



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ, ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΩΝ & ΔΙΕΘΝΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ**

---

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**«ΒΙΟΟΙΚΟΝΟΜΙΑ,**  
**ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ & ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ»**

**ΟΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΩΣ ΛΥΣΗ**  
**ΜΕΤΡΙΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ: Η**  
**ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

**ΣΥΜΕΩΝ ΜΠΕΚΑΣ**

Πειραιάς, Μάρτιος, 2023



**UNIVERSITY OF PIRAEUS**  
**SCHOOL OF ECONOMICS, BUSINESS & INTERNATIONAL STUDIES**  
**DEPARTMENT OF ECONOMICS**

---

**MSC. IN BIOECONOMY, CIRCULAR ECONOMY &  
SUSTAINABLE DEVELOPMENT**

**THE RENEWABLE ENERGY SOURCES AS A  
MITIGATING SOLUTION TO CLIMATE CHANGE:  
THE CONTRIBUTION OF WIND ENERGY**

**SYMEON BEKAS**

Piraeus, Greece, March, 2023

# Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ως Λύση Μετριασμού της Κλιματικής Αλλαγής: Η Συνεισφορά της Αιολικής Ενέργειας

**Σημαντικοί Όροι:** [Κλιματική Αλλαγή, Εκπομπές Αερίων του Θερμοκηπίου, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Αιολική Ενέργεια, Αιολικό Πάρκο]

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την συνεισφορά της αιολικής ενέργειας στον μετριασμό του προβλήματος της υπερθέρμανσης του πλανήτη και κατ' επέκταση, της κλιματικής αλλαγής. Προκειμένου να αναγνωρίσουμε την ανάγκη αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας, όπως και των υπόλοιπων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), θα πρέπει πρώτα να κατανοήσουμε τις διαστάσεις του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής. Για τον σκοπό αυτό, στο πρώτο κεφάλαιο αναπτύσσονται τόσο τα ανθρωπογενή αίτια που συμβάλουν στο πρόβλημα, όσο και οι επιπτώσεις που αναμένονται αν δεν ληφθούν έγκαιρα τα κατάλληλα μέτρα. Η συνειδητοποίηση του μεγέθους των μελλοντικών επιπτώσεων από την κλιματική αλλαγή, συμβάλει μάλιστα και στην αναγνώριση της ανάγκης για συμμόρφωση με την περιβαλλοντική νομοθεσία που έχει θεσπιστεί για αυτό τον λόγο από τον ΟΗΕ και την Ευρωπαϊκή Ένωση. Επιπλέον, μέσα από την διερεύνηση της ενεργειακής πολιτικής της ΕΕ, γίνεται αντιληπτός και ο λόγος που η Ελλάδα και οι υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες προωθούν σε τέτοιο βαθμό την αιολική ενέργεια στα πλαίσια των Εθνικών Σχεδίων για την Ενέργεια και το Κλίμα. Για αυτόν τον σκοπό, στο δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνονται οι κυριότερες διεθνείς συμφωνίες και οι βασικοί στόχοι που έχουν τεθεί για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, ενώ στο τρίτο κεφάλαιο αναπτύσσεται η στρατηγική ενεργειακής μετάβασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης προς τις ΑΠΕ, για την επίτευξη των παραπάνω στόχων. Ακολουθεί μια βασική αναφορά στα υπάρχοντα είδη ΑΠΕ και στα χαρακτηριστικά τους, ενώ στο τελευταίο κεφάλαιο αναπτύσσονται οι λόγοι για τους οποίους η αιολική ενέργεια έχει επικρατήσει στην ευρωπαϊκή και στην ελληνική αγορά. Τέλος, αναλύονται οι βασικές αιτίες που έχουν οδηγήσει στην μειωμένη κοινωνική αποδοχή της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα και προτείνονται κάποιες λύσεις για την διευθέτηση του ζητήματος.

# **The Renewable Energy Sources as a Mitigating Solution to Climate Change: The Contribution of Wind Energy**

**Keywords:** [Climate Change, Greenhouse Gas Emissions, Renewable Energy Sources, Wind Energy, Wind Farm]

## **Abstract**

The thesis deals with the contribution of wind energy to mitigating the issue of global warming and, by extension, the issue of climate change. In order to recognize the need of utilizing wind energy, as well as other renewable energy sources (RES), we must first understand the dimensions of climate change. For this purpose, the first chapter investigates the anthropogenic causes that contribute to the problem, as well as the effects that are expected if appropriate measures are not taken in time. Realizing the magnitude of the future effects of climate change, also contributes to the recognition of the need to comply with the environmental legislation that has been established for this reason by the UN and the European Union. In addition, through the analysis of the EU energy policy, we can understand the reason why Greece and the rest of the EU countries promote wind energy to such an extent within the framework of the Agenda 2030. For this purpose, the second chapter includes the main international treaties, as well as the main goals that have been set for dealing with climate change, while the third chapter develops the European Union's energy transition strategy towards RES. for the achievement of those objectives. Afterwards, a basic reference to the existing types of RES and their characteristics follows, while the last chapter cites the reasons why wind energy has prevailed in the European and the Greek market. Finally, the main causes that have led to the reduced social acceptance of wind energy in Greece are analyzed and some solutions are proposed to resolve the issue.

## Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	1
Ερευνητικές Ερωτήσεις.....	1
Μεθοδολογία Έρευνας – Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής .....	2
1.1. Ορισμός φαινομένου .....	3
1.2. Στοιχεία – Αποδείξεις : Οι δείκτες της κλιματικής αλλαγής.....	3
1.2.1. Αύξηση των τιμών διοξειδίου του άνθρακα (CO <sub>2</sub> ) στην ατμόσφαιρα .....	4
1.2.2. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου .....	7
1.2.3. Άνοδος της παγκόσμιας θερμοκρασίας (Global Warming) .....	11
1.2.4. Αύξηση της θερμοκρασίας και της οξύτητας των ωκεανών .....	13
1.2.5. Μείωση της χιονοκάλυψης.....	16
1.2.6. Μείωση της μάζας των πάγων.....	17
1.2.7. Άνοδος της στάθμης της θάλασσας.....	21
1.3. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής .....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Πολιτικές για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.....	27
2.1. Η Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή.....	27
2.2. Το Πρωτόκολλο του Κιότο.....	27
2.3. Η Συμφωνία του Παρισιού .....	29
2.4. Ο ρόλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	33
2.4.1. Η Ευρωπαϊκή «Πράσινη Συμφωνία» (Green Deal) .....	34
2.4.2. Το Ευρωπαϊκό Πλαίσιο για το Κλίμα και την Ενέργεια (Agenda 2030) .....	35
2.4.3. Το Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών Ρύπων (EU ETS) .....	35
2.4.4. Εθνικά Σχέδια για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) .....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η ενεργειακή μετάβαση της ΕΕ : Προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) ως λύση μετριασμού της κλιματικής αλλαγής.....	38

3.1.	Η εφαρμογή του Green Deal στον τομέα της ενέργειας.....	38
3.2.	Τα είδη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ).....	39
3.3.	Αιολική Ενέργεια .....	40
3.4.	Ηλιακή Ενέργεια .....	41
3.5.	Υδροηλεκτρική Ενέργεια .....	43
3.6.	Γεωθερμική Ενέργεια.....	45
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η Συνεισφορά της Αιολικής Ενέργειας .....	46
4.1.	Βασικές έννοιες αιολικής ενέργειας.....	46
4.2.	Ιστορική Αναδρομή .....	47
4.3.	Δομή και τρόπος λειτουργίας ανεμογεννήτριας.....	48
4.4.	Δομή και κατηγορίες αιολικών πάρκων .....	51
4.5.	Η ευρωπαϊκή αγορά αιολικής ενέργειας.....	54
4.6.	Η ελληνική αγορά αιολικής ενέργειας .....	55
4.7.	Τα πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας .....	58
4.8.	Τα μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας .....	60
4.9.	Η κοινωνική αποδοχή της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα .....	63
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συμπεράσματα .....	66
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Βιβλιογραφία .....	68

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Σύγκριση ιστορικών επιπέδων CO <sub>2</sub> σε σχέση με σήμερα, όπως ανακατασκευάστηκαν από πυρήνες πάγου (πηγή: NASA).....	5
Εικόνα 2: Επίπεδα ατμοσφαιρικού CO <sub>2</sub> που μετρήθηκαν στο παρατηρητήριο Mauna Loa από το 1960 (πηγή: NOAA).....	6
Εικόνα 3: Απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου (πηγή: IPCC).....	8
Εικόνα 4: Πυρήνας πάγου - Δακτύλιοι ανάπτυξης κορμών (πηγή: NASA Goddard Space Flight Center).....	12
Εικόνα 5: Παγκόσμιος μέσος όρος θερμοκρασιών επιφάνειας σε σχέση με την προβιομηχανική περίοδο από 3 διαφορετικές καταγραφές (πηγή: European Environment Agency) .....	12
Εικόνα 6: Αλλαγές στο θερμικό περιεχόμενο των ωκεανών από το 1955 (πηγή: NOAA) .....	14
Εικόνα 7: Κομμάτια πάγου υποχωρούν καθώς οι παγετώνες της Αρκτικής λιώνουν (πηγή: National Geographic) .....	17
Εικόνα 8: Η μεταβολή της μάζας των πάγων της Ανταρκτικής από το 2002 (πηγή: NASA) ...	18
Εικόνα 9: Η μεταβολή της μάζας των πάγων της Γροιλανδίας από το 2002 (πηγή: NASA) ..	18
Εικόνα 10: Η εκτιμώμενη συνολική απώλεια ηπειρωτικών παγετώνων αγγίζει τους 400 τόνους ετησίως από το 1994 (πηγή: NASA).....	20
Εικόνα 11: Δορυφορικά δεδομένα που απεικονίζουν την μείωση της ετήσιας ελάχιστης έκτασης του αρκτικού θαλάσσιου πάγου (πηγή: NASA) .....	21
Εικόνα 12: Η άνοδος της παγκόσμιας μέσης στάθμης της θάλασσας κατά τον τελευταίο αιώνα (πηγή: NASA) .....	22
Εικόνα 13: Δείγμα κοραλίου πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την αντίδραση της λεύκανσης από CO <sub>2</sub> (πηγή: American Chemical Society) .....	26
Εικόνα 14: Οι χώρες που συμμετέχουν στην Συμφωνία του Παρισιού (πηγή: UNFCCC).....	31
Εικόνα 15: Το ευρωπαϊκό Green Deal (πηγή: Europa.EU).....	35
Εικόνα 16: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στο ETS (2005-2018) (πηγή: European Environment Agency) .....	36
Εικόνα 17: Φωτοβολταϊκό πάρκο (πηγή: cleanpower.org).....	42
Εικόνα 18: Υδροηλεκτρικός σταθμός μεγάλης κλίμακας (πηγή: IRENA).....	44
Εικόνα 19: Τα τμήματα μιας σύγχρονης ανεμογεννήτριας (πηγή: WindEurope).....	49

Εικόνα 20: Το υπεράκτιο αιολικό πάρκο Middelgrunden στην Δανία (πηγή: Windpower Monthly).....	53
Εικόνα 21: Συνολική δυναμικότητα σε GW αιολικής ενέργειας (χερσαία και υπεράκτια) ανά χώρα της Ε.Ε. το 2020 (πηγή: WindEurope) .....	54
Εικόνα 22: Η αύξηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος στην Ελλάδα κατά τη περίοδο 1999-2022 (πηγή: ΕΛΕΤΑΕΝ).....	56
Εικόνα 23: Χωρική κατανομή αιολικής δυναμικότητας (πηγή: ΕΛΕΤΑΕΝ).....	57
Εικόνα 24: Κατασκευή βάσης ανεμογεννήτριας στα Άγραφα (πηγή: περιοδικό Ανεβαίνοντας) .....	62
Εικόνα 25: Διαμαρτυρία πολιτών κατά της εγκατάστασης αιολικών πάρκων στην Τήνο (πηγή: Efsyn) .....	65



## **Εισαγωγή**

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάδειξη των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών πτυχών της αιολικής ενέργειας, ως λύσης αντιστάθμισης της κλιματικής αλλαγής. Η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας, όπως και των υπόλοιπων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συνάδει με τον 7ο στόχο βιώσιμης ανάπτυξης του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών, ο οποίος αφορά την εξασφάλιση πρόσβασης σε οικονομικά προσιτή, αξιόπιστη και βιώσιμη ενέργεια για όλους.

Το συγκεκριμένο θέμα επιλέχθηκε με κριτήριο την βαθύτερη κατανόηση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής, που βάσει της διεθνούς επιστημονικής κοινότητας, αναμένεται να αποτελέσει μια από τις κυριότερες προκλήσεις για την ανθρωπότητα κατά τις επόμενες δεκαετίες. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η επίδρασή του φαινομένου στο περιβάλλον, την κοινωνία αλλά και την οικονομία, μέσα από τον τρόπο με τον οποίο αυτό διαμορφώνει την υιοθέτηση διεθνούς πολιτικής για την αντιμετώπισή του.

Η εργασία εστιάζει στην αιολική ενέργεια διότι πρώτον, αυτή την στιγμή αποτελεί την πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας, κατέχοντας το μεγαλύτερο μερίδιο στο ενεργειακό μείγμα τόσο της Ελλάδας, όσο και των υπόλοιπων χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης και δεύτερον, διότι ο τρόπος εφαρμογής της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα έχει αποτελέσει αιτία διχασμού της ελληνικής κοινωνίας γύρω από το θέμα της περιβαλλοντικής συνεισφοράς των «πράσινων» επενδύσεων. Συνεπώς, η εργασία επιπλέον στοχεύει στην διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν αρνητικά την κοινή γνώμη και στην εξεύρεση μιας χρυσής τομής μεταξύ του οικονομικού οφέλους από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας και του περιβαλλοντικού και κοινωνικού κόστους από την εφαρμογή της.

## **Ερευνητικές Ερωτήσεις**

Η διπλωματική εργασία θα προσπαθήσει να απαντήσει σε ορισμένα ερωτήματα σχετικά με την ύπαρξη και την σημασία του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής, καθώς και το βαθμό συνεισφοράς της αιολικής ενέργειας στον μετριασμό της. Τα ερωτήματα αυτά είναι τα ακόλουθα:

- Κατά πόσο το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής αποτελεί θεωρία ή γεγονός

- Αν η κλιματική αλλαγή αποτελεί γεγονός, πώς αποδεικνύεται, ποιες είναι οι αιτίες και οι επιπτώσεις της, καθώς και ποια μέτρα θα πρέπει να ληφθούν για την αντιμετώπισή της σε διεθνές επίπεδο
- Πώς οι πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης συμβάλουν στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Ποια είναι η περιβαλλοντική, οικονομική και κοινωνική συνεισφορά της αιολικής ενέργειας
- Ποιες πρακτικές επηρεάζουν την κοινωνική αποδοχή της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα

## **Μεθοδολογία Έρευνας – Βιβλιογραφική Ανασκόπηση**

Η εργασία προσπαθεί μεθοδολογικά να μεταβεί από ένα γενικό επίπεδο σε ένα ειδικό, με γνώμονα την απάντηση των ερευνητικών ερωτήσεων και τον εντοπισμό της αιτίας του προβλήματος, όπως και των κατάλληλων λύσεων. Η προσέγγιση του θέματος πραγματοποιήθηκε μέσω της αξιοποίησης δευτερογενών δεδομένων, τα οποία συλλέχθηκαν μέσω βιβλιογραφικής και διαδικτυακής έρευνας. Τέλος, τα δεδομένα αντλήθηκαν από δημοσιευμένες πηγές επιστημονικών και πολιτικών φορέων, όπως και από μελέτες εμπειρογνομόνων.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής**

Προκειμένου να κατανοήσουμε επαρκώς το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής, πρέπει πρώτα να έχουμε μια σαφή εικόνα της έννοιας του κλίματος. Με τον όρο κλίμα, αναφερόμαστε στα τοπικά ή παγκόσμια μέσα επίπεδα θερμοκρασίας, υγρασίας, ανέμων και βροχοπτώσεων σε βάθος χρόνου, δηλαδή μεταξύ εποχών, ετών ή δεκαετιών, τα οποία είναι σχετικά προβλεπόμενα λόγω ύπαρξης περιοδικότητας στο μοτίβο εμφάνισής τους. Συνεπώς το κλίμα διαφέρει από τον καιρό, καθώς αφορά τις μεταβολές των καιρικών φαινομένων σε πιο μακροπρόθεσμα χρονικά πλαίσια και διαμορφώνεται από τόπο σε τόπο βάσει φυσικών παραγόντων όπως το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο, την ατμοσφαιρική πίεση και τους ανέμους καθώς και το ανάγλυφο του εδάφους και την κατανομή της επιφάνειας της γης σε ξηρά και θάλασσα.

## **1.1. Ορισμός φαινομένου**

Δεδομένου ότι οι όροι «κλιματική αλλαγή» (climate change) και «υπερθέρμανση του πλανήτη» (global warming) χρησιμοποιούνται συχνά λανθασμένα ως ταυτόσημοι, θα πρέπει αρχικά να διευκρινιστεί πως η υπερθέρμανση του πλανήτη αποτελεί μόνο μία πτυχή του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής και αναφέρεται στη μακροπρόθεσμη αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας.

Σύμφωνα με τον ορισμό λοιπόν που δόθηκε από τη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών, ως κλιματική αλλαγή ορίζεται το φαινόμενο μιας ευρείας κλίμακας, μακροπρόθεσμης μεταβολής στα πρότυπα των καιρικών συνθηκών και των μέσων θερμοκρασιών στον πλανήτη.

Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια της ιστορίας της Γης, το κλίμα της έχει αλλάξει αρκετές φορές λόγω φυσικών παραγόντων. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια των τελευταίων 800.000 χρόνων, ο πλανήτης βίωσε τέσσερις εποχές των παγετώνων, με την τελευταία να υποχωρεί περίπου 11.700 χρόνια πριν, σηματοδοτώντας την αρχή της νέας κλιματικής εποχής και την γέννηση του ανθρώπινου πολιτισμού. Οι παραπάνω αλλαγές του κλίματος αποδίδονται κυρίως σε μικρές μεταβολές στην κλίση της τροχιάς της Γης γύρω από τον ήλιο, οι οποίες είχαν ως συνέπεια τη μείωση της ηλιακής ενέργειας που δεχόταν ο πλανήτης.

Ωστόσο, σύμφωνα με διακεκριμένους επιστημονικούς φορείς ανά τον κόσμο, η τρέχουσα μορφή κλιματικής αλλαγής αποδίδεται κατά κύριο λόγο στην ανθρώπινη δραστηριότητα, η οποία με τις ενέργειές τις συμβάλει στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου και κατ' επέκταση, στην υπερθέρμανση του πλανήτη που εν τέλει προκαλεί την κλιματική αλλαγή.

## **1.2. Στοιχεία – Αποδείξεις : Οι δείκτες της κλιματικής αλλαγής**

Οι δορυφόροι σε τροχιά γύρω από τη Γη καθώς και άλλες τεχνολογικές εξελίξεις, επέτρεψαν τις τελευταίες δεκαετίες στην επιστημονική κοινότητα να δει την ευρύτερη εικόνα, συλλέγοντας διάφορα είδη δεδομένων για τον πλανήτη και το κλιματικό του σύστημα σε παγκόσμια κλίμακα. Το σύνολο των δεδομένων που συλλέχθηκε στο βάθος πολλών ετών, αποκαλύπτει ξεκάθαρα τις ενδείξεις ενός μεταβαλλόμενου κλίματος. Σύμφωνα με την Διακυβερνητική Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), «από το 1970 όπου και ξεκίνησαν οι συστηματικές επιστημονικές εκτιμήσεις, η επίδραση της ανθρώπινης δραστηριότητας στην θέρμανση του κλιματικού συστήματος έχει εξελιχθεί

πλέον από θεωρία σε εδραιωμένο γεγονός. Τα επιστημονικά στοιχεία που το επιβεβαιώνουν είναι αδιαμφισβήτητα».

Για τον προσδιορισμό της κλιματικής αλλαγής, οι κλιματολόγοι καθώς και άλλοι εμπλεκόμενοι επιστήμονες χρησιμοποιούν ορισμένους δείκτες, οι οποίοι λειτουργούν ως ένα σύνολο παραμέτρων που περιγράφουν το μεταβαλλόμενο κλίμα χωρίς να περιορίζουν την κλιματική αλλαγή μόνο στη θερμοκρασία. Περιλαμβάνουν βασικές πληροφορίες για τους κύριους τομείς της κλιματικής αλλαγής, όπως η ατμοσφαιρική σύνθεση και η συγκέντρωση αερίων του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία του αέρα και των ωκεανών, η στάθμη του επιπέδου της θάλασσας, καθώς και το λιώσιμο των πάγων. Οι βασικότεροι από αυτούς τους δείκτες αναλύονται παρακάτω.

### **1.2.1. Αύξηση των τιμών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) στην ατμόσφαιρα**

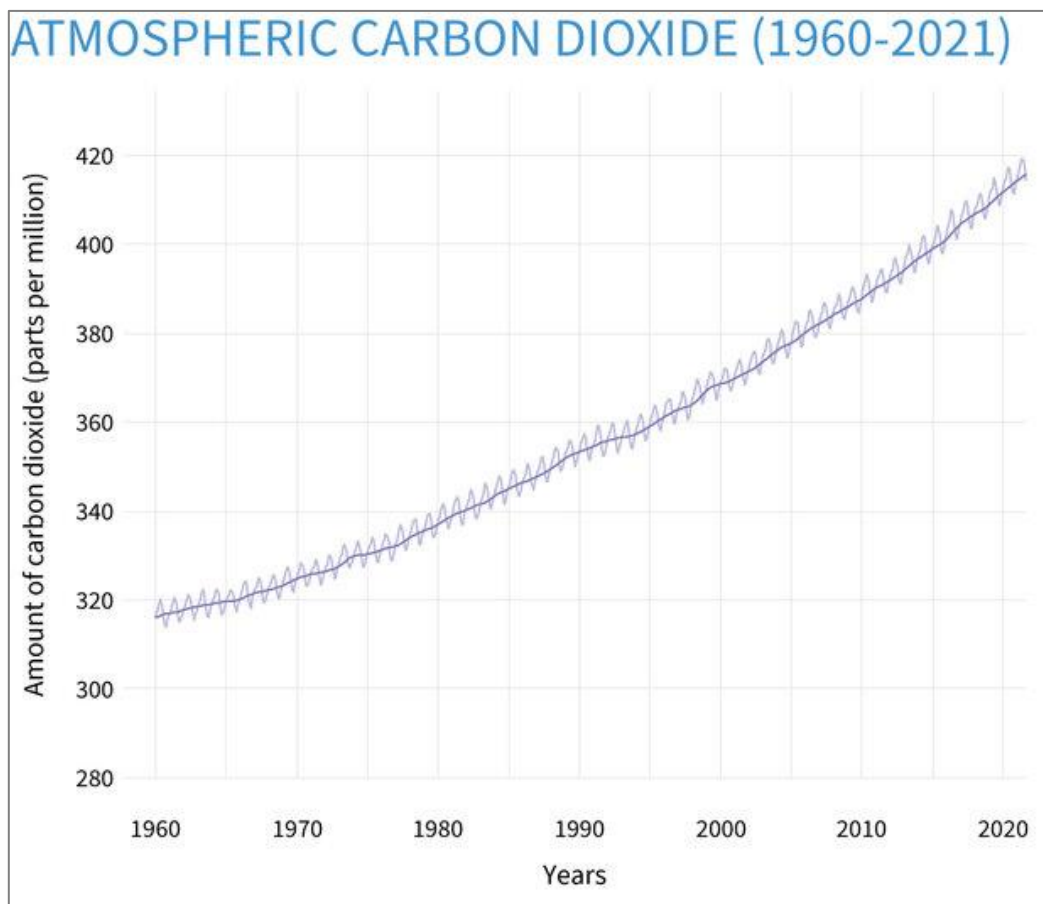
Ο μηχανισμός παγίδευσης θερμότητας του διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων του θερμοκηπίου είναι γνωστός από τα μέσα του 19ου αιώνα. Το CO<sub>2</sub> απελευθερώνεται στον αέρα μέσω φυσικών διαδικασιών όπως η αναπνοή και οι πυρκαγιές και μέσω ανθρώπινων δραστηριοτήτων όπως η καύση ορυκτών καυσίμων και η αποψίλωση των δασών. Αξίζει να σημειωθεί πως το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται από ανθρώπινες δραστηριότητες αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα που συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη και κατ' επέκταση, στην κλιματική αλλαγή. Αυτό συμβαίνει επειδή τα μόρια διοξειδίου του άνθρακα απορροφούν ενέργεια σε ένα μεγάλο φάσμα μήκος κύματος, το οποίο συμπίπτει με αυτό της ακτινοβολούμενης θερμικής ενέργειας, ενισχύοντας σημαντικά το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου και παγιδεύοντας μεγάλη ποσότητα πρόσθετης θερμότητας. Μάλιστα, σύμφωνα με παρατηρήσεις του Εθνικού Κέντρου Κλιματικών Δεδομένων της National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), το 2021 το διοξείδιο του άνθρακα από μόνο του ήταν υπεύθυνο για τα 2/3 της συνολικής θερμικής επίδρασης όλων των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.



Εικόνα 1: Σύγκριση ιστορικών επιπέδων CO<sub>2</sub> σε σχέση με σήμερα, όπως ανακατασκευάστηκαν από πυρήνες πάγου (πηγή: NASA)

Με βάση τα χρονολογημένα δείγματα από φυσαλίδες αέρα που βρέθηκαν παγιδευμένες σε πυρήνες πάγου από τους παγετώνες της Ανταρκτικής καθώς και άλλα στοιχεία για το παλαιοκλίμα, γνωρίζουμε ότι κατά την διάρκεια της τελευταίας εποχής των παγετώνων τα επίπεδα του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα ήταν περίπου 185 ppm (μέρη ανά εκατομμύριο), δηλαδή 185 γραμμάρια CO<sub>2</sub> ανά λίτρο ατμοσφαιρικού αέρα. Σχεδόν 10.000 χρόνια αργότερα, λόγω των αργών μεταβολών στη τροχιά της Γης και της αύξησης στην πρόσληψη ηλιακής ενέργειας, ο κόσμος πέρασε σε μια πιο ζεστή περίοδο, την Ολόκαινο. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, τα επίπεδα CO<sub>2</sub> αυξήθηκαν στα 265 ppm, ενώ μέχρι την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης στα μέσα του 18<sup>ου</sup> αιώνα, το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα ήταν περίπου στα 280 ppm.

Όταν ξεκίνησαν οι συνεχείς παρατηρήσεις στο ηφαιστειακό παρατηρητήριο Mauna Loa το 1958, το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα παγκοσμίως ήταν ήδη στα 315 ppm. Τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα σήμερα είναι υψηλότερα από οποιαδήποτε άλλη στιγμή στην ανθρώπινη ιστορία. Από το 1850, τα επίπεδα CO<sub>2</sub> έχουν αυξηθεί από 280 ppm σε σχεδόν 420 ppm, δηλαδή υπήρξε μια αύξηση κατά 50 % σε μόλις 172 χρόνια.



Εικόνα 2: Επίπεδα ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub> που μετρήθηκαν στο παρατηρητήριο Mauna Loa από το 1960 (πηγή: NOAA)

Οι επιστήμονες κατανοούν ότι αυτή η αύξηση συνδέεται άμεσα με την ανθρωπογενή καύση ορυκτών καυσίμων, επειδή το είδος του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα – και συγκεκριμένα η αναλογία των βαρέων προς τα ελαφριά άτομα άνθρακα, έχει αλλάξει με τρόπο που αποδίδεται στην προσθήκη άνθρακα από ορυκτά καύσιμα. Επιπρόσθετα, η αναλογία οξυγόνου προς άζωτο στην ατμόσφαιρα έχει μειωθεί σαν αποτέλεσμα της αύξησης του διοξειδίου του άνθρακα. Αυτό εξηγείται από το γεγονός πως το οξυγόνο εξαντλείται όταν καίγονται ορυκτά καύσιμα. Η καύση ορυκτών καυσίμων λοιπόν θεωρείται υπεύθυνη τουλάχιστον για το 75 % της αύξησης στην συγκέντρωση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα από την προβιομηχανική εποχή. Το υπόλοιπο μέρος της αύξησης προέρχεται από αλλαγές στη χρήση γης, με κυρίαρχη την αποψίλωση των δασών και την σχετιζόμενη καύση βιομάζας, καθώς και την εκτεταμένη κτηνοτροφία.

