



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΥΓΕΙΑ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

*«Διαχρονική μεταβολή συγκεντρώσεων CFC-11, CFC-12 και CFC-113,
CCl₄, SF₆ και N₂O στην ατμόσφαιρα.»*

Συγγραφέας:

Ιωάννης Αφεντουλίδης

AM:20002

Επιβλέπουσα:

Λευκοθέα Εβρένογλου



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF PUBLIC HEALTH

DEPARTMENT OF PUBLIC HEALTH POLICIES
MSc IN OCCUPATIONAL AND
ENVIRONMENTAL HEALTH

Diploma Thesis

*«Intertemporal change of CFC-11, CFC-12 and CFC-113, CCl₄, SF₆ and
N₂O in the atmosphere.»*

Ioannis Afentoulidis

Registration Number: 20002

Supervisor name and surname:

Lefkothea Evrenoglou

ATHENS, JULY 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΥΓΕΙΑ

ΟΝΟΜΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

«Διαχρονική μεταβολή συγκεντρώσεων CFC-11, CFC-12 και CFC-113, CCl₄, SF₆ και N₂O στην ατμόσφαιρα.»

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι
Εξεταστική Επιτροπή:

<i>A/α</i>	<i>ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ</i>	<i>ΒΑΘΜΙΑΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ</i>	<i>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</i>
1	ΛΕΥΚΟΘΕΑ ΕΒΡΕΝΟΓΛΟΥ	ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΡΙΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	
2	ΙΩΑΝΝΑ ΔΑΜΙΚΟΥΚΑ	ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	
3	ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΖΕΡΒΑΣ	Ε.ΔΙ.Π.	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος *Ιωάννης Αφεντουλίδης* του *Γεωργίου*, με αριθμό μητρώου **μερυ20002** φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Επαγγελματική και Περιβαλλοντική Υγεία του Τμήματος Πολιτικών Δημόσιας Υγείας της Σχολής Δημόσιας Υγείας του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η/Ο Δηλούσα/λών



Ιωάννης Αφεντουλίδης

Λευκοθέα Εβρένογλου / Αναπληρώτρια

Καθηγήτρια Ψηφιακή Υπογραφή

Επιβλέποντα

Περίληψη

Από τις μεγαλύτερες προκλήσεις της εποχής μας είναι το φαινόμενο της υπερθέρμανσης της γης που νοείται και ως το ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη αποτελεί ένα γεγονός που εγείρει το ενδιαφέρον της παγκόσμιας επιστημονικής κοινότητας, καθώς οι αλλαγές στο κλιματικό σύστημα έχουν άμεσες επιπτώσεις στην υγεία και την ευημερία όλων των έμβιων όντων. Ιδιαίτερη ανησυχία προκαλεί το γεγονός της ραγδαίας αύξησης των ανθρωπογενών εκπομπών των χλωροφθορανθράκων τουλάχιστον από το τελευταίο τέταρτο του 20^{ου} αιώνα και εξής. Οι ενώσεις αυτές καθώς και άλλα θερμοκηπιακά αέρια εκλύονται στην ατμόσφαιρα εμποδίζοντας την ηλιακή ακτινοβολία να διαφύγει από την επιφάνεια της γης. Παράλληλα, συμβάλλουν στις φωτοχημικές αντιδράσεις που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος και ως εκ τούτου περιορίζουν την ικανότητα προστασίας της γης από την υπερϊώδη ηλιακή ακτινοβολία. Ο μετριασμός και η αντιμετώπιση των αρνητικών επιπτώσεων στο κλίμα προϋποθέτουν την άμεση εφαρμογή βιώσιμων λύσεων όσον αφορά στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες που ευθύνονται κατά μεγάλο μέρος για την όξυνση του προβλήματος.

Λέξεις κλειδιά

φαινόμενο του θερμοκηπίου, χλωροφθοράνθρακες, τρύπα του όζοντος, τροποσφαιρικό όζον, στρατοσφαιρικό όζον

Abstract

One of the biggest challenges of our time is the phenomenon of global warming, which is also understood as the enhanced greenhouse effect. The rise in global warming is a subject of great interest to the global scientific community, as changes in the climate system have a direct impact on the health and well-being of all living beings on the earth. Of particular concern is the rapid increase in anthropogenic chlorofluorocarbon emissions from at least the last quarter of the 20th century onwards. These compounds as well as other greenhouse gases are released into the atmosphere preventing sunlight from escaping from the earth's surface. At the same time, they contribute to the photochemical reactions that destroy the ozone layer and therefore limit the ability of the earth to protect itself from ultraviolet radiation. Mitigating and addressing the negative effects to the climate presupposes the immediate implementation of sustainable solutions to the anthropogenic activities that are largely responsible for exacerbating the problem.

Keywords

greenhouse effect, chlorofluorocarbons, ozone hole, tropospheric ozone, stratospheric ozone

Πίνακας εικόνων	Σελ.
Εικόνα 1. Το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου	21
Εικόνα 2. Το ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου	23
Εικόνα 3. Προβλέψεις παγκόσμιας υπερθέρμανσης έως το 2100.....	39
Εικόνα 4. Το όζον στην ατμόσφαιρα	47
Εικόνα 5. Η μέγιστη συγκέντρωση όζοντος στη στρατόσφαιρα (25 χλμ.).....	49
Εικόνα 6. Ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις στο βόρειο ημισφαίριο (1750 - 2000) των CFC-11, CFC- 12, CFC- 113, CCl ₄ , SF ₆ και N ₂ O.....	56
Εικόνα 7. Ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις στο νότιο ημισφαίριο (1750 - 2000) των CFC-11, CFC- 12, CFC- 113, CCl ₄ , SF ₆ και N ₂ O.....	57
Εικόνα 8. (α) Ιστορικό των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων των CFC-11, CFC-12 και SF ₆ (1940-2010)-(b) Ιστορικό του ατμοσφαιρικού ρυθμού αύξησης των CFC-11, CFC-12 και SF ₆ (1940-2010)	58
Εικόνα 9. Ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις N ₂ O (1700-2000)	59
Εικόνα 10. Συγκεντρώσεις χλωροφθορανθράκων στην ατμόσφαιρα και προβλεπόμενη εξέλιξη σύμφωνα με τα προγνωστικά μοντέλα (1950-2100)	61
Εικόνα 11. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	64

Πίνακας πινάκων

Σελ.

Πίνακας 1. Καταλυτικές αντιδράσεις χλωροφθορανθράκων 52

Πίνακας γραφημάτων

Σελ.

Γράφημα 1. Οι διαχρονικές μεταβολές των χλωροφθορανθράκων ανά 50 έτη (1750-1950)

..... 54

Γράφημα 2. Οι διαχρονικές μεταβολές των χλωροφθορανθράκων ανά 20 έτη (1900-2020)

..... 55

Περιεχόμενα	Σελ.
Περίληψη.....	5
Abstract	6
Πίνακας εικόνων	7
Πίνακας πινάκων	8
Πίνακας γραφημάτων	9
Εισαγωγή	12
Κεφάλαιο 1^ο	16
Κλιματική αλλαγή και φαινόμενο του θερμοκηπίου	16
1.1. Προσδιορισμός της Κλιματικής αλλαγής	16
1.2. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου	18
1.3. Το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	20
1.4. Το ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου	21
1.5. Η συμβολή των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στην κλιματική κρίση	23
1.5.1. Αλλαγές στη χρήση της γης, γεωργία/κτηνοτροφία, αστικοποίηση	24
1.5.2. Τα ορυκτά καύσιμα.....	26
1.5.3. Οι βιομηχανικές δραστηριότητες και τα μέσα μεταφοράς.....	27
Κεφάλαιο 2^ο	29
Βασικά θερμοκηπιακά αέρια	29
2.1 Εισαγωγή	29
2.2. Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂).....	30
2.3. Υδρατμοί (H ₂ O).....	31
2.4. Μεθάνιο (CH ₄)	32
2.5. Υποξείδιο του αζώτου (N ₂ O)	33
2.6. Χλωροφθοράνθρακες (CFCs)	33
2.7. Τροποσφαιρικό όζον (O ₃)	34
2.8. Μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και υδρογόνο (H ₂)	35
Κεφάλαιο 3^ο	38
Επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου	38
3.1. Άνοδος της θερμοκρασίας	38
3.2. Τήξη των πάγων	40

3.3. Άνοδος της στάθμης της θάλασσας.....	43
Κεφάλαιο 4^ο	45
Τρύπα του όζοντος	45
4.1. Το όζον στην τροπόσφαιρα.....	45
4.2. Το όζον στη στρατόσφαιρα.....	48
4.3. Καταστροφή της στιβάδας του όζοντος από τους χλωροφθοράνθρακες.....	50
Κεφάλαιο 5^ο	53
Διαχρονική Μεταβολή συγκεντρώσεων CFC- 11, CFC- 12, CFC- 113, CCl₄, SF₆ και N₂O στην ατμόσφαιρα κατά τη χρονική περίοδο 1765- 2015	53
5.1 Εισαγωγή.....	53
5.2 Διαχρονική μεταβολή.....	53
Κεφάλαιο 6^ο	62
Βιώσιμες λύσεις - Αντικαταστάτες	62
6.1 Εισαγωγή.....	62
6.2 Προτεινόμενες βιώσιμες λύσεις.....	62
Κεφάλαιο 7^ο	69
Συζήτηση	69
Κεφάλαιο 8^ο	74
Συμπεράσματα	74
Βιβλιογραφία	77
Παράρτημα	85

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια όλο και πιο συχνά η κλιματική αλλαγή βρίσκεται στο επίκεντρο των επιστημονικών και πολιτικών συζητήσεων, καθώς συνιστά ένα πανανθρώπινο ζήτημα που έχει θέσει την ανθρωπότητα σε μια καθοριστική καμπή της ιστορίας της κατά την οποία καλείται να δραστηριοποιηθεί για την προστασία του πλανήτη. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι παγκόσμιες και πρωτοφανούς κλίμακας. Οι αλλαγές στα μοτίβα του καιρού αποτελούν σαφή ένδειξη των παγκόσμιων κλιματικών μεταβολών προκαλώντας μια σειρά αρνητικών επιπτώσεων για τη βιωσιμότητα του πλανήτη (UN, n.d.).

Καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση των αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, αυξάνεται η θερμοκρασία της γης. Οι κλιματολόγοι ανησυχούν ότι η παγκόσμια θερμοκρασία θα αυξηθεί τόσο πολύ ώστε οι πάγοι θα λιώσουν τις επόμενες δεκαετίες και θα προκαλέσουν την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Οι παράκτιες περιοχές θα πλημμυρίσουν και οι κλιματικές αλλαγές θα προκαλέσουν πιο ακραία καιρικά φαινόμενα-περισσότερους τυφώνες και ανεμοστρόβιλους. Ορισμένες περιοχές θα σημειώσουν περισσότερες βροχοπτώσεις και άλλες πολύ λιγότερες. Καλλιεργήσιμα εδάφη είναι πιθανό να μετατραπούν σε ερήμους. Καθώς αλλάζει το κλίμα, αλλάζουν και τα ενδιαίτηματα των έμβιων όντων. Η πανίδα και η χλωρίδα μπορεί να απειληθούν με εξαφάνιση. Οι ανθρώπινες κοινωνίες που εξαρτώνται από τους φυσικούς πόρους θα αντιμετωπίσουν πρόβλημα επιβίωσης. Τροπικές ασθένειες, όπως η ελονοσία, ο ιός του Δυτικού Νείλου και ο κίτρινος πυρετός θα επεκταθούν σε πιο εύκρατες περιοχές. Η λήψη μέτρων για την αποτροπή της κλιματικής αλλαγής είναι επιτακτική ανάγκη με τους περισσότερους επιστήμονες να υποστηρίζουν ότι απαιτείται η μείωση των αερίων θερμοκηπίου που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα (National Geographic, 2020).

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, ένας όρος που χρησιμοποιείται για να δηλώσει την υπερθέρμανση του πλανήτη, είναι ένα φυσικό φαινόμενο το οποίο στη μακραίωνα ζωή της γης έχει υποστεί μεταβολές. Σήμερα εμφανίζεται ενισχυμένο λόγω των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων που ευθύνονται για την έκλυση επιβλαβών αερίων στην ατμόσφαιρα. Η αυξημένη συγκέντρωση αερίων του θερμοκηπίου από τα μέσα του 18^{ου} αιώνα, τα οποία

άλλωστε υπάρχουν με φυσικό τρόπο στην ατμόσφαιρα, οφείλεται σε σημαντικό βαθμό στις ανθρωπογενείς εκπομπές επιβλαβών αερίων, όπως διοξειδίου του άνθρακα, μεθανίου κ.ά. Από τις πιο γνωστές ουσίες που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος είναι οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs), οι οποίοι αποτελούν ενώσεις που κατασκευάστηκαν από τον άνθρωπο και χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς σε διάφορες εφαρμογές (ψυγεία, κλιματιστικά κτλ.) από το 1930 και εξής. Εξετάζοντας διαχρονικά τη μεταβολή των χλωροφθορανθράκων, διαπιστώνεται αύξηση των συγκεντρώσεών τους από τη δεκαετία του 1940 και προΐωντος του 20^{ου} αιώνα η αύξηση αυτή είναι κατακόρυφη. Οι εκπομπές των χλωροφθορανθράκων που απελευθερώνονται στην τροπόσφαιρα ενισχύουν τις φωτοχημικές αντιδράσεις με το όζον συμβάλλοντας στη δημιουργία της τρύπας του όζοντος. Στη στρατόσφαιρα ενισχύουν τις αντιδράσεις με θειικά αερολύματα και συμβάλλουν στη μείωση των τιμών συγκεντρώσεων του στρατοσφαιρικού όζοντος.

Η ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου έχει άμεσες επιπτώσεις στη βιωσιμότητα του πλανήτη. Η επακόλουθη αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα την τήξη των πάγων και την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Οι κίνδυνοι που ελλοχεύουν για τα φυσικά και ανθρώπινα οικοσυστήματα είναι πολλαπλοί και σχετίζονται με την υγεία και την ποιότητα ζωής όλων των έμβιων όντων.

Η επέκταση της λεγόμενης «τρύπας του όζοντος» απασχολεί έντονα τους ειδικούς καθώς σχετίζεται με την ικανότητα προστασίας της γης από την υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου και επομένως με την αντιμετώπιση των αρνητικών επιπτώσεων της υπερθέρμανσης. Η απομάκρυνση των χλωροφθορανθράκων από την ατμόσφαιρα είναι μια χρονοβόρα διαδικασία και προϋποθέτει τον περιορισμό των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων που ευθύνονται για την απελευθέρωση αυτών των στοιχείων, αλλά και άλλων επιβλαβών αερίων. Τέτοιες δραστηριότητες είναι οι αλλαγές στην εκμετάλλευση της γης, οι βιομηχανικές δραστηριότητες, οι μεταφορές. Η Συνθήκη Πλαίσιο για την προστασία της στιβάδας του όζοντος (Σύμβαση της Βιέννης) που τέθηκε σε εφαρμογή από το 1988 στοχεύει στη διακρατική συνεργασία για την επίτευξη αυτού του σκοπού. Παράλληλα, το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ (1989) έχει ως στόχο τη μείωση της παραγωγής και κατά συνέπεια της συγκέντρωσης στην ατμόσφαιρα των χλωροφθορανθράκων.

Στο πλαίσιο αυτό οι ειδικοί προτείνουν βιώσιμες λύσεις που βασίζονται κυρίως στις καινοτόμες τεχνολογικές εφαρμογές και στις αλλαγές της νοοτροπίας και των συνηθειών

της καθημερινής ζωής. Οι λύσεις αυτές σχετίζονται με τον ενεργειακό τομέα, όπου προτείνονται εναλλακτικές πηγές ενέργειας (ηλιακή, γεωθερμική, αιολική, βιοενέργεια, πυρηνική ενέργεια) με σκοπό την υψηλότερη απόδοση και την εξοικονόμηση κόστους. Παράλληλα, επιδιώκεται η απεξάρτηση από την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα ορυκτά καύσιμα. Στον τομέα των μεταφορών γίνονται προσπάθειες για επέκταση της χρήσης των έξυπνων συστημάτων μεταφοράς (ITS) με σκοπό την ενσωμάτωση των «πράσινων» μεταφορών, καθώς και η χρησιμοποίηση εναλλακτικών πηγών όπως το υδρογόνο. Επίσης δίνεται έμφαση στην ανάπτυξη της οικολογικής συνείδησης των οδηγών. Άλλοι τομείς όπου επιδιώκεται η εφαρμογή εναλλακτικών βιώσιμων λύσεων είναι η χρήση της γης, η γεωργία και η κτηνοτροφία με σκοπό τη βέλτιστη διαχείρισή τους. Η ανακύκλωση των προϊόντων και η κομποστοποίηση προτείνονται ως παράγοντες μεγάλης σπουδαιότητας για τη μείωση των ανθρωπογενών εκπομπών επιβλαβών και τον μετριασμό της υπερθέρμανσης.

Η διαχείριση της κλιματικής αλλαγής ως μείζον παγκόσμιο ζήτημα συναντά τη συναίνεση της επιστημονικής κοινότητας και τη σύγκλιση των απόψεων και δράσεων των περισσότερων χωρών του κόσμου. Ωστόσο, ο βαθμός στον οποίο μπορεί να ελεγχθεί η υπερθέρμανση του πλανήτη και η ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου καθώς και οι τρόποι υλοποίησης του μετριασμού και της αντιμετώπισης βρίσκεται ακόμη υπό συζήτηση.

Χωρίς δραστικά μέτρα σήμερα, η προσαρμογή στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο μέλλον θα είναι πολύ πιο δύσκολη και κοστοβόρα (UN, n.d.).

Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό να αναλύσει το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής σε διάφορες διαστάσεις με βάση δεδομένα που προκύπτουν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση ώστε να γίνει κατανοητό το μέγεθος του προβλήματος και η αναγκαιότητα μετριασμού και αποτροπής των αρνητικών επιπτώσεων. Η εργασία δομείται σε επτά κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύονται οι έννοιες της κλιματικής αλλαγής και του φαινομένου του θερμοκηπίου, τόσο του φυσικού όσο και του ενισχυμένου. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα βασικά αέρια θερμοκηπίου που λειτουργούν ως επιταχυντές της κλιματικής αλλαγής καθώς επιτείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής με έμφαση στην άνοδο της θερμοκρασίας, στην τήξη των πάγων και στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Το

τέταρτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στο φαινόμενο της τρύπας του όζοντος και αναλύει την υφιστάμενη κατάσταση στο όζον στην τροπόσφαιρα και στη στρατόσφαιρα, καθώς και στην καταστροφή της στιβάδας του όζοντος από τους χλωροφθοράνθρακες. Το πέμπτο κεφάλαιο πραγματεύεται τη διαχρονική μεταβολή συγκεντρώσεων των CFC-11, CFC-12 ΚΑΙ CFC-113, CCl₄, SF₆ ΚΑΙ N₂O στην ατμόσφαιρα την περίοδο 1765-2015. Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται λόγος για τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες και τη συμβολή τους στην κλιματική αλλαγή. Η εργασία ολοκληρώνεται με το έβδομο κεφάλαιο το οποίο αναφέρεται σε βιώσιμες λύσεις-αντικαταστάτες προκειμένου για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Ακολουθούν συζήτηση και συμπεράσματα.

Κεφάλαιο 1^ο

Κλιματική αλλαγή και φαινόμενο του θερμοκηπίου

1.1. Προσδιορισμός της Κλιματικής αλλαγής

Η κλιματική αλλαγή σχετίζεται με μακροπρόθεσμες μεταβολές στη θερμοκρασία και στα μοτίβα του καιρού. Οι μεταβολές αυτές μπορεί να είναι φυσικές, όπως αυτές που προκαλούνται από τις διακυμάνσεις του ηλιακού κύκλου. Από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα, ωστόσο, ο κύριος παράγοντας της κλιματικής αλλαγής είναι οι ανθρώπινες δραστηριότητες, πρωτίστως η καύση των ορυκτών καυσίμων, άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Ο όρος «κλιματική αλλαγή» αναφέρεται στη μακροπρόθεσμη αλλαγή των μοτίβων του καιρού που καθορίζουν το τοπικό και παγκόσμιο κλίμα της γης. Οι αλλαγές αυτές έχουν εκτεταμένες επιπτώσεις στο παγκόσμιο κλιματικό σύστημα και στα οικοσυστήματα (Global Climate Change-NASA, n.d.).

Το κλίμα της γης έχει την τάση να είναι πιο ψυχρό και πιο θερμό σε φυσικούς κύκλους. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε μεταβολές της τροχιάς της γης, σε αλλαγές στην ένταση του ήλιου και σε μεγάλες ηφαιστειακές εκρήξεις. Ωστόσο, οι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι η ανθρώπινη δραστηριότητα επίσης επηρεάζει τη θερμοκρασία του πλανήτη εντείνοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Από το 1750, τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα έχουν αυξηθεί κατά περίπου 38% και τα επίπεδα μεθανίου κατά 148%. Άμεσα ή έμμεσα αυτό έχει συμβάλει στην άνοδο της θερμοκρασίας (Blue, n.d.).

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC) την ορίζει ως την αλλαγή στην κατάσταση του κλίματος για μια εκτεταμένη περίοδο, δεκαετίες ή περισσότερο. Η κλιματική αλλαγή μπορεί να οφείλεται σε φυσικές εσωτερικές διαδικασίες ή σε εξωτερικούς ανθρωπογενείς παράγοντες στη σύνθεση της ατμόσφαιρας ή στη χρήση της γης (IPCC, 2014).

Η Σύμβαση Πλαίσιο για την Κλιματική Αλλαγή (Framework Convention on Climate Change-FCCC) ορίζει το φαινόμενο ως την αλλαγή του κλίματος που αποδίδεται άμεσα ή έμμεσα στην ανθρώπινη δραστηριότητα, η οποία τροποποιεί τη σύνθεση της ατμόσφαιρας. Αυτή η τροποποίηση που συντελείται λόγω των ανθρωπογενών παρεμβάσεων ενισχύει την κλιματική μεταβλητότητα σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους (Pielke, 2004).

Η κλιματική αλλαγή μεταβάλλει τη θερμοκρασία, τις βροχοπτώσεις, το επίπεδο της στάθμης της θάλασσας, επηρεάζει τα ανθρώπινα και φυσικά οικοσυστήματα και τη βιοποικιλότητα. Η πρωτόγνωρη εντατικοποίηση της κλιματικής αλλαγής τα τελευταία πενήντα χρόνια και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα επιβεβαιώνουν ότι το κλίμα επηρεάζεται από τις εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου λόγω των δραστηριοτήτων του ανθρώπου. Οι αλλαγές στο κλίμα δεν πρέπει να συγχέονται με τις αλλαγές του καιρού. Ο καιρός παρατηρείται σε έναν συγκεκριμένο τόπο σε μια χρονική κλίμακα ωρών ή ημερών και εμφανίζει έναν υψηλό βαθμό διακυμάνσεων, ενώ το κλίμα είναι ο μακροπρόθεσμος μέσος όρος των μοτίβων του καιρού, όπως για παράδειγμα η ετήσια μέση θερμοκρασία ή βροχόπτωση. Σε ένα σταθερό κλίμα υπάρχει ενεργειακή ισορροπία μεταξύ της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας βραχέων κυμάτων και της εξερχόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας μακρών κυμάτων. Η ηλιακή ακτινοβολία διέρχεται από την ατμόσφαιρα και το μεγαλύτερο μέρος της απορροφάται από την επιφάνεια της γης. Στη συνέχεια η επιφάνεια της γης εκπέμπει ενέργεια ως υπέρυθρη ακτινοβολία, ένα μέρος της οποίας διαφεύγει στην ατμόσφαιρα. Οι αυξήσεις στις συγκεντρώσεις των αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα μειώνουν την ποσότητα ενέργειας που εκπέμπει η επιφάνεια της γης θερμαίνοντας τον πλανήτη (Center for Sustainable Systems, 2021).

Το κλίμα του πλανήτη έχει αλλάξει πολλές φορές. Για παράδειγμα, απολιθώματα από την Κρητιδική περίοδο (πριν από 144-65 εκατομμύρια χρόνια) δείχνουν ότι η γη ήταν πολύ θερμότερη από ό,τι σήμερα. Απολιθωμένα φυτά και ζώα που ζουν συνήθως σε ζεστά περιβάλλοντα έχουν βρεθεί σε πολύ μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη από αυτά στα οποία θα μπορούσαν να επιβιώσουν σήμερα. Ο πλανήτης επίσης έχει βιώσει αρκετές παγετώνιες περιόδους-τουλάχιστον τέσσερις τα τελευταία 500.000 χρόνια. Κατά τη διάρκεια αυτών, η θερμοκρασία της γης μειώθηκε προκαλώντας την επέκταση των φύλλων πάγου και των παγετώνων. Οι πάγοι άρχισαν να υποχωρούν πριν από 18.000 χρόνια, ωστόσο δεν έχουν εξαφανιστεί εντελώς. Η παρουσία τους στην Ανταρκτική και τη Γροιλανδία υποδηλώνει ότι η γη διανύει ακόμη μια περίοδο παγετώνων. Οι κλιματικές αλλαγές οφείλονται σε διάφορους λόγους. Η κλιματική αλλαγή που επέφερε το φαινόμενο El Niño είναι ένα παράδειγμα φυσικής ατμοσφαιρικής αλλαγής. Ως παράγοντας της κλιματικής αλλαγής έξω από την ατμόσφαιρα θεωρούνται οι αλλαγές στην κλίση του άξονα της γης και στο σχήμα

της τροχιάς της γύρω από τον ήλιο. Η πρόσκρουση μεγάλων μετεωριτών στη γη, η τεκτονική των πλακών και οι ηφαιστειακές εκρήξεις που εκλύουν αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα θα μπορούσαν επίσης να προκαλέσουν κλιματική αλλαγή (National Geographic, 2020).

1.2. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Ο όρος «φαινόμενο του θερμοκηπίου» αναφέρεται στην υπερθέρμανση του κλιματικού συστήματος της γης που παρατηρείται από την προ-βιομηχανική περίοδο, γύρω στο 1850-1900. Η υπερθέρμανση αυτή αποδίδεται σε ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η καύση ορυκτών καυσίμων, που απελευθερώνουν αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα της γης. Ο όρος συχνά χρησιμοποιείται εναλλακτικά προς τον όρο της κλιματικής αλλαγής, αν και η τελευταία αναφέρεται τόσο στη φυσική όσο και στην προκαλούμενη από τον άνθρωπο υπερθέρμανση και τις επιπτώσεις της στον πλανήτη. Συνήθως μετριέται ως η μέση αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας της γης. Από την προ-βιομηχανική περίοδο, οι ανθρώπινες δραστηριότητες εκτιμάται ότι έχουν αυξήσει τη μέση θερμοκρασία του πλανήτη κατά 1°C και ο ρυθμός αυτός αυξάνεται κατά $0,2^{\circ}\text{C}$ ανά δεκαετία (Global Climate Change-NASA, n.d.).

Το γεγονός ότι η γη έχει μέση θερμοκρασία επιφάνειας ανάμεσα στο σημείο βρασμού και στο σημείο πήξης του νερού καθιστά τον πλανήτη κατάλληλο για το είδος της ζωής μας. Αυτό δεν μπορεί να ερμηνευτεί απλώς λόγω της τροχιάς της γης ακριβώς στη σωστή απόσταση από τον ήλιο ώστε να απορροφά την κατάλληλη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας. Οι μέσες θερμοκρασίες οφείλονται επίσης στην ύπαρξη αυτού του είδους της ατμόσφαιρας. Η ατμόσφαιρα του πλανήτη Αφροδίτη θα δημιουργούσε τρομακτικές συνθήκες στη Γη, ενώ η τροπόσφαιρα του Άρη θα προκαλούσε το πάγωμα της Γης. Επιπλέον, μέρη της ατμόσφαιρας της Γης λειτουργούν ως προστατευτική «κουβέρτα» με το σωστό πάχος ώστε να λαμβάνει την κατάλληλη ηλιακή ενέργεια που διατηρεί την παγκόσμια μέση θερμοκρασία σε ένα συγκεκριμένο εύρος. Αυτή η «κουβέρτα» ονομάζεται συλλογή ατμοσφαιρικών αερίων, των αερίων του θερμοκηπίου, με δεδομένο ότι τα αέρια αυτά παγιδεύουν τη θερμότητα ακριβώς όπως οι γυάλινοι τοίχοι ενός θερμοκηπίου. Τα αέρια, κυρίως υδρατμοί, διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο και υποξείδιο

του αζώτου, λειτουργούν ως αποτελεσματικοί παγκόσμιοι μονωτές. Η εισερχόμενη και εξερχόμενη ακτινοβολία που θερμαίνει τη Γη ονομάζεται φαινόμενο του θερμοκηπίου, καθώς λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο που λειτουργεί και ένα θερμοκήπιο (Kweku et al., 2017).

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι η διαδικασία θέρμανσης της επιφάνειας της Γης έως την τροπόσφαιρα. Συμβαίνει λόγω της υψηλότερης συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα, των υδρατμών, του μεθανίου και άλλων αερίων. Το φως του ήλιου θερμαίνει την επιφάνεια της Γης και στη συνέχεια η ενέργεια αντανακλάται πίσω στο διάστημα με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας. Στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, τα συμπυκνωμένα αέρια απορροφούν την ενέργεια αυξάνοντας την παγκόσμια θερμοκρασία. Ως εκ τούτου το φαινόμενο αυτό σχετίζεται με την υπερθέρμανση του πλανήτη (Greenhouse Effect(a), n.d.).

