

Ιωάννης Ψαρράς • Βαγγέλης Μαρινάκης • Χάρης Δούκας

Διαχείριση Ενέργειας και Περιβαλλοντική Πολιτική



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΕΜΠ
ΑΘΗΝΑ 2022

Ιωάννης Ψαρράς, Βαγγέλης Μαρινάκης, Χάρης Δούκας
Διαχείριση Ενέργειας και Περιβαλλοντική Πολιτική

Copyright © 2022 Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.

Γλωσσική επιμέλεια
Ελένη Γιαννακοπούλου,
Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.

Επιμέλεια εξωφύλλου, σελιδοποίηση
Στέλλα Μπορουτζή,
Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ Ε.Μ.Π.



Θωμαΐδειο Κτήριο Εκδόσεων
Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 73 Ζωγράφος

e-mail: ntuapres@central.ntua.gr
www.ntua.gr/ntuapres

ISBN: 978-960-254-712-0

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	1
Το Πλαίσιο	3
Σκοπός	4
Δομή Βιβλίου	5
1. Κλιματική Αλλαγή & Δράση	7
1.1 Φαινόμενο του Θερμοκηπίου	9
1.2 Επιπτώσεις	10
1.3 Αέρια του Θερμοκηπίου	13
1.4 Προσπάθειες Αντιμετώπισης του Φαινομένου	16
1.5 Το Πρωτόκολλο του Κιότο	20
1.5.1 Ιστορική Αναδρομή	20
1.5.2 Υποχρεώσεις	21
1.5.3 Ευέλικτοι Μηχανισμοί του Κιότο	24
1.6 Υποστηρικτικές Δράσεις και Φορείς	39
1.7 Η Επίτευξη του Στόχου των 2°C	43
1.8 Συμφωνία του Παρισιού	43
1.9 Έκθεση για Συγκράτηση της Ανόδου της Θερμοκρασίας κάτω από 1,5°C	44
1.10 Ερωτήσεις Αυτοαξιολόγησης	45
Βιβλιογραφία Κεφαλαίου	47
2. Διαχείριση & Πόροι	51
2.1 Αναγκαιότητα Διαχείρισης Ενέργειας	53
2.2 Βασικές Αρχές	53
2.3 Ρόλος Ανθρώπινου Δυναμικού	55
2.3.1 Διοίκηση	58

2.3.2	Ενεργειακός Διαχειριστής	58
2.3.3	Συντονιστική Ομάδα	59
2.3.4	Προσωπικό Λειτουργίας	59
2.3.5	Χρήστες	60
2.4	Εμπλεκόμενες Δραστηριότητες	60
2.4.1	Γενικά	60
2.4.2	Μέτρηση Ενέργειας	60
2.4.3	Επεξεργασία Δεδομένων	63
2.4.4	Οικονομική Αξιολόγηση	70
2.4.5	Δυνατότητες Χρηματοδότησης	70
2.5	Ερωτήσεις Αυτοαξιολόγησης	70
	Βιβλιογραφία Κεφαλαίου	74
3.	Συλλογή και Επεξεργασία Δεδομένων	75
3.1	Διαδικασία Συλλογής και Επεξεργασίας Δεδομένων	77
3.2	Συλλογή Δεδομένων	78
3.2.1	Προετοιμασία	78
3.2.2	Συλλογή Στοιχείων	79
3.2.3	Καταγραφικός Εξοπλισμός	80
3.2.4	Θερμοκάμερα	80
3.2.5	Αναλυτής Κausαερίων	84
3.2.6	Αναλυτής Ηλεκτρικής Ενέργειας	88
3.3	Επεξεργασία και Διαμόρφωση Προτάσεων	89
3.3.1	Επεξεργασία Στοιχείων	89
3.3.2	Εντοπισμός Δράσεων	90
3.3.3	Χρηματοοικονομική Ανάλυση	91
3.3.4	Διαμόρφωση Προτάσεων	91
3.3.5	Υποβολή Έκθεσης	92
3.4	Ερωτήσεις Αυτοαξιολόγησης	92
	Βιβλιογραφία Κεφαλαίου	93
4.	Ανάπτυξη Ισοζυγίων	95
4.1	Ισοζύγιο Ενέργειας σε Επιχειρησιακή Μονάδα	97
4.1.1	Επιχειρησιακή Μονάδα Κατασκευής Λεβήτων	97
4.1.2	Σοκολατοβιομηχανία	101
4.2	Μεθοδολογία Ανάπτυξης Ισοζυγίου στο Πλαίσιο του Συμφώνου	105

4.2.1	Σύμφωνο των Δημάρχων για το Κλίμα και την Ενέργεια	105
4.2.2	Μεθοδολογική Προσέγγιση	106
4.2.3	Έτος Βάσης	106
4.2.4	Γενικά Χαρακτηριστικά	107
4.2.5	Τομείς & Μορφές Ενέργειας	108
4.2.6	Εναλλακτικές Μέθοδοι Υπολογισμού Ισοζυγίου Ενέργειας	110
4.2.7	Τοπικά Παραγόμενη Ενέργεια	114
4.2.8	Βασική Απογραφή Εκπομπών	115
4.3	Παράδειγμα Ισοζυγίου σε Δήμο	118
	Βιβλιογραφία Κεφαλαίου	121
5.	Οικονομική Αξιολόγηση	123
5.1	Βασικές Αρχές Χρηματοοικονομικής Αξιολόγησης	125
5.1.1	Ταμειακή Ροή	125
5.1.2	Πληθωρισμός	125
5.1.3	Αποσβέσεις	126
5.2	Οικονομική Αξιολόγηση Επενδύσεων Εξοικονόμησης Ενέργειας	126
5.3	Οικονομικοί Δείκτες	128
5.3.1	Κριτήρια Οικονομικής Αξιολόγησης	128
5.3.2	Υπολογισμός Πρωτογενούς Ενέργειας	133
5.4	Χρηματοδοτικοί Μηχανισμοί	133
5.4.1	Κλασικές Μορφές	133
5.4.2	Σύγχρονοι Χρηματοδοτικοί Μηχανισμοί	134
5.5	Εταιρείες Ενεργειακών Υπηρεσιών	137
5.6	Ασκήσεις προς επίλυση	138
	Βιβλιογραφία Κεφαλαίου	143
6.	Συστήματα M&T	145
6.1	Εισαγωγή	147
6.2	Βήματα	148
6.2.1	Δεδομένα/Πληροφορίες	148
6.2.2	Έλεγχος	150
6.2.3	Τρόποι Άσκησης M&T	151
6.2.4	Παραδείγματα Άσκησης M&T	151
6.3	Τεχνικές M&T	154
6.3.1	Διάγραμμα Συσχέτισης Καταναλισκόμενης Ενέργειας-Παραγωγής	154

