα Ιούλιο. Όσον αφορά τα θεσμοθετημένα όρια ισχύουν τα εξής:

- Για τον Πειραιά, αναλύθηκαν στο διάγραμμα 7.
- Για τα Χανιά ισχύουν τα παρακάτω:

1. Υπερβάσεις του ορίου μέσης ημερήσιας τιμής ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$): Παρατηρήθηκαν συνολικά 12 υπερβάσεις (ημέρες) του ορίου που αφορά τη μέση ημερήσια τιμή.
2. Υπερβάσεις του ορίου μέσης ετήσιας τιμής ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$): Δεν παρατηρήθηκε υπέρβαση.
3. Υπερβάσεις του ανώτερου ορίου εκτίμησης (η τιμή των $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος). Παρατηρήθηκαν συνολικά 28 υπερβάσεις (ημέρες) το 2019
4. Υπέρβαση μέσης ετήσιας οριακής τιμής ($28 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Παρατηρείται υπέρβαση της παραπάνω τιμής. Στα Χανιά, ο μέσος όρος συγκεντρώσεων ήταν $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$, τιμή που υπερβαίνει το όριο.

2.7.6 Γενική συζήτηση αποτελεσμάτων

Στα διαγράμματα του παρόντος υποκεφαλαίου παρατηρείται ότι υπάρχουν μήνες με μηδενικές συγκεντρώσεις ρύπων. Το γεγονός αυτό, δεν εξηγείται από την σελίδα από την οποία αντλήθηκαν οι μετρήσεις οι οποίες επεξεργάστηκαν. Το μόνο που αναφέρεται είναι 'οι ελλείπουσες τιμές συγκέντρωσης σημειώνονται ως -9999' (https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2020/12/2020_Tropos.pdf), χωρίς να υπάρχει κάποια επιπλέον εξήγηση. Επομένως υπάρχει το ενδεχόμενο το όργανο μέτρησης ρύπων του Υπουργείου να είχε βλάβη τους συγκεκριμένους μήνες, καθώς είναι αδύνατον ένα τόσο πολυσύχναστο λιμάνι, όπως αυτό του Πειραιά να έχει μηδενικές συγκεντρώσεις ρύπων. Για τη πόλη των Χανίων, δεν παρατηρείται υπέρβαση της μέσης ετήσιας τιμής για τα AS_{10} . Αντίθετα, παρατηρούνται υπερβάσεις των μέσων ημερήσιων τιμών, και τα δύο έτη μελέτης. Γενικά οι υψηλότερες συγκεντρώσεις ρύπων παρατηρούνται κατά τους θερινούς μήνες, με εξαίρεση το SO_2 , το NO και τα $\text{AS}_{2,5}$. Οι πιο χαμηλές συγκεντρώσεις, σε σχέση με το θεσμοθετημένο όριό τους, αφορούν τα: CO , SO_2 και $\text{AS}_{2,5}$. Αντίθετα στα AS_{10} και στα NO_2 , παρατηρούνται υπερβάσεις των θεσμοθετημένων ορίων. Για τα AS_{10} , στο Πειραιά παρατηρούνται υπερβάσεις που αφορούν τη μέση ημερήσια συγκέντρωση και όχι τη μέση ετήσια τιμή, και τα δύο έτη μελέτης. Αντίθετα, οι υπερβάσεις του NO_2 , αφορούν υπερβάσεις, μέσης ετήσιας τιμής και τα δύο έτη μελέτης (2018 και 2019). Οι συγκεντρώσεις του SO_2 και των AS , γενικά είναι παρόμοιες μεταξύ τους, με εξαίρεση κάποιους συγκεκριμένους μήνες. Οι συγκεντρώσεις των NO_x είναι οι μεγαλύτερες, από κάθε άλλο ρύπο (έως και 3 φορές μεγαλύτερες) από τις συγκεντρώσεις των ρύπων SO_2 και AS . Σε αυτό το σημείο να τονίσουμε, ότι το NO_2 , έχει υπερβεί την ετήσια οριακή τιμή, τα έτη 2012, 2015 και 2016 (Larashi, 2018). Για τα AS_{10} υπάρχουν υπερβάσεις των θεσμοθετημένων ορίων τα εξής έτη (εντός παρένθεσης ο αριθμός υπερβάσεων): 2012 (38), 2013 (39), 2015 (89), 2016 (70) (Larashi, 2018). Ο αριθμός των υπερβάσεων, είναι μεγαλύτερος από τις υπερβάσεις των ετών 2018 και 2019, γεγονός που δείχνει μια προσπάθειας μείωσης των εκπεμπόμενων ρύπων. Από τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι πολιτικές για μείωση θειικών ενώσεων στα καύσιμα αποδίδουν, καθώς οι υψηλές συγκεντρώσεις SO_2 , ήταν μεγάλο περιβαλλοντικό πρόβλημα παλαιότερα. Επίσης οι βασικοί ρύποι της ναυτιλίας φαίνεται ότι συνδέονται περισσότερο με το είδος καυσίμου και δευτερευόντως με το είδος της μηχανής του πλοίου. Επομένως έμφαση πρέπει να δοθεί στην παραγωγή νέων οικολογικών καυσίμων.

Κεφάλαιο 3^ο: Περιγραφή πλοίων και τα καύσιμα της ναυτιλίας

3.1 Περιγραφή ειδών πλοίων

Το πλοίο είναι μια ειδική κατασκευή (ναυπήγημα) η οποία μπορεί να κινείται με ασφάλεια στο νερό. Το μεγαλύτερο μέρος του παγκόσμιου εμπορίου πραγματοποιείται με πλοία, καθώς επίσης μεταφέρουν και επιβάτες. Αναλυτικότερα, το θαλάσσιο εμπόριο μέσα στην ιστορική διαδικασία εξελίχθηκε. Στην αρχή ήταν σε τοπικό επίπεδο και όσο εξελίσσεται η τεχνολογία και τεχνογνωσία τόσο αυξάνεται το μέγεθος η ασφάλεια και οι αποστάσεις που διανύουν τα πλοία. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους γίνεται η κατηγοριοποίηση των πλοίων. Με κριτήριο το γενικότερο προορισμό διακρίνονται σε Κρατικά (κυρίως Πολεμικά) και σε Εμπορικά. Με κριτήριο την δραστηριότητα, τα Εμπορικά πλοία διακρίνονται στα πλοία μεταφοράς προσώπων ή εμπορευμάτων, στα αλιευτικά, στα πλοία εξωοικονομικών σκοπών (ερευνητικά, επιστημονικά, εκπαιδευτικά), στα πλοία ειδικών υπηρεσιών, στα πλοία βοηθητικής ναυτιλίας και στα πλοία αναψυχής.

Τα βασικά είδη πλοίων είναι τα εξής:

- Bulk Carriers: Είναι πλοία που έχουν σχεδιασθεί για τη μεταφορά των στερεών φορτίων, ίδιου είδους. Συνήθως μεταφέρουν δημητριακά και μεταλλεύματα.
- Combination Carrier: Πρόκειται για τα πλοία που προορίζονται για την ξεχωριστή μεταφορά πετρελαίου και ξηρών φορτίων.
- Container Ship: Τα πλοία που προορίζονται αποκλειστικά για τη μεταφορά εμπορευμάτων.
- Gas Carrier: Τα πλοία που μεταφέρουν συμπιεσμένα ή υγροποιημένα αέρια.
- General Cargo Carrier και Ro/Ro: Πρόκειται για πλοία που ανυψώνουν και διακινούν φορτία.
- Passenger Ship: Πρόκειται για πλοία που μεταφέρουν επιβάτες.
- Tanker for chemicals: Πρόκειται για πλοία που μεταφέρουν υγρά χημικά.
- Tanker for oil: Πρόκειται για πλοία που μεταφέρουν χύμα πετρέλαιο.

3.2 Μέρη πλοίου

Τα πλοία πρέπει να έχουν στέρεη κατασκευή για να αντέχουν στις πιέσεις που δέχονται από το νερό, το φορτίο και το ίδιο το βάρος τους. Τα πλοία περιλαμβάνουν βασικά μέρη όπως είναι το περίβλημα, η μηχανή, η έλικα και τα καταστρώματα. Τα περισσότερα πλοία εμφανίζουν δυο κατακόρυφες τομές και μία οριζόντια. Για τη σχεδίαση και την κατασκευή ενός πλοίου ένα από τα βασικότερα στοιχεία είναι το σχέδιο των ναυπηγικών γραμμών, αφού με αυτό προσδιορίζονται με ακρίβεια όλα τα γεωμετρικά στοιχεία και οι διαστάσεις του. Ένα πλοίο διακρίνεται σε τρία μέρη. Το μπροστινό που ονομάζεται πλώρη ή πλώρα (fore), το μέσο (admit) και το οπίσθιο μέρος που ονομάζεται πρύμνη.

Η βάση κατασκευής κάθε πλοίου ονομάζεται τρόπιδα (keel). Κατασκευάζεται πριν από οποιοδήποτε άλλο τμήμα του πλοίου. Η τρόπιδα είναι μια διαμήκη κατασκευή (σιδηροκατασκευή ή έλασμα ή δοκάρι) που τοποθετείται στο πυθμένα του σκάφους. Δεξιά και αριστερά της τοποθετούνται σε διαμήκεις και παράλληλες μεταξύ τους σειρές τα άλλα ελάσματα του εξωτερικού περιβλήματος. Επίσης τοποθετείται στο εσωτερικό του πλοίου μια άλλη έκκεντρη κατά το διάμηκες τρόπιδα η οποία

ονομάζεται εσωτερική τρόπιδα ή σταμίδα. Πρόκειται για ένα έλασμα που αποσκοπεί στην ενίσχυση του πυθμένα του πλοίου.

Η τρόπιδα στα δυο της άκρα καταλήγει προς στη πλώρη (στη στείρα ή στο κοράκι). Η στείρα αποτελεί το διαχωριστικό της αριστερής με τη δεξιά πλευρά του πλοίου. Πρόκειται για ένα καμπυλωτό έλασμα με ενίσχυση για να αντέχει τις πιέσεις που δέχεται η πλώρη από τη θάλασσα.

Στη πρύμνη καταλήγει στο ποδόσταμο. Πρόκειται για με σιδερένια ελασμάτινη δοκό που καθώς εκτείνεται προς τα πάνω συναντά την προέκταση της κεντρικής σταθμίδας τρόπιδας δημιουργώντας έτσι μία βάση ονομαζόμενη πέλμα ποδοστρώματος. Επάνω στο πέλμα αυτό στηρίζεται ο άξονας περιστροφής του πηδαλίου.

Πλώρη (bow, head of ship) ονομάζεται το μπροστινό τμήμα του πλοίου. Πρόκειται για μια πολύπλοκη κατασκευή η διαμόρφωση της οποίας απαιτεί μελέτη και ειδικό σχεδιασμό για να αντέχει τις πιέσεις που δέχεται τόσο από το ίδιο το πλοίο όσο και από τις υδροστατικές πιέσεις. Το τμήμα του πλοίου, που βρίσκεται η πλώρη ονομάζεται πρωραίο. Εκεί βρίσκεται η πρωραία δεξαμενή ζυγοσταθμίσματος, το πρόστεγο, τα βαρούλκα των αγκυρών, οι άγκυρες, οι πρωραίες δεξαμενές, τα πρωραία κύτη και το πρωραίο κατάστρωμα.

Πρύμνη (alt of ship, sptern), ονομάζεται το πίσω άκρο του πλοίου. Πρόκειται για μια κατασκευή που σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να αντέχει τις μεγάλες πιέσεις του νερού, της κατασκευής του πλοίου αλλά και της έλικας και του πηδαλίου ταυτόχρονα. Η μορφή της εξαρτάται από τον αριθμό και τις διαστάσεις των ελίκων και των πηδαλίων. Τα μέρη που βρίσκονται στο μέρος της πρύμνης ονομάζονται πρυμναία (πρυμναία δεξαμενή ζυγοστάθμισης, πρυμναίο κατάστρωμα κ.α).

Πλευρές, όλα τα πλοία έχουν δυο πλευρές, την δεξιά και την αριστερή. Οι πλευρές του πλοίου στη πλώρη ονομάζονται παρείς και στη πρύμνη λέγονται ισχία.

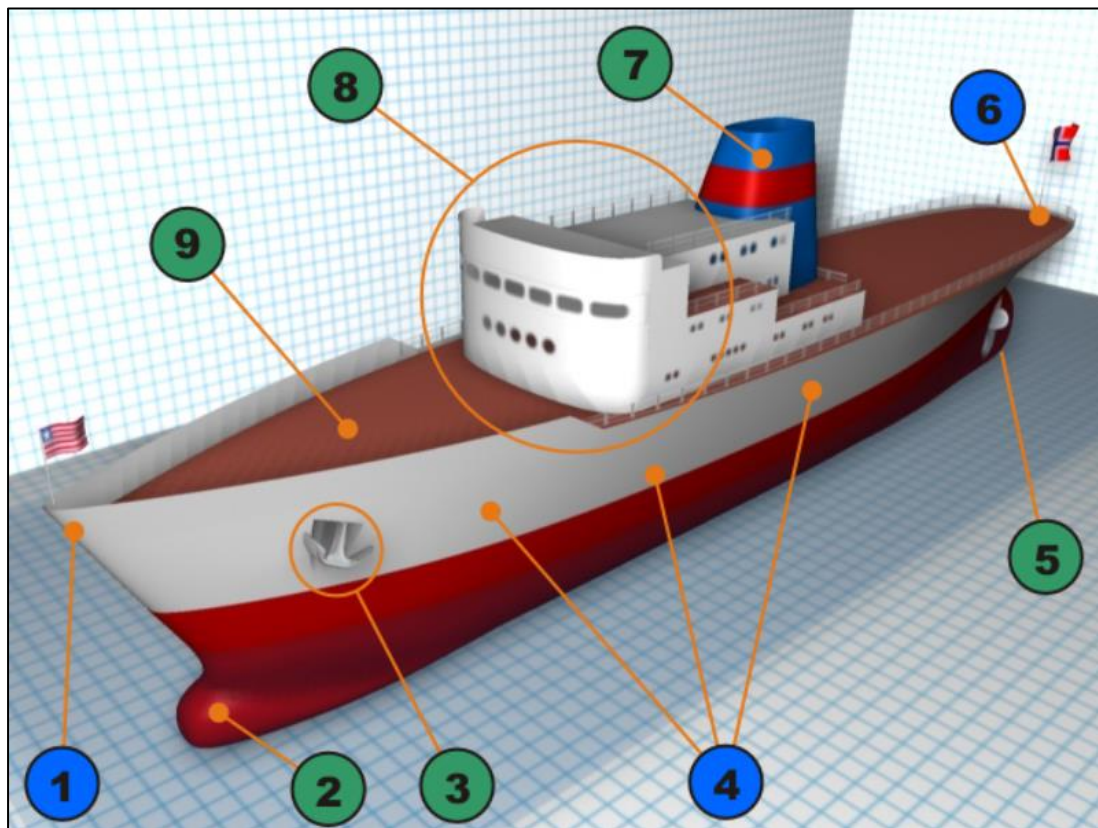
Ίσαλος γραμμή ονομάζεται η γραμμή όπου σύμφωνα με τους υπολογισμούς που γίνονται κατά τη σχεδίαση θα πλέει το πλοίο στη κατάσταση πλήρους φόρτωσης.(μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα από τους νηογνώμονες.

Ύφαλα ονομάζεται το τμήμα του πλοίου που βρίσκονται κάτω από το νερό. Για το λόγο αυτό ονομάζονται και «βρεχόμενη επιφάνεια».

Τα έξαλα ονομάζονται τα μέρη του πλοίου που βρίσκονται πάνω από το νερό όταν το πλοίο επιπλέει. Είναι δηλαδή τα μέρη που είναι ορατά από την ίσαλο γραμμή και πάνω.

Γάστρα (hull), ονομάζεται το μέρος του πλοίου που βρίσκεται κάτω από το επίπεδο της ισάλου γραμμής. Όταν το πλοίο επιπλέει βρίσκεται κάτω από το νερό. Με βάση το συντελεστή της υπολογίζονται το ακριβές εκτόπισμα και η ευελιξία του πλοίου. Η μορφή της, προσδιορίζει την αντίσταση προώσεως, την ταχύτητα του πλοίου, την ευστάθεια και τον υπολογισμό της επιφάνειας της γάστρας για υφαλοχρώματα.

Όλες οι κατασκευές στο κύριο κατάστρωμα ονομάζονται υπερκατασκευές. Η υπερκατασκευή στη πλώρη ονομάζεται πρόστεγο, στο μέσο γέφυρα και στη πρύμνη του πλοίου επίστεγο.



Εικόνα 8: Τα μέρη του Πλοίου (πηγή ναυτιλιακές γνώσεις, Ίδρυμα Ευγενίδου)

Στη παραπάνω εικόνα απεικονίζονται τα βασικά μέρη του πλοίου με αντίστοιχες αριθμητικές ενδείξεις 1:Πλώρη, 2:Βολβοειδής πλώρη, 3:άγκυρα, 4:Έξαλα πλοίου, 5:Έλικας και Πηδάλιο, 6:Πρύμνη, 7:Καπνοδόχος, 8:Μεσόστεγο ή Γέφυρα πλοίου, και 9:Κατάστρωμα (πηγή ναυτιλιακές γνώσεις, ίδρυμα Ευγενίδου)

3.3 Είδη πλοίων

Το λιμάνι του Πειραιά εξυπηρετεί διάφορα είδη πλοίων (κρουαζιερόπλοια, επιβατηγά, κοντέινερ και δεξαμενόπλοια). Η παρούσα διπλωματική αναφέρεται στα επιβατηγά πλοία. Επιβατηγά πλοία (passenger ships), ονομάζονται τα πλοία που μεταφέρουν επιβάτες, χωρίς να αποκλείεται και η μεταφορά φορτίων, όπως τα επιβατηγά-οχηματαγωγά (Ε/Γ-Ο/Γ) που μεταφέρουν εκτός από επιβάτες και οχήματα.

Τα επιβατηγά διακρίνονται σε :

- Αμιγή επιβατηγά χαρακτηρίζονται τα πλοία που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά και μόνο για τη μεταφορά επιβατών. Ανάλογα με τη θαλάσσια περιοχή που διαπλέουν διακρίνονται σε :

1. Υπερωκεάνια πλοία (έχουν μεγάλες διαστάσεις και διαπλέουν ωκεανούς. Τα πλοία αυτά προσέφεραν χρήσιμες υπηρεσίες στον άνθρωπο, αφού

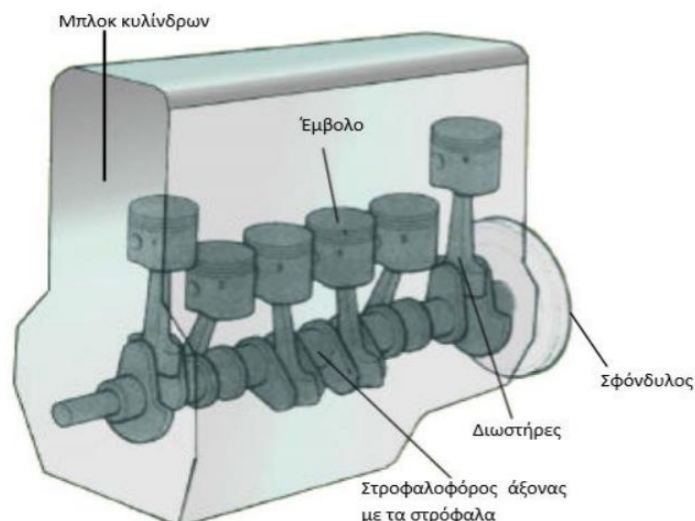
αποτέλεσαν, μέχρι την εμφάνιση και ανάπτυξη του αεροπλάνου ως συγκοινωνιακού μέσου, το μοναδικό συγκοινωνιακό μέσο μεταξύ των ηπείρων.

2. Επιβατηγά πλοία που εκτελούν ταξίδια μεσαίων αποστάσεων σε λιμάνια κλειστών θαλασσών, όπως η Μεσόγειος. Έχουν μικρότερες διαστάσεις από τα υπερωκεάνια.
3. Ακτοπλοϊκά επιβατηγά χαρακτηρίζονται τα πλοία μικρής χωρητικότητας και χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά επιβατών σε λιμάνια της χερσαίας χώρας ή σε λιμάνια των νησιών της ίδιας ή άλλης χώρας. Συνήθως ναυπηγούνται για να εξυπηρετούν συγκεκριμένα δρομολόγια για αυτό και έχουν χαμηλές προδιαγραφές. Συνήθως μεταφέρουν επιβάτες, αλλά χρησιμοποιούνται και σπάνια για μεταφορά εμπορευμάτων ιδίως στα νησιά.
4. Μεικτά επιβατηγά πλοία (passenger/cargo liner) χαρακτηρίζονται τα πλοία που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά επιβατών και εμπορευμάτων. Διαθέτουν διαμερίσματα για την εξυπηρέτηση επιβατών και χώρο για παραλαβή μικρής έκτασης φορτίου.
5. Επιβατηγά περιηγητικών πλοίων ή κρουαζιερόπλοια. Πρόκειται για πλοία που εκτελούν θαλάσσιες περιηγήσεις και προσφέρουν ψυχαγωγία στους επιβάτες κατά τη διάρκεια του ταξιδιού.
6. Επιβατηγά- οχηματαγωγά ονομάζονται τα πλοία που διαθέτουν χώρους επιβατών και χώρους για μεταφορά οχημάτων.

3.4 Αρχές λειτουργίας και περιγραφή εμβολοφόρου παλινδρομικής Μ.Ε.Κ.

Τα βασικά εξαρτήματα στα οποία βασίζεται η αρχή λειτουργίας εμβολοφόρων παλινδρομικών Μ.Ε.Κ. (μηχανές εσωτερικές καύσης), είναι το έμβολο, ο διωστήρας και ο στρόφαλος. Ο βασικός κινηματικός μηχανισμός κατά τη λειτουργία του παράγει ευθύγραμμη και παλινδρομική κίνηση των εμβόλων η οποία μετατρέπεται σε περιστροφική. Τα κύρια μέρη ενός παλινδρομικού κινητήρα Μ.Ε.Κ. είναι :

- Το σώμα των κυλίνδρων
- Τα έμβολα με τα πιστόνια τους
- Οι διωστήρες
- Ο στροφαλοφόρος άξονας
- Ο σφόνδυλος



Εικόνα 9: Τομή Μ.Ε.Κ.

Ανάλογα με τον αριθμό των διαδρομών του εμβόλου οι Μ.Ε.Κ. διακρίνονται σε δίχρονες και τετράχρονες.

3.4.1 Οι τετράχρονοι κινητήρες Μ.Ε.Κ.

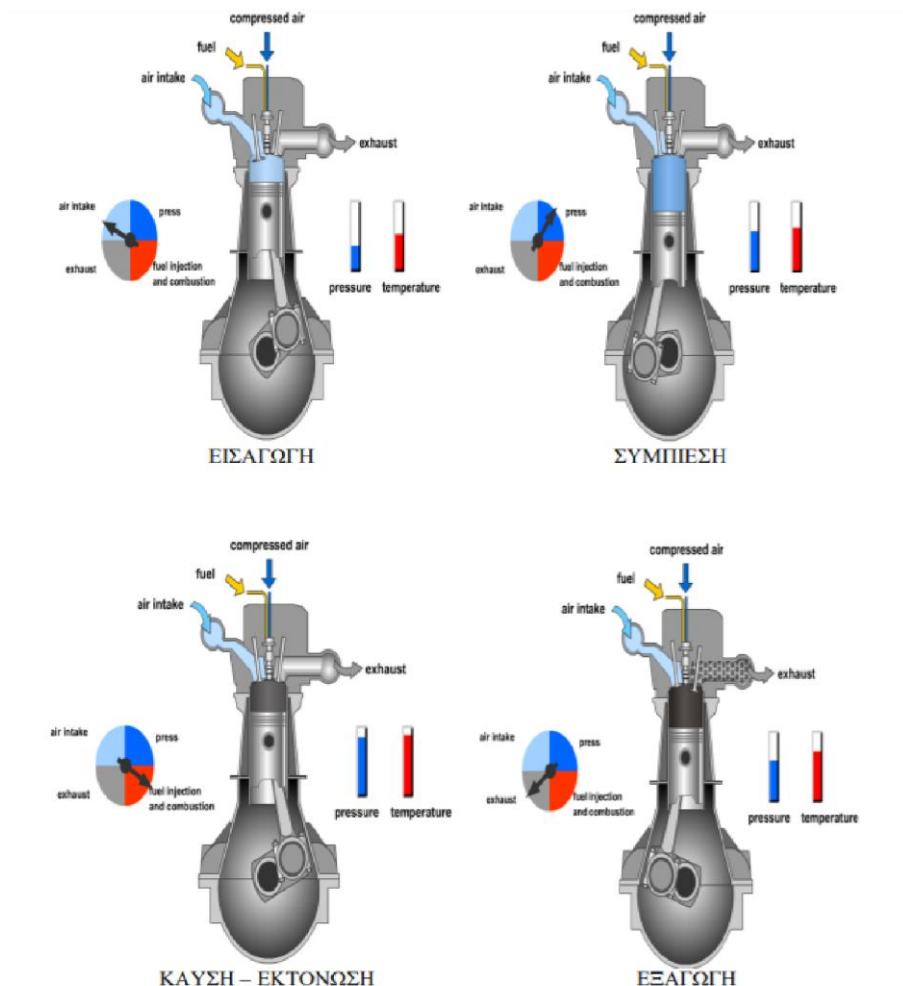
Στον πρώτο χρόνο του κινητήρα, το έμβολο αρχίζει από το άνω νεκρό σημείο (ΑΝΣ). Η βαλβίδα εισαγωγής ανοίγει και το έμβολο ξεκινά να κινείται προς το κάτω νεκρό σημείο (ΚΝΣ). Το έμβολο καθώς κινείται προς τα κάτω δημιουργεί υποπίεση μεταξύ του κυλίνδρου και της ατμόσφαιρας. Καθ' όλη τη διάρκεια της διαδρομής αυτής η βαλβίδα παραμένει ανοικτή και εισάγεται αέρας μέσα στο κύλινδρο, ο οποίος και εγκλωβίζεται τη στιγμή που η βαλβίδα εισαγωγής θα κλείσει (γωνία στρόφαλου 0° - 180°).

Στο δεύτερο χρόνο το έμβολο βρίσκεται στο ΚΝΣ, με κλειστές βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής, ξεκινά να ανεβαίνει προς τα πάνω. Σε αυτό το χρονικό σημείο ξεκινά ο δεύτερος χρόνος. Ο αέρας πρέπει να συμπιεστεί καθώς το έμβολο ανεβαίνει. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης για την προετοιμασία του επόμενου χρόνου (γωνία στρόφαλου 180° - 360°).

Στον τρίτο χρόνο γίνεται η έκχυση του diesel με μεγάλη πίεση σε μορφή σταγονιδίων. Αυτό συνεχίζεται για μικρό χρονικό διάστημα, ενώ το έμβολο συνεχίζει να κατεβαίνει. Ταυτόχρονα ξεκινά και η καύση με αυτανάφλεξη, εξ αιτίας των υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών. Με τη διαδικασία της καύσης αέρα- καυσίμου παράγεται θερμότητα εκτονώνονται τα καυσαέρια και το έμβολο ωθείται προς τα πάνω. Πρόκειται για το μόνο χρόνο στον οποίο έχουμε παραγωγή έργου (γωνία στρόφαλου 360° - 540°).

Στον τέταρτο χρόνο το έμβολο καθώς κινείται προς το ΚΝΣ, την στιγμή που θα φτάσει εκεί θα ανοίξει η βαλβίδα εξαγωγής ώστε να ωθήσει τα καυσαέρια προς τα έξω και να κάνει απόπλυση του κυλίνδρου. Αφού εξαχθούν θα περάσουν στον αυλό εξαγωγής και μέσω της εξάτμισης θα καταλήξουν στην ατμόσφαιρα. Τελικά όταν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ η βαλβίδα εισαγωγής θα κλείσει και έτσι θα ολοκληρωθεί ο

κύκλος λειτουργίας της μηχανής, για να ξεκινήσει από την αρχή (γωνία στροφάλου 540°-720°).

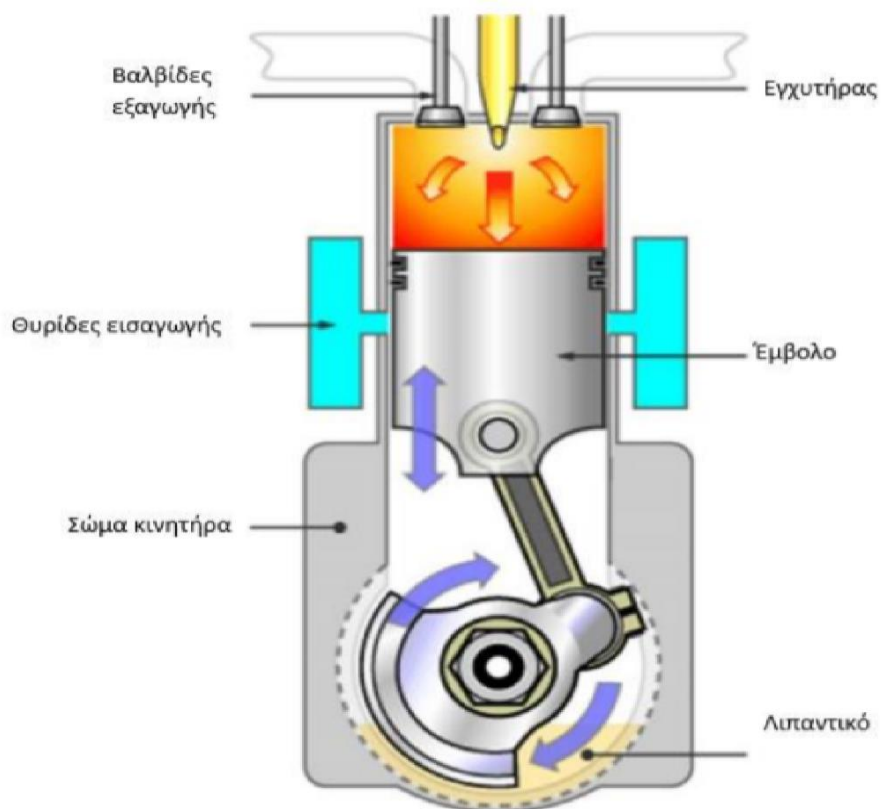


Εικόνα 10: Σχηματικά οι 4 χρόνοι του κινητήρα (Πηγή: Howstuffworks.com)

3.4.2 Δίχρονη μηχανή MEK

Το έμβολο αρχικά βρίσκεται στο ΑΝΣ και ξεκινά η καύση, καθ' όλη τη διάρκεια που το έμβολο κινείται προς τα πάνω. Καθώς το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ εκμεταλλεύεται την πίεση των αερίων. Στη συνέχεια ανοίγουν οι βαλβίδες εξαγωγής, με σκοπό την εκτόνωση των καυσαερίων. Με την αποκάλυψη των θυρίδων εισαγωγής, εισέρχεται αέρας με πίεση διώχνοντας τα καυσαέρια προς τη βαλβίδα εξαγωγής και τελικά στην εξάτμιση. Έπειτα με την απόπλυση του κυλίνδρου, το έμβολο που βρίσκεται στο ΚΝΣ ανεβαίνει προς τα πάνω, κλείνουν οι βαλβίδες εξαγωγής και λίγο χρόνο αργότερα αποκαλύπτονται και οι θυρίδες εισαγωγής, ώστε να γίνει η έναρξη της συμπίεσης. Τέλος λίγο πριν το ΑΝΣ γίνεται η έκχυση του

καυσίμου, υπό μορφή σταγονιδίων υψηλής πίεσης με σκοπό τη δημιουργία καύσης με αυτανάφλεξη με μεγάλη διάρκεια. Το έμβολο ξεκινά να κατεβαίνει προς το ΚΝΣ. Το ίδιο γίνεται ανά κάθε δυο παλινδρομήσεις του εμβόλου ή με κάθε περιστροφή του στρόφαλου.



Εικόνα 11: Δίχρονος κινητήρας Μ.Ε.Κ.

3.4.3 Χρήσεις πετρελαιοκινητήρων

Οι πετρελαιοκινητήρες ανάλογα με τη χρήση τους κατατάσσονται σε κινητήρες αυτοκινήτων, τρένων, βαρέων οχημάτων και ναυτικές μηχανές και χρησιμοποιούνται σε όλα τα ναυτικά μέσα.

3.4.4 Χρήση βενζινοκινητήρων

Οι βενζινοκινητήρες είναι πιο διαδεδομένες και ως καύσιμο χρησιμοποιούν το μίγμα βενζίνης - αέρα. Χρησιμοποιούνται κυρίως στα αυτοκίνητα αλλά έχουν χρήση και σε ναυτικές, γεωργικές μηχανές κ.α.

3.5 Καύσιμα ναυτιλίας

Έχει καταγραφεί ότι σε λιμάνια όπως αυτό του Πειραιά, η κίνηση των πλοίων έχει αναδειχθεί ως ο κύριος ρυπαντής. Το θείο είναι φυσικό συστατικό των ορυκτών καυσίμων και η έκλυσή του στην ατμόσφαιρα με τη μορφή SO_x ευθύνεται για τα φαινόμενα της όξινης βροχής. Το περιεχόμενο του ναυτιλιακού πετρελαίου σε άνθρακα κυμαίνεται μεταξύ 84,9% και 87,4%. Είναι εμφανής η επιτακτική ανάγκη για χρήση ελαφρύτερων κλασμάτων διύλισης, όπως το υδροποιημένο φυσικό αέριο (LNG), η μεθανόλη και τα βιοκαύσιμα.

Το LNG εμφανίζεται προς το παρόν ως η μόνη πραγματική εναλλακτική λόγω κόστους και ενεργειακής διαθεσιμότητας. Περίπου 100 πλοία, κυρίως στη Βόρεια Ευρώπη, τροφοδοτούνται ήδη με LNG. Το LNG έχει σχεδόν μηδενικό περιεχόμενο σε θείο και δεν παράγει ορατό καπνό κατά την καύση του το LNG έχει σχεδόν μηδενικό περιεχόμενο σε θείο και δεν παράγει ορατό καπνό κατά την καύση του. Το LNG μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε νέα πλοία ως αποκλειστικό καύσιμο ή και σε υπάρχοντα με κατάλληλη μετατροπή του κινητήρα για τη χρήση τόσο υγρού όσο και αερίου καυσίμου (dual fuel), δυνατότητα που ήδη προσφέρεται από ορισμένους κατασκευαστές κινητήρων. Μια ενδεχόμενη αρνητική συνέπεια της χρήσης φυσικού αερίου είναι η διαφυγή σημαντικών ποσοτήτων άκαυστου μεθανίου αερίου που είναι, ως αέριο θερμοκηπίου, 25 φορές πιο δραστικό από το CO₂ σε ό,τι αφορά τις επιπτώσεις στο κλίμα. Αδυναμία ελέγχου της διαφυγής CH₄ θα έχει ως συνέπεια την εξουδετέρωση όποιας ωφέλειας από τη μείωση αερίων του θερμοκηπίου που συνεπάγεται η καύση του φυσικού αερίου λόγω της μοριακής του σύστασης (περίπου 4:1 λόγος υδρογόνου : άνθρακα). Πέρα από τη μείωση των εκπομπών SO_x, η χρήση LNG μπορεί να οδηγήσει και σε μείωση των εκπομπών NO_x. (Οικονομική επιθεώρηση Απρίλιος 2019 τ.981, Ντζιαχρήστος - Μουσιόπουλος). Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικά καύσιμα της ναυτιλίας.

Το καύσιμο diesel είναι ένα μίγμα υδρογονανθράκων και αποστάζεται από το αργό πετρέλαιο. Πρόκειται για το παραδοσιακό καύσιμο κινητήρων diesel. Για την καύση του δεν απαιτείται κάποια προετοιμασία όπως διαχωρισμός η προθέρμανση, αν και με προσθήκη διάφορων ουσιών στο καύσιμο αυτό αυξάνεται η απόδοση του. Είναι το βασικό καύσιμο της ναυτιλίας.

