



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

«Κλιματική Αλλαγή, Ενεργειακές Ανάγκες και Βιώσιμη Ανάπτυξη για την Ελλάδα»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ειρήνη Θ. Κώτση

Επιβλέπων: Δημήτρης Χατζηαβραμίδης

Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

«Κλιματική Αλλαγή, Ενεργειακές Ανάγκες και Βιώσιμη Ανάπτυξη για την Ελλάδα»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ειρήνη Θ. Κώτση

Επιβλέπων: Δημήτρης Χατζηαβραμίδης

Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή Εξεταστική Επιτροπή :

Δημήτρης Χατζηαβραμίδης
Καθηγητής ΕΜΠ

Ανδρέας Ανδρεόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ

Γεράσιμος Λυμπεράτος
Καθηγητής ΕΜΠ

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Δημήτρη Χατζηαβραμίδη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου, την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Ταυτόχρονα για την υπομονή του και την προθυμία του να με συμβουλευτεί σε κάθε στάδιο της.

Επίσης την υποψήφια διδάκτορα Καλλιόπη Χατζηζαχαριά, όπου η συμβολή της ήταν καθοριστική, για την εξέλιξη της εργασίας αυτής.

Σημαντικό ρόλο στην ολοκλήρωσή της, έπαιξαν οι γονείς μου Θεωδωρής και Αννέτα, η αδελφή μου Σοφία και η κατ' επιλογήν δική μου οικογένεια, οι φίλοι μου, η Έφη και ο Παναγιώτης, όπου χωρίς την υποστήριξη και την καθοδήγηση τους, η διαδικασία της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας θα ήταν ιδιαίτερα δύσκολη.

Εξαιρετικά, θέλω να ευχαριστήσω τον παιδικό μου φίλο, Θεολόγο Μπαμπαρούτση, τελειόφοιτο της σχολής ΗΜΜΥ, με την καθοδήγηση του οποίου στήθηκε το προγραμματιστικό της μέρος.

Αφιερωμένη στον παππού μου

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σκοπό τον καταμερισμό της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας από λιγνίτη με σύστημα δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα, από ηλιακή ενέργεια φωτοβολταϊκών και αιολική ενέργεια. Κριτήριο της αριστοποίησης αυτής αποτελούν το κόστος και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κάθε πηγής. Ο στόχος αυτού του ενεργειακού σεναρίου είναι η επίτευξη μείωσης των συνολικών εκπομπών της χώρας κατά 25%, σύμφωνα με την απαίτηση του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Η πρόβλεψη των δεδομένων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται μέχρι το 2030, όπου αναμένεται η εφαρμογή της τεχνολογίας δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα (CCS) εμπορικά στην Ελλάδα. Στο πλαίσιο αυτό, δομείται η αντικειμενική συνάρτηση αριστοποίησης κόστους, καθώς και ένας αλγόριθμος στο προγραμματιστικό εργαλείο Matlab για τον υπολογισμό των μεριδίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κάθε πηγής. Στον αλγόριθμο αυτό χρησιμοποιούνται χρονοσειρές πρόβλεψης της ηλεκτρικής παραγωγής και των εθνικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, που υπολογίστηκαν από το στατιστικό εργαλείο Minitab. Ταυτόχρονα μελετάται η πιθανότητα εφαρμογής της τεχνολογίας CCS από οικονομικής, κοινωνικής και πολιτικής πλευράς. Τέλος με βάση τα εξαγόμενα αποτελέσματα κρίνεται η ανάγκη υιοθέτησης της τεχνολογίας CCS από την Ελλάδα και παρουσιάζεται το σενάριο βιώσιμης ανάπτυξης της χώρας.

Λέξεις Κλειδιά: Πρωτόκολλο Κιότο, Συστήματα δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα (CCS), Αποτύπωμα άνθρακα, Ηλιακή Φωτοβολταϊκή Ενέργεια, Αιολική Ενέργεια

Abstract

The aim of this thesis is to study a sustainable scenario on electric power generation for Greece. The electric power generation is distributed among lignite with Carbon Capture and Storage (CCS), photovoltaic and wind energy. The criteria of the optimization are the cost and carbon footprint of each generation source. The goal of the sustainable scenario is, for Greece to meet their Kyoto Protocol agreement, which binds her with 25% reduction of carbon dioxide emissions. The forecast of electric power generation data has been made until 2030. In 2030, CCS technology is expected to be applied commercially in Greece.

Under this framework, the objective function for cost optimization is built, as long as an algorithm, which is run at Matlab's interactive environment for numerical computation, visualization, and programming. The algorithm contains as input data, time series of the electric power generation and the carbon dioxide national emissions, which were extracted from the statistical tool Minitab. Meanwhile, the possibility of applying CCS technology is being studied from an economical, social and political aspect. According to the results, the need for CCS commercial application in Greece is judged and the sustainable scenario is presented.

Keywords: Kyoto Protocol, Carbon Capture Storage (CCS), Carbon Footprint, Photovoltaic, Wind Energy

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	7
Abstract	9
1.Εισαγωγή	13
1.1 Ενέργεια και άνθρωπος	13
1.2 Ανάγκη αποστροφής από τα καύσιμα	14
1.3 Το φαινόμενο του Θερμοκηπίου	16
1.3.1 Τι είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου	16
1.3.2 Ποιος είναι ο μηχανισμός του φαινομένου του θερμοκηπίου	16
1.3.3 Τα αέρια του θερμοκηπίου	18
1.3.4 Μελλοντικές επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου	19
1.4 Πρωτόκολλο του Κιότο	20
1.4.1 Ευέλικτοι Μηχανισμοί του Πρωτόκολλου του Κιότο	22
1.4.2 Συμμετέχουσες χώρες στο Πρωτόκολλο του Κιότο	23
1.4.3 Χώρες που εναντιώνονται στο Πρωτόκολλο του Κιότο	25
2.Τεχνολογία Δέσμευσης και Αποθήκευσης Διοξειδίου του άνθρακα (CCS)	27
2.1 Δέσμευση και Αποθήκευση Διοξειδίου του Άνθρακα	27
2.2 Βασικές Τεχνολογίες Δέσμευσης Διοξειδίου του Άνθρακα σε Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς	27
2.2.1. Διαχωρισμός Διοξειδίου του Άνθρακα από το Καυσαέριο	28
2.2.2. Καύση σε συνθήκες καθαρού οξυγόνου (Oxyfuel)	29
2.2.3. Παραγωγή Καυσίμου χωρίς άνθρακα	30
2.3 Βασικές Τεχνολογίες Μεταφοράς Διοξειδίου του Άνθρακα	32
2.4 Τεχνολογίες Αποθήκευσης Διοξειδίου του Άνθρακα	33
2.4.1. Αποθήκευση σε Ενεργούς Ταμιευτήρες Πετρελαίου	34
2.4.2. Αποθήκευση σε κενούς ταμιευτήρες πετρελαίου/φυσικού αερίου & σε αλατούχους υδροφόρους ορίζοντες μεγάλου βάθους	36
2.4.3. Αποθήκευση σε κοιτάσματα μη εξορυγμένου γαιάνθρακα	36
2.4.4. Αποθήκευση σε ωκεανούς	37
2.4.5. Αποθήκευση μέσω ορυκτοποίησης	38
2.4.6 Επαναχρησιμοποίηση CO ₂	38
2.5 Σύγκριση CCS Με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	40
2.6 Πιλοτικά Προγράμματα και μονάδες επίδειξης σε ολόκληρη την Ευρώπη	41
3. Ελληνικό Ηλεκτρικό Σύστημα	43