Η Διακυβερνητική Επιτροπή IPCC ορίζει το φαινόμενο του θερμοκηπίου ως εξής: η ακτινοβολία μακρών κυμάτων ή υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης απορροφάται σε μεγάλο βαθμό από ατμοσφαιρικά συστατικά-αέρια του θερμοκηπίου και σύννεφα, τα οποία εκπέμπουν μακρά κύματα προς όλες τις κατευθύνσεις. Η κατευθυνόμενη προς τη Γη ακτινοβολία αυξάνει τη θερμότητα στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας και στην επιφάνεια της Γης. Ωστόσο, η ανάλυση του ενεργειακού ισοζυγίου ισορροπίας της Γης και των ενεργειακών ροών που συνδέονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο ορισμός της IPCC παραβιάζει τους φυσικούς νόμους, καθώς η καθοδική υπέρυθρη ακτινοβολία είναι πολύ μεγαλύτερη από την ακτινοβολία που απορροφάται από τα αέρια θερμοκηπίου και τα σύννεφα. Κατά συνέπεια στο φαινόμενο του θερμοκηπίου πρέπει να συμπεριληφθεί και η απορρόφηση βραχέων κυμάτων ακτινοβολίας (Ollila, 2019).

Ο Hartmann (2015, όπ. αναφ. στο Ollila, 2019) συνοψίζει τα χαρακτηριστικά του φαινομένου του θερμοκηπίου ως ακολούθως: το μεγαλύτερο μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας απορροφάται από αέρια και σύννεφα στην υπερκείμενη ατμόσφαιρα. Η ατμόσφαιρα εκπέμπει επίσης ακτινοβολία, κυρίως σε υπέρυθρα μήκη κύματος, προς όλες τις κατευθύνσεις. Η εκπεμπόμενη από την ατμόσφαιρα ακτινοβολία προς την επιφάνεια της γης, προσθέτει σε αυτήν θερμότητα που προέρχεται από το ηλιακό φως. Αυτή η ενισχυμένη θέρμανση ονομάζεται φαινόμενο του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με τον

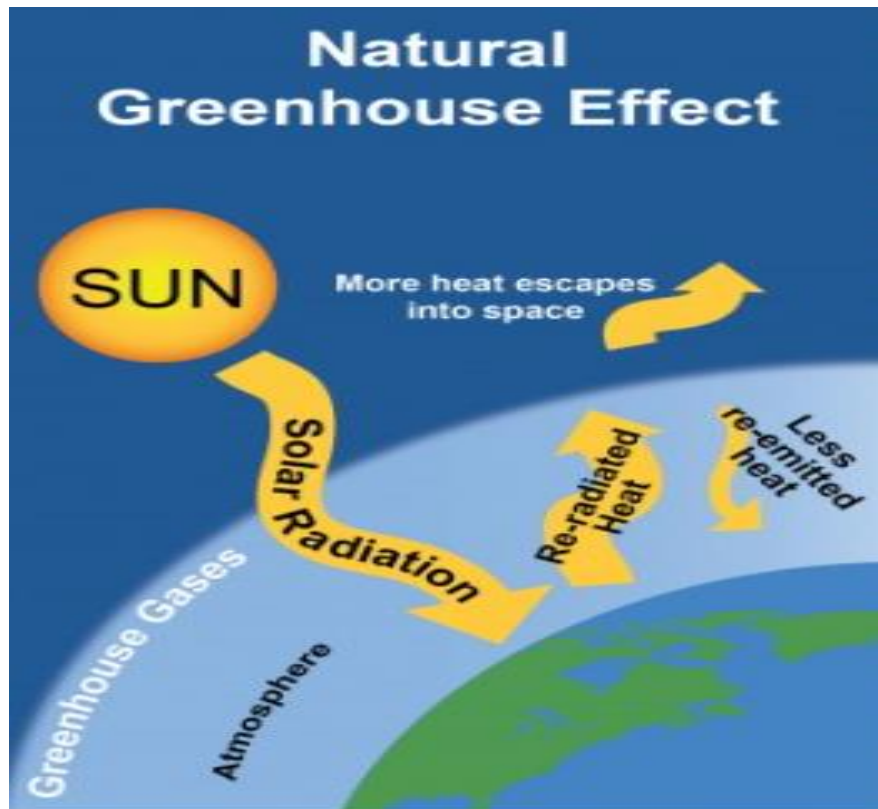
Hartmann, η ατμόσφαιρα εκπέμπει ακτινοβολία όχι μόνο αέρια και σύννεφα, κάτι που αποτελεί ουσιαστική διαφορά από τον ορισμό της IPCC.

1.3. Το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου

Ο πλανήτης Γη έχει ιστορία δισεκατομμυρίων χρόνων. Στη μακρόχρονη ζωή του έχει υποστεί μεταβολές θερμοκρασίας από τις εποχές των παγετώνων έως τις περιόδους της παγκόσμιας υπερθέρμανσης. Παρόλα αυτά, διατηρεί μια μέση θερμοκρασία που επιτρέπει στην ποικιλία των ειδών, συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπων, να επιβιώνουν και να αναπτύσσονται. Η γη οφείλει τις σταθερές θερμοκρασίες της στην ατμόσφαιρα που παράγει το φαινόμενο του θερμοκηπίου το οποίο προστατεύει από τις θερμοκρασιακές εναλλαγές. Ωστόσο, το ίδιο το φαινόμενο του θερμοκηπίου που προστατεύει μπορεί να αποδειχθεί επικίνδυνο αν ενταθεί σε μεγάλο βαθμό. Ο ήλιος εκπέμπει ακτινοβολία συνεχώς προς όλες τις κατευθύνσεις. Περίπου το ένα τρίτο αυτής της ακτινοβολίας αντανακλάται πίσω στην ατμόσφαιρα, ενώ το υπόλοιπο διεισδύει και απορροφάται από την επιφάνεια της γης. Αυτό προκαλεί θερμότητα ζεσταίνοντας τόσο τον ίδιο τον πλανήτη όσο και την ατμόσφαιρα γύρω του. Η γη είναι πιο κρύα από το διάστημα έξω από την ατμόσφαιρα. Η ατμόσφαιρα αποτελείται από αέρια τα οποία επιτρέπουν σε μια ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας να φτάσει στον πλανήτη, αλλά επίσης απορροφούν μια ποσότητα, την οποία παγιδεύουν και στέλνουν πάλι πίσω στη γη. Αυτός ο κύκλος αποτελεί το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η ατμόσφαιρα της γης παγιδεύει αρκετή ποσότητα ώστε να διατηρεί τον πλανήτη ζεστό. Χωρίς αυτή τη διαδικασία η επιφάνεια της γης θα ήταν πιο κρύα από το σημείο ψύξης του νερού (Blue, n.d.)

Τα αέρια του θερμοκηπίου εμφανίζονται φυσικά και αποτελούν μέρος της σύνθεσης της ατμόσφαιρας. Λόγω αυτών οι συνθήκες της γης δεν είναι πολύ ζεστές ούτε πολύ κρύες επιτρέποντας στη ζωή να ανθίσει. Το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο διατηρεί τον πλανήτη σε μέση φιλική θερμοκρασία 15°C κάνει τη γη έναν δελεαστικό τόπο (Global Climate Change-NASA, n.d.).

Στην εικόνα 1 απεικονίζεται το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου που επιτρέπει σε μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας να διαφεύγει στο διάστημα.



Εικόνα 1. Το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου

Πηγή: Center for Sustainable Systems (2021)

1.4. Το ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου

Ως ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου νοείται η εντατικοποίηση του φυσικού φαινομένου εξαιτίας του ανθρωπογενούς παράγοντα. Η διαταραχή της κλιματικής ισορροπίας της γης που προκαλείται από τις αυξημένες συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου έχει οδηγήσει σε αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου (Australian Academy of Science, n.d.).

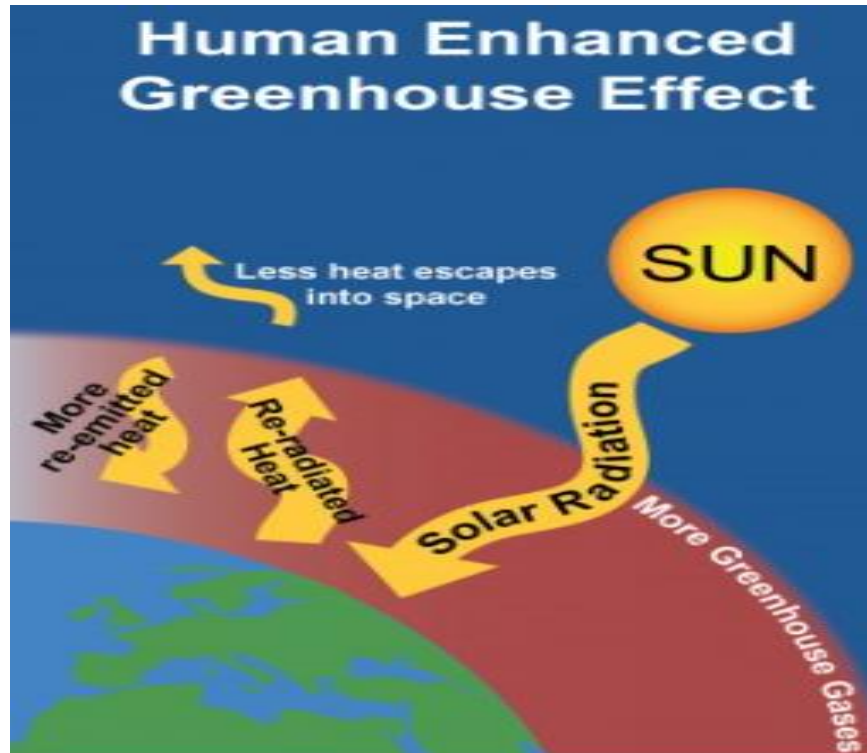
Με το ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου το ισοζύγιο των θερμοκρασιών μεταβάλλεται. Περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα παγιδεύεται στην ατμόσφαιρα σε σχέση με αυτό που απελευθερώνεται στο διάστημα, συμβάλλοντας στην κλιματική

αλλαγή. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η αποψίλωση των δασών και οι βιομηχανικές πρακτικές, απελευθερώνουν πολύ περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο στην πραγματικότητα παράγει το 60% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Οι περισσότερες εκπομπές προέρχονται από τα εργοστάσια, τις βιομηχανίες και τις μεταφορές (Greenhouse Effect(b), n.d.).

Από το 1850 τα επίπεδα του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα έχουν αυξηθεί κατά περίπου 25% λόγω της καύσης των ορυκτών καυσίμων και της χρήσης της γης, όπως για παράδειγμα η αποψίλωση των δασών. Παράλληλα έχουν αυξηθεί και οι συγκεντρώσεις άλλων αερίων του θερμοκηπίου, όπως το μεθάνιο, οι χλωροφθοράνθρακες, το τροποσφαιρικό όζον. Η μεγαλύτερη αύξηση δε όλων αυτών των επιβαρυντικών παραγόντων σημειώνεται από το 1950 και εξής έχοντας συμβάλει στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου και στην υπερθέρμανση του πλανήτη (Schneider, 2003).

Η παγκόσμια υπερθέρμανση αποδίδεται στο ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου που προκαλείται από την αυξημένη συγκέντρωση θερμοκηπιακών αερίων στην ατμόσφαιρα. Τα αέρια αυτά επιτρέπουν στην ηλιακή ακτινοβολία να περάσει από την ατμόσφαιρα και να φθάσει στη γη. Η γη εκπέμπει θερμική ενέργεια, η οποία στη συνέχεια παγιδεύεται στην ατμόσφαιρα λόγω των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων, ενώ μικρότερη ποσότητα διαφεύγει προς το διάστημα. Έτσι, η χαμηλότερη ατμόσφαιρα θερμαίνεται. Οι διαταραχές του ενεργειακού ισοζυγίου της γης από την εισερχόμενη και εξερχόμενη ενέργεια αναφέρονται ως θετικοί ή αρνητικοί παράγοντες μεταβολής του κλίματος. Οι θετικοί παράγοντες, όπως τα αέρια θερμοκηπίου ασκούν θερμική επίδραση στη γη, ενώ οι αρνητικοί παράγοντες, όπως τα θεϊκά αερολύματα, ασκούν επίδραση ψύξης. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις αερίων θερμοκηπίου από ανθρωπογενείς πηγές έχουν αυξήσει την απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας ενισχύοντας το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το μεθάνιο και άλλα αέρια είναι πιο ισχυρά, ωστόσο το διοξείδιο του άνθρακα συμβάλλει περισσότερο στην υπερθέρμανση, καθώς παραμένει περισσότερο χρόνο στην ατμόσφαιρα (Center for Sustainable Systems, 2021).

Στην εικόνα 2 απεικονίζεται το ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου, που προκαλείται από τις εκπομπές ανθρωπογενών αερίων με αποτέλεσμα η θερμότητα να παγιδεύεται στη γη συμβάλλοντας στην υπερθέρμανση.



Εικόνα 2. Το ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου

Πηγή: Center for Sustainable Systems (2021)

1.5. Η συμβολή των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στην κλιματική κρίση

Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες αναφέρονται στις προερχόμενες από τον άνθρωπο ενέργειες που συμβάλλουν στην παγίδευση των αερίων του θερμοκηπίου προκαλώντας αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας και μεταβολές στο κλίμα, που εκδηλώνονται με αλλαγές στη θερμοκρασία, στις βροχοπτώσεις, στους ανέμους. Η καύση των ορυκτών καυσίμων και οι βιομηχανικές δραστηριότητες απελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου. Η κίνηση των οχημάτων και η καύση πλαστικών συμβάλλουν στην έκλυση πρόσθετου διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Οι πυρκαγιές μειώνουν την έκταση της βλάστησης περιορίζοντας έτσι τις καταβόθρες του άνθρακα. Το αέριο αυτό έχει επιπτώσεις στην επιβίωση της χλωρίδας και της πανίδας. Η υπερβολική αγροτική δραστηριότητα καταστρέφει το στρώμα του όζοντος που απορροφά τις υπεριώδεις ακτίνες του ήλιου και προστατεύει τον πλανήτη από την υπερθέρμανση (Sunday, 2021).

Η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη αποδίδεται κυρίως στις ανθρώπινες δραστηριότητες που ορίζονται ως ανθρωπογενείς παράγοντες. Διαχρονικά, το φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει ενισχυθεί λόγω της αποψίλωσης των δασών, της καύσης ορυκτών καυσίμων και της έκλυσης χημικών. Η χρήση των χλωροφθορανθράκων σε ψυγεία και αερολύματα, αλλά και τα μέσα μεταφοράς, συμπεριλαμβάνονται στους βασικούς ανθρωπογενείς παράγοντες που συμβάλλουν στην κλιματική κρίση. Όπως εκτιμά η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή, οι παράγοντες αυτοί έχουν προκαλέσει την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, τις αλλαγές στα μοτίβα των ανέμων, τα κύματα καύσωνα και ξηρασίας (UKEssays, 2018).

1.5.1. Αλλαγές στη χρήση της γης, γεωργία/κτηνοτροφία, αστικοποίηση

Το σύνολο της επιστημονικής κοινότητας συγκλίνει στην άποψη πως οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες αποτελούν βασική αιτία στην αύξηση της θερμοκρασίας της γης και στην αλλαγή του κλιματικού συστήματος. Οι αλλαγές στη χρήση της γης και το κλίμα συνιστούν μια διαδικασία, κατά την οποία η πρώτη μεταβλητή επηρεάζει τη σύνθεση της ατμόσφαιρας και την ενεργειακή ισορροπία της επιφάνειας της γης μέσω αλλαγών στην επιφανειακή υδρολογία, στη διαπνοή, στη δομή της βλάστησης, ενισχύοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου και τις αρνητικές επιπτώσεις του στο κλίμα.

Όσον αφορά στη χρήση της γης, παρατηρείται σημαντική υποβάθμισή της λόγω της εκτεταμένης αποψίλωσης των δασών, σύμφωνα με την Detmer (2008). Μεγάλες δασικές εκτάσεις καταστρέφονται και μετατρέπονται σε καλλιεργήσιμα εδάφη και αγροκτήματα. Η υλοτομία και η οικοδόμηση εντός των δασικών ζωνών επιδεινώνουν την κατάσταση. Η πλούσια δασική βλάστηση και το έδαφος υποβαθμίζονται. Αυτή η αποσταθεροποίηση των δασικών οικοσυστημάτων διαταράσσει την ισορροπία του κύκλου του άνθρακα. Η Barr (2006, όπως αναφ. στο Detmer, 2008) τονίζει ότι το διοξείδιο του άνθρακα έχει αυξηθεί σε ποσοστό 31% από την περίοδο της Βιομηχανικής Επανάστασης, ενώ από το 2002 έχει σημειώσει περαιτέρω αύξηση κατά 45% λόγω της απώλειας δασικής κάλυψης.

Στην περιοχή του Αμαζονίου, η αποψίλωση των δασών έχει προκαλέσει αυξομειώσεις στην εξάτμιση και διαπνοή. Αυτές αυξάνουν τη συνολική θερμοκρασία της επιφάνειας, αποξηραίνουν την ατμόσφαιρα και μειώνουν τις βροχοπτώσεις λόγω της μείωσης του

κύκλου του νερού. Στην περιοχή του Σαχέλ, παρατηρείται ερημοποίηση της γης που έχει προέλθει από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η υπερβόσκηση και η υπερκαλλιέργεια. Τα χαρακτηριστικά της περιοχής με το αμμώδες έδαφος και την έλλειψη βλάστησης δημιουργούν εκτεταμένη ξηρασία. Στην υποβάθμιση της περιοχής του Σαχέλ, όπου παρατηρείται μείωση των βροχοπτώσεων, έχουν συμβάλει σημαντικά τα μεταβαλλόμενα μοτίβα μεταξύ υγρών και ξηρών περιόδων που επηρεάζουν τη θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας (Detmer, 2008).

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή επισημαίνει ότι κατά την περίοδο 2006-2017, ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως η γεωργία, η δασοκομία και άλλες χρήσεις της γης ευθύνονται περίπου σε ποσοστό 13% για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, 44% για τις εκπομπές μεθανίου και 82% για τις εκπομπές υποξειδίου του αζώτου. Τα ποσοστά αυτά αντιπροσωπεύουν το 23% του συνόλου των ανθρωπογενών εκπομπών. Αναμένεται δε να αυξηθούν λόγω της πληθυσμιακής αύξησης και του κατά κεφαλήν εισοδήματος που επιφέρει αλλαγές στις καταναλωτικές συνήθειες. Οι αλλαγές που αφορούν στη χρήση της γης επηρεάζουν το παγκόσμιο και τοπικό κλίμα προκαλώντας μεταβολές στην ένταση, τη συχνότητα και τη διάρκεια των ακραίων γεγονότων, με διαφοροποιήσεις ανάλογα με τον γεωγραφικό τόπο και την εποχή (IPCC, 2019).

Οι κτηνοτροφικές δραστηριότητες είναι ένας ακόμα ανθρωπογενής παράγοντας που επιβαρύνει το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής εκλύοντας ποσότητες μεθανίου. Η πληθυσμιακή αύξηση, η οικονομική ανάπτυξη και η αστική μετανάστευση έχουν δημιουργήσει τεράστια ζήτηση σε πρωτεΐνες από τα ζώα, οπότε υπολογίζεται ότι το ποσοστό του εκλυόμενου μεθανίου έως το 2050 σχεδόν θα διπλασιαστεί. Εκτός από την κτηνοτροφία, συγκεκριμένες αγροτικές δραστηριότητες ευθύνονται για τις εκπομπές επιβλαβών αερίων. Για παράδειγμα, η καλλιέργεια ρυζιού που πλημμυρίζει τις εκτάσεις γης εμποδίζοντας το οξυγόνο να διεισδύσει στο έδαφος και δημιουργώντας ιδανικές συνθήκες ανάπτυξης βακτηρίων, συμβάλλει σε μικρότερο ποσοστό στις εκπομπές μεθανίου (UNEP, 2021).

Η αστικοποίηση αποτελεί μια ακόμα διάσταση των αλλαγών στη χρήση της γης. Οι μεταβολές στο κλιματικό σύστημα ως έναν βαθμό οφείλονται στην αύξηση του πληθυσμού παγκοσμίως, που έχει καταλάβει το 33-50% της επιφάνειας της ξηράς. Μεγάλες εκτάσεις έχουν αστικοποιηθεί συμβάλλοντας στην αύξηση της θερμοκρασίας

λόγω της εκτεταμένης χρήσης των συστημάτων κλιματισμού, των εκπομπών από τις βιομηχανίες και την κίνηση των οχημάτων. Σε αναφορά των Ηνωμένων Εθνών (UN Climate Change, 2017) τονίζεται ότι η ραγδαία αστικοποίηση κάνει τους ανθρώπους πιο ευάλωτους στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Σε μεγάλα πυκνοκατοικημένα αστικά κέντρα, όπως η Νέα Υόρκη, η Βομβάη, η Τζακάρτα, αυξάνεται η συχνότητα των καταρρακτωδών βροχών και των καταιγίδων προκαλώντας πλήγματα στους κατοίκους, ιδίως σε όσους ζουν σε μη κατάλληλα καταλύματα, σε παραγκουπόλεις.

Η αστικοποίηση έχει άμεση σχέση με την υποβάθμιση της ποιότητας του περιβάλλοντος, της ποιότητας του νερού και με την ατμοσφαιρική ρύπανση και ηχορύπανση. Έως το 2050 οι επιστήμονες θεωρούν ότι το 67% του παγκόσμιου πληθυσμού αναμένεται να διαβεί σε αστικές περιοχές. Οι ταχύτεροι ρυθμοί αυτής της μεταβολής θα σημειωθούν στις αναπτυσσόμενες χώρες. Αυτή η αστική ανάπτυξη θα δημιουργήσει την αύξηση των αναγκών ύδρευσης, αποχέτευσης και στέγασης. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες που σχετίζονται με την εξασφάλιση και παροχή αυτών των αγαθών είναι πολύ πιθανό ότι θα επηρεάσουν την ποσότητα και ποιότητα του φρέσκου νερού, ενώ ταυτόχρονα θα οδηγήσουν σε απελευθέρωση μεγαλύτερης ποσότητας αερίων του θερμοκηπίου και σε επακόλουθη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας όλων και περισσότερων περιοχών της γης (Cullis et al., 2021).

1.5.2. Τα ορυκτά καύσιμα

Τα ορυκτά καύσιμα παρέχουν σχεδόν το 85% της παγκόσμιας ενέργειας στις μεταφορές, στην παραγωγή ηλεκτρισμού, στη θέρμανση, στην παραγωγή τροφίμων. Συγκρινόμενα με άλλες πηγές ενέργειας είναι σχετικά οικονομικά, εύκολα στη μεταφορά, ασφαλή και υπάρχουν σε αφθονία. Ωστόσο, η χρήση τους προσθέτει στην περιβαλλοντική επιβάρυνση, συμβάλλοντας στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στη δημιουργία της όξινης βροχής.

Από την έναρξη της Βιομηχανικής Επανάστασης, η καύση των ορυκτών καυσίμων έχει ενισχύσει τους ρυθμούς απελευθέρωσης διοξειδίου του άνθρακα και συγκέντρωσης στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο, όπως αναφέρει ο Welles (2020), η κοινή αντίληψη ότι η αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται κατά κύριο λόγο στη δραστηριότητα αυτή δεν είναι ορθή. Το ποσοστό επιβάρυνσης στην υπερθέρμανση του πλανήτη από την καύση των ορυκτών

καυσίμων είναι μόνο 6%. Αναμφίβολα οι εκβιομηχανισμένες κοινωνίες συνεισφέρουν στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, αλλά σε μικρό βαθμό. Παρόλα αυτά, οι μακροπρόθεσμες συγκεντρώσεις διοξειδίου στην ατμόσφαιρα είναι πιθανό να σχηματίσουν μια ασπίδα που θα αποτρέψει την ηλιακή ενέργεια να φθάσει στην επιφάνεια της γης και στην περίπτωση αυτή θα προκληθεί μια περίοδος παγκόσμιας ψύξης.

Η καύση του άνθρακα και άλλων ορυκτών καυσίμων λόγω των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων ευθύνεται για τις εκπομπές άνω του 50% διοξειδίου του θείου. Οι περισσότερες από αυτές τις εκπομπές συμβαίνουν στο βόρειο ημισφαίριο, όπου παρατηρείται εντατικοποίηση των δραστηριοτήτων αυτών τον 21^ο αιώνα. Στη διάρκεια ζωής του, περίπου μίας εβδομάδας, οδηγεί στο σχηματισμό θειικού οξέος και σωματιδίων θειικών αερολυμάτων (Wuebbles & Kain, 2001).

1.5.3. Οι βιομηχανικές δραστηριότητες και τα μέσα μεταφοράς

Η σχέση ανάμεσα στην κλιματική αλλαγή και στον τομέα των μεταφορών βασίζεται στο γεγονός ότι τα μέσα μεταφοράς εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα και αυτά τα αέρια έχουν την ικανότητα να μεταβάλλουν το κλίμα. Οι μεταφορές είναι ένας από τους κύριους τομείς των ανθρώπινων δραστηριοτήτων που χρησιμοποιούν τα ορυκτά καύσιμα. Το 2010 το 53% της παγκόσμιας παραγωγής πετρελαίου χρησιμοποιήθηκε για να καλύψει το 94% των ενεργειακών απαιτήσεων των μεταφορών. Με αυτό το δεδομένο, οι μεταφορές αποτελούν έναν κεντρικό παράγοντα της ενεργειακής ασφάλειας και μια βασική πηγή απελευθέρωσης επιβλαβών αερίων (Climate Change: Implications for Transport, 2014).

Όπως υποστηρίζει ο Ζάνης (2017), οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες των μεταφορών και της βιομηχανίας ευθύνονται για μια σειρά χημικών αντιδράσεων που περιλαμβάνουν πτητικούς υδρογονάνθρακες και οξείδια του αζώτου, τα οποία υπό τη δράση του ηλιακού φωτός προκαλούν φωτοχημικό νέφος, γνωστό ως ρύπανση του όζοντος.

Εκτός από την αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας, τα αέρια αυτά που απελευθερώνονται κατά την κυκλοφορία των μέσων μεταφοράς έχουν προκαλέσει την αστική «ομίχλη», η οποία έχει υποβαθμίσει την ποιότητα του αέρα ενισχύοντας τα αναπνευστικά προβλήματα, τις αλλεργίες, το νεανικό άσθμα. Οι υπερβολικές

συγκεντρώσεις του όζοντος (O₃) επηρεάζουν αρνητικά την ανθρώπινη υγεία και την παραγωγικότητα της καλλιέργειας και υπολογίζονται σε αρκετά δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως μόνο στις ΗΠΑ (Peters, n.d.).

Ο τομέας των μεταφορών συνεισφέρει περίπου στο ένα τέταρτο των συνολικών εκπομπών άνθρακα που προέρχονται από την ενέργεια. Αυτό το ποσοστό αυξάνεται ταχύτερα από οποιονδήποτε άλλον ενεργειακό τομέα με τέτοιο ρυθμό ώστε υπολογίζεται ότι έως το 2050 θα διπλασιαστούν οι εκπομπές άνθρακα από τις μεταφορές (Climate Change: Implications for Transport, 2014).

Συνθετικά προϊόντα που χρησιμοποιούνται εκτενώς σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές απελευθερώνουν αλογόνα τα οποία προκαλούν χημικές καταστροφές στη στρατόσφαιρα. Αυτά τα προϊόντα που ονομάζονται χλωροφθοράνθρακες έχουν πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής- σε ορισμένες περιπτώσεις αιώνες- και επιτρέπουν τη διάχυση και συσσώρευσή τους σε ολόκληρη την ατμόσφαιρα. Οι σταθερές συγκεντρώσεις αερίων ανθρωπογενούς προέλευσης μπορούν να διαταράξουν τη στιβάδα του όζοντος μέσω καταλυτικών αντιδράσεων με ρίζες αλογόνου που αποσυντίθενται φωτοχημικά στη στρατόσφαιρα. Οι χλωροφθοράνθρακες που εκπέμπονται στην υψηλή στρατόσφαιρα λόγω των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων φωτοδιασπώνται από την υπεριώδη ακτινοβολία και απελευθερώνουν χλώριο (Gil Ojeda, 2006).

Η αύξηση του πληθυσμού και η εκβιομηχάνιση έχουν αλλάξει τη σύσταση της ατμόσφαιρας. Ατμοσφαιρικά επίπεδα ιχνοαερίων που είναι υποπροϊόντα ανθρώπινων δραστηριοτήτων, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, τα οξείδια του αζώτου, έχουν αυξηθεί σημαντικά, καθώς οι εκπομπές αυτών των ενώσεων έχουν υπερδιπλασιαστεί από τα προβιομηχανικά τους επίπεδα (Peters, n.d.).