Heavy fuel oil (HFO). Πρόκειται για τα κατάλοιπα της διύλισης του αργού πετρελαίου. Η ποιότητα τους εξαρτάται από τη διαδικασία διύλισης και από το αργό πετρέλαιο που χρησιμοποιήθηκε. Έχουν μεγάλη συγκέντρωση σε θεικές ενώσεις.

Emulsified fuels. Πρόκειται για βαριά κλάσματα υδρογονανθράκων είτε με φυσική προέλευση με μορφή πίσσας είτε είναι προϊόντα διύλισης. Χρησιμοποιούνται στους ίδιους κινητήρες που χρησιμοποιούν HFO. Το γράμμα D δηλώνει πως πρόκειται για προϊόν διύλισης, το R πως είναι υπόλειμμα και το M πως είναι ναυτικό καύσιμο.

Residual oil (RO). Πρόκειται για το βαρύτερο κλάσμα απόσταξης αργού πετρελαίου. Συνήθως έχει υψηλές συγκεντρώσεις σε ενώσεις θείου.

Intermediate fuel oil. Βρίσκεται σε δυο μορφές. Η μία αποτελείται από 2% diesel και 98% HFO και η άλλη από μίγμα 12% diesel και 88% HFO.

Marine diesel oil (MDO). Αποτελείται κυρίως από diesel oil και έχουν χαμηλή συγκέντρωση σε θείο.

Marine gas oil (MGO). Έχει υψηλό βαθμό καθαρότητας και έτσι εξασφαλίζει καύση χωρίς πολλά κατάλοιπα. Αποτελεί απόσταγμα καθαρού πετρελαίου και πρόκειται για ένα από τα πιο οικολογικά καύσιμα.

Κεφάλαιο 4^ο: Ο υπολογισμός της εκπεμπόμενης μάζας

4.1 Μεθοδολογία και υπολογισμός των εκπεμπόμενων ρύπων

Τα πλοία που αγκυροβολούν στο λιμάνι παραμένουν εκεί για κάποιο διάστημα πριν το απόπλου τους. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να λειτουργεί το δίκτυο ηλεκτροδότησης κάθε πλοίου, προκειμένου να λειτουργούν οι διάφοροι μηχανισμοί του. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση κυρίως των βοηθητικών μηχανών. Έτσι, κάθε πλοίο εκπέμπει αέριους ρύπους καθ' όλη τη διάρκεια στάθμευσης του. Πληροφορίες για τα πλοία του λιμένα του Πειραιά αντλήθηκαν από διάφορες πηγές στο διαδίκτυο, όπως το Marrinetrafick. Με αντίστοιχο τρόπο προέκυψαν και διάφορες άλλες πληροφορίες, όπως η ώρα απόπλου τους, η ισχύς των κινητήρων και η ταχύτητά του.

Στη παρούσα διπλωματική ο υπολογισμός των εκπεμπόμενων ρύπων κατά της διάρκεια ελλιμενισμού και παραμονής των πλοίων στο λιμάνι του Πειραιά έγινε με τους εξής τύπους (Τζαννάτος, 2010)

$$EM = TM \times [(ME \times LF_{ME} \times EF_{ME}) + (AE \times LF_{AE} \times EF_{AE})] \times 10^{-6} \quad (4.1)$$

$$EB = TB \times [(ME \times LF_{ME} \times EF_{ME}) + (AE \times LF_{AE} \times EF_{AE})] \times 10^{-6} \quad (4.2)$$

- EM και EB: Πρόκειται για τις εκπομπές του πλοίου κατά τους ελιγμούς (EM) και για το αγκυροβόλιο (EB)
- TM: Είναι ο χρόνος των ελιγμών που απαιτείται από ένα πλοίο για να εισέλθει στο λιμένα. Βρέθηκε από τη βιβλιογραφία και ισούται με 15 λεπτά (0,25 h)
- TB: Είναι ο χρόνος που παραμένει το πλοίο στο λιμάνι. Υπολογίστηκε από την αφαίρεση της ώρας απόπλου του με την ώρα άφιξης του. Καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της κατάστασης το πλοίο έχει σβηστές τις κύριες μηχανές και το ηλεκτρικό ρεύμα παράγεται από τις βοηθητικές.
- ME: Η ισχύς της κύριας μηχανής (kw).
- AE: Η ισχύς της βοηθητικής μηχανής (kw). Μέσα από τη βιβλιογραφία υπολογίστηκε ως το 22% της κύριας μηχανής.
- LF_{ME-M} : Ο συντελεστής φορτίου κύριου κινητήρα κατά τη διάρκεια των ελιγμών. Αποτελεί σταθερά.
- LF_{AE-M} : Ο συντελεστής φορτίου βοηθητικού κινητήρα κατά τη διάρκεια ελιγμών. Αποτελεί σταθερά
- EF_{ME} : Ο συντελεστής εκπομπών κύριου κινητήρα. Μεταβάλλεται ανάλογα με τον εκπεμπόμενο ρύπο ($g \text{ kWh}^{-1}$).
- EF_{AE} : Ο συντελεστής εκπομπών βοηθητικού κινητήρα. Μεταβάλλεται ανάλογα με τον εκπεμπόμενο ρύπο ($g \text{ kWh}^{-1}$).

Από τη βιβλιογραφία αντλήθηκαν οι παρακάτω τιμές που αποτελούν σταθερές των τύπων.

Κατά τη διάρκεια:	Συντελεστές φορτίου για το Καλοκαίρι			
	Κρουαζιερόπλοια		Επιβατηγά	
	Κύρια μηχανή	Βοηθητική μηχανή	Κύρια μηχανή	Βοηθητική μηχανή
Ελιγμών	0,20	0,75	0,20	0,75
Αγκυροβόλου	0,00	0,60	0,00	0,45

Πίνακας 15: Συντελεστές φορτίου για το καλοκαίρι

Κατά τη διάρκεια:	Συντελεστές φορτίου για τον υπόλοιπο χρόνο			
	Κρουαζιερόπλοια		Επιβατηγά	
	Κύρια μηχανή	Βοηθητική μηχανή	Κύρια μηχανή	Βοηθητική μηχανή
Ελιγμών	0,20	0,60	0,20	0,60
Αγκυροβόλου	0,00	0,40	0,00	0,30

Πίνακας 16: Συντελεστής φορτίου για τον υπόλοιπο χρόνο

Τύπος μηχανής/καυσίμου	Συντελεστής εκπομπών (g kwh ⁻¹)			
		NO _x	SO ₂	ΑΣ
Κύρια μηχανή	HSD/MDO	9,6	4,5	0,9
	MSD/LSFO	11,2	6,6	2,4
	GT/MDO	2,9	6,4	0,5
	ST/LSFO	1,7	9,6	2,4
Βοηθητική μηχανή	MSD/LSFO	14,7	6,5	0,8
	MSD/MDO	13,9	4,3	0,3
	GT/MDO	5,7	5,8	0,1
	ST/LSFO	2,1	8,7	0,1

Πίνακας 17: Συντελεστές εκπομπών ανά καύσιμο

Τύπος πλοίου	Μέση ισχύ κινητήρα (kw)	Μέση βοηθητική μηχανή				Ανάλογια μηχανών
		Αριθμός	Ισχύς (kw)	Συνολική ισχύς (kw)	Ταχύτητα μηχανής	
Auto Carrier	10700	2,9	983	2850	Μεσαία	0,266
Bulk Carrier	8000	2,9	612	1776	Μεσαία	0,222
Container ship	30900	3,6	1889	6800	Μεσαία	0,220
Cruise Ship	39600	4,7	2340	11000	Μεσαία	0,278
General Cargo	9300	2,9	612	1776	Μεσαία	0,191
RoRo	11000	2,9	983	2850	Μεσαία	0,259
Reefer	9600	4,0	975	3900	Μεσαία	0,406
Tanker	9400	2,7	935	1985	Μεσαία	0,211

Πίνακας 18: Αναλογία μεταξύ κύριας και βοηθητικής μηχανής

4.2 Υπολογισμός εκπεμπόμενων ρύπων σε τόνους

Αναλυτικά τα αποτελέσματα ανά ρύπο εποχή και πλοίο βρίσκονται αναλυτικά στο παράρτημα 1 που βρίσκεται στο τέλος της διπλωματικής εργασίας.

4.2.1 Υπολογισμός Εκπεμπόμενης Μάζας SO₂

Για τον υπολογισμό της εκπεμπόμενης μάζας SO₂, αρχικά επιλέχθηκαν από τους προηγούμενους πίνακες οι ανάλογες σταθερές. Οι σταθερές εξαρτώνται από το είδος του κινητήρα, την εποχή του χρόνου και τον ρύπο που εξετάζεται.

Για το SO₂ οι τιμές που επιλέχθηκαν είναι οι εξής :

- Κατά τη διάρκεια των ελιγμών

	Καλοκαίρι	Υπόλοιπες εποχές
LF_{ME-M}	0,20	0,20
LF_{AE-M}	0,75	0,60
EF_{ME}	6,6	6,6
EF_{AE}	4,3	4,3

Πίνακας 19: Τα αποτελέσματα για την εκπεμπόμενη μάζα SO₂ κατά τη διάρκεια ελιγμών

- Κατά τη διάρκεια αγκυροβόλιου

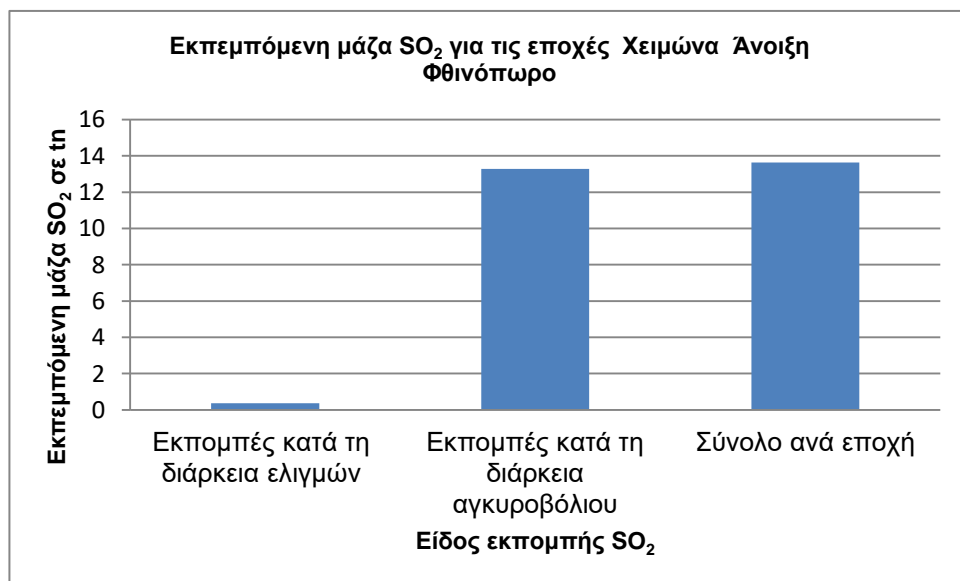
	Καλοκαίρι	Υπόλοιπες εποχές
LF_{ME}	0,0	0,0
LF_{AE}	0,45	0,30
EF_{ME}	6,6	6,6
EF_{AE}	4,3	4,3

Πίνακας 20: Οι τιμές για την εκπεμπόμενη μάζα SO₂ κατά τη διάρκεια του αγκυροβόλιου

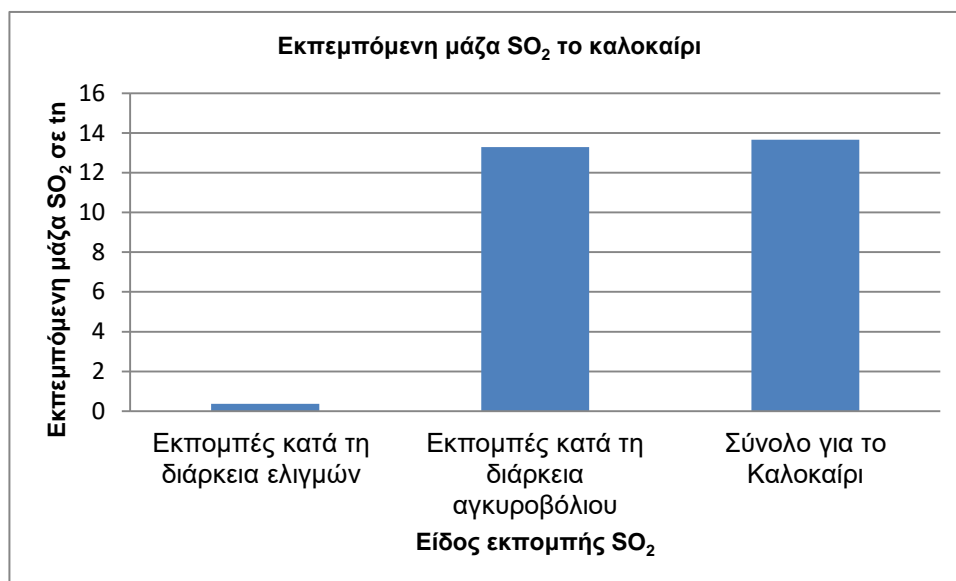
Έπειτα από την επιλογή των παραπάνω σταθερών εφαρμόζονται οι σχέσεις 4.1 και 4.2. Η σχέση 4.1 υπολογίζει την εκπεμπόμενη μάζα κατά τη διάρκεια των ελιγμών και η σχέση 4.2 υπολογίζει την εκπεμπόμενη μάζα κατά τη διάρκεια του αγκυροβόλιου. Αφού υπολογιστούν οι εκπομπές για κάθε πλοίο ξεχωριστά στη συνέχεια αθροίζονται οι τιμές και προκύπτει ο παρακάτω πίνακας. Αναλυτικά η εκπεμπόμενη μάζα SO₂ ανά πλοίο και εποχή βρίσκεται στους Πίνακες 1 και 2 του Παραρτήματος, στο τέλος της διπλωματικής εργασίας.

	Em(SO ₂)	Eb(SO ₂)	Σύνολο ανά εποχή
Χειμώνας - Άνοιξη - Φθινόπωρο	0,36	13,28	13,64
Καλοκαίρι	0,37	13,29	13,66
Σύνολο έτους	1,45	53,13	54,58

Πίνακας 21: Η εκπεμπόμενη μάζα SO₂ σε τόνους



Διάγραμμα 10: Η εκπεμπόμενη μάζα SO₂ ανά είδος για τις εποχές Χειμώνας- Άνοιξη - Φθινόπωρο



Διάγραμμα 11: Η εκπεμπόμενη μάζα SO₂ ανά είδος το καλοκαίρι

Παρατηρούμε ότι η εκπεμπόμενη μάζα κατά τη διάρκεια του αγκυροβόλιου είναι πολλαπλάσια από αυτή κατά τη διάρκεια των ελιγμών. Επίσης φαίνεται ότι τους τρεις μήνες του καλοκαιριού οι εκπομπές είναι λίγο μεγαλύτερες από αυτές του υπόλοιπου χρόνου, γεγονός που κρίνουμε λογικό, αφού το καλοκαίρι λόγω μεγαλύτερης κίνησης σε επιβάτες και σε φορτία καταναλώνεται περισσότερο καύσιμο. Πιο συγκεκριμένα τους θερινούς μήνες το σύνολο της εκπεμπόμενης μάζας ήταν 13,66 tn τις υπόλοιπες εποχές ήταν 13,64 tn, ανά εποχή. Επομένως η συνολική εκπεμπόμενη μάζα για το εξεταζόμενο έτος ήταν 54,58 tn.

4.2.2 Υπολογισμός Εκπεμπόμενης Μάζας NO_x

Για τον υπολογισμό της εκπεμπόμενης μάζας NO_x, αρχικά επιλέχθηκαν από τους προηγούμενους πίνακες οι ανάλογες σταθερές. Οι σταθερές εξαρτώνται από το είδος του κινητήρα, την εποχή του χρόνου και τον ρύπο που εξετάζεται.

Για το NO_x οι τιμές που επιλέχθηκαν είναι οι εξής :

- Κατά τη διάρκεια των ελιγμών

	Καλοκαίρι	Υπόλοιπες εποχές
LF _{ME-M}	0,20	0,20
LF _{AE-M}	0,75	0,60
EF _{ME}	11,2	11,2
EF _{AE}	13,9	13,9

Πίνακας 22: Τα αποτελέσματα για την εκπεμπόμενη μάζα NO_x κατά τη διάρκεια των ελιγμών

- Κατά τη διάρκεια αγκυροβόλιου

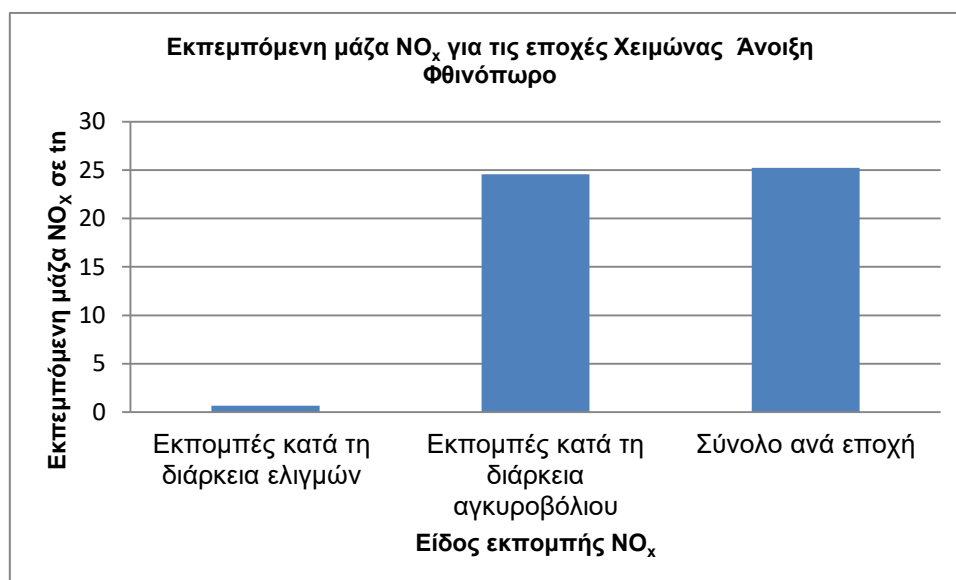
	Καλοκαίρι	Υπόλοιπες εποχές
LF _{ME}	0,0	0,0
LF _{AE}	0,45	0,30
EF _{ME}	11,2	11,2
EF _{AE}	13,9	13,9

Πίνακας 23: Τα αποτελέσματα για την εκπεμπόμενη μάζα NO_x κατά τη διάρκεια του αγκυροβόλιου

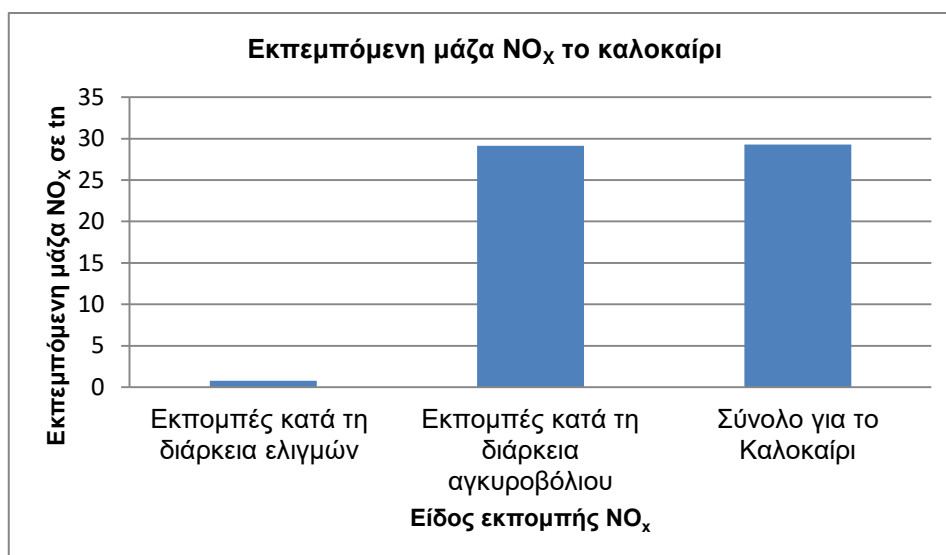
Έπειτα από την επιλογή των παραπάνω σταθερών εφαρμόζονται οι σχέσεις 4.1 και 4.2. Η σχέση 4.1 υπολογίζει την εκπεμπόμενη μάζα κατά τη διάρκεια των ελιγμών και η σχέση 4.2 υπολογίζει την εκπεμπόμενη μάζα κατά τη διάρκεια του αγκυροβολίου. Αφού υπολογιστούν οι εκπομπές για κάθε πλοίο ξεχωριστά στη συνέχεια αθροίζονται οι τιμές και προκύπτει ο παρακάτω πίνακας. Αναλυτικά η εκπεμπόμενη μάζα NO_x ανά πλοίο και εποχή βρίσκεται στους Πίνακες 3 και 4 του παραρτήματος στο τέλος της διπλωματικής εργασίας.

	$\text{Em}(\text{NO}_x)$	$\text{Eb}(\text{NO}_x)$	Σύνολο ανά εποχή
Χειμώνας -Άνοιξη -Φθινόπωρο	0,67	24,57	25,24
Καλοκαίρι	0,77	29,12	29,29
Σύνολο έτους	2,78	102,83	105,61

Πίνακας 24: Η εκπεμπόμενη μάζα NO_x σε τόνους



Διάγραμμα 12: Η εκπεμπόμενη μάζα NO_x ανά είδος για τις εποχές Χειμώνας-Άνοιξη-Φθινόπωρο



Διάγραμμα 13: Η εκπεμπόμενη μάζα NO_x ανά είδος για το Καλοκαίρι

Από τα αποτελέσματα που προκύπτουν, συμπεραίνει κανείς ότι η εκπεμπόμενη μάζα NO_x συμπεριφέρεται με τρόπο παρόμοιο με αυτή του SO₂, κατά τη διάρκεια του αγκυροβολίου και κατά την θερινή περίοδο. Επίσης παρατηρούμε ότι οι εκπομπές των NO_x είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από αυτές του SO₂. Επομένως, εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα καύσιμα των πλοίων περιείχαν αζωτούχες ενώσεις που μέσω της καύσης μετατράπηκαν σε οξείδια. Επίσης, φαίνεται ότι οι επιταγές της Ε.Ε. για τα καύσιμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο έχουν αρχίσει και αποδίδουν. Το σύνολο της εκπεμπόμενης μάζας το καλοκαίρι ήταν 29,29 tn ενώ τις υπόλοιπες εποχές ήταν 25,24 ανά εποχή. Η συνολική εκπεμπόμενη μάζα για το έτος ήταν 105,61 tn.

4.2.3 Υπολογισμός Εκπεμπόμενης Μάζας ΑΣ_{2,5}

Για τον υπολογισμό της εκπεμπόμενης μάζας ΑΣ_{2,5}, αρχικά επιλέχθηκαν από τους προηγούμενους πίνακες οι ανάλογες σταθερές. Οι σταθερές εξαρτώνται από το είδος του κινητήρα, την εποχή του χρόνου και τον ρύπο που εξετάζεται. Για το ΑΣ_{2,5} οι τιμές που επιλέχθηκαν είναι οι εξής :

- Κατά τη διάρκεια των ελιγμών

	Καλοκαίρι	Υπόλοιπες εποχές
LF _{ME-M}	0,20	0,20
LF _{AE-M}	0,75	0,60
EF _{ME}	2,4	2,4
EF _{AE}	0,3	0,3

Πίνακας 25: Τα αποτελέσματα για την εκπεμπόμενη μάζα ΑΣ_{2,5} κατά τη διάρκεια των ελιγμών

- Κατά τη διάρκεια αγκυροβόλιου

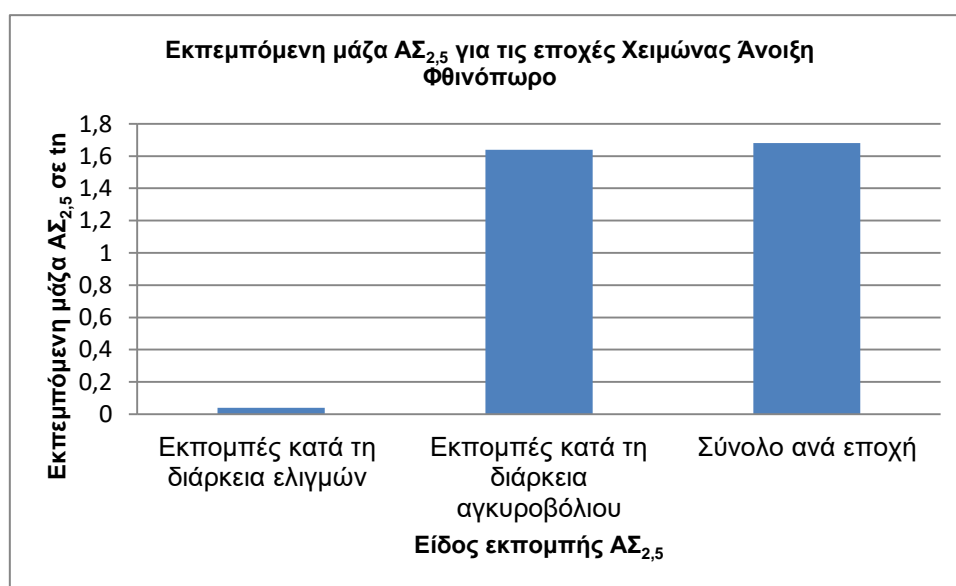
	Καλοκαίρι	Υπόλοιπες εποχές
LF _{ME}	0,0	0,0
LF _{AE}	0,45	0,30
EF _{ME}	2,4	2,4
EF _{AE}	0,3	0,3

Πίνακας 26: Τα αποτελέσματα για την εκπεμπόμενη μάζα ΑΣ_{2,5} κατά τη διάρκεια του αγκυροβόλιου

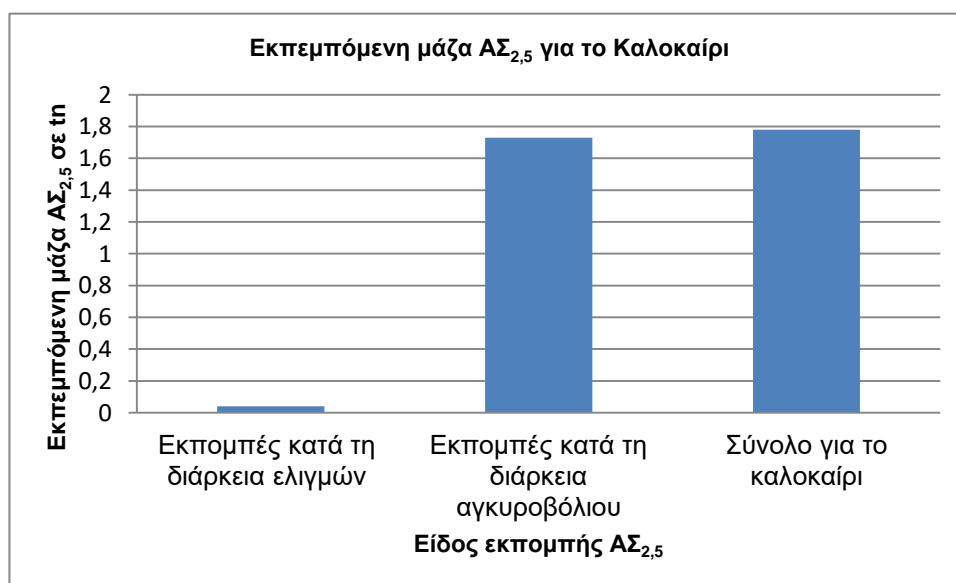
Έπειτα από την επιλογή των παραπάνω σταθερών εφαρμόζονται οι σχέσεις 4.1 και 4.2. Η σχέση 4.1 υπολογίζει την εκπεμπόμενη μάζα κατά τη διάρκεια των ελιγμών και η σχέση 4.2 υπολογίζει την εκπεμπόμενη μάζα κατά τη διάρκεια του αγκυροβόλιου. Αφού υπολογιστούν οι εκπομπές για κάθε πλοίο ξεχωριστά στη συνέχεια αθροίζονται οι τιμές και προκύπτει ο παρακάτω πίνακας. Αναλυτικά η εκπεμπόμενη μάζα $AS_{2,5}$ ανά πλοίο και εποχή βρίσκεται στους πίνακες 5 και 6 στο Παράρτημα στο τέλος της διπλωματικής εργασίας.

	$Em(AS_{2,5})$	$Eb(AS_{2,5})$	Σύνολο ανά εποχή
Χειμώνας - Άνοιξη - Φθινόπωρο	0,04	1,64	1,68
Καλοκαίρι	0,04	1,73	1,78
Σύνολο	0,52	6,65	6,82

Πίνακας 27: Η εκπεμπόμενη μάζα $AS_{2,5}$ σε τόνους



Διάγραμμα 14: Η εκπεμπόμενη μάζα $AS_{2,5}$ ανά είδος για τις εποχές Χειμώνα Άνοιξη Φθινόπωρο



Διάγραμμα 15: Η εκπεμπόμενη μάζα $AS_{2,5}$ ανά είδος το Καλοκαίρι

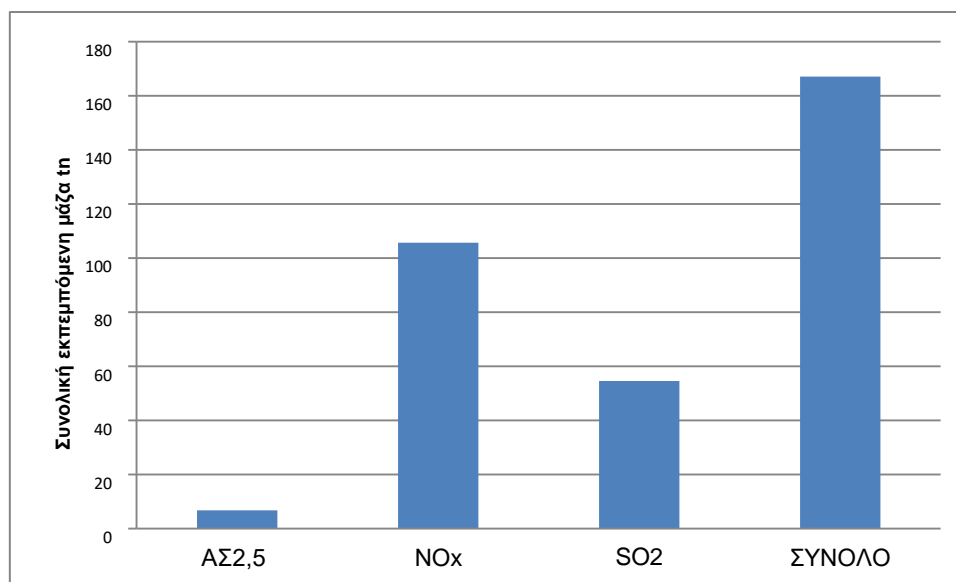
Παρατηρούμε ότι η εκπεμπόμενη μάζα είναι μεγαλύτερη το καλοκαίρι από ότι στους υπόλοιπους μήνες, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τους προηγούμενους ρύπους, με πιο κοντινές εκπομπές μεταξύ των εποχών που συγκρίνουμε. Τους θερινούς μήνες η εκπεμπόμενη μάζα ήταν 1,78 tn ενώ για κάθε άλλη εποχή του έτους ήταν 1,68 tn. Επομένως η συνολική εκπεμπόμενη ήταν 6,82 tn.

4.3 Αποτελέσματα εκπομπών και σύγκριση με άλλες έρευνες

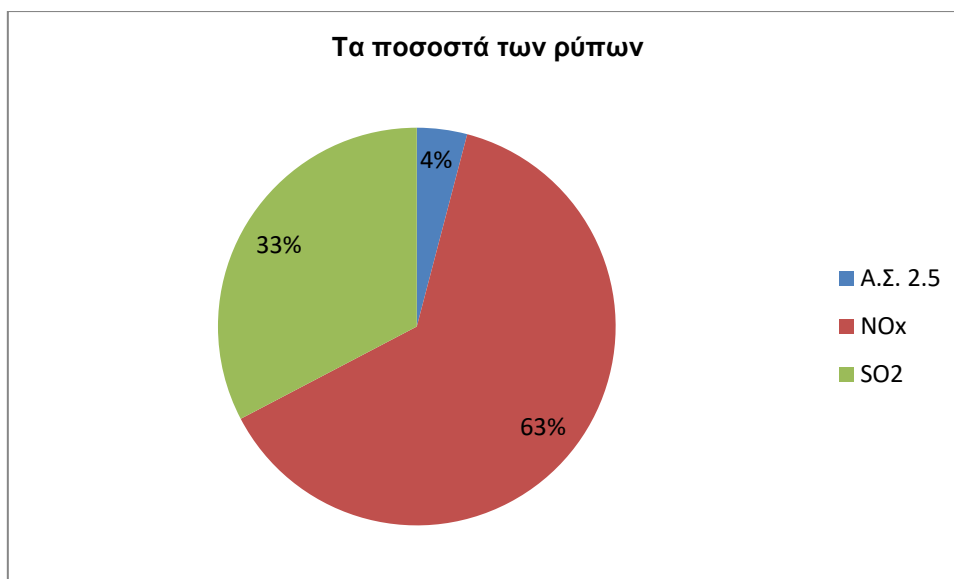
Όπως φαίνεται οι μεγαλύτερες εκπομπές ρύπων εμφανίζονται το καλοκαίρι όπου το λιμάνι έχει περισσότερη κίνηση. Επίσης μεγαλύτερες εκπομπές εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του αγκυροβολίου καθώς το πλοίο χρησιμοποιεί τις βοηθητικές μηχανές του για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα με σκοπό τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα πλοία χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια προκειμένου να εκτελέσουν βασικές τους λειτουργίες. Μια κύρια λειτουργία των επιβατηγών πλοίων που εξετάζουμε είναι και ο κλιματισμός που χρησιμοποιούν τα πλοία κατά τους ζεστούς μήνες του καλοκαιριού, πράγμα που δικαιολογεί τη τόσο μεγάλη διαφορά μεταξύ των εποχών. Κατά τη διάρκεια του χρόνου, προέκυψαν συνολικά 167,01 tons εκπεμπόμενης μάζας από τα εξεταζόμενα πλοία, εκ των οποίων 63% ήταν εκπομπές NO_x, 33% SO₂, και 4% οι εκπομπές των αιωρούμενων σωματιδίων (ΑΣ).

