

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



Πτυχιακή Διατριβή
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΔΕΙΞΗ ΤΗΣ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ
ΤΟΥ CO₂ ΣΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ
ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Θεοφάνους Θάλεια

Λεμεσός 2012

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Πτυχιακή Διατριβή

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΔΕΙΞΗ ΤΗΣ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ
ΤΟΥ CO₂ ΣΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ
ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Θεοφάνους Θάλεια
Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. Πέτρος Σάββα

Λεμεσός 2012

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Θεοφάνους Θάλεια, 2012

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής διατριβής από το Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Περιβάλλοντος του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τον άνθρωπο που με στήριξε στην προσπάθεια αυτή παρέχοντας μου ταυτόχρονα την πολύτιμη και καταλυτική καθοδήγηση του μέσα από ένα ευχάριστο κλίμα συνεργασίας για την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής διατριβής, Δρ. Πέτρο Σάββα. Επίσης, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για το χρόνο που μου αφιέρωσε καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές του σε αυτό το ταξίδι της γνώσης. Δεν θα παραλείψω να ευχαριστήσω τον κ. Κώστα Κώστα, Αναπληρωτή Καθηγητή καθώς και τον Μεταδιδακτορικό Συνεργάτη κ. Γιώργο Ολυμπίου για τη βοήθειά τους κατά την οργάνωση της πειραματικής διάταξης. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη συμπαράσταση και τη συμβολή τους με το δικό τους τρόπο κατά το χρονικό διάστημα αυτό καθώς και για την ανελλιπή στήριξη και υπομονή που μου έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια φτάνοντας εδώ μέχρι σήμερα.

*Πάντα στο νου σου να 'χεις την Ιθάκη.
Το φθάσιμον εκεί είν' ο προορισμός σου.
Αλλά μη βιάζεις το ταξίδι διόλου.
Καλύτερα χρόνια πολλά να διαρκέσει
και γέρος πια ν' αράζεις στο νησί,
πλούσιος με όσα κέρδισες στον δρόμο,
μη προσδοκώντας πλούτη να σε δώσει η Ιθάκη.*

Κ.Π. Καβάφης

Περίληψη

Η παρούσα Πτυχιακή Διατριβή (Π.Δ.) με τίτλο *Πειραματική Απόδειξη της Συνεισφοράς του CO₂ στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου* έχει σαν σκοπό τη διερεύνηση μέσω πειραματικών διαδικασιών της συμβολής του CO₂ στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη.

Αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο με τίτλο *Θεωρητικό Υπόβαθρο* γίνεται αναφορά στις φυσικοχημικές ιδιότητες του CO₂, τις φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές εκπομπών του CO₂ στην ατμόσφαιρα και στα προβλήματα που προκαλεί τόσο στο περιβάλλον όσο και στον άνθρωπο. Επίσης, περιγράφεται το Ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο που αφορά τις αέριες εκπομπές CO₂, ενώ παράλληλα παραθέτονται και τρόποι περιορισμού ή απομάκρυνσης του από την ατμόσφαιρα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο με τίτλο *Βιβλιογραφική Ανασκόπηση* περιγράφεται η μέθοδος υπολογισμού των συγκεντρώσεων του CO₂ στην ατμόσφαιρα και της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη εκατομμυρία χρόνια πριν μέχρι το παρόν καθώς και τη μεταξύ τους συσχέτιση. Επιπλέον, παραθέτονται οι απόψεις της επιστημονικής κοινότητας η οποία παρουσιάζεται διχασμένη όσον αφορά τα αίτια της κλιματικής αλλαγής.

Στο τρίτο κεφάλαιο με τίτλο *Πειραματικό Μέρος* περιγράφεται η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε για την προσομοίωση των συνθηκών που επικρατούν στην κατώτερη ατμόσφαιρα σε δύο κουτιά κατασκευασμένα από ακρυλικό πλαστικό (plexiglass) με παροχή, στο ένα εκ των δύο, CO₂ σε διάφορες συγκεντρώσεις για εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά τη συσχέτιση της θερμοκρασίας η οποία καταμετράται και της συγκέντρωσης του CO₂.

Στο τέταρτο κεφάλαιο με τίτλο *Αποτελέσματα – Συζήτηση Αποτελεσμάτων* παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας καθώς και τα αποτελέσματα των υπολογισμών που πραγματοποιήθηκαν σχετικά με το χρονικό ορίζοντα εξάντλησης των παγκόσμιων αποδεδειγμένων αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων και την ποσότητα CO₂ που αναμένεται να εκλυθεί στην ατμόσφαιρα από την καύση τους. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας Π.Δ. έδειξαν ότι η σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης του CO₂ και της αύξησης της θερμοκρασίας που προκαλείται είναι λογαριθμική. Σήμερα, η μέση συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα είναι 391 ppm. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πειράματος η

συμβολή της συγκέντρωσης 450 ppm CO₂ (0,045% συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα) στην άνοδο της θερμοκρασίας είναι 0,4°C ενώ περαιτέρω αύξηση της συγκέντρωσης σε 1% προκαλεί άνοδο της θερμοκρασίας κατά 1,2°C (0,833°C από τα σημερινά επίπεδα).

Εκτός από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν, έγιναν υπολογισμοί για την αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα από την καύση όλων των αποδεδειγμένων παγκόσμιων αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων. Επίσης, υπολογίστηκε το χρονικό διάστημα στο οποίο ενδέχεται να πραγματοποιηθεί η εξάντληση των αποθεμάτων αυτών και συνεπώς η απελευθέρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα από την καύση τους. Σύμφωνα πάντα με τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας Πτυχιακής Διατριβής, η εξάντληση των ορυκτών καυσίμων αναμένεται να πραγματοποιηθεί σε 70 (2082) χρόνια από σήμερα ενώ από την καύση τους η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα θα αυξηθεί κατά 298 ppm. Η αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται να είναι 0,145°C από τα σημερινά επίπεδα σύμφωνα με τη λογαριθμική εξίσωση η οποία υπολογίστηκε στα πλαίσια της παρούσας Π.Δ. Η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα από την καύση των ορυκτών καυσίμων θα ανατροφοδοτήσει μηχανισμούς ανάδρασης οι οποίοι αναμένεται να προκαλέσουν περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο με τίτλο *Συμπεράσματα – Μελλοντική Έρευνα* παραθέτονται τα συμπεράσματα που έχουν προκύψει από τα πειραματικά αποτελέσματα στα πλαίσια της παρούσας Πτυχιακής Διατριβής, καθώς και εισηγήσεις για μελλοντική έρευνα στην πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε.

Abstract

The Bachelor thesis at hand entitled *Experimental Evidence of the Contribution of CO₂ on the Greenhouse Effect* aims to investigate through experimentation the contribution of CO₂ in global warming.

The first chapter entitled *Theory* refers to the physicochemical properties of CO₂, the natural and anthropogenic sources of CO₂ and the problems caused to the environment and humans. The European legislative framework regarding CO₂ emissions is also described, and ways of its reduction or removal from the atmosphere.

In the second chapter entitled *Literature Review* refers to the methods used to measure the concentration of CO₂ and temperature from million years ago until the present and the correlation between them. In addition, there are cited views of the scientific community, which is divided concerning the causes of climate change.

The third chapter entitled *Experimental*, describes the experimental procedure followed to simulate conditions in the lower atmosphere in the two boxes constructed for the needs of the experimental procedure. These boxes are made of plexiglass with a provision of CO₂ at various concentrations in one of the two boxes, for drawing conclusions regarding the correlation of temperature and CO₂.

The fourth chapter entitled *Results – Discussion* presents the results of the experimental procedure and the results of calculations regarding the time horizon of depletion of proven global fossil fuel reserves and the amount of CO₂ that will be released into the atmosphere by their combustion. Experimental results showed that there is a logarithmic relationship between CO₂ concentration and induced increase of temperature. Today, the average concentration of CO₂ in the atmosphere is 391 ppm. According to the results of the experimental procedure, an input concentration of 450 ppm CO₂ (0,045% concentration in the atmosphere) will rise the temperature 0,4°C while increasing the concentration of CO₂ up to 1% will cause a rise in temperature of 1,2°C.

Apart from the experiments reported here, calculations were made regarding the increase of CO₂ concentration in the atmosphere by combusting all proven global reserves of fossil fuels. It was also calculated the estimated time in which the depletion of these reserves will take place and therefore the release of CO₂ into the atmosphere by their combustion. Furthermore, based on the calculations made in this Diploma Thesis,

depletion of fossil fuels is expected to take place in 70 years from today (2082). According to the logarithmic equation calculated, from the combustion of all the fossil fuels the additional concentration of CO₂ in the atmosphere will be 298 ppm and will cause an increase of 0,145°C of the temperature, above current levels. Increasing the concentration of CO₂ in the atmosphere by combusting fossil fuels will activate feedback mechanisms that will cause further warming.

Finally, the fifth chapter entitle *Conclusion – Future Research*, presents the conclusions derived from the experimental procedure as well as suggestions for future improvement of the experiment.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	iv
Abstract	vi
Πίνακας Περιεχομένων	viii
Κατάλογος Πινάκων	x
Κατάλογος Εικόνων	xi
Συντομογραφίες.....	xv
Εισαγωγή.....	xvii
Σκοπός της Παρούσας Πτυχιακής Διατριβής	xviii
1. Θεωρητικό Υπόβαθρο	1
1.1 Φυσικοχημικές Ιδιότητες CO ₂ και Εφαρμογές	1
1.2 Κύκλος του Άνθρακα	2
1.4 Φυσικές Πηγές CO ₂	4
1.4.1 Ηφαίστεια.....	4
1.4.2 Πυρκαγιές.....	7
1.4.3 Ωκεανοί.....	8
1.5 Ανθρωπογενείς Εκπομπές CO ₂	9
1.5.1 Χρήση Ορυκτών Καυσίμων.....	9
1.5.2 Χρήση της Γης	11
1.6 Επιπτώσεις CO ₂ στο Περιβάλλον	12
1.6.1 Φαινόμενο του Θερμοκηπίου.....	12
1.6.2 Όξυνση των Θαλασσών	15
1.6.3 Αύξηση της Παγκόσμιας μέσης Θερμοκρασίας.....	17
1.6.4 Λιώσιμο των Πάγων.....	20
1.6.5 Άνοδος της Στάθμης της Θάλασσας	21
1.7 Επιπτώσεις του CO ₂ στην Ανθρώπινη Υγεία	22
1.8 Νομοθεσία Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις Αέριες Εκπομπές CO ₂ στην Ατμόσφαιρα	24
1.9 Τρόποι Αντιμετώπισης Εκπομπών CO ₂	27
1.9.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	27
1.9.2 Διαχείριση Εκπομπών CO ₂	28
1.9.3 Απομάκρυνση του CO ₂ από Αέριο Μίγμα Καυσαερίου.....	29
1.9.4 Προστασία Δασών	31
1.9.5 Πρόληψη – Περιβαλλοντική Συνείδηση.....	32
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	33

2.1 Υπολογισμός της Συγκέντρωσης CO ₂ στην Ατμόσφαιρα και της Μέσης Παγκόσμιας Θερμοκρασίας	33
2.2 Επίπεδα CO ₂ και Θερμοκρασία	37
2.3 Ραδιοχρονολόγηση.....	39
2.4 Δυναμικό Παγκόσμιας Θέρμανσης - ΔΠΘ	40
2.5 Συμβολή Υδρατμών στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου.....	41
2.6 Απόψεις Επιστημονικής Κοινότητας για την Κλιματική Αλλαγή	44
3. Πειραματικό Μέρος	56
3.1 Βαθμονόμηση φιάλης CO ₂	56
3.2 Διάταξη Πειράματος	56
4. Αποτελέσματα – Συζήτηση Αποτελεσμάτων	61
4.1 Αποτελέσματα Πειραματικών Μετρήσεων.....	61
4.2 Αποτελέσματα Υπολογισμών	69
5. Συμπεράσματα – Μελλοντική Έρευνα.....	75
Μελλοντική Έρευνα	76
Βιβλιογραφία	77
Παράρτημα 1: Προσομοίωση της Γης στα κουτιά.	82
Παράρτημα 2: Χρονική εξάντληση αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων.	84
Παράρτημα 3: Εξαγωγή χημικού τύπου Γαιάνθρακα (Bituminous).....	88
Παράρτημα 4: Εκπομπές CO ₂ από την καύση των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων	97

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1: Σύσταση Αέριων Εκπομπών Ηφαιστειών.....	4
Πίνακας 1.2: Ποσοστό ανακλαστικότητας για διάφορες επιφάνειες.....	14
Πίνακας 2.1: Αέρια του θερμοκηπίου, η συμβολή τους στο φαινόμενο, ο χρόνος παραμονής τους στην ατμόσφαιρα και το ΔΠΘ για 20, 100 και 500 χρόνια.....	41
Πίνακας 4.1: Μέσος όρος μεταβολής της θερμοκρασίας σε ωριαία βάση μεταξύ των κουτιών 1 (450 ppm CO ₂) και 2 (συνθετικός αέρας).....	64
Πίνακας 4.2: Μέσος όρος μεταβολής της θερμοκρασίας σε ωριαία βάση μεταξύ των κουτιών 1 (950 ppm CO ₂) και 2 (συνθετικός αέρας).....	66
Πίνακας 4.3: Μέσος όρος μεταβολής της θερμοκρασίας σε ωριαία βάση μεταξύ των κουτιών 1 (10.000 ppm CO ₂) και 2 (συνθετικός αέρας).....	67
Πίνακας 4.4: Η μεταβολή της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση CO ₂ που παρέχεται στο κουτί 1.....	68
Πίνακας 4.5: Παγκόσμια αποθέματα ορυκτών καυσίμων, ο ρυθμός αύξησης της ζήτησης τους και ο χρονικός ορίζοντας εξάντλησης τους.....	70
Πίνακας 4.6: Όγκος CO ₂ που αναμένεται να απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα για τις υποθέσεις Α και Β.....	73
Πίνακας Π.1: Σύσταση Γαιάνθρακα (Bituminous).....	91

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1: Ηλεκτρονιακή κατανομή του CO ₂	1
Εικόνα 1.2: Ο Κύκλος του Άνθρακα.....	3
Εικόνα 1.3: Οπτικό βάθος από κάθετη πρόσπτωση ακτινοβολίας σε σωματίδιο.....	5
Εικόνα 1.4: Μηχανισμός Φαινομένου του Θερμοκηπίου.....	15
Εικόνα 1.5: α): Υγιές κοράλλι, β): Λευκασμένο κοράλλι.....	17
Εικόνα 1.6: Πάγοι Γροιλανδίας κατά το έτος 2005 α) περιοχή πάγου που έχει λιώσει το 2005, β) περιοχή πάγου η οποία έχει λιώσει για πρώτη φορά.....	21
Εικόνα 1.7: Τρόποι αποθήκευσης CO ₂ προερχόμενο από ηλεκτροπαραγωγικό σταθμό, 1) σε γεωλογικό σχηματισμό 2) σε αλατούχα νερά 3) σε πετρελαιοπηγή.....	29
Εικόνα 1.8: Πλυντρίδα καθαρισμού αέριου μίγματος το οποίο περιέχει CO ₂	30
Εικόνα 2.1: Θερμοκρασία για τα έτη 2001 – 2008 όπως αυτή έχει υπολογιστεί από 4 διαφορετικούς οργανισμούς οι οποίοι χρησιμοποιούν τις ίδιες βάσεις δεδομένων.....	34
Εικόνα 2.2: Παγιδευμένες φυσαλίδες αέρα σε πάγο.....	35
Εικόνα 2.3: Δείγμα πάγου από γεώτρηση σε παγόβουνο.....	36
Εικόνα 2.4: Φλοιός δέντρου, α) λεπτότεροι δακτύλιοι φλοιού λόγω ξηρασίας, β) χοντρότερος δακτύλιος.....	36
Εικόνα 2.5: Διακύμανση θερμοκρασίας στις ηπείρους και παγκόσμια από το 1906 μέχρι το 2005 σύμφωνα με την τέταρτη έκθεση της IPCC.....	45
Εικόνα 2.6: Ισοζύγιο CO ₂ (σε εκατομμύρια τόνους) το οποίο καταλήγει στην ατμόσφαιρα ή απομακρύνεται από αυτήν.....	46
Εικόνα 2.7: Μετάπτωση του άξονα της Γης.....	48
Εικόνα 2.8: Μέγιστη και ελάχιστη κλίση του άξονα περιστροφής της Γης.....	49
Εικόνα 2.9: Τροχιά Γης γύρω από τον Ήλιο με μικρή ελλειπτικότητα όπου η πρώτη βρίσκεται πιο κοντά στον Ήλιο τον Ιανουάριο.....	50
Εικόνα 2.10: Περιοδικές κινήσεις της Γης και συσχέτιση τους με τις θερμές και ψυχρές περιόδους.....	51
Εικόνα 3.1: Πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας Π.Δ. Όπου: 1) και 2) τα κουτιά που περιείχαν χώμα και νερό (3), 4) τα θερμομέτρα καταμέτρησης της θερμοκρασίας εντός και εκτός των κουτιών, και 5) το σύστημα ελέγχου μαζικής ροής.....	58
Εικόνα 3.2: Συσκευή ελέγχου μαζικής ροής.....	59
Εικόνα 3.3: Η συσκευή καταγραφής της θερμότητας που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας Π.Δ.....	61
Εικόνα 4.1: Θερμογράφημα των δύο κουτιών όταν στο κουτί 1 (αριστερά) υπάρχει παροχή 10.000 ppm CO ₂ /He και στο κουτί 2 (δεξιά) διοχετεύεται συνθετικός αέρας (80% N ₂ , 20% O ₂).....	69

Εικόνα 4.2: Θερμογράφημα των δύο κουτιών όταν στο κουτί 1 (αριστερά) υπάρχει παροχή 450 ppm CO₂/He ενώ στο κουτί 2 (δεξιά) διοχετεύεται συνθετικός αέρας (80% N₂, 20% O₂).....69

Κατάλογος Γραφημάτων

Γράφημα 1.1: Διαλυτότητα CO ₂ (g/L) στο θαλασινό νερό σε συνάρτηση με την πίεση (σε bar) σε διάφορες θερμοκρασίες.....	8
Γράφημα 1.2: Ανθρωπογενείς πηγές εκπομπών CO ₂	9
Γράφημα 1.3: Εκπομπές CO ₂ ανά GJ παραγόμενης ενέργειας για τα διάφορα είδη ορυκτών άνθρακα.....	11
Γράφημα 1.4: Εκπομπές CO ₂ ανά χώρα από την καύση ορυκτών καυσίμων τη χρονική περίοδο 1950 - 2000.....	11
Γράφημα 1.5: Απορρόφηση υπέρυθρης ακτινοβολίας από τα αέρια της ατμόσφαιρας.....	13
Γράφημα 1.6: Μέση παγκόσμια θερμοκρασία για τα έτη 1880 - 2010 όπως καταγράφηκε και υπολογίστηκε από τη GISS.....	18
Γράφημα 1.7: Ποσοστά παραγωγής ενέργειας από τη χρήση ΑΠΕ.....	28
Γράφημα 1.8: Παγκόσμιες εκπομπές CO ₂ από την αποψίλωση των δασών την περίοδο 1995 - 2010.....	31
Γράφημα 2.1: Η συγκέντρωση του CO ₂ στην ατμόσφαιρα (ppm) για τη χρονική περίοδο 1959 - 2012 όπως αυτή καταμετράται από το παρατηρητήριο Mauna Loa στη Χαβάη.....	37
Γράφημα 2.2: Μεταβολή της θερμοκρασίας από το 200 μέχρι το 2000.....	38
Γράφημα 2.3: Επίπεδα CO ₂ τα τελευταία 800.000 χρόνια.....	39
Γράφημα 2.4: Συγκέντρωση υδρατμών στην ατμόσφαιρα σε συνάρτηση με τη μεταβολή της θερμοκρασίας.....	43
Γράφημα 2.5: Συσχέτιση θερμοκρασίας και συγκέντρωσης CO ₂ στην ατμόσφαιρα τα τελευταία 450.000 χρόνια.....	52
Γράφημα 2.6: Η συσχέτιση της ηλιακής ακτινοβολίας με τη μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη συναρτήσει του χρόνου	53
Γράφημα 2.7: Μεταβολές στη θερμοκρασία και τα επίπεδα CO ₂ τα τελευταία 600 εκατομμύρια χρόνια.....	54
Γράφημα 2.8: Μεταβολή στάθμης θάλασσας σύμφωνα με μετρήσεις και εκτίμηση με τη χρήση υπολογιστικών μοντέλων.....	55
Γράφημα 4.1: Η μεταβολή της θερμοκρασίας των δύο κουτιών στα οποία παρέχεται συνθετικός αέρας (80% N ₂ /20% O ₂ , ροή: 100 mL/min) συναρτήσει του χρόνου.....	63
Γράφημα 4.2: Η μεταβολή της θερμοκρασίας του κουτιού 1 (450 ppm CO ₂ /He και συνθετικός αέρας, 80% N ₂ , 20% O ₂) και του κουτιού 2 (συνθετικός αέρας, 80% N ₂ , 20% O ₂) συναρτήσει του χρόνου. Η ροή εξόδου των αερίων στα κουτιά ήταν 100 mL/min.....	64

Γράφημα 4.3: Η μεταβολή της θερμοκρασίας του κουτιού 1 (950 ppm CO ₂ /He και συνθετικός αέρας, 80% N ₂ , 20% O ₂) και του κουτιού 2 (συνθετικός αέρας, 80% N ₂ , 20% O ₂) συναρτήσει του χρόνου. Η ροή εξόδου των αερίων στα κουτιά ήταν 100 mL/min.....	65
Γράφημα 4.4: Η μεταβολή της θερμοκρασίας του κουτιού 1 (10.000 ppm CO ₂ /He και συνθετικός αέρας, 80% N ₂ , 20% O ₂) και του κουτιού 2 (συνθετικός αέρας, 80% N ₂ , 20% O ₂) συναρτήσει του χρόνου. Η ροή εξόδου των αερίων στα κουτιά ήταν 100 mL/min.....	67
Γράφημα 4.5: Η μεταβολή της θερμοκρασίας (ΔT) σε συνάρτηση με τη μεταβολή της συγκέντρωσης του CO ₂ στο κουτί 1.....	68
Γράφημα 4.6: Χρονικός ορίζοντας της εξάντλησης της παραγόμενης ενέργειας για τις περιπτώσεις 1) παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, 2) παραγωγή ενέργειας με 85% συμβολή των συμβατικών καυσίμων, για τα σενάρια A και B.....	72
Γράφημα 4.7: Συγκέντρωση CO ₂ (ppm) στην ατμόσφαιρα από το 1959 μέχρι το 2011 και εκτιμώμενη αύξηση του λόγω επικείμενης καύσης όλων των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων....	73
Γράφημα 4.8: Εκτιμώμενη αύξηση της θερμοκρασίας από την άνοδο της συγκέντρωσης του CO ₂ σε 689 ppm η οποία θα προκληθεί από την καύση όλων των παγκόσμιων αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων.....	75

Συντομογραφίες

CO₂: Διοξείδιο του άνθρακα

Π.Δ.: Πτυχιακή Διατριβή

IPCC: Διακυβερνητική Επιτροπή για τις Κλιματικές Αλλαγές

WWF: Παγκόσμιο Ταμείο της Φύσης

EFFIS: Ευρωπαϊκό Σύστημα Πληροφόρησης Δασικών Πυρκαγιών

GT: Γιγατόνοι

Φ.Θ.: Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

GHG: Αέρια του θερμοκηπίου

NASA: Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος

Ε.Ε.: Ευρωπαϊκή Ένωση

ACIA: Οργανισμός Εκτίμησης των Κλιματικών Επιπτώσεων στην Αρκτική

εξ: Εξίσωση

pCO₂: Μερική πίεση του CO₂

κ.ο.: Κατά όγκο

UNFCCC: Πλαίσιο Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή

ΕΟΚ: Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα

ΕΚ: Ευρωπαϊκή Κοινότητα

JI: Πρόγραμμα από Κοινού

IET: Διαπραγμάτευση Δικαιωμάτων Εκπομπών

CDM: Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης

ΑΠΕ: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

ΗΠΑ: Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

NOAA: Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας

CCL: Κεντρικό Εργαστήριο Διακριβώσεων

WMO: Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός

ΔΠΘ: Δυναμικό Παγκόσμιας Θέρμανσης

CRU: Κλιματική Ερευνητική Μονάδα

GISS: Ινστιτούτο Διαστημικών Μελετών Goddard

NCDC: Εθνικό Κέντρο Κλίματος

UAH: Πανεπιστήμιο Αλαμπάμας

RSS: Σύστημα Τηλεσκοπήσεων

Εισαγωγή

Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου είναι ένας φυσικός μηχανισμός με τον οποίο θερμαίνεται η επιφάνεια της Γης με μέση θερμοκρασία περίπου 15°C, επιτρέποντας την ύπαρξη ζωής. Ο μηχανισμός αυτός οφείλεται στην ιδιότητα των αερίων που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα να απορροφούν μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπει η Γη λόγω της θέρμανσης της από τον Ήλιο. Η μέση θερμοκρασία της Γης κατά το παρελθόν σημείωσε σημαντικές μεταβολές μέσα από εναλλασσόμενες θερμές και ψυχρές περιόδους όπως η Μεσαιωνική Θερμή περίοδος και η Εποχή των Παγετώνων. Τα αίτια που προκαλούν αυτές τις μεταβολές είναι αφενός ο ίδιος ο Ήλιος λόγω των διακυμάνσεων της έντασης της ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη και αφετέρου τα αέρια του θερμοκηπίου που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα της Γης και επηρεάζουν το ποσοστό ακτινοβολίας που διαφεύγει προς το διάστημα.

Στο πρόσφατο παρελθόν κάποια πράγματα αποτελούσαν πολυτέλεια για τον άνθρωπο και ίσως σενάριο επιστημονικής φαντασίας, σήμερα όμως του έχουν γίνει αναγκαίο 'κακό'. Η αύξηση του πληθυσμού, η δραματική ανάπτυξη του βιοτικού επιπέδου και η έλλειψη περιβαλλοντικής συνείδησης έχουν ως άμεσο αποτέλεσμα την υπέρμετρη ανάπτυξη της βιομηχανικής δραστηριότητας και ως έμμεση συνέπεια τις αυξημένες εκπομπές ρύπων, μεταξύ των οποίων και του CO₂ το οποίο θεωρείται ότι ευθύνεται για την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη. Η μέση συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα παρόλο που είναι μικρή (0,039%) εντούτοις, λόγω του μεγάλου χρόνου ζωής του σε αυτή (περίπου 100 χρόνια) διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο ισοζύγιο ενέργειας του πλανήτη παγιδεύοντας θερμότητα.

Αρχές της δεκαετίας του 1980 μπαίνει στο προσκήνιο ο όρος *κλιματική αλλαγή* ο οποίος αναφέρεται στη μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας της Γης και τις επερχόμενες επιπτώσεις της στο περιβάλλον. Η αναγνώριση του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής οδηγεί το 1988 στην ίδρυση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για τις Κλιματικές Αλλαγές (International Panel on Climate Change - IPCC) με σκοπό την αναζήτηση των αιτιών που προκαλούν την κλιματική αλλαγή καθώς και προτάσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Η IPCC απαρτίζεται από επιστήμονες προερχόμενους από διάφορες χώρες οι οποίοι μέσα από επιστημονικές έρευνες διερευνούν τη συμβολή του ανθρώπου στην κλιματική αλλαγή και δημοσιεύουν τα συμπεράσματά τους σε εκθέσεις. Στην 4^η και

τελευταία έκθεση της IPCC το 2007 εκφράζεται η συναίνεση των επιστημόνων που την απαρτίζουν για την *ανθρωπογενή κλιματική αλλαγή*.

Όπως κάθε νόμισμα, έτσι και το θέμα της κλιματικής αλλαγής έχει δύο όψεις. Την άλλη όψη του νομίσματος αποτελούν οι σκεπτικιστές, μία μερίδα επιστημόνων η οποία έρχεται σε αντιπαράθεση με την IPCC. Οι σκεπτικιστές αρνούνται την ανθρωπογενή κλιματική αλλαγή παραθέτοντας τα δικά τους επιχειρήματα. Το κλίμα πάντα άλλαζε και θα συνεχίσει να αλλάζει μέσα από ένα φυσικό και επαναλαμβανόμενο κύκλο της Γης ο οποίος λαμβάνει χώρα εδώ και εκατομμύρια χρόνια χωρίς τη συμβολή του ανθρώπου. Σύμφωνα με τους σκεπτικιστές κυρίαρχο ρόλο στην κλιματική αλλαγή διαδραματίζει ο Ήλιος και οι υδρατμοί οι οποίοι συνεισφέρουν σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου σε σχέση με το CO₂ το οποίο βρίσκεται στην ατμόσφαιρα σε πολύ μικρή συγκέντρωση.

Η κλιματική αλλαγή είναι ένα σημαντικό κεφάλαιο το οποίο απασχολεί την κοινωνία και το σύγχρονο άνθρωπο ο οποίος αναζητά την αιτία πρόκλησης της υπερθέρμανσης που βιώνει ο πλανήτης. Τα σημάδια της κλιματικής αλλαγής είναι ήδη εμφανή σε κάθε γωνιά του πλανήτη με άμεσο αποδέκτη το περιβάλλον και έμμεσα τον άνθρωπο. Η αύξηση της θερμοκρασίας, το λιώσιμο των παγετώνων και η άνοδος της στάθμης της θάλασσας είναι μερικές από τις επιπτώσεις του ενισχυμένου φαινομένου του θερμοκηπίου στο περιβάλλον οι οποίες επηρεάζουν με κάθε τρόπο τη ζωή και την υγεία του ανθρώπου. Το μέγεθος των επιπτώσεων καθιστά σημαντικό τον προσδιορισμό της αιτίας που προκαλεί το πρόβλημα, για τη λήψη άμεσων αποφάσεων και δραστηκών μέτρων σε περίπτωση που η αιτία είναι άμεσα ή έμμεσα εξαρτώμενη από τον άνθρωπο.

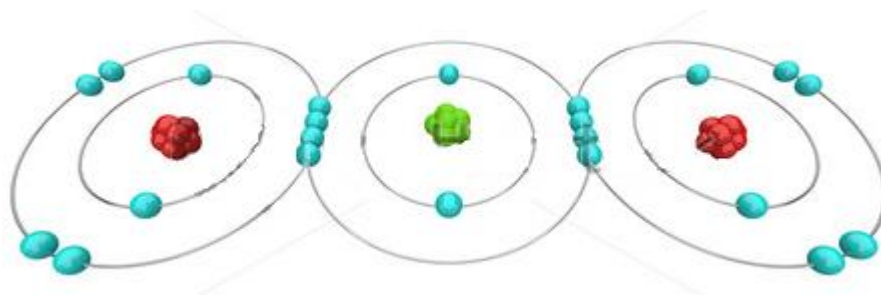
Σκοπός της Παρούσας Πτυχιακής Διατριβής

Η παρούσα Πτυχιακή Διατριβή έχει ως στόχο την προσέγγιση της ποσοτικής θερμοκρασιακής μεταβολής που προκαλεί το CO₂ στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου με χρήση πειραματικών διαδικασιών. Για την προσέγγιση αυτή έγινε προσομοίωση των συνθηκών που επικρατούν στη Γη και την κατώτερη ατμόσφαιρα σε δύο πανομοιότυπα κουτιά με παροχή στο ένα εκ των δύο CO₂ και ταυτόχρονη μέτρηση της θερμοκρασίας τους όταν αυτά εκτίθενται σε ηλιακή ακτινοβολία. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η επίδραση της μεταβολής της συγκέντρωσης του CO₂ στο εσωτερικό του ενός εκ των δύο κουτιών και η επίδραση της στη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας του στην παρουσία υδρατμών.

1. Θεωρητικό Υπόβαθρο

1.1 Φυσικοχημικές Ιδιότητες CO₂ και Εφαρμογές

Το Διοξείδιο του Άνθρακα, με χημικό τύπο CO₂, αποτελείται από δύο άτομα οξυγόνου ενωμένα με διπλούς ομοιοπολικούς δεσμούς με ένα άτομο άνθρακα σε γραμμική διάταξη (180°). Οι δεσμοί του CO₂ είναι πολωμένοι αλλά η γεωμετρία του είναι τέτοια έτσι ώστε η συνισταμένη διπολική ροπή να είναι μηδενική με αποτέλεσμα να είναι μη – πολικό μόριο. Η ενέργεια που απαιτείται για τη διάσπαση του CO₂ είναι 1606 kJ/mol (803 kJ/mol για κάθε δεσμό άνθρακα – οξυγόνου, C=O). Το άτομο του C διαθέτει τέσσερα ηλεκτρόνια και το άτομο του O έξι, με αποτέλεσμα τα συνολικά ηλεκτρόνια για το μόριο του CO₂ να είναι 16. Τα 16 ηλεκτρόνια κατανέμονται στο χώρο όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.1.



Εικόνα 1.1: Ηλεκτρονιακή κατανομή του CO₂.

Το CO₂ γενικά είναι σταθερή ένωση, όμως σε κατάλληλες συνθήκες συμπεριφέρεται ως οξειδωτικό και ανάγεται προς άνθρακα (C) ή μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Το CO₂ μπορεί να αντιδράσει με οξέα και βάσεις δίνοντας όξινα (εξίσωση 1.1) και ουδέτερα (εξίσωση 1.2) άλατα [1, 2].



Το CO₂ είναι ένα άχρωμο αέριο με μικρή συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα (0,039%), προερχόμενο από φυσικές αλλά και ανθρωπογενείς εκπομπές. Το CO₂ έχει μοριακό βάρος 44 g/mol, η πυκνότητα του σε συνθήκες θερμοκρασίας 0°C και πίεσης 1 atm είναι 1,977 kg/m³, ενώ η πυκνότητα του στον ατμοσφαιρικό αέρα είναι 1,527 kg/m³. Η διαλυτότητα του στο θαλασσινό νερό μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και σε συνθήκες θερμοκρασίας 0°C και πίεσης 1 atm είναι 1,69 gCO₂/L [3 - 6].

Το CO₂ χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών όπως φαρμακευτικές βιομηχανίες, βιομηχανίες τροφίμων και άλλες, λόγω του ότι έχει χαμηλό κόστος, δεν αναφλέγεται και μεταβαίνει από την αέρια στην υγρή κατάσταση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, με την εφαρμογή σχετικά μικρής πίεσης. Το CO₂ είναι πηγή ζωής για τον άνθρωπο, τους υδρόβιους οργανισμούς, τα φυτά και διάφορα είδη βακτηρίων και μυκήτων. Παρόλο που η παρουσία του σε μικρές συγκεντρώσεις είναι αναγκαία για την ύπαρξη ζωής εντούτοις σε μεγαλύτερες ποσότητες ενισχύει το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου (βλέπε Κεφ. 1.6.1) προκαλώντας άμεσα ή έμμεσα προβλήματα στον άνθρωπο και το περιβάλλον [7].

1.2 Κύκλος του Άνθρακα

Ο κύκλος του άνθρακα αποτελεί ένα βιογεωχημικό κύκλο στον οποίο το στοιχείο του άνθρακα κυκλοφορεί μεταξύ της ατμόσφαιρας, της υδρόσφαιρας και της λιθόσφαιρας. Ο κύκλος του άνθρακα ελέγχει και σταθεροποιεί τη συγκέντρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα λειτουργώντας ως παγκόσμιος θερμοστάτης. Στην Εικόνα 1.2 παρουσιάζεται σχηματικά ο κύκλος του άνθρακα στον πλανήτη.

Τα φυτά προσλαμβάνουν άνθρακα υπό τη μορφή CO₂ από την ατμόσφαιρα όπου με τη βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας και του νερού δημιουργούν οργανικές ενώσεις (εξίσωση 1.3), απαραίτητες για την ύπαρξη ζωής και τις οποίες αποθηκεύουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα.



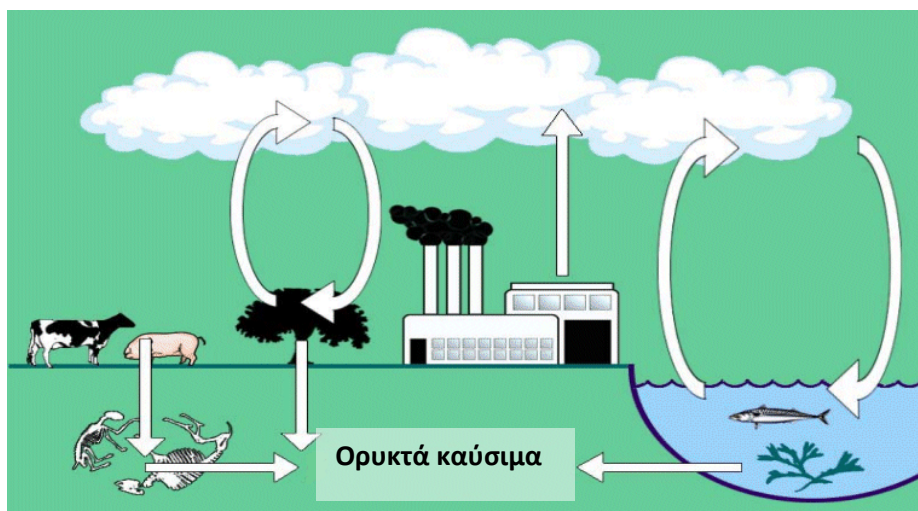
Κατά την εκπνοή των έμβιων οργανισμών και φυτών, αλλά και κατά την αποσύνθεση ή καύση των φυτών, απελευθερώνεται CO₂ στην ατμόσφαιρα (εξίσωση 1.4). Κατά την καύση των φυτών όμως το CO₂ απελευθερώνεται με ταχύτερο ρυθμό σε σχέση με το ρυθμό απελευθέρωσης του κατά την αποσύνθεση.



Οι ωκεανοί ανταλλάσσουν CO₂ με την ατμόσφαιρα μέρος του οποίου χρησιμοποιείται από θαλάσσια όντα και φυτά για την ανάπτυξη τους. Το υπόλοιπο βρίσκεται διαλυμένο στο νερό και αποθηκευμένο σε ιζήματα και πετρώματα βαθύτερων στρωμάτων. Κατά την αποσύνθεση των υδρόβιων οργανισμών και φυτών απελευθερώνεται CO₂ στους ωκεανούς όπου και διαλύεται.

Κατά τη θέρμανση των ωκεανών από την ηλιακή ακτινοβολία και την ατμόσφαιρα το CO₂ που βρίσκεται διαλυμένο στους ωκεανούς απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Αντίθετα, καθώς οι ωκεανοί ψύχονται έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν ατμοσφαιρικό CO₂. Με την εκτεταμένη θέρμανση των ωκεανών η ποσότητα CO₂ που εκλύεται στην ατμόσφαιρα είναι μεγαλύτερη από αυτήν που δεσμεύεται διαταράσσοντας την ισορροπία μεταξύ ατμόσφαιρας και ωκεανών.

Στο έδαφος υπάρχουν αποθηκευμένες τεράστιες ποσότητες ορυκτών καυσίμων όπως γαιάνθρακας, φυσικό αέριο και πετρέλαιο. Η εκμετάλλευσή τους από τον άνθρωπο σε συνδυασμό με την αποψίλωση των δασών για εντατική καλλιέργεια και ανάπτυξη της γης διαταράσσει το ισοζύγιο του άνθρακα λόγω απελευθέρωσης μεγάλων ποσοτήτων CO₂. Περίπου το 50% αυτών των εκπομπών καταλήγουν από την ατμόσφαιρα στους ωκεανούς επηρεάζοντας την οξύτητα τους και κατ' επέκταση τη θαλάσσια ζωή [8 - 11].



Εικόνα 1.2: Ο Κύκλος του Άνθρακα.

1.3 Θερμοχωρητικότητα

Μία από τις σημαντικότερες ιδιότητες του νερού είναι η μεγάλη θερμοχωρητικότητα που διαθέτει, δηλαδή πόσο εύκολα ψύχεται ή θερμαίνεται. Το νερό έχει τη μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα από τα στερεά και τα υγρά εκτός από την υγρή αμμωνία. Η θερμότητα που προσφέρεται σε ένα κιλό νερού για να αυξήσει τη θερμοκρασία του κατά 1°C είναι 4.200 Joule. Γίνεται αντιληπτό ότι η ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για τη θέρμανση του είναι αρκετά μεγάλη με αποτέλεσμα να χρειάζεται σημαντικό χρονικό διάστημα για να πραγματοποιηθεί μεταβολή της θερμοκρασίας του. Το νερό των ωκεανών μπορεί να ρυθμίσει το κλίμα στον πλανήτη αφού μπορεί να αποθηκεύει μεγάλα ποσά

θερμικής ενέργειας. Η ικανότητα αυτή περιορίζει τη διαστολή των ωκεανών και την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, σύμφωνα με την πιο κάτω εξίσωση [12, 13]:

$$C = dQ/dT \quad (\text{εξ. 1.5})$$

Όπου C: Θερμοχωρητικότητα.

dQ: Ενέργεια που δέχεται το νερό.

dT: Μεταβολή θερμοκρασίας.

1.4 Φυσικές Πηγές CO₂

1.4.1 Ηφαιστεια

Κατά την ηφαιστειακή δραστηριότητα τα κυριότερα αέρια που εκπέμπονται είναι το H₂O, το CO₂ και το SO₂. Τα υπόλοιπα αέρια που εκπέμπονται βρίσκονται σε μικρότερες συγκεντρώσεις και παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.1. Οι ετήσιες εκπομπές CO₂ από τα ηφαιστεια ανέρχονται σε 0,1 – 0,15 γιγατόνους και αποτελούν λιγότερο από το 1% των εκπομπών CO₂ παγκοσμίως. Οι ανθρωπογενείς εκπομπές CO₂ το 2010 ανέρχονταν σε 33,5 γιγατόνους, ποσοστό το οποίο αυξάνεται χρόνο με το χρόνο. Οι σημερινές εκπομπές CO₂ από τα ηφαιστεια αντιπροσωπεύουν μόλις το 0,22% των ανθρωπογενών εκπομπών. Κατά περιόδους στο παρελθόν όμως συνέβαλαν σημαντικά στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου αφού η ηφαιστειακή δραστηριότητα ήταν πολύ μεγαλύτερη και πιο έντονη σε σχέση με τις τελευταίες δεκαετίες [14 - 16].

Πίνακας 1.1: Σύσταση Αέριων Εκπομπών Ηφαιστειών.

Βασικά Αέρια	Αέρια σε Ύλη	Τοξικά Αέρια
H ₂ O (70 – 90%)	N ₂ , H ₂ , S	HCl, HF
CO ₂ (10 – 40%)	Cl ₂ , F	H ₂ SO ₄
SO ₂	CO, Ar	H ₂ S

Πηγή: Π. Σάββα, *Κλιματική Αλλαγή*.