Κεφάλαιο 2^ο

Βασικά θερμοκηπιακά αέρια

2.1 Εισαγωγή

Τα αέρια του θερμοκηπίου, δηλαδή οι ουσίες που παγιδεύουν τη θερμότητα, υπάρχουν σε αφθονία στην ατμόσφαιρα. Οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, το οξείδιο του αζώτου, το όζον είναι ορισμένα από αυτά. Η ποσότητα των αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα επηρεάζει την αντοχή του φαινομένου του θερμοκηπίου. Τα φυτά μειώνουν τα αποτελέσματα του φαινομένου, καθώς απορροφούν διοξείδιο του άνθρακα, ενώ οι ανθρώπινες δραστηριότητες αυξάνουν τα αποτελέσματα προσθέτοντας αέρια (Blue, n.d.). Η συγκέντρωση αερίων που οδηγεί στην παγίδευση θερμότητας στην ατμόσφαιρα είναι γνωστή ως αέρια του θερμοκηπίου (Greenhouse Effect(a), n.d.). Αυτά είναι:

- Διοξείδιο του άνθρακα
- Μεθάνιο
- Υποξείδιο του αζώτου
- Φθοριωμένα αέρια, όπως υδροχλωροφθοράνθρακες, χλωροφθοράνθρακες, τριφθοριούχο άζωτο, εξαφθοριούχο θείο.

Τα αέρια του θερμοκηπίου είναι πιο σύνθετα από άλλα μόρια αερίων στην ατμόσφαιρα έχοντας μια δομή που μπορεί να απορροφήσει τη ζέστη. Αυτά τα μόρια αερίων είναι όλα κατασκευασμένα από τρία ή περισσότερα άτομα. Τα άτομα συγκρατούνται αρκετά χαλαρά ώστε να δονούνται όταν απορροφούν τη θερμότητα. Τελικά, τα δονούμενα μόρια απελευθερώνουν την ακτινοβολία, η οποία θα απορροφηθεί από ένα άλλο μόριο αερίων του θερμοκηπίου. Αυτή η διαδικασία διατηρεί τη θερμότητα κοντά στην επιφάνεια της γης. Το μεγαλύτερο ποσοστό αερίων στην ατμόσφαιρα είναι το άζωτο και το οξυγόνο τα οποία δεν μπορούν να απορροφήσουν τη θερμότητα και να συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (UCAR, n.d.).

Το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, το υποξείδιο του αζώτου και τα φθοριούχα αέρια είναι όλα καλά αναμιγμένα στην ατμόσφαιρα ώστε να μην αντιδρούν στις αλλαγές της θερμοκρασίας και στην πίεση του αέρα και έτσι δεν επηρεάζονται από το φαινόμενο της συμπύκνωσης. Οι υδρατμοί είναι επίσης ένα ιδιαίτερα δραστήριο συστατικό του κλιματικού συστήματος που ανταπαντά έντονα στις διακυμάνσεις των συνθηκών είτε

φθίνοντας στη βροχή και στο χιόνι είτε με την εξάτμιση και την επιστροφή στην ατμόσφαιρα (Kweku et al., 2017).

Από τα μέσα του 18ου αιώνα παρατηρούνται μεταβολές στις συγκεντρώσεις των αερίων που ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι παρατηρούμενες αυξήσεις στις συγκεντρώσεις των αερίων θερμοκηπίου (GHG) από το 1750 αναμφισβήτητα οφείλονται στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Από το 2011 οι συγκεντρώσεις αυτές συνέχισαν να αυξάνονται στην ατμόσφαιρα φτάνοντας τους ετήσιους μέσους όρους των 410 ppm για το CO₂, των 1866 ppb για το CH₄ και των 332 ppb για το N₂O το 2019.

Το 2019 οι συγκεντρώσεις του ατμοσφαιρικού CO₂ ήταν οι υψηλότερες στα τελευταία 2 εκατομμύρια χρόνια και οι συγκεντρώσεις του CH₄ και N₂O ήταν οι υψηλότερες στα τελευταία 800.000 χρόνια. Από το 1750, η αύξηση στο CO₂ (47%) και CH₄ (156%) υπερβαίνει κατά πολύ, ενώ η αύξηση στο N₂O (23%) είναι παρόμοια με τις φυσικές αλλαγές που συνέβησαν μεταξύ των παγετώνιων και μεσοπαγετώνιων περιόδων των τελευταίων 800.000 χρόνων (IPCC, 2021).

2.2. Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Τα μόρια διοξειδίου του άνθρακα που αποτελούνται από ένα άτομο άνθρακα και δύο άτομα οξυγόνου συνιστούν ένα μικρό κλάσμα της ατμόσφαιρας, αλλά έχουν μεγάλη επίδραση στο κλίμα. Στα μέσα του 19^{ου} αιώνα, στην αρχή της Βιομηχανικής Επανάστασης, υπήρχαν στην ατμόσφαιρα 270 ppm διοξειδίου του άνθρακα. Από το 2015, η συγκέντρωση είναι πάνω από 440 ppm, μια σημαντική αύξηση που οφείλεται κυρίως στην καύση ορυκτών καυσίμων (UCAR, n.d.).

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένα άχρωμο, άοσμο, μη εύφλεκτο και μη τοξικό αέριο. Επειδή είναι βαρύτερο από τον αέρα, εξαπλώνεται κατά μήκος του εδάφους. Οι υψηλές συγκεντρώσεις του στον αέρα που αναπνέουμε μπορεί να οδηγήσει σε ασφυξία. Υπάρχει φυσικά στη λιθόσφαιρα, την υδρόσφαιρα και στην ατμόσφαιρα. Σε κανονική θερμοκρασία δεν είναι πολύ αντιδραστικό. Το μόριο του διοξειδίου του άνθρακα είναι σχετικά σταθερό και δεν διασπάται σε απλούστερες ενώσεις. Μερική αποσύνθεση μπορεί ωστόσο να είναι το αποτέλεσμα της υψηλής θερμοκρασίας, του υπεριώδους φωτός ή της ηλεκτρικής εκκένωσης. Αντιδράσεις μεταξύ διοξειδίου του άνθρακα και άλλων ενώσεων γενικά

πραγματοποιούνται μόνο σε υψηλές θερμοκρασίες ή με τη χρήση καταλυτών. Ελάττωση του διοξειδίου του άνθρακα γίνεται με τη δράση μετάλλων, όπως αλουμίνιο ή μαγνήσιο, σε υψηλές θερμοκρασίες. Αρκετές αντιδράσεις είναι εμπορικής σημασίας. Η αντίδραση με την αμμωνία σχηματίζει το καρβαμικό αμμώνιο, το οποίο όταν αφυδατώνεται παράγει μια ένωση σημαντικής σημασίας ως συμπυκνωμένο λίπασμα και ως αντιδραστήριο στη βιομηχανία πλαστικών.

Οι διεργασίες που απελευθερώνουν διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι ποικίλες. Εκτός από την παραγωγή του από τη γη μέσω πηγών, πηγαδιών και ηφαιστειών, διάφοροι άλλοι μηχανισμοί παράγουν διοξείδιο του άνθρακα. Η καύση των ανθρακούχων υλικών, η αναπνοή των φυτών και των ζώων, η αποσύνθεση οργανικού υλικού, και βιομηχανικές διεργασίες, όπως η καύση ασβέστη και η παραγωγή υδρογόνου και αμμωνίας παράγουν διοξείδιο του άνθρακα (Torpham et al., 2014).

2.3. Υδρατμοί (H₂O)

Οι υδρατμοί είναι το αέριο θερμοκηπίου που υπάρχει σε μεγαλύτερη αφθονία στην ατμόσφαιρα. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν μόνο μια μικρή άμεση επίδραση στις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις υδρατμών, κυρίως μέσω της άρδευσης και της αποψίλωσης των δασών. Ωστόσο, η ανθρώπινη δραστηριότητα οδηγεί σε αύξηση των ατμοσφαιρικών υδρατμών επειδή οι υψηλότερες θερμοκρασίες διευκολύνουν την εξάτμιση του νερού και την παραμονή του στον αέρα σε μορφή ατμού (EPA, 2016).

Οι υδρατμοί είναι ο μεγαλύτερος παράγοντας στο φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου και η πηγή ενός σημαντικού μηχανισμού ανάδρασης του κλίματος. Οι αλλαγές στον υδρολογικό κύκλο θα έχουν εκτεταμένες συνέπειες για την ανθρωπότητα, για παράδειγμα μέσω της αλλαγής των προτύπων των βροχοπτώσεων. Όλα τα μοντέλα δείχνουν αύξηση των υδρατμών κατά 7% σε σχέση με το παρελθόν και θα μπορούσαν να αυξηθούν κατά 25% έως το τέλος του 21^{ου} αιώνα λόγω των μεγάλων αναμενόμενων μεταβολών της θερμοκρασίας και παρά την προβλεπόμενη μείωση των εκπομπών αερολυμάτων που οδηγούν σε χαμηλότερη ευαισθησία των υδρατμών κατά τη διάρκεια ζωής τους. Η αυξημένη διάρκεια ζωής σημαίνει ότι ο υδρολογικός κύκλος επιβραδύνεται σημαντικά με

την υπερθέρμανση του πλανήτη, αλλά ο κύκλος ενισχύεται επειδή τόσο η βροχόπτωση όσο και η περιεκτικότητα των υδρατμών αυξάνεται παγκοσμίως (Hodnebrog et al., 2019).

2.4. Μεθάνιο (CH₄)

Ένα ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου, ικανό να απορροφήσει πολύ περισσότερη θερμότητα από το διοξείδιο του άνθρακα, είναι το μεθάνιο. Αποτελείται από ένα άτομο άνθρακα και τέσσερα άτομα υδρογόνου. Υπάρχει σε μικρές ποσότητες στην ατμόσφαιρα, ωστόσο μπορεί να έχει μεγάλη επίδραση στην αύξηση της θερμότητας. Το μεθάνιο χρησιμοποιείται επίσης ως καύσιμο. Όταν καίγεται, απελευθερώνει διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (UCAR, n.d.).

Πρόκειται για ένα άοσμο αέριο με συγκέντρωση στην τροπόσφαιρα 1,8 ppm. Είναι το τρίτο πιο σημαντικό αέριο θερμοκηπίου μετά από τους υδρατμούς και το διοξείδιο του άνθρακα. Η συγκέντρωσή του είναι 2,5 φορές μεγαλύτερη από τα 0,7 ppm που παρατηρήθηκαν σε πυρήνες πάγου που χρονολογούνται από την περίοδο 100-1750 π.Χ. και θεωρείται η υψηλότερη τα τελευταία 800.000 χρόνια. Ως φυσικές πηγές εκπομπών μεθανίου θεωρούνται οι υδροβιότοποι, οι ωκεανοί, οι γεωλογικές πηγές, τα άγρια ζώα και οι μεγάλες πυρκαγιές. Οι πιο σημαντικές ανθρωπογενείς πηγές έκλυσης μεθανίου είναι η παραγωγή και χρήση ενέργειας, οι χώροι υγειονομικής ταφής και τα απόβλητα, η εκτροφή βοοειδών και η παραγωγή γάλακτος, η καλλιέργεια ρυζιού και η καύση βιομάζας (Van Amstel, 2012).

Το μεθάνιο είναι ο πρωταρχικός παράγοντας που συμβάλλει στον σχηματισμό του όζοντος στο επίπεδο του εδάφους, το οποίο αποτελεί επικίνδυνο ατμοσφαιρικό ρύπο και αέριο του θερμοκηπίου. Η έκθεση σε αυτό προκαλεί 1 εκατομμύριο πρόωρους θανάτους ετησίως. Από την προβιομηχανική περίοδο έχει πολλαπλασιαστεί με ταχείς ρυθμούς και υπολογίζεται ότι συμβάλλει περίπου 30% στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Σύμφωνα με στοιχεία της Εθνικής Υπηρεσίας Ωκεανών και Ατμόσφαιρας των ΗΠΑ, ακόμη και όταν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα επιβραδύνθηκαν λόγω των περιορισμών των ανθρώπινων δραστηριοτήτων κατά την πανδημία του Covid-19, το μεθάνιο της ατμόσφαιρας εκτοξεύτηκε (UNEP, 2021).

2.5. Υποξείδιο του αζώτου (N₂O)

Το υποξείδιο του αζώτου είναι ένα μακρόβιο αέριο του θερμοκηπίου που συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Οι εκπομπές αυτού του αερίου προέρχονται κυρίως από αγροτικά εδάφη. Οι μικροβιακοί πληθυσμοί, ο διαθέσιμος άνθρακας στο έδαφος, η συγκέντρωση αζώτου στο έδαφος, η υγρασία, η υφή, η θερμοκρασία του εδάφους, το pH και η αλατότητα είναι περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τα ποσοστά εκπομπών υποξειδίου του αζώτου. Επιπλέον, στις εκπομπές του συγκεκριμένου αερίου συμβάλλουν και παράγοντες διαχείρισης του εδάφους, όπως η εφαρμογή λιπασμάτων, τα συστήματα οργώματος, τα υπολείμματα συγκομιδής και καλλιέργειας και η άρδευση. Οι αγροτικές δραστηριότητες ευθύνονται για τα δύο τρίτα των συνολικών εκπομπών αζώτου παγκοσμίως. Οι περισσότερες εκπομπές προέρχονται από λιπάσματα και εφαρμογή ζωικής κοπριάς. Με τις αγροτικές δραστηριότητες να εντείνονται παγκοσμίως, οι εκπομπές υποξειδίου του αζώτου αυξάνονται ετησίως σε ποσοστό 0,25%. Μεταξύ 2001 και 2011 αυξήθηκαν κατά 63% στην Ασία, 20% στην Αμερική, 13% στην Ευρώπη και 3% στην Αφρική. Σε ορισμένες περιοχές της γης τα τελευταία χρόνια μπορεί να ανιχνευθεί μείωση του υποξειδίου του αζώτου, όπως για παράδειγμα στην Ευρώπη το 2016 σημειώθηκε μείωση κατά 37% σε σχέση με το 1990, λόγω των ευρωπαϊκών πολιτικών όσο και των πολιτικών των χωρών για τη γεωργία και το περιβάλλον (Wang et al., 2021).

2.6. Χλωροφθοράνθρακες (CFCs)

Οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) δεν υπάρχουν στη φύση. Δημιουργήθηκαν πρώτη φορά στα τέλη της δεκαετίας του 1920, ενώ μετά το 1930 άρχισαν να χρησιμοποιούνται ως ψυκτικά υγρά. Όπως προκύπτει και από τα συνθετικά της λέξης, πρόκειται για ομάδα ενώσεων που αποτελούνται από άτομα χλωρίου, φθορίου και άνθρακα. Είναι μη τοξικά, μη εύφλεκτα, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Οι λόγοι αυτοί αλλά και το γεγονός ότι είναι φθηνά έχουν καταστήσει τους χλωροφθοράνθρακες ελκυστικούς στην αγορά. Από το 1950 κατέκτησαν την αγορά αερολυμάτων (OZON report, 2018).

Τις δεκαετίες 1950 και 1960 χρησιμοποιήθηκαν σε κλιματιστικά μηχανήματα εσωτερικών χώρων και αυτοκινήτων. Οι πιο γνωστοί χλωροφθοράνθρακες είναι:

- ❖ Τριχλωρο-τριφθοροαιθάνιο CFC-113

- ❖ Διχλωροφθορομεθάνιο CFC-12
- ❖ Τριχλωροφθορομεθάνιο CFC-11

Οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) αποτελούν ισχυρά θερμοκηπιακά αέρια με σημαντική συνεισφορά στο πρόβλημα της υπερθέρμανσης. Μόνο οι δύο από αυτούς, CFC-11 και CFC-12, συμβάλλουν σε ποσοστό 14%. Κάθε μόριο CFC που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα υπολογίζεται ότι έχει πολλαπλάσια επίπτωση σε σχέση με ένα μόριο CO₂, το οποίο θεωρείται από τα πιο ισχυρά αέρια του θερμοκηπίου.

Η ένωση CFC-12 έχει την τρίτη σημαντικότερη επίδραση στο ενεργειακό ισοζύγιο (radiative forcing) (Φωτιάδη, χ.χ.).

Οι CFCs χρησιμοποιούνται ως ψυκτικά μέσα στον κλιματισμό και την ψύξη, ως υγρά στεγνού καθαρισμού, ως διαλύτες σε βιομηχανίες ηλεκτρονικών και στην παραγωγή αφρωδών πλαστικών. Από τις δραστηριότητες αυτές μια μεγάλη ποσότητα χλωροφθορανθράκων απελευθερώνεται και διαφεύγει στην κατώτερη ατμόσφαιρα. Εκεί οι χλωροφθοράνθρακες δεν διασπώνται, αλλά περνούν στη στρατόσφαιρα σε διάστημα 7-15 ετών. Η διάρκεια ζωής τους στη στρατόσφαιρα είναι από 20 έως 100 χρόνια. Εκεί διασπώνται λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας και παράγουν ελεύθερες ρίζες χλωρίου, οι οποίες στη συνέχεια αντιδρούν με το όζον και το καταστρέφουν. Εκτιμάται ότι οι χλωροφθοράνθρακες στο σύνολό τους συμβάλλουν σε ποσοστό 80% στην καταστροφή του όζοντος. Το χλώριο λειτουργεί ως καταλύτης και συνεχίζει να καταστρέφει το όζον για πολλά χρόνια. Αν και οι εκπομπές αυτών των ανθρωπογενών αερίων έχουν σταματήσει λόγω των διεθνών συμφωνιών, η καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος προβλέπεται ότι θα συνεχιστεί και κατά τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα (Abdullah, 2021).

2.7. Τροποσφαιρικό όζον (O₃)

Το τροποσφαιρικό όζον (O₃) είναι «τριατομικό μόριο του οξυγόνου γνωστό και ως αλλοτροπική μορφή του οξυγόνου». Αποτελεί ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο της ατμόσφαιρας. Θεωρείται ατμοσφαιρικός ρύπος με επιβλαβείς επιδράσεις στο αναπνευστικό σύστημα των οργανισμών. Εμπλέκεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου όχι μόνο γιατί το ίδιο αποτελεί ένα από τα αέρια του θερμοκηπίου αλλά και διότι έμμεσα ελέγχει τον χρόνο ζωής άλλων αερίων. Έχει παρατηρηθεί υψηλότερη ημερήσια

συγκέντρωση κατά τη θερινή περίοδο με την άνοδο της θερμοκρασίας και συσχέτιση με τη μεταβολή του κλίματος (Φωτιάδη, χ.χ.).

Το όζον διαφέρει από τα άλλα αέρια του θερμοκηπίου, καθώς τα αποτελέσματά του εξαρτώνται από το υψόμετρο ή από την κατακόρυφη θέση του στην ατμόσφαιρα. Το μεγαλύτερο ποσοστό του βρίσκεται με φυσικό τρόπο στο στρώμα της ατμόσφαιρας που ονομάζεται στρατόσφαιρα-σε απόσταση 6 έως 30 μίλια από την επιφάνεια της γης-και απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία. Ωστόσο, το όζον που υπάρχει στην τροπόσφαιρα-το στρώμα της ατμόσφαιρας κοντά στην επιφάνεια της γης-είναι ένας επιβλαβής ρύπος για την αναπνοή, ένα κύριο συστατικό της αιθαλομίχλης των πόλεων και ένα σημαντικό αέριο του θερμοκηπίου που συμβάλλει στην κλιματική αλλαγή. Το όζον στην τροπόσφαιρα έχει έναν κύκλο ζωής από μέρες έως εβδομάδες, επομένως τα επίπεδά του διαφέρουν ανάλογα με την τοποθεσία και την εποχή (EPA, 2016).

Το μεγαλύτερο ποσοστό του τροποσφαιρικού όζοντος (90%) παράγεται με φωτοχημικές διαδικασίες μέσω της οξείδωσης μονοξειδίου του άνθρακα, μεθανίου και υδρογονανθράκων μη μεθανίου με οξείδια του αζώτου. Το υπόλοιπο (10%) προέρχεται από τη στρατόσφαιρα. Οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου σε αγροτικές περιοχές έχουν συμβάλει σημαντικά στον σχηματισμό του τροποσφαιρικού όζοντος. Στις πιο πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές η συγκέντρωση τροποσφαιρικού του όζοντος οφείλεται κυρίως στις πτητικές οργανικές ενώσεις από την κίνηση των οχημάτων και τη χρήση προϊόντων με οργανικούς διαλύτες (European Environment Agency, 2016).

2.8. Μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και υδρογόνο (H₂)

Το μονοξείδιο του άνθρακα έχει μοριακό τύπο CO και αποτελεί χημική ένωση από άνθρακα και οξυγόνο. Όταν η καύση άνθρακα είναι ελλιπής, δηλαδή υπάρχει περιορισμένη παροχή αέρα, τότε σχηματίζεται μονοξείδιο του άνθρακα. Επίσης, σχηματίζεται ως ρύπος όταν καίγονται καύσιμα υδρογονανθράκων (φυσικό αέριο, βενζίνη, πετρέλαιο). Πρόκειται για ένα ιδιαίτερα δηλητηριώδες αέριο. Η παρουσία του στο αίμα εμποδίζει μέρος της αιμοσφαιρίνης που βρίσκεται στα ερυθρά αιμοσφαίρια να μεταφέρει επαρκές οξυγόνο. Η εκτεταμένη έκθεση στο μονοξείδιο του άνθρακα μπορεί να οδηγήσει στον θάνατο (Thompson, 2005). Πριν από τη δεκαετία του 1960, το φωταέριο που

χρησιμοποιείται για τον φωτισμό, το μαγείρεμα, τη θέρμανση περιείχε ως συστατικό μονοξειδίο του άνθρακα, ενώ σήμερα ακόμη κάποιες ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η μεταλλουργία σιδήρου, παράγουν αυτή τη χημική ένωση.

Ωστόσο, στον πλανήτη η μεγάλη ποσότητα μονοξειδίου του άνθρακα είναι φυσικής προέλευσης και παράγεται κυρίως μέσω φωτοχημικών αντιδράσεων στην τροπόσφαιρα και δευτερευόντως από τις εκρήξεις των ηφαιστειών ή τις μεγάλες πυρκαγιές. Οι ανθρωπογενείς πυρκαγιές και η καύση ορυκτών καυσίμων συμβάλλουν επίσης στην παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα. Από την άποψη της δημόσιας υγείας, το μονοξειδίο του άνθρακα μπορεί να ευθύνεται κατά 50% στο συνολικό ποσοστό δηλητηρίασης των ανθρώπων σε βιομηχανικές περιοχές (Omaye, 2002).

Το μονοξειδίο του άνθρακα είναι άοσμο αλλά πολύ τοξικό. Αποτελεί ένα ακόμη αέριο του θερμοκηπίου, καθώς ευνοεί τη συγκέντρωση μεθανίου με αποτέλεσμα να παγιδεύεται η ηλιακή ακτινοβολία και να αυξάνει τη θερμοκρασία της γης. Οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή ή η γεωθερμική και ο περιορισμός της χρήσης των αυτοκινήτων μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (Global Warming: Human Effects, n.d.).

Το CO υπάρχει στην ατμόσφαιρα σε χαμηλές συγκεντρώσεις και έχει μια τυπική διάρκεια ζωής αρκετών μηνών. Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες, κυρίως οι εκπομπές από την κίνηση των οχημάτων, δημιουργούν τεράστιες ποσότητες από αυτό το δηλητηριώδες αέριο. Τα επίπεδά τους στις αστικές περιοχές είναι περίπου 100 φορές υψηλότερα από τη συνολική συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα της γης (UCAR, 2017).

Το υδρογόνο (H_2) είναι ένα από τα κυριότερα αέρια στο κατώτερο επίπεδο της ατμόσφαιρας, στην τροπόσφαιρα. Αν και ο κύκλος ζωής του-2,5 χρόνια περίπου- επηρεάζεται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, οι αναλογίες ανάμειξης στο βόρειο ημισφαίριο είναι χαμηλότερες από εκείνες στο νότιο ημισφαίριο. Αυτό το φαινόμενο προκαλείται από την κύρια καταβόθρα του υδρογόνου, ήτοι την επιφανειακή πρόσληψη από το έδαφος, που ευθύνεται για το 80% της συνολικής απώλειας υδρογόνου από την ατμόσφαιρα. Το μεγαλύτερο ποσοστό πρόσληψης πραγματοποιείται στις μεγάλες εκτάσεις γης στο νότιο ημισφαίριο. Το υδρογόνο αντιδρώντας με το υδροξύλιο στην τροπόσφαιρα διαταράσσει τις διανομές μεθανίου και όζοντος και γι' αυτό θεωρείται ένα έμμεσο αέριο

θερμοκηπίου με σημαντική δυναμική στην αύξηση της θερμοκρασίας και στο προκαλούμενο φαινόμενο του θερμοκηπίου (Derwent et al., n.d.).

Η παρουσία μοριακού υδρογόνου στην ατμόσφαιρα έχει εντοπιστεί εδώ και αρκετές δεκαετίες. Θεωρείται το δεύτερο οξειδώσιμο ιχνοστοιχείο που βρίσκεται σε μεγαλύτερη αφθονία στην τροπόσφαιρα. Την τελευταία δεκαετία η μελέτη γύρω από την ποσότητα του υδρογόνου στην τροπόσφαιρα έχει εντατικοποιηθεί, εν μέρει λόγω της προοπτικής μιας οικονομίας καυσίμων βασισμένης στο στοιχείο H_2 , αλλά κυρίως λόγω της ιδιαιτερότητάς του ως σημαντικό στοιχείο της τροποσφαιρικής και στρατοσφαιρικής χημείας και ως μέσο πρόσθετης γνώσης των κύκλων αερίων με τα οποία συνδέεται, ιδίως με το μονοξείδιο του άνθρακα (Ehhalt & Rohrer, 2009).

Έχουν εντοπιστεί τέσσερις κύριες πηγές υδρογόνου στην τροπόσφαιρα που συμβάλλουν στη συγκέντρωση κατά 90%. Δύο από αυτές είναι οι φωτοχημικές πηγές (η οξείδωση του μεθανίου [CH_4] και η οξείδωση των μη μεθανίου υδρογονανθράκων [NMHCS]). Οι άλλες δύο πηγές προέρχονται από την καύση, όπως η καύση ορυκτών καυσίμων και βιομάζας. Το υπόλοιπο 10% αποδίδεται σε εκλύσεις των ηφαιστείων και των ωκεανών (Novelli et al., 1999).

Κεφάλαιο 3^ο

Επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου

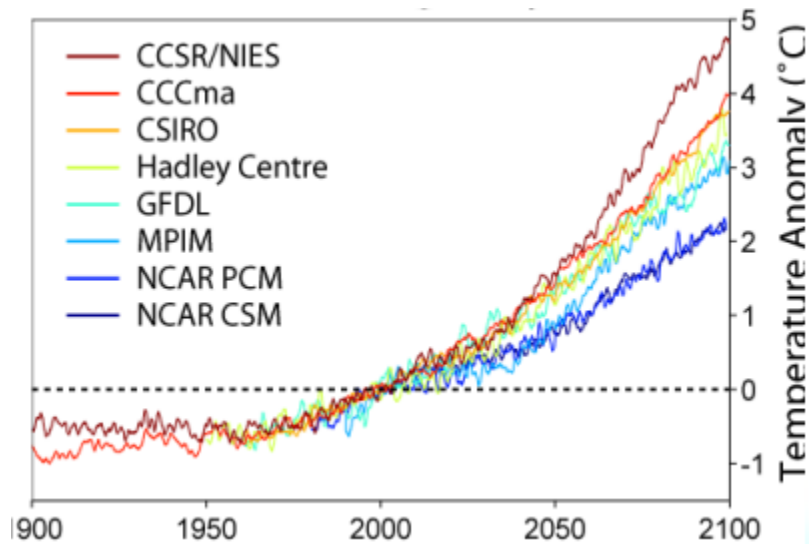
3.1. Άνοδος της θερμοκρασίας

Η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται κατά κύριο λόγο, σύμφωνα με τους επιστήμονες, στα αέρια του θερμοκηπίου, η συσσώρευση των οποίων μεταβάλλει το ισοζύγιο της ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα, καθώς και στην εξάντληση του στρώματος του όζοντος που επιτρέπει στην υπεριώδη ακτινοβολία να φτάνει στην επιφάνεια της γης. Επίσης, τα αερολύματα που είναι παρόντα στην ατμόσφαιρα προκαλούν την υπερθέρμανση του πλανήτη αλλάζοντας το κλίμα με δύο διαφορετικούς τρόπους. Πρώτον, διασκορπίζουν και απορροφούν ηλιακή και υπέρυθη ακτινοβολία και δεύτερον, μπορεί να μεταβάλουν τις μικροφυσικές και χημικές ιδιότητες των νεφών και ίσως να επηρεάσουν τη διάρκεια και την έκτασή τους. Η διασπορά της ηλιακής ακτινοβολίας δρα ώστε να δροσίζει τον πλανήτη, ενώ η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από αερολύματα θερμαίνει τον αέρα απευθείας αντί να επιτρέπει την απορρόφηση του ηλιακού φωτός από την επιφάνεια της γης. Η ανθρώπινη συνεισφορά στην ποσότητα αερολυμάτων έχει διάφορες μορφές. Δραστηριότητες στη γεωργία, στη βιομηχανία, στις μεταφορές παράγουν μια ποικιλία αερολυμάτων που συγκεντρώνονται στην ατμόσφαιρα (Shahzad, 2015).