Ρύπος	Εκπεμπόμενη μάζα (tn)
ΑΣ _{2,5}	6,82
SO ₂	54,58
NO _x	105,61
Σύνολο	167,01

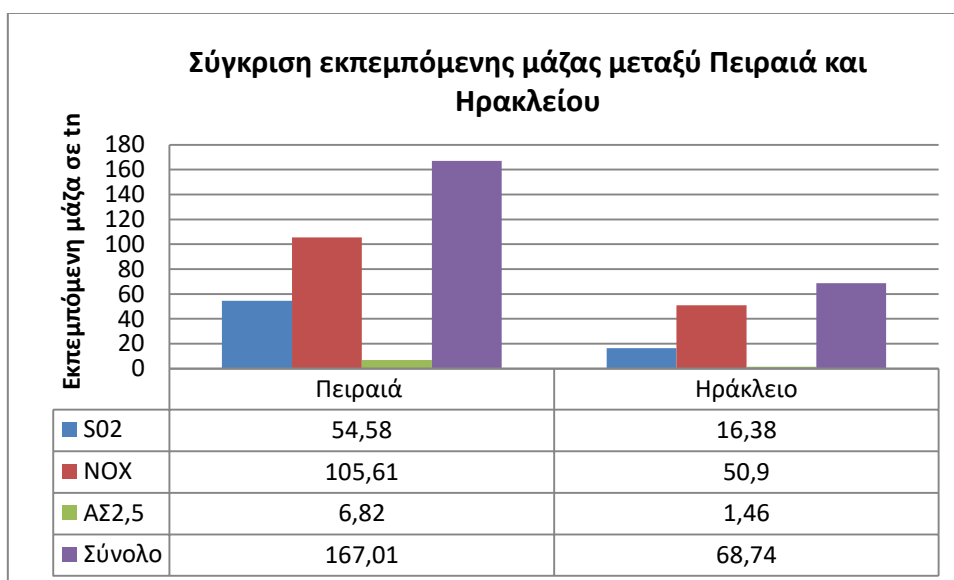
Πίνακας 28: Συνολικά αποτελέσματα εκπεμπόμενης μάζας Πειραιά



Διάγραμμα 16: Η συνολική εκπεμπόμενη μάζα

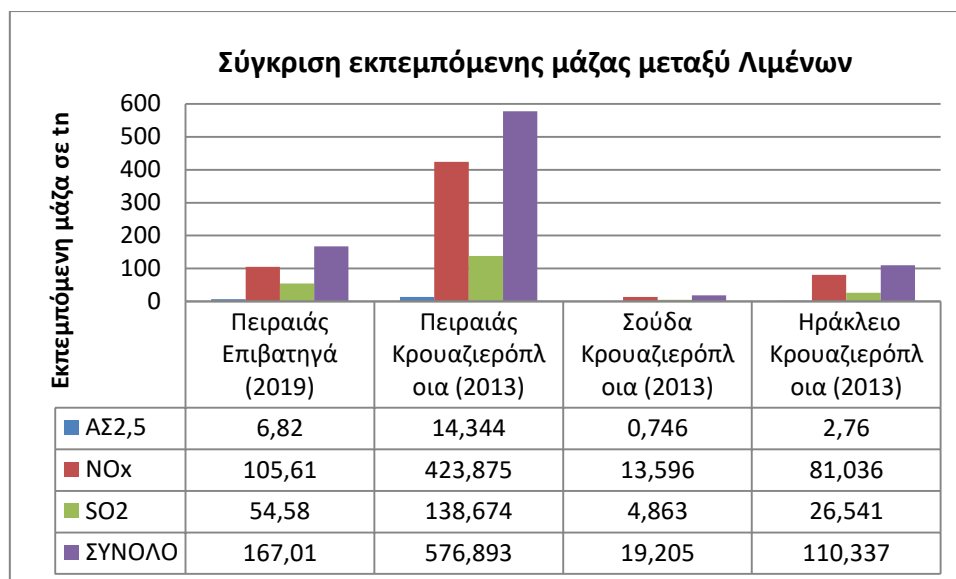


Διάγραμμα 17: Τα ποσοστά των ρύπων



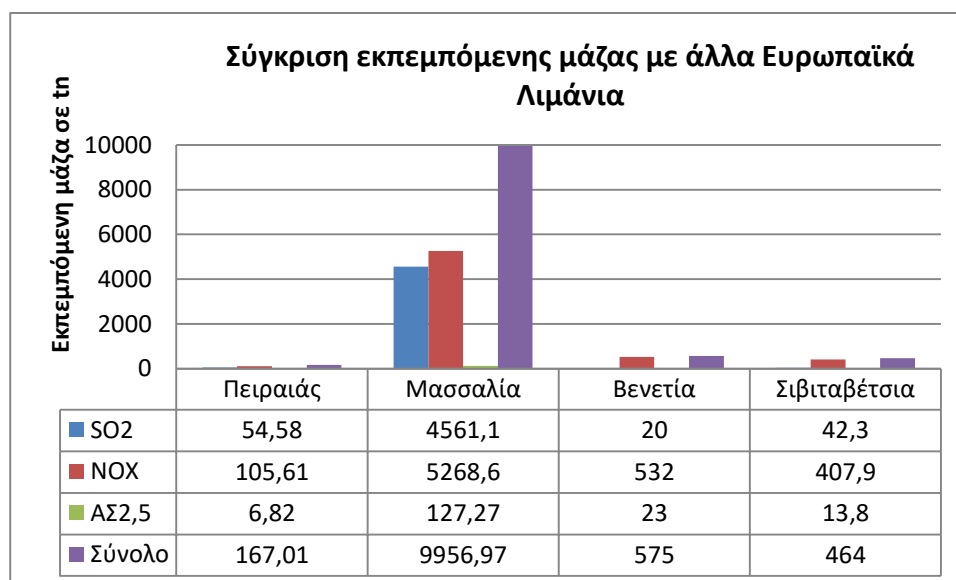
Διάγραμμα 18: Σύγκριση εκπεμπόμενης μάζας λιμανιών Πειραιά - Ηρακλείου

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με αντίστοιχη διπλωματική που έγινε για το λιμάνι του Ηρακλείου (Πιτσιρίκου, 2013) προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα. Αρχικά, τα ποσοστά των ρύπων είναι σχεδόν όμοια και στις δύο διπλωματικές. Η εκπεμπόμενη μάζα SO₂ στο λιμάνι του Πειραιά ήταν 54,58 tn ενώ για το λιμάνι του Ηρακλείου 16,38 tn. Για τα NO_x η εκπεμπόμενη μάζα στο λιμάνι του Πειραιά υπολογίστηκε 105,61 tn ενώ στο λιμάνι του Ηρακλείου υπολογίστηκε 50,9 tn. Η διαφορά τους είναι μεγαλύτερη από αυτή των εκπομπών SO₂. Για τα ΑΣ_{2,5}, η εκπεμπόμενη μάζα στο λιμάνι του Πειραιά ήταν 6,82 tn και στο λιμάνι του Ηρακλείου 1,46 tn. Στο διάγραμμα 16 γίνεται η σύγκριση της εκπεμπόμενης μάζας. Παρατηρείται ότι μεταξύ των λιμανιών Πειραιά και Ηρακλείου, το λιμάνι του Πειραιά έχει μεγαλύτερες εκπομπές μάζας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, τα πλοία στο λιμάνι του Ηρακλείου, χρησιμοποιούσαν το εν λόγω λιμάνι για λιγότερο χρόνο για τον ελλιμενισμό τους αλλά και στο γεγονός ότι το λιμάνι του Πειραιά είναι πολυσύχναστο, με αρκετά πλοία να το χρησιμοποιούν για τον ελλιμενισμό τους.



Διάγραμμα 19: Σύγκριση εκπεμπόμενης μάζας μεταξύ λιμένων

Στο παραπάνω διάγραμμα, γίνεται η σύγκριση των εκπομπών μεταξύ των λιμανιών Πειραιά, Σούδας και Ηρακλείου. Τα αποτελέσματα αυτά, που αφορούν τα κρουαζιερόπλοια είναι για το έτος 2013 (Συρράκος, 2014). Παρατηρείται ότι, συνολικά το Λιμάνι του Πειραιά έχει τις μεγαλύτερες εκπομπές ρύπων συγκριτικά με τα άλλα δύο λιμάνια. Όπως φαίνεται στο λιμάνι του Πειραιά, τα κρουαζιερόπλοια έχουν πολύ μεγαλύτερες εκπομπές. Αυτό είναι λογικό, αφού κύριος σκοπός των κρουαζιερόπλοιων είναι η παροχή πολλών υπηρεσιών στους επιβάτες. Οι υπηρεσίες αυτές χρειάζονται τη κατανάλωση μεγάλου ποσού ενέργειας.



Διάγραμμα 20: Σύγκριση εκπεμπόμενων ρύπων Ευρωπαϊκών Λιμανιών

Στο παραπάνω διάγραμμα, γίνεται η σύγκριση των εκπεμπόμενων ρύπων από τα επιβατηγά πλοία, μεταξύ του λιμανιού του Πειραιά και άλλων ευρωπαϊκών λιμανιών. Γενικά, τις μεγαλύτερες εκπομπές τις έχουν τα NO_x, με τα SO₂ και ΑΣ_{2,5} να ακολουθούν. Παρατηρείται ότι, το λιμάνι της Μασσαλίας (http://www.apice-project.eu/img_web/pagine/files/Results/Risk%20activities/Risk_activities_Marseille_report%5B1%5D.pdf), έχει τη μεγαλύτερη εκπεμπόμενη μάζα ρύπων. Αυτό γιατί, είναι

μεγαλύτερο λιμάνι από αυτό του Πειραιά και το χρησιμοποιούν, διάφορα πλοία για τον ελλιμενισμό τους. Σε αυτό το σημείο να τονίσουμε ότι, στη παρούσα διπλωματική, υπολογίστηκαν οι εκπομπές των επιβατηγών πλοίων του Πειραιά, που πραγματοποιούν εγχώρια ταξίδια. Εν αντιθέσει τα δεδομένα για το λιμάνι της Μασσαλίας, περιλαμβάνουν επιβατηγά πλοία που πραγματοποιούν και ταξίδια εξωτερικού. Έπειτα έγινε σύγκριση με την εκπεμπόμενη μάζα από το Λιμάνι της Βενετίας (<https://www.port.venice.it/files/page/vbfeffectinveniceapice.pdf>). Παρατηρούμε, ότι η εκπεμπόμενη μάζα SO_2 , είναι μεγαλύτερη στο λιμάνι του Πειραιά, αντίθετα με την εκπεμπόμενη μάζα που αφορά NO_x και $AS_{2.5}$. Η διαφορά αυτή, οφείλεται στο γεγονός ότι το λιμάνι της Βενετίας, έχει θέσει αυστηρά κριτήρια που αφορούν την περιεκτικότητα θείου στα καύσιμα της ναυτιλίας. Τέλος, έγινε σύγκριση με το λιμάνι της Σιβιταβέτσια, (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719349769>) που βρίσκεται στην Ιταλία. Όπως και με το λιμάνι της Βενετίας, η εκπεμπόμενη μάζα του SO_2 , είναι μεγαλύτερη από την εκπεμπόμενη μάζα των άλλων δύο εξεταζόμενων ρύπων, για τον ίδιο ακριβώς λόγο. Αναλογιζόμενοι όλα τα παραπάνω μπορούμε να εξαγάγουμε τα παραπάνω βασικά συμπεράσματα:

- Οι μεγαλύτερες εκπομπές μάζας εντοπίζονται τους θερινούς μήνες, λόγω μεγαλύτερης κίνησης των λιμένων.
- Οι εκπομπές της ναυτιλίας σχετίζονται περισσότερο με το είδος του καυσίμου και με τη περιεκτικότητα του σε θειικές ενώσεις, παρά στη τεχνολογία του κινητήρα.
- Οι πολιτικές της Ε.Ε. και της Ι.Μ.Ο, που αφορούν τη μείωση εκπομπών θειικών ενώσεων αποδίδουν

Γενικά γίνεται προσπάθεια μείωσης των εκπεμπόμενων ρύπων της ναυτιλίας, με διάφορους θεσμούς να έχουν θέσει φιλόδοξους στόχους για μηδενικές εκπομπές από τη ναυτιλία σε βάθος χρόνου (έως το 2050, σύμφωνα με το ευρωπαϊκό green deal).

Κεφάλαιο 5^ο: Το μοντέλο ISC3

5.1 Περιγραφή του μοντέλου ISC3

Τα μοντέλα διασποράς είναι συστήματα μαθηματικών εξισώσεων τα οποία προσομοιάζουν τις φυσικές και χημικές διεργασίες που πραγματοποιούνται στην ατμόσφαιρα και περιγράφουν τη κίνηση μιας αέριας μάζας στην ατμόσφαιρα μετά την εκπομπή της. Το μοντέλο διασποράς ISC3 (INDUSTRIAL COURCE COMPLEX) αναπτύχθηκε από την αμερικάνικη υπηρεσία προστασίας περιβάλλοντος. Απαιτεί εισαγωγή μικρού αριθμού δεδομένων και χρησιμοποιεί την εξίσωση θυσάνου Gauss. Πρόκειται για ένα ευέλικτο μοντέλο που δύναται να χρησιμοποιεί πολλαπλών τύπων πηγές (επιφανειακές, σημειακές). Είναι ένα μοντέλο ιδιαίτερος χρήσιμο για τη μελέτη διασποράς ρύπων σε μικρές αποστάσεις (έως 20 χλμ.). Τέλος, απαιτεί την εισαγωγή μικρού όγκου μετεωρολογικών δεδομένων.

Στο κεφάλαιο αυτό εφαρμόζεται το ISC3 για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων των εκπεμπόμενων ρύπων από τα πλοία στο λιμάνι του Πειραιά κατά την στάθμευσή τους. Στη παρούσα διπλωματική το μοντέλο χρησιμοποιείται βραχυπρόθεσμα (ISC3-

ST). Το συγκεκριμένο μοντέλο χρησιμοποιεί την εξίσωση Gauss για σταθερές συνθήκες για μια πηγή συνεχούς ροής και για κάθε ώρα.

Οι ωριαίες συγκεντρώσεις υπολογίζονται από την εξής εξίσωση

$$P' = \frac{Q \times K \times V \times D}{2B \times U_S \times F_Y \times F_Z} \times \exp\left[0.5 \times \left(\frac{y}{F_Y}\right)^2\right] \quad (5.1)$$

- Q: Ο ρυθμός εκπομπής ρύπων
- K : Συντελεστής μετατροπής των αποτελεσμάτων στις επιθυμητές μονάδες
- V: Η κάθετη κατανομή του ρύπου
- Όρος αποσύνθεσης ρύπου
- F_x, F_y : τυπική απόκλιση κατανομής της συγκέντρωσης
- U_S : Ταχύτητα του ανέμου

Για να εκτελεστεί το μοντέλο χρειάζονται δύο αρχεία εισαγωγής το Deptest.INP και Deptest.MET.

Αρχικά, ο χρήστης δημιουργεί ένα μετεωρολογικό αρχείο ωριαίων παραμέτρων και εισάγεται στο αρχείο Deptest.MET. Περιλαμβάνει ημερομηνία, έτος, ώρα, διεύθυνση και ταχύτητα του ανέμου, θερμοκρασία κλάση, ευστάθειας και ύψος ανάμειξης.

13928	87	13996	87	Κωδικοί μετεωρολογικού αρχείου
87 1 1 1 247.5000	6.3000	289.1 4	670.2	Τα δύο τελευταία ψηφία της χρονιάς , ο μήνας , ημέρα και η ώρα
87 1 1 2 225.0000	6.1667	288.9 4	656.3	
87 1 1 3 266.3000	6.7667	289.3 4	720.2	
87 1 1 4 270.0000	6.9667	289.0 4	741.4	
87 1 1 5 270.0000	6.9000	288.8 4	734.0	
87 1 1 6 270.0000	6.3667	288.8 4	677.6	
87 1 1 7 270.0000	6.6333	288.5 4	705.3	Flow vector (deg)
87 1 1 8 266.3000	6.5000	288.1 4	691.4	
87 1 1 9 270.0000	6.7667	289.7 4	720.2	Ταχύτητα του ανέμου
87 1 110 270.0000	6.6333	289.2 4	705.3	
87 1 111 270.0000	6.2000	289.3 4	659.5	
87 1 112 270.0000	6.4333	290.6 4	680.8	Θερμοκρασία (K)
87 1 113 270.0000	6.3667	290.9 4	677.6	
87 1 114 270.0000	6.5000	291.0 4	691.4	Stability class
87 1 115 270.0000	6.3000	290.6 4	670.2	
87 1 116 273.8000	6.4333	289.8 4	684.0	Αστικό και αγροτικό ύψος ανάμειξης (m)
87 1 117 270.0000	6.3667	288.6 4	677.6	
87 1 118 270.0000	6.1667	287.7 4	656.3	
87 1 119 273.8000	6.9667	287.5 4	741.4	
87 1 120 277.5000	6.9667	287.5 4	741.4	
87 1 121 232.5000	6.1500	286.3 4	654.2	
87 1 122 221.3000	6.8000	286.4 4	723.4	
87 1 123 225.0000	6.7333	286.0 4	715.9	
87 1 124 213.8000	6.8000	286.2 4	723.4	

Εικόνα 12: Εισαγωγή μετεωρολογικών δεδομένων στο αρχείο του ISC3

Έπειτα δημιουργείται το αρχείο Deptest.INP. Περιέχει τις εξής παραμέτρους: το ύψος του αποδέκτη (1,5 m), το ύψος του μετεωρολογικού σταθμού (15 m) και τις αποστάσεις του αποδέκτη από την πηγή (ορίστηκαν αποστάσεις από 0 έως 10000 m). Εισάγονται επίσης για κάθε πλοίο το ύψος απελευθέρωσης των εκπομπών και τέλος ο ρυθμός εκπομπής κάθε ρύπου, τα οποία διαφέρουν από πλοίο σε πλοίο. Ο ρυθμός εκπομπής, το ύψος απελευθέρωσης, η ταχύτητα εξόδου των ρύπων η θερμοκρασία, η διάμετρος καμινάδας, εισάγονται για κάθε πλοίο ξεχωριστά (STACK1, STACK2 κτλ). Πρόκειται για δεδομένα που αντλήθηκαν βιβλιογραφικά. Επίσης τα κτήρια ανάμεσα στα πλοία (σημειακές πηγές) δεν λήφθηκαν υπόψη.

```

CO STARTING
TITLEONE | A PROJECT for the ISCST Model | ➡ Τίτλος εισαγωγής από το χρήστη
MODELOPT | URBAN CONC | ➡ Βρισκόμαστε σε αστική περιοχή και επιθυμούμε
συγκεντρώσεις
AVERTIME | 24 | ➡ Η χρονική διάρκεια στην οποία θα γίνουν οι επιθυμητοί υπολογισμοί
POLLUTID | CO | ➡ Ο ρύπος για τον οποίο θα γίνουν οι υπολογισμοί
RUNORNOT | RUN | ➡ Με την επιλογή RUN ορίζουμε ότι θέλουμε να γίνουν οι υπολογισμοί
FLAGPOLE | 1.5 | ➡ Το ύψος του αποδέκτη
CO FINISHED

```

Εικόνα 13: Παράδειγμα εντολών CO (Επιλογές ελέγχου)

```

SO STARTING
LOCATION STACK1 POINT 0.0 0.0 0.0
** Point Source      QS   HS   TS   VS   DS
** Parameters:      ----
SRCPARAM STACK1 1.00 35.0 432. 11.7 2.4
SRCGROUP ALL
SO FINISHED

```

QS: Ρυθμός εκπομπής των ρύπων (gr/sec)
 HS: Ύψος απελευθέρωσης από τη πηγή (m)
 TS: Θερμοκρασία εξόδου ρύπων (K)
 VS: Ταχύτητα εξόδου (m/s)
 DS: Διάμετρος καμινάδας (m)

Εικόνα 14: Παράδειγμα εντολών SO (Επιλογές πηγής)

```

RE STARTING
GRIDPOLR POL1 STA
POL1 ORIG 10 0 0 | ➡ Η αρχή των συντεταγμένων για ορισμό πολικού
POL1 DIST 100 200 300 500 1000 | ➡ Οι αποδεκτές αποστάσεις που
POL1 GDIR 36. 10. 10. | ➡ ορίσαμε
POL1 END
RE FINISHED

```

36 διευθύνσεις που κατευθύνονται
αριστερόστροφα

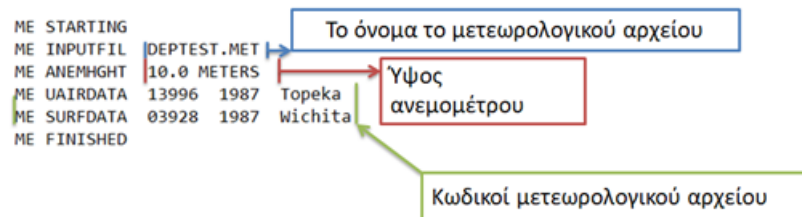
Εικόνα 15: Παράδειγμα εντολών RE (Πληροφορίες Αποδέκτη, Πολικό σύστημα)

```

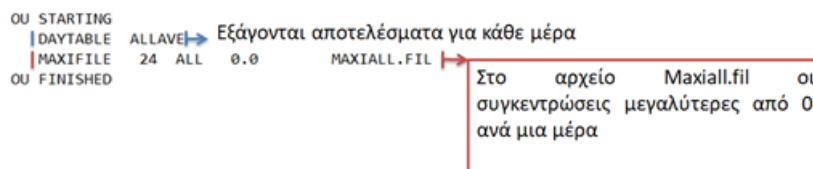
RE STARTING
RE GRIDCART CAR1 STA
RE GRIDCART CAR1 XPNTS -500. -400. -200. -100. 100. 200. 400. 500.
RE GRIDCART CAR1 YPNTS -500. -400. -200. -100. 100. 200. 400. 500.
RE GRIDCART CAR1 END
RE FINISHED

```

Εικόνα 16: Παράδειγμα εντολών RE (Πληροφορίες Αποδέκτη, Καρτεσιανό σύστημα)



Εικόνα 17: Παράδειγμα εντολών ME (Πληροφορίες για τα μετεωρολογικά)



Εικόνα 18: Παράδειγμα εντολών OU (Επιλογές εξόδου)

Εισάγονται οι συντεταγμένες το ύψος ανεμόμετρου το όνομα και οι κωδικοί του μετεωρολογικού αρχείου και το όνομα αρχείου που θα δημιουργηθεί. Το μοντέλο εκτελείται και τα αποτελέσματα υπάρχουν στο αρχείο Maxial. Περιλαμβάνονται οι συγκεντρώσεις του ρύπου ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) σε καρτεσιανές συντεταγμένες.

```
* ISCST3 (02035): A PROJECT for the ISCST Model WINTER
* MODELING OPTIONS USED :
* CONC          URBAN FLAT FLGPOL DFAULT
                MAXI-FILE FOR 24-HR VALUES >= A THRESHOLD OF      0.000
*               FOR SOURCE GROUP: ALL
*               FORMAT: (1X,I3,1X,A8,1X,I8.8,2(1X,F13.5),2(1X,F7.2),1X,F13.5)
*AVE  GRP  DATE      X          Y          ELEV  FLAG  AVERAGE CONC
*-----
```

24	ALL	21010124	14.45672	85.34896	0.00	1.50	0.00236
24	ALL	21010124	38.89345	95.65674	0.00	1.50	0.00000
24	ALL	21010124	52.76567	234.76564	0.00	1.50	0.00453
24	ALL	21010124	134.56567	356.87812	0.00	1.50	0.00138
24	ALL	21010124	35.65674	278.76763	0.00	1.50	0.00000
24	ALL	21010124	100.00000	676.87677	0.00	1.50	0.00175
24	ALL	21010124	351.34556	458.73499	0.00	1.50	0.00046
24	ALL	21010124	200.00000	786.24776	0.00	1.50	0.00546
24	ALL	21010124	324.76567	954.67652	0.00	1.50	0.00385
24	ALL	21010124	200.00000	845.65764	0.00	1.50	0.00672
24	ALL	21010124	453.23678	534.66735	0.00	1.50	0.00000
24	ALL	21010124	138.94552	478.75213	0.00	1.50	0.34652
24	ALL	21010124	350.00000	341.29524	0.00	1.50	0.00547
24	ALL	21010124	600.00000	582.34534	0.00	1.50	0.00783
24	ALL	21010124	432.55433	749.54322	0.00	1.50	0.22643
24	ALL	21010124	83.95459	128.78753	0.00	1.50	0.00000
24	ALL	21010124	61.76785	41.65565	0.00	1.50	0.00534

Εικόνα 19: Παράδειγμα αποτελεσμάτων αρχείου Maxial

Κεφάλαιο 6^ο: Εισαγωγή δεδομένων στο ISC3 και τελικά αποτελέσματα

6.1 Μετεωρολογικά δεδομένα

«Μετεωρολογία» καλείται η επιστήμη που μελετά την ατμόσφαιρα και τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα σε αυτή. Για την ποσοτική ανάλυση των φαινομένων αυτών χρησιμοποιούνται διάφοροι δείκτες όπως η θερμοκρασία, το ποσοστό υγρασίας, η ταχύτητα του ανέμου, η νέφωση, η βροχόπτωση. Τα παραπάνω στοιχεία αποτελούν τα «μετεωρολογικά στοιχεία». Οι μετρήσεις αυτών γίνεται σε συγκεκριμένους σταθμούς (μετεωρολογικούς σταθμούς).

6.2.3 Υπολογισμός Θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία στα δεδομένα ήταν σε βαθμούς Κελσίου. Για τη μετατροπή σε Kelvin χρησιμοποιήθηκε η σχέση $K = 273,15 + ^\circ C$, προκειμένου να εισαχθούν στο μοντέλο.

6.2.4 Υπολογισμός Κλάσης ευστάθειας

Για τον υπολογισμό της κλάσης ευστάθειας λαμβάνονται δεδομένα της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα. Οι τιμές νέφωσης τη νύκτα εκτιμήθηκαν με βάση την εποχή και το μήνα. Σύμφωνα με το πίνακα Pasquill οι τιμές ακτινοβολίας νέφωσης και ταχύτητας ανέμου προσδιορίζουν τη κλάση ευστάθειας.

Ταχύτητα Ανέμου ($m s^{-1}$)	Ηλιακή Ακτινοβολία Ημέρα ($W m^{-2}$)				Μια ώρα μετά την ανατολή του Ηλίου	Νέφωση νύχτας (oktas)		
	Δυνατή (>600)	Μέτρια (300- 600)	Ελάχιστη (<300)	Νεφελώδης		0-3	4-7	8
≤ 2,0	A	A	B	C	D	F	F	D
2,0- 3,0	A	B	C	C	D	F	E	D
3,0-5,0	B	B	C	C	D	E	D	D
5,0-6,0	C	C	D	D	D	D	D	D
>6,0	C	D	D	D	D	D	D	D

Πίνακας 29: Πίνακας κλάσης ευστάθειας

Μήνας	Νέφωση (oktas)	Μήνας	Νέφωση (oktas)
Ιανουάριος	4-7	Ιούλιος	0-3
Φεβρουάριος	4-7	Αύγουστος	0-3
Μάρτιος	4-7	Σεπτέμβριος	0-3
Απρίλιος	4-7	Οκτώβριος	4-7
Μάιος	0-3	Νοέμβριος	4-7
Ιούνιος	0-3	Δεκέμβριος	4-7

Πίνακας 30: Πίνακας νέφωσης ανάλογα με το μήνα

Κλάσεις ευστάθειας

Εισαγωγή στο μοντέλο

A→ Πολύ ασταθείς συνθήκες
B→ Μέτρια ασταθείς συνθήκες
C→Ελαφρώς ασταθείς συνθήκες
D→ Ουδέτερες συνθήκες
E→ Ελαφρώς ευσταθείς συνθήκες
F→Μέτρια ευσταθείς συνθήκες

1
2
3
4
5
6

Πίνακας 31: Μετάφραση κλάσεων ευστάθειας για την είσοδο τους στο ISC3

6.2.5 Εκτίμηση ύψους ανάμιξης

Για τον υπολογισμό του ύψους ανάμιξης χρησιμοποιούνται οι παρακάτω σταθερές

Κλάση Ευστάθειας	Περιγραφή Ατμοσφαιρικών Συνθηκών	Τιμή Συντελεστών	
		a	b
A	Εξαιρετικά ασταθείς	-0,096	0,029
B	Μέτρια ασταθείς	-0,037	0,029
C	Ελαφρώς ασταθείς	-0,002	0,018
D	Ουδέτερες	0	0
E	Ελαφρώς ευσταθείς	0,004	-0,018
F	Μέτρια ευσταθείς	0,035	-0,036

Πίνακας 32: Τιμές συντελεστών a,b ανάλογα τη κλάση ευστάθειας (Παπαναστασίου, 2007)

Επίσης χρησιμοποιείται το μήκος τραχύτητας με βάση τη φυτοκάλυψη.

Κατηγορία Χρήσης γης	Εδαφοκάλυψη	Μήκος τραχύτητας			
		Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Χειμώνας
Ύδατα	Υδάτινα σώματα	0,001	0,001	0,001	0,001
Φυλλοβόλο Δάσος	Δάσος	1	1,3	0,8	0,5
Κωνοφόρο Δάσος	Δάσος	1,3	1,3	1,3	1,3
Βάλτος	Βάλτος	0,2	0,2	0,2	0,05
Καλλιεργήσιμη Έκταση	Αγροτική Έκταση	0,03	0,2	0,05	0,01
Λιβάδι	Βοσκότοποι	0,05	0,1	0,01	0,001
Αστική Έκταση	Δομημένες Εκτάσεις	1	1	1	1
Θαμνότοποι /έρημοι	Λίγη έως καθόλου βλάστηση	0,3	0,3	0,3	0,15

Πίνακας 33: Μήκος τραχύτητας Z_0 ανάλογα την εδαφοκάλυψη

Για το λιμάνι του Πειραιά επιλέχθηκε $Z_0 = 1$ (Αστική περιοχή)

6.2.6 Υπολογισμός μήκους Monin-Obukhov, παραμέτρου Ψ_m και ταχύτητας τριβής

i) Υπολογισμός μήκους Monin-Obukhov

Το μήκος Monin-Obukhov υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση (Παπαναστασίου, 2007) Όπου a και b οι συντελεστές εξαρτώμενοι από τη κλάση ευστάθειας και Z_0 το μήκος τραχύτητας. (Παπαναστασίου, 2007)

$$\frac{1}{L} = a + b \times \log z_0 \quad (6.1)$$

Έπειτα υπολογίζεται η παράμετρος Ψ_m . Η συγκεκριμένη παράμετρος εξαρτάται από την κλάση ευστάθειας και υπολογίζεται από τους παρακάτω τύπους. (Fatoogoma και Jacko ,2002)

ii) Η παράμετρος Ψ_m

- Για τις συνθήκες A,B,C ισχύουν οι παρακάτω τύποι :

$$\Psi_m\{z/L\}=2 \times \ln\left(\frac{1+x}{2}\right) + \ln\left(\frac{1+x^2}{2}\right) - 2 \times \tan^{-1}x + \frac{\pi}{2} \quad (6.2)$$

$$\Psi_m[Z_0/L]=2 \times \ln\left(\frac{1+x_0}{2}\right) + \ln\left(\frac{1+x_0^2}{2}\right) - 2 \times \tan^{-1}x_0 + \frac{\pi}{2} \quad (6.3)$$

$$\text{Όπου } x = \left(1 - 16 \times \left(\frac{z}{L}\right)^{1.4}\right) \text{ και } x_0 = \left(1 - 16 \times \left(\frac{z_0}{L}\right)^{1.4}\right) \quad (6.4)$$

- Για τις συνθήκες E, F χρησιμοποιούνται οι τύποι

$$\Psi_m\{z/L\} = -5 \times \left(\frac{z}{L}\right) \quad (6.5)$$

$$\Psi_m[Z_0/L] = -5 \times \left(\frac{z_0}{L}\right) \quad (6.6)$$

- Για τη συνθήκη D ισχύει :

$$\Psi_m\{z/L\} = 0 \quad (6.7)$$

$$\Psi_m[Z_0/L] = 0 \quad (6.8)$$

iii) Το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός της ταχύτητας τριβής από τη παρακάτω εξίσωση (Fatogoma και Jacko)

$$U^* = \frac{0.4xu}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right) - \Psi_m\left\{\frac{z}{L}\right\} + \Psi_m\left\{\frac{z_0}{L}\right\}} \quad (6.9)$$

Όπου u είναι η ταχύτητα του ανέμου σε (m/s) και Ψ_m οι παράμετροι που υπολογίστηκαν προηγουμένως.

Τέλος υπολογίζεται η δύναμη Coriolis από τον παρακάτω τύπο (Λαζαρίδης, 2008)

$$F = 2 \times \Omega \times \sin\varphi \quad (6.10)$$

Όπου: Ω είναι η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της Γης (7.268×10^{-5} rad/sec)

φ είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής που μελετάμε 37.94°

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω εξισώσεις υπολογίζεται το ύψος ανάμιξης από τους παρακάτω τύπους. Το ύψος ανάμιξης εξαρτάται από την κλάση ευστάθειας.

$$\text{Για τις συνθήκες E, F ο τύπος είναι } h = 0.4 \times \left(\frac{UxL}{F}\right)^{0.5} \quad (6.11)$$

$$\text{Για τη συνθήκη D ο τύπος είναι } h = 0.17 \times \left(\frac{U}{F}\right) \quad (6.12)$$

$$\text{Για τις συνθήκες A, B, C ο τύπος είναι } h = (0.4) \times (-L) \times \frac{1}{0.6} \times ((1.3x(1-3x\frac{z}{L})))^3 \quad (6.13)$$

Όπου :

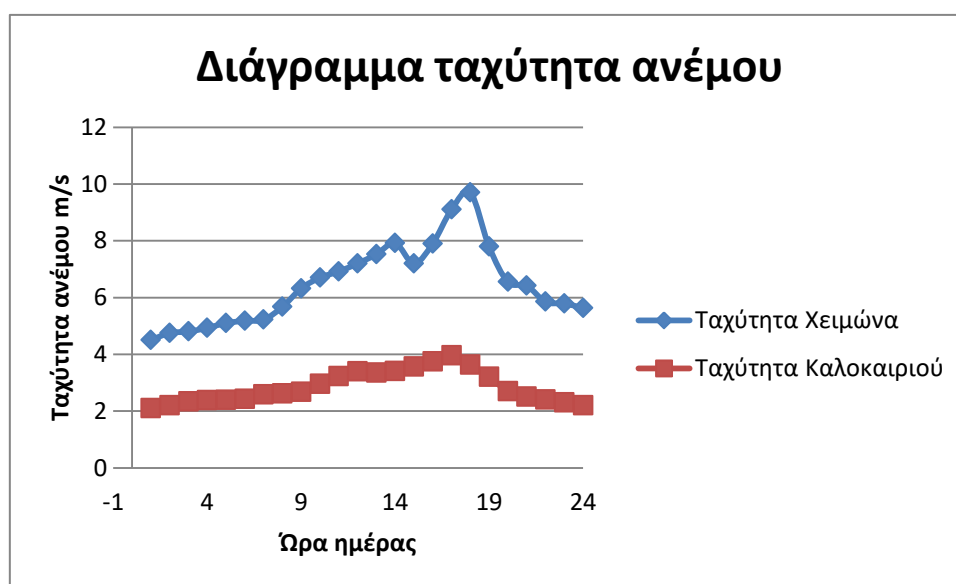
- L είναι το μήκος Monin-Obukhov (m)
- F είναι η Coriolis δύναμη (s^{-1})
- U είναι η ταχύτητα τριβής (m/s)
- z είναι το μήκος του ανεμόμετρου (m)

6.3 Μετεωρολογικά αποτελέσματα

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία επεξεργασίας των μετεωρολογικών δεδομένων, εισάγονται στο αρχείο DEPTSET.met. Τα αποτελέσματα θα είναι σε ωριαία βάση οπότε πρέπει να υπάρχει μία τιμή δεδομένων ανά ώρα. Τα δεδομένα είναι για τη διάρκεια μιας μέρας για κάθε μέγεθος που αναφέρθηκε προηγουμένως. Το ISC3 στη παρούσα εργασία υπολογίζει εκπομπές για κάθε ώρα της μέρας παράγοντας ημερήσια αποτελέσματα συγκεντρώσεων των ρύπων. Στο μετεωρολογικό αρχείο εισάγεται για κάθε ώρα της μέρας, μια τιμή που προκύπτει από το μέσο όρο των δεδομένων της ίδιας ώρας όλων των ημερών για όλους τους μήνες. Αυτό γίνεται και για τις 24 ώρες της μέρας. Έτσι δημιουργείται για κάθε παράμετρο ένα μέσο ημερήσιο μετεωρολογικό αρχείο για κάθε μηνά.

6.3.1 Αποτελέσματα Ανέμου

Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει τις ταχύτητες του ανέμου (m/s) μιας μέσης μέρας του καλοκαιριού και του χειμώνα στο Πειραιά.

