

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΠΛΟΙΑΡΧΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΜΑ:

**«ΜΟΛΥΝΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ, ΤΡΥΠΑ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΚΑΙ
ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ»**

ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΑΝΤΩΝΙΟΥ ΜΑΡΓΑΡΙΤΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: κ. ΛΑΜΠΙΟΥΡΑ ΣΤΕΦΑΝΙΑ

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ

2017

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
Α.Ε.Ν. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: κ. ΛΑΜΠΟΥΡΑ ΣΤΕΦΑΝΙΑ

ΘΕΜΑ:

**«ΜΟΛΥΝΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ, ΤΡΥΠΑ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΚΑΙ
ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ»**

ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΑΝΤΩΝΙΟΥ ΜΑΡΓΑΡΙΤΗ

ΑΓΜ: 3755

Ημερομηνία ανάληψης της εργασίας:

Ημερομηνία παράδοσης της εργασίας:

<i>A/A</i>	<i>Όνοματεπώνυμο</i>	<i>Ειδικότητα</i>	<i>Αξιολόγηση</i>	<i>Υπογραφή</i>
<i>1</i>				
<i>2</i>				
<i>3</i>				
ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ				

Ο ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ: ΤΣΟΥΛΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή πραγματεύεται το πρόβλημα της μόλυνσης της ατμόσφαιρας και αναλύει τα δύο σημαντικότερα φαινόμενα που την ενισχύουν, την τρύπα του όζοντος και το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιάσει το μείζον θέμα της περιβαλλοντικής καταστροφής και τους παράγοντες από τους οποίους δημιουργείται, κάνοντας αναφορά και στην αρνητική συμβολή της ναυτιλίας Αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο, επεξηγείται η έννοια της ατμόσφαιρας και αναλύονται οι ρύποι που συντελούν στη ρύπανσή της, οι οποίοι μπορεί να προέρχονται είτε από τη φύση, είτε από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στις συνέπειες της ρύπανσης της ατμόσφαιρας αλλά και στις διεθνείς δράσεις για την αντιμετώπισή της. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται λόγος για το εξίσου σημαντικό φαινόμενο με την τρύπα του όζοντος, το «φαινόμενο του θερμοκηπίου». Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται παρουσίαση και ανάλυση των αερίων του θερμοκηπίου, που απελευθερώνονται από διάφορες πηγές στην ατμόσφαιρα και ενισχύουν το φαινόμενο, με κυριότερο από αυτά το διοξείδιο του άνθρακα. Στο τέλος του κεφαλαίου περιγράφονται οι συνέπειες του φαινομένου, και ιδιαίτερα η κλιματική αλλαγή, και οι σημαντικότερες δράσεις των Ηνωμένων Εθνών για την αντιμετώπισή του. Τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται ο ρόλος της ναυτιλίας στην ρύπανση της ατμόσφαιρας, όπου αναλύονται οι ρύποι προερχόμενοι από τα πλοία, και παρουσιάζεται το θεσμικό πλαίσιο για την πρόληψη της ρύπανσης από αυτά, τη Διεθνή Σύμβαση MARPOL (παράρτημα VI).

Λέξεις κλειδιά: ατμοσφαιρική ρύπανση, τρύπα του όζοντος, φαινόμενο του θερμοκηπίου, διοξείδιο του άνθρακα, όζον, ρύποι, Δ.Σ. MARPOL.

Abstract

This paper deals with the problem of atmospheric pollution and analyzes the two most important phenomena that enhance it, the ozone hole and the greenhouse effect. The purpose of this dissertation is to present the major issue of the environmental disaster and the factors from which it is generated by referring also to the negative contribution of shipping. At first, the first chapter explains the concept of the atmosphere and analyzes the pollutants that contribute to its pollution, which may come either from nature or from human activity. The consequences of air pollution as well as the international actions to address it are mentioned below. The third chapter is about the equally important phenomenon with the ozone hole, the "greenhouse effect". In this chapter the greenhouse gases released from various sources in the atmosphere that enhance the phenomenon, mostly carbon dioxide, are presented and analyzed. At the end of the chapter the effects of the phenomenon are being described, especially climate change, and the United Nations' major actions to tackle it. Finally, the fourth chapter describes the role of shipping in air pollution, analyzing pollutants from ships, and presents the institutional framework for the prevention of pollution by them, the International MARPOL Convention (Annex VI).

Key words: atmospheric pollution, ozone hole, greenhouse effect, carbon dioxide, ozone, pollutants, MARPOL.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....σελ. 6

Κεφάλαιο 1: Μόλυνση της ατμόσφαιρας

1.1 Τι είναι η ατμόσφαιρα.....σελ.7	
1.1.2 Τα στρώματα της ατμόσφαιρας.....σελ.8	
1.2 Μόλυνση της ατμόσφαιρας.....σελ.10	
1.2.1 Φυσικοί ρύποισελ.10	
1.2.2 Ανθρώπινες δραστηριότητες.....σελ.10	
1.2.3 Οι σημαντικότεροι ρύποι.....σελ.10	
1.2.4 Τύποι ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....σελ.13	
1.2.5 Συνέπειες ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....σελ.14	
1.3 Πολιτική αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....σελ.14	

Κεφάλαιο 2: Τρύπα του όζοντος

2.1 Τι είναι το όζον.....σελ.15	
2.2 Η τρύπα του όζοντος.....σελ.16	
2.3 Αιτίες δημιουργίας της τρύπας του όζοντος.....σελ.16	
2.4 Επιπτώσεις της τρύπας του όζοντος.....σελ.19	
2.5 Διεθνείς δράσεις για την αντιμετώπιση της τρύπας του όζοντος.....σελ.22	

Κεφάλαιο 3: Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

3.1 Αέρια του θερμοκηπίου.....σελ.26	
3.2 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου.....σελ.28	
3.2.1 Ο ρόλος του διοξειδίου του άνθρακα.....σελ.29	
3.2.2 Οι συνέπειες του φαινομένου.....σελ.30	
3.2.2.1 Κλιματική αλλαγή – Υπερθέρμανση του πλανήτη.....σελ.31	
3.2.3 Αντιμετώπιση του φαινομένου.....σελ.32	
3.3.1 Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή.....σελ.32	
3.3.1.1 Η Σύμβαση του Ρίο.....σελ.32	
3.3.1.2 Το Πρωτόκολλο του Κιότο.....σελ. 33	

Κεφάλαιο 4: Ατμοσφαιρική ρύπανση από τα πλοία, κανονισμοί και θεσμικό πλαίσιο

4.1 Ατμοσφαιρική ρύπανση από τη λειτουργία των πλοίων.....σελ. 36	
4.1.1 Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂).....σελ. 36	
4.1.2 Διοξείδιο του θείου (SO ₂).....σελ. 37	
4.1.3 Οξειδία του αζώτου (NO _x).....σελ. 38	
4.1.4 Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOCs).....σελ. 38	
4.1.5 Όζον (O ₃).....σελ.39	
4.1.6 Αιωρούμενα σωματίδια (PM).....σελ. 39	
4.2 Η Διεθνής Σύμβαση MARPOL.....σελ. 41	
4.2.1 Παράρτημα VI της Διεθνούς Σύμβασης MARPOL.....σελ. 42	
Επίλογος.....σελ.47	
Βιβλιογραφία.....σελ.48	

Εισαγωγή

Στις μέρες μας γίνεται λόγος όλο και περισσότερο για το θέμα της μόλυνσης της ατμόσφαιρας, δηλαδή την ατμοσφαιρική ρύπανση. Τα κυριότερα φαινόμενα που ενισχύουν την ρύπανση της ατμόσφαιρας είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η τρύπα του όζοντος. Τα φαινόμενα αυτά οφείλονται κυρίως στην ύπαρξη των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Η παρουσία των αερίων αυτών σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια, που μπορεί να αλλοιώσει τη δομή, τη σύσταση και τα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας αποτελούν την ατμοσφαιρική ρύπανση. Για το λόγο αυτό η διεθνής κοινότητα έχοντας ως στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, έχει λάβει μέτρα μέσω παγκόσμιων θεσμών που έχει θεμελιώσει. Ωστόσο, η ρύπανση της ατμόσφαιρας οφείλεται και στους ατμοσφαιρικούς ρύπους, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου τα αιωρούμενα σωματίδια και τις πτητικές οργανικές ενώσεις. Οι ρύποι αυτοί απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα είτε από τη φύση, είτε από την ανθρώπινη δραστηριότητα, συμπεριλαμβανομένης και της ναυτιλίας. Προκειμένου να μειωθούν οι ατμοσφαιρικοί ρύποι έχουν θεσπιστεί νόμοι, κανονισμοί και οδηγίες, όπως επίσης και πρωτόκολλα, όπως το Πρωτόκολλο του Κιότο. Συγκεκριμένα για την εκπομπή ρύπων από τη ναυτιλία, έχει θεμελιωθεί η Δ.Σ. MARPOL, Παράρτημα VI, που αναφέρεται στις εκπομπές ρύπων που προέρχονται από τα πλοία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Μόλυνση της ατμόσφαιρας

1.1 Τι είναι η ατμόσφαιρα

Με τον όρο ατμόσφαιρα της Γης εννοούμε το αέριο σώμα που περιβάλλει τη Γη και συγκρατείται λόγω της βαρύτητάς της, φτάνοντας πρακτικά σε ύψος 3.500 χιλιομέτρων. Το όριο ανάμεσα στην ατμόσφαιρα και το διάστημα δεν είναι αυστηρά καθορισμένο. Καθώς μεγαλώνει η απόσταση της από τη Γη η ατμόσφαιρα σταδιακά εξασθενεί και εξαφανίζεται σιγά σιγά στο διάστημα. Το υψόμετρο των 120 χιλιομέτρων ορίζει το σημείο που τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα γίνονται αισθητά κατά τη διάρκεια της επανεισόδου στην ατμόσφαιρα.

Κύριος ρόλος της ατμόσφαιρας είναι η προστασία της ζωής στη Γη. Η ατμόσφαιρα απορροφά μεγάλο μέρος της την υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας, θερμαίνει την επιφάνεια της με την παρακράτηση της θερμότητας (φαινόμενο του θερμοκηπίου) και μειώνει τις αυξομειώσεις της θερμοκρασίας που θα υπήρχαν μεταξύ ημέρας και νύχτας.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας αποτελεί μείγμα πολλών αερίων, με το μεγαλύτερο ποσοστό σε όγκο να κατέχει το άζωτο (78,08%) και το οξυγόνο (20,95%). Εκτός αυτών, υπάρχει το διοξείδιο του άνθρακα, ευγενή αέρια, ίχνη υδρογόνου, όζοντος κλπ. Στην ατμόσφαιρα επίσης αιωρούνται σχεδόν πάντοτε και μόρια κονιορτού, καπνού, άλατος (από τα σταγονίδια των κυμάτων) κλπ., καθώς και μεγάλη επίσης ποσότητα υδρατμών που προέρχεται από την εξάτμιση θαλασσών, λιμνών κλπ. Το ποσό των υδρατμών αυτών μεταβάλλεται συνεχώς, αφού αυξάνει με την εξάτμιση και ελαττώνεται με τη πτώση ή εναπόθεση ως βροχή ή άλλων μορφών υετού στην επιφάνεια της Γης. Η μεταβολή αυτή είναι και η κύρια αιτία, ως ένα βαθμό, για τις ευρείες μεταβολές των καιρικών φαινομένων σε έναν τόπο. Η σύνθεσή της από την επιφάνεια της θάλασσας και μέχρι τα 80-100 χιλιόμετρα ύψος, παραμένει σχεδόν αμετάβλητη. Αντίθετα η πυκνότητά της ατμόσφαιρας ελαττώνεται πολύ γρήγορα, έτσι ώστε η αναπνοή στη κορυφή του Έβερεστ (8.848 μ.) να είναι πολύ δύσκολη μέχρι αδύνατη, αφού η πυκνότητά της εκεί, φθάνει μόλις τα 1/3 της πυκνότητας που παρατηρείται στην επιφάνεια της θάλασσας

1.1.1 Τα στρώματα της ατμόσφαιρας¹

Σημαντικές διαφοροποιήσεις στην σύσταση έχουν παρουσιασθεί, κυρίως μετά την βιομηχανική επανάσταση, μόνο στις συγκεντρώσεις κάποιων αερίων τα οποία έχουν μικρή συμμετοχή στην σύσταση της ατμόσφαιρας. Η σημερινή σύσταση της αρρύπαντης ατμόσφαιρας φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Η χρήση της έννοιας «αρρύπαντη ατμόσφαιρα» είναι σχετική λόγω του γεγονότος ότι όταν αποκτήσαμε τα μέσα για τον ακριβή προσδιορισμό της σύστασής της είχε ήδη αρχίσει η συστηματική επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με ρύπους.

Αμετάβλητα αέρια			Μεταβλητά αέρια		
Αέριο	Σύμβολο	Ποσοστό (κατ' όγκο)	Αέριο	Σύμβολο	Ποσοστό (κατ' όγκο)
Μοριακό άζωτο	N ₂	78.08	Υδρατμοί	H ₂ O	0-4
Μοριακό οξυγόνο	O ₂	20.95	Διοξ. του άνθρακα	CO ₂	0.036
Αργό	Ar	0.93	Μεθάνιο	CH ₄	0.00017
Νέον	Ne	0.0018	Υποξείδιο του αζώτου	N ₂ O	0.00003
Ήλιο	He	0.0005	Όζον	O ₃	0.000004
Μοριακό Υδρογόνο	H ₂	0.00006			

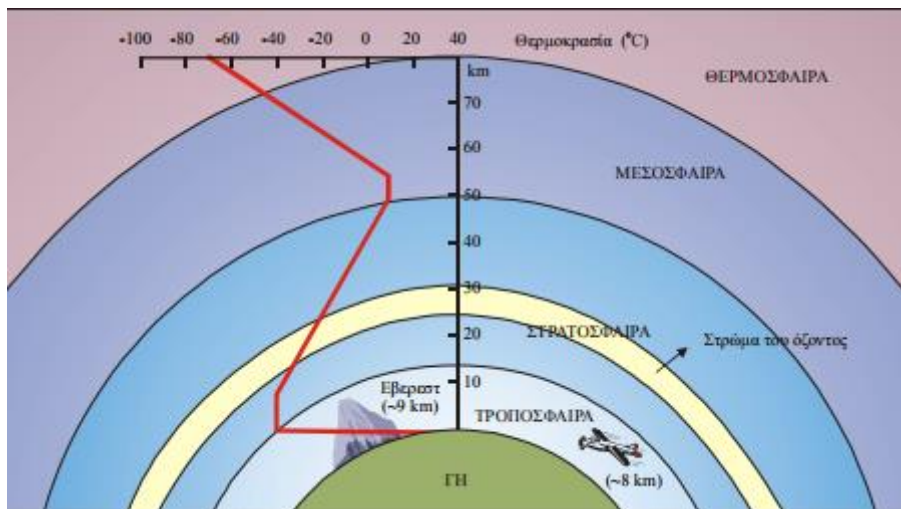
Εικόνα 1 - Η σημερινή σύσταση της αρρύπαντης ατμόσφαιρας

Ένας τρόπος να χωρισθεί η ατμόσφαιρα της γης σε στρώματα είναι με βάση την σύστασή της. Η βασική σύσταση της ατμόσφαιρας σε N₂ και O₂ παραμένει σταθερή μέσα στην **ομοιόσφαιρα**, το ατμοσφαιρικό στρώμα το οποίο εκτείνεται από το έδαφος μέχρι το ύψος περίπου των 80 χιλιομέτρων. Στο στρώμα αυτό, η τυρβώδης ροή του αέρα είναι αρκετά έντονη ώστε το μοριακό μίγμα των κυριότερων αερίων να διατηρείται σε σταθερή αναλογία. Η τάση διαχωρισμού των αερίων σύμφωνα με το μοριακό τους βάρος εξουδετερώνεται μέσα στην ομοιόσφαιρα από τον μηχανισμό μίξης. Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι τα πρώτα 65-80 χιλιόμετρα πάνω από την επιφάνεια της γης περιλαμβάνουν τα 99% της συνολικής μάζας του ατμοσφαιρικού αέρα. Το στρώμα που βρίσκεται πάνω από την ομοιόσφαιρα ονομάζεται **ετερόσφαιρα** και, όπως υποδηλώνει το όνομά του, η σύστασή του δεν είναι ομοιογενής καθώς τα βαρύτερα άτομα και μόρια τείνουν να κατακάθονται στο κάτω μέρος του ενώ τα ελαφρύτερα αέρια επιπλέουν στην κορυφή.

¹ Πηγή: «Ατμοσφαιρική Ρύπανση», οδηγός εκπαιδευτικών.