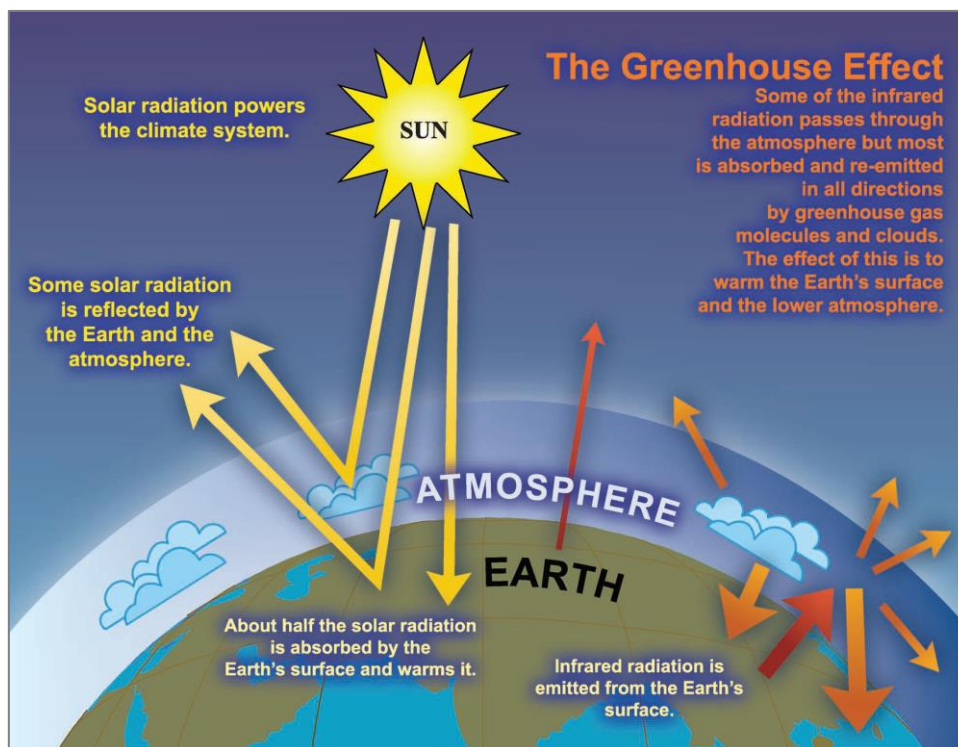
Επιπλέον, οι φυσικοί «συλλέκτες», τα δέντρα και τα φυτά δηλαδή που αφαιρούσαν σχεδόν το 60% των ανθρωπογενών εκπομπών άνθρακα σε ετήσια βάση, σήμερα αφαιρούν σχεδόν το 55%, γεγονός που υποδεικνύει πως σε βάθος χρόνου χάνουν την αποδοτικότητά τους. Αυτό

συμβαίνει σε μεγάλο βαθμό επειδή οι σύγχρονες κοινωνίες προσθέτουν μεγαλύτερες ποσότητες CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα από αυτές που οι φυσικές διαδικασίες μπορούν να αφαιρέσουν, με αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις να αυξάνονται κάθε χρόνο. Μάλιστα, ορισμένοι επιστήμονες που ειδικεύονται στον κύκλο του άνθρακα ανησυχούν πως εξαιτίας της ανθρώπινης παρέμβασης, οι φυσικοί συλλέκτες τείνουν να μετατραπούν σε πηγές εκπομπής άνθρακα. Το συγκεκριμένο επιχείρημα οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο γεγονός πως οι σύγχρονες οικονομικές δραστηριότητες συμβάλουν σε αλλαγές στη χρήση γης, αποψιλώνοντας εκτενείς δασικές εκτάσεις και αποδεσμεύοντας CO<sub>2</sub> από τα κομμένα δέντρα.

Εάν η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας συνεχίσει να αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς και την καλύψουμε κυρίως με ορυκτά καύσιμα, οι ανθρώπινες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα θα μπορούσαν να φτάσουν τους 75 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως ή περισσότερο μέχρι το τέλος του αιώνα. Το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας θα μπορούσε να φτάσει τα 800 ppm ή υψηλότερα - συνθήκες που δεν παρατηρήθηκαν στη Γη για σχεδόν 50 εκατομμύρια χρόνια.

### **1.2.2. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου**

Ο Ήλιος τροφοδοτεί το κλίμα της Γης, παρέχοντας ενέργεια με την μορφή ακτινοβολίας. Σχεδόν το 30 % αυτής της ενέργειας, μόλις φτάσει στα ανώτερα επίπεδα της ατμόσφαιρας αντανακλάται απευθείας πίσω στο διάστημα. Το υπόλοιπο 70% απορροφάται από την επιφάνεια, την θάλασσα και σε μικρότερο βαθμό, την ατμόσφαιρα. Για να εξισορροπηθεί η απορροφώμενη ενέργεια, η Γη πρέπει να εκπέμψει περίπου την ίδια ποσότητα ενέργειας προς το διάστημα. Ένα σημαντικό μέρος αυτής της ενέργειας που ακτινοβολείται από τη Γη δεσμεύεται από την ατμόσφαιρα και ακτινοβολείται ξανά πίσω στη Γη. Το παραπάνω φυσικό φαινόμενο ονομάζεται φαινόμενο του θερμοκηπίου. Όπως οι γυάλινοι τοίχοι σε ένα θερμοκήπιο μειώνουν τη ροή του αέρα και αυξάνουν τη θερμοκρασία του αέρα μέσα σε αυτό, ομοίως μέσω της παραπάνω φυσικής διαδικασίας το φαινόμενο του θερμοκηπίου θερμαίνει την επιφάνεια της Γης. Χωρίς αυτό το φυσικό φαινόμενο, η θερμοκρασία στην επιφάνεια του πλανήτη θα ήταν χαμηλότερη από τους 0 C και συνεπώς η επιφάνεια θα ήταν καλυμμένη με πάγο. Έτσι, το φαινόμενο του θερμοκηπίου καθιστά δυνατή τη ζωή στη Γη όπως τη γνωρίζουμε.



Εικόνα 3: Απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου (πηγή: IPCC)

Ωστόσο, οι ανθρώπινες δραστηριότητες που περιλαμβάνουν την καύση ορυκτών καυσίμων (άνθρακα, πετρέλαιο και φυσικό αέριο) για παραγωγή ενέργειας, την αποψίλωση των δασών και την μαζική κτηνοτροφία, συμβάλλουν σημαντικά στην αύξηση της συγκέντρωσης των λεγόμενων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Αυτά τα αέρια απορροφούν μέρος της ακτινοβολίας που επιστρέφει από την επιφάνεια της Γης και εκπέμπουν θερμική ενέργεια προς όλες τις κατευθύνσεις, παγιδεύοντας με αυτό τον τρόπο πρόσθετη θερμότητα στα χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας και στην επιφάνεια της Γης. Σαν αποτέλεσμα της ανθρωπογενούς εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου λοιπόν, η επίδραση του φυσικού φαινομένου του θερμοκηπίου αυξάνεται σημαντικά σε ένταση, προκαλώντας έτσι την υπερθέρμανση του πλανήτη.

Τα βασικά αέρια που συμβάλλουν στο φαινόμενο είναι τα εξής (IPCC Fifth Assessment Report, 2014):

i) Υδρατμοί (H<sub>2</sub>O): Αποτελούν το πιο άφθονο αέριο του θερμοκηπίου. Ωστόσο, επειδή η θέρμανση των ωκεανών αυξάνει την ποσότητά τους στην ατμόσφαιρα, δεν αποτελούν άμεση αιτία της κλιματικής αλλαγής. Καθώς άλλες επιδράσεις, όπως αυτή του διοξειδίου του άνθρακα αλλάζουν τις παγκόσμιες θερμοκρασίες, οι υδρατμοί στην ατμόσφαιρα ανταποκρίνονται ως μηχανισμοί ανάδρασης, ενισχύοντας την κλιματική αλλαγή που ήδη βρίσκεται σε εξέλιξη. Οι



υδρατμοί αυξάνονται καθώς το κλίμα της Γης θερμαίνεται. Τα σύννεφα και η βροχόπτωση ανταποκρίνονται επίσης στις αλλαγές θερμοκρασίας και αποτελούν επίσης σημαντικούς μηχανισμούς ανάδρασης για το φαινόμενο.

ii) Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>): Αποτελεί ένα πολύ σημαντικό συστατικό της ατμόσφαιρας. Το συγκεκριμένο αέριο απελευθερώνεται τόσο μέσω φυσικών διεργασιών όσο και μέσω ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Το CO<sub>2</sub> που παράγεται από ανθρώπινες δραστηριότητες αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα που συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Αυτό συμβαίνει επειδή τα μόρια διοξειδίου του άνθρακα απορροφούν ενέργεια σε ένα μεγάλο φάσμα μήκος κύματος, το οποίο συμπίπτει με αυτό της ακτινοβολούμενης θερμικής ενέργειας από τη Γη. Ενώ μέρος του CO<sub>2</sub> που υπάρχει στην ατμόσφαιρα κανονικά απορροφάται και δεσμεύεται από τα δέντρα και τα φυτά, εξαιτίας της αποψίλωσης των δασών η δεσμευόμενη ποσότητα μειώνεται, με αποτέλεσμα να διαταράσσεται περαιτέρω η ισορροπία. Από την προβιομηχανική εποχή, η ατμοσφαιρική συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> έχει αυξηθεί πάνω από 50%. Αυτή η απότομη αύξηση του CO<sub>2</sub> αποτελεί και την πιο σημαντική κινητήρια δύναμη της κλιματικής αλλαγής τον τελευταίο αιώνα.

iii) Μεθάνιο (CH<sub>4</sub>): Όπως πολλά αέρια της ατμόσφαιρας, το μεθάνιο προέρχεται τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς πηγές. Το μεθάνιο προέρχεται από τη διάσπαση της φυτικής ύλης σε υγροτόπους και απελευθερώνεται επίσης από τις χωματερές και την καλλιέργεια ρυζιού. Επιπρόσθετα, τα εκτρεφόμενα ζώα εκπέμπουν σημαντικές ποσότητες μεθανίου μέσω της πέψης και της κοπριάς τους. Οι διαρροές από την παραγωγή και τη μεταφορά ορυκτών καυσίμων αποτελούν μια ακόμη σημαντική πηγή μεθανίου, ενώ το φυσικό αέριο αποτελείται από 70% έως 90% από μεθάνιο. Ως μεμονωμένο μόριο, το μεθάνιο είναι πολύ πιο αποτελεσματικό ως αέριο του θερμοκηπίου από το διοξείδιο του άνθρακα, αλλά βρίσκεται σε πολύ μικρότερες ποσότητες στην ατμόσφαιρα. Η ποσότητα μεθανίου στην ατμόσφαιρά μας έχει υπερδιπλασιαστεί από την προβιομηχανική εποχή.

iv) Οξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O): Απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα κυρίως από ορισμένες μεθόδους καλλιέργειας του εδάφους και ειδικά μέσω της χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων, ενώ εκπέμπεται επίσης και από τις καύσεις ορυκτών καυσίμων και βιομάζας. Κατά τον τελευταίο αιώνα, το οξείδιο του αζώτου έχει αυξηθεί περίπου κατά 20 %.

v) Χλωροφθοράνθρακες (CFC): Οι συγκεκριμένες χημικές ενώσεις δεν υπάρχουν στη φύση, αλλά είναι εξ' ολοκλήρου βιομηχανικής προέλευσης. Χρησιμοποιούνται κυρίως ως ψυκτικά μέσα, διαλύτες και προωθητικά δοχείων ψεκασμού. Βάσει διεθνούς συμφωνίας, γνωστής ως

Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, οι χλωροφθοράνθρακες ρυθμίζονται αυστηρά πλέον διότι βλάπτουν τη στιβάδα του όζοντος. Παρόλα αυτά, οι εκπομπές ορισμένων τύπων CFC αυξήθηκαν για περίπου πέντε χρόνια λόγω παραβιάσεων της διεθνούς συμφωνίας. Μόλις τα μέλη της συμφωνίας ζήτησαν άμεση δράση και καλύτερη επιβολή, οι εκπομπές μειώθηκαν απότομα ξεκινώντας από το 2018.

Αξίζει να σημειωθεί πως τα δύο αέρια με την μεγαλύτερη συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα, το άζωτο (78% της ατμόσφαιρας) και το οξυγόνο (21%), δεν ασκούν σχεδόν καμία επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αντίθετα, το φαινόμενο του θερμοκηπίου προκαλείται από μόρια που είναι πιο περίπλοκα και λιγότερο κοινά. Οι υδρατμοί είναι το πιο σημαντικό αέριο του θερμοκηπίου και το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) είναι το δεύτερο πιο σημαντικό. Το μεθάνιο, το υποξείδιο του αζώτου, το όζον και πολλά άλλα αέρια που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα σε μικρές ποσότητες συμβάλλουν επίσης στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Στις υγρές περιοχές του ισημερινού, όπου υπάρχουν τόσοι υδρατμοί στον αέρα που το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι πολύ μεγάλο, η προσθήκη μικρής επιπλέον ποσότητας CO<sub>2</sub> ή υδρατμών έχει μόνο μια μικρή άμεση επίδραση στην καθοδική υπέρυθη ακτινοβολία. Ωστόσο, στις ψυχρές, ξηρές πολικές περιοχές, η επίδραση μιας μικρής αύξησης του CO<sub>2</sub> ή των υδρατμών είναι πολύ μεγαλύτερη. Το ίδιο ισχύει για την ψυχρή, ξηρή ανώτερη ατμόσφαιρα όπου μια μικρή αύξηση των υδρατμών έχει μεγαλύτερη επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου από ό,τι η ίδια αλλαγή στους υδρατμούς κοντά στην επιφάνεια.

Αρκετά συστατικά μέρη του κλιματικού συστήματος, ιδίως οι ωκεανοί και τα έμβια όντα, επηρεάζουν τις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού είναι τα φυτά που αφαιρούν το CO<sub>2</sub> από την ατμόσφαιρα και το μετατρέπουν σε υδατάνθρακες μέσω της φωτοσύνθεσης. Στη βιομηχανική εποχή, οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν προσθέσει αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, κυρίως μέσω της καύσης ορυκτών καυσίμων και της εκκαθάρισης των δασών.

Η προσθήκη περισσότερης ποσότητας ενός αερίου θερμοκηπίου όπως το CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα εντείνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου, θερμαίνοντας έτσι το κλίμα της Γης. Το μέγεθος της θέρμανσης εξαρτάται από διάφορους μηχανισμούς ανάδρασης. Για παράδειγμα, καθώς η ατμόσφαιρα θερμαίνεται λόγω της αύξησης των επιπέδων των αερίων του θερμοκηπίου, η συγκέντρωσή της σε υδρατμούς αυξάνεται, εντείνοντας περαιτέρω το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αυτό με τη σειρά του προκαλεί περισσότερη θέρμανση, η οποία προκαλεί επιπλέον αύξηση των υδρατμών, σε έναν αυτοενισχυόμενο κύκλο. Αυτή η ανάδραση

υδρατμών μπορεί να είναι αρκετά ισχυρή ώστε να διπλασιάσει περίπου την αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου λόγω του προστιθέμενου CO<sub>2</sub> μόνο.

Τέλος, πρόσθετοι σημαντικοί μηχανισμοί ανάδρασης αποτελούν και τα σύννεφα. Τα σύννεφα είναι αποτελεσματικά στην απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας και επομένως ασκούν μεγάλη επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, θερμαίνοντας έτσι τη Γη. Τα σύννεφα είναι επίσης αποτελεσματικά στην ανάκλαση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, ψύχοντας έτσι τη Γη. Μια αλλαγή σχεδόν σε οποιαδήποτε πτυχή των νεφών, όπως ο τύπος, η τοποθεσία, η περιεκτικότητά τους σε νερό, το ύψος των νεφών, το μέγεθος και το σχήμα των σωματιδίων ή η διάρκεια ζωής, επηρεάζει τον βαθμό στον οποίο τα σύννεφα θερμαίνουν ή ψύχουν τη Γη.

### **1.2.3. Άνοδος της παγκόσμιας θερμοκρασίας (Global Warming)**

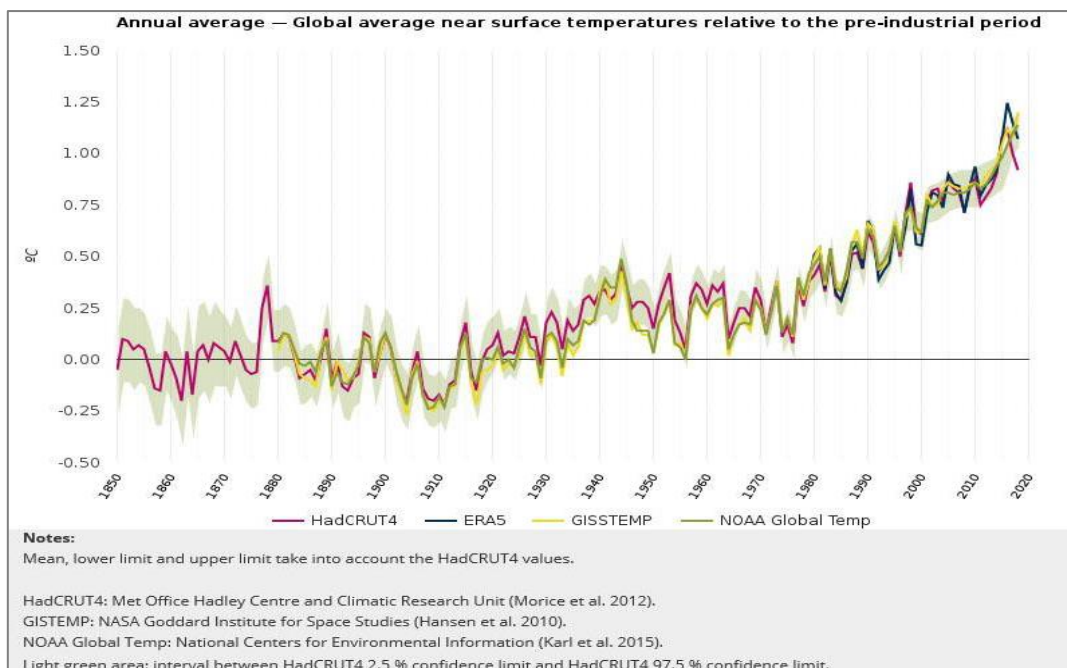
Παρότι το κλίμα της Γης έχει αλλάξει αρκετές φορές κατά τη διάρκεια της ιστορίας της, η τρέχουσα τάση θέρμανσής της πραγματοποιείται με ρυθμό που δεν έχει παρατηρηθεί ξανά τα τελευταία 10.000 χρόνια. Η παγκόσμια μέση θερμοκρασία παρουσιάζει μια καλά τεκμηριωμένη άνοδο από τις αρχές του 20ού αιώνα και κυρίως από τα τέλη της δεκαετίας του 1970. Συγκεκριμένα, η περίοδος 2011-2020 ήταν η θερμότερη δεκαετία που έχει καταγραφεί ποτέ, καθώς η παγκόσμια μέση θερμοκρασία ξεπέρασε τα επίπεδα της προβιομηχανικής εποχής κατά 1,1 °C το 2019, ενώ το 2016 και το 2020 ξεχωρίζουν ως τα θερμότερα έτη που έχουν καταγραφεί έως τώρα. Επί του παρόντος, η ανθρωπογενής υπερθέρμανση του πλανήτη αυξάνεται με ρυθμό 0,2 °C ανά δεκαετία.

Τα συγκεκριμένα πορίσματα προκύπτουν από την έρευνα ορισμένων από τα κορυφαία μετεωρολογικά κέντρα διεθνώς, όπως το Ινστιτούτο Goddard της NASA και η υπηρεσία κλιματικών ερευνών της National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Τα παραπάνω ερευνητικά κέντρα συλλέγουν θερμοκρασιακά δεδομένα από χιλιάδες μετεωρολογικούς σταθμούς παγκοσμίως σε στεριά και θάλασσα, καθώς και από μετρήσεις δορυφόρων, ενώ επίσης αντλούν ιστορικά δεδομένα για το κλίμα μέσω εξέτασης φυσικών πηγών όπως οι πάγοι και οι εσωτερικοί δακτύλιοι των κορμών των δέντρων.



Εικόνα 4: Πυρήνας πάγου - Δακτύλιοι ανάπτυξης κορμών (πηγή: NASA Goddard Space Flight Center)

Ο προσδιορισμός της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας του αέρα στην επιφάνεια της Γης προκύπτει από ανάλυση εκατομμυρίων μετρήσεων παγκοσμίως, οι οποίες λαμβάνουν χώρα σε χερσαίους σταθμούς, πλοία και δορυφόρους. Παρά τις προκλήσεις που παρουσιάζει η σύνθεση και ανάλυση τέτοιου πλήθους δεδομένων, πολλές ερευνητικές ομάδες κατέληξαν στο κοινό συμπέρασμα ότι η μέση παγκόσμια θερμοκρασία έχει αυξηθεί περίπου 1,18 C από τον 19<sup>ο</sup> αιώνα και μετά.



Εικόνα 5: Παγκόσμιος μέσος όρος θερμοκρασιών επιφάνειας σε σχέση με σε σχέση με την προβιομηχανική περίοδο από 3 διαφορετικές καταγραφές (πηγή: European Environment Agency)

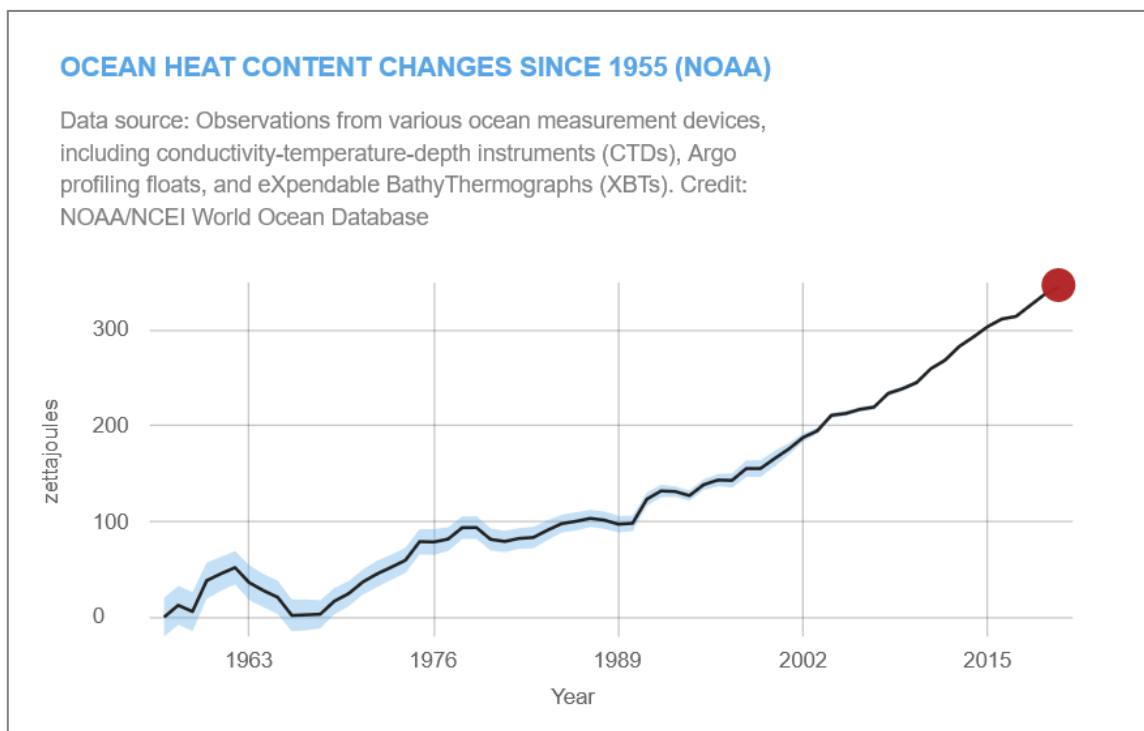
Στο ερώτημα του γιατί πρέπει να μας ενδιαφέρει ένας βαθμός υπερθέρμανσης του πλανήτη, η απάντηση είναι πως μια παγκόσμια αλλαγή ενός βαθμού είναι σημαντική επειδή χρειάζεται μια τεράστια ποσότητα θερμότητας για να θερμανθούν τόσο πολύ οι ωκεανοί, η ατμόσφαιρα και οι χερσαίες μάζες. Στο παρελθόν, μια πτώση της παγκόσμιας θερμοκρασίας περίπου κατά δύο βαθμούς Κελσίου ήταν η αιτία για να βυθιστεί η Γη στη Μικρή Εποχή των Παγετώνων, ενώ μια πτώση πέντε βαθμών ήταν αρκετή για να θάψει ένα μεγάλο μέρος της Βόρειας Αμερικής κάτω από μια πανύψηλη μάζα πάγου πριν από 20.000 χρόνια.

Η παγκόσμια μέση θερμοκρασία προβλέπεται ότι θα συνεχίσει την ανοδική της τάση τουλάχιστον μέχρι το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα, ως συνέπεια των συνεχιζόμενων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Συγκεκριμένα, η μέση θερμοκρασία του πλανήτη προβλέπεται ότι θα αυξηθεί έως τα μέσα του αιώνα (2065) κατά 0,5-1,5 °C για την έκβαση χαμηλών εκπομπών, 0,9-2,0 °C για την έκβαση εκπομπών με τους τρέχοντες ρυθμούς και 1,4-2,6 °C για την έκβαση υψηλότερων εκπομπών (IPCC AR5, 2014)

#### **1.2.4. Αύξηση της θερμοκρασίας και της οξύτητας των ωκεανών**

Ένας ακόμη δείκτης που επιβεβαιώνει την επίδραση της τρέχουσας κλιματικής αλλαγής είναι η αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών. Καθώς τα αέρια του θερμοκηπίου παγιδεύουν περισσότερη ενέργεια από τον ήλιο, οι ωκεανοί με την σειρά τους απορροφούν περισσότερη θερμότητα, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού. Δεδομένου ότι τα ανώτερα επίπεδα των ωκεανών (βάθους από 0 έως 700m) αποθηκεύουν τόση θερμότητα όση ολόκληρη σχεδόν η ατμόσφαιρα της Γης, οι ωκεανοί έχουν απορροφήσει μεγάλο μέρος της αυξημένης θερμότητας από την υπερθέρμανση του πλανήτη.

Έτσι, το 90% της πλεονάζουσας θέρμανσης του πλανήτη από το φαινόμενο του θερμοκηπίου απορροφάται από τους ωκεανούς, προκαλώντας μια αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του νερού στα ανώτερα επίπεδα κοντά στην επιφάνεια. Συγκεκριμένα, από το 1955 που ξεκίνησε η τήρηση αρχείων από μετρήσεις, τα επίπεδα θέρμανσης των ωκεανών έχουν αυξηθεί κατά 345 zettajoules (  $10^{21}$  joules), μια τεράστια ποσότητα θερμότητας που ισοδυναμεί με την πενταπλάσια ενέργεια της ατομικής βόμβας που έπληξε την Χιροσίμα.



Εικόνα 6: Αλλαγές στο θερμικό περιεχόμενο των ωκεανών από το 1955 (πηγή: NOAA)

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως η θερμοκρασία των ωκεανών και ιδιαίτερα η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας, παίζει έναν αρκετά σημαντικό ρόλο στο κλιματικό σύστημα της Γης. Ο λόγος είναι πως η θερμότητα του νερού από την επιφάνεια των ωκεανών παρέχει μεγάλη ποσότητα ενέργειας για την δημιουργία καταιγίδων και συνεπώς, επηρεάζει τα μοτίβα των καιρικών φαινομένων. Επιπλέον, η θερμότητα που αποθηκεύεται στους ωκεανούς προκαλεί διαστολή του νερού, η οποία ευθύνεται για το ένα τρίτο έως το μισό της παγκόσμιας ανόδου της στάθμης της θάλασσας.

Τα τελευταία 10 χρόνια ήταν η θερμότερη δεκαετία για τους ωκεανούς, τουλάχιστον από το 1800. Το έτος 2022 υπήρξε η θερμότερη καταγεγραμμένη χρονιά των ωκεάνιων υδάτων, καθώς και η χρονιά με την υψηλότερη στάθμη της θάλασσας παγκοσμίως. Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι μέσες θερμοκρασίες των ωκεανών αναμένεται να αυξηθούν περαιτέρω έως το τέλος του αιώνα, αν και ο μέσος όρος της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας προβλέπεται να αυξηθεί με ρυθμό 30 % πιο αργό από αυτόν της μέσης θερμοκρασίας του αέρα.

Αν και οι ωκεανοί συμβάλλουν στον μετριασμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη αποθηκεύοντας μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα, τα αυξανόμενα επίπεδα διαλυμένου άνθρακα αλλάζουν τη χημεία του θαλασσινού νερού και μειώνουν το pH του, δηλαδή το καθιστούν πιο όξινο. Ενώ τα τελευταία εκατομμύρια χρόνια το μέσο pH του νερού στην επιφάνεια της θάλασσας παρέμεινε σχετικά σταθερό στο 8,2, οι ραγδαίες αυξήσεις των

ατμοσφαιρικών επιπέδων CO<sub>2</sub> λόγω των ανθρωπογενών εκπομπών απειλούν τώρα αυτή τη σταθερότητα.

Από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης, το pH των επιφανειακών ωκεάνιων υδάτων έχει μειωθεί κατά 0,1 μονάδες στο 8,1. Από μια πρώτη εντύπωση η συγκεκριμένη μεταβολή μπορεί να μην ακούγεται σημαντική, ωστόσο η κλίμακα pH λειτουργεί λογαριθμικά, επομένως η μεταβολή αυτή αναπαριστά μια αύξηση στην οξύτητα κατά περίπου 30%. Αυτή η αύξηση οφείλεται στο ότι οι άνθρωποι πλέον εκπέμπουν πολύ περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και ως εκ τούτου, μεγαλύτερες ποσότητες απορροφώνται από τους ωκεανούς. Αξίζει να σημειωθεί πως οι ωκεανοί έχουν απορροφήσει σχεδόν το 30% των συνολικών ανθρωπογενών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα τις τελευταίες δεκαετίες, οι οποίες κυμαίνονται από 7,2 έως 10,8 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως.