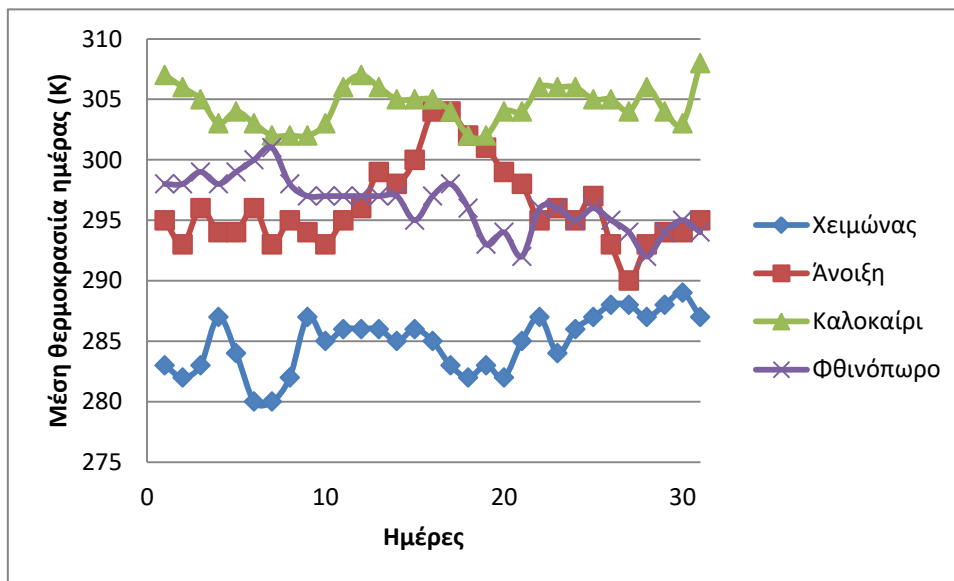


Διάγραμμα 21: Διάγραμμα ταχύτητας ανέμου

Παρατηρούμε ότι το καλοκαίρι οι ταχύτητες είναι μεγαλύτερες, ενώ και στα δύο διαγράμματα φαίνεται ότι η ταχύτητα του ανέμου αρχίζει να αυξάνεται μετά τις 14:00 ενώ αργά το απόγευμα πιάνουν τα μέγιστα. Έπειτα η ταχύτητα μικραίνει.

6.3.2 Αποτελέσματα θερμοκρασιών

Για την θερμοκρασία, αφού μετατράπηκαν οι τιμές από βαθμούς Κελσίου (°C) σε Κέλβιν (K) το διάγραμμα που προκύπτει είναι το εξής:

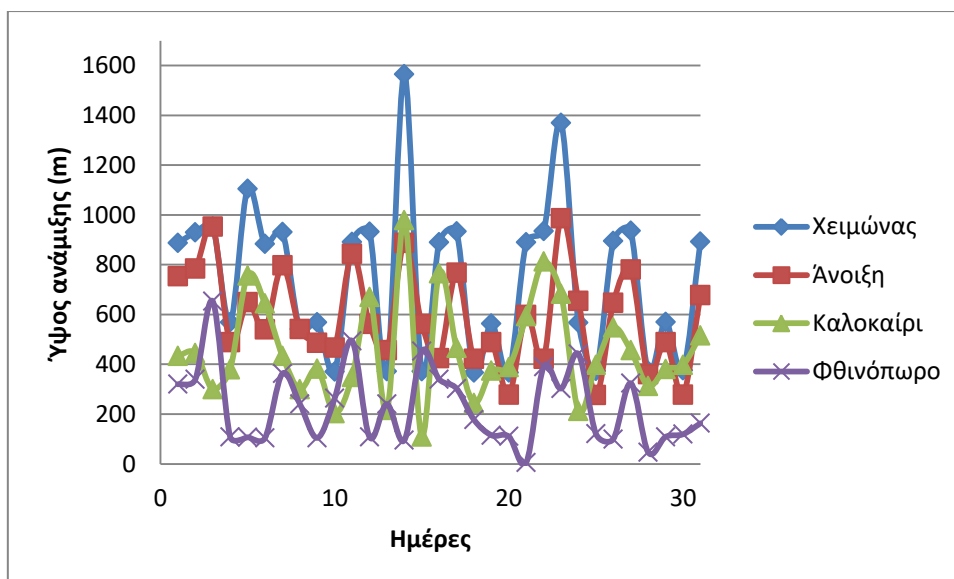


Διάγραμμα 22: Διάγραμμα Θερμοκρασίας

Όπως ήταν αναμενόμενο, οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες παρατηρούνται το καλοκαίρι και οι χαμηλότερες το χειμώνα με μεγάλη διακύμανση. Υψηλές θερμοκρασίες παρατηρούνται και την άνοιξη ενώ η θερμοκρασία το φθινόπωρο αρχίζει και πέφτει.

6.3.3 Ύψος ανάμιξης

«Ύψος ανάμιξης» καλείται το ύψος, το οποίο ξεκινά από την επιφάνεια της γης μέχρι το ύψος που υπάρχει πλήρης ανάμιξη των ρύπων λόγω των εκάστοτε ατμοσφαιρικών συνθηκών. Συγκεκριμένα, έχει επίδραση στην αραίωση των ρύπων και κατ' επέκταση και στη συγκέντρωσή τους. Όταν το ύψος ανάμιξης είναι μικρό τότε οι ρύποι συγκεντρώνονται σε χαμηλό υψόμετρο και εκεί μεγιστοποιείται η συγκέντρωσή τους. Παρατηρείται ότι την εποχή του καλοκαιριού και του φθινοπώρου το ύψος ανάμιξης λαμβάνει τις ελάχιστες τιμές του. Η μεταβολή αυτή συμβάλλει στο να διατηρούνται οι ρύποι σε χαμηλό υψόμετρο, οπότε και η συγκέντρωσή των ρύπων το καλοκαίρι και το φθινόπωρο αναμένεται να είναι οι μεγαλύτερες συγκριτικά με τις άλλες δυο εποχές.



Διάγραμμα 23: Διάγραμμα ύψους ανάμιξης

6.4 Αποτελέσματα μοντέλου ISC3

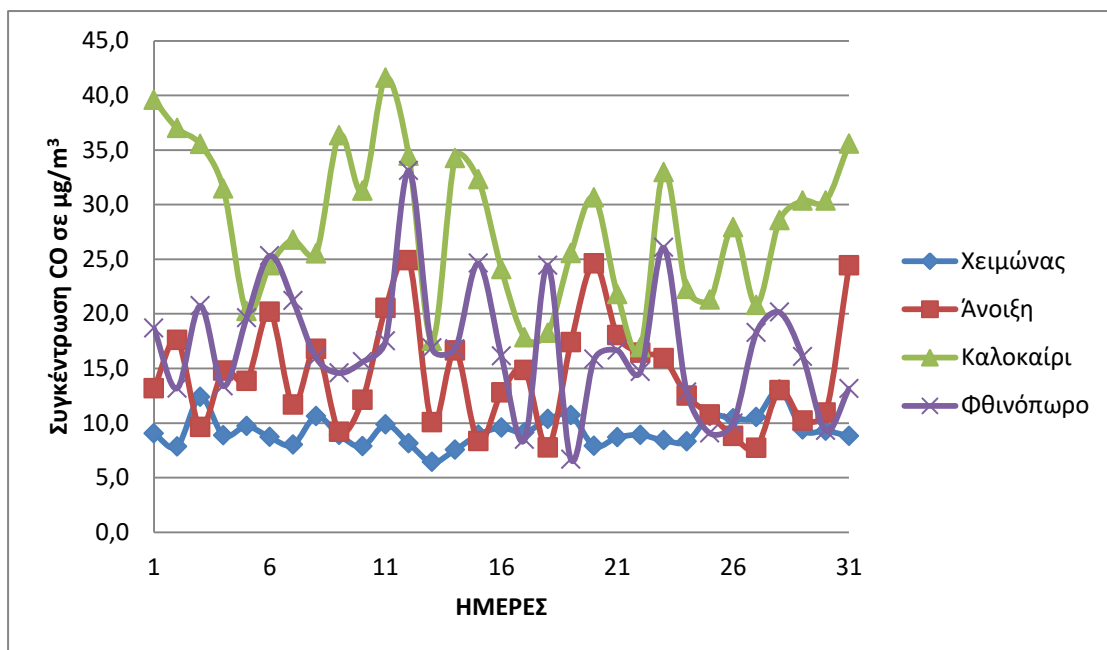
Μετά την εισαγωγή των δεδομένων, αντλούνται τα αποτελέσματα συγκεντρώσεων για κάθε ρύπο ξεχωριστά. Το μοντέλο το χρησιμοποιήσαμε για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης των ρύπων AS_{10} , NO_x , SO_2 , CO . Ακολουθούν τα διαγράμματα των αποτελεσμάτων ανά ρύπο και εποχή.

Αποτελέσματα CO

	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
1	9,0	13,2	39,6	18,7
2	7,8	17,6	37,0	13,2
3	12,4	9,6	35,5	20,7
4	8,9	14,8	31,4	13,4
5	9,7	13,9	20,2	19,6
6	8,7	20,2	24,4	25,3
7	8,0	11,7	26,8	21,2
8	10,6	16,8	25,5	16,0
9	8,9	9,2	36,3	14,6
10	7,9	12,1	31,3	15,6
11	9,9	20,5	41,6	17,5
12	8,1	24,9	34,4	33,1
13	6,4	10,1	17,5	16,9
14	7,5	16,6	34,2	16,8
15	8,9	8,3	32,3	24,6
16	9,6	12,8	24,1	16,1
17	9,1	14,8	17,8	8,5
18	10,3	7,8	18,2	24,4
19	10,7	17,4	25,5	6,7
20	7,9	24,6	30,6	15,8
21	8,7	18,0	21,8	16,7
22	8,9	16,4	16,9	14,7
23	8,4	15,9	33,0	26,1
24	8,3	12,5	22,2	12,8

25	10,6	10,8	21,3	9,1
26	10,4	8,8	27,9	10,0
27	10,5	7,7	20,8	18,3
28	13,1	13,0	28,6	20,1
29	9,4	10,2	30,4	16,1
30	9,3	10,9	30,3	9,3
31	8,8	24,4	35,6	13,2

Πίνακας 34: Τα αποτελέσματα για το CO



Διάγραμμα 24: Η συγκέντρωση του CO ανά εποχή

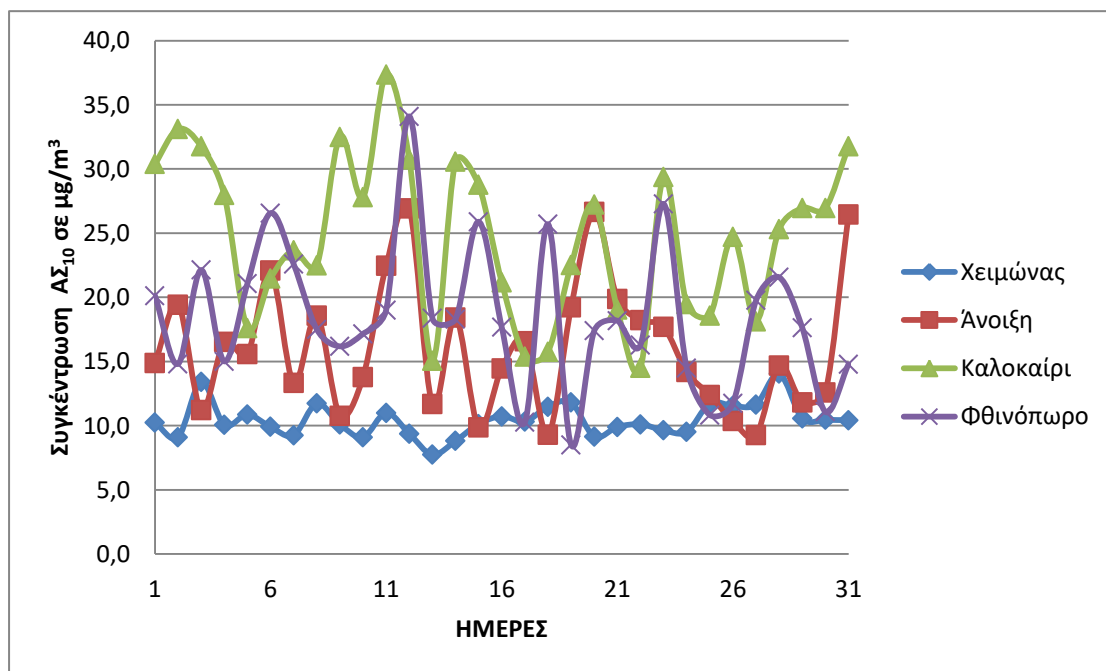
Η μέγιστη συγκέντρωση ($41,59 \mu\text{g}/\text{m}^3$) παρατηρείται το καλοκαίρι. Η μέγιστη τιμή που υπολογίστηκε είναι πολύ μικρότερη από τα όρια της Ε.Ε. (θεσμοθετημένο όριο: $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ ανά οκτάωρο). Παρατηρείται επίσης, ότι οι μετεωρολογικές συνθήκες και κυρίως το ύψος ανάμιξης έχει άμεση επίδραση στις συγκεντρώσεις των ρύπων.

Αποτελέσματα ΑΣ₁₀

	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινοπώρο
1	11,3	14,6	34,7	22,1
2	9,1	19,0	33,1	16,2
3	17,5	11,0	31,8	24,2
4	11,0	16,2	28,0	16,6
5	12,5	15,3	17,6	23,3
6	10,7	21,6	21,4	29,5
7	9,4	13,1	23,6	25,1
8	14,2	18,2	22,5	19,4
9	11,0	10,6	32,5	17,9
10	9,1	13,5	27,8	19,1
11	12,8	22,0	39,2	21,2
12	9,6	26,3	30,7	37,9
13	6,5	11,5	15,0	20,3
14	8,5	18,1	30,6	20,5

15	11,1	9,8	28,8	28,9
16	12,3	14,2	21,1	19,6
17	11,5	16,3	15,3	11,4
18	13,7	9,2	15,7	28,2
19	14,4	18,8	22,5	9,3
20	9,2	26,0	27,2	19,0
21	10,6	19,5	19,0	20,0
22	11,0	17,9	14,5	17,9
23	10,1	17,4	29,4	30,3
24	9,9	13,9	19,4	16,0
25	14,2	12,2	18,5	12,0
26	13,8	10,2	24,7	12,9
27	14,1	9,2	18,1	21,7
28	18,7	14,4	25,3	23,8
29	11,9	11,6	27,0	19,5
30	11,7	12,4	26,9	12,1
31	12,9	25,9	31,8	16,2

Πίνακας 35: Τα αποτελέσματα για τα ΑΣ₁₀



Διάγραμμα 25: Οι συγκεντρώσεις των ΑΣ₁₀ ανά εποχή

Η μεγαλύτερη συγκέντρωση παρατηρείται το καλοκαίρι με τιμή τα 39,2 μg/m³. Όσον αφορά τις υπερβάσεις των θεσμοθετημένων ορίων, ισχύουν τα εξής:

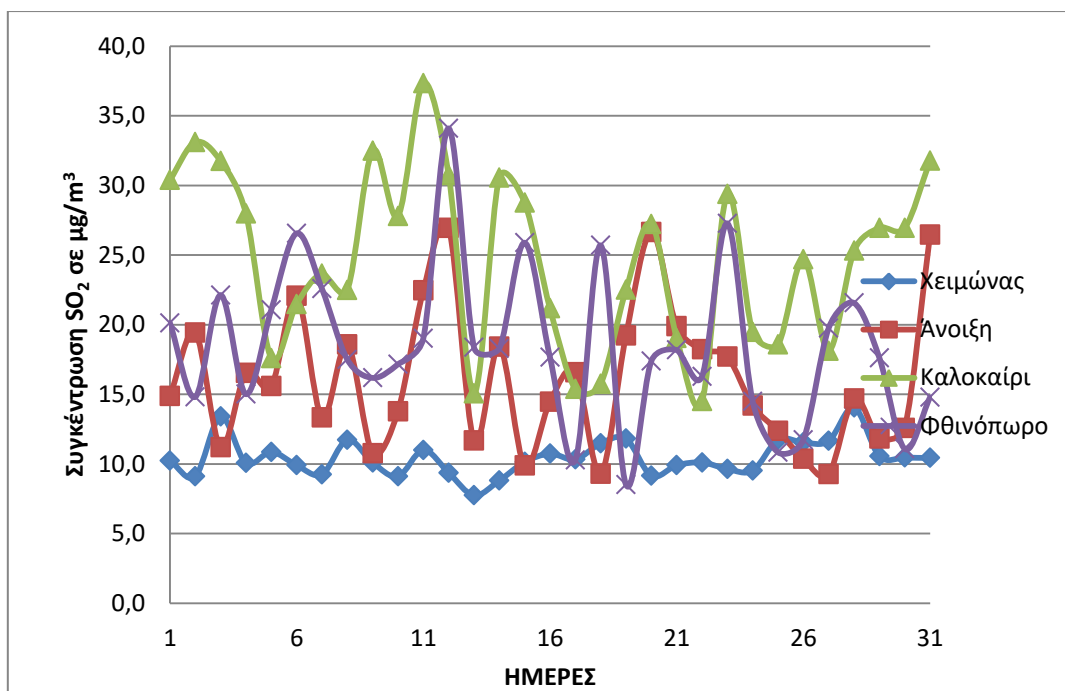
- Υπερβάσεις του ορίου μέσης ημερήσιας τιμής (50 μg/m³): Δεν παρατηρήθηκε υπέρβαση.
- Υπερβάσεις του ορίου μέσης ετήσιας τιμής (40 μg/m³): Δεν παρατηρήθηκε υπέρβαση.
- Υπερβάσεις του ανώτερου ορίου εκτίμησης (η τιμή των 35 μg/m³, δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος). Δεν παρατηρείται υπέρβαση.

- Υπέρβαση μέσης ετήσιας οριακής τιμής (28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Ο μέσος όρος συγκεντρώσεων είναι 18,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Επομένως, δεν υπάρχει υπέρβαση στο όριο.

Αποτελέσματα SO₂

	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
1	10,1	12,6	3,3	19,0
2	8,9	17,5	30,6	13,7
3	13,3	8,6	29,3	21,0
4	9,9	14,4	25,8	13,9
5	10,7	13,3	16,2	20,0
6	9,8	20,4	19,8	25,5
7	9,1	10,9	21,8	21,5
8	11,6	16,6	20,8	16,4
9	10,0	8,1	30,0	15,1
10	9,0	11,4	25,7	16,1
11	10,9	20,8	36,2	17,9
12	9,2	25,6	28,4	33,0
13	7,6	9,1	13,9	17,3
14	8,7	16,4	28,2	17,2
15	10,0	7,1	26,6	24,8
16	10,6	12,1	19,5	16,6
17	10,2	14,4	14,2	9,2
18	11,4	6,5	14,6	24,6
19	11,7	17,3	20,8	7,4
20	9,0	25,3	25,1	16,3
21	9,8	18,0	17,6	17,1
22	10,0	16,2	13,4	15,2
23	9,5	15,6	27,1	26,2
24	9,4	11,8	18,0	13,4
25	11,6	9,9	17,2	9,7
26	11,4	7,7	22,8	10,6
27	11,6	6,5	16,7	18,7
28	14,0	12,4	23,4	20,5
29	10,4	9,2	24,9	16,5
30	10,3	10,1	24,9	10,0
31	13,2	25,1	29,3	13,7

Πίνακας 36: Αποτελέσματα για το SO₂



Διάγραμμα 26: Οι συγκεντρώσεις του SO₂ ανά εποχή

Παρατηρούνται μικρές συγκεντρώσεις το χειμώνα και πολύ μεγαλύτερες το καλοκαίρι. Η μέγιστη τιμή των συγκεντρώσεων, 36,2 μg/m³. Όσον αφορά τις υπερβάσεις τον ορίων της Ε.Ε, ισχύουν τα εξής:

- Υπερβάσεις του ορίου μέσης ημερήσιας τιμής (125 μg/m³): Δεν παρατηρήθηκε υπέρβαση
- Υπερβάσεις του ανώτερου ορίου εκτίμησης: (η τιμή των 75 μg/m³ δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 3 φορές το χρόνο για κατοικημένη περιοχή): Δεν παρατηρήθηκε υπέρβαση.

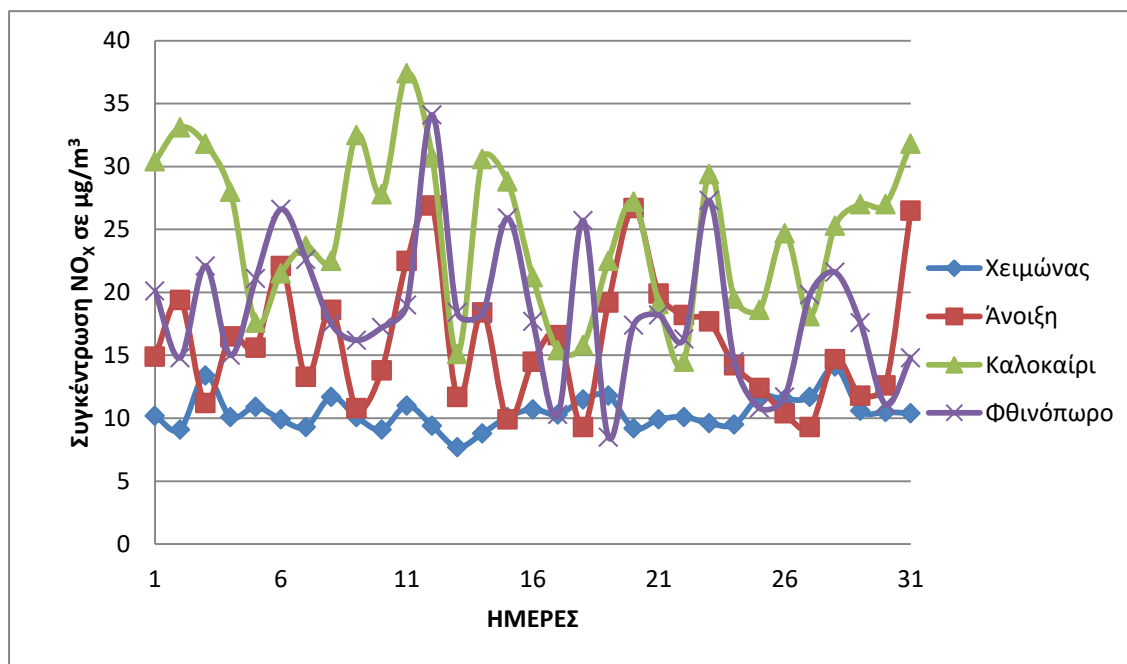
Από τα παραπάνω προκύπτει, ότι οι πολιτικές, για τα όρια στη συγκέντρωση θειικών ενώσεων, στα καύσιμα, αποδίδουν.

Αποτελέσματα NO_x

	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
1	10,2	14,9	30,4	20,1
2	9,1	19,4	33,1	14,8
3	13,4	11,2	31,8	22,1
4	10,1	16,5	28,0	15,0
5	10,9	15,6	17,6	21,1
6	9,9	22,1	21,5	26,6
7	9,3	13,3	23,7	22,6
8	11,7	18,6	22,5	17,5
9	10,1	10,8	32,5	16,2
10	9,1	13,8	27,8	17,2
11	11,0	22,5	37,4	19,0
12	9,4	26,9	30,8	34,1
13	7,7	11,7	15,1	18,4
14	8,8	18,4	30,6	18,3

15	10,1	9,9	28,8	25,9
16	10,7	14,5	21,2	17,7
17	10,3	16,6	15,4	10,3
18	11,5	9,3	15,8	25,7
19	11,8	19,2	22,5	8,5
20	9,2	26,7	27,2	17,4
21	9,9	19,9	19,1	18,2
22	10,1	18,2	14,5	16,3
23	9,6	17,7	29,4	27,3
24	9,5	14,2	19,5	14,5
25	11,7	12,4	18,6	10,8
26	11,5	10,4	24,7	11,7
27	11,7	9,3	18,1	19,8
28	14,1	14,7	25,3	21,6
29	10,6	11,8	27,0	17,6
30	10,5	12,6	27,0	11,1
31	10,4	26,5	31,8	14,8

Πίνακας 37: Τα αποτελέσματα για τα NO_x



Διάγραμμα 27: Οι συγκεντρώσεις των NO_x ανά εποχή

Η μέγιστη συγκέντρωση ισούται με 37,4 μg/m³. Όσον αφορά τα θεσμοθετημένα όρια ισχύουν τα εξής:

- Υπερβάσεις του ορίου μέσης ετήσιας τιμής (40 μg/m³): Δεν παρατηρήθηκε υπέρβαση της ετήσιας οριακής τιμής.
- Υπερβάσεις του ανώτερου ορίου εκτίμησης (η τιμή των 140 μg/m³, δεν πρέπει να υπερβαίνεται παραπάνω από 18 φορές για κατοικημένη ζώνη). Μετά από έλεγχο των αποτελεσμάτων, δεν παρατηρήθηκε καμία υπέρβαση στις τιμές αυτές.

Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται το καλοκαίρι και οι μικρότερες το χειμώνα. Γενικότερα, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις για όλους τους υπό μελέτη ρύπους εντοπίζονται το καλοκαίρι. Από αυτό το αποτέλεσμα, είναι δυνατόν να μελετηθεί η επίδραση των συνθηκών του καιρού αλλά και του κλίματος στις συγκεντρώσεις των ρύπων.

Κεφάλαιο 7^ο: Τα προγράμματα ALOHA και MARPLOT

Για την απεικόνιση της διασποράς των ατμοσφαιρικών ρύπων στην παρούσα διπλωματική εργασία, χρησιμοποιούνται τα προγράμματα ALOHA και Marplot τα οποία είναι διαθέσιμα στον ισότοπο της EPA (Υπηρεσία προστασίας περιβάλλοντος). (Πηγή λογισμικού: <https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>)

7.1 Πρόγραμμα απεικόνισης ALOHA

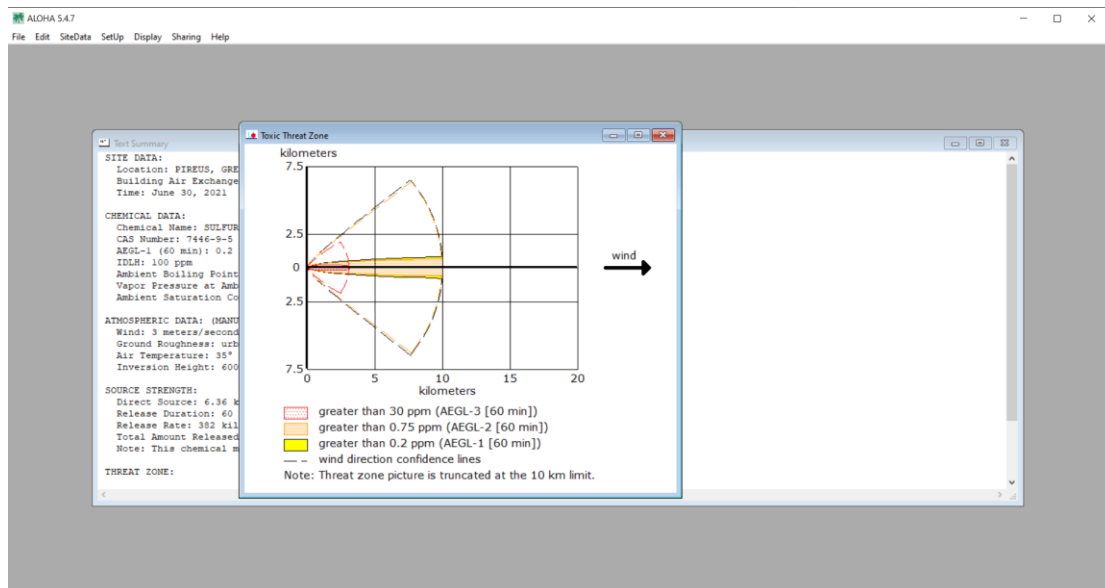
Το ALOHA (Area Locations of Hazardous Atmospheres) είναι ένα πρόγραμμα απεικόνισης διασποράς των ατμοσφαιρικών ρύπων και γενικότερων επικίνδυνων χημικών ουσιών. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα που διατίθεται δωρεάν, το οποίο βρίσκεται στην ιστοσελίδα του EPA. Στηρίζεται στη Γκαουσιανή κατανομή για να περιγράψει τη κίνηση και τη διασπορά των ρύπων.

7.1.1 Δεδομένα εισόδου

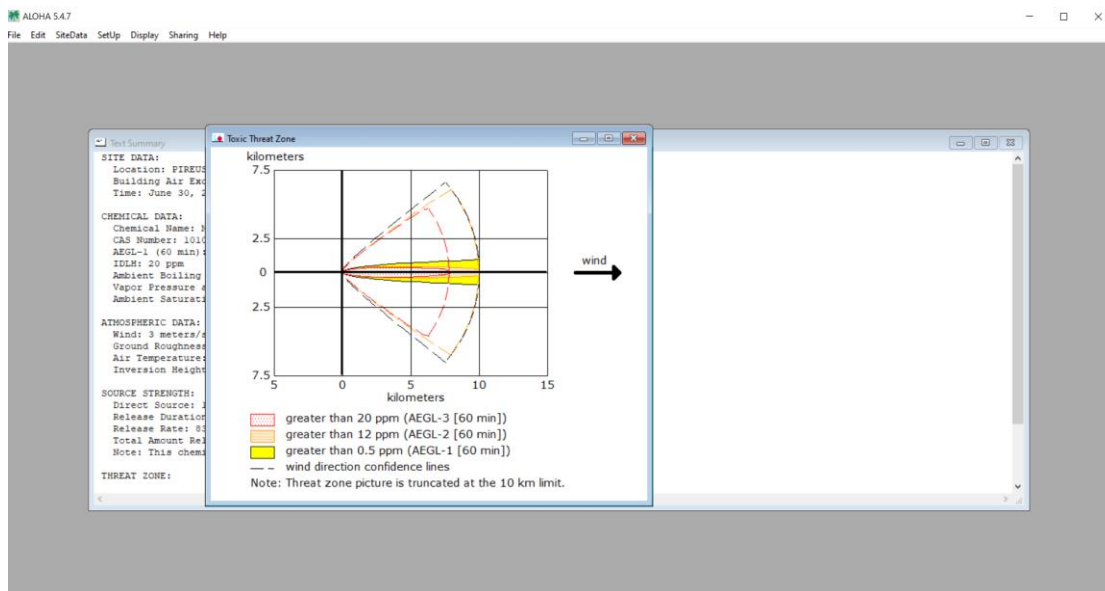
Αρχικά στο πρόγραμμα εισάγονται η ημερομηνία και ο τόπος. Ο τόπος προστέθηκε χειροκίνητα. Sitedata->location->add->select και Sitedata->date and time->constant time (τρόπος εισαγωγής τοποθεσίας και ώρας αντίστοιχα). Έπειτα, εισάγεται ο εκπεμπόμενος ρύπος από τους ήδη υπάρχοντες στο πρόγραμμα. Σε περίπτωση που η χημική ένωση δε βρίσκεται ήδη στη βιβλιοθήκη του προγράμματος εισάγεται είτε χειροκίνητα απευθείας στο πρόγραμμα, είτε από το πρόγραμμα CAMEO: Setup->chemical->select (τρόπος εισαγωγής χημικής ένωσης). Εισάγονται τα δεδομένα για τις μετεωρολογικές συνθήκες (Setup->atmospheric-user input, wind speed, wind direction, height measurement, cloud cover, air temperature) και τέλος, εισάγεται στο πρόγραμμα ο τρόπος με τον οποίο εξέρχεται ο ρύπος στο περιβάλλον: setup->source->direct. Πλέον, το πρόγραμμα μπορεί να εκτελεστεί. Ως αποτελέσματα εμφανίζει με σειρά επικινδυνότητας κόκκινες πορτοκάλι και κίτρινες περιοχές.

ι)Αποτελέσματα SO₂ και NO₂

Αρχικά λαμβάνουμε τα αποτελέσματα εκπεμπόμενης μάζας του κεφαλαίου 4 για το SO₂ και τα NO₂ (tn/year) και τα μετατρέπουμε σε kg/h. Έπειτα, εισάγουμε τα υπόλοιπα δεδομένα που αφορούν θερμοκρασία, κλάση ευστάθειας, καθώς και τη φορά του ανέμου. Στη παρούσα εργασία η φορά του ανέμου που επιλέχθηκε ήταν αυτή που πνέει κύρια στο λιμάνι του Πειραιά (NNW) βάση των δεδομένων που αντλήθηκαν από την ιστοσελίδα meteoblue.com.



Εικόνα 21: Αποτελέσματα ALOHA για το SO₂



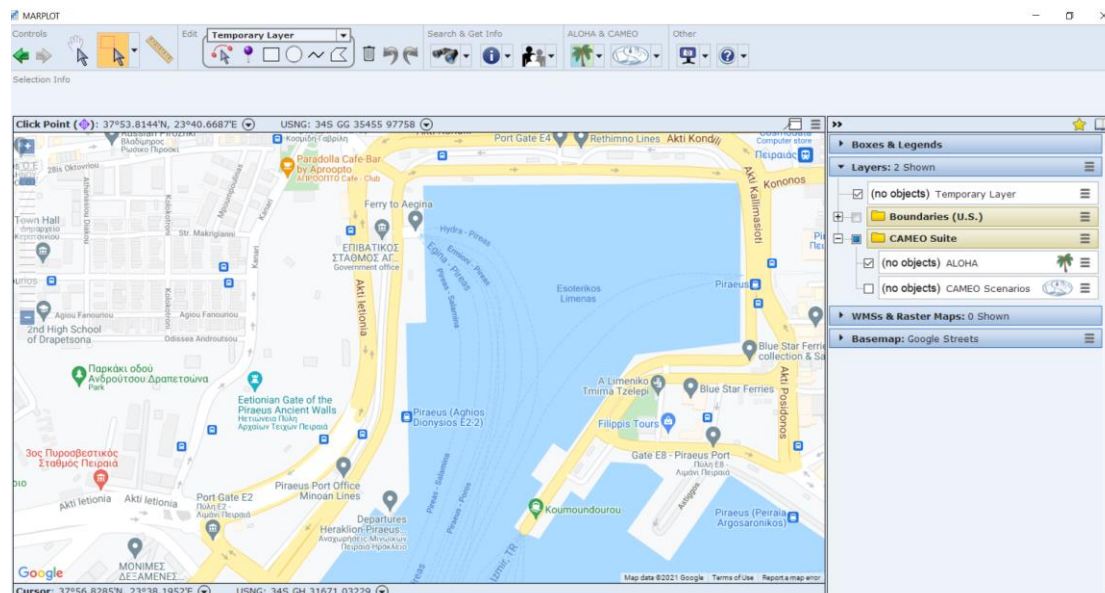
Εικόνα 22: Τα αποτελέσματα του ALOHA για το NO₂

Αξίζει να τονίσουμε ότι το Aloha δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει όρια της εκάστοτε περιοχής επικινδυνότητας.

7.2 Marplot

ΤΟ MARPLOT (Mapping Application for Response, Planning, and Local Operational Tasks) πρόκειται για ένα πρόγραμμα το οποίο αναπτύχθηκε από τις ΗΠΑ για την αντιμετώπιση των Βιομηχανικών Ατυχημάτων Μεγάλης Έκτασης. Μπορεί να δημιουργεί ζώνες ασφάλειας σε διαφορά ατυχήματα. Σε συνεργασία με το πρόγραμμα Aloha μπορεί να απεικονίζει σε χάρτες, τη διασπορά διάφορων χημικών ουσιών. Πρόκειται για ένα ελεύθερο λογισμικό το οποίο είναι διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <https://www.epa.gov/cameo/marplot-software> (<https://www.epa.gov/cameo/marplot-software>).