Ένας άλλος τρόπος διαχωρισμού της ατμόσφαιρας βασίζεται στη μεταβολή της θερμοκρασίας με το ύψος. Κατ' αυτό τον τρόπο η ατμόσφαιρα μπορεί να χωριστεί στις εξής βασικές:

- **Τροπόσφαιρα:** Η κατώτερη περιοχή της ατμόσφαιρας που εκτείνεται από το έδαφος μέχρι το ύψος των 10-12 km. Στην τροπόσφαιρα δημιουργείται ο καιρός. Επίσης εδώ λαμβάνει χώρα σε συντριπτικό ποσοστό η εκπομπή των ρύπων.
- **Στρατόσφαιρα:** Το ατμοσφαιρικό στρώμα το οποίο καταλαμβάνει την περιοχή μεταξύ της τροπόπαυσης (δηλαδή του άνω ορίου της τροπόσφαιρας) και των 50 km από το έδαφος. Είναι η περιοχή όπου βρίσκεται το στρώμα του όζοντος.
- **Μεσόσφαιρα:** Εκτείνεται από την στρατόπαυση μέχρι τα 80 χλμ περίπου και είναι η πιο ψυχρή περιοχή της γήινης ατμόσφαιρας.
- **Θερμόσφαιρα ή Ιονόσφαιρα:** Εκτείνεται από την μεσόπαυση μέχρι τα 400 χλμ περίπου και χαρακτηρίζεται από την μεγάλη αραιότητα του αέρα.
- **Εξώσφαιρα:** Εκτείνεται από την θερμόπαυση μέχρι 3.500 χλμ.



Εικόνα 2 - Στρώματα της ατμόσφαιρας βάση της κατακόρυφης μεταβολής της θερμοκρασίας με το ύψος

Σημαντικότερο στρώμα, τόσο για την Μετεωρολογία, όσο και για τους ναυτιλλόμενους, είναι η Τροπόσφαιρα, αφού εντός αυτής λαμβάνουν χώρα όλες οι μεταβολές του καιρού και όλα τα μετεωρολογικά φαινόμενα.

1.2 Μόλυνση της ατμόσφαιρας

Μόλυνση της ατμόσφαιρας ή αλλιώς **Ατμοσφαιρική ρύπανση** είναι η ύπαρξη ουσιών (ρύπων) στην ατμόσφαιρα που υπό φυσιολογικές συνθήκες δε θα υπήρχαν. Ουσιαστικά, με τον όρο ατμοσφαιρική ρύπανση εννοούμε την οποιαδήποτε ανεπιθύμητη αλλαγή στα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του ατμοσφαιρικού αέρα, η οποία είναι ή μπορεί υπό προϋποθέσεις να γίνει ζημιογόνος για τον άνθρωπο, τους υπόλοιπους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς αλλά και τις βιομηχανικές διαδικασίες, τις συνθήκες ζωής και τους πολιτιστικούς θησαυρούς.

Στη σύγχρονη εποχή, συχνά η ρύπανση είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας, ωστόσο προκαλείται και από φυσικά αίτια.

1.2.1 Φυσικοί ρύποι

Η γλωρίδα της γης αποτελεί την μεγαλύτερη φυσική πηγή εκπομπής αερίων ρύπων. Τα δέντρα και τα φυτά, παρά την συμβολή τους στην μετατροπή, μέσω της φωτοσύνθεσης, του διοξειδίου του άνθρακος της ατμόσφαιρας σε οξυγόνο, αποτελούν τα ίδια τη μεγαλύτερη πηγή υδρογονανθράκων του πλανήτη.

1.2.2 Ανθρώπινες Δραστηριότητες

Οι ανθρωπογενείς εκπομπές είναι κυρίως υπεύθυνες για τα μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα που εμφανίστηκαν. Η ανθρωπογενής ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλείται κυρίως από τρεις ανθρώπινες δραστηριότητες: τη βιομηχανία, τις μεταφορές και τα νοικοκυριά. Σε μια τυπική πόλη, η ατμοσφαιρική ρύπανση οφείλεται κατά 50% στη βιομηχανία, 35% στα μέσα μεταφοράς, ενώ τα νοικοκυριά ευθύνονται για το υπόλοιπο 15%. Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι πιθανό να φτάσει σε επίπεδα που δημιουργούν ανεπιθύμητες συνθήκες διαβίωσης. Για την περιγραφή της κατάστασης αυτής έχει επικρατήσει ο όρος νέφος.

1.2.3 Οι σημαντικότεροι ρύποι

Ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής τους, οι ρύποι διακρίνονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς. Οι πρωτογενείς ρύποι εκπέμπονται απευθείας από τις διάφορες πηγές στην ατμόσφαιρα και οι σημαντικότεροι είναι τα αιωρούμενα σωματίδια [σκόνη, καπνός, σωματίδια βαρέων μετάλλων, όπως μολύβδου (Pb) και νικελίου (Ni)], το διοξείδιο του θείου (SO₂), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οι υδρογονάνθρακες, το χλώριο (Cl₂) και το φθόριο (F₂)]. Οι δευτερογενείς ρύποι

σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από τους πρωτογενείς με χημικές αντιδράσεις που γίνονται είτε μεταξύ τους είτε με τα φυσικά συστατικά της ατμόσφαιρας με συμμετοχή του ηλιακού φωτός, της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Σημαντικότεροι είναι το μονοξείδιο του αζώτου (NO), το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) και το όζον (O₃).

Η ατμοσφαιρική ρύπανση δημιουργείται συνήθως στις μεγάλες πόλεις και προκαλείται από την έκλυση δηλητηριωδών αερίων όπως το μονοξείδιο του άνθρακα και του αζώτου, το διοξείδιο του αζώτου και του θείου. Οι σημαντικότεροι ρύποι είναι οι παρακάτω:

1. Το Όζον (O₃)
2. Το Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)
3. Το Διοξείδιο του Αζώτου (NO₂)
4. Το Διοξείδιο του Θείου (SO₂)
5. Τα Αιωρούμενα Σωματίδια (PM₁₀)
6. Το Βενζόλιο (C₆H₆)
7. Ο Μόλυβδος (Pb)

Αναλυτικότερα:

Όζον (O₃): Το όζον είναι άχρωμο αέριο, βαρύτερο από τον αέρα με δριμεία οσμή και αποτελεί ισχυρό οξειδωτικό. Αποτελεί το κύριο συστατικό του φωτοχημικού νέφους, κοντά στην επιφάνεια της Γης. Το όζον μπορεί να διεισδύσει στους πνεύμονες προκαλώντας προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία. Στην ανώτερη ατμόσφαιρα (στρατόσφαιρα), ωστόσο, το όζον έχει ευεργετικό ρόλο, προστατεύοντάς μας από τις βλαβερές ακτίνες του Ήλιου.

Το όζον σχηματίζεται στην κατώτερη ατμόσφαιρα, ως αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων μεταξύ οξυγόνου, πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) και οξειδίων του αζώτου, με τη βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας, κυρίως όταν επικρατεί καλός καιρός. Πηγές αυτών των βλαβερών ρύπων είναι τα οχήματα, τα εργοστάσια, οι χωματερές, τα χημικά διαλυτικά και άλλες μικρές πηγές, όπως βενζινάδικα, αγροτικός εξοπλισμός, κ.λπ.

Μονοξείδιο του άνθρακα (CO): Το Μονοξείδιο του Άνθρακα είναι άοσμο και άχρωμο αέριο, άγευστο και ελαφρύτερο από τον αέρα. Εκπέμπεται από τις εξατμίσεις των μηχανών των αυτοκινήτων και από κάθε είδος μηχανές, όταν συντελείται ατελής καύση της καύσιμης ύλης. Αποτελεί τον πλέον διαδεδομένο ρύπο.

Κυριότερες πηγές εκπομπής του μονοξειδίου του άνθρακα είναι τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα, ενώ υψηλές συγκεντρώσεις του βρίσκονται ιδιαίτερα σε κλειστά μέρη, όπως χώροι στάθμευσης (γκαράζ), υπόγειες διαβάσεις, ακόμη και κατά μήκος των δρόμων με πυκνή κυκλοφορία.

Διοξείδιο του αζώτου (NO₂): Το Διοξείδιο του Αζώτου είναι αέριο, με καφέ χρώμα και ιδιάζουσα ερεθιστική οσμή. Είναι διαλυτό στο νερό και ισχυρό οξειδωτικό. Σε υψηλές συγκεντρώσεις, είναι υπεύθυνο για την καφέ όψη του ουρανού των πόλεων, αφού ενεργοποιεί τον φωτοχημικό κύκλο αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα και στο σχηματισμό της φωτοχημικής ρύπανσης.

Κύρια πηγή του είναι η καύση καυσίμων, κυρίως σε αυτοκίνητα και φορτηγά αλλά και σε βιομηχανικούς καυστήρες ή σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, όπου παράγεται μονοξείδιο του αζώτου (NO), το οποίο στη συνέχεια, μέσω διαφόρων χημικών αντιδράσεων, που ενισχύονται με την παρουσία της ηλιακής ακτινοβολίας, μετατρέπεται σε διοξείδιο του αζώτου.

Διοξείδιο του θείου (SO₂): Το διοξείδιο του θείου είναι αέριο άχρωμο, άοσμο και βρίσκεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Όταν βρίσκεται σε υψηλές συγκεντρώσεις έχει έντονη και ερεθιστική οσμή.

Πηγές που απελευθερώνουν διοξείδιο του θείου είναι τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, οι βιομηχανίες, τα διυλιστήρια πετρελαίου, οι χημικές βιομηχανίες και οι χαρτοβιομηχανίες.

Αιωρούμενα Σωματίδια: Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι υλικά σε στερεή ή υγρή μορφή, που μπορούν να αιωρούνται στην ατμόσφαιρα, για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Μπορούν να παρουσιάζουν ανομοιογένεια στη μορφή, το μέγεθος και τη χημική τους σύσταση, ανάλογα με την προέλευσή τους. Τα μικρότερα σωματίδια είναι ευκολότερο να εισέλθουν στον ανθρώπινο οργανισμό, συγκεκριμένα στους πνεύμονες και σε βάθος χρόνου να προκαλέσουν σοβαρές βλάβες στην υγεία των ανθρώπων.

Κυριότερες πηγές των σωματιδίων αυτών είναι οι διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες, η παραγωγή τσιμέντου, γύψου, τα χυτήρια μεταλλεύματος, τα αυτοκίνητα, οι πυρκαγιές, η σκόνη από απογυμνωμένο έδαφος, οι αγροτικές δραστηριότητες κ.ά.

Μόλυβδος (Pb): Ο μόλυβδος είναι ένα μαλακό μέταλλο αργυρού χρώματος και ανήκει στην κατηγορία των βαρέων μετάλλων. Ένα ποσοστό της σωματιδιακής σκόνης αποτελείται από σωματίδια του μολύβδου. Ο μόλυβδος και οι ενώσεις του μπορούν να επηρεάσουν την ανθρώπινη υγεία, είτε μέσω της κατάποσής τους, με τη μορφή επιβαρυμένου με μόλυβδο εδάφους, σκόνης, βαφών κ.λπ., είτε με απευθείας εισπνοή.

Πηγές μολύβδου αποτελούν τα μέσα μεταφοράς και άλλες πηγές που κάνουν χρήση καυσίμων με μόλυβδο, χρήση γαιανθράκων, βαριές βιομηχανίες, χυτήρια, εργοστάσια μπαταριών και η καύση απορριμμάτων.

Βενζόλιο (C₆H₆): Το βενζόλιο είναι μία πτητική οργανική ένωση (VOC) και αποτελεί ένα από τα δευτερεύοντα συστατικά της βενζίνης.

Πηγές βενζολίου είναι τα πρατήρια βενζίνης και τα οχήματα διανομής της, όπως επίσης και όλες οι μηχανές που χρησιμοποιούν ως καύσιμο τη βενζίνη. Το βενζόλιο ανήκει στους τοξικούς ρύπους, μαζί με το αρσενικό και τον αμιάντο.

1.2.4 Τύποι ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Υπάρχουν τρεις τύποι στους οποίους κατηγοριοποιείται η ατμοσφαιρική ρύπανση ανάλογα με την περιεκτικότητα των επιβλαβών αερίων και την προέλευσή τους. Οι τρεις βασικοί τύποι είναι οι εξής:

Ο πρώτος τύπος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι αυτός που αποτελείται από υψηλές συγκεντρώσεις των χημικών ενώσεων του θείου (κυρίως διοξείδιο του Θείου SO₂) και των σωματιδίων που σχηματίζονται από τη χρήση καυσίμων με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο, όπως το κάρβουνο. Εμφανίζεται σε πόλεις που βρίσκονται σε ψυχρά κλίματα με κυριότερες πηγές την παραγωγή της ηλεκτρικής αλλά και της θερμικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για την θέρμανση των κτιρίων.

Ο δεύτερος τύπος ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι το λεγόμενο φωτοχημικό νέφος το οποίο εμφανίζεται κυρίως την θερινή περίοδο στις μεγάλες πόλεις όπου γίνεται μεγάλη χρήση των αυτοκινήτων. Κύρια συστατικά του είναι διάφορα οξείδια του αζώτου, το μονοξείδιο του άνθρακα και το όζον. Το όζον, που είναι δευτερογενής ρύπος, παράγεται –στην περίπτωση το φωτοχημικού νέφους- από την αλληλεπίδραση των οξειδίων του αζώτου με την ηλιακή ακτινοβολία, γι' αυτό και το νέφος ονομάζεται «φωτοχημικό».

Η μετεξέλιξη του «φωτοχημικού νέφους» είναι η τρίτη γενιά ατμοσφαιρικών ρύπων, το «υδρογονοσωματιδιακό νέφος» που εμφανίστηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1990. Το νέφος αυτό περιέχει κυρίως αεροσωματίδια και διάφορες επικίνδυνες ενώσεις υδρογονανθράκων. Τα αεροσωματίδια προέρχονται κυρίως από τις βιομηχανίες και μπορεί να είναι επικίνδυνα για τη δημόσια υγεία, ενώ οι ενώσεις υδρογονανθράκων έχουν ως πηγή προέλευσης τα τροχοφόρα και τη χημική βιομηχανία.

1.2.5 Συνέπειες ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Η ρύπανση της ατμόσφαιρας αποτελεί σοβαρό υγειονομικό, περιβαλλοντικό, κοινωνικό και οικονομικό πρόβλημα, γιατί τα αέρια που τη ρυπαίνουν, όπως το διοξείδιο του άνθρακα έχουν σοβαρές συνέπειες, όπως την υπερθέρμανση της γης, αναπνευστικά προβλήματα και άλλα προβλήματα υγείας. Μία από τις σημαντικότερες συνέπειες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι η τρύπα του όζοντος, που προκλήθηκε από τη χρήση των χλωροφθορανθράκων, απαγορευμένων σήμερα χημικών ενώσεων που χρησιμοποιούνταν στην ψυκτική και τα σπρέι.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση γίνεται κυρίως από οξείδια, όπως του αζώτου, του θείου, του άνθρακα και άλλα, καθώς και από αιθάλη (άκαυστος άνθρακας σε αέρια μείγμα αέρα). Τα οξείδια του αζώτου προκαλούν το φωτοχημικό νέφος, συνήθως στα κέντρα μεγαλουπόλεων ή και στις γύρω περιοχές. Τα οξείδια του θείου και του άνθρακα αντιδρούν με τους υδρατμούς των νεφών δημιουργώντας όξινη βροχή, η οποία προσβάλλει τα δάση, ενώ το θειικό οξύ (συστατικό της όξινης βροχής) προσβάλλει τα μάρμαρα μετατρέποντάς τα σε γύψο. Το διοξείδιο του άνθρακα, αλλά και άλλα αέρια που παράγονται από ατελείς καύσεις, όπως άκαυστοι υδρογονάνθρακες, συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Στις πόλεις που βρίσκονται κοντά σε εργοστάσια παραγωγής ενέργειας όπου γίνεται καύση ορυκτών καυσίμων, όπως το πετρέλαιο ή ο λιγνίτης, υπάρχουν αρκετά αναπνευστικά περιστατικά, ενώ τα κρούσματα καρκίνου του πνεύμονα είναι αυξημένα.

1.3 Πολιτική αντιμετώπιση της ρύπανσης

Η ατμοσφαιρική ρύπανση γίνεται προσπάθεια να αντιμετωπιστεί και με πολιτικές αποφάσεις σε κεντρικό ή περιφερειακό επίπεδο. Μία απόπειρα έγινε με το Πρωτόκολλο του Κιότο σε διεθνές επίπεδο και άλλες δραστηριότητες του ΟΗΕ. Σε επίπεδο Ευρωπαϊκής ένωσης καθιερώθηκε ο καταλύτης στα αυτοκίνητα και ο ιονισμός στις καμινάδες των εργοστασίων. Οι καταλύτες αποτρέπουν την εκπομπή των άκαυστων αερίων και οξειδίων που παράγουν οι μηχανές εσωτερικής καύσης, ενώ ο ιονισμός στις καμινάδες μειώνει την εκπομπή των βλαβερών αερίων κατά 90%. Επιπλέον στην αντιμετώπιση της ρύπανσης συμβάλλει και η στροφή στις καθαρές πηγές ενέργειας.