Η έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα 55 εκατομμύρια χρόνια πριν οδήγησε σε υπερθέρμανση του πλανήτη όπως προκύπτει από την ανάλυση απολιθωμάτων. Κατά τη διάρκεια των ηφαιστειακών εκρήξεων ελευθερώθηκαν στην υδρόσφαιρα και την ατμόσφαιρα 1.500 γιγατόνοι άνθρακα με τη μορφή CO₂ και CH₄. Η έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα κράτησε περίπου 220.000 χρόνια και προκάλεσε αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας κατά 5°C στις τροπικές περιοχές και 6°C στην Αρκτική [17].

Πέραν των αερίων, κατά την έκρηξη των ηφαιστειών εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα σωματίδια τα οποία εμποδίζουν την ηλιακή ακτινοβολία να εισέρχεται στον πλανήτη, λόγω αυξημένης ανάκλασης, με αποτέλεσμα την ελάττωση της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά μέσο όρο 0,2 - 0,3°C για αρκετά χρόνια. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στη Γη μειώνεται με την παρουσία σωματιδίων λόγω απορρόφησης και ανάκλασης της. Το ποσοστό μείωσης της καθορίζεται από το οπτικό βάθος (τ – εξίσωση 1.6) το οποίο αποτελεί ένα δείκτη διαφάνειας και εξαρτάται από την πυκνότητα του σωματιδίου (ρ) στο οποίο προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία, από την απόσταση (s) που θα διανύσει η ακτινοβολία (I_0), από τη γωνιά πρόσπτωσης (θ) και από τη σταθερά απορρόφησης (κ):

$$\tau = \kappa \cdot \rho \cdot s \cdot \cos\theta \quad (\text{εξ. 1.6})$$

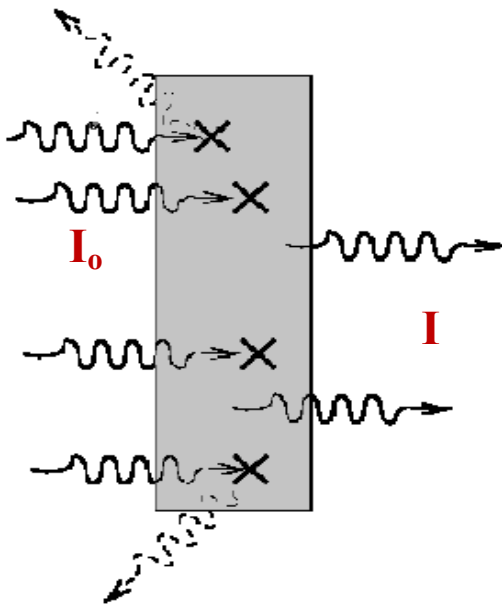
$$I/I_0 = e^{-\tau} \quad (\text{εξ. 1.7})$$

Όπου:

I : Η ένταση ακτινοβολίας που απορροφάται ή ανακλάται από το σωματίδιο στο οποίο προσπίπτει.

I_0 : Η ένταση της προσπίπτουσας στο σωματίδιο ακτινοβολίας.

Στην Εικόνα 1.3 παρουσιάζεται η εξάρτηση του οπτικού βάθους από την κάθετη πρόσπτωση της ακτινοβολίας σε σωματίδιο.



Εικόνα 1.3: Οπτικό βάθος από κάθετη πρόσπτωση ακτινοβολίας σε σωματίδιο.

Ο προσδιορισμός του οπτικού βάθους είναι μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους που απαιτούνται για τον καθορισμό του κλιματικού αντίκτυπου που επακολουθεί μία ηφαιστειακή έκρηξη. Το οπτικό βάθος μπορεί να υπολογιστεί με διάφορες τεχνικές όπως η

τεχνική Lidar η οποία βασίζεται στην εκπομπή ακτινοβολίας Laser στην ατμόσφαιρα και καταγραφή της οπισθοσκεδαζόμενης ακτινοβολίας [18, 19].

Για παράδειγμα, το 1815 εξερράγη το ηφαίστειο Tambora στην Ινδονησία, ίσως μία από τις μεγαλύτερες ηφαιστειακές εκρήξεις της προηγούμενης χιλιετίας. Η στάχτη από την έκρηξη έφτασε μέχρι και 1.300 km μακριά, ενώ σωματίδια άνθρακα και SO₂ εξαπλώθηκαν σε ολόκληρο σχεδόν τον πλανήτη. Ένα χρόνο αργότερα, το 1816, καταγράφηκε παγκόσμια μείωση της θερμοκρασίας κατά 1 - 1,5°C. Η χρονιά αυτή αναφέρεται χαρακτηριστικά ως η *χρονιά χωρίς καλοκαίρι* αφού τα αέρια που κατέληξαν στην ατμόσφαιρα παρεμπόδιζαν την ηλιακή ακτινοβολία να φτάσει στη Γη με αποτέλεσμα την απότομη πτώση της θερμοκρασίας [20].

Η πιο πρόσφατη πτώση θερμοκρασίας λόγω ηφαιστειακής δραστηριότητας παρατηρήθηκε το 1991 μετά την έκρηξη του ηφαιστείου Pinatubo στις Φιλιππίνες όπου για τα επόμενα 2 - 4 χρόνια μειώθηκε η συνολική εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία κατά 2,5 W/m² προκαλώντας συνολική μείωση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 0,5°C [21].

Το 2010 από την έκρηξη του ηφαιστείου Eyjafjallajokull στην Ισλανδία εκτιμάται ότι απελευθερώνονταν στην ατμόσφαιρα 15.000 τόνοι CO₂/ημέρα ενώ οι αντίστοιχες εκπομπές από την Ευρωπαϊκή αεροπλοΐα ανέρχονται σε 344.109 τόνους/ημέρα. Κατά τη διάρκεια αυτής της ηφαιστειακής δραστηριότητας οι πτήσεις στην Ε.Ε. είχαν ακυρωθεί σε ποσοστό 75% με αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα κατά 206.465 τόνους / ημέρα. Λόγω της έντονης ηφαιστειακής δραστηριότητας και των επικρατούντων ανέμων παρατηρήθηκε ηφαιστειακή τέφρα σε απόσταση 2.700 km από το σημείο της έκρηξης. Από μετρήσεις του οπτικού βάθους με συστήματα Lidar 15 ημέρες μετά την έκρηξη το σύννεφο ηφαιστειακής τέφρας ήταν έντονα ορατό σε υψόμετρο 3.900 km [22, 23].

Η ποσότητα CO₂ που εκλύεται στην ατμόσφαιρα από τα ηφαίστεια σύμφωνα με υπολογισμούς μπορεί να προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1,2°C. Παρόλα αυτά, τα θειούχα αέρια που ελευθερώνονται αντιδρούν με υδρατμούς στην ατμόσφαιρα σχηματίζοντας πυκνά νέφη, τα οποία μαζί με τα σωματίδια που εκπέμπονται ανακλούν την εισερχόμενη ακτινοβολία προκαλώντας μείωση της θερμοκρασίας πέραν των 1,3°C. Το CO₂ που προέρχεται από την ηφαιστειακή δραστηριότητα μπορεί να προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας η οποία όμως υπερκαλύπτεται από μείωση της θερμοκρασίας λόγω των υπολοίπων εκπομπών μιας ηφαιστειακής έκρηξης [14].

1.4.2 Πυρκαγιές

Τα δάση αποτελούν πυριτιδαποθήκη άνθρακα για το κλίμα, αφού έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν άνθρακα με τη μορφή CO₂. Ο άνθρακας αποθηκεύεται στη βιομάζα φυτών και δέντρων, καθώς και στο δασικό έδαφος σε πολύ μεγαλύτερες ποσότητες. Με την πυρκαγιά σε ένα δάσος καταστρέφονται τόσο τα δέντρα όσο και το έδαφος. Η καύση αυτή έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση τεραστίων ποσοτήτων CO₂ στην ατμόσφαιρα ενώ ταυτόχρονα το έδαφος χάνει τη λειτουργικότητα του με αποτέλεσμα να υπονομεύεται η ικανότητα του να δεσμεύει άνθρακα και να υποστηρίζει την ανάπτυξη νέας βλάστησης.

Οι αιτίες πρόκλησης πυρκαγιών σχετίζονται κυρίως με τις ανθρώπινες δραστηριότητες σε ένα μεγάλο ποσοστό της τάξης του 90% και σε μικρότερο βαθμό από κλιματικούς παράγοντες. Οι δραστηριότητες αφορούν τον τρόπο χρήσης της γης, την ταφή απορριμμάτων και ατυχήματα, καθώς επίσης και την ανθρώπινη συμπεριφορά όπως την άγνοια και την αναψυχή. Οι πυρκαγιές μπορεί να προκληθούν και έμμεσα από τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες, όπως είναι οι υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με μεγάλες περιόδους ξηρασίας όπου μεταβάλλεται η υγρασία των φυτών και οι ισχυροί άνεμοι ενισχύουν τη διαδικασία της καύσης αλλά και την ταχύτητα διάδοσης τους. Τον Αύγουστο του 2006 μετά από περίοδο έντονης λειψυδρίας στην Ισπανία ξέσπασαν πυρκαγιές που διήρκησαν 11 ημέρες λόγω των υψηλότερων επιπέδων θερμοκρασίας, υγρασίας και ανέμου από το κανονικό [24].

Κάθε χρόνο περίπου 5.000 km² δασών στην Μεσόγειο καταστρέφονται από πυρκαγιές. Το καλοκαίρι του 2010 κάηκαν περίπου 10.000 km² δασών στην Ρωσία με αποτέλεσμα την έκλυση τουλάχιστον 800 εκατομμυρίων τόνων CO₂ στην ατμόσφαιρα. Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί με τις ετήσιες εκπομπές της Γερμανίας, μίας χώρας με έντονη βιομηχανική δραστηριότητα. Σύμφωνα με τον Evgeny Shvarts, Διευθυντή Περιβαλλοντικής Πολιτικής του WWF της Ρωσίας τα αίτια πρόκλησης των πυρκαγιών ήταν οι υψηλές θερμοκρασίες και η ξηρασία. Το 2003 στην Πορτογαλία καταστράφηκαν από πυρκαγιές 4.500 km², έκταση η οποία αντιστοιχεί στο 5% της δασικής έκτασης της χώρας [25].

Από το 2000 μέχρι το 2005 σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Σύστημα Πληροφόρησης Δασικών Πυρκαγιών (European Forest Fire Information System – EFFIS) σημειώνονταν 95.000 πυρκαγιές ανά έτος σε 23 Ευρωπαϊκές χώρες. Μέσα σε αυτά τα 6 χρόνια καταστράφηκαν 36.000 km² δασικών εκτάσεων εκ των οποίων τα 30.960 km² ήταν σε 5 Μεσογειακές χώρες (Γαλλία, Ελλάδα, Ιταλία, Πορτογαλία και Ισπανία). Οι υπολογιζόμενες εκπομπές CO₂ από τις

δασικές πυρκαγιές υπολογίζονται σε 8,4 – 20,4 εκατομμύρια τόνοι CO₂/χρόνο, δηλαδή κατά μέσο όρο 86.400.000 τόνοι CO₂ για την περίοδο μελέτης 2000 – 2005 [26].

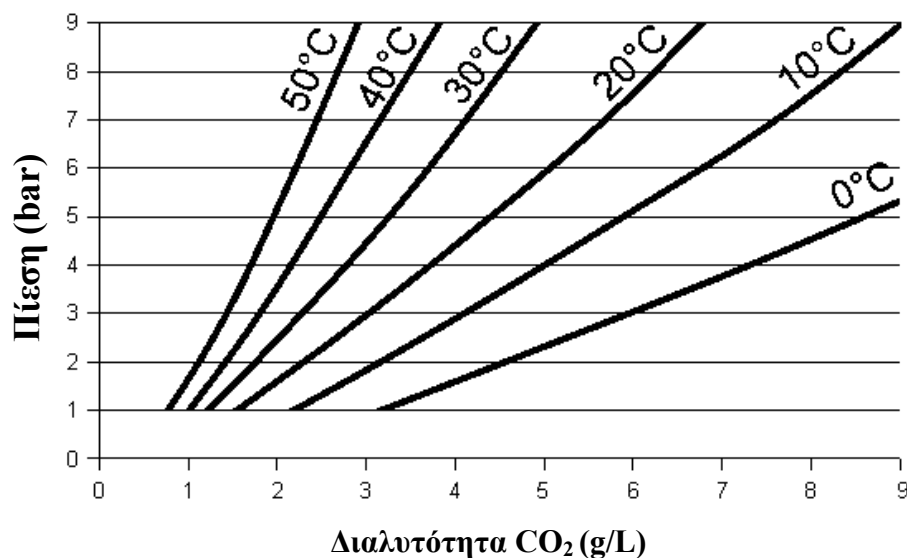
1.4.3 Ωκεανοί

Οι ωκεανοί λειτουργούν ως αποθήκες CO₂ ανταλλάζοντας το με την ατμόσφαιρα. Η ικανότητα τους για απορρόφηση CO₂ εξαρτάται από την πίεση του CO₂ σε ισορροπία με το νερό, τη θερμοκρασία του νερού, το pH του νερού και την παρουσία άλλων ουσιών όπως το CaO. Με την αύξηση της μερικής πίεσης του CO₂ και την αύξηση του pH των ωκεανών η διαλυτότητα του αυξάνεται, ενώ παρουσία άλλων ενώσεων όπως το CaO μειώνεται. Όπως φαίνεται στην εξίσωση 1.8 το CO₂ αντιδρά με το CaO σχηματίζοντας CaCO₃ το οποίο προσλαμβάνεται από τα οστρακοειδή για σχηματισμό του κελύφους τους. Επομένως, η διαλυτότητα του CO₂ στο νερό μειώνεται παρουσία CaO.



Οι ωκεανοί δεσμεύουν CO₂ από την ατμόσφαιρα μέρος του οποίου χρησιμοποιείται από έμβιους οργανισμούς για ανάπτυξη, ένα άλλο μέρος διαλύεται στο νερό και το υπόλοιπο αποθηκεύεται σε γεωλογικούς σχηματισμούς σε μεγάλα βάθη. Όταν οι ωκεανοί θερμαίνονται, μέρος του διαλυμένου CO₂ επιστρέφει πίσω στην ατμόσφαιρα.

Στο Γράφημα 1.1 παρουσιάζεται η εξάρτηση της διαλυτότητας του CO₂ με την πίεση και τη θερμοκρασία. Παρατηρείται ότι σε ισοβαρείς συνθήκες η διαλυτότητα του CO₂ στο νερό αυξάνει με τη μείωση της θερμοκρασίας.



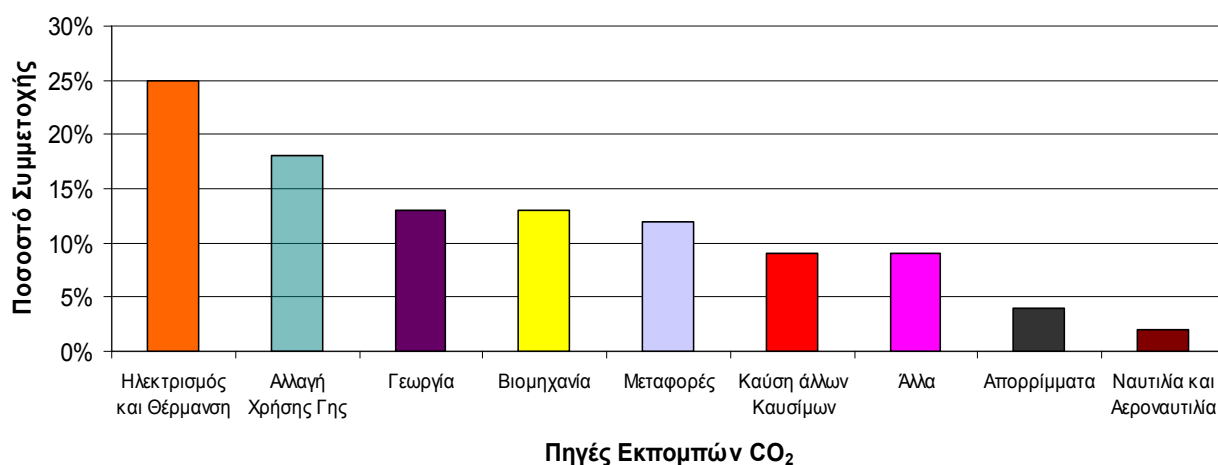
Γράφημα 1.1: Διαλυτότητα CO₂ (g/L) στο θαλασσινό νερό σε συνάρτηση με την πίεση (σε bar) σε διάφορες θερμοκρασίες.

Τον τελευταίο αιώνα η άνοδος της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη απελευθέρωση ποσότητας CO₂ από αυτήν που δεσμεύεται, διαταράσσοντας με αυτό τον τρόπο το ισοζύγιο του άνθρακα. Ως αποτέλεσμα, στην ατμόσφαιρα εμφανίζεται πλεονάζουσα ποσότητα CO₂. Αν οι εκπομπές CO₂ αυξηθούν περαιτέρω θα προκληθεί κορεσμός των ωκεανών με αποτέλεσμα να μην μπορούν να δεσμεύουν ατμοσφαιρικό CO₂. Έτσι, το τελευταίο θα παραμένει στην ατμόσφαιρα με συνέπεια, σύμφωνα με την IPCC, να αρχίσει ένας κύκλος ανατροφοδοτικών μηχανισμών που θα οδηγήσει στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη [27].

1.5 Ανθρωπογενείς Εκπομπές CO₂

1.5.1 Χρήση Ορυκτών Καυσίμων

Οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις του ανθρώπου για μια καλύτερη ποιότητα ζωής συνδέονται άμεσα με το ενισχυμένο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου μέσω των εκπομπών CO₂. Η παραγωγή και κατ' επέκταση η χρήση ενέργειας διευκολύνει τον άνθρωπο στις καθημερινές του δραστηριότητες γεγονός όμως που έχει μεγάλο αντίκτυπο στο περιβάλλον. Τα 2/3 των ανθρωπογενών εκπομπών CO₂ προέρχονται από την καύση ορυκτών καυσίμων για παραγωγή ηλεκτρισμού, για θέρμανση και ψύξη, για χρήση στις μεταφορές, στη βιομηχανία και σε άλλους τομείς όπως φαίνεται στο Γράφημα 1.2 [8].



Γράφημα 1.2: Ανθρωπογενείς πηγές εκπομπών CO₂.

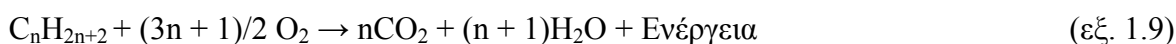
Το 1860 ο Jean - Joseph Etienne Lenoir εφεύρε την πρώτη μηχανή εσωτερικής καύσης, η οποία βελτιώθηκε το 1876 από τον Nikolaus Augustus Otto. Η εφεύρεση αυτή αποτέλεσε την αφετηρία μίας νέας εποχής κατά την οποία άρχισε η άνθιση της βιομηχανίας και της τεχνολογίας. Η βιομηχανική επανάσταση σε συνδυασμό με την αλόγιστη χρήση αγαθών

και υπηρεσιών από τον άνθρωπο οδήγησε σε σημαντική αύξηση των επιπέδων CO₂ στην ατμόσφαιρα με ταχύ ρυθμό [28].

Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται συνήθως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ο ασφαλτίτης, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, ενώ στα μέσα μαζικής μεταφοράς τα σημαντικότερα καύσιμα είναι το πετρέλαιο και η βενζίνη η οποία προέρχεται από επεξεργασία του πετρελαίου.

A) Βιομηχανία

Η κύρια πηγή ανθρωπογενών εκπομπών CO₂ στο περιβάλλον είναι η βιομηχανική δραστηριότητα η οποία ως επί το πλείστο αποτελεί σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Από την καύση των ορυκτών καυσίμων που περιέχουν άνθρακα, όπως λιθάνθρακας, λιγνίτης, φυσικό αέριο και πετρέλαιο, εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα CO₂ σύμφωνα με τη γενική αντίδραση 1.9:



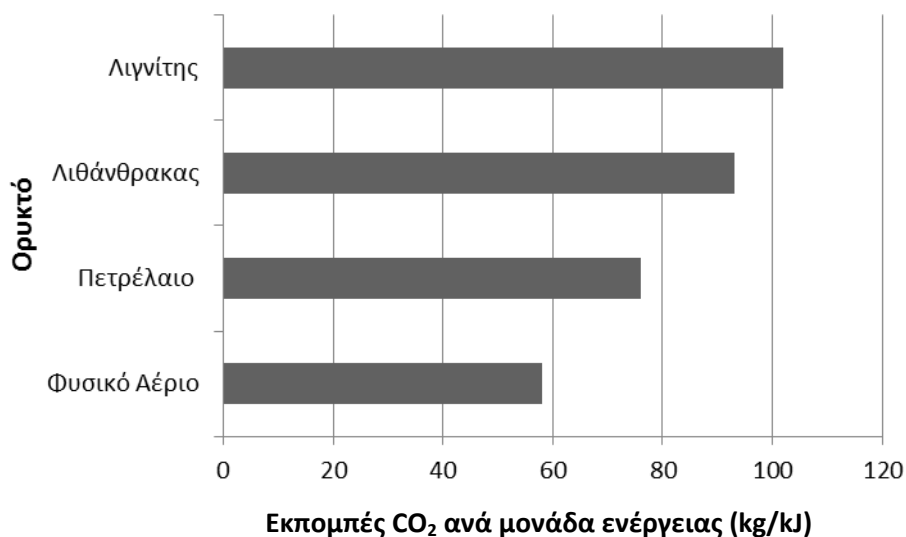
Έτσι, για παράδειγμα η Κίνα βασίζεται στη χρήση γαιάνθρακα για το 75% της παραγόμενης ενέργειας της ενώ οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής παράγουν το 83% της ενέργειας που χρησιμοποιούν με την καύση ορυκτών καυσίμων.

B) Μέσα μεταφοράς

Τα μέσα μεταφοράς όπως αυτοκίνητα, αεροπλάνα, τρένα και πλοία κινούνται με μηχανές εσωτερικής καύσης οι οποίες λειτουργούν με τη χρήση ορυκτών καυσίμων. Κατά την καύση των τελευταίων στη μηχανή αλλά και από την εξάτμιση του καυσίμου ρυπαίνεται η ατμόσφαιρα. Τα συχνότερα χρησιμοποιούμενα καύσιμα στα μέσα μεταφοράς είναι η βενζίνη και το ντίζελ τα οποία αποτελούνται από μείγματα υδρογονανθράκων. Λόγω της ατελούς καύσης που πραγματοποιείται οι σημαντικότεροι ρύποι που παράγονται είναι τα CO, CO₂, NO_x και SO₂. Το 2010 οι εκπομπές CO₂ από τις επιβατικές αερομεταφορές ήταν 4,9 δισεκατομμύρια τόνοι, 1 δισεκατομμύριο περισσότερες από το 2004. Οι οδικές εμπορευματικές μεταφορές στην Ευρώπη ευθύνονται για την εκπομπή περισσότερων από 420 εκατομμυρίων τόνων CO₂ ετησίως [8].

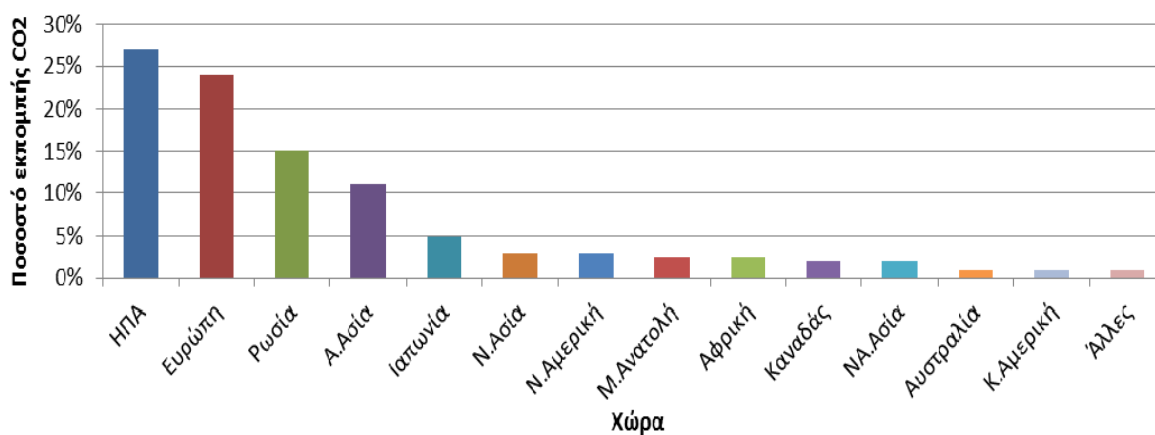
Τα ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται στις μηχανές εσωτερικής καύσης αποτελούνται από υδρογονάνθρακες και άλλες πρόσθετες ρυθμιστικές ουσίες. Κατά την καύση, οι

υδρογονάνθρακες αντιδρούν με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας σχηματίζοντας κυρίως CO₂ και H₂O. Η ποσότητα του παραγόμενου CO₂ εξαρτάται από τη φύση του ορυκτού καυσίμου όπως φαίνεται στο Γράφημα 1.3, καθώς και από την απόδοση της καύσης.



Γράφημα 1.3: Εκπομπές CO₂ ανά GJ παραγόμενης ενέργειας για τα διάφορα είδη ορυκτών άνθρακα.

Στο Γράφημα 1.4 παρουσιάζεται το ποσοστό συνεισφοράς διαφόρων χωρών στις συνολικές εκπομπές CO₂ για τη χρονική περίοδο 1950 – 2000.



Γράφημα 1.4: Εκπομπές CO₂ ανά χώρα από την καύση ορυκτών καυσίμων τη χρονική περίοδο 1950 - 2000.

1.5.2 Χρήση της Γης

Το 25% των ανθρωπογενών εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα τα τελευταία 150 χρόνια προέρχεται από αλλαγές στον τρόπο χρήσης της γης. Η αποψίλωση των δασών για ανάπτυξη γης σε συνδυασμό με την εντατική καλλιέργεια της οδηγεί στην απελευθέρωση σημαντικών ποσοτήτων CO₂ στην ατμόσφαιρα. Τα δάση δεσμεύουν και αποθηκεύουν

σημαντικές ποσότητες CO₂ από την ατμόσφαιρα για την ανάπτυξη τους. Με την καταστροφή των δασών εκλύονται τεράστιες ποσότητες CO₂ οι οποίες αυξάνουν με την ηλικία του δάσους [8].

Κατά τους τελευταίους αιώνες η ανάγκη του ανθρώπου για μετάβαση σε αγροτική γη οδήγησε στη συστηματική αποψίλωση των δασών σε ολόκληρο τον πλανήτη. Ο πληθυσμός της Γης αυξάνεται με ταχύ ρυθμό χρόνο με το χρόνο αυξάνοντας παράλληλα τις απαιτήσεις για τρόφιμα, η καλλιέργεια των οποίων απαιτεί αλλαγή στον τρόπο χρήσης της γης. Ως αποτέλεσμα, προκαλείται διάβρωση του εδάφους στο οποίο απαιτείται αποκατάσταση. Η αλλαγή που δέχεται το έδαφος έτσι ώστε να γίνει κατάλληλο για καλλιέργεια και η μετέπειτα αποκατάσταση του απελευθερώνει περίπου 6,239 δισεκατομμύρια τόνους CO₂ το χρόνο [29].

Επίσης, η αποψίλωση των δασών υπονομεύει τη δυνατότητα μείωσης της συγκέντρωσης του ατμοσφαιρικού CO₂ μέσω της απορρόφησης του για την ανάπτυξη τους. Τα δάση της Βραζιλίας και της Ινδονησίας έχουν αποθηκευμένο το 35% του CO₂ που υπάρχει στα δάση παγκοσμίως και απελευθερώνουν τις μεγαλύτερες ποσότητες άνθρακα λόγω της αποψίλωσης τους. Σύμφωνα με μελέτες της Διακυβερνητικής Επιτροπής για τις Κλιματικές Αλλαγές από την αλλαγή στον τρόπο χρήσης της γης κατά τη δεκαετία 1990 – 2000 εκέμπονταν $1,6 \pm 0,8$ GT CO₂ το χρόνο, ποσότητα που αντιστοιχεί στο 25% των παγκόσμιων ετήσιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Το 2010 από την αλλαγή στο τρόπο χρήσης της γης οι εκπομπές CO₂ στην ατμόσφαιρα ανήλθαν σε 8,4 δισεκατομμύρια τόνους ανά το παγκόσμιο [30, 31].

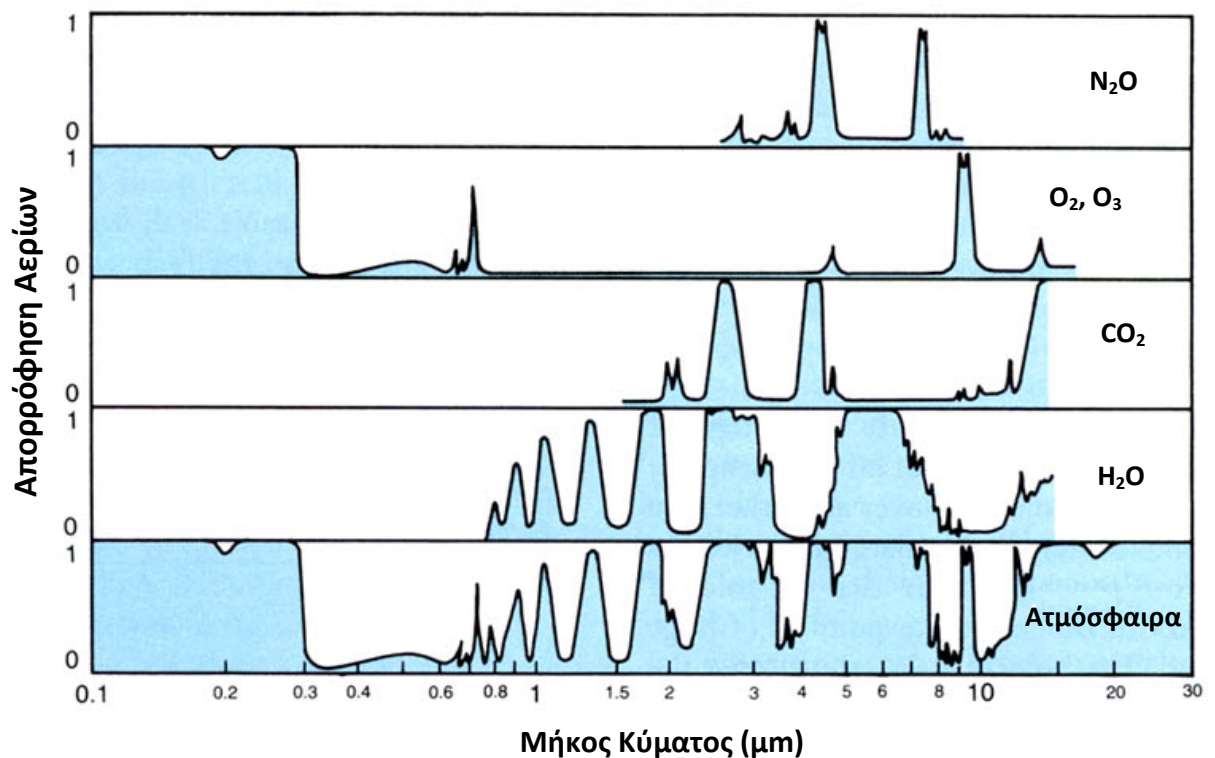
1.6 Επιπτώσεις CO₂ στο Περιβάλλον

1.6.1 Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου (Φ.Θ.) ανακαλύφθηκε το 1824 από τον Joseph Fourier και μελετήθηκε πιο εκτεταμένα το 1896 από τον Svante Arrhenius. Πρόκειται για ένα φυσικό μηχανισμό ο οποίος επιτρέπει την ύπαρξη ζωής στη Γη, αφού χωρίς αυτόν η μέση θερμοκρασία του πλανήτη θα ήταν - 18°C. Το φαινόμενο αυτό προσομοιάζεται με θερμοκήπιο (προέλευση ονομασίας του) το οποίο λόγω του διαφανούς θόλου που διαθέτει επιτρέπει την είσοδο ακτινοβολίας η οποία απορροφάται εν μέρει, διαχέεται και επανεκπέμπεται με ταυτόχρονη παγίδευση θερμότητας.

Η Γη θερμένεται καθώς δέχεται ηλιακή ακτινοβολία και λόγω της θερμότητας που αποκτά εκπέμπει ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος (υπέρυθρη ακτινοβολία) σε αντίθεση με τον Ήλιο ο οποίος εκπέμπει μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία (υπεριώδες ή ορατή ακτινοβολία). Η ατμόσφαιρα της Γης έχει την ικανότητα να απορροφά την ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος η οποία εκπέμπεται από τη Γη με αποτέλεσμα την παρεμπόδιση διαφυγής της προς το διάστημα και την παγίδευση θερμότητας σε αυτήν. Η ικανότητα της ατμόσφαιρας να απορροφά ακτινοβολία διαφοροποιείται ανάλογα με τη σύσταση της. Τα αέρια που εμπεριέχονται στην ατμόσφαιρα και έχουν μεγάλη ικανότητα απορρόφησης της μεγάλου μήκους κύματος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι οι υδρατμοί (H_2O_g), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), τα οξείδια του αζώτου (NO_x) και οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες (CHCs). Τα παραπάνω αέρια λόγω της ικανότητας τους να παγιδεύουν θερμότητα στη Γη ονομάζονται αέρια του θερμοκηπίου (GreenHouse Gases - GHG).

Στο Γράφημα 1.5 παρουσιάζεται η απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας (μήκος κύματος 0,7 – 100 μm) από αέρια που εμπεριέχονται στην ατμόσφαιρα (H_2O_g , CO_2 , CH_4 , NO_2 , O_2 και O_3) καθώς και η συνολική απορρόφηση της ακτινοβολίας αυτής από την ατμόσφαιρα.



Γράφημα 1.5: Απορρόφηση υπέρυθρης ακτινοβολίας από τα αέρια της ατμόσφαιρας.

Με το φυσικό αυτό φαινόμενο (Φ.Θ.) θερμαίνεται επιπλέον η επιφάνεια του πλανήτη με τη μέση θερμοκρασία να ανέρχεται στους 15°C καθιστώντας τη Γη κατοικήσιμη. Το 70% της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από τους ωκεανούς σε ποσοστό 51%, από την ατμόσφαιρα 16% και από τα νέφη 3%. Το υπόλοιπο 30% της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται πίσω στο διάστημα από την ατμόσφαιρα σε ποσοστό 6%, την επιφάνεια της Γης 4% και τα νέφη 3%.

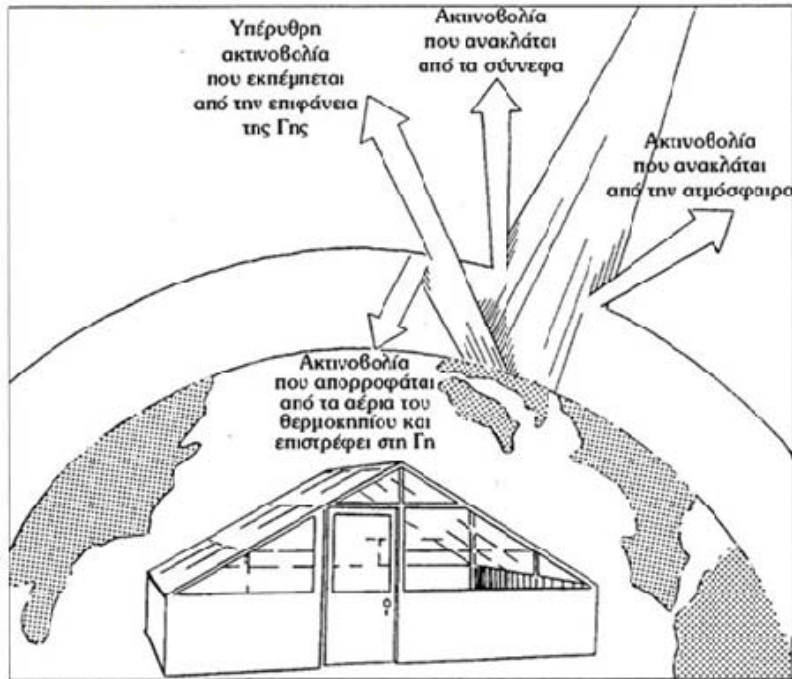
Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται ενίσχυση αυτού του φυσικού μηχανισμού με αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας. Η άνοδος της θερμοκρασίας έγκειται στο γεγονός ότι η συγκέντρωση των GHG στην ατμόσφαιρα αυξήθηκε λόγω της αύξησης των ανθρώπινων δραστηριοτήτων με τις οποίες εκλύονται τα αέρια αυτά. Από τα αέρια που συνεισφέρουν στο Φ.Θ. το CO₂ πιστεύεται ότι επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό το φαινόμενο αυτό σε σχέση με τα υπόλοιπα αέρια λόγω του μεγάλου Δυναμικού Παγκόσμιας Θέρμανσης που διαθέτει (βλέπε Κεφ. 2.4).

Το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που θα ανακλαστεί πίσω στο διάστημα εξαρτάται και από την επιφάνεια την οποία προσπίπτει (φαινόμενο Albedo). Το φαινόμενο Albedo ορίζεται ως το μέτρο ανακλαστικότητας της ηλιακής ακτινοβολίας ανάλογα με την επιφάνεια στην οποία θα προσπέσει και τη γωνιά πρόσπτωσης της ακτινοβολίας. Εκφράζεται σε ποσοστό % και υπολογίζεται ως ο λόγος της ανακλώμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας προς την προσπίπτουσα. Ανοιχτόχρωμες επιφάνειες όπως οι πάγοι και το χιόνι ανακλούν πολύ περισσότερη ακτινοβολία σε σχέση με πιο σκούρες επιφάνειες όπως οι ωκεανοί και το έδαφος. Τα σύννεφα ανακλούν μεγάλο ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας διατηρώντας τη θερμοκρασία της Γης χαμηλή, ταυτόχρονα όμως μπορούν να παγιδεύουν θερμότητα. Το συνολικό Albedo της επιφάνειας της Γης υπολογίζεται να είναι 33%. Στον Πίνακα 1.2 παρουσιάζεται το ποσοστό ανακλαστικότητας για διάφορες επιφάνειες.

Πίνακας 1.2: Ποσοστό ανακλαστικότητας για διάφορες επιφάνειες.

Επιφάνεια	Albedo (%)
Χιόνι	90%
Σύννεφα	40 - 80%
Έδαφος	10%
Δέντρα	5%

Στην Εικόνα 1.4 παρουσιάζεται ο μηχανισμός του Φαινομένου του Θερμοκηπίου κατά τον οποίο καθώς η Γη δέχεται ακτινοβολία από τον Ήλιο, θερμαίνεται και εκπέμπει υπέρυθη ακτινοβολία η οποία συγκρατείται από τα αέρια της ατμόσφαιρας θερμαίνοντας τη Γη.



Εικόνα 1.4: Μηχανισμός Φαινομένου του Θερμοκηπίου.

Τα αέρια του θερμοκηπίου δεν προκαλούν αύξηση της θερμοκρασίας μόνο στις περιοχές που εκπέμπονται λόγω του ότι δεν υπάρχει κάποιος φυσικός μηχανισμός περιορισμού τους με αποτέλεσμα να διαχέονται σε όλη την επιφάνεια του πλανήτη. Επομένως, οι συνέπειες από την έκλυση αυτών των αερίων στην ατμόσφαιρα μπορούν να εμφανιστούν και σε περιοχές μακριά από την πηγή εκπομπής. Επίσης, η πρόβλεψη του πραγματικού μεγέθους του προβλήματος καθίσταται δύσκολη λόγω της χρονικής καθυστέρησης της εμφάνισης των αποτελεσμάτων [32, 33].

1.6.2 Όξυνση των Θαλασσών

Η χημεία των θαλάσσιων υδάτων αλλάζει με ταχύτερο ρυθμό στις μέρες μας σε σχέση με 100.000 χρόνια πριν. Η οξύτητα τους βρίσκεται σε καίριο όριο και έφτασε σε επίπεδα που δεν έχουν σημειωθεί εδώ και 10 εκατομμύρια χρόνια. Η απορρόφηση του 1/3 των ανθρωπογενών εκπομπών CO₂ τα τελευταία 200 χρόνια έχει προκαλέσει μείωση του pH της επιφάνειας της θάλασσας κατά 0,1 μονάδα, δηλαδή προκλήθηκε αύξηση της οξύτητας των θαλασσών κατά 30%, όπως ανακοίνωσε η IPCC στην τέταρτη έκθεση της το 2007 [34].

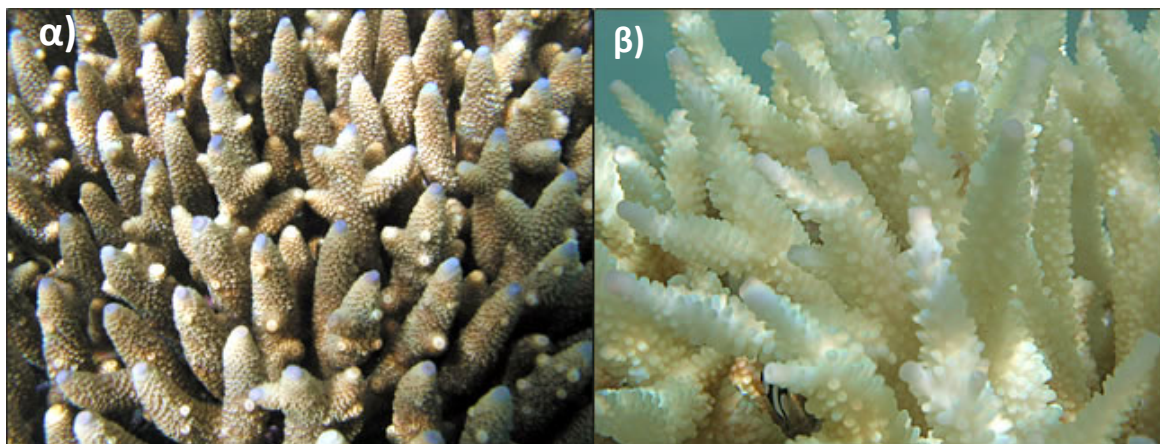
Η οξύτητα των θαλασσών καθορίζεται από τον κύκλο του άνθρακα στον οποίο ενεργό ρόλο διαδραματίζουν οι ανθρώπινες δραστηριότητες. Η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα οδηγεί σε αυξημένες συγκεντρώσεις CO₂ στα θαλάσσια ύδατα προκαλώντας μείωση στο pH τους και καθιστώντας τα πιο όξινα. Η αύξηση της οξύτητας των θαλάσσιων υδάτων επηρεάζει ζωικούς και φυτικούς υδρόβιους οργανισμούς. Η παρουσία μεγάλων ποσοτήτων CO₂ μειώνει την ικανότητα ασβεστοποίησης των οργανισμών, δηλαδή την ικανότητα τους να δεσμεύουν ασβέστιο για το σχηματισμό του κελύφους και των σκελετών τους. Τα ανθρακικά ιόντα (CO₃²⁻) δεσμεύονται από τα ιόντα υδρογόνου (H⁺) τα οποία σχηματίσθηκαν κατά τη διάσπαση του H₂CO₃ εμποδίζοντας έτσι τη δέσμευση τους από ιόντα ασβεστίου (Ca²⁺) για το σχηματισμό ανθρακικού ασβεστίου (CaCO₃).