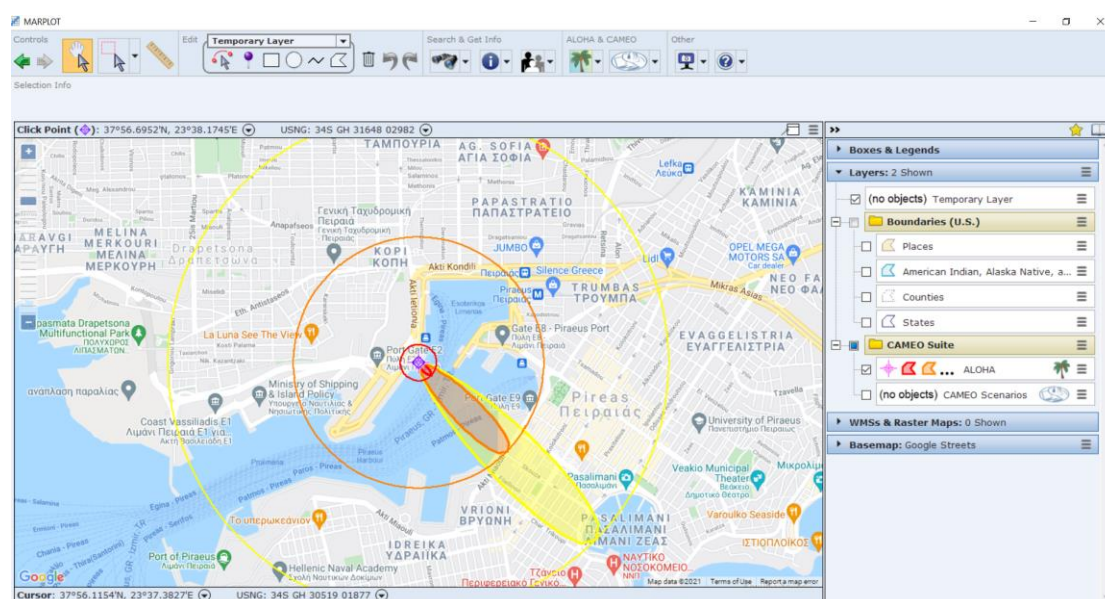
Στα αποτελέσματα που εξάγει χωρίζει τη περιοχή μελέτης σε ζώνες υψηλού, μεσαίου και χαμηλού κινδύνου, ανάλογα με την συγκέντρωση του ρύπου στην εκάστοτε ζώνη. Η ζώνη υψηλού κινδύνου απεικονίζεται με κόκκινο, μεσαίου κινδύνου με πορτοκαλί και χαμηλού κινδύνου με κίτρινο. Στις ζώνες αυτές εμφανίζονται οι μέγιστες συγκεντρώσεις του εκάστοτε ρύπου, εντός των ορίων των ζώνων αυτών



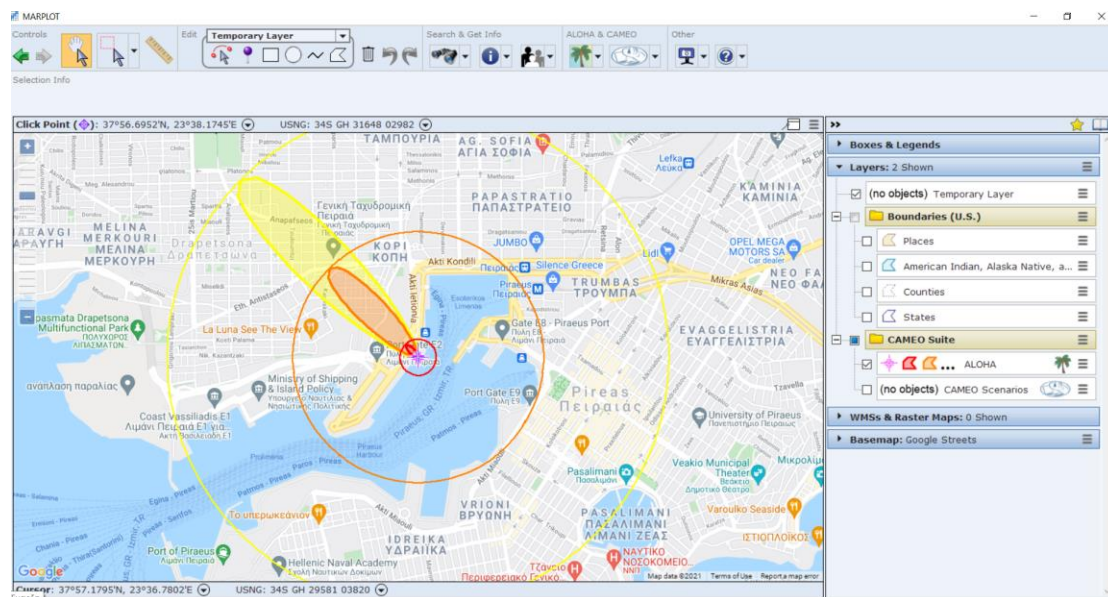
Εικόνα 23: Το περιβάλλον στο Marplot (<https://www.epa.gov/cameo/marplot-software>)

7.3 Αποτελέσματα για το SO_2

Μετά την εκτέλεση με το πρόγραμμα ALOHA, εκτελείται το Marplot, με τα δεδομένα καιρού που έχουμε εισάγει στο ALOHA. Στην παρούσα διπλωματική εκτελέστηκαν για το ρύπο SO_2 δύο σενάρια. Στο πρώτο με τους ανέμους να πνέουν νοτιοανατολικά (εικόνα 24) και στο δεύτερο σενάριο με τους ανέμους να πνέουν βορειοδυτικά (εικόνα 25), με σταθερά όλα τα υπόλοιπα δεδομένα (ποσότητα εκπεμπόμενης μάζας, θερμοκρασία, κλάση ευστάθειας υγρασίας κ.α).



Εικόνα 24: Αποτελέσματα για το SO_2 με τους ανέμους να πνέουν νοτιοανατολικά



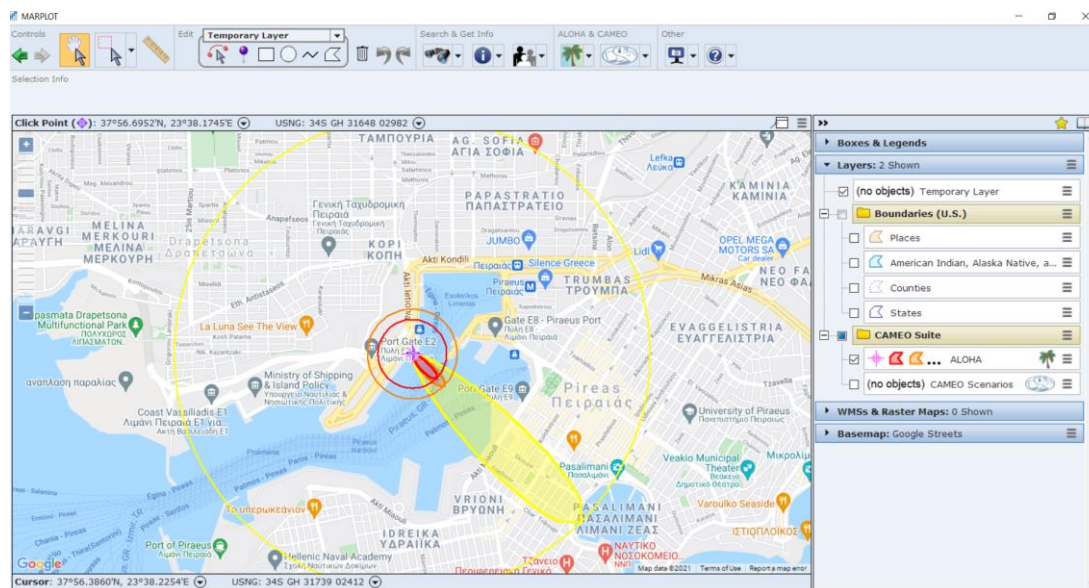
Εικόνα 25: Αποτελέσματα για το SO₂ με τους άνεμους να πνέουν βορειοδυτικά

Όπως φαίνεται στην εικόνα 24, οι εκπεμπόμενοι ρύποι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού με τις συνήθεις καταστάσεις ανέμου (νοτιοανατολικοί) κατευθύνονται προς το λιμάνι της Ζέας, της Τρούμπα και σε άλλες κοντινές περιοχές. Στη ζώνη χαμηλού κινδύνου βρίσκονται περιοχές γειτονικές στο λιμάνι του Πειραιά (Ταμπούρια, Τρούμπα, Δραπετσώνα, Αγία Σοφία κ.ά.). Όταν ο άνεμος πνέει βορειοδυτικά τότε, μεγάλη ποσότητα των ρύπων, όπως φαίνεται και στην εικόνα 25, κατευθύνεται προς Δραπετσώνα και τα Ταμπούρια, ενώ οι ζώνες χαμηλού κινδύνου είναι Περιοχές του κέντρου του Πειραιά (Τρούμπα, Αγία Σοφία κ.α)

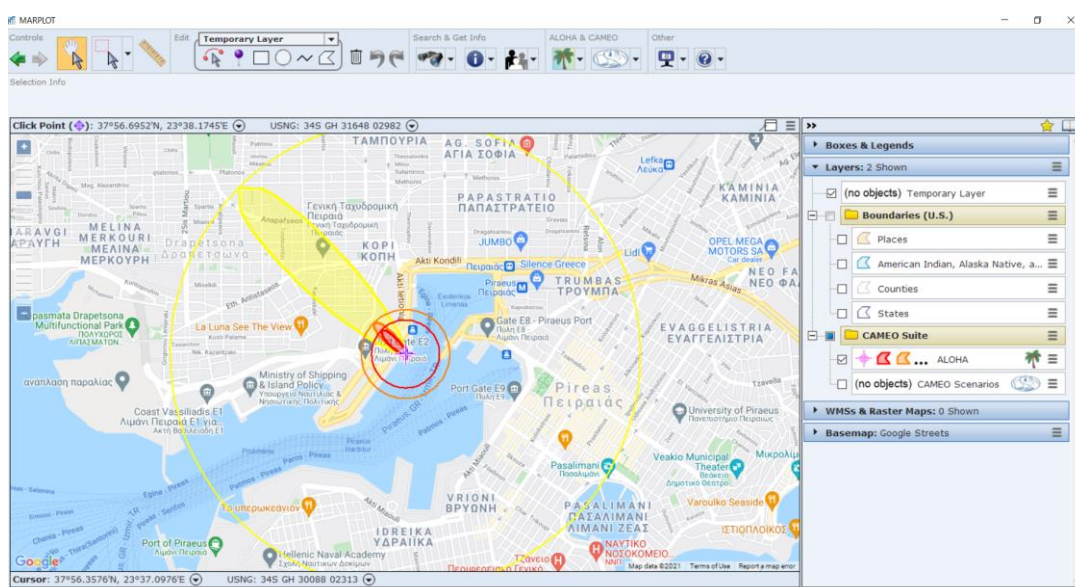
Ανάλογα με τη ζώνη κινδύνου, το οικείο το πρόγραμμα χρωματίζει τις κατάλληλες περιοχές. Στις περιοχές εντός κόκκινου χρώματος η μέγιστη συγκέντρωση του SO₂ ισούται με 43,6 μg/m³, στη περιοχή εντός πορτοκαλί χρώματος η μέγιστη συγκέντρωση ισούται με 12,97 μg/m³ και εντός κίτρινης περιοχής η μέγιστη συγκέντρωση ισούται με 7,52 μg/m³. Όπως ήταν αναμενόμενο, πολύ κοντά στο λιμάνι η συγκέντρωση ρύπων είναι αρκετά υψηλή. Θετικό κρίνεται όμως ότι στις κατοικημένες περιοχές οι συγκεντρώσεις είναι εξαιρετικά χαμηλές, που απέχουν πολύ από τα όρια της Ε.Ε.

7.3 Αποτελέσματα για το NO₂

Όσον αφορά το NO₂, μετά την εκτέλεση του ALOHA, εκτελείται και το Marplot και για δύο προαναφερθέντα σενάρια. Στο πρώτο σενάριο οι άνεμοι πνέουν νοτιοανατολικά (εικόνα 24) και στο δεύτερο οι άνεμοι πνέουν βορειοδυτικά (εικόνα 25). Τα υπόλοιπα δεδομένα όπως και στην περίπτωση του SO₂ παρέμειναν αμετάβλητα.



Εικόνα 26: Αποτελέσματα για το NO₂ όταν οι άνεμοι πνέουν νοτιοανατολικά



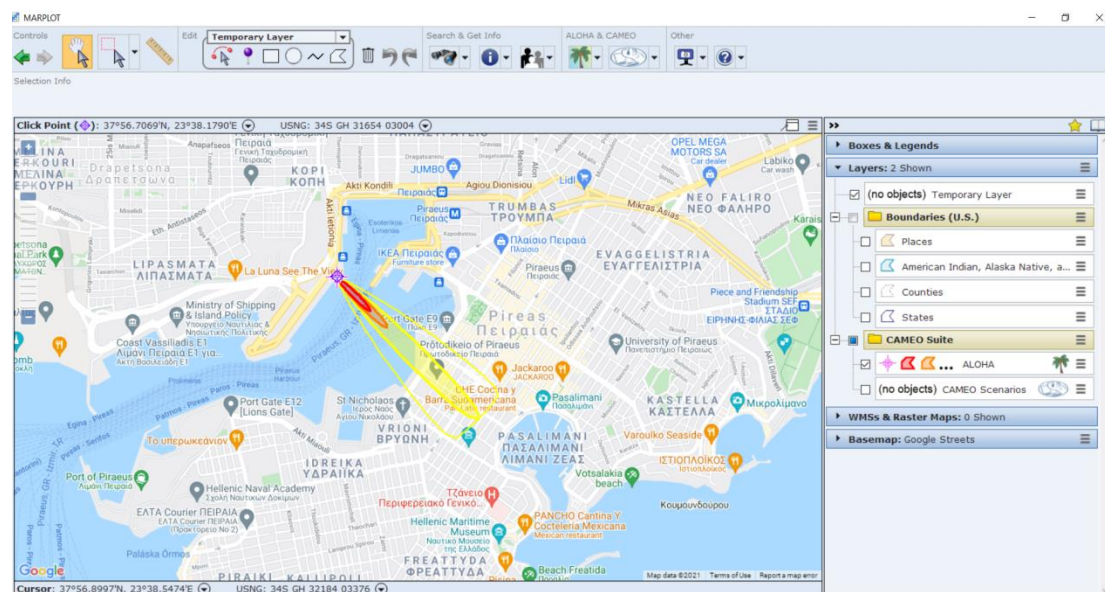
Εικόνα 27: Αποτελέσματα για το NO₂ όταν οι άνεμοι πνέουν βορειοδυτικά

Παρατηρείται ότι, όταν οι άνεμοι πνέουν νοτιοανατολικά (εικόνα 26), η μεγαλύτερη ποσότητα των ρύπων κατευθύνεται στη θάλασσα, ενώ στη περιοχή χαμηλού κινδύνου, βρίσκονται περιοχές ευρύτερες του λιμανιού και το λιμάνι της Ζέας, της Τρούμπας και της Δραπετσώνας. Όταν οι άνεμοι πνέουν βορειοδυτικά (εικόνα 27), η μεγαλύτερη ποσότητα ρύπων κατευθύνεται εντός του λιμανιού, ενώ στη ζώνη χαμηλού κινδύνου βρίσκεται η Δραπετσώνα και το Λιμάνι της Ζέας. Πρέπει να τονιστεί ότι οι μέγιστες συγκεντρώσεις του NO₂, ανά ζώνη δεν υπερβαίνουν τα όρια της Ε.Ε, σε καμία ζώνη κινδύνου, διότι στη κόκκινη περιοχή μέγιστη συγκέντρωση ισούται με 48,27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, στη πορτοκαλί περιοχή η μέγιστη συγκέντρωση ισούται με 29,13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και στη κίτρινη περιοχή η μέγιστη συγκέντρωση ισούται με 13,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Φυσικά, θα πρέπει να τονίσουμε ότι η πραγματική ρύπανση έχει μεγαλύτερες τιμές από αυτές της παρούσας διπλωματικής, καθώς δεν έχουν συνυπολογιστεί διάφοροι παράγοντες (πετρελαιοφόρα, εμπορικά πλοία, μεγάλη έκταση του λιμανιού κ.ά.).

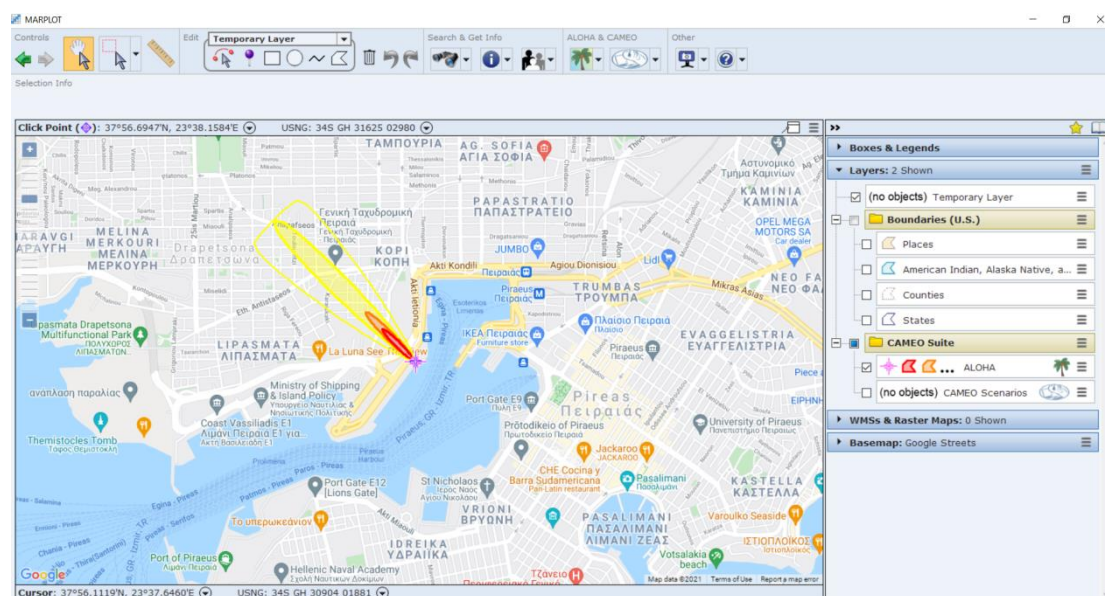
Επομένως, από τη μοντελοποίηση αυτή προκύπτει απλά μια εικόνα της διασποράς των ρύπων και όχι η πλήρης και πραγματική εικόνα της.

7.4 Αποτελέσματα για τα ΑΣ_{2,5}

Για την περίπτωση των ΑΣ_{2,5} εξετάστηκαν δύο σενάρια. Στο πρώτο σενάριο, οι άνεμοι έπνεαν νοτιοανατολικά (εικόνα 28) και στο δεύτερο σενάριο, οι άνεμοι έπνεαν βορειοδυτικά (εικόνα 29), με τα υπόλοιπα δεδομένα να παραμένουν σταθερά.



Εικόνα 28: Αποτελέσματα για τα ΑΣ_{2,5} όταν οι άνεμοι πνέουν νοτιοανατολικά



Εικόνα 29: Αποτελέσματα για τα ΑΣ_{2,5} όταν οι άνεμοι πνέουν βορειοδυτικά

Παρατηρούμε ότι όταν οι άνεμοι πνέουν νοτιοανατολικά τα ΑΣ_{2,5} (εικόνα 28) διασπείρονται μέχρι και τη περιοχή του κέντρου του Πειραιά. Στη ζώνη υψηλού

κινδύνου βρίσκονται οι περιοχές κοντά στην περιοχή εκπομπής (κοντά στο λιμάνι) και η θάλασσα. Αντίθετα, όταν πνέουν βορειοδυτικά (εικόνα 29) τα ΑΣ_{2,5} διασπείρονται κυρίως στη περιοχή των Λιπασμάτων Δραππετσώνας, (ζώνη υψηλού κινδύνου) και στην περιοχή ευρύτερη περιοχή της Δραππετσώνας (ζώνη χαμηλού κινδύνου). Στις δύο εξεταζόμενες περιπτώσεις, στη περιοχή που απεικονίζεται με κόκκινο δηλαδή τη ζώνη υψηλού κινδύνου η μέγιστη συγκέντρωση ισούται με 37,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Εντός της πορτοκαλί περιοχής, δηλαδή τη ζώνη μεσαίου κινδύνου η μέγιστη συγκέντρωση ισούται με 18,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και εντός της κίτρινης περιοχής, (ζώνη χαμηλού κινδύνου) η μέγιστη συγκέντρωση ισούται με 10,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

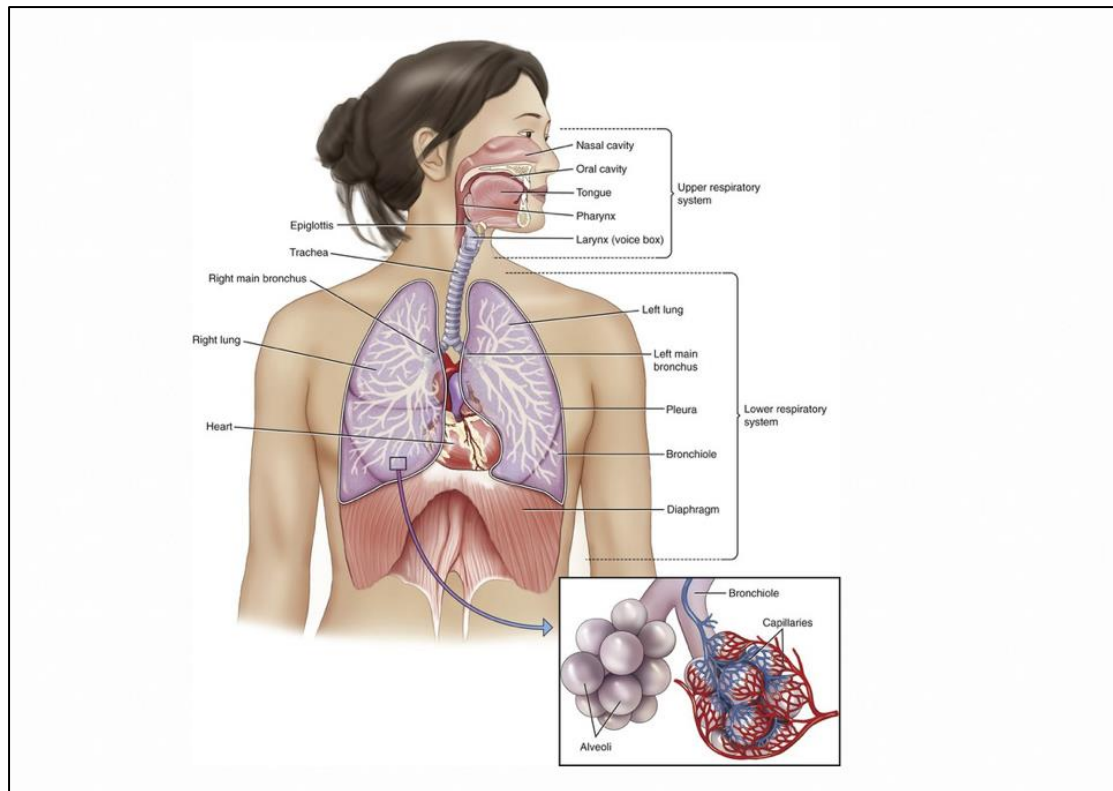
Κεφάλαιο 8^ο: Το ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα

Καθημερινά ο μέσος άνθρωπος καταναλώνει 10-20 m^3 αέρα. Συνεπώς επιτακτική είναι η ανάγκη πρόσβασης των ανθρώπων σε αέρα υψηλής ποιότητας. Δυστυχώς όμως, λόγω των ανθρώπινων και φυσικών δραστηριοτήτων στην ατμόσφαιρα συγκεντρώνονται διάφοροι ρύποι οι οποίοι υποβαθμίζουν την ποιότητα του αέρα. Διάφορες μελέτες, δείχνουν ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση δημιουργεί διάφορα προβλήματα υγείας όπως άσθμα, αλλεργίες, που επιδεινώνουν την κατάσταση της υγείας των ανθρώπων που πάσχουν από διάφορες καρδιοαναπνευστικές παθήσεις. Σύμφωνα με τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας, υφίσταται συσχέτιση μεταξύ των επιπτώσεων στην υγεία και της έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ). Είναι προφανές, ότι η ανθρώπινη υγεία εξαρτάται από την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Τα αιωρούμενα σωματίδια, λόγω των ανέμων μπορούν να μεταφέρονται σε τοποθεσίες μακρινές από τον τόπο εκπομπής τους. Αυτό οδήγησε μια σειρά από οργανισμούς, ακόμα και κυβερνήσεις διαφόρων κρατών να λάβουν μία σειρά από μέτρα για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, όπως επίσης και για τον περιορισμό του βαθμού συγκέντρωσης των ρύπων.

8.1 Το αναπνευστικό σύστημα

Οι ρύποι εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της δερματικής επαφής, της κατάποσης και της εισπνοής. Η εισπνοή είναι ο κυρίαρχος τρόπος έκθεσης σε ρύπους. Φυσικά, το κατά πόσο αυτά τα σωματίδια θα εισέλθουν στην αναπνευστική οδό ενός ατόμου, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το μέγεθος και η πυκνότητα των σωματιδίων. Η έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια αλλά και σε άλλους ρύπους μεγιστοποιείται στους εξωτερικούς χώρους, ενώ είναι ελάχιστη στους εσωτερικούς. Το αναπνευστικό σύστημα χωρίζεται στο ανώτερο και κατώτερο αναπνευστικό σύστημα. Η ανάλυση του κάθε συστήματος παρατίθεται ακολούθως.



Εικόνα 30: Το ανώτερο (upper) και κατώτερο (lower) αναπνευστικό σύστημα

8.2 Τα όργανα του αναπνευστικού συστήματος – διαδικασία αναπνοής

Το ανώτερο αναπνευστικό σύστημα αποτελείται από τους λεγόμενους «ανώτερους αεραγωγούς» που είναι η μύτη, το στόμα, ο φάρυγγας και ο λάρυγγας και έχει ως κύριο σκοπό τη μεταφορά του οξυγόνου από το περιβάλλον στους πνεύμονες. Είναι προτιμότερο να εισπνέουμε από τη μύτη και όχι από το στόμα, διότι η μύτη αποτελεί ένα φίλτρο των διάφορων επιβλαβών ουσιών που εισπνέει ο άνθρωπος. Μετά τη μύτη και το στόμα ο αέρας περνάει κατά σειρά στον φάρυγγα, στον λάρυγγα και τελικά στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα.

Το κατώτερο αναπνευστικό σύστημα βρίσκεται μέσα στο θώρακα. Στην κορυφή του βρίσκεται η επιγλωττίδα η οποία εμποδίζει την είσοδο τροφών και υγρών στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα. Η τραχεία είναι το πρώτο μέρος του κατώτερου αναπνευστικού συστήματος. Πρόκειται για τον κεντρικό και μεγαλύτερο αεραγωγό και κατευθύνει τον αέρα στους βρόγχους. Οι βρόγχοι είναι μικρότεροι αεραγωγοί που διακλαδίζονται πολλές φορές μέσα στους πνεύμονες και εξυπηρετούν τη μεταφορά οξυγόνου στις κυψελίδες. Οι κυψελίδες είναι η τελική κατάληξη των αεραγωγών. Πρόκειται για μικροσκοπικές σακοειδείς δομές που βρίσκονται βαθιά μέσα στους πνεύμονες και περιβάλλονται από ένα δίκτυο αιμοφόρων αγγείων. Εκεί το οξυγόνο που εισπνέουμε περνάει από του αεραγωγούς στο αίμα για να οξυγονώσει την αιμοσφαιρίνη των ερυθρών μας αιμοσφαιρίων. Από τις κυψελίδες, το οξυγόνο δεσμευμένο πλέον στα ερυθρά αιμοσφαίρια μεταφέρεται στην καρδιά η οποία αναλαμβάνει να το στείλει σε όλα τα μέρη του ανθρώπινου σώματος. Το διάφραγμα είναι ο κύριος αναπνευστικός μυς και είναι αρκετά ισχυρός και ακούραστος ώστε να εργάζεται ακατάπαυστα καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής μας. Για την εισπνοή αέρα, το διάφραγμα συσπάται και μετακινείται προς τα κάτω. Η κίνηση αυτή του διαφράγματος σπρώχνει την κοιλία προς τα κάτω και επιτρέπει στον θώρακα και του

πνεύμονες μας να γεμίσουν με αέρα και να εκπνυχθούν. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να εισπνεύσουμε οξυγόνο.

Το διοξείδιο του άνθρακα παράγεται στο ανθρώπινο σώμα με τις ενεργειακές καύσεις του οργανισμού μας και είναι τοξικό για τον οργανισμό. Οι πνεύμονες αναλαμβάνουν την αποβολή του διοξειδίου του άνθρακα στο περιβάλλον μέσω της εκπνοής. Το διοξείδιο του άνθρακα ακολουθεί την αντίθετη πορεία από το οξυγόνο: φτάνει στις κυψελίδες του πνεύμονα μέσω του αίματος και διαμέσου των αεραγωγών αποβάλλεται στο περιβάλλον από τη μύτη και το στόμα. Η εκπνοή είναι μια παθητική κίνηση κατά την οποία το διάφραγμα χαλαρώνει και οι πνεύμονες μας επανέρχονται στην αρχική τους θέση και μέγεθος. Αυτό προκαλεί την έξοδο αέρα από τους πνεύμονες στο περιβάλλον και την αποβολή διοξειδίου του άνθρακα. (Πηγή: <http://www.athenslung.gr/to-fysiologiko-anapnevystiko-systima/>)

8.3 Οι έννοιες της έκθεσης και της δόσης

Ως έκθεση (exposure) ορίζουμε τη συγκέντρωση του ρύπου που έρχεται σε επαφή με τον άνθρωπο σε ορισμένη χρονική περίοδο. Η επαφή γίνεται με την περιοχή του σώματος που βρίσκεται κοντά στις αναπνευστικές οδούς (στόμα και μύτη). Η ολική έκθεση (μεταξύ χρόνων t_0 και t_1) δίνεται από τη σχέση:

$$\bar{e}_i(t_0, t_1) = \int_{t_0}^{t_1} c_i(t) dt, \text{ όπου } c_i(t) \text{ είναι η συγκέντρωση και } t \text{ ο χρόνος.} \quad (8.1)$$

Ως δόση (dose) ορίζουμε την ποσότητα του ρύπου που εναποτίθεται σε διάφορα μέρη του αναπνευστικού συστήματος καθώς και σε άλλες περιοχές του σώματος σε ορισμένη χρονική περίοδο. Η δόση που δέχεται ένα συγκεκριμένο όργανο ή ένας ιστός του σώματος μπορεί να οδηγήσει σε τραυματισμό του ή σε δυσλειτουργία του.

8.4 Μηχανισμοί εναπόθεσης των ΑΣ στο αναπνευστικό σύστημα

Η εναπόθεση των σωματιδίων συνδέεται με την απομάκρυνση τους από την αιωρούμενη κατάσταση και την καθίζηση τους στο αναπνευστικό σύστημα. Αυτό γίνεται με τους παρακάτω μηχανισμούς: Οι βασικοί μηχανισμοί εναπόθεσης των σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα είναι η πρόσκρουση, η καθίζηση, η διάχυση (κίνηση Brown), η αναχαίτιση-ενσφήνωση και η ηλεκτροστατική εναπόθεση.

Τα σωματίδια είναι ανίκανα να ακολουθήσουν συγκεκριμένες γραμμές ροής, όταν αυτές αλλάζουν απότομα κατεύθυνση ή ταχύτητα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εναπόθεση τους στα τοιχώματα των αεραγωγών. Η παραπάνω διαδικασία περιγράφει το μηχανισμό της πρόσκρουσης και παρατηρείται κατά βάση στη ρινοφαρυγγική και τραχειοβρογχική περιοχή. Η πιθανότητα εναπόθεσης των σωματιδίων μέσω του μηχανισμού της πρόσκρουσης είναι ανάλογη της ταχύτητας του αέρα του ρυθμού αναπνοής του μεγέθους και της πυκνότητας του σωματιδίου. (Schlesinger, 1988). Είναι ο κυριότερος μηχανισμός εναπόθεσης για τα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μεγαλύτερη από 0,5 μm , στο ανώτερο αναπνευστικό σύστημα. (ICRP, 2002).

«Καθίζηση» ορίζεται η εναπόθεση σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα λόγω της βαρύτητας. Όταν η επίδραση της βαρυτικής δύναμης γίνει μεγαλύτερη της άνωσης και της αντίστασης του αέρα, τα σωματίδια εγκαταλείπουν τις γραφές ροής και καθιζάνουν (EPA, 2002). Παρατηρείται κατά βάση στα βραχιόλια και στη κυψελιδική περιοχή. Αποτελεί τρόπο καθίζησης για τα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μεγαλύτερη από 0,5 μm (Schlesinger, 1988). Η πιθανότητα εναπόθεσης των ΑΣ

λόγω καθίζησης είναι ανάλογη του μέγεθούς τους, της πυκνότητάς τους, του χρόνου παραμονής και αντιστρόφως ανάλογη του ρυθμού αναπνοής.

Η διάχυση των σωματιδίων οφείλεται στη κίνηση brown και οφείλεται στη σύγκρουση των αιωρούμενων σωματιδίων με τα μόρια του αέρα. Συμβαίνει συνήθως στη κυψελιδική περιοχή, όπου η ταχύτητα ροής είναι χαμηλή αλλά και στη περιοχή του θώρακα, όπου η ροή είναι τυρβώδης. Αφορά συνήθως ΑΣ με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 0,2 μm (Schlesinger, 1988).

Τα αιωρούμενα σωματίδια ελάχιστες φορές τυγχάνει να είναι ηλεκτρικά φορτισμένα. Αυτό δημιουργεί την ηλεκτροστατική εναπόθεση, η οποία είναι σπάνια αφού το ηλεκτρικό φορτίο των αιωρούμενων σωματιδίων εξουδετερώνεται από τα ιόντα της ατμόσφαιρας υπάρχουν όμως ενδείξεις ότι πρόκειται για βασικό μηχανισμό εναπόθεσης των πολύ λεπτών σωματιδίων. Αφορά εναπόθεση στην τραχειοβρογχική περιοχή. Είναι αντιστρόφως ανάλογη του μεγέθους των σωματιδίων και της ταχύτητας του αέρα (EPA, 2002).

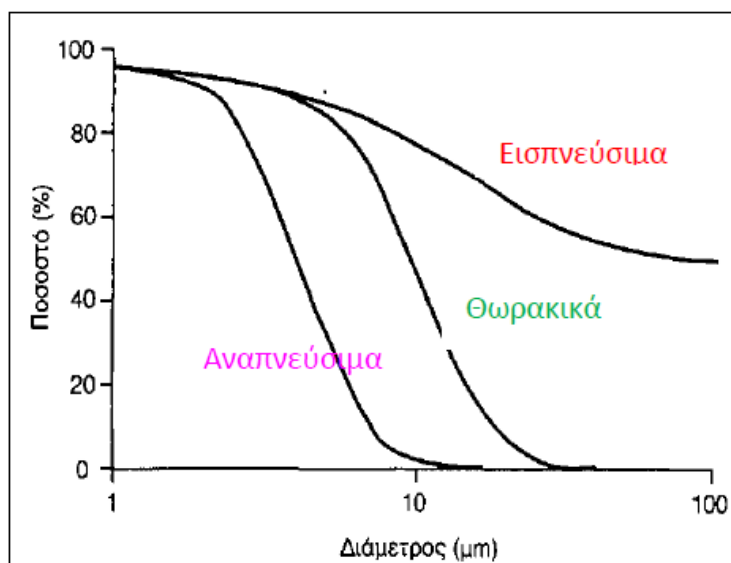
Τέλος, ο μηχανισμός εναπόθεσης προκύπτει από την επαφή καθ' αυτή των σωματιδίων με το αναπνευστικό σύστημα. Είναι ανάλογη του μεγέθους και του σχήματος των ΑΣ. Αφορά κατά βάση ΑΣ με ινώδη μορφή (ICRP, 2002).

8.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την εναπόθεση σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα

Το ποσοστό των σωματιδίων που εισέρχονται στο ανθρώπινο οργανισμό εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το μέγεθος τους, συχνότητα και ο τρόπος αναπνοής. Το μεγαλύτερο μέρος των σωματιδίων κάθε διαμέτρου αποθέεται στην περιοχή εκτός θώρακα και μόνο το πεδίο διαμέτρων από 0,005 μm έως περίπου 0,25 μm κυριαρχεί στην κυψελιδική περιοχή (Λαζαρίδης, 2010). Η συνεισφορά του κάθε μηχανισμού καθορίζεται αρχικά από το μέγεθος των σωματιδίων. Αναπνέοντας από την μύτη ένα μεγάλο μέρος των πολύ λεπτών σωματιδίων φιλτράρεται σε αντίθεση αναπνοής από το στόμα. Η εναπόθεση εξαρτάται και από βιολογικούς παράγοντες οι οποίοι σχετίζονται με την ανατομία του αναπνευστικού συστήματος. Αναλυτικότερα, οι διαστάσεις του σώματος και κατ' επέκταση του αναπνευστικού συστήματος προκαλούν διαφορετική εναπόθεση στα άτομα διαφορετικού μεγέθους. (ICRP, 1994). Όσον αφορά το φύλο, το γυναικείο αναπνευστικό σύστημα διαθέτει μικρότερους αεραγωγούς από ενός αντρικό, αλλά ταυτόχρονα αναπνέει αέρα με μικρότερο ρυθμό αλλά μεγαλύτερη συχνότητα. Έτσι δεν μπορεί να εξαχθεί ένα ασφαλές συμπέρασμα, αναφορικά με την διαφορά εναπόθεσης μεταξύ των δύο φύλων. Ωστόσο σε μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί έχει βρεθεί πως η εναπόθεση των πολύ μικρών σωματιδίων είναι μεγαλύτερη για τις γυναίκες (Kim και Jaques, 2000). Ακόμα η δομή και η κατάσταση του αναπνευστικού συστήματος ποικίλλει ανάλογα με την ηλικία, με αποτέλεσμα να διαφοροποιείται η εναπόθεση των σωματιδίων για άτομα διαφορετικής ηλικίας. Έχει ακόμη βρεθεί πως το ποσοστό εναπόθεσης στην εξωθωρακική περιοχή είναι αντιστρόφως ανάλογο με την ηλικία και το ύψος του εκάστοτε ατόμου.