Η υπερθέρμανση του πλανήτη οδηγεί σε πολλές αρνητικές καταστάσεις για τη ζωή στη γη. Οι πρόσθετοι υδρατμοί που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα πέφτουν πάλι ως βροχή προκαλώντας πλημμύρες σε διάφορες περιοχές του κόσμου. Όταν ο καιρός γίνεται θερμότερος, η διαδικασία της εξάτμισης τόσο από την ξηρά όσο και από τη θάλασσα εντείνεται. Αυτό οδηγεί σε ξηρασίες στις περιοχές όπου η αυξημένη εξάτμιση δεν αντισταθμίζεται από αυξημένες βροχοπτώσεις. Είναι πολύ πιθανό οι άνθρωποι των περιοχών αυτών να αντιμετωπίσουν πρόβλημα λιμού. Πόλεις και χωριά που εξαρτώνται από το νερό που λιώνει στα χιονισμένα βουνά μπορεί να υποφέρουν από ξηρασία και έλλειψη παροχής νερού, καθώς οι παγετώνες σε όλο τον κόσμο συρρικνώνονται με πολύ γρήγορο ρυθμό και η τήξη των πάγων φαίνεται να είναι ταχύτερη από τις προβλέψεις. Σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC), περίπου το ένα έκτο του συνολικού πληθυσμού της γης ζει στις περιοχές που θα πληγούν από την τήξη των πάγων. Το θερμότερο κλίμα είναι πιθανό να προκαλέσει περισσότερα κύματα

καύσιμα, πιο βίαιες βροχοπτώσεις και ενίσχυση της έντασης χαλαζοπτώσεων και καταιγίδων. Οι θερμοκρασιακές ανωμαλίες προβλέπεται να αυξηθούν τα επόμενα χρόνια. Κατά τον 20^ο αιώνα η κατάσταση ήταν ελεγχόμενη, ωστόσο από τις αρχές του 21^{ου} αιώνα επιδεινώνεται, σύμφωνα με τις προβλέψεις διαφόρων οργανισμών κλιματικής και περιβαλλοντικής έρευνας. Αυτό οφείλεται στην αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας που οφείλεται στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τις οικιακές και βιομηχανικές δραστηριότητες (Shahzad, 2015).

Στην εικόνα 3 αποτυπώνονται οι προβλέψεις διαφόρων Ερευνητικών Κέντρων για την αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας έως το 2100, όπου είναι σαφείς οι προβλέψεις για άνοδο της θερμοκρασίας από 2 έως 5 βαθμούς (°C) .



Εικόνα 3. Προβλέψεις παγκόσμιας υπερθέρμανσης έως το 2100

Πηγή: Shahzad (2015)

Οι επιπτώσεις από την άνοδο της θερμοκρασίας μπορούν να επηρεάσουν σοβαρά την υγεία και την ευημερία των έμβιων όντων. Η υπερβολική ζέστη μπορεί να προκαλέσει στρες οδηγώντας σε αύξηση της πίεσης και καρδιακά νοσήματα. Οι αποτυχημένες σοδειές και ο λιμός μπορούν να προκαλέσουν ελάττωση της αντίστασης του ανθρώπινου οργανισμού σε ιούς και μολύνσεις. Οι μεταδοτικές ασθένειες θα εξαπλωθούν ευκολότερα καθώς η υπερθέρμανση θα οδηγήσει σε μετακινήσεις πληθυσμών σε περιοχές με πιο δροσερό

κλίμα. Οι θερμότεροι ωκεανοί και τα επιφανειακά ύδατα είναι πιθανό να οδηγήσουν στην εμφάνιση της χολέρας και επιβλαβών μολύνσεων σε διάφορους τύπους της θαλάσσιας τροφής. Επιπλέον, η άνοδος της θερμοκρασίας συμβάλλει στην κακή ποιότητα του αέρα. Τρία βασικά συστατικά-το φως του ήλιου, ο ζεστός αέρας και η ρύπανση από την παραγωγή ενέργειας και τα ορυκτά καύσιμα- συνδυάζονται για να παράγουν το λεγόμενο νέφος, το οποίο οι άνθρωποι βιώνουν ως κακή ποιότητα του αέρα. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες αυξάνουν το νέφος, ακόμα και αν τα τρία αυτά συστατικά παραμένουν στα ίδια ποσοστά. Οι επιπτώσεις της υπερθέρμανσης επηρεάζουν τα φυτά προκαλώντας την ταχύτερη ανάπτυξη και ωρίμανσή τους και την παραγωγή πιο ισχυρών αλλεργιογόνων. Η επιβίωση των ζώων επίσης υπόκειται στις συνθήκες που δημιουργούνται από την υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας (Union of Concerned Scientists, 2011).

Τα ζώα αναγκάζονται να μετακινούνται σε δροσερότερες περιοχές για να επιβιώσουν. Αυτό έχει παρατηρηθεί σε περιοχές, όπως οι Άλπεις, το ορεινό Κουίνσλαντ της Αυστραλίας και τα ομιχλώδη δάση της Κόστα Ρίκα. Τα ψάρια στη Βόρεια Θάλασσα έχει παρατηρηθεί ότι μετακινούνται βορειότερα. Οι επιπτώσεις στα είδη είναι τόσο σημαντικές ώστε να θεωρούνται ως σημάδι της υπερθέρμανσης του πλανήτη, η οποία βαθμιαία καταστρέφει τα οικοσυστήματα και οδηγεί σε εξαφάνιση ορισμένων από τα είδη αυτά. Ο ασιατικός πίθηκος, ο αφρικανικός ελέφαντας, οι καμηλοπαρδάλεις, είδη ωκεάνιων πτηνών, οι καρχαρίες, οι φάλαινες, τα κοράλλια είναι κάποια από τα είδη που αντιμετωπίζουν σοβαρό πρόβλημα επιβίωσης στο φυσικό οικοσύστημά τους καθώς μειώνεται ο ζωτικός χώρος τους και καθίστανται ευάλωτα στις αλλαγές που προκαλεί η άνοδος της θερμοκρασίας (Earth Day, 2019).

3.2. Τήξη των πάγων

Η κρυόσφαιρα αποτελείται από πάγο στο κλιματικό σύστημα: στρώματα πάγου και παγετώνες, χιόνι, μόνιμος παγετός και θαλάσσιος πάγος. Καθώς το κλίμα θερμαίνεται, η απόκριση της κρυόσφαιρας αναπόφευκτα ενισχύεται και τήκεται. Αυτό έχει ως συνέπεια την απόψυξη του μόνιμου παγετού και τη δυνατότητα για ενισχυμένες φυσικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου στην ατμόσφαιρα. Η συρρίκνωση των ορεινών παγετώνων και των μεγάλων στρωμάτων πάγου έχει ως επακόλουθο την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και επιπτώσεις στους υδάτινους πόρους. Τα στρώματα πάγου της

Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής ανταποκρίνονται στην κλιματική αλλαγή διοχετεύοντας τα μεγάλα αποθέματα γλυκού νερού στον ωκεανό και ανεβάζοντας τη στάθμη της θάλασσας κατά πολλά μέτρα. Αυτό αποτελεί μια μακροπρόθεσμη, ουσιαστικά μη αναστρέψιμη συνέπεια της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής. Εκτός από τα μεγάλα στρώματα πάγου, κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, ένας από τους μεγαλύτερους συντελεστές στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης είναι οι ορεινοί παγετώνες (WCRP, 2016).

Η τήξη του θαλάσσιου πάγου απασχολεί σε βάθος την επιστημονική κοινότητα. Η θερινή έκτασή του στην Αρκτική μειώθηκε κατά περίπου 50% την τελευταία δεκαετία και ο Αρκτικός Ωκεανός έχει υποστεί μια μετατόπιση του καλύμματος πολυετούς παχύρρευστου πάγου σε έναν εποχιακό και πολύ λεπτότερο πάγο. Η πρόσφατη απώλεια είναι άνευ προηγουμένου στις δορυφορικές και ιστορικές καταγραφές μείωσης του θαλάσσιου πάγου. Οι θερμές ατμοσφαιρικές και ωκεάνιες πιέσεις σε συνδυασμό με τις διακυμάνσεις των πιέσεων των ανέμων επέφεραν αυτή την αλλαγή. Ωστόσο, η μείωση της κάλυψης του πάγου δεν είναι εμφανής σε ορισμένες υποαρκτικές περιοχές κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ούτε φαίνεται να έχει συντελεστεί στην περιοχή της Ανταρκτικής. Οι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι τα τελευταία 1.500-2.000 χρόνια στην περιοχή της Αρκτικής σημειώνονται διακυμάνσεις στην καταγραφή του μακροπρόθεσμου κλίματος, οι οποίες επιβεβαιώνουν την αργή ψύξη που οφείλεται στις επίσης αργές διακυμάνσεις των παραμέτρων της τροχιάς Γης-Ήλιου και που επηρεάζουν την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία φτάνει στην Αρκτική την περίοδο της ηλιοφάνειας. Ωστόσο, η υπερθέρμανση του πλανήτη από το 1800 και εξής έχει συντελέσει στην μέγιστη αύξηση της θερμοκρασίας της Αρκτικής (Walsh, 2013).

Η θέρμανση της Αρκτικής αναμφίβολα έχει συμβάλει στην απώλεια του θαλάσσιου πάγου, αλλά οι υψηλότερες θερμοκρασίες από μόνες τους δεν μπορούν να εξηγήσουν την ταχεία μείωση τις τελευταίες δεκαετίες (Stroeve et al., 2011, όπ. αναφ. στο Walsh, 2013). Άλλοι παράγοντες που έχουν συντελέσει σε αυτή την αλλαγή είναι:

- ✚ οι περίοδοι αυξημένης αιολικής μεταφοράς παχύτερου πάγου από την Αρκτική στον βόρειο Ατλαντικό
- ✚ η αυξημένη ροή των θερμότερων ωκεάνιων υδάτων από την Αρκτική στον βόρειο Ατλαντικό και στον βόρειο Ειρηνικό

- ✚ η αυξημένη ατμοσφαιρική θέρμανση ως συνέπεια της ενισχυμένης υγρασίας στην Αρκτική και ίσως λόγω των διακυμάνσεων των νεφών
- ✚ η ενισχυμένη απώλεια θαλάσσιου πάγου λόγω της αύξησης της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας από την πιο σκοτεινή επιφάνεια του ωκεανού.

Οι πιο άμεσες και εμφανείς επιπτώσεις έως σήμερα είναι στην Αρκτική, όπου η απώλεια θαλάσσιου πάγου επηρεάζει τους ανθρώπους, τη θαλάσσια ζωή και το αρκτικό κλίμα. Οι παράκτιες περιοχές στην Αλάσκα και στη Σιβηρία βιώνουν αύξηση των πλημμυρών και διάβρωση των ακτών, με αποτέλεσμα ολόκληρες κοινότητες να μετεγκαθίστανται μακριά από την ακτή. Επιπλέον, επηρεάζονται τα θαλάσσια οικοσυστήματα και τα είδη που διαβιούν σε αυτά. Οι υφαλοκρηπίδες των ρωσικών θαλασσών είναι από τις μεγαλύτερες στον κόσμο και στον πυθμένα τους υπάρχουν μεγάλα αποθέματα μόνιμου πάγου, τα οποία περιέχουν ποσότητες μεθανίου. Πρόσφατες μετρήσεις έχουν δείξει εκλύσεις μεθανίου συμβατές με τις διατρήσεις του μόνιμου παγετού. Η ποσότητα μεθανίου που απελευθερώνεται από τη θαλάσσια περιοχή της ανατολικής Σιβηρίας μπορεί να συγκριθεί με αυτήν που απελευθερώνεται από τον παγκόσμιο ωκεανό. Υπάρχουν επίσης ενδείξεις επιπτώσεων της τήξης του πάγου στην Αρκτική στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη που ερμηνεύονται από τις αργές διαδικασίες ψύξης της συγκεκριμένης περιοχής (Walsh, 2013). Όσον αφορά στη χιονοκάλυψη, αυτή έχει μειωθεί στις περισσότερες περιοχές ιδιαίτερα την άνοιξη και το καλοκαίρι. Οι δορυφορικές παρατηρήσεις στο βόρειο ημισφαίριο από το 1966 έως το 2005 δείχνουν μείωση της κάλυψης χιονιού όλους τους μήνες του έτους, εκτός από τον Νοέμβριο και τον Δεκέμβριο, με σταδιακή πτώση 5% σε ετήσια βάση στα τέλη της δεκαετίας του 1980. Στο νότιο ημισφαίριο οι καταγραφές δείχνουν είτε μείωση είτε καμία αλλαγή τα τελευταία 40 χρόνια. Όπου το χιόνι μειώθηκε, παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας, ενώ όπου το χιόνι αυξήθηκε παρατηρείται αύξηση των βροχοπτώσεων. Οι περίοδοι παγώματος και τήξης του πάγου σε ποτάμια και λίμνες παρουσιάζουν σημαντική χωρική μεταβλητότητα. Τα δεδομένα των τελευταίων 150 χρόνων δείχνουν ρυθμό παγώματος από 5,8 έως 1,6 ημέρες ανά αιώνα, ενώ ρυθμό τήξης από 6,5 έως 1,2 ημέρες ανά αιώνα. Η μαζική απώλεια των παγετώνων και των καλυμμάτων πάγου κατά τα τέλη του 20^{ου} αιώνα ερμηνεύεται πιθανόν ως απόκριση στη μετά το 1970 υπερθέρμανση. Οι μεγαλύτερες απώλειες έχουν σημειωθεί στην Παταγονία, την Αλάσκα, τη βορειοδυτική Αμερική και τον νοτιοδυτικό Καναδά. Λόγω της αλληλεπίδρασης μεγάλων περιοχών, η

μεγαλύτερη άνοδος της στάθμης της θάλασσας προέρχεται από την Αλάσκα, την Αρκτική και τα όρη της Ασίας. Ο μέγιστος βαθμός του εποχικά παγωμένου εδάφους έχει μειωθεί κατά 7% από το 1901 έως το 2002, ενώ κατά την άνοιξη η μείωση φτάνει στο 15%. Το μεγαλύτερο βάθος έχει υποχωρήσει κατά 0,3 μ. στην Ευρασία από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα. Επιπλέον, η μέγιστη εποχιακή απόψυξη έχει αυξηθεί κατά 0,2 μ. στη ρωσική Αρκτική από το 1956 έως το 1990. Οι ημερομηνίες τήξης την άνοιξη και παγώματος το φθινόπωρο έχουν προχωρήσει 5 έως 7 εβδομάδες στην Ευρασία από το 1988 έως το 2002 οδηγώντας σε μια πρόιμη καλλιεργητική περίοδο αλλά χωρίς αλλαγή στη διάρκεια (Lemke et al., 2007).

3.3. Άνοδος της στάθμης της θάλασσας

Κατά την περίοδο 1901-2010 η παγκόσμια στάθμη της θάλασσας αυξήθηκε κατά μέσο όρο 0,19 μέτρα. Ο ρυθμός της ανόδου της στάθμης της θάλασσας από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό των δύο προηγούμενων χιλιετιών. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1970 η απώλεια της μάζας των παγετώνων και η αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών έχουν συμβάλει σε ποσοστό 75% στην άνοδο της παρατηρούμενης παγκόσμιας μέσης ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Το φαινόμενο της ανόδου παρατηρείται με διαφορετικούς ρυθμούς στις περιοχές του πλανήτη λόγω των διακυμάνσεων στην κυκλοφορία των ωκεανών. Έτσι, από το 1993 οι ρυθμοί ανόδου στις περιοχές του δυτικού Ειρηνικού Ωκεανού είναι περίπου τρεις φορές μεγαλύτεροι από τον παγκόσμιο μέσο όρο, ενώ στις περιοχές του ανατολικού Ειρηνικού είναι μηδενικοί ή αρνητικοί. Οι επιστήμονες θεωρούν ότι η μέγιστη παγκόσμια μέση άνοδος κατά τη διάρκεια της τελευταίας μεσοπαγετώνιας περιόδου οδήγησε στην τήξη των πάγων της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής και στη μέση άνοδο από 1,4 έως 4,3 μέτρα (IPCC, 2014). Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας είναι η πιο επικίνδυνη επίπτωση της τήξης των πάγων. Αυτό συμβαίνει διότι οι πάγοι λιώνοντας οδηγούν σε άνοδο της στάθμης των υδάτων στους ωκεανούς, στα ποτάμια και τις λίμνες η οποία μπορεί να προκαλέσει καταστροφή με τη μορφή πλημμυρών (Shahzad, 2015).

Δύο βασικοί μηχανισμοί προκαλούν την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Πρώτον, η συρρίκνωση του πάγου της ξηράς, των παγετώνων των βουνών και των πολικών στρωμάτων πάγου, απελευθερώνει νερό στους ωκεανούς. Δεύτερον, καθώς οι

θερμοκρασίες των ωκεανών αυξάνονται, το θερμότερο νερό επεκτείνεται. Παγιδευμένο μέσα σε μια λεκάνη που οριοθετείται από τις ηπείρους, το νερό μπορεί να κινηθεί μόνο προς τα πάνω. Σε ορισμένες περιοχές, ιδίως στα χαμηλά δέλτα των ποταμών, το έδαφος υποχωρεί και βυθίζεται (καθίζηση) καθιστώντας τη στάθμη της θάλασσας ακόμα υψηλότερη. Οι συνέπειες της ανόδου της στάθμης της θάλασσας περιλαμβάνουν (Union of Concerned Scientists, 2011):

- Απειλές για τις παράκτιες κοινότητες: περίπου το 40% του παράκτιου πληθυσμού ζει σε απόσταση 100 χιλιομέτρων από τον ωκεανό. Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας θέτει σε κίνδυνο εκατομμύρια ζώες και περιουσιακά στοιχεία που αφορούν σε υποδομές μεγάλης οικονομικής αξίας. Οι παλίρροιες και τα κύματα των καταιγίδων απειλούν τις παράκτιες περιοχές καταστρέφοντας τις φυσικές προστασίες-επίπεδα λάσπης, αμμόλοφοι, παραλίες, προβλήτες- οι οποίες υποχωρούν στην ενδοχώρα καθώς ανεβαίνει η στάθμη της θάλασσας.
- Εισβολή αλμυρού νερού: λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας το αλμυρό νερό εισβάλλει στα αποθέματα των υπόγειων υδάτων, μολύνοντας τα αρδευτικά ύδατα ή εισχωρώντας στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Οι παράκτιες περιοχές είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στη μόλυνση της παροχής γλυκού νερού.

Κεφάλαιο 4^ο

Τρύπα του όζοντος

4.1. Το όζον στην τροπόσφαιρα

Η ανακάλυψη του όζοντος ως βασικό συστατικό της ατμόσφαιρας μπορεί να τοποθετηθεί χρονικά στα μέσα της δεκαετίας του 1870, αν και σχετικές έρευνες είχαν ξεκινήσει νωρίτερα, από τον 18^ο αιώνα. Στα μέσα της δεκαετίας του 1920 κατασκευάστηκε ένα «σπεκτρόμετρο» προκειμένου να γίνουν τακτικές μετρήσεις του συνολικού όζοντος στην ατμόσφαιρα. Μέσω αυτού οι επιστήμονες ανακάλυψαν την εποχική μεταβλητότητα του όζοντος που σχετίζεται με τη μεταβλητότητα της ατμοσφαιρικής πίεσης (Stolarski, n.d.).

Τα δύο στρώματα της ατμόσφαιρας που μελετούν οι επιστήμονες λόγω της παρουσίας του όζοντος είναι η στρατόσφαιρα και η τροπόσφαιρα. Το τροποσφαιρικό όζον θεωρείται ότι προέρχεται από τη στρατόσφαιρα, ενώ επίσης παράγεται στην τροπόσφαιρα μέσω φωτοχημικών αντιδράσεων. Αν και το όζον είναι ένα μικρό συστατικό της τροπόσφαιρας, σχετίζεται με μια ευρεία ποικιλία ατμοσφαιρικών διαδικασιών.

Η τροπόσφαιρα καλύπτει το χαμηλότερο στρώμα (περίπου 10 χλμ.) της ατμόσφαιρας και διαφοροποιείται από τη στρατόσφαιρα μέσω των σχετικά μικρών χρονικών κλιμάκων μεταφοράς, σε ώρες ή ημέρες, και της εγγύτητάς της σε επιφανειακές πηγές θέρμανσης, υγρασίας και ιχνοαερίων. Για τον λόγο αυτό, οι διεργασίες που συμβαίνουν στη μια περιοχή μπορούν να επηρεάσουν γρήγορα μια άλλη, ενώ επίσης στην τροπόσφαιρα συμβαίνουν ισχυρές φωτοχημικές αλληλεπιδράσεις. Στη φωτοχημεία της ατμόσφαιρας το όζον έχει κεντρικό ρόλο. Οι φωτοχημικές αντιδράσεις που απομακρύνουν πολλά ιχνοαέρια από την ατμόσφαιρα προκαλούνται είτε από το ηλιακό φως είτε από την αντίδραση με ένα οξειδωτικό. Το πιο σημαντικό οξειδωτικό στην τροπόσφαιρα είναι η ρίζα υδροξυλίου (OH), η οποία αποκαλείται ως ο «καθαριστικός παράγοντας» της ατμόσφαιρας. Άλλα οξειδωτικά στην τροπόσφαιρα είναι το NO₃, το H₂O₂ και επίσης το όζον. Εκτός από τη σημαντική ιδιότητά του να προστατεύει τη γη από την υπεριώδη ακτινοβολία, λειτουργεί και ως αέριο του θερμοκηπίου παγιδεύοντας επίγεια ακτινοβολία μακρών κυμάτων στην κατώτερη ατμόσφαιρα (Peters, n.d.).

Το ποσοστό όζοντος στην τροπόσφαιρα υπολογίζεται στο 10% του συνολικού όζοντος της ατμόσφαιρας της γης. Το τροποσφαιρικό όζον είναι γνωστό ως το «κακό» όζον, διότι συνιστά έναν ρύπο που όταν ξεπεράσει τις οριακές τιμές θέτει σε κίνδυνο τη ζωή των

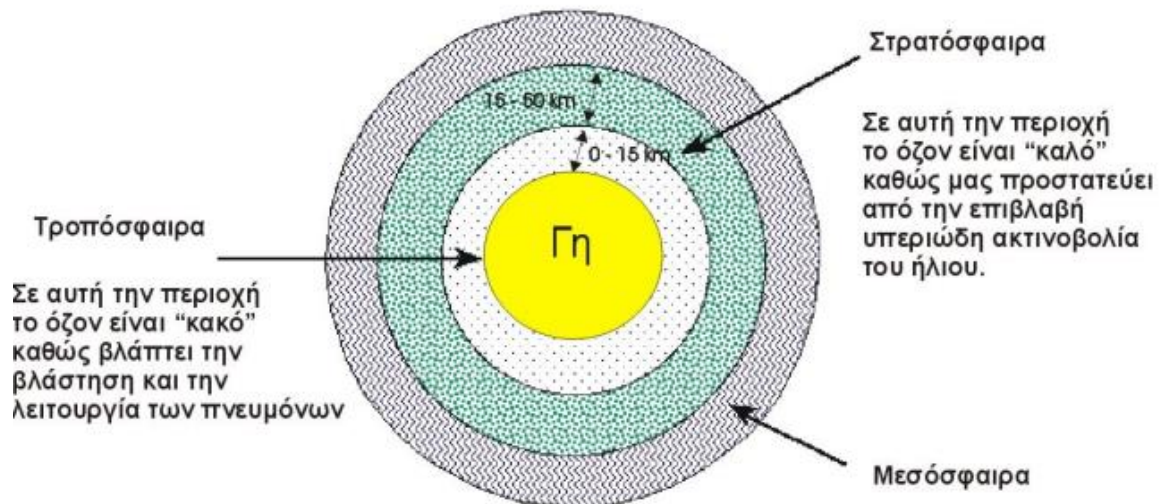
έμβιων όντων και της βλάστησης. Κυρίως παρατηρείται στα αστικά περιβάλλοντα όπου συνδέεται με το φωτοχημικό νέφος που περιβάλλει τα αστικά κέντρα. Η θεωρία ότι το όζον προέρχεται σχεδόν αποκλειστικά από τη μεταφορά του από την κατώτερη στρατόσφαιρα αμφισβητήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980, όταν με αφορμή τη μελέτη του φωτοχημικού νέφους του Λος Άντζελες (δεκαετία 1960) υποστηρίχθηκε επιστημονικά η φωτοχημική παραγωγή του μέσω της αντίδρασης με άλλα στοιχεία (οξειδία του αζώτου, πτητικούς υδρογονάνθρακες). Η αύξηση της θερμοκρασίας ευνοεί τις φωτοχημικές αντιδράσεις, γι' αυτό και κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπως επίσης και τους θερμότερους μήνες του έτους, παρατηρείται αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος. (Ζάνης, 2017).

Παράλληλα, η μεταφορά του στρατοσφαιρικού όζοντος συμβάλλει στη συγκέντρωσή του όζοντος στην τροπόσφαιρα, όπου η οξειδωτική του ισχύς είναι ανάλογη των επιπέδων ρύπων σε κάθε περιοχή. Έτσι, η φωτοχημική παραγωγή του όζοντος μεγιστοποιείται σε περιοχές με μεγάλο ποσοστό ρύπων, ενώ είναι ελάχιστη σε μη μολυσμένες περιοχές. Καθώς το όζον στην τροπόσφαιρα έχει διάρκεια ζωής από αρκετές ημέρες έως εβδομάδες, ανάλογα με την αφθονία των υδρατμών και του ηλιακού φωτός, γίνεται δυνατή η μεταφορά του σε όλο τον πλανήτη. Η παγκόσμια κατανομή του όζοντος μπορεί να αποκαλύψει τα μοτίβα μεταφορών μεγάλης κλίμακας και χρησιμοποιείται για την ανίχνευση των ανταλλαγών ανάμεσα στη στρατόσφαιρα και την τροπόσφαιρα (Peters, n.d.).

Το όζον στην τροπόσφαιρα επομένως συνιστά έναν ρύπο ο οποίος αλληλεπιδρώντας με το φωτοχημικό νέφος των αστικών κέντρων και των περιοχών γύρω από αυτά έχει αρνητικές επιπτώσεις. Οι υψηλές συγκεντρώσεις του είναι δυνατό να προκαλέσουν μόνιμη βλάβη στους πνεύμονες του ανθρώπου. Ως φυτο-τοξικό στοιχείο είναι επικίνδυνο για τα φυτά και τα δάση διαταράσσοντας τα οικοσυστήματά τους και μειώνοντας την ανθεκτικότητά τους στις κλιματικές αλλαγές. Οι οξειδωτικές ιδιότητές του προκαλούν την καταστροφή έργων πολιτιστικής κληρονομιάς αποχρωματίζοντας τις επιφάνειες που έχουν κατασκευαστεί με φυσικές χρωστικές καθώς επίσης και την καταστροφή υλικών κατασκευασμένων από ελαστικά, μέταλλα κ.ά. Από την άλλη πλευρά, χάρη στον οξειδωτικό χαρακτήρα του έχει «απολυμαντικές», «απορρυπαντικές» και «αποσμητικές» ιδιότητες και μπορεί να

χρησιμοποιηθεί σε «πράσινες» εφαρμογές, όπως ο βιολογικός καθαρισμός (Μαρούλης κ. συν., 2012).

Στην εικόνα 4 αποτυπώνονται οι περιοχές της τροπόσφαιρας (κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας, 0-15 χλμ.) και της στρατόσφαιρας (άνωτερο στρώμα της ατμόσφαιρας, 16-50 χλμ.), όπου υπάρχει το «κακό» και το «καλό» όζον.



Όζον στην Ατμόσφαιρα της Γης

Εικόνα 4. Το όζον στην ατμόσφαιρα

Πηγή: Ζάνης (2017)

Μετά το 1950 οι τιμές του όζοντος στην τροπόσφαιρα έχουν αυξηθεί ανησυχητικά τόσο στα αστικά κέντρα όσο και σε περιοχές που βρίσκονται μακριά από την επίδραση των ανθρωπογενών εκπομπών ρύπων. Συγκεκριμένα στο βόρειο ημισφαίριο, οι τιμές όζοντος υποβάθρου (δηλαδή πλην των αστικών κέντρων) έχουν υπερδιπλασιαστεί ήδη από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα με την πιο ραγδαία αύξηση να σημειώνεται από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα. Αυτή η εξέλιξη ερμηνεύεται πιθανότατα ως αποτέλεσμα των ενισχυμένων φωτοχημικών αντιδράσεων λόγω της αύξησης των ανθρωπογενών εκπομπών ρύπων. Η Ευρωπαϊκή

Ένωση έχει θέσει ως όριο στα επίπεδα του τροποσφαιρικού όζοντος τα 32 ppb. Στην Ανατολική Μεσόγειο και στην Ελλάδα το όριο αυτό έχει ξεπεραστεί, ωστόσο φαίνεται ότι η βλάστηση στην περιοχή έχει αναπτύξει προσαρμοστικούς μηχανισμούς ανθεκτικότητας (Ζάνης, 2017).

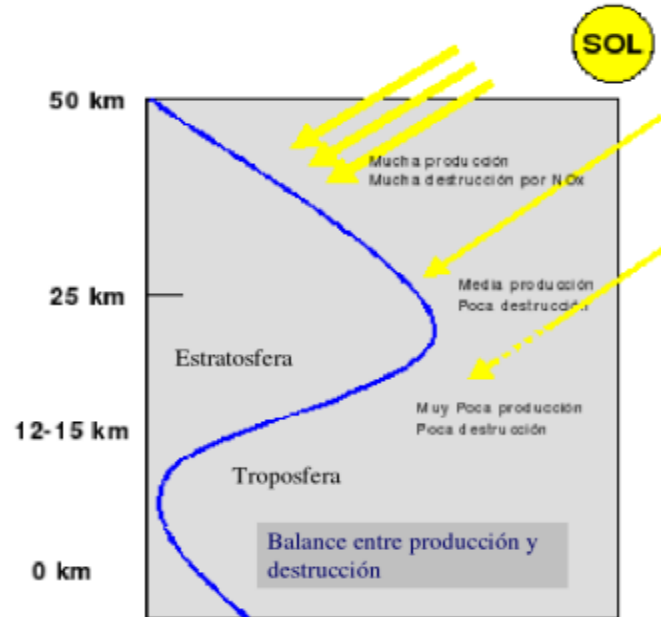
4.2. Το όζον στη στρατόσφαιρα

Στη στρατόσφαιρα βρίσκεται περίπου το 90% του συνολικού όζοντος της ατμόσφαιρας. Είναι γνωστό ως το «καλό» όζον (βλ. παραπάνω εικόνα 4) γιατί προστατεύει από την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία λειτουργώντας ως «φίλτρο» που εμποδίζει τις υπεριώδεις ακτίνες του ήλιου να φθάσουν στην επιφάνεια της γης (Ζάνης, 2017).