Όταν λοιπόν το CO<sub>2</sub> απορροφάται από το θαλασσινό νερό, πραγματοποιείται μια σειρά χημικών αντιδράσεων με αποτέλεσμα την αυξημένη συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου. Αυτή η διαδικασία έχει εκτεταμένες επιπτώσεις για τον ωκεανό και την βιοποικιλότητά του. Η οξίνιση των ωκεανών επηρεάζει ήδη τους κοραλλιογενείς υφάλους, οι οποίοι αποτελούν βασικά θαλάσσια οικοσυστήματα, καθώς και μειώνει την δυνατότητα ορισμένων ειδών ψαριών να προσαρμόζονται στο περιβάλλον τους και να επιβιώνουν. Σε αυτό το σημείο είναι αντιληπτό λοιπόν ότι όταν κάποιοι οργανισμοί κινδυνεύουν, ολόκληρη η τροφική αλυσίδα μπορεί ενδεχομένως να αποσταθεροποιηθεί μελλοντικά.

Οι εκτιμήσεις των μελλοντικών επιπέδων διοξειδίου του άνθρακα με επίπεδα εκπομπών βάσει του σεναρίου «business as usual», δείχνουν ότι μέχρι το τέλος αυτού του αιώνα τα επιφανειακά ύδατα του ωκεανού θα μπορούσαν να έχουν pH περίπου 7,8. Η τελευταία φορά που το pH του ωκεανού ήταν τόσο χαμηλό ήταν στη μέση Μειόκαινο εποχή, πριν από 14-17 εκατομμύρια χρόνια. Σε εκείνη την περίοδο μάλιστα, η Γη ήταν κατά πολλούς βαθμούς θερμότερη και συνέβαινε ένα σημαντικό γεγονός εξαφάνισης. Η οξίνιση των ωκεανών επηρεάζει επί του παρόντος ολόκληρο τον ωκεανό, συμπεριλαμβανομένων των παράκτιων εκβολών ποταμών και των πλωτών οδών. Δισεκατομμύρια άνθρωποι σε όλο τον κόσμο βασίζονται στα τρόφιμα από τον ωκεανό ως την κύρια πηγή πρωτεΐνης τους, ενώ οικονομίες και πολλές θέσεις εργασίας σε όλο τον κόσμο εξαρτώνται από τα ψάρια και τα οστρακοειδή που ζουν στον ωκεανό.

### 1.2.5. Μείωση της χιονοκάλυψης

Η χιονοκάλυψη αναφέρεται στην ποσότητα της γης που καλύπτεται από χιόνι ανά πάσα στιγμή. Κατά φυσικό τρόπο, επηρεάζεται από την ποσότητα της κατακρήμνισης που πέφτει με τη μορφή χιονιού και εξαρτάται από την εποχή, το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο μιας περιοχής. Η θερμοκρασία του αέρα παίζει σημαντικό ρόλο, διότι καθορίζει το αν το κατακρήμνισμα πέφτει ως χιόνι ή βροχή και επηρεάζει τον ρυθμό με τον οποίο λιώνει το χιόνι στο έδαφος. Καθώς αλλάζουν τα πρότυπα της θερμοκρασίας και των βροχοπτώσεων, αλλάζει και η συνολική περιοχή που καλύπτεται από το χιόνι.

Η χιονοκάλυψη δεν είναι απλώς κάτι που επηρεάζεται από την κλιματική αλλαγή - ασκεί επίσης μια σημαντική επίδραση στη ρύθμιση του κλίματος. Επειδή το χιόνι είναι λευκό, απορροφά μόνο ένα μικρό μέρος του ηλιακού φωτός που το ακτινοβολεί (10-20 % στην περίπτωση του φρέσκου χιονιού) και αντανακλά το υπόλοιπο πίσω στο διάστημα. Αντίθετα, οι πιο σκοτεινές επιφάνειες όπως αυτές του γυμνού εδάφους και της θάλασσας απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που λαμβάνουν και θερμαίνονται πιο γρήγορα. Με αυτόν τον τρόπο, η συνολική ποσότητα χιονιού επηρεάζει τα πρότυπα θέρμανσης και ψύξης στην επιφάνεια της Γης. Μια μεγαλύτερη κάλυψη χιονιού σημαίνει πως περισσότερη ηλιακή ενέργεια αντανακλάται πίσω στο διάστημα, με αποτέλεσμα την ψύξη, ενώ μια μικρότερη κάλυψη χιονιού σημαίνει ότι απορροφάται περισσότερη ενέργεια από την επιφάνεια της Γης, με αποτέλεσμα τη θέρμανση.

Σε πιο τοπική κλίμακα, η χιονοκάλυψη είναι σημαντική για πολλά φυτά και ζώα. Για παράδειγμα, ορισμένα φυτά και ζώα βασίζονται για την επιβίωσή τους σε ένα προστατευτικό στρώμα χιονιού ως μέσο μόνωσης από τις χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα. Οι άνθρωποι και τα οικοσυστήματα βασίζονται επίσης στο λιώσιμο του χιονιού για την αναπλήρωση των ρεμάτων και των υπόγειων υδάτων. Η κάλυψη του χιονιού διατηρεί επίσης το έδαφος υγρό, επομένως εάν το χιόνι λιώσει νωρίτερα την άνοιξη, το έδαφος μπορεί να στεγνώσει νωρίτερα, γεγονός που συμβάλει στην καταπόνηση των φυτών και στην αύξηση του κινδύνου πυρκαγιάς.

Τα διαθέσιμα δεδομένα από δορυφορικές παρατηρήσεις υποδεικνύουν ότι η κάλυψη χιονιού έχει ελαττωθεί σε παγκόσμιο επίπεδο κατά τις τελευταίες πέντε δεκαετίες και η μείωση στην έκταση και την διάρκεια των ανοιξιάτικων συγκεντρώσεων είναι ιδιαίτερα εμφανής. Συγκεκριμένα, οι μειώσεις της έκτασης της χιονοκάλυψης προκαλούνται από την πρόωρη έναρξη της τήξης και τη μικρότερη διάρκεια της περιόδου του χιονιού. Με άλλα λόγια, οι συγκεντρώσεις χιονιού πλέον λιώνουν νωρίτερα κάθε χρόνο και οι επιστήμονες συμφωνούν



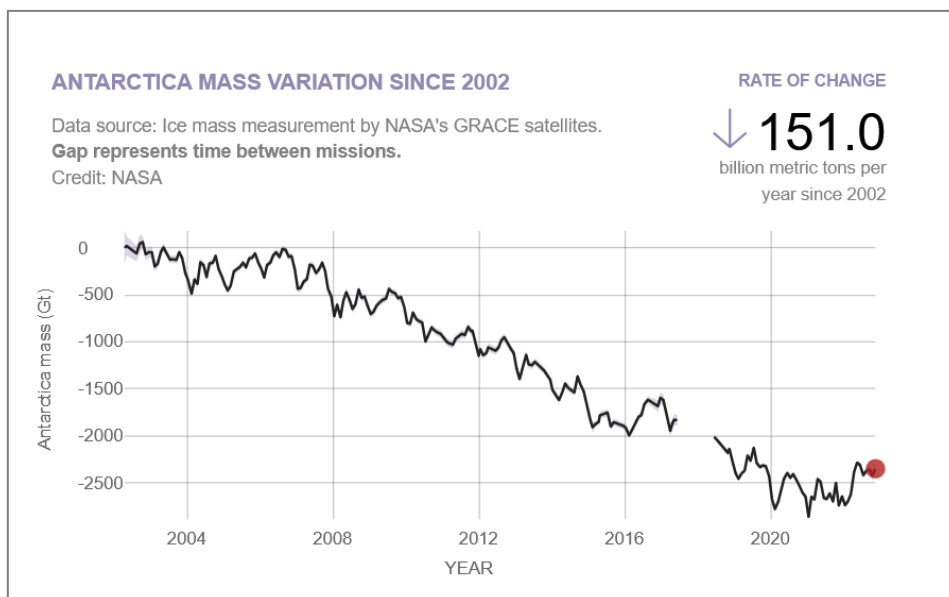
ομόφωνα πως η ανθρωπογενής υπερθέρμανση του πλανήτη αποτελεί την κύρια αιτία για αυτό. Μεταξύ της περιόδου 1967-2012, η έκταση της χιονοκάλυψης στο βόρειο ημισφαίριο μειώθηκε κατά 1,6 % ανά δεκαετία για τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο, ενώ κατά 11,7 % ανά δεκαετία για τον μήνα Ιούνιο. Έως το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα, η ανοιξιάτικη κάλυψη χιονιού στο βόρειο ημισφαίριο εκτιμάται ότι θα ελαττωθεί από 7% έως 25% , αναλόγως του επιπέδου των μειώσεων στις μελλοντικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

### **1.2.6. Μείωση της μάζας των πάγων**

Η μάζα των στρωμάτων πάγου της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής έχει ελαττωθεί σημαντικά κατά τις τελευταίες τρεις δεκαετίες λόγω της συνεχιζόμενης θέρμανσης της επιφάνειας της Γης και των ωκεανών. Τα δεδομένα από το πείραμα Gravity Recovery and Climate της NASA δείχνουν ότι η Γροιλανδία έχασε κατά μέσο όρο 279 δισεκατομμύρια τόνους πάγου ετησίως μεταξύ του 1993 και του 2019, ενώ η Ανταρκτική έχασε περίπου 151 δισεκατομμύρια τόνους πάγου ετησίως κατά το ίδιο διάστημα. Το θέμα αυτό είναι ιδιαίτερα ανησυχητικό, διότι το νερό που προέρχεται από το λιώσιμο αυτών των στρωμάτων πάγου είναι υπεύθυνο για περίπου το ένα τρίτο της παγκόσμιας μέσης αύξησης της στάθμης της θάλασσας από το 1993.

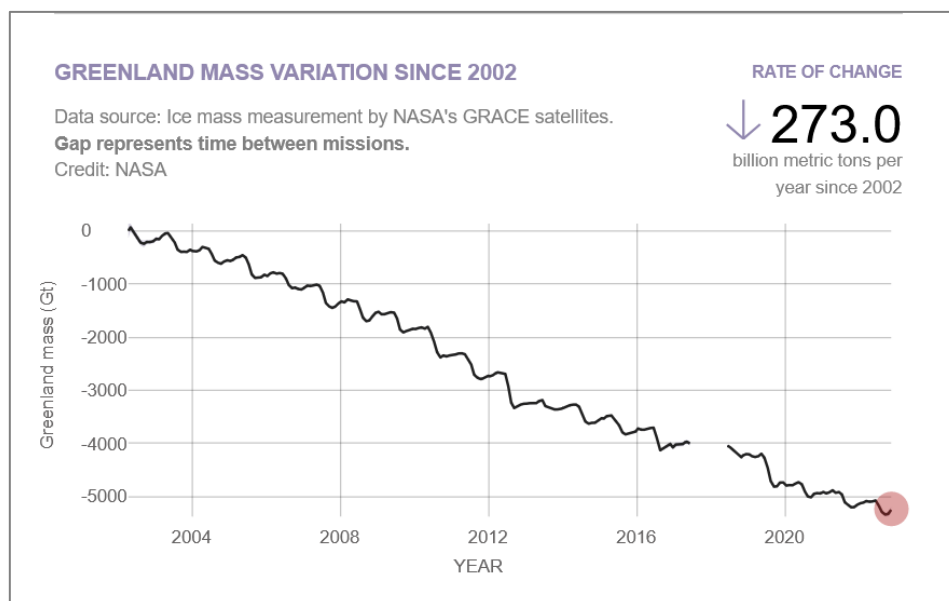


*Εικόνα 7: Κομμάτια πάγου υποχωρούν καθώς οι παγετόνες της Αρκτικής λιώνουν (πηγή: National Geographic)*



Εικόνα 8: Η μεταβολή της μάζας των πάγων της Ανταρκτικής από το 2002 (πηγή: NASA)

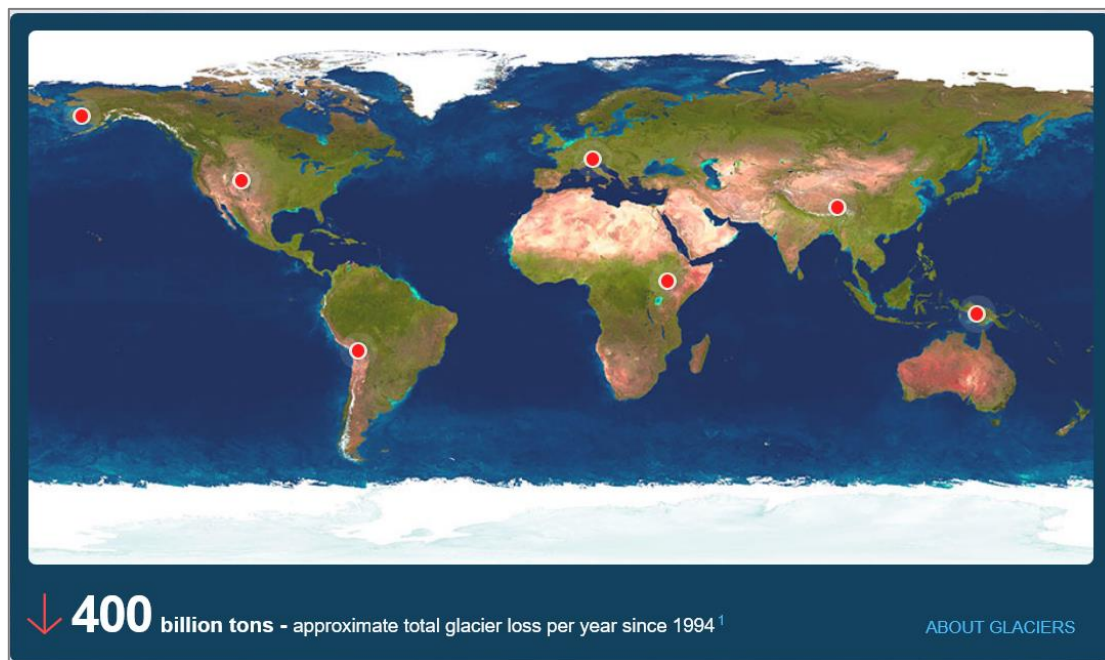
Τα δεδομένα από τους δορυφόρους GRACE και GRACE Follow-On της NASA δείχνουν ότι τα στρώματα πάγου της ξηράς τόσο στην Ανταρκτική (άνω γράφημα) όσο και στη Γροιλανδία (κάτω γράφημα) έχουν χάσει μάζα με αύξοντες ρυθμούς από το 2002. Η αποστολή GRACE ολοκληρώθηκε τον Ιούνιο του 2017. Η αποστολή GRACE Follow-On ξεκίνησε τη συλλογή δεδομένων τον Ιούνιο του 2018 και συνεχίζει να παρακολουθεί και τα δύο στρώματα πάγου. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα στρώματα πάγου της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής αποθηκεύουν περίπου τα δύο τρίτα του γλυκού νερού στη Γη.



Εικόνα 9: Η μεταβολή της μάζας των πάγων της Γροιλανδίας από το 2002 (πηγή: NASA)

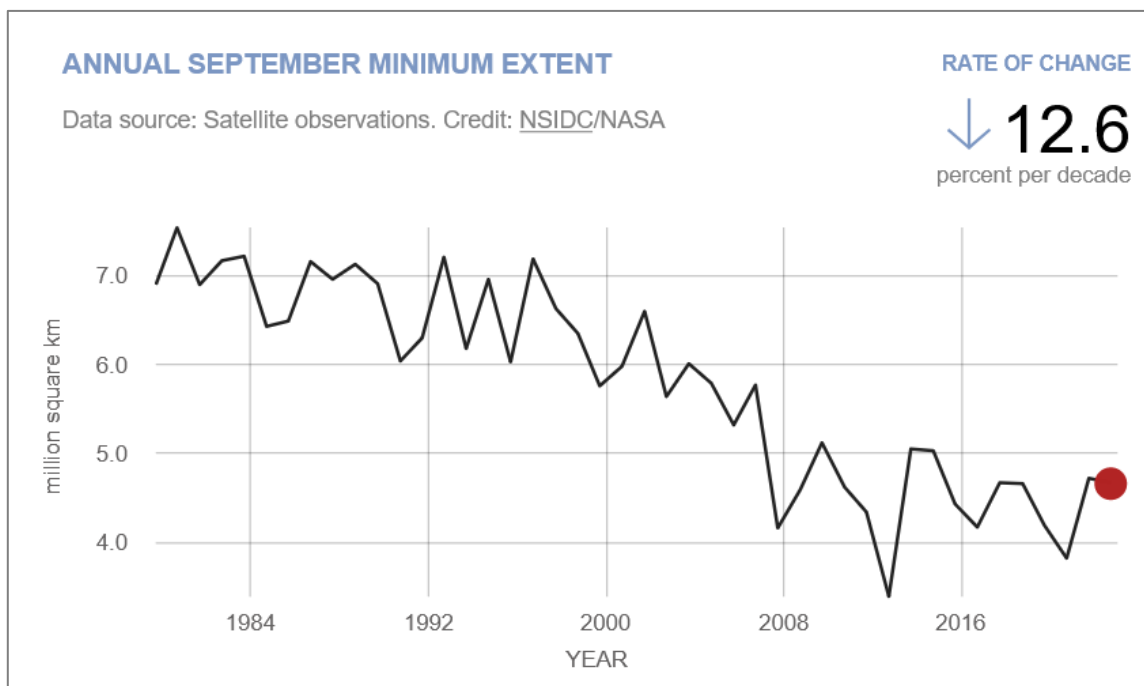
Επιπλέον, οι παγετώνες υποχωρούν σχεδόν παντού στον κόσμο, όπως στις Άλπεις, τα Ιμαλάια, τις Άνδεις, τα Βραχώδη Όρη της Βόρειας Αμερικής, την Αλάσκα και την Αφρική. Σε πολλές περιοχές ανά τον κόσμο, οι παγετώνες παρέχουν στις τοπικές κοινότητες και τα οικοσυστήματα μια αξιόπιστη πηγή ροής και πόσιμου νερού, ιδιαίτερα σε περιόδους παρατεταμένης ξηρασίας και αργά το καλοκαίρι, όταν η εποχική συγκέντρωση χιονιού έχει λιώσει.. Ιδιαίτερα ο ρυθμός με τον οποίο υποχωρούν οι παγετώνες είναι πλέον ανησυχητικός – τριπλάσιος όγκος πάγου από αυτόν που αποθηκεύεται στο σύνολο των Άλπεων χάνεται παγκοσμίως κάθε χρόνο. Καθώς οι παγετώνες λιώνουν, η διαθεσιμότητα σε αποθέματα νερού για πολλούς ανθρώπους τίθεται σε κίνδυνο, ενώ επίσης προκύπτει το ενδεχόμενο αποσταθεροποίησης και διάβρωσης του εδάφους, διότι τα νερά των παγετώνων χαράσσουν ποτάμια μέσω της διαδρομής τήξης τους.

Το λιώσιμο των παγετώνων μπορεί επίσης να οδηγήσει σε επικίνδυνες συνθήκες, όπως κατολισθήσεις και χιονοστιβάδες για τις κοινότητες που βρίσκονται χαμηλότερά τους, οι οποίες εκτιμούν επίσης την ιδιαίτερη αισθητική αξία των παγετώνων: η απόλυτη απώλεια της φυσικής ομορφιάς των μεγαλοπρεπών αξιοθέατων των παγετώνων είναι πολιτιστικά σημαντική. Τα στοιχεία αυτών των αλλαγών είναι ξεκάθαρα. Το 2022 για παράδειγμα ήταν το πρώτο έτος στα χρονικά που η ανάβαση στο Mont Blanc, το ψηλότερο βουνό των Άλπεων και πόλος έλξης χιλιάδων ορειβατών και χιονοδρόμων ετησίως, απαγορεύτηκε λόγω του υψηλού κινδύνου από χιονοστιβάδες και κατολισθήσεις στον κύριο παγετώνα του ορεινού όγκου. Σύμφωνα με γεωλόγους και κλιματολόγους που διεξάγουν μετρήσεις στους παγετώνες του Mont Blanc, η υποχώρηση των αιωνόβιων παγετώνων των Άλπεων ήταν τόσο έντονη το καλοκαίρι του 2022, που τόσο η οροσειρά όσο και η δισεκατομμυρίων ευρώ τουριστική βιομηχανία που την πλαισιώνει, μπορεί να μην ανακάμψουν ποτέ πλήρως.



Εικόνα 10: Η εκτιμώμενη συνολική απώλεια ηπειρωτικών παγετώνων αγγίζει τους 400 τόνους ετησίως από το 1994 (πηγή: NASA)

Τέλος, έναν πρόσθετο σημαντικό δείκτη για την κλιματική αλλαγή αποτελεί η υποχώρηση των πάγων της Αρκτικής Θάλασσας. Σύμφωνα με δορυφορικά δεδομένα, τόσο η έκταση όσο και το πάχος του θαλάσσιου πάγου της Αρκτικής έχουν μειωθεί ραγδαία τις τελευταίες δεκαετίες, με την έκταση της κάλυψης πάγου κατά τις καλοκαιρινές περιόδους να μειώνεται κατά 12,6% ανά δεκαετία ως αποτέλεσμα της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Πιο αναλυτικά, ο αρκτικός θαλάσσιος πάγος φτάνει στην ελάχιστη έκτασή του κάθε Σεπτέμβριο. Ο θαλάσσιος πάγος του Σεπτεμβρίου συρρικνώνεται τώρα με ρυθμό 12,6% ανά δεκαετία, σε σύγκριση με τη μέση έκτασή του κατά την περίοδο 1981 έως 2010. Το παρακάτω γράφημα δείχνει το μέγεθος του θαλάσσιου πάγου της Αρκτικής κάθε Σεπτέμβριο από τότε που ξεκίνησαν οι δορυφορικές παρατηρήσεις το 1979. Η μηνιαία τιμή που εμφανίζεται είναι ο μέσος όρος των ημερήσιων παρατηρήσεων κατά τη διάρκεια του Σεπτεμβρίου κάθε έτους, η οποία μετρείται από δορυφόρους. Όπως φαίνεται ξεκάθαρα, η έκταση του θαλάσσιου πάγου του 2012 είναι η χαμηλότερη που έχει υπάρξει στις δορυφορικές καταγραφές.

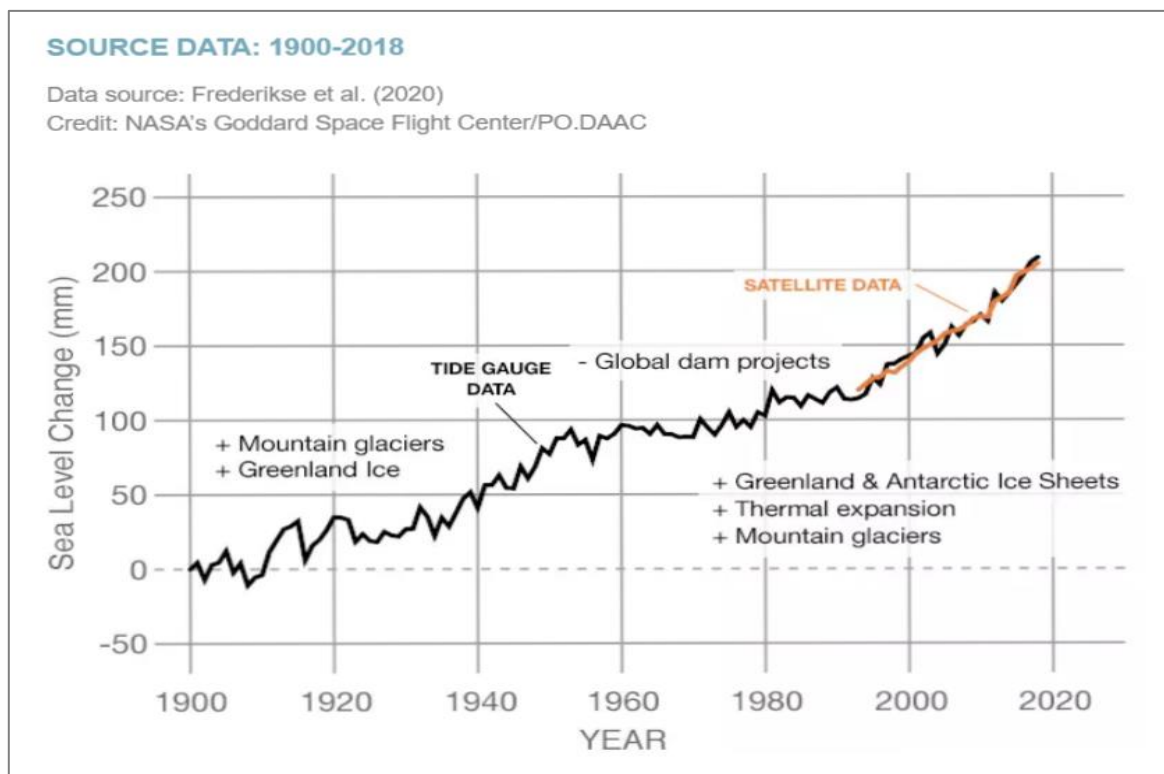


Εικόνα 11: Δορυφορικά δεδομένα που απεικονίζουν την μείωση της ετήσιας ελάχιστης έκτασης του αρκτικού θαλάσσιου πάγου (πηγή: NASA)

### 1.2.7. Άνοδος της στάθμης της θάλασσας

Τα παγκόσμια επίπεδα της στάθμης της θάλασσας αυξάνονται ως αποτέλεσμα της ανθρωπογενούς υπερθέρμανσης του πλανήτη, με τους πρόσφατους ρυθμούς να είναι πρωτοφανείς για τα τελευταία 2.500 χρόνια. Συγκεκριμένα, η μέση παγκόσμια στάθμη της θάλασσας ανέβηκε περίπου 20 εκατοστά τον περασμένο αιώνα. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες ωστόσο, ο ρυθμός αύξησης είναι σχεδόν διπλάσιος από αυτόν του περασμένου αιώνα και επιταχύνεται ελαφρά κάθε χρόνο. Από το 1993 λοιπόν, τα παγκόσμια μέσα επίπεδα της στάθμης αυξήθηκαν περίπου κατά 10,3 εκατοστά.

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας προκαλείται κυρίως από δύο παράγοντες που σχετίζονται με την υπερθέρμανση του πλανήτη: το προστιθέμενο νερό από το λιώσιμο των στρωμάτων πάγου και των παγετώνων και την διαστολή του θαλασσινού νερού καθώς θερμαίνεται. Το γράφημα, το οποίο προέρχεται από μετρητή παράκτιας παλίρροιας και δορυφορικά δεδομένα, δείχνει πόσο άλλαξε η στάθμη της θάλασσας από το 1900 έως το 2018. Τα στοιχεία με συν (+) είναι παράγοντες που προκαλούν αύξηση της στάθμης της θάλασσας, ενώ τα μείον (-) είναι αυτά που προκαλούν τη στάθμη της θάλασσας να μειωθεί. Τα δεδομένα που εμφανίζονται είναι τα πιο πρόσφατα διαθέσιμα.



Εικόνα 12: Η άνοδος της παγκόσμιας μέσης στάθμης της θάλασσας κατά τον τελευταίο αιώνα (πηγή: NASA)

Καθώς οι παγκόσμιες θερμοκρασίες συνεχίζουν να αυξάνονται, η πρόσθετη άνοδος της στάθμης της θάλασσας είναι αναπόφευκτη. Το ακριβές μέγεθος αυτής της ανόδου εξαρτάται κυρίως από το μελλοντικό ρυθμό εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Μια άλλη πηγή αβεβαιότητας προκύπτει από το αν τα μεγάλα στρώματα πάγου στην Ανταρκτική και τη Γροιλανδία θα λιώσουν με σταθερό, προβλέψιμο τρόπο καθώς η Γη θερμαίνεται ή αν θα φτάσουν σε ένα κρίσιμο σημείο καμπής και θα καταρρεύσουν γρήγορα. Κάθε τέσσερα χρόνια, η National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ηγείται μιας διυπηρεσιακής ομάδας εργασίας που εξετάζει τις πιο πρόσφατες έρευνες για την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και εκδίδει μια έκθεση σχετικά με τα πιθανά μελλοντικά επίπεδα ανόδου της στάθμης της θάλασσας για διαφορετικά μελλοντικά επίπεδα αερίων θερμοκηπίου και υπερθέρμανσης του πλανήτη. Στην έκθεση του 2022, η ειδική ομάδα κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ακόμη και στην έκβαση με τις χαμηλότερες δυνατές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και αύξηση της θερμοκρασίας (1,5 βαθμοί Κελσίου), η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας θα ανέβει τουλάχιστον 0,3 μέτρα έως το τέλος του αιώνα. Σε μια έκβαση με πολύ υψηλά ποσοστά εκπομπών που θα προκαλέσουν την ταχεία κατάρρευση των στρώσεων

ηπειρωτικού πάγου, η στάθμη της θάλασσας θα μπορούσε να είναι έως και 2 μέτρα υψηλότερη το 2100 από ό,τι το 2000.