8.5.1 Ταξινόμηση των ΑΣ με βάση τη συμπεριφορά τους στο αναπνευστικό σύστημα

Τα αιωρούμενα σωματίδια διακρίνονται σε εισπνεύσιμα, θωρακικά και αναπνεύσιμα βάσει της ικανότητάς τους να διεισδύσουν σε διάφορες περιοχές του αναπνευστικού συστήματος. Τα εισπνεύσιμα σωματίδια μπορούν να εισέλθουν και να αποτεθούν στο τμήμα του αναπνευστικού συστήματος της περιοχής του κεφαλίου. Θωρακικά είναι τα σωματίδια που φτάνουν στον λάρυγγα και στους πνεύμονες. Τέλος τα αναπνεύσιμα σωματίδια είναι το μέρος των θωρακικών που φθάνει στην περιοχή, όπου πραγματοποιείται η ανταλλαγή των αερίων.



Εικόνα 31: Ταξινόμηση των ΑΣ βάση της διαμέτρου τους.

Στη παραπάνω εικόνα απεικονίζεται η ταξινόμηση των ΑΣ σε αναπνεύσιμα, θωρακικά και εισπνεύσιμα. Το ποσοστό σχετίζεται με τη διείσδυση σε κάθε περιοχή. (Λαζαρίδης, 2010)

8.6 Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.

Διάφορες έρευνες συσχετίζουν τις υψηλές συγκεντρώσεις των ΑΣ με την μείωση της ποιότητας του εισπνεόμενου αέρα. Οι άνθρωποι που ζουν περιοχές που έχουν αυξημένες συγκεντρώσεις ΑΣ. Τα σωματίδια προκαλούν άμεσες και χρόνιες επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό. Σύμφωνα με μελέτες τα σωματίδια σχετίζονται με αυξημένη νοσηρότητα και θνησιμότητα (Schlesinger, 1995).

Ένα μεγάλο ποσοστό ατόμων παρουσιάζουν διάφορα καρδιοαναπνευστικά προβλήματα. Το γεγονός αυτό συμβαίνει ανεξαρτήτως ηλικίας αφού τα ΑΣ δημιουργούν προβλήματα στα παιδιά μικρής ηλικίας. Οι άνθρωποι που είναι ηλικιωμένοι αλλά και τα παιδιά που ανήκουν σε ευπαθείς ομάδες (αναπνευστικά προβλήματα, άσθμα) παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία στις υψηλές συγκεντρώσεις ΑΣ (Στράγκος, 2007). Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι στα ΑΣ ανήκουν και διάφορα χημικά συστατικά τα οποία προκαλούν καρκίνο, όπως για παράδειγμα ο αμίαντος.

Η ρύπανση από τα ΑΣ, ήταν από τους πρώτους τύπους ρύπανσης που αποδείχτηκε πως έχει σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία οδηγώντας σε σταθερή επιδείνωση της υγείας είτε μακροπρόθεσμα είτε βραχυπρόθεσμα ακόμη και σε πολύ χαμηλά επίπεδα (Sousa κ.ά., 2012). Υπολογίζεται, πως η έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια προκαλεί 800.000 θανάτους το χρόνο παγκοσμίως. Παιδιά, άτομα προχωρημένης ηλικίας και ασθενείς με καρδιοαναπνευστικά προβλήματα όπως το άσθματος, αποτελούν τα πιο επιρρεπή άτομα στις επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης (Sousa κ.ά., 2012).

Τα τελευταία χρόνια, όλο και περισσότερες επιδημιολογικές έρευνες συνδέουν τη σωματιδιακή ρύπανση με διάφορες αλλεργίες, ασθένειες αλλά και θανάτους. Αυτές οι έρευνες γίνονται και σε μακροχρόνια και σε βραχυχρόνια περίοδο. Μια από τις γνωστές μακροχρόνιες μελέτες ήταν αυτή της αμερικάνικης κοινότητας καρκίνου. Η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε σε 6 πόλεις των ΗΠΑ με δείγμα σχεδόν 500.000 ανθρώπους για 7 χρόνια. Αυτή η έρευνα έδειξε μια ισχυρή συσχέτιση των θανάτων από καρδιοαναπνευστικές ασθένειες και της συγκέντρωσης ΑΣ.

Μεγάλο βάρος έχει δοθεί στο μέγεθος και στη χημική σύσταση των σωματιδίων. Οι μελέτες υποδεικνύουν τα λεπτόκοκκα σωματίδια, ως πιο επικίνδυνα από τα χονδροκόκκα. Όσο πιο μικρό είναι το σωματίδιο, τόσο βαθύτερα φθάνει στο αναπνευστικό, με αποτέλεσμα να εισέρχονται ακόμα στα αγγεία. Επιπρόσθετα όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το σωματίδιο τόσο πιο δύσκολο είναι από τον οργανισμό να το απορρίψει.

Υπάρχει διαφοροποίηση των ΑΣ ανάλογα με το μέγεθος του αεροδυναμικού τους πυρήνα. Τα λεπτά σωματίδια ($AS_{2,5}$) λόγω του μικρού τους μεγέθους εισέρχονται βαθύτερα στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου, ενώ είναι και δυσκολότερο για τον ανθρώπινο οργανισμό να τα αποβάλει με τους μηχανισμούς που θα αναφερθούν στο επόμενο υποκεφάλαιο. Εν αντιθέσει, τα χονδρά αιωρούμενα σωματίδια εναποτίθενται στο ανώτερο αναπνευστικό σύστημα και αποβάλλονται πιο εύκολα. Άλλοι παράγοντες εκτός του μεγέθους που επηρεάζουν την επικινδυνότητα των ΑΣ είναι η χημική τους σύσταση, το χρονικό διάστημα έκθεσης των κατοίκων στα σωματίδια αυτά, τα επίπεδα συγκεντρώσεων ΑΣ στα οποία έρχονται σε επαφή οι κάτοικοι. Τα αποτελέσματα μελέτης (Schwartz, 1996), όπου εκεί συγκρίθηκαν οι επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου ανάμεσα στα AS_{10} και $AS_{2,5}$, σε 6 πόλεις των ΗΠΑ, έδειξαν πως τα $AS_{2,5}$ συνδέονται με τη πρόωρη θνησιμότητα. Παρά το ότι η πλειοψηφία των επιδημιολογικών ερευνών έχει επικεντρωθεί στις βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις της έκθεσης σε ΑΣ, ορισμένες μελέτες προτείνουν ότι η μακροπρόθεσμη έκθεση μπορεί να είναι πιο σημαντική για τη δημόσια υγεία (Lazaridis και Colbeck, 2010). Φυσικά σημαντικό ρόλο έχει και η διάρκεια έκθεσης στα ΑΣ. Όσο αυξάνεται η διάρκεια έκθεσης σε περιβάλλον φορτισμένο με ΑΣ, τόσο αυξάνεται και η συσσωρευτική έκθεση, που σχετίζεται με τη θνησιμότητα, σε αντίθεση από τη μεταβαλλόμενη από μέρα σε μέρα έκθεση. (Brunekreef και Holgate, 2002).

Επιπλέον έχει ισχυριστεί, πως η έκθεση σε ΑΣ σχετίζεται με μειωμένη ανάπτυξη των πνευμόνων στα άτομα μικρής ηλικίας και ακόμη πως η εναλλαγή χώρων σε παιδιά από περιοχές με υψηλές συγκεντρώσεις ΑΣ σε άλλες με χαμηλότερες (και το αντίστροφο) μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στην διαδικασία ανάπτυξης των

πνευμόνων οι οποίες αντικατοπτρίζουν τις αλλαγές της έκθεσης στα σωματίδια (Lazaridis και Colbeck, 2010).

Τα ΑΣ μπορεί να περιέχουν ανάλογα τη προέλευσή τους βαρέα μέταλλα και διάφορους υδρογονάνθρακες, οι οποίοι προκαλούν αναπνευστικά προβλήματα στους ανθρώπους. Επιπλέον, όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος έκθεσης σε ΑΣ τόσο πιο δύσκολη είναι και η απόρριψη τους από τον ανθρώπινο οργανισμό. Ο κοινός κυτταρικός μηχανισμός μέσω των οποίων τα αιωρούμενα σωματίδια ΑΣ₁₀ ασκούν αρνητικές επιπτώσεις στο καρδιαγγειακό σύστημα είναι η ικανότητά τους να ενεργούν άμεσα ως οξειδωτικά των λιπιδίων και των πρωτεϊνών ή ως ελεύθερες ρίζες (Menzel, 1994· Rahman & MacNee, 2000). Οι ελεύθερες ρίζες είναι επιβλαβείς στα κυτταρικά λιπίδια, στις πρωτεΐνες και στο DNA (Zieliński et al, 1998· Valko et al., 2006).

Η εισπνοή των αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να προκαλέσει επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό που προκύπτουν μέσω του οξειδωτικού στρες. Διάφορες έρευνες που δείχνουν τις επιπτώσεις των ΑΣ στο καρδιαγγειακό σύστημα εξάγουν τα εξής συμπεράσματα:

- μείωση του αιματοκρίτη τις μέρες που έχουν παρατηρηθεί υψηλές συγκεντρώσεις ΑΣ (Peters and al, 1997)
- Αυξημένη καρδιακή λειτουργία (Stone and Godleski, 1999).

Η πιο σημαντική επίπτωση των ΑΣ είναι η μείωση του προσδόκιμου χρόνου ζωής του πληθυσμού κατά ένα έτος ή και περισσότερο ανάλογα την έκθεση του οργανισμού σε ΑΣ (WHO, Regional office for Europe, Health aspects of air pollution, 2004).

Συνοψίζοντας τα προβλήματα υγείας που συνδέονται με τα ΑΣ είναι τα εξής:

- εμφάνιση διαφόρων τύπων καρκίνων
- μείωση προσδόκιμου χρόνου ζωής
- καρδιοαναπνευστικά προβλήματα
- χρόνια βρογχίτιδα
- άσθμα

8.7 Μηχανισμοί απομάκρυνσης των ΑΣ από το αναπνευστικό σύστημα

Με την έννοια του καθαρισμού των ΑΣ από το αναπνευστικό σύστημα εννοείται, η φυσική μεταφορά και απομάκρυνση τους από τις επιφάνειες του, όπου είχαν αρχικά αποτεθεί (Schlesinger, 1988). Πρόκειται για φυσικό μηχανισμό άμυνας του ανθρώπινου οργανισμού απέναντι σε ξένα σώματα που εισβάλλουν σε αυτόν (Gradon κ.ά., 1996). Ο ανθρώπινος οργανισμός έχει διάφορους μηχανισμούς, με τους οποίους μπορεί να αποβάλει τα ξένα σωματίδια που εισέρχονται σε αυτόν. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι κοινοί για όλα τα σωματίδια και εξαρτώνται κυρίως από την περιοχή στην οποία έχουν εναποτεθεί, τις φυσικοχημικές ιδιότητες τους και από την συγκέντρωση μάζας ή αριθμού των σωματιδίων που έχουν καθιζάνει στην επιφάνεια (ICRP, 1994). Οι μηχανισμοί απομάκρυνσης χωρίζονται σε δυο κατηγορίες. Στη μεταφορά σωματιδίων και στην απορρόφηση τους από το αίμα. Μέσω της

μεταφοράς των σωματιδίων, τα σωματίδια μεταφέρονται προς το γαστρεντερικό σύστημα και τους λεμφαδένες αλλά και από το ένα μέρος του αναπνευστικού συστήματος σε άλλο. Η μεταφορά πραγματοποιείται με το στρώμα βλέννας, τη λειτουργία των βλεφαρίδων και τη δράση των μακροφάγων κυττάρων. Κατά τη μεταφορά σωματιδίων συμβαίνουν τα εξής:

- Σύσπαση βρόγχων και πρόκληση βήχα.
- Μέσω της βλέννας. Τα σωματίδια εγκλωβίζονται σε ένα στρώμα βλέννας, το οποίο είτε απορρίπτεται μέσω βήχα είτε μέσω κατάποσης οδηγείται στο στομάχι που διαλύεται από τα ισχυρά γαστρικά υγρά. Είναι ο κύριος μηχανισμός καθαρισμού στη τραχειοβρογχική περιοχή. (Schlesinger, 1988)
- Απορρόφηση των σωματιδίων στο επιθήλιο και απομάκρυνση τους με αίμα ή λέμφο
- Στη κυψελιδική περιοχή βασικός μηχανισμός απομάκρυνσης των σωματιδίων είναι μέσω των μακροφάγων κυττάρων μέσω φαγοκύτωσης και της μετακίνησής τους μέσω βλέννας στα βρογχιόλια.

Το αίμα μπορεί να απορροφήσει τα ΑΣ και να τα διαλύσει. Αυτό πραγματοποιείται σε δύο γενικά στάδια, την διάσπαση των σωματιδίων σε συστατικά και την ανάληψη - διάλυση τους στο αίμα (ICRP, 1994).

Κεφάλαιο 9^ο: Μοντέλο δοσομετρίας ExDoM2

9.1: Εισαγωγή στο μοντέλο ExDoM2

Για τον υπολογισμό της εναποτιθέμενης δόσης, της μάζας των σωματιδίων που μεταφέρεται στον οισοφάγο, στους λεμφαδένες και απορροφάται στο αίμα αλλά και της κατακράτησης των ΑΣ στο αναπνευστικό σύστημα, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο ExDoM2 (Chalvatzaki & Lazaridis, 2015), το οποίο μοντέλο βασίστηκε στο ExDoM (Aleksandropoulou & Lazaridis, 2010).

Πρόκειται για ένα μοντέλο το οποίο θεωρεί ότι το αναπνευστικό σύστημα αποτελείται από διακριτές περιοχές που λειτουργούν σαν φίλτρα. Χρησιμοποιώντας εξισώσεις υπολογίζει τη διαδικασία της εναπόθεσης. Η εναπόθεση των ΑΣ υπολογίζεται ημιεμπειρικά από τις εξισώσεις που προτείνονται στο μοντέλο του ανθρώπινου αναπνευστικού συστήματος (HRTM), τις διεθνούς υπηρεσίας ακτινοπροστασίας (ICRP, 2015). Η δόση των σωματιδίων ανά ώρα υπολογίζεται μέσω της παρακάτω εξίσωσης :

$$H = \sum BC_i DE_{i,j} \quad (9.1)$$

Όπου:

- H: ο ρυθμός δόσης των σωματιδίων (μg/h)
- B: ο ρυθμός αναπνοής (m³/h)
- C_i: η συγκέντρωση των σωματιδίων μεγέθους i (μg/m³)
- DE_{i,j}: το ποσοστό εναπόθεσης σωματιδίων μεγέθους i στη περιοχή j

Ο καθαρισμός μιας περιοχής του αναπνευστικού από τα ΑΣ που έχει εναποτεθεί δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{dR_i(t)}{dt} = -\lambda_i(t)R_i(t) \quad (9.2)$$

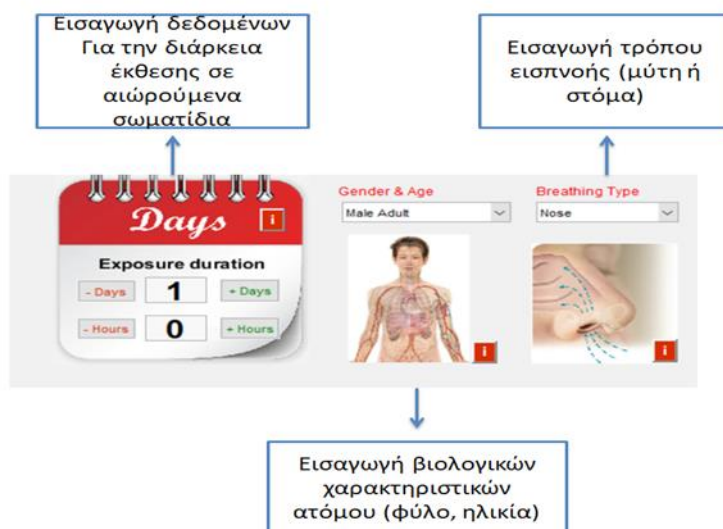
Όπου $\lambda_i(t)$ είναι ο στιγμιαίος ρυθμός καθαρισμού από την περιοχή i και $R_i(t)$ η ποσότητα του υλικού στη περιοχή μετά από έκθεση σε χρόνο t .

Είναι δυνατόν, να υπολογίσει την εναπόθεση τόσο για χονδρά όσο και για λεπτά σωματίδια. Επίσης, δίνει την επιλογή στο χρήστη να εισάγει διάφορα δεδομένα όπως το φύλο, η ηλικία και ο τρόπος αναπνοής. Το γραφικό περιβάλλον χρήσης του μοντέλου σχεδιάστηκε από τον κ. Παπαγιαννάκη Εμμανουήλ και είναι ιδιαίτερα εύχρηστο και φιλικό στο χρήστη. (Εικόνα 1). Στο matlab με τη χρήση γραφικού περιβάλλοντος διεπαφής (GUI), εισάγονται τα δεδομένα συγκέντρωσης των ΑΣ, τα οποία βρίσκονται σε φύλλα excel.

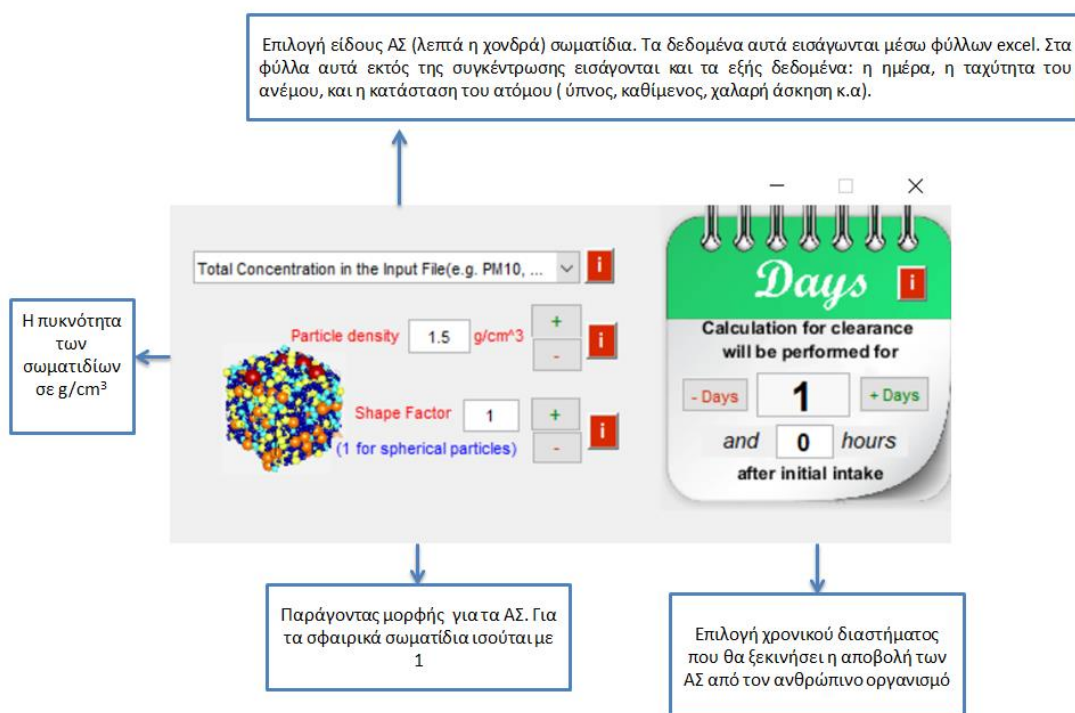


Εικόνα 32: Το γραφικό περιβάλλον διεπαφής (GUI) του ExDoM2

Παρακάτω βλέπουμε πως εισάγονται τα δεδομένα στο μοντέλο, μεγεθύνοντας την παραπάνω εικόνα. Ο χρήστης έχει την επιλογή να εισάγει την χρονική διάρκεια έκθεσης, τα βιολογικά χαρακτηριστικά (φύλο και ηλικία) του ατόμου καθώς και τον τρόπο εισπνοής. Πρόκειται για σημαντικά δεδομένα, ιδιαίτερα ο τρόπος αναπνοής, αφού αναπνέοντας από το στόμα εισπνέονται περισσότερα ΑΣ, αφού τα τριχίδια της μύτης αποτελούν προστατευτικό φίλτρο.



Εικόνα 33: Εισαγωγή δεδομένων έκθεσης και τρόπου αναπνοής



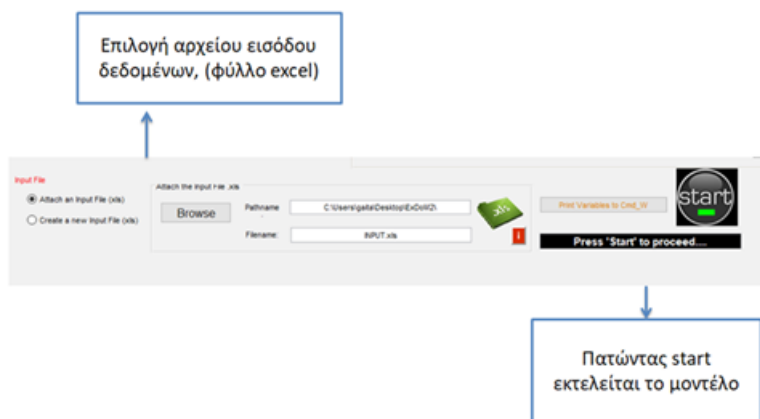
Εικόνα 34: Εισαγωγή δεδομένων πυκνότητας σωματιδίων και άλλων δεδομένων

Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ξεχωριστές συγκεντρώσεις για λεπτά και χονδρά σωματίδια σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ή συνολικής συγκέντρωσης ΑΣ. Αυτά τα δεδομένα εισάγονται στο αρχείο input file. Επίσης ο χρήστης καλείται να επιλέξει τη χρονική διάρκεια στην οποία θα ξεκινήσει η διαδικασία αποβολής των ΑΣ από τον ανθρώπινο οργανισμό.



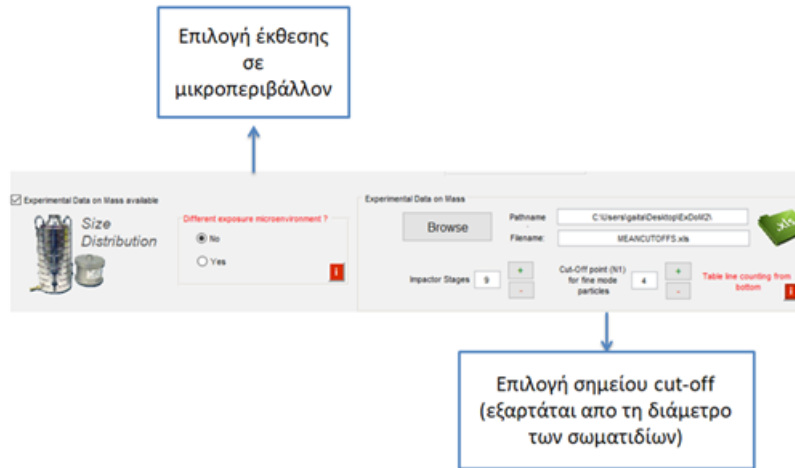
Εικόνα 35: Εισαγωγή δεδομένων τύπου ΑΣ και ρυθμού απορρόφησης

Ο χρήστης καλείται να επιλέξει τον τύπο των ΑΣ (αν πρόκειται για μέταλλα ή όχι). Καθώς επίσης τον υπολογισμό δόσης. Επίσης δίνεται η επιλογή καθορισμού του ρυθμού απορρόφησης από το αίμα. Σε αυτό το σημείο να τονίσουμε ότι αν επιλεγθούν μέταλλα από τη χημική σύσταση των ΑΣ τότε αλλάζουν οι εξισώσεις δόσης και έκθεσης.



Εικόνα 36: Η επιλογή start

Ο χρήστης επιλέγει το αρχείο input που περιέχει τις συγκεντρώσεις των ΑΣ και επιλέγοντας start ξεκινά η εκτέλεση του μοντέλου.



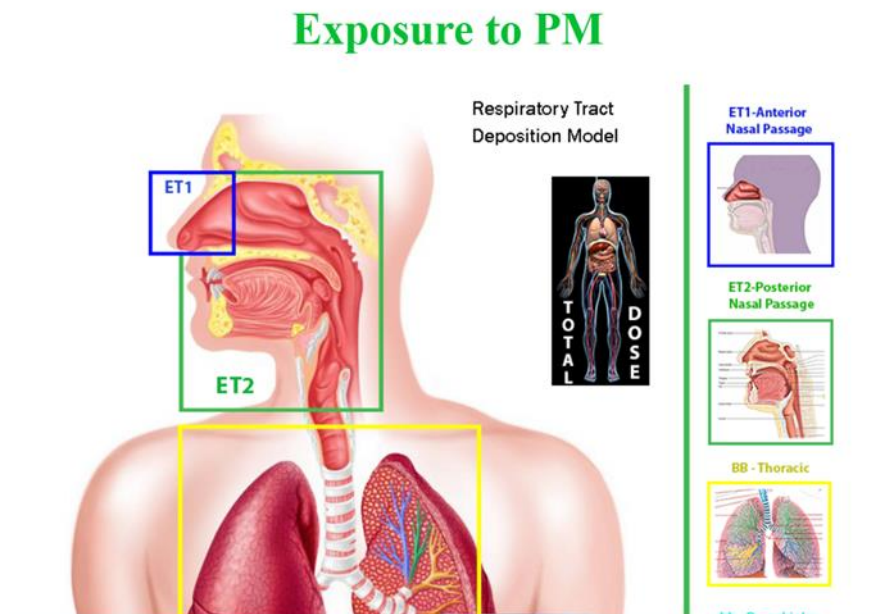
Εικόνα 37: Επιλογή δεδομένων κατανομής μεγέθους και έκθεσης σε μικροπεριβάλλον

Ο χρήστης επιλέγει την έκθεση ή μη σε μικροπεριβάλλον όπως και την επιλογή σημείου αποκοπής (cut-off, εξαρτάται από την διάμετρο των σωματιδίων). Η εισαγωγή των δεδομένων αυτών γίνεται μέσω φύλλων excel.

Αφού εισάγουμε τα δεδομένα για τα ΑΣ (επιλέχθηκαν αυτά από το μοντέλο ISC3 συγκεκριμένα η μέγιστη συγκέντρωση των ΑΣ για το καλοκαίρι), του εκτιθέμενου ατόμου (ενήλικας άντρας, σε κατάσταση ελαφριάς άσκησης), εκτελείται το μοντέλο.

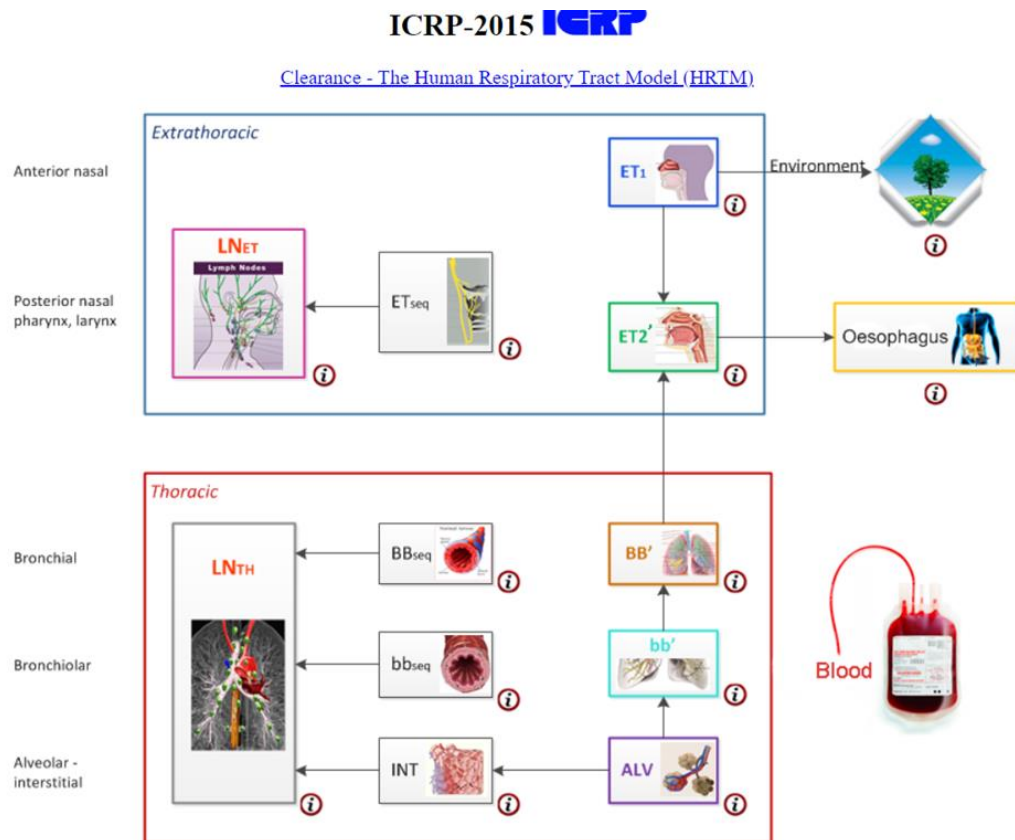
9.2 Αποτελέσματα ExDoM 2

Μετά την εκτέλεση του μοντέλου ανοίγει μια δυναμική ιστοσελίδα από την οποία εξάγονται τα αποτελέσματα δόσης σε αρχείο excel.



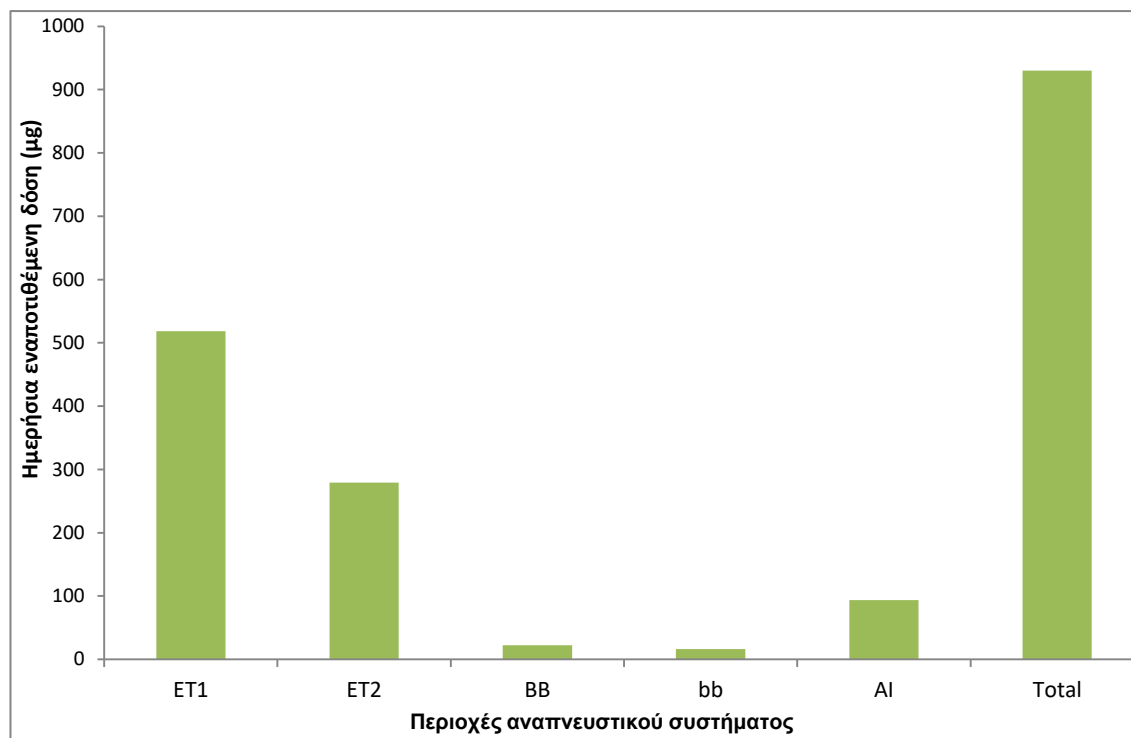
Εικόνα 38: Η δυναμική ιστοσελίδα εμφάνισης αποτελεσμάτων

Επίσης βρίσκονται και τα αποτελέσματα της αποβολής των ΑΣ από τον ανθρώπινο οργανισμό.



Εικόνα 39: Η διαδικασία καθαρισμού του ανθρώπινου οργανισμού

Με τα αποτελέσματα που βρίσκονται στο φύλλο excel κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα 25, 26, 27, 28, 29.



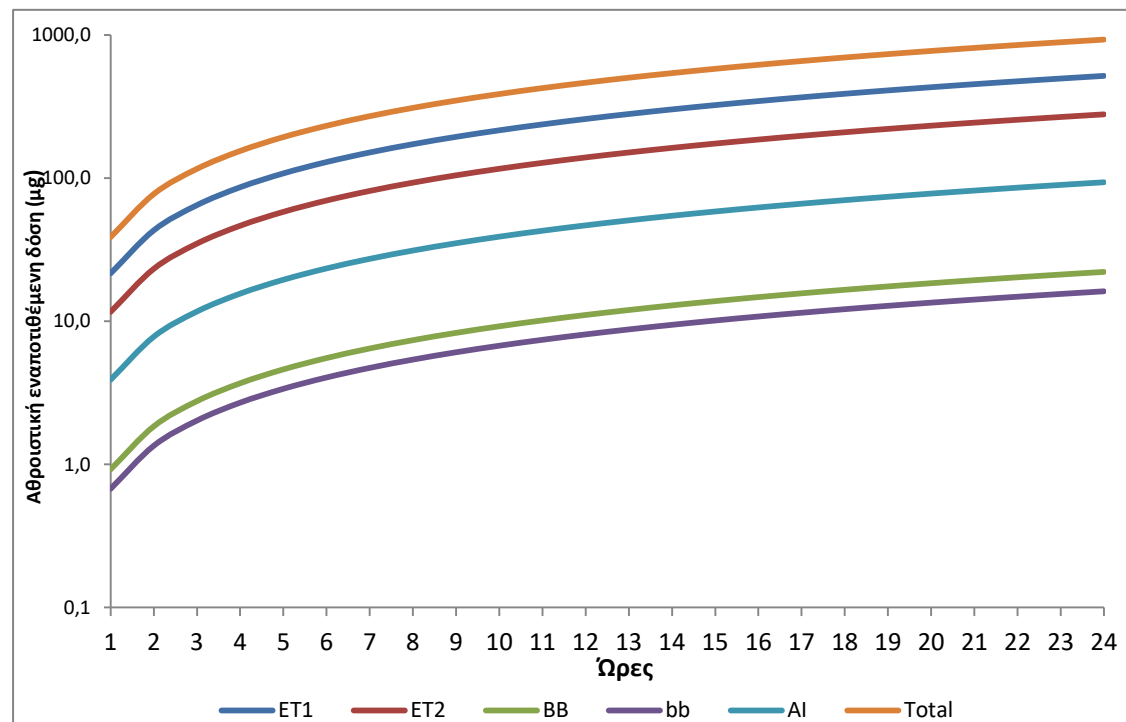
Διάγραμμα 28: Η ημερήσια εναποτιθέμενη δόση στο αναπνευστικό σύστημα

Περιοχές:

- ET1, περιλαμβάνει την πρόσθια ρινική κοιλότητα
- ET2, Περιλαμβάνει την ύστερη ρινική κοιλότητα, το λάρυγγα, τον φάρυγγα και το στόμα
- BB, πρόκειται για την περιοχή των βρόγχων και των πνευμόνων
- bb, Περιλαμβάνει την περιοχή των βρογχιολιών και των πνευμόνων
- AI, περιλαμβάνει την περιοχή των κυψελίδων των πνευμόνων.