6.3.2 Διάγραμμα Συσχέτισης Ειδικής Ενεργειακής Κατανάλωσης- Παραγωγής	155
6.3.3 Διάγραμμα CUSUM	155
6.3.4 Διάγραμμα Ελέγχου	159
6.4 Ερωτήσεις Αυτοαξιολόγησης	160
Βιβλιογραφία Κεφαλαίου	163
7. Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας	165
7.1 Σύστημα Αποφάσεων στη Διαχείριση Ενέργειας	167
7.1.1 Συνιστώσα Ι – Διαχείριση Λειτουργιών του Κτηρίου	168
7.1.2 Συνιστώσα ΙΙ – Διαχείριση Ενέργειας	169
7.1.3 Πιλοτική Εφαρμογή	171
7.1.4 Συμπεράσματα	172
7.2 Ο Σύγχρονος Ρόλος των ΣΥΑ για τη Διαχείριση Ενέργειας	172
7.2.1 Διαχείριση Πολυδιάστατων Δεδομένων	172
7.2.2 Σύνδεση με το Επίπεδο της Πόλης	174
7.2.3 OPTIMUS DSS	176
7.3 Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας κατά ISO 50001	179
7.3.1 Στάδιο Σχεδιασμού	179
7.3.2 Στάδιο Υλοποίησης	181
7.3.3 Στάδιο Ελέγχου και Δράσης	183
7.3.4 Διαδικτυακό Εργαλείο	183
7.4 Ερωτήσεις Αυτοαξιολόγησης	184
8. Διαδικτυακό Εργαλείο Διαχείρισης Ενέργειας σε Κτηριακές Εγκαταστάσεις 189	
8.1 Γενικά Χαρακτηριστικά	191
8.2 Είσοδος στο Σύστημα και Διαμόρφωση Κτηρίου	191
8.3 Ενεργειακό Προφίλ Κτηρίου	195
8.4 Εγκατεστημένα Συστήματα	196
8.5 Θερμικές Ζώνες και Καταναλώσεις	199
8.6 Δράσεις Εξοικονόμησης Ενέργειας	201
8.6.1 Εφαρμογή Θερμομόνωσης Εξωτερικής Τοιχοποιίας	202
8.6.2 Εφαρμογή Θερμομόνωσης Οροφής	204
8.6.3 Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών	204
8.6.4 Αντικατάσταση Παλαιών Υαλοπινάκων	205
8.6.5 Αντικατάσταση Λαμπτήρων Πυράκτωσης	205
8.6.6 Αντικατάσταση Κλιματιστικών	206

8.6.7 Αναβάθμιση Συστήματος Παραγωγής Ζ.Ν.Χ.	207
8.6.8 Εγκατάσταση Δικτύου Φυσικού Αερίου	207
8.6.9 Υπόλοιπα Σενάρια	208
8.7 Αποτελέσματα	208
Βιβλιογραφία Κεφαλαίου	209
9. Μελέτες Περιπτώσεων	211
9.1 Εισαγωγή	213
9.2 Μελέτες Περιπτώσεων Διαχείρισης Ενέργειας	213
9.2.1 Πολυκατάστημα	213
9.2.2 Αθλητική Εγκατάσταση	220
9.2.3 Ξενοδοχειακή Μονάδα	229
9.2.4 Βιομηχανία Πλαστικών Κουφωμάτων	237
9.2.5 Βιομηχανία Αλουμινίου	248
9.2.6 Βιομηχανία Γάλακτος	258
9.2.7 Νοσοκομειακή Μονάδα	263
9.3 Μελέτη Περίπτωσης M&T	279
10. Απαντήσεις	287
Κεφάλαιο 1	289
Κεφάλαιο 2	293
Κεφάλαιο 3	296
Κεφάλαιο 5	298
Κεφάλαιο 6	301
Κεφάλαιο 7	304

Εισαγωγή

Το Πλαίσιο

Κλιματική Αλλαγή & Βιώσιμη Ανάπτυξη

Σήμερα, τα κύρια προβλήματα του περιβάλλοντος που συνδέονται με την ενέργεια είναι η κλιματική αλλαγή (εξαιτίας των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου), η ατμοσφαιρική ρύπανση (αέριοι ρυπαντές, όξινη βροχή, φωτοχημικό νέφος) και οι κίνδυνοι που ελλοχεύουν κατά τη θαλάσσια μεταφορά υδρογονανθράκων.

Συγκεκριμένα, τα τελευταία χρόνια έχει καταγραφεί η συνεχής άνοδος της μέσης θερμοκρασίας της Γης ως αποτέλεσμα του φαινομένου του θερμοκηπίου, δηλαδή της φυσικής, κατά βάση, διαδικασίας για τη διατήρηση της θερμοκρασίας της Γης σε επίπεδα που ευνοούν την ανάπτυξη και τη διατήρηση της ζωής.