Η αδυναμία σχηματισμού ανθρακικού ασβεστίου επηρεάζει τους θαλάσσιους οργανισμούς όπως κοράλλια, μαλάκια και κάποια είδη πλαγκτόν. Το πλαγκτόν αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή τροφής για τα ψάρια. Βρίσκεται στη βάση της τροφικής αλυσίδας επηρεάζοντας έμμεσα την επιβίωση όλων των θαλάσσιων οργανισμών. Οι κοραλλιογενείς ύφαλοι αποτελούν κέντρο βιοποικιλότητας και η απώλεια ή η καταστροφή τους θα έχει αντίκτυπο σε πολλά είδη που διαβιούν εκεί και αποτελούν ένα σημαντικό ποσοστό της θαλάσσιας ζωής. Τα τελευταία χρόνια έχει σταματήσει η ανάπτυξη τους και ο ρυθμός καταστροφής τους έχει παρατηρηθεί ότι αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου.

Τα κοράλλια, τα οποία αποτελούνται από ένα πλέγμα πολυπόδων, καταστρέφονται από την όξυνση των θαλασσών αλλά και από την άνοδο της θερμοκρασίας του νερού. Τα κοράλλια έχουν μία συμβιωτική σχέση με τα φύκη από τα οποία αντλούν τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για την επιβίωση και την ανάπτυξη τους. Όταν η θερμοκρασία των θαλασσών υπερβεί μία μέγιστη τιμή (περίπου 30 - 35°C), προκαλείται στρες στη φυσιολογία των κοραλλιών με αποτέλεσμα τη διατάραξη του ενεργειακού τους ισοζυγίου και την κατάρρευση της συμβιωτικής τους σχέσης με τα φύκη. Με την κατάρρευση της σχέσης αυτής, τα κοράλλια δεν μπορούν να αποκτήσουν τροφή η οποία παρέχεται από τα φύκη με συνέπεια τον περιορισμό της ανάπτυξης τους λόγω αδυναμίας σχηματισμού

ανθρακικού σκελετού ενώ ταυτόχρονα χάνουν το χρώμα τους και γίνονται λευκά. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται λεύκανση. Στην Εικόνα 1.5 παρουσιάζεται ένα υγιές (α) και ένα λευκασμένο (β) κοράλλι.



Εικόνα 1.5: α): Υγιές κοράλλι, β): Λευκασμένο κοράλλι.

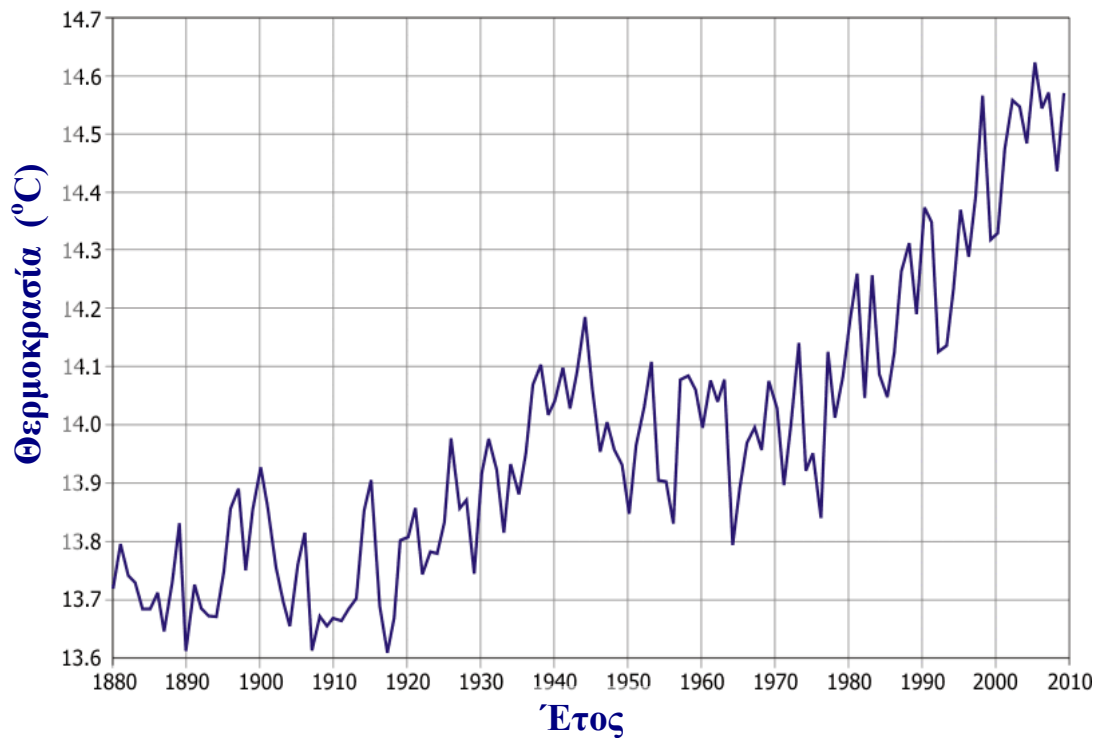
Τα κοράλλια λόγω της ανθεκτικότητάς τους μπορούν να παραμείνουν ζωντανά και να ανακτήσουν τη συμβιωτική τους σχέση με τα φύκη. Στην περίπτωση όμως όπου το νερό των ωκεανών παραμείνει για αρκετό καιρό ζεστό, τα κοράλλια λόγω έλλειψης τροφής οδηγούνται στην καταστροφή. Η απώλεια τους είναι σημαντική λόγω της μεγάλης συμβολής τους στην υποστήριξη και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας. Στις Σεϋχέλλες από το 1998 μέχρι σήμερα έχει χαθεί το 90% των κοραλλιών λόγω λεύκανσης με αποτέλεσμα τη μείωση της βιοποικιλότητας των ψαριών κατά 50%.

Οι επιπτώσεις από την όξυνση των θαλασσών έχουν συνιστώσα και στον άνθρωπο. Περίπου 500 εκατομμύρια άνθρωποι ζουν από τα αγαθά και τις ‘υπηρεσίες’ που τους παρέχει η θαλάσσια ζωή καθώς επίσης και 30 εκατομμύρια φτωχοί σε όλο τον κόσμο βασίζονται αποκλειστικά για τροφή. Κλιματικά υπολογιστικά μοντέλα προβλέπουν ότι εάν συνεχίσουν τα επίπεδα CO₂ να είναι τόσο υψηλά, μέχρι το 2050 τα κοράλλια θα είναι σπάνια σε τροπικούς και υποτροπικούς υφάλους [8, 11, 35].

1.6.3 Αύξηση της Παγκόσμιας μέσης Θερμοκρασίας

Σύμφωνα με την IPCC, αποτέλεσμα του ενισχυμένου Φαινομένου του Θερμοκηπίου είναι η αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας. Σε βάθος γεωλογικών χρόνων η μέση θερμοκρασία της Γης παρουσίαζε μεταβολές εντός ενός φυσικού επαναλαμβανόμενου κύκλου. Τον τελευταίο αιώνα όμως οι θερμοκρασίες που καταγράφονται είναι αρκετά ψηλές και κάποιοι επιστήμονες μιλούν για διατάραξη του φυσικού κύκλου λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας. Μέσα σε 100 χρόνια (1906 - 2005) η θερμοκρασία σημείωσε άνοδο $0,74 \pm$

0,18°C με το μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης να παρουσιάζεται κατά το δεύτερο μισό του αιώνα [36].



Γράφημα 1.6: Μέση παγκόσμια θερμοκρασία για τα έτη 1880 - 2010 όπως καταγράφηκε και υπολογίστηκε από την GISS.

Τα έτη 2005 και 2010 καταγράφηκε η μεγαλύτερη μέση παγκόσμια θερμοκρασία από το 1880, έτος κατά το οποίο άρχισαν να καταγράφονται οι θερμοκρασίες. Τα έντεκα από τα δεκατρία θερμότερα έτη των τελευταίων 132 χρόνων είναι τα έτη 2001 – 2011. Τα έτη 2005 και 2010 βρίσκονται στην πρώτη θέση με μέση θερμοκρασία 14,52°C. Ακολουθούν τα έτη 2003, 2002, 2006, 2009 και 2007, 2004, 2001, 2011 και 2008. Η υψηλότερη μέση παγκόσμια θερμοκρασία του 20^{ου} αιώνα ήταν το έτος 1998 με θερμοκρασία 14,5°C. Η πρώτη δεκαετία του 21^{ου} αιώνα ήταν η θερμότερη από το 1880 με μέσο όρο 14,47°C [36 - 38].

Η αύξηση της θερμοκρασίας σε συνδυασμό με ισχυρούς ανέμους είναι ίσως η σημαντικότερη αιτία πρόκλησης πυρκαγιών και ταυτόχρονα απελευθέρωσης μεγάλων ποσοτήτων CO₂ στην ατμόσφαιρα. Τον Αύγουστο του 2003 η θερμοκρασία στην Πορτογαλία είχε ανέλθει 11°C υψηλότερα από τα κανονικά για την εποχή επίπεδα. Η μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας οδήγησε σε εκτεταμένες πυρκαγιές καταστρέφοντας τεράστιες εκτάσεις δασών [25].

Με τη χρήση κλιματικών μοντέλων, η IPCC παρουσίασε στην 4^η έκθεση της το 2007 τα πιθανά σενάρια για την άνοδο της θερμοκρασίας μέχρι το τέλος του αιώνα που διανύουμε. Το πιο αισιόδοξο σενάριο προβλέπει αύξηση 1,8°C ενώ το πιο απαισιόδοξο 4°C. Για τις επόμενες δύο δεκαετίες προβλέπεται αύξηση 0,2°C με την προϋπόθεση να μην αυξηθεί περαιτέρω η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα λόγω του μεγάλου χρόνου ζωής του σε αυτήν [34].

Η άνοδος της θερμοκρασίας κατά 1 - 2°C σε μικρά γεωγραφικά πλάτη, κυρίως ξηρές και τροπικές περιοχές, θα οδηγήσει σε μείωση της ικανότητας χρήσης της γης με αποτέλεσμα την έλλειψη τροφής σε αυτές τις περιοχές. Οι αυξημένες θερμοκρασίες θα προκαλέσουν εξάτμιση του νερού σε ποτάμια τα οποία χρησιμοποιούνται για ύδρευση ενώ ταυτόχρονα θα καταστρέψουν τις υφιστάμενες καλλιέργειες λόγω ανάπτυξης παρασίτων και μετάδοσης ασθενειών [39].

Ο άνθρωπος έχει αναπτυγμένους μηχανισμούς για να επιβιώνει μέχρι μία μέγιστη τιμή θερμοκρασίας. Η περαιτέρω άνοδος της θερμοκρασίας θα αυξήσει τα επίπεδα θνησιμότητας και θα δημιουργήσει αρκετά προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία. Σύμφωνα με εκτιμήσεις στην Ε.Ε. η θνησιμότητα αυξάνεται 1 – 4% για κάθε 1°C που ανεβαίνει η θερμοκρασία. Οι πιο επιρρεπείς ομάδες πληθυσμού είναι οι ηλικιωμένοι οι οποίοι έχουν μειωμένη ικανότητα ελέγχου ρύθμισης της θερμοκρασίας του σώματος τους, τα παιδιά και άλλες ευπαθείς ομάδες. Η θνησιμότητα από θερμοπληξία μπορεί να οφείλεται σε καρδιαγγειακές, νεφρικές, αναπνευστικές ή μεταβολικές δυσλειτουργίες. Τα ποσοστά θνησιμότητας λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών είναι μεγαλύτερα σε περιοχές που ευνοούν τις υψηλότερες θερμοκρασίες. Το 2003 προκλήθηκαν 35.000 θάνατοι σε Γαλλία, Ιταλία, Πορτογαλία, Ισπανία, Αγγλία και Ολλανδία λόγω σφοδρού κύματος καύσωνα. Την ίδια χρονιά στο Πακιστάν και την Ινδία 1.500 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους λόγω ασυνήθιστα υψηλών θερμοκρασιών που ξεπερνούσαν τους 50°C [25, 40].

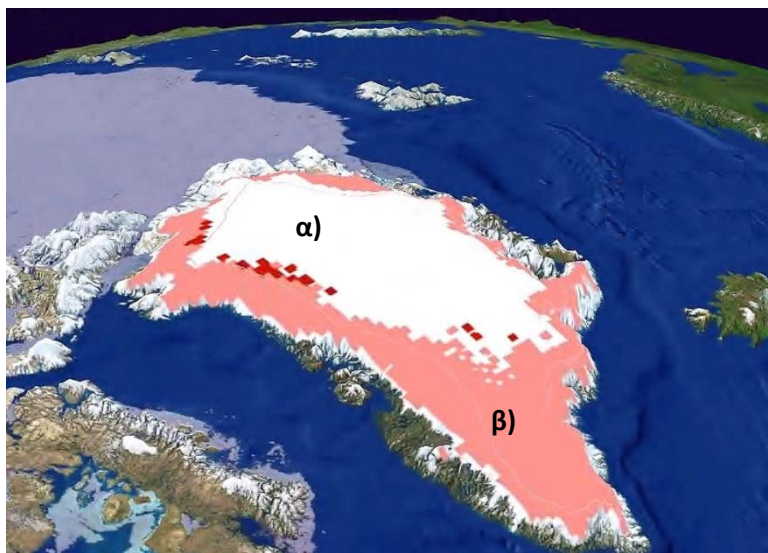
Η άνοδος της θερμοκρασίας επηρεάζει την ικανότητα ανάπτυξης και επιβίωσης φυτικών και ζωικών ειδών τα οποία είναι προσαρμοσμένα να ζουν σε συγκεκριμένες συνθήκες. Σύμφωνα με μελέτες και χρήση υπολογιστικών μοντέλων βρέθηκε ότι εάν η μέση παγκόσμια θερμοκρασία αυξηθεί 1,5 – 2,5°C το 20 – 30% των ειδών που υπάρχουν στη Γη θα διατρέξει σοβαρό κίνδυνο εξαφάνισης ενώ σε περίπτωση που η άνοδος είναι μεγαλύτερη από 3,5°C το ποσοστό απώλειας των ειδών θα ανέλθει σε 40 – 70% [39].

1.6.4 Λιώσιμο των Πάγων

Η ύπαρξη πάγων είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον περιορισμό της περαιτέρω υπερθέρμανσης του πλανήτη λόγω της ιδιότητας τους να αντανακλούν το 85 - 90% της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας (φαινόμενο Albedo) σε αντίθεση με τους ωκεανούς και το έδαφος τα οποία την αντανακλούν σε ποσοστό 10 - 20%. Η άνοδος της θερμοκρασίας σηματοδοτεί την τήξη των πάγων, αυξάνοντας την επιφάνεια των ωκεανών, μειώνοντας την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία και προκαλώντας αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της Γης. Με την άνοδο της θερμοκρασίας του νερού καθώς και με την εισχώρηση του σε ρωγμές ενός παγόβουνου επιταχύνει την τήξη του. Επίσης, με το μηχανισμό αυτό πάγοι που βρίσκονται σε πετρώδες υπόστρωμα 'γλιστρούν' λόγω του νερού που συγκεντρώνεται ενδιάμεσα τους σχηματίζοντας παγόβουνα στον ωκεανό, τα οποία μπορούν να λιώσουν πιο εύκολα λόγω της επαφής τους με το θερμότερο νερό και αποτελούν κίνδυνο για τη ναυσιπλοΐα.

Στην Πενίνσουλα της Ανταρκτικής η μέση θερμοκρασία ανέβηκε 2,5°C μέσα σε διάστημα 50 χρόνων (1950 - 2000) με αποτέλεσμα το λιώσιμο του 87% των πάγων της, ποσοστό που αντιστοιχεί σε απώλεια 20.000 km² πάγων. Το 2005 η Arctic Climate Impact Assessment (ACIA), σε έκθεση της δημοσίευσε ότι η υπερθέρμανση στον Αρκτικό κύκλο συμβαίνει περίπου δύο φορές γρηγορότερα σε σχέση με τον υπόλοιπο πλανήτη. Σε περιοχές κοντά στην Αρκτική όπως ο Δυτικός Καναδάς και η Ανατολική Ρωσία, οι χειμερινές θερμοκρασίες παρουσιάζονται κατά 3 - 4°C υψηλότερες το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα (1950 - 2000) σε σχέση με το πρώτο. Για εκατομμύρια χρόνια ο Αρκτικός πάγος κάλυπτε το Βόρειο Πόλο με βαθμό κάλυψης ανάλογα με την εποχή. Τα τελευταία 30 χρόνια το ποσοστό αυτό έχει μειωθεί κατά 15 - 20% ενώ κάποια καλοκαίρια δεν υπάρχει καθόλου πάγος. Υπολογίζεται ότι μέχρι τα τέλη του αιώνα που διανύουμε ο πάγος θα εξαφανίζεται κάθε καλοκαίρι.

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας επηρεάζεται σε μεγαλύτερο βαθμό από το ρυθμό που λιώνουν οι πάγοι στην Ανταρκτική και τη Γροιλανδία. Το 2005, 450.000 km² πάγου στη Γροιλανδία έλιωσαν (Εικόνα 1.6) γεγονός που αποτελεί τη μεγαλύτερη απώλεια πάγων που έχει καταγραφεί. Σύμφωνα με τη NASA (2007) οι πάγοι στην Ανταρκτική καλύπτουν έκταση διπλάσια από την Αυστραλία με πάχος 2 km και ενώ στο πρόσφατο παρελθόν παρουσίασαν μικρή αύξηση θερμοκρασίας, από το 2005 και έπειτα άρχισαν να καταστρέφονται με ανησυχητικό ρυθμό [41].



Εικόνα 1.6: Πάγοι Γροιλανδίας κατά το έτος 2005 α) περιοχή πάγου που έχει λιώσει το 2005, β) περιοχή πάγου η οποία έχει λιώσει για πρώτη φορά.

Το λιώσιμο των πάγων και των παγετώνων αναμένεται να επηρεάσει αρνητικά τη διαθεσιμότητα του πόσιμου νερού από το οποίο εξαρτώνται άμεσα δισεκατομμύρια άνθρωποι σε όλο τον κόσμο. Εάν εξαφανιστούν όλοι οι παγετώνες το νερό που χρησιμοποιείται για άρδευση και ύδρευση θα καταστεί ιδιαίτερα σπάνιο σε περιόδους ξηρασίας. Το γεγονός αυτό θα προκαλέσει προβλήματα στις καλλιέργειες και στη διαθεσιμότητα τροφής. Ήδη μισό δισεκατομμύριο άνθρωποι ζουν σε περιοχές όπου το νερό είναι σπάνιο ενώ μέχρι το 2050 υπολογίζεται ότι 1,75 δισεκατομμύρια άνθρωποι θα ζουν σε περιοχές με έλλειψη πόσιμου νερού. Ταυτόχρονα, η απώλεια πάγων θα οδηγήσει σε σημαντική μείωση της υδροηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται [39].

1.6.5 Άνοδος της Στάθμης της Θάλασσας

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας οφείλεται κατά πρώτο λόγο στη διαστολή των ωκεανών λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας και κατά δεύτερο στο λιώσιμο των πάγων και των παγετώνων. Ο ρυθμός ανόδου της στάθμης της θάλασσας τον 20^ο αιώνα ήταν 1,5 - 2 mm/έτος δηλαδή παρατηρήθηκε άνοδος στη στάθμη της θάλασσας 15 - 20 cm στο τέλος του αιώνα, ενώ το 19^ο αιώνα η άνοδος ήταν 12 cm. Σε έκθεση της IPCC το 2007 βασιζόμενη σε κλιματικά μοντέλα, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας στο τέλος του 21^{ου} αιώνα αναμένεται να κυμανθεί από 18 μέχρι 58 cm. Πολλοί ερευνητές όμως πιστεύουν ότι η άνοδος θα είναι πολύ μεγαλύτερη λόγω του ότι τα κλιματικά μοντέλα δεν συνυπολογίζουν δυναμικούς παράγοντες όπως οι γρήγορες μεταβολές στο λιώσιμο των πάγων που

παρατηρούνται τα τελευταία χρόνια και οι οποίοι προβλέπουν άνοδο της θαλάσσιας στάθμης κατά 0,4 m – 1 m [42, 43].

Ενδεχόμενο λιώσιμο των πάγων της Δυτικής Ανταρκτικής θα προκαλέσει άνοδο της στάθμης της θάλασσας κατά πέντε μέτρα ενώ της Γροιλανδίας επτά. Με τη χρήση κλιματικών υπολογιστικών μοντέλων για τρία διαφορετικά σενάρια, οι Martin Vermeer και Stefan Rahmstorf προέβλεψαν άνοδο της στάθμης της θάλασσας 75 - 190 cm κατά τη χρονική περίοδο 1990 - 2100. Οι ωκεανοί μεταβάλλουν με πολύ αργό ρυθμό τη θερμοκρασία τους με αποτέλεσμα η θερμική διαστολή τους να συνεχίζεται για πολλούς αιώνες ακόμη και αν οι εκπομπές CO₂ μηδενιστούν [41, 44].

Οι επιπτώσεις από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας ακόμη και κατά ένα μέτρο θα είναι καταστροφικές εάν αναλογιστεί κανείς ότι ένα δισεκατομμύριο άνθρωποι κατοικούν σε περιοχές με υψόμετρο λιγότερο από ένα μέτρο από το μέσο όρο της στάθμης της θάλασσας. Πολλές παραθαλάσσιες πόλεις θα πλημμυρίσουν με αποτέλεσμα την καταπόνηση τους, μικρά νησιά θα βυθιστούν μερικώς ή και πλήρως, ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας θα περιέχει μεγαλύτερες ποσότητες θαλασσινού νερού προκαλώντας υφαλμύριση ενώ ταυτόχρονα θα υποβαθμιστεί το πόσιμο νερό και θα ευνοηθεί η μετάδοση ασθενειών [45].

1.7 Επιπτώσεις του CO₂ στην Ανθρώπινη Υγεία

Κατά την εισπνοή του ο άνθρωπος λαμβάνει μία μικρή ποσότητα CO₂ το οποίο καταλήγει στους πνεύμονες και στα αιμοφόρα αγγεία. Η παρουσία του CO₂ είναι απαραίτητη για το ανθρώπινο σώμα λόγω της ιδιότητας του να διατηρεί σταθερή τη διαστολή των αιμοφόρων αγγείων και να απελευθερώνει οξυγόνο από την αιμοσφαιρίνη στους ιστούς του σώματος προσφέροντας τους την απαραίτητη οξυγόνωση που χρειάζονται για τη σωστή λειτουργία τους. Επιπλέον, το CO₂ αντιδρά με το νερό προς σχηματισμό H₂CO₃ το οποίο δεσμεύει αλκαλικά ιόντα. Με τον τρόπο αυτό σταθεροποιείται το pH των σωματικών υγρών, η σταθερότητα του οποίου είναι αναγκαία για τη δράση των περισσότερων ενζύμων στον οργανισμό. Επομένως, η παρουσία του CO₂ σε φυσιολογικά επίπεδα είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της ισορροπίας στον ανθρώπινο οργανισμό. Σε αυξημένες συγκεντρώσεις όμως διαταράσσεται αυτή η ισορροπία και μπορεί να οδηγήσει ακόμη και στο θάνατο. Οι επιπτώσεις ποικίλουν ανάλογα με τη συγκέντρωση του CO₂ που θα αναπνεύσει ο

άνθρωπος, από τον τρόπο και χρόνο έκθεσης, τη φυσική του κατάσταση και τις συνθήκες εργασίας [46].

Η έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις CO₂ έχει ως αποτέλεσμα την αντικατάσταση μέρους του οξυγόνου στον ανθρώπινο οργανισμό με CO₂. Σε συνθήκες θερμοκρασίας 25°C και πίεσης 1 atm με ποσοστό οξυγόνου μικρότερο από 16% κατά όγκο (κ.ο.) εμφανίζονται συμπτώματα ασφυξίας στον άνθρωπο. Έτσι, η απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων CO₂ στην ατμόσφαιρα αντικαθιστά μέρος του οξυγόνου προκαλώντας προβλήματα στον άνθρωπο, ακόμη και θάνατο εάν η συγκέντρωση του ατμοσφαιρικού οξυγόνου μειωθεί στο 10 - 13% κ.ο. Η παρατεταμένη έκθεση σε χαμηλά επίπεδα (1.000 ppm) σε υγιείς ανθρώπους δεν είναι αποδεδειγμένο ότι προκαλεί σημαντικές επιπλοκές στην υγεία αφού η επιστημονική κοινότητα παρουσιάζεται διχασμένη. Η έκθεση όμως σε υψηλές συγκεντρώσεις CO₂ έχει σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία ειδικά σε μη - υγιή άτομα. Οι επιπτώσεις εκτείνονται στο αναπνευστικό, καρδιαγγειακό και νευρικό σύστημα [47].

i) Αναπνευστικό σύστημα

Η ανθρώπινη έκθεση σε συγκεντρώσεις υψηλότερες από το φυσιολογικό (~0,04%) αυξάνουν τη μερική πίεση του CO₂ (pCO₂) στο αίμα με συνέπεια τη μείωση του pH του αίματος. Με τη μείωση αυτή παρεμποδίζεται η αναερόβια παραγωγή ενέργειας και εξουδετερώνονται σημαντικά πρωτεϊνικά ένζυμα. Η απορρόφηση του CO₂ από τον οργανισμό και η μείωση του pH στο αίμα συμβαίνουν με ταχύ ρυθμό και έτσι η ικανότητα αναπνοής μειώνεται σημαντικά προκαλώντας δύσπνοια. Αποτελέσματα μελέτης των Sinclair et al. έδειξαν ότι σε έκθεση μίας ώρας σε συγκέντρωση CO₂ 7% κ.ο. το pH του αίματος μειώθηκε από 7,4 σε 7,3 σε χρονικό διάστημα δέκα λεπτών. Γνωρίζοντας ότι ο ανθρώπινος οργανισμός λειτουργεί φυσιολογικά σε συγκεκριμένο εύρος τιμών pH (7,37 – 7,43), ακόμη και μια μικρή μείωση του παρεμποδίζει την τροφοδοσία οξυγόνου στους ιστούς προκαλώντας διαταραχές στη φυσιολογία του οργανισμού.

ii) Νευρικό σύστημα

Ο πονοκέφαλος που προκαλείται από την έκθεση σε CO₂ δεν έχει μεγάλη διάρκεια και οφείλεται σε διαστολή των εγκεφαλικών αιμοφόρων αγγείων. Μελέτη των Menn et al. έδειξε ότι η έκθεση σε συγκέντρωση 3,9% κ.ο. CO₂ για χρονικό διάστημα 30 λεπτών προκλήθηκε πονοκέφαλος ο οποίος υποχώρησε μία ώρα αργότερα.

iii) Καρδιαγγειακό σύστημα

Η έκθεση του ανθρώπινου οργανισμού σε υψηλές συγκεντρώσεις CO₂ επηρεάζει την καρδιά και το κυκλοφοριακό σύστημα αυξάνοντας την πίεση συστολής και διαστολής της. Κατ' επέκταση αυξάνεται η ροή αίματος στον εγκέφαλο και μειώνεται η αντίσταση της ροής του αίματος στα αιμοφόρα αγγεία του εγκεφάλου οδηγώντας σε εγκεφαλικά επεισόδια.

iv) Άλλες επιδράσεις

Επιπλέον, λόγω της μείωσης του pH που προκαλείται παρουσία μεγάλων συγκεντρώσεων CO₂ εμποδίζεται ο μεταβολισμός του ασβεστίου και του φωσφόρου στον οργανισμό. Κατά το παρελθόν μελέτες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η έκθεση σε αυξημένες συγκεντρώσεις CO₂ (2000 ppm) σχετίζεται με προβλήματα στην όραση, το ανδρικό αναπαραγωγικό σύστημα, τα νεφρά, τη σπλήνα και τη ψυχική υγεία [48].

Το 2008 δημοσιεύτηκε έρευνα Γερμανών επιστημόνων στην οποία προτείνονται ως αβλαβή επιτρεπτά όρια, επίπεδα μικρότερα των 1000 ppm CO₂. Συγκεντρώσεις μεταξύ 1000 και 2000 ppm χαρακτηρίζονται αυξημένες ενώ μεγαλύτερες των 2000 ppm είναι μη αποδεκτές για την ανθρώπινη υγεία [49].

1.8 Νομοθεσία Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις Αέριες Εκπομπές CO₂ στην Ατμόσφαιρα

Το 1992 ιδρύθηκε από τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών η UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) η οποία έχει ως κύριο μέλημα τη χάραξη πολιτικής για την απάμβλυνση των κλιματικών αλλαγών, με στόχο τη σταθεροποίηση των αερίων του θερμοκηπίου σε χαμηλά επίπεδα. Η Ευρωπαϊκή Ένωση διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην προσπάθεια αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής και έτσι το 1993 σύμφωνα με την απόφαση 93/389/ΕΟΚ του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου θεσπίζεται μηχανισμός παρακολούθησης των εκπομπών CO₂ και των υπολοίπων αερίων του θερμοκηπίου τα οποία συμβάλλουν στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου, εντός των ορίων της Ε.Ε.

Το 1997 διαμορφώθηκε το Πρωτόκολλο του Κιότο και το 2002 εγκρίνεται με την απόφαση 2002/358/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Πρόκειται για ένα έγγραφο που αποτελεί το θεμέλιο - λίθο όσον αφορά τη μείωση των ανθρωπογενών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα αλλά και των λοιπών αερίων του θερμοκηπίου ανά το

παγκόσμιο. Οι χώρες οι οποίες το έχουν υπογράψει δεσμεύονται να μειώσουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου κατά μέσο όρο 5,2% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 κατά την περίοδο 2008 – 2012 [50].

Το Πρωτόκολλο του Κιότο τέθηκε σε εφαρμογή σε παγκόσμια κλίμακα το 2008. Η Ευρωπαϊκή Ένωση όμως θεώρησε σημαντικό τα κράτη μέλη της να αποκτήσουν εμπειρία όσον αφορά τη διαχείριση εκπομπών άνθρακα και έτσι το 2005 με την οδηγία 2003/87/ΕΚ τίθεται σε εφαρμογή το Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών Άνθρακα το οποίο δέσμευε υποχρεωτικά όλα τα κράτη - μέλη της Ε.Ε. να το εφαρμόσουν πιλοτικά την τριετία 2005 - 2007. Η δεύτερη φάση είναι η πενταετία 2008 - 2012 η οποία συμπίπτει με την πρώτη περίοδο εφαρμογής του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών Άνθρακα τέθηκε ένα ανώτατο όριο για τις εκπομπές του στις μεγάλες ενεργοβόρες βιομηχανίες και ταυτόχρονα εντός του ορίου δίνεται η δυνατότητα αγοραπωλησίας δικαιωμάτων κατά βούληση [51].

Για να επιτευχθεί ο στόχος του Πρωτοκόλλου του Κιότο με μειωμένο κόστος ενσωματώνονται τρεις εύελικτοι μηχανισμοί οι οποίοι στηρίζονται σε πιστωτικές μονάδες εκπομπής CO₂ και οι οποίοι αναλύονται στη συνέχεια:

A) Προγράμματα από Κοινού (Joint Implementation, JI)

Οι δεσμευόμενες χώρες μπορούν να χρηματοδοτήσουν από κοινού προγράμματα και στρατηγικές οι οποίες θα οδηγήσουν σε μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

B) Διαπραγμάτευση Δικαιωμάτων Εκπομπών (International Emissions Trading, IET)

Οι δεσμευόμενες αναπτυσσόμενες χώρες έχουν τη δυνατότητα να αγοράσουν πιστωτικές μονάδες από άλλες χώρες, οι οποίες έχουν πετύχει μεγαλύτερη μείωση εκπομπών από την προβλεπόμενη, με περιορισμό να μην ξεπερνιούνται τα συνολικά επιτρεπόμενα όρια.

Γ) Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης (Clean Development Mechanism, CDM)

Οι δεσμευόμενες χώρες μπορούν να χρηματοδοτήσουν προγράμματα μείωσης εκπομπών CO₂ σε αναπτυσσόμενες χώρες όπου η μείωση θα είναι ευκολότερη και φθηνότερη, εφόσον οι χώρες αυτές δεν διαθέτουν την απαραίτητη υποδομή για την αντιμετώπιση των εκπομπών CO₂ [52, 53].

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στις εκπομπές CO₂ στην ατμόσφαιρα. Το 2001 ανακοινώθηκε στην Επίσημη Εφημερίδα

των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων η οδηγία 2001/77/EK για την αύξηση της συμβολής των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έναντι των συμβατικών καυσίμων. Στην κοινότητα της Ε.Ε. τέθηκε ο στόχος μέχρι το 2010 το 22,1% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας να παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ο οποίος τελικά δεν υλοποιήθηκε. Η αποτυχία στην προσπάθεια αυτή οδήγησε στην εκπόνηση του Εθνικού Σχεδίου Δράσης 20 - 20 - 20 το οποίο αφορά τη διείσδυση των ΑΠΕ στην παραγωγή ενέργειας, την εξοικονόμηση ενέργειας και τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Τα κράτη – μέλη της Ε.Ε έχουν δεσμευτεί μέσα από το σχέδιο αυτό να μειώσουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2020 κατά 20% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 σύμφωνα με την οδηγία 2009/29/EK. Επίσης, σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/EK μέχρι το 2020 το 20% της ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης ενέργειας πρέπει να προέρχεται από ΑΠΕ και να εξοικονομηθεί το 20% της πρωτογενούς ενέργειας. Κάθε πέντε χρόνια το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο είναι υποχρεωμένο να καταθέτει έκθεση στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο σχετικά με την πορεία προς την υλοποίηση του σχεδίου όσον αφορά την Κοινότητα ως σύνολο, την επιμέρους πρόοδο καθώς και τις δυνατότητες βελτίωσης του κάθε κράτους ξεχωριστά. Η έκθεση αυτή ολοκληρώνεται έπειτα από τη σύνοψη όλων των εκθέσεων των χωρών – μελών της Ε.Ε. [54].

Έχει αποδειχθεί ότι το 12% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην Ευρωπαϊκή Ένωση προέρχεται από την αυτοκινητοβιομηχανία. Στην προσπάθεια της η Ε.Ε. να επιτύχει το στόχο του Πρωτοκόλλου του Κιότο λαμβάνει μέτρα για τη μείωση των υψηλών εκπομπών CO₂ από τα οχήματα. Το 1998 θεσπίστηκε η οδηγία 98/70/EK για τη μείωση των εκπομπών CO₂ από τα οχήματα. Σύμφωνα με τη νομοθεσία, μέχρι το 2012 πρέπει να επιτευχθεί ο κοινοτικός στόχος των 120 g CO₂/km και μέχρι το 2020 να υπάρξει περαιτέρω μείωση στο όριο αυτό. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός καθορίζονται ελάχιστες προδιαγραφές στη βενζίνη και το ντίζελ που χρησιμοποιούνται από τα οχήματα που διαθέτουν μηχανές εσωτερικής καύσης. Επιπλέον, οι αυτοκινητοβιομηχανίες καλούνται να βελτιώσουν την τεχνολογία των κινητήρων των οχημάτων στο νέο στόλο αυτοκίνητων που κατασκευάζουν, με απώτερο στόχο τη χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμων η οποία συνεπάγεται σημαντικά μειωμένες εκπομπές CO₂ [55].

Με την οδηγία 2002/91/EK θεσπίστηκε νομοθεσία που αφορά την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων λόγω της μεγάλης συμβολής τους στις εκπομπές CO₂. Η κατανάλωση

ενέργειας σε κατοικίες και εμπορικά κτίρια αντιπροσωπεύει περίπου το 40% της συνολικής τελικής κατανάλωσης ενέργειας και είναι υπεύθυνη για το 36% των συνολικών εκπομπών CO₂ στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Όλα τα κράτη μέλη της Ε.Ε. θα πρέπει να αυξήσουν την ενεργειακή απόδοση των δημόσιων και ιδιωτικών κτιρίων τους [56].

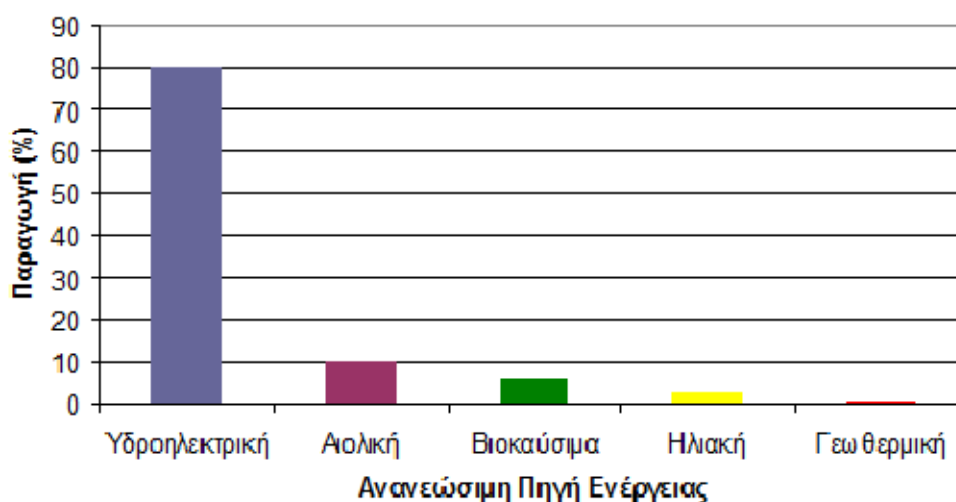
Στη διεθνή συνδιάσκεψη της UNFCCC στο Μπαλί το Δεκέμβριο του 2009, αναγνωρίστηκε η επιτακτική ανάγκη για τη λήψη μιας πιο αποτελεσματικής και βιώσιμης σύμβασης μετά τη λήξη της πρώτης φάσης του Πρωτοκόλλου του Κιότο το 2012. Ο νέος κύκλος διαπραγματεύσεων στοχεύει σε μια μακροπρόθεσμη συνεργασία διεθνούς δράσης με ρεαλιστικές και εφαρμόσιμες λύσεις. Στόχος είναι η μέση παγκόσμια θερμοκρασία να μην αυξηθεί περισσότερο από 2°C μέχρι το 2100. Η συμμετοχή των ΗΠΑ και των αναπτυσσόμενων χωρών στη νέα διεθνή συμφωνία αλλά και η εμπειρία από την πρώτη φάση εφαρμογής του Πρωτοκόλλου του Κιότο θα συμβάλουν σε μεγάλο βαθμό στη βελτίωση της παγκόσμιας κλιματικής πολιτικής. Η Ε.Ε. καλείται να αντεπεξέλθει στις αυξημένες απαιτήσεις, συνεχίζοντας τις φιλότιμες προσπάθειες της και αναζητώντας νέα εργαλεία και στρατηγικές έτσι ώστε να κινητοποιήσει εθνικές κυβερνήσεις για συλλογική δράση η οποία θα επιφέρει το επιθυμητό αποτέλεσμα [57].

1.9 Τρόποι Αντιμετώπισης Εκπομπών CO₂

1.9.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Η χρήση των ορυκτών καυσίμων ξεκινάει από την αρχαιότητα, όπου οι αρχαίοι Κινέζοι και Αιγύπτιοι έκαigan πετρέλαιο για να έχουν φωτισμό στα σπίτια τους και αυτό συνεχίζεται μέχρι σήμερα με ολοένα αυξανόμενο ρυθμό. Το 1856 με τη γεώτρηση του Edwin Drake στην Πενσυλβάνια των ΗΠΑ ξεκινάει η γέννηση της πετρελαϊκής βιομηχανίας σηματοδοτώντας μία νέα εποχή, την εποχή του μαύρου χρυσού. Τα ορυκτά καύσιμα για να σχηματιστούν απαιτούνται εκατομμύρια χρόνια ενώ η κατανάλωση τους πραγματοποιείται με πολύ ταχύτερο ρυθμό. Τα αποθέματα πετρελαίου που χρησιμοποιούνται σήμερα έχουν σχηματιστεί εκατομμύρια χρόνια πριν. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις αποθεμάτων και το ρυθμό κατανάλωσης τους μέσα στον αιώνα που διανύουμε θα εξαντληθούν. Τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλούνται από τη χρήση τους και η επικείμενη εξάντληση τους οδηγούν στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών αξιοποίησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Οι ΑΠΕ στηρίζονται στην αξιοποίηση φυσικών στοιχείων όπως ο άνεμος, ο Ήλιος, η γεωθερμία και το νερό για παραγωγή ενέργειας. Σήμερα, το 8% της συνολικής παραγόμενης ενέργειας ανά το παγκόσμιο προέρχεται από τις ΑΠΕ. Στο Γράφημα 1.7 παρουσιάζεται το

ποσοστό συμμετοχής (%) κάθε ανανεώσιμης πηγής ενέργειας στη συνολική παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ [58, 59].



Γράφημα 1.7: Ποσοστά παραγωγής ενέργειας από τη χρήση ΑΠΕ.

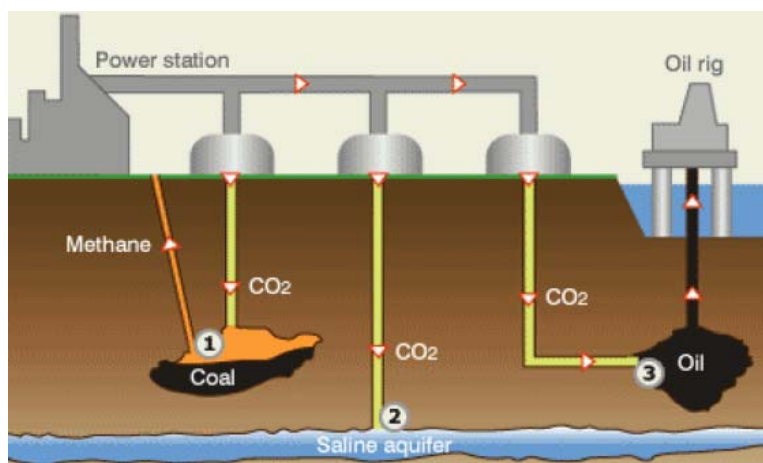
Η χρήση των ΑΠΕ άρχισε να κερδίζει έδαφος τα τελευταία κυρίως χρόνια λόγω της τεχνολογικής ανάπτυξης η οποία καθιστά δυνατή την αξιοποίησή τους. Η συμβολή των ΑΠΕ στην παραγωγή ενέργειας είναι σημαντική λόγω των μηδενικών εκπομπών ρύπων στην ατμόσφαιρα και λόγω του ότι δεν εξαντλούνται, προωθώντας και ενισχύοντας τόσο την προστασία του περιβάλλοντος όσο και την αειφορική ανάπτυξη. Η στροφή προς τις ΑΠΕ ενισχύεται μέσα από το Ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο σε μια προσπάθεια για αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

1.9.2 Διαχείριση Εκπομπών CO₂

Ένας τρόπος απομάκρυνσης του CO₂ από την ατμόσφαιρα είναι η δέσμευση και η αποθήκευση του σε μεγάλο βάθος στο υπέδαφος. Η τεχνική διοχέτευσης του σε υπόγειους γεωλογικούς σχηματισμούς πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά στις αρχές της δεκαετίας του 1970 στο Τέξας των ΗΠΑ για ενίσχυση της άντλησης πετρελαίου. Περίπου 30 μεγατόνοι μη ανθρωπογενούς CO₂ διοχετεύονται ετησίως από το 1970 κυρίως στο δυτικό Τέξας για ανάκτηση πετρελαίου από 50 επιμέρους έργα. Από το 1990 όπου μελετήθηκε εκτεταμένα η μέθοδος αυτή άρχισε να κερδίζει έδαφος.