3.1 Εισαγωγή στο ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα	43
3.2 Περιγραφή του Υφιστάμενου Συστήματος και της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας	43
3.3 Εγχώριες Πηγές Καυσίμων	44
3.3.1. Λιγνίτης	44
3.3.2. Προϊόντα Πετρελαίου	45
3.3.3. Φυσικό Αέριο	45
3.3.4. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	46
3.4 Διασυνδεδεμένα συστήματα Ελλάδας με άλλες χώρες	48
3.5 Η εφαρμογή του Πρωτόκολλου του Κιότο στην Ελλάδα	49
3.6 Χαρτογράφηση ηλεκτροπαραγωγικών δυνατοτήτων της Ελλάδας	50
3.7 Η τεχνολογία δέσμευσης και αποθήκευσης του διοξειδίου του άνθρακα στην Ελλάδα	51
4. Καταμερισμός Ηλεκτρικής Ενέργειας	53
4.1 Πρόβλεψη παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι το 2030 με το μοντέλο ARIMA	53
4.1.1. Δεδομένα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας από Αιολική Ενέργεια μέχρι το 2030	54
4.1.2. Δεδομένα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας από Λιγνίτη με CCS μέχρι το 2030	55
4.1.2. Δεδομένα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας από Φωτοβολταϊκά μέχρι το 2030	56
4.1.2. Δεδομένα Παραγωγής Συνολικής Εγχώριας Ηλεκτρικής Ενέργειας μέχρι το 2030	57
4.2 Πρόβλεψη εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μέχρι το 2030	58
4.3 Καταμερισμός Παραγόμενης Ενέργειας μέσω Αριστοποίησης Αντικειμενικής Συνάρτησης Κόστους	59
4.3.1. Αλγόριθμος	59
4.3.2. Ενεργειακή Κατανομή μέχρι το 2030	60
4.3.3. Σχολιασμός αποτελεσμάτων	64
Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα	67
Βιβλιογραφία	69
Παράρτημα	71

1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ενέργεια και Άνθρωπος

Κομβικό ρόλο στην εξέλιξη της οικονομίας και της κοινωνίας αποτελεί η ενέργεια. Είναι άλλωστε ενδεικτικό ότι η οικονομική μεγέθυνση μιας κοινωνίας, η πρόοδος της και η άνοδος του μέσου βιοτικού επιπέδου του πληθυσμού της συνδέονται άμεσα με την ενεργειακή χρήση. Ο White L. αναφέρει τρεις παράγοντες που σχετίζονται με την πρόοδο τον πολιτισμού. Αυτοί είναι

- α) ο δείκτης της ενεργειακής έντασης, η κατανάλωση δηλαδή ενέργειας ανά άτομο
- β) η αποτελεσματικότητα των τεχνολογικών μέσων με τα οποία η ενέργεια δεσμεύεται και αξιοποιείται
- γ) το μέγεθος των αγαθών και υπηρεσιών που παράγονται για την εξυπηρέτηση των ανθρώπινων αναγκών.

Η πρόοδος δηλαδή του πολιτισμού συνδέεται άμεσα με την κατά κεφαλή κατανάλωση της ενέργειας και την αποτελεσματικότητα των μηχανικών μέσων αξιοποίησης της. Η εξέλιξη και μόνο των δυο αυτών παραγόντων αποτελεί ενδεικτικό στοιχείο για το βαθμό που μια οικονομία ακολούθησε τους ρυθμούς της βιομηχανικής επανάστασης. Η μετάβαση από τη βιομηχανική επανάσταση στην τεχνολογική επανάσταση αναδεικνύει ακόμα περισσότερο το ρόλο της ηλεκτρικής ενέργειας, καθότι το σύνολο των οικονομικών και κοινωνικών δραστηριοτήτων μας εξαρτάται άμεσα από τη διάθεση ηλεκτρικής ισχύος. Η πορεία δηλαδή της ανθρωπότητας ταυτίζεται με μια αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας και πολύ περισσότερο με μια απότομα αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ηλεκτρική όμως ενέργεια, ως προϊόν μετατροπής από κάποια άλλη μορφή ενέργειας, αναδεικνύει με τη σειρά της την αυξανόμενη σπουδαιότητα της πρωτογενούς μορφής ενέργειας.

1.2 Ανάγκη Αποστροφής από τα Ορυκτά καύσιμα

Μέχρι σήμερα, οι ηλεκτρικές μας ανάγκες καλύπτονταν από την εκμετάλλευση των “πλούσιων” κοιτασμάτων άνθρακα και πετρελαίου κατά πρώτο λόγο και φυσικού αερίου κατά δεύτερο λόγο. Σημαντική επίσης είναι η επικουρική χρήση πυρηνικής και υδραυλικής (ή άλλων ανανεώσιμων πηγών) ενέργειας για το σκοπό αυτά. Όμως καθότι τα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου μειώνονται ταχύτατα και καθότι επιπλέον η ύπαρξη τους περιορίζεται σε πολύ λίγες χώρες, αναδεικνύονται κίνδυνοι διάθεσης ασφάλειας εφοδιασμού και τιμολόγησης πρωτογενούς μορφής ενέργειας. Είναι άλλωστε ενδεικτικό το γεγονός ότι η πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του 70 “φρέναρε” την παγκόσμια οικονομία και διόγκωσε τον παγκόσμιο δανεισμό [ΔΝΤ].

Η εξάρτηση της παγκόσμιας οικονομίας από το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο είναι δεδομένη. Διεθνείς έρευνες εστιάζονται στο να προσδιορίσουν τα παγκόσμια αποθέματα καθώς και την “κορύφωση” της πετρελαϊκής παραγωγής και της παραγωγής φυσικού αερίου. Ως “κορύφωση” παραγωγής ορίζεται η χρονική στιγμή κατά την οποία τα μισά από τα ανακτώσιμα αποθέματα πετρελαίου ή φυσικού αερίου θα έχουν αντληθεί.

Παρότι υπάρχει ασυμφωνία μεταξύ των διαφόρων ερευνών, οι περισσότερες έρευνες προσδιορίζουν ότι η κορύφωση της παραγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου θα πραγματοποιηθεί περίπου το 2010 και 2025 αντίστοιχα [Campell & Laherrere 1998, Ivanhoe 1997, Hatfield, 2001, MacKenzie, 2000, Banks, 1998, Deffeyes, 2001, Shell, 2001, IEA 2000 and Younquist, 1997].

Η παραγωγή πετρελαίου ή φυσικού αερίου αρχίζει από το μηδέν, αυξάνεται αρχικά με αργούς ρυθμούς και στη συνέχεια επιταχύνεται γρήγορα με τον εντοπισμό μεγάλων κοιτασμάτων μέχρι την “κορύφωση” της. Έπειτα η παραγωγή μειώνεται με ταχύτερους ρυθμούς καθώς τα κοιτάσματα εξαντλούνται ενώ όσα εντοπίζονται, είτε είναι μικρά είτε είναι ασύμφορα για εκμετάλλευση. Η εξάντληση των εκμεταλλεύσιμων κοιτασμάτων πετρελαίου ή φυσικού αερίου προσδιορίζεται περίπου στο 2040 και 2060 αντίστοιχα, σύμφωνα με τις παραπάνω έρευνες.

Παρότι τα διαθέσιμα κοιτάσματα και ο χρόνος εξάντλησης τους είναι δύσκολο να προσδιοριστούν με ακρίβεια, ένα σαφές συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί είναι ότι με την πάροδο του χρόνου η παραγωγή πετρελαίου μετατρέπεται από μια ολιγοπώλια σε σχεδόν μονοπωλιακή αγορά των κρατών της Μέσης Ανατολής, ενώ η παραγωγή φυσικού αερίου μετατρέπεται σε ολιγοπώλιο της Ρωσίας των κρατών της πρώην Σοβιετικής Ένωσης και της Μέσης Ανατολής. Η παρουσία των πρωτογενών μορφών ενέργειας σε πολιτικά «ασταθείς» περιοχές δημιουργούν έντονη ανησυχία σε ολόκληρο τον δυτικό κόσμο.

Γεωπολιτικοί συνεπώς λόγοι στρέφουν την ηλεκτροπαραγωγή στο φυσικό αέριο και στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Παράλληλα, στα πλαίσια της προσπάθειας απεξάρτησης από το πετρέλαιο, επενδύονται ερευνητικά κονδύλια σε “καθαρότερες” τεχνολογίες άνθρακα

(clean coal technologies), ο οποίος είναι διαθέσιμος σε μεγαλύτερες ποσότητες και διασπαρμένος πιο ομοιόμορφα στο υπέδαφος του πλανήτη. Η ανεξέλεγκτη χρήση όμως της ενέργειας, αναδεικνύει το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής. Οι “ανθρωπογενείς” αέριες εκπομπές αυξάνονται δραματικά τα τελευταία χρόνια οδηγώντας σε αύξηση της Θερμοκρασίας.