Το ερώτημα που παλιότερα ετίθετο ήταν κατά πόσον η διαπιστωμένη αυτή κλιματική αλλαγή οφείλεται σε φυσικές διεργασίες ή ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (International Panel of Climate Change, IPCC), και την 4^η έκθεση αξιολόγησής της το 2007, η παρατηρούμενη αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται στην ανθρώπινη δραστηριότητα, και κυρίως στην παραγωγή και χρήση ενέργειας από ορυκτά καύσιμα.

Σήμερα, γίνεται ολοένα και περισσότερο αντιληπτό ότι η ανάγκη για επείγουσα δράση είναι επιτακτική, προτού οι δυσάρεστες συνέπειες της κλιματικής αλλαγής γίνουν μη αναστρέψιμες.

Το ζήτημα της ενέργειας και το θέμα της άμβλυνσης του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής βρίσκονται, λοιπόν, στην καρδιά του προβληματισμού και της επιδίωξης για την επίτευξη των τριών πυλώνων της βιώσιμης ανάπτυξης (sustainable development), δηλαδή της κοινωνικής και οικονομικής ανάπτυξης, καθώς και της προστασίας του περιβάλλοντος.

Είναι αλήθεια ότι βρισκόμαστε σε ένα σταυροδρόμι όπου η «πεπατημένη» δεν αποτελεί πλέον επιλογή, με αποτέλεσμα να επιβάλλεται ο πλήρης επαναπροσδιορισμός του τρόπου ανεύρεσης, χρήσης και διατήρησης της ενέργειας και των φυσικών πόρων, παραγόντων που θα συμβάλλουν καθοριστικά στην επιβράδυνση της κλιματικής αλλαγής και σε μια πιο αειφόρο ανάπτυξη.

Προς την κατεύθυνση αυτή στρέφεται πλέον η διεθνής κοινότητα, όπου μέσα από μια σειρά διεθνών συμφωνιών και δεσμευτικών συμβάσεων στοχεύει στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτών των προσπαθειών αποτελούν η Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για τις κλιματικές μεταβολές, το Πρωτόκολλο του Κιότο και η Συμφωνία του Παρισιού.

Στο πλαίσιο αυτό, έχουν αναπτυχθεί κατάλληλοι μηχανισμοί στήριξης με βάση τη λειτουργία των δυνάμεων της αγοράς, οι οποίοι αποσκοπούν στη διατήρηση σε χαμηλά επίπεδα του κόστους περιορισμού των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.

Η διεθνής εμπειρία καταδεικνύει συνεχώς, μέσα από μελέτες και εφαρμογές, ότι η έννοια και η πρακτική της βιώσιμης ανάπτυξης στηρίζονται πλέον στον σχεδιασμό, στην έρευνα, στην αναζήτηση της καινοτομίας και στον προσδιορισμό του είδους της ανάπτυξης που επιδιώκει να επιτύχει η κάθε περιοχή. Οι εμπειρογνώμονες συστήνουν μια μαζική στροφή προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, στηριζόμενη σε συστήματα καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας και διαχείρισης ενέργειας, και σε μεγαλύτερη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Οι παραπάνω πτυχές βασίζονται σε τρεις αλληλένδετες παραμέτρους: την οργανωμένη προσπάθεια, τη διερεύνηση εναλλακτικών σεναρίων και την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων.

Τα τελευταία χρόνια, η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει αναλάβει ρόλο πρωτοπόρου στους τομείς της ενέργειας και του περιβάλλοντος, σε παγκόσμιο επίπεδο, και έχει ασκήσει μεγάλη πίεση για την υιοθέτηση συγκεκριμένων και φιλόδοξων στόχων. Κύριος στρατηγικός ενεργειακός στόχος της ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής είναι η μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών CO₂.

Διαχείριση Ενέργειας

Η ορθή διαχείριση της ενέργειας αποτελεί, λοιπόν, πρωταρχικό μέτρο για την αποτελεσματική λειτουργία του ενεργειακού τομέα των χωρών, για την προστασία του περιβάλλοντος, αλλά και για τον περιορισμό της εκροής συναλλάγματος από την εθνική οικονομία.

Πιο συγκεκριμένα, η διαχείριση ενέργειας αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στην εξοικονόμηση ενέργειας (π.χ. μιας επιχειρησιακής μονάδας, ενός κτηρίου, κ.λπ.), καθώς αποτελεί μια συστηματική, οργανωμένη και συνεχή δραστηριότητα. Αποτελείται από ένα προγραμματισμένο σύνολο διοικητικών, τεχνικών και οικονομικών δράσεων που αποσκοπούν:

- Στην οικονομική αποδοτικότητα και ανταγωνιστικότητα των επιχειρησιακών μονάδων.
- Στη διατήρηση ή βελτίωση της ασφάλειας και ποιότητας ζωής, και της παροχής υπηρεσιών.

Κατάλληλα διαμορφωμένες μεθοδολογίες και εργαλεία για τη συλλογή, ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων μπορούν να συμβάλουν:

- Στη γνώση του ποσού, των περιοχών και της διαχρονικής εξέλιξης της ενεργειακής κατανάλωσης.
- Στην ιεράρχηση και αξιολόγηση των προτάσεων δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας.

Στο πλαίσιο αυτό, υπάρχει η ανάγκη για σύγχρονα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ), που θα επιτρέπουν τη διαφάνεια και την αυτοματοποίηση των διαδικασιών μέσα από έξυπνες Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ). Η σύγκλιση των ΤΠΕ και της ενέργειας είναι το «κλειδί» για την ανάπτυξη ολοκληρωμένων ΣΥΑ ενεργειακής διαχείρισης.