Το CO₂ διοχετεύεται σε βάθη 800 - 1000 μέτρων σε υπερκρίσιμη μορφή (θερμοκρασία 31°C και πίεση 72,8 atm) σε πόρους ιζηματογενών πετρωμάτων, σε πετρελαιοπηγές και σε αλατούχα νερά όπου παγιδεύεται υπόγεια. Μπορεί επίσης να παγιδευτεί κάτω από ένα αδιαπέρατο περιοριστικό στρώμα, να ακινητοποιηθεί σε πόρους γεωλογικών σχηματισμών,

να προσροφηθεί σε οργανική ύλη άνθρακα, να αντιδράσει με ορυκτά για παραγωγή ανθρακικών μετάλλων ή να διαλυθεί στο νερό. Στη Βόρεια θάλασσα σχεδόν ένα εκατομμύριο τόνοι CO₂ διοχετεύονται ετησίως σε γεωλογικούς σχηματισμούς στο Sleipner από το 1996 και στην Αλγερία στο In-Salah σε περιοχές υπεδάφους όπου υπάρχει φυσικό αέριο. Στην Εικόνα 1.7 παρουσιάζονται οι τρόποι αποθήκευσης CO₂ το οποίο παράγεται από ηλεκτροπαραγωγικό σταθμό.

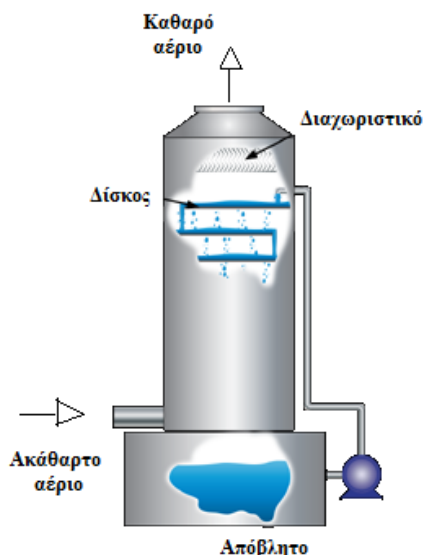


Εικόνα 1.7: Τρόποι αποθήκευσης CO₂ προερχόμενο από ηλεκτροπαραγωγικό σταθμό, 1) σε γεωλογικό σχηματισμό 2) σε αλατούχα νερά 3) σε πετρελαιοπηγή.

Η αποθήκευση του CO₂ σε αλατούχα νερά του υπεδάφους είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος απομάκρυνσης του από την ατμόσφαιρα. Υπολογίζεται ότι η χωρητικότητα τους ανέρχεται σε τουλάχιστον 1000 γιγατόνους CO₂ σε αντίθεση με την αποθήκευση σε γεωλογικούς σχηματισμούς και πετρελαιοπηγές όπου η συνολική χωρητικότητα τους είναι 675 - 900 γιγατόνους CO₂ [60, 61].

1.9.3 Απομάκρυνση του CO₂ από Αέριο Μίγμα Καυσαερίου

Οι πλυντρίδες ή αλλιώς scrubbers είναι μία τεχνολογία για την αντιμετώπιση της ρύπανσης της ατμόσφαιρας. Άρχισαν να χρησιμοποιούνται κατά τη δεκαετία του 1930 για καθαρισμό του CO₂ από το φυσικό αέριο και το υδρογόνο. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.8 πρόκειται για ένα κυλινδρικό σωλήνα στον οποίο εισέρχεται ακάθαρτο αέριο που περιέχει διάφορους ρύπους και μέσω μεθόδων που αναφέρονται στη συνέχεια καθαρίζεται και εξέρχεται καθαρός αέρας. Υπάρχουν διάφοροι τύποι οι οποίοι χρησιμοποιούνται ανάλογα με τη σύσταση του εισερχόμενου φορτίου αέρα.



Εικόνα 1.8: Πλυντρίδα καθαρισμού αέριου μίγματος το οποίο περιέχει CO₂.

Μέθοδοι απομάκρυνσης του CO₂ από αέριο μίγμα:

1. Χρήση πλυντρίδας: στην κορυφή του είναι τοποθετημένος ψεκαστήρας νερού με αποτέλεσμα το CO₂ που ανέρχεται από τη βάση της πλυντρίδας μαζί με το αέριο ρεύμα να διαλύεται στο νερό.
2. Χρήση διαχωριστικών μεμβρανών (π.χ. πολυμερές κυτταρίνης) όπου το CO₂ απομακρύνεται λόγω μηχανικής συμπίεσης.
3. Χρήση χημικών ουσιών οι οποίες προσροφούν το CO₂ (π.χ. στερεό CaO).
4. Κρυογονικές τεχνολογίες: ψύξη ή συμπύκνωση του CO₂.

Η απομάκρυνση του CO₂ με απορρόφηση του από αμίνες είναι μία απλή, εύχρηστη και ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνολογία η οποία κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1930. Το CO₂ απορροφάται από το εισερχόμενο αέριο μίγμα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος σε υδατικό διάλυμα που περιέχει αμίνες. Οι αμίνες ακολούθως ανακτώνται ξανά απομακρυνόμενες με το νερό το οποίο θερμαίνεται στους 100 – 120°C και ακολούθως οι υδρατμοί του συμπυκνώνονται αφήνοντας καθαρό CO₂ το οποίο μπορεί να συμπιεστεί σε 100 έως 150 bar για να οδηγηθεί σε γεωλογική αποθήκευση.

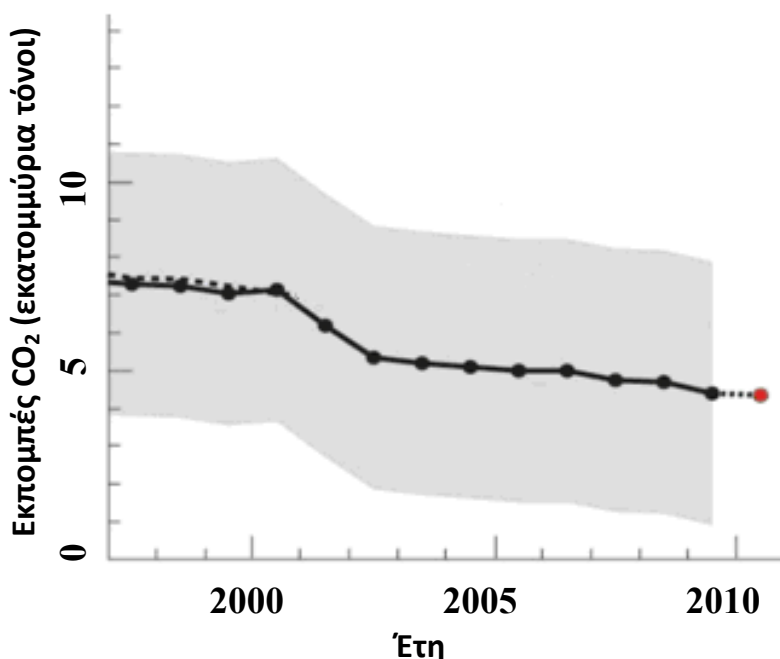
Οι πλυντρίδες χρησιμοποιούνται συνήθως σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για τη μείωση των εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα και τήρηση των ορίων που προκύπτουν μέσα από νομοθετικό πλαίσιο. Το κόστος εφαρμογής της τεχνολογίας των πλυντρίδων είναι αυξημένο αλλά μετριάζεται εάν ληφθεί υπόψη το κόστος για αγορά εκπομπών ρύπων για συμμόρφωση με τη νομοθεσία. Η απομάκρυνση του CO₂ με αμίνες από σταθμούς

παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα, πιθανολογείται να είναι η κυρίαρχη τεχνολογία μέχρι το 2030 [62 - 63].

1.9.4 Προστασία Δασών

Η σημαντική συνεισφορά των δασών στη μείωση του ατμοσφαιρικού CO₂ καθιστά αναγκαία την προστασία και τη διαφύλαξη τους. Το γεγονός ότι οι ανάγκες ενός δάσους σε CO₂ αυξάνουν με την πάροδο του χρόνου καθιστά πολύ σημαντική τη διαφύλαξη των υφιστάμενων δασών τα οποία μετρούν χιλιάδες χρόνια ζωής. Για να γίνει αντιληπτή η σημασία τους αξίζει να αναφερθεί ότι τα δάση του Αμαζόνιου, τα οποία εκτιμάται ότι δημιουργήθηκαν 100 εκατομμύρια χρόνια πριν, δεσμεύουν το 20% του εκπεμπόμενου ατμοσφαιρικού CO₂ [64].

Ο μέσος όρος αποψίλωσης των δασών σύμφωνα με μετρήσεις του 2009 έχει μειωθεί συγκριτικά με το 2000. Οι εκπομπές CO₂ από 5,5 ± 2,5 εκατομμύρια τόνους/έτος έχουν μειωθεί σε 4 ± 2,5 εκατομμύρια τόνους/έτος. Η μείωση των εκπομπών αποδίδεται στη μείωση του ρυθμού αποψίλωσης των δασών της Βραζιλίας και της Ινδονησίας και στην αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης των δασών της Ευρασίας. Από το 1950 ο ρυθμός αύξησης των Εύκρατων δασών αυξάνεται συνεχώς και σύμφωνα με εκτιμήσεις είναι η πρώτη φορά που η υπέρμετρη ανάπτυξη των δασών έχει υπεραντισταθμίσει τις εκπομπές CO₂ από την αποψίλωση δασών. Στο Γράφημα 1.8 παρουσιάζονται οι παγκόσμιες εκπομπές CO₂ οι οποίες προκύπτουν από την αποψίλωση των δασών για την περίοδο 1995 – 2010 [65].



Γράφημα 1.8: Παγκόσμιες εκπομπές CO₂ από την αποψίλωση δασών την περίοδο 1995 - 2010.

1.9.5 Πρόληψη – Περιβαλλοντική Συνείδηση

Ένας σημαντικός τρόπος έμμεσης αντιμετώπισης των εκπομπών CO₂ είναι η πρόληψη τους μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας. Η καλλιέργεια περιβαλλοντικής συνείδησης καθώς και η κατανόηση του προβλήματος των υπέρμετρων εκπομπών CO₂ από τον κάθε άνθρωπο μπορεί να βοηθήσει σε μια συλλογική προσπάθεια για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Η προσπάθεια αυτή χρειάζεται υποκίνηση και καθοδήγηση από κυβερνήσεις, περιβαλλοντικούς φορείς, σχολεία, διαδίκτυο, δημόσιες και τοπικές αρχές για την ευαισθητοποίηση των πολιτών. Κάθε πολίτης πρέπει να λάβει το μερίδιο ευθύνης του απέναντι στο περιβάλλον αλλά και στις επόμενες γενιές χωρίς να υπονομεύει τη δυνατότητα για αειφόρο ανάπτυξη. Η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με ορθολογική χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος και νερού, με την ανακύκλωση υλικών, την αντικατάσταση υφιστάμενων ενεργοβόρων συσκευών με συσκευές υψηλότερης ενεργειακής απόδοσης, τη χρήση μέσων μαζικής μεταφοράς ή/και ποδηλάτων, την αγορά πράσινων προϊόντων, την αποφυγή ρίψης σκουπιδιών καθώς επίσης και τη συμμετοχή σε εθελοντικά προγράμματα αναδάσωσης και δεντροφύτευσης.

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Υπολογισμός της Συγκέντρωσης CO₂ στην Ατμόσφαιρα και της Μέσης Παγκόσμιας Θερμοκρασίας

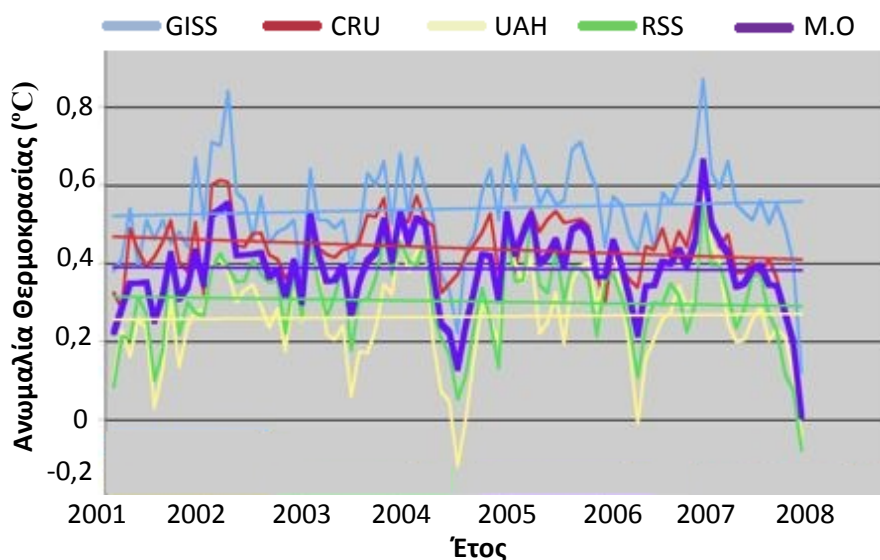
Η μέση θερμοκρασία του πλανήτη και τα επίπεδα CO₂ στην ατμόσφαιρα καταμετρούνται από την Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA). Για τον ακριβή προσδιορισμό της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα λαμβάνονται καθημερινά δείγματα αέρα σε μέσο υψόμετρο 3.500 μέτρα, σε έξι παρατηρητήρια τα οποία βρίσκονται στη Χαβάη, την Καλιφόρνια, την Αλάσκα, την Γροιλανδία, την Ανταρκτική και την Αμερική. Οι περιοχές τοποθέτησης των παρατηρητηρίων βρίσκονται μακριά από πηγές εκπομπών CO₂ και αντιπροσωπεύουν ένα ευρύ φάσμα περιοχών. Με τη χρήση αεροσκαφών λαμβάνονται δείγματα 4 φορές το χρόνο (αλλαγή εποχής) σε διάφορα υψόμετρα μέχρι και 14 km. Κάθε 2 ημέρες λαμβάνονται δείγματα αέρα από πύργους στα 22, 100 και 300 μέτρα από το έδαφος με ταυτόχρονη καταμέτρηση της θερμοκρασίας. Επίσης, κάθε εβδομάδα γίνεται συλλογή αέρα στο επίπεδο της θάλασσας από τοποθεσίες σε όλο τον κόσμο.

Τα παραπάνω δείγματα αέρα λαμβάνονται σε γυάλινες φιάλες οι οποίες στέλνονται στο Κεντρικό Εργαστήριο Διακριβώσεων (Central Calibration Lab – CCL) του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού (World Meteorological Organization – WMO) για ανάλυση και προσδιορισμό της συγκέντρωσης του CO₂ με χρήση βαθμονομημένου αναλυτή Licor. Η βαθμονόμηση του αναλυτή γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα για ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων, ενώ το μέγιστο σφάλμα υπολογίζεται σε 0,2 ppm. Η συγκέντρωση των επιπέδων CO₂ στην ατμόσφαιρα άρχισε να καταμετράται το 1959 στο παρατηρητήριο Mauna Loa στη Χαβάη. Οι μετρήσεις αυτές παρουσιάζονται στο Γράφημα 2.1 στο Κεφάλαιο 2.2 [66].

Επίσημες καταγραφές της θερμοκρασίας άρχισαν να λαμβάνονται από το 1880 σε περιορισμένο αριθμό σταθμών ανά το παγκόσμιο. Τη δεκαετία 1940 – 1950 άρχισε η καταγραφή της θερμοκρασίας και στους Πόλους, ενώ από το 1979 η θερμοκρασία άρχισε να καταγράφεται και με τη χρήση δορυφόρων. Σήμερα, υπάρχουν περίπου 7.000 σταθμοί καταμέτρησης της θερμοκρασίας σε όλο τον κόσμο. Οι βάσεις δεδομένων από τους σταθμούς χρησιμοποιούνται από το Ινστιτούτο Διαστημικών Μελετών (Goddard Institute for Space Studies – GISS), από το Εθνικό Κέντρο Κλίματος (National Climatic Data Center - NCDC) και από τη Μονάδα Κλιματικής Έρευνας (Climatic Research Unit- CRU).

Κάθε ένας από τους προαναφερθέντες οργανισμούς χρησιμοποιεί τα ίδια δεδομένα από τους σταθμούς, ωστόσο χρησιμοποιεί διαφορετικές μεθόδους υπολογισμού για την εξαγωγή της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας τόσο σε μηνιαία όσο και σε ετήσια βάση. Επιπλέον, γίνεται υπολογισμός της θερμοκρασίας σε διάφορα υψόμετρα από την επιφάνεια της Γης μέχρι και τη στρατόσφαιρα με τη χρήση δορυφόρων. Τα δορυφορικά δεδομένα χρησιμοποιούνται από το πανεπιστήμιο της Αλαμπάμα (University of Alabama in Huntsville – UAH) και από το Σύστημα Τηλεσκοπήσεων (Remote Sensing Systems – RSS).

Ενδεικτικά, η IPCC για τα αποτελέσματα των εκθέσεων που δημοσιεύει χρησιμοποιεί τις τιμές της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας όπως αυτές προκύπτουν από τους υπολογισμούς της CRU. Στην Εικόνα 2.1 παρουσιάζονται οι ανωμαλίες της παγκόσμιας θερμοκρασίας για τα έτη 2001 μέχρι 2008 όπως έχουν υπολογιστεί από τέσσερις διαφορετικούς οργανισμούς (GISS, CRU, UAH, RSS) οι οποίοι χρησιμοποιούν τις ίδιες βάσεις δεδομένων [67].

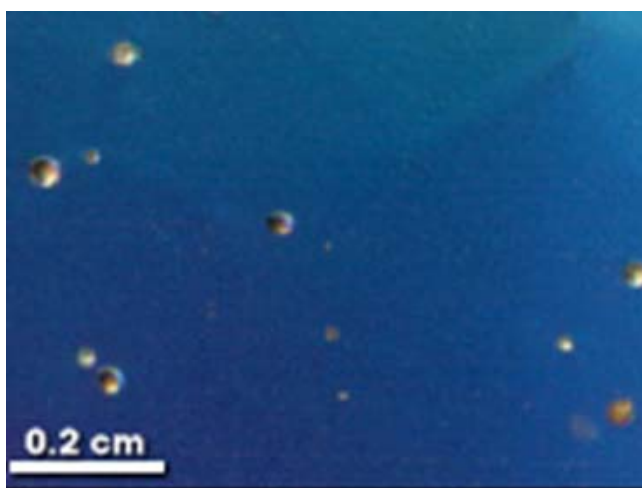


Εικόνα 2.1: Θερμοκρασία για τα έτη 2001 – 2008 όπως αυτή έχει υπολογιστεί από 4 διαφορετικούς οργανισμούς οι οποίοι χρησιμοποιούν τις ίδιες βάσεις δεδομένων.

Η γνώση για τη διακύμανση της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα δισεκατομμύρια χρόνια πριν, προέρχεται από τη μελέτη δειγμάτων πάγου, φλοιών δέντρων, κοραλλιών και άλλων δειγμάτων με σύγχρονες μεθόδους. Η μελέτη του παλαιοκλίματος είναι σημαντική για εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με τη

συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα και τις μεταβολές της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας.

Η μελέτη δειγμάτων από παγόβουνα είναι σημαντική λόγω της ηλικίας τους η οποία μπορεί να φτάνει ακόμη και μερικές εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια. Καθώς σχηματίζεται ο πάγος παγιδεύει φυσαλίδες αέρα στη δομή του όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2. Με την πάροδο των χρόνων δημιουργούνται νέες στρώσεις πάγου σχηματίζοντας το παγόβουνο από το οποίο λαμβάνονται δείγματα σε μεγάλο βάθος τα οποία αναλύονται εργαστηριακά. Από τις φυσαλίδες αέρα που υπάρχουν σε κάθε στρώση πάγου γίνονται αναλύσεις με τη βοήθεια της ραδιοχρονολόγησης (βλέπε Κεφ. 2.3) και υπολογίζεται η συγκέντρωση του CO₂ στην παγιδευόμενη φυσαλίδα αέρα.



Εικόνα 2.2: Παγιδευμένες φυσαλίδες αέρα σε πάγο.

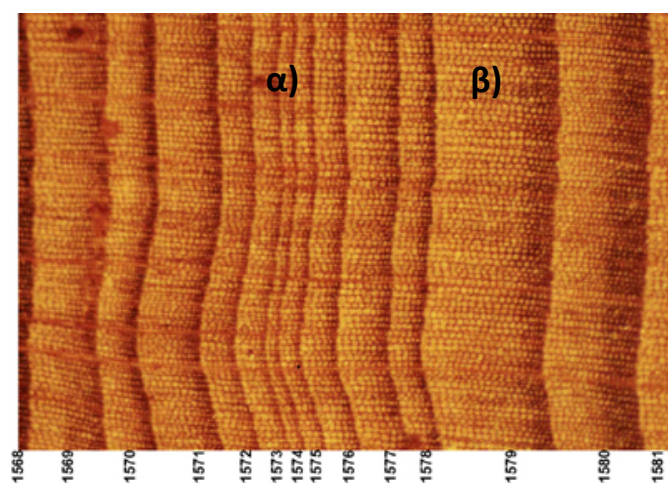
Από τον παγιδευμένο αέρα καταμετρούνται τα ισότοπα οξυγόνου που περιέχει καθώς και τα ισότοπα οξυγόνου που βρίσκονται υπό μορφή νερού στον πάγο. Όσο μικρότερος είναι ο λόγος ¹⁸O/¹⁶O τόσο πιο θερμό ήταν το κλίμα της εξεταζόμενης περιόδου λόγω του ότι η αυξημένη ηλιακή ακτινοβολία διασπά τα βαρύτερα άτομα ¹⁸O σε ελαφρύτερα άτομα ¹⁶O.

Επίσης, η μελέτη του δείγματος μπορεί να δώσει πληροφορίες για την ηφαιστειακή δραστηριότητα της εξεταζόμενης εποχής. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.3 οι σκουρόχρωμες χρωματικές διακυμάνσεις στις στρώσεις πάγου υποδηλώνουν έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα. Για το σωστό υπολογισμό των κλιματικών συνθηκών που επικρατούσαν στην υπό μελέτη περίοδο λαμβάνονται δείγματα ίδιας εποχής από διάφορα παγόβουνα για τη μείωση των σφαλμάτων κατά τον υπολογισμό [68].



Εικόνα 2.3: Δείγμα πάγου από γεώτρηση σε παγόβουνο.

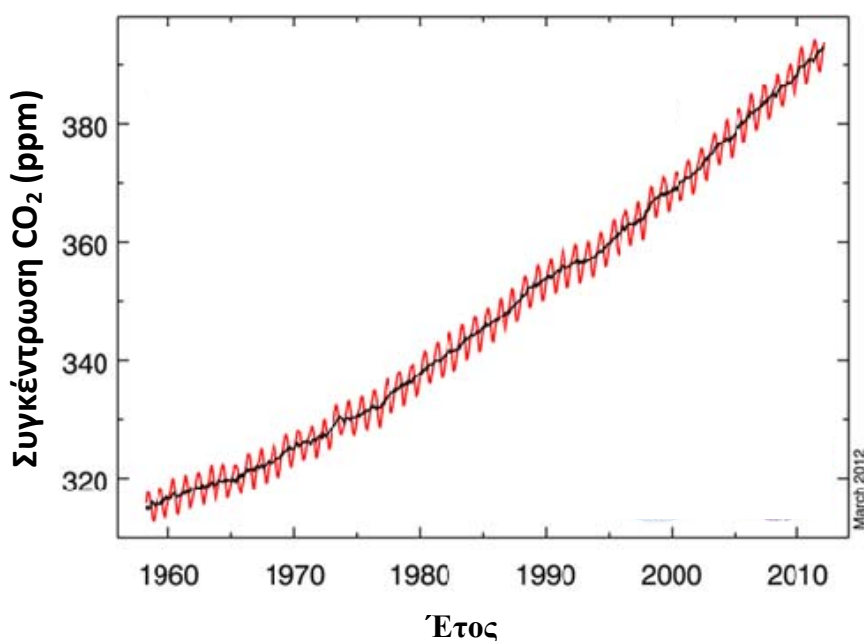
Μία άλλη μέθοδος προσδιορισμού των κλιματολογικών συνθηκών μιας περιόδου είναι η δειγματοληψία από φλοιούς δέντρων. Από τους δακτυλίους στο φλοιό ενός δέντρου μπορεί να υπολογιστεί η ηλικία του και να γίνει συσχέτιση με τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά τις υπό μελέτη περιόδους. Πρόκειται για μια εύκολη αλλά όχι ακριβή μέθοδο. Για το λόγο αυτό κατασκευάστηκαν υπολογιστικά μαθηματικά μοντέλα από τη συσχέτιση πρόσφατων δεδομένων με αλλαγές στους φλοιούς δέντρων, τα οποία προσδιορίζουν τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούσαν. Στην Εικόνα 2.4 παρουσιάζεται παράδειγμα χρονολογημένου δείγματος φλοιού δέντρου. Στο δείγμα αυτό παρατηρούνται λεπτοί δακτύλιοι (α) και κανονικοί δακτύλιοι (β). Ο λεπτός δακτύλιος συνδέεται με περίοδο ξηρασίας όπου λόγω έλλειψης νερού δεν παρουσιάστηκε μεγάλη ανάπτυξη. Μελετώνται δέντρα προερχόμενα από πολλές περιοχές για να ελαχιστοποιηθούν τα σφάλματα και να αυξηθεί η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων [23, 69].



Εικόνα 2.4: Φλοιός δέντρου, α) λεπτότεροι δακτύλιοι φλοιού λόγω ξηρασίας, β) χοντρότερος δακτύλιος.

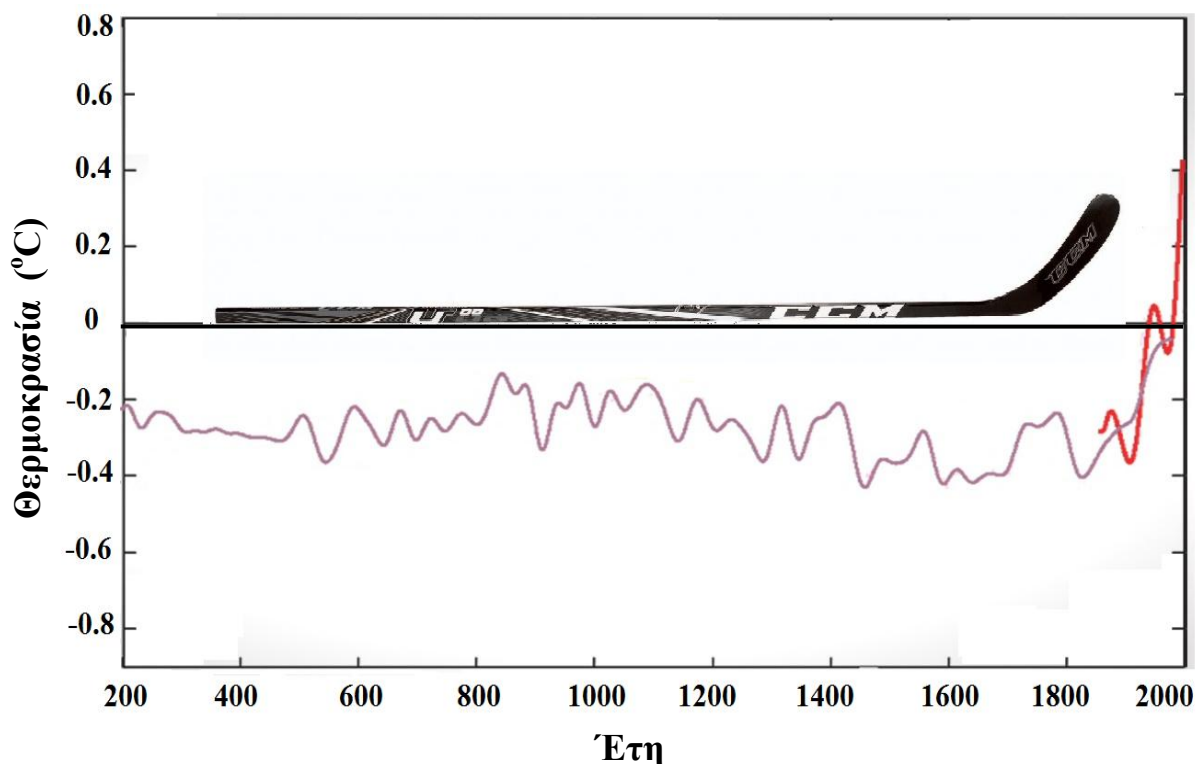
2.2 Επίπεδα CO₂ και Θερμοκρασία

Το 2011, σύμφωνα με το παρατηρητήριο Mauna Loa, η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα ήταν κατά μέσο όρο 391,57 ppm, 75,6 ppm υψηλότερη από το 1959 έτος κατά το οποίο άρχισε η καταγραφή. Η μέση παγκόσμια θερμοκρασία για τα έτη 1959 και 2011 ήταν 13,98°C και 14,41°C αντίστοιχα. Τα τελευταία εκατό χρόνια η μέση παγκόσμια θερμοκρασία έχει αυξηθεί κατά $0,74 \pm 0,18^\circ\text{C}$ με τη μεγαλύτερη αύξηση να καταγράφεται τα τελευταία 50 χρόνια η οποία ανέρχεται σε $0,5^\circ\text{C}$. Το γεγονός αυτό επιδέχεται αμφισβήτησης από μερίδα επιστημόνων λόγω του ότι οι μετρήσεις πριν το 1959 παρουσιάζουν αρκετά μεγαλύτερα σφάλματα [36, 70].



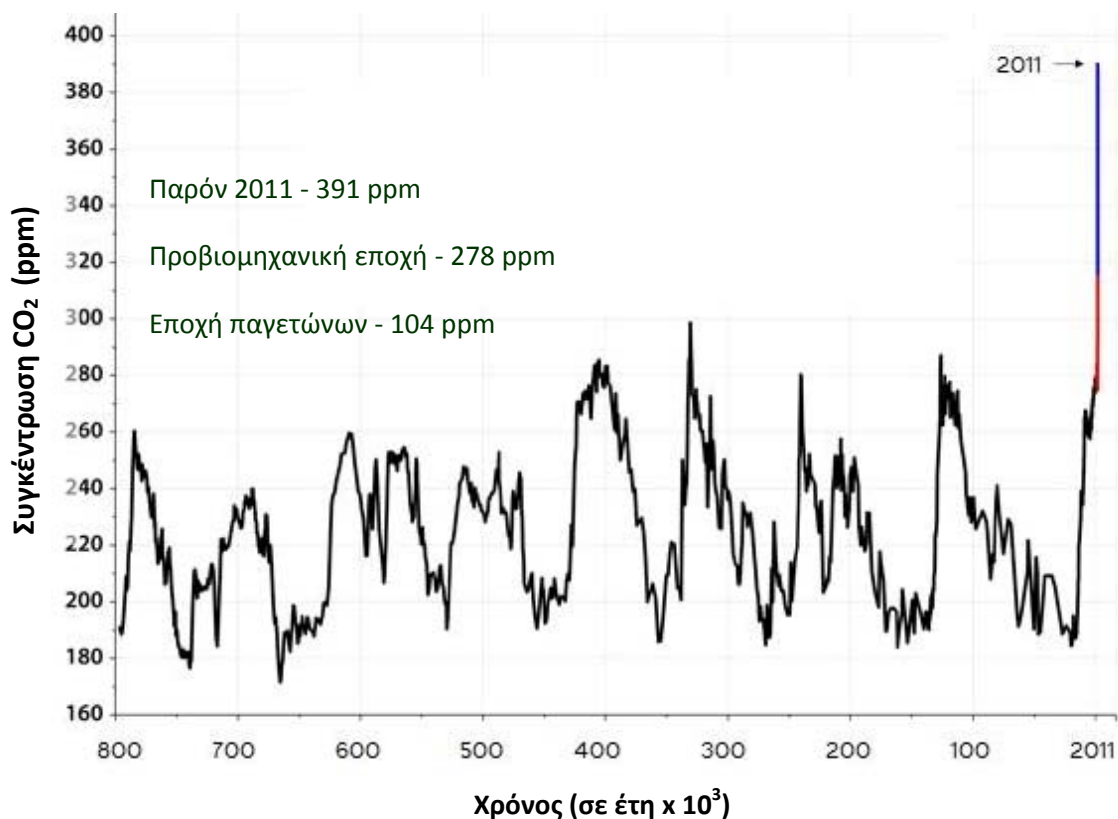
Γράφημα 2.1: Η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα (ppm) για τη χρονική περίοδο 1959 – 2012, όπως αυτή καταμετράται από το παρατηρητήριο Mauna Loa στη Χαβάη.

Η θερμοκρασία τις τελευταίες χιλιετίες παρουσίαζε αυξομειώσεις της τάξης των $0,2^\circ\text{C}$. Με την απαρχή του 20^{ου} αιώνα ξεκίνησε μία ταχεία άνοδος της θερμοκρασίας η οποία μέχρι σήμερα φτάνει τους $+0,8^\circ\text{C}$. Ο κλιματολόγος Jerry Mahlman προσομοίωσε τις μεταβολές της θερμοκρασίας με το «Hockey Stick» (Γράφημα 2.2) λόγω της σταθερότητας της μέχρι το 1900 και της έπειτα κατακόρυφης ανόδου. Η προσομοίωση αυτή αμφισβητείται έντονα από επιστήμονες οι οποίοι πιστεύουν ότι τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας κατά το μεσαίωνα εμπεριέχουν μεγάλα ποσοστά σφάλματος [71].



Γράφημα 2.2: Μεταβολή της θερμοκρασίας από το 200 μέχρι το 2000.

Σε βάθος χρόνων οι συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα παρουσίαζαν μεγάλες διακυμάνσεις με αυξομειώσεις της τάξης των 50 - 100 ppm ή και μικρότερες όπως φαίνεται στο Γράφημα 2.3. Τα τελευταία 800.000 χρόνια η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα παρουσίαζε μέγιστο περίπου κάθε 100.000 χρόνια μέσα από έναν επαναλαμβανόμενο κύκλο. Ο μέσος όρος των μέγιστων τιμών CO₂ ήταν της τάξης των 260 ppm. Παρόλα αυτά, στο πρόσφατο παρελθόν παρατηρείται μία ταχεία αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα η οποία είναι συνεχώς ανοδική και αποκλίνει κατά πολύ από τις αυξομειώσεις του παρελθόντος. Η αύξηση αυτή συμπίπτει με τη βιομηχανική και τεχνολογική επανάσταση.



Γράφημα 2.3: Η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα κατά τα τελευταία 800.000 χρόνια.

2.3 Ραδιοχρονολόγηση

Από τις αναλύσεις σε δείγματα πάγου και φλοιών δέντρων προσδιορίζεται η συγκέντρωση του ¹⁴C που υπήρχε στην ατμόσφαιρα κατά την περίοδο του σχηματισμού τους. Ο ¹²C βρίσκεται στη φύση σε αφθονία 98,9%, ο ¹³C σε 1,1% και ο ¹⁴C σε ποσοστό 10⁻¹⁰ %. Ο ¹⁴C σχηματίζεται στην ανώτερη ατμόσφαιρα από τη σύγκρουση νετρονίων με άτομα αζώτου (εξίσωση 2.1) η οποία προκαλείται από την κοσμική ακτινοβολία. Η αντίδραση αυτή είναι ασταθής με αποτέλεσμα τη διαφοροποίηση της συγκέντρωσης του ¹⁴C στην ατμόσφαιρα σε συνάρτηση με το χρόνο.



Όπου n: νετρόνιο

p: πρωτόνιο

Ο ¹⁴C αντιδρά στην ατμόσφαιρα με το O₂ σχηματίζοντας ¹⁴CO₂ (εξίσωση 2.2) το οποίο διαλύεται στους ωκεανούς, δεσμεύεται από τα φυτά κατά τη φωτοσύνθεση και από τον άνθρωπο και τα ζώα με την αναπνοή.



Με το θάνατο τους, ο ^{14}C σταματά πλέον να λαμβάνεται και η ποσότητα που βρίσκεται παγιδευόμενη ελευθερώνεται εκπέμποντας ηλεκτρόνια με αποτέλεσμα σταδιακά να διασπάται σε άζωτο με βάση το νόμο της ραδιενεργού διάσπασης:

$$A_{(t)} = A_0 \times e^{-\lambda t} \quad (\text{εξ. 2.3})$$

όπου $A_{(t)}$: ο αριθμός των ατόμων άνθρακα στο δείγμα μετά την πάροδο χρονικού διαστήματος t .

A_0 : αρχικός αριθμός ατόμων στο δείγμα μετά το θάνατο.

λ : σταθερά ίση με $1,2097 \times 10^{-4} \text{ yr}^{-1}$.

Ο χρόνος ημιζωής του ^{14}C έχει υπολογιστεί να είναι 5.730 χρόνια. Με τη χρήση δειγμάτων γνωστής συγκέντρωσης ^{14}C εξάγεται η καμπύλη βαθμονόμησης με βάση την οποία μπορεί να υπολογιστεί ο χρόνος που έχει παρέλθει από το θάνατο ενός οργανισμού. Επομένως, με τη ραδιοχρονολόγηση είναι δυνατός ο υπολογισμός της ηλικίας ενός δείγματος και ταυτόχρονα ο προσδιορισμός των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούσαν κατά την υπό μελέτη εποχή. Σήμερα, η ραδιοχρονολόγηση επιτυγχάνεται με τη μέθοδο της Επιταχυνόμενης Φασματογραφίας Μάζας (Accelerated Mass Spectrometry - AMS) η οποία ανιχνεύει άμεσα τον αριθμό των ατόμων ^{14}C σε ένα δείγμα σε σχέση με τα υπόλοιπα άτομα άνθρακα που υπάρχουν στο δείγμα. Είναι μία ευαίσθητη και ακριβής τεχνική η οποία δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα. Το σφάλμα για τον προσδιορισμό της ηλικίας του δείγματος είναι ± 30 χρόνια [72 - 74].

2.4 Δυναμικό Παγκόσμιας Θέρμανσης - ΔΠΘ

Το Δυναμικό Παγκόσμιας Θέρμανσης (Global Warming Potential - GWP) είναι ένας συγκριτικός τρόπος μέτρησης της ικανότητας των αερίων του θερμοκηπίου να συγκρατούν θερμότητα στην ατμόσφαιρα. Το GWP δημιουργήθηκε από τη Σύμβαση Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την εμπορία άνθρακα και υπολογίζεται για ένα κιλό αερίου που εκπέμπεται (εξίσωση 2.4). Εκφράζεται ως προς το CO_2 το οποίο εξ' ορισμού είναι ίσο με τη μονάδα και εξαρτάται από το χρόνο παραμονής του αερίου στην ατμόσφαιρα, την απορροφητικότητα του αερίου στο υπέρυθρο φάσμα ακτινοβολίας και την περιοχή φάσματος του μήκος κύματος απορρόφησης.

$$\text{GWP} = [\text{απορροφόμενη ακτινοβολία αερίου } x/\text{kg αερίου } x] / [\text{απορροφόμενη ακτινοβολία } \text{CO}_2 / \text{kg } \text{CO}_2] \quad (\text{εξ. 2.4})$$

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται τα αέρια του θερμοκηπίου, η συμβολή τους στο φαινόμενο της παγκόσμιας θέρμανσης, ο χρόνος παραμονής τους στην ατμόσφαιρα και το ΔΠΘ για 20, 100 και 500 χρόνια.

Πίνακας 2.1: Αέρια του θερμοκηπίου, η συμβολή τους στο φαινόμενο, ο χρόνος παραμονής τους στην ατμόσφαιρα και το ΔΠΘ για 20, 100 και 500 χρόνια.

Αέριο	Συνεισφορά (%)	Χρόνος Παραμονής (χρόνια)	ΔΠΘ 20	ΔΠΘ 100	ΔΠΘ 500
H ₂ O _g	36 - 72	7 ημέρες	-	-	-
CO ₂	9 – 26	100	1	1	1
CH ₄	4 – 9	12	72	25	7,6
SF ₆	~ 0	3200	16300	22800	32600
CFCs	~ 0	100	11000	10900	5200
N ₂ O	1 – 3	114	289	298	153

Η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα η οποία προέρχεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες ανέρχεται στο 5% των ετήσιων συνολικών εκπομπών. Ο σημαντικός ρόλος που διαδραματίζει στην άνοδο της θερμοκρασίας έγκειται στο γεγονός ότι ο χρόνος παραμονής του στην ατμόσφαιρα είναι κατά μέσο όρο εκατό χρόνια, με αποτέλεσμα να παρατηρείται συσσώρευση του στην ατμόσφαιρα με την πάροδο του χρόνου. Η συμβολή των υπολοίπων αερίων του θερμοκηπίου στο φαινόμενο πλην των υδρατμών είναι πολύ μικρή λόγω της μικρής ποσότητας ή του μικρού χρόνου παραμονής τους στην ατμόσφαιρα. Για παράδειγμα, το ΔΠΘ του CH₄ μειώνεται με την πάροδο του χρόνου λόγω του γεγονότος ότι διαθέτει μικρότερο χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα από τα 20 χρόνια. Το ΔΠΘ του SF₆ αυξάνεται λόγω του μεγαλύτερου χρόνου παραμονής του στην ατμόσφαιρα από τα 500 χρόνια. Το ΔΠΘ 100 του N₂O είναι μεγαλύτερο από το ΔΠΘ 20 λόγω του ότι συνεχίζει να παραμένει στην ατμόσφαιρα, ενώ το ΔΠΘ 500 μειώνεται λόγω του ότι ο χρόνος ζωής του είναι 114 χρόνια [23, 75].

2.5 Συμβολή Υδρατμών στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Η ατμόσφαιρα θερμαίνεται κατά την απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα τα μόρια και τα άτομα που τη συγκροτούν να αποκτούν κινητική ενέργεια. Η ικανότητα απορρόφησης ακτινοβολίας εξαρτάται άμεσα από τη δομή και τις ιδιότητες του κάθε

μορίου με συνέπεια κάθε στοιχείο που υπάρχει στην ατμόσφαιρα να συνεισφέρει σε διαφορετικό βαθμό στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου.