Ειδικότερα για την Ευρώπη, οι επιστήμονες του ευρωπαϊκού προγράμματος ACACIA προβλέπουν ένα ρυθμό αύξησης της μέσης επιφανειακής Θερμοκρασίας ίσο με 0.1-0.4 °C ανά δεκαετία, πιο έντονο από τον παγκόσμιο μέσο όρο [Parrg, M.].

Διεθνείς πρωτοβουλίες για περιορισμό της κλιματικής αλλαγής θέτουν ποσοτικούς περιορισμούς στους εκπεμπόμενους ρύπους στα πλαίσια διεθνών συμφωνιών, όπως το Πρωτόκολλο του Κιότο ή κάποιες Κοινοτικές Οδηγίες.

Σχεδόν το 75% της αύξησης της συγκέντρωσης διοξειδίου τον άνθρακα τα τελευταία 20 χρόνια αποδίδεται στην καύση ορυκτών καυσίμων. Το υπόλοιπο ποσοστό είναι το αποτέλεσμα της αποψίλωσης των δασών και των αλλαγών στις χρήσεις του εδάφους, καθώς οι δύο αυτές εξελίξεις απελευθερώνουν διοξείδιο τον άνθρακα στην ατμόσφαιρα [IPCC, 2001].

Η αύξηση επομένως της ενεργειακής έντασης μετουσιώνεται σε οικονομική μεγέθυνση αλλά και σε αύξηση της εκλυόμενης θερμότητας και σε απώλεια ωφέλιμης ενέργειας, δηλαδή σε αύξηση της συνολικής εντροπίας. Από οικονομική οπτική, θεωρούμε το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ) ως το μέτρο τον πλούτου που παράγει κάθε κράτος ετησίως. Αντίθετα, από την οπτική γωνία της Θερμοδυναμικής, το ΑΕΠ είναι περισσότερο το μέτρο της προσωρινής ενεργειακής αξίας στα αγαθά ή στις υπηρεσίες που παράγονται, με αντίτιμο τη μείωση διαθέσιμων αποθεμάτων ενέργειας και τη συσσώρευση εντροπιακών απορριμμάτων.

Συμπερασματικά, η αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος, γεωπολιτικοί παράγοντες, η κλιματική αλλαγή, η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και οι τεχνολογικές εξελίξεις οδηγούν σε μια σταδιακή μεταβολή της δομής των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Η.Ε.). Η αλλαγή αυτή μετουσιώνεται κατά βάση σε στροφή προς φιλικότερες για το περιβάλλον μορφές ενέργειας (φυσικό αέριο και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας) και σε επενδύσεις σε μικρότερες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής πιο κοντά στην κατανάλωση. Αναδύεται έτσι το ζήτημα της επέκτασης και σχεδιασμού των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας λαμβάνοντας υπόψη περιβαλλοντικούς περιορισμούς και την κατανομημένη παραγωγή.

1.3 Το Φαινόμενο Του Θερμοκηπίου

1.3.1 Τι είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένας φυσικός μηχανισμός, να διατηρεί ο πλανήτης της γης φυσιολογική θερμοκρασία διαβίωσης.

Η ηλιακή ακτινοβολία αντανακλά στην επιφάνεια της γης και παγιδεύεται από το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και τα υπόλοιπα αέρια του θερμοκηπίου (GHGs) στην ατμόσφαιρα. Το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου αυξάνει την παγκόσμια μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια της γης περίπου κατά 15 βαθμούς Κελσίου.

Όμως η καύση ορυκτών καυσίμου και οι αυξανόμενες εκπομπές CO_2 στην ατμόσφαιρα, έχουν επιφέρει την συνέπεια της υπερθέρμανσης του πλανήτη μέσω αυτού του φυσικού μηχανισμού.

Ο πρώτος επιστήμονας που διαπίστωσε τον “εκφυλισμό” του φαινομένου του θερμοκηπίου, ήταν ο Γάλλος μαθηματικός, αστρονόμος και φυσικός Ζοζέφ Φουριέ, το 1824, ενώ ο μηχανισμός του διερευνήθηκε συστηματικά από το Σουηδό χημικό Σβάντε Αρρένιους.

Η ευαισθητοποίηση των ανθρώπων ως προς τις αρνητικές επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου που προκαλούνται από τον ίδιο, δημιούργησε την ανάγκη ίδρυσης οργανώσεων, οι οποίες μελετούν τα αίτια και τις πιθανές μεθόδους αντιμετώπισης της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Η οργάνωση που μελετά την διάσταση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής είναι η IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Η IPCC είναι ένα διακυβερνητικό όργανο υπό την αιγίδα των Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) από το 1988. Επανεξετάζει και αξιολογεί τις πλέον πρόσφατες επιστημονικές, τεχνικές και κοινωνικό-οικονομικές μελέτες που παράγονται σε όλο τον επιστημονικό κόσμο σχετικά με την αλλαγή του κλίματος, έτσι ώστε να παρέχει αυστηρή και αντικειμενική επιστημονική πληροφορία στους φορείς λήψης αποφάσεων.

1.3.2 Ποιος είναι ο μηχανισμός του φαινομένου του θερμοκηπίου

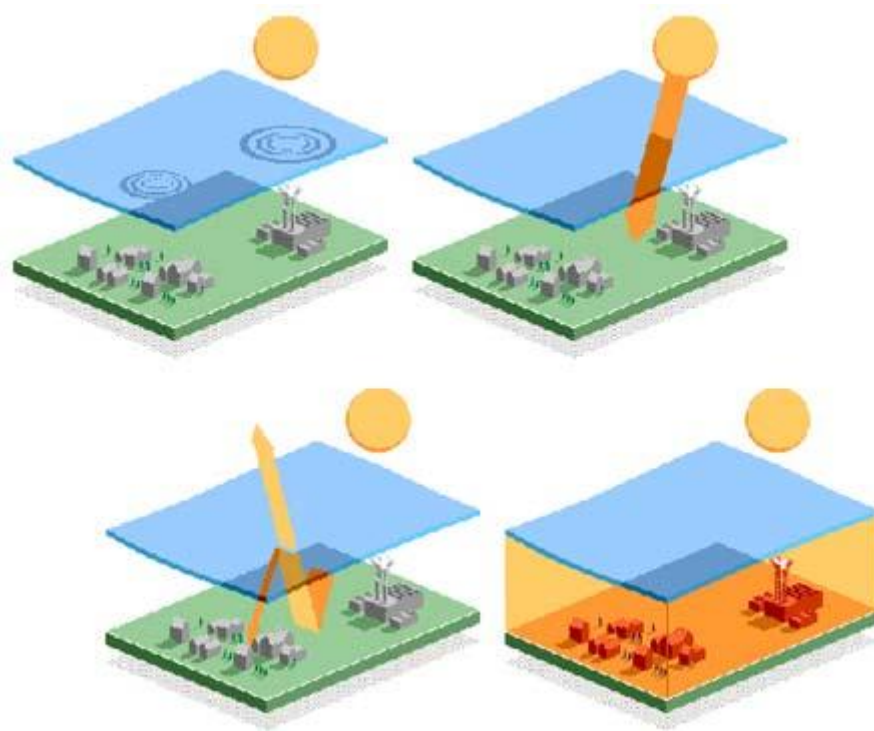
Η Γη δέχεται συνολικά ηλιακή ακτινοβολία, που αντιστοιχεί σε ροή περίπου 1966 W/m^2 , στο όριο της ατμόσφαιρας. Ένα μέρος αυτής απορροφάται από το σύστημα Γης-ατμόσφαιρας, ενώ το υπόλοιπο διαφεύγει στο διάστημα.