Επιπρόσθετα, η έκθεση επιβεβαίωσε εκ νέου ότι πολλές περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών μπορούν να αναμένουν ότι ο τοπικός ρυθμός και η συνολική ποσότητα ανόδου της στάθμης της θάλασσας θα υπερβούν τον παγκόσμιο μέσο όρο. Βάσει εκτιμήσεων για τους μελλοντικούς ρυθμούς ανόδου, η μέση στάθμη της θάλασσας κατά μήκος της ακτογραμμής των Ηνωμένων Πολιτειών αναμένεται να ανέβει τόσο πολύ τα επόμενα 30 χρόνια (25-30 εκατοστά το 2020-2050) όσο τα τελευταία 100 χρόνια (1920-2020). Οι προβλέψεις για την άνοδο της στάθμης της θάλασσας στις ΗΠΑ για το τέλος του αιώνα και μετά εξαρτώνται από ποια δίοδο εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου θα ακολουθήσει ο κόσμος και από το πώς τα μεγάλα στρώματα πάγου θα ανταποκριθούν στην θέρμανση των ωκεανών και της ατμόσφαιρας. Έτσι, αν οι εκπομπές μειωθούν σημαντικά, το 2100 η στάθμη της θάλασσας των ΗΠΑ προβλέπεται να είναι περίπου 0,6 μέτρα υψηλότερη κατά μέσο όρο από ό,τι ήταν το 2000. Ωστόσο σε μια έκβαση με υψηλές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ταχεία κατάρρευση στρώματος πάγου, τα μοντέλα προβλέπουν ότι η μέση άνοδος της στάθμης της θάλασσας για τις Ηνωμένες Πολιτείες θα μπορούσε να φτάσει τα 2,2 μέτρα έως το 2100 και τα 3,9 μέτρα έως το 2150. Τέλος, για την Ευρώπη προβλέπεται ότι η άνοδος της στάθμης της θάλασσας θα κυμανθεί μεταξύ 60-80 cm μέχρι τα τέλη αυτού του αιώνα, ανάλογα με τον ρυθμό υποχώρησης των πάγων της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής.

### **1.3. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής**

Σύμφωνα με την συντριπτική πλειοψηφία των κλιματολόγων που ασχολούνται με το θέμα, η παγκόσμια κλιματική αλλαγή δεν αποτελεί ένα πρόβλημα των επόμενων δεκαετιών, αλλά μια κατάσταση που διαδραματίζεται και εξελίσσεται στο παρόν. Οι αλλαγές στο κλιματικό σύστημα της Γης που οφείλονται στις αυξημένες ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου έχουν ήδη παρατηρήσιμες επιδράσεις στο περιβάλλον. Παραδείγματος χάρη, οι παγετώνες και τα στρώματα πάγου των πολικών περιοχών συρρικνώνονται, το επίπεδο της στάθμης της θάλασσας ανεβαίνει, τα φυτά και τα δέντρα ανθίζουν νωρίτερα από την φυσιολογική εποχή τους. Σύμφωνα λοιπόν με τις εκτιμήσεις των επιστημόνων της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), οι κυριότερες μελλοντικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής αναμένεται να περιλαμβάνουν :



i) Αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων: Ο τύπος, η συχνότητα και η ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων αναμένεται να αλλάξουν καθώς αλλάζει το κλίμα της Γης και αυτές οι αλλαγές θα μπορούσαν να συμβούν ακόμη και με σχετικά μικρές μέσες κλιματικές μεταβολές. Έως τώρα έχουν ήδη παρατηρηθεί αλλαγές σε ορισμένους τύπους ακραίων φαινομένων, όπως για παράδειγμα οι σφοδρές τροπικές καταιγίδες και οι τυφώνες. Οι καταστροφικές καταιγίδες έχουν γίνει πιο έντονες και συχνότερες σε πολλές περιοχές. Αυτό συμβαίνει γιατί καθώς οι ωκεανοί θερμαίνονται, αυξάνεται σημαντικά και η ποσότητα των υδρατμών που συσσωρεύονται στην ατμόσφαιρα, γεγονός που δημιουργεί σφοδρές καταιγίδες, τυφώνες και πλημύρες. Τέτοια ακραία καιρικά φαινόμενα καταστρέφουν σπίτια και κοινότητες, προκαλώντας θανάτους και τεράστιες οικονομικές απώλειες. Τα υπάρχοντα στοιχεία από μελέτες μοντελοποίησης υποδεικνύουν ότι οι μελλοντικοί τροπικοί τυφώνες θα μπορούσαν να γίνουν πιο συχνοί και πιο καταστροφικοί, με μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου και πιο έντονες βροχοπτώσεις. Μελέτες υποδηλώνουν μάλιστα ότι τέτοιες αλλαγές μπορεί να βρίσκονται ήδη σε εξέλιξη. Συγκεκριμένα, υπάρχουν ενδείξεις ότι ο μέσος αριθμός τυφώνων καταστροφικής επίδρασης (κατηγορίας 4 και 5) ανά έτος έχει αυξηθεί τα τελευταία 30 χρόνια.

ii) Αύξηση στη συχνότητα και την ένταση των κυμάτων καύσωνα: Καθώς το κλίμα μεταβάλλεται εξαιτίας της θέρμανσης του πλανήτη, υπάρχει αυξημένος κίνδυνος πιο έντονων, συχνότερων και μεγαλύτερης διάρκειας κυμάτων καύσωνα στο μέλλον. Το ευρωπαϊκό κύμα καύσωνα του 2022 είναι ένα παράδειγμα ακραίου γεγονότος καύσωνα που διαρκεί έως και πάνω από μία εβδομάδα, το οποίο είναι πιθανό να γίνει πιο συνηθισμένο σε ένα θερμότερο κλίμα στο μέλλον.

iii) Αυξημένες ξηρασίες: Λόγω των αναμενόμενων υψηλότερων μέσων θερμοκρασιών, τα περισσότερα μοντέλα προβλέπουν αυξημένη ξηρότητα κατά τις καλοκαιρινές περιόδους. Η πλεονάζουσα θερμότητα πρόκειται να ενισχύσει την εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια της γης, με αποτέλεσμα να ξηραίνεται το χώμα και η βλάστηση, καθώς και να μειώνονται τα αποθέματα νερού σε όλο και περισσότερες περιοχές. Συνεπώς αυτή η επίδραση θα καταστήσει περιόδους με χαμηλή βροχόπτωση ακόμη πιο ξηρές απ' ό,τι θα ήταν διαφορετικά με δροσερότερες συνθήκες, με αποτέλεσμα να επιδεινώσει τις ελλείψεις νερού σε περιοχές που έχουν ήδη έχουν περιορισμένα αποθέματα.

iv) Επέκταση της περιόδου πυρκαγιών: Ως γνωστόν, οι παρατεταμένες ξηρασίες συμβάλουν σημαντικά στην δημιουργία και την εξάπλωση των πυρκαγιών, καθώς η ξηρασία του εδάφους και της βλάστησης δημιουργεί τις κατάλληλες συνθήκες. Την τελευταία δεκαετία, οι δασικές



πυρκαγιές έχουν επηρεάσει περιοχές της Ευρώπης που άλλοτε δεν αντιμετώπιζαν αυτό το πρόβλημα, ενώ το 2018 αρκετές ευρωπαϊκές χώρες πλήχθηκαν από μεγάλης έκτασης πυρκαγιές που εμφανίστηκαν μετά από περιόδους έντονου καύσωνα και ξηρασίας. Ως αποτέλεσμα της μετάβασης σε ένα θερμότερο κλίμα, η περίοδος πυρκαγιών εκτιμάται ότι θα επεκταθεί.

v) Άνοδος στάθμης και της οξύτητας των ωκεανών: Οι ωκεανοί απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας από την υπερθέρμανση του πλανήτη (90% θερμικής ενέργειας). Ο ρυθμός με τον οποίο θερμαίνονται οι ωκεανοί τα τελευταία 20 χρόνια αυξάνεται ραγδαία, με αποτέλεσμα την διαστολή του νερού, την αύξηση του όγκου του, άρα και την άνοδο του επιπέδου της στάθμης του. Το λιώσιμο των πάγων προκαλεί επίσης άνοδο της στάθμης της θάλασσας, απειλώντας τις παράκτιες και νησιωτικές κοινότητες. Συγκεκριμένα, μέχρι το 2100 οι επιστήμονες προβλέπουν ότι η μέση στάθμη της επιφάνειας της θάλασσας θα ανέβει έως και 2,4 μέτρα εάν οι άνθρωποι συνεχίσουν να εκπέμπουν διοξείδιο του άνθρακα με τον τρέχοντα ρυθμό. Πρέπει να σημειωθεί πως ακόμη και μικρές αλλαγές της στάθμης της θάλασσας μπορούν να προκαλέσουν αυξημένες πλημμύρες σε ορισμένες περιοχές, επειδή οι υψηλές παλίρροιες συνδυάζονται με την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και τη διάβρωση της γης κατά μήκος των ακτών. Τέλος, οι ωκεανοί απορροφούν τόνους διοξειδίου του άνθρακα, γεγονός που αυξάνει την οξύτητά τους και θέτει σε κίνδυνο τη θαλάσσια ζωή και τους κοραλλιογενείς υφάλους.

vi) Κίνδυνος τροφικής επάρκειας: Οι αλλαγές στο κλίμα και η αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων εκτιμάται πως πιθανότατα θα συμβάλουν στην επιδείνωση του υποσιτισμού στις αναπτυσσόμενες χώρες. Οι καλλιέργειες και τα εκτρεφόμενα ζώα μπορεί να υποστούν απώλειες ή να χάσουν μέρος της παραγωγικότητάς τους εξαιτίας της λειψυδρίας. Επιπρόσθετα, καθώς ο ωκεανός γίνεται πιο όξινος, η αλιεία που τρέφει δισεκατομμύρια ανθρώπους μπορεί να μειωθεί σημαντικά.

vii) Περισσότεροι κίνδυνοι για την υγεία: Η κλιματική αλλαγή αποτελεί την μεγαλύτερη απειλή για την υγεία που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα. Κάθε χρόνο, φυσικές καταστροφές από ακραία καιρικά φαινόμενα ευθύνονται για το θάνατο περίπου 13 εκατομμυρίων ανθρώπων, ενώ παράγοντες όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση, ο υποσιτισμός και η ψυχική επιβάρυνση επηρεάζουν την υγεία.

viii) Φτώχεια και εκτοπισμός πληθυσμών: Η κλιματική αλλαγή αυξάνει τους παράγοντες που επιφέρουν την φτώχεια και την απώλεια ευημερίας, ειδικά στις αναπτυσσόμενες χώρες. Οι πλημμύρες μπορεί να παρασύρουν αστικές φτωχογειτονιές, καταστρέφοντας σπίτια και μέσα

διαβίωσης, ενώ τα δυσμενή καιρικά φαινόμενα μπορούν να μειώσουν σημαντικά την παραγωγή και το εισόδημα ανθρώπων που βιοπορίζονται από την γεωργία, την κτηνοτροφία και την αλιεία. Αξίζει να σημειωθεί πως την τελευταία δεκαετία, καταστροφές και απώλειες από ακραία καιρικά φαινόμενα εκτόπισαν περίπου 23,1 εκατομμύρια ανθρώπους κατά μέσο όρο ετησίως, αφήνοντας πολλούς περισσότερους ευάλωτους σε επίπεδα φτώχειας. Οι περισσότεροι πρόσφυγες προέρχονται από αναπτυσσόμενες χώρες που είναι πιο ευάλωτες και λιγότερο προετοιμασμένες να προσαρμοστούν στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

ix) Απώλεια ειδών: Η κλιματική αλλαγή αποτελεί απειλή για την επιβίωση αρκετών ειδών στη γη και στην θάλασσα. Αυτή η απειλή αυξάνεται παράλληλα με την άνοδο της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Επηρεασμένος από την κλιματική αλλαγή, ο κόσμος αυτή τη στιγμή βιώνει μια απώλεια ειδών με ρυθμό 1.000 φορές μεγαλύτερο από ποτέ. Επιπλέον, ένα εκατομμύριο είδη απειλούνται προς εξαφάνιση κατά τις επόμενες δεκαετίες. Τα ακραία καιρικά φαινόμενα και οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν απειλές για την πανίδα και τη χλωρίδα οι οποίες συνδέονται με την κλιματική αλλαγή. Ενώ κάποια είδη θα μπορούν να μετεγκατασταθούν και να επιβιώσουν, αλλά δεν θα έχουν αυτή τη δυνατότητα.



Εικόνα 13: Δείγμα κοραλλιού πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την αντίδραση της λεύκανσης από CO<sub>2</sub> (πηγή: American Chemical Society)

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Πολιτικές για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής**

### **2.1. Η Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC)**

Η πρώτη θέσπιση κανόνων διεθνούς εμβέλειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής έγινε με τη «Σύμβαση – Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (United Nations Framework Convention on Climate Change), η οποία υπογράφηκε από 154 κράτη-μέλη το 1992 στη Σύνοδο για τη Γη του Rio de Janeiro. Κύριος σκοπός αυτής της σύμβασης ήταν η πρόληψη της επικίνδυνης ανθρωπογενούς αλληλεπίδρασης με το κλιματικό σύστημα, η οποία είχε αναγνωριστεί ως υπεύθυνη για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Για αυτό τον σκοπό, η Σύμβαση-Πλαίσιο καλούσε τα συμβαλλόμενα κράτη-μέλη να περιορίσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, ανάλογα με το βαθμό της οικονομικής τους ανάπτυξης. Μέσω της διάκρισης των χωρών σε βιομηχανοποιημένων και μη, αναγνωρίζεται λοιπόν το γεγονός ότι οι αναπτυγμένες χώρες ευθύνονται για το μεγαλύτερο μέρος των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ότι λόγω της οικονομικής τους ευχέρειας διαθέτουν μεγαλύτερη ικανότητα να τις περιορίσουν. Με βάση λοιπόν αυτό το κριτήριο διάκρισης, οι βιομηχανοποιημένες χώρες καλούνταν να σταθεροποιήσουν τις εκπομπές τους στα επίπεδα του 1990 μέχρι το 2000. Αν και η συγκεκριμένη σύμβαση δεν είχε νομικά δεσμευτικό χαρακτήρα, έθεσε τα θεμέλια για μια δεύτερη, πιο δομημένη διεθνή συμφωνία η οποία είναι γνωστή ως το Πρωτόκολλο του Κιότο.

### **2.2. Το Πρωτόκολλο του Κιότο**

Το Πρωτόκολλο του Κιότο συνάφθηκε το 1997 στην 3η Διάσκεψη των Μελών (COP3) στο Κιότο της Ιαπωνίας και τέθηκε σε εφαρμογή το 2005. Σε αντίθεση με την αρχική Σύμβαση-Πλαίσιο για τη Κλιματική Αλλαγή, το Πρωτόκολλο επιβάλλει στα συμβαλλόμενα κράτη να θέσουν δεσμευτικούς στόχους μείωσης των εκπομπών τους σε διοξείδιο του άνθρακα και άλλα αέρια του θερμοκηπίου, υπό την αρχή των κοινών αλλά διαφοροποιημένων ευθυνών. Αναγνωρίζοντας λοιπόν το γεγονός πως οι αναπτυγμένες χώρες είναι κυρίως υπεύθυνες για τα υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα λόγω της μακράς βιομηχανικής τους δραστηριότητας, καθώς και το ότι διαθέτουν μεγαλύτερη οικονομική ευελιξία, το Πρωτόκολλο επιφέρει περισσότερο βάρος σε αυτές.

Συγκεκριμένα, κατά τη πρώτη περίοδο δέσμευσης μεταξύ 2008 και 2012, οι εκπομπές έξι αερίων υπεύθυνων για την υπερθέρμανση του πλανήτη (διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου, υδροφθοράνθρακας, υπερφθοράνθρακας, εξαφθοριούχο θείο) θα έπρεπε να μειωθούν τουλάχιστον κατά 5% σε σύγκριση με τα αντίστοιχα επίπεδα του 1990. Σε αυτό το πλαίσιο, οι χώρες-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης θα έπρεπε να μειώσουν τις εκπομπές τους κατά 8% κατά τη διάρκεια της παραπάνω περιόδου. Στη συνέχεια κατά τη δεύτερη περίοδο ισχύος μεταξύ 2013 και 2020, οι συμβαλλόμενες χώρες δεσμεύονταν να μειώσουν τις εκπομπές τους σε αέρια του θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 18% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990.

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων, το Πρωτόκολλο παρέχει τρεις ευέλικτους μηχανισμούς βασισμένους στην αγορά. Ο πρώτος είναι το σύστημα διεθνούς εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών, το οποίο επιτρέπει στις χώρες που δεν έχουν χρησιμοποιήσει το σύνολο των εκπομπών ρύπων που δικαιούνται, να πουλήσουν τις πλεονάζουσες μονάδες σε άλλες χώρες που έχουν υπερβεί τη ποσότητα του στόχου τους. Συνεπώς με αυτόν τον μηχανισμό δημιουργείται ένα νέο εμπόρευμα το οποίο επιφέρει μια αντιστάθμιση στις συνολικές εκπομπές ρύπων μεταξύ των χωρών. Καθώς το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί το κυριότερο αέριο του θερμοκηπίου, το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών είναι γνωστό ως αγορά άνθρακα.

Ο δεύτερος μηχανισμός που προσφέρεται από το Πρωτόκολλο είναι ο μηχανισμός καθαρής ανάπτυξης, ο οποίος επιτρέπει στις συμβαλλόμενες χώρες που δεσμεύονται για τον περιορισμό των εκπομπών τους να υλοποιήσουν προγράμματα μείωσης εκπομπών ρύπων σε αναπτυσσόμενες χώρες. Τέτοιου είδους προγράμματα αποφέρουν εμπορεύσιμα δικαιώματα μείωσης εκπομπών ίσα με ένα τόνο διοξειδίου του άνθρακα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη των στόχων κάθε χώρας. Τέλος, ο τρίτος μηχανισμός είναι αυτός της κοινής υλοποίησης, ο οποίος επιτρέπει σε μία χώρα να κερδίσει μονάδες μείωσης εκπομπών (ίσες με έναν τόνο διοξειδίου του άνθρακα) από την υλοποίηση προγραμμάτων περιορισμού εκπομπών σε μια άλλη χώρα που δεσμεύεται από το Πρωτόκολλο. Με αυτόν τον τρόπο σε περίπτωση υπέρβασης του επιτρεπόμενου ορίου, η χώρα μπορεί να πετύχει τον εθνικό της στόχο μέσω αντιστάθμισης.

Παρά το ότι το Πρωτόκολλο του Κιότο αποτέλεσε την πρώτη σημαντική συμφωνία για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, η αποτελεσματικότητά του σε τελικό απολογισμό ήταν ανεπαρκής, μιας και οι παγκόσμιες εκπομπές σε αέρια του θερμοκηπίου κατά την περίοδο ισχύος του αντί να μειωθούν συνέχισαν να αυξάνονται. Η επιτυχία του σε μεγάλο βαθμό

υπονομεύθηκε από το γεγονός ότι οι ΗΠΑ και η Κίνα, οι οποίες αποτελούν και τις χώρες με τις μεγαλύτερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως, δεν επικύρωσαν τη συμφωνία επειδή τα οικονομικά τους συμφέροντα θίγονταν από αυτήν. Σαν συνέπεια οι παραπάνω χώρες, των οποίων οι οικονομίες εξαρτώνται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τα ορυκτά καύσιμα, παρήγαγαν τόσο υψηλά επίπεδα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που ουσιαστικά αναιρούσαν την συνολική πρόοδο από τις χώρες που συμμετείχαν στη συμφωνία. Τέλος, επικαλούμενες την έλλειψη κοινής δέσμευσης από όλες τις χώρες, ο Καναδάς, η Ρωσία και η Ιαπωνία αποσύρθηκαν από τη συμφωνία μετά τη λήξη της πρώτης περιόδου ισχύος της. Συμπερασματικά, αν και το Πρωτόκολλο του Κιότο εν τέλει δεν πέτυχε τους αρχικούς του στόχους, μπορεί ωστόσο να θεωρηθεί σαν ένα πρώτο σημαντικό βήμα προς την υιοθέτηση ενός διεθνούς συστήματος σταθεροποίησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Με άλλα λόγια, το Πρωτόκολλο έθεσε τις βάσεις για την δημιουργία μιας επόμενης, πιο ισχυρής δεσμευτικής συμφωνίας για την κλιματική αλλαγή, της Συμφωνίας του Παρισιού, από την οποία και αντικαταστάθηκε.

### **2.3. Η Συμφωνία του Παρισιού**

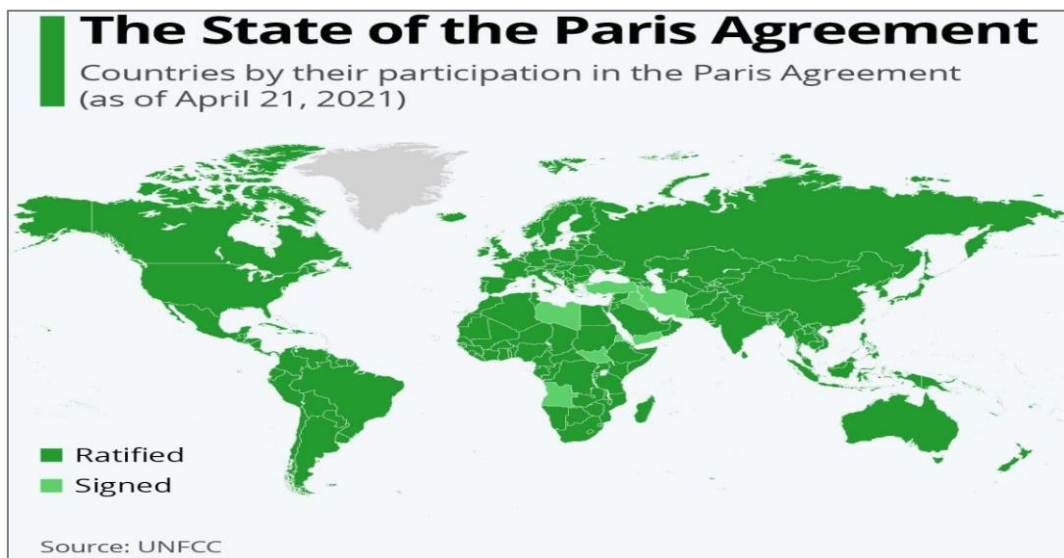
Η Συμφωνία του Παρισιού αποτελεί την κορύφωση των προσπαθειών για την επίτευξη μιας διεθνούς σύμβασης καθολικής ισχύος για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Στη σύνοδο για το κλίμα που έλαβε χώρα στο Παρίσι το 2015, 194 χώρες επικύρωσαν την πρώτη νομικά δεσμευτική διεθνή συμφωνία για το κλίμα, η οποία τέθηκε σε ισχύ τον Νοέμβριο του 2016. Η συμφωνία επιβάλλει σε όλες τις χώρες δεσμεύσεις για την μείωση των εκπομπών τους σε αέρια του θερμοκηπίου, απαιτεί τη συνεργασία μεταξύ των χωρών για την προσαρμογή στις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής και καλεί τις χώρες να ενισχύσουν τις αρχικές τους δεσμεύσεις με την πάροδο του χρόνου. Αξίζει να σημειωθεί πως η συμφωνία παρέχει ένα κατευθυντήριο πλαίσιο για τα αναπτυγμένα κράτη προκειμένου να βοηθήσουν τα αναπτυσσόμενα στις προσπάθειές τους να μετριάσουν την κλιματική αλλαγή και να προσαρμοστούν στις μεταβολές που αυτή επιφέρει. Επιπρόσθετα, η συμφωνία προβλέπει τον έλεγχο και την αναφορά της προόδου των χωρών προς τη κατεύθυνση των στόχων που έχουν τεθεί με βάση τη διαφάνεια.

Απώτερος μακροπρόθεσμος στόχος της συμφωνίας είναι η συγκράτηση της ανόδου της παγκόσμιας θερμοκρασίας κάτω των 2° C σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα, με έμφαση στη προσπάθεια μετριασμού της στους 1,5° C καθώς έτσι το μέγεθος των μελλοντικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής εκτιμάται ότι θα είναι σημαντικά μικρότερο (IPCC,

Climate Change 2014) Για την επίτευξη αυτού του πρωταρχικού στόχου, η Συμφωνία του Παρισιού προβλέπει κάποιες πρόσθετες κατευθυντήριες οδηγίες και επιμέρους στόχους, οι οποίοι περιλαμβάνουν:

- Την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030, σε σχέση με τα αντίστοιχα επίπεδα του 1990, στόχος που δεσμεύει τις χώρες-μέλη της ΕΕ.
- Την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας μέχρι το 2050, δηλαδή την εξισορρόπηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και λοιπών αερίων του θερμοκηπίου με αφαίρεση αντίστοιχων ποσοτήτων εκπομπών από την ατμόσφαιρα (net-zero emissions). Για την επίτευξη του παραπάνω στόχου, οι χώρες θα πρέπει να φτάσουν το μέγιστο σημείο καμπής των εκπομπών τους εντός των επόμενων χρόνων, προκειμένου στη συνέχεια να αρχίσουν να τις ελαττώνουν.
- Τις οικονομικές και κοινωνικές προσαρμογές των χωρών στις επιταγές της αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής, βασισμένες στα πρόσφατα διαθέσιμα επιστημονικά ευρήματα.
- Τη χρήση νέων τεχνολογιών και καινοτομιών για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την επακόλουθη υπερθέρμανση του πλανήτη, καθώς και την ενίσχυση της ανθεκτικότητας έναντι των δυσμενών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.
- Τη χρηματοδότηση για επενδύσεις σε έργα στα πλαίσια της βιώσιμης ανάπτυξης, τα οποία θα συμβάλλουν σε περιβαλλοντικά φιλική οικονομική ανάπτυξη, εναρμονισμένη με τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής.
- Οι οικονομικά αναπτυγμένες χώρες θα πρέπει να ηγηθούν σε αυτή τη συλλογική προσπάθεια προσαρμογής, παρέχοντας υποστήριξη στις αναπτυσσόμενες και λιγότερο εύρωστες οικονομικά χώρες, οι οποίες είναι και πιο ευάλωτες στις κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Η βοήθεια αυτή μπορεί να είναι υπό τη μορφή άμεσων χρηματοοικονομικών ροών, επενδύσεων σε έργα βιώσιμης ανάπτυξης και παροχής εκπαίδευσης και τεχνογνωσίας.
- Τον σχεδιασμό και την εφαρμογή εθνικών σχεδίων δράσης με προσδιορισμένες συνεισφορές στην πρωτοβουλία για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής (NDCs) από τις κυβερνήσεις των χωρών. Με βάση τη Συμφωνία του Παρισιού, οι χώρες υποχρεούνται να καταθέσουν επίσημα τα σχέδια δράσης τους για το κλίμα μέχρι το 2020, τα οποία περιλαμβάνουν α) στρατηγικές για τη μείωση των εκπομπών τους σε αέρια του θερμοκηπίου και β) στρατηγικές για την προσαρμογή και ενίσχυση της ανθεκτικότητας τους στις δυσμενείς συνέπειες από την υπερθέρμανση του πλανήτη.

- Την παρακολούθηση της προόδου κάθε χώρας προς την επίτευξη των παραπάνω στόχων μέσω ενός ενισχυμένου μηχανισμού διαφάνειας, ο οποίος προβλέπει τον έλεγχο των αναφορών από σχετικούς εμπειρογνώμονες. Κάθε χώρα στα πλαίσια της Συμφωνίας του Παρισιού θα πρέπει να καταθέτει ανά πέντε έτη αναφορά σχετικά με τη πρόδό της προς τη κατεύθυνση του μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, καθώς και σχετικά με την υποστήριξη που παρείχε ή έλαβε.



Εικόνα 14: Οι χώρες που συμμετέχουν στην Συμφωνία του Παρισιού (πηγή: UNFCC)

Από την έναρξη της ισχύος της, η Συμφωνία του Παρισιού έχει βοηθήσει στο να επιταχυνθεί η οικονομική και κοινωνική προσαρμογή σύμφωνα με τις απαιτήσεις για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Για παράδειγμα, τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερες χώρες, πόλεις και κυρίως επιχειρήσεις υιοθετούν στόχους ουδετερότητας σε άνθρακα. Επιπρόσθετα, οι εναλλακτικές λύσεις μηδενικού άνθρακα έχουν αρχίσει να γίνονται ανταγωνιστικές μεταξύ οικονομικών κλάδων που ευθύνονται για μεγάλο μέρος των εκπομπών, όπως ο κλάδος της ενέργειας και των μεταφορών και αυτή η τάση έχει ήδη δημιουργήσει οικονομικά οφέλη και επιχειρηματικές ευκαιρίες για αρκετές εταιρίες.

Στον αντίποδα, αν και σε διεθνές επίπεδο παρατηρούνται δράσεις προς την κατεύθυνση του περιορισμού της υπερθέρμανσης του πλανήτη, στα τρέχοντα τους επίπεδα δεν επαρκούν για την επίτευξη των στόχων της Συμφωνίας του Παρισιού. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με έκθεση της αντιπροσωπείας των Ηνωμένων Εθνών για το περιβάλλον, οι εθνικά καθορισμένες συνεισφορές των χωρών προς το παρόν κρίνονται ανεπαρκείς για την συγκράτηση της ανόδου

της θερμοκρασίας στον 1,5 ° C, γεγονός που σηματοδοτεί πως ο παραπάνω στόχος πιθανότατα δεν θα επιτευχθεί.

Η συγκεκριμένη διαπίστωση έγκειται στην ανάλυση της απόστασης μεταξύ των μειώσεων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που απαιτούνται για την επίτευξη του στόχου του 1,5 ° C και των μειώσεων που έχουν εγγυηθεί από τις κυβερνήσεις των χωρών στα πλαίσια των εθνικών τους σχεδίων για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Μάλιστα η ίδια έκθεση αναφέρει στα ευρήματά της πως αν οι τρέχουσες εγγυήσεις εκπομπών των χωρών για το 2030 πραγματοποιηθούν, αυτές θα έχουν ως αποτέλεσμα μια αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας περίπου 2,8 ° C και επακόλουθα καταστροφικά καιρικά φαινόμενα ανά τον κόσμο. Συνεπώς, η έκθεση καταλήγει πως για να αποφευχθούν οι χειρότερες επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή, οι παγκόσμιες εκπομπές σε αέρια του θερμοκηπίου θα πρέπει να μειωθούν περίπου κατά 50% μέχρι το 2030. Ωστόσο, βάσει των αποτελεσμάτων της τελευταίας συνόδου για το κλίμα (COP27) και δεδομένου ότι οι πολιτικοί ηγέτες εξακολουθούν να μην λαμβάνουν μέτρα για τη μείωση της χρήσης ορυκτών καυσίμων, ένα τέτοιο σενάριο φαντάζει μη ρεαλιστικό.