Σύμφωνα με το νόμο διατήρησης της ορμής και της ενέργειας ένα αέριο το οποίο απορροφά ένα φωτόνιο μεταβαίνει σε διεγερμένη κατάσταση αποθηκεύοντας ενέργεια. Στην ατμόσφαιρα τα μόρια αλληλεπιδρούν συνεχώς μεταξύ τους μέσω τυχαίων συγκρούσεων, κατά τις οποίες η ενέργεια που διαθέτουν να εκπέμπεται ως θερμότητα. Τα μόρια που απαρτίζουν την ατμόσφαιρα είναι υπεύθυνα για τη θέρμανση της, ανάλογα με την ικανότητα τους να απορροφούν ακτινοβολία στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Αν δεν υπήρχαν αέρια στην ατμόσφαιρα, το ποσοστό εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας που θα πρόσπιπτε στη Γη θα ήταν σχεδόν ίσο με το ποσό της ακτινοβολίας που θα επέστρεφε πίσω στο διάστημα. Τα αέρια όμως που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα συγκρατούν ένα σημαντικό ποσοστό της εισερχόμενης ακτινοβολίας υπό τη μορφή θερμότητας.

Το αέριο του θερμοκηπίου με τη μεγαλύτερη συμβολή στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου είναι οι υδρατμοί οι οποίοι αντιπροσωπεύουν το 95% του συνολικού ποσού των αερίων του θερμοκηπίου. Το μόριο του νερού αποτελείται από ένα άτομο οξυγόνου και δύο άτομα υδρογόνου τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με ισχυρούς χημικούς δεσμούς, σχηματίζει μία μη γραμμική διάταξη λόγω του ασύζευκτου ζεύγους ηλεκτρονίων (e^-) που διαθέτει το οξυγόνο. Για την αλλαγή κατάστασης του νερού από την υγρή στην αέρια φάση απαιτείται προσφορά μεγάλων ποσών ενέργειας για τη διάσπαση των δεσμών υδρογόνου που συγκρατούν τα μόρια μεταξύ τους. Το επιφανειακό νερό σε ωκεανούς και θάλασσες λόγω της εκτεταμένης έκθεσης του στην ηλιακή ακτινοβολία αποκτά την απαιτούμενη ενέργεια με τη μορφή θερμότητας, η οποία διασπά τους δεσμούς υδρογόνου με αποτέλεσμα οι σχηματιζόμενοι υδρατμοί να καταλήγουν στην ατμόσφαιρα (φαινόμενο εξάτμισης). Επομένως, η αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας λόγω της παρουσίας των υπολοίπων αερίων του θερμοκηπίου και άλλων φυσικών μηχανισμών οδηγούν στον αυξημένο σχηματισμό υδρατμών με αποτέλεσμα περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας. Ο χρόνος παραμονής τους στην ατμόσφαιρα είναι κατά μέσο όρο 7 ημέρες και για το λόγο αυτό το ΔΠΘ των υδρατμών θεωρείται αμελητέο.

Οι υδρατμοί απορροφούν μεγάλα ποσά ακτινοβολίας στην περιοχή του υπέρυθρου φάσματος. Ανάλογα με την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς διαφοροποιείται η θερμότητα της. Η σχέση των Mugge - Moler συνδέει την αύξηση της

ακτινοβολίας που απορροφάται, με την αύξηση της περιεκτικότητας σε υδρατμούς της ατμόσφαιρας:

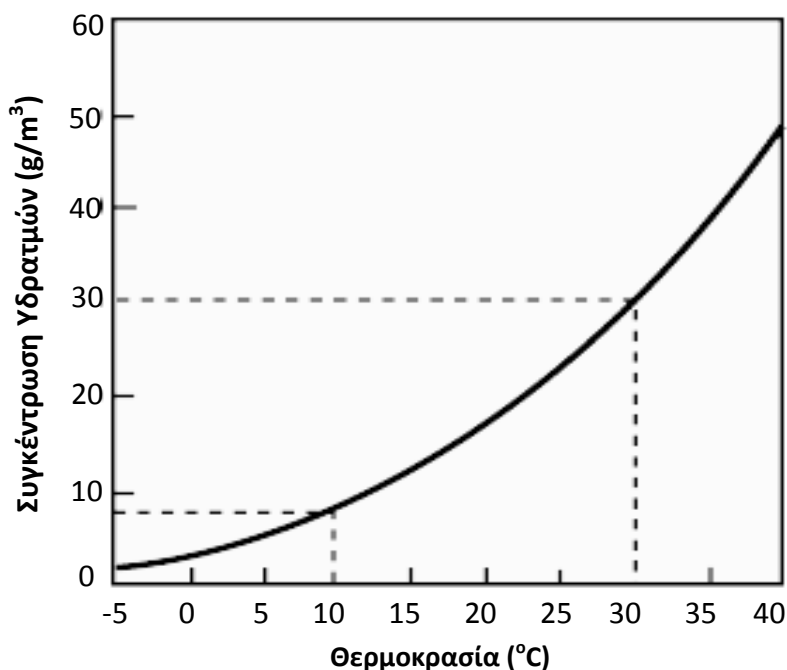
$$\Delta I = 0,171(\Delta h \times P_w)^{0,303} \text{ cal/cm}^2 \times \text{min} \quad (\text{εξ. 2.5})$$

Όπου ΔI : απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας.

Δh : πάχος στρώματος ατμόσφαιρας η οποία διαπερνάται από τις ηλιακές ακτίνες.

P_w : ποσότητα υετίσιμου νερού.

Η ικανότητα απορρόφησης της ακτινοβολίας από τους υδρατμούς χαρακτηρίζεται ισχυρή σε μήκος κύματος το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 5 - 8 μm και μεγαλύτερο από 19 μm , ενώ μεταξύ 8 και 12 μm και 17 - 19 μm η απορρόφηση είναι ασθενής. Λόγω του ότι οι υδρατμοί απορροφούν το μεγαλύτερο ποσοστό της εκπεμπόμενης γήινης ακτινοβολίας διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο θερμικό ισοζύγιο της ατμόσφαιρας. Από το 1988 η συγκέντρωση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα αυξάνεται κατά 0,41 kg/m^2 ανά δεκαετία. Στο Γράφημα 2.4 παρουσιάζεται η συγκέντρωση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα σε σχέση με τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Η αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας οδηγεί σε μεγαλύτερη εξάτμιση του νερού το οποίο συγκεντρώνεται στην ατμόσφαιρα [23, 76, 77].



Γράφημα 2.4: Συγκέντρωση υδρατμών στην ατμόσφαιρα σε συνάρτηση με τη μεταβολή της θερμοκρασίας.

2.6 Απόψεις Επιστημονικής Κοινότητας για την Κλιματική Αλλαγή

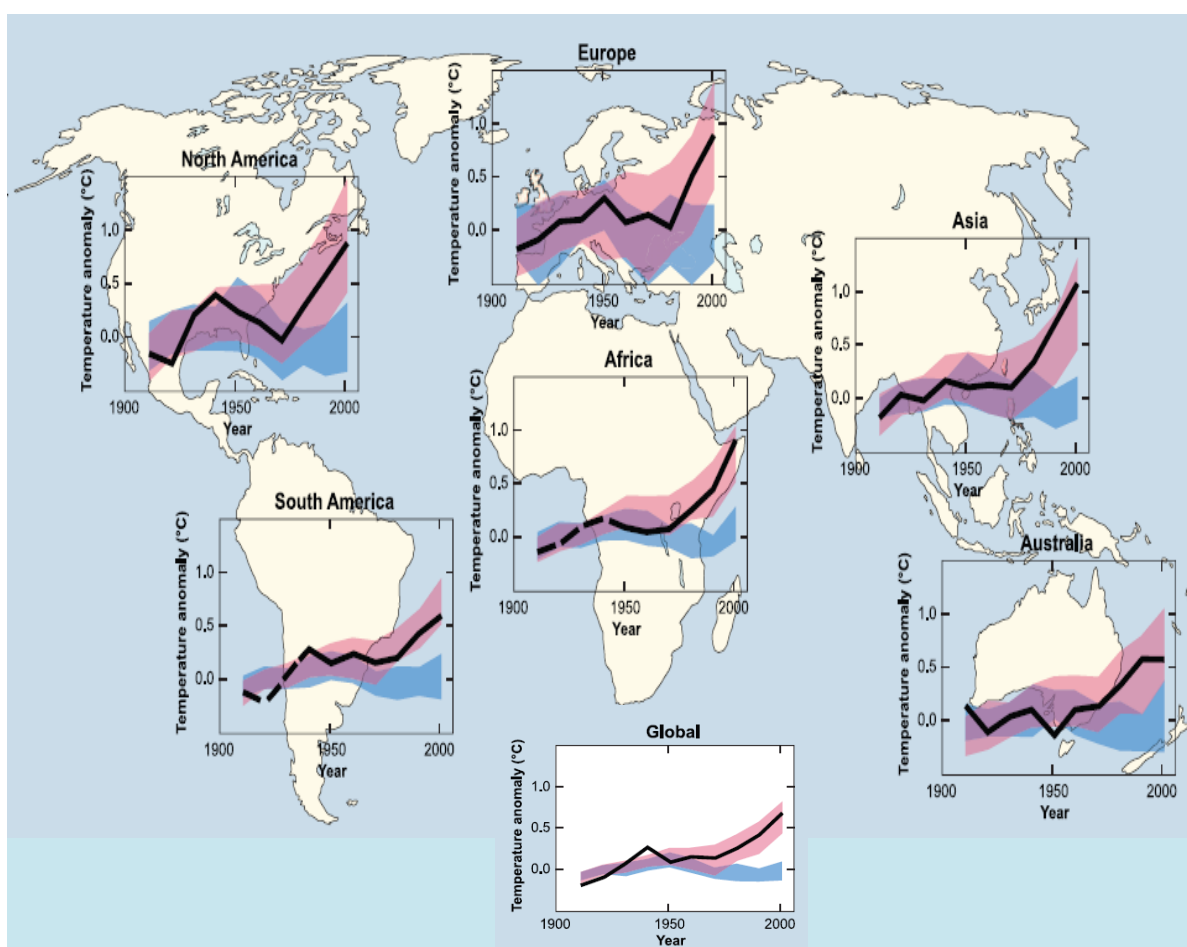
Η επιστημονική κοινότητα παρουσιάζεται διχασμένη όσον αφορά την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης. Αρκετοί είναι οι επιστήμονες οι οποίοι θεωρούν ότι το μεγαλύτερο μερίδιο ευθύνης για την κλιματική αλλαγή έχει ο ίδιος ο άνθρωπος με τις δραστηριότητες του. Ένα μικρότερο ποσοστό των επιστημόνων υποστηρίζει ότι η κλιματική αλλαγή είναι κάτι φυσιολογικό στον κύκλο της φύσης και είναι ανεξάρτητο από τις ανθρώπινες παρεμβάσεις.

Στο πρόσφατο παρελθόν κάποια πράγματα αποτελούσαν πολυτέλεια για τον άνθρωπο και ίσως σενάριο επιστημονικής φαντασίας, σήμερα όμως του έχουν γίνει αναγκαίο 'κακό'. Η αύξηση του πληθυσμού, η δραματική ανάπτυξη του βιοτικού επιπέδου και η έλλειψη περιβαλλοντικής συνείδησης έχουν ως άμεσο αποτέλεσμα την υπέρμετρη ανάπτυξη των βιομηχανιών και ως έμμεσο αποτέλεσμα τις αυξημένες εκπομπές ρύπων, μεταξύ των οποίων και του CO₂ το οποίο θεωρείται ότι ευθύνεται για την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη.

Τις τελευταίες δεκαετίες το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής αλλά και οι απόψεις περί του ιθύνοντος οδήγησαν στη δημιουργία μίας παγκόσμιας επιτροπής αποτελούμενης από επιστήμονες προερχόμενοι από διάφορες χώρες, για τη λήψη αποφάσεων με στόχο την αντιμετώπιση του προβλήματος. Έτσι, το 1988 ιδρύθηκε από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό και το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα του ΟΗΕ η Διακυβερνητική Επιτροπή για τις Κλιματικές Αλλαγές (International Panel on Climate Change - IPCC) η οποία απαρτίζεται από επιστήμονες και εμπειρογνώμονες οι οποίοι αξιολογούν τις κλιματικές αλλαγές και προτείνουν τρόπους αντιμετώπισης μέσα από εκθέσεις οι οποίες δημοσιεύονται σε περιοδικά διεθνούς κύρους και χρησιμοποιούνται από Κυβερνητικούς Αξιωματούχους για τη σύνταξη της περιβαλλοντικής πολιτικής που θα ακολουθήσει η κάθε χώρα.

Το ερώτημα εάν ευθύνεται ο άνθρωπος για την υπερθέρμανση του πλανήτη έχει απαντηθεί εν μέρει στην τέταρτη και πιο πρόσφατη έκθεση της IPCC το 2007 όπου επισημαίνεται ότι η άνοδος της θερμοκρασίας το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Στο συμπέρασμα αυτό κατέληξαν έπειτα από εκτεταμένες έρευνες για το παλαιόκλιμα και τις πρόσφατες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας [34].

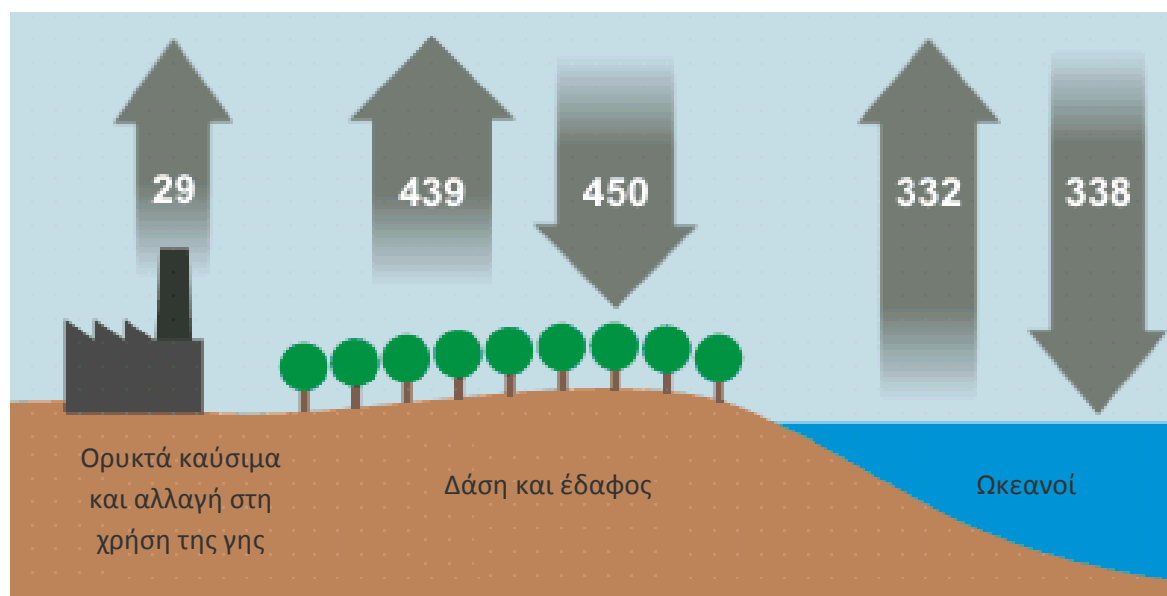
Στην Εικόνα 2.5 παρουσιάζεται γραφικά η διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας στις ηπείρους στη Γη κατά την περίοδο 1906 – 2005. Με μπλε γραμμή αναπαρίσταται η θερμοκρασία όπως έχει προβλεφθεί με τη χρήση υπολογιστικών μοντέλων και λαμβάνοντας υπόψη μόνο φυσικούς παράγοντες. Η ροζ γραμμή αντιπροσωπεύει τη θερμοκρασία που προέβλεψαν τα μοντέλα συνυπολογίζοντας φυσικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες και η μαύρη γραμμή αντιπροσωπεύει τις παρατηρούμενες θερμοκρασίες από την καταμέτρηση της θερμοκρασίας. Παρόλο που σε γενικές γραμμές η τάση της θερμοκρασίας είναι αυξητική, εντούτοις παρουσιάζονται διακυμάνσεις στη συμπεριφορά της θερμοκρασίας οι οποίες δεν μπορούν να επεξηγηθούν πειστικά από την IPCC.



Εικόνα 2.5: Διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας στις ηπείρους και παγκόσμια από το 1906 μέχρι το 2005 σύμφωνα με την τέταρτη έκθεση της IPCC [32].

Οι επιστήμονες που απαρτίζουν την IPCC θεωρούν ότι η υπερθέρμανση που παρατηρείται στον πλανήτη οφείλεται στις ανθρώπινες δραστηριότητες οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την έκλυση CO₂ στην ατμόσφαιρα. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.6 οι εκπομπές CO₂ από την καύση ορυκτών καυσίμων και την αλλαγή στον τρόπο χρήσης της γης διαταράσσουν

τη φυσική ισορροπία. Περίπου το 50% των εκπομπών αυτών μπορούν να απορροφηθούν από τους ωκεανούς και τα δάση ενώ το υπόλοιπο παραμένει στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα τα σημερινά επίπεδα CO₂ να είναι τα υψηλότερα των τελευταίων 15 - 20 εκατομμυρίων χρόνων. Στο παρελθόν μία φυσική μεταβολή της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα της τάξης των 100 ppm χρειαζόταν 5.000 - 20.000 χρόνια για να πραγματοποιηθεί ενώ σήμερα η μεταβολή αυτή έχει γίνει μέσα σε 120 χρόνια [78].



Εικόνα 2.6: Ισοζύγιο CO₂ (σε εκατομμύρια τόνους) το οποίο καταλήγει στην ατμόσφαιρα ή απομακρύνεται από αυτήν.

Αρκετοί έμπειροι επιστήμονες όπως οι P. Michaels, I. Clark, P. Corbyn (οι οποίοι ανήκουν στις τάξεις των σκεπτικιστών), υποστηρίζουν ότι το κλίμα πάντα άλλαξε και θα συνεχίσει να αλλάζει μέσα από ένα φυσικό κύκλο. Υποστηρίζουν ότι η παγκόσμια θέρμανση αποτελεί μία απάτη πίσω από την οποία κρύβονται πολιτικές σκοπιμότητες και ισχυρίζονται ότι με την πρόφαση της κλιματικής αλλαγής κατακλύζονται με χρηματοδότηση οι επιστήμονες που απαρτίζουν την IPCC. Οι σκεπτικιστές τονίζουν ότι οι απόψεις της IPCC αποτελούν πολιτική προπαγάνδα. Η κλιματική αλλαγή προβάλλεται καθημερινά από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης με τέτοιο τρόπο ώστε να πείθει τον καθένα από εμάς ότι αυτός ευθύνεται για τα όσα συμβαίνουν στον πλανήτη με απώτερο σκοπό το οικονομικό κέρδος, αφού οι θέσεις εργασίας για το κλίμα είναι δεκάδες χιλιάδες. Οι σκεπτικιστές αρνούνται τη συμβολή του ανθρώπου στην αλλαγή του κλίματος παραθέτοντας τα δικά τους επιχειρήματα [79].

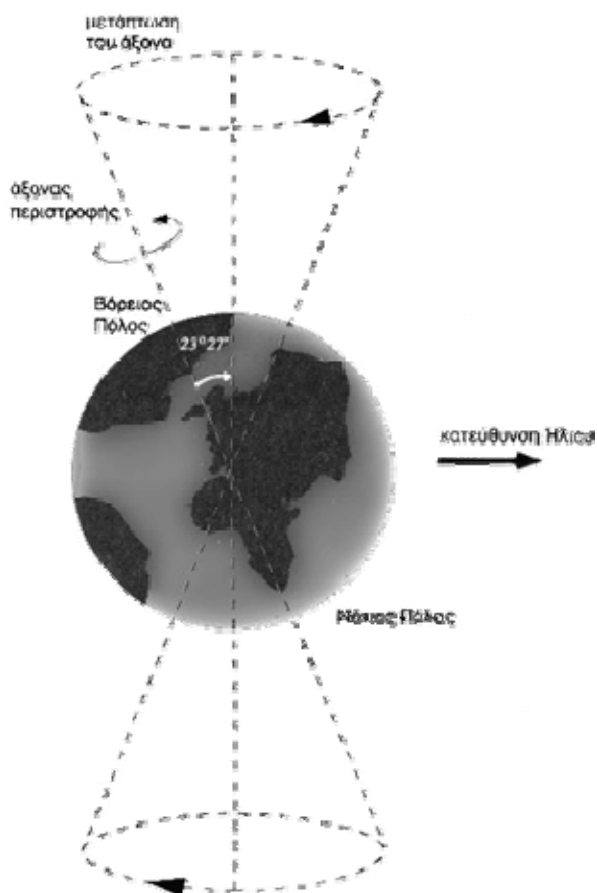
Ο Ήλιος παίζει καταλυτικό ρόλο στη μεταβολή της μέσης ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας. Το 1893 ο Enduart Maunder παρατήρησε ότι κατά τη διάρκεια της μικρής εποχής των παγετώνων (1645 – 1715) ο Ήλιος δεν παρουσίαζε εμφανείς ηλιακές κηλίδες. Η περίοδος αυτή είναι γνωστή και ως ελάχιστο Maunder. Αρκετοί επιστήμονες έχουν μελετήσει τα αστρονομικά δεδομένα 400 χρόνων και έχουν επισημάνει τη στενή σχέση μεταξύ της μέσης θερμοκρασίας στην επιφάνεια της Γης και των παρατηρούμενων ηλιακών κηλίδων. Οι ηλιακές κηλίδες είναι περιοχές στην επιφάνεια του Ήλιου με χαμηλότερη θερμοκρασία από γειτνιάζουσες περιοχές λόγω μαγνητικής δραστηριότητας η οποία εμποδίζει τη μεταφορά θερμότητας από το εσωτερικό του Ήλιου στα σημεία αυτά. Έντονη μαγνητική και συνεπώς ηλιακή δραστηριότητα χαρακτηρίζεται από απώλεια ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας η οποία εκτοξεύεται στο διάστημα. Η Γη δέχεται μέρος αυτής της ενέργειας με αποτέλεσμα την απότομη αύξηση της θερμοκρασίας της.

Με ανάλυση σε δείγματα πάγου και φλοιού δέντρων προσδιορίζεται η ποσότητα ^{14}C και ^{10}Be η οποία δίνει σημαντικές πληροφορίες για την ηλιακή δραστηριότητα της εποχής που μελετάται. Με βάση τη διακύμανση της ηλιακής δραστηριότητας προσδιορίστηκε ότι ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων παρουσιάζει μέγιστο κάθε 11, 88 και 208 χρόνια. Κατά το ηλιακό μέγιστο παρουσιάζεται αύξηση της ακτινοβολίας κατά 0,1%, ποσότητα ικανή να προκαλέσει σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας στον πλανήτη παρά τη μεγάλη απόσταση Ήλιου – Γης [80 – 82].

Από την αρχή της ιστορίας του πλανήτη, εδώ και 4,6 δισεκατομμύρια χρόνια, η αλληλεπίδραση μεταξύ του Ήλιου και της Γης αλλάζει ανά τακτά χρονικά διαστήματα προκαλώντας κλιματικές αλλαγές στον πλανήτη. Η αλληλεπίδραση αυτή μελετήθηκε εκτεταμένα (1900 – 1950) από τον αστροφυσικό Milutin Milankovitch ο οποίος ανακάλυψε ότι η κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο παρουσιάζει μεταβολές οι οποίες προκαλούν παροδικές διακυμάνσεις στο ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στον πλανήτη. Οι μεταβολές αυτές έχουν γίνει γνωστές και ως κύκλοι Milankovitch οι οποίοι παρουσιάζονται στη συνέχεια.

A) Μετάπτωση του άξονα της Γης

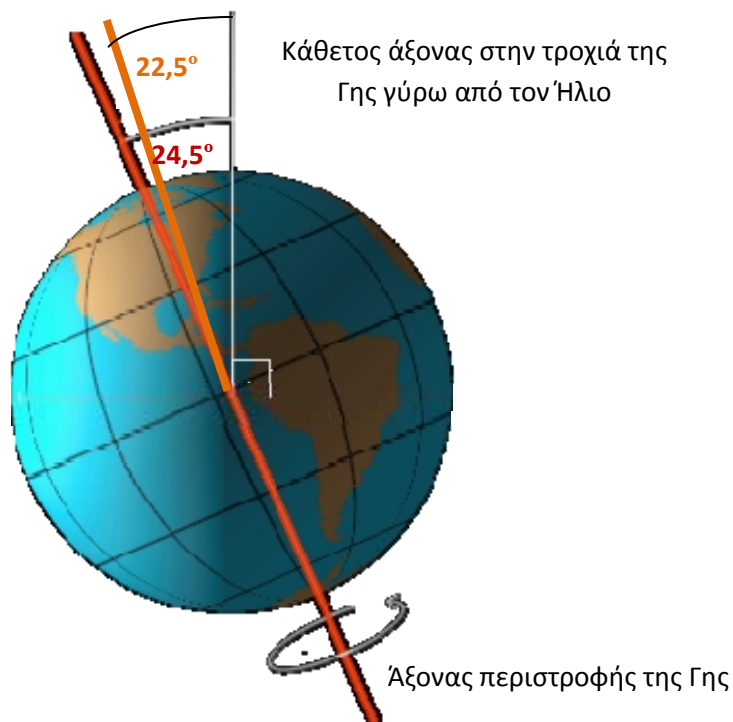
Η κίνηση αυτή αναφέρεται στο γεγονός ότι καθώς η Γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονα της, ταλαντεύεται. Η ταλάντωση αυτή, γνωστή ως μετάπτωση του άξονα της Γης, συμβαίνει με μια περιοδικότητα 22.000 χρόνων. Σήμερα η Γη βρίσκεται πιο κοντά στον Ήλιο τον Ιανουάριο όταν στο Βόρειο Ημισφαίριο επικρατεί χειμώνας.



Εικόνα 2.7: Μετάπτωση του άξονα της Γης.

B) Μεταβολές στη Λοξότητα

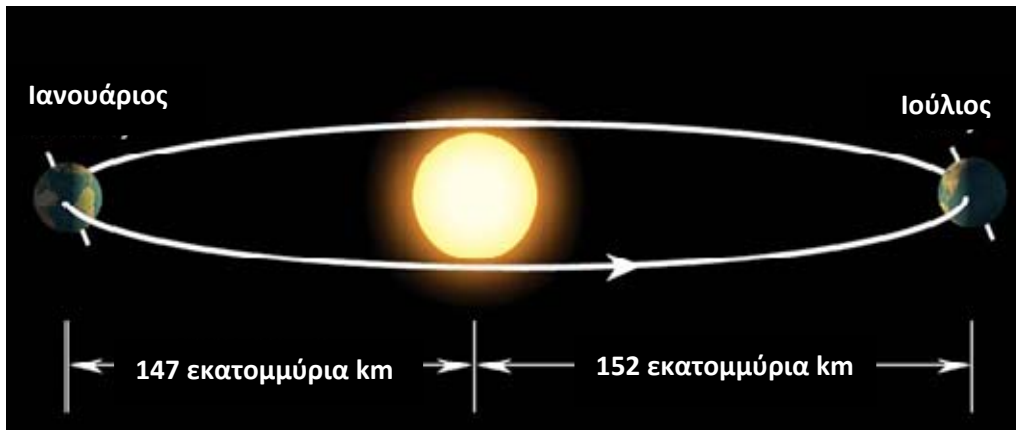
Η λοξότητα αφορά την κλίση της Γης καθώς αυτή περιστρέφεται γύρω από τον Ήλιο. Η μετάβαση από το μέγιστο των $24,5^\circ$ στο ελάχιστο των $22,5^\circ$ ολοκληρώνεται σε 41.000 χρόνια. Όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση της Γης ως προς τον άξονα περιστροφής της γύρω από τον Ήλιο τόσο μεγαλύτερες είναι οι διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ των εποχών. Για παράδειγμα όταν η κλίση φτάσει στο μέγιστο των $24,5^\circ$ το καλοκαίρι θα είναι αρκετά θερμότερο ενώ ο χειμώνας ψυχρότερος. Όταν η κλίση είναι μικρότερη, τα καλοκαίρια είναι πιο δροσερά με αποτέλεσμα να διατηρούνται οι πάγοι που έχουν σχηματιστεί κατά τον χειμώνα με συνέπεια να δημιουργούνται παγόβουνα. Η ύπαρξη των παγόβουνων αυξάνει το ποσοστό ακτινοβολίας που ανακλάται πίσω στο διάστημα (φαινόμενο Albedo βλέπε Κεφ. 1.6.1) με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη πτώση της μέσης θερμοκρασίας της Γης.



Εικόνα 2.8: Μέγιστη και ελάχιστη κλίση του άξονα περιστροφής της Γης.

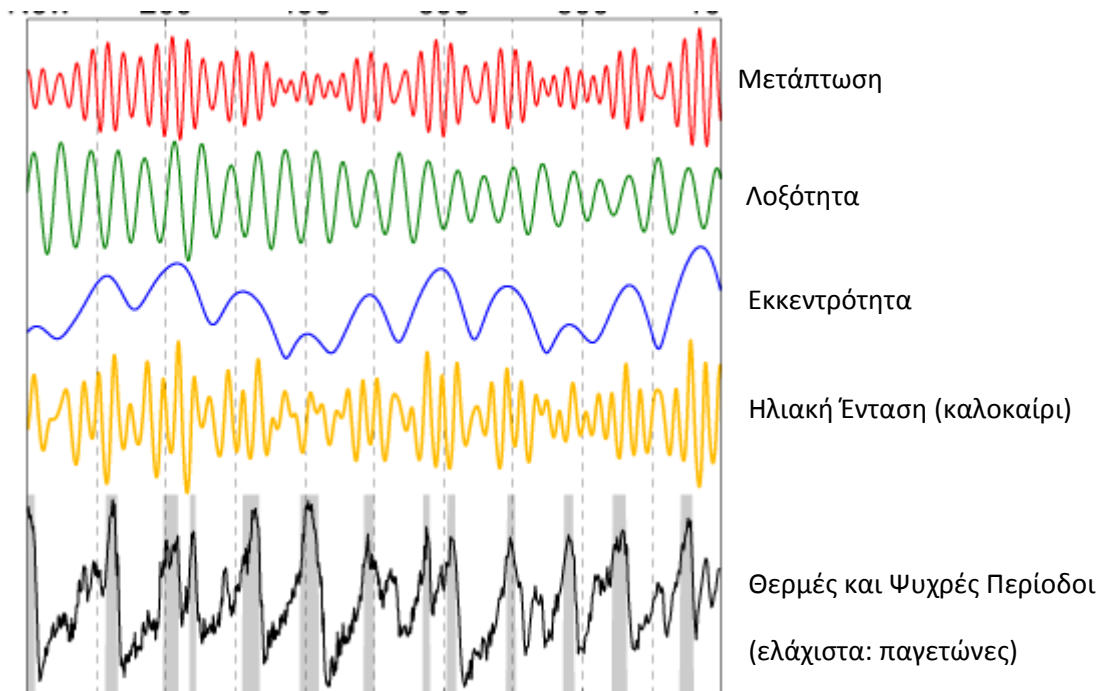
Γ) Μεταβολές στην Εκκεντρότητα

Η εκκεντρότητα αφορά την τροχιά που εκτελεί η Γη γύρω από τον Ήλιο και μεταβάλλεται από σχεδόν κυκλική, με ελάχιστη ελλειπτικότητα 0,005, σε ελλειπτική με μέγιστη ελλειπτικότητα 0,061. Η μετάβαση αυτή χρειάζεται 100.000 χρόνια για να πραγματοποιηθεί και προκαλεί μεταβολή στην ηλιακή ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας που φτάνει στο πιο κοντινό (αφήλιο) και στο πιο απομακρυσμένο (περιήλιο) σημείο της Γης από Ήλιο. Όταν η τροχιά της Γης γύρω από τον Ήλιο είναι ελλειπτική, το αφήλιο δέχεται 7% περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία από το περιήλιο. Σήμερα η Γη εκτελώντας τροχιά μικρής ελλειπτικότητας βρίσκεται πιο κοντά στον Ήλιο τον Ιανουάριο και μακρύτερα τον Ιούνιο όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.9.



Εικόνα 2.9: Τροχιά Γης γύρω από τον Ήλιο με μικρή ελλειπτικότητα όπου η πρώτη βρίσκεται πιο κοντά στον Ήλιο τον Ιανουάριο.

Στην Εικόνα 2.10 παρουσιάζονται οι περιοδικές κινήσεις της Γης και ο συσχετισμός τους με τις θερμές και ψυχρές περιόδους καθώς και με την ηλιακή ένταση που δέχεται η Γη κατά το καλοκαίρι. Όπως φαίνεται, οι κύκλοι των παγετώνων συμπίπτουν με τους κύκλους της εκκεντρότητας της τροχιάς της Γης [23, 83, 84].

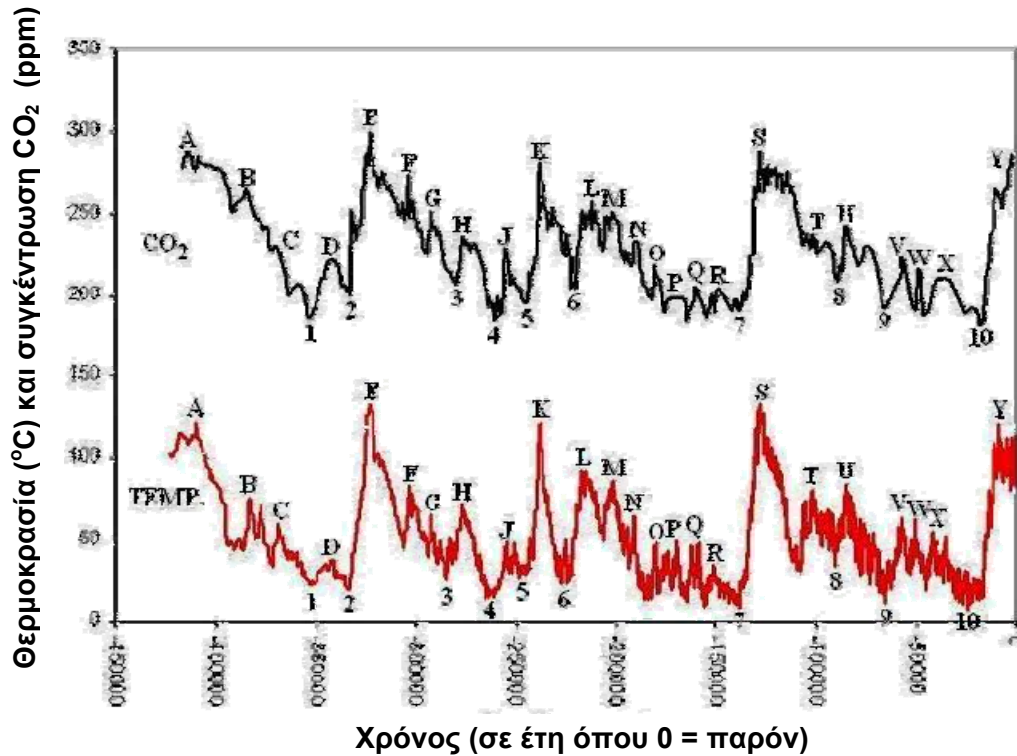


Εικόνα 2.10: Περιοδικές κινήσεις της Γης και συσχέτιση τους με τις θερμές και ψυχρές περιόδους.

Η αύξηση της θερμοκρασίας λόγω της έντονης ηλιακής ακτινοβολίας προκαλεί μείωση της διαλυτότητας του CO₂ στους ωκεανούς με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης του στην ατμόσφαιρα. Ταυτόχρονα, λόγω της ηλιακής δραστηριότητας αυξάνεται η συγκέντρωση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα η οποία ανατροφοδοτεί τη συγκράτηση θερμότητας η οποία θα προκαλέσει περαιτέρω εξάτμιση κ.ο.κ. Αυτός ο μηχανισμός

ανάδρασης (ή ανατροφοδοτικός μηχανισμός) οδηγεί το κλίμα στη Γη σύμφωνα με τους σκεπτικιστές.

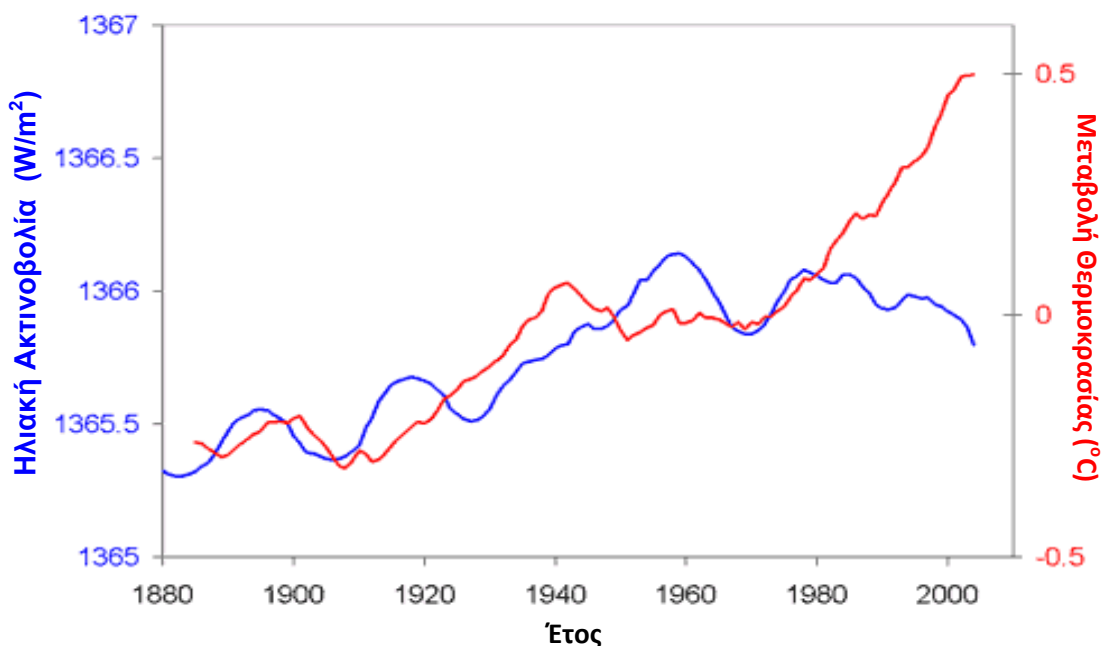
Όπως φαίνεται στο Γράφημα 2.5 η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα και η θερμοκρασία τα τελευταία 450.000 χρόνια παρουσιάζουν μεγάλη συσχέτιση. Αρχικά, παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας η οποία προκαλεί αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα το οποίο ελευθερώνεται από τους ωκεανούς.



Γράφημα 2.5: Συσχέτιση θερμοκρασίας και συγκέντρωσης CO₂ στην ατμόσφαιρα τα τελευταία 450.000 χρόνια.

Ο Ήλιος επηρεάζει τη θερμοκρασία της Γης και έμμεσα τη δυνατότητα σχηματισμού νεφών τα οποία περιορίζουν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία στη Γη. Τα νέφη σχηματίζονται από την πρόσπτωση της κοσμικής ακτινοβολίας στους υδρατμούς που συγκρατούνται στην ατμόσφαιρα. Ο ισχυρός ηλιακός άνεμος που δημιουργείται σε περιόδους έντονης ηλιακής δραστηριότητας εμποδίζει τη διέλευση σωματιδίων κοσμικής ακτινοβολίας στη Γη, περιορίζοντας τη δυνατότητα σχηματισμού νεφών. Ο αστροφυσικός N. Shavin μελέτησε το σχηματισμό των νεφών και την κοσμική ακτινοβολία σε βάθος χρόνου 600 εκατομμυρίων ετών. Τα αποτελέσματα στα οποία κατέληξε ήταν η αντιστρόφως ανάλογη μεταξύ τους σχέση. Παρατήρησε δηλαδή ότι η άνοδος της κοσμικής ακτινοβολίας συνοδευόταν από μείωση της θερμοκρασίας [79].

Οι επιστήμονες που πρόσκεινται στη IPCC αποδέχονται ότι κατά το παρελθόν υπήρξε συσχέτιση της ηλιακής δραστηριότητας με την άνοδο της θερμοκρασίας, τις τελευταίες δεκαετίες όμως αυτό δεν παρατηρείται. Όπως φαίνεται στο Γράφημα 2.6 από το 1960 μέχρι σήμερα η ηλιακή δραστηριότητα παρουσιάζεται μειωμένη σε αντίθεση με τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Επομένως, υποστηρίζουν ότι ο Ήλιος μπορεί να επηρεάζει σε κάποιο βαθμό το κλίμα στη Γη αλλά δεν το καθοδηγεί [39].

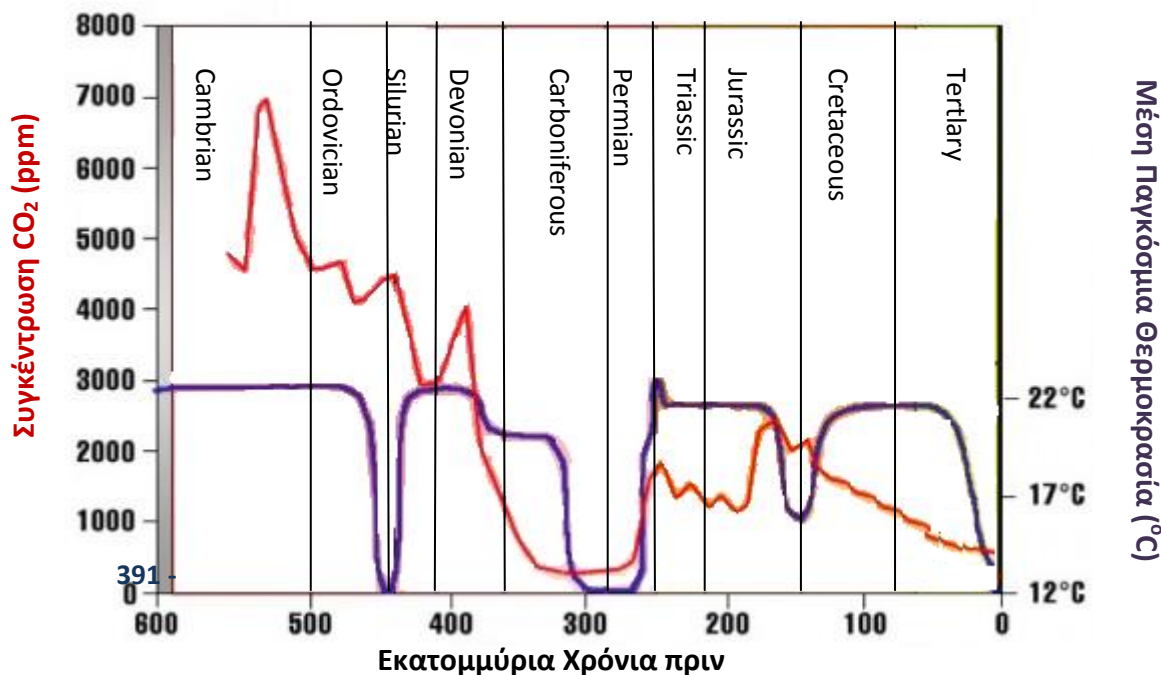


Γράφημα 2.6: Η συσχέτιση της ηλιακής ακτινοβολίας με τη μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη συναρτήσει του χρόνου.