Περίπου το 30% της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται, σε ποσοστό 6% από την ατμόσφαιρα, 3% από τα νέφη και 4% από την επιφάνεια της Γης. Το 70% της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται, κατά 32% από την ατμόσφαιρα (συμπεριλαμβανομένου και του στρατοσφαιρικού στρώματος του όζοντος), κατά 3% από τα νέφη και κατά το μεγαλύτερο ποσοστό (51%) από την επιφάνεια και τους ωκεανούς.

Λόγω της θερμοκρασίας της, η Γη εκπέμπει επίσης θερμική ακτινοβολία, η οποία αντιστοιχεί σε μεγάλα μήκη κύματος (υπέρυθρη), σε αντίθεση με την αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία, που είναι μικρού μήκους κύματος. Η ατμόσφαιρα της Γης διαθέτει μεγάλη αδιαφάνεια στην, μεγάλου μήκους κύματος, γήινη ακτινοβολία, έχει δηλαδή την ικανότητα να απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της, ποσοστό περίπου 71%. Η ίδια η ατμόσφαιρα επανεκπέμπει υπέρυθρη ακτινοβολία, μέρος της οποίας απορροφάται από την επιφάνεια της Γης, η οποία θερμαίνεται ακόμη περισσότερο. Η γήινη ατμόσφαιρα συμπεριφέρεται, με τον τρόπο αυτό, ως μία δεύτερη - μαζί με τον Ήλιο - πηγή θερμότητας.

Αποτέλεσμα του συνολικού φαινομένου είναι η αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας, γεγονός που καθιστά τη Γη κατοικήσιμη. Χωρίς το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας θα ήταν σε παγκόσμια και ετήσια βάση περίπου -18°C .

Ο μηχανισμός του φαινομένου ταυτίζεται συχνά με τη λειτουργία ενός πραγματικού θερμοκηπίου, όπως παρίσταται στην εικόνα 1 ωστόσο η ταύτιση αυτή αποτελεί υπεραπλούστευση, καθώς τα θερμοκήπια στηρίζονται στην "απομόνωση" της θερμότητας και την εξάλειψη φαινομένων μεταφοράς της.



Εικόνα 1: Παραστατική Απεικόνιση του Φαινομένου του Θερμοκηπίου

1.3.3 Τα αέρια του θερμοκηπίου

Όλα τα αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αναφέρονται συνολικά με τον όρο αέρια του θερμοκηπίου. Τα σημαντικότερα και πιο επιβλαβή αέρια του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4) και το υποξείδιο του αζώτου (N_2O). Απορροφούν την μεγάλο μήκους κύματος γήινη ακτινοβολία και επανεκπέμπουν θερμική ακτινοβολία θερμαίνοντας την επιφάνεια. Ορισμένα αέρια, όπως το όζον, έχουν ημιδιαφάνεια και στην ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να απορροφούν ένα μέρος της, συμβάλλοντας ως ένα βαθμό και στην ψύξη της γήινης επιφάνειας.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι φυσικό, ωστόσο ενισχύεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, η οποία συμβάλλει στην αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου καθώς και στην έκλυση άλλων ιχνοστοιχείων, όπως οι χλωροφθοράνθρακες (CFC's). Τα τελευταία χρόνια, καταγράφεται μία αύξηση στη συγκέντρωση αρκετών αερίων του θερμοκηπίου, ενώ ειδικότερα στην περίπτωση του διοξειδίου του άνθρακα, η αύξηση αυτή ήταν 31% την περίοδο 1750-1998. Τα τρία τέταρτα της ανθρωπογενούς παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα, οφείλονται σε χρήση ορυκτών καυσίμων, ενώ το υπόλοιπο μέρος προέρχεται από αλλαγές που συντελούνται στο έδαφος, κυρίως μέσω της αποψίλωσης. Εκτός από τον άνθρωπο, παράγεται μεθάνιο και από ζώα (π.χ. αγελάδες) με τις ερυγές τους.

Η σημερινή κατανομή των διαφόρων αερίων του θερμοκηπίου στις συνολικές εκπομπές των βιομηχανικών χωρών διαφέρει ελαφρώς από την ιστορική καταβολή τους. Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, οι εκπομπές CO_2 αντιπροσώπευαν περίπου το 82% των εκπομπών των κυριότερων αερίων του θερμοκηπίου. Οι εκπομπές του CH_4 συνέφεραν κατά 12% ενώ οι εκπομπές N_2O μόλις 7%. Οι εκπομπές αλοανθράκων (HFCs, PFCs, SF6), οι οποίες έχουν υψηλό δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη και οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των οποίων αυξάνονται ιδιαίτερα δυναμικά, αντιπροσώπευαν περίπου το 2% ενώ των αλοανθράκων ήταν ανύπαρκτη στην ατμόσφαιρα πριν από την ανθρώπινη παραγωγή. Οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις του CO_2 , CH_4 και N_2O έχουν αυξηθεί κατά σχεδόν 30%, 150% και 15% αντίστοιχα από τα προ-βιομηχανικά επίπεδα.

Αέριο	Κύριες Πηγές και το Ποσοστό εκπομπών τους, στις βιομηχανοποιημένες χώρες το 1990	Ποσοστό συμμετοχής εκπομπών στις συνολικές εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίου
CO ₂	Καύση ορυκτών καυσίμων: >95% Διεργασίες βιομηχανιών:2-3%	82%
CH ₄	Παραγωγή, διανομή και καύση ορυκτών καυσίμων: 1/3 Γεωργία:1/3 Απόβλητα:1/3	12%
N ₂ O	Γεωργία: 40% Καύση ορυκτών καυσίμων:20-25% Διεργασίες βιομηχανιών: 1/3	4%
HFCs,PFCs,SF ₆	Διεργασίες βιομηχανιών, βιομηχανία, καταναλωτές (ποσοστά μη διαθέσιμα)	2%

Πίνακας 1 : Ποσοστιαία Συμμετοχή Αερίων του Θερμοκηπίου στις Βιομηχανοποιημένες Χώρες το 1990 [IPCC 1996a, FCCC/SBI/1997/19]

Από τις αναλύσεις της IPCC για μελλοντικά σενάρια εκπομπών, έχει καταστεί προφανές ότι θα χρειαστούν σημαντικές μειώσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για να σταθεροποιηθούν οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου σε ασφαλή επίπεδα. Σταθεροποίηση στα τρέχοντα επίπεδα θα απαιτήσει μειώσεις σε παγκόσμιο επίπεδο των εκπομπών του CO₂, CH₄, και N₂O 50-70%, 8% και 50% αντίστοιχα, με ακόμη μεγαλύτερες περικοπές στις βιομηχανικές χώρες.

1.3.4 Μελλοντικές επιπτώσεις φαινομένου του θερμοκηπίου

Από τον 19^ο αιώνα η παγκόσμια μέση θερμοκρασία της επιφάνειας της γης έχει αυξηθεί από 0.3-0.6° C. Παρόλο που η μεταβολή αυτή είναι παγκόσμια, οι επιπτώσεις ανά περιοχή αναμένεται να ποικίλλουν έντονα. Η αύξηση της θερμοκρασίας θα είναι πιο έντονη στις περιοχές μεγάλου γεωγραφικού πλάτους συγκριτικά με αυτές του ισημερινού. Η συχνότητα ισχυρών καταιγίδων και άλλων ακραίων καιρικών φαινομένων όπως ξηρασίες και πλημμύρες αναμένεται να αυξηθούν. Το φαινόμενο El-Nino, δηλαδή η μεταβολή στην ταλάντωση του Νότιου Ωκεανού, η οποία συνήθως συμβαίνει κάθε 9 χρόνια και επιφέρει σοβαρές μεταβολές στο καιρικό πρότυπο παγκοσμίως, ενδέχεται να είναι σοβαρότερο και συχνότερο εξαιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας.