Σύμφωνα με την επικεφαλής του Προγράμματος για το Περιβάλλον των Ηνωμένων Εθνών I.Andersen, μόνο ένας ριζικός μετασχηματισμός των οικονομιών και των κοινωνιών μας, μέσω αλλαγών στην καταναλωτική συμπεριφορά μπορεί να αποτρέψει την επιτάχυνση της κλιματικής καταστροφής. Σύμφωνα με την τελευταία μελέτη του παραπάνω θεσμού, η μετάβαση σε «πράσινες» πηγές παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, καθώς και φιλικά προς το περιβάλλον μέσα μεταφοράς και κτίρια βρίσκεται σε εξέλιξη, ωστόσο πρέπει να αναπτυχθεί με ταχύτερο ρυθμό. Επίσης, όλοι οι τομείς της οικονομίας θα πρέπει να αποφύγουν την ανάπτυξη νέων επενδύσεων σε υποδομές ορυκτών καυσίμων, κάτι που αντιτίθεται με τα σχέδια πολλών χωρών και εταιρειών που στοχεύουν στην εξόρυξη νέων κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου. Η παραπάνω θέση προκύπτει από τα πορίσματα της πλειοψηφίας των δημοσιευμένων ερευνών, οι οποίες συμφωνούν ομόφωνα πως τα σχέδια εξόρυξης νέων αποθεμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου είναι μη συμβατά με τον στόχο της Συμφωνίας του Παρισιού για τη συγκράτηση της ανόδου της θερμοκρασίας στον 1,5 ° C.

Επιπρόσθετα, βάσει της τελευταίας μελέτης του Προγράμματος για το Περιβάλλον των Ηνωμένων Εθνών, περίπου το ένα τρίτο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου αυτή τη στιγμή προέρχεται από το διεθνές διατροφικό σύστημα και κυρίως από τον τομέα της κτηνοτροφίας. Ο τομέας αυτός ωστόσο θα μπορούσε να εξυγιανθεί αν οι κυβερνήσεις αποφασίσουν να μειώσουν τις κτηνοτροφικές επιδοτήσεις - οι οποίες στην πραγματικότητα



είναι εξαιρετικά επιβλαβείς για το περιβάλλον – και ρυθμίσουν την υπερβάλλουσα παραγωγή και κατανάλωση μοσχαρίσιου κρέατος μέσω επιβολής περιβαλλοντικού φόρου. Με αυτό τον τρόπο λοιπόν, οι καταναλωτές θα έχουν και ένα επιπλέον κίνητρο για να υιοθετήσουν πιο περιβαλλοντικά φιλικές, όπως και πιο υγιεινές διατροφές.

Τέλος, η εν λόγω μελέτη τονίζει τη σημασία της ανακατεύθυνσης των οικονομικών ροών προς πράσινες επενδύσεις, με γνώμονα τη βιώσιμη ανάπτυξη σε διεθνές επίπεδο. Μέχρι πρόσφατα οι περισσότεροι χρηματοοικονομικοί οργανισμοί παρά τις δηλωμένες προθέσεις τους είχαν δείξει περιορισμένη δράση προς αυτή τη κατεύθυνση, καθώς έδιναν προτεραιότητα σε πιο βραχυπρόθεσμα οικονομικά συμφέροντα. Αν και ο χρηματοοικονομικός τομέας πλέον έχει αναγνωρίσει τόσο το κοινωνικό, όσο και το οικονομικό όφελος από τη χρηματοδότηση πράσινων επενδύσεων μέσω της παροχής προνομιακών «πράσινων» ομολόγων και επιδοτήσεων, ένας ουσιαστικός μετασχηματισμός προς μια διεθνή οικονομία χαμηλών εκπομπών εκτιμάται πως απαιτεί περίπου τέσσερα τρισεκατομμύρια δολάρια το χρόνο σε επενδυμένα κεφάλαια, ποσό που αναλογεί σχεδόν μόνο στο 2% των σημερινών επενδυτικών κεφαλαίων. Όπως είναι αντιληπτό λοιπόν, θα πρέπει να αναγνωριστεί και να γίνει αποδεκτή η ανάγκη για περιορισμό ορισμένων επενδύσεων με βραχυπρόθεσμη απόδοση κερδών, για χάρη άλλων με πιο μακροπρόθεσμα οικονομικά και κοινωνικά οφέλη.

## **2.4. Ο ρόλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης**

Το 2013, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε την «Στρατηγική της ΕΕ για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή». Η συγκεκριμένη στρατηγική περιλάμβανε τρεις επιμέρους στόχους. Ο πρώτος ήταν να προωθήσει στα κράτη-μέλη της ΕΕ την υιοθέτηση στρατηγικών για την καλύτερη αντιμετώπιση και προσαρμογή τους στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, ενώ ακόμη προέβλεπε την παροχή κατάλληλης χρηματοδοτικής στήριξης προς αυτά για την ενίσχυση των ικανοτήτων προσαρμογής τους. Ο δεύτερος αφορούσε την λήψη μέτρων για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας της οικονομίας της ΕΕ έναντι των δυσμενών επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής σε επιρρεπείς κλάδους, όπως η αλιεία και η γεωργία. Επιπλέον, ο συγκεκριμένος στόχος αποσκοπούσε στην διασφάλιση της ανθεκτικότητας των ευρωπαϊκών υποδομών έναντι ενδεχόμενων φυσικών καταστροφών από ακραία καιρικά φαινόμενα. Τέλος, ο τρίτος στόχος αφορούσε την κάλυψη των ενδεχόμενων κενών γνώσης όσον αφορά τους τρόπους προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή, μέσω της δημιουργίας μιας περιεκτικής πλατφόρμας ενημέρωσης (Climate-ADAPT).

Οι χώρες της ΕΕ της συγκαταλέγονται στα συμβαλλόμενα μέρη της Συμφωνίας του Παρισιού, επικυρώνοντάς την τον Οκτώβριο του 2016. Στο πλαίσιο της Agenda 2030 για το κλίμα και την ενέργεια, η συνεισφορά της ΕΕ στη Συμφωνία του Παρισιού αρχικά ανερχόταν σε μια μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 40% έως το 2030.

#### **2.4.1. Η Ευρωπαϊκή «Πράσινη Συμφωνία» (Green Deal)**

Τον Δεκέμβριο του 2019 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε την «Πράσινη Συμφωνία» (Green Deal), η οποία αποτελεί και την βασική στρατηγική της ΕΕ για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Βασικός στόχος της συμφωνίας είναι η μακροπρόθεσμη επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας, μέσω της απανθρακοποίησης βασικών τομέων της οικονομίας όπως αυτοί της ενέργειας και των μεταφορών. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, το Green Deal επικεντρώνεται στην λήψη μέτρων που προωθούν την υιοθέτηση περιβαλλοντικά φιλικών τεχνολογιών, όπως για παράδειγμα αυτές που χρησιμοποιούνται για την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον, μέσω της εφαρμογής της παραπάνω συμφωνίας, η ΕΕ ουσιαστικά υιοθετεί ηγετικό ρόλο στην διεθνή προσπάθεια αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής, με αποκορύφωμα την δέσμευση για μηδενικές καθαρές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (net-zero emissions) έως το 2050.

Η συμφωνία δίνει έμφαση σε τρεις βασικές αρχές για την μετάβαση της οικονομίας της ΕΕ σε πιο καθαρές μορφές ενέργειας, οι οποίες θα συνεισφέρουν στον περιορισμό των εκπομπών άνθρακα. Βάσει αυτών των αρχών, η ΕΕ αποσκοπεί :

- Να μειώσει την εξάρτησή της από ορυκτά καύσιμα, αναπτύσσοντας έναν ενεργειακό τομέα που θα βασίζεται σημαντικά σε ανανεώσιμες πηγές.
- Να διασφαλίσει ενεργειακή ανεξαρτησία και οικονομικά προσιτή πρόσβαση σε ενέργεια, μειώνοντας τις εισαγωγές ενεργειακών προϊόντων και αυξάνοντας την παραγωγή εντός των χωρών της.
- Να δημιουργήσει μια σύγχρονη, διασυνδεδεμένη και ψηφιοποιημένη αγορά ενέργειας



Εικόνα 15: Το ευρωπαϊκό Green Deal (πηγή: Ευρωπαϊκή Ένωση)

#### 2.4.2. Το Ευρωπαϊκό Πλαίσιο για το Κλίμα και την Ενέργεια (Agenda 2030)

Το πλαίσιο για το κλίμα και την ενέργεια του 2030 περιλαμβάνει πολιτικές και στόχους για τις χώρες της ΕΕ για την περίοδο από το 2021 έως το 2030. Στα πλαίσια του Green Deal, το 2020 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αύξησε τον στόχο μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για το 2030 σε 55% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Κύριοι στόχοι της Agenda 2030 είναι:

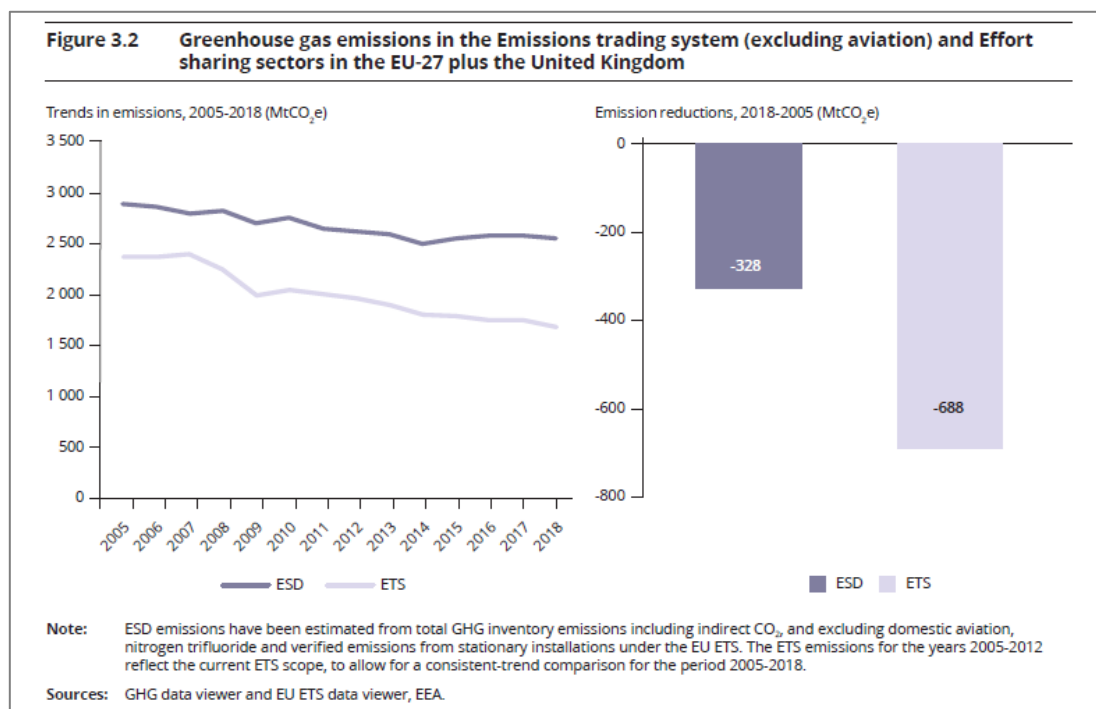
- Η ελάττωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> και των λοιπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55 % σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990
- Η επίτευξη ποσοστού διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα κατά τουλάχιστον 32%
- Η βελτίωση στην ενεργειακή απόδοση τουλάχιστον κατά 32,5%

#### 2.4.3. Το Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών Ρύπων (EU ETS)

Το Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών της ΕΕ (EU ETS) πρόκειται για ένα βασικό μέρος της ευρωπαϊκής πολιτικής για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής. Το ETS ουσιαστικά αποτελεί μια αγορά δικαιωμάτων

εκπομπών που καθορίζει τη ποσότητα που οι κάτοχοί τους μπορούν να απελευθερώσουν στην ατμόσφαιρα. Επιπλέον, θέτει ένα ανώτατο όριο στη συνολική ποσότητα αερίων θερμοκηπίου που μπορούν να εκπέμπονται από χιλιάδες βιομηχανικές εγκαταστάσεις μεγάλης έντασης εργασίας εντός 30 χωρών. Βάσει του συστήματος, επιχειρήσεις όπως μια αεροπορική εταιρία μπορεί να διαπραγματεύεται δικαιώματα εκπομπών άνθρακα, αγοράζοντας τα όταν ξεπερνά τα επιτρεπόμενα όρια ή πουλώντας τα όταν δεν τα εξαντλεί. Μάλιστα σε περίπτωση που μια εταιρία παράγει περισσότερες ποσότητες εκπομπών από αυτές που αναλογούν στα δικαιώματά της, τότε επιβάλλονται σοβαρά πρόστιμα. Ωστόσο με την πάροδο του χρόνου, το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο στο σύστημα μειώνεται, προκειμένου να περιορίζονται και οι συνολικές εκπομπές. Επιπλέον, το ETS παρέχει κίνητρα στις επιχειρήσεις ώστε να εντοπίσουν τις πιο οικονομικά συμφέρουσες περικοπές εκπομπών και να επενδύσουν σε καθαρότερες τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Αξίζει να σημειωθεί πως από την εισαγωγή του ETS το 2005, οι εκπομπές έχουν μειωθεί περίπου κατά 35 % στους κλάδους που περιλαμβάνονται στο σύστημα εμπορίας ρύπων, με πιο εμφανή αποτελέσματα στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Επιπρόσθετα, οι εκπομπές σε σχεδόν όλες τις χώρες που καλύπτονται από το σύστημα ελαττώθηκαν κατά τα τελευταία χρόνια, εξαιτίας της συμπερίληψης στο σύστημα βιομηχανικών τομέων εντάσεως ενέργειας, καθώς και της εμπορικής αεροπορίας εντός της ΕΕ.



Εικόνα 16: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στο ETS (2005-2018) (πηγή: European Environment Agency)

#### **2.4.4. Εθνικά Σχέδια για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ)**

Για την επίτευξη των στόχων της ΕΕ στα πλαίσια της Agenda 2030, οι χώρες της ΕΕ υποχρεούνται να καταρτίσουν 10ετές ενοποιημένο εθνικό σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα (ΕΣΕΚ) για την περίοδο από το 2021 έως το 2030. Τα εθνικά σχέδια περιλαμβάνουν τις προσδιορισμένες συνεισφορές των χωρών της ΕΕ στην πρωτοβουλία για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής (NDCs) και οργανώνουν τον τρόπο με τον οποίο οι χώρες πρόκειται να δράσουν στους τομείς

- Της ενεργειακής απόδοσης
- Των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου
- Των ενεργειακών διασυνδέσεων
- Της ανάπτυξης καινοτομίας

Με βάση τη Συμφωνία του Παρισιού, οι χώρες υποχρεούνται να καταθέτουν επίσημα τα σχέδια δράσης τους για το κλίμα, τα οποία περιλαμβάνουν α) στρατηγικές για τη μείωση των εκπομπών τους σε αέρια του θερμοκηπίου και β) στρατηγικές για την προσαρμογή και ενίσχυση της ανθεκτικότητας τους στις δυσμενείς συνέπειες από την κλιματική αλλαγή.

Στην περίπτωση της Ελλάδας, το νέο Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) επικεντρώνεται ακριβώς στην επίτευξη των κεντρικών ευρωπαϊκών στόχων για το κλίμα σε εθνικό επίπεδο. Με βάση τους σημαντικότερους στόχους του νέου αναθεωρημένου ΕΣΕΚ που αφορούν την ενεργειακή μετάβαση σε ΑΠΕ, η Ελλάδα σκοπεύει:

i) Να αυξήσει την συμμετοχή των ΑΠΕ στη συνολική κατανάλωση ενέργειας από 18% στο 35% έως το 2030.

ii) Να αυξήσει το μερίδιο των ΑΠΕ στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής σε ποσοστό 61% μέχρι το 2030.

iii) Να αποσύρει τις λιγνιτικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής της ΔΕΗ έως το 2023.

iv) Να απλοποιήσει την διαδικασία αδειοδότησης για τις ΑΠΕ.

v) Να κατασκευάσει συστήματα αποθήκευσης ενέργειας τα οποία απαιτούνται για την αποδοτική λειτουργία των ΑΠΕ και την σταθερότητα του ηλεκτρικού δικτύου.

vi) Να αναπτύξει την ηλεκτροκίνηση, έτσι ώστε μέχρι το 2030 το 1/3 των νέων οχημάτων να είναι ηλεκτρικά.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η ενεργειακή μετάβαση της ΕΕ : Προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) ως λύση μετριασμού της κλιματικής αλλαγής**

Η βασική κινητήρια δύναμη των αλλαγών στο ευρωπαϊκό ενεργειακό σύστημα έγκειται στην ανάγκη για μια ενεργειακή μετάβαση που θα ελαττώσει αποτελεσματικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Καθώς το 75 % των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ προέρχεται από την παραγωγή και την κατανάλωση ενέργειας, η εξυγίανση του ενεργειακού τομέα από τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την επίτευξη των κλιματικών στόχων της Agenda 2030 , όπως και για την εκπλήρωση της δέσμευσης για κλιματική ουδετερότητα έως το 2050.

### **3.1. Η εφαρμογή του Green Deal στον τομέα της ενέργειας**

Το Green Deal δίνει έμφαση σε τρεις κύριους άξονες για τη μετάβαση σε καθαρές μορφές ενέργειας. Ο πρώτος αφορά την εξασφάλιση ενεργειακής ανεξαρτησίας της ΕΕ, καθώς και την πρόσβαση σε οικονομικά προσιτή ενέργεια. Ο δεύτερος αποσκοπεί στην ανάπτυξη μιας ενεργειακής αγοράς η οποία θα είναι σύγχρονη, επαρκώς διασυνδεδεμένη και ψηφιοποιημένη, ενώ ο τρίτος στην μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα και την αύξηση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα των χωρών της ΕΕ.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η εν λόγω ενεργειακή μετάβαση, η ΕΕ μέσω του Green Deal επιδιώκει:

- Να δημιουργήσει διασυνδεδεμένα ενεργειακά συστήματα και ολοκληρωμένα δίκτυα, προκειμένου αυτά να υποστηρίζουν πλήρως τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- Να προωθήσει τις καινοτόμες τεχνολογίες που θα συμβάλουν στην παραγωγή ενέργειας με πιο περιβαλλοντικά φιλικούς τρόπους.
- Να αξιοποιήσει στο μέγιστο δυνατό βαθμό τις δυνατότητες που παρέχει η υπεράκτια αιολική ενέργεια στην Ευρώπη.
- Να προωθήσει τον οικολογικό σχεδιασμό και την ενεργειακή αποδοτικότητα των προϊόντων και των υποδομών.

Η εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της αύξησης της ενεργειακής αποδοτικότητας και η αυξημένη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελούν την κύρια οδό για την μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, τόσο στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρισμού, όσο και στην κατανάλωση των μεταφορών και της βιομηχανίας. Οι παραπάνω λύσεις περιορίζουν σημαντικά

την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Για την περεταίρω διεύρυνση των ΑΠΕ, δύο απαραίτητες προϋποθέσεις περιλαμβάνουν: α) την έρευνα και ανάπτυξη σε τεχνολογίες ΑΠΕ, με στόχο την βελτίωση της αποδοτικότητας και την περεταίρω μείωση του κόστους από τη μία και β) την δημιουργία ενός ενεργειακού συστήματος που να μπορεί να υποστηρίξει επαρκώς την αυξημένη συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών από την άλλη.

Η οδηγία για τις ΑΠΕ έθεσε ως στόχο για το 2030 την συμμετοχή τους στο ενεργειακό μείγμα της ΕΕ τουλάχιστον κατά 32% βάσει των εθνικών συνεισφορών των κρατών-μελών. Όταν εκείνα κατέθεσαν τα Εθνικά τους σχέδια για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) το 2020, η αθροιστική συνεισφορά των 27 σχεδίων ξεπέρασε τον παραπάνω στόχο, οδηγώντας σε αναμενόμενο μερίδιο ΑΠΕ της τάξης του 33,5%. Επιπλέον, δεδομένου ότι με τη νέα πρόταση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής στην συνέχεια αυξήθηκε ο στόχος της ΕΕ για τις ΑΠΕ στο 40%, τα κράτη-μέλη προβλέπεται να ενισχύσουν την συνεισφορά τους προς την επίτευξη του νέου στόχου.

Οι νέοι ανανεωμένοι στόχοι είναι οι εξής:

- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 13% στον τομέα των μεταφορών.
- Ετήσια αύξηση στη χρήση ΑΠΕ στον τομέα της βιομηχανίας κατά 1,1 %.
- Αύξηση κατά 1,1 % σε εθνικό επίπεδο για ανάγκες θέρμανσης και ψύξης, σε ετήσια βάση.
- Τουλάχιστον 49% μερίδιο ανανεώσιμης ενέργειας για κάλυψη των κτιριακών ενεργειακών αναγκών

Η παραπάνω οδηγία προωθεί επίσης την χρήση βιοκαυσίμων και θέτει επιπλέον στόχους για το ανανεώσιμο υδρογόνο, όπως και τα καύσιμα που βασίζονται στο υδρογόνο:

- Μερίδιο 2,6% για ανανεώσιμα καύσιμα υδρογόνου στον τομέα των μεταφορών.
- Μερίδιο 50% ανανεώσιμου υδρογόνου στον τομέα της βιομηχανίας.

### **3.2. Τα είδη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)**

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ορίζονται όλες οι μη ορυκτές πηγές ενέργειας, που έχουν τη δυνατότητα να ανανεώνονται, δηλαδή να μην εξαντλούνται. Σε αυτές περιλαμβάνονται η αιολική, η ηλιακή, η υδροηλεκτρική, η γεωθερμική, η κυματική, η παλιρροϊκή, καθώς και η βιοενέργεια. Οι ΑΠΕ ονομάζονται εναλλακτικά και ήπιες μορφές ενέργειας, καθώς για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως η εξόρυξη ή η καύση, παρά μόνο η εκμετάλλευσή της υφιστάμενης ροής ενέργειας στη

φύση. Επίσης, χαρακτηρίζονται ως φιλικές προς το περιβάλλον, διότι πρόκειται για καθαρές μορφές ενέργειας που δεν αποδεσμεύουν τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα ή διοξείδιο του άνθρακα, με αποτέλεσμα να μην επιδεινώνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και κατά συνέπεια την κλιματική αλλαγή.

Μέσω της εκμετάλλευσης των Α.Π.Ε., το ζητούμενο αποτέλεσμα είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με έμφαση τόσο στην εξοικονόμηση ενέργειας όσο και την προστασία του περιβάλλοντος, στόχοι που μπορούν να επιτευχθούν μέσω της εκμετάλλευσης των στοιχείων της φύσης είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό. Το κόστος των ΑΠΕ, ιδίως της ηλιακής και αιολικής ενέργειας, έχει μειωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, καθιστώντας έτσι πιο προσιτή την εγκατάσταση, την εφαρμογή τους και τη διείσδυση τους στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

### **3.3. Αιολική Ενέργεια**

Η αιολική ενέργεια αποτελεί μία από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας. Λόγω της μείωσης του κόστους της καθώς και των σημαντικών επιδοτήσεων για την προώθησή της, η χρήση της έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, τόσο στις χώρες της Ε.Ε. όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Σύμφωνα με στοιχεία του Διεθνούς Οργανισμού Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (IRENA) η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας αυξήθηκε σχεδόν κατά πέντε φορές την τελευταία δεκαετία, αγγίζοντας τα 823 GW το 2021 και αντιπροσωπεύοντας το 27% της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές.

Οι ανεμογεννήτριες πρωτοεμφανίστηκαν περίπου έναν αιώνα πριν, ως αποτέλεσμα της προσπάθειας αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η σύγχρονη αιολική ενέργεια θεωρείται ότι αναπτύχθηκε για πρώτη φορά στη Δανία, όπου και κατασκευάστηκε η πρώτη ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα το 1891 και η πρώτη σύγχρονη ανεμογεννήτρια εναλλασσόμενης τάσης το 1956.

Εν ολίγοις, ο τρόπος παραγωγής ηλεκτρισμού από αιολική ενέργεια έχει ως εξής : ο άνεμος αρχικά κινεί τα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας, με αποτέλεσμα αυτά να περιστρέφουν τον κύριο οριζόντιο άξονα που είναι συνδεδεμένος με αυτά. Αυτή η διαδικασία μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε μηχανική, η οποία περιστρέφει έναν δευτερεύοντα άξονα που είναι συνδεδεμένος με μια ηλεκτρογεννήτρια παράγοντας έτσι ηλεκτρική ενέργεια. Η ποσότητα ισχύος που μπορεί να παραχθεί από τον άνεμο εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το μέγεθος της τουρμπίνας της ανεμογεννήτριας και το μήκος των πτερυγίων της. Η παραγωγικότητα των



ανεμογεννητριών έχει αυξηθεί σημαντικά με την πάροδο του χρόνου, με τις σημερινές χερσαίες ανεμογεννήτριες να έχουν δυναμικότητα 2-3 MW και να παράγουν περισσότερο από έξι εκατομμύρια κιλοβατώρες (KWh) ετησίως, ενέργεια δηλαδή που αρκεί για να καλύψει τις ανάγκες περίπου 1.500 νοικοκυριών.

### **3.4. Ηλιακή Ενέργεια**

Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί άλλη μια αρκετά διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως σε παγκόσμιο επίπεδο για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και για τις ανάγκες θέρμανσης του νερού. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος με τον οποίο παράγεται ηλεκτρική ενέργεια από την ηλιακή ενέργεια είναι μέσω της χρήσης φωτοβολταϊκών συστημάτων, τα οποία είναι γνωστά και ως ηλιακά πάνελ. Μια φωτοβολταϊκή μονάδα απαρτίζεται από ηλιακές κυψέλες οι οποίες είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους και πλαισιώνονται σε μια δομή στήριξης. Κύριο χαρακτηριστικό αυτών των μονάδων αποτελεί ο σχεδιασμός για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε ορισμένη τάση. Σε μια τέτοια μονάδα, η ποσότητα του παραγόμενου ρεύματος εξαρτάται από την ποσότητα του ηλιακού φωτός που προσπίπτει σε αυτή.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούν ημιαγώγιμα υλικά όπως το πυρίτιο, τα οποία παρουσιάζουν το φωτοβολταϊκό φυσικό φαινόμενο και επιτρέπουν την απορρόφηση και την μετατροπή την ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Κάθε μονάδα αποτελείται από μια στρώση από κυψέλες πυριτίου, ένα μεταλλικό πλαίσιο, ένα γυάλινο περίβλημα και καλωδιώσεις που επιτρέπουν τη ροή ρεύματος από τα κύτταρα πυριτίου. Επίσης, σημαντική προσθήκη αποτελεί και η στρώση μόνωσης, η οποία αποτρέπει την διαφυγή θερμότητας και την εισροή υγρασίας εντός του πλαισίου. Καθώς το ηλιακό φως αλληλοεπιδρά με τις κυψέλες πυριτίου, τα ηλεκτρόνια τους ενεργοποιούνται, προσανατολίζονται και δημιουργούν μια ροή από ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτό δεσμεύεται από τους κόμβους και τα καλώδια του πίνακα και έπειτα τροφοδοτείται με τη μορφή συνεχούς ρεύματος (DC) σε έναν ηλιακό μετατροπέα όπου και μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC).



*Εικόνα 17: Φωτοβολταϊκό πάρκο (πηγή: cleanpower.org)*

Όσον αφορά τα πλεονεκτήματα, οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις μπορούν να είναι επίγειες ή πλωτές, καθώς και να τοποθετούνται σε ταράτσες κτιρίων. Επιπλέον, μπορούν να συνδυαστούν για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε εμπορική κλίμακα ή να διαμορφωθούν σε μικρότερες διατάξεις για μικρά δίκτυα ή προσωπική οικιακή χρήση. Τα μικρά δίκτυα μάλιστα αποτελούν έναν εξαιρετικό τρόπο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος σε απομονωμένες περιοχές εκτός δικτύου, καλύπτοντας για παράδειγμα τις ανάγκες ερευνητικών σταθμών ή απομονωμένων κατοικιών. Από την άλλη, η οικιακή εγκατάσταση φωτοβολταϊκών μονάδων έχει γίνει ιδιαίτερα δημοφιλής τα τελευταία χρόνια και σε νοικοκυριά εντός του ενεργειακού δικτύου. Αυτό συμβαίνει διότι οι ιδιοκτήτες μπορούν μέσω αυτών να καλύπτουν πλήρως τις προσωπικές ανάγκες τους σε ηλεκτρικό ρεύμα, ενώ σε περίπτωση παραγωγής πλεονάσματος να κερδίζουν κάποιο εισόδημα από την πώληση του πλεονάσματος στον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας. Έπειτα από περιβαλλοντικής πλευράς, η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από την χρήση της ηλιακής ενέργειας συμβάλλει στον μετριασμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη και κατ' επέκταση της κλιματικής αλλαγής, επειδή εκπέμπει πολύ λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα σε σύγκριση με την παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα.