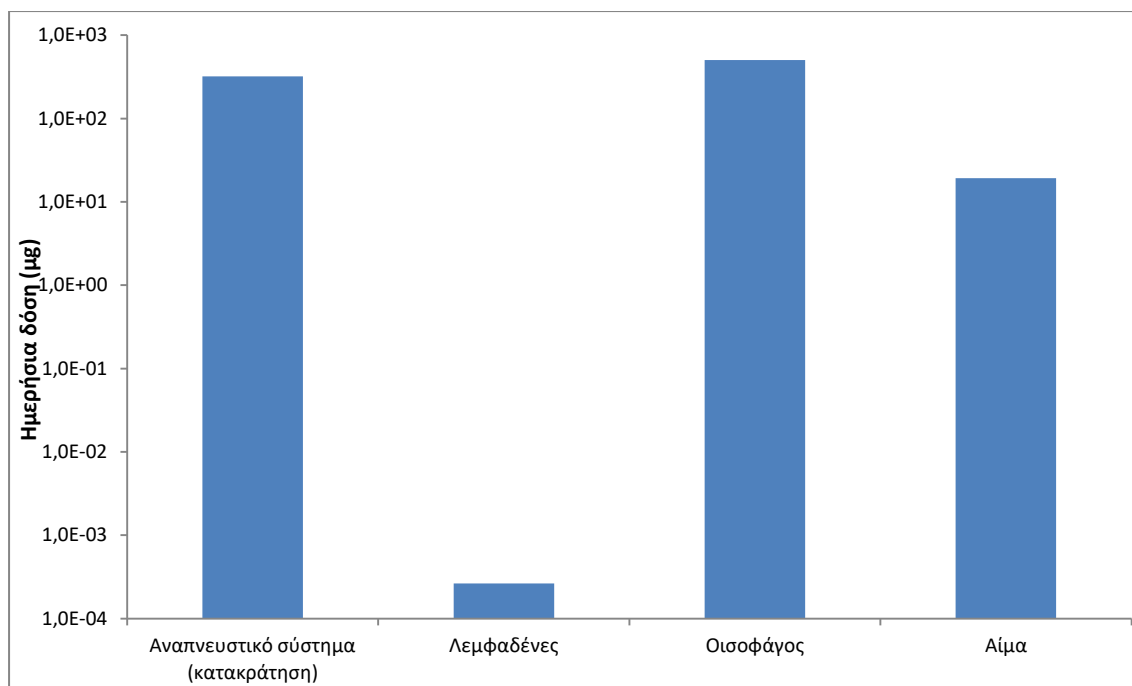
Όταν γινόταν η εισαγωγή των δεδομένων στο μοντέλο, επιλέχθηκε ως τρόπος αναπνοής η μύτη. Για το λόγο αυτό, παρατηρείται αυξημένη δόση στη πρόσθια ρινική κοιλότητα (ET1), καθώς τα τριχίδια της μύτης αποτελούν το πρώτο φίλτρο του ανθρώπινου οργανισμού, ενάντια στην εισχώρηση των ΑΣ. Η δεύτερη μεγαλύτερη εναπόθεση παρατηρείται στη περιοχή ET2 (ύστερη ρινική κοιλότητα). Σε αυτή τη περιοχή, τα σωματίδια δεν μπορούν να ακολουθούν την ροή του αέρα, όταν αυτές αλλάζουν απότομα, με αποτέλεσμα την εναπόθεση τους στη περιοχή αυτή. Πριν τα σωματίδια καταλήξουν στην κυψελιδική περιοχή, περνάνε από την περιοχή των βρόγχων, όπου μέσω των αιμοφόρων αγγείων, καταλήγουν στο αίμα με σκοπό την αποβολή τους από τον οργανισμό. Για το λόγο αυτό, στις περιοχές BB και bb, παρατηρούνται χαμηλές συγκεντρώσεις. Συνολικά, παρατηρούμε ημερήσια δόση ίση με 930 μg, με μεγαλύτερη δόση αυτή στη περιοχή ET1 (519 μg) και ET2 (279 μg). Συγκριτικά με αντίστοιχη εργασία που είχε πραγματοποιηθεί για το λιμάνι της Σούδας, παρατηρούμε ότι η δόση που δέχεται ο άνθρωπος στην Σούδα είναι λίγο μεγαλύτερη, από αυτή που δέχεται ο άνθρωπος στο λιμάνι του Πειραιά. Αυτό μπορεί να ανάγεται σε διάφορους παράγοντες κυρίως στις κλιματικές συνθήκες, που επηρεάζουν τη συγκέντρωση των ΑΣ στην ατμόσφαιρα. Αυτό γίνεται εύκολα

αντιληπτό καθώς η επιλογή βιολογικών χαρακτηριστικών (ενήλικας άνδρας), ο τρόπος αναπνοής, αλλά και η κατάσταση του ατόμου (χαλαρή άσκηση), ήταν ίδια και στις δύο εργασίες.



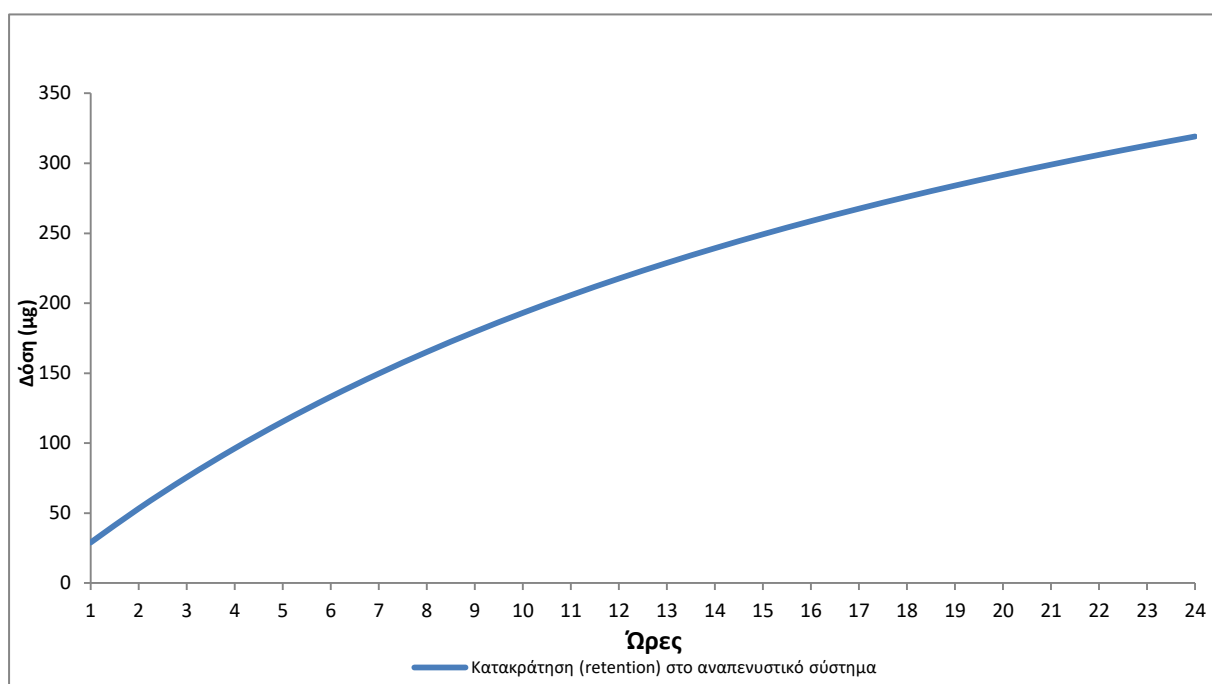
Διάγραμμα 29: Η αθροιστική εναποτιθέμενη δόση στο αναπνευστικό σύστημα

Στο διάγραμμα 26 παρουσιάζεται η αθροιστική εναποτιθέμενη δόση ($1000\mu\text{g}$). Όταν γινόταν η εισαγωγή δεδομένων στο μοντέλο, επιλέχθηκε ότι το άτομο, είναι σε κατάσταση ελαφριάς άσκησης. Αν επιλέγαμε έντονη άσκηση η καμπύλη θα ήταν πιο έντονη, αφού όταν ο άνθρωπος αθλείται έντονα αναπνέει και πιο έντονα με αποτέλεσμα την μεγαλύτερη εναπόθεση ΑΣ. Αντίθετα, αν επιλέγαμε ότι το άτομο είναι σε καθιστική κατάσταση ή κοιμάται, τότε οι καμπύλες θα ήταν λιγότερο έντονες και η αθροιστική δόση θα ήταν μικρότερη.

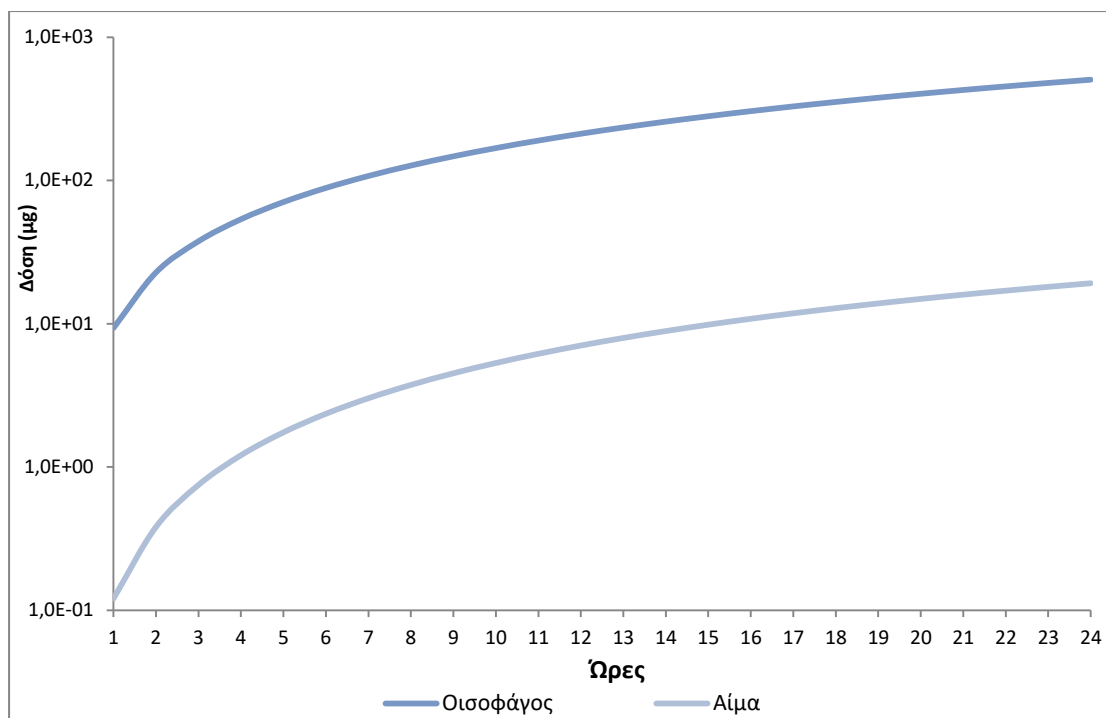


Διάγραμμα 30: Η ημερήσια δόση στο ανθρώπινο σώμα

Στο διάγραμμα 27 παρουσιάζεται η κατακράτηση στο αναπνευστικό σύστημα και η μάζα που μεταφέρθηκε στους λεμφαδένες, στον οισοφάγο και η αθροιστική δόση στο αίμα.



Διάγραμμα 31: Η κατακράτηση στο αναπνευστικό σύστημα



Διάγραμμα 32: Η δόση στον οισοφάγο και στο αίμα

Στα διαγράμματα 28 και 29 παρουσιάζεται η κατακράτηση στο αναπνευστικό σύστημα, και η μεταφερόμενη μάζα στον οισοφάγο και το αίμα. Παρατηρείται άτονη καμπύλη, λόγω των δεδομένων εισόδου, όσο αφορά τη κατάσταση του ατόμου. Επίσης παρατηρούνται μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στον οισοφάγο. Από τον οισοφάγο τα σωματίδια, είτε θα αποβληθούν μέσω βήχα, είτε θα οδηγηθούν στο γαστρεντερικό σύστημα, όπου θα διαλυθούν από τα ισχυρά οξέα.

Κεφάλαιο 10^ο: Τελικά συμπεράσματα

10.1 Συμπεράσματα και σύγκριση με άλλες έρευνες

Όσον αφορά τα AS_{10} παρατηρούμε, από τις συγκρίσεις στα διαγράμματα στο κεφάλαιο 2, ότι στα Χανιά, παρατηρήθηκαν συνολικά 12 υπερβάσεις (μέρες) μέσης ημερήσιας τιμής ($50 \mu g/m^3$) το 2018 και 12 υπερβάσεις το 2019. Αντίθετα δεν παρατηρήθηκαν υπερβάσεις του ορίου μέσης ετήσιας τιμής ($40 \mu g/m^3$). Στο Πειραιά, παρατηρήθηκαν συνολικά 22 υπερβάσεις του ορίου μέσης ημερήσιας τιμής ($50 \mu g/m^3$), το έτος 2018 και 17 υπερβάσεις (ημέρες) το 2019. Ενώ δεν παρατηρήθηκαν υπερβάσεις του ορίου μέσης ετήσιας τιμής ($40 \mu g/m^3$). Τους θερινούς μήνες και τις δύο χρονιές στο Πειραιά παρατηρούνται υψηλότερες συγκεντρώσεις. Αυτό, γιατί τους θερινούς μήνες υπάρχουν στο λιμάνι περισσότερα πλοία και κρουαζιερόπλοια, αλλά και από το γεγονός ότι αυξάνονται οι ενεργειακές ανάγκες των πλοίων, για κλιματισμό και για άλλες λειτουργίες τους.

Όσον αφορά τα $AS_{2,5}$, δεν υπάρχουν υπερβάσεις των θεσμοθετημένων ορίων. Στο κεφάλαιο 7, έγινε η απεικόνιση σε χάρτη, της διασποράς των $AS_{2,5}$ και άλλων ρύπων. Η απεικόνιση αυτή έδειξε ότι, η άκρως βεβαρημένη ατμόσφαιρα από τα $AS_{2,5}$, βρίσκεται σε περιοχή εντός και κοντά του λιμανιού του Πειραιά, και ότι οι κατοικημένες περιοχές είναι στη ζώνη πολύ χαμηλού κινδύνου.

Οι συγκεντρώσεις του CO, ήταν και αυτές σε χαμηλά επίπεδα, όπως και οι συγκεντρώσεις του SO₂. Η απεικόνιση στο χάρτη στο κεφάλαιο 7, έδειξε ότι οι συγκεντρώσεις του SO₂, είναι χαμηλές σε όλες της ζώνες. Όσον αφορά για το NO₂, παρατηρήθηκαν οριακές υπερβάσεις της ετήσιας οριακής τιμής (40 µg/m³) και τα δύο έτη. Η απεικόνιση στο χάρτη έδειξε χαμηλές συγκεντρώσεις σε όλες τις ζώνες κινδύνου.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω η ατμοσφαιρική ρύπανση που δημιουργείται από τα πλοία, πρέπει να αποτρέπεται με διάφορους τρόπους, αφού δημιουργούν ποικίλα προβλήματα για την υγεία του ανθρώπου. Σε αυτό το σημείο να τονιστεί ότι, τα όρια της Ε.Ε για την υγεία του ανθρώπου δεν υπερβαίνονται από κανένα ρύπο.

Το μεγαλύτερο ποσοστό ρύπων, άνηκε στα NO_x, ενώ οι υπόλοιποι ρύποι ακολουθούν σε μικρότερο ποσοστό. Σε αυτό το συμπέρασμα κατέληξε και αντίστοιχη διπλωματική, για το λιμάνι των Χανίων (Λιακάτα, 2018), αλλά και μελέτη για το λιμάνι του Πειραιά (κ. Κακογιάννη, 2012). Από τα αποτελέσματα για την εκπεμπόμενη μάζα σε τόνους από τα πλοία, εξάγεται το συμπέρασμα ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος παραμονής των πλοίων στους λιμένες, αλλά και όσο ισχυρότερη, είναι η μηχανή τους, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η μάζα ρύπων που θα εκπέμπουν. Σε αυτό το συμπέρασμα είχαν καταλήξει και άλλες δύο έρευνες για το λιμάνι του Πειραιά (Τζαννάτος, 2010), (Μπέγκα, 2018).

Η παρούσα διπλωματική επικεντρώνεται στα επιβατηγά πλοία του Πειραιά, ενώ οι προαναφερθείσες περιλαμβάνουν και άλλα ήδη. Η μεταπτυχιακή εργασία της Μπέγκα (2018), επικεντρώνεται κατά βάση στα κρουαζιερόπλοια. Τα αποτελέσματα της για ένα χρόνο ήταν 161,6 tn NO_x, 51 tn SO₂ και 4,3 tn ΑΣ_{2,5}. Πάλι, βλέπουμε ότι τα NO_x καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος των ρύπων. Παρατηρείται ότι τα κρουαζιερόπλοια έχουν μεγαλύτερες εκπομπές NO_x, ενώ τα επιβατηγά έχουν μεγαλύτερες εκπομπές SO₂ και ΑΣ.

Η έρευνα του κ. Τζαννάτου πραγματοποιήθηκε το 2010 και έδειξε ότι τα NO_x είναι οι κύριοι ρυπαντές που προέρχονται από τα πλοία, με τα SO₂ και τα ΑΣ_{2,5} να ακολουθούν. Από τα παραπάνω προκύπτει, ότι τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής είναι αρκετά ρεαλιστικά. Τα αποτελέσματα της έρευνας παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα.

Ρύπος	Συνολική μάζα εκπομπών (tn)
NO _x	1750
SO ₂	750
ΑΣ _{2,5}	120

Πίνακας 38: Τα αποτελέσματα την έρευνας του κ. Τζαννάτου

Επιπλέον, με εξαίρεση την έρευνα του κ. Τζαννάτου, υπάρχουν και άλλες έρευνες που αφορούν την εκπεμπόμενη μάζα ατμοσφαιρικών ρύπων στο λιμάνι του Πειραιά. Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τους. Όπως φαίνεται, τα κρουαζιερόπλοια έχουν μεγαλύτερη εκπεμπόμενη μάζα συγκριτικά με τα επιβατηγά πλοία, λόγω της χρήσης τους (αναψυχή), αλλά και του μεγέθους τους, καθώς πρόκειται για γενικά μεγάλα πλοία. Επίσης σημαντικό κρίνεται, ότι και μεταξύ της εκπεμπόμενης μάζας των κρουαζιερόπλοιων, υπάρχει τάση μείωσης, γεγονός πολύ θετικό.

Αποτελέσματα εκπεμπόμενης μάζας (tn) στο λιμάνι του Πειραιά ανά μελέτη			
Μελέτη (Συγγραφέας, Έτος)	Μπέγκα, (2018) Κρουαζιερόπλοια	Συρράκος, (2013) Κρουαζιερόπλοια	Παρούσα μελέτη (2019) Επιβατηγά
ΑΣ_{2,5}	4,3	14,34	6,82
SO₂	51	138,674	54,58
NO_x	161,6	371,365	105,61

Πίνακας 39: Αποτελέσματα μελετών για το λιμάνι του Πειραιά

Επιπρόσθετα, συγκρίθηκαν οι εκπομπές του λιμανιού του Πειραιά, με άλλα ευρωπαϊκά λιμάνια. Το ενδιαφέρον της σύγκρισης αυτής ήταν, οι μεγάλες εκπομπές μάζας στο λιμάνι της Μασσαλίας (ήταν πολλαπλάσιες των άλλων λιμανιών), αλλά και τα αποτελέσματα των λιμανιών της Βενετίας και της Σιβιταβέτσια. Τα αποτελέσματα που αφορούσαν την εκπεμπόμενη μάζα του SO₂, ήταν μικρότερα από αυτά του Πειραιά, σε αντίθεση με τους άλλους εξεταζόμενους ρύπους, όπου στα Λιμάνια της Ιταλίας ήταν μεγαλύτερα. Αυτό οφείλεται στη υιοθέτηση αυστηρότερων κριτηρίων που αφορούν την περιεκτικότητα του καυσίμου σε θειικές ενώσεις.

Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ρύπων παρατηρούνται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όπως προκύπτει και από τα αποτελέσματα του ISC3. Αυτό συμβαίνει, γιατί κατά τους θερινούς μήνες χρησιμοποιείται περισσότερο καύσιμο από τις μηχανές, με σκοπό κατά βάση το κλιματισμό των εσωτερικών χώρων των πλοίων, αλλά και λόγω των περισσότερων αφίξεων στο λιμάνι. Πιο συγκεκριμένα, οι μέγιστες συγκεντρώσεις ρύπων παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα.

Ρύπος	Μέγιστη συγκέντρωση (μg/m ³) (Πειραιάς)	Μέγιστη συγκέντρωση (μg/m ³) (Χανιά)	Μέγιστη συγκέντρωση (μg/m ³) Λιμανιού Μπρίσμπαν
CO	41,59	30,12	48,6
ΑΣ₁₀	39,23	34,68	64,2
SO₂	36,2	28,68	-
NO_x	37,4	45,63	-

Πίνακας 40: Οι μέγιστες συγκεντρώσεις για τα λιμάνια του Πειραιά, Χανίων και Μπρίσμπαν

Οι συγκεντρώσεις, για το λιμάνι του Πειραιά, απέχουν από τα όρια της Ε.Ε. Επίσης είναι κοντά με την ανάλογη διπλωματική για το λιμάνι της Σούδας αλλά και με αντίστοιχη έρευνα για το λιμάνι της Μπρίσμπαν της Αυστραλίας. Από τα παραπάνω μπορούμε να εξάγουμε το συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα των συγκεντρώσεων της παρούσας διπλωματικής είναι αρκετά ρεαλιστικά. Σε αυτό το σημείο, να τονίσουμε ότι η παρούσα εργασία επικεντρώνεται μόνο στα επιβατηγά πλοία για το χρονικό διάστημα ενός χρόνου. Επομένως, δεν μπορούμε να εξάγουμε ακριβή συμπεράσματα όσον αφορά τη ναυτιλιακή ρύπανση στο Πειραιά, αλλά μια εικόνα αυτής. Ωστόσο, τα αποτελέσματα του ISC3 ήταν αρκετά κοντά με τις τιμές που

προέκυψαν στο κεφάλαιο 2 (μετά από επεξεργασία των τιμών των συγκεντρώσεων, του οργάνου του ΥΠΕΝ), γεγονός που αποδεικνύει την ρεαλιστικότητα των αποτελεσμάτων της παρούσας ερευνητικής μελέτης. Τέλος, οι διαφοροποιήσεις που υπάρχουν στα αποτελέσματα, απορρέουν από το γεγονός ότι μελετήθηκαν μόνο οι εκπομπές των επιβατηγών πλοίων, ενώ αντίθετα το όργανο μέτρησης μετρά τις συγκεντρώσεις ρύπων ανεξαρτήτου προελεύσεως.

Κεφάλαιο 11^ο : Προτάσεις μείωσης ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία

11.1 Προτάσεις μείωσης ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία

Τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από την παρούσα διπλωματική δεν επαρκούν για να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα όσον αφορά τη διασπορά των ρύπων στο λιμάνι του Πειραιά. Αυτό συμβαίνει γιατί για τον υπολογισμό των εκπομπών χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα επιβατηγά πλοία. Η διπλωματική συγγράφηκε τον καιρό της πανδημίας του COVID-19. Μια χρονική περίοδος που δεν υπήρχαν και κρουαζιερόπλοια στο λιμάνι καθώς οι κρουαζιέρες είχαν απαγορευτεί. Επίσης, το λιμάνι του Πειραιά είναι υπερμέγεθες με εκατοντάδες πλοία να το χρησιμοποιούν για τον ελλιμενισμό τους. Πλοία για τα οποία δεν υπήρχαν δεδομένα για να υπολογιστούν οι εκπομπές τους. Επομένως, οι προτάσεις που μπορούν να γίνουν αφορούν μόνο την τοπική ρύπανση και όχληση.

1. Πολύ αναγκαίο κρίνεται η ολοκλήρωση των έργων για τον υπόγειο σιδηρόδρομο. Το λιμάνι του Πειραιά είναι προσβάσιμο από διάφορα λεωφορεία από τον προαστιακό και από τη Γραμμή 1 του μετρό. Με την ολοκλήρωση των έργων και του υπόγειου σιδηρόδρομου λιγότεροι άνθρωποι θα χρησιμοποιούν το ιδιωτικό τους όχημα για πρόσβαση στο λιμάνι με αποτέλεσμα τον αποσυμφορισμό της περιοχής.
2. Πρέπει να γίνονται από τις αρχές περισσότεροι έλεγχοι των εκπεμπόμενων ρύπων από τα πλοία κατά το αγκυροβόλιο τους. Ανάλογα των τιμών αυτών να υπάρχει αυστηρή φορολογία στα πλοία.
3. Οι ναυτιλιακές εταιρείες να στραφούν σε οικολογικά καύσιμα τα οποία θα έχουν την ελάχιστη δυνατή συγκέντρωση σε οξείδια του θείου.
4. Κατάλληλες μετατροπές στα πλοία ώστε να γίνεται πλέον η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζονται.
5. Ανανέωση του στόλου πλοίων. Τα περισσότερα πλοία μελέτης είναι πλοία με παλιές μηχανές που τους έγιναν μετατροπές μόνο στο αισθητικό κομμάτι.
6. Σύνδεση των πλοίων με ειδικά διαμορφωμένες εγκαταστάσεις στους λιμένες με σκοπό την εκμετάλλευση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην ενδοχώρα.

Για την ελαχιστοποίηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα λιμάνια απαιτείται προσπάθεια και από την πολιτεία αλλά και από τις ίδιες τις ναυτιλιακές. Τα πλοία πρέπει να βασιστούν σε σύγχρονα οικολογικά καύσιμα και για την κίνησή τους, αλλά και για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζονται, σε συνδυασμό πάντα με την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Κατ' αυτόν τον τρόπο θα μειωθεί η κατανάλωση τους σε καύσιμο. Σε αυτό το σημείο, κρίνεται απαραίτητο

να αναφερθεί ότι τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αλλά και οι ανεμογεννήτριες μπορούν να εγκατασταθούν όχι μόνο στα λιμάνια αλλά και στα ίδια τα πλοία. Με αυτό το τρόπο, θα έχουμε μείωση κατανάλωσης του καυσίμου και κατ' επέκταση και μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων. Ειδικά, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες που η ηλιακή ακτινοβολία είναι έντονη τα φωτοβολταϊκά πλαίσια πρέπει να αξιοποιηθούν, αφού ως ένα βαθμό η απόδοσή τους είναι ανάλογη της ποσότητας ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται. Όταν τα πλοία βρίσκονται στα λιμάνια προτείνεται να χρησιμοποιούν ηλεκτροδότηση από τη στεριά αντί να τη παράγουν (με καύση συμβατικών καυσίμων). Αυτό, θα συμβάλλει σε σημαντικές μειώσεις των εκπομπών αφού η απόδοση των χερσαίων σταθμών παραγωγής είναι υψηλότερη από αυτή των πλοίων. Επιπλέον, συνήθως η ηλεκτρική ενέργεια στη ξηρά παράγεται σε περιοχές που είναι λιγότερο πυκνοκατοικημένες από τις περιοχές των λιμανιών.

Σημαντική είναι και η χρήση νέων τεχνολογιών, όπως για παράδειγμα της κυψέλης καυσίμου. Καταναλώνοντας ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια κυψέλη καυσίμου και αποθηκεύεται σε μπαταρίες, μπορεί να μεγιστοποιηθεί την ενεργειακή απόδοση εξισορροπώντας το φορτίο κάθε εξαρτήματος. Παρά το γεγονός ότι η συνολική αύξηση της απόδοσης είναι μικρότερη από 2%, η χρήση κυψέλης καυσίμου μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των NO_x και ΑΣ περισσότερο από 60% και μείωση του CO_2 κατά περίπου 30% (Γεντεκάκης, 2010). Όπως παρατηρούμε κάθε νέα τεχνολογία πρέπει να χρησιμοποιηθεί ακόμα και στον υφιστάμενο στόλο πλοίων προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές.

Τέτοιες τεχνολογίες είναι :

- Οι τροποποιήσεις των κινητήρων με σκοπό την αλλαγή του τρόπου καύσης τους. Τη διαδικασία καύσης την επηρεάζουν διάφοροι παράγοντες. Αυτός είναι και ο λόγος που έχουν προταθεί και ανάλογες τροποποιήσεις. Πολλές τροποποιήσεις αποσκοπούν στη μείωση εκπομπών NO_x , μέσω της μείωσης θερμοκρασιών και πιέσεων μέσα στο κύλινδρο. Οι σύγχρονες βαλβίδες καυσίμου, αντικαθιστούν τις παλιές οδηγώντας σε μείωση των εκπομπών NO_x , έως και 40%. Επιπρόσθετα μπορεί να δημιουργηθεί και σύστημα ανακυκλοφορίας καυσαερίων, που θα μειώσει και άλλο τις εκπομπές.
- Μέσω της επιλεκτικής αναγωγής, τα NO_x , χρησιμοποιώντας χημικά στοιχεία όπως η ουρία και η αμμωνία μπορούν να μετατραπούν σε άζωτο και νερό. Αυτό γίνεται με και χωρίς παρουσία καταλύτη.
- Μέσω κυψελίδων καυσίμου. Μετατρέπεται η χημική ενέργεια του καυσίμου σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω ηλεκτροχημικών αντιδράσεων. Η διαδικασία απαιτεί την παροχή ενός κατάλληλου καυσίμου και ένα οξειδωτικό όπως αέρα (οξυγόνο). Οι εκπομπές σε SO_x και ΑΣ είναι μηδενικές, και οι εκπομπές NO_x είναι αμελητέες.
- Τεχνολογία common rail. Είναι μια τεχνολογία ψεκασμού καυσίμου, η οποία στοχεύει σε μεγαλύτερη έλεγχο του ψεκασμού, με σκοπό τη μείωση των εκπομπών, κυρίως NO_x και τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης του κινητήρα.
- Οι πλυντρίδες είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος μείωσης ρύπων. Χρησιμοποιούν αλκαλικές ενώσεις για την εξουδετέρωση οξειδίων του θείου στην πλυντρίδα και τα μεταφέρουν στο νερό με τη μορφή των θειικών.

Μπορούν να μειώσουν τα SO₂ κατά 99%, τα NO_x και αιωρούμενα σωματίδια κατά 85% χωρίς αύξηση των εκπομπών CO₂. Στη πλυντρίδα, η έκπλυση μπορεί να γίνει και με θαλασσινό και με γλυκό νερό. Πρόκειται για ένα αποδοτικό τρόπο μείωσης ρύπων.

- Στα επιβατηγά πλοία μεγάλο μέρος ηλεκτρικής ενέργειας δαπανάται για τον κλιματισμό ειδικά τους θερινούς μήνες. Έτσι με μία αλλαγή των υλικών των εσωτερικών σαλονιών των επιβατηγών πλοίων, με υλικά που έχουν καλή ενεργειακή απόδοση μπορεί να μειωθεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και κατά συνέπεια και οι εκπεμπόμενοι ρύποι.
- Ξεχωριστός λόγος πρέπει να γίνει και για τα νέα οικολογικά καύσιμα (LNG) και βιοκαύσιμα. Οι μηχανές LNG μπορεί να καίνε αποκλειστικά LNG ή να είναι διπλού καύσιμου, δηλαδή να καίνε LNG και συμβατικό καύσιμο. Επίσης υπάρχουν και καύσιμα τα οποία περιέχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο.
- Τα φίλτρα των ΑΣ. Πρόκειται για μια τεχνολογία δοκιμασμένη στη βιομηχανία αλλά για την εφαρμογή της στη ναυτιλία δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία. Τα σωματίδια μπορούν να αφαιρεθούν από τα καυσαέρια με στροβιλισμό, ηλεκτροστατικά φίλτρα και σακούλες φίλτρου. (Miola et. al. 2010)

Δυστυχώς, πολλές από τις παραπάνω τεχνολογίες ή είναι ακόμα σε πειραματικό στάδιο ή έχουν σχετικά υψηλό κόστος για την εγκατάστασή τους. Για το λόγο αυτό, σπάνια αυτές οι τεχνολογίες εγκαθίστανται σε πλοία. Επίσης αρκετά πιο ακριβά είναι και τα εναλλακτικά καύσιμα σε σύγκριση με το πετρέλαιο που χρησιμοποιούν ως καύσιμο τώρα τα πλοία.

Συμπερασματικά, εξάγεται το πόρισμα ότι υπάρχουν αρκετοί τρόποι με τους οποίους μπορούν να μειωθούν οι εκπεμπόμενοι ρύποι από τα πλοία. Πρέπει η πολιτεία με τη θέσπιση νόμων και φορολογίας άλλα και οι ναυτιλιακές με την υιοθέτηση διάφορων νέων τεχνολογιών να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα της ρύπανσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση

ALOHA Example Scenarios (September 2016). *National Oceanic and Atmospheric Administration*. Washington: National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Environmental Protection Agency. Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021 από https://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/ALOHA_Examples.pdf

ALOHA USER'S MANUAL (February 2007). *U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY*. Washington: National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Environmental Protection Agency. Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021

από

<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1003UZB.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2006+Thru+2010&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data%5C06thru10%5CTxt%5C00000008%5CP1003UZB.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyPURL>

Apostolopoulou K. and Varnavas S.P. (2011), Air pollution in the town of Patras, Greece related to maritime transport and port activities, *Proceeding of the 12th International Conference on Environmental Science and Technology*, Rhodes Greece 8-11, 2011, A94-102.

C. Wang, J. J. Corbett, and J. Firestone, (2007). Modeling energy use and emissions from North American shipping: Application of the ship traffic, energy, and environment model. *Environ. Sci. Technol.*, 41 (9), pp. 3226–3232. DOI: [10.1021/es060752e](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17539530/) Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021 από <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17539530/>

EUROPEAN FEDERATION FOR TRANSPORT AND ENVIRONMENT, (2012). *Towards a strong and reliable ship emissions monitoring system*. Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021 από <https://www.transportenvironment.org/discover/towards-strong-and-reliable-ship-emissions-monitoring-system/>

Fatogoma, O. & Jacko, R. B. (2002). A model to estimate mixing height and its effect on ozone modeling. *Environ International Maritime Organization*, 36, 3699–3708.

Garratt, J.R. (1994). *The Atmospheric Boundary Layer*. Cambridge: University Press, Cambridge.