Η αναμενόμενη αύξηση της στάθμης της θάλασσας από 15 σε 95 cm μέχρι το 2100 θέτει σε κίνδυνο για πλημμύρα παράκτιων περιοχών και νησιών που βρίσκονται κοντά στο επίπεδο της θάλασσας. Η αλλαγή κλιματικών ζωνών μπορεί να αποβεί μοιραία για τα δάση και να επιφέρει έξαρση ασθενειών, μέχρι πρότινος άγνωστες στις συγκεκριμένες περιοχές, όπως μαλάρια. Οι δραστικές κλιματικές αλλαγές, δύναται να θέσουν σε κίνδυνο ευαίσθητα οικοσυστήματα δασών και υγροτόπων. Η ερημοποίηση αναμένεται να αυξηθεί, ενώ οι περιοχές των πάγων να συρρικνωθούν. Τα φαινόμενα αυτά ενδεχομένως να ενισχύσουν την έλλειψη νερού σε κάποιες περιοχές.

Η αγροτική παραγωγή καθώς και η αλιεία μπορεί να πληγούν, αυξάνοντας τον κίνδυνο της πείνας και του λιμού σε πολλές περιοχές. Επίσης περιοχές με κίνδυνο πλημμύρων μπορεί να αντιμετωπίσουν εκτεταμένες καταστροφές στις υποδομές τους.

Η υπερθέρμανση του πλανήτη θα μπορούσε επίσης να οδηγήσει στην ψύξη ορισμένων περιοχών. Για παράδειγμα, το Ρεύμα του Κόλπου ζεσταίνει αυτή τη στιγμή τα νερά του Βόρειου Ατλαντικού Ωκεανού και κάνει ήπιο το δυτικό-ευρωπαϊκό κλίμα. Σε άλλη περίπτωση θα επαναληφθεί ότι συνέβαινε σε παλαιότερες εποχές, όπου παγόβουνα εμφανίζονταν τακτικά στη Βόρεια Θάλασσα. Ως περαιτέρω κίνδυνο, το στρώμα πάγου της Δυτικής Ανταρκτικής μπορεί να βυθιστεί προκαλώντας μια ξαφνική άνοδο στη στάθμη της θάλασσας.

Με βάση την επιστημονική πρόοδο και την αρχή της καθιερωμένης προφύλαξης, προέκυψε με διεθνή συναίνεση η ανάγκη για δράση. Η αναβολή της δράσης σε κάποια μελλοντική ημερομηνία, όταν κάποια τεχνολογία θα επιτρέψει στον κόσμο να μειώσουν γρήγορα τις εκπομπές, κινδυνεύει το πολύτιμο χρόνο που απαιτείται για να ανακατευθύνει τα πρότυπα της κοινωνικής ανάπτυξης και τη δέσμευση της Γης σε μια μη αναστρέψιμη κλιματική αλλαγή.

Στην δεύτερη έκθεσή της για την αξιολόγηση η IPCC εκ τούτου, συνιστά μια σειρά επιλογών πολιτικής για τον μετριασμό (καθώς και την προσαρμογή και την βελτίωση των γνώσεων), προκειμένου να αντιμετωπιστεί με σύνεση η κλιματική αλλαγή. Η IPCC δομεί μια έκθεση πιθανών δράσεων, που κυμαίνονται από τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης μέχρι την έρευνα νέων εναλλακτικών. Αποδεδειγμένα υπάρχουν διαθέσιμες εφικτές λύσεις για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής. Εναπόκειται πλέον στην πολιτική, η έναρξη της εφαρμογής τους.

1.4 Πρωτόκολλο του Κιότο

Το Πρωτόκολλο του Κιότο προέκυψε από τη Σύμβαση Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Αλλαγές [United Nations Framework on Climate Change Convention — UNFCCC], που είχε υπογραφεί στη Διάσκεψη του Ρίο, τον Ιούνιο του 1992, από το σύνολο σχεδόν των κρατών.

Στόχος της Σύμβασης είναι η σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, σε επίπεδα τέτοια ώστε να προληφθούν επικίνδυνες επιπτώσεις στο κλίμα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Τα συμβαλλόμενα μέρη στην Σύμβαση αποφάσισαν στην τέταρτη Συνεδρίαση των Μερών (Conference of Parties — COP), που πραγματοποιήθηκε στο Βερολίνο τον Μάρτιο του 1995, να διαπραγματευθούν ένα Πρωτόκολλο που να περιλαμβάνει μέτρα μείωσης των εκπομπών για την μετά το 2000 περίοδο, σε ότι αφορά τις εκβιομηχανισμένες χώρες. Κατόπιν μακροχρόνιων εργασιών, καθορίστηκε στις 10 Δεκεμβρίου 1997 στα πλαίσια της Σύμβασης αυτής, ένα σημαντικό νομικό εργαλείο για τον έλεγχο των εκπομπών, γνωστό και ως Πρωτόκολλο του Κιότο (ΠτΚ).

Η Ευρωπαϊκή Κοινότητα υπέγραψε το Πρωτόκολλο στις 29 Απριλίου 1998. Τον Δεκέμβριο του 2001, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο επιβεβαίωσε τη βούληση της Ένωσης για τη Θέση σε ισχύ του Πρωτοκόλλου του Κιότο πριν από την Παγκόσμια Διάσκεψη Κορυφής για την αειφόρο ανάπτυξη, (26 Αυγούστου - 4 Σεπτεμβρίου 2002). Γεγονός, το οποίο υλοποιήθηκε με την απόφαση 2002/1358/ΕΚ του Συμβουλίου της 25ης Απριλίου 2002 για την έγκριση, εξ ονόματος της Ευρωπαϊκής Κοινότητας, τον Πρωτοκόλλου του Κιότο στη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις κλιματικές μεταβολές, και την από κοινού τήρηση των σχετικών δεσμεύσεων (Επίσημη Εφημερίδα 1 130, 15.05.2002).

Τα έξι αέρια τον Θερμοκηπίου που αναφέρονται στο Πρωτόκολλο τον Κιότο είναι:

- το διοξείδιο τον άνθρακα (CO₂)
- τα μεθάνιο (CH₄)
- το πρωτοξείδιο τον αζώτου (N₂O)
- οι υδροφθοράνθρακες (HFCs)
- οι υπερφθοριωμένοι υδρογονάνθρακες (PFCs)
- το εξαφθοριούχο Θείο (SF₆).

Το Πρωτόκολλο του Κιότο όμως μέχρι τις αρχές του 2005 αποτελούσε ένα κείμενο χωρίς δεσμευτική μορφή. Ιδιαίτερα μάλιστα μετά τη δήλωση των ΗΠΑ ότι δεν προτίθεται να επικυρώσει το Πρωτόκολλο, διαφαινόταν ότι παρέκκλινε των αρχικών του στόχων, να υποχρεώσει δηλαδή όλες τις αναπτυγμένες χώρες να περιορίσουν τις εκπομπές τους.

Κατά τη συνεδρίαση τον Ευρωπαϊκού Συμβουλίου στη Στοκχόλμη (Ε.Σ. στη Στοκχόλμη, Μάρτιος 2001), η Ένωση εξέφρασε και τόνισε τις ανησυχίες της όσον αφορά την αμφισβήτηση του Πρωτοκόλλου από ορισμένες χώρες, ιδίως τις Ηνωμένες Πολιτείες. Κατά τη διάσκεψη στη Βόννη της επαναληπτικής 6ης Διάσκεψης των Μερών (19-23 Ιουλίου 2001), τα μέρη της Σύμβασης-Πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για τις κλιματικές μεταβολές κατέληξαν σε συμφωνία σχετικά με τούς όρους εφαρμογής του Πρωτοκόλλου του Κιότο.

Τελικά, κατά τη διάσκεψη τον Μαρακές (29 Οκτωβρίου έως 9 Νοεμβρίου 2001), τα μέρη κατέληξαν σε συμφωνία, με την οποία οι όροι εφαρμογής του Πρωτοκόλλου του Κιότο

καθίστανται νομικώς δεσμευτικά κείμενα. Επίσης, στην ίδια διάσκεψη έγινε ποσοτικοποίηση της συνεισφοράς των ταμειυτήρων απορρόφησης άνθρακα (sinks), η οποία προσδοκούσε στην ικανοποίηση των απαιτήσεων των ΗΠΑ και της Ρωσίας. Ως ταμειυτήρες απορρόφησης άνθρακα, προσδιορίζονται εκείνες οι δράσεις στη χρήση γης και στη δασοκομία που δεσμεύουν εκπομπές αερίων τον θερμοκηπίου. Για τη θέση του ΠτΚ σε ισχύ, υπέμενε όμως η επικύρωση από τις ΗΠΑ ή τη Ρωσία.