Σκοπός

Το βιβλίο «Διαχείριση Ενέργειας και Περιβαλλοντική Πολιτική» αποτελεί ένα ολοκληρωμένο επιστημονικό εγχειρίδιο για τα θέματα διαχείρισης ενέργειας και περιβαλλοντικής πολιτικής.

Έχει ως στόχο την ικανοποίηση της ανάγκης απόκτησης γνώσης σε μεθοδολογίες, τεχνικές και συστήματα διαχείρισης ενέργειας, η οποία επεκτείνεται συνεχώς σε διάφορους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας και εκτιμάται ότι θα αποτελέσει πρόσφορο πεδίο επιστημονικής έρευνας και επαγγελματικής ενασχόλησης.

Ταυτόχρονα, μέσα από το διαδικτυακό εργαλείο διαχείρισης ενέργειας σε κτήρια υποστηρίζεται η μεγαλύτερη εξοικείωση των αναγνωστών, και μέσα από τις πραγματικές μελέτες περίπτωσης διασφαλίζεται η διασύνδεση του θεωρητικού πλαισίου και των τεχνικών με τις εφαρμογές τους στο πραγματικό πεδίο.

Τέλος, οι ερωτήσεις αυτοαξιολόγησης στα επιμέρους Κεφάλαια του βιβλίου βοηθούν στον έλεγχο της κατανόησης και στην υπογράμμιση των βασικών σημείων της ανάλυσης.

Δομή Βιβλίου

Το βιβλίο αποτελείται από δέκα (10) Κεφάλαια, όπως απεικονίζονται στο Σχήμα 1.1. Πιο αναλυτικά, το περιεχόμενο καθενός από τα Κεφάλαια του Βιβλίου περιγράφεται συνοπτικά παρακάτω.

- Κεφάλαιο 1** Στο Κεφάλαιο 1, γίνεται παρουσίαση του φαινομένου του θερμοκηπίου και των αερίων που συντελούν σε αυτό, ενώ αναφέρονται συνοπτικά οι δυνατοί τρόποι αντιμετώπισής του. Επιπλέον, παρουσιάζεται το Πρωτόκολλο του Κιότο. Τέλος, παρουσιάζονται οι ευέλικτοι μηχανισμοί του Πρωτοκόλλου του Κιότο, καθώς και οι βασικές αρχές τη Συμφωνίας του Παρισιού.
- Κεφάλαιο 2** Στο Κεφάλαιο 2, αναλύονται οι έννοιες και οι αρχές της διαχείρισης πόρων. Ουσιαστικά, αναπτύσσεται η έννοια της διαχείρισης ενέργειας και προβάλλεται η

Κεφάλαιο 1	Κλιματική Αλλαγή & Δράση
Κεφάλαιο 2	Διαχείριση & Πόροι
Κεφάλαιο 3	Συλλογή και Επεξεργασία Δεδομένων
Κεφάλαιο 4	Ανάπτυξη Ισοζυγίων
Κεφάλαιο 5	Οικονομική Αξιολόγηση
Κεφάλαιο 6	Συστήματα M&T
Κεφάλαιο 7	Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας
Κεφάλαιο 8	Διαδικτυακό Εργαλείο Διαχείρισης Ενέργειας σε Κτηριακές Εγκαταστάσεις
Κεφάλαιο 9	Μελέτες Περιπτώσεων
Κεφάλαιο 10	Απαντήσεις

Σχήμα 1.1: Δομή του βιβλίου

αναγκαιότητά της, ενώ παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι εμπλεκόμενες δραστηριότητες σε αυτή τη διαδικασία.

- Κεφάλαιο 3** Στο Κεφάλαιο 3, παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία που ακολουθείται για τη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων, με απώτερο σκοπό τον προσδιορισμό των προτεινόμενων παρεμβάσεων προς υλοποίηση.
- Κεφάλαιο 4** Στο Κεφάλαιο 4, παρουσιάζονται παραδείγματα ισοζυγίου ενέργειας σε επιχειρησιακές μονάδες. Επιπλέον, παρουσιάζεται η μεθοδολογία ανάπτυξης ισοζυγίου για δήμους και περιφέρειες στο πλαίσιο της συμμετοχής τους στο Σύμφωνο των Δημάρχων, καθώς και σχετικό παράδειγμα εφαρμογής.
- Κεφάλαιο 5** Στο Κεφάλαιο 5, ορίζονται δείκτες για την οικονομική αξιολόγηση ενεργειακών επενδύσεων, καθώς και σύγχρονοι χρηματοδοτικοί μηχανισμοί.
- Κεφάλαιο 6** Στο Κεφάλαιο 6, παρατίθενται οι κυριότερες έννοιες και η μεθοδολογία των συστημάτων «Monitoring & Targeting (M&T)».
- Κεφάλαιο 7** Στο Κεφάλαιο 7, παρουσιάζονται οι βασικές αρχές των συστημάτων διαχείρισης ενέργειας.
- Κεφάλαιο 8** Στο Κεφάλαιο 8, παρουσιάζεται ένα διαδικτυακό εργαλείο για τον καθορισμό δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας στα κτήρια.
- Κεφάλαιο 9** Στο Κεφάλαιο 9, παρουσιάζονται ορισμένες μελέτες σχετικά με τη διαχείριση ενέργειας σε διάφορους τύπους κτηρίων και μια μελέτη περίπτωσης M&T.
- Κεφάλαιο 10** Στο Κεφάλαιο 10, παρατίθενται οι απαντήσεις των Ερωτήσεων Αυτοαξιολόγησης και των Ασκήσεων προς επίλυση που συνοδεύουν τα προηγούμενα Κεφάλαια του βιβλίου.

Ευχαριστίες

Εκφράζονται θερμότατες ευχαριστίες σε όλους τους ερευνητές του εργαστηρίου «Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης» της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την πολύτιμη συμβολή τους σε επιμέρους κεφάλαια του βιβλίου.