Το όζον στη στρατόσφαιρα (O_3) είναι ένα φυσικό αέριο που σχηματίζεται όταν το μόριο οξυγόνου διασπάται από την υπεριώδη ακτινοβολία σε άτομα οξυγόνου. Από την ένωση των ατόμων με άλλο μόριο οξυγόνου προκύπτει το όζον. Αυτή η διαδικασία σχηματισμού ονομάζεται φωτόλυση. Η ισορροπία ανάμεσα στην παραγωγή και την καταστροφή του διατηρεί τη σταθερότητα της συγκέντρωσής του στη στρατόσφαιρα. Ωστόσο, αυτή εξαρτάται από το υψόμετρο. Η μέγιστη ποσότητά του βρίσκεται ανάμεσα στα 19-23 χλμ., ενώ κυρίως παράγεται στον Ισημερινό λόγω της μέγιστης ηλιοφάνειας, από όπου μεταφέρεται μέσω του ανέμου προς τα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη και συσσωρεύεται στη στρατόσφαιρα (Abdullah, 2021).

Η στρατόσφαιρα είναι ένα περίπλοκο σύστημα του οποίου η ισορροπία είναι συνάρτηση της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας, της εισροής ενέργειας μέσω των κατακόρυφα διαδιδόμενων κυμάτων, της θερμοδυναμικής ισορροπίας που προκαλείται από το ίδιο το όζον και της συμβολής των αερίων που μέσω της φωτόλυσης αντιδρούν καταλυτικά με το όζον. Η συγκέντρωση του όζοντος σε πλανητική κλίμακα εξαρτάται από τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία, από τον όγκο των εκπομπών αερίων, από τη δραστηριότητα των κυμάτων και από την ποσότητα των αερολυμάτων στη στρατόσφαιρα. Σε τοπικό επίπεδο, εξαρτάται επίσης από τα μετεωρολογικά συστήματα της τροπόσφαιρας (Gil Ojeda, 2006). Όσον αφορά στην κάθετη κατανομή του όζοντος στη στρατόσφαιρα, αυτή βρίσκεται στη μέγιστη τιμή στο ύψος των 25 χλμ., όπου η σχέση παραγωγής-καταστροφής είναι η μέγιστη (εικόνα 5) Από το σημείο αυτό η παραγωγή αυξάνεται όσο αυξάνεται το ύψος, καθώς υπάρχει μεγαλύτερη διαθέσιμη ποσότητα οξυγόνου. Παράλληλα, αυξάνεται και

επιταχύνεται η φωτοχημική καταστροφή. Κάτω από το όριο των 25 χλμ. η παραγωγή μειώνεται, ενώ η χαμηλή ακτινοβολία και η ελλιπής ποσότητα οξυγόνου μειώνουν τη μέση διάρκεια ζωής του όζοντος σε μερικούς μήνες (Gil Ojeda, 2006).



Εικόνα 5. Η μέγιστη συγκέντρωση όζοντος στη στρατόσφαιρα (25 χλμ.).

Πηγή: Gil Ojeda (2006).

Το επιστημονικό ενδιαφέρον για το στρατοσφαιρικό όζον έχει στραφεί στην απροσδόκητη μαζική καταστροφή του στην περιοχή της Ανταρκτικής μετά το 1985. Οι επιστήμονες Farman, Gardiner και Shanklin, μετά από μετρήσεις 30 ετών, ανακάλυψαν μια σαφή μείωση του όζοντος στην περιοχή της Ανταρκτικής που είχε φθάσει σε ποσοστό 40% το 1984. Στη συνέχεια και άλλοι επιστήμονες επιβεβαίωσαν τα αποτελέσματα αυτά ερμηνεύοντάς τα με βάση τη θεωρία της ενίσχυσης της παρουσίας χλωροφθορανθράκων σε συνδυασμό με τις αντιδράσεις στα πολικά στρατοσφαιρικά σύννεφα. Αυτές οι αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα κυρίως στις νότιες πολικές περιοχές προκαλώντας τον σχηματισμό πυκνότερων πολικών στρατοσφαιρικών συννέφων. Ωστόσο, παρατηρήθηκε ετερογένεια των αντιδράσεων σε βόρειες περιοχές. Το 1989 υποστηρίχθηκε ότι ετερογενείς αντιδράσεις μπορεί να συμβαίνουν σε θεϊκά αερολύματα που υπάρχουν στη στρατόσφαιρα μακριά από τις ψυχρές πολικές περιοχές. Οι αντιδράσεις έχουν ως

αποτέλεσμα τη μετατροπή των οξειδίων του αζώτου σε νιτρικό οξύ και την ενίσχυση του κύκλου των οξειδίων του χλωρίου καθιστώντας πιο ισχυρή την επίδραση του χλωρίου που προστίθεται στην ατμόσφαιρα από τους χλωροφθοράνθρακες. Μια άλλη επίπτωση της ετερογενούς χημείας στα θειικά σωματίδια προκύπτει επειδή οι ηφαιστειακές εκρήξεις εγχέουν μεγάλες ποσότητες θείου στη στρατόσφαιρα. Τα σωματίδια αυτά αλλάζουν σημαντικά τη δυναμική της στρατόσφαιρας λόγω της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας (Stolarski, n.d.).

4.3. Καταστροφή της στιβάδας του όζοντος από τους χλωροφθοράνθρακες

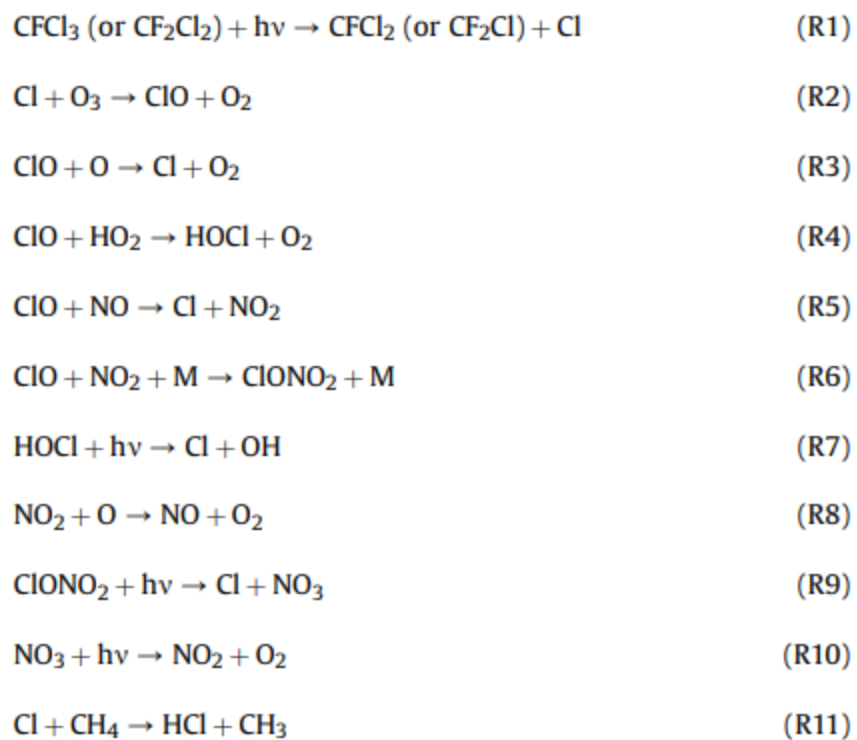
Από το 1973 έγινε γνωστό από την επιστημονική κοινότητα ότι οι χλωροφθοράνθρακες απελευθερώνουν οξείδιο του χλωρίου στη στρατόσφαιρα το οποίο καταστρέφει το προστατευτικό στρώμα του όζοντος. Η στιβάδα του όζοντος αποτελεί την ασπίδα της γης προστατεύοντάς την από την υπεριώδη ακτινοβολία. Αυτό καθιστά την ύπαρξη του όζοντος αναγκαία για τη ζωή στον πλανήτη. Το χλώριο και το βρώμιο επιταχύνουν τη διάσπαση των μορίων όζοντος καταστρέφοντας τη στιβάδα και δημιουργώντας τη λεγόμενη «τρύπα του όζοντος» (OZON report, 2018).

Σύμφωνα με τη μελέτη του Gil Ojeda (2006), η τρύπα του όζοντος είναι μια μαζική και ολοκληρωτική καταστροφή σε ολόκληρη την περιοχή που καλύπτεται από την πολική δίνη της Ανταρκτικής, μέγιστης επιφάνειας περίπου 35 χιλ.². Η πολική δίνη είναι μια δομή πλανητικής κλίμακας που είναι σταθερή κατά τη διάρκεια του χειμώνα και εξαπλώνεται από την τροπόσφαιρα στην υψηλή στρατόσφαιρα. Προκαλείται από την ημισφαιρική κλίση στη στρατόσφαιρα μεταξύ του Ισημερινού και των Πόλων. Στους Πόλους εκτείνεται σε γεωγραφικό πλάτος 60°. Οι ισχυροί κυκλώνες (200km/h) λειτουργούν ως φράγμα για την ανταλλαγή ύλης και ενέργειας μεταξύ μεσαίων και πολικών γεωγραφικών πλατών. Η ύπαρξη της δίνης αυτής είναι μια απαραίτητη συνθήκη μαζικής καταστροφής του όζοντος. Όπως αναφέρει ο Lary (1997), οι μειώσεις του όζοντος σε όλες τις εποχές τόσο στο βόρειο όσο και στο νότιο ημισφαίριο, στα μεσαία και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, παρατηρήθηκαν κατά τη δεκαετία του 1980. Η μεγαλύτερη μείωση δε εμφανίζεται στην κατώτερη στρατόσφαιρα. Η συγκέντρωση του στρατοσφαιρικού όζοντος ελέγχεται από την ισορροπία μεταξύ της παραγωγής και της καταστροφής του. Η τελευταία οφείλεται σε καταλυτικούς κύκλους που περιλαμβάνουν άζωτο, υδρογόνο, χλώριο και βρώμιο. Η

αποτελεσματικότητα αυτών των καταλυτικών κύκλων εξαρτάται από το μήκος της αλυσίδας τους, δηλαδή τον αριθμό των φορών που εκτελείται η λειτουργία του κύκλου, και από την αφθονία της ρίζας, που είναι το κέντρο της αλυσίδας.

Οι μηχανισμοί καταστροφής της στιβάδας του όζοντος αποτελούνται από δύο φάσεις. Η πρώτη φάση λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια του χειμώνα, όταν η στρατόσφαιρα ψύχεται και δημιουργούνται τα Πολικά Στρατοσφαιρικά Σύννεφα (Polar Stratospheric Clouds-PSC), τα οποία έχουν κρίσιμο ρόλο στη διαδικασία σχηματισμού της τρύπας του όζοντος λειτουργώντας ως επιφάνειες όπου παράγονται αντιδράσεις που απελευθερώνουν μοριακό χλώριο. Η δεύτερη φάση ξεκινά με την έλευση των πρώτων ακτίνων του ήλιου οι οποίες προκαλούν τον άμεσο φωτοδιαχωρισμό του μοριακού χλωρίου. Τα άτομα χλωρίου εισέρχονται σε μια σειρά από καταλυτικές αντιδράσεις που δεν χρειάζονται ατομικό οξυγόνο. Το αποτέλεσμα είναι μια ταχεία καταστροφή του όζοντος η οποία αρχικά εκδηλώνεται στην εξωτερική ζώνη και στα υψηλότερα στρώματα και γρήγορα εξαπλώνεται στο εσωτερικό την περίοδο της άνοιξης καθώς ο ήλιος φθάνει σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Σε λιγότερο από ένα μήνα η καταστροφή είναι συνολική στη στιβάδα σε έκταση από 13 έως 24 χλμ. (Gil Ojeda, 2006).

Στην καταστροφή της στιβάδας του όζοντος έχουν συμβάλει οι εκπομπές χλωροφθορανθράκων. Η χημική αδράνεια των χλωροφθορανθράκων τους επιτρέπει να παραμένουν για δεκάδες έως εκατοντάδες χρόνια στην ατμόσφαιρα. Η μόνη καταβόθρα για τους CFCs είναι η στρατόσφαιρα. Όταν μεταφερθούν εκεί μπορούν να καταστραφούν φωτοχημικά μέσω της υπεριώδους φωτόλυσης και από τα άτομα οξυγόνου. Από τη φωτοχημική αντίδραση το παραγόμενο άτομο χλωρίου (Cl) που εξάγεται από CFC μπορεί στη συνέχεια να καταστρέψει καταλυτικά το όζον. Βασικοί μηχανισμοί καταστροφής του όζοντος από το χλώριο μπορεί να είναι καταλυτικοί κύκλοι του R2-R3. Επιπλέον το προϊόν αντίδρασης μπορεί να αντιδράσει με HOx και NOx καταλυτικά καταστρέφοντας το όζον στη στρατόσφαιρα. Έτσι, η καταλυτική καταστροφή του όζοντος από CFC-11 (CFCl₃) ή CFC-12 (CF₂Cl₂) μπορεί να συνοψιστεί στον παρακάτω πίνακα 1 (Kim et al., 2011).



Πίνακας 1. Καταλυτικές αντιδράσεις χλωροφθορανθράκων

Πηγή: Kim et al. (2011)

Κεφάλαιο 5^ο

Διαχρονική Μεταβολή συγκεντρώσεων CFC- 11, CFC- 12, CFC- 113, CCl₄, SF₆ και N₂O στην ατμόσφαιρα κατά τη χρονική περίοδο 1765- 2015

5.1 Εισαγωγή

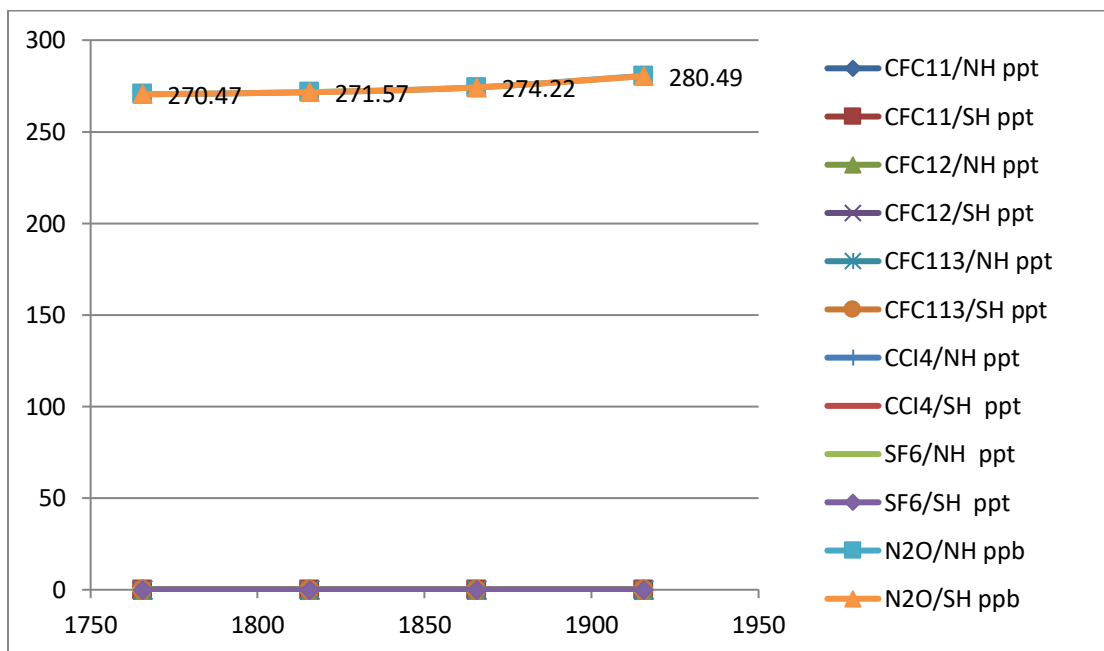
Οι πρώτοι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) παρήχθησαν στις αρχές του 20^{ου} αιώνα και από τότε οι ατμοσφαιρικές τους συγκεντρώσεις έχουν αυξηθεί δραματικά. Η παραγωγή του τετραχλωράνθρακα (CCl₄) ξεκίνησε περίπου δύο δεκαετίες πριν από την παραγωγή των πρώτων CFC και η συγκέντρωσή του έχει αυξηθεί με παρόμοιο τρόπο. Τα αέρια αυτά περνούν από την ατμόσφαιρα στο επιφανειακό στρώμα των ωκεανών σε χρονική κλίμακα ενός μήνα περίπου μέσω της ανταλλαγής αερίων επιφανειακών υδάτων. Η χρονική διακύμανση των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων των τεσσάρων στοιχείων CFC-11, CFC-12, CFC-113 και CCl₄ εμφανίζει τα γενικά πρότυπα ανάπτυξης και αποσύνθεσης που είναι αναμενόμενα δεδομένης της ιστορίας της βιομηχανικής χρήσης τους. Γενικά, η αναλογία ανάμιξης κάθε αερίου έχει αρχικά αυξηθεί εκθετικά για αρκετά χρόνια, ακολουθούμενη από μια περίοδο πιο γραμμικής ανάπτυξης. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες ο ρυθμός αύξησης μειώθηκε απότομα καθώς περιορίστηκε η βιομηχανική παραγωγή. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, οι συγκεντρώσεις στο βόρειο ημισφαίριο των CFC- 11, CFC- 113 και CCl₄ έχουν αρχίσει να μειώνονται. Αντίθετα, οι συγκεντρώσεις του CFC-12 συνεχίζουν να αυξάνονται. Αυτό πιθανόν οφείλεται στο γεγονός ότι χρησιμοποιείται σε μακροχρόνιες εφαρμογές, όπως στην ψύξη. Επομένως, είναι αναμενόμενη μια συνεχιζόμενη ροή του CFC-12 στην τροπόσφαιρα, παρόλο που σε μεγάλο ποσοστό η παραγωγή του έχει σταματήσει (Walker et al., 2000).

5.2 Διαχρονική μεταβολή

Σύμφωνα με τη μελέτη του Bullister (2015), που εξετάζει τη διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των χλωροφθορανθράκων CFC- 11, CFC- 12, CFC- 113, CCl₄, SF₆ και N₂O την περίοδο 1765-2015, τα παγκόσμια ατμοσφαιρικά προγράμματα παρακολούθησης για τα στοιχεία CFC- 11, CFC- 12, CFC- 113 και CCl₄ ξεκίνησαν στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και στις αρχές της δεκαετίας του 1980. Οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις πριν

από την περίοδο αυτή υπολογίζονται βάσει εκτιμήσεων της ετήσιας βιομηχανικής παραγωγής και των εκπομπών αυτών των στοιχείων σε συνδυασμό με τον ατμοσφαιρικό κύκλο ζωής καθενός από αυτά. Ο Bullister καταγράφει τις μέσες τιμές συγκεντρώσεων των τροποσφαιρικών CFC- 11, CFC- 12, CFC- 113 στο βόρειο (NH) και στο νότιο ημισφαίριο (SH) και των CCl₄, SF₆ και N₂O στη μέση περίοδο κάθε έτους, δηλαδή από το 1765,5 έως το 2015,5. Αυτές εκφράζονται ως η αναλογία ανάμιξης του ιχνοαερίου σε ξηρό αέρα. Οι τιμές συγκέντρωσης αναφέρονται σε μέρη ανά τρισεκατομμύριο (ppt) για τα στοιχεία CFC- 11, CFC- 12, CFC- 113, CCl₄, SF₆ και σε μέρη ανά δισεκατομμύριο (ppb) για το N₂O. (Στο Παράρτημα παρατίθεται ο πίνακας των τιμών συγκέντρωσης των παραπάνω στοιχείων κατά την προαναφερόμενη περίοδο).

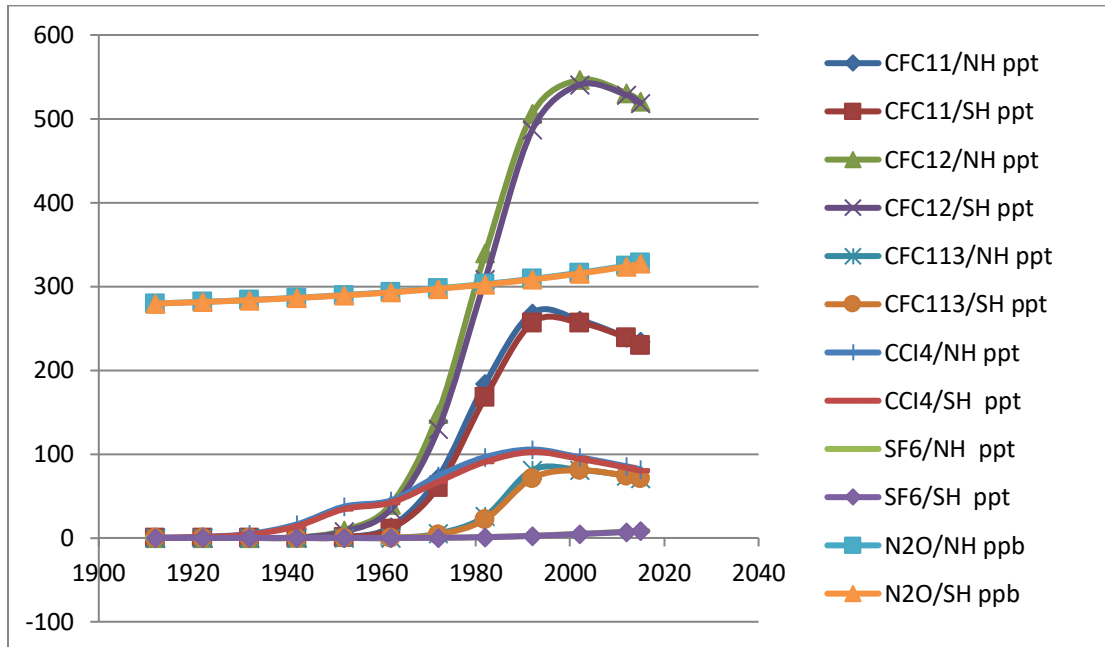
Στο γράφημα 1 αποτυπώνονται οι τιμές στις διαχρονικές μεταβολές των χλωροφθορανθράκων ανά 50 έτη για την περίοδο 1750-1950 (Bullister, 2015).



Γράφημα 1. Οι διαχρονικές μεταβολές των χλωροφθορανθράκων ανά 50 έτη (1750-1950)

Πηγή: Bullister (2015)

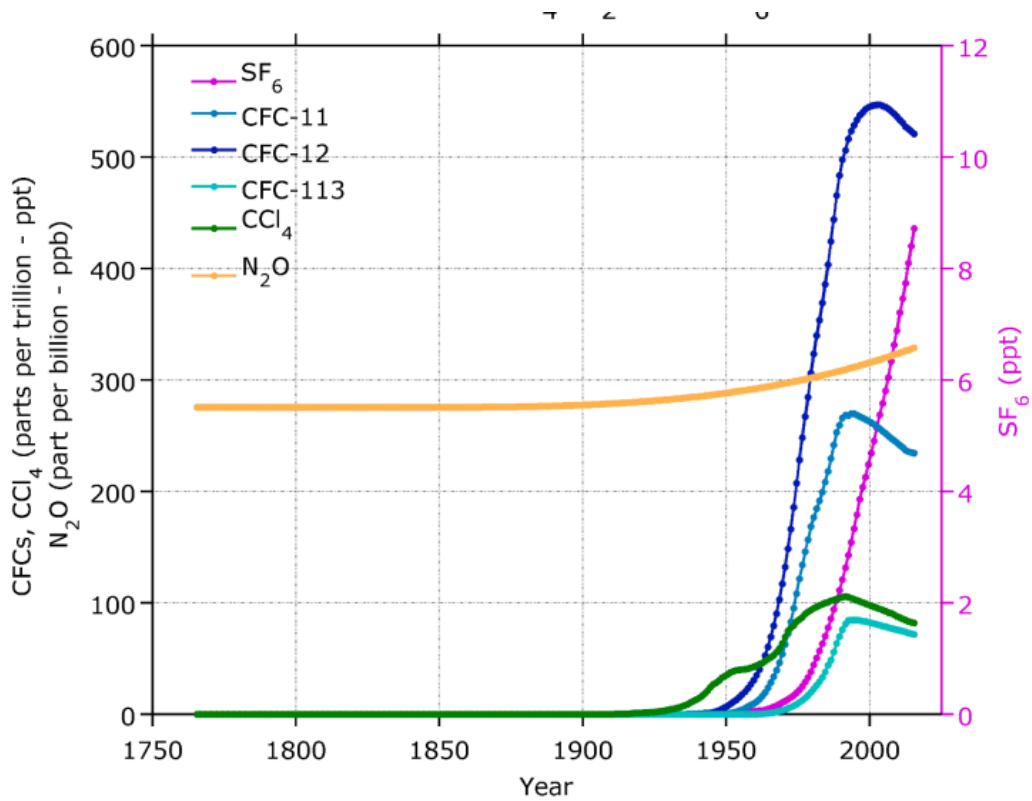
Στο γράφημα 2 αποτυπώνονται οι διαχρονικές μεταβολές των χλωροφθορανθράκων ανά 20 έτη για την περίοδο 1900-2020 (Bullister, 2015).



Γράφημα 2. Οι διαχρονικές μεταβολές των χλωροφθορανθράκων ανά 20 έτη (1900-2020)

Πηγή: Bullister (2015)

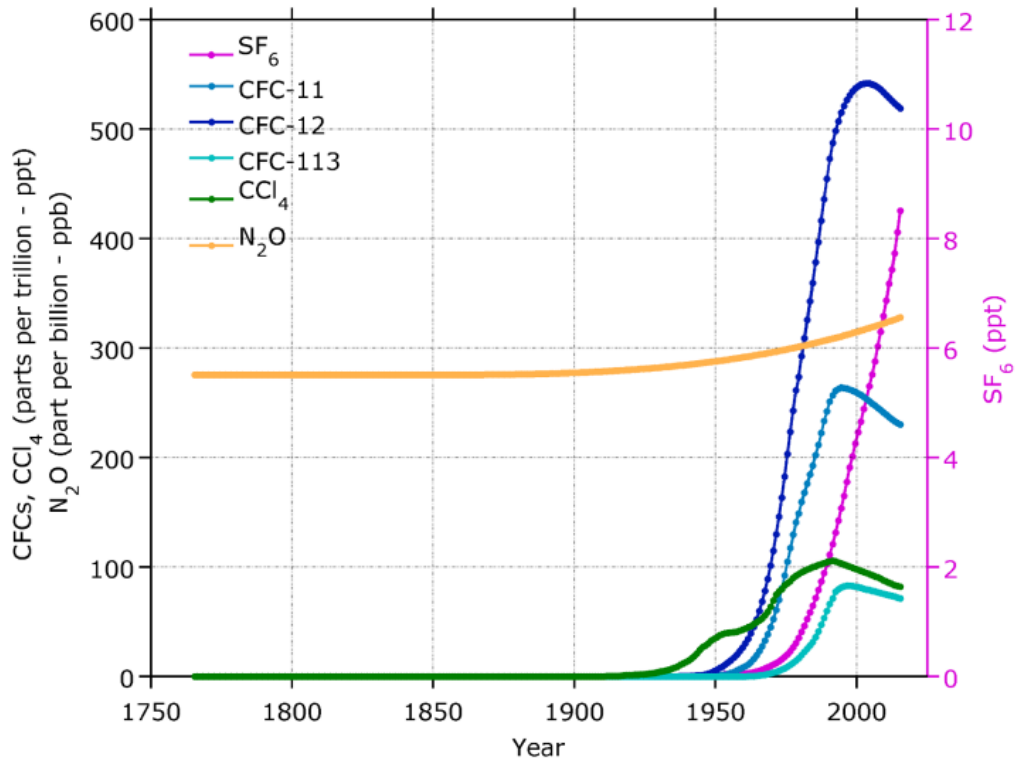
Στην εικόνα 6 απεικονίζονται οι συγκεντρώσεις στο βόρειο ημισφαίριο, από το 1750 έως το 2000. Τα CFC- 11, CFC- 12, CFC- 113, CCl₄, SF₆ εμφανίζονται από τη δεκαετία του 1910 ενώ από τη δεκαετία του 1940 ξεκινά η άνοδος των συγκεντρώσεων η οποία αυξάνεται ραγδαία τις επόμενες δεκαετίες. Η συγκέντρωση του N₂O είναι σχεδόν σταθερή από το 1750 έως και τη δεκαετία του 1940, ενώ τα επόμενα χρόνια αυξάνεται σταδιακά.