Στο παρελθόν η θερμοκρασία παρουσίασε μεταβολές μέσα από ένα φυσικό κύκλο. Υπήρξαν περίοδοι με πολύ υψηλές θερμοκρασίες όπως η Μεσαιωνική θερμή περίοδος αλλά και με πολύ χαμηλότερες όπως οι Εποχές των Παγετώνων. Τα επίπεδα της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα στο παρελθόν δεν εμφανίζονταν με κάποια περιοδικότητα και οι αυξομειώσεις τους δεν συνδέονταν με τις μεταβολές της θερμοκρασίας.

Η μέση θερμοκρασία στη Γη κατά το παρελθόν υπήρξε πολύ πιο υψηλή από τη σημερινή. Όπως φαίνεται στο Γράφημα 2.7 τα επίπεδα συγκέντρωσης CO₂ στην ατμόσφαιρα κατά την Κάμβρια περίοδο (600 - 500 εκατομμύρια χρόνια πριν) έφτασαν τα 7000 ppm, 18 φορές υψηλότερα από τα σημερινά. Η δε θερμοκρασία παρέμεινε σταθερή στους 22°C για περισσότερο από 100 εκατομμύρια χρόνια παρά τις σημαντικές αυξομειώσεις στην ατμοσφαιρική συγκέντρωση του CO₂. Τα επίπεδα CO₂ και η θερμοκρασία υπολογίστηκαν

από δείγματα πάγου, γεγονός που φανερώνει ότι υπήρχαν πάγοι στη Γη παρά τις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούσαν κατά τις υπό εξέταση περιόδους.



Γράφημα 2.7: Μεταβολές στη θερμοκρασία και τα επίπεδα CO₂ τα τελευταία 600 εκατομμύρια χρόνια.

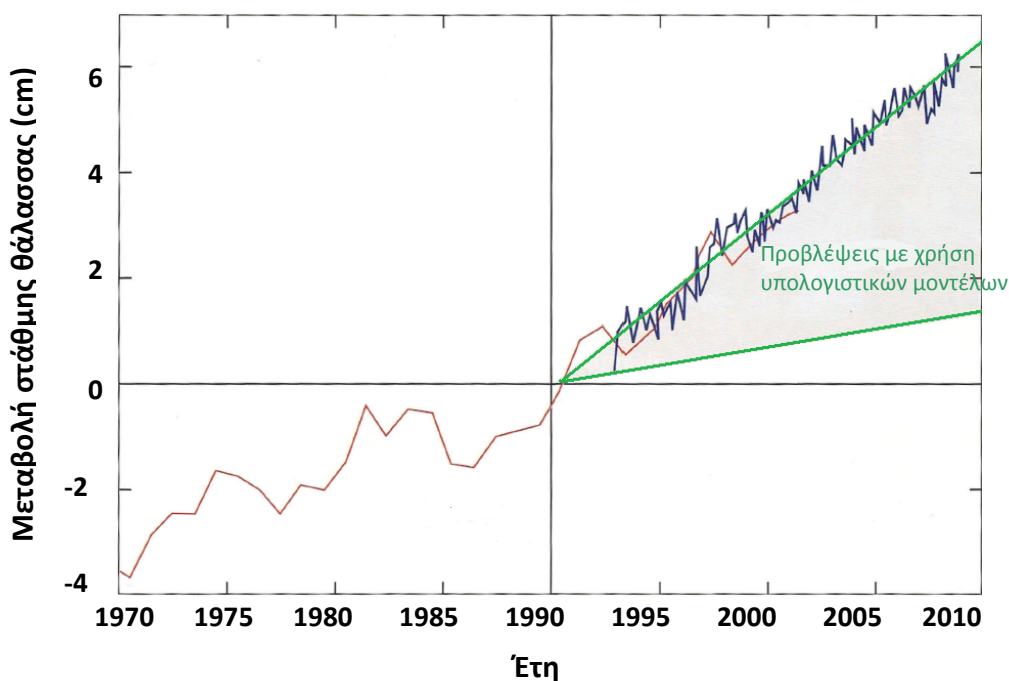
Σύμφωνα με την IPCC η περιοδικότητα με την οποία εμφανίζονται θερμές και ψυχρές περιόδους δεν αποτελεί μέρος ενός φυσικού και επαναλαμβανόμενου κύκλου, αλλά οφείλεται σε διαταράξεις της ενεργειακής ισορροπίας στη Γη. Οι μεταβολές σε αυτή την ισορροπία οφείλονται σε εξωτερικούς παράγοντες όπως η έκρηξη ηφαιστειών η οποία προκαλεί μείωση της θερμοκρασίας λόγω των εκπεμπόμενων σωματιδίων τα οποία εκτρέπουν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Κατά το παρελθόν τα αέρια του θερμοκηπίου προερχόμενα από εξωτερικούς παράγοντες έχουν επηρεάσει το κλίμα στη Γη. Σήμερα, η πηγή των αερίων αυτών είναι ο άνθρωπος.

Οι σκεπτικιστές παραθέτουν την άποψη τους περί αμφισβήτησης των μαθηματικών κλιματικών μοντέλων βάση των οποίων υπολογίζονται οι αναμενόμενες θερμοκρασίες για τα επόμενα χρόνια. Σε ένα κλιματικό μοντέλο δεν μπορούν να προσομοιωθούν όλες οι παράμετροι σωστά λόγω της πολυπλοκότητας και της μοναδικής λειτουργίας της φύσης. Η αδυναμία στην προσέγγιση ατμοσφαιρικών και χημικών μεταβλητών με ακρίβεια αφήνει μεγάλα περιθώρια σφάλματος.

Η ομάδα των επιστημόνων που απαρτίζει την IPCC επικαλείται τις επιβεβαιωμένες προβλέψεις για την αξιοπιστία των μοντέλων. Στα μαθηματικά μοντέλα εισάγονται

δεδομένα για υπολογισμό αποτελεσμάτων τα οποία στηρίζονται σε μετρήσεις για τον έλεγχο και την επικύρωση της αξιοπιστίας τους. Επίσης, το κλίμα αποτελεί το μέσο όρο των καιρικών συνθηκών διαστήματος περίπου τριών δεκαετιών. Ως αποτέλεσμα, ακραία και απρόβλεπτα καιρικά φαινόμενα ομαλοποιούνται σε βάθος χρόνου και δεν επηρεάζουν το αποτέλεσμα των μοντέλων [78].

Στο Γράφημα 2.8 παρουσιάζεται η μεταβολή της στάθμης της θάλασσας όπως έχει καταγραφεί από μετρήσεις για την περίοδο 1993 – 2009 (μπλε γραμμή). Με πράσινο φαίνονται τα ανώτερα και κατώτερα όρια όπως προβλέφθηκαν με τη χρήση υπολογιστικών μοντέλων από επιστήμονες της IPCC. Όπως φαίνεται στο γράφημα οι παρατηρούμενες τιμές βρίσκονται στο ανώτερο όριο προβλέψεων, γεγονός που αμφισβητεί την αξιοπιστία των χρησιμοποιούμενων κλιματικών μοντέλων.



Γράφημα 2.8: Μεταβολή της στάθμης της θάλασσας σύμφωνα με μετρήσεις και εκτίμηση με τη χρήση υπολογιστικών μοντέλων.

Ένα κλιματικό σκάνδαλο, γνωστό και ως Clima - gate, διαταράζει την αμεροληψία των επιστημόνων της IPCC. Οι σκεπτικιστές κατηγορούν με αποδείξεις την IPCC ότι αλλοιώνουν επιστημονικά δεδομένα για να παρουσιάσουν τα αποτελέσματα που εξυπηρετούν δικά τους συμφέροντα. Το Νοέμβριο του 2009 κλάπηκαν ηλεκτρονικά μηνύματα της Κλιματικής Ερευνητικής Μονάδας (CRU) του Πανεπιστημίου East Anglia και δόθηκαν στη δημοσιότητα. Μεταξύ των μηνυμάτων υπάρχουν συνομιλίες του P. Jones

διευθυντή CRU και M. Mann διευθυντή του Επιστημονικού Κέντρου στο Πανεπιστήμιο της Πενσιλβάνιας, οι οποίες καταδεικνύουν παραποίηση επιστημονικών δεδομένων όσον αφορά την αύξηση της θερμοκρασίας έτσι ώστε αυτά να συνηγορούν υπέρ της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής. Στην τέταρτη έκθεση της IPCC το 2007 εντοπίστηκαν λάθη σε άρθρα και στη σύνοδο κορυφής για το κλίμα στην Κοπεγχάγη ζητήθηκε ποινική έρευνα για 17 επιστήμονες οι οποίοι ανήκουν στις τάξεις της. Τα στοιχεία αυτά ενδυναμώνουν τις θέσεις των σκεπτικιστών ενώ παράλληλα κλονίζουν την αξιοπιστία της IPCC [85, 86].

3. Πειραματικό Μέρος

Τα αίτια της υπερθέρμανσης του πλανήτη αποτελούν ένα φλέγον θέμα τόσο για τους επιστήμονες όσο και για την κοινωνία. Η αποδοχή της συμβολής του ανθρώπου από την IPCC έρχεται σε αντιπαράθεση με τους σκεπτικιστές οι οποίοι πιστεύουν ακράδαντα ότι οι δραστηριότητες του ανθρώπου και οι εκπομπές CO₂ δεν καθοδηγούν το κλίμα στη Γη. Στα πλαίσια της παρούσας Πτυχιακής Διατριβής και με τη χρήση πειραματικών διαδικασιών, μελετήθηκε η συμβολή του CO₂ στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου. Για την προσέγγιση της ποσοτικής θερμοκρασιακής μεταβολής που παρατηρείται στη Γη από την αλλαγή της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα, έγινε προσομοίωση των συνθηκών οι οποίες επικρατούν στη Γη και την κατώτερη ατμόσφαιρα σε δύο πανομοιότυπα κουτιά με παροχή στο ένα εκ των δύο CO₂ και ταυτόχρονη καταμέτρηση της θερμοκρασίας τους όταν αυτά εκτίθενται σε ηλιακή ακτινοβολία. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η επίδραση της μεταβολής της συγκέντρωσης του CO₂ στο εσωτερικό του ενός εκ των δύο κουτιών και η επίδραση της στη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας του στην παρουσία υδρατμών.

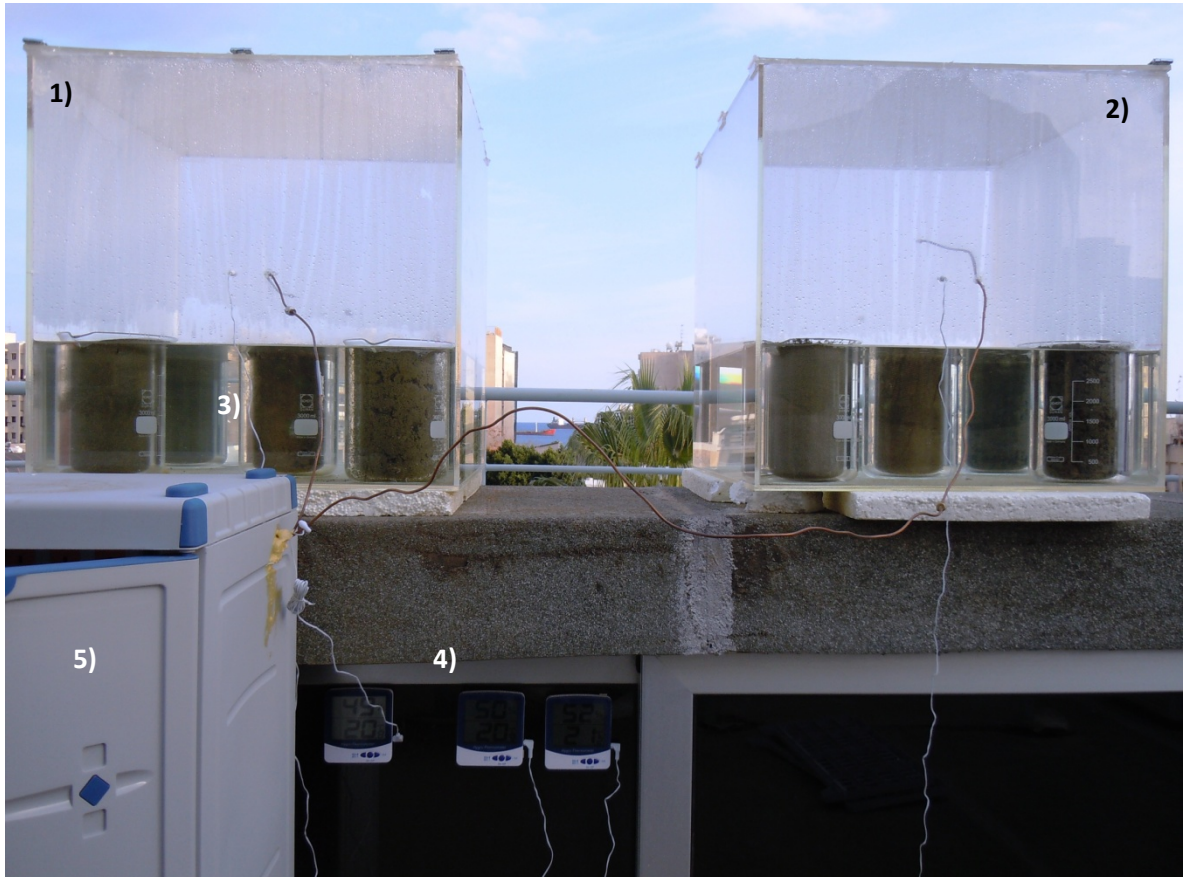
3.1 Βαθμονόμηση φιάλης CO₂

Χρησιμοποιήθηκε πρότυπο μίγμα γνωστής συγκέντρωσης 10% CO₂/He το οποίο διαβιβάστηκε σε φασματογράφο μάζας (Hiden analytical QIC-20 warrington gas analysis system) με ταυτόχρονη καταμέτρηση του μαζικού αριθμού 44. Λόγω της υψηλής συγκέντρωσης του CO₂/He έγινε αραίωση του μίγματος κατά 10 φορές περίπου σε μικρότερη φιάλη. Στη συνέχεια το νέο μίγμα CO₂/He διαβιβάστηκε σε φασματογράφο μάζας για να προσδιοριστεί η ακριβής συγκέντρωση του η οποία βρέθηκε να είναι 950 ppm CO₂/He. Το μίγμα αυτό τοποθετήθηκε σε φιάλη υψηλής πίεσης χωρητικότητας 25 L και χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα της παρούσας Π.Δ. Για την επίτευξη περαιτέρω αραίωσης του CO₂ στο μίγμα αερίων πραγματοποιήθηκε αραίωση με τη βοήθεια συνθετικού αέρα σε θάλαμο ανάμιξης (mixing chamber) όπου επιτεύχθηκε αραιωμένο μίγμα 450. Για την επίτευξη της επιθυμητής συγκέντρωσης των 10.000 ppm CO₂/He πραγματοποιήθηκε αραίωση του αρχικού μίγματος 10% CO₂/He με τη βοήθεια συνθετικού αέρα σε θάλαμο ανάμιξης.

3.2 Διάταξη Πειράματος

Για την εκτέλεση των πειραματικών διαδικασιών χρησιμοποιήθηκαν δύο πανομοιότυπα κουτιά κατασκευασμένα από ακρυλικό πλαστικό (Plexiglass) με εσωτερικές διαστάσεις 58,4×58,4×59,1 cm και πάχος υλικού 0,8 cm. Τα κουτιά διέθεταν από δύο εξόδους

διαφυγής για καλύτερη προσομοίωση της ατμόσφαιρας. Μέσα στο κάθε κουτί τοποθετήθηκε άμμος (οξειδίο του πυριτίου) σε γυάλινα ποτήρια ζέσεως ($V = 3000 \text{ mL}$) με συνολική χωρητικότητα 20.600 cm^3 και στον υπόλοιπο χώρο των κουτιών προστέθηκαν 47.611 cm^3 θαλασσινού νερού. Η επιφανειακή κάλυψη του χώματος και του νερού στα κουτιά είναι σε αναλογία με τις πραγματικές επιφανειακές καλύψεις που υπάρχουν στη Γη, δηλαδή 70% νερό και 30% χώμα.



Εικόνα 3.1: Πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας Π.Δ. Όπου: 1) και 2) τα κουτιά που περιείχαν άμμο και νερό (3), 4) τα θερμόμετρα καταμέτρησης της θερμοκρασίας εντός και εκτός των κουτιών, και 5) το σύστημα ελέγχου μαζικής ροής.

Στο κουτί 1 παρέχεται CO_2 σε διάφορες συγκεντρώσεις (π.χ. 450, 950 και 10.000 ppm) και συνθετικός αέρας (80% άζωτο και 20% οξυγόνο) με συνολική ροή 100 mL/min . Στο κουτί 2 παρέχεται μόνο συνθετικός αέρας με την ίδια ροή. Τα αέρια παρέχονται από φιάλες υψηλής πίεσης οι οποίες είναι συνδεδεμένες με μετρητή ελέγχου μαζικής ροής (MFC-Mass Flow Controller, model PID&Tech, UNITRONICS Vision120TM) όπως φαίνεται

στην Εικόνα 3.2. Τα αέρια τα οποία χρησιμοποιήθηκαν καταλήγουν στα κουτιά με χάλκινες συνδέσεις και σωληνώσεις.



Εικόνα 3.2: Συσκευή ελέγχου μαζικής ροής.

Η συσκευή ελέγχου μαζικής ροής χρησιμοποιείται για τη μέτρηση και τον έλεγχο της ροής υγρών και αερίων. Αποτελείται από μία θύρα εισόδου, μία θύρα εξόδου, έναν αισθητήρα ροής μάζας και μία αναλογική βαλβίδα ελέγχου. Στη θύρα εισόδου παρέχεται το αέριο του οποίου η μάζα ανιχνεύεται από τον αισθητήρα ροής και συγκρίνεται με την επιθυμητή ροή με τη βοήθεια ενός συστήματος το οποίο ρυθμίζει την αναλογική βαλβίδα για την επίτευξη της επιθυμητής ροής. Από τη θύρα εξόδου εξέρχεται το αέριο με τη συγκεκριμένη ροή και το οποίο καταλήγει στα κουτιά. Η συσκευή ελέγχου μαζικής ροής μπορεί να ελέγξει τη ροή για περισσότερα από ένα αέρια και παρέχει τη δυνατότητα επιλογής ρυθμού ροής η οποία κυμαίνεται από 1 mL/min μέχρι 240 mL/min. Στην πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε στην παρούσα Π.Δ. χρησιμοποιήθηκε μίγμα CO₂/He και συνθετικός αέρας με σύσταση 80% N₂ και 20% O₂ με ροή εξόδου 100 mL/min. Για τη σωστή λειτουργία της συσκευής απαιτείται ρύθμιση της πίεσης του αερίου η οποία πρέπει να κυμαίνεται σε ένα συγκεκριμένο εύρος πιέσεων για να μην προκαλείται τυρβώδης ροή στην έξοδο. Η πίεση εξόδου των αερίων από τη φιάλη είναι σταθερή και ίση με 3 bar.

Η θερμοκρασία στο εσωτερικό των κουτιών μετριέται με ψηφιακό θερμόμετρο (Medisell Hydro – Thermometer) το οποίο είναι τοποθετημένο στο εξωτερικό περιβάλλον και από το οποίο επεκτείνεται καλώδιο - αισθητήρας που καταλήγει από την κορυφή στο κέντρο του κουτιού. Τα θερμόμετρα που χρησιμοποιήθηκαν έχουν ακρίβεια ενός δεκαδικού ψηφίου. Ταυτόχρονα με τις μετρήσεις θερμοκρασίας των δύο κουτιών, γινόταν μέτρηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα στο εξωτερικό περιβάλλον των κουτιών.

Τα δύο κουτιά είναι τοποθετημένα σε συγκεκριμένο σημείο έτσι ώστε να δέχονται ηλιακή ακτινοβολία σε όλο τον όγκο τους. Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας γίνονταν κατά τις πρωινές ώρες μεταξύ 09:00 – 13:00 έτσι ώστε να υπάρχει ομοιόμορφη και πλήρης έκθεση των δύο κουτιών στην ηλιακή ακτινοβολία. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων έγιναν οι απαραίτητες παρεμβάσεις για την αντιμετώπιση εξωτερικών παραγόντων που επηρεάζουν σε μεγαλύτερο βαθμό τη θερμοκρασία του ενός εκ των δύο κουτιών, όπως για παράδειγμα η τοποθέτηση σκίαστρου για παρεμπόδιση του ανέμου ο οποίος προκαλούσε μεγαλύτερη μεταβολή θερμοκρασίας στο ένα εκ των δύο κουτιών.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της εσωτερικής θερμοκρασίας των δύο κουτιών όταν σε αυτά υπήρχε παροχή μόνο συνθετικού αέρα για να επιβεβαιωθεί ότι επικρατούν οι ίδιες συνθήκες στο εσωτερικό τους και ακολούθως μελετήθηκε η μεταβολή της θερμοκρασίας όταν στο ένα εκ των δύο κουτιών υπήρχε παροχή CO₂/He συγκέντρωσης 450 ppm. Επίσης, μελετήθηκε η επίδραση του CO₂ στη μεταβολή της θερμοκρασίας με παροχή 950 ppm και 10.000 ppm CO₂/He. Επιπρόσθετα, καταμετρήθηκε η θερμοκρασία των δύο κουτιών υπό συνθήκες πλήρους σκίασης όταν στο ένα από τα δύο κουτιά υπήρχε και παροχή CO₂/He.

Κατά τις πειραματικές μετρήσεις γινόταν καταγραφή και του ύψους της στάθμης του νερού στο κάθε κουτί για να μελετηθεί εάν υπήρχε περισσότερη εξάτμιση νερού σε ένα εκ των δύο κουτιών. Επίσης, για την παρεμπόδιση διαφυγής των υδρατμών χρησιμοποιήθηκε σιλικόνη γενικής χρήσης για στεγανοποίηση των κουτιών στα σημεία επαφής.

Με τη χρήση συσκευής καταγραφής θερμότητας (Μοντέλο Flir T250 Thermal Camera – Εικόνα 3.3) λήφθηκαν θερμογραφήματα για την ποιοτική μελέτη της θερμοκρασίας των δύο κουτιών. Η συσκευή καταγραφής θερμότητας (θερμική κάμερα) έχει την ικανότητα να ανιχνεύει την υπέρυθρη ακτινοβολία στη κλίμακα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος με

μήκος κύματος 0,9 - 14 μm . Η διαφορά θερμοκρασίας δύο ή και περισσότερων σωμάτων καταγράφεται με τη βοήθεια της συσκευής καταγραφής θερμότητας αφού η ακτινοβολία που εκπέμπεται από το κάθε σώμα είναι διαφορετική. Η θερμική κάμερα ανιχνεύει την υπέρυθρη ακτινοβολία των σωμάτων και τα δεδομένα μετατρέπονται από ηλεκτρονικούς αισθητήρες σε έγχρωμη θερμική εικόνα (θερμογράφημα). Στο θερμογράφημα αυτό τα θερμότερα σημεία παρουσιάζονται με εντονότερα χρώματα ξεχωρίζοντας από σημεία χαμηλότερης θερμοκρασίας τα οποία παρουσιάζονται με ψυχρότερο χρώμα. Συγκεκριμένα, η μετάβαση από το μπλέ προς το λευκό χρώμα υποδηλώνει αύξηση της μετρούμενης θερμοκρασίας.



Εικόνα 3.3: Η συσκευή καταγραφής της θερμότητας που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας Π.Δ.

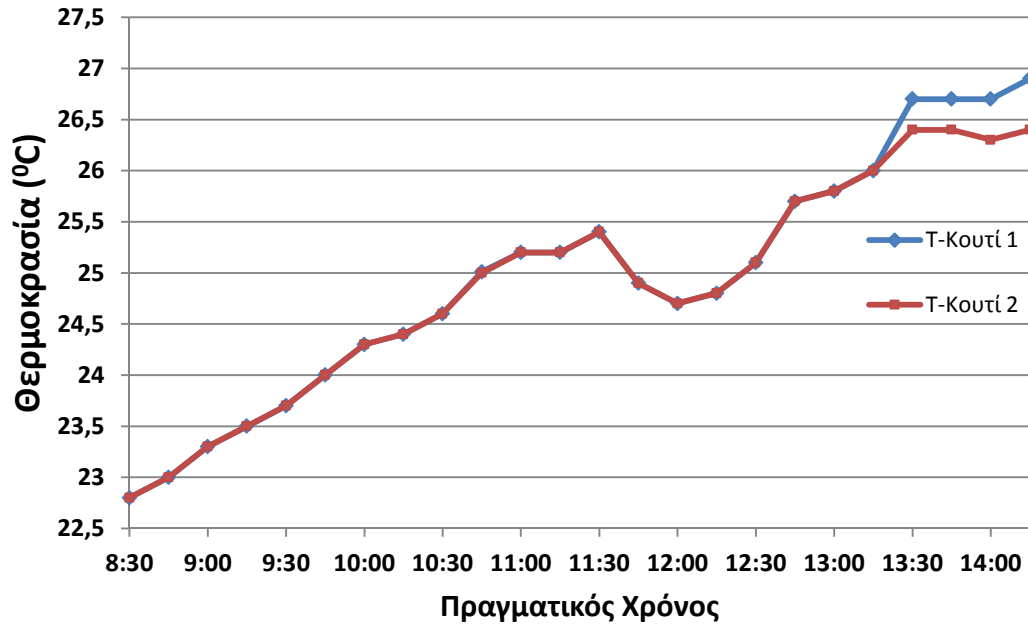
4. Αποτελέσματα – Συζήτηση Αποτελεσμάτων

4.1 Αποτελέσματα Πειραματικών Μετρήσεων

Από τις πειραματικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατασκευάστηκαν γραφικές παραστάσεις οι οποίες απεικονίζουν τις θερμοκρασιακές μεταβολές των δύο κουτιών κάτω από τις διάφορες συνθήκες που εξετάστηκαν. Οι γραφικές παραστάσεις αυτές παραθέτονται και σχολιάζονται στη συνέχεια.

Αρχικά, έγιναν μετρήσεις με παροχή συνθετικού αέρα και στα δύο κουτιά για να επιβεβαιωθεί ότι επικρατούν οι ίδιες συνθήκες, χωρίς κάποιος εξωτερικός παράγοντας να επηρεάζει με οποιονδήποτε τρόπο τη θερμοκρασία στο εσωτερικό τους. Η μέτρηση του ύψους της στάθμης του νερού πριν και μετά τη διεξαγωγή του πειράματος ήταν η ίδια, δηλαδή δεν παρατηρήθηκε περισσότερη εξάτμιση στο ένα κουτί, γεγονός που επιβεβαιώνει την ομοιότητα των συνθηκών στα δύο κουτιά. Το χρονικό διάστημα των μετρήσεων καθορίστηκε μετά από την παρατήρηση της θέσης του Ήλιου ως προς τα κουτιά και είναι 09:00 – 13:00.

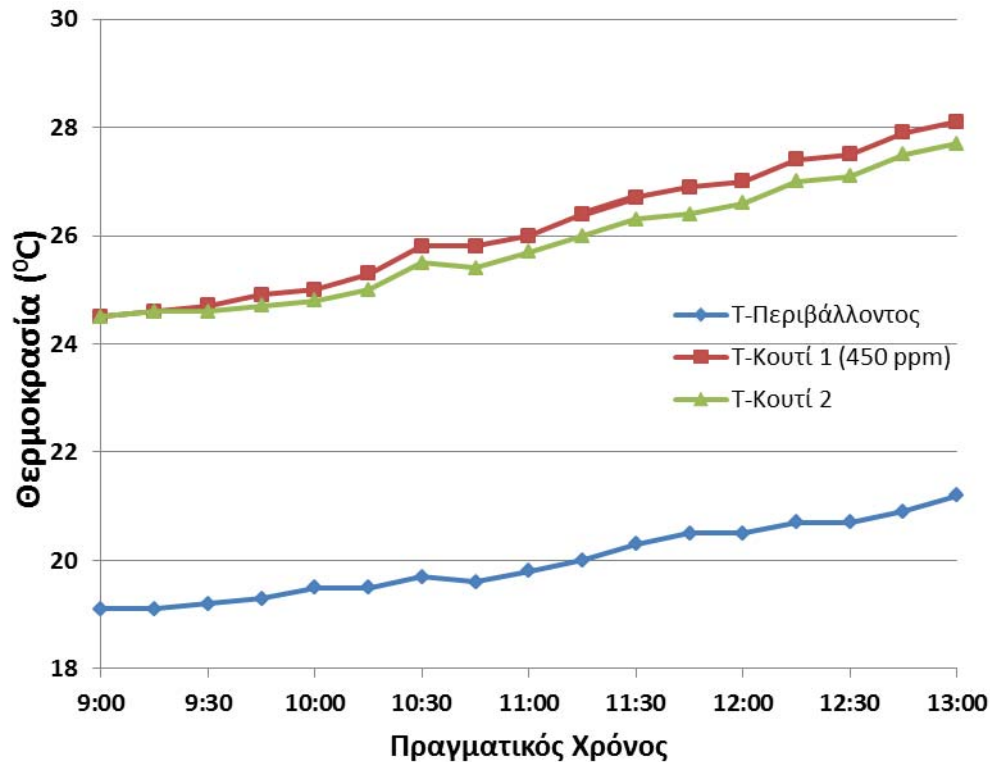
Στο Γράφημα 4.1 παρουσιάζεται η διακύμανση της θερμοκρασίας των δύο κουτιών όταν σε αυτά διοχετεύτηκε συνθετικός αέρας σύστασης 80% N₂ και 20% O₂ με ροή 100 mL/min και ήταν εκτεθειμένα στην ηλιακή ακτινοβολία για το χρονικό διάστημα 08:30 μέχρι 14:15. Η θερμοκρασία των δύο κουτιών είναι η ίδια μέχρι της 13:15 όπου τα κουτιά δέχονταν πλήρως ηλιακή ακτινοβολία. Η θερμοκρασία αρχίζει να διαφοροποιείται από τις 13:15 και έπειτα, λόγω του ότι το κουτί 2 αρχίζει να σκιάζεται από παρακείμενο κτίριο. Όπως φαίνεται από το Γράφημα 4.1 ο χρόνος μελέτης της επίδρασης της συγκέντρωσης του CO₂ στη θερμοκρασία επιλέχθηκε να είναι 09:00 μέχρι 13:00 για όλα τα πειράματα που ακολουθούν λόγω του ότι κατά το χρονικό διάστημα αυτό οι εξωτερικοί παράγοντες που επηρεάζουν τα δύο κουτιά είναι πανομοιότυποι (Ήλιος, άνεμος).



Γράφημα 4.1: Η μεταβολή της θερμοκρασίας των δύο κουτιών στα οποία παρέχεται συνθετικός αέρας (80% N₂/20% O₂, ροή: 100 mL/min) συναρτήσει του χρόνου.

Στο Γράφημα 4.2 απεικονίζεται η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος για το χρονικό διάστημα 9:00 – 13:00 και οι θερμοκρασίες των κουτιών 1 και 2 για το αντίστοιχο χρονικό διάστημα. Στο κουτί 1 υπάρχει παροχή 450 ppm CO₂/He και συνθετικός αέρας συνολικής ροής 100 mL/min ενώ στο κουτί 2 μόνο συνθετικός αέρας ίδιας ροής. Η διαφορά θερμοκρασίας των δύο κουτιών κατά μέσο όρο παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.1.

Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο κουτιών αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου λόγω της αύξησης της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται τα δύο κουτιά. Το χρονικό διάστημα 09:00 – 10:00 παρατηρείται διαφορά 0,1°C λόγω του χρονικού διαστήματος που απαιτείται για τη θέρμανση των δύο κουτιών. Η μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας είναι 0,4°C και παρατηρείται κατά το χρονικό διάστημα 11:00 – 13:00 λόγω της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας η οποία προκαλεί περισσότερη μεταβολή στη θερμοκρασία του κουτιού 1 λόγω της παρουσίας CO₂ το οποίο παγιδεύει θερμότητα.



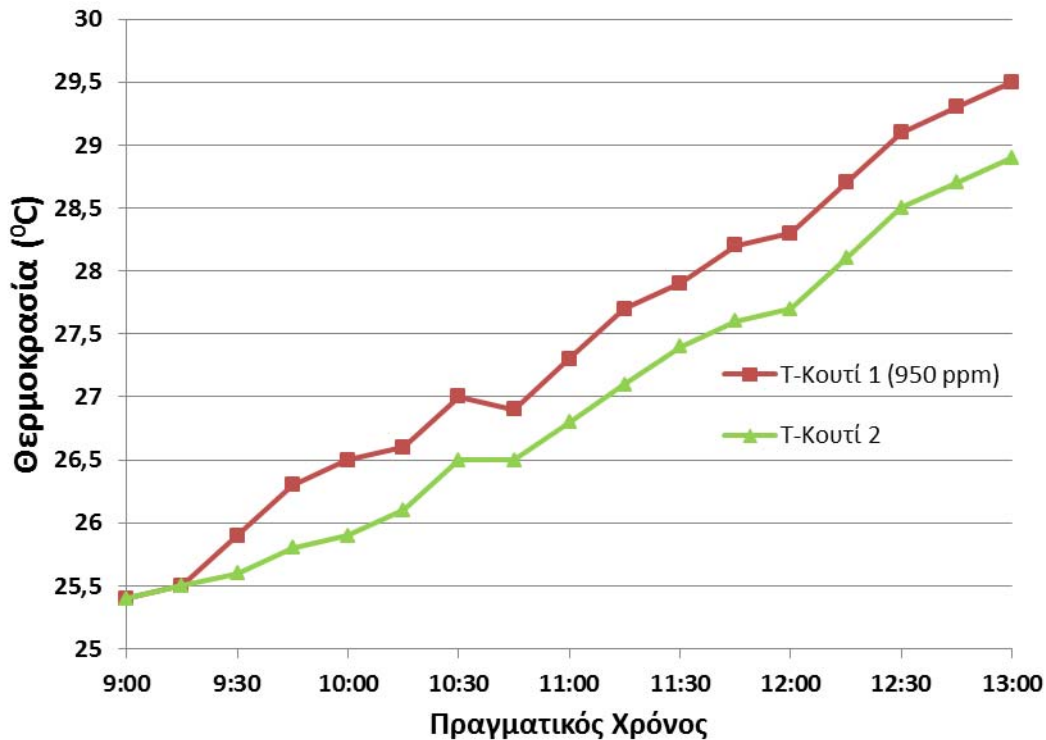
Γράφημα 4.2: Η μεταβολή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, του κουτιού 1 (450 ppm CO₂/He και συνθετικός αέρας, 80% N₂, 20% O₂), κουτιού 2 (συνθετικός αέρας, 80% N₂, 20% O₂) συναρτήσει του χρόνου. Η ροή εισόδου των αερίων στα δύο κουτιά ήταν 100 mL/min.

Πίνακας 4.1: Μέσος όρος μεταβολής της θερμοκρασίας σε ωριαία βάση μεταξύ των κουτιών 1 (450 ppm CO₂) και 2 (συνθετικός αέρας).

Μεταβολή Θερμοκρασίας (°C)	Χρονικό Διάστημα
0,1	9:00 - 10:00
0,3	10:00 - 11:00
0,4	11:00 - 12:00
0,4	12:00 - 13:00

Στο Γράφημα 4.3 παρουσιάζεται η διακύμανση της θερμοκρασίας των δύο κουτιών για το χρονικό διάστημα 09:00 – 13:00 όταν στο ένα (κουτί 1- κόκκινη γραμμή) εκ των δύο παρέχεται μίγμα 950 ppm CO₂/He και συνθετικού αέρα συνολικής ροής 100 mL/min ενώ στο άλλο παρέχεται μόνο συνθετικός αέρας με την ίδια ροή. Σε διάστημα 15 λεπτών από την έναρξη των μετρήσεων άρχισε να παρατηρείται διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο κουτιών λόγω του χρονικού διαστήματος που απαιτείται για τη θέρμανση τους. Το χρονικό αυτό διάστημα είναι μικρότερο από το αντίστοιχο για την παροχή 450 ppm CO₂ το οποίο είναι 30 λεπτά λόγω της υψηλότερης εξωτερικής θερμοκρασίας του

περιβάλλοντος και της μεγαλύτερης συγκέντρωσης CO₂ στο κουτί 1. Η θέρμανση των κουτιών έγινε πιο γρήγορα λόγω της πιο έντονης ηλιακής ακτινοβολίας που παρατηρήθηκε την ημέρα διεξαγωγής του πειράματος και λόγω του ότι τα μόρια του CO₂ στο κουτί με παροχή 950 ppm CO₂ παγίδευσαν περισσότερη θερμότητα μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία του γρηγορότερα σε σχέση με το κουτί στο οποίο υπήρχε παροχή 450 ppm CO₂.



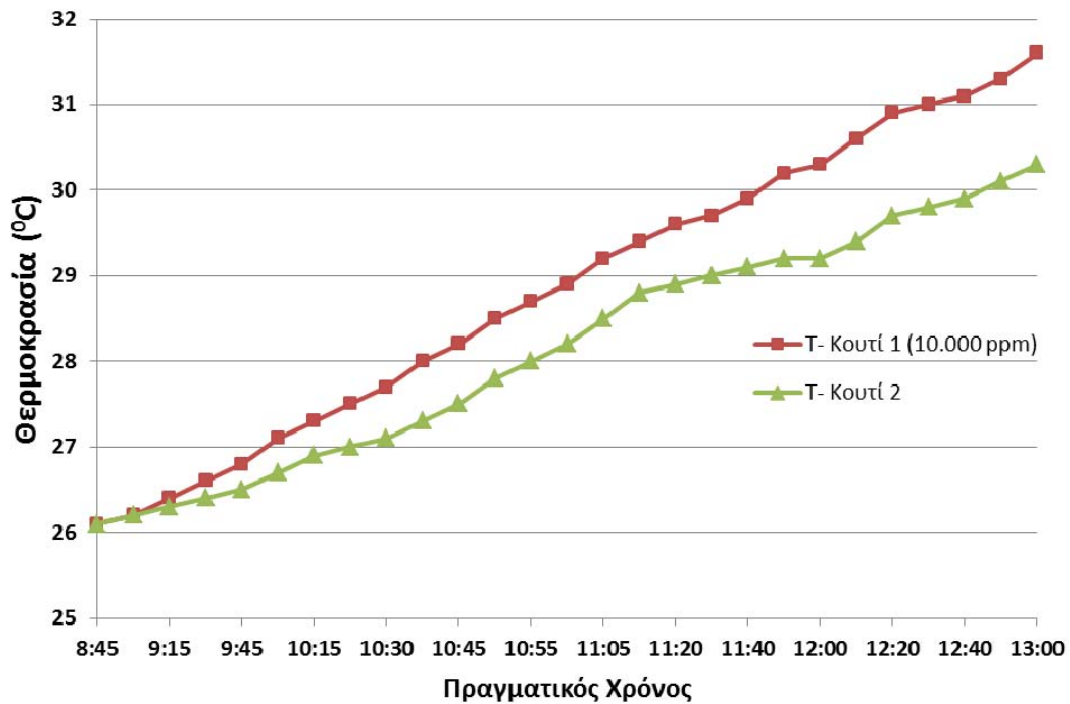
Γράφημα 4.3: Η μεταβολή της θερμοκρασίας του κουτιού 1 (950 ppm CO₂/He και συνθετικός αέρας, 80% N₂, 20% O₂) και του κουτιού 2 (συνθετικός αέρας, 80% N₂, 20% O₂) συναρτήσει του χρόνου. Η ροή εξόδου των αερίων στα κουτιά ήταν 100 mL/min.

Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζεται η ωριαία διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο κουτιών. Η μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας κατά μέσο όρο σε ωριαία βάση είναι 0,6°C και παρατηρείται στο χρονικό διάστημα 12:00 – 13:00 λόγω της αυξημένης ηλιακής δραστηριότητας που δέχονται τα κουτιά γεγονός που οδηγεί σε μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας στο κουτί που περιέχει 950 ppm CO₂.

Πίνακας 4.2: Μέσος όρος μεταβολής της θερμοκρασίας σε ωριαία βάση μεταξύ των κουτιών 1 (950 ppm CO₂) και 2 (συνθετικός αέρας).

Μεταβολή Θερμοκρασίας (°C)	Χρονικό Διάστημα
0,28	9:00 - 10:00
0,5	10:00 - 11:00
0,56	11:00 - 12:00
0,60	12:00 - 13:00

Στο Γράφημα 4.4 απεικονίζεται η διακύμανση της θερμοκρασίας των δύο κουτιών κατά το χρονικό διάστημα 08:45 - 13:00. Στο κουτί 1 υπήρχε από την προηγούμενη ημέρα παροχή μίγματος 10.000 ppm CO₂/He και συνθετικού αέρα με συνολική ροή 100 mL/min ενώ στο κουτί 2 υπήρχε μόνο παροχή συνθετικού αέρα ίδιας ροής. Η θερμοκρασία μεταξύ των δύο κουτιών αρχίζει να διαφοροποιείται στις 09:15 λόγω του χρονικού διαστήματος που απαιτείται για τη θέρμανση τους. Η διαφορά θερμοκρασίας των δύο κουτιών σε ωριαία βάση παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.3. Η μεταξύ τους διαφορά θερμοκρασίας αυξάνει με την πάροδο του χρόνου λόγω της αύξησης της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται τα κουτιά, η οποία παγιδεύεται περισσότερο στο κουτί 1 από το CO₂ που υπάρχει σε αυτό, σε αντίθεση με το κουτί 2. Κατά μέσο όρο η μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας είναι 1,2°C η οποία παρατηρείται το χρονικό διάστημα 12:00 – 13:00.



Γράφημα 4.4: Η μεταβολή της θερμοκρασίας του κουτιού 1 (10.000 ppm CO₂/He και συνθετικός αέρας, 80% N₂, 20% O₂) και του κουτιού 2 (συνθετικός αέρας, 80% N₂, 20% O₂) συναρτήσει του χρόνου. Η ροή εξόδου των αερίων στα κουτιά ήταν 100 mL/min.

Πίνακας 4.3: Μέσος όρος μεταβολής της θερμοκρασίας σε ωριαία βάση μεταξύ των κουτιών 1 (10.000 ppm CO₂) και 2 (συνθετικός αέρας).

Μεταβολή Θερμοκρασίας (°C)	Χρονικό Διάστημα
0,2	9:00 - 10:00
0,6	10:00 - 11:00
0,78	11:00 - 12:00
1,2	12:00 - 13:00

Στον Πίνακα 4.4 παρουσιάζεται ο μέσος όρος αύξησης της θερμοκρασίας στο κουτί 1 για τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν (παροχή 0, 450, 950 και 10.000 ppm CO₂/He). Η σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης του CO₂ και της αύξησης της θερμοκρασίας δεν είναι γραμμική αλλά λογαριθμική όπως φαίνεται στο Γράφημα 4.5.