MARPLOT, (1999). *MAPPING APPLICATION FOR RESPONSE, PLANNING, AND LOCAL OPERATIONAL TASKS*. Washington: U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, Chemical Emergency Preparedness and Prevention Office, Hazardous Materials Response and Assessment Division Seattle. Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021 από <http://www.disaster-info.net/lideres/english/jamaica/bibliography/ChemicalAccidents/CameoPkg/marplotInstructor.pdf>

Robinson, A. B., Baliunas, S. L., Soon, W., & Robinson, Z.W. (1998). Environmental effects of increased atmospheric carbon dioxide. *Medical Sentinel*, 3 (5). doi:[10.3354/cr013149](https://doi.org/10.3354/cr013149) Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021 από <https://www.semanticscholar.org/paper/Environmental-effects-of-increased-atmospheric-Soon-Baliunas/e0247b3ab386f737284e0ed20d138e3d8e47b489>

Tzannatos, E. (2010). Ship emissions and their externalities for the port of Piraeus – Greece. *Atmospheric Environment*, 44 (3), 400 - 407. DOI:[10.1016/j.atmosenv.2009.10.024](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.10.024) Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021 από https://www.researchgate.net/publication/223548115_Ship_emissions_and_their_externalities_for_the_port_of_Piraeus_-_Greece

U.S. EPA. (1995f). *User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models, Volumes I and II*. Office of Air Quality Planning and Standards. Emissions, Monitoring, and Analysis Division. Research Triangle Park, North Carolina. EPA 454/B-95/003a. September. Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021 από <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/0000324F.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1995+Thru+1999&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data%5C95thru99%5CTxt%5C00000000%5C0000324F.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=>

[ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SekPage=x&ZyPURL](#)

Vlachokostas, Ch., Achillas, Ch., Moussiopoulos, N., Hourdakakis, E et al. (2009). Decision support system for the evaluation of urban air pollution control options: Application for particulate pollution in Thessaloniki, Greece. *Science of The Total Environment*, 407 (23), 5937 – 48. DOI:[10.1016/j.scitotenv.2009.07.040](#) Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021 από

https://www.researchgate.net/publication/26805951_Decision_support_system_for_the_evaluation_of_urban_air_pollution_control_options_Application_for_particulate_pollution_in_Thessaloniki_Greece

Wright, P. (2013). Impacts of climate change on ports and shipping. *MARINE CLIMATE CHANGE IMPACTS PARTNERSHIP: SCIENCE REVIEW*, 2013, 263-270. doi:[10.14465/2013.arc28.263-270](#) Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021 από https://www.mccip.org.uk/sites/default/files/2021-08/2013arc_sciencereview_28_pas_final.pdf

Zannetti P. (1990). *Air Pollution Modelling*. New York: Van Nostrand Reinhold.

Ελληνόγλωσση

Αλεξανδροπούλου, Β. (2010). *Ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος υποστήριξης αποφάσεων για την εκτίμηση της έκθεσης του ανθρώπου σε ατμοσφαιρικά αιωρούμενα σωματίδια και των επιπτώσεων τους στην ανθρώπινη υγεία* (Δημοσιευμένη Διδακτορική Διατριβή). Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος.

ΑΠΟΣΤΟΛΟΠΟΥΛΟΥ, Κ. (2006). *Περιβαλλοντική Μελέτη του Περιβάλλοντος του Λιμένα Πατρών* (Δημοσιευμένη Διπλωματική εργασία). Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών.

Βαρώτσου, Ε. (2012). *Αιωρούμενα σωματίδια σε κλειστούς χώρους, σε διαφορετικούς τύπους κτιρίων*. Πάτρα: Πανεπιστημίου Πατρών, Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας, ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ. Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021 από

[https://nemertes.library.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/6099/3/Nimertis_Varotsou\(bio\).pdf](https://nemertes.library.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/6099/3/Nimertis_Varotsou(bio).pdf)

Βουλγαράκης, Α. (2014). *Μελέτη τροποσφαιρικού όζοντος και αιωρούμενων σωματιδίων στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων* (Δημοσιευμένη Μεταπτυχιακή Διατριβή). Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος. Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021 από https://www.chenveng.tuc.gr/el/spoydes/archeio-ergasion-kai-diatribon?tx_tucrepository_repdisplay%5Baction%5D=list&tx_tucrepository_repdisplay%5Bcontroller%5D=Repdisplay&tx_tucrepository_repdisplay%5Bp%5D=19&tx_tucrepository_repdisplay%5Bt%5D=2&cHash=64089d243ea33f3f6be0ccb9a91b2135

Γεντεκάκης, Ι. (1999). *Ατμοσφαιρική ρύπανση, Επιπτώσεις, Έλεγχος και Εναλλακτικές Τεχνολογίες*. Αθήνα: Τζιόλα.

ΓΕΝΤΕΚΑΚΗΣ, Ι.Β (2003). *ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ. Επιπτώσεις, έλεγχος και εναλλακτικές τεχνολογίες*. Αθήνα: Τζιόλα.

Επιτροπή των Ευρωπαϊκών κοινοτήτων (2005). *Οδηγίες του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερου αέρα για την Ευρώπη*. Βρυξέλλες. Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021 από <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52005PC0447&from=EN>

Καζαντζή, Α. (2011). *Μελέτη και ανάλυση συσχετίσεων των σωματιδίων PM 10 με τα σωματίδια PM 2,5 και τις μετεωρολογικές παραμέτρους για την περιοχή της Θεσσαλονίκης*. Θεσσαλονίκη Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική σχολή, τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών.

Κακογιάννης, Α (2013). *Υπολογισμός των εκλυόμενων ρύπων από πλοία σε λιμένες κατά περίπτωση (case study), του λιμένα του Πειραιά*. Διαθέσιμο σε <http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/handle/123456789/40343/Kakogiannis%20Alexandros.pdf?sequence=1> (Ημ/νια πρόσβασης 15/12/2021)

Κοτρίκλα , Α. Μ. (2015). *Ναυτιλία και Περιβάλλον*. ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ. Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021 από <https://repository.kallipos.gr/pdfviewer/web/viewer.html?file=/bitstream/11419/>

[5478/5/%ce%9d%ce%b1%cf%85%cf%84%ce%b9%ce%bb%ce%af%ce%b1%ce%ba%ce%b1%ce%b9%ce%a0%ce%b5%cf%81%ce%b9%ce%b2%ce%ac%ce%bb%ce%bb%ce%bf%ce%bd_v2.0.pdf](#)

Λαζαρίδης, Μ. (2008). *Ατμοσφαιρική ρύπανση με στοιχεία μετεωρολογίας*. Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα.

Λαζαρίδης, Μ. (2008). *Ποιότητα Αέρα σε Εσωτερικούς Χώρους*. Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα.

Λαράσι, Λ (2014). ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ. Χανιά: Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης

Λακαφώσης, Κ. (2012). Έλληνες χτίζουν ηλεκτρικό πλοίο. Θα κινείται με φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες χωρίς θερμική καύση. Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021 από <https://www.energia.gr/article/59029/ellhnes-htizoun-hlektriko-ploio-poy-tha-kineitai-me-ape>

ΜΑΣΣΑΡΑ, Β. (2011). *Αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα της Πάτρας* (Δημοσιευμένη Ερευνητική Εργασία). Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Βιολογίας, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στις Περιβαλλοντικές Επιστήμες. Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021 από [https://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/5162/3/Nimertis_Massar_a\(bio\).pdf](https://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/5162/3/Nimertis_Massar_a(bio).pdf)

ΟΔΗΓΙΑ 1999/32/EU

ΟΔΗΓΙΑ 2005/32/EU

ΟΔΗΓΙΑ 2012/32/EU

Παντελάκη, Χ. (2018). *Χαρακτηρισμός αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους και προσδιορισμός της ανθρώπινης έκθεσης και δόσης* (Δημοσιευμένη Διπλωματική Εργασία). Χανιά: Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης. Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021 από <https://dias.library.tuc.gr/view/79377?locale=el>

Παπαγιαννάκης, Ε. (2015). *Δημιουργία μιας φιλικής προς τον χρήστη γραφικής πλατφόρμας για το μοντέλο ExDoM2 (Exposure Dose Model2) και η εφαρμογή του στο μετρό της Αθήνας (Δημοσιευμένη Μεταπτυχιακή Εργασία)*. Χανιά: Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.

ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ, ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ. Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021 από <https://docplayer.gr/63520059-Hronies-epiptoseis-tis-atmosfairikis-rypansis-stin-ygeia.html>

Συρράκος, Σ. (2014). *ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΚΡΟΥΑΖΙΕΡΟΠΛΟΙΩΝ ΣΕ ΛΙΜΕΝΕΣ: ΟΙ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΛΙΜΑΝΙΩΝ ΠΕΙΡΑΙΑ, ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΑΙ ΣΟΥΔΑΣ*. Χανιά: Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Δίοικησης, Πολυτεχνείο Κρήτης

Τσιριγώτης, Β. (2012). *Χρόνιες επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία* (Δημοσιευμένη Μεταπτυχιακή Εργασία). Λάρισα: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ –

ΥΠΕΚΑ (2014). *Annual Inventory Submission under the Convention and the Kyoto Protocol for Greenhouse and Other Gases for the Years 1990 – 2012. United Nations Framework Convention on Climate Change*. Αθήνα: Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021 από http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/8108.php

Χαλβατζάκη, Ε. (2016). *Έκθεση και επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων από αιωρούμενα σωματίδια* (Δημοσιευμένη Διδακτορική Διατριβή). Χανιά: Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης. Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021 από <https://www.didaktorika.gr/eadd/handle/10442/37087>

Ψύχα, Α. Γ., Μιχαήλ, Μ., Μινογιάννη, Β. (2016). *Ναυτική μετεωρολογία*. Αθήνα.

ΔΙΚΤΥΟΓΡΑΦΙΑ

<http://scientific-journal-articles.org/greek/free-online-journals/medical/medical-articles/saxinidis/somatidia.htm> Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021

https://www.poseidonmedii.eu/editor/upload/CERTH_presentation_%20Adamis.pdf

Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021

https://en.wikipedia.org/wiki/MARPOL_73/78 Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021

<http://lap.physics.auth.gr/atmdiasp/simeiwseis/chapter2.pdf> Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021

<http://www.el.wikipedia.org/wiki/ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΣΗΚΟΣΥΣΤΗΜΑ> Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021

https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/8584/Exarxos_Sotirios.pdf?sequence=1&isAllowed=y Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CF%81%CF%89%CF%84%CF%8C%CE%BA%CE%BF%CE%BB%CE%BB%CE%BF_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%9A%CE%B9%CF%8C%CF%84%CE%BF Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%85%CE%BC%CF%86%CF%89%CE%BD%CE%AF%CE%B1_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%B9%CE%BF%CF%8D Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021

https://repository.kallipos.gr/pdfviewer/web/viewer.html?file=/bitstream/11419/5483/3/02_chapter_7.pdf Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021

https://www.eef.edu.gr/media/2528/e_j00067.pdf Ανακτήθηκε στις 17 Δεκεμβρίου 2021

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παράρτημα 1: Αποτελέσματα Εκπεμπόμενης μάζας

Αποτελέσματα εκπεμπόμενης μάζας SO₂ για τους θερινούς μήνες

Όνομα πλοίου	Κατηγορία	Καύσιμο	Vmax(knots)	Real(knots)	Pmain(kw)	Paux(kw)	LFME(M)	LF(AUX)_M	LFB(AUX)-B	TM(H)	TB(H)	EFME(g/kwh)	EFAE(g/kwh)	Em(SO ₂)	Eb(SO ₂)
Ν.ΡΟΔΟΣ	Ro-Ro	diesel	24	22,5	34420	8949,2	0,2	0,75	0,45	0,25	14,5	4,5	6,5	0,02	0,83
ΚΡΗΤΗ I	Ro-Ro	diesel	25	21	47759	12417,34	0,2	0,75	0,45	0,25	14,5	4,5	6,5	0,03	1,15
ΦΑΙΣΤΟΣ Π.	Ro-Ro	diesel	30	28	67224,75	17478,44	0,2	0,75	0,45	0,25	14,5	4,5	6,5	0,04	1,62
Ν.ΣΑΜΟΣ	Ro-Ro	diesel	24	21	34960	9089,6	0,2	0,75	0,45	0,25	13,5	4,5	6,5	0,02	0,78
Μ.ΣΤΑΡ 2	Ro-Ro	diesel	30	27	44480	11564,8	0,2	0,75	0,45	0,25	11	4,5	6,5	0,02	0,81
ΣΟΥΠΕΡΦΕΡ Υ II	Ro-Ro	diesel	25	21	13240	3442,4	0,2	0,75	0,45	0,25	12	4,5	6,5	0,01	0,26
Μ.ΣΤΑΡ ΝΑΞΟΣ	Ro-Ro	diesel	24	22,5	44480	11564,8	0,2	0,75	0,45	0,25	2,5	4,5	6,5	0,02	0,18
CHAMPION JET 2	Ro-Ro	diesel	45	40	7080	1840,8	0,2	0,75	0,45	0,25	20	4,5	6,5	0	0,24
Μ.ΣΤΑΡ ΠΑΡΟΣ	Ro-Ro	diesel	25	22,5	16569	4307,94	0,2	0,75	0,45	0,25	12	4,5	6,5	0,01	0,33
SPEEDRUNNER III	Ro-Ro	diesel	40	34	27500	7150	0,2	0,75	0,45	0,25	15	4,5	6,5	0,01	0,68
SEA JET 2	Ro-Ro	diesel	40	34	36000	9360	0,2	0,75	0,45	0,25	12	4,5	6,5	0,02	0,72
Μ.ΣΤΑΡ ΔΗΛΟΣ	Ro-Ro	diesel	27	25	31680	8236,8	0,2	0,75	0,45	0,25	7,5	4,5	6,5	0,02	0,39
ΚΡΗΤΗ II	Ro-Ro	diesel	25	21	47759	12417,3	0,2	0,75	0,45	0,25	14,5	4,5	6,5	0,03	1,15

					4										
Δ.ΣΟΛΩΜΟΣ	Ro-Ro	diesel	25	21	13500	3510	0,2	0,75	0,45	0,25	19	4,5	6,5	0,01	0,43
Μ.ΣΤΑΡ ΜΥΚΟΝΟΣ	Ro-Ro	diesel	27	25	31680	8236,8	0,2	0,75	0,45	0,25	16,5	4,5	6,5	0,02	0,87
ΚΝΩΣΟΣ	Ro-Ro	diesel	30	28	67224,7	17478,4	0,2	0,75	0,45	0,25	15	4,5	6,5	0,04	1,67
BLUE GALAXY	Ro-Ro	diesel	25	22	26184	6807,84	0,2	0,75	0,45	0,25	14,5	4,5	6,5	0,01	0,63
ΔΙΑΓΟΡΑΣ	Ro-Ro	diesel	23	21	9753	2535,78	0,2	0,75	0,45	0,25	13	4,5	6,5	0,01	0,21
Μ.ΣΤΑΡ ΠΑΤΜΟΣ	Ro-Ro	diesel	27	25	31680	8236,8	0,2	0,75	0,45	0,25	4	4,5	6,5	0,02	0,21
AQUA JEWEL	Ro-Ro	diesel	20	18	6400	1664	0,2	0,75	0,45	0,25	20	4,5	6,5	0	0,12

Πίνακας Παραρτήματος 1: Τα αποτελέσματα της εκπεμπόμενης μάζας SO₂ για τους θερινούς μήνες

Αποτελέσματα Εκπεμπόμενης μάζας SO₂ (Χειμώνα Άνοιξη Φθινόπωρο)

Όνομα πλοίου	Κατηγορία	Καύσιμο	Vmax(knots)	Vreal(knots)	Pmain(kw)	Paux(kw)	LFME(M)	LF(AUX)_M	LFB(AUX)-B	TM(H)	TB(H)	EFME(g/kwh)	EFAE(g/kwh)	Em(SO ₂)	Eb(SO ₂)
Ν.ΡΟΔΟΣ	Ro-Ro	diesel	24	22,5	34420	8949,2	0,2	0,75	0,45	0,25	14,5	4,5	6,5	0,02	0,83
ΚΡΗΤΗ Ι	Ro-Ro	diesel	25	21	47759	12417,34	0,2	0,75	0,45	0,25	14,5	4,5	6,5	0,03	1,15
ΦΑΙΣΤΟΣ Π.	Ro-Ro	diesel	30	28	67224,75	17478,44	0,2	0,75	0,45	0,25	14,5	4,5	6,5	0,04	1,62
Ν.ΣΑΜΟΣ	Ro-Ro	diesel	24	21	34960	9089,6	0,2	0,75	0,45	0,25	13,5	4,5	6,5	0,02	0,78
Μ.ΣΤΑΡ 2	Ro-Ro	diesel	30	27	44480	11564,8	0,2	0,75	0,45	0,25	11	4,5	6,5	0,02	0,81
ΣΟΥΠΕΡΦΕΡΥ II	Ro-Ro	diesel	25	21	13240	3442,4	0,2	0,75	0,45	0,25	12	4,5	6,5	0,01	0,26
Μ.ΣΤΑΡ ΝΑΞΟΣ	Ro-Ro	diesel	24	22,5	44480	11564,8	0,2	0,75	0,45	0,25	2,5	4,5	6,5	0,02	0,18

CHAMPION JET 2	Ro-Ro	diesel	45	40	7080	1840,8	0,2	0,75	0,45	0,25	20	4,5	6,5	0	0,24
Μ.ΣΤΑΡ ΠΑΡΟΣ	Ro-Ro	diesel	25	22,5	16569	4307,94	0,2	0,75	0,45	0,25	12	4,5	6,5	0,01	0,33
SPEEDRUN	Ro-Ro	diesel	40	34	27500	7150	0,2	0,75	0,45	0,25	15	4,5	6,5	0,01	0,68
SEA JET 2	Ro-Ro	diesel	40	34	36000	9360	0,2	0,75	0,45	0,25	12	4,5	6,5	0,02	0,72
Μ.ΣΤΑΡ ΔΗΛΟΣ	Ro-Ro	diesel	27	25	31680	8236,8	0,2	0,75	0,45	0,25	7,5	4,5	6,5	0,02	0,39
ΚΡΗΤΗ II	Ro-Ro	diesel	25	21	47759	12417,3 4	0,2	0,75	0,45	0,25	14,5	4,5	6,5	0,03	1,15
Δ.ΣΟΛΩΜΟΣ	Ro-Ro	diesel	25	21	13500	3510	0,2	0,75	0,45	0,25	19	4,5	6,5	0,01	0,43
Μ.ΣΤΑΡ ΜΥΚΟΝΟΣ	Ro-Ro	diesel	27	25	31680	8236,8	0,2	0,75	0,45	0,25	16,5	4,5	6,5	0,02	0,87
ΚΝΩΣΟΣ	Ro-Ro	diesel	30	28	67224,75	17478,4 4	0,2	0,75	0,45	0,25	15	4,5	6,5	0,04	1,67
BLUE GALAXY	Ro-Ro	diesel	25	22	26184	6807,84	0,2	0,75	0,45	0,25	14,5	4,5	6,5	0,01	0,63
ΔΙΑΓΟΡΑΣ	Ro-Ro	diesel	23	21	9753	2535,78	0,2	0,75	0,45	0,25	13	4,5	6,5	0,01	0,21
Μ.ΣΤΑΡ ΠΑΤΜΟΣ	Ro-Ro	diesel	27	25	31680	8236,8	0,2	0,75	0,45	0,25	4	4,5	6,5	0,02	0,21
AQUA JEWEL	Ro-Ro	diesel	20	18	6400	1664	0,2	0,75	0,45	0,25	20	4,5	6,5	0	0,12

Πίνακας Παραρτήματος 2: Τα αποτελέσματα της εκπεμπόμενης μάζας SO₂ για Χειμώνα Άνοιξη Φθινόπωρο

Αποτελέσματα Εκπεμπόμενης Μάζας NO_x για τους θερινούς μήνες

Όνομα πλοίου	Κατηγορία	Καύσιμο	V _{max} (knots)	V _{real} (knots)	P _{main} (kW)	P _{aux} (kW)	LFME(M)	LF(AUX)_M	LFB(AUX)_B	TM(H)	TB(H)	EFME(g/kWh)	EFAE(g/kWh)	Em(PM)	Eb(PM)
Ν.ΡΟΔΟΣ	Ro-Ro	diesel	24	22,5	34420	8949,2	0,2	0,75	0,45	0,25	14,5	9,6	14,7	0,04	1,82

ΚΡΗΤΗ Ι	Ro-Ro	diesel	25	21	47759	12417,3 4	0,2	0,75	0,45	0,25	14,5	9,6	14,7	0,06	2,52
ΦΑΙΣΤΟΣ Π.	Ro-Ro	diesel	30	28	67224,75	17478,4	0,2	0,75	0,45	0,25	14,5	9,6	14,7	0,08	3,55
Ν.ΣΑΜΟΣ	Ro-Ro	diesel	24	21	34960	9089,6	0,2	0,75	0,45	0,25	13,5	9,6	14,7	0,04	1,72
Μ.ΣΤΑΡ 2	Ro-Ro	diesel	30	27	44480	11564,8	0,2	0,75	0,45	0,25	11	9,6	14,7	0,05	1,78
ΣΟΥΠΕΡΦΕΡ Υ ΙΙ	Ro-Ro	diesel	25	21	13240	3442,4	0,2	0,75	0,45	0,25	12	9,6	14,7	0,02	0,58
Μ.ΣΤΑΡ ΝΑΞΟΣ	Ro-Ro	diesel	24	22,5	44480	11564,8	0,2	0,75	0,45	0,25	2,5	9,6	14,7	0,05	0,4
CHAMPION JET 2	Ro-Ro	diesel	45	40	7080	1840,8	0,2	0,75	0,45	0,25	20	9,6	14,7	0,01	0,52
Μ.ΣΤΑΡ ΠΑΡΟΣ	Ro-Ro	diesel	25	22,5	16569	4307,94	0,2	0,75	0,45	0,25	12	9,6	14,7	0,02	0,72
SPEEDRUNN ER III	Ro-Ro	diesel	40	34	27500	7150	0,2	0,75	0,45	0,25	15	9,6	14,7	0,03	1,5
SEA JET 2	Ro-Ro	diesel	40	34	36000	9360	0,2	0,75	0,45	0,25	12	9,6	14,7	0,04	1,57
Μ.ΣΤΑΡ ΔΗΛΟΣ	Ro-Ro	diesel	27	25	31680	8236,8	0,2	0,75	0,45	0,25	7,5	9,6	14,7	0,04	0,86
ΚΡΗΤΗ ΙΙ	Ro-Ro	diesel	25	21	47759	12417,3 4	0,2	0,75	0,45	0,25	14,5	9,6	14,7	0,06	2,52
Δ.ΣΟΛΩΜΟΣ	Ro-Ro	diesel	25	21	13500	3510	0,2	0,75	0,45	0,25	19	9,6	14,7	0,02	0,93
Μ.ΣΤΑΡ ΜΥΚΟΝΟΣ	Ro-Ro	diesel	27	25	31680	8236,8	0,2	0,75	0,45	0,25	16,5	9,6	14,7	0,04	1,9
ΚΝΩΣΟΣ	Ro-Ro	diesel	30	28	67224,75	17478,4	0,2	0,75	0,45	0,25	15	9,6	14,7	0,08	3,67
BLUE GALAXY	Ro-Ro	diesel	25	22	26184	6807,84	0,2	0,75	0,45	0,25	14,5	9,6	14,7	0,03	1,38
ΔΙΑΓΟΡΑΣ	Ro-Ro	diesel	23	21	9753	2535,78	0,2	0,75	0,45	0,25	13	9,6	14,7	0,01	0,46
Μ.ΣΤΑΡ ΠΑΤΜΟΣ	Ro-Ro	diesel	27	25	31680	8236,8	0,2	0,75	0,45	0,25	4	9,6	14,7	0,04	0,46

AQUA JEWEL	Ro-Ro	diesel	20	18	6400	1664	0,2	0,75	0,45	0,25	20	9,6	14,7	0,01	0,25
------------	-------	--------	----	----	------	------	-----	------	------	------	----	-----	------	------	------

Πίνακας Παραρτήματος 3: Αποτελέσματα εκπεμπόμενης μάζας NO_x για τους θερινούς μήνες

Αποτελέσματα Εκπεμπόμενης Μάζας NO_x (Χειμώνα Άνοιξη Φθινόπωρο)

Όνομα πλοίου	Κατηγορία	Καύσιμο	Vmax(knots)	Vreal(knots)	Pmain(kw)	Paux(kw)	LFME(M)	LF(AUX)_M	LFBAUX)-B	TM(H)	TB(H)	EFME(g/kwh)	EFAE(g/kwh)	Em(PM)	Eb(PM)
Ν.ΡΟΔΟΣ	Ro-Ro	diesel	24	22,5	34420	8949,2	0,2	0,6	0,3	0,25	14,5	9,6	14,7	0,04	1,53
ΚΡΗΤΗ Ι	Ro-Ro	diesel	25	21	47759	12417,34	0,2	0,6	0,3	0,25	14,5	9,6	14,7	0,05	2,12
ΦΑΙΣΤΟΣ Π.	Ro-Ro	diesel	30	28	67224,75	17478,44	0,2	0,6	0,3	0,25	14,5	9,6	14,7	0,07	2,99
Ν.ΣΑΜΟΣ	Ro-Ro	diesel	24	21	34960	9089,6	0,2	0,6	0,3	0,25	13,5	9,6	14,7	0,04	1,45
Μ.ΣΤΑΡ 2	Ro-Ro	diesel	30	27	44480	11564,8	0,2	0,6	0,3	0,25	11	9,6	14,7	0,05	1,5
ΣΟΥΠΕΡΦΕΡ Υ ΙΙ	Ro-Ro	diesel	25	21	13240	3442,4	0,2	0,6	0,3	0,25	12	9,6	14,7	0,01	0,49
Μ.ΣΤΑΡ ΝΑΞΟΣ	Ro-Ro	diesel	24	22,5	44480	11564,8	0,2	0,6	0,3	0,25	2,5	9,6	14,7	0,05	0,34
CHAMPION JET 2	Ro-Ro	diesel	45	40	7080	1840,8	0,2	0,6	0,3	0,25	20	9,6	14,7	0,01	0,43
Μ.ΣΤΑΡ ΠΑΡΟΣ	Ro-Ro	diesel	25	22,5	16569	4307,94	0,2	0,6	0,3	0,25	12	9,6	14,7	0,02	0,61
SPEEDRUNNER III	Ro-Ro	diesel	40	34	27500	7150	0,2	0,6	0,3	0,25	15	9,6	14,7	0,03	1,26
SEA JET 2	Ro-Ro	diesel	40	34	36000	9360	0,2	0,6	0,3	0,25	12	9,6	14,7	0,04	1,32
Μ.ΣΤΑΡ ΔΗΛΟΣ	Ro-Ro	diesel	27	25	31680	8236,8	0,2	0,6	0,3	0,25	7,5	9,6	14,7	0,03	0,73

ΚΡΗΤΗ II	Ro-Ro	diesel	25	21	47759	12417,3 4	0,2	0,6	0,3	0,25	14,5	9,6	14,7	0,05	2,12
Δ.ΣΟΛΩΜΟΣ	Ro-Ro	diesel	25	21	13500	3510	0,2	0,6	0,3	0,25	19	9,6	14,7	0,01	0,79
Μ.ΣΤΑΡ ΜΥΚΟΝΟΣ	Ro-Ro	diesel	27	25	31680	8236,8	0,2	0,6	0,3	0,25	16,5	9,6	14,7	0,03	1,6
ΚΝΩΣΟΣ	Ro-Ro	diesel	30	28	67224,75	17478,4 4	0,2	0,6	0,3	0,25	15	9,6	14,7	0,07	3,09
BLUE GALAXY	Ro-Ro	diesel	25	22	26184	6807,84	0,2	0,6	0,3	0,25	14,5	9,6	14,7	0,03	1,16
ΔΙΑΓΟΡΑΣ	Ro-Ro	diesel	23	21	9753	2535,78	0,2	0,6	0,3	0,25	13	9,6	14,7	0,01	0,39
Μ.ΣΤΑΡ ΠΑΤΜΟΣ	Ro-Ro	diesel	27	25	31680	8236,8	0,2	0,6	0,3	0,25	4	9,6	14,7	0,03	0,39
AQUA JEWEL	Ro-Ro	diesel	20	18	6400	1664	0,2	0,6	0,3	0,25	20	9,6	14,7	0,01	0,25

Πίνακας Παραρτήματος 4: Αποτελέσματα εκπεμπόμενης μάζας NO_x για Χειμώνα Άνοιξη Φθινόπωρο

Αποτελέσματα Εκπεμπής Μάζας ΑΣ_{2,5} για το καλοκαίρι

Όνομα πλοίου	Κατηγορ ία	Καύσι μο	Vmax(kno ts)	Vreal(kno ts)	Pmain(k w)	Paux(k w)	LFME(M)	LF(AUX) _M	LFB(AU X)-B	TM(H)	TB(H)	EFME(g/k wh)	EFAE(g/k wh)	Em(P M)	Eb(P M)
Ν.ΡΟΔΟΣ	Ro-Ro	diesel	24	22,5	34420	8949,2	0,2	0,75	0,45	0,25	14,5	0,9	0,3	0,0021	0,11
ΚΡΗΤΗ I	Ro-Ro	diesel	25	21	47759	12417,3	0,2	0,75	0,45	0,25	14,5	0,9	0,3	0,0028	0,15
ΦΑΙΣΤΟΣ Π.	Ro-Ro	diesel	30	28	67225	17478,4	0,2	0,75	0,45	0,25	14,5	0,9	0,3	0,0040	0,21
Ν.ΣΑΜΟΣ	Ro-Ro	diesel	24	21	34960	9089,6	0,2	0,75	0,45	0,25	13,5	0,9	0,3	0,0021	0,1
Μ.ΣΤΑΡ 2	Ro-Ro	diesel	30	27	44480	11564,8	0,2	0,75	0,45	0,25	11	0,9	0,3	0,0027	0,11
ΣΟΥΠΕΡΦΕΡ Υ II	Ro-Ro	diesel	25	21	13240	3442,4	0,2	0,75	0,45	0,25	12	0,9	0,3	0,0008	0,03

Μ.ΣΤΑΡ ΝΑΞΟΣ	Ro-Ro	diesel	24	22,5	44480	11564,8	0,2	0,75	0,45	0,25	2,5	0,9	0,3	0,0027	0,02
CHAMPION JET 2	Ro-Ro	diesel	45	40	7080	1840,8	0,2	0,75	0,45	0,25	20	0,9	0,3	0,0004	0,03
Μ.ΣΤΑΡ ΠΑΡΟΣ	Ro-Ro	diesel	25	22,5	16569	4307,94	0,2	0,75	0,45	0,25	12	0,9	0,3	0,0010	0,04
SPEEDRUNN ER III	Ro-Ro	diesel	40	34	27500	7150	0,2	0,75	0,45	0,25	15	0,9	0,3	0,0016	0,09
SEA JET 2	Ro-Ro	diesel	40	34	36000	9360	0,2	0,75	0,45	0,25	12	0,9	0,3	0,0021	0,09
Μ.ΣΤΑΡ ΔΗΛΟΣ	Ro-Ro	diesel	27	25	31680	8236,8	0,2	0,75	0,45	0,25	7,5	0,9	0,3	0,0019	0,05
ΚΡΗΤΗ II	Ro-Ro	diesel	25	21	47759	12417,3	0,2	0,75	0,45	0,25	14,5	0,9	0,3	0,0028	0,15
Δ.ΣΟΛΩΜΟΣ	Ro-Ro	diesel	25	21	13500	3510	0,2	0,75	0,45	0,25	19	0,9	0,3	0,0008	0,06
Μ.ΣΤΑΡ ΜΥΚΟΝΟΣ	Ro-Ro	diesel	27	25	31680	8236,8	0,2	0,75	0,45	0,25	16,5	0,9	0,3	0,0019	0,11
ΚΝΩΣΟΣ	Ro-Ro	diesel	30	28	67225	17478,4	0,2	0,75	0,45	0,25	15	0,9	0,3	0,0040	0,22
BLUE GALAXY	Ro-Ro	diesel	25	22	26184	6807,84	0,2	0,75	0,45	0,25	14,5	0,9	0,3	0,0016	0,08
ΔΙΑΓΟΡΑΣ	Ro-Ro	diesel	23	21	9753	2535,78	0,2	0,75	0,45	0,25	13	0,9	0,3	0,0006	0,03
Μ.ΣΤΑΡ ΠΑΤΜΟΣ	Ro-Ro	diesel	27	25	31680	8236,8	0,2	0,75	0,45	0,25	4	0,9	0,3	0,0019	0,03
AQUA JEWEL	Ro-Ro	diesel	20	18	6400	1664	0,2	0,75	0,45	0,25	20	0,9	0,3	0,0004	0,02

Πίνακας Παραρτήματος 5: Αποτελέσματα εκπεμπόμενης μάζας ΑΣ_{2,5} για το Καλοκαίρι

Αποτελέσματα Εκπεμπόμενης Μάζας ΑΣ_{2,5} (Χειμώνα Άνοιξη Φθινόπωρο)

Όνομα πλοίου	Κατηγορία	Καύσιμο	Vmax(knots)	Vreal(knots)	Pmain(kw)	Paux(kw)	LFME(M)	LF(AUX)_M	LFB(AUX)-B	TM(H)	TB(H)	EFME(g/kwh)	EFAE(g/kwh)	Em(PM)	Eb(PM)
Ν.ΡΟΔΟΣ	Ro-Ro	diesel	24	22,5	34420	8949,2	0,2	0,6	0,3	0,25	14,5	0,9	0,3	0,0020	0,1
ΚΡΗΤΗ Ι	Ro-Ro	diesel	25	21	47759	12417,3	0,2	0,6	0,3	0,25	14,5	0,9	0,3	0,0027	0,14
ΦΑΙΣΤΟΣ Π.	Ro-Ro	diesel	30	28	67225	17478,4	0,2	0,6	0,3	0,25	14,5	0,9	0,3	0,0038	0,2
Ν.ΣΑΜΟΣ	Ro-Ro	diesel	24	21	34960	9089,6	0,2	0,6	0,3	0,25	13,5	0,9	0,3	0,0020	0,1
Μ.ΣΤΑΡ 2	Ro-Ro	diesel	30	27	44480	11564,8	0,2	0,6	0,3	0,25	11	0,9	0,3	0,0025	0,1
ΣΟΥΠΕΡΦΕΡ Υ ΙΙ	Ro-Ro	diesel	25	21	13240	3442,4	0,2	0,6	0,3	0,25	12	0,9	0,3	0,0008	0,03
Μ.ΣΤΑΡ ΝΑΞΟΣ	Ro-Ro	diesel	24	22,5	44480	11564,8	0,2	0,6	0,3	0,25	2,5	0,9	0,3	0,0025	0,02
CHAMPION JET 2	Ro-Ro	diesel	45	40	7080	1840,8	0,2	0,6	0,3	0,25	20	0,9	0,3	0,0004	0,03
Μ.ΣΤΑΡ ΠΑΡΟΣ	Ro-Ro	diesel	25	22,5	16569	4307,94	0,2	0,6	0,3	0,25	12	0,9	0,3	0,0009	0,04
SPEEDRUNNER III	Ro-Ro	diesel	40	34	27500	7150	0,2	0,6	0,3	0,25	15	0,9	0,3	0,0016	0,08
SEA JET 2	Ro-Ro	diesel	40	34	36000	9360	0,2	0,6	0,3	0,25	12	0,9	0,3	0,0020	0,09
Μ.ΣΤΑΡ ΔΗΛΟΣ	Ro-Ro	diesel	27	25	31680	8236,8	0,2	0,6	0,3	0,25	7,5	0,9	0,3	0,0018	0,05
ΚΡΗΤΗ ΙΙ	Ro-Ro	diesel	25	21	47759	12417,3	0,2	0,6	0,3	0,25	14,5	0,9	0,3	0,0027	0,14
Δ.ΣΟΛΩΜΟΣ	Ro-Ro	diesel	25	21	13500	3510	0,2	0,6	0,3	0,25	19	0,9	0,3	0,0008	0,05
Μ.ΣΤΑΡ ΜΥΚΟΝΟΣ	Ro-Ro	diesel	27	25	31680	8236,8	0,2	0,6	0,3	0,25	16,5	0,9	0,3	0,0018	0,11
ΚΝΩΣΟΣ	Ro-Ro	diesel	30	28	67225	17478,4	0,2	0,6	0,3	0,25	15	0,9	0,3	0,0038	0,21

BLUE GALAXY	Ro-Ro	diesel	25	22	26184	6807,84	0,2	0,6	0,3	0,25	14,5	0,9	0,3	0,0015	0,08
ΔΙΑΓΟΡΑΣ	Ro-Ro	diesel	23	21	9753	2535,78	0,2	0,6	0,3	0,25	13	0,9	0,3	0,0006	0,03
Μ.ΣΤΑΡ ΠΑΤΜΟΣ	Ro-Ro	diesel	27	25	31680	8236,8	0,2	0,6	0,3	0,25	4	0,9	0,3	0,0018	0,03
AQUA JEWEL	Ro-Ro	diesel	20	18	6400	1664	0,2	0,6	0,3	0,25	20	0,9	0,3	0,0004	0,02

Πίνακας Παραρτήματος 6: Αποτελέσματα εκπεμπόμενης μάζας ΑΣ_{2,5} για Χειμώνα Άνοιξη Φθινόπωρο