Σύμφωνα με έρευνες που έχουν διεξαχθεί από τους φορείς της παγκόσμιας διεθνούς κοινότητας, η Ναυτιλία είναι υπεύθυνη για την εκπομπή του 3 - 4,5% των παγκοσμίων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και περί το 2,7% των παγκοσμίων εκπομπών CO₂ που είναι και το σημαντικότερο εκ των αερίων του θερμοκηπίου. Για το λόγο αυτό κρίνεται επιτακτική η ανάγκη ύπαρξης θεσμικού πλαισίου όπως αρχικά είχε συμπεριληφθεί στη Σύμβαση του 1992 στο Ρίο για την κλιματική αλλαγή και αργότερα στο Πρωτόκολλο του Κιότο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Τρύπα του όζοντος

Το στρώμα του όζοντος βρίσκεται στη Στρατόσφαιρα και είναι ένα στρώμα το οποίο περιέχει σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος (O₃). Αυτό το στρώμα απορροφά το 93-99% της υπεριώδους ακτινοβολίας του φωτός υψηλής συχνότητας του ήλιου, το οποίο είναι δυνητικά επιβλαβές για τη ζωή στη Γη. Στο στρώμα αυτό βρίσκεται περισσότερο από 91% του όζοντος της επιφάνειας της Γης, κυρίως στο κατώτερο τμήμα της στρατόσφαιρας περίπου 10 χιλιόμετρα έως 50 χιλιόμετρα πάνω από τη Γη, αν και το πάχος ποικίλλει εποχιακά και γεωγραφικά.

Το στρώμα του όζοντος ανακαλύφθηκε το 1913 από τους Γάλλους φυσικούς Charles Fabry και Henri Buisson. Οι ιδιότητές του ερευνήθηκαν λεπτομερώς από τον Βρετανό μετεωρολόγο G. M. B. Dobson, ο οποίος ανέπτυξε ένα απλό φασματοφωτόμετρο (Dobsonmeter) που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση του στρατοσφαιρικού όζοντος από το έδαφος. Η μονάδα μέτρησης της συνολικής ποσότητας όζοντος πήρε το όνομά του (Dobson Unit) προς τιμήν του.

2.1 Τι είναι το όζον

Το όζον ή τριοξυγόνο είναι μια τριατομική αλλομορφή του οξυγόνου, με χημικό τύπο O₃. Το καθαρό όζον, στις «συνηθισμένες συνθήκες», δηλαδή σε θερμοκρασία 25 °C και υπό πίεση 1 atm, είναι ένα ανοιχτογάλανο αέριο με ευδιάκριτη δριμεία οσμή. Είναι πολύ λιγότερο σταθερό από το διοξυγόνο, δηλαδή τη διατομική αλλομορφή του οξυγόνου, και γι' αυτό το όζον διασπάται στην κατώτερη ατμόσφαιρα σε κανονικό διοξυγόνο. Το όζον σχηματίζεται από το διοξυγόνο με την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας, καθώς επίσης και με την επίδραση των ατμοσφαιρικών ηλεκτρικών εκκενώσεων, και είναι παρόν σε χαμηλές συγκεντρώσεις σε όλη την ατμόσφαιρα της Γης. Στην τροπόσφαιρα (το χαμηλότερο μέρος της ατμόσφαιρας που κατοικούν άνθρωποι) το όζον θεωρείται ατμοσφαιρικός ρύπος και έχει οριστεί σειρά τιμών που αφορούν τη μετρούμενη συγκέντρωσή του, για παράδειγμα στην σελίδα ποιότητας αέρα στην Κύπρο. Ενώ στην τροπόσφαιρα ο στόχος είναι η μείωση της συγκέντρωσης του όζοντος, στη στρατόσφαιρα ο στόχος είναι η σταθεροποίηση της συγκέντρωσης του όζοντος. Στη στρατόσφαιρα (εξωτερικό μέρος της γήινης ατμόσφαιρας) το όζον θεωρείται η ασπίδα που απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου. Η μείωση της συγκέντρωσης του όζοντος στην στρατόσφαιρα ονομάστηκε τρύπα του όζοντος.

2.2 Η τρύπα του όζοντος

Τρύπα του όζοντος ονομάζεται το φαινόμενο, κατά το οποίο το στρώμα του όζοντος, που βρίσκεται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας της Γης, μειώνεται σε πάχος πάνω από την Ανταρκτική. Επειδή το λεπτότερο σημείο του είναι πάνω από το Νότιο Πόλο, η μείωση του πάχους του στρώματος έχει ως αποτέλεσμα την ονομαζόμενη «τρύπα» στο στρώμα του όζοντος. Εξαιτίας του ότι το όζον προστατεύει από την ηλιακή ακτινοβολία, απορροφώντας σημαντικό τμήμα της υπεριώδους, η δημιουργία της τρύπας του όζοντος έχει αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Επίσης, αυξάνει τη θερμοκρασία στον πλανήτη και συμβάλλει αρνητικά στην τήξη των πάγων.

Αυτή η διαδικασία καταστροφής του όζοντος είναι πολύ έντονη πάνω από την Ανταρκτική και κυρίως κατά τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο, λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών που επικρατούν πάνω από αυτή την ήπειρο του Νοτίου Πόλου. Κατά την διάρκεια του πολικού χειμώνα σχηματίζονται πάνω από την Ανταρκτική τα καλούμενα πολικά στρατοσφαιρικά σύννεφα (PSCs, Polar Stratospheric Clouds) σε απίστευτα χαμηλές θερμοκρασίες, μικρότερες από τους 80 βαθμούς κάτω από το μηδέν, λόγω του ισχυρού ανέμου με το όνομα ανταρκτική δίνη (polar vortex) που απομονώνει την ήπειρο απ' τον υπόλοιπο κόσμο αποτρέποντας τον θερμό αέρα από τις τροπικές περιοχές να εισέλθει στην περιοχή. Τα νέφη αυτά, που είναι πλήρη παγοκρυστάλλων, έχει διαπιστωθεί ότι παίζουν σπουδαίο ρόλο στην καταστροφή του όζοντος αφού επ' αυτών κάθονται τα προϊόντα αποικοδόμησης των φθοροχλωρανθράκων που με γρήγορες αντιδράσεις οδηγούν στον σχηματισμό μορίων νιτρικού οξέος και χλωρίου του οποίου η καταστρεπτική δράση προαναφέρθηκε. Για πρώτη φορά η καταστροφή του όζοντος παρατηρήθηκε το 1975 και στα χρόνια που ακολούθησαν άρχισε η δραματική του μείωση. Στην δεκαετία του '80 η καταστροφή συνεχίστηκε, η τρύπα συνεχώς μεγάλωνε και τον Οκτώβριο του 1994 είχε μείνει η μισή ποσότητα όζοντος και η τρύπα υπερκάλυψε την ήπειρο. Τον χειμώνα του 2000 κατέληξε να είναι τριπλάσια σε έκταση από τις Η.Π.Α. και έφτασε πολλές πόλεις στην νότια Χιλή και Αργεντινή.

2.3 Αιτίες δημιουργίας της τρύπας του όζοντος

Η μείωση του όζοντος συμβαίνει όταν η φυσική ισορροπία μεταξύ παραγωγής και διάλυσης του στρατοσφαιρικού όζοντος τείνει προς τη διάλυση. Αν και προσωρινή ελάττωση του όζοντος μπορεί να προκληθεί από φυσικά φαινόμενα, το χλώριο και το βρώμιο που απελευθερώνονται από τις ενώσεις που δημιουργούνται λόγω της ανθρώπινης δράσης, όπως οι χλωροφθοράνθρακες, είναι τα κύρια αιτία αυτής της μείωσης.

Η εκπομπή χλωροφθορανθράκων στην ατμόσφαιρα είναι αποδεδειγμένα η βασικότερη αιτία του φαινομένου. Οι χλωροφθοράνθρακες (CFC) περιέχουν χλώριο, το οποίο είναι ιδιαίτερα καταστροφικό για το όζον. Ενδεικτικά, ένα μόριο χλωρίου καταστρέφει μέχρι και 100.000 μόρια όζοντος πριν την αδρανοποίησή του. Οι χλωροφθοράνθρακες συναντώνται σε ψυκτικές συσκευές (ψυγεία, κλιματιστικά) και σε σπρέι. Η εκπομπή τους είναι μεγαλύτερη σε πυκνοκατοικημένες και βιομηχανικές περιοχές. Από το 1987, χρονιά που ανακηρύχτηκαν ως η βασικότερη αιτία της τρύπας του όζοντος, γίνονται προσπάθειες για την αντικατάστασή τους από άλλες ουσίες, (οι οποίες όμως φαίνεται να επιδεινώνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου) μέσω του πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ.

Χλωροφθοράνθρακες

Οι χλωροφθοράνθρακες, γνωστοί ως φθοροχλωράνθρακες, είναι ομάδα οργανικών χημικών ενώσεων, που περιέχουν μόνο άνθρακα, φθόριο και χλώριο. Συνήθως ως χλωροφθοράνθρακες εννοούνται μόνο τα πτητικά φθοροχλωριούχα παράγωγα του μεθανίου, του αιθανίου και του προπάνιου. Ωστόσο, συχνά οι οργανικές αυτές ενώσεις μπορούν να περιέχουν υδρογόνο και παίρνουν την ονομασία υδροφθοροχλωράνθρακες, ενώ δεν αποκλείεται και η συμμετοχή του βρωμίου, όπου και πάλι, κανονικά, αλλάζει η ονομασία σε (υδρο)βρωμοφθοροχλωράνθρακες. Είναι επίσης κοινώς γνωστά με τη γενική ονομασία «φρεόν». Πολλοί φθοροχλωράνθρακες χρησιμοποιήθηκαν ως ψυκτικά, ως προωθητικά αέρια για καταναλωτικά αερολύματα (αεροζόλ), καθώς και ως διαλύτες. Η παραγωγή τέτοιων ενώσεων έχει τεθεί κάτω από το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, και η χρήση τους έχει σε μεγάλο ποσοστό αντικατασταθεί με αντίστοιχα προϊόντα που περιέχουν υδροφθοράνθρακες, κατάλληλους υδρογονάνθρακες και διοξείδιο του άνθρακα, γιατί βρέθηκε ότι οι χλωροφθοράνθρακες συνεισέφεραν στην καταστροφή του όζοντος στο στρώμα της στρατόσφαιρας.

Ενώ η παραγωγή και η κατανάλωση των φθοροχλωρανθράκων περιορίστηκε από το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, οι εκπομπές των αερίων αυτών από ήδη υπάρχουσες πηγές δεν περιορίστηκαν από τη συνθήκη. Από το 2002, εκτιμήθηκε ότι 5.791 χιλιάδες τόνοι φθοροχλωρανθράκων υπήρχαν σε προϊόντα όπως ψυγεία, κλιματιστικά, φιάλες αερολυμάτων και άλλα. Κατά προσέγγιση, το 1/3 αυτών των φθοροχλωρανθράκων προβλέπεται να απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα μέσα σε μια δεκαετία, αν δεν ληφθεί καμία μέριμνα, αποτελώντας μια σοβαρή απειλή τόσο για το στρατοσφαιρικό στρώμα του όζοντος, όσο και για τη λεγόμενη κλιματική αλλαγή. Ένα ποσοστό από αυτούς του φθοροχλωράνθρακες μπορεί να συλλεχθεί με ασφάλεια και να καταστραφεί.

Η **διαδικασία** με την οποία οι χλωροφθοράνθρακες καταστρέφουν το όζον²:

Οι χλωροφθοράνθρακες λόγω της μεγάλης χημικής τους σταθερότητας έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και μετά την έκλυσή τους μπορούν να παραμείνουν στην ατμόσφαιρα επί 40 έως και 120 χρόνια. Συσσωρευμένοι ανεβαίνουν σταδιακά στα ανώτερα στρώματα, όπου διασπώνται με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας απελευθερώνοντας άτομα χλωρίου. Κάθε άτομο χλωρίου μπορεί να διασπάσει ένα μόριο όζοντος (O_3) αποσπώντας ένα άτομο οξυγόνου, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται η ρίζα οξειδίου του χλωρίου (ClO) και O_2 , το οποίο επιτρέπει τη διέλευση της υπεριώδους ακτινοβολίας. Στη συνέχεια η ρίζα ClO διασπάται εκ νέου, προκύπτει πάλι ένα άτομο χλωρίου και η διαδικασία επαναλαμβάνεται με άλλο μόριο όζοντος. Το αυξημένο ποσοστό της υπεριώδους ακτινοβολίας που φτάνει έτσι ως την επιφάνεια της Γης αυξάνει την πιθανότητα δυσμενών βιολογικών επιδράσεων στους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς και προβλημάτων υγείας στους ανθρώπους.

Ωστόσο, οι χλωροφθοράνθρακες δεν είναι οι μόνες ουσίες μείωσης του όζοντος. Άλλες τέτοιες ουσίες είναι το χλωροφόρμιο του μεθυλίου, ο τεταρτοχλωριούχος άνθρακας (CCl_4), ο τεταρτοφθοριούχος άνθρακας (CF_4), ο βρωμιούχομεθύλιοκαι οι βρωμοφθοράνθρακες (Halons), που περιέχουν βρώμιο αντί για χλώριο. Οι ενώσεις αυτές ονομάζονται αλογονάνθρακες.

Ο **τετραχλωράνθρακας** (CCl_4), παρά την τοξικότητά του, χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στις αρχές της δεκαετίας του 1900 ως πυροσβεστικό, και πιο πρόσφατα ως βιομηχανικός διαλύτης, γεωργικός υποκαπνιστικός παράγοντας και σε πολλές άλλες βιομηχανικές διεργασίες συμπεριλαμβανομένου του πετροχημικού εξευγενισμού και της παραγωγής φυτοφαρμάκων και φαρμακευτικών προϊόντων. Ωστόσο, η χρήση τετραχλωράνθρακα στις ανεπτυγμένες χώρες απαγορεύτηκε από τις αρχές του 1996 βάσει του πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ.

Το **χλωροφόρμιο του μεθυλίου**, επίσης γνωστό ως τριχλωροαιθάνιο, είναι ένας ευέλικτος βιομηχανικός διαλύτης γενικής χρήσης που χρησιμοποιείται κυρίως για τον καθαρισμό μετάλλων και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Εμφανίστηκε στη δεκαετία του 1950 ως υποκατάστατο του τετραχλωράνθρακα. Το χλωροφόρμιο του μεθυλίου ευθύνεται για το 5% περίπου της συνολικής μείωσης του όζοντος. Η χρήση χλωροφορμίου του μεθυλίου στις ανεπτυγμένες χώρες απαγορεύτηκε από τις αρχές του 1996 βάσει του πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ.

² Πηγή: <http://5dim-pyrgou.ilei.sch.gr/climate/html/ozon.htm>

Οι **βρωμοφθοράνθρακες** (halons), σε αντίθεση με τα CFC, περιέχουν βρώμιο, το οποίο επίσης καταστρέφει το όζον στη στρατόσφαιρα. Τα αλογονούχα χρησιμοποιούνται κυρίως σε πυροσβεστήρες. Το Halon-1301 έχει δυναμικό καταστροφής του όζοντος 10 φορές μεγαλύτερο από το CFC-11. Παρόλο που η χρήση halons στις ανεπτυγμένες χώρες έχει σταματήσει σταδιακά από το 1996, η ατμοσφαιρική συγκέντρωσή τους εξακολουθεί να αυξάνεται λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής τους στην ατμόσφαιρα. Μέχρι σήμερα τα αλογονούχα αντιπροσωπεύουν περίπου το 5% της παγκόσμιας εξάντλησης του όζοντος.

Το **βρωμιούχο μεθύλιο**, άλλος αλογονούχος άνθρακας που περιέχει βρώμιο, έχει χρησιμοποιηθεί ως παρασιτοκτόνο από τη δεκαετία του 1960. Σήμερα, οι επιστήμονες εκτιμούν ότι οι ανθρώπινες πηγές μεθυλοβρωμιδίου έχουν ευθύνη για περίπου το 5 έως 10% της παγκόσμιας καταστροφής του όζοντος.

2.4 Επιπτώσεις της τρύπας του όζοντος

Επιδράσεις στην υγεία των ανθρώπων και των ζώων

Η αυξημένη διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας UV-B είναι πιθανό να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία με πιθανούς κινδύνους οφθαλμικές παθήσεις, καρκίνο του δέρματος και μολυσματικές ασθένειες. Αν και η έκθεσή μας στην υπεριώδη ακτινοβολία είναι απαραίτητη για τη σύνθεση της Βιταμίνης D (απαραίτητη για την απορρόφηση και τον μεταβολισμό του ασβεστίου από τα οστά), η αλόγιστη έκθεση στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία μπορεί άμεσα ή μακροπρόθεσμα να βλάψει τον ανθρώπινο οργανισμό. Πιο συγκεκριμένα υπάρχει η πιθανότητα να προκαλέσει προβλήματα στο δέρμα, στα μάτια και στο ανοσοποιητικό σύστημα. Ανάλογα με το βιολογικό αποτέλεσμα που προκαλεί στον ανθρώπινο οργανισμό έχει διακριθεί σε τρεις επιμέρους περιοχές:

- **UV-A** είναι υπεύθυνη για τη γήρανση του δέρματος και πρόσφατα έχειδειχθεί πως μαζί με την UV-B έχει συμβάλει στην ανάπτυξη καρκίνων του δέρματος και στην καταστολή του ανοσοποιητικού συστήματος. Η δράση της είναι συνεχής όλο το χρόνο σε όλα τα μήκη και πλάτη της Γης.
- **UV-B** είναι υπεύθυνη για το ερύθημα (ηλιακό έγκαυμα). Ακόμη συμβάλλει στη δημιουργία καρκίνων του δέρματος και πιθανώς στην καταστολή του ανοσοποιητικού συστήματος. Ωστόσο, δεν έχει μόνο αρνητικές επιδράσεις στον οργανισμό. Είναι σημαντική για την σύνθεση της βιταμίνης D. Η μόνη αποδεδειγμένη και άμεση επίδρασή της στα μάτια είναι το έγκαυμα του κερατοειδούς χιτώνα. Η χρόνια έκθεση σε UV-B θα μπορούσε να οδηγήσει

σε καταρράκτη. Η ακτινοβολία UV-B μπορεί να επηρεάσει αρνητικά το ανοσοποιητικό σύστημα προκαλώντας έναν αριθμό από μεταδοτικές ασθένειες. Στους ανοιχτόχρωμους ανθρώπους, είναι πιθανό να αναπτύξει καρκίνο του δέρματος από μη μελανώματα (nonmelanoma skin cancer, NMSC). Τα πειράματα σε ζώα δείχνουν ότι η έκθεση στο UV μειώνει την ανταπόκριση σε καρκίνους του δέρματος, μολυσματικούς παράγοντες και άλλα αντιγόνα.