Κεφάλαιο 1

Κλιματική Αλλαγή & Δράση

1.1 Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Το Φυσικό Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Με τον όρο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου, περιγράφεται η διαδικασία κατά την οποία ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, το οποίο αντανακλάται από την επιφάνεια της Γης, αντανακλάται με τη σειρά του στην ατμόσφαιρα και επιστρέφει και πάλι προς τη Γη έτσι ώστε η θερμοκρασία της Γης να διατηρείται σε επίπεδα που επιτρέπουν τη δημιουργία και τη διατήρηση ζωής όπως τη γνωρίζουμε. Η μέση θερμοκρασία της Γης υπολογίζεται στους 15 °C· όμως, χωρίς την επίδραση του φαινομένου του θερμοκηπίου, θα έπεφτε στους -18 °C, θερμοκρασία που θα καθιστούσε την ανάπτυξη της ζωής, όπως τη γνωρίζουμε, πιθανόν απαγορευτική.

Επομένως, το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει ως αποτέλεσμα την επιθυμητή σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της Γης.

Λειτουργία Η διαδικασία του φαινομένου του θερμοκηπίου αναπαριστάται πλήρως στο Σχήμα 1.1.

Η ατμόσφαιρα που περιβάλλει τη Γη αποτελεί ένα τοίχωμα διαπερατό από τις ηλιακές ακτίνες. Το μεγαλύτερο μέρος της ορατής και υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας, το οποίο είτε δεν απορροφάται από την ατμόσφαιρα είτε δεν ανακλάται προς το διάστημα, κινείται διαμέσου των ατμοσφαιρικών στρωμάτων προς την επιφάνεια της Γης, προκαλώντας τη θέρμανσή της.



Πηγή: Landfill Leachate Discharge

Σχήμα 1.1: Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Περίπου το 70% από την παραπάνω, αρχικά απορροφηθείσα από την επιφάνεια της Γης, ενέργεια επανακτινοβολείται προς την ατμόσφαιρα με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας. Όμως, η ατμόσφαιρα δεν είναι πλήρως διαπερατή από την υπέρυθρη ακτινοβολία, κυρίως λόγω της περιεκτικότητάς της στα λεγόμενα αέρια του θερμοκηπίου, τα οποία δεσμεύουν το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας και το εκπέμπουν ξανά προς την επιφάνεια του εδάφους με αποτέλεσμα την περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας. Έτσι, παρ' όλο που η φωτεινή ηλιακή ακτινοβολία με μικρά μήκη κύματος μεταφέρεται, μέσω της ατμόσφαιρας, από το διάστημα προς την επιφάνεια του εδάφους, το μεγαλύτερο τμήμα της εκπεμπόμενης από το έδαφος ακτινοβολίας, μεγάλου όμως μήκους κύματος, παγιδεύεται από την ατμόσφαιρα και δεν μπορεί να διαφύγει στο διάστημα.

Η αρνητική σημασία Το φαινόμενο του θερμοκηπίου άρχισε να αποκτά αρνητική σημασία όταν ξεπέρασε τα όρια του φυσικού φαινομένου και διαπιστώθηκε η διόγκωσή του εξαιτίας των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Συγκεκριμένα, πρώτος ο Σουηδός χημικός S. Arrhenius το 1896 παρατήρησε κάποια σχέση ανάμεσα στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Ποικίλες ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως κυρίως η χρήση ορυκτών καυσίμων, η εκτεταμένη αποψίλωση (π.χ. υλοτομία), η υπερβολική κατανάλωση κρέατος (εκπομπές από βοοειδή) κτλ., προκαλούν αύξηση της περιεκτικότητας των αερίων αυτών στην ατμόσφαιρα σε επίπεδα πάνω από τα φυσιολογικά, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την όξυνση του φαινομένου.

1.2 Επιπτώσεις

Οικοσύστημα Το φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει άμεσο αντίκτυπο στην ομαλή λειτουργία του παγκόσμιου οικοσυστήματος και, κατ' επέκταση, των οργανωμένων ανθρώπινων κοινωνιών. Ως κυριότερες επιπτώσεις, οι οποίες συνδέονται άμεσα μεταξύ τους, μπορούν να αναφερθούν:

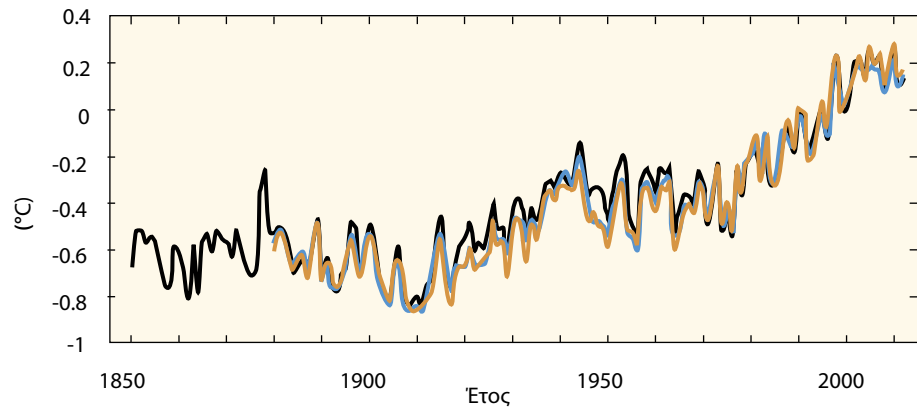
- Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης.
- Το λιώσιμο των πάγων στους πόλους της Γης.
- Η αύξηση της στάθμης της θάλασσας.