Όσον αφορά τα μειονεκτήματα, ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την σταθερή και απρόσκοπτη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο είναι η έλλειψη ηλιοφάνειας. Συνεπώς, κατά τις νυχτερινές ώρες και τις ημέρες με μειωμένη ηλιοφάνεια λόγω νεφώσεων, η παραγωγή ενέργειας διακόπτεται. Άλλος ένας σημαντικός περιορισμός έγκειται στην σπανιότητα ορισμένων μετάλλων τα οποία χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των ηλιακών

πάνελ, των οποίων η διαθεσιμότητά είναι πεπερασμένη και άρα ενδέχεται να μην επαρκεί για να καλύψει την μελλοντική ζήτηση. Έπειτα, η παραγωγή της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται στην ηλιακή ενέργεια έχει κάποιο περιβαλλοντικό αντίκτυπο, καθώς η εξόρυξη των απαιτούμενων φυσικών πόρων και η παραγωγή των φωτοβολταϊκών μονάδων παράγει αξιόλογη ποσότητα αερίων του θερμοκηπίου. Τέλος, ένα επίσης ουσιαστικό μειονέκτημα προκύπτει από τον ανταγωνισμό για την χρήση γης, καθώς η εγκατάσταση μεγάλης δυναμικότητας φωτοβολταϊκών πάρκων απαιτεί μεγάλες εκτάσεις γης η οποία δεσμεύεται από την καλλιέργεια τροφίμων.

### **3.5. Υδροηλεκτρική Ενέργεια**

Η υδροηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από την εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας των υδάτινων ροών, η οποία μέσω της χρήσης υδροηλεκτρικών σταθμών μπορεί να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η συγκεκριμένη μορφή ενέργειας χρησιμοποιείται ευρέως από την αρχαιότητα, καθώς η δύναμη του τρεχούμενου νερού αξιοποιούταν στην κίνηση τροχών για την άλεση των σιτηρών. Σήμερα αποτελεί ένα από τα πιο οικονομικά αποδοτικά μέσα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και σε περιοχές με πλούσιο δυναμικό αποτελεί συχνά την προτιμώμενη μέθοδο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση της Νορβηγίας, που χάρη στο πλούσιο απόθεμα της σε υδάτινους πόρους, περίπου το 95% της ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας προέρχεται από υδροηλεκτρική ενέργεια.

Η βασική αρχή της υδροηλεκτρικής ενέργειας έγκειται στην αξιοποίηση του τρεχούμενου νερού από υδροστρόβιλους, οι οποίοι αποτελούν και αναπόσπαστο στοιχείο των υδροηλεκτρικών σταθμών. Ένας τυπικός σταθμός υδροηλεκτρικής ενέργειας απαρτίζεται κατά κανόνα από τα εξής τμήματα:

i) Την δεξαμενή νερού, η οποία διαμορφώνεται με την βοήθεια φράγματος στο ανώτερο δυνατό υψομετρικό επίπεδο. Για την δεξαμενή νερού δημιουργείται τεχνητή λίμνη που περιβάλλεται από το φράγμα και κάποια πλευρικά κανάλια, όπου αυτό κρίνεται αναγκαίο.

ii) Την εγκατάσταση απόληψης νερού με κατάλληλα στόμια, υδροφράχτες και εκχειλιστές, η οποία συμβάλει στην ελεγχόμενη ρύθμιση της ποσότητας νερού και παροχής όγκου προς τον υδροστρόβιλο.

iii) Τον υδροστρόβιλο (ή περισσότερους του ενός) στο μηχανοστάσιο. Το μηχανοστάσιο είναι συνήθως υπόγειο ή διαμορφωμένο σε κοιλότητες μετά από κατάλληλους εκβραχισμούς. Εκτός από τους υδροστρόβιλους με τις ηλεκτρογεννήτριες, το μηχανοστάσιο περιλαμβάνει

επίσης το αντλιοστάσιο, όταν χρησιμοποιούνται αντλίες για την ανατροφοδότηση της δεξαμενής, δηλαδή την επαναφορά νερού από τη λίμνη απορροής.

iv) Την εγκατάσταση απορροής με ελεγχόμενο τρόπο για ομαλές συνθήκες επαναφοράς του νερού στη φυσική του κοίτη ή προς περαιτέρω εκμετάλλευση



*Εικόνα 18: Υδροηλεκτρικός σταθμός μεγάλης κλίμακας (πηγή: IRENA)*

Η υδροηλεκτρική ενέργεια έχει ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες συμβατικές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας:

- Είναι μια καθαρή και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, η χρήση νερού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν απελευθερώνει αέρια του θερμοκηπίου ή επιβλαβείς ρύπους στο νερό. Επιπλέον, τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια δεν καταναλώνουν νερό καθώς λειτουργούν, καθιστώντας την υδροηλεκτρική ενέργεια μια πλήρως ανανεώσιμη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Καθώς ο κύκλος του νερού τρέχει φυσικά, η υδροηλεκτρική ενέργεια θα είναι πάντα ένας βιώσιμος τρόπος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Συνδυάζεται υποστηρικτικά με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η πλειονότητα των υδροηλεκτρικών σταθμών αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες νερού σε δεξαμενές και συνεπώς, έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν αυτό το απόθεμα για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια ανά πάσα στιγμή. Η εξάρτηση της υδροηλεκτρικής ενέργειας από το αποθηκευμένο νερό των δεξαμενών την καθιστά μια σταθερή και αξιόπιστη πηγή

ενέργειας υποστήριξης για πιο διακοπτόμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική και η ηλιακή.

- Αποτελεί μια φθηνή μορφή ενέργειας μακροπρόθεσμα. Ενώ το αρχικό κόστος των υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων είναι υψηλό, μετά την κατασκευή των απαραίτητων υποδομών απαιτείται χαμηλότερο κόστος συντήρησης σε σύγκριση με άλλες μορφές ενέργειας.
- Η υδροηλεκτρική ενέργεια παρέχει εγγυημένη σταθερότητα ενέργειας και τιμών. Το νερό των ποταμών αποτελεί εγχώριο πόρο, που σε αντίθεση με τα πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο δεν υπόκειται σε διακυμάνσεις της αγοράς.
- Η υδροηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση. Εκτός από την παραγωγή ενέργειας, οι εγκαταστάσεις υδροηλεκτρικής ενέργειας έχουν επίσης το σημαντικό πλεονέκτημα ότι είναι σε θέση να παρέχουν μια πηγή άρδευσης για τις καλλιέργειες στις γύρω περιοχές. Ειδικά σε περιοχές όπου η βροχή είναι σπάνια και οι ξηρασίες είναι συχνές, οι ταμειυτήρες υδροηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μια καθαρή και αξιόπιστη πηγή γλυκού νερού.

Ωστόσο, όπως κάθε πηγή ενέργειας, έτσι και η υδροηλεκτρική έχει ορισμένα μειονεκτήματα. Τα σημαντικότερα αυτών είναι τα εξής :

- Η κατασκευή υδροηλεκτρικών σταθμών επηρεάζει δυσμενώς το γύρω περιβάλλον, καθώς τα υδροηλεκτρικά φράγματα διακόπτουν τη φυσική ροή των ποταμών και διαταράσσουν το οικοσύστημά τους. Συγκεκριμένα, τα φράγματα φράζουν την διέλευση των ψαριών με αποτέλεσμα να προκαλείται η απώλεια ή τροποποίηση αρκετών ενδιαιτημάτων. Επιπλέον, δεδομένου ότι τα έργα για την κατασκευή υδροηλεκτρικών σταθμών είναι βιομηχανικής κλίμακας, έχουν σημαντικό αντίκτυπο μέσω των αλλαγών στην χρήση γης και της αλλοίωσης φυσικών περιοχών αισθητικής αξίας.
- Η κατασκευή εγκαταστάσεων υδροηλεκτρικής ενέργειας έχει μεγάλο αρχικό κόστος. Δεδομένου ότι οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί αποτελούν μεγάλα έργα υποδομής που περιλαμβάνουν την κατασκευή φράγματος, δεξαμενής και στροβίλων παραγωγής ενέργειας, απαιτούν σημαντικά κεφάλαια για επένδυση.

### **3.6. Γεωθερμική Ενέργεια**

Η γεωθερμία είναι ουσιαστικά μια μορφή θερμότητας η οποία πηγάζει από το εσωτερικό της γης και μεταφέρεται μέσω του νερού και του ατμού στην επιφάνεια. Βάσει των

χαρακτηριστικών της, η συγκεκριμένη μορφή ενέργειας μπορεί να αξιοποιηθεί για ηλεκτροπαραγωγή ή θέρμανση. Η συγκεκριμένη πηγή ενέργειας ικανοποιεί σε πολύ μεγάλο βαθμό τις ενεργειακές ανάγκες χωρών όπως η Ισλανδία, όπου καλύπτεται το 90% της ζητούμενης ενέργειας για θέρμανση. Τα βασικά πλεονεκτήματα της είναι ότι δεν επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες, όπως και το ότι διαθέτει υψηλό παράγοντα χωρητικότητας.

Σε επίπεδο διαθέσιμων τεχνολογιών, αυτή τη στιγμή υπάρχουν είδη με ορισμένες διαφορές στην ωριμότητά τους. Στις ώριμες τεχνολογίες που είναι και από τις πλέον διαδεδομένες, περιλαμβάνονται αυτές που χρησιμοποιούνται για τις ανάγκες τηλεθέρμανσης ή υποστήριξης θερμοκηπίων μέσω της χρήσης γεωθερμικών αντλιών. Ακόμη, στην παραπάνω κατηγορία εντάσσεται και η τεχνολογία ηλεκτροπαραγωγής μέσω υδροθερμικών δεξαμενών. Για τις ανάγκες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται αξιοποίηση κυρίως αρκετά υψηλών θερμοκρασιών (π.χ. 200 C), ενώ πλέον αξιοποιούνται και πεδία μέσης θερμότητας.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η Συνεισφορά της Αιολικής Ενέργειας**

### **4.1. Βασικές έννοιες αιολικής ενέργειας**

Αιολική ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από τον άνεμο και αποτελεί προϊόν της ηλιακής ενέργειας, καθώς δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία. Συγκεκριμένα, ο ήλιος θερμαίνει με ανομοιογενή τρόπο την επιφάνεια της Γης, εξαιτίας της περιστροφής της και του διαφορετικού βαθμού απορρόφησης και ανάκλασης της ακτινοβολίας από το έδαφος και τη θάλασσα. Σαν αποτέλεσμα των διαφορετικών ρυθμών θέρμανσης ανά περιοχή, προκύπτουν ανοδικά ρεύματα θερμού αέρα από την χερσαία και θαλάσσια επιφάνεια, τα οποία μειώνουν την ατμοσφαιρική πίεση κοντά στην επιφάνεια και κατόπιν αναπληρώνονται από την εισροή ψυχρών ρευμάτων αέρα. Η μετακίνηση και αντικατάσταση μεγάλων αέριων μαζών είναι ιδίως πιο έντονη όταν υπάρχει μεγάλη διαφορά ατμοσφαιρικής πίεσης και συνεπώς, υπό αυτές τις συνθήκες ο αέρας ρέει πιο γρήγορα και δημιουργείται ο άνεμος.

Η αιολική ενέργεια αποτελεί μία ανανεώσιμη και συνεπώς ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, η οποία με την κατάλληλη αξιοποίηση μπορεί να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα χωρίς καύσεις ορυκτών καυσίμων και εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται οι ανεμογεννήτριες, μηχανές οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική.

## 4.2. Ιστορική Αναδρομή

Ο άνθρωπος χρησιμοποίησε την αιολική ενέργεια για πρώτη φορά στα ιστιοφόρα πλοία, γεγονός που συνέβαλε σημαντικά στην ανάπτυξη της ναυτιλίας. Επίσης, η αιολική ενέργεια έχει αξιοποιηθεί από μηχανές όπως είναι οι ανεμόμυλοι, που την μετατρέπουν σε μια πιο αξιοποιήσιμη μορφή ενέργειας, τη μηχανική. Η εφαρμογή αυτή από τους ανεμόμυλους χρησιμοποιήθηκε για την άλεση δημητριακών και την άντληση νερού. Οι ανεμόμυλοι μαζί με τους νερόμυλους συγκαταλέγονται στα αρχικά μηχανήματα που αντικατέστησαν τους μυς των ζώων ως πηγές ενέργειας. Διαδόθηκαν ευρέως στην Ευρώπη μεταξύ του 12ου και του 19ου αιώνα, όπου άρχισε σταδιακά να περιορίζεται η χρήση τους λόγω της εμφάνισης της ατμομηχανής.

Το πρώτο πρώιμο μοντέλο ανεμογεννήτριας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατασκευάστηκε από τον Αμερικανό μηχανικό Charles Brush στο Cleveland του Οχάιο το 1888 και είχε ισχύ 12 KW. Η ιδέα αυτή εξελίχθηκε στην συνέχεια από τον Δανό Paul La Cour, ο οποίος αφού επισήμανε πως απαιτείται μεγαλύτερη περιστροφική κίνηση και λιγότερες λεπίδες στον έλικα, αύξησε την αποδοτικότητα στα 30 MW, καλύπτοντας έτσι το 3% των αναγκών της Δανίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Σύμφωνα με την Danish Wind Industry Association (DWIA) η κομβική περίοδος για τον τομέα της αιολικής ενέργειας ήταν τα μέσα του 20ου αιώνα και συγκεκριμένα το 1956, όπου και κατασκευάστηκε στη Δανία η πρώτη μοντέρνα ανεμογεννήτρια εναλλασσόμενης τάσης από τον μηχανικό Johannes Juul.

Καθώς η πετρελαϊκή κρίση του 1973 κλόνισε τον ενεργειακό τομέα σε Ευρώπη και Αμερική, η προσπάθεια αξιοποίησης εναλλακτικών πηγών ενέργειας εντάθηκε. Έτσι το 1975 στις ΗΠΑ ξεκίνησε ένα ερευνητικό πρόγραμμα της NASA με στόχο την ανάπτυξη ανεμογεννητριών μεγάλης κλίμακας. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία σημαντικών καινοτομιών στα υλικά και την τεχνολογία που χρησιμοποιούνται στις σύγχρονες ανεμογεννήτριες. Σαν συνέπεια, το 1980 εγκαταστάθηκε το πρώτο αιολικό πάρκο παγκοσμίως στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ, δίνοντας ρεύμα σε 4.000 σπίτια, ενώ το 1982 δημιουργήθηκε το πρώτο ευρωπαϊκό αιολικό πάρκο στην Κύθνο.

Κατά τη διάρκεια της επόμενης δεκαετίας, η Δανία αποκτάει ηγετικό ρόλο στον τομέα της αιολικής ενέργειας. Θεσπίζει πρόγραμμα ανάπτυξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αναπτύσσει βιομηχανία η οποία παράγει και εξάγει μαζικά ανεμογεννήτριες, με κυρίαρχες τις εταιρείες Vestas και Nordex. Στη συνέχεια, το 2000 δημιουργεί το πρώτο υπεράκτιο αιολικό

πάρκο μεγάλης κλίμακας στη Βόρεια Θάλασσα και μέχρι το 2021 επιτυγχάνει μερίδιο αιολικής ενέργειας 47% στο ενεργειακό της μείγμα.

Καθώς η δέσμευση των κρατών-μελών της ΕΕ για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής έγινε πιο ουσιαστική τα τελευταία χρόνια, η αιολική ενέργεια ξεπέρασε σε δυναμικότητα την πυρηνική και τον άνθρακα, καθώς έγινε φθηνότερη. Για τον λόγο αυτό, καθώς και για λόγους εταιρικής κοινωνικής ευθύνης, κάποιες από τις μεγαλύτερες πολυεθνικές εταιρίες στον κόσμο όπως η ΙΚΕΑ, η BMW, η General Motors, η Amazon και η Apple έχουν επενδύσει στην αιολική ενέργεια για να καλύπτουν τις λειτουργικές τους ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια. Συνεπώς αυτή τη στιγμή η ΕΕ διαθέτει αιολικά πάρκα συνολικής δυναμικότητας 220 GW, ενώ τα επόμενα πέντε χρόνια αναμένεται η κατασκευή πρόσθετων υποδομών δυναμικότητας 105 GW.

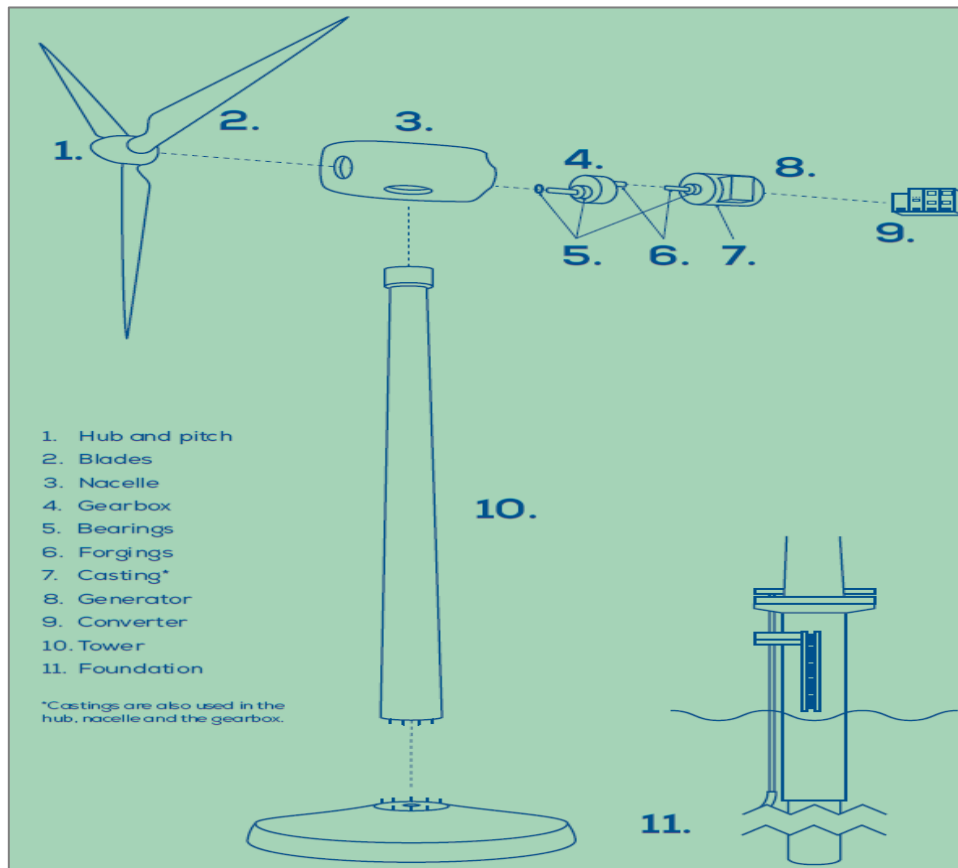
### **4.3. Δομή και τρόπος λειτουργίας ανεμογεννήτριας**

Ο πιο κοινός τύπος ανεμογεννήτριας είναι αυτός του οριζόντιου άξονα (Horizontal Axis Wind Turbine – HAWT) και τα βασικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται είναι τα ακόλουθα:

- Ο ανεμοδείκτης (ηλεκτρονικός αισθητήρας), ο οποίος μετρά την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου. Βάσει των μετρήσεων του ανεμοδείκτη, ο άξονας της ανεμογεννήτριας στην κορυφή του πύργου στρέφεται προς την πλευρά του ανέμου.
- Ο δρομέας, ο οποίος αποτελείται από έλικα τριών πτερυγίων, τον κύριο οριζόντιο άξονα χαμηλής ταχύτητας και την άτρακτο. Ο σχεδιασμός του δρομέα είναι ίσως το πιο βασικό ζήτημα στην αποδοτικότητα του όλου συστήματος. Στόχος είναι να βρεθεί ένας βέλτιστος συνδυασμός των διαφόρων παραμέτρων που συνθέτουν το δρομέα, όπως η διάμετρος των πτερυγίων, η αεροδυναμική σχεδίαση και η ταχύτητα περιστροφής. Τα βασικά κριτήρια επιλογής είναι η μεγιστοποίηση της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας και η ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής. Για την κατασκευή των πτερυγίων του έλικα χρησιμοποιούνται ως υλικά ο πολυεστέρας και τα ανθρακονήματα.
- Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, αποτελούμενο από τον άξονα χαμηλής ταχύτητας, τον άξονα υψηλής ταχύτητας και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του άξονα στη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας.
- Το φρένο του δρομέα, το οποίο λειτουργεί ως σύστημα πέδησης του άξονα και μειώνει την ταχύτητα περιστροφής του έλικα όταν αυτό είναι απαραίτητο.



- Η ηλεκτρική γεννήτρια, η οποία μετατρέπει τη κινητική ενέργεια του άξονα σε ηλεκτρική και βρίσκεται πάνω στον πύργο της ανεμογεννήτριας.
- Το σύστημα προσανατολισμού, το οποίο αναγκάζει τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται συνεχώς παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου.
- Ο πύργος, ο οποίος στηρίζει όλη την παραπάνω μηχανολογική εγκατάσταση και έχει μορφή σωληνοειδούς πυλώνα κατασκευασμένου από ατσάλι και χάλυβα, ύψους συνήθως μεταξύ 80-120m.
- Ο ηλεκτρονικός πίνακας και ο πίνακας ελέγχου, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στη βάση του πύργου. Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί, συντονίζει και ελέγχει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας, φροντίζοντας για την απρόσκοπτη λειτουργία της.



Εικόνα 19: Τα τμήματα μιας σύγχρονης ανεμογεννήτριας (πηγή: Wind Europe)

Συνεπώς, ο άνεμος ρέει στα περύγια ανυψώνοντάς τα, γεγονός που προκαλεί την περιστροφή τους πάνω σε έναν οριζόντιο άξονα χαμηλής ταχύτητας. Ο άξονας αυτός περιστρέφεται στην ίδια ταχύτητα με τα περύγια (7-12 στροφές ανά λεπτό), όμως απαιτείται μεγαλύτερη ταχύτητα περιστροφής για να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια από τη γεννήτρια. Για

αυτό τον λόγο οι ανεμογεννήτριες διαθέτουν κιβώτιο ταχυτήτων που πολλαπλασιάζει την ταχύτητα περιστροφής του άξονα χαμηλής ταχύτητας έως και 100 φορές, περιστρέφοντας έτσι έναν δεύτερο άξονα (υψηλής ταχύτητας) έως και 1500 φορές ανά λεπτό. Ο άξονας υψηλής ταχύτητας συνδέεται με τη γεννήτρια, η οποία στη συνέχεια μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική. Το εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται (AC) μεταφέρεται μέσω καλωδίων εντός του πυλώνα σε υποσταθμό ρεύματος. Τέλος, στον υποσταθμό η τάση αυξάνεται έτσι ώστε να μπορεί να τροφοδοτηθεί στο δίκτυο και να μεταφερθεί στους καταναλωτές.

Υπάρχουν δύο κύριοι παράγοντες που καθορίζουν την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από μια ανεμογεννήτρια:

- Πυκνότητα αέρα: Ο πυκνός αέρας ασκεί περισσότερη ανύψωση στα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας, γεγονός που συνεπάγεται την αποδοτικότερη περιστροφή του ρότορα. Η πυκνότητα του αέρα αποτελεί συνάρτηση της ατμοσφαιρικής πίεσης, η οποία εξαρτάται άμεσα από το υψόμετρο και την θερμοκρασία του αέρα. Οι περιοχές μεγάλου υψομέτρου (άνω των 2000m) διακρίνονται από χαμηλότερη ατμοσφαιρική πίεση και συνεπώς πιο αραιό αέρα, επομένως είναι λιγότερο αποδοτικές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τις περιοχές που βρίσκονται κοντά στο επίπεδο της θάλασσας.
- Ταχύτητα ανέμου: Οι ισχυρότεροι άνεμοι επιτρέπουν την παραγωγή μεγαλύτερης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας. Για τον λόγο αυτό, για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών προτιμώνται περιοχές με μεγάλο αιολικό δυναμικό, όπως για παράδειγμα οι κορυφογραμμές βουνών και οι ανοιχτές θαλάσσιες περιοχές.
- Μήκος πτερυγίου: Όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια των πτερυγίων, τόσο περισσότερο είναι το παραγόμενο έργο, άρα και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Μια τυπική σύγχρονη ανεμογεννήτρια ισχύος 3 MW φέρει πτερύγια μήκους περίπου 35 μέτρων και έλικα διαμέτρου 130 μέτρων.

Η παραγωγικότητα των ανεμογεννητριών έχει αυξηθεί σημαντικά με την πάροδο του χρόνου, με τις σημερινές τυπικές ανεμογεννήτριες να έχουν μέση ισχύ 2-3 MW και να παράγουν περισσότερο από έξι εκατομμύρια κιλοβατώρες (KWh) ετησίως, ενέργεια δηλαδή που αρκεί για να καλύψει τις ανάγκες περίπου 1.500 νοικοκυριών. Αξίζει να σημειωθεί πως σε περιόδους όπου η προσφορά από παραγωγή ενέργειας είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση, η πλεονάζουσα ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας αποθηκεύεται σε ειδικές μπαταρίες προκειμένου να χρησιμοποιηθεί μεταγενέστερα, όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή.

Μια σύγχρονη ανεμογεννήτρια θα ξεκινήσει να παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν οι ταχύτητες του ανέμου φτάσουν τα 10-15 km/h, η οποία είναι και γνωστή ως ταχύτητα «έναρξης λειτουργίας» και θα παράγει περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του ανέμου. Ωστόσο, σε πολύ υψηλές ταχύτητες (περίπου 90 km/h) οι ανεμογεννήτριες απενεργοποιούνται για να αποφευχθεί ζημιά στον εξοπλισμό.

#### **4.4. Δομή και κατηγορίες αιολικών πάρκων**

Ως αιολικό πάρκο ή αιολικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ΑΣΠΗΕ) ορίζεται μία χερσαία ή θαλάσσια έκταση, στην οποία έχει εγκατασταθεί συστοιχία ανεμογεννητριών με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου. Ένα τυπικό αιολικό πάρκο απαρτίζεται από βιομηχανικές υποδομές μεγάλου μεγέθους, οι οποίες περιλαμβάνουν τις ανεμογεννήτριες, τα καλώδια μεταφοράς ρεύματος, τους υποσταθμούς μετασχηματισμού ρεύματος καθώς και από ορισμένες βοηθητικές υποδομές, όπως οι δρόμοι για την πρόσβαση στις εγκαταστάσεις.

Βάσει της δυναμικότητάς τους, τα αιολικά πάρκα διακρίνονται σε παραγωγικές μονάδες μεγάλης κλίμακας (κλίμακας χρησιμότητας) και μικρής κλίμακας. Τα αιολικά πάρκα κλίμακας χρησιμότητας αφορούν χερσαίες και υπεράκτιες εγκαταστάσεις δυναμικότητας τουλάχιστον 1 MW, οι οποίες είναι συνδεδεμένες με το κεντρικό δίκτυο και χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σε εθνικό επίπεδο. Αντίθετα, τα αιολικά πάρκα μικρής κλίμακας αποτελούνται από ανεμογεννήτριες χαμηλότερης ισχύος (έως 100 KW), δεν είναι συνδεδεμένα στο εθνικό δίκτυο και χρησιμοποιούνται για την άμεση τροφοδοσία μεμονωμένων κατοικιών, αγροκτημάτων ή μικρών επιχειρήσεων.

Έπειτα, βάσει της τοποθεσίας εγκατάστασής τους, τα αιολικά πάρκα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: τα χερσαία, τα παράκτια και τα υπεράκτια.

- Χερσαία αιολικά πάρκα: Τοποθετούνται στην ξηρά και συγκεκριμένα σε τοποθεσίες που απέχουν τουλάχιστον τρία χιλιόμετρα από την ακτή, ενώ τροφοδοτούνται αποκλειστικά με ρεύματα αέρα τα οποία δημιουργούνται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Για την εγκατάσταση χερσαίων αιολικών πάρκων συνήθως προτιμώνται τοποθεσίες με σχετικά μεγάλο υψόμετρο όπως οι κορυφογραμμές λόφων και βουνών, καθώς χαρακτηρίζονται ως πλούσιες σε αιολικό δυναμικό, τόσο στο θέμα της ταχύτητας όσο και στο θέμα της συχνότητας των ανέμων. Στα βασικά πλεονεκτήματα των χερσαίων αιολικών πάρκων συγκαταλέγονται η εύκολη προσβασιμότητα για την αρχική εγκατάσταση και τη μεταγενέστερη συντήρηση των υποδομών, η εύκολη διασύνδεση λόγω της εγγύτητας στο

ηλεκτρικό δίκτυο και το χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης σε σχέση με το αντίστοιχο των θαλάσσιων αιολικών πάρκων. Για τους παραπάνω λόγους, στην παρούσα φάση τα χερσαία αιολικά πάρκα είναι και τα πιο κοινά.