- **UV-C** είναι πολύ επικίνδυνη, αλλά απορροφάται από το όζον της στρατόσφαιρας.

Επιδράσεις στα χερσαία φυτά

Είναι γνωστό ότι η φυσιολογικές διαδικασίες και η ανάπτυξη των φυτών επηρεάζονται από την ακτινοβολία UV-B. Οι επιστήμονες πιστεύουν πως η αύξηση των επιπέδων UV-B θα απαιτούσε περισσότερη ποικιλία και καλλιέργεια νέων ανεκτικών στην ακτινοβολία UV-B φυτών στη γεωργία. Στα δάση και τους βοσκοτόπους η αυξημένη UV-B ακτινοβολία είναι πιθανό να οδηγήσει σε αλλαγές στη σύνθεση των ειδών (μετάλλαξη) μεταβάλλοντας έτσι τη βιοποικιλότητα σε διαφορετικά οικοσυστημάτων. Η UV-B θα μπορούσε επίσης να επηρεάσει την φυτική κοινότητα προκαλώντας έμμεσα μεταβολές στη μορφή των φυτών, το δευτερογενή μεταβολισμό κλπ. Αυτές οι αλλαγές μπορεί να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην ανταγωνιστική ισορροπία των φυτών, τα παθογόνα φυτών και τους βιο-γεωχημικούς κύκλους.

Επιδράσεις στα υδάτινα οικοσυστήματα

Περισσότερο από το 30% της παγκόσμιας ζωικής πρωτεΐνης που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση προέρχεται μόνο από τη θάλασσα. Ε υπάρχει η ανησυχία ότι τα αυξημένα επίπεδα έκθεσης σε UV μπορεί να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην παραγωγικότητα των υδάτινων συστημάτων. Τα υψηλά επίπεδα της έκθεσης σε τροπικές και υποτροπικές ζώνες μπορεί να επηρεάσουν τη διανομή του φυτοπλαγκτόν που αποτελούν το θεμέλιο των ιστών της υδρόβιας τροφής. Πρόσφατη μελέτη έδειξε μείωση της παραγωγής φυτοπλαγκτόν κατά 6-12% στην γραμμή οριοθέτησης της περιοχής των πάγων, λόγω των αυξήσεων της ακτινοβολίας UV-B. Η UV-B μπορεί επίσης να προκαλέσει ζημιά στα πρώιμα στάδια ανάπτυξης ψαριών, γαρίδων, καβουριών, αμφιβίων και άλλων ζώων.

Επιδράσεις στους Βιογεωχημικούς κύκλους

Η αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας UV θα επηρέαζε τόσο τους χερσαίους, όσο και τους υδάτινους βιογεωχημικούς κύκλους, τροποποιώντας έτσι και τις πηγές αλλά και την κατάληξη των αερίων του θερμοκηπίου και άλλων σημαντικών ιχθών αερίων, όπως το διοξείδιο του άνθρακα CO₂, το

μονοξειδίου του άνθρακα CO, το καρβονύλιο σουλφίδιο COS κλπ. Οι αλλαγές αυτές επηρεάζουν τη σχέση ανατροφοδότησης ανάμεσα στη βιόσφαιρα και την ατμόσφαιρα, από την οποία καθορίζεται η συγκέντρωση των παραπάνω αερίων στην ατμόσφαιρα. Στις επιπλέον επιπτώσεις συγκαταλέγονται οι αλλαγές στην παραγωγή και αποσύνθεση της φυτικής ύλης, η μείωση του βακτηριοπλακτόν και η αυξημένη υποβάθμιση της υδατικής διαλυμένης οργανικής ύλης (dissolved organic matter - DOM).

Επιδράσεις στην ποιότητα του αέρα

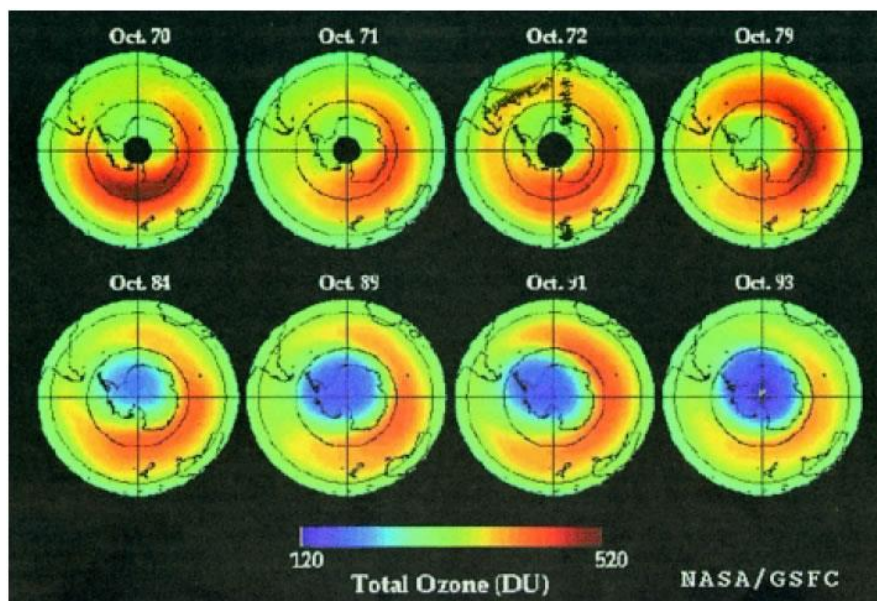
Η μείωση του όζοντος στην στρατόσφαιρα και η αυξημένη εισχώρηση της ακτινοβολίας UV-B έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερους ρυθμούς φωτόλυσης βασικών ιχθών αερίων που ελέγχουν τη χημική αντιδραστικότητα της τροπόσφαιρας. Αυτό μπορεί να αυξήσει τόσο την παραγωγή όσο και διάλυση του όζοντος και σχετικών οξειδωτικών όπως το υπεροξείδιο του υδρογόνου το οποίο είναι γνωστό ότι έχει δυσμενείς επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία, τα χερσαία φυτά και τα υπαίθρια υλικά. Η αυξημένη αντιδραστικότητα της τροπόσφαιρας θα μπορούσε επίσης να οδηγήσει σε αυξημένη παραγωγή σωματιδίων όπως σύννεφα πυρήνων συμπύκνωσης από την οξείδωση και ως επακόλουθο την πυρήνωση του θείου τόσο ανθρωπογενών όσο και φυσικών (π.χ. COS και DMS).

Επιδράσεις στην κλιματική αλλαγή

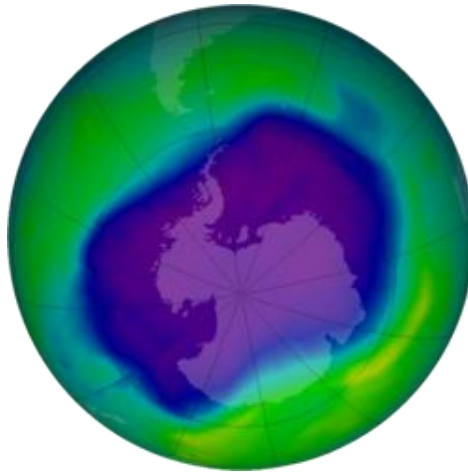
Η μείωση του όζοντος και η κλιματική αλλαγή συνδέονται με διάφορους τρόπους, αλλά η εξάντληση του όζοντος δεν αποτελεί σημαντική αιτία της κλιματικής αλλαγής. Το όζον της ατμόσφαιρας επηρεάζει με δύο τρόπους την ισορροπία της θερμοκρασίας της Γης. Απορροφά την ηλιακή υπεριώδη ακτινοβολία, η οποία θερμαίνει τη στρατόσφαιρα. Επίσης, απορροφά την υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης, παγιδεύοντας τη θερμότητα στην τροπόσφαιρα. Συνεπώς, οι συγκεντρώσεις του όζοντος ποικίλλουν ανάλογα με το υψόμετρο στο οποίο συμβαίνουν αυτές οι μεταβολές του όζοντος. Οι κύριες απώλειες του όζοντος που παρατηρήθηκαν στην κατώτερη στρατόσφαιρα λόγω των αερίων που περιέχουν χλώριο και βρώμιο έχουν ψυκτική επίδραση στη γήινη επιφάνεια. Από την άλλη πλευρά, το όζον που αυξάνεται, το οποίο εκτιμάται ότι συνέβη στην τροπόσφαιρα λόγω των επιφανειακών ρύπων, προκαλεί θερμότητα στην επιφάνεια της Γης, συμβάλλοντας έτσι στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Σε σύγκριση με τις επιδράσεις αλλαγών σε άλλα ατμοσφαιρικά αέρια, οι επιπτώσεις και των δύο αυτών μεταβολών του όζοντος στην κλιματική αλλαγή είναι δύσκολο να υπολογιστούν με ακρίβεια.

2.5 Διεθνείς δράσεις για την αντιμετώπιση της τρύπας του όζοντος

Η πρώτη διεθνής δράση για να εστιάσει την προσοχή στους κινδύνους της εξάντλησης του όζοντος στη στρατόσφαιρα και τις επικίνδυνες συνέπειες μακροπρόθεσμα για τη ζωή στη γη πραγματοποιήθηκε το 1977, όταν σε μια συνάντηση 32 χωρών στην Washington εγκρίθηκε ένα παγκόσμιο σχέδιο δράσης για το στρώμα του όζοντος, με συντονιστή το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (UNEP). Όταν οι ειδικοί ξεκίνησαν την έρευνα, τα δεδομένα συσσωρεύτηκαν και το 1985 σε ένα άρθρο δημοσιευμένο στο αναγνωρισμένο επιστημονικό περιοδικό "Nature" ο Δρ. Farman επεσήμανε ότι αν και υπάρχει συνολική εξάντληση του στρώματος του όζοντος σε όλο τον κόσμο, η πιο σοβαρή εξάντληση είχε λάβει χώρα πάνω από την Ανταρκτική. Για το λόγο αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως "τρύπα του όζοντος της Ανταρκτικής". Τα ευρήματά του επιβεβαιώθηκαν από δορυφορικές παρατηρήσεις και αποτέλεσαν την πρώτη απόδειξη της σοβαρής μείωσης του όζοντος, αναγκάζοντας έτσι την επιστημονική κοινότητα να λάβει άμεσες διορθωτικές ενέργειες σε διεθνές επίπεδο με μία συνδιάσκεψη που πραγματοποιήθηκε στη Βιέννη στις 22 Μαρτίου 1985. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα μια διεθνή συμφωνία του 1987 σχετικά με ειδικά μέτρα να λαμβάνεται υπό τη μορφή διεθνούς συνθήκης γνωστής ως Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ για τις ουσίες που καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος. Σύμφωνα με το πρωτόκολλο αυτό, το πρώτο συγκεκριμένο βήμα για τη διάσωση το στρώματος του όζοντος ήταν η άμεση συμφωνία για τη μείωση των χλωροφθορανθράκων (CFC), των βρωμοφθορανθράκων (Halons), του Τετραχλωριούχου άνθρακα (CTC) και του χλωροφόρμιου μεθυλίου (MCF) σύμφωνα με ένα συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα.



Εικόνα 3 - Η μείωση της στοιβάδας του όζοντος στην Ανταρκτική. Με κόκκινο παρουσιάζονται οι υψηλές και με μπλε οι χαμηλές συγκεντρώσεις του όζοντος. Πηγή: Βιολογία Γ' Γενικού Λυκείου, Γενικής Παιδείας.



Εικόνα 4 - Εικόνα της μεγαλύτερης τρύπας του όζοντος που έχει καταγραφεί ποτέ στην Ανταρκτική (Σεπτέμβριος 2006).

Πηγή: Wikipedia.

A. Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ / Montreal Protocol

Στις 16 Σεπτεμβρίου του 1987 (από τότε η 16η Σεπτεμβρίου έχει ανακηρυχτεί από τον ΟΗΕ Παγκόσμια Ημέρα κατά της Τρύπας του Όζοντος) υπεγράφη από 46 χώρες το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, η σημαντικότερη και αποτελεσματικότερη πράξη αντιμετώπισης του φαινομένου της τρύπας του όζοντος μέχρι σήμερα. Στόχος του Πρωτοκόλλου ήταν η σταδιακή εξάλειψη των χλωροφθορανθράκων (CFC) και άλλων ODS (Ozone Depleting Substances ή Ουσίες που Φθείρουν το Όζον) όπως οι υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFC) ή το μεθυλοβρωμίδιο (CH₃Br) για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της καταστροφής του όζοντος, που είχε ανακαλυφθεί πριν από δύο χρόνια. Ορίστηκε επίσης χρονοδιάγραμμα για την αποκατάσταση του όζοντος που είχε ήδη καταστραφεί. Όποια χώρα υπογράφει το πρωτόκολλο, υποχρεούται αυτόματα τη διακοπή παραγωγής και κατανάλωσης CFC. Με τη συνεργασία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καταργήθηκε σταδιακά το 99% των χλωροφθορανθράκων οικιακής χρήσης, ενώ παράλληλα στοχεύει με νομοθεσίες (όπως αυτή του 2006) να ρυθμίσει τη χρήση φθοριούχων αερίων από βιομηχανίες, που επίσης καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος. Το καλοκαίρι του 2009 η εφαρμογή του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ έγινε οικουμενική, καθώς υπέγραψε και η τελευταία από τις 196 χώρες-μέλη του Ο.Η.Ε.. Πρόσφατα ο Ο.Η.Ε. παρουσίασε έκθεση με τίτλο «Επιστημονική Εκτίμηση της Εξάντλησης του Όζοντος 2010» για την κατάσταση της τρύπας του όζοντος, σύμφωνα με την οποία τα νέα είναι εξαιρετικά ευχάριστα. Η τρύπα του όζοντος έχει πλέον σταματήσει να μεγαλώνει, αλλαγή η οποία συνέβαλε και στη μείωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη, εφόσον αυτή αποτελεί συνέπεια του φαινομένου. Αν και τα αποτελέσματα της έκθεσης είναι ενθαρρυντικά, ακόμα δεν έχει ξεκινήσει η αποκατάσταση της τρύπας του όζοντος σε

ικανοποιητικούς ρυθμούς. Σύμφωνα με υπολογισμούς, τα επίπεδα του όζοντος θα έχουν φτάσει εκείνα του 1980 μεταξύ των ετών 2045-2060.

B. Αυστραλιανή Στρατηγική για τη διαχείριση χλωροφθορανθράκων / Australian Chlorofluorocarbon Management Strategy

Παρέχει ένα πλαίσιο για την υπεύθυνη διαχείριση και χρήση χλωροφθορανθράκων στην Αυστραλία. Η στρατηγική αναγνωρίζει τη συνεχή ανάγκη αυτών των χημικών ουσιών στις φαρμακευτικές και την ιατρικές εργαστηριακές χρήσεις, αλλά δεσμεύεται για την σταδιακή κατάργησή τους.

Γ. Προστασία του περιβάλλοντος (προστασία του όζοντος) / Environmental Protection (Ozone Protection) Policy 2000

Αυτή η πολιτική στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της απόρριψης ουσιών που καταστρέφουν το όζον στο περιβάλλον και έχει επεκταθεί για να καλύψει τη χρήση εναλλακτικών ψυκτικών μέσων. Αυτό έγινε για να αποφευχθούν τα τρέχοντα αποθέματα των ουσιών που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος να απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα από τους ανθρώπους του εμπορίου που δεν είναι διαπιστευμένοι ή με ανεπαρκής κατάρτιση ή / και εξοπλισμό που εργάζονται σε συστήματα που περιέχουν αυτές τις ουσίες.

Δ. Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών / United Nations Environment Programme

Έχει εκδώσει διάφορες εκτιμήσεις για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της μείωσης του όζοντος (Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών, 1998, Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός, 2002).