Αυτές οι τρεις επιστημονικές παρατηρήσεις συνιστούν και την αιχμή του δόρατος της επιστήμης της κλιματικής αλλαγής και οδηγούν πάνω από το 97% των επιστημονικών δημοσιεύσεων να συμφωνούν σε δυο βασικά συμπεράσματα:

1. Η κλιματική αλλαγή συμβαίνει τώρα.
2. Για αυτό ευθύνονται οι ανθρώπινες δραστηριότητες.

Μάλιστα, για τα εναπομείναντα λίγα άρθρα που καταλήγουν σε διαφορετικά συμπεράσματα (~3% της επιστημονικής βιβλιογραφίας) έχει εκ των υστέρων αποδειχθεί ότι οι υποθέσεις, η μεθοδολογία ή/και η ανάλυσή τους περιλάμβαναν λάθη που, αν διορθωθούν, οδηγούν στο ίδιο συμπέρασμα: η ανθρώπινη δραστηριότητα είναι η αιτία της κλιματικής κρίσης.

Εξέλιξη Μέσης Θερμοκρασίας Στο Σχήμα 1.2, απεικονίζεται η διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας της Γης. Οι εκτιμήσεις κάνουν λόγο για σημαντική άνοδο της θερμοκρασίας της Γης μέσα στα επόμενα 100 χρόνια.



Πηγή: IPCC [1], 2014

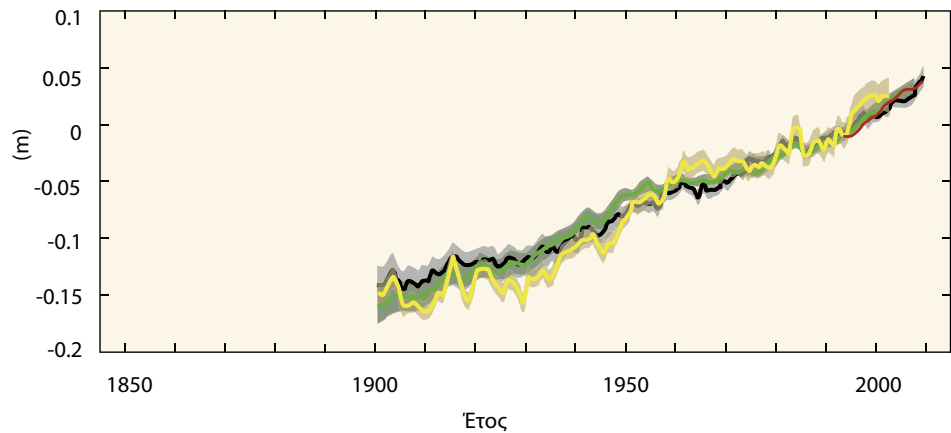
Σχήμα 1.2: Εξέλιξη της μέσης θερμοκρασίας της Γης

Επισημαίνονται οι ακόλουθες τάσεις αναφορικά με τις παρατηρούμενες αλλαγές στη θερμοκρασία και τις μεταβολές στα μετεωρολογικά σχήματα, σε παγκόσμια κλίμακα [1]:

- Η μέση παγκόσμια θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης προβλέπεται να αυξηθεί από 1,4 έως 5,8 °C κατά τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα, τη στιγμή που από το 1861 ως τα τέλη του 20^{ου} αιώνα αυξήθηκε μόλις κατά 0,6°C. Το φαινόμενο αυτό είναι εντονότερο στη βορειότερη άκρη της Ανταρκτικής, ακριβώς νότια της Χιλής και της Αργεντινής. Οι θερμοκρασίες στην περιοχή αυτή έχουν αυξηθεί κατά 2,5 °C στα προηγούμενα 60 χρόνια, γρηγορότερα από οποιαδήποτε άλλη περιοχή στον κόσμο.
- Η δεκαετία του 1990 ήταν η θερμότερη δεκαετία και το 1998 το θερμότερο έτος από τότε που ξεκίνησε η οργανωμένη καταγραφή των μετρήσεων της μέσης θερμοκρασίας της Γης στα μέσα του 19^{ου} αιώνα. Πιθανολογείται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα ήταν η μεγαλύτερη από οποιονδήποτε άλλον αιώνα της περασμένης χιλιετίας.
- Τέλος επισημαίνεται πως αν συνεχίσουμε ακολουθώντας τη σημερινή πορεία η οποία έχει προδιαγραφεί με τις έως σήμερα δεσμεύσεις των χωρών για μείωση ή συγκράτηση της ανόδου των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, η άνοδος της θερμοκρασίας στο τέλος του αιώνα θα είναι μεταξύ 3-4 °C [2].

Λιώσιμο Πάγων Μια δεύτερη, εξίσου σημαντική επίπτωση του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι το λιώσιμο των πάγων στις πολικές και ορεινές περιοχές της υδρογείου. Οι περιοχές που πλήττονται περισσότερο από το λιώσιμο των πάγων είναι η Αρκτική, η Ανταρκτική, η Γροιλανδία, καθώς και οι οροσειρές των Άλπεων, των Άνδεων και των Ιμαλαΐων. Η αρνητική αυτή συνέπεια καθίσταται ιδιαίτερα ανησυχητική στην περίπτωση της Ανταρκτικής, όπου το ποσοστό της επιφάνειας της ηπείρου, το οποίο καλύπτεται από πάγο, ελαττώνεται διαρκώς. Αντίστοιχα φαινόμενα παρατηρούνται και στον Βόρειο Πόλο, όπου οι πάγοι στη νοτιοανατολική πλευρά της Γροιλανδίας λεπταίνουν με ρυθμό μεγαλύτερο από 90 cm το χρόνο.