- Παράκτια αιολικά πάρκα: Τοποθετούνται είτε στην ξηρά είτε στην θάλασσα και συγκεκριμένα σε τοποθεσίες που απέχουν μικρή απόσταση από ακτή (λιγότερο από 3km). Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της κατηγορίας αιολικών πάρκων είναι ότι αξιοποιούν την ενέργεια και των χερσαίων και των θαλάσσιων ανέμων. Επιπλέον πλεονεκτήματα αποτελούν η ευχέρεια προσβασιμότητας στις τοποθεσίες, καθώς και η σχετικά εύκολη εγκατάσταση των ανεμογεννητριών στην θάλασσα λόγω του μικρού βάθους του πυθμένα κοντά στις ακτές.
- Υπεράκτια αιολικά πάρκα: Τοποθετούνται στην ανοιχτή θάλασσα, σε απόσταση αρκετών χιλιομέτρων από τις ακτές. Βάσει της μεθόδου εγκατάστασής τους διακρίνονται σε δύο τύπους, τα σταθερής βάσης και τα πλωτά. Τα σταθερής βάσης προορίζονται για περιοχές με βάθος έως και 40m και χρησιμοποιούν θεμελιώσεις εντός του πυθμένα για την στήριξη των ανεμογεννητριών. Αντιθέτως, τα πλωτά τοποθετούνται σε ειδικές εξέδρες επί της επιφάνειας της θάλασσας και μπορούν να εγκατασταθούν σε περιοχές με βάθος έως και 300m. Σύμφωνα με μελέτες του Επιστημονικού Ινστιτούτου Carnegie (ΗΠΑ) και του Πανεπιστημίου του Cambridge (Ηνωμένο Βασίλειο), τα υπεράκτια αιολικά πάρκα έχουν σημαντικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα έναντι των χερσαίων, καθώς χάρη στην μεγαλύτερη ένταση και συχνότητα των ανέμων στις περιοχές ανοιχτής θαλάσσης, μπορούν να παράγουν έως και τρεις φορές περισσότερη ενέργεια σε σχέση με τα χερσαία. Ωστόσο, η μικρότερη ευχέρεια προσβασιμότητας καθιστά την εγκατάσταση των υπεράκτιων αιολικών πάρκων σημαντικά πιο δύσκολη και δαπανηρή.



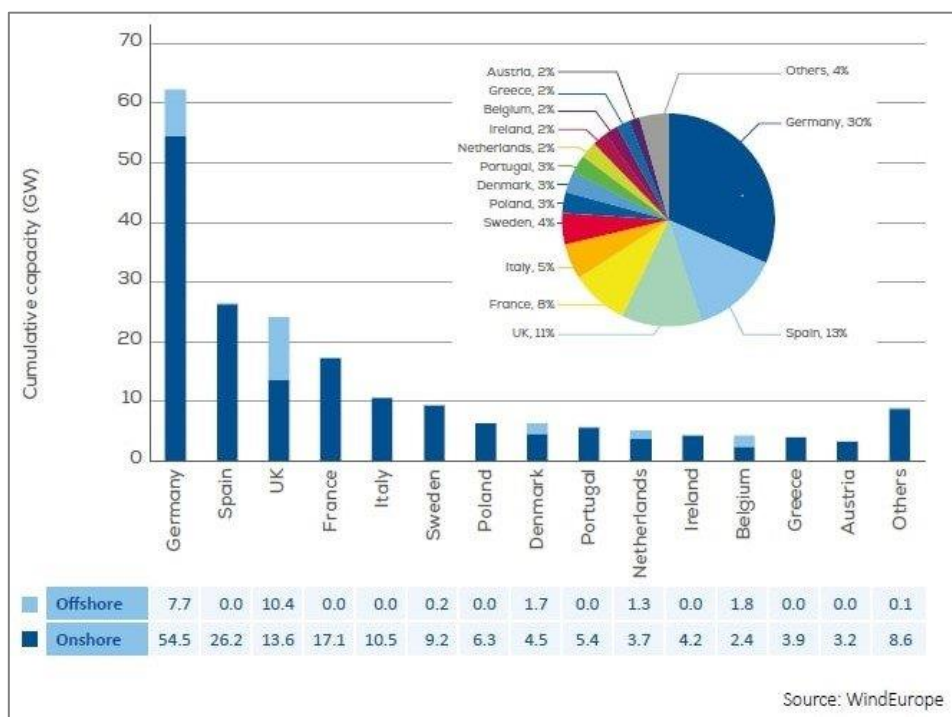
Εικόνα 20: Το υπεράκτιο αιολικό πάρκο Middelgrunden στην Δανία (πηγή: Windpower Monthly)

Για την επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου απαιτείται μια εκτενής προπαρασκευαστική μελέτη, η οποία περιλαμβάνει:

- Την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού της υποψήφιας περιοχής, η οποία περιέχει τον προσδιορισμό της διεύθυνσης και της ταχύτητας των επικρατούντων ανέμων στην υποψήφια περιοχή.
- Την εκτίμηση του βαθμού δυσκολίας υλοποίησης των κατασκευών, η οποία περιλαμβάνει την αξιολόγηση της προσβασιμότητας στην τοποθεσία, την μελέτη της μορφολογίας του εδάφους και τον εντοπισμό των φυσικών και τεχνητών εμποδίων που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την εγκατάσταση των υποδομών.
- Την καταγραφή του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου στην περιοχή για τη διασύνδεση του αιολικού πάρκου.
- Την εκπόνηση ειδικής μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων, η οποία καταγράφει αναλυτικά τις ενδεχόμενες συνέπειες για το γύρω φυσικό περιβάλλον από την εγκατάσταση και λειτουργία του αιολικού πάρκου.
- Τον προσδιορισμό της χωροθέτησης του αιολικού πάρκου, με σκοπό την αρμονική ένταξη του στο ανθρωπογενές περιβάλλον για τον περιορισμό των θεμάτων σύγκρουσης για την χρήση γης και την αποδοχή των έργων από τις τοπικές κοινότητες.
- Την εκτίμηση της δυνατότητας εξασφάλισης άδειας κατασκευής στην υποψήφια περιοχή.

#### 4.5. Η ευρωπαϊκή αγορά αιολικής ενέργειας

Η αιολική ενέργεια αποτελεί σημαντική συνιστώσα στην προσπάθεια της Ευρωπαϊκής Ένωσης για υιοθέτηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας. Στο τέλος του 2020 η αιολική ενέργεια έφτασε να καλύπτει το 16% της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας εντός της ΕΕ, ενώ βάσει των σημερινών τάσεων ανάπτυξης προβλέπεται ότι μέχρι το 2030 θα ικανοποιεί έως και το 24% της ζήτησης. Απώτερος στόχος της ΕΕ είναι μέχρι το 2050, η αιολική ενέργεια να καλύπτει τουλάχιστον το 50 % των ενεργειακών της αναγκών. Στην παρούσα φάση, η ΕΕ διαθέτει αιολικά πάρκα συνολικής δυναμικότητας 236 GW, ενώ έως το 2030 αναμένεται η κατασκευή πρόσθετων υποδομών δυναμικότητας 116 GW για την επίτευξη του στόχου συμμετοχής των ΑΠΕ κατά 32% στο ενεργειακό μείγμα. Με βάση την εγκατεστημένη δυναμικότητα μέχρι το 2030, η εκτιμώμενη συμβολή της αιολικής ενέργειας στην μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ανέρχεται στους 269 τόνους.



Εικόνα 21: Συνολική δυναμικότητα σε GW αιολικής ενέργειας (χερσαία και υπεράκτια) ανά χώρα της Ε.Ε. το 2020 (πηγή: WindEurope)

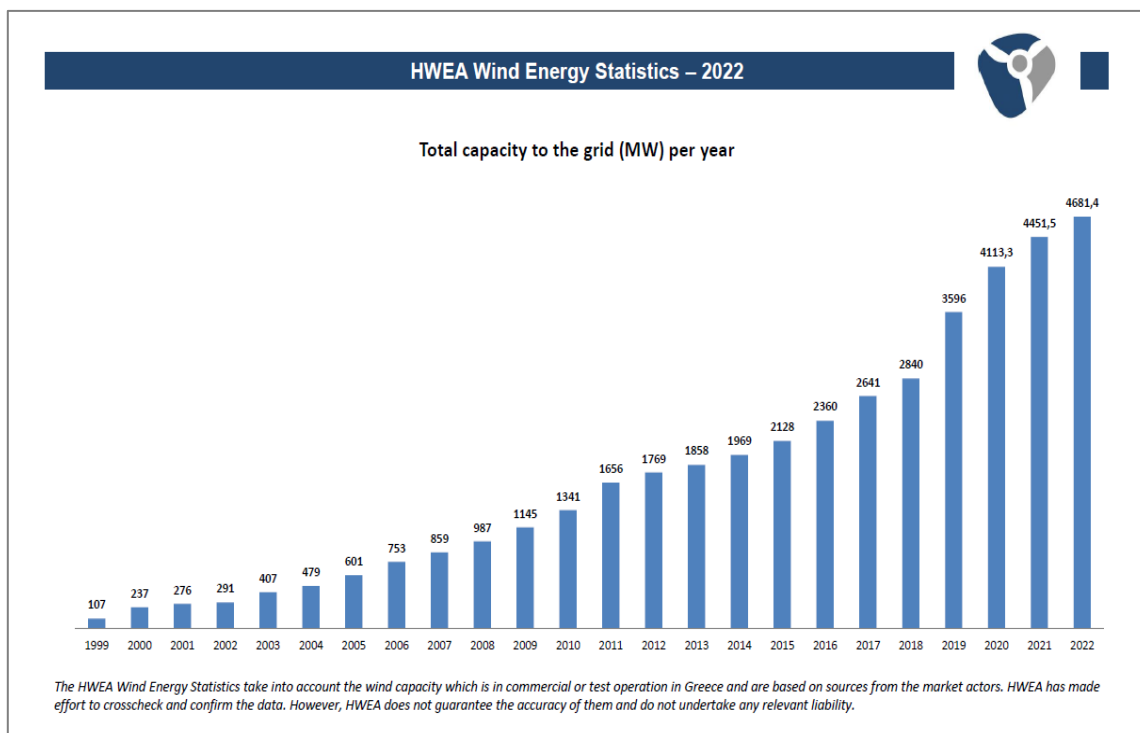
Πέραν της συμβολής της στην προσπάθεια επίτευξης κλιματικής ουδετερότητας, η αιολική ενέργεια αποτελεί και ένα σημαντικό περιουσιακό στοιχείο για την ευρωπαϊκή οικονομία. Συγκεκριμένα, η ευρωπαϊκή αιολική βιομηχανία αντιπροσωπεύει περισσότερες από 300.000 θέσεις εργασίας στην ΕΕ, ενώ έχει ετήσιο κύκλο εργασιών που ανέρχεται στα 60 δισ. ευρώ, εκ

του οποίου το 65% προσθέτει αξία στην οικονομία της ΕΕ. Επιπλέον, η αιολική βιομηχανία δημιουργεί προστιθέμενη αξία 2,5 δισ. ευρώ στην οικονομία της ΕΕ για κάθε νέο GW χερσαίας αιολικής ενέργειας και 2,1 δισ. ευρώ για κάθε νέο GW υπεράκτιας αιολικής ενέργειας. Έπειτα, η εν λόγω βιομηχανία καταβάλλει 5 δισ. ευρώ ετησίως σε φόρους προς όφελος της οικονομίας της ΕΕ, συμπεριλαμβανομένου 1 δισ. ευρώ σε τοπικούς φόρους και άλλες πληρωμές προς όφελος των τοπικών κοινοτήτων. Τέλος, οι ευρωπαϊκές εταιρίες Vestas, Siemens Gamesa Renewable Energy, Nordex, Enercon και GE Renewable Energy αποτελούν πέντε από τους μεγαλύτερους κατασκευαστές ανεμογεννητριών στον κόσμο και κατέχουν μερίδιο 42% της παγκόσμιας αγοράς, καθιστώντας την ΕΕ έναν από τους σημαντικότερους εξαγωγείς ανεμογεννητριών.

#### **4.6. Η ελληνική αγορά αιολικής ενέργειας**

Στην παρούσα φάση, η αιολική ενέργεια αποτελεί την κυρίαρχη ανανεώσιμη μορφή ενέργειας στην Ελλάδα, καθώς η χώρα διαθέτει ιδιαίτερα πλούσιο αιολικό δυναμικό προς αξιοποίηση. Σύμφωνα με τα στατιστικά δεδομένα της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Αιολικής Ενέργειας (ΕΛΕΤΑΕΝ), στο τέλος του 2022 η αιολική ισχύς στην Ελλάδα έφτασε τα 4.681 MW (4,68 GW), ενώ η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα ανήλθε στις 13,9 GWh. Ως αποτέλεσμα, το μερίδιο της αιολικής ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα αυτή τη στιγμή ανέρχεται στο 11%, ενώ το 35% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ προέρχεται από αιολικά πάρκα.

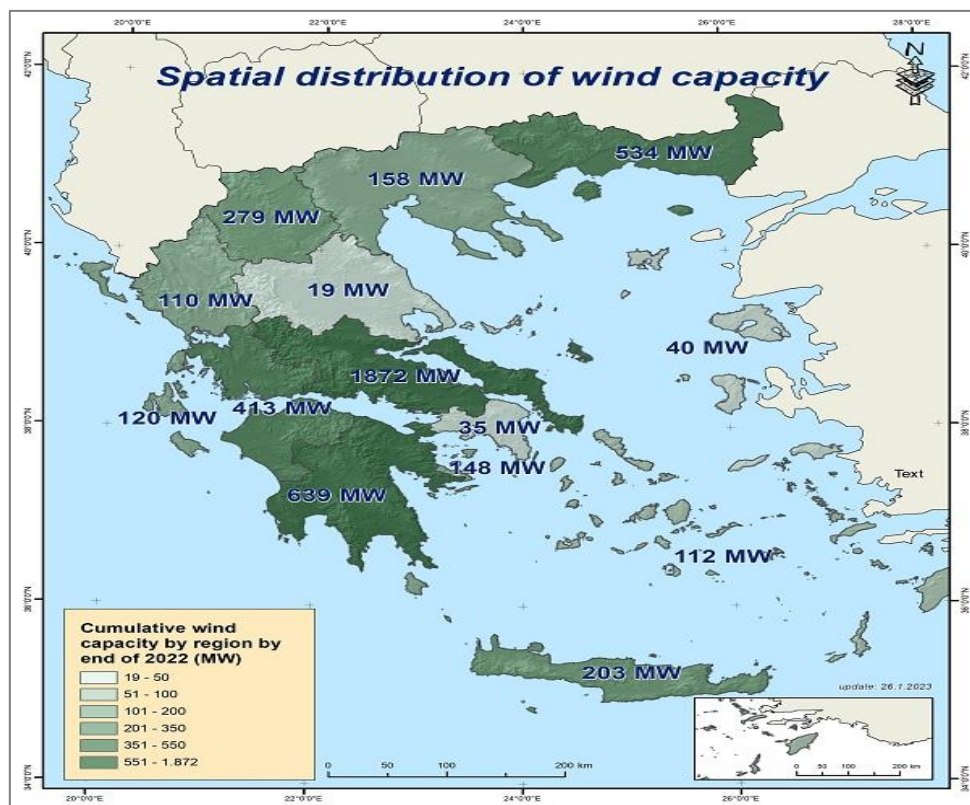
Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία, το 2022 σημειώθηκε ανάπτυξη της τάξης του 5,2 %, καθώς συνδέθηκαν στο δίκτυο 68 νέες ανεμογεννήτριες συνολικής αποδιδόμενης ισχύος 230 MW, οι οποίες αντιστοιχούν σε επενδύσεις ύψους 230 εκατ. ευρώ. Σαν αποτέλεσμα, η Ελλάδα πλέον διαθέτει 2.779 ανεμογεννήτριες συνδεδεμένες με το δίκτυο, ενώ οι συνολικές επενδύσεις στον κλάδο της αιολικής ενέργειας αυτή τη στιγμή ανέρχονται στα 2,5 δισ. ευρώ. Τέλος, βάσει των δρομολογημένων επενδύσεων, αυτή τη στιγμή βρίσκονται υπό κατασκευή πρόσθετες εγκαταστάσεις δυναμικότητας 1.29 GW, οι οποίες θα αυξήσουν την συνολική αιολική ισχύ της χώρας στα 6 GW.



*Εικόνα 22: Η αύξηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος στην Ελλάδα κατά τη περίοδο 1999-2022 (πηγή : ΕΛΕΤΑΕΝ)*

Σχετικά με την γεωγραφική κατανομή των αιολικών εγκαταστάσεων της χώρας σε επίπεδο περιφερειών, η Στερεά Ελλάδα βρίσκεται στην κορυφή του αιολικού δυναμικού, αφού διαθέτει αιολικά πάρκα δυναμικότητας 1.872 MW που αντιστοιχούν στο 40% της συνολικής αιολικής ισχύς της χώρας. Στην συνέχεια ακολουθεί η Πελοπόννησος με εγκαταστάσεις 639 MW (14%) και η Ανατολική Μακεδονία - Θράκη με εγκαταστάσεις 534 MW (11%).





Εικόνα 23: Χωρική κατανομή αιολικής δυναμικότητας (πηγή : ΕΛΕΤΑΕΝ)

Όσον αφορά τους κυριότερους επιχειρηματικούς ομίλους που δραστηριοποιούνται στην ελληνική αγορά αιολικής ενέργειας, στους κορυφαίους επενδυτές συγκαταλέγονται:

- η ΤΕΡΝΑ Ενεργειακή, με εγκαταστάσεις 832,8 MW και μερίδιο αγοράς 16,2 %
- η MORE, με εγκαταστάσεις 706 MW και μερίδιο αγοράς 15,1 %
- η Iberdrola Rokas, με εγκαταστάσεις 375 MW και μερίδιο αγοράς 8 %
- η ENEL Green Power, με εγκαταστάσεις 368 MW και μερίδιο αγοράς 7,9 %
- η EREN, με εγκαταστάσεις 250 MW και μερίδιο αγοράς 5,3 %

Σε επίπεδο μεριδίου αγοράς ακολουθούν η EDF, ο όμιλος Μυτιληναίου, η ΔΕΗ Ανανεώσιμες, η Jasper Energy, η Cubico, και οι ΕΛΠΕ Ανανεώσιμες. Όσον αφορά τους κυριότερους κατασκευαστές των ανεμογεννητριών, η Δανική Vestas αποτελεί τον κυριότερο προμηθευτή της Ελλάδας με μερίδιο αγοράς 46,1%. Στους υπόλοιπους συγκαταλέγονται η Siemens Gamesa, η Enercon, η GE Renewable Energy και η Nordex. Αξίζει να σημειωθεί πως για τις ανάγκες των αιολικών πάρκων που εγκαταστάθηκαν εντός του 2022, η Vestas προμήθευσε το 74% των νέων ανεμογεννητριών που αναλογούν σε 170 MW.

Σε αυτό το σημείο, αξίζει να σημειωθεί πως το ενδιαφέρον για νέες επενδύσεις στην ελληνική αγορά αιολικής ενέργειας στρέφεται πλέον στα υπεράκτια αιολικά πάρκα. Αν και η Ελλάδα προς το παρόν δεν διαθέτει θαλάσσια αιολικά πάρκα λόγω του μεγάλου μέσου βάρους των θαλασσών της, το θαλάσσιο αιολικό δυναμικό της στην περιοχή του Αιγαίου κρίνεται ιδανικό για αξιοποίηση μέσω της χρήση πλωτών αιολικών πάρκων. Μία πρόσφατη μελέτη της εταιρίας Navigant για λογαριασμό της Ευρωπαϊκής Επιτροπής εκτιμά πως το θαλάσσιο αιολικό δυναμικό για υπεράκτια αιολικά πάρκα στην Ελλάδα ανέρχεται στα 263 GW, ενώ προβλέπει ότι το σταθμισμένο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας από πλωτά αιολικά στο Αιγαίο θα είναι περίπου 76 ευρώ / MWh το 2030, με δυνατότητες μείωσης στα 46 ευρώ / MWh έως το 2050.

Σαν συνέπεια, η TEPNA Ενεργειακή ανακοίνωσε τη συμφωνία της με την ισπανική εταιρία Ocean Winds για από κοινού ανάπτυξη πλωτών αιολικών πάρκων δυναμικότητας 1,5 GW, τακτική που ακολούθησε και η εταιρεία Μυτιληναίος, ενώ η νορβηγική Equinor (μετεξέλιξη του πετρελαϊκού κολοσσού Statoil), κατέθεσε πρόσφατα σχέδιο για την περιοχή των Κυκλάδων. Μάλιστα, σύμφωνα με το υπουργείο ενέργειας, το πρόσφατο ενδιαφέρον για νέες επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αυτή τη στιγμή αντιστοιχεί σε δυναμικότητα 76 GW , δηλαδή υπερκαλύπτει τους στόχους που έχουν τεθεί στο πλαίσιο του Εθνικού Σχεδίου για την Ενέργεια και το Κλίμα κατά 10 φορές. Ωστόσο, η υλοποίηση των παραπάνω επενδύσεων προϋποθέτει την ολοκλήρωση του θεσμικού πλαισίου ρύθμισης και χωροθέτησης των υπεράκτιων αιολικών πάρκων από την κυβέρνηση, καθώς και την διασύνδεση των συγκεκριμένων περιοχών με το ηλεκτρικό δίκτυο.

#### **4.7. Τα πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας**

Η αξιοποίηση του ανέμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει πολυάριθμα οφέλη, τόσο σε περιβαλλοντικό, όσο και σε οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο. Παρακάτω παρατίθενται τα σημαντικότερα.

i) Η αιολική ενέργεια είναι ανανεώσιμη. Σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα των οποίων η ποσότητα είναι πεπερασμένη, ο άνεμος αποτελεί ανεξάντλητο πόρο.

ii) Αποτελεί μια καθαρή μορφή ενέργειας, η οποία συμβάλλει σημαντικά στη μείωση των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που δημιουργούνται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σε σύγκριση με ορυκτά καύσιμα όπως ο λιγνίτης και το φυσικό αέριο, οι ανεμογεννήτριες κατά την λειτουργία τους εκπέμπουν αμελητέα ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), όπως και δεν καταναλώνουν νερό. Συγκεκριμένα, βάσει ανάλυσης του κύκλου ζωής τους (LCA) οι ανεμογεννήτριες παράγουν περίπου 11 g CO<sub>2</sub> ανά κιλοβατώρα (KWh)

παραγόμενης ενέργειας, δηλαδή 98 % λιγότερο CO<sub>2</sub> από τον λιγνίτη (980g / KWh) και 95 % λιγότερο CO<sub>2</sub> από το φυσικό αέριο (450g / KWh). Η μόνη φορά που η αιολική ενέργεια δημιουργεί έμμεσα εκπομπές CO<sub>2</sub> είναι κατά τη διαδικασία κατασκευής και μεταφοράς των ανεμογεννητριών, ωστόσο σε σύγκριση με την μέση διάρκεια ζωής τους (20-25 έτη) οι συγκεκριμένες ποσότητες εκπομπών θεωρούνται αμελητέες και αντισταθμίζονται εντός του πρώτου έτους λειτουργίας. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί πως σύμφωνα με μελέτη της WindEurope, η χρήση αιολικής ενέργειας στην ΕΕ εξοικονόμησε 118 εκατομμύρια τόνους CO<sub>2</sub> το 2019, ενώ βάσει του τρέχοντα ρυθμού ανάπτυξης εκτιμάται ότι θα εξοικονομήσει έως και 270 εκατομμύρια τόνους CO<sub>2</sub> το 2030.

iii) Από οικονομικής άποψης, αυτή τη στιγμή αποτελεί μία από τις πιο συμφέρουσες λύσεις για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς οι εξελίξεις στην τεχνολογία των ανεμογεννητριών έχουν οδηγήσει σε σημαντική μείωση του κόστους παραγωγής τους τα τελευταία χρόνια. Σύμφωνα με ανάλυση της IRENA, μεταξύ της περιόδου 2010-2021 το μέσο σταθμικό κόστος παραγωγής ενέργειας από χερσαία αιολικά πάρκα μειώθηκε κατά 68 %.

iv) Η συνεισφορά της αιολικής ενέργειας καθώς και των υπόλοιπων ΑΠΕ, οδηγεί σε μείωση του τελικού κόστους ηλεκτρικής ενέργειας για τους καταναλωτές. Συγκεκριμένα, η τρέχουσα διείσδυση των ΑΠΕ στην Ελλάδα μειώνει την Οριακή Τιμή Συστήματος, την τελική τιμή δηλαδή που διαμορφώνεται στην αγορά ηλεκτρισμού μεσοσταθμικά κατά 8 ευρώ / MWh. Επιπλέον, αυτή τη στιγμή η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από αιολικά πάρκα στην Ελλάδα είναι 7 φορές φθηνότερη σε σχέση με αυτή που παράγεται από φυσικό αέριο και 3,5 φορές φθηνότερη σε σχέση με την αντίστοιχη από λιγνίτη. Η συγκεκριμένη διαφορά στο κόστος προκύπτει από το γεγονός ότι η αιολική ενέργεια δεν εξαρτάται από την εισαγωγή ορυκτών καυσίμων, τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη μεταβλητότητα τιμής στην διεθνή αγορά, καθώς και από το ότι δεν επιβαρύνεται με ειδικό περιβαλλοντικό φόρο.

v) Η συμβολή της αιολικής ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα των χωρών αυξάνει την ενεργειακή τους ανεξαρτησία. Ως γνωστόν, οι χώρες της ΕΕ εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την Ρωσία για την εισαγωγή ορυκτών καυσίμων όπως το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο. Η σημασία του συγκεκριμένου ζητήματος μάλιστα αναδείχθηκε όσο ποτέ άλλοτε κατά τη διάρκεια του 2022, όταν η εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία δημιούργησε μια παγκόσμια ενεργειακή κρίση. Σαν συνέπεια αυτού του γεγονότος, η ΕΕ υιοθέτησε το σχέδιο δράσης RePowerEU, το οποίο προβλέπει την μείωση της ενεργειακής της εξάρτησης από την Ρωσία

μέσω της αύξησης της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος από 190 GW σε τουλάχιστον 480 GW έως το 2030.

vi) Οι ανεμογεννήτριες έχουν θετικό ενεργειακό ισοζύγιο. Κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της, μια ανεμογεννήτρια μπορεί να παράγει έως και 53 φορές περισσότερη ενέργεια (175.000 MWh) σε σχέση με αυτήν που καταναλώνεται κατά την κατασκευή, λειτουργία και απεγκατάστασή της (3300 MWh)

vii) Τα υλικά των ανεμογεννητριών ανακυκλώνονται κατά 85-90%, με εξαίρεση τα πτερύγια που αποτελούνται από σύνθετα πολυμερή υλικά, ενώ ένα μεγάλο μέρος των υλικών μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί. Μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους, οι ανεμογεννήτριες αποσυρμολογούνται και γίνεται η διαχείριση των επιμέρους υλικών τους. Κύριος στόχος της αιολικής βιομηχανίας σε αυτό το ζήτημα είναι η δημιουργία ανακυκλώσιμων πτερυγίων από επαναχρησιμοποιούμενα υλικά.

viii) Η αιολική ενέργεια δημιουργεί εγχώρια προστιθέμενη αξία και παρέχει οφέλη για τις τοπικές κοινότητες. Συγκεκριμένα, οι τοπικές κοινότητες επωφελούνται από τη λειτουργία των αιολικών πάρκων με 3 τρόπους:

- Μέσω της εισροής εσόδων στην τοπική αγορά για εργασίες και προμήθειες κατά την κατασκευή και τη λειτουργία των έργων.
- Μέσω της παρακράτησης του ειδικού τέλους (3%) από τα ακαθάριστα έσοδα των αιολικών πάρκων, το οποίο αποδίδεται στους οργανισμούς τοπικής αυτοδιοίκησης για εκτέλεση τοπικών αναπτυξιακών έργων, καθώς και στους οικιακούς καταναλωτές για μείωση των λογαριασμών ρεύματος.
- Μέσω της προσφοράς απασχόλησης κατά την κατασκευή και λειτουργία των αιολικών πάρκων.

ix) Η ανάπτυξη χερσαίων αιολικών πάρκων μπορεί έμμεσα να συμβάλει στην προστασία των δασικών εκτάσεων από πυρκαγιές. Καθώς η εγκατάσταση των αιολικών πάρκων προϋποθέτει την διάνοιξη δρόμων για τη μεταφορά των ανεμογεννητριών, οι δρόμοι αυτοί λειτουργούν ως αντιπυρικές ζώνες προστασίας και διευκολύνουν την διέλευση των πυροσβεστικών οχημάτων σε περίπτωση δασικής πυρκαγιάς.

#### **4.8. Τα μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας**

Παρά τα πολυάριθμα πλεονεκτήματα της, σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως η αιολική ενέργεια δεν είναι αψεγάδιαστη. Όπως κάθε πηγή ενέργειας, έτσι και η αιολική

παρουσιάζει κάποιους περιορισμούς, όπως και ορισμένα μειονεκτήματα. Τα κυριότερα από αυτά είναι τα εξής:

i) Η αστάθεια στην παραγωγικότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Δεδομένου ότι οι ανεμογεννήτριες εξαρτώνται αποκλειστικά από τον άνεμο για την λειτουργία τους, σε περιόδους άπνοιας η ασθενών ανέμων (ταχύτητας μικρότερης των 18km/h) δεν λειτουργούν και συνεπώς δεν παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Για τον λόγο αυτό, η αιολική ενέργεια δεν μπορεί να αποτελεί μια αποκλειστική πηγή ενέργειας, αλλά πρέπει να συνδυάζεται τόσο με άλλες μορφές ΑΠΕ, όσο και με ορισμένες συμβατικές πηγές ενέργειας.

ii) Η απώλεια μέρους της πλεονάζουσας παραγόμενης ενέργειας. Ως γνωστόν, κατά τη διάρκεια ημερών με ισχυρούς ανέμους, η παραγωγικότητα των ανεμογεννητριών αυξάνεται. Στην περίπτωση που η προσφερόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι μεγαλύτερη της ζήτησης, προκύπτει πλεόνασμα ενέργειας, το οποίο πρέπει να αποθηκευτεί σε ειδικές μπαταρίες για να προσφερθεί μεταγενέστερα στο δίκτυο. Αν και ήδη χρησιμοποιούνται μπαταρίες για την αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας που παράγεται από αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα, στην παρούσα φάση η ανεπάρκεια της διαθέσιμης τεχνολογίας και το πολύ υψηλό κόστος παραγωγής δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη μπαταριών αρκετής χωρητικότητας για την αποθήκευση του συνόλου της πλεονάζουσας ενέργειας.

iii) Ο κατακερματισμός της γης και η αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος από την διαδικασία εγκατάστασης των χερσαίων αιολικών πάρκων. Η δημιουργία χερσαίων αιολικών πάρκων απαιτεί έργα βιομηχανικής κλίμακας, τα οποία περιλαμβάνουν την διάνοιξη δρόμων μεγάλου πλάτους για την μεταφορά των ανεμογεννητριών, την δημιουργία μεγάλων πλατωμάτων στις κορυφογραμμές των βουνών, καθώς και την εκσκαφή για την θεμελίωση των πυλώνων. Οι συγκεκριμένες παρεμβάσεις συχνά πραγματοποιούνται σε ανέγγιχτα φυσικά τοπία μεγάλης αισθητικής αξίας, τα οποία συνεπώς υποβαθμίζονται σημαντικά.