Ε. Προστασία του όζοντος και νόμος διαχείρισης των συνθετικών αερίων του θερμοκηπίου του 1989 (και σχετικοί κανονισμοί και τροπολογίες) / Ozone Protection and Synthetic Greenhouse Gas Management Act 1989

Εφαρμόστηκε από την κυβέρνηση της Κοινοπολιτείας για να εκπληρώσει τις δεσμεύσεις που ανέλαβε βάσει του πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ.

ΣΤ. Πρόβλεψη δείκτη υπεριώδους ακτινοβολίας / Ultraviolet index forecast

Το Γραφείο Μετεωρολογίας έχει αναπτύξει ένα μοντέλο για την πρόβλεψη της ποσότητας της έκθεσης σε υπεριώδη ακτινοβολία και τις περιόδους της ημέρας κατά την οποία θα λάβει χώρα για 45 τοποθεσίες της Washington. Σχεδιάστηκε να βοηθήσει στην ελαχιστοποίηση της έκθεσης των ανθρώπων σε επικίνδυνα επίπεδα υπεριώδους ακτινοβολίας.

Υπό την αιγίδα του Περιβαλλοντικού Προγράμματος των Ηνωμένων Εθνών (UNEP), κυβερνήσεις του κόσμου, συμπεριλαμβανομένων των Ηνωμένων Πολιτειών, έχουν συνεργαστεί για να σταματήσουν τη μείωση του όζοντος με το «Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ για τις Ουσίες που καταστρέφουν το επίπεδο του όζοντος», που υπογράφηκε το 1987. Οι επιστήμονες ανησυχούν ότι η συνεχιζόμενη υπερθέρμανση του πλανήτη επιταχύνει την καταστροφή του όζοντος. Η καταστροφή του όζοντος χειροτερεύει όταν η στρατόσφαιρα (το στρώμα όπου βρίσκεται το όζον), γίνεται πιο κρύο. Επειδή η υπερθέρμανση του πλανήτη παγιδεύει τη θερμότητα στην τροπόσφαιρα, λόγω των αερίων του θερμοκηπίου που ενεργούν σαν «κουβέρτα», λιγότερη ποσότητα θερμότητας φτάνει στην στρατόσφαιρα, κάνοντάς την ψυχρότερη. Με άλλα λόγια, η υπερθέρμανση του πλανήτη μπορεί να κάνει τη μείωση του όζοντος πολύ χειρότερη όταν υποτίθεται πως πρέπει να ξεκινήσει ανάκαμψη κατά τον επόμενο αιώνα. Η διατήρηση των προγραμμάτων ελέγχου των ουσιών που καταστρέφουν το όζον είναι σημαντική και απαιτείται συνεχής επαγρύπνηση για το σκοπό αυτό. Στην πραγματικότητα, η υπερθέρμανση του πλανήτη, η όξινη βροχή, η μείωση του στρώματος του όζοντος και στάθμη εδάφους η μόλυνση του όζοντος αποτελεί σοβαρή απειλή για την ποιότητα της ζωής στη γη. Πρόκειται για ξεχωριστά προβλήματα, αλλά, όπως έχει διαπιστωθεί, υπάρχουν συνδέσεις μεταξύ τους, όπως το ότι οφείλονται στη χρήση χλωροφθορανθράκων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

3.1 Αέρια του θερμοκηπίου

Τα αέρια του θερμοκηπίου απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα τόσο από φυσικές, όσο και από ανθρώπινες δραστηριότητες. Πριν την βιομηχανική επανάσταση η περιεκτικότητα των αερίων αυτών ήταν σταθερή, αλλά από το 1750 η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων που συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει αυξηθεί λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, όπως για παράδειγμα η καύση ορυκτών.

Οι κύριες πηγές των αερίων του θερμοκηπίου είναι οι εξής:

- Καύση ορυκτών καυσίμων (υγρά – στερεά - αέρια καύσιμα, όπως βενζίνη, πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο)
- Αποψύλωση δασών
- Χρήση χλωροφθορανθράκων (CFC) κατά την ψύξη συστημάτων
- Γεωργικές δραστηριότητες, όπως η χρήση λιπασμάτων

Τα αέρια του θερμοκηπίου είναι περίπου είκοσι και κατέχουν μικρότερο όγκο από το 1% του συνολικού όγκου της ατμόσφαιρας. Τα κυριότερα αέρια που προκαλούν το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι:

Υδρατμοί: Το κυριότερο αέριο του θερμοκηπίου, το οποίο ευθύνεται για τα δύο τρίτα περίπου του φυσικού φαινομένου του θερμοκηπίου, είναι οι υδρατμοί. Στην ατμόσφαιρα, τα μόρια του νερού δεσμεύουν τη θερμότητα που εκπέμπει η γη και την εκπέμπουν εκ νέου προς όλες τις κατευθύνσεις, θερμαίνοντας έτσι την επιφάνεια της γης πριν επιστρέψουν τελικά στο διάστημα.

Οι υδρατμοί βρίσκονται σε αφθονία στην ατμόσφαιρα και πάντα σε συνάρτηση με το κλίμα της κάθε περιοχής. Αποτελούν τμήμα του υδρολογικού κύκλου, ενός κλειστού συστήματος κυκλοφορίας του νερού από τους ωκεανούς και το έδαφος στην ατμόσφαιρα και από εκεί πίσω στο έδαφος μέσω της εξάτμισης και της διαπνοής, της συμπύκνωσης και της κατακρήμνισης. Οι υδρατμοί αυξάνονται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία στην ατμόσφαιρα της γης, αφού ο θερμότερος αέρας μπορεί να κατακρατήσει πολύ περισσότερη υγρασία. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες δεν αυξάνουν την ποσότητα των υδρατμών στην ατμόσφαιρα.

Διοξείδιο του άνθρακα: Το διοξείδιο του άνθρακα είναι το αέριο που βρίσκεται σε πολύ μικρή συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα, αλλά αποτελεί ένα από τα βασικά συστατικά της. Είναι ο

κυριότερος συντελεστής του ανθρωπογενούς (ενισχυμένου) φαινομένου του θερμοκηπίου. Ευθύνεται παγκοσμίως για τουλάχιστον το 60% του ανθρωπογενούς φαινομένου του θερμοκηπίου. Στις βιομηχανικές χώρες το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί τουλάχιστον το 80% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.

Στη γη υπάρχουν πεπερασμένες ποσότητες άνθρακα, οι οποίες ανακυκλώνονται με τον «κύκλο του άνθρακα», ένα σύστημα στο οποίο ο άνθρακας κινείται μεταξύ της ατμόσφαιρας και της επίγειας βιόσφαιρας και των ωκεανών. Τα φυτά απορροφούν διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα κατά τη φωτοσύνθεση και χρησιμοποιούν τον άνθρακα για τη σύνθεση των ιστών τους, τον οποίο στη συνέχεια απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα όταν ξεραίνονται και αποσυντίθενται. Οι άνθρωποι και οι ζωικοί οργανισμοί λαμβάνουν επίσης άνθρακα από τα φυτά ή ζώα που καταναλώνουν, ο οποίος απελευθερώνεται με τη μορφή του διοξειδίου του άνθρακα με την αναπνοή, όπως επίσης και με το θάνατο και την αποσύνθεση.

Πέρα από τις φυσικές διεργασίες, όπως την αναπνοή ή τις εκρήξεις ηφαιστειών, απελευθερώνεται και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως η αποψίλωση δασών, η καλλιέργεια της γης και η καύση ορυκτών καυσίμων. Από την περίοδο της βιομηχανικής Επανάστασης το ποσοστό διοξειδίου του άνθρακα έχει αυξηθεί κατά το 1/3 λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Μεθάνιο: το δεύτερο σημαντικότερο αέριο στο οποίο οφείλεται του ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι το μεθάνιο (CH₄). Το μεθάνιο είναι αέριο υδρογονανθράκων που παράγεται από φυσικούς παράγοντες αλλά και ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η αποσύνθεση των αποβλήτων, η γεωργία, η πέψη μηρυκαστικών και η διαχείριση των περιττωμάτων των κατοικίδιων ζώων.

Από τις αρχές της βιομηχανικής επανάστασης οι συγκεντρώσεις μεθανίου στην ατμόσφαιρα έχουν διπλασιαστεί και συμβάλλουν κατά περίπου 20% στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Στις βιομηχανικές χώρες το μεθάνιο αποτελεί συνήθως το 15% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.

Το μεθάνιο είναι το πιο ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου, αλλά βρίσκεται σε μικρή συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα. Συντελείται κυρίως από βακτήρια που ενισχύονται με οργανικές ύλες ελλείψει οξυγόνου και εκπέμπεται από διάφορες φυσικές πηγές που επηρεάζονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, με κυριότερες τις ανθρωπογενείς εκπομπές. Στις φυσικές πηγές μεθανίου συμπεριλαμβάνονται οι υγρότοποι και οι ωκεανοί, ενώ στις πηγές από ανθρώπινη δραστηριότητα η εξόρυξη και καύση ορυκτών καυσίμων, η κτηνοτροφία, οι ρυζοκαλλιέργειες και οι χώροι ταφής.

Υποξείδιο του αζώτου: Το υποξείδιο του αζώτου (N₂O) είναι ένα ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου. Απελευθερώνεται με φυσικό τρόπο από τους ωκεανούς και τα δάση, όπως επίσης και από τα βακτήρια του εδάφους. Στις ανθρώπινες δραστηριότητες στις οποίες οφείλεται περιλαμβάνονται τα

αζωτούχα λιπάσματα, η καύση ορυκτών καυσίμων και η βιομηχανική χημική παραγωγή με χρήση αζώτου, όπως για παράδειγμα η επεξεργασία λυμάτων. Στις βιομηχανικές χώρες το υποξείδιο του αζώτου αποτελεί το 6% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου: είναι τα μόνα αέρια θερμοκηπίου που δεν συνθέτονται με φυσικό τρόπο. Τα γνωστότερα από αυτά αέρια είναι οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs), που δεν είναι μόνο φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου, αλλά καταστρέφουν και το στρώμα του όζοντος.

Τα φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου περιλαμβάνουν τους υδροφθοράνθρακες (Ημ) που χρησιμοποιούνται στην ψύξη και την κατάψυξη, το εξαφθοριούχο θείο (SF₆), που χρησιμοποιείται για παράδειγμα στην ηλεκτρονική βιομηχανία και τους υπερφθοράνθρακες (PFC) που εκπέμπονται κατά την παραγωγή αλουμινίου και χρησιμοποιούνται επίσης στην ηλεκτρονική βιομηχανία.

Τα φθοριούχα αέρια έχουν δημιουργηθεί για βιομηχανικούς σκοπούς και ευθύνονται για περίπου το 1,5% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στις βιομηχανικές χώρες.

3.2 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Φαινόμενο του θερμοκηπίου ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία η θερμική ακτινοβολία απορροφάται από την ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία της Ατμόσφαιρας. Ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας περνά αναλλοίωτο στην ατμόσφαιρα, φτάνει ως την επιφάνεια του εδάφους και ακτινοβολείται προς όλες τις κατευθύνσεις σαν μεγάλο μήκος υπέρυθρη ακτινοβολία. Ένα μέρος αυτής απορροφάται από την ατμόσφαιρα, θερμαίνεται και επανεκπέμπεται στην επιφάνεια του εδάφους. Με άλλα λόγια, καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία, η Γη εκπέμπει τη θερμική ενέργεια (υπέρυθρη ακτινοβολία) πίσω στην ατμόσφαιρα. Ένα ποσοστό αυτής της θερμότητας απορροφάται από αέρια, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄), το υποξείδιο του αζώτου (N₂O), το όζον (O₃) και οι υδρατμοί, δηλαδή τα αέρια του θερμοκηπίου.

Λόγω της ύπαρξης των αερίων αυτών δεν επιτρέπεται η έξοδος της ακτινοβολίας προς το σύμπαν, με συνέπεια να εγκλωβίζεται και να επιστρέφει στη γη. Τα αέρια αυτά ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αφού επιτρέπουν τη είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας στη γη, αλλά δεν επιτρέπουν την ακτινοβολήση θερμότητας από τη γη στο διάστημα. Αυτό συμβαίνει επειδή η εισερχόμενη ακτινοβολία έχει μικρό μήκος κύματος και διαπερνά τα αέρια του θερμοκήπιο, ενώ η εξερχόμενη έχει μεγάλο μήκος κύματος και δεν μπορεί να τα διαπεράσει, ακριβώς όπως συμβαίνει και σε ένα θερμοκήπιο με τζάμι ή πλαστικό, εξ ου και το όνομα του φαινομένου.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου αποτελεί μια φυσική διεργασία που εξασφαλίζει στη Γη μια θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους γύρω στους 15οC, ενώ η θερμοκρασία θα ήταν -18ο C χωρίς

αυτό. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια λέγοντας Φαινόμενο Θερμοκηπίου δεν αναφερόμαστε στη φυσική διεργασία, αλλά στην έξαρση αυτής λόγω της ρύπανσης της ατμόσφαιρας από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.



Εικόνα 5- Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου (Μανώλης Βουτυράκης (2005), "Τα αέρια του θερμοκηπίου και ο ρόλος τους")

3.2.1 Ο ρόλος του διοξειδίου του άνθρακα

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι το πιο σημαντικό από τα αέρια που διατηρούν ζεστή την ατμόσφαιρά μας. Τέσσερα δισεκατομμύρια χρόνια πριν, η συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα ήταν πολύ υψηλότερη σε σχέση με σήμερα (80% σε σχέση με τη συγκέντρωση του 0,03 % που παρατηρείται σήμερα). Όμως, μέσω της φωτοσύνθεσης το ποσοστό της συγκέντρωσής του στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια του χρόνου ελαττώθηκε κατά πολύ. Όλη αυτή η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα εγκλωβίστηκε μέσα σε οργανισμούς, που στη συνέχεια σχημάτισαν ορυκτά, όπως οι γαιάνθρακες και το πετρέλαιο, στο στερεό φλοιό της γης.

Ο φυσικός κύκλος του διοξειδίου του άνθρακα

Κατά τη διάρκεια του φυσικού κύκλου του διοξειδίου του άνθρακα, η ποσότητα CO₂ στην ατμόσφαιρά διατηρείται σε ισορροπία. Μέσω της αναπνοής και της αποσύνθεσης των φυτών αλλά και των ηφαιστειακών εκρήξεων, απελευθερώνεται φυσικό CO₂ στην ατμόσφαιρα, όπου παραμένει για 100 περίπου χρόνια. Απομακρύνεται πάλι από την ατμόσφαιρα, μέσω της φωτοσύνθεσης των φυτών και μέσω της διάλυσης του στο νερό (για παράδειγμα, στους ωκεανούς). Η ποσότητα του

φυσικά παραγόμενου CO₂ εξισορροπείται σχεδόν απόλυτα από την ποσότητα που αφαιρείται με φυσικό τρόπο. Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όμως, έχουν επίδραση σε αυτό το ισοζύγιο, και είναι αυτές που σε μεγάλο βαθμό ευθύνονται για την υπερθέρμανση του πλανήτη.

3.2.2 Συνέπειες του φαινομένου

Οι συνέπειες του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι δύσκολο να προ εκτιμηθούν, εξαιτίας του γεγονότος ότι η άνοδος της θερμοκρασίας συνδέεται με παράγοντες των οποίων ο ρόλος δεν είναι πλήρως γνωστός. Οι σημαντικότερες συνέπειες είναι:

Αλλαγή του κλίματος της Γης: Μετακίνηση των ζωνών βροχοπτώσεως, από τον ισημερινό προς τον βορρά και ερημοποίηση του κάτω τμήματος της εύκρατης ζώνης. Θα πραγματοποιηθούν αλλαγές στους διάφορους τύπους βλάστησης τόσο στις γεωργικές όσο και στις δασικές εκτάσεις. Όσον αφορά την χώρα μας σε περιοχές όπως η Καβάλα, Θάσος, Ηράκλειο, Πύργος, Ζάκυνθος, Κεφαλονιά κ.λπ., από το 1982 και μετά, το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης βρίσκεται συνεχώς κάτω από τον μέσο όρο και τα αίτια ίσως θα πρέπει να αναζητηθούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Άνοδος της στάθμης των θαλασσών: Οι λόγοι που οδηγούν στο φαινόμενο αυτό είναι η διαστολή των υδάτων που επιφέρει η αύξηση της θερμοκρασίας και η τήξη των πάγων. Μία άνοδος της στάθμης κατά 50 έως 150 εκατοστά θα έχει βαρύτερες συνέπειες, καθώς θα πλημμυρίσουν πολλές περιοχές που βρίσκονται κοντά στο επίπεδο της θάλασσας (οι περισσότερες από αυτές είναι εύφορες και πυκνοκατοικημένες).

Μείωση των υδάτινων πόρων: Αρνητικές συνέπειες θα δημιουργηθούν από τη μεταβολή του ρυθμού του υδρολογικού κύκλου, ενώ παράλληλα οι ανάγκες άρδευσης και ύδρευσης θα είναι μεγαλύτερες.