Επιπροσθέτως, η επικάλυψη των ηπειρωτικών περιοχών με χιόνι έχει ελαττωθεί κατά 10% από το 1960, καθώς και η έκταση των θαλάσσιων πάγων έχει μειωθεί κατά 40% τις τελευταίες δεκαετίες. Η πιο πρόσφατη περίπτωση που



Πηγή: IPCC, 2014

Σχήμα 1.3: Μέση παγκόσμια μεταβολή του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας

έχει αναφερθεί και συνδέεται με το λιώσιμο των πάγων αφορά ένα γιγαντιαίο παγόβουνο της Ανταρκτικής συνολικής επιφάνειας 11.000 τετραγωνικών χιλιομέτρων το οποίο έχει αποκολληθεί από την ήπειρο [3]. Το ερώτημα που παραμένει και απασχολεί τους επιστήμονες είναι κατά πόσο το διαπιστωμένο λιώσιμο των πάγων μπορεί να προκαλέσει αλυσιδωτές αντιδράσεις με απρόβλεπτες συνέπειες στο παγκόσμιο οικοσύστημα.

Αύξηση Στάθμης της Θάλασσας

Μια τρίτη σοβαρή συνέπεια της υπερθέρμανσης του πλανήτη είναι η άνοδος της στάθμης των θαλασσών (Σχήμα 1.3).

Στο Σχήμα 1.4, απεικονίζονται οι προβλέψεις για την παγκόσμια αύξηση της θαλάσσιας στάθμης κατά τον 21^ο αιώνα. Οι εκτιμήσεις αναφέρουν ότι η μέση στάθμη της θάλασσας θα ανέβει από 0,09 έως 0,88 μέτρα σε παγκόσμια κλίμακα, μεταξύ των ετών 1990 και 2100. Οι πιο αισιόδοξες προβλέψεις αντιστοιχούν σε επικείμενη άνοδο της μέσης θερμοκρασίας της Γης κατά 1,5 °C, οι πιο απαισιόδοξες σε αύξηση 4,5 °C και οι μετριοπαθέστερες σε αύξηση 2,5 °C. Κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα άλλωστε, υπήρξε μια άνοδος της θαλάσσιας στάθμης της τάξης των 0,1 με 0,2 μέτρων, με αποτέλεσμα να αφανίζονται καλλιεργήσιμες εκτάσεις, κυρίως κοντά στα δέλτα των ποταμών, και να απειλούνται κατοικημένες περιοχές από πλημμύρες [4].

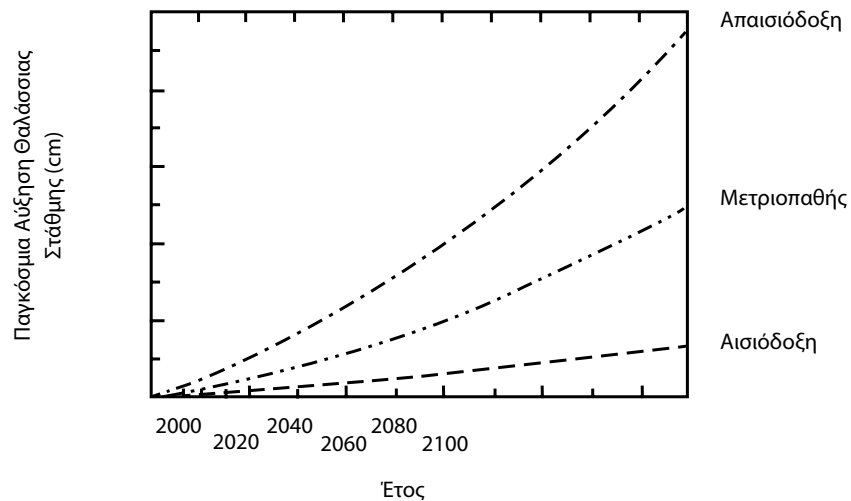
Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι τα νησάκια (ατόλες) του Ειρηνικού ήδη εγκαταλείπονται από τους κατοίκους τους λόγω της ανόδου της στάθμης των θαλασσών [5].

Πρέπει να τονιστεί ότι η μέχρι σήμερα καταγραφείσα άνοδος της στάθμης των θαλασσών οφείλεται στη θερμική διαστολή από την άνοδο της θερμοκρασίας των ωκεανών (θερμαίνονται κατά διπλάσιο ρυθμό από ό,τι η επιφάνεια της Γης) και όχι από το λιώσιμο του επιπλέοντος στη θάλασσα πάγου.

Αν η συνεχιζόμενη άνοδος της θερμοκρασίας οδηγήσει σε λιώσιμο παγετώνων που βρίσκονται επί στεριάς (Γροιλανδία), οι εκτιμήσεις ανόδου της στάθμης των θαλασσών είναι τρομακτικές. Για παράδειγμα η εκτίμηση ανόδου της στάθμης των θαλασσών στην περίπτωση που θα λιώσει ο παγετώνας της Γροιλανδίας είναι 7 μέτρα [6].

Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω, καθίσταται σαφές ότι οι μεταβολές που παρατηρούνται στο περιβάλλον και οφείλονται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και οδήγησαν



Πηγή: Geofizika

Σχήμα 1.4: Προβλέψεις αύξησης της θαλάσσιας στάθμης

στην κλιματική κρίση που βιώνουμε είναι τόσο έντονες, που είναι αδύνατον να αφήσουν ανεπηρέαστες τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Συγκεκριμένα, ακραία και απρόβλεπτα καιρικά φαινόμενα πλήττουν όλο και συχνότερα ανεπτυγμένες αλλά και αναπτυσσόμενες χώρες, με αποτέλεσμα να απειλείται η ισορροπία του οικοσυστήματος.

Οι παραδοσιακές γεωργοκτηνοτροφικές μέθοδοι επηρεάζονται από τις σαρωτικές αλλαγές στο κλίμα του πλανήτη. Επιπλέον, η προσπάθεια μετεωρολογικών προβλέψεων καθίσταται όλο και δυσχερέστερη και η ανακατανομή των υδάτων δημιουργεί προβλήματα ύδρευσης ή ακόμα και πρόσβασης σε πόσιμο νερό.