*Εικόνα 24: Κατασκευή βάσης ανεμογεννήτριας στα Άγραφα (πηγή: περιοδικό Ανεβαίνοντας)*

iv) Η διατάραξη των οικοσυστημάτων και οι επιπτώσεις στην βιοποικιλότητα. Όπως αναφέρθηκε, η διαδικασία εγκατάστασης χερσαίων αιολικών πάρκων επιφέρει σημαντικές αλλαγές στο φυσικό περιβάλλον. Η δημιουργία δρόμων και εργοταξίων για τις ανάγκες κατασκευής των αιολικών σταθμών σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτεί την αποψίλωση δασικών εκτάσεων, ενώ η λειτουργία των ανεμογεννητριών συμβάλλει στην θνησιμότητα απειλούμενων προς εξαφάνιση ειδών άγριων πτηνών, όπως ο μαυρόγυπας. Για τον λόγο αυτό, η αδειοδότηση κατασκευής αιολικών πάρκων απαιτεί ειδική μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΜΠΕ), η οποία πρέπει να εγκρίνει την υλοποίηση των έργων στην υποψήφια περιοχή.

v) Η ηχητική και οπτική ενόχληση. Οι ανεμογεννήτριες παράγουν δύο τύπους θορύβου: τον μηχανικό, που παράγεται από τα μηχανικά και ηλεκτρικά μέρη και τον αεροδυναμικό, που παράγεται από την αλληλεπίδραση των πτερυγίων του έλικα με τον αέρα. Συνεπώς, ο συνολικός θόρυβος που εκπέμπεται από μια ανεμογεννήτρια αποτελεί συνδυασμό και των δύο παραπάνω τύπων. Πρόσφατα, λόγω της εξέλιξης του μηχανικού σχεδιασμού των ανεμογεννητριών μεγάλης ισχύος, ο μηχανικός θόρυβος έχει μειωθεί αισθητά και δεν θεωρείται τόσο σημαντικός όσο ο αεροδυναμικός θόρυβος, ο οποίος υπολογίζεται γύρω στα 100 dB. Όσον αφορά την οπτική ενόχληση που προκύπτει από τις ανεμογεννήτριες, αυτή αποτελεί κατά κύριο λόγο υποκειμενικό ζήτημα, δηλαδή ο βαθμός και η σημασία της διαφέρει από άνθρωπο

σε άνθρωπο. Από σχετικές μελέτες σε κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης προκύπτει ότι τα αιολικά πάρκα είναι περισσότερο αποδεκτά σε όρους αισθητικής από ανθρώπους που είναι ενημερωμένοι και έχουν πεισθεί για τα οφέλη που προέρχονται από την χρήση τους.

#### **4.9. Η κοινωνική αποδοχή της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα**

Κατά την τελευταία πενταετία τα αιολικά πάρκα στην Ελλάδα αυξήθηκαν με ραγδαίο ρυθμό, καταλαμβάνοντας εκτάσεις χιλιάδων τετραγωνικών μέτρων στην ηπειρωτική και την νησιωτική χώρα, αυξάνοντας παράλληλα και την δυσαρέσκεια της ελληνικής κοινωνίας προς αυτά. Σε αρκετές περιπτώσεις, η κατασκευή νέων αιολικών πάρκων αντιμετώπιστηκε με έντονες αντιδράσεις και μαζικές συγκεντρώσεις διαμαρτυρίας, τόσο από τις τοπικές κοινότητες όσο και από ένα μεγάλο μέρος της ευρύτερης ελληνικής κοινωνίας, ενώ μέχρι σήμερα έχουν γίνει αρκετές προσφυγές στο Συμβούλιο της Επικρατείας με αίτημα την ακύρωση της κατασκευής αιολικών πάρκων. Οι συγκεκριμένες αντιδράσεις αφορούν κατά κύριο λόγο την παροχή άδειας εγκατάστασης αιολικών πάρκων βιομηχανικής κλίμακας σε προστατευόμενες περιοχές που ανήκουν στο δίκτυο Natura 2000. Σύμφωνα με έρευνα του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, το 2020 λειτουργούσαν 705 ανεμογεννήτριες εντός περιοχών του δικτύου Natura που χαρακτηρίζονται ως Ζώνες Ειδικής Προστασίας για τους οικότοπους και τα σπάνια είδη φυτών και ζώων που φιλοξενούν, ενώ προγραμματιζόταν να εγκατασταθούν επιπλέον 5.514 ανεμογεννήτριες εντός προστατευόμενων περιοχών.

Η συγκεκριμένη τάση αποδίδεται ομόφωνα στις παθογένειες του ελληνικού ρυθμιστικού πλαισίου για την χωροθέτηση των ΑΠΕ, το οποίο επιτρέπει την εγκατάσταση αιολικών πάρκων εντός περιοχών Natura λόγω της ύπαρξης κατάλληλου αιολικού δυναμικού προς αξιοποίηση. Συγκεκριμένα, το παραπάνω χωροταξικό πλαίσιο παραβιάζει μια από τις βασικές οδηγίες της ΕΕ για την προστασία της βιοποικιλότητας, η οποία προβλέπει ότι η υλοποίηση ενός έργου εντός περιοχής Natura θα πρέπει να επιτρέπεται μόνο εφόσον υπάρχει βεβαιότητα ότι το έργο δεν θα επηρεάσει την ακεραιότητά της. Αν υπάρχει αμφιβολία για αυτό, τότε βάσει της παραπάνω οδηγίας το έργο θα πρέπει να απορρίπτεται. Για αυτόν τον λόγο, η οδηγία της ΕΕ προβλέπει πως όλα τα σχέδια και τα έργα που ενδέχεται να έχουν σημαντικές επιπτώσεις σε τόπους Natura 2000 πρέπει υποχρεωτικά να υποβάλλονται σε ειδικές περιβαλλοντικές μελέτες για την εκτίμηση των επιπτώσεών τους σε αυτούς τους τόπους. Ωστόσο, το υφιστάμενο σχέδιο για την χωροθέτηση των ΑΠΕ με τίτλο «Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας» (2008), εγκρίθηκε χωρίς να έχει προηγηθεί εκτίμηση των περιβαλλοντικών του επιπτώσεων. Επομένως, τα έργα ανάπτυξης



αιολικών πάρκων σε περιοχές Natura εγκρίνονται βάσει ενός εθνικού σχεδίου που δεν συμμορφώνεται με τη νομοθεσία της ΕΕ. Ως συνέπεια, το 2014 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προειδοποίησε την Ελλάδα για την ανάγκη αναθεώρησης του σχεδίου, προκειμένου αυτό να τηρεί τον ευρωπαϊκό περιβαλλοντικό νόμο. Δεδομένου όμως πως η αναθεώρηση του εν λόγω σχεδίου δεν έχει ολοκληρωθεί μέχρι και σήμερα, η Επιτροπή αποφάσισε να απευθύνει αιτιολογημένη γνώμη στην Ελλάδα, η οποία έχει πλέον προθεσμία δύο μηνών για να λάβει τα αναγκαία μέτρα, ειδάλως θα παραπεμφθεί στο Δικαστήριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Επιπλέον, σε μια προσπάθεια να καταστήσει την χώρα πιο φιλική προς νέες επενδύσεις σε ΑΠΕ, το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας δημιούργησε το 2020 ένα νέο νομοσχέδιο για τον εκσυγχρονισμό της περιβαλλοντικής νομοθεσίας στην Ελλάδα. Μέσω της μείωσης της γραφειοκρατίας, το νομοσχέδιο παρέχει ένα πλήθος διευκολύνσεων για τους υποψήφιους επενδυτές, όπως η σημαντική επιτάχυνση της διαδικασίας περιβαλλοντικής αδειοδότησης για νέα έργα ΑΠΕ, καθώς και η δυνατότητα ανάθεσης των απαραίτητων μελετών περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΜΠΕ) σε ιδιώτες. Αν και το σκεπτικό μείωσης των χρόνων περιβαλλοντικής αδειοδότησης αρχικά είχε θετικό πρόσημο, στην πορεία αποδείχθηκε πως το συγκεκριμένο νομοσχέδιο όχι μόνο δεν εξασφάλιζε την τήρηση της περιβαλλοντικής νομοθεσίας με αντικειμενικό και νομικά ασφαλή τρόπο, αλλά συνέβαλε κιόλας στην εμφάνιση σοβαρών αυθαιρεσιών τόσο από τη πλευρά των ενδιαφερόμενων εταιρειών, όσο και από την πλευρά του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της παραπάνω διαπίστωσης αποτελεί η εμφάνιση μελετών περιβαλλοντικών επιπτώσεων «κατά παραγγελία» των ενδιαφερόμενων επενδυτών, δηλαδή με έντονα μεροληπτικό χαρακτήρα προκειμένου να εγκριθεί η άδεια κατασκευής των υπό αξιολόγηση αιολικών πάρκων. Πιο αναλυτικά, μέσω της πρόσβασης στο Πρόγραμμα Διαύγεια, διαπιστώθηκε πως αρκετές ΜΠΕ ουσιαστικά αποτελούν αντιγραφές και συρραφές από άλλες ήδη εγκεκριμένες. Επιπλέον, στις παραπάνω μελέτες είτε απουσιάζει η ανάλυση των οικοσυστημάτων σε επίπεδο πανίδας και χλωρίδας, είτε εμφανίζονται ψευδείς ισχυρισμοί για την ιδιαιτερότητα τους. Τέλος υποτιμάται η περιβαλλοντική επίπτωση της διάνοιξης νέων δρόμων μεγάλου πλάτους για τις ανάγκες κατασκευής των αιολικών πάρκων.

Σαν αποτέλεσμα, οι παραπάνω αυθαιρεσίες σε συνδυασμό με την αλλοίωση σημαντικών φυσικών τοπίων, έχουν οδηγήσει μεγάλη μερίδα της ελληνικής κοινωνίας να αμφισβητεί την συνεισφορά της αιολικής ενέργειας στην «πράσινη» ανάπτυξη και να τάσσεται κατά των αιολικών πάρκων. Μάλιστα, εξαιτίας της υλοποίησης αρκετών έργων χωρίς τη συγκατάθεση



των τοπικών κοινοτήτων, πλέον αρκετές κοινότητες, φορείς και φυσιολατρικοί σύλλογοι έχουν συσπειρωθεί σε ένα πανελλήνιο κίνημα κατά των αιολικών πάρκων, το οποίο είναι γνωστό με το όνομα «Ελεύθερα Βουνά Χωρίς Αιολικά». Έτσι, τόσο στην Εύβοια, όσο και στην Τήνο και στα Άγραφα έχουν προκύψει μαζικές συγκεντρώσεις διαμαρτυρίας, με αποτέλεσμα πλέον τα έργα να επιβάλλονται με την παρουσία αστυνομικών δυνάμεων.



Εικόνα 25: Διαμαρτυρία πολιτών κατά της εγκατάστασης αιολικών πάρκων στην Τήνο (πηγή: Efsyn)

Όπως είναι αντιληπτό, τέτοιου είδους πρακτικές δεν συμβάλουν στην αποδοχή των αιολικών πάρκων, αντιθέτως προκαλούν την οργή και την εναντίωση των πολιτών. Προκειμένου η αιολική ενέργεια να συνεχίσει να αναπτύσσεται χωρίς προβλήματα στην Ελλάδα, η ανάπτυξη κλίματος εμπιστοσύνης και κοινωνικής αποδοχής κρίνεται αναγκαία. Η προσπάθεια επίτευξης ουσιαστικής κοινωνικής αποδοχής θα πρέπει να περιλαμβάνει τη σωστή ενημέρωση για τα οφέλη από την χρήση της αιολικής ενέργειας, την αποφυγή αθέμιτων πρακτικών που δεν λαμβάνουν υπόψη τα δικαιώματα και τα συμφέροντα των πολιτών, καθώς και την ενίσχυση των αντισταθμιστικών μέτρων προς τις τοπικές κοινότητες. Όσον αφορά την τελευταία πρόταση, η Ελλάδα θα μπορούσε πιθανώς να ωφεληθεί ακολουθώντας στον βαθμό που αυτό είναι δυνατό το καθεστώς ιδιοκτησίας αιολικών πάρκων που ισχύει στην Δανία. Βάσει αυτού, οι πολίτες μπορούν να αγοράσουν μετοχές των εταιριών που διαχειρίζονται τα αιολικά πάρκα σε ιδιαίτερα προνομιακή τιμή και να συμμετέχουν στην ιδιοκτησία των

αιολικών πάρκων, δημιουργώντας έσοδα και συμμετέχοντας πιο ενεργά στην λήψη αποφάσεων για σχεδιασμό και χωροθέτηση αιολικών πάρκων στην περιοχή τους. Τέτοιου είδους πολιτικές παρέχουν κίνητρα στους πολίτες να αποδεχθούν πιο εύκολα τις αλλαγές που πραγματοποιούνται στον τόπο τους, καθώς έτσι δεν ωφελούνται μόνο ξένοι επενδυτές, αλλά και οι ίδιοι.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συμπεράσματα**

Το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής δεν αποτελεί μύθο ή θεωρία, αλλά γεγονός, καθώς υπάρχουν αδιάσειστα επιστημονικά στοιχεία που αποδεικνύουν πως το φαινόμενο συντελείται ήδη στο παρόν. Η διεθνής επιστημονική κοινότητα συμφωνεί ομόφωνα πως αν δεν ληφθούν άμεσα τα κατάλληλα μέτρα για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, οι επιπτώσεις για την ανθρωπότητα στο μέλλον θα είναι ιδιαίτερα σοβαρές. Δεδομένου ότι η παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα αποτελεί τον κύριο ανθρωπογενή συντελεστή της υπερθέρμανσης του πλανήτη - και κατά συνέπεια της κλιματικής αλλαγής, η στροφή των οικονομιών σε καθαρές, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελεί μονόδρομο.

Αναγνωρίζοντας την σοβαρότητα της κατάστασης, ο ΟΗΕ κατά τις τελευταίες τρεις δεκαετίες έκανε κάποιες αξιόλογες προσπάθειες προς την θέσπιση κανόνων διεθνούς ισχύος για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Αν και αυτές οι προσπάθειες κατά διαστήματα υπονομεύθηκαν από τα αντικρουόμενα οικονομικά συμφέροντα ισχυρών κρατών όπως οι ΗΠΑ, τελικά είχαν ως αποτέλεσμα την σύναψη μιας παγκόσμιας, νομικά δεσμευτικής συμφωνίας για το κλίμα, η οποία είναι γνωστή ως Συμφωνία του Παρισιού. Ωστόσο, παρά την καθολική δέσμευση για ουσιαστική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, προς το παρόν οι δράσεις αρκετών χωρών κρίνονται ανεπαρκείς για την επίτευξη του αρχικού στόχου συγκράτησης της ανόδου της θερμοκρασίας στον 1,5 C. Η κύρια αιτία για αυτό το γεγονός αποδίδεται στην μεγάλη εξάρτηση των οικονομιών των χωρών από τα ορυκτά καύσιμα και την έλλειψη αποφασιστικότητας για μια ουσιαστική αποδέσμευση από αυτά.

Στην παρούσα φάση, οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης ηγούνται της προσπάθειας αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής, μέσω της υιοθέτησης της Πράσινης Συμφωνίας (Green Deal) και του Ευρωπαϊκού Πλαισίου για το Κλίμα και την Ενέργεια (Agenda 2030). Το συγκεκριμένο νομικό πλαίσιο έως τώρα έχει συμβάλει στην μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου εντός των χωρών της ΕΕ, μέσω της σημαντικής προώθησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Μεταξύ των διαφόρων ειδών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αυτή τη στιγμή η αιολική ενέργεια κυριαρχεί τόσο στην ΕΕ όσο και στην Ελλάδα. Η συγκεκριμένη μορφή ενέργειας παρουσιάζει αρκετά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη, ενώ η συμβολή της στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής κρίνεται σημαντική. Ωστόσο, η αιολική ενέργεια χαρακτηρίζεται και από ορισμένα μειονεκτήματα, όπως για παράδειγμα ότι τα αιολικά πάρκα που απαιτούνται για την αξιοποίησή της επιφέρουν σε κάποιο βαθμό περιβαλλοντικές επιπτώσεις στις περιοχές εγκατάστασης. Για τον λόγο αυτό, τα αιολικά πάρκα θα πρέπει να χωροθετούνται εκτός των προστατευόμενων περιοχών, κατά προτεραιότητα σε ηπειρωτικές περιοχές που έχουν ήδη υποβαθμιστεί από την ανθρώπινη δραστηριότητα, καθώς και σε θαλάσσιες περιοχές σε απόσταση από τις ακτές. Τέλος, η περαιτέρω ανάπτυξη των υπεράκτιων αιολικών πάρκων αναμένεται να αυξήσει την αποδοτικότητα της ηλεκτροπαραγωγής, ενώ σε περιπτώσεις σαν αυτή της Ελλάδας, προβλέπεται ότι θα λύσει το υπάρχον πρόβλημα της χωροθέτησης των εγκαταστάσεων. Ανεξάρτητα του βαθμού ανάπτυξης της πάντως, η αιολική ενέργεια δεν μπορεί να αποτελεί την αποκλειστική ενεργειακή πηγή για τις ανάγκες μιας χώρας, συνεπώς θα πρέπει να συνδυάζεται στις κατάλληλες αναλογίες με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Βιβλιογραφία

### Ελληνική

ΕΛΕΤΑΕΝ (2020). *Η αιολική ενέργεια απαντά: Η αλήθεια πίσω από τους μύθους.*

Ελληνική Ορνιθολογική Εταιρεία (2020). *Αιολικά πάρκα στις προστατευόμενες περιοχές Natura 2000.*

Ελληνική Δημοκρατία, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (2019). *Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα.*

Ίδρυμα Οικονομικών & Βιομηχανικών Ερευνών (2023). *Προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή: Προκλήσεις και προοπτικές για την ελληνική οικονομία.*

WWF (2019). *Κλιματική Αλλαγή και ΑΠΕ.*

### Ξένη

Dolan, S. and Heath, G. (2012). *Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Utility-Scale Wind Power.*

Ellis, G. and Ferraro, G (2016). *The social acceptance of wind energy.*

IPCC (2019). *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [Shukla, P. et al.]*

IPCC (2018). *Global Warming of 1.5 °C (Summary for Policymakers) [Masson-Delmotte, V. et al.]*

IPCC (2014). *AR5 Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability* [Pachauri, R.K. et al.]

IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis* [Stocker, T. et al.]

IRENA (2021). *Renewable Energy Country Profiles* [Jochum, M. et al.]

IRENA (2017). *Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030* [Ralon, P. et al.]

IRENA (2022). *Renewable Power Generation Costs in 2021* [Taylor, M. et al.]

IRENA (2018). *Renewable Energy Prospects for the European Union* [Gielen, D. et al.]

IRENA (2022). *Renewable Energy Statistics 2022* [Lebedys, A. et al.]

IRENA (2013). *30 Years of Policies for Wind Energy: Lessons from 12 Wind Energy Markets* [Sawyer, S. et al.]

IEA (2019). *Offshore Wind Outlook 2019* [Cozzi, L. et al.]

IEA (2021). *Renewables 2021: Analysis and forecasts to 2026* [Abdelilah, Y. et al.]

IEA (2013). *Social Acceptance of Wind Energy Projects: Expert Group Summary on Recommended Practices* [Jegen, M. et al.]

Letcher, T. (2017). *Wind Energy Engineering: A Handbook for Onshore and Offshore Wind Turbines*.

UN Environment Program (2022). *Emissions Gap Report 2022* [Olhoff, A. et al.]

Wang, S. (2015). *Impacts of wind energy on environment: A review*.

WindEurope (2020). *Wind energy and economic recovery in Europe: How wind energy will put communities at the heart of the green recovery [Pineda, I. et al.]*

### **Λιαδικτυακοί Τόποι**

Columbia Climate School. *How Exactly Does Carbon Dioxide Cause Global Warming?*

URL: <https://news.climate.columbia.edu/2021/02/25/carbon-dioxide-cause-global-warming/>

Copernicus. *Climate Indicators*. URL: <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators>

Copernicus. *2022 was a year of climate extremes, with record high temperatures and rising concentrations of greenhouse gases*. URL: <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2022-was-year-climate-extremes-record-high-temperatures-and-rising-concentrations>

DW. *Wind power critics: What's the truth about their claims?*

URL: <https://www.dw.com/en/wind-power-critics-whats-the-truth-about-their-claims/a-60048961>

DW. *How sustainable is wind power?*

URL: <https://www.dw.com/en/how-sustainable-is-wind-power/a-60268971>

EPA. *Climate Change Indicators: Atmospheric Concentrations of Greenhouse Gases*

URL: <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-atmospheric-concentrations-greenhouse-gases>

EPA. *Climate Change Indicators: Oceans*.

URL: <https://www.epa.gov/climate-indicators/oceans>

EPA. *Climate Change Indicators: Glaciers*.

URL: <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-glaciers>

European Commission. *A European Green Deal*

URL: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_el#--2](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_el#--2)

European Council. *European Green Deal*.

URL: <https://www.consilium.europa.eu/el/policies/green-deal/>

European Council. *Timeline - European Green Deal and Fit for 55*

URL: <https://www.consilium.europa.eu/el/policies/green-deal/timeline-european-green-deal-and-fit-for-55/>

European Commission. *European Climate Law*. URL:

[https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-green-deal/european-climate-law\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-green-deal/european-climate-law_en)

Energy Sage. *Hydropower pros and cons*.

URL: <https://www.energysage.com/about-clean-energy/hydropower/pros-cons-hydropower/>

Energy Press. *Η Vestas αποκαλύπτει τη λύση βιωσιμότητας για τον τερματισμό της ταφής των περυγίων των ανεμογεννητριών*. URL: [https://energypress.gr/news/i-vestas-apokalyptei-ti-lysi-biosimotitas-gia-ton-termatismo-tis-tafis-ton-pterygion-ton?utm\\_source=pocket\\_reader](https://energypress.gr/news/i-vestas-apokalyptei-ti-lysi-biosimotitas-gia-ton-termatismo-tis-tafis-ton-pterygion-ton?utm_source=pocket_reader)

Energy Press. *Αιολική Ενέργεια και Κυκλική Οικονομία: Ανακυκλώνονται τα υλικά μιας ανεμογεννήτριας*; URL: <https://energypress.gr/news/aioliki-energeia-kai-kykliki-oikonomia-anakyklonontai-ta-ylika-mias-anemogennitrias>

Forbes. *Solar Energy Pros and Cons: What Are the Advantages and Disadvantages*.

URL: <https://www.forbes.com/home-improvement/solar/solar-energy-pros-and-cons/>

Forbes. *How green is wind power, really? A New Report Tallies Up the Carbon Cost of Renewables.* URL: <https://www.forbes.com/sites/christopherhelman/2021/04/28/how-green-is-wind-power-really-a-new-report-tallies-up-the-carbon-cost-of-renewables/?sh=1b566e6773cd>

Green Agenda. *Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατασκευή και λειτουργία ανεμογεννητριών και αιολικών πάρκων.*

URL:<https://greenagenda.gr/%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%B2%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82-%CE%B5%CF%80%CE%B9%CF%80%CF%84%CF%8E%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82-%CE%B1%CF%80%CF%8C-%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%BA/>

IEA. *Renewables Data & Statistics.* URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/renewables-information>

IEA. *Wind Data & Statistics.* URL: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/wind>

Liberal. *Τα αιολικά παράγουν 3-4 φορές φθηνότερο ρεύμα από το αέριο.*

URL:<https://www.liberal.gr/oikonomia/ta-aiolika-paragoy-n-3-4-fores-ftthinotero-reyma-apo-aerio>

National Geographic. *Greenhouse Effect*

URL: <https://education.nationalgeographic.org/resource/greenhouse-effect/>

NASA. *How Do We Know Climate Change Is Real?* URL: <https://climate.nasa.gov/evidence/>

NASA. *The Causes of Climate Change.* URL: <https://climate.nasa.gov/causes/>

NASA. *The Effects of Climate Change.* URL: <https://climate.nasa.gov/effects/>

NASA. *Understanding our planet to benefit humankind.* URL: <https://climate.nasa.gov/>



NASA. *World of Change: Global Temperatures*.

URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/global-temperatures>

NASA. *Vital Signs: Sea Level*. URL: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/>

NOAA. *Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide*.

URL: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>

NOAA. *Climate Change: Annual greenhouse gas index*.

URL: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-annual-greenhouse-gas-index>

NOAA. *Climate Change: Global Sea Level*.

URL: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-sea-level>

NOAA. *Ocean acidification*.

URL: <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts/ocean-acidification>

Renewable Energy World. *History of Wind Turbines*.

URL: <https://www.renewableenergyworld.com/storage/history-of-wind-turbines/>

Science. *Offshore wind farms have powerful advantage over land-based turbines, study finds*.

URL: <https://www.science.org/content/article/offshore-wind-farms-have-powerful-advantage-over-land-based-turbines-study-finds>

The Royal Society. *The Basics of Climate Change*. URL: <https://royalsociety.org/topics-policy/projects/climate-change-evidence-causes/basics-of-climate-change/>

The Guardian. *Climate crisis: UN finds 'no credible pathway to 1.5C in place'*. URL:

<https://www.theguardian.com/environment/2022/oct/27/climate-crisis-un-pathway-1-5-c>

The Guardian. *The big takeaway from Cop27? These climate conferences just aren't working.*

URL: <https://www.theguardian.com/commentisfree/2022/nov/20/big-takeaway-cop27-climate-conferences-arent-working>

The Guardian. *Record heatwave closes Mont Blanc to tourists.*

URL: <https://www.theguardian.com/environment/2003/aug/17/france.climatechange1>

The Green Tank. *Χωροθετούμε σωστά τις ανεμογεννήτριες στην Ελλάδα;*

URL: [https://thegreentank.gr/2019/09/26/wind\\_turbines\\_siting/](https://thegreentank.gr/2019/09/26/wind_turbines_siting/)

UN Climate Change. *What is the Kyoto Protocol.* URL: [https://unfccc.int/kyoto\\_protocol](https://unfccc.int/kyoto_protocol)

UN Climate Change. *Key aspects of the Paris Agreement.*

URL: <https://unfccc.int/most-requested/key-aspects-of-the-paris-agreement>

University of Cambridge. *How offshore wind turbines could be more efficient.*

URL: <https://www.cam.ac.uk/research/news/how-offshore-wind-turbines-could-be-more-efficient>

WindEurope. *About Wind.* URL: <https://windeurope.org/about-wind/>

WindEurope. *Wind energy and the environment.*

URL: <https://windeurope.org/about-wind/wind-energy-and-the-environment/>

World Resources Institute. *6 Big Findings from the IPCC 2022 Report on Climate Impacts, Adaptation and Vulnerability.* URL: <https://www.wri.org/insights/ipcc-report-2022-climate-impacts-adaptation-vulnerability>

World Economic Forum. *New fossil fuels 'incompatible' with 1.5°C goal, comprehensive analysis finds.* URL: <https://www.weforum.org/agenda/2022/10/fossil-fuels-incompatible-1-5c-goal-energy-climate-change->

[study?utm\\_source=facebook&utm\\_medium=social\\_video&utm\\_term=1\\_1&utm\\_content=27950\\_actions\\_global\\_warming\\_limit&utm\\_campaign=social\\_video\\_2023](https://www.kathimerini.gr/economy/local/561103024/analysis-oi-ape-kai-to-kostos-tis-ilektrikis-energeias-stin-ellada/)

Η Καθημερινή. *Ανάλυση: Οι ΑΠΕ και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα.*

URL: <https://www.kathimerini.gr/economy/local/561103024/analysis-oi-ape-kai-to-kostos-tis-ilektrikis-energeias-stin-ellada/>

Η Καθημερινή. *Αλήθειες και μύθοι για την αιολική ενέργεια.*

URL: <https://www.kathimerini.gr/life/environment/1085965/alitheies-kai-mythoi-gia-tin-aioliki-energeia/>

Η Καθημερινή. *«Ντιμπέιτ» για αιολικά και Natura.*

URL: [https://www.kathimerini.gr/life/environment/1070315/ntimpeit-gia-aiolika-kai-natura/?utm\\_source=pocket\\_mylist](https://www.kathimerini.gr/life/environment/1070315/ntimpeit-gia-aiolika-kai-natura/?utm_source=pocket_mylist)

Οικονομικός Ταχυδρόμος. *RePowerEU: Προς την ενεργειακή ανεξαρτησία της Ευρώπης.*

URL: <https://www.ot.gr/2022/05/24/apopseis/experts/repowereu-pros-tin-energeiaki-aneksartisia-tis-eyropis/>