Συμβολή στην εμφάνιση του φαινομένου Ελ Νίνιο: Το φαινόμενο Ελ Νίνιο, δηλαδή η περιοδική αύξηση της θερμοκρασίας των επιφανειακών υδάτων στον κεντρικό και ανατολικό Ειρηνικό ωκεανό, συσχετίζεται από πολλούς επιστήμονες με την αύξηση της θερμοκρασίας. Επιπτώσεις του φαινομένου είναι ασυνήθιστοι άνεμοι, πλημμύρες, ξηρασίες, ενώ αναφέρεται ότι επηρεάζει και τις καιρικές συνθήκες της Μεσογείου, και συγκεκριμένα συνδέεται με τις χαμηλές βροχοπτώσεις στην περιοχή.

Άμεση επίδραση της θερμοκρασίας: Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού σε πολλές περιοχές του πλανήτη, αλλά και στην χώρα μας, θα φτάσει σε τέτοια επίπεδα που θα είναι ανυπόφορη για τους ανθρώπους και τους άλλους ζωικούς και φυτικούς οργανισμούς. Περισσότερο

έντονο θα είναι (ήδη έχει αρχίσει να γίνεται σε πολλές περιοχές) το πρόβλημα στις πόλεις, όπου η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από τον περιβάλλοντα χώρο κατά 0,5 – 3 C λόγω της έλλειψης βλάστησης και της μεγαλύτερης απορρόφησης ακτινοβολίας των δομικών υλικών. Δυστυχώς είναι γεγονός ότι οι πόλεις της πατρίδας μας διαθέτουν πολύ μικρή επιφάνεια σε χώρους πρασίνου (Αθήνα 2,8 και Θεσσαλονίκη 2,73 τετραγωνικά μέτρα ανά κάτοικο), ενώ οι ειδικοί προτείνουν τουλάχιστον 15,5 τ.μ. και οι περισσότερες πόλεις της Ευρώπης έχουν 20 τ.μ.

3.2.2.1 Κλιματική αλλαγή – Υπερθέρμανση του πλανήτη³

Το κλίμα της Γης έχει μεταβληθεί πολλές φορές στο παρελθόν λόγω φυσικών αιτιών. Ωστόσο, οι αλλαγές που παρατηρούνται τα τελευταία χρόνια και αυτές που προβλέπονται στο μέλλον, οφείλονται κυρίως στην ανθρώπινη συμπεριφορά: μέσα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες απελευθερώνονται κάθε χρόνο στην ατμόσφαιρα μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα - 29 δισεκατομμύρια τόνοι το 2004 - και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να θερμαίνεται ο πλανήτης.

Από την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης, οι άνθρωποι ξεκίνησαν την καύση μεγάλων ποσοτήτων ορυκτών καυσίμων για την κίνηση οχημάτων, τη θέρμανση, την παροχή ενέργειας σε εργοστάσια και την εκτέλεση άλλων επαγγελματικών δραστηριοτήτων. Η καύση των ορυκτών καυσίμων απελευθερώνει το διοξείδιο του άνθρακα που έχει αποθηκευτεί σε αυτά εκατομμύρια χρόνια πριν. Τα τελευταία 200 χρόνια έχουμε καταναλώσει ένα μεγάλο μέρος των αποθεμάτων αυτών των ορυκτών καυσίμων, με αποτέλεσμα την αύξηση της ποσότητας του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Ταυτόχρονα, μέσα από την συνεχιζόμενη αποψίλωση των δασών απελευθερώνεται το διοξείδιο του άνθρακα που είναι αποθηκευμένο στα δέντρα και το έδαφος.

Η αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα οδηγεί στον εγκλωβισμό υπερβολικής ποσότητας θερμότητας με συνέπεια την αύξηση του πάχους της 'κουβέρτας του θερμοκηπίου'. Αυτό προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας της γης, η οποία με τη σειρά της οδηγεί στην αλλαγή του κλίματος.

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι το πιο σημαντικό από τα αέρια που προκαλούν την υπερθέρμανση του πλανήτη και απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα από την ανεξέλεγκτη καύση των ορυκτών καυσίμων. Άλλα αέρια είναι το μεθάνιο (CH₄), το οποίο προέρχεται από την

³Πηγή:

http://www.oikologos.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=154:0636&catid=34:climate&Itemid=202

αναερόβια (χωρίς οξυγόνο) αποικοδόμηση οργανικής ύλης π.χ από τις εντερικές ζυμώσεις των ζώων και τα απόβλητα, το υποξείδιο του αζώτου (N₂O), το οποίο προέρχεται κυρίως από γεωργικές αλλά και από βιομηχανικές δραστηριότητες και τρία τεχνητά αέρια: οι φθορισμένοι υδρογονάνθρακες (HFCs), οι υπερφθοράνθρακες (PFCs) και το εξαφθοριούχο θείο (SF₆) τα οποία παράγονται από βιομηχανικές διεργασίες. Ο έλεγχος αυτών των έξι αερίων του θερμοκηπίου είναι το αντικείμενο της συμφωνίας του Πρωτοκόλλου του Κιότο.

3.3 Αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου

3.3.1 Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή

Η Συνδιάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη πραγματοποιήθηκε στο Ρίο Ντε Τζανέιρο στις 3-14 Ιουνίου το 1992. Βασικό περιεχόμενο της συνδιάσκεψης αποτέλεσε η Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (United Nations Framework Convention on Climate Change).

Η Σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος είναι το πρώτο διεθνές μέτρο με το οποίο επιδιώχθηκε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα. Επιβάλλει σε όλα τα συμβαλλόμενα μέρη 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.

Το 1994, ήταν ήδη παραδεκτό ότι οι αρχικές δεσμεύσεις βάσει της Σύμβασης –πλαίσιο δεν επρόκειτο να επαρκέσουν 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.

3.3.2 Η Σύμβαση του Ρίο⁴

Η Σύμβαση - Πλαίσιο των Η.Ε. για τις κλιματικές αλλαγές υπεγράφη από 154 χώρες και την Ευρωπαϊκή Ένωση τον Ιούνιο του 1992 στο Ρίο, κατά τη διάρκεια της Συνόδου Κορυφής για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη. Η Ελλάδα επικύρωσε την Σύμβαση με τον Νόμο 2205/1994 (ΦΕΚ 60/Α/15-4-1994).

Η σύμβαση δεν έθεσε νομικά δεσμευτικές υποχρεώσεις αλλά τις βάσεις για περαιτέρω δράση στο

⁴Πηγή: <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=442>

μέλλον. Την εποχή που επικρατούσαν πολλές αμφισβητήσεις για την επιστημονική στήριξη της ανάγκης υιοθέτησης μέτρων, η σύμβαση έθεσε τις γενικές αρχές και τη διαδικασία για τη μετέπειτα υιοθέτηση δεσμεύσεων, κυρίως μέσω των τακτικών συνόδων των Κρατών Μερών της. Η Σύμβαση προβλέπει για όλα τα Κράτη, αναγνωρίζοντας κοινές αλλά διαφοροποιημένες υποχρεώσεις και την ύπαρξη εθνικών αναπτυξιακών προτεραιοτήτων, τα εξής:

1. την ανάπτυξη, τακτική ενημέρωση και δημοσιοποίηση εθνικών απογραφών των ανθρωπογενών εκπομπών βάσει συγκρίσιμων μεθοδολογιών,
2. τη δημοσίευση, αναθεώρηση και εφαρμογή εθνικών προγραμμάτων για την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών.
3. την υιοθέτηση πολιτικών και μέτρων με στόχο την επαναφορά των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στα επίπεδα του έτους 1990 μέχρι το 2000 για τα Κράτη που περιλαμβάνονται στο Παράρτημα I της Σύμβασης (ανεπτυγμένα κράτη). Η σύμβαση δίνει τη δυνατότητα ο στόχος αυτός να επιτευχθεί από κάθε κράτος ξεχωριστά ή από κοινού με άλλα.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση με δήλωσή της, που κατετέθη ταυτόχρονα με το έγγραφο επικύρωσης της Σύμβασης, έθεσε σαν συνολικό στόχο της (για όλα τα κράτη-μέλη από κοινού) τη σταθεροποίηση των εκπομπών της διοξειδίου του άνθρακα μέχρι το έτος 2000 στα επίπεδα του 1990.

3.3.3 Το Πρωτόκολλο του Κιότο

Με βάση τις διαδικασίες που προβλέπονται από τη Σύμβαση, στην Τρίτη Σύνοδο των Συμβαλλομένων Μερών (Κιότο, Δεκέμβριος 1997) υιοθετήθηκε Πρωτόκολλο στη Σύμβαση, γνωστό ως Πρωτόκολλο του Κιότο. Το Πρωτόκολλο στοχεύει σε συνολική μείωση των εκπομπών τουλάχιστον κατά 5% την πενταετία 2008-2012 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Για την επίτευξή του, τα ανεπτυγμένα Κράτη - Μέρη του Πρωτοκόλλου καλούνται να εξασφαλίσουν ότι οι εκπομπές τους, για 6 συνολικά αέρια, δεν θα υπερβούν τα όρια που τους τίθενται με το Πρωτόκολλο αυτό, στο Παράρτημα Β. Το Πρωτόκολλο τέθηκε σε ισχύ την 16η Φεβρουαρίου 2005. Πρόκειται για μία φιλόδοξη όσο και περίπλοκη συμφωνία 141 χωρών, με δεσμευτικό χαρακτήρα, που στοχεύει στην αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου και των κλιματικών αλλαγών. Πήρε το όνομά του από την παλιά πρωτεύουσα της Ιαπωνίας Κιότο, όπου υπογράφηκε το 1997 και προέκυψε από τη Διεθνή Σύμβαση για τις κλιματικές αλλαγές, που είχε υπογραφεί στη Διάσκεψη του Ρίο το 1992.

Ελεγχόμενες ουσίες από το Πρωτόκολλο του Κιότο

Οι στόχοι του πρωτοκόλλου του Κιότο καλύπτουν την εκπομπή έξι κύριων αερίων που ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αυτά είναι τα εξής: (Πηγή: UNFCCC)

- Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)
- Μεθάνιο (CH₄)
- Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O)
- Υδροφθοράνθρακες(HFCs)
- Υπερφθοράνθρακες(PFCs)
- Εξαφθοριούχο Θείο (SF₆)

Τα κύρια σημεία του Πρωτοκόλλου του Κιότο

- Τα ανεπτυγμένα κράτη δεσμεύονται να μειώσουν τις συνολικές τους εκπομπές κατά τουλάχιστον 5%. Ο στόχος αυτός αναφέρεται σε έξι αέρια (διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου, υδροφθοράνθρακες, πλήρως φθορισμένοι υδρογονάνθρακες και εξαφθοριούχο θείο).
- Ο στόχος κάθε κράτους πρέπει να επιτευχθεί την περίοδο 2008-2012.
- Δυνατότητα εκπλήρωσης των υποχρεώσεων από κοινού. Τα Κράτη δύνανται να δηλώσουν κοινή εκπλήρωση των υποχρεώσεών τους, μέσω μιας συμφωνίας που θα συνάψουν, όπου θα καταγράφεται η υποχρέωση κάθε κράτους ως προς το επίπεδο των εκπομπών και η οποία πρέπει να κατατεθεί μαζί με το κείμενο επικύρωσης.
- Δυνατότητα εκπλήρωσης μέρους των υποχρεώσεων μέσω τριών ευέλικτων μηχανισμών. Το Πρωτόκολλο του Κιότο παρέχει τη δυνατότητα να επιτυγχάνεται η εκπλήρωση μέρους των υποχρεώσεων μέσω τριών μηχανισμών: από κοινού εφαρμογή, μηχανισμός "καθαής" ανάπτυξης και εμπόριο εκπομπών. Η γενική προϋπόθεση είναι η εκπλήρωση των υποχρεώσεων μέσω των μηχανισμών αυτών να είναι συμπληρωματική των εθνικών δράσεων για την επίτευξη του στόχου.
- Υιοθέτηση πολιτικών και μέτρων. Το Πρωτόκολλο δεσμεύει τα Κράτη-Μέρη του σε εφαρμογή ή υιοθέτηση πολιτικών και μέτρων για την επίτευξη του στόχου του Πρωτοκόλλου, σύμφωνα με τις εθνικές συνθήκες κάθε κράτους. Περιλαμβάνει και ενδεικτικό κατάλογο συγκεκριμένων μέτρων που μπορούν να εφαρμοσθούν από τα Κράτη-Μέρη.
- Συνεκτίμηση αποδεκτών (καταβόθρες). Το Πρωτόκολλο περιλαμβάνει διατάξεις για την συνεκτίμηση των αποδεκτών (καταβόθρες), οι οποίες αν και χρειάζονται περαιτέρω μελέτη

και διευκρινήσεις, παρέχουν κατ' αρχήν τη δυνατότητα συνυπολογισμού της πρόσληψης διοξειδίου του άνθρακα από τα δάση και τις καλλιεργούμενες γαίες στη μείωση των εκπομπών.

- Αυστηρό καθεστώς συμμόρφωσης. Το Πρωτόκολλο προβλέπει την εγκαθίδρυση ενός αυστηρού καθεστώτος συμμόρφωσης
- Δεν υπάρχουν ποσοτικοί στόχοι για αναπτυσσόμενες χώρες.

Κεφάλαιο 4: Ατμοσφαιρική Ρύπανση από τα πλοία και θεσμικό πλαίσιο

4.1 Ατμοσφαιρικοί ρύποι από την λειτουργία των πλοίων

Όπως όλα τα μέσα μεταφοράς, έτσι και τα πλοία χρειάζονται ενέργεια για να λειτουργήσουν. Η ενέργεια αυτή προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων, έχοντας ως αποτέλεσμα την εκπομπή ρύπων στην ατμόσφαιρα. Η καύση είναι η χημική αντίδραση ενός καυσίμου με οξυγόνο, με σκοπό την παραγωγή ενέργειας με τη μορφή θερμότητας και την εκμετάλλευσή της για κίνηση (κινητική ενέργεια). Στην ουσία πρόκειται για μετατροπή της χημικής ενέργειας σε μηχανική, χρησιμοποιώντας το οξυγόνο που υπάρχει στο περιβάλλον. Κατά την καύση απελευθερώνονται σε αέρια μορφή συστατικά που περιλαμβάνονται στα καύσιμα, όπως είναι ο άνθρακας (C), το υδρογόνο (H) και σε μικρότερες ποσότητες το θείο (S).

Το αέρια που εκλύονται στην ατμόσφαιρα από τα πλοία είναι τα εξής:

- Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)
- Διοξείδιο του θείου (SO₂)
- Οξείδια του αζώτου (NO_x)
- Πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds – VOCs)
- Όζον (O₃)
- Αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter – PM)

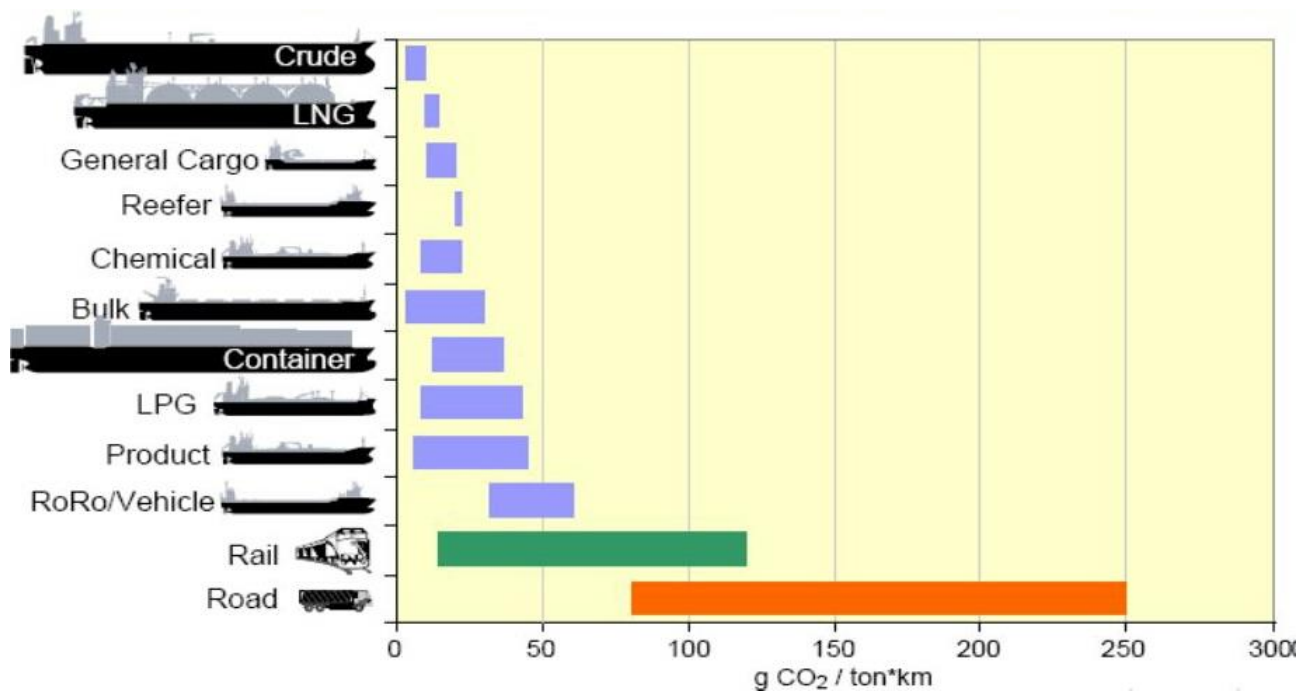
Αναλυτικότερα:

4.1.1 Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι χημική ένωση που αποτελείται από δύο άτομα οξυγόνου ενωμένα με ομοιοπολικό δεσμό με ένα άτομο άνθρακα. Είναι αέριο συστατικό της γήινης ατμόσφαιρας, άχρωμο, άοσμο και άγευστο σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας και επίσης είναι ένα από τα αέρια του θερμοκηπίου.. Η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται από ο κάθε πλοίο στην ατμόσφαιρα ποικίλει και εξαρτάται κυρίως από την περιεκτικότητα σε άνθρακα

του καυσίμου που χρησιμοποιεί. Σύμφωνα με τον IMO ένας τόνος καυσίμου τύπου Marine Diesel Oil παράγει κατά την καύση του 3,09 kg διοξειδίου του άνθρακα, κατά μέσω όρο, ενώ ένας τόνος Heavy Fuel Oil (βαρύ μαζούτ) παράγει 3,02 kg.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπονται ανά τόνο φορτίου για κάθε χιλιόμετρο που διανύουν διαφορετικοί τύποι πλοίων, αλλά και η σύγκριση των εκπομπών με άλλες μεθόδους μεταφοράς, όπου παρατηρούμε ότι οι θαλάσσιες μεταφορές παράγουν σημαντικά λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα για τη μεταφορά φορτίου σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μέσα.