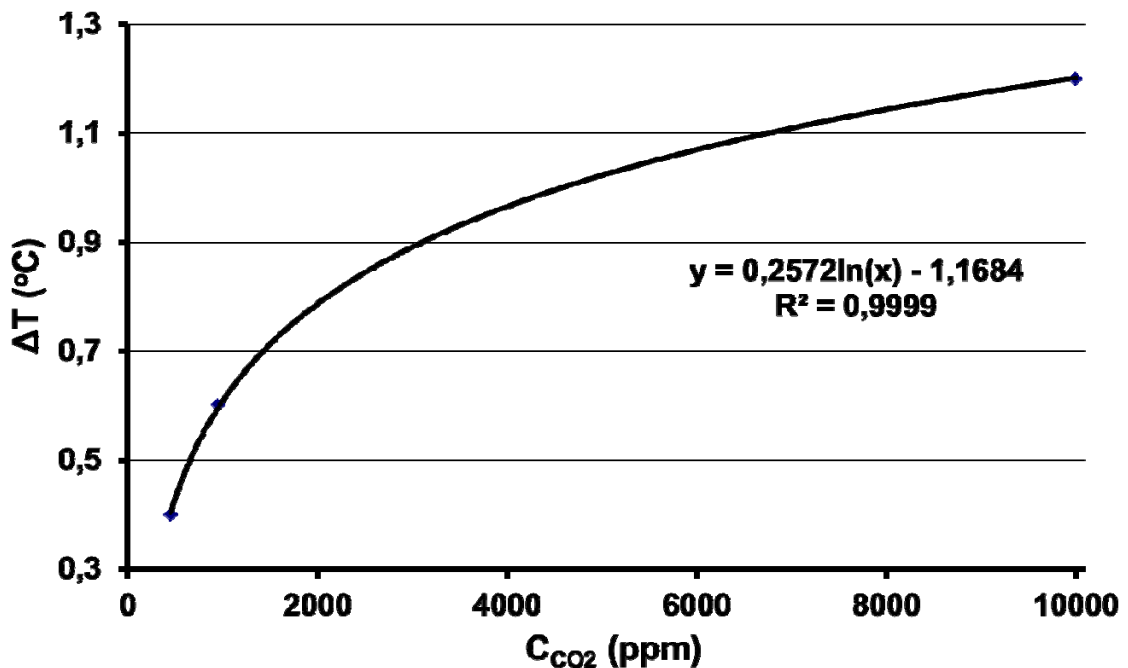
Πίνακας 4.4: Η μεταβολή της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση του CO₂ που παρέχεται στο κουτί 1.

Παροχή CO ₂ /He (ppm)	Μεταβολή Θερμοκρασίας (°C)
450	0,4
950	0,6
10.000	1,2

Στο Γράφημα 4.5 παρουσιάζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας (ΔT) σε συνάρτηση με τη μεταβολή της συγκέντρωσης του CO₂ στο κουτί 1. Η καμπύλη που κατασκευάστηκε με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.4 έχει εξίσωση:

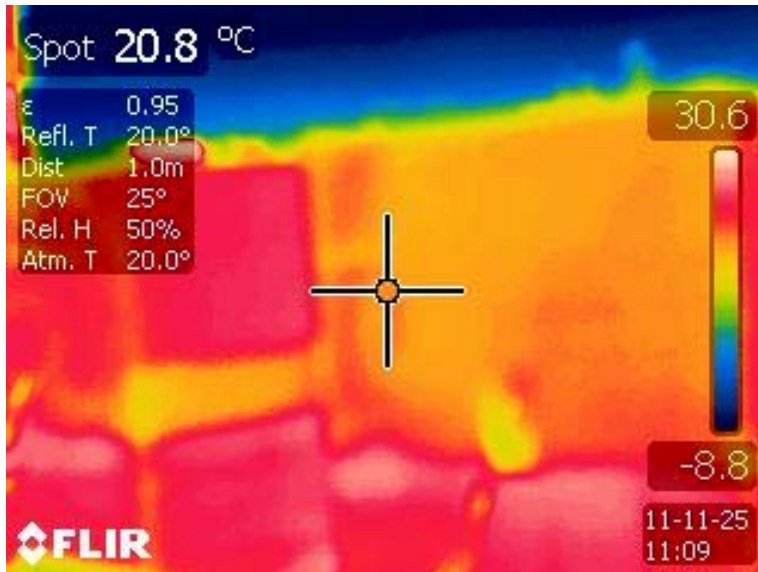
$$y = 0,2572\ln(x) - 1,1682 \quad (\text{εξ. 4.1})$$

Η εξίσωση 4.1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προσδιορισμό της αναμενόμενης αύξησης της θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα γνωρίζοντας τη συγκέντρωση του CO₂. Το R² της εξίσωσης 4.1 είναι ίσο με 0,9999 γεγονός που υποδηλώνει πόσο καλά εφάπτεται η καμπύλη στα δεδομένα.

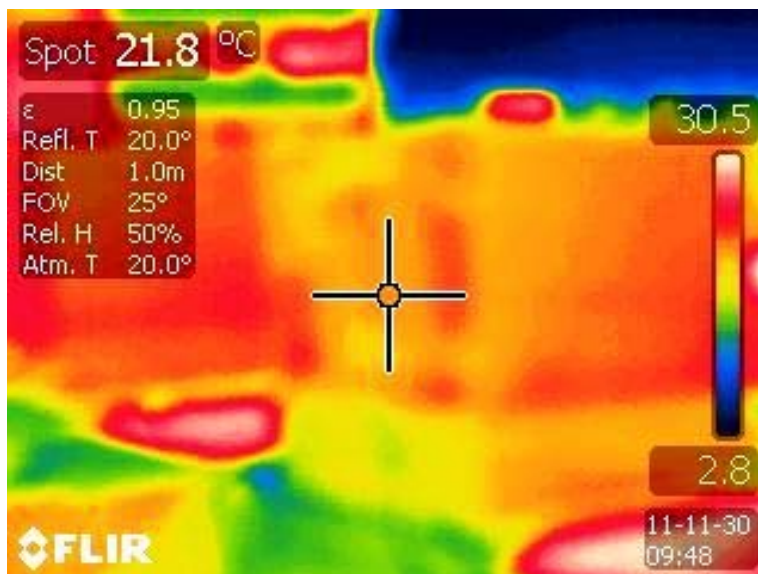


Γράφημα 4.5: Η μεταβολή της θερμοκρασίας (ΔT) σε συνάρτηση με τη μεταβολή της συγκέντρωσης του CO₂ στο κουτί 1.

Στις Εικόνες 4.1 και 4.2 παρουσιάζονται τα θερμογραφήματα από τη συσκευή καταγραφής θερμότητας που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας Π.Δ. Όπως φαίνεται από τα θερμογραφήματα, τα δύο κουτιά τα οποία δέχονται ηλιακή ακτινοβολία, παρουσιάζουν διαφορά θερμοκρασίας. Συγκεκριμένα, στην Εικόνα 4.1, το κουτί 1 (αριστερά) παρουσιάζεται θερμότερο από το κουτί 2 (δεξιά) γεγονός που οφείλεται στην παρουσία 10.000 ppm CO₂/He. Αντίστοιχα, στην Εικόνα 4.2 το κουτί 1 (αριστερά) παρουσιάζεται θερμότερο σε σχέση με το κουτί 2 (δεξιά) λόγω της παρουσίας 450 ppm CO₂/He.



Εικόνα 4.1: Θερμογράφημα των δύο κουτιών όταν στο κουτί 1 (αριστερά) υπάρχει παροχή 10.000 ppm CO₂/He και στο κουτί 2 (δεξιά) διοχετεύεται συνθετικός αέρας (80% N₂, 20% O₂).



Εικόνα 4.2: Θερμογράφημα των δύο κουτιών όταν στο κουτί 1 (αριστερά) υπάρχει παροχή 450 ppm CO₂/He ενώ στο κουτί 2 (δεξιά) διοχετεύεται συνθετικός αέρας (80% N₂, 20% O₂).

4.2 Αποτελέσματα Υπολογισμών

Τα παγκόσμια αποθέματα ορυκτών καυσίμων χρειάστηκαν εκατομμύρια χρόνια για να σχηματιστούν άλλα μόλις λίγους αιώνες για να εξαντληθούν. Παρ' όλες τις προσπάθειες που γίνονται τα τελευταία χρόνια, κυρίως με τη θέσπιση νομοθεσιών και οδηγιών, με στόχο τη μείωση της χρήσης τους ο ρυθμός ζήτησης τους συνεχίζει να αυξάνεται. Τα ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας είναι οι γαιάνθρακες με παγκόσμια αποθέματα 909,4 δισεκατομμύρια τόνους, το πετρέλαιο με αποθέματα 179 δισεκατομμύρια τόνους και το φυσικό αέριο με αποθέματα 187 τρισεκατομμύρια m³.

Σύμφωνα με τα εκτιμώμενα παγκόσμια αποθέματα γαιάνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου και το ρυθμό αύξησης της ζήτησης τους ο οποίος είναι 1,6%, 1%, και 1,4% αντίστοιχα, υπολογίστηκε ο χρονικός ορίζοντας εξάντλησης τους (βλέπε Παράρτημα 2). Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.5 τα αποθέματα του πετρελαίου αναμένεται να εξαντληθούν το 2044, του φυσικού αερίου το 2053 και του γαιάνθρακα το 2082.

Πίνακας 4.5: Παγκόσμια αποθέματα ορυκτών καυσίμων, ο ρυθμός αύξησης της ζήτησης τους και ο χρονικός ορίζοντας εξάντλησης τους.

Ορυκτό	Εκτιμώμενα Παγκόσμια Αποθέματα	Ρυθμός Αύξησης Ζήτησης	Χρονικός Ορίζοντας Εξάντλησης
Γαιάνθρακας	909,4 x10 ⁹ τόνοι	1,6%	2082
Πετρέλαιο	179 x10 ⁹ τόνοι	1%	2044
Φυσικό Αέριο	187 x10 ¹² m ³	1,4%	2053

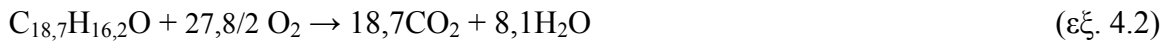
Από την καύση των παραπάνω παγκόσμιων ορυκτών αποθεμάτων υπολογίστηκε η ενέργεια που μπορεί να αποδοθεί. Κατά τον υπολογισμό της παραγόμενης ανά καύσιμο ενέργειας έγινε η παραδοχή τέλει καύσης (παραγωγή μόνο CO₂ και όχι CO) ενώ για το γαιάνθρακα χρησιμοποιήθηκε ο χημικός τύπος του ασφαλτίτη (Bituminous) ο οποίος χρησιμοποιείται περισσότερο λόγω υψηλής απόδοσης κατά την καύση και λόγω των μεγάλων του αποθεμάτων. Επίσης, μελετήθηκαν οι δύο εξής υποθέσεις:

A) Καύση όλων των αποθεμάτων γαιάνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου.

B) Καύση όλων των αποθεμάτων γαιάνθρακα, φυσικού αερίου, βενζίνης από επεξεργασία των μισών αποθεμάτων πετρελαίου και του υπόλοιπου πετρελαίου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι αντιδράσεις καύσεων των προαναφερθέντων ορυκτών καυσίμων.

Καύση Γαϊάνθρακα



Καύση Φυσικού Αερίου



Καύση Πετρελαίου



Καύση Βενζίνης

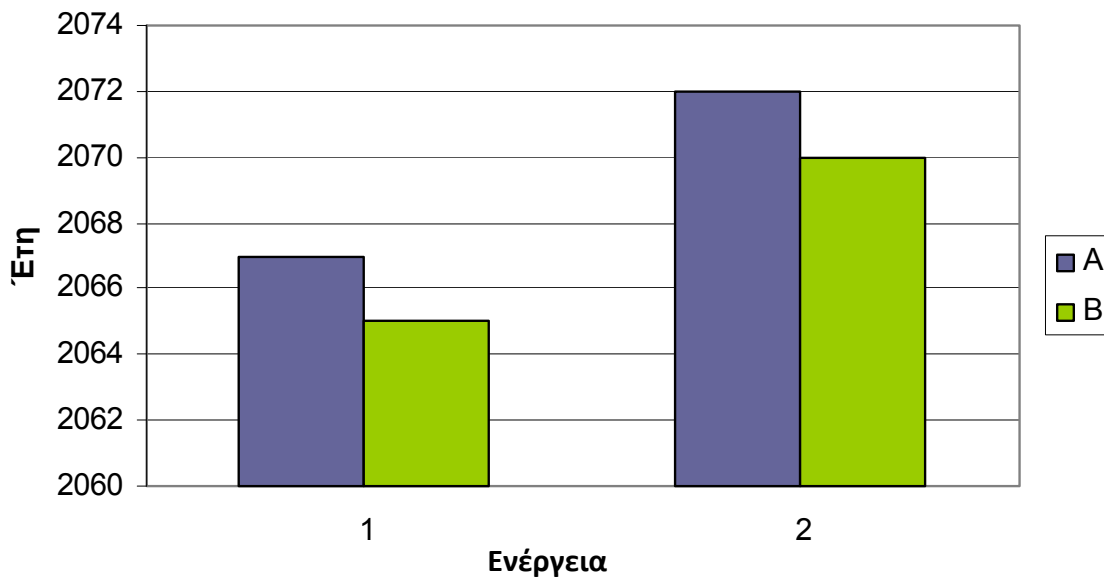


Στην Α περίπτωση η συνολική ενέργεια που θα παραχθεί είναι $7,36 \times 10^{19}$ kJ ενώ στη Β περίπτωση 7×10^{19} kJ. Η μεταξύ τους διαφορά δεν είναι μεγάλη, εντούτοις, η επεξεργασία του πετρελαίου προς βενζίνη μειώνει την απόδοση παραγόμενης ενέργειας κατά την καύση της.

Στη συνέχεια, γνωρίζοντας την ποσότητα ενέργειας η οποία παράγεται παγκόσμια ετησίως, υπολογίστηκε για πόσα χρόνια τα σημερινά αποθέματα θα μπορούν να καλύπτουν τις ανθρώπινες ενεργειακές ανάγκες. Γίνεται η παραδοχή ότι η ενέργεια που παράγεται προέρχεται μόνο από την καύση ορυκτών καυσίμων και ο ρυθμός αύξησης της ζήτησης της ενέργειας παραμένει σταθερός 2,7%.

Σύμφωνα με την υπόθεση Α τα εναπομείναντα αποθέματα θα μπορούν να παρέχουν ενέργεια για τα επόμενα 55 χρόνια ενώ με την υπόθεση Β για τα επόμενα 53 χρόνια, δηλαδή μέχρι το 2067 και 2065 αντίστοιχα όπως φαίνεται στο Γράφημα 4.6.

Σήμερα, το 85% της ενέργειας που παράγεται προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων ενώ το υπόλοιπο ποσοστό από ΑΠΕ και Πυρηνική Ενέργεια. Υποθέτοντας ότι το ποσοστό αυτό παραμένει ως έχει, υπολογίστηκε ότι η ενέργεια που θα παραχθεί θα καλύπτει τις ανάγκες των επόμενων 60 και 58 χρόνων για τις υποθέσεις Α και Β αντίστοιχα όπως φαίνεται στο Γράφημα 4.6.



Γράφημα 4.6: Χρονικός ορίζοντας της εξάντλησης της παραγόμενης ενέργειας για τις περιπτώσεις 1) παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, 2) παραγωγή ενέργειας με 85% συμβολή των συμβατικών καυσίμων, για τα σενάρια Α και Β.

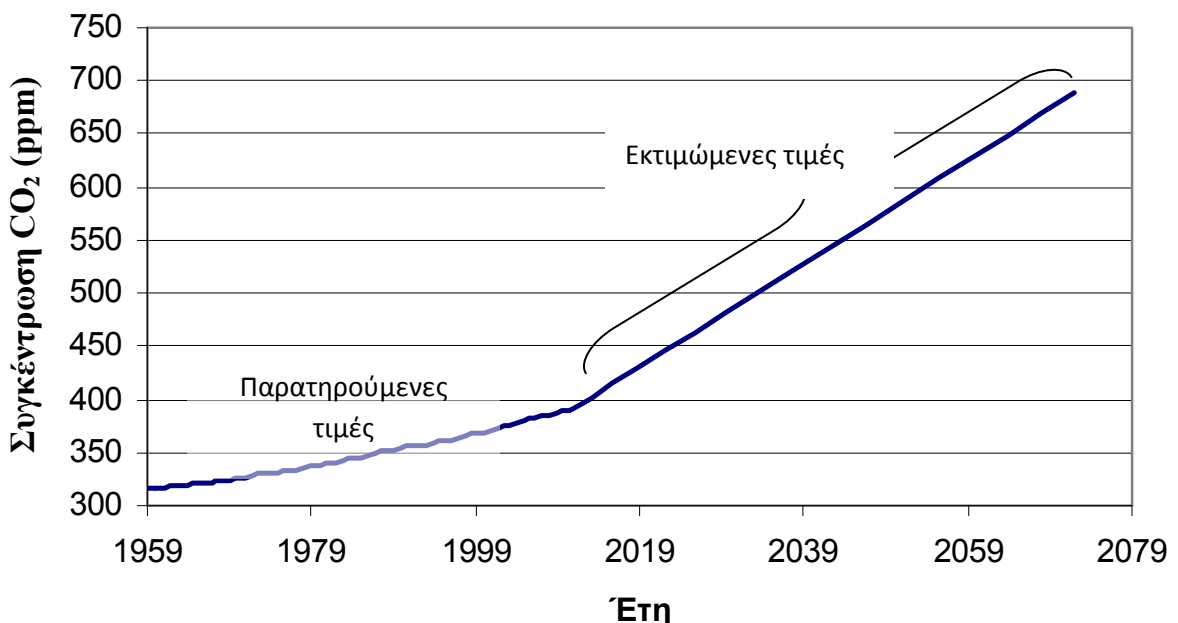
Γνωρίζοντας τα παγκόσμια αποθέματα ορυκτών καυσίμων μπορεί να υπολογιστεί η συνολική ποσότητα CO₂ που θα απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα από την καύση τους. Στον Πίνακα 4.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τον όγκο του CO₂ που ενδέχεται να απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα για τις υποθέσεις Α και Β. Με βάση τους υπολογισμούς για την υπόθεση Α (βλέπε Παράρτημα 4) η ποσότητα CO₂ που θα εκλυθεί στην ατμόσφαιρα από την καύση του γαιάνθρακα, του πετρελαίου και του φυσικού αερίου θα είναι $1,64 \times 10^{15} \text{ m}^3$, $3 \times 10^{14} \text{ m}^3$ και $1,87 \times 10^{14} \text{ m}^3$ αντίστοιχα. Επομένως, η συνολική ποσότητα CO₂ που θα απελευθερωθεί από την καύση όλων των ορυκτών καυσίμων σύμφωνα με την υπόθεση Α θα είναι $2,13 \times 10^{15} \text{ m}^3$.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς (βλέπε Παράρτημα 4) για την υπόθεση Β, από την καύση του γαιάνθρακα, του φυσικού αερίου, του πετρελαίου και της βενζίνης, ο όγκος CO₂ που θα εκλυθεί στην ατμόσφαιρα θα είναι $1,64 \times 10^{15} \text{ m}^3$, $1,87 \times 10^{14} \text{ m}^3$, $1,87 \times 10^{14} \text{ m}^3$ και $9,2 \times 10^{10}$ αντίστοιχα, ενώ αναμένεται να απελευθερωθούν συνολικά $2 \times 10^{15} \text{ m}^3$ CO₂.

Πίνακας 4.6: Όγκος CO₂ που αναμένεται να απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα για τις υποθέσεις A και B.

Ορυκτό	Όγκος CO ₂ (m ³) που απελευθερώνεται από την καύση (Υπόθεση A)	Όγκος CO ₂ (m ³) που απελευθερώνεται από την καύση (Υπόθεση B)
Γαιάνθρακας	1,64 x10 ¹⁵	1,64 x10 ¹⁵
Φυσικό Αέριο	1,87 x10 ¹⁴	1,87x10 ¹⁴
Πετρέλαιο	3x10 ¹⁴	1,87 x10 ¹⁴
Βενζίνη	-	9,2x10 ¹⁰
Σύνολο	2,13 x10¹⁵	2 x10¹⁵

Γνωρίζοντας ότι το CO₂ υπάρχει διάχυτο στην κατώτερη ατμόσφαιρα σε υψόμετρο 14 km (όριο τροπόσφαιρας – στρατόσφαιρας) από την επιφάνεια της Γης πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί για την αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ (σε ppm) που θα προκληθεί από την καύση όλων των ορυκτών αποθεμάτων. Για την υπόθεση A η αύξηση θα είναι της τάξης των 298 ppm ενώ για την υπόθεση B η αύξηση θα είναι 281 ppm. Τα αποτελέσματα αυτά αναπαρίστανται γραφικά στο Γράφημα 4.7.



Γράφημα 4.7: Συγκέντρωση CO₂ (ppm) στην ατμόσφαιρα από το 1959 μέχρι το 2011 και εκτιμώμενη αύξηση του λόγω της επικείμενης καύσης όλων των παγκόσμιων αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων.

Η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ κατά 298 και 281 ppm σύμφωνα με τα αποτελέσματα των υποθέσεων Α και Β θα οδηγήσει τη συνολική συγκέντρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα σε 689 και 672 ppm αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές θα οφείλονται μόνο στην καύση των ορυκτών καυσίμων χωρίς να συνυπολογίζονται άλλοι παράγοντες όπως η ηφαιστειακή δραστηριότητα και ανατροφοδότηση μηχανισμών ανάδρασης οι οποίοι θα αυξήσουν περισσότερο τα επίπεδα CO₂.

Μια τέτοια αύξηση θα προκαλέσει άνοδο της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας η οποία θα αυξήσει περαιτέρω την εξάτμιση νερού από τους ωκεανούς οι οποίοι με τη σειρά τους θα προκαλέσουν επιπλέον αύξηση στη μέση θερμοκρασία της ατμόσφαιρας, ενώ ταυτόχρονα θα απελευθερωθεί CO₂ λόγω της μείωσης της διαλυτότητάς του στο νερό των ωκεανών. Επομένως, η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ θα ενεργοποιήσει μηχανισμούς ανάδρασης προκαλώντας ένα κύκλο ανατροφοδοτήσεων με αποτέλεσμα την απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων CO₂ και ταυτόχρονη άνοδο της θερμοκρασίας. Οι συνέπειες για τον άνθρωπο και το περιβάλλον θα είναι καταστροφικές σύμφωνα με τις προβλέψεις των επιστημόνων που ανήκουν στους κύκλους της IPCC.

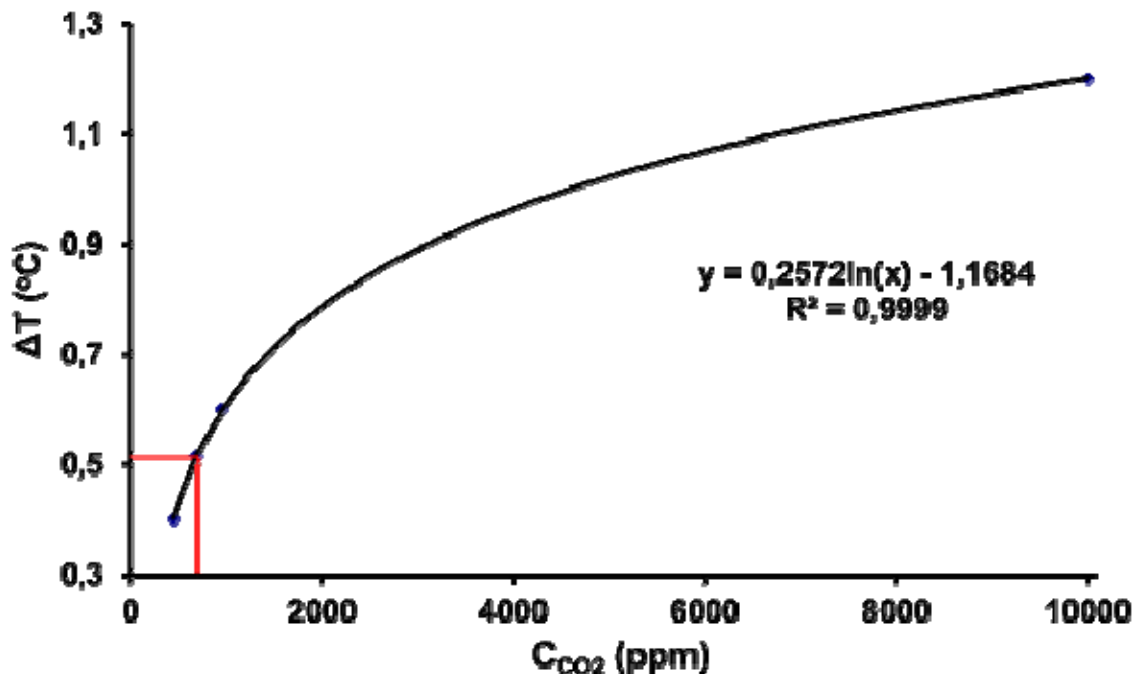
Στο παρελθόν τα επίπεδα της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα μπορεί να ήταν υψηλότερα από τα σημερινά, όμως η μεταβολή της συγκέντρωσης του συνέβαινε σε βάθος χρόνου (εκατομμύρια χρόνια) επιτρέποντας στον άνθρωπο και τα ζώα να αναπτύξουν προσαρμοστικούς μηχανισμούς για να μπορούν να επιβιώνουν στις εκάστοτε συνθήκες. Σήμερα ο άνθρωπος και τα ζώα είναι προσαρμοσμένα για επιβίωση στις επικρατούσες συνθήκες. Έτσι, εάν σε μικρό χρονικό διάστημα η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα αυξηθεί περισσότερο από 5% θα οδηγήσει σε πολλαπλά προβλήματα υγείας και ίσως σε αυξημένη θνησιμότητα λόγω του ότι οι έμβιοι οργανισμοί δεν θα προλάβουν να αναπτύξουν τους κατάλληλους μηχανισμούς για επιβίωση (εξελικτική θεωρία).

Πέραν από την υγεία του ανθρώπου θα επηρεαστεί και ο τρόπος ζωής του. Η άνοδος της θερμοκρασίας θα προκαλέσει λιώσιμο των πάγων αυξάνοντας τη στάθμη της θάλασσας και πλήττοντας τις παραθαλάσσιες περιοχές οι οποίες απαριθμούν περισσότερο από 1.000.000.000 ανθρώπους ενώ ταυτόχρονα θα δημιουργηθεί πρόβλημα με τη διαθεσιμότητα πόσιμου νερού και τροφής. Η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα θα οδηγήσει σε μείωση του pH των θαλασσών λόγω δέσμευσης του και σταδιακά οι κοραλλιογενείς ύφαλοι θα εξαφανιστούν. Η απώλεια τους θα είναι σημαντική λόγω της μεγάλης βιοποικιλότητας που διαθέτουν επηρεάζοντας την τροφική αλυσίδα. Η

απώλεια των θαλάσσιων ειδών θα μειώσει την αλιεία δημιουργώντας πρόβλημα σε περισσότερο από 500 εκατομμύρια ανθρώπους που εξαρτώνται από τα θαλάσσια οικοσυστήματα για τροφή.

Σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς από την καύση των παγκόσμιων αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα θα αυξηθεί κατά 298 και 281 ppm CO₂ για τις υποθέσεις A και B αντίστοιχα. Με τη χρήση της εξίσωσης 4.1 προσδιορίστηκε η άνοδος της θερμοκρασίας για τα σημερινά επίπεδα CO₂ (391 ppm) η οποία είναι ίση με 0,367°C. Χρησιμοποιώντας επίσης την εξίσωση 4.1 από το Γράφημα 4.5 μπορεί να προσδιοριστεί η άνοδος της θερμοκρασίας που θα προκληθεί από την καύση των ορυκτών αποθεμάτων.

Όπως φαίνεται στο Γράφημα 4.8 (με κόκκινο) για την υπόθεση A η συνολική αναμενόμενη αύξηση της θερμοκρασίας θα είναι 0,512°C, δηλαδή 0,145°C περισσότερο από τα σημερινά επίπεδα. Αντίστοιχα, για την υπόθεση B η αύξηση της θερμοκρασίας θα είναι 0,139°C. Η άνοδος της θερμοκρασίας με βάση τα παραπάνω σενάρια και τους υπολογισμούς θα σημειωθεί σε 70 χρόνια.



Γράφημα 4.8: Εκτιμώμενη αύξηση της θερμοκρασίας από την άνοδο της συγκέντρωσης του CO₂ σε 689 ppm η οποία θα προκληθεί από την καύση όλων των παγκόσμιων αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων.

5. Συμπεράσματα – Μελλοντική Έρευνα

Ο άνθρωπος υποθηκεύει το μέλλον για να κτίσει το παρόν, ένα παρόν το οποίο βρίσκεται στα πρόθυρα κατάρρευσης. Αναζητώντας μία καλύτερη ποιότητα ζωής εκμεταλλεύεται όλα όσα του προσφέρει η φύση χρησιμοποιώντας αλόγιστα τα φυσικά θεμέλια της ζωής τα οποία δεν ανανεώνονται σε εύλογο χρονικό διάστημα. Η υπέρμετρη ανάπτυξη και πρόοδος που σημειώθηκε κατά τους δύο τελευταίους αιώνες οδήγησε στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου και ταυτόχρονα στην υπονόμηση της αειφορίας για τις επόμενες γενιές. Η ανακάλυψη και η χρήση των ορυκτών καυσίμων οδήγησε σε αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα φτάνοντας σήμερα τα 391 ppm.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πειραμάτων που διεξήχθησαν στα πλαίσια της παρούσας Πτυχιακής Διατριβής η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ σε 1% στην ατμόσφαιρα θα οδηγήσει σε άνοδο της θερμοκρασίας κατά 0,833°C από τα σημερινά επίπεδα. Από την καύση όλων των παγκόσμιων αποδεδειγμένα υπαρκτών αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων, η οποία αναμένεται με βάση τους υπολογισμούς να πραγματοποιηθεί σε 70 χρόνια (2082), αναμένεται ότι θα προκαλέσει αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα κατά 298 ppm προκαλώντας ταυτόχρονα περαιτέρω αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 0,145°C. Η αύξηση αυτή αναμένεται να ενεργοποιήσει μηχανισμούς ανάδρασης οι οποίοι θα ανατροφοδοτούν συνεχώς ένα κύκλο όπου η αύξηση της θερμοκρασίας θα οδηγήσει σε αύξηση της συγκέντρωσης των υδρατμών στην ατμόσφαιρα και η οποία με τη σειρά της θα προκαλέσει περαιτέρω άνοδο της θερμοκρασίας. Παράλληλα, θα παρατηρηθεί μείωση της διαλυτότητας του CO₂ στους ωκεανούς με αποτέλεσμα την απελευθέρωση του στην ατμόσφαιρα.

Σύμφωνα με την αρχή *Προσέγγιση στο Άκρο του Σωλήνα* όταν η επιστημονική κοινότητα παρουσιάζεται αβέβαιη για την πρόκληση αρνητικών επιπτώσεων από μία δράση, λαμβάνονται τα μέτρα που θα λαμβάνονταν εάν είχαν επιβεβαιωθεί οι αρνητικές επιπτώσεις. Στην περίπτωση αυτή η επιστημονική κοινότητα παρουσιάζεται διχασμένη όσον αφορά τη συμβολή του ανθρώπου στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου μέσω των εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα. Η αβεβαιότητα αυτή δεν πρέπει να κρατήσει τον άνθρωπο σε αδρανή στάση. Η αλλαγή του κλίματος σε συνδυασμό με την εξάντληση των φυσικών πόρων καθιστά την αειφορία μη βιώσιμη και το μέλλον του ανθρώπου δυσοίωνο, ενώ ταυτόχρονα επισημαίνεται η ανάγκη για στροφή σε νέες, ανανεώσιμες, βιώσιμες και

ταυτόχρονα φιλικές προς το περιβάλλον πηγές ενέργειας. *Η Γη δεν ανήκει στον άνθρωπο, ο άνθρωπος ανήκει στη Γη.* Το χρέος του ανθρώπου απέναντι στον πλανήτη που το φιλοξενεί είναι μεγάλο.

Είναι στο χέρι κάθε λογικού ανθρώπου να διατηρήσει την ισορροπία μεταξύ ανθρώπινων και φυσικών αξιών οι οποίες θα επισφραγίσουν έναν υγιή και αποδοτικό τρόπο ζωής για τον άνθρωπο. Με βάση τα σημερινά δεδομένα και την αδρανή στάση του ανθρώπου απέναντι στο περιβάλλον ίσως να μην μπορούν να αποφευχθούν τα χειρότερα, μπορούν όμως να αποφευχθούν τα χειρίστα. Η συλλογική προσπάθεια κυβερνήσεων, βιομηχανιών και απλών πολιτών είναι αναγκαία για διασφάλιση ενός καλύτερου μέλλοντος.

Μελλοντική Έρευνα

Η διεξαγωγή των πειραματικών διαδικασιών στα πλαίσια της παρούσας Π.Δ. ήταν άκρως ενδιαφέρουσα λόγω των σοβαρών διαστάσεων του Φαινομένου του Θερμοκηπίου το οποίο επηρεάζει ολόκληρο τον πλανήτη. Πέραν της μελέτης του CO₂ για τη συμβολή του στο φαινόμενο, θα μπορούσε να μελετηθεί και η συμβολή των υπολοίπων αερίων του θερμοκηπίου και ιδιαίτερα το μεθάνιο. Επίσης, μέσα στα κουτιά μπορεί να υπάρχει και βλάστηση για καλύτερη προσομοίωση με το περιβάλλον και μέσα στο κουτί να υπάρχει όργανο μέτρησης της συγκέντρωσης του CO₂ καθώς και χρήση θερμομέτρων μεγαλύτερης ακριβείας. Μία άλλη εισήγηση είναι η διεξαγωγή του πειράματος με διαφορετικό λόγο εδάφους – νερού έτσι ώστε να υπολογισθεί η συνεισφορά των δύο στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου. Θα μπορούσαν επίσης να πραγματοποιηθούν πειράματα απουσία υδρατμών.

Βιβλιογραφία

- [1] J.W. Moore, Principles of chemistry: the molecular science, Belmont, 2010, p. 720.
- [2] S.S. Zumdahl, D.J. DeCoste, Basic chemistry, Belmont, 2010, p. 542.
- [3] J. Daintith, The Facts on File Dictionary of Chemistry, Market House Books, 2005, p. 310.
- [4] C.E. Carraher, Giant Molecules: Essential Materials for Everyday Living and Problem Solving, John Wiley & Sons, 2003, p. 483.
- [5] K.W. Raymond, General, organic, and biological chemistry: an integrated approach, Wiley, 2010, p. 512.
- [6] P. Patnaik, A comprehensive guide to the hazardous properties of chemical substances, Wiley, 2007, p. 1060.
- [7] R. Pierantozzi, Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Wiley, Published Online 2003.
- [8] K. Dow, T.E. Downing, The Atlas of Climate Change, University of California Press, 2007, p. 112.
- [9] D. Archer, The Global Carbon Cycle, Princeton University Press, 2010, p. 224.
- [10] R.W. Gorte, Carbon Sequestration in forests, report for Congress, National government publication, 2007, p. 23.
- [11] World Development Report: Development and Climate Change, The World Bank, 2010, p. 417.
- [12] Ε. Ψυλλάκη, Η Χημεία του Νερού, Εισαγωγή στην Επιστήμη του Μηχανικού Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2008, σ. 81.
- [13] K. Bjørlykke, Petroleum Geoscience from Sedimentary Environments to Rock Physics, Springer, Berlin, 2010, p. 253.
- [14] M. Storey, R.A. Duncan, C.C. Swisher, Science 316 (2007) 587.
- [15] P. Huybers, C. Langmuir, Earth and Planetary Science Letters 286 (2009) 479.
- [16] G. Claire, P.A. Netto, E. Claire Reeves (Eds.), Emissions of Atmospheric Trace Compounds, Springer, 2004, p. 545.
- [17] T.M. Cronin, Paleoclimates: understanding climate change past and present, Columbia University Press, 2009, p.359.
- [18] G.A. Zielinski, Quaternary Science Reviews 19 (2000) 417.
- [19] D.G. Streets, F. Yan, M. Chin, T. Diehl, N. Mahowald, M. Schultz, M. Wild, Y. Wu, C. Yu, Journal of Geophysical Research 114 (2009) 16.

- [20] S. Self, R. Gertisser, R. Rampino, A. Wolff, *Geophysical Research Letters* 31 (2007) 4.
- [21] P. Minnis, E. F. Harrison, L. L. Stowe, G. G. Gibson, F. M. Denn, D. R. Doelling, W. L. Smith Jr, *Science* 259 (1993) 1411.
- [22] U. Schumann, B. Weinzierl, O. Reitebuch, H. Schlager, A. Minikin, C. Forster, *Atmospheric Chemistry and Physics* 11 (2011) 2245.
- [23] Π. Σάββα, *Κλιματική Αλλαγή (ETΠ 404)*, Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, 2012.
- [24] Y. Birot, *Acting on Wildfire Risk: What Practices, Strategies and Policies - Policy Analysis Reveals the Need for New Approaches*, European Forest Institute, 2009, p. 82.
- [25] R.M. Trigo, J.M.C. Pereira, M.G. Pereira, B. Mota, T.J. Calando, C.C. Dacamura, F.E. Santo, *International Journal of Climatology* 26 (2006) 1741.
- [26] P. Barbosa, A. Camia, J. Kucera, G. Libertà, I. Palumbo, J.S. Ayanz, G. Schmuck, *Elsevier* 8 (2012) 197.
- [27] Κ.Π. Χαλβαδάκης, *Υδατική Χημεία*, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα περιβάλλοντος, Μυτιλήνη, 2004, σ. 170.
- [28] E. Brouillard, B. Burns, N. Khan, J. Zalaket, *Wentworth Institute of Technology*, 2011, p. 15.
- [29] D. Reay, C. N. Hewitt, J. Grace, *Greenhouse gas sinks*, Cambridge, 2006, p. 249.
- [30] D. Murdiyarto, H. Herawati, *Carbon forestry, who will benefit?: proceedings of workshop on carbon sequestration and sustainable livelihoods*, Center for International Forestry Research, 2005, p. 211.
- [31] A. Baccini, S.J. Goetz, W.S. Walker, N.T. Laporte, M. Sun, D. Sulla-Menashe, J. Hackler, P.S.A. Beck, R. Dubayah, M.A. Friedl, S. Samanta, R.A. Houghton, *Nature Climate Change* 2 (2012) 182.
- [32] J. Rotmans, *Image: An Integrated Model to Assess the Greenhouse Effect*, Kluwer Academic Publishers, 1990, p. 263.
- [33] T. Casey B.Sc., *The Shattered Greenhouse: How Simple Physics Demolishes the “Greenhouse Effect”*, 2009.
- [34] S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller, *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, 2007, p. 996.
- [35] C.A. Chen, *Encyclopaedia of Life Support Systems*, 2007.
- [36] National Oceanic and Atmospheric Administration, National Climatic Data Center www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/2011/13

- [37] National Oceanic and Atmospheric Administration, National Climatic Data Center
www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/2010/13
- [38] National Oceanic and Atmospheric Administration, National Climatic Data Center
www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/1998/13
- [39] L. Bernstein, P. Bosch, O. Canziani etc, 'Climate Change 2007: Synthesis Report, Cambridge University Press, 2007, p. 104.
- [40] Επιτροπή Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, Επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος στην υγεία των ανθρώπων, των ζώων και των φυτών, 2009, σ. 22.
- [41] L.R. Brown, Plan B 3,0 Mobilizing to Save Civilization, W. W. Norton & Company, 2007, p. 416.
- [42] L. Miller, B. C. Douglas, Nature 428 (2004) 406.
- [43] V. Gornitz, S. Lebedeff, J. Hansen, Science 215 (1982) 1611.
- [44] M. Vermeer, S. Rahmstorf, Harvard University 106 (2009) 21461.
- [45] Σ.Ε. Δρίτσας, Κλιματική Αλλαγή - Άνοδος της στάθμης της θάλασσας: Συνέπειες στις παράκτιες περιοχές, Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου Πολεοδομίας, Χωροταξίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, 2009, σ. 1465.
- [46] F.B. Jensen, Acta physiologica, 182 (2004) 215.
- [47] S.A. Rice, Presented at the 3rd annual conference on carbon sequestration, 3 - 6 May 2004, Alexandria, VA, USA.
- [48] K.L. Wong, National Research Council 5 (1996) 105.
- [49] Climate Change, the indoor environment, and health, Institute of Medicine of the National Academies, The National Academies Press, 2011.
- [50] S. Cosgrove, The United Nations Framework Convention on Climate Change, AMUNC, 2009, p. 7.
- [51] Οδηγία 2003/87/EK, Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2003, σ. 32.
- [52] Οδηγός Εφαρμογής του Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών στην Ελλάδα, ΚΑΠΕ, 2005, σ. 56.
- [53] M. Dutschke, A. Michaelowa, Interest Groups and Efficient Design of the Clean Development Mechanism under the Kyoto Protocol, HWWA – Diskussionspapier, 1998, p. 28.
- [54] Οδηγία 2001/77/EK, Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 2001, σ. 33.
- [55] Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, Αποτελέσματα της επανεξέτασης της κοινοτικής στρατηγικής για τη μείωση των εκπομπών CO₂ από τα επιβατηγά αυτοκίνητα και τα ελαφρά εμπορικά οχήματα, 2007, σ. 13.