Εικόνα 6. Ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις στο βόρειο ημισφαίριο (1750 - 2000) των CFC-11, CFC- 12, CFC- 113, CCl₄, SF₆ και N₂O

Πηγή: Bullister (2015)

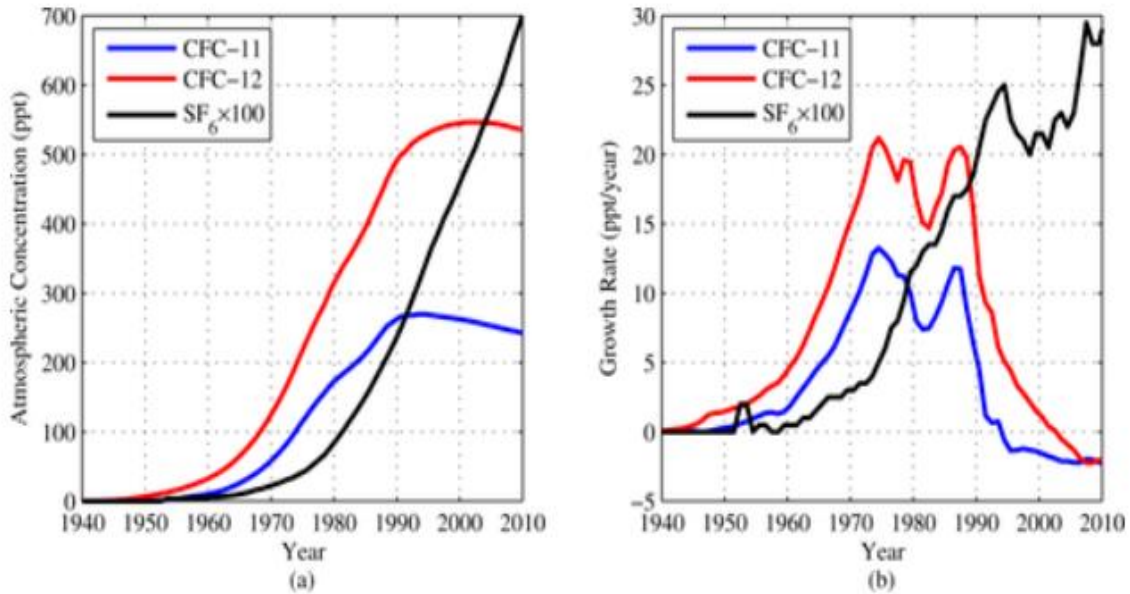
Στην εικόνα 7 απεικονίζονται οι συγκεντρώσεις στο νότιο ημισφαίριο, από το 1750 έως το 2000. Τα CFC- 11, CFC- 12, CFC- 113, CCl₄, SF₆ εμφανίζονται από τη δεκαετία του 1910 ενώ από τη δεκαετία του 1940 ξεκινά η άνοδος των συγκεντρώσεων η οποία αυξάνεται ραγδαία τις επόμενες δεκαετίες. Η συγκέντρωση του N₂O είναι σχεδόν σταθερή από το 1750 έως και τη δεκαετία του 1940, ενώ τα επόμενα χρόνια αυξάνεται σταδιακά.



Εικόνα 7. Ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις στο νότιο ημισφαίριο (1750 - 2000) των CFC-11, CFC- 12, CFC- 113, CCl₄, SF₆ και N₂O

Πηγή: Bullister (2015)

Τα ανθρωπογενή αέρια, όπως οι χλωροφθοράνθρακες CFC-11, CFC-12 έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς ως ιχνηθέτες του ωκεάνιου αερισμού. Αυτές οι ενώσεις έχουν απελευθερωθεί σε ανιχνεύσιμες ποσότητες από τη δεκαετία του 1940 και έχουν αναλογίες ατμοσφαιρικής ανάμιξης των οποίων το χρονικό ιστορικό μπορεί να εκτιμηθεί από παρατηρήσεις ή να συναχθεί από την ανθρωπογενή δραστηριότητα. Λόγω των μέτρων που ελήφθησαν ως αποτέλεσμα του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ το 1987, οι συγκεντρώσεις CFC στην ατμόσφαιρα έχουν αρχίσει να μειώνονται. Οι τεχνικές ανάχνευσης έχουν επεκταθεί έχοντας συμπεριλάβει το εξαφθοριούχο θείο (SF₆), ένα άλλο ανθρωπογενές αέριο που έχει απελευθερωθεί με εκθετικά αυξανόμενο τρόπο από τα μέσα της δεκαετίας του 1950. Στην εικόνα 8 αποτυπώνεται η κατακόρυφη αύξηση των συγκεντρώσεων των στοιχείων CFC-11, CFC-12 και SF₆, από το 1940 έως το 2010 (Shao et al., 2013).



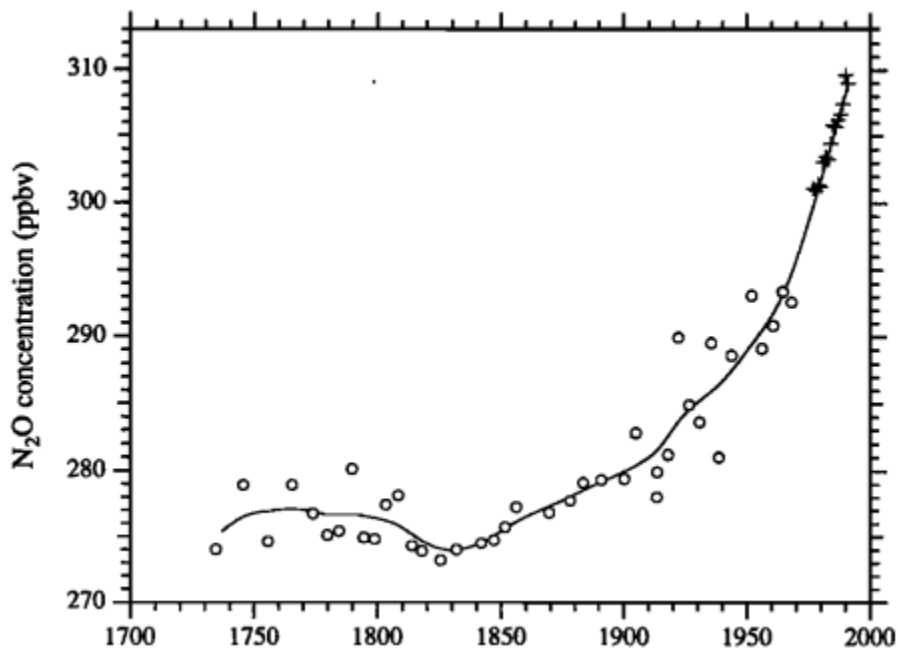
Εικόνα 8. (α) Ιστορικό των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων των CFC-11, CFC-12 και SF₆ (1940-2010)

(β) Ιστορικό του ατμοσφαιρικού ρυθμού αύξησης των CFC-11, CFC-12 και SF₆ (1940-2010)

Πηγή: Shao et al. (2013)

Όπως προκύπτει από τη μελέτη των Shao et al. (2013), οι οριακές συνθήκες μικτού στρώματος των αερίων CFC-11, CFC-12 και SF₆, που χρησιμοποιούνται για τη διάγνωση του ωκεάνιου αερισμού έχουν τόσο χωρική όσο και χρονική μεταβλητότητα στις καταστάσεις κορεσμού αερίων, επειδή η ανταλλαγή αερίων μπορεί να μη συμβαδίζει με τις συνθήκες ισορροπίας. Σημαντικά επίπεδα υποκορεσμού CFC και SF₆ μπορεί να εμφανιστούν, ιδιαίτερα καθώς τα μικτά στρώματα βαθαίνουν και ψύχονται κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Χρησιμοποιώντας ως παράδειγμα τον βόρειο Ειρηνικό, τα αποτελέσματα της μελέτης υποδηλώνουν ότι αυτοί οι υποκορεσμοί μπορούν να εξηγηθούν κυρίως από τον εγκλωβισμό υδάτων ιχνηθέτη χαμηλής συγκέντρωσης κάτω από το μικτό στρώμα και από τον εποχιακό κύκλο στις διαλυτότητες αερίων που εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, που αποτελεί και τη βασική αιτία για την παρουσία CFC από το 1985 περίπου.

Σύμφωνα με τη μελέτη των Machida et al. (1995), οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις του N₂O των τελευταίων 250 χρόνων προέκυψαν με ανάλυση του πυρήνα πάγου¹ από την Ανταρκτική και οι μέσες ετήσιες τιμές από άμεσες ατμοσφαιρικές μετρήσεις στον Νότιο Πόλο για την περίοδο 1977-1991. Οι συγκεντρώσεις του N₂O τον 18ο αιώνα είναι ελαφρώς διάσπαρτες αλλά σχετικά σταθερές, με μέση τιμή 276±2 ppbv, η οποία θεωρείται πολύ κοντά στα προβιομηχανικά επίπεδα της ατμοσφαιρικής συγκέντρωσης N₂O. Αποτελέσματα των αναλύσεων ενός πυρήνα πάγου στην Ανταρκτική έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις του N₂O το 1795 και το 1639 μ.Χ. ήταν περίπου 274 και 270 ppbv αντίστοιχα (Εικόνα 9).



Εικόνα 9. Ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις N₂O (1700-2000)

Πηγή: Machida et al. (1995)

Μετά από μια ελαφρά μείωση στις αρχές του 19^{ου} αιώνα, οι συγκεντρώσεις του N₂O αυξάνονται και φθάνουν τα 293 ppbv στα μέσα της δεκαετίας του 1960. Η αύξηση της τάσης της συγκέντρωσης N₂O που προέρχεται από τον πυρήνα H15 συνδέεται με τις

¹ «Η ανάλυση των πυρήνων πάγου-γνωστών και ως ‘καρότων’ πάγου-αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες και αξιόπιστες μεθόδους μελέτης του κλίματος του παρελθόντος, καθώς περιλαμβάνει δείγματα της σύστασης της αρχαίας ατμόσφαιρας».

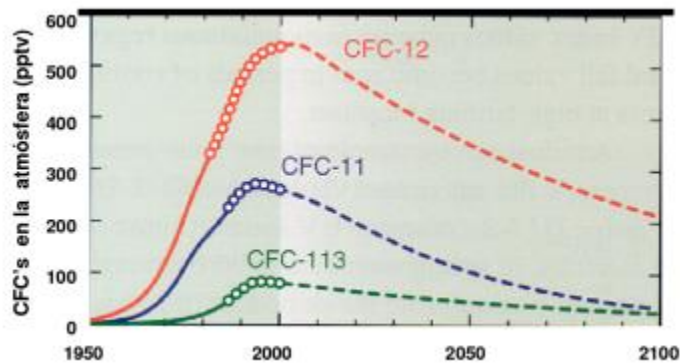
άμεσες μετρήσεις στον Νότιο Πόλο. Οι τιμές συγκέντρωσης μεταξύ 1900 και 1960 είναι κάπως διάσπαρτες, αν και τα δεδομένα CO₂ και CH₄ που ελήφθησαν από τον πυρήνα H15 έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις τους αυξήθηκαν ομαλά κατά την περίοδο αυτή. Η αιτία μιας τέτοιας μεταβλητότητας δεν είναι ακόμα σαφής. Όσον αφορά στη μικρή μείωση στη συγκέντρωση του N₂O στις αρχές του 19^{ου} αιώνα, οι θερμοκρασίες του αέρα στο βόρειο ημισφαίριο, που εκτιμήθηκαν με βάση τις αναλύσεις δακτυλίων δέντρων, βρέθηκαν σχετικά χαμηλές κατά την ίδια περίοδο. Δεδομένου ότι η απελευθέρωση του N₂O λόγω μικροβιακών διεργασιών από φυσικές πηγές εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία, η παρατηρούμενη μείωση της συγκέντρωσης N₂O πιθανώς να αποδοθεί σε μείωση της φυσικής απελευθέρωσης N₂O λόγω χαμηλών θερμοκρασιών του αέρα (Machida et al., 1995).

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1990 σημειώνεται μείωση στις συγκεντρώσεις των δύο κυριότερων CFCs, του CFC-11 και του CFC-113, γεγονός που οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ (1987), τη διεθνή συμφωνία που συνέβαλε στη μείωση της χρήσης των χλωροφθορανθράκων. Γενικότερα στοιχεία της συγκέντρωσης χλωροφθορανθράκων μετά το 1990 μας δίνει η Φωτιάδη (χ.χ.).

- Το 2011 η συγκέντρωση του CFC-11 ήταν 237.7 ppt, δηλαδή μειώθηκε κατά 12.9 ppt από το 2005.
- Αντίστοιχα, η συγκέντρωση του CFC-113 ήταν 74.3 ppt, δηλαδή μειώθηκε κατά 4.3 ppt από το 2005.
- Το 2011 η συγκέντρωση του CFC-12 ήταν 528.5 ppt, δηλαδή μειώθηκε κατά 13.8 ppt από το 2005.
- Η συγκέντρωση του SF₆ το 2011 ήταν 7.29 ppt.
- Ο τετραχλωράνθρακας CCl₄ άρχισε να μειώνεται ταχύτατα μετά το 1990, όταν παρουσίασε τη μέγιστη τιμή. Τα επίπεδα συγκέντρωσής του είναι υψηλότερα στο βόρειο ημισφαίριο όπου οι εκπομπές του είναι μεγαλύτερες. Το 2011 η συγκέντρωση ήταν 85.8 ppt, μειώθηκε δηλαδή κατά 7.4 ppt από το 2005.

Οι επιστημονικές προβλέψεις για τον «καθαρισμό» της ατμόσφαιρας με την απομάκρυνση των χλωροφθορανθράκων υποστηρίζουν ότι το εγχείρημα αυτό θα χρειαστεί δεκαετίες δεδομένου ότι υπάρχουν και άλλα στοιχεία όπως τα αλογόνα, των οποίων η συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα αυξάνεται. Ωστόσο, θεωρείται ότι η κατάσταση δεν μπορεί να

εξομαλυνθεί τουλάχιστον πριν τα μέσα του 21^{ου} αιώνα, χωρίς τα προγνωστικά μοντέλα να είναι σε θέση να προβλέψουν με ακρίβεια κάτι τέτοιο. Η αβεβαιότητα αυτή συνδέεται με την ύπαρξη των στοιχείων αυτών στη στρατόσφαιρα που προκαλείται από τις απρόβλεπτες ηφαιστειακές εκρήξεις, τη μείωση της θερμοκρασίας ή την αποτελεσματικότητα στην απομάκρυνση προϊόντων βρωμίου μεταξύ άλλων (Gil Ojeda (2006). Στην εικόνα 10 αποτυπώνονται οι συγκεντρώσεις χλωροφθορανθράκων στην ατμόσφαιρα από το 1950 και η εξέλιξή τους σύμφωνα με τα προγνωστικά μοντέλα έως το 2100.



Εικόνα 10. Συγκεντρώσεις χλωροφθορανθράκων στην ατμόσφαιρα και προβλεπόμενη εξέλιξη σύμφωνα με τα προγνωστικά μοντέλα (1950-2100)

Πηγή: WMO (2003)

Κεφάλαιο 6^ο

Βιώσιμες λύσεις - Αντικαταστάτες

6.1 Εισαγωγή

Η αντιμετώπιση των επιπτώσεων που προκαλούνται από το ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου και την υπερθέρμανση του πλανήτη αποτελούν ζητήματα επιτακτικής αντιμετώπισης τόσο από την επιστημονική όσο και από την πολιτική κοινότητα.

Όπως υποστηρίζει ο Schneider (2003), υπάρχουν τρεις κατηγορίες ενεργειών που θα πρέπει να εξεταστούν ώστε να επιτευχθεί ο μετριασμός της κλιματικής αλλαγής. Η πρώτη σχετίζεται με μηχανικά αντίμετρα, δηλαδή με σκόπιμες παρεμβάσεις στο περιβάλλον για την ελαχιστοποίηση των πιθανών επιπτώσεων. Ως παράδειγμα αναφέρει τη σκόπιμη εξάπλωση σκόνης στη στρατόσφαιρα ώστε να αντανakλά πρόσθετο ηλιακό φως και να ψύχει το κλίμα ως αντίμετρο στη θέρμανση από το διοξείδιο του άνθρακα. Η δεύτερη κατηγορία, που τείνει να είναι αποδεκτή από πολλούς οικονομολόγους, είναι η προσαρμογή της κοινωνίας στις περιβαλλοντικές αλλαγές. Αυτή προϋποθέτει την ανάπτυξη υποδομών που θα είναι ικανές να αντιμετωπίσουν τις μεγάλες κλιματικές αλλαγές. Στηρίζεται δε στο επιχείρημα ότι οι διαχειριστές της κλιματικής αλλαγής θα πρέπει να περιμένουν να δουν τι πρόκειται να συμβεί πριν πραγματοποιήσουν περιττές επενδύσεις. Η τρίτη κατηγορία ενεργειών για τη διαχείριση της κλιματικής αλλαγής αφορά στην πρόληψη. Αυτή μπορεί να επιτευχθεί με την υιοθέτηση μηχανισμών απομάκρυνσης του θείου σε περίπτωση όξινης βροχής, με την εγκατάλειψη της χρήσης χλωροφθορανθράκων και άλλων επιβλαβών αερίων, με τη μείωση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων και την αντικατάστασή τους από εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Ωστόσο, οι πολιτικές πρόληψης είναι αμφιλεγόμενες, καθώς περιλαμβάνουν σημαντικές άμεσες επενδύσεις για πιθανές περιβαλλοντικές αλλαγές που δεν μπορούν να προβλεφθούν με ακρίβεια.

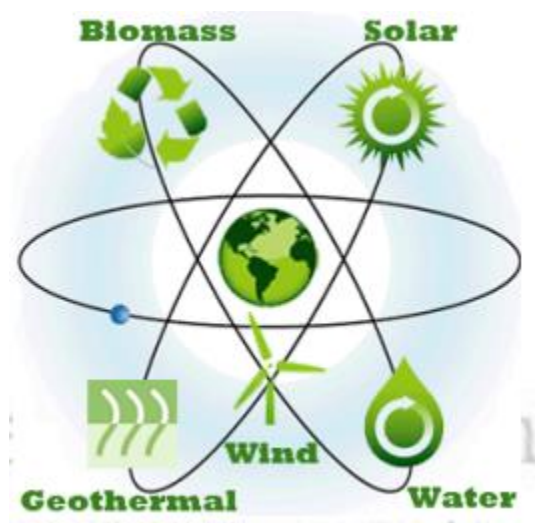
6.2 Προτεινόμενες βιώσιμες λύσεις

Υπάρχει μια γενική συναίνεση στο ζήτημα του μετριασμού των επιπτώσεων του φαινομένου του θερμοκηπίου ως παράγοντα βιωσιμότητας του πλανήτη. Η Ένωση

Επιστημόνων UOCS επισημαίνει ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου πρέπει να μειωθούν τουλάχιστον κατά 80% έως τα μέσα του 21^{ου} αιώνα και προτείνει τις ακόλουθες βιώσιμες λύσεις (Union of Concerned Scientists, 2011):

- ✚ Ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης: η ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση και την ψύξη των σπιτιών, των επιχειρήσεων και των βιομηχανιών είναι ο κυριότερος παράγοντας της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Οι τεχνολογίες ενεργειακής απόδοσης επιτρέπουν τη χρήση λιγότερης ενέργειας για την επίτευξη του ίδιου ή υψηλότερου επιπέδου παραγωγής, εξυπηρέτησης και άνεσης, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται το ενεργειακό κόστος.
- ✚ Σταδιακή κατάργηση της ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα: η δραματική μείωση της χρήσης ορυκτών καυσίμων, ιδίως άνθρακα, είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να σταματήσει η κατασκευή νέων σταθμών παραγωγής ενέργειας μέσω της καύσης άνθρακα, να ξεκινήσει η σταδιακή διακοπή λειτουργίας των εργοστασίων άνθρακα και να καταγραφούν και να αποθηκευτούν οι εκπομπές άνθρακα από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι πολύ ενθαρρυντικό το γεγονός ότι υπάρχει ήδη η τεχνολογία υπόγειας αποθήκευσης εκπομπών άνθρακα. Η τεχνολογία αυτή δεν έχει αναπτυχθεί σε μεγάλη κλίμακα ούτε έχει αποδειχθεί ασφαλής και μόνιμη, ωστόσο έχει δοκιμαστεί σε άλλα πλαίσια όπως η ανάκτηση πετρελαίου και φυσικού αερίου.
- ✚ Διερεύνηση της πυρηνικής ενέργειας: καθώς η πυρηνική ενέργεια οδηγεί σε μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, η αυξημένη συμμετοχή της στο ενεργειακό μίγμα θα μπορούσε να συμβάλει στη μείωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Ωστόσο, υπάρχει κάποια επιφυλακτικότητα ως προς την αξιοποίησή της καθώς ένα πυρηνικό ατύχημα μπορεί να προκαλέσει τεράστια βλάβη στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Στην πυρηνικήσχάση ως εναλλακτική λύση της χρήσης ορυκτών καυσίμων αναφέρεται ο Welles (2020), αν και επισημαίνει τους κινδύνους από ένα πιθανό ανθρώπινο λάθος.
- ✚ Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, η γεωθερμική, η αιολική, η βιοενέργεια, είναι διαθέσιμες σε όλο τον κόσμο. μελέτες

δείχνουν ότι η δυναμική τους είναι ικανή να καλύψει τη συντριπτική πλειοψηφία των ενεργειακών αναγκών του πλανήτη. Οι ανανεώσιμες τεχνολογίες μπορούν να αναπτυχθούν γρήγορα, να είναι όλο και πιο αποδοτικές, να έχουν χαμηλό κόστος, να δημιουργήσουν θέσεις εργασίας, επιτυγχάνοντας τη μείωση των επιπέδων ρύπανσης. Ωστόσο, όπως υποστηρίζει ο Welles (2020), οι κυρίαρχες βιομηχανίες αντιστέκονται στην εφαρμογή των καθαρών συστημάτων ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική (εικόνα 11).



Εικόνα 11. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
Πηγή: Shahzad (2015)

- ✚ Ανάπτυξη νέων τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και μηδενικού άνθρακα: η έρευνα και η ανάπτυξη της επόμενης γενιάς τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών άνθρακα είναι ζωτικής σημασίας για τον μετριασμό των επιπτώσεων από την υπερθέρμανση της γης. Η νέα τεχνολογία μπαταριών, τα νέα υλικά για ηλιακά κύτταρα, η αξιοποίηση ενέργειας από νέες πηγές, όπως βακτήρια και φύκη, και άλλοι καινοτόμοι τομείς θα μπορούσαν να συμβάλουν σημαντικά. Ο Shahzad (2015) επισημαίνει ότι η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση υλικών, όπως η χρήση επαναφορτιζόμενων μπαταριών, η χρήση συμπαγών λαμπτήρων

φθορισμού αντί για λαμπτήρες πυρακτώσεως κ.ά., θα συμβάλουν σημαντικά στον μετριασμό της υπερθέρμανσης.

- ✚ Οικολογικές (πράσινες) μεταφορές: οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που προκαλούνται από τις μεταφορές έχουν αυξηθεί με ταχύτερο ρυθμό από οποιονδήποτε άλλο τομέα που χρησιμοποιεί ενέργεια την τελευταία δεκαετία. Σε όλους τους τρόπους μεταφοράς υπάρχουν βιώσιμες λύσεις οι οποίες συγχρόνως συμβάλλουν στη βελτίωση της αποδοτικότητας. Η μετάβαση σε καύσιμα χαμηλών εκπομπών άνθρακα και τα έξυπνα συστήματα μαζικών μεταφορών επιτρέπουν την οικολογική ανάπτυξη των μεταφορών. Όπως αναφέρει ο Shahzad (2015), μια πιθανή λύση για τη μείωση των εκπομπών είναι ο περιορισμός της χρήσης οχημάτων. Αρκετοί άνθρωποι χρησιμοποιούν ποδήλατα και τα μέσα μαζικής μεταφοράς, αν και οι περισσότεροι δεν αντιμετωπίζουν θετικά την αλλαγή της συνήθειας της μετακίνησης με ιδιωτικό όχημα. Ωστόσο, η χρήση των οχημάτων θα πρέπει να γίνεται με λήψη προληπτικών μέτρων που μπορούν να μετριάσουν τις εκπομπές επιβλαβών αερίων, όπως για παράδειγμα η διατήρηση των φουσκωμένων ελαστικών, η συχνή αντικατάσταση φίλτρου αέρα, η μετακίνηση προς την εργασία περισσότερων εργαζομένων με ένα όχημα.

Στον τομέα των μεταφορών είναι εύλογο ότι η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μπορεί να επιτευχθεί με τη βελτίωση της απόδοσης των συστημάτων μεταφοράς. Μελέτη που αφορά στις μεταφορές του Καναδά επιβεβαιώνει ότι η διαχείριση της αποτελεσματικότητας των δικτύων μεταφορών, όπως τα ευφυή συστήματα ITS, ο συγχρονισμός των σημάτων κυκλοφορίας, η επιβολή ορίου ταχύτητας, οι λωρίδες υψηλής κυκλοφορίας, μπορούν να μειώσουν τις συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα του Καναδά κατά 12%, μειώσεις που απαιτούνται για τη συμμόρφωση στο Πρωτόκολλο του Κιότο. Εκτός από την τεχνολογία των οχημάτων και την αποτελεσματικότητα των δικτύων μεταφοράς, η χρήση των διαφόρων τύπων καυσίμων συνεισφέρει σε διαφορετικό βαθμό στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Για τον λόγο αυτό επιδιώκεται η αύξηση της παραγωγής των βιοκαυσίμων. Από το 2007 έως το 2022 υπολογίζεται μια αύξηση σε ποσοστό 666%. Ωστόσο, αν και οι εκπομπές αυτού του προϊόντος μπορεί να είναι λιγότερες, στην πραγματικότητα οι διαδικασίες παραγωγής, η αλλαγή στη

χρήση της γης, η απαιτούμενη ενέργεια, είναι παράγοντες που ενδεχομένως να ενισχύσουν περισσότερο το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Schmidt, 2008).

Μια εναλλακτική λύση καυσίμων θεωρείται το υδρογόνο. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει υιοθετήσει τη Στρατηγική της παραγωγής καθαρού υδρογόνου. Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη, ως καύσιμο ή ως φορέας ενέργειας και έχει πολλές πιθανές εφαρμογές στους τομείς των μεταφορών, της ενέργειας και των κατασκευών που θα μπορούσαν να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Στο σχέδιο οικονομικής ανάκαμψης της Ευρωπαϊκής Επιτροπής «Επόμενη Γενιά ΕΕ» τονίζεται το υδρογόνο ως επενδυτική προτεραιότητα για την τόνωση της οικονομικής ανάπτυξης και την ανθεκτικότητα, τη δημιουργία θέσεων εργασίας και την εδραίωση της παγκόσμιας ηγετικής θέσης της Ε.Ε. Έως το 2024 προβλέπεται η εγκατάσταση τουλάχιστον 6GW ανανεώσιμων ηλεκτρολυτών υδρογόνου και η παραγωγή τουλάχιστον 1 εκατομμυρίου τόνων ανανεώσιμου υδρογόνου. Από το 2025 έως το 2030, το υδρογόνο θα πρέπει να γίνει αναπόσπαστο μέρος του ενεργειακού συστήματος με τουλάχιστον 40GW ανανεώσιμων ηλεκτρολυτών υδρογόνου και να παραχθούν έως 10 εκατομμύρια τόνοι ανανεώσιμου υδρογόνου στην Ε.Ε. Από το 2030 και εξής, το υδρογόνο θα αναπτυχθεί σε όλους τους τομείς με σκοπό τη μείωση του διοξειδίου του άνθρακα (European Commission, 2020).

- ✚ Διαχείριση των δασών και της γεωργίας: συνολικά η αποψίλωση των τροπικών δασών και οι εκπομπές από τις δραστηριότητες της γεωργίας αντιπροσωπεύουν το 30% των παγκόσμιων εκπομπών παγίδευσης της θερμότητας. Μειώνοντας αυτές τις εκπομπές είναι δυνατό να μετριαστεί η υπερθέρμανση του πλανήτη που προκαλείται από την αποψίλωση και υποβάθμιση των δασών (Union of Concerned Scientists, 2011).
- ✚ Αναφορικά με τις εκπομπές που προέρχονται από τις ανθρωπογενείς γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες, οι ειδικοί προτείνουν εναλλακτικές λύσεις. Για παράδειγμα, στους ορυζώνες θα μπορούσε να εφαρμοστεί η άρδευση και η στράγγιση δύο έως τρεις φορές κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της παραγωγής και έκλυσης μεθανίου χωρίς να επηρεάζεται η απόδοση της καλλιέργειας. Συγχρόνως, η επιλογή αυτή

εξοικονομεί νερό και είναι πιο οικονομική. Στην κτηνοτροφία θα μπορούσαν να υιοθετηθούν εναλλακτικοί τύποι ζωοτροφών και η λύση της κομποστοποίησης της κοπριάς ή η χρησιμοποίησή της για παραγωγή βιοαερίου (UNEP, 2021).

- ✚ Η μείωση των απορριμμάτων, η ανακύκλωση και η κομποστοποίηση: με τις μεθόδους αυτές επιτυγχάνεται η εξοικονόμηση ενέργειας στην επεξεργασία υλικών για βιομηχανική και καταναλωτική χρήση και η μείωση της ροής υλικών, ιδίως τροφίμων και άλλων οργανικών αποβλήτων, σε χώρους υγειονομικής ταφής όπου η αναερόβια αποσύνθεση παράγει μεθάνιο. Προτείνονται επίσης η αγορά προϊόντων με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, η στροφή προς τις τοπικές αγορές για τη μείωση των μεταφορών.
- ✚ Διασφάλιση της βιώσιμης ανάπτυξης: τόσο οι αναπτυγμένες όσο και οι αναπτυσσόμενες χώρες έχουν μερίδιο στην πρόκληση αλλά και στην αντιμετώπιση του προβλήματος. Ένα επιτυχημένο παγκόσμιο σύμφωνο για την κλιματική αλλαγή θα πρέπει να περιλαμβάνει τη χρηματοδοτική στήριξη των πλουσιότερων χωρών προς τις φθηνότερες με σκοπό τη μετάβαση σε αναπτυξιακές οδούς χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα προωθώντας την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή.