Εικόνα 6 - Ενεργειακή απόδοση μεταφορικού έργου μεταξύ μέσων μεταφοράς.⁵

4.1.2 Διοξείδιο του θείου (SO₂)

Το διοξείδιο του θείου είναι μία ανόργανη χημική ένωση και αποτελεί το κυριότερο προϊόν της καύσης ουσιών που περιέχουν θείο. Απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα κυρίως κατά τις εκρήξεις ηφαιστειών και σε μικρότερες ποσότητες από την καύση ορυκτών καυσίμων (γαιάνθρακες, πετρέλαιο). Το διοξείδιο του θείου μπορεί να δημιουργήσει όξινη βροχή. Αυτό συμβαίνει με την

⁵ Πηγή:

https://www.google.gr/search?q=%CE%95%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE+%CE%B1%CF%80%CF%8C%CE%B4%CE%BF%CF%83%CE%B7+%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%B1%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%8D+%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%BF%CF%85+%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%BE%CF%8D+%CE%BC%CE%AD%CF%83%CF%89%CE%BD+%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%B1%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%AC%CF%82&dcr=0&tbm=isch&source=lnms&sa=X&ved=0ahUKewiX35z3prTXAhXnL8AKHVCOAWwQ_AUICygC&biw=1366&bih=588&dpr=1#imgsrc=GK6TSeyYtSPTXM

παρουσία υγρασίας ή κάποιου καταλύτη (όπως το διοξείδιο του αζώτου) όπου το διοξείδιο του θείου οξειδώνεται σε θειικό οξύ, δημιουργώντας έτσι την όξινη βροχή. Για το λόγο αυτό κρίθηκε άμεση η ανάγκη μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του θείου από τα πλοία.

Έτσι, η ναυτιλιακή επιτροπή για την προστασία του περιβάλλοντος (Marine Equipment Protection Committee–MEPC), υπό την αιγίδα του IMO, προχώρησε στην επιβολή μέτρων για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του θείου από τα πλοία, καθορίζοντας ειδικές περιοχές ελέγχου εκπομπής θείου (Sulfur Emission Control Areas–SECA), στις οποίες θα αναφερθούμε περισσότερο στη συνέχεια.

4.1.3 Οξείδια του αζώτου

Τα οξείδια του αζώτου, όπως και οι περισσότεροι ρύποι, απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων, αλλά και από φυσικά αίτια, όπως οι εκρήξεις ηφαιστειών. Τα οξείδια του αζώτου δημιουργούνται από την ένωση αζώτου και οξυγόνου, η οποία ευνοείται στις συνθήκες που επικρατούν στους θαλάμους καύσης (υψηλή θερμοκρασία και πίεση)

Τα οξείδια του αζώτου που συναντώνται στην ατμόσφαιρα είναι τα εξής:

- 1. Υποξείδιο του αζώτου**
- 2. Μονοξείδιο του αζώτου**
- 3. Διοξείδιο του αζώτου**
- 4. Τριοξείδιο του αζώτου**
- 5. Πεντοξείδιο του αζώτου**

4.1.4 Πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds – VOCs)

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις αποτελούν οργανικές ενώσεις υδρογονανθράκων και συμβάλλουν στο σχηματισμό του τροποσφαιρικού όζοντος.

Οι υδρογονάνθρακες απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα είτε από τη φύση (βιολογικές πηγές, γεωθερμικές δραστηριότητες), είτε από ανθρώπινες δραστηριότητες, κυρίως από τη βιομηχανία και λιγότερο από τις μεταφορές. Τα περισσότερα συστατικά των πετρελαϊκών προϊόντων είναι υδρογονάνθρακες και διαιρούνται σε δύο κατηγορίες:

1. Τους **αλειφατικούς υδρογονάνθρακες**. Αυτοί είναι τα αλκάνια (κορεσμένοι υδρογονάνθρακες), τα αλκένια (ολεφίνες) και τα αλκύνια.
2. Τους **αρωματικούς υδρογονάνθρακες**. Παράγονται από το βενζόλιο και μπορεί να είναι καρκινογόνοι.

Τα προϊόντα του πετρελαίου που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία και απελευθερώνουν οργανικές πτητικές ενώσεις είναι το υγραέριο, η βενζίνη, η κυροζίνη, το πετρέλαιο Diesel και το μαζούτ (Heavy Fuel Oil). Οι πτητικές ενώσεις στη ναυτιλία απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα κυρίως από τα δεξαμενόπλοια κατά τη διάρκεια των ταξιδιών, όταν αυξάνεται η πίεση στο χώρο του φορτίου, συνήθως από την αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, αλλά περισσότερο κατά τη φόρτωσή τους με αργό πετρέλαιο ή άλλα προϊόντα πετρελαίου.

Για το λόγο αυτό τα πλοία που πραγματοποιούν φορτοεκφόρτωση σε λιμάνια που διαθέτουν σύστημα ελέγχου εκπομπών (Vapour Emissions Control Systems) λαμβάνουν ειδικά μέτρα για να μειώσουν την εκπομπή πτητικών ενώσεων στο περιβάλλον, ρυθμίζοντας τον ρυθμό φόρτωσης, την πίεση στις δεξαμενές και άλλες παραμέτρους.

4.1.5 Όζον

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, το όζον αποτελείται από τρία άτομα οξυγόνου και ενώ στα χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας αποτελεί ρύπο, είναι απαραίτητα στο στρώμα της στρατόσφαιρας για την προστασία της γης από τις υπεριώδεις ακτίνες του ηλίου.

Στο χώρο της ναυτιλίας το όζον δεν απελευθερώνεται άμεσα από τα πλοία, αλλά είναι αποτέλεσμα χημικών ενώσεων των οξειδίων του αζώτου που εκπέμπεται, αλλά και των υδρογονανθράκων που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Για το λόγο αυτό κατατάσσεται στους δευτερογενείς ρύπους των πλοίων.

4.1.6 Αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter – PM)

Σωματιδιακή ύλη (Particulate matter, PM) ή αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ) ονομάζεται οποιουδήποτε μεγέθους υλικό στον αέρα σε στερεή ή υγρή μορφή (από μερικά nm μέχρι κάποιες δεκάδες μm). Τα σωματίδια συμμετέχουν σε φωτοχημικές διεργασίες στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα τη τροποποίηση της χημικής τους σύστασης και του μεγέθους (πυρινογένεση, συμπύκνωση, εξάτμιση, συσσωμάτωση, απόθεση, συμμετοχή σε χημικές αντιδράσεις). Προέρχονται είτε από φυσικές πηγές, όπως ηφαιστεια, πυρκαγιές, θάλασσα, σκόνη με τον άνεμο (π.χ. Αφρική) γύρη των

φυτών κλπ, είτε από ανθρωπογενείς, όπως η καύση, οι διεργασίες διαχείρισης υλικών (βιομηχανικές και μεταλλευτικές δραστηριότητες), οι μεταφορές και η γεωργία.

Τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να αιωρούνται για μεγάλα χρονικά διαστήματα στην ατμόσφαιρα, αφού αναμιγνύονται σε αυτήν, με αποτέλεσμα να ταξιδεύουν σε μεγάλες αποστάσεις με τη βοήθεια του ανέμου. Διακρίνονται σε αερολύματα, τα στερεά αερολύματα και τα υγρά αερολύματα, όμως μπορεί να αποτελέσουν και μίγμα πολλαπλών φάσεων.

Αερολύματα

Τα ατμοσφαιρικά αερολύματα (aerosols) είναι κolloειδή συστήματα αναμιγμένα μέσα σε ένα αέριο μέσο διασποράς (όπως η ατμόσφαιρα). Αποτελούνται από στερεά ή υγρά σωματίδια μεγέθους μικρότερο από 100μm.

Στερεά αερολύματα

Τα στερεά αερολύματα δημιουργούνται από τη διασπορά στερεών σωματιδίων στην ατμόσφαιρα και ανάλογα με το μέγεθός τους διακρίνονται σε αιθάλη, σκόνη, καπνό και ιπτάμενη τέφρα.

Υγρά αερολύματα

Τα υγρά αερολύματα είναι αερολύματα που δημιουργούνται από τη διασπορά υγρών σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων κατηγοριοποιούνται σε ομίχλη και σπρέι.

Λόγω του συνεχώς αυξανόμενου παγκόσμιου στόλου της ναυτιλίας, αυξάνονται και οι ποσότητες των ρύπων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα. Έτσι, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO), υπό την αιγίδα του ΟΗΕ, έχει θεσμοθετήσει τις εκπομπές των πλοίων σε παγκόσμιο επίπεδο με σκοπό τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, μέσω της Διεθνούς Σύμβασης για την πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης MARPOL –Annex VI.

4.2 Η διεθνής σύμβαση MARPOL

Η Διεθνής Σύμβαση για την πρόληψη της Ρύπανσης από πλοία (MARPOL 73/78) είναι η κύρια διεθνής σύμβαση που αφορά την πρόληψη της ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος από πλοία λόγω της λειτουργίας τους ή λόγω ναυτικών ατυχημάτων.

Αποτελεί δημιούργημα του ΙΜΟ και ψηφίστηκε το 1973. Πριν καν τεθεί σε ισχύ ψηφίστηκε το πρωτόκολλο της διεθνούς σύμβασης του 1978 κατά τη διάρκεια συνδιάσκεψης με θέμα την ασφάλεια των δεξαμενοπλοίων που έλαβε χώρα συνεπεία σημαντικών ατυχημάτων κατά τα έτη 1976-77. Τα δύο κείμενα συνδυάστηκαν σε ενιαία διεθνή σύμβαση, που ετέθη σε ισχύ στις 2 Οκτωβρίου 1983 με το όνομα MARPOL 73/78.

Η σύμβαση αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα:

- Διεθνής Σύμβαση του 1973 για την Πρόληψη της Θαλάσσιας Ρύπανσης από Πλοία και Πρωτόκολλο του 1978 σχετικά με την Διεθνή Σύμβαση του 1973 για την Πρόληψη της Θαλάσσιας Ρύπανσης από Πλοία.
- Πρωτόκολλο I: Πρόβλεψη σχετικά με αναφορές για ατυχήματα που περιλαμβάνουν επιβλαβείς ουσίες.
- Πρωτόκολλο II: Διαιτησία.
- Έξι τεχνικά παραρτήματα:
 1. **Παράρτημα I:** Κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης από πετρέλαιο. Τέθηκε σε ισχύ στις 2 Οκτωβρίου 1983.
 2. **Παράρτημα II:** Κανονισμοί για τον έλεγχο της ρύπανσης από υγρές επιβλαβείς ουσίες χύδην. Τέθηκε σε ισχύ στις 6 Απριλίου 1987.
 3. **Παράρτημα III:** Κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης από επιβλαβείς ουσίες σε συσκευασμένη μορφή. Τέθηκε σε ισχύ στη 1 Ιουλίου 1992.
 4. **Παράρτημα IV:** Κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης από τα λύματα των πλοίων. Τέθηκε σε ισχύ στις 27 Σεπτεμβρίου 2003. Το αναθεωρημένο Παράρτημα IV έγινε αποδεκτό το 2004.

5. **Παράρτημα V:** Κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης από τα απορρίμματα των πλοίων. Τέθηκε σε ισχύ στις 31 Δεκεμβρίου 1988.
6. **Παράρτημα VI:** Κανονισμοί για την πρόληψη της αέριας ρύπανσης από πλοία. Τέθηκε σε ισχύ στις 19 Μαΐου 2005.

4.2.1 Παράρτημα VI της Διεθνούς Συμβάσεως MARPOL

Το παράρτημα IV της Δ.Σ. MARPOL καθορίζει τα όρια για τις εκπομπές οξειδίων του θείου και οξειδίων του αζώτου από τις εξατμίσεις των πλοίων και απαγορεύει τις σκόπιμες εκπομπές ουσιών που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος. Στις ειδικές καθορισμένες περιοχές ελέγχου εκπομπών θέτονται αυστηρότερα πρότυπα για την εκπομπή οξειδίων του θείου(Sox), οξειδίων του αζώτου(Nox) και αιωρούμενων σωματιδίων.

Οι κανονισμοί του παραρτήματος αυτού για τις εκπομπές των πλοίων διαχωρίζονται σε παγκόσμιο επίπεδο και σε περιοχές ελεγχόμενων περιοχών. Οι Περιοχές Ελεγχόμενων Εκπομπών SOx σύμφωνα με τη MARPOL είναι περιοχές όπου η υιοθέτηση ειδικών υποχρεωτικών μέτρων για τις εκπομπές από τα πλοία είναι απαραίτητη για την πρόληψη, την μείωση και τον έλεγχο της ρύπανσης της ατμόσφαιρας από τις εκπομπές SOx, NOx και αιωρούμενων σωματιδίων καθώς έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Οι περιοχές ελέγχου των εκπομπών που καθορίζονται στο παράρτημα VI της σύμβασης MARPOL είναι: η περιοχή της **Βαλτικής Θάλασσας**, η περιοχή της **Βόρειας Θάλασσας**, η περιοχή της **Βόρειας Αμερικής** (που καλύπτει καθορισμένες παράκτιες περιοχές εκτός Ηνωμένων Πολιτειών και Καναδά) · και την περιοχή των **Ηνωμένων Πολιτειών της Καραϊβικής** (γύρω από το Πουέρτο Ρίκο και τις Ηνωμένες Πολιτείες των Παρθένων Νήσων).

MARPOL Παράρτημα VI - κεφάλαιο 3: Απαιτήσεις για τον έλεγχο των εκπομπών από τα πλοία

Προβλέπει τον εφοδιασμό των πλοίων με:

- Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα (IAPPC), για πλοία άνω των 400 g.t, τα οποία εκτελούν διεθνείς πλόες.
- Διεθνές Πιστοποιητικό Μηχανής για την Πρόληψη Ρύπανσης του Αέρα (EIAPPC), για μηχανές πλοίων ισχύος άνω των 130 kw
- Τεχνικό Φάκελο Μηχανής για τις εν λόγω μηχανές, σύμφωνα με τον Τεχνικό Κώδικα NOx.
- Βιβλίο Καταγραφής Παραμέτρων Μηχανής για τις εν λόγω μηχανές.

- Βιβλίο Καταγραφής Ουσιών που Καταστρέφουν το Όζον.
- Δελτίο Παράδοσης Καυσίμου και Αντιπροσωπευτικό Δείγμα καυσίμου.
- Γραπτή Διαδικασία Αλλαγής Καυσίμου και Καταγραφή αυτής, για πλοία που χρησιμοποιούν ξεχωριστούς τύπους καυσίμων, προκειμένου να συμμορφωθούν με τον Κανονισμό 14.3 και να εισέλθουν σε ή να εγκαταλείψουν Ειδική Περιοχή Ελέγχου Εκπομπών SOx.
- Εγχειρίδιο Λειτουργίας Κατασκευαστή για τον Αποτεφρωτήρα, για πλοία που διαθέτουν τέτοιο εξοπλισμό, σύμφωνα με τον Κανονισμό 16.
- Σχέδιο Διαχείρισης Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (VOC), για πετρελαιοφόρα μεταφοράς αργού πετρελαίου, σύμφωνα με τον Κανονισμό 15.