- [56] Energy efficiency for the 2020 goal, Europa Summaries of EU legislations, Last Updated 2009.
- [57] Γ.Ι. Τσάλτας, Κλιματική Αλλαγή: Το περιβάλλον μετά τη διεθνή διάσκεψη των Η.Ε στο Μπαλί, Ι.Σιδέρης, 2009, p. 275.
- [58] A. Darvill, Retrieved March 2012 from www.darvill.clara.net/altenerg/index.htm.
- [59] D. Walker, Fuels and the environment, Science Essentials Chemistry, 2007, p. 51.
- [60] B. Metz, O. Davidson, H. Coninck, M. Loos and L. Meyer (Eds.), Carbon Dioxide Capture and Storage, Cambridge University Press, 2005, p. 429.
- [61] R.A. Van Leer, M.E. Paulaitis, Journal Chemical Engineering 25 (1980) 257.
- [62] S.S. Kapdi, V.K. Vijay, S.K. Rajesh, R. Prasad, Renewable Energy 30 (2005) 1195.
- [63] G.T. Rochelle, Science 325 (2009) 1652.
- [64] L.J. Hannah, Saving a million species: extinction risk from climate change, Island Press, 2012, p. 417.
- [65] P. Friedlingstein, R.A. Houghton, G. Marland, J. Hackler, T.A. Boden, T.J. Conway, J.G. Canadell, M.R. Raupach, P. Ciais & C. Le Quéré, Nature Geoscience, 3 (2010) 811.
- [66] Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division, U.S. Department of Commerce.
- [67] National Environmental Satellite, Data and Information Service, U.S. Department of Commerce.
- [68] W. Berner, H. Oeschger, B. Stauffer, Radiocarbon 22 (1980) 227.
- [69] J.F. Shroder, Physical Geography 4 (1980) 161.
- [70] Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division, U.S. Department of Commerce, ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/ccg/co2/trends/co2_annmean_mlo.txt
- [71] D. Biello, Scientific American 306 (2012) 72.
- [72] A.C. Lind, M. Antonacci, G. Fanti, D. Elmore, J.M. Guthrie, ENEA Frascati, (2010).
- [73] S. Bowman, Interpreting the Past Radiocarbon Dating, British Museum Publications, 1990, p. 64.
- [74] P. Povinec, J.A. Sanchez-Cabeza, Radionuclides in the environment: International Conference on Isotopes in Environmental Studies, Elsevier, 2006, p. 646.
- [75] K.P. Shine, J.S. Fuglestedt, K. Hailemariam, N. Stuber, Springer 68 (2005) 281.
- [76] Μ. Λαζαρίδης, Ατμοσφαιρική Ρύπανση και Κλιματικές Αλλαγές, Εισαγωγή στην Επιστήμη του Μηχανικού Περιβάλλοντος, 2008, σ. 101.
- [77] V. Isaac, W.A. van Wijngaarden, Journal of Climate, 25 (2012) 3599.
- [78] Α.Ν Ψωμάς, Περισκόπιο 352 (2011) 12.

- [79] Movie: The Great Global Warming Swindle.
- [80] M. Penn, American Geophysical Union 90 (2009) 257.
- [81] J.L. Jirikowic, P.F. Damon, Climatic Change 26 (1994) 309.
- [82] N.A. Krivova, L.E.A. Vieira, S.K. Solanki, Journal of Geophysical Research 115 (2010) 11.
- [83] J.H. Shirley, R.W. Fairbridge, Encyclopedia of planetary sciences, Chapman, 1995, p. 947.
- [84] C.G Looney, Climate change and the emergence of civilization, Xlibris Corporation, 2011, p. 387.
- [85] J. Austin, Decoded Science (2011) Available in <http://www.decodedscience.com/the-truth-behind-the-emails-of-climategate-parts-1-and-2/6415>.
- [86] A.A. Leiserowitz, E.W. Maibach, C. Roser-Renouf, N. Smith, E. Dawson, Working Paper, 2010.

Παραρτήματα

Παράρτημα 1: Προσομοίωση της Γης στα κουτιά.

Η επιφάνεια της Γης η οποία είναι 510.072.000 km² προσομοιάστηκε με το εμβαδόν επιφάνειας του κουτιού το οποίο είναι 3.410 cm². Η επιφάνεια εδάφους που καλύπτει τη Γη είναι 30% το οποίο αντιστοιχεί σε επιφάνεια 1.023 cm² στο κάθε κουτί. Επιλέκθηκαν 5 γυάλινα ποτήρια ζέσεως με διάμετρο 16,2 cm και συνολικό εμβαδόν επιφάνειας 1.030 cm² τα οποία πληρώθηκαν με άμμο. Η υπόλοιπη επιφάνεια του κουτιού η οποία είναι 70% καλύφθηκε με θαλασσινό νερό μέχρι το ύψος των γυάλινων ποτηριών ζέσεως το οποίο είναι 20 cm. Ο όγκος άμμου που χρησιμοποιήθηκε είναι 20.600 cm³ και ο όγκος του νερού 47.611 cm³.

$$E_{\kappa} = \mu \times \pi$$

$$\mu = 58,4 \text{ cm}$$

$$\pi = 58,4 \text{ cm}$$

Όπου E_{κ} : Εμβαδόν επιφάνειας κουτιού

μ : Μήκος κουτιού

π : Πλάτος κουτιού

$$E_{\kappa} = 3.410 \text{ cm}^2$$

$$E_{\epsilon} = E_{\kappa} \times 30\%$$

$$E_{\epsilon} = 1.023 \text{ cm}^2$$

Όπου E_{ϵ} : Εμβαδόν εδάφους που καλύπτει (30%) τη Γη στο κουτί

$$E_5 = 5 \times \pi \times R^2$$

$$R = 8,1 \text{ cm}$$

Όπου E_5 : Εμβαδόν επιφάνειας 5 ποτηριών ζέσεως

R : Ακτίνα ποτηριών ζέσεως

$$E_5 = 1.030 \text{ cm}^2$$

$$V_5 = E_5 \times h$$

$$E_5 = 1030 \text{ cm}^2$$

$$h = 20 \text{ cm}$$

Όπου V_5 : Όγκος άμμου που χρησιμοποιήθηκε

h : ύψος ποτηριών ζέσεως

$$V_5 = 20.600 \text{ cm}^3$$

$$V_h = E_k \cdot h$$

V_h : Όγκος κουτιού μέχρι ύψος (h) 20 cm

$$V_v = V_h - V_5$$

V_v : Όγκος νερού



$$V_v = 47.611 \text{ cm}^3$$

Παράρτημα 2: Χρονική εξάντληση αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων.**Γαϊάνθρακας**

Αποθέματα Γαϊάνθρακα: $909,4 \times 10^9$ τόνοι (International Energy Outlook 2010)

Ρυθμός Άυξης Ζήτησης: 1,6%

Ετήσια Ζήτηση 2010: 6.696.000.000 τόνοι

Υπολογισμός ετήσιας κατανάλωσης σύμφωνα με το ρυθμό αύξησης ζήτησης:

Έτος Κατανάλωση

2010	6696000000
2011	6803136000
2012	6911986176
2013	7022577955
2014	7134939202
2015	7249098229
2016	7365083801
2017	7482925142
2018	7602651944
2019	7724294375
2020	7847883085
2021	7973449215
2022	8101024402
2023	8230640792
2024	8362331045
2025	8496128342
2026	8632066395
2027	8770179458
2028	8910502329
2029	9053070366
2030	9197919492
2031	9345086204
2032	9494607583
2033	9646521305
2034	9800865645
2035	9957679496
2036	10117002368
2037	10278874406
2038	10443336396
2039	10610429778
2040	10780196655
2041	10952679801
2042	11127922678
2043	11305969441
2044	11486864952
2045	11670654791
2046	11857385268
2047	12047103432
2048	12239857087

2049	12435694801
2050	12634665917
2051	12836820572
2052	13042209701
2053	13250885056
2054	13462899217
2055	13678305605
2056	13897158494
2057	14119513030
2058	14345425239
2059	14574952043
2060	14808151275
2061	15045081696
2062	15285803003
2063	15530375851
2064	15778861865
2065	16031323654
2066	16287824833
2067	16548430030
2068	16813204911
2069	17082216189
2070	17355531648
2071	17633220155
2072	17915351677
2073	18201997304
2074	18493229261
2075	18789120929
2076	19089746864
2077	19395182814
2078	19705505739
2079	20020793830
2080	20341126532
2081	20666584556
2082	20997249909

Γνωρίζοντας τα αποδεδειγμένα αποθέματα γαιάνθρακα του 2010, αθροίζεται η υπολογιζόμενη ετήσια κατανάλωση από το 2010 μέχρι το έτος στο οποίο το αποτέλεσμα θα είναι ίσο με $9,094 \times 10^{11}$. Μέχρι το 2082 θα έχουν καταναλωθεί $9,1 \times 10^{11}$ τόνοι άνθρακα, δηλαδή κατά τη διάρκεια του έτους 2082 τα αποθέματα γαιάνθρακα θα εξαντληθούν.

Πετρέλαιο

Αποδεδειγμένα Αποθέματα: 1.342.000.000.000 βαρέλια (International Energy Outlook 2010)

Ρυθμός Άυξης Ζήτησης: 1%

Ετήσια Ζήτηση 2006: 31.025.000.000 βαρέλια

Υπολογισμός ετήσιας κατανάλωσης σύμφωνα με το ρυθμό αύξησης ζήτησης:

<u>Έτος</u>	<u>Κατανάλωση</u>
2006	31025000000
2007	31335250000
2008	31648602500
2009	31965088525
2010	32284739410
2011	32607586804
2012	32933662672
2013	33262999299
2014	33595629292
2015	33931585585
2016	34270901441
2017	34613610455
2018	34959746560
2019	35309344025
2020	35662437466
2021	36019061840
2022	36379252459
2023	36743044983
2024	37110475433
2025	37481580188
2026	37856395989
2027	38234959949
2028	38617309549
2029	39003482644
2030	39393517471
2031	39787452645
2032	40185327172
2033	40587180444
2034	40993052248
2035	41402982770
2036	41817012598
2037	42235182724
2038	42657534551
2039	43084109897
2040	43514950996
2041	43950100506
2042	44389601511
2043	44833497526
2044	45281832501

Γνωρίζοντας τα αποδεδηγμένα αποθέματα πετρελαίου το 2010, αθροίζεται η υπολογιζόμενη ετήσια κατανάλωση από το 2010 μέχρι το έτος στο οποίο το αποτελέσμα

θα είναι ίσο με 1.342.000.000.000. Μέχρι το 2044 θα έχουν καταναλωθεί 1.344.000.000.000 βαρέλια πετρελαίου, δηλαδή κατά τη διάρκεια του έτους 2044 τα αποθέματα πετρελαίου θα εξαντληθούν.

Φυσικό Αέριο

Αποδεδειγμένα Αποθέματα: 6.609.000.000.000.000 ft³ (International Energy Outlook 2010)

Ρυθμός Άυξησης Ζήτησης: 1,4%

Ετήσια Ζήτηση 2007: 108.000.000.000.000 ft³

Υπολογισμός ετήσιας κατανάλωσης σύμφωνα με το ρυθμό αύξησης ζήτησης:

<u>Έτος</u>	<u>Κατανάλωση</u>
2007	1,080×10 ¹⁴
2008	1,095×10 ¹⁴
2009	1,110×10 ¹⁴
2010	1,126×10 ¹⁴
2011	1,141×10 ¹⁴
2012	1,157×10 ¹⁴
2013	1,173×10 ¹⁴
2014	1,190×10 ¹⁴
2015	1,207×10 ¹⁴
2016	1,223×10 ¹⁴
2017	1,241×10 ¹⁴
2018	1,258×10 ¹⁴
2019	1,276×10 ¹⁴
2020	1,293×10 ¹⁴
2021	1,312×10 ¹⁴
2022	1,330×10 ¹⁴
2023	1,349×10 ¹⁴
2024	1,367×10 ¹⁴
2025	1,387×10 ¹⁴
2026	1,406×10 ¹⁴
2027	1,426×10 ¹⁴
2028	1,446×10 ¹⁴
2029	1,466×10 ¹⁴
2030	1,486×10 ¹⁴
2031	1,507×10 ¹⁴
2032	1,528×10 ¹⁴
2033	1,550×10 ¹⁴
2034	1,571×10 ¹⁴
2035	1,593×10 ¹⁴

2036	$1,616 \times 10^{14}$
2037	$1,638 \times 10^{14}$
2038	$1,661 \times 10^{14}$
2039	$1,685 \times 10^{14}$
2040	$1,708 \times 10^{14}$
2041	$1,732 \times 10^{14}$
2042	$1,756 \times 10^{14}$
2043	$1,781 \times 10^{14}$
2044	$1,806 \times 10^{14}$
2045	$1,831 \times 10^{14}$
2046	$1,857 \times 10^{14}$
2047	$1,883 \times 10^{14}$
2048	$1,909 \times 10^{14}$
2049	$1,936 \times 10^{14}$
2050	$1,963 \times 10^{14}$
2051	$1,991 \times 10^{14}$
2052	$2,018 \times 10^{14}$
2053	$2,047 \times 10^{14}$

Γνωρίζοντας τα αποδεδηγημένα αποθέματα φυσικού αερίου το 2010, αθροίζεται η υπολογιζόμενη ετήσια κατανάλωση από το 2010 μέχρι το έτος στο οποίο το αποτελέσμα θα είναι ίσο με 6.609.000.000.000.000. Μέχρι το 2053 θα έχουν καταναλωθεί 6.785.000.000.000.000 ft³ φυσικού αερίου, δηλαδή κατά τη διάρκεια του έτους 2053 τα αποθέματα του θα εξαντληθούν.

Παράρτημα 3: Εξαγωγή χημικού τύπου Γαιάνθρακα (Bituminous)

Η σύσταση του Γαιάνθρακα παρουσιάζεται στο Πίνακα Π.1.

Πίνακας Π.1: Σύσταση Γαιάνθρακα (Bituminous)

Στοιχείο	Wt %	Μοριακό Βάρος (MB)	Wt % / MB
C	85,11	12	7,092
H	6,13	1	6,130
N	1,32	14	0,094
S	1,35	32	0,042
O	6,07	16	0,379

Στον Πίνακα π.1 παρουσιάζεται η σύσταση του γαιάνθρακα. Τα στοιχεία N και S δεν περιλαμβάνονται στο χημικό του τύπο λόγω της αμελητέας συγκέντρωσής τους. Το O με τη μικρότερη συγκέντρωση τίθεται ίσο με 1 για υπολογισμό της αναλογίας των άλλων δύο στοιχείων.

$$0,397 \text{ O} \rightarrow 1$$

$$7,092 \text{ C} \rightarrow x \quad x = 18,7$$

$$0,397 \text{ O} \rightarrow 1$$

$$6,13 \text{ H} \rightarrow x \quad x = 16,2$$

Χημικός τύπος Γαιάνθρακα: $\text{C}_{18,7}\text{H}_{16,2}\text{O}$

Καύση Γαιάνθρακα



$$\begin{aligned} \text{Ενέργεια για } \text{C}_{18,7}\text{H}_{16,2}\text{O} &= 2^x358 + 18^x347 + 16^x413 \\ &= 13.570 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ενέργεια για } 27,8/2 \text{ O}_2 &= 27,8/2 \times 498 \\ &= 6.922,2 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ενέργεια για } 18,7\text{CO}_2 &= 18,7 \times 2 \times 803 \\ &= 30.032,2 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ενέργεια για } 8,1\text{H}_2\text{O} &= 8,1 \times 2 \times 464 \\ &= 7.516,8 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{l} \text{Ενέργεια για } \underline{\text{C}_{18,7}\text{H}_{16,2}\text{O}} \text{ και } 27,8/2 \text{ O}_2 = 13.570 + 6.922,2 \\ \hspace{15em} = 20.492,2 \text{ kJ/mol} \\ \text{Ενέργεια για } \underline{18,7\text{CO}_2} \text{ και } \underline{8,1\text{H}_2\text{O}} = 30.032,2 + 7.516,8 \\ \hspace{15em} = 37.549 \text{ kJ/mol} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{Ενέργεια για } \underline{\text{C}_{18,7}\text{H}_{16,2}\text{O}} \text{ και } 27,8/2 \text{ O}_2 \\ \text{Ενέργεια για } \underline{18,7\text{CO}_2} \text{ και } \underline{8,1\text{H}_2\text{O}} \end{array}} \right\} \text{Διαφορά} = 17.056,8 \text{ kJ/mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Ενέργεια ανά μάζα γαιάνθρακα} &= 17.056,8 / (18,7 \times 12 + 16,2 \times 1 + 16) \\ &= 66,47 \text{ kJ/g} \end{aligned}$$

Καύση Φυσικού Αερίου



$$\begin{aligned} \text{Ενέργεια για } \text{CH}_4 &= 347 + 4 \times 413 \\ &= 1.999 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ενέργεια για } 2\text{O}_2 &= 2 \times 498 \\ &= 996 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ενέργεια για } \text{CO}_2 &= 2 \times 803 \\ &= 1.606 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ενέργεια για } 2\text{H}_2\text{O} &= 2 \times 2 \times 464 \\ &= 1.856 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{l} \text{Ενέργεια για } \underline{\text{CH}_4} \text{ και } \underline{2\text{O}_2} = 1.999 + 996 \\ \hspace{15em} = 2995 \text{ kJ/mol} \\ \text{Ενέργεια για } \underline{\text{CO}_2} \text{ και } \underline{2\text{H}_2\text{O}} = 1.606 + 1.856 \\ \hspace{15em} = 3.462 \text{ kJ/mol} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{Ενέργεια για } \underline{\text{CH}_4} \text{ και } \underline{2\text{O}_2} \\ \text{Ενέργεια για } \underline{\text{CO}_2} \text{ και } \underline{2\text{H}_2\text{O}} \end{array}} \right\} \text{Διαφορά} = 467 \text{ kJ/mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Ενέργεια ανά μάζα φυσικού αερίου} &= 467 / (12 + 4 \times 1) \\ &= 29,18 \text{ kJ/g} \end{aligned}$$

Καύση Πετρελαίου



$$\begin{aligned} \text{Ενέργεια για } \text{C}_5\text{H}_{12} &= 4 \times 347 + 12 \times 413 \\ &= 6.344 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ενέργεια για } 8\text{O}_2 &= 8 \times 498 \\ &= 3.984 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ενέργεια για } 5\text{CO}_2 &= 5 \times 2 \times 803 \\ &= 8.030 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ενέργεια για } 6\text{H}_2\text{O} &= 6 \times 2 \times 464 \\ &= 5.568 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{l} \underline{\text{Ενέργεια για } \text{C}_5\text{H}_{12} \text{ και } 8\text{O}_2} = 6.344 + 3.984 \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad = 10.328 \text{ kJ/mol} \\ \underline{\text{Ενέργεια για } 5\text{CO}_2 \text{ και } 6\text{H}_2\text{O}} = 8.030 + 5.568 \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad = 13.598 \text{ kJ/mol} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \\ \\ \end{array}} \right\} \text{Διαφορά} = 3.270 \text{ kJ/mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Ενέργεια ανά μάζα πετρελαίου} &= 3.270 / (5 \times 12 + 12 \times 1) \\ &= 48,8 \text{ kJ/g} \end{aligned}$$

Καύση Βενζίνης



$$\begin{aligned} \text{Ενέργεια για } \text{C}_8\text{H}_{18} &= 7 \times 347 + 18 \times 413 \\ &= 9.863 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ενέργεια για } 25/2\text{O}_2 &= 25/2 \times 498 \\ &= 6.225 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ενέργεια για } 8\text{CO}_2 &= 8 \times 2 \times 803 \\ &= 12.848 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ενέργεια για } 9\text{H}_2\text{O} &= 9 \times 2 \times 464 \\ &= 8.352 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Ενέργεια για } C_8H_{18} \text{ και } 25/2O_2 = 9.863 + 6.225 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad = 16.088 \text{ kJ/mol} \\ \\ \text{Ενέργεια για } 8CO_2 \text{ και } 9H_2O = 12.848 + 8.352 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad = 21.200 \text{ kJ/mol} \end{array} \right\} \text{ Διαφορά} = 5.112 \text{ kJ/mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Ενέργεια ανά μάζα βενζίνης} &= 5.112 / (8 \times 12 + 18 \times 1) \\ &= 44,8 \text{ kJ/g} \end{aligned}$$

Με βάση τις πιο πάνω καύσεις υπολογίστηκε η ενέργεια που μπορεί να απελευθερωθεί από την καύση των όλων των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων, σύμφωνα με δύο υποθέσεις:

- A) Καύση όλων των αποθεμάτων γαιάνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου.
- B) Καύση όλων των αποθεμάτων γαιάνθρακα, φυσικού αερίου, βενζίνης από επεξεργασία των μισών αποθεμάτων πετρελαίου και του υπόλοιπου πετρελαίου.

Ενέργεια που απελευθερώνεται για την υπόθεση A:

$$\text{Πετρέλαιο: } 48,8 \text{ kJ/g} \times 1794935736 \times 10^8 \text{ g} = 8759286392 \times 10^9 \text{ kJ}$$

$$\text{Φυσικό αέριο: } 29,18 \text{ kJ/g} \times 1497168334 \times 10^8 \text{ g} = 4368737199 \times 10^9 \text{ kJ}$$

$$\text{Γαιάνθρακας: } 66,47 \text{ kJ/g} \times 9,094 \times 10^{17} \text{ g} = 60447818 \times 10^{12} \text{ kJ}$$

$$\underline{\text{Άθροισμα:}} \quad 7357584159 \times 10^{10} \text{ kJ} = 2333074632 \times 10^6 \text{ W}$$

Ενέργεια που απελευθερώνεται για την υπόθεση B:

$$\text{Βενζίνη: } 44,8 \text{ kJ/g} \times 53064 \times 10^9 \text{ g} = 23772672 \times 10^8 \text{ kJ}$$

$$\text{Πετρέλαιο: } 48,8 \text{ kJ/g} \times 1089379236 \times 10^8 \text{ g} = 5316170672 \times 10^9 \text{ kJ}$$

$$\text{Φυσικό αέριο: } 29,18 \text{ kJ/g} \times 1497168334 \times 10^8 \text{ g} = 4368737199 \times 10^9 \text{ kJ}$$

$$\text{Γαιάνθρακας: } 66,47 \text{ kJ/g} \times 9,094 \times 10^{17} \text{ g} = 60447818 \times 10^{12} \text{ kJ}$$

$$\underline{\text{Άθροισμα:}} \quad 7013510314 \times 10^{10} \text{ kJ} = 2223940077 \times 10^6 \text{ W}$$

Για τον υπολογισμό της χρονικής περιόδου κατά την οποία τα ορυκτά καύσιμα θα μπορούν να παρέχουν ενέργεια έγινε η παραδοχή ότι η ενέργεια που θα παράγεται τα επόμενα έτη θα προέρχεται μόνο από την καύση ορυκτών καυσίμων και ο ρυθμός αύξησης της ζήτησης της ενέργειας θα παραμείνει σταθερός και ίσος 2,7%.

$$\text{Ετήσια Ζήτηση σε Ενέργεια (2008): } 1,64 \times 10^{13} \text{ W.}$$

<u>Έτος</u>	<u>Κατανάλωση Ενέργειας (Watt)</u>
2008	$1,640 \times 10^{13}$
2009	$1,684 \times 10^{13}$
2010	$1,729 \times 10^{13}$
2011	$1,776 \times 10^{13}$
2012	$1,824 \times 10^{13}$
2013	$1,873 \times 10^{13}$
2014	$1,924 \times 10^{13}$
2015	$1,976 \times 10^{13}$
2016	$2,029 \times 10^{13}$
2017	$2,084 \times 10^{13}$
2018	$2,140 \times 10^{13}$
2019	$2,198 \times 10^{13}$
2020	$2,257 \times 10^{13}$
2021	$2,318 \times 10^{13}$
2022	$2,381 \times 10^{13}$
2023	$2,445 \times 10^{13}$
2024	$2,511 \times 10^{13}$
2025	$2,579 \times 10^{13}$
2026	$2,649 \times 10^{13}$
2027	$2,720 \times 10^{13}$
2028	$2,794 \times 10^{13}$
2029	$2,869 \times 10^{13}$
2030	$2,947 \times 10^{13}$
2031	$3,026 \times 10^{13}$
2032	$3,108 \times 10^{13}$
2033	$3,192 \times 10^{13}$
2034	$3,278 \times 10^{13}$
2035	$3,367 \times 10^{13}$
2036	$3,457 \times 10^{13}$
2037	$3,551 \times 10^{13}$
2038	$3,647 \times 10^{13}$
2039	$3,745 \times 10^{13}$
2040	$3,846 \times 10^{13}$
2041	$3,950 \times 10^{13}$
2042	$4,057 \times 10^{13}$
2043	$4,166 \times 10^{13}$
2044	$4,279 \times 10^{13}$
2045	$4,394 \times 10^{13}$
2046	$4,513 \times 10^{13}$
2047	$4,635 \times 10^{13}$
2048	$4,760 \times 10^{13}$
2049	$4,889 \times 10^{13}$
2050	$5,021 \times 10^{13}$
2051	$5,156 \times 10^{13}$
2052	$5,295 \times 10^{13}$

2053	$5,438 \times 10^{13}$
2054	$5,585 \times 10^{13}$
2055	$5,736 \times 10^{13}$
2056	$5,891 \times 10^{13}$
2057	$6,050 \times 10^{13}$
2058	$6,213 \times 10^{13}$
2059	$6,381 \times 10^{13}$
2060	$6,554 \times 10^{13}$
2061	$6,730 \times 10^{13}$
2062	$6,912 \times 10^{13}$
2063	$7,099 \times 10^{13}$
2064	$7,291 \times 10^{13}$
2065	$7,487 \times 10^{13}$
2066	$7,690 \times 10^{13}$
2067	$7,897 \times 10^{13}$

Γνωρίζοντας τα αποθέματα ορυκτών καυσίμων (στοιχεία 2010) γίνεται άθροιση της υπολογιζόμενης ενέργειας που θα καταναλώνεται τα προσεχή έτη, από το έτος 2010 (έτος στο οποίο αναφέρονται τα εκτιμώμενα αποθέματα) μέχρι το έτος στο οποίο το άθροισμα θα είναι ίσο με 2333074632×10^6 για την υπόθεση Α και 2223940077×10^6 W για την υπόθεση Β, τα οποία είναι το 2067 και 2065 αντίστοιχα.

Θεωρώντας τα παραπάνω δεδομένα σταθερά και αλλάζοντας μόνο το ποσοστό συμμετοχής των ορυκτών καυσίμων για παραγωγή ενέργειας από 100% σε 85% υπολογίστηκαν τα έτη για τα οποία μπορεί να παρέχεται ενέργεια από χρήση ορυκτών καυσίμων.

Έτος Κατανάλωση Ενέργειας (W)

2008	$1,394 \times 10^{13}$
2009	$1,431 \times 10^{13}$
2010	$1,470 \times 10^{13}$
2011	$1,509 \times 10^{13}$
2012	$1,550 \times 10^{13}$
2013	$1,592 \times 10^{13}$
2014	$1,635 \times 10^{13}$
2015	$1,679 \times 10^{13}$
2016	$1,725 \times 10^{13}$
2017	$1,771 \times 10^{13}$
2018	$1,819 \times 10^{13}$
2019	$1,868 \times 10^{13}$
2020	$1,919 \times 10^{13}$

2021	$1,970 \times 10^{13}$
2022	$2,024 \times 10^{13}$
2023	$2,078 \times 10^{13}$
2024	$2,139 \times 10^{13}$
2025	$2,192 \times 10^{13}$
2026	$2,251 \times 10^{13}$
2027	$2,312 \times 10^{13}$
2028	$2,375 \times 10^{13}$
2029	$2,439 \times 10^{13}$
2030	$2,505 \times 10^{13}$
2031	$2,572 \times 10^{13}$
2032	$2,642 \times 10^{13}$
2033	$2,713 \times 10^{13}$
2034	$2,786 \times 10^{13}$
2035	$2,861 \times 10^{13}$
2036	$2,939 \times 10^{13}$
2037	$3,018 \times 10^{13}$
2038	$3,100 \times 10^{13}$
2039	$3,183 \times 10^{13}$
2040	$3,269 \times 10^{13}$
2041	$3,358 \times 10^{13}$
2042	$3,448 \times 10^{13}$
2043	$3,541 \times 10^{13}$
2044	$3,637 \times 10^{13}$
2045	$3,735 \times 10^{13}$
2046	$3,836 \times 10^{13}$
2047	$3,940 \times 10^{13}$
2048	$4,046 \times 10^{13}$
2049	$4,155 \times 10^{13}$
2050	$4,267 \times 10^{13}$
2051	$4,383 \times 10^{13}$
2052	$4,501 \times 10^{13}$
2053	$4,623 \times 10^{13}$
2054	$4,747 \times 10^{13}$
2055	$4,876 \times 10^{13}$
2056	$5,007 \times 10^{13}$
2057	$5,142 \times 10^{13}$
2058	$5,281 \times 10^{13}$
2059	$5,424 \times 10^{13}$
2060	$5,570 \times 10^{13}$
2061	$5,721 \times 10^{13}$
2062	$5,875 \times 10^{13}$
2063	$6,034 \times 10^{13}$
2064	$6,197 \times 10^{13}$
2065	$6,364 \times 10^{13}$
2066	$6,536 \times 10^{13}$

2067	$6,713 \times 10^{13}$
2068	$6,894 \times 10^{13}$
2069	$7,080 \times 10^{13}$
2070	$7,271 \times 10^{13}$
2071	$7,467 \times 10^{13}$
2072	$7,669 \times 10^{13}$

Αθροίζοντας την κατανάλωση ενέργειας ανά έτος από το 2010 (έτος το οποίο είναι γνωστά τα αποθέματα συμβατικών καυσίμων) μέχρι το έτος στο οποίο το άθροισμα θα είναι ίσο με 2333074632×10^6 W και 2223940077×10^6 W για τις υποθέσεις A και B προκύπτει ότι μέχρι το 2072 και 2070 αντίστοιχα θα παρέχεται ενέργεια από συμβατικά καύσιμα.

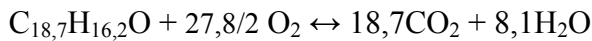
Παράρτημα 4: Εκπομπές CO₂ από την καύση των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων

Υπόθεση Α

Γαιάνθρακας

Αποθέματα: $909,4 \times 10^9$ τόνοι = $9,094 \times 10^{14}$ kg

$$\left. \begin{array}{l} N_b = m_b / MB_b \\ m_b = 9,094 \times 10^{17} \text{ g} \\ MB_b = 256,928 \text{ g/mol} \end{array} \right\} N_b = 3,539 \times 10^{15} \text{ mol}$$



1 mol C_{18,7}H_{16,2}O = 18,7 mol CO₂

$$\begin{aligned} N_{CO_2} &= 18,7 \times N_b \\ &= 6,618 \times 10^{16} \text{ mol} \end{aligned}$$

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση των ιδανικών αερίων:

$$P^x V = N^x R^x T \quad (\text{εξ. Π.1})$$

Όπου:

P: Πίεση σε atm

V : Όγκος σε m³

N: mol

R: Σταθερά = $8,314 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ atm/mol}^x \text{ K}$

T : Θερμοκρασία σε Kelvin

$$\left. \begin{array}{l} P = 1 \text{ atm} \\ N = 6,618 \times 10^{16} \text{ mol} \\ R = 8,314 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ atm/mol}^x \text{ K} \\ T = 298,15 \text{ K} \end{array} \right\} V_{CO_2} = 1,640 \times 10^{15} \text{ m}^3$$

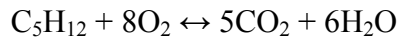
Πετρέλαιο

Αποθέματα: 1342×10^9 βαρέλια = $2,13378 \times 10^{11} \text{ m}^3$

(1 βαρέλι πετρελαίου = 159 λίτρα πετρελαίου, $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$)

$$\left. \begin{array}{l} \rho_{\pi} = m_{\pi} / V_{\pi} \\ \rho_{\pi} = 841,2 \text{ kg/ m}^3 \\ V_{\pi} = 2,133 \times 10^{11} \text{ m}^3 \end{array} \right\} m_{\pi} = 1,794 \times 10^{17} \text{ g}$$

$$\left. \begin{aligned} N_{\pi} &= m_{\pi} / MB_{\pi} \\ m_{\pi} &= 1,794 \times 10^{17} \text{ g} \\ MB_{\pi} &= 72,148 \text{ g/mol} \end{aligned} \right\} N_{\pi} = 2,487 \times 10^{15} \text{ mol}$$



$$1 \text{ mol C}_5\text{H}_{12} = 5 \text{ mol CO}_2$$

$$\begin{aligned} N_{\text{CO}_2} &= 5^x N_{\pi} \\ &= 1,243 \times 10^{16} \text{ mol} \end{aligned}$$

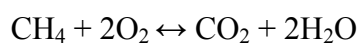
$$\left. \begin{aligned} P^x V &= N^x R^x T \\ P &= 1 \text{ atm} \\ N &= 1,243912743 \times 10^{16} \text{ mol} \\ R &= 8,314 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ atm/mol}^x \text{ K} \\ T &= 298,15 \text{ K} \end{aligned} \right\} V_{\text{CO}_2} = 3,083 \times 10^{14} \text{ m}^3$$

Φυσικό αέριο

$$\text{Αποθέματα: } 6609 \times 10^{12} \text{ feet}^3 = 1,871 \times 10^{14} \text{ m}^3$$

$$(1 \text{ feet}^3 = 0,028 \text{ m}^3)$$

$$\left. \begin{aligned} P^x V &= N^x R^x T \\ P &= 1 \text{ atm} \\ V &= 1,871 \times 10^{14} \text{ m}^3 \\ R &= 8,314 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ atm/mol}^x \text{ K} \\ T &= 298,15 \text{ K} \end{aligned} \right\} N_{\phi} = 7,549 \times 10^{15} \text{ mol}$$



$$1 \text{ mol CH}_4 = 1 \text{ mol CO}_2$$

$$N_{\phi} = N_{\text{CO}_2} = 7,549 \times 10^{15} \text{ mol}$$

$$\left. \begin{aligned} P^x V &= N^x R^x T \\ P &= 1 \text{ atm} \\ N &= 7,549 \times 10^{15} \text{ mol} \\ R &= 8,314 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ atm/mol}^x \text{ K} \\ T &= 298,15 \text{ K} \end{aligned} \right\} V_{\text{CO}_2} = 1,871 \times 10^{14} \text{ m}^3$$

Σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς για την υπόθεση Α θα εκπεμφθούν στην ατμόσφαιρα $2,136 \times 10^{15} \text{ m}^3 \text{ CO}_2$. Γνωρίζοντας ότι το CO_2 αναμιγνύεται στο κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας υπολογίστηκε η συγκέντρωση του σε ppm. Η κατώτερη ατμόσφαιρα θεωρείται μέχρι το όριο τροπόσφαιρας – στρατόσφαιρας το οποίο είναι 17 km στον Ισημερινό και 11 km στους Πόλους. Για τον υπολογισμό του ατμοσφαιρικού όγκου αφαιρέθηκε από τον όγκο Γης – ατμόσφαιρας ο όγκος της Γης. Για τον υπολογισμό του όγκου της Γης χρησιμοποιήθηκε ως ακτίνα τα 6.371 km τα οποία προκύπτουν από το μέσο όρο των διαμέτρων (D_1, D_2) της Γης (λόγω του ελλειπτικού σχήματος της).

$$\left. \begin{array}{l} D_1 = 12.756 \text{ km} \\ D_2 = 12.713 \text{ km} \\ D_{M.O} = 12.742 \text{ km} \end{array} \right\} R_{Γης} = 6.371 \text{ km}$$

$$V_{Γης} = \frac{4}{3} \pi \times R_{Γης}^3$$

$$V_{Γης} = 1,083 \times 10^{12} \text{ km}^3$$

$$R_{Γης-atm} = R_{Γης} + 14$$

$$R_{Γης-atm} = 6.385 \text{ km}$$

$$V_{Γης-atm} = \frac{4}{3} \pi \times R_{Γης-atm}^3$$

$$V_{Γης-atm} = 1,090 \times 10^{12} \text{ km}^3$$

Όγκος ατμόσφαιρας - V_{atm}

$$V_{atm} = V_{Γης-atm} - V_{Γης}$$

$$V_{atm} = 7156605929 \text{ km}^3$$

$$V_{\text{CO}_2} / V_{atm} = 2,136 \times 10^{15} \text{ m}^3 \text{ CO}_2 / 7,156 \times 10^{18} \text{ m}^3 = 298 \text{ ppm}$$

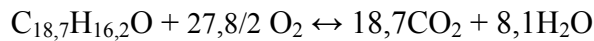
Για την υπόθεση Α η συγκέντρωση CO_2 στην ατμόσφαιρα θα είναι ίση με 298 ppm.

Υπόθεση Β

Γιάνθρακας

Αποθέματα: $909,4 \times 10^9$ τόνοι = $9,094 \times 10^{14}$ kg

$$\left. \begin{array}{l} N_b = m_b / MB_b \\ m_b = 9,094 \times 10^{17} \text{ g} \\ MB_b = 256,928 \text{ g/mol} \end{array} \right\} N_b = 3,539 \times 10^{15} \text{ mol}$$



$$1 \text{ mol } C_{18,7}H_{16,2}O = 18,7 \text{ mol } CO_2$$

$$\begin{aligned} N_{CO_2} &= 18,7 \times N_b \\ &= 6,618 \times 10^{16} \text{ mol} \end{aligned}$$

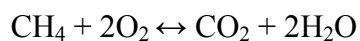
$$\left. \begin{array}{l} P^x V = N^x R^x T \\ P = 1 \text{ atm} \\ N = 6,618 \times 10^{16} \text{ mol} \\ R = 8,314 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ atm/mol}^x \text{ K} \\ T = 298,15 \text{ K} \end{array} \right\} V_{CO_2} = 1,640 \times 10^{15} \text{ m}^3$$

Φυσικό αέριο

Αποθέματα: $6609 \times 10^{12} \text{ ft}^3 = 1,871 \times 10^{14} \text{ m}^3$

($1 \text{ feet}^3 = 0,028 \text{ m}^3$)

$$\left. \begin{array}{l} P^x V = N^x R^x T \\ P = 1 \text{ atm} \\ V = 1,871 \times 10^{14} \text{ m}^3 \\ R = 8,314 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ atm/mol}^x \text{ K} \\ T = 298,15 \text{ K} \end{array} \right\} N_\phi = 7,549 \times 10^{15} \text{ mol}$$



$$1 \text{ mol } CH_4 = 1 \text{ mol } CO_2$$

$$N_\phi = N_{CO_2} = 7,549 \times 10^{15} \text{ mol}$$

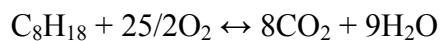
$$\begin{array}{l}
 P^xV = N^xR^xT \\
 P = 1 \text{ atm} \\
 N = 7,549 \times 10^{15} \text{ mol} \\
 R = 8,314 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ atm/mol}^x \text{ K} \\
 T = 298,15 \text{ K}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} P^xV = N^xR^xT \\ P = 1 \text{ atm} \\ N = 7,549 \times 10^{15} \text{ mol} \\ R = 8,314 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ atm/mol}^x \text{ K} \\ T = 298,15 \text{ K} \end{array}} \right\} V_{\text{CO}_2} = 1,871 \times 10^{14} \text{ m}^3$$

Βενζίνη

Υπόθεση: τα μισά αποθέματα πετρελαίου επεξεργαστούν προς παραγωγή βενζίνης. Μετά από επεξεργασία ένα βαρέλι πετρελαίου δίνει 72 λίτρα βενζίνη. Τα μισά αποθέματα πετρελαίου είναι 671×10^9 βαρέλια τα οποία εάν επεξεργαστούν δίνουν $7,2 \times 10^{10} \text{ m}^3$ βενζίνη.

$$\begin{array}{l}
 \rho_{\beta} = m_{\beta} / V_{\beta} \\
 \rho_{\beta} = 737 \text{ kg/ m}^3 \\
 V_{\beta} = 7,2 \times 10^{10} \text{ m}^3
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} \rho_{\beta} = m_{\beta} / V_{\beta} \\ \rho_{\beta} = 737 \text{ kg/ m}^3 \\ V_{\beta} = 7,2 \times 10^{10} \text{ m}^3 \end{array}} \right\} m_{\beta} = 5,306 \times 10^{13} \text{ g}$$

$$\begin{array}{l}
 N_{\beta} = m_{\beta} / MB_{\beta} \\
 m_{\beta} = 5,3064 \times 10^{13} \text{ g} \\
 MB_{\beta} = 114,22852 \text{ g/mol}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} N_{\beta} = m_{\beta} / MB_{\beta} \\ m_{\beta} = 5,3064 \times 10^{13} \text{ g} \\ MB_{\beta} = 114,22852 \text{ g/mol} \end{array}} \right\} N_{\beta} = 4,645424803 \times 10^{11} \text{ mol}$$



$$1 \text{ mol } C_8H_{18} = 8 \text{ mol } CO_2$$

$$\begin{aligned}
 N_{CO_2} &= 8^x N_{\beta} \\
 &= 3,716339842 \times 10^{12} \text{ mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{l}
 P^xV = N^xR^xT \\
 P = 1 \text{ atm} \\
 N = 3,716 \times 10^{12} \text{ mol} \\
 R = 8,314 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ atm/mol}^x \text{ K} \\
 T = 298,15 \text{ K}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} P^xV = N^xR^xT \\ P = 1 \text{ atm} \\ N = 3,716 \times 10^{12} \text{ mol} \\ R = 8,314 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ atm/mol}^x \text{ K} \\ T = 298,15 \text{ K} \end{array}} \right\} V_{\text{CO}_2} = 9,212 \times 10^{10} \text{ m}^3$$

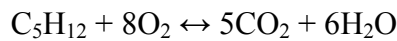
Πετρέλαιο

Από κάθε ένα βαρέλι πετρελαίου που επεξεργάζεται προς βενζίνη μένουν 34 λίτρα πετρελαίου. Από τα μισά αποθέματα πετρελαίου τα οποία σύμφωνα με την παραπάνω υπόθεση έχουν επεξεργαστεί, απομένουν $2,281 \times 10^{13}$ λίτρα πετρελαίου και υπάρχουν ακόμη $1,066 \times 10^{14}$ ανεπεξεργαστα λίτρα πετρελαίου (μισά αποθέματα: 671×10^9 βαρέλια τα

οποία ισούνται με $1,066 \times 10^{14}$ L πετρελαίου – 1 βαρέλι πετρέλαιο = 159 L πετρελαίου).
 Εάν τα μισά αποθέματα πετρελαίου επεξεργαστούν προς βενζίνη απομένουν $1,250 \times 10^{14}$
 λίτρα πετρελαίου, τα οποία ισούνται με $1,295 \times 10^{11}$ m³.

$$\left. \begin{aligned} \rho_{\pi} &= m_{\pi} / V_{\pi} \\ \rho_{\pi} &= 841,2 \text{ kg/ m}^3 \\ V_{\pi} &= 1,295 \times 10^{11} \text{ m}^3 \end{aligned} \right\} m_{\pi} = 1,089 \times 10^{17} \text{ g}$$

$$\left. \begin{aligned} N_{\pi} &= m_{\pi} / MB_{\pi} \\ m_{\pi} &= 1,089 \times 10^{17} \text{ g} \\ MB_{\pi} &= 72,148 \text{ g/mol} \end{aligned} \right\} N_{\pi} = 1,509 \times 10^{15} \text{ mol}$$



$$1 \text{ mol C}_5\text{H}_{12} = 5 \text{ mol CO}_2$$

$$\begin{aligned} N_{\text{CO}_2} &= 5^x N_{\pi} \\ &= 7,549 \times 10^{15} \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} P^x V &= N^x R^x T \\ P &= 1 \text{ atm} \\ N &= 7,549 \times 10^{15} \text{ mol} \\ R &= 8,314 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ atm/ mol}^x \text{ K} \\ T &= 298,15 \text{ K} \end{aligned} \right\} V_{\text{CO}_2} = 1,871 \times 10^{14} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{CO}_2} / V_{\text{atm}} = 2,015 \times 10^{15} \text{ m}^3 \text{ CO}_2 / 7,156 \times 10^{18} \text{ m}^3 = 281 \text{ ppm}$$

Σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς για την υπόθεση Β θα εκπεμφθούν στην ατμόσφαιρα $2,015 \times 10^{15}$ m³ CO₂ το οποίο αντιστοιχεί σε 281 ppm.