1.4.1 Ευέλικτοι μηχανισμοί του Πρωτοκόλλου του Κιότο

Μία χώρα μπορεί να πετύχει τους στόχους που της ορίζει το Πρωτόκολλο είτε

α) μειώνοντας τις εκπομπές της (domestic actions) — διαδεδομένη είναι επίσης η ταφή διοξειδίου του άνθρακα κάτι που επιπλέον διευκολύνει την ανάκτηση πετρελαίου από τα κοιτάσματα,

β) αντισταθμίζοντας τη μείωση αερίων εκπομπών μέσω της δέσμευσης τους από ταμειυτήρες απορρόφησης άνθρακα (sinks),

γ) χρησιμοποιώντας παράλληλα και κάποιους από τους λεγόμενους "ευέλικτους μηχανισμούς" που διαθέτει το Πρωτόκολλο [UNFCCC, Michaelowa, 2003].

Συνοπτικά, οι μηχανισμοί αυτοί είναι οι εξής τρεις:

A. Εμπόριο δικαιωμάτων εκπομπών (Emission Trading)

Μία βιομηχανικά αναπτυγμένη χώρα (ή μια εταιρία της) που έχει μειώσει τις εκπομπές της πέραν των αρχικών στόχων που προβλέπει το Πρωτόκολλο, μπορεί να "πουλήσει" αυτή την επιπλέον μείωση σε άλλη χώρα (ή εταιρία) που αντιμετωπίζει δυσκολίες στο να πετύχει το στόχο της [UNFCCC]. Υπάρχουν δύο τύποι καταγεγραμμένων συστημάτων εμπορίας εκπομπών, ο τύπος «ανώτατο όριο και εμπορία» και ο τύπος «κατώτατο όριο και πίστωση» με το πρώτο να είναι ο πλέον διαδεδομένος. Σύμφωνα με αυτόν η κυβέρνηση μιας χώρας, μια πολυεθνική οντότητα ή μια εταιρία θέτει ανώτατο όριο στις συνολικές εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου. Κάθε πηγή πρέπει να καταβάλλει, κατά τη διάρκεια δεδομένης περιόδου συμμόρφωσης, το ποσό το οποίο δεσμεύτηκε και έλαβε άδεια. Το ποσό των αδειών αυτών που λαμβάνει μια πηγή προσδιορίζεται από α) ιστορικά στοιχεία, β) αναμενόμενες εκπομπές με βάση το εθνικό σενάριο αναμενόμενης εξέλιξης και γ) αναμενόμενες εκπομπές για προσέγγιση τύπου «ελάχιστο κόστος». Οι άδειες αυτές μπορούν να πωληθούν σε χρηματιστήριο δικαιωμάτων εκπομπών.

Ο δεύτερος τύπος εμπορίας εκπομπών προϋποθέτει ότι η κυβέρνηση μιας χώρας, μια πολυεθνική οντότητα ή μια εταιρία θέτει κατώτατο όριο- κατώτατη γραμμή στις συνολικές εκπομπές των αερίων τον θερμοκηπίου. Η βασική αυτή γραμμή μπορεί να είναι η εκπεμπόμενη ποσότητα CO₂ κατά κεφαλή ή ανά ΑΕΠ. Όμως ο προσδιορισμός της βασικής γραμμής είναι πολυσύνθετη υπόθεση καθώς διαφοροποιείται ανά τομέα, και για το λόγο αυτό ο τύπος αυτός δεν βρίσκει ανταπόκριση.

B. Δημιουργία "Μηχανισμού Καθαρής Ανάπτυξης" (ΜΚΑ) (Clean Development Mechanisms—CDM)

Ο Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης παρέχει κίνητρα έτσι ώστε οι βιομηχανικά αναπτυγμένες χώρες να χρηματοδοτήσουν προγράμματα για τη μείωση των εκπομπών αερίων τον θερμοκηπίου στις αναπτυσσόμενες χώρες. Έτσι, μια βιομηχανικά αναπτυγμένη χώρα, αντί να μειώσει τις δικές της εκπομπές, μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των εκπομπών σε κάποια αναπτυσσόμενη χώρα όπου η μείωση αυτή είναι ευκολότερη και φθηνότερη. Ο τελικός στόχος αυτού του μηχανισμού είναι οι αναπτυσσόμενες χώρες να αναπτύξουν καθαρές τεχνολογίες για να μειώσουν τις εκπομπές αερίων τον θερμοκηπίου.

Στην πράξη έχουν λειτουργήσει τρία μοντέλα ΜΚΑ, τα διμερή, πολύπλευρα και μονομερή. Τα δύο πρώτα αφορούν επενδύσεις ενός ή περισσότερων κρατών (ή εταιριών τους) σε μια αναπτυσσόμενη χώρα αντίστοιχα. Το τρίτο μοντέλο προϋποθέτει ότι η αναπτυσσόμενη χώρα είναι επενδυτής προγραμμάτων ΜΚΑ, τα οποία πιστοποιούνται από τρίτο ανεξάρτητο φορέα και οι Πιστωτικές Μονάδες Μείωσης Εκπομπών (ΠΜΜΕ) πωλούνται έπειτα σε ανεπτυγμένα κράτη.

Γ. Κοινή Υλοποίηση του Πρωτοκόλλου (ΚΥΠ) (Joint Implementation)

Παρεμφερές εργαλείο με τον Μηχανισμό Καθαρής Ανάπτυξης. Σε αντίθεση όμως μ' αυτόν, αφορά όχι τις αναπτυσσόμενες χώρες αλλά μόνο εκείνες που έχουν δεσμευτεί σε μειώσεις μέσω τον Πρωτοκόλλου τον Κιότο (όπως π.χ. οι χώρες της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης). Στο άρθρο 6 τον ΠτΚ αναφέρεται ότι «οποιοδήποτε συμβαλλόμενο μέρος που περιλαμβάνεται στο Παράρτημα 1, δύναται να μεταφέρει σε ή να αποκτήσει από οποιοδήποτε άλλο συμβαλλόμενο μέρος, (ΠΜΜΕ). Οι ΠΜΜΕ θα ισχύουν από το έτος 2008 και αργότερα, ενώ τα προγράμματα ΚΥΠ δύναται να ξεκινήσουν από το έτος 2000» [UNFCCC].

Η 7η COP προσδιόρισε μια Εποπτική Επιτροπή η οποία επιβλέπει τις διαδικασίες πιστοποίησης προγραμμάτων ΚΥΠ από τις Εθνικές Ανεξάρτητες Οντότητες, οι οποίες ελέγχουν και πιστοποιούν τις ΠΜΜΕ από δράσεις ΚΥΠ στα γεωγραφικά όρια τους. Οι ΠΜΜΕ που πιστώνονται από τις Ανεξάρτητες Οντότητες και επικυρώνονται από την Εποπτική Επιτροπή, προστίθενται ή αφαιρούνται από το καθορισμένο ποσό εκπομπών μιας χώρας.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση θέσπισε με την Οδηγία 2004/280/ΕΚ ένα νέο μηχανισμό παρακολούθησης και κοινοποίησης των εκπομπών αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο θερμοκηπίου, ούτως ώστε να καταστεί δυνατή η ακριβέστερη και τακτική αξιολόγηση της προόδου όσον αφορά τη μείωση των εκπομπών.

1.4.2 Συμμετέχουσες χώρες στο Πρωτόκολλο του Κιότο

Οι κυβερνήσεις ήταν αποφασιστικός παράγοντας στην διαδικασία του Κιότο, δεδομένου ότι μόνο αυτοί ήταν αρμόδιοι για την έγκριση του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Η διαπραγματευτική συμπεριφορά και η θέση τους δεν επηρεάστηκε μόνο από επιστημονικής άποψης, αλλά και από τα εννοούμενα και τα πραγματικά τους συμφέροντα.