Οι ελεγχόμενες ουσίες από τη Δ.Σ. MARPOL είναι οι εξής:

- **Ουσίες που καταστρέφουν το όζον (κανονισμός 12)**

1. Απαγορεύονται οι σκόπιμες εκπομπές ουσιών που καταστρέφουν το όζον. Οι εκούσιες εκπομπές περιλαμβάνουν εκπομπές που προκύπτουν κατά τη συντήρηση, επισκευή ή διάθεση συστημάτων ή εξοπλισμού, ενώ δεν περιλαμβάνουν ελάχιστες εκλύσεις που σχετίζονται με την ανάκτηση ή την ανακύκλωση μιας ουσίας που καταστρέφει το όζον.
2. Απαγορεύονται¹ νέες εγκαταστάσεις σε όλα τα πλοία που περιέχουν ουσίες που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος, με την εξαίρεση τις νέες εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs), μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2020.
3. Οι ουσίες που αναφέρονται στον παρόντα κανονισμό και ο εξοπλισμός που περιέχει τέτοιες ουσίες πρέπει να παραδίδονται στις κατάλληλες εγκαταστάσεις υποδοχής όταν αφαιρούνται από τα πλοία.

- **Οξείδια του αζώτου (κανονισμός 13)**

Σύμφωνα με τον κανονισμό αυτό, απαγορεύεται η λειτουργία κάθε πετρελαιοκινητήρα του οποίου η εκπομπή οξειδίων του αζώτου από τον κινητήρα είναι εκτός των ακόλουθων ορίων:

1. 17.0g/kW·h, όταν οι στροφές της μηχανής είναι λιγότερες από 130rpm⁶

⁶ Revolutions Per Minute: Οι στροφές του άξονα της μηχανής το λεπτό.

2. $45.00 \times n^{-0.2}$ g/kW·h (όπου n οι στροφές του στροφαλοφόρου άξονα), όταν οι στροφές της μηχανής είναι περισσότερες από 130rpm και λιγότερες από 2000rpm
3. 9.8 g/kW·h, όταν οι στροφές της μηχανής είναι 2000rpm ή περισσότερες.

Ο κανονισμός αυτός δεν εφαρμόζεται για μηχανές diesel έκτακτης ανάγκης (ηλεκτρογεννήτριες), μηχανές πρόωσης σωσιβίων λέμβων και σε οποιαδήποτε συσκευή ή εξοπλισμό χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε περιπτώσεις ανάγκης.

Για τις μηχανές που είναι εγκατεστημένες στα πλοία πριν από την 1 Ιανουαρίου 2000, δεν ισχύουν οι παραπάνω περιορισμοί αλλά θα πρέπει να καλύψουν τις απαιτήσεις για τη μείωση των εκπομπών όπως ορίζει ο κανονισμός κάνοντας τις απαραίτητες μετατροπές.

- **Οξείδια του θείου και αιωρούμενα σωματίδια (κανονισμός 14)**

Γενικές απαιτήσεις

1. Η περιεκτικότητα σε θείο κάθε μαζούτ που χρησιμοποιείται στα πλοία δεν πρέπει να υπερβαίνει το 4,5% m / m.
2. Η παγκόσμια μέση περιεκτικότητα σε θείο του παραμένουτος μαζούτ που παραδίδεται για χρήση επί πλοίων παρακολουθείται λαμβάνοντας υπόψη τις κατευθυντήριες γραμμές που ορίζονται.

Απαιτήσεις εντός των Ειδικών Περιοχών Ελέγχου Εκπομπών Διοξειδίου του Θείου (SOx emission control areas)

Τα πλοία που βρίσκονται εντός των περιοχών ελέγχου των εκπομπών SOx, πρέπει να πληρούν τουλάχιστον μία από τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

1. η περιεκτικότητα σε θείο του μαζούτ που χρησιμοποιείται στα πλοία σε περιοχή ελέγχου εκπομπών SOx να μην υπερβαίνει το 1,5% m / m
2. να εφαρμόζεται ένα σύστημα καθαρισμού καυσαερίων, το οποίο έχει εγκριθεί από την Αρχή λαμβάνοντας υπόψη τις κατευθυντήριες γραμμές που έχει ορίσει ο Οργανισμός, για τη μείωση των συνολικών εκπομπών οξειδίων του θείου από πλοία, συμπεριλαμβανομένων των βοηθητικών και των κύριων κινητήρων πρόωσης, σε 6,0 g SOx / kW · h ή λιγότερο, υπολογιζόμενο ως το συνολικό βάρος εκπομπής διοξειδίου του θείου. Τα απόβλητα από τη χρήση τέτοιου εξοπλισμού δεν πρέπει να απορρίπτονται σε κλειστούς λιμένες, λιμάνια και

εκβολές ποταμών, εκτός εάν μπορεί να τεκμηριωθεί πλήρως από το πλοίο ότι το συγκεκριμένο είδος αποβλήτων δεν έχει δυσμενείς επιπτώσεις στα οικοσυστήματα των παραπάνω περιοχών, με βάση κριτήρια που κοινοποίησαν οι αρχές του κράτους του λιμένα στον Οργανισμό.

3. να εφαρμόζεται οποιαδήποτε άλλη τεχνολογική μέθοδος που είναι επαληθεύσιμη και εφαρμόσιμη για τον περιορισμό των εκπομπών SO_x σε επίπεδο ισοδύναμο με εκείνο που περιγράφεται στην υποπαράγραφο (2). Οι μέθοδοι αυτές εγκρίνονται από τη διοίκηση λαμβάνοντας υπόψη τις κατευθυντήριες γραμμές που έχει ορίσει ο Οργανισμός.

- **Πτητικές οργανικές ενώσεις (κανονισμός 15)**

Απαιτήσεις:

1. Εάν οι εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC) από δεξαμενόπλοια πρόκειται να ρυθμιστούν σε λιμένες ή τερματικούς σταθμούς υπό τη δικαιοδοσία συμβαλλομένου κράτους του Πρωτοκόλλου του 1997, ρυθμίζονται σύμφωνα με τις διατάξεις του παρόντος κανονισμού.
2. Ένα συμβαλλόμενο κράτος του Πρωτοκόλλου του 1997 που ορίζει λιμένες ή τερματικούς σταθμούς υπό τη δικαιοδοσία του, στους οποίους πρόκειται να ρυθμιστούν οι εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων, υποβάλλει κοινοποίηση στον Οργανισμό. Η κοινοποίηση αυτή περιλαμβάνει πληροφορίες για το μέγεθος των δεξαμενοπλοίων που πρόκειται να ελεγχθούν, για τα φορτία που απαιτούν συστήματα ελέγχου των εκπομπών ατμών και την ημερομηνία έναρξης ισχύος του ελέγχου αυτού. Η κοινοποίηση υποβάλλεται τουλάχιστον έξι μήνες πριν από την ημερομηνία έναρξης ισχύος.
3. Η κυβέρνηση κάθε συμβαλλομένου κράτους του Πρωτοκόλλου του 1997, η οποία ορίζει λιμένες ή τερματικούς σταθμούς στους οποίους πρόκειται να ρυθμιστούν οι εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων από δεξαμενόπλοια, πρέπει να διασφαλίζει ότι τα συστήματα ελέγχου των εκπομπών ατμών που εγκρίνονται από την εν λόγω κυβέρνηση λαμβανομένων υπόψη των προτύπων ασφαλείας που έχει καταρτίσει ο Οργανισμός, παρέχονται στους λιμένες και τους τερματικούς σταθμούς που ορίζονται και λειτουργούν με ασφάλεια και κατά τρόπο ώστε να αποφεύγεται η αδικαιολόγητη καθυστέρηση στο πλοίο.
4. Ο Οργανισμός διαβιβάζει κατάλογο των λιμένων και τερματικών σταθμών που έχουν οριστεί από τα Μέρη του Πρωτοκόλλου του 1997 σε άλλα Μέρη του

Πρωτοκόλλου του 1997 και στα κράτη μέλη του Οργανισμού για την ενημέρωσή τους.

5. Όλα τα δεξαμενόπλοια που υπόκεινται σε έλεγχο εκπομπών ατμών σύμφωνα με τις διατάξεις της παραγράφου 2 του παρόντος κανονισμού πρέπει να διαθέτουν σύστημα συλλογής ατμών εγκεκριμένο από την Αρχή, λαμβάνοντας υπόψη τα πρότυπα ασφαλείας που έχει καταρτίσει ο Οργανισμός και να γίνεται χρήση αυτού του συστήματος κατά τη φόρτωση τέτοιων φορτίων.
6. Ο παρών κανονισμός εφαρμόζεται μόνο στους μεταφορείς φυσικού αερίου όταν ο τύπος συστημάτων φόρτωσης και συγκράτησης επιτρέπει την ασφαλή παραμονή των πτητικών οργανικών ενώσεων εκτός του μεθανίου επί του σκάφους ή την ασφαλή επιστροφή τους στην ξηρά.

Επίλογος

Όπως προκύπτει από την παρούσα εργασία, η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί μελανό σημείο για την ανθρωπότητα και την εξέλιξή της. Είναι ευρέως γνωστό πως τα τελευταία χρόνια έχουν παρατηρηθεί ακραία καιρικά φαινόμενα με αρνητικά αποτελέσματα και με άμεσο παραλήπτη τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Φαινόμενα όπως οι τυφώνες, τα κύματα (τσουνάμι) και η τήξη των πάγων, καθώς και η απρόσμενη άνοδος της θερμοκρασίας του πλανήτη, οφείλονται κατά γενική ομολογία στην βαθμιαία αλλαγή στη σύσταση της ατμόσφαιρας. Η διαφοροποίηση στη σύσταση της ατμόσφαιρας γίνεται αρωγός στην ύπαρξη και επικράτηση του φαινομένου του θερμοκηπίου, καθώς και της τρύπας του όζοντος. Έτσι λοιπόν, γίνεται κατανοητή η δράση της διεθνούς κοινότητας για τη θέσπιση κανονισμών, με σκοπό τη μείωση των εκπομπών ρύπων στην ατμόσφαιρα, σε παγκόσμιο επίπεδο. Ωστόσο, αν και η ρύπανση της ατμόσφαιρας έχει ελαττωθεί τα τελευταία χρόνια, πρέπει να ληφθούν επιπρόσθετα μέτρα για την περαιτέρω μείωση ή ακόμη και εξάλειψη των ατμοσφαιρικών ρύπων που προέρχονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Ορισμένα από αυτά τα μέτρα είναι η χρήση εναλλακτικών, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως ηλιακή και αιολική, η αντικατάσταση των οχημάτων παλαιάς τεχνολογίας με οχήματα νεότερης, που τηρούν τα κατάλληλα πρότυπα εκπομπών ρύπων στην ατμόσφαιρα, και η προώθηση βιολογικών καλλιεργειών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. **Αδαμαντιάδου Σμ., Γεωργάτου Μ., Γιαπιτζάκης Χ., Λακκά Α., Νοταράς Δ., Φλωρεντίν Ν., Χατζηγεωργίου Γ., Χαντηκόντη Ολ.,** «Βιολογία», Γ' Τάξης Γενικού Λυκείου, Γενικής Παιδείας, Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών και Εκδόσεων «Διόφαντος», 2^η έκδοση
http://ebooks.edu.gr/modules/document/file.php/DSGL-C106/%CE%94%CE%B9%CE%B4%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%20%CE%A0%CE%B1%CE%BA%CE%AD%CF%84%CE%BF/%CE%92%CE%B9%CE%B2%CE%BB%CE%AF%CE%BF%20%CE%9C%CE%B1%CE%B8%CE%B7%CF%84%CE%AE/22-0072-02_Biologia_G-Lyk_BM.pdf
2. **Ανδρίτσος Νίκος,** Καθηγητής Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, παρουσίαση power point, 1η ΕΝΟΤΗΤΑ, Μέρος 2, Σωματιδιακοί Ρύποι
http://eclass.uth.gr/eclass/modules/document/file.php/MHXB119/%CE%98%CE%B5%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%95%CE%BD%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%201/Unit_1_2.pdf
3. **Βουτυράκης Μανόλης,** «Τα αέρια του θερμοκηπίου και ο ρόλος τους», 2005
http://www.ecocrete.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=1864&Itemid=82
4. **Δούβρη Ειρήνη,** Διπλωματική εργασία «Ατμοσφαιρική ρύπανση και η επίδρασή της στην κλιματική αλλαγή», Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Τμήμα Ναυτιλιακών σπουδών, Πειραιάς, 2009
<http://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/4624/Douvri.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
5. **Καρδάρá Γεωργία,** Διπλωματική εργασία «Ναυτιλία, ατμοσφαιρική ρύπανση και φαινόμενο του θερμοκηπίου: Το διεθνές και κοινοτικό ρυθμιστικό και οργανωτικό πλαίσιο (IMO, ΟΗΕ,ΕΕ)», Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Τμήμα Ναυτιλιακών σπουδών, Πειραιάς, 2011
<http://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/4658/Kardara.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
6. **Κοτρίκλα, Άννα-Μαρία,** Ναυτιλία και περιβάλλον, «ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΠΟ ΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ» Εκδόσεις Κάλλιπος, 1^η έκδοση, 2015
<https://repository.kallipos.gr/handle/11419/5478>

7. **Λάττα Βασιλική**, Παιδαγωγός, «Το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η τρύπα του όζοντος ως συνέπειες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης», 2016 <https://www.pemptousia.gr/2016/11/to-fenomeno-tou-thermokipiou-ke-i-tripa-tou-ozontos-os-sinepies-tis-atmosferikis-ripansis/>
8. **Μαρή, Νεαμονίτης, Παλαιολόγου, Παπαβασιλείου** , Ερευνητική εργασία «Ρυπαντές και ποιότητα ζωής – Ατμοσφαιρική ρύπανση» Λεόντειο Λύκειο Νέας Σμύρνης, 2011-2012. http://neasmyrni.leonteios.edu.gr/files/drasthriot/ereynitikes/2011-2012/rypansh/atm_ryp.pdf
9. **Μελάς Δ., Αλεξανδροπούλου Α., Αμοιρίδης Β., Κακαρίδου Μ., Σουλακέλλης Ν.**, «Ατμοσφαιρική ρύπανση», οδηγός εκπαιδευτικών, εκδόσεις ΑΘΗΝΑ, 2000 <http://www.env-edu.gr/Documents/Ατμοσφαιρική%20Ρύπανση%20-%20Οδηγός%20Εκπαιδευτικών.pdf>
10. **Σκαραβάς Σπυρίδων**, Διπλωματούχος Ναυπηγός Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π., «Πρόληψη ρύπανσης θαλάσσιου περιβάλλοντος από τα πλοία», παρουσίαση, 2011 http://library.tee.gr/digital/m2575/m2575_skavaras.pdf
11. **Σώκος Χρήστος**, Δασολόγος Περιβαλλοντολόγος, Ρόδια Έλαφος- Κυνηγετικός Σύλλογος Ρόδου, <http://www.rodia-elafos.gr/portal/perivantologika/80---to--toy-/>
12. **Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΚΑ)**, Πρωτόκολλο του Κιότο: <http://www.ypeka.gr/?tabid=443>
13. **Oikologos.gr**: www.oikologos.gr
 - i. το φαινόμενο του θερμοκηπίου: http://www.oikologos.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=154:0636&catid=34:climate&Itemid=202
14. **Wikipedia**:
 - i. Ατμοσφαιρική Ρύπανση: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%84%CE%BC%CE%BF%CF%83%CF%86%CE%B1%CE%B9%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CF%81%CF%8D%CF%80%CE%B1%CE%BD%CF%83%CE%B7
 - ii. Τρύπα του όζοντος: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CF%81%CF%8D%CF%80%CE%B1_%C

[F%84%CE%BF%CF%85 %CF%8C%CE%B6%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%82](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CE%B1%CE%B9%CE%BD%CF%8C%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%BF%CF%84%CE%BF%CF%85%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%AF%CE%BF%CF%85)

iii. Φαινόμενο του θερμοκηπίου:

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CE%B1%CE%B9%CE%BD%CF%8C%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%BF%CF%84%CE%BF%CF%85%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%AF%CE%BF%CF%85>

Ξένη Βιβλιογραφία

1. **Dr Edmund Hughes Head**, power point presentation «MARPOL Annex VI – an update of international regulatory developments for prevention of air pollution and the energy efficiency of ships, Air Pollution and Energy Efficiency Marine Environment Division»
https://globalshippersforum.com/media/1252/edmund-hughes-imo-29-july-2016_final.pdf
2. **Enviropedia**: www.enviropedia.org
 - i. Ozone Depletion: http://www.enviropedia.org.uk/Ozone_Depletion/ODCs.php
3. **Marine In sight** <https://www.marineinsight.com/>
 - i. «FAQs: Sulphur Limits In Emission Control Areas From 1st January 2015»
<https://www.marineinsight.com/maritime-law/faqs-sulphur-limits-emission-control-areas-1st-january-2015/>
4. **MARPOL Training Institute**, Inc <http://www.marpoltraining.com>
5. **Sivasakthivel.T and K.K.Siva Kumar Reddy** , «Ozone Layer Depletion and Its Effects: A Review», International Journal of Environmental Science and Development, Vol.2, No.1, February 2011, σελ. 30-37, <http://www.ijesd.org/papers/93-D500.pdf>
6. **UNFCC**: <https://cop23.unfccc.int/>
 - i. UNFCC: KYOTO PROTOCOL TO THE UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE
<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
 - ii. UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE
<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>