Η αντικατάσταση των CFCs θεωρείται ότι θα δώσει τη λύση για το πρόβλημα της καταστροφής του όζοντος, ωστόσο οι εναλλακτικές λύσεις των υδροχλωροφθορανθράκων (HCFCs) έχουν και αυτές μειονεκτήματα. Αν και η αντίδραση των HCFCs με τροποσφαιρικές ρίζες υδροξυλίου μπορεί να διευκολυνθεί με έναν ή περισσότερους δεσμούς C-H, επιτρέπει τη μεταφορά μικρότερων ποσοτήτων αντιδραστικού χλωρίου στη στρατόσφαιρα. Οι εκπομπές HCFCs έχουν επομένως προγραμματιστεί να καταργηθούν σταδιακά έως το 2030. Λόγω της συμμετοχής τους στην υπερθέρμανση του πλανήτη περιλαμβάνονται στους δεσμευτικούς στόχους του Πρωτοκόλλου του Κιότο για την Κλιματική Αλλαγή, με στόχο τη μείωση των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Kim et al., 2011).

Η Greenpeace (2018), όσον αφορά στη χρήση των χλωροφθορανθράκων, προτείνει εναλλακτικές λύσεις/αντικαταστάτες σε διάφορους τομείς εφαρμογής τους. Στα συστήματα συμπίεσης στην ψύξη και στον κλιματισμό προτείνονται οι ακόλουθοι αντικαταστάτες:

- αμμωνία: έχει θερμοδυναμικές ιδιότητες, παράγεται σχετικά εύκολα και έχει χαμηλό κόστος.
- υδρογονάνθρακες: το προπάνιο και το ισοβουτάνιο είναι δύο υδρογονάνθρακες που έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν σε ψυγεία.
- νερό: συνιστά ένα αποδοτικό και φιλικό προς το περιβάλλον σύστημα ψύξης.

Επίσης το διοξείδιο του άνθρακα έχει πολύ καλές ψυκτικές ιδιότητες και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ψυκτικές μηχανές συμπίεσης και σε αντλίες θερμότητας

Στα συστήματα απορρόφησης προτείνονται ως αντικαταστάτες:

- αμμωνία: χρησιμοποιείται κυρίως σε φορητά ψυγεία, σε ξενοδοχεία, σε νοσοκομεία, με καλύτερη ενεργειακή απόδοση από τα συμβατικά.
- νερό σε συνδυασμό με βρωμιούχο λίθιο: χρησιμοποιούνται κυρίως στα κλιματιστικά συστήματα μεγάλων κτηρίων.

Στα αφρώδη πλαστικά, για την κατασκευή των οποίων χρησιμοποιείται CFC-11, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αντικαταστάτης το διοξείδιο και το μονοξείδιο του άνθρακα. Στη μόνωση των κτηρίων προτείνονται υλικά από «ορυκτές ίνες, βερμικουλίτη, πριονίδια, φελλό, ηφαιστειακή γη, γύψο κ.ά.».

Το CFC-113 χρησιμοποιείται ως διαλύτης καθαρισμού στη βιομηχανία ηλεκτρονικών. ωστόσο, υπάρχουν εναλλακτικές μέθοδοι καθαρισμού, υδατικός καθαρισμός, καθαρισμός με πάγο, καθαρισμός με άλλους διαλύτες (κετόνες, αλκοόλες).

Οι γλωροφθοράνθρακες χρησιμοποιούνται ως προωθητικά σε αεροζόλ, κυρίως αυτά που προορίζονται για ιατρική χρήση. Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν συστήματα ψεκασμού που βασίζονται σε υδατικά διαλύματα και συστήματα ξηράς σκόνης.

Κεφάλαιο 7^ο

Συζήτηση

Οι επικίνδυνες διαστάσεις που έχει λάβει το πρόβλημα της υπερθέρμανσης έχουν κινητοποιήσει τη διεθνή κοινότητα ήδη από τη δεκαετία του 1980. Όπως προαναφέρθηκε, η πρώτη διεθνής συμφωνία (Σύμβαση της Βιέννης, 1986) έθεσε τα θεμέλια για μια παγκόσμια προσπάθεια μετριασμού του προβλήματος. Το 2009 η Σύμβαση επικυρώθηκε από όλα τα κράτη-μέλη του Ο.Η.Ε. Η δεύτερη διεθνής συμφωνία (Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, 1987) είχε ως στόχο τη μείωση της παραγωγής και απελευθέρωσης των ODS (ozone depleting substances) που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος θέτοντας περιορισμούς στα συμμετέχοντα κράτη, με διαφορετικά ωστόσο χρονοδιαγράμματα για τις αναπτυσσόμενες και τις αναπτυσσόμενες χώρες. Κατά τη δεκαετία του 1990, το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ δέχθηκε τροποποιήσεις: «Πρωτόκολλο Λονδίνου» (1990), «Πρωτόκολλο Κοπεγχάγης» (1992), «Πρωτόκολλο Μόντρεαλ» (1997), Πρωτόκολλο Πεκίνου» (1999). Με αυτές τις τροποποιήσεις αναπροσαρμόστηκαν τα χρονοδιαγράμματα και οι στόχοι ή/και επικαιροποιήθηκαν οι ODS (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, χ.χ.).

Στην καταστροφή της στιβάδας του όζοντος συμβάλλουν διάφορες ουσίες. Οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) είναι από τις πιο γνωστές λόγω της ευρείας χρήσης τους ως ψυκτικές ουσίες, προωθητικά αέρια κ.ά. Ο περιορισμός της χρήσης τους θεωρείται αναγκαίος για την προστασία του στρατοσφαιρικού όζοντος. Το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ (1987) που εντάσσεται στη σύμβαση της Βιέννης αποτελεί μια παγκόσμια συμφωνία που αποσκοπεί στην προστασία της στιβάδας του όζοντος της στρατόσφαιρας από τους χλωροφθοράνθρακες, μέσω της κατάργησης των χημικών ουσιών που καταστρέφουν το όζον. Το ίδιο πρωτόκολλο στοχεύει και στην κατάργηση των υδροχλωροφθορανθράκων (HCFCs), οι οποίοι αν και έχουν μικρότερη συμβολή στην καταστροφή του όζοντος, ωστόσο είναι και αυτοί επιβαρυντικοί παράγοντες στην κλιματική αλλαγή. Οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης αποτελούν συμβαλλόμενα μέρη του Πρωτοκόλλου, που τέθηκε σε ισχύ το 1989 και περιλαμβάνει διατάξεις σχετικές με:

- «τα μέτρα ελέγχου»
- «τον υπολογισμό των επιπέδων ελέγχου»
- «τον έλεγχο του εμπορίου με μη συμβαλλόμενα μέρη»

- «την ιδιαίτερη θέση των αναπτυσσόμενων χωρών»
- «την υποβολή στοιχείων»
- «τη μη τήρηση των διατάξεων»
- «τον χρηματοδοτικό μηχανισμό»
- «την τεχνική συνδρομή».

Το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ είναι η μόνη συνθήκη του Ο.Η.Ε. που έχει επικυρωθεί από όλα τα κράτη μέλη του Οργανισμού (Eur-Lex Europa, n.d.).

Η απόκριση στην υπερθέρμανση του πλανήτη θεωρείται σήμερα ως η πιο επιτακτική ανάγκη των καιρών. Όπως αναφέρουν οι Wells & Merchant (2009), το 2005 το 56% των Αμερικανών πολιτών θεωρούσαν το ζήτημα αυτό ως πάρα πολύ σοβαρό. Το 2006 η ταινία του Al Gore ‘An Inconvenient Truth’ κορύφωσε το δημόσιο ενδιαφέρον, ενώ το 2007 με την απονομή του βραβείου στον ίδιο και στον οργανισμό IPCC, ο Gore δήλωσε ότι το πρόβλημα αποτελεί μια πνευματική και ηθική πρόκληση για όλη την ανθρωπότητα. Το ίδιο έτος, έρευνα έδειξε ότι το 57% των ερωτηθέντων θεωρούσε ότι η παγκόσμια υπερθέρμανση οφείλεται στις ανθρώπινες δραστηριότητες, ενώ το 66% συμφώνησε ότι οι ΗΠΑ θα πρέπει να λάβουν μέτρα για τη μείωση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας και το 55% δήλωσε ότι απαιτούνται επιπλέον ατομικές πρωτοβουλίες για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Ωστόσο, υπάρχουν σκεπτικιστές, οι οποίοι υποστηρίζουν ότι η επιβολή περιορισμών στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι αναποτελεσματική και κοστοβόρα και πως κάτι τέτοιο είναι πολιτικά ανέφικτο.

Σύμφωνα με τον Schneider (2003), χρήσιμη για την αντιμετώπιση του προβλήματος είναι η πρόβλεψη της μελλοντικής χρήσης των ορυκτών καυσίμων και της αποψίλωσης των δασών, η οποία αντιπροσωπεύει το 20% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Οι προβλέψεις θα πρέπει να συμπεριλαμβάνουν την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, την κατά κεφαλήν κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, τα ποσοστά αποψίλωσης και τις δραστηριότητες αναδάσωσης, ακόμα και αντίμετρα για την πρόσθετη απελευθέρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα. Οι προβλέψεις αυτές θα πρέπει να συνδυαστούν με τα εναλλακτικά ενεργειακά συστήματα, το κόστος και την κοινωνική αποδοχή. Παράλληλα, θα πρέπει να ληφθούν επιπλέον μέτρα για τον περιορισμό άλλων αερίων του θερμοκηπίου, όπως οι χλωροφθοράνθρακες, τα οξείδια του αζώτου, το τροποσφαιρικό όζον, τα οποία εξαρτώνται από την ανθρώπινη δραστηριότητα.

Πολλοί κορυφαίοι μελετητές, καθώς επίσης και πολιτικοί και επιστήμονες, υποστηρίζουν ότι ο κύριος παράγοντας για τη διαχείριση της υπερθέρμανσης του πλανήτη είναι η ηθική (Wells & Merchant, 2009). Οι φυσικές, τεχνικές και κοινωνικές επιστήμες μπορούν να παρέχουν βασικές πληροφορίες και στοιχεία σχετικά με το τι συνιστά «επικίνδυνη ανθρωπογενή παρέμβαση στο κλιματικό σύστημα». Ωστόσο, συγχρόνως απαιτούνται νέοι ατμοσφαιρικοί στόχοι που θα συμπεριλαμβάνουν τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, την ποιότητα της ζωής, τον πλούτο και τη φτώχεια, τη βιομηχανική ανάπτυξη. Δεδομένο ότι στις φτωχές χώρες ο άνθρακας χρησιμοποιείται κυρίως για βασικές δραστηριότητες, όπως το μαγείρεμα και η θέρμανση του σπιτιού, ενώ στα εκβιομηχανισμένα κράτη για δραστηριότητες, όπως η οδήγηση, η πτήση, η θέρμανση του νερού, οι διαφορές στις ανάγκες του άνθρακα θα πρέπει να αξιολογηθούν. Ο φιλόσοφος Peter Singer τονίζει ότι η ατμόσφαιρα είναι μια πηγή εξάρτησης για την οποία ολόκληρη η ανθρώπινη κοινότητα είναι υπεύθυνη. Θα πρέπει να αναλογιστούμε ποια είναι η ικανότητα της ατμόσφαιρας να απορροφά τα αέρια χωρίς να μεταβάλει το κλίμα με επιβλαβείς τρόπους.

Ένας άλλος φιλόσοφος, ο Steven Gardiner, υπογραμμίζει τις ηθικές διαστάσεις της κλιματικής αλλαγής λέγοντας ότι δεν πρόκειται απλώς για ένα πρόβλημα της επέκτασης της τρύπας του όζοντος από τους χλωροφθοράνθρακες. Η διαχείριση των χλωροφθορανθράκων απαιτεί τη λήψη μέτρων από τις κυβερνήσεις και τις βιομηχανίες με την αντικατάστασή τους από άλλες τεχνολογίες που θα εξοικονομούν ταυτόχρονα και χρήματα. Αλλά στην περίπτωση της κλιματικής αλλαγής υπάρχουν τρεις μεγάλες προκλήσεις: μια τεράστια διασπορά αιτιών και επιπτώσεων, ο κατακερματισμός των δράσεων, και η βαθιά θεσμική ανεπάρκεια. Έτσι, η κλιματική αλλαγή είναι ένα σύνθετο πρόβλημα που εγείρει ζητήματα μεταξύ διάφορων επιστημονικών κλάδων και απαιτεί τη λήψη επειγόντων μέτρων από την πολιτική κοινότητα. Η διαχείριση της κλιματικής αλλαγής αποτελεί επίσης ζήτημα περιβαλλοντικής δικαιοσύνης. Ο όρος «κοινωνική δικαιοσύνη» εισήχθη στις αρχές της δεκαετίας του 1990 για να περιγράψει τα κινήματα των μειονοτικών και μη προνομιούχων ομάδων στις ΗΠΑ και σε άλλες χώρες για την άνιση κατανομή του περιβαλλοντικού βάρους και οφέλους, όπως οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις και η ρύπανση, η πρόσβαση στον πλούτο, στα ποιοτικά τρόφιμα, στον καθαρό αέρα και στο νερό, στα πάρκα αναψυχής (Wells & Merchant, 2009).

Είναι γεγονός ότι η υπερθέρμανση του πλανήτη μέσω του φαινομένου του θερμοκηπίου θα ενισχυθεί αν συνεχιστούν οι υφιστάμενες τεχνολογικές, οικονομικές και δημογραφικές τάσεις. Οι ραγδαίες κλιματικές αλλαγές θα διαταράξουν την ισορροπία των οικολογικών και φυσικών συστημάτων και θα περιορίσουν την ικανότητα του ανθρώπου να προσαρμοστεί σε αυτές. Οι επιστημονικές προβλέψεις για τον ρυθμό και το μέγεθος των αλλαγών κάνουν λόγο για συνθήκες που η ανθρώπινη κοινότητα δεν έχει βιώσει ποτέ πάλι στο παρελθόν. Είναι αμφίβολο αν η κοινωνία διαθέτει τους πόρους που απαιτούνται για να αντισταθεί στις μελλοντικές αρνητικές επιπτώσεις. Ωστόσο, υπάρχει σήμερα η βεβαιότητα ότι η επένδυση στον ενεργειακό τομέα με εναλλακτικές λύσεις παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας είναι μια επιλογή που θα αναστρέψει σημαντικά την κατάσταση (Schneider, 2003).

Δεν αρκεί μόνο η ανάπτυξη και εφαρμογή των εναλλακτικών πηγών ενέργειας στο πλαίσιο της κρατικής πολιτικής. Παράλληλα, απαιτείται η ευαισθητοποίηση της κοινωνίας ώστε να γίνει αντιληπτή η αναγκαιότητα των αλλαγών. Αυτή μπορεί να επιδιωχθεί με εκστρατείες ενημέρωσης για την έκταση του προβλήματος και τις επιπτώσεις του στην υγεία και την ευημερία των ανθρώπων σε παγκόσμια κλίμακα (Shahzad, 2015).

Είναι γεγονός ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν επιπτώσεις στο κλίμα. Οι εκτιμήσεις για την αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας έως 5°C για το 2100, σε σχέση με το 1990, είναι επιστημονικά έγκυρες. Οι οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα, στην παραγωγή τροφίμων, στις πηγές νερού και στην ανθρώπινη υγεία προβλέπονται ιδιαίτερα αρνητικές. Η μελλοντική κλιματική αλλαγή λόγω του ανθρώπινου παράγοντα ως έναν βαθμό είναι αναπόφευκτη. Ανεξάρτητα από τις πολιτικές μετριασμού του προβλήματος που έχουν υιοθετηθεί ή πρόκειται να εφαρμοστούν, η προσαρμογή στις μεταβολές του κλίματος θα είναι αναγκαία. Η έκταση των επιπτώσεων και ο βαθμός προσαρμογής θα εξαρτηθούν από την εγρήγορση των κυβερνήσεων για τη λήψη των αναγκαίων μέτρων, της επιστημονικής κοινότητας για τον περιορισμό της αβεβαιότητας σε σχέση με πιθανές μελλοντικές επιπτώσεις και από την προθυμία της κοινωνίας να συμβάλει στην εφαρμογή των μέτρων (Wuebbles & Kain, 2001).

Χωρίς αμφιβολία ο πλανήτης αντιμετωπίζει σοβαρότατο κίνδυνο λόγω της υπερθέρμανσης που υφίσταται και που, όπως εκτιμάται, θα συνεχιστεί με ανοδικούς

ρυθμούς. Η οικουμενικότητα του προβλήματος απαιτεί τη συλλογική αντιμετώπιση μέσω ενός Διεθνούς Περιβαλλοντικού Συντάγματος και μιας ενιαίας Περιβαλλοντικής Αμυντικής Δύναμης (Abdullah, 2021) για την προστασία της στιβάδας του όζοντος και γενικότερα για την αποτελεσματική απόκριση σε κάθε περιβαλλοντική απειλή.

Κεφάλαιο 8°

Συμπεράσματα

Από όσα εκτέθηκαν στην παρούσα εργασία, γίνεται φανερό ότι η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα από τα πιο καίρια και ανησυχητικά προβλήματα της σύγχρονης εποχής. Το κλίμα αλλάζει όχι μόνο λόγω των φυσικών διεργασιών αλλά και λόγω των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων που έχουν ως αποτέλεσμα την αλλαγή της σύνθεσης της ατμόσφαιρας. Οι μεταβολές στο κλίμα εκδηλώνονται με τις αλλαγές στα μοτίβα των βροχοπτώσεων, με τις ακραίες μεταβολές των καιρικών φαινομένων, με την αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας, την τήξη των πάγων, την άνοδο της στάθμης της θάλασσας.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει συντελέσει καθοριστικά στην κλιματική αλλαγή. Ως φυσική διαδικασία τα αέρια του θερμοκηπίου βρίσκονται στην ατμόσφαιρα και συνεισφέρουν στη διατήρηση της θερμοκρασίας της γης σε ανεκτά επίπεδα για τη ζωή κάνοντας τον πλανήτη φιλικό για την ανάπτυξη και διαβίωση των ειδών. Ωστόσο, το φυσικό αυτό φαινόμενο έχει ενισχυθεί επικίνδυνα λόγω της έκλυσης μεγάλων ποσοστών επιβλαβών αερίων στην ατμόσφαιρα, γεγονός που αποδίδεται στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Το διοξείδιο του άνθρακα, οι υδρατμοί, το μεθάνιο, το υποξείδιο του αζώτου, το τροποσφαιρικό όζον, το μονοξείδιο του άνθρακα και το υδρογόνο είναι τα πιο βασικά θερμοκηπιακά αέρια. Από το 1750 περίπου οι συγκεντρώσεις των αερίων στην ατμόσφαιρα έχουν αυξηθεί, σύμφωνα με τις επιστημονικές μετρήσεις, ενώ η πιο ραγδαία αύξηση σημειώνεται από τα τέλη του 20^{ου} αιώνα και εξής. Η αυξημένη συγκέντρωσή τους στην ατμόσφαιρα επηρεάζει θετικά ή αρνητικά τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας της γης και κατ' επέκταση συμβάλλει στην κλιματική αλλαγή.

Εκτός από τα βασικά θερμοκηπιακά αέρια, στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στην αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας έχουν συμβάλει οι χλωροφθοράνθρακες που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Τα αέρια αυτά κατασκευάστηκαν στις αρχές του 20^{ου} αιώνα και η ευρεία χρήση τους σε βιομηχανικές εφαρμογές ξεκίνησε από τη δεκαετία του 1930. Οι ιδιότητές τους και η μεγάλη διάρκεια ζωής τους τα έχουν εδραιώσει στην αγορά σε ένα πλήθος ψυκτικών και άλλων εφαρμογών. Οι μελέτες που αφορούν στη διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των χλωροφθορανθράκων επιβεβαιώνουν την κατακόρυφη αύξησή τους μετά τα μέσα του 20^{ου} αιώνα. Το στοιχείο N₂O επίσης εμφανίζει σημαντική αύξηση κατά

τον 20^ο αιώνα συμβάλλοντας στις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις. Η απομάκρυνση όλων αυτών των επιβλαβών αερίων είναι μια μακρόχρονη διαδικασία που δυσχεραίνεται περαιτέρω λόγω της αδυναμίας ακριβών προβλέψεων σχετικά με άλλους παράγοντες που διευκολύνουν την αυξημένη συγκέντρωση.

Οι αρνητικές επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου οι οποίες συνοπτικά εκφράζονται με τον όρο «υπερθέρμανση του πλανήτη», εκδηλώνονται με την επικίνδυνη αύξηση της θερμοκρασίας της γης. Η αύξηση αυτή γίνεται αντιληπτή με την αλλαγή του κλίματος προς το θερμότερο, η οποία ευθύνεται για φαινόμενα που βιώνει ο πλανήτης τις τελευταίες δεκαετίες, όπως κύματα καύσωνα, έντονες βροχοπτώσεις, βίαιες χαλαζοπτώσεις. Ανησυχητική είναι η συνεχιζόμενη άνοδος της θερμοκρασίας κατά τον 21^ο αιώνα, ενώ σύμφωνα με τις επιστημονικές προβλέψεις, αυτή θα συνεχιστεί έως το 2100 (2-5^ο C). Η μείωση του όγκου των πάγων ως αποτέλεσμα της αύξησης της θερμοκρασίας αλλά και της ανόδου της στάθμης της θάλασσας είναι μια ακόμα επίπτωση του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής. Η απώλεια του θαλάσσιου πάγου επιφέρει μια σειρά αρνητικών επιπτώσεων στα θαλάσσια οικοσυστήματα και στις ανθρώπινες κοινότητες που εξαρτώνται από αυτά. Συγχρόνως, η άνοδος της παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας τον 20^ο αιώνα λόγω της τήξης των πάγων αποτελεί μια πρόσθετη απειλή για τις παράκτιες κοινότητες είτε λόγω της εισβολής του αλμυρού νερού στα υπόγεια ύδατα είτε λόγω καταστροφών από παλίρροιες και καταιγίδες.

Κρίσιμος παράγοντας που ενισχύει το πρόβλημα της υπερθέρμανσης της γης είναι η τρύπα του όζοντος. Το όζον στην τροπόσφαιρα αποτελεί ένα ρυπογόνο παράγοντα που σχετίζεται με την αιθαλομίχλη των πόλεων, αν και παρατηρείται και σε περιοχές γύρω από τα αστικά κέντρα. Το όζον μέσω φωτοχημικών αντιδράσεων με άλλα στοιχεία που απελευθερώνονται παράγει έναν ρύπο που μεταφέρεται με σχετική ευκολία από τόπο σε τόπο. Η υψηλή συγκέντρωσή του είναι επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία και την χλωρίδα της γης. Στη στρατόσφαιρα, το όζον σχηματίζεται μέσω της φωτόλυσης και είναι γνωστό με την ιδιότητά του να προστατεύει τον πλανήτη από τις υπεριώδεις ακτίνες του ήλιου. Ωστόσο, έχει διαπιστωθεί η μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος στην Ανταρκτική μετά το 1985, γεγονός που αποδίδεται στην ενισχυμένη συγκέντρωση των χλωροφθορανθράκων. Το πρόβλημα αυτό είναι γνωστό ως καταστροφή της στιβάδας του όζοντος.

Το ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου και η τρύπα του όζοντος συντείνουν στην κλιματική κρίση. Είναι κοινώς αποδεκτό ότι στο πρόβλημα αυτό έχουν συνεισφέρει οι άνθρωποι μέσω της επέκτασης διαφόρων δραστηριοτήτων τους που αποδεικνύονται επιβλαβείς για το περιβάλλον. Η καταστροφή των δασικών εκτάσεων από τις πυρκαγιές ή/και από την υπερεκμετάλλευση (υλοτόμηση, οικοδόμηση) υποβαθμίζει τον ρόλο του εδάφους και της βλάστησης στην ισορροπία του κλιματικού συστήματος. Οι γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες συμβάλλουν στις εκπομπές των θερμοκηπιακών αερίων, ενώ η πληθυσμιακή αύξηση εντείνει τις δραστηριότητες αυτές προκειμένου να καλυφθεί η ζήτηση σε είδη τροφίμων. Η συγκέντρωση του πληθυσμού στα αστικά κέντρα είναι πιθανό να οδηγήσει στην εξάντληση των αποθεμάτων νερού. Ο τομέας των μεταφορών και της βιομηχανίας επίσης συμβάλλουν στην όξυνση του προβλήματος επιτρέποντας τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και χλωροφθορανθράκων.

Για τον μετριασμό των επιπτώσεων και την έγκαιρη αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής είναι αναγκαία η υιοθέτηση βιώσιμων λύσεων με στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την ταυτόχρονη διαφύλαξη της ισορροπίας της γης. Η απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και η αντικατάστασή τους από άλλες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική, η ηλιακή, η γεωθερμική, η βιοενέργεια, είναι πρώτιστης σημασίας. Αυτές οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να μειώσουν τα επίπεδα των επικίνδυνων εκπομπών εξασφαλίζοντας ενεργειακή απόδοση και χαμηλό κόστος. Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών χαμηλών ή/και μηδενικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (νέα τεχνολογία μπαταριών, χρήση συμπαγών λαμπτήρων φθορισμού κ.ά.) είναι ανάμεσα στις λύσεις-αντικαταστάτες που προτείνονται από τους επιστήμονες. Στον τομέα των μεταφορών θα πρέπει να εφαρμοστούν καινοτομίες, όπως τα ευφυή συστήματα και η χρήση εναλλακτικών τύπων καυσίμων (για παράδειγμα, το υδρογόνο ή τα βιοκαύσιμα). Εναλλακτικές γεωργικές μέθοδοι και διαχείριση των κτηνοτροφικών υποπροϊόντων θα μπορούσαν να συμβάλουν σημαντικά στη μείωση των εκπομπών που προέρχονται από τις δραστηριότητες στους τομείς της γεωργίας και της κτηνοτροφίας.

Βιβλιογραφία

1. Abdullah, S.B. (2021). Ozone Layer Depletion and its Consequences on Humans: A Review. *Journal of Environmental and Analytical Toxicology*, Vol.11:2, pp. 1-4.
2. Australian Academy of Science (n.d.). The Enhanced Greenhouse Effect. Διαθέσιμο στο [The enhanced greenhouse effect - Curious \(science.org.au\)](https://www.science.org.au/curious/earth-atmosphere/the-enhanced-greenhouse-effect) [τελευταία πρόσβαση, 3/5/2022].
3. Blue, J. (n.d.). What is the Natural Greenhouse Effect? Διαθέσιμο στο [What is the Natural Greenhouse Effect? \(sfgate.com\)](https://www.sfgate.com/natural-greenhouse-effect) [τελευταία πρόσβαση, 30/4/2022].
4. Bullister, J.L. (2015). Atmospheric Histories (1765-2015) for CFC- 11, CFC- 12, CFC- 113, CCl₄, SF₆ and N₂O. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, Oak Ridge, Tennessee. doi: 10.3344/CDIAC/otg.CFC_ATM_Hist_2015.
5. Center for Sustainable Systems. (2021). Climate Change: Science and Impacts Factsheet.. Διαθέσιμο στο [Climate Change: Science and Impacts Factsheet | Center for Sustainable Systems \(umich.edu\)](https://climatechange.umich.edu/factsheet) [τελευταία πρόσβαση, 25/4/2022].
6. Climate Change: Implications for Transport. BSR (2014). Διαθέσιμο στο [Template - Transport v14.indd \(bsr.org\)](https://www.bsr.com/en/resources/publications/Climate-Change-Implications-for-Transport-v14.indd) [τελευταία πρόσβαση, 26/5/2022].
7. Cullis, J.D.S., Horn, A., Rosouw, N., Fisher-Jeffes, L., Kunneke, M.M., & Hoffman, W. (2021). Urbanisation, climate change and its impact on water quality and economic risks in a water scarce and urbanising catchment: case study of the Berg River Catchment. *H₂Open Journal*, Vol. 2, No. 1, pp. 146-167. doi: 10.2166/h2oj.2019.027
8. Derwent, R., Simmonds, P., O'Doherty, S., Manning, A., Collins, W., Johnson, C., Sanderson, M., & Stevenson, D. (n.d.). Global Environmental Impacts of the Hydrogen Economy. Διαθέσιμο στο [derwent_ijhr06.pdf \(ed.ac.uk\)](https://www.ed.ac.uk/derwent-ijhr06.pdf) [τελευταία πρόσβαση, 11/5/2022].
9. Detmer, R. (2008). Anthropogenic Influences and Their Impact on Global Climate. Διαθέσιμο στο [Microsoft Word - Anthropogenic Influence.doc \(utexas.edu\)](https://www.utexas.edu/microsoft-word-anthropogenic-influence.doc) [τελευταία πρόσβαση, 17/5/2022].