1.3 Αέρια του Θερμοκηπίου

Τύποι Αερίων

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, που περιγράφηκε προηγουμένως, οφείλεται στην ύπαρξη των λεγόμενων αερίων του θερμοκηπίου (ΑΦΘ ή GHGs). Τα αέρια είναι υπεύθυνα για τη δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης και δεν της επιτρέπουν να ακτινοβολείται πίσω στο διάστημα με αποτέλεσμα τη θέρμανση του πλανήτη.

Τα GHGs είναι τα εξής:

- CO_2 : Διοξείδιο του άνθρακα.
- CH_4 : Μεθάνιο.
- N_2O : Υποξείδιο του αζώτου.
- HFCs: Υδρογονοφθοράνθρακες.
- PFCs: Υπερφθοράνθρακες.
- SF_6 : Εξαφθοριούχο θείο.

Τα αέρια αυτά υπάρχουν από τη φύση στην ατμόσφαιρα και στη σωστή αναλογία, με αποτέλεσμα η ανταλλαγή θερμότητας με το διάστημα να γίνεται με ισορροπημένο τρόπο. Διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες προκαλούν την αύξηση της συγκέντρωσής τους σε επίπεδα πάνω από τα φυσιολογικά, με αποτέλεσμα να εντείνεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Να επισημανθεί ότι και

οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, καθώς όμως η συγκέντρωσή τους δεν επηρεάζεται από τις ανθρώπινες παρεμβάσεις, δεν κρίνεται αναγκαία η περαιτέρω ανάλυσή τους.

Σημαντική παράμετρος για την επικινδυνότητα των GHGs, πέρα από τη συγκέντρωσή τους στην ατμόσφαιρα, είναι και ο βαθμός δραστηριότητάς τους, δηλαδή το δυναμικό τους να ενισχύσουν τη διαδικασία θέρμανσης του πλανήτη, σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα.

Το μεθάνιο για παράδειγμα είναι περίπου 30 φορές πιο δραστικό από το διοξείδιο, ενώ το υποξείδιο του αζώτου 280 φορές περίπου [7].

Όσο οι συγκεντρώσεις τους διατηρούνται σε πολύ χαμηλά επίπεδα, αυτό παραμένει μια επιστημονική παρατήρηση.

Υπάρχουν όμως ταμειυτήρες μεθανίου στον πυθμένα των ωκεανών, όπως και αυξημένη έκλυση μεθανίου από το λιώσιμο του permafrost (μονίμως παγωμένο έδαφος που η θερμοκρασία του πρέπει να βρίσκεται κάτω των 0 °C συνεχόμενα για δύο ή περισσότερα χρόνια [8]) σε περιοχές της Αρκτικής που προκαλούν ανησυχία [9].

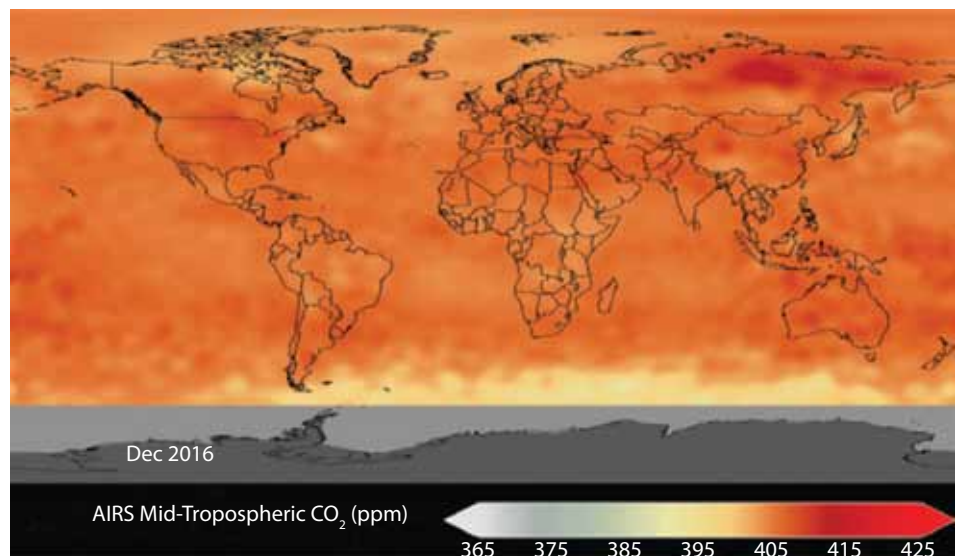
Τα έξι GHGs έχουν πολύ σημαντική επίδραση στη διαμόρφωση του κλίματος της Γης, αν και αντιπροσωπεύουν ποσοστό μικρότερο από 1% της συνολικής ατμοσφαιρικής σύνθεσης.

Συγκεντρώσεις Αερίων στην Ατμόσφαιρα

Στο Σχήμα 1.5, απεικονίζεται ένας δορυφορικός χάρτης όσον αφορά τις συγκεντρώσεις CO₂ στην ατμόσφαιρα του πλανήτη.

Η περιεκτικότητα των αερίων στην ατμόσφαιρα αυξάνεται διαρκώς εξαιτίας των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, κάτι που φαίνεται και από την παρατήρηση του Σχήματος 1.6, στο οποίο απεικονίζεται η εξέλιξη των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του άνθρακα, του μεθανίου και του υποξειδίου του αζώτου, κατά τα τελευταία 170 χρόνια.

Σημειώνεται πως ακόμη και το 2018, με το θέμα οξυμμένο όσο ποτέ, καταγράφηκε άνοδος εκπομπών κατά 2,7% [10-11].



Πηγή: NASA, Δεκέμβριος, 2016

Σχήμα 1.5: Συγκέντρωση CO₂ (σε ppm) στην ατμόσφαιρα