10. Earth Day. (2019). 10 Animals threatened by climate change. Διαθέσιμο στο [10 Animals Threatened by Climate Change - Earth Day](#) [τελευταία πρόσβαση, 5/5/2022].
11. Ehhalt, D.H. & Rohrer, F. (2009). The tropospheric cycle of H₂: a critical review. *Tellus*, 61B, pp. 500-535. Doi: 10.1111/j.1600-0889.2009.00416.x
12. EPA. (2016). Climate Change Indicators in the United States: Atmospheric Concentrations of Greenhouse Gases. Διαθέσιμο στο https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-08/documents/print_ghg-concentrations-2016.pdf [τελευταία πρόσβαση, 3/5/2022].
13. Eur-Lex Europa (n.d.). Διαθέσιμο στο <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:4413653> [τελευταία πρόσβαση, 7/5/2022].
14. European Commission. (2020). A Hydrogen Strategy for a climate neutral Europe. Διαθέσιμο στο <https://www.bing.com/ck/a?!&&p=cf4a51b3af7de7f0cb8f59fc8e6f86f43be3510bc9c9f12c4ab5b8b1e4e119cJmltdHM9MTY1NDc5NTEzNiZpZ3VpZD04NjYwOTHiMS02NzhiLTQxNzctOWE1Ni0xYjFiMzRmNGJlZTAmaW5zaWQ9NTIyNg&ptn=3&fclid=3dedaff6-e818-11ec-96ae-cfaa18267ff7&u=a1aHR0cHM6Ly9lYy5ldXJvcGEuZXUvY29tbWlzc2lubi9wcmVzc2Nvcn5lci9hcGkvZmlsZXMvYXR0YWNobWVudC84NjU5NDIvRVVfSHIkcj9nZW5fU3RyYXRIZ3kucGRmLnBkZg&ntb=1> [τελευταία πρόσβαση, 28/5/2022].
15. European Environment Agency. (2016). Tropospheric ozone: background information. Διαθέσιμο στο [2. Tropospheric ozone: background information — European Environment Agency \(europa.eu\)](#) [τελευταία πρόσβαση: 23/5/2022].
16. Global Climate Change-NASA (n.d.). Global Warming vs. Climate Change. Διαθέσιμο στο [Global Warming vs. Climate Change | Resources – Climate Change: Vital Signs of the Planet \(nasa.gov\)](#) [τελευταία πρόσβαση: 26/4/2022].
17. Global Climate Change-NASA (n.d.). What is the greenhouse effect? Διαθέσιμο στο [What is the greenhouse effect? – Climate Change: Vital Signs of the Planet \(nasa.gov\)](#) [τελευταία πρόσβαση: 30/4/2022].

18. Global Warming: Human Effects. (n.d.). Διαθέσιμο στο [Carbon monoxide - Global Warming: Human Effects \(weebly.com\)](#) [τελευταία πρόσβαση, 10/5/2022].
19. Greenhouse Effect(a). (n.d.). What is meant by Greenhouse Effect? Διαθέσιμο στο [Greenhouse Effect - Meaning, Causes, Consequences and Prevention \(vedantu.com\)](#) [τελευταία πρόσβαση: 28/4/2022].
20. Greenhouse Effect (b). (n.d.). What happens in the Enhanced Greenhouse Effect? Διαθέσιμο στο [Enhanced Greenhouse Gas Effect - Greenhouse Effect \(weebly.com\)](#) [τελευταία πρόσβαση: 3/5/2022].
21. Greenpeace. (2018). Η καταστροφή του όζοντος. Διαθέσιμο στο [3 OZON report \(greenpeace.org\)](#) [τελευταία πρόσβαση: 28/5/2022].
22. Gil Ojeda, M. (2006). Stratospheric ozone. Tethys, Vol. 3, pp. 43-53.
23. Ζάνης, Π. (2017). Τροποσφαιρικό Όζον. Αστικό ή Παγκόσμιο πρόβλημα ρύπανσης; Εργαστήριο Φυσικής Ατμόσφαιρας, ΑΠΘ. Διαθέσιμο στο [Arthro gia troposheric ozone \(auth.gr\)](#) [τελευταία πρόσβαση: 24/5/2022].
24. Hodnebrog et al. (2019). Increased water vapour lifetime due to global warming. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* doi: 10.5194/acp-2019-121.
25. IPCC. (2014). Climate Change 2014 Synthesis Report. Διαθέσιμο στο [AR5 Synthesis Report - Climate Change 2014 \(ipcc.ch\)](#) [τελευταία πρόσβαση, 25/4/2022].
26. IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Διαθέσιμο στο [Summary for Policymakers \(ipcc.ch\)](#) [τελευταία πρόσβαση, 6/5/2022].
27. IPCC. (2019). Climate Change and Land. Διαθέσιμο στο [4.- SPM Approved Microsite FINAL.pdf \(ipcc.ch\)](#) [τελευταία πρόσβαση, 17/5/2022].
28. Kim, K.h., Shon, Z.H., Nguyen, H.T., & Jeon, E.C. (2011). A review of major chlorofluorocarbons and their halocarbon alternatives in the air. *Atmospheric Environment*, 45, pp. 1369-1382.
29. Kweku, D.W., Bismark, O., Maxwell, A., Desmond, K.A., Danso, K.B., Oti-Mensah, E.A., Quachie, A.T., & Adormaa, B.B. (2017). Greenhouse Effect:

- Greenhouse Gases and Their Impact on Global Warming. *Journal of Scientific Research & Reports*, 17(6), pp. 1-9.
30. Lary, D.J. (1997). Catalytic destruction of stratospheric ozone. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 102, No. D17, pp. 21,515-21,526.
31. Lemke, P., J. Ren, R.B. Alley, I. Allison, J. Carrasco, G. Flato, Y. Fujii, G. Kaser, P. Mote, R.H. Thomas and T. Zhang, 2007: Observations: Changes in Snow, Ice and Frozen Ground. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
32. Machida, T., Nakazawa, T., Fujii, Y., Aoki, S., & Watanabe, O. (1995). Increase in the atmospheric nitrous oxide concentration during the last 250 years. *Geophysical Research Letters*, Vol. 22, No. 21, pp. 2921-2924.
33. Μαρούλης, Α, Χατζηαντωνίου, Μ.Κ., Πουλιόπουλος, Π., & Χατζημπαλάση, Θ. (2012). Το όζον ως ρύπος και ως αντιρρυπαντικός παράγοντας. Επεξεργασία εκχυλίσματος ριζαρίου (ερυθροδάχνου) και φυσικού latex με όζον. Πράσινη Χημεία και Αειφόρος Εκπαίδευση. Διαθέσιμο στο [Microsoft Word - ΕΚΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΓΙΑ 3ο ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ.doc \(gcex.gr\)](#) [τελευταία πρόσβαση, 25/5/2022].
34. National Geographic. (2020). Earth's Changing Climate. Διαθέσιμο στο [Earth's Changing Climate | National Geographic Society](#) [τελευταία πρόσβαση, 26/4/2022].
35. Novelli, P.C., Lang, P.M., Masarie, K.A., Hurst, D.F., Myers, R., & Elkins, J.W. (1999). Molecular hydrogen in the troposphere: Global distribution and budget. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 104, No. D23, pp.30,427-30,444.
36. Ollila, A. (2019). The Greenhouse Effect Definition. *Physical Science International Journal*, 23(2), pp. 1-5.
37. Omaye, S.T. (2002). Metabolic modulation of carbon monoxide toxicity. *Toxicology*, Elsevier, 180, pp. 139-150.

38. OZON report. (2018). Διαθέσιμο στο https://www.greenpeace.org/static/planet4-greece-stateless/2018/02/3_OZON_report.pdf [τελευταία πρόσβαση, 6/5/2022].
39. Peters, W. (n.d.). Ozone in the Tropical Troposphere. Research on Atmospheric Dynamics and Chemistry in Suriname program, Dutch National Association of Scientific Research. ISBN 90-393-3206-1
40. Pielke, R.A. (2004). What is Climate Change? Perspectives, Issues in Science and Technology. Διαθέσιμο στο [Pielke perspective \(colorado.edu\)](#) [τελευταία πρόσβαση: 25/4/2022].
41. Schmidt, N. (2008). Climate Change and Transportation: Challenges and Opportunities. Georgia Institute of Technology. Atlanta, Georgia.
42. Schneider, S.H. (2003). The Greenhouse Effect: Science and Policy. Science 243: 771-81. Reproduced, with permission, from: Schneider, S. H. 1989. Διαθέσιμο στο [Greenhouse Effect \(stanford.edu\)](#) [τελευταία πρόσβαση: 22/5/2022].
43. Shahzad, U. (2015). Global Warming: Causes, Effects and Solutions. Durreesamin Journal, Vol. 1, Issue 4. ISSN: 2204-9827.
44. Shao, A. E., Mecking, S., Thompson, L., & Sonnerup, R.E. (2013). Mixed layer saturation of CFC-11, CFC-12, and SF6 in a global isopycnal model. Journal of Geophysical Research: Oceans, Vol. 118, Issue 10, pp. 4978-4988.
45. Stolarski, R.S. (n.d.). History of the study of atmospheric ozone. Nasa Goddard Space Flight Center. USA.
46. Sunday, P. (2021). Anthropogenic Activities, Environmental Sustainability and Climate Change. Environ Anal Eco Stud, 9(1). doi: 10.31031/EAES.2021.09.000704
47. Thompson, M. (2005). Carbon Monoxide. Διαθέσιμο στο [Carbon Monoxide - Molecule of the Month - November 2005 \(bris.ac.uk\)](#) [τελευταία πρόσβαση, 7/5/2022].
48. Topham, S., Bazzanella, A., Schiebahn, Luhr, S., Zhao, L., Otto, A., & Stolten, D. (2014). Carbon Dioxide. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. doi: 10.1002/14356007.a05_a65.pub2

49. UCAR, 2017). Διαθέσιμο στο [Carbon Monoxide | Center for Science Education \(ucar.edu\)](https://ucar.edu) [τελευταία πρόσβαση: 10/5/2022].
50. UCAR (n.d.). The Greenhouse Effect. Διαθέσιμο στο [The Greenhouse Effect | Center for Science Education \(ucar.edu\)](https://ucar.edu) [τελευταία πρόσβαση: 2/5/2022].
51. UKEssays. (2018). Anthropogenic Factors Leading to Climate Change Environmental Sciences Essay. Διαθέσιμο στο [Anthropogenic Factors Leading To Climate Change Environmental Sciences Essay \(ukessays.com\)](https://ukessays.com) [τελευταία πρόσβαση: 18/5/2022].
52. UN. (n.d.). Peace, dignity and equality on a healthy planet. Διαθέσιμο στο [Climate Change | United Nations](https://un.org) [τελευταία πρόσβαση, 26/4/2022].
53. UN Climate Change. (2017). Rapid Urbanization Increases Climate Risk for Billions of People. Διαθέσιμο στο [Rapid Urbanization Increases Climate Risk for Billions of People | UNFCCC](https://unfccc.org) [τελευταία πρόσβαση, 17/5/2022].
54. UNEP. (2021). Methane emissions are driving climate change. Here's how to reduce them. Διαθέσιμο στο [Methane emissions are driving climate change. Here's how to reduce them. \(unep.org\)](https://unep.org) [τελευταία πρόσβαση, 18/5/2022].
55. Union of Concerned Scientists. (2011). Climate Hot Map. Global Warming Effects around the World. Διαθέσιμο στο [Global Warming Effects on Health \(climatehotmap.org\)](https://climatehotmap.org) [τελευταία πρόσβαση, 4/5/2022].
56. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (χ.χ.). Προστασία Στιβάδας του Όζοντος. Διαθέσιμο στο [Προστασία Στιβάδας του Όζοντος - \(ypen.gov.gr\)](https://ypen.gov.gr) [τελευταία πρόσβαση, 29/5/2022].
57. Van Amstel, A. (2012). Methane. A review. Journal of Integrative Environmental Sciences, Vol. 9, Supplement 1, pp. 5-30.
58. Φωτιάδη, Α. (χ.χ.). Φαινόμενο του Θερμοκηπίου και Κλιματικές Μεταβολές. Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα Πανεπιστημίου Πατρών. Διαθέσιμο στο <https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/ENV119/%CE%91%CE%B4%CE%BF%CE%B9%CE%BA%CF%84%CE%AC%20%CE%9C%CE%B1%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1/4.%20%CE%A4%CE%B1%20%CE%B1%CE%AD%CF%81%CE%B9%CE%B1%20%CF%84%CE%BF%CF%85%20%3F%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE>

- [%BA%CE%B7%CF%80%CE%AF%CE%BF%CF%85%3F%20%CE%BA%CE%B1%CE%B9%20%CE%B7%20%CE%B5%CF%80%CE%AF%CE%B4%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%B7%20%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%82%20%CF%83%CF%84%CE%BF%20%CE%B5%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C%20%CE%B9%CF%83%CE%BF%CE%B6%CF%8D%CE%B3%CE%B9%CE%BF.pdf](#) [τελευταία πρόσβαση, 6/5/2022].
59. Walker, S.J., Weiss, R.F., & Salameh, P.K. (2000). Reconstructed histories of the annual mean atmospheric mole fractions for the halocarbons CFC- 11, CFC- 12, CFC- 113 and carbon tetrachloride. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 105, No. C6, pp. 14,285-14,296.
60. Walsh, J.E. (2013). Melting Ice. What Is Happening to Arctic Sea Ice, and What Does It Mean for Us? *Oceanography*, 26(2), pp. 171-181. doi: 10.5670/oceanog.2013.19.
61. Wang, C., Amon, B., Schulz, & Mehdi, B. (2021). Factors that Influence Nitrous Oxide Emissions from Agricultural Soils as Well as Their Representation in Simulation Models: A Review, *Agronomy* 2021, 11, 770, pp. 1-30. doi: 10.3390/agronomy11040770
62. WCRP (2016). Melting Ice-Global Consequences. Διαθέσιμο στο [Melting Ice Global Consequences Feb 2016.pdf \(wcrp-climate.org\)](#) [τελευταία πρόσβαση, 7/5/2022].
63. Welles, J.F. (2020). Global Warming and Fossil Fuels. *Nov Res Sci.*, 3(5). Doi: 10.31031/NRS.2020.3.00051
64. Wells, J. & Merchant, C. (2009). Melting Ice: Climate Change and the Humanities. Διαθέσιμο στο [Merchant-Melting Ice.pdf \(berkeley.edu\)](#) [τελευταία πρόσβαση, 9/5/2022].
65. WMO. (2003). Scientific Assessment of ozone depletion: 2002. Διαθέσιμο στο [WMO \(2003\) Scientific Assessment of Ozone Depletion 2002. Global Ozone Research and Monitoring Project—Report No. 47, World Meteorological Organization, Geneva. - References - Scientific Research Publishing \(scirp.org\)](#) [τελευταία πρόσβαση, 26/5/2022].

66. Wuebbles, D.J., & Kain, A. K. (2001). Concerns about climate change and the role of fossil fuel use. *Fuel Processing Technology*, 71, pp. 99-119.

Παράρτημα

Πίνακας συγκεντρώσεων χλωροφθορανθράκων

Πηγή: Bullister (2015)

YEAR	CFC11 NH ppt	CFC11 SH ppt	CFC12 NH ppt	CFC12 SH ppt	CFC113 NH ppt	CFC113 SH ppt	CCl4 NH ppt	CCl4 SH ppt	SF6 NH ppt	SF6 SH ppt	N2O NH ppt	N2O SH ppt
1765.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.47	270.47
1766.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.49	270.49
1767.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.50	270.50
1768.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.52	270.52
1769.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.53	270.53
1770.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.55	270.55
1771.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.56	270.56
1772.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.58	270.58
1773.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.59	270.59
1774.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.61	270.61
1775.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.62	270.62
1776.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.64	270.64
1777.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.66	270.66
1778.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.67	270.67
1779.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.69	270.69
1780.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.71	270.71
1781.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.73	270.73
1782.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.74	270.74
1783.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.76	270.76
1784.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.78	270.78
1785.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.80	270.80
1786.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.82	270.82
1787.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.84	270.84
1788.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.86	270.86
1789.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.88	270.88
1790.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.90	270.90
1791.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.92	270.92

1836.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	272.41	272.41
1837.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	272.46	272.46
1838.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	272.51	272.51
1839.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	272.56	272.56
1840.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	272.61	272.61
1841.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	272.66	272.66
1842.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	272.71	272.71
1843.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	272.77	272.77
1844.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	272.82	272.82
1845.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	272.88	272.88
1846.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	272.93	272.93
1847.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	272.99	272.99
1848.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	273.05	273.05
1849.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	273.11	273.11
1850.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	273.17	273.17
1851.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	273.23	273.23
1852.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	273.29	273.29
1853.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	273.35	273.35
1854.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	273.42	273.42
1855.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	273.48	273.48
1856.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	273.55	273.55
1857.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	273.62	273.61
1858.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	273.69	273.68
1859.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	273.76	273.75
1860.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	273.83	273.82
1861.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	273.91	273.89
1862.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	273.98	273.97
1863.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	274.06	274.04
1864.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	274.14	274.12
1865.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	274.22	274.19
1866.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	274.30	274.27
1867.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	274.38	274.35
1868.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	274.46	274.43
1869.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	274.55	274.51
1870.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	274.63	274.60
1871.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	274.72	274.68
1872.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	274.81	274.77
1873.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	274.90	274.86
1874.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	274.99	274.95
1875.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	275.08	275.04
1876.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	275.18	275.13
1877.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	275.27	275.23
1878.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	275.37	275.32
1879.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	275.47	275.42

1880.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	275.58	275.52
1881.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	275.68	275.62
1882.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	275.79	275.72
1883.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	275.89	275.83
1884.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	276.00	275.93
1885.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	276.11	276.04
1886.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	276.23	276.15
1887.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	276.34	276.26
1888.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	276.46	276.38
1889.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	276.58	276.49
1890.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	276.70	276.61
1891.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	276.82	276.73
1892.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	276.95	276.85
1893.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	277.07	276.98
1894.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	277.20	277.10
1895.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	277.33	277.23
1896.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	277.47	277.36
1897.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	277.60	277.49
1898.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	277.74	277.63
1899.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	277.88	277.77
1900.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	278.03	277.91
1901.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	278.17	278.05
1902.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	278.32	278.20
1903.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	278.47	278.34
1904.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	278.62	278.49
1905.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	278.78	278.64
1906.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	278.94	278.80
1907.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	279.10	278.96
1908.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	279.26	279.12
1909.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	279.43	279.28
1910.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	279.60	279.44
1911.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	279.77	279.61
1912.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.00	0.00	279.95	279.78
1913.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.00	0.00	280.13	279.96
1914.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.10	0.00	0.00	280.31	280.14
1915.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.20	0.00	0.00	280.49	280.32
1916.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.30	0.00	0.00	280.68	280.50
1917.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.50	0.00	0.00	280.87	280.69
1918.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.70	0.00	0.00	281.07	280.88
1919.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	0.90	0.00	0.00	281.26	281.07
1920.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	1.10	0.00	0.00	281.46	281.27
1921.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	1.20	0.00	0.00	281.67	281.46
1922.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	1.20	0.00	0.00	281.88	281.67
1923.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70	1.40	0.00	0.00	282.09	281.87

1924.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.90	1.60	0.00	0.00	282.30	282.08
1925.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.20	1.80	0.00	0.00	282.52	282.30
1926.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	2.10	0.00	0.00	282.74	282.52
1927.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.80	2.40	0.00	0.00	282.97	282.74
1928.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.10	2.70	0.00	0.00	283.20	282.96
1929.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.60	3.00	0.00	0.00	283.43	283.19
1930.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.20	3.50	0.00	0.00	283.67	283.42
1931.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.80	4.10	0.00	0.00	283.91	283.66
1932.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.40	4.60	0.00	0.00	284.16	283.90
1933.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	5.20	0.00	0.00	284.41	284.14
1934.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.80	5.80	0.00	0.00	284.66	284.39
1935.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.80	6.60	0.00	0.00	284.92	284.64
1936.5	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	8.90	7.50	0.00	0.00	285.18	284.90
1937.5	0.00	0.00	0.10	0.10	0.00	0.00	10.30	8.60	0.00	0.00	285.45	285.16
1938.5	0.00	0.00	0.20	0.10	0.00	0.00	11.60	9.90	0.00	0.00	285.72	285.43
1939.5	0.00	0.00	0.30	0.20	0.00	0.00	12.90	11.10	0.00	0.00	286.00	285.70
1940.5	0.00	0.00	0.40	0.30	0.00	0.00	14.40	12.40	0.00	0.00	286.28	285.97
1941.5	0.00	0.00	0.50	0.40	0.00	0.00	16.20	14.00	0.00	0.00	286.56	286.25
1942.5	0.00	0.00	0.70	0.50	0.00	0.00	18.50	15.80	0.00	0.00	286.86	286.54
1943.5	0.00	0.00	0.90	0.70	0.00	0.00	21.20	18.00	0.00	0.00	287.15	286.83
1944.5	0.00	0.00	1.20	0.90	0.00	0.00	24.20	20.50	0.00	0.00	287.45	287.12
1945.5	0.10	0.00	1.70	1.20	0.00	0.00	26.70	23.20	0.00	0.00	287.76	287.42
1946.5	0.10	0.10	2.30	1.70	0.00	0.00	28.20	25.30	0.00	0.00	288.07	287.73
1947.5	0.10	0.10	3.40	2.40	0.00	0.00	30.10	27.10	0.00	0.00	288.38	288.04
1948.5	0.20	0.10	4.80	3.40	0.00	0.00	32.50	29.20	0.00	0.00	288.71	288.35
1949.5	0.40	0.20	6.10	4.70	0.00	0.00	34.20	31.20	0.00	0.00	289.03	288.67
1950.5	0.70	0.40	7.60	6.00	0.00	0.00	35.60	32.90	0.00	0.00	289.36	288.99
1951.5	1.01	0.70	9.20	7.40	0.00	0.00	37.30	34.40	0.00	0.00	289.70	289.33
1952.5	1.51	1.01	11.00	9.00	0.00	0.00	38.40	35.90	0.00	0.00	290.05	289.66
1953.5	2.21	1.51	12.80	10.70	0.00	0.00	39.30	37.00	0.04	0.04	290.40	290.01
1954.5	3.02	2.21	15.00	12.60	0.00	0.00	39.70	37.80	0.04	0.04	290.75	290.35
1955.5	4.12	3.02	17.40	14.70	0.00	0.00	40.10	38.30	0.04	0.04	291.11	290.71
1956.5	5.33	4.02	20.20	17.10	0.00	0.00	40.40	38.70	0.04	0.04	291.48	291.07
1957.5	6.83	5.23	23.40	19.90	0.00	0.00	40.60	39.00	0.05	0.04	291.86	291.43
1958.5	8.14	6.53	26.80	23.00	0.00	0.00	41.50	39.50	0.05	0.04	292.23	291.80
1959.5	9.45	7.84	30.50	26.30	0.00	0.00	42.60	40.30	0.05	0.05	292.62	292.18
1960.5	11.06	9.15	35.00	30.10	0.00	0.00	43.70	41.20	0.05	0.05	293.01	292.57
1961.5	13.27	10.85	40.00	34.40	0.10	0.10	44.70	42.20	0.06	0.06	293.41	292.96
1962.5	16.18	13.07	45.80	39.40	0.30	0.10	45.90	43.30	0.07	0.06	293.82	293.36
1963.5	19.60	15.78	52.50	45.10	0.50	0.30	47.60	44.50	0.08	0.07	294.23	293.76
1964.5	23.72	19.20	60.40	51.80	0.80	0.50	49.40	46.10	0.09	0.08	294.65	294.17
1965.5	28.44	23.12	69.30	59.50	1.10	0.80	50.90	47.70	0.11	0.10	295.08	294.59
1966.5	33.67	27.64	79.20	68.20	1.49	1.10	53.00	49.30	0.13	0.12	295.52	295.02
1967.5	39.40	32.66	90.30	77.90	1.99	1.49	55.80	51.40	0.15	0.14	295.96	295.45

1968.5	46.03	38.29	102.80	88.80	2.69	1.99	59.10	54.10	0.18	0.17	296.41	295.89
1969.5	53.77	44.82	116.80	101.10	3.39	2.59	63.40	57.40	0.21	0.19	296.86	296.34
1970.5	62.41	52.26	132.00	114.70	4.18	3.29	69.30	61.70	0.23	0.22	297.33	296.79
1971.5	72.06	60.70	148.40	129.60	5.18	4.08	74.90	67.00	0.26	0.24	297.80	297.26
1972.5	82.71	69.95	166.10	145.70	6.27	5.08	77.60	71.40	0.30	0.28	298.28	297.73
1973.5	94.87	80.40	185.80	163.30	7.47	6.18	79.70	74.30	0.34	0.31	298.77	298.21
1974.5	108.34	92.16	207.10	182.50	8.96	7.37	83.20	77.20	0.38	0.35	299.26	298.69
1975.5	121.41	104.72	228.20	202.90	10.66	8.76	85.20	80.00	0.44	0.40	299.77	299.19
1976.5	133.97	117.09	248.10	223.20	12.45	10.36	87.00	82.10	0.50	0.46	300.28	299.69
1977.5	145.93	129.35	266.90	242.70	14.64	12.25	89.80	84.40	0.58	0.53	300.80	300.20
1978.5	156.58	140.80	284.30	261.20	16.93	14.34	91.90	86.70	0.66	0.61	301.33	300.72
1979.5	168.34	148.74	306.10	273.50	19.62	16.63	93.30	88.60	0.76	0.70	301.87	301.25
1980.5	176.68	159.30	323.20	292.30	22.61	19.32	94.90	89.60	0.88	0.81	302.42	301.79
1981.5	184.32	167.84	339.60	308.80	25.90	22.21	96.40	90.80	1.00	0.93	302.98	302.33
1982.5	191.46	176.08	353.40	325.50	29.18	25.30	97.50	92.30	1.13	1.04	303.55	302.89
1983.5	199.30	184.52	369.00	342.60	32.97	28.09	98.50	93.50	1.27	1.17	304.12	303.46
1984.5	208.04	192.46	385.70	359.40	37.85	31.37	99.80	95.10	1.40	1.29	304.71	304.03
1985.5	217.99	202.01	403.40	378.20	43.92	35.96	100.50	96.60	1.55	1.43	305.30	304.62
1986.5	229.35	211.36	424.30	396.50	48.31	40.94	101.90	98.20	1.71	1.58	305.91	305.21
1987.5	241.61	222.21	444.00	416.30	55.68	47.01	102.50	100.00	1.88	1.73	306.53	305.82
1988.5	252.86	233.27	465.40	435.80	63.55	53.29	103.50	100.60	2.05	1.89	307.15	306.43
1989.5	259.30	242.11	483.60	454.40	69.72	59.66	104.40	101.10	2.22	2.05	307.79	307.05
1990.5	265.83	251.06	497.70	472.70	75.60	66.14	104.90	102.30	2.41	2.22	308.44	307.69
1991.5	268.24	256.68	506.00	487.30	80.98	71.31	105.50	102.50	2.62	2.42	309.10	308.34
1992.5	268.14	260.80	516.30	498.30	83.96	77.19	104.90	101.90	2.85	2.63	309.77	308.99
1993.5	269.55	262.51	523.20	507.00	84.36	79.58	104.00	101.10	3.09	2.84	310.45	309.66
1994.5	269.65	263.72	528.50	514.80	84.46	81.27	103.00	100.30	3.33	3.07	311.14	310.34
1995.5	268.34	263.22	533.40	521.00	84.36	82.17	102.10	99.60	3.58	3.30	311.84	311.03
1996.5	266.93	262.91	537.30	526.50	84.06	82.67	101.10	98.60	3.86	3.55	312.56	311.73
1997.5	265.73	262.01	540.10	530.80	83.57	82.67	100.20	98.00	4.07	3.81	313.29	312.45
1998.5	264.52	261.01	542.90	534.30	83.17	82.47	99.20	97.00	4.25	4.01	314.03	313.17
1999.5	263.12	259.90	544.40	537.20	82.47	81.97	98.20	96.20	4.48	4.25	314.78	313.91
2000.5	261.71	258.29	545.90	539.00	81.87	81.37	97.30	95.40	4.68	4.46	315.54	314.66
2001.5	260.00	256.98	546.50	540.60	81.18	80.78	96.30	94.40	4.90	4.65	316.32	315.42
2002.5	258.19	255.08	546.70	541.30	80.48	79.98	95.30	93.60	5.14	4.88	317.11	316.20
2003.5	256.18	253.27	546.70	541.60	79.88	79.38	94.30	92.50	5.37	5.07	317.91	316.99
2004.5	253.97	251.36	545.70	541.50	79.08	78.78	93.30	91.70	5.58	5.30	318.73	317.79
2005.5	251.96	249.15	544.90	540.70	78.49	78.09	92.40	90.80	5.80	5.51	319.56	318.60
2006.5	249.55	247.34	543.10	539.80	77.69	77.59	91.30	89.70	6.04	5.75	320.41	319.43
2007.5	247.54	245.03	541.10	538.10	76.99	76.79	90.40	88.90	6.33	6.03	321.26	320.28
2008.5	245.63	243.12	538.60	536.20	76.29	76.20	89.30	87.70	6.62	6.29	322.14	321.13
2009.5	243.61	241.05	536.12	533.47	75.82	75.47	87.61	85.95	6.89	6.58	323.02	322.00
2010.5	241.31	239.15	533.26	531.03	75.01	74.79	86.57	85.14	7.21	6.87	323.93	322.89
2011.5	239.40	236.84	530.60	528.53	74.35	74.05	85.43	83.78	7.46	7.17	324.84	323.79

2012.5	236.89	234.77	527.20	526.00	73.66	73.39	84.34	82.82	7.73	7.43	325.78	324.71
2013.5	235.57	232.88	525.22	523.25	72.94	72.81	83.27	81.60	8.09	7.73	326.73	325.64
2014.5	234.97	231.49	522.97	521.00	72.17	71.98	82.51	80.79	8.40	8.11	327.69	326.58
2015.5	234.36	230.09	520.71	518.74	71.41	71.15	81.76	79.99	8.72	8.50	328.67	327.55