Για παράδειγμα, η εξάρτηση από την παραγωγή και τη χρήση των ορυκτών καυσίμων ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό, με βάση τους διαφορετικούς ρυπογόνους παράγοντες. Επίσης,

η ευπάθεια των χωρών στις επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος ποικίλλει, όπως και το ενδιαφέρον τους για μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και την προσαρμογή. Η διαθεσιμότητα οικονομικά προσιτών λύσεων για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την προσαρμογή στην αλλαγή του κλίματος είναι ένα άλλο κρίσιμο σημείο. Τέλος, οι στόχοι των συμμετεχόντων επηρεάζεται επίσης από παράγοντες που σχετίζονται μόνο έμμεσα με την αλλαγή του κλίματος, π.χ. πολιτιστικούς προσδιορισμούς και θεσμικές δομές. Αυτός είναι ο κύριος άξονας συμφερόντων μιας χώρας.

Χώρες που έχουν πληγεί σε μεγάλο βαθμό από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής ή τις συμφέρει με ποικίλους τρόπους θα κλίνουν περισσότερο προς την υποστήριξη της δράσης αυτής, ενώ άλλοι μπορεί να διατηρήσουν μια χλιαρή στάση. Περισσότερες από 170 χώρες και αρκετές εκατοντάδες μη κυβερνητικές και διακυβερνητικές οργανώσεις έχουν συμμετάσχει ενεργά στις διεθνείς διαπραγματεύσεις για το Πρωτόκολλο του Κιότο. Φυσικά, δεν είχαν όλες οι συμμετέχουσες χώρες τις ίδιες επιπτώσεις στη διαδικασία του Κιότο. Με βάση το αντίστοιχο ενδιαφέρον, μια σειρά από ομάδες χωρών προέκυψαν κατά τη διαδικασία και μπορούν να διακριθούν:

- Ευρωπαϊκής Ένωσης και των κρατών μελών της,
- Οι ΗΠΑ
- Η Ιαπωνία
- Άλλες χώρες μη μέλη της ΕΕ – ΟΟΣΑ (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης)
- Ρωσία και άλλες χώρες μεταβατικές στην οικονομία της αγοράς (CEITs)
- Εξαγωγείς πετρελαίου στις αναπτυσσόμενες χώρες του Οργανισμού Πετρελαιοπαραγωγών Χωρών (ΟΠΕΚ),
- Αναπτυσσόμενες χώρες που δεσμεύονται από κοινού στη Συμμαχία των Μικρών Νησιωτικών Κρατών (AOSIS)
- Η πλειονότητα των αναπτυσσόμενων χωρών (συμπεριλαμβανομένης της Κίνας και της Ινδίας).

Επιπλέον, μια σειρά από μη κυβερνητικές και διεθνείς οργανώσεις έχουν επενδύσει σημαντικούς πόρους για να επιταχύνουν την διαδικασία και αξίζουν περαιτέρω μελέτη.

Μεταξύ των βιομηχανικών χωρών, η Ευρωπαϊκή Ένωση κατείχε μερίδιο 24,3% των εκπομπών CO₂ το 1990. Σε αριθμητικούς όρους, το ποσό αυτό ανερχόταν σε 3.300 εκατ. τόνους CO₂. Ήταν ίσο με περίπου 15-16% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂. Οι συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που δεν ελέγχονται βάσει του πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ ανήλθαν σε περίπου 4.100 εκατ. τόνους ισοδυνάμου CO₂. Η κατά κεφαλήν εκπομπές εντός της ΕΕ ήταν 8,7 t που ήταν διπλάσιο από το παγκόσμιο μέσο όρο, αλλά χαμηλότερο από το μέσο όρο του ΟΟΣΑ, ο οποίος ήταν 13,1 t. Παρόλο που τα κράτη μέλη της ΕΕ ανήκουν στις χώρες υψηλών εκπομπών, οι επιδόσεις τους ήταν καλύτερες από τις άλλες χώρες του ΟΟΣΑ, όπως οι ΗΠΑ, ο Καναδάς και η Αυστραλία.

Ευρωπαϊκή Ένωση (των 15), Βουλγαρία, Εσθονία, Λετονία, Λιθουανία, Ρουμανία, Σλοβακία, Σλοβενία, Τσεχία	-8%
Η.Π.Α.	-7%
Καναδάς, Ιαπωνία, Ουγγαρία, Πολωνία	-6%
Κροατία	-5%
Νέα Ζηλανδία, Ουκρανία, Ρωσία	0%
Νορβηγία	+1%
Αυστραλία	+8%
Ισλανδία	+10%

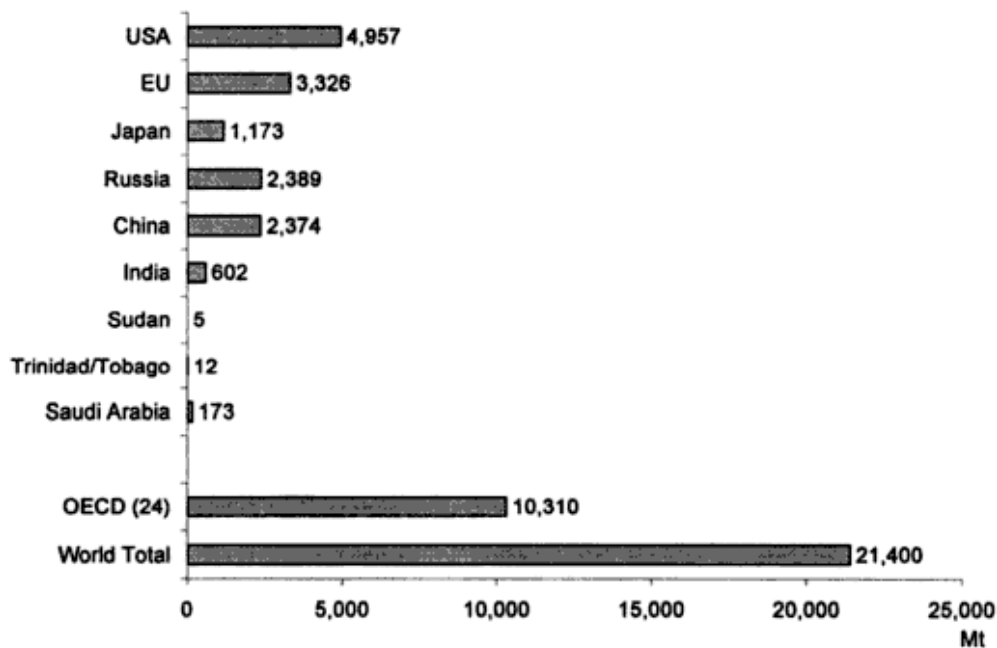
Λουξεμβούργο	-28%
Γερμανία, Δανία	-21,5%
Αυστρία	-13%
Βρετανία	-12,5%
Εσθονία, Λετονία, Λιθουανία, Σλοβακία, Σλοβενία, Τσεχία	-8%
Βέλγιο	-7%
Ιταλία	-6,5%
Ουγγαρία, Πολωνία, Ολλανδία	-6%
Γαλλία, Φιλανδία	0%
Σουηδία	+5%
Ιρλανδία	+14%
Ισπανία	+15%
Ελλάδα	+25%
Πορτογαλία	+27%

Πίνακας 2: Ποσοστά μείωσης αερίων εκπομπών για την περίοδο 2008-2012 σε σχέση με το 1990 ανά χώρα και εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο

1.4.3 Χώρες που εναντιώνονται στο Πρωτόκολλο του Κιότο

Ο κύριος αντίπαλος της ΕΕ στη διαδικασία του Κιότο ήταν μια άτυπη συμμαχία, γνωστή ως JUSSCANNZ. Η JUSSCANNZ είναι ένα αρκτικόλεξο που υποδηλώνει την Ιαπωνία, τις Ηνωμένες Πολιτείες, την Ελβετία, τον Καναδά, την Αυστραλία, τη Νορβηγία και τη Νέα Ζηλανδία. Επιπλέον, η Ισλανδία και η Νότια Κορέα συμμετείχαν μερικές φορές στις συνεδριάσεις της JUSSCANNZ. Παρά το γεγονός ότι τα μέλη της JUSSCANNZ είχαν διαφορετικές θέσεις σε μεμονωμένα ζητήματα, διατηρούσαν από κοινού μια γενική αντίθεση στις αυστηρές δεσμεύσεις για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Οι Ηνωμένες Πολιτείες ως το πιο ισχυρό μέλος της JUSSCANNZ είναι η μεγαλύτερη πηγή εκπομπής CO₂ και αερίων του θερμοκηπίου, τόσο σε απόλυτους όσο και σε σχετικούς όρους. Το 1990, οι κατά κεφαλήν εκπομπές CO₂ ανήλθαν σε περίπου 20 τόνους, σχεδόν πέντε φορές τον παγκόσμιο μέσο όρο. Οι εκπομπές CO₂, περίπου 5.000 Mt αντιπροσώπευαν πάνω από το 35% των εκπομπών των συνολικών βιομηχανικών χωρών. Συμπεριλαμβανομένων των άλλων αερίων του θερμοκηπίου αυξάνει ο αριθμός αυτός σε 5.800 Mt. Μεταξύ των ετών 1990 και 1995, οι εκπομπές CO₂ στις ΗΠΑ αυξήθηκαν κατά 5%, ενώ οι εκπομπές όλων των αερίων του θερμοκηπίου αυξήθηκαν κατά 6%. Οι συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου αναμένεται να αυξηθούν κατά 26% έως το 2020, σε σύγκριση με το 1990 (2010: 23%).)



Εικόνα 2: Συνολικές εκπομπές CO₂ για τις συμμετέχουσες χώρες το 1990 [UNFCCC Secretariat and IEA 1997]

Η στάση των ΗΠΑ για την κλιματική αλλαγή έχει καθοριστεί σε μεγάλο βαθμό από τη θέση της ως ο μεγαλύτερος παραγωγός στον κόσμο του άνθρακα, του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, αν και είναι καθαρός εισαγωγέας ενεργειακών προϊόντων. Όσον αφορά την ευπάθεια στις επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος, οι ΗΠΑ έχει μια μακρά ακτογραμμή (άνοδος της στάθμης της θάλασσας) και τα μέρη της χώρας είναι επιρρεπή σε ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως οι τροπικοί κυκλώνες και η ξηρασία, των οποίων τα περιστατικά είναι πιθανόν να αυξηθούν με την υπερθέρμανση του πλανήτη. Άλλες επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος, είναι η εμφάνιση ορισμένων λοιμωδών ασθενειών όπως η ελονοσία, όπου θα γίνουν αισθητές και στη Βόρεια Αμερική.

2

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ CO₂ (CCS)

2.1 Δέσμευση και Αποθήκευση Διοξειδίου του Άνθρακα (CCS)

Η δέσμευση και αποθήκευση του CO₂ (CCS - Carbon Capture and Storage) περιλαμβάνει τις ακόλουθες διαδικασίες:

1. Διαχωρισμό του CO₂ από βιομηχανικές και ενεργειακές πηγές
2. Μεταφορά σε θέση αποθήκευσης τον CO₂
3. Συμπύεση στην αποθήκη (ταμιευτήρα) του CO₂ και συνεχή παρακολούθηση (monitoring) του αποθηκευμένου CO₂

2.2 Βασικές Τεχνολογίες Δέσμευσης Διοξειδίου του Άνθρακα

Οι τεχνολογίες δέσμευσης του CO₂ στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (ΑΗΣ) αναμένεται να συνεισφέρουν σημαντικά στη μείωση των φαινομένου των θερμοκηπίου σε παγκόσμια κλίμακα, λαμβάνοντας υπόψη ότι το παραγόμενο CO₂ από ΑΗΣ αποτελεί περίπου το 1/3 των συνολικών εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα. Οι λόγοι που αναφέρθηκαν παραπάνω δικαιολογούν την έντονη ερευνητική δραστηριότητα προς την κατεύθυνση απομόνωσης και δέσμευσης τον CO₂ σε ΑΗΣ, εφόσον έχει κριθεί αναγκαία η εφαρμογή τεχνολογιών δέσμευσης CO₂ στο πλαίσιο που προαναφέρθηκε. Οι κυριότερες εμπορικές ή υπό ανάπτυξη τεχνολογίες δέσμευσης CO₂ σε ΑΗΣ μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες:

1. Διαχωρισμός CO₂ από το καυσαέριο
2. Καύση σε συνθήκες καθαρού οξυγόνου
3. Παραγωγή καυσίμου που δεν περιέχει άνθρακα

2.2.1 Διαχωρισμός CO₂ από το καυσαέριο

Οι ακόλουθες βασικές διεργασίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απομάκρυνση του CO₂ από το καυσαέριο σε μεγάλη κλίμακα:

1. Απορρόφηση: Διαχωρισμός του CO₂ με υγρό διάλυμα σε στήλη απορρόφησης
2. Προσρόφηση: Διαχωρισμός του CO₂ με προσρόφηση αυτού σε κάποιο στερεό
3. Μembrάνες: Διαχωρισμός του CO₂ βάση της αρχής της διαφορετικής διαπερατότητας των αερίων διάμεσου μεμβρανών
4. Κρυογενικές Τεχνολογίες: Ψύξη ή Συμπύκνωση του CO₂

Από τις τεχνολογίες που αναφέρθηκαν παραπάνω, η απορρόφηση είναι μια ώριμη εμπορικά διαθέσιμη τεχνολογία, ενώ οι υπόλοιπες διεργασίες δεν είναι ανεπτυγμένες αρκετά ώστε να αποτελέσουν ελκυστικές εναλλακτικές λύσεις. Ανάλογα με το αν λαμβάνει χώρα χημική αντίδραση κατά την απορρόφηση, οι μέθοδοι αυτές κατηγοριοποιούνται σε τεχνολογίες χημικής και φυσικής απορρόφησης. Η χημική απορρόφηση είναι κατάλληλη για υψηλές παροχές καυσαερίων (πάνω από 150 m³/s) και χαμηλή μερική πίεση CO₂ (<7 bar), ενώ η φυσική απορρόφηση είναι κατάλληλη για υψηλή μερική πίεση CO₂ στο καυσαέριο (>7 bar). Στην περίπτωση εφαρμογής σε υπάρχοντα Θερμοηλεκτρικό σταθμά με καύσιμο λιγνίτη, η χημική απορρόφηση είναι η προτιμώμενη λύση.

Οι πιο γνωστοί χημικοί διαλύτες που χρησιμοποιούνται είναι οι αλκανοαμίνες, όπως Μονοεθανολαμίνη (MEA), Δι-γλυκολαμίνη (DGA), Δι-εθανολαμίνη (DEA), Δι-ισοπροπυλαμίνη (DIPA), Τρι-εθανολαμίνη (TEA), Μεθυλ-δι-εθανολαμίνη (MDEA). Άλλος χημικός διαλύτης είναι η αμμωνία. Είναι γενικώς αποδεκτό ότι η πιο επιτυχημένη τεχνική δέσμευσης CO₂ από τα καυσαέρια σε Θερμοηλεκτρικούς σταθμούς είναι η μέθοδος έκπλυσης με χημική απορρόφηση με μονοεθανολαμίνη.

Η μέθοδος αυτή είναι δυνατό να δεσμεύσει ακόμα και το 98% του CO₂ από το καυσαέριο και να δώσει καθαρότητα τελικού προϊόντος πάνω από 99%. Τα περισσότερα συστήματα χρησιμοποιούν διάλυμα MEA σε νερό με περιεκτικότητα μόλις 15-25% κ.β. για λόγους αποφυγής δημιουργίας συνθηκών διάβρωσης. Κατά τη λειτουργία τον συστήματος απορρόφησης CO₂, το καυσαέριο που εισέρχεται στη στήλη απορρόφησης πρέπει να μην περιέχει CO₂, O₂, υδρογονάνθρακες ή σωματίδια. Το CO₂ απορροφάται από το υγρό διάλυμα μέσα στη στήλη απορρόφησης που λειτουργεί σε θερμοκρασία 40-60°C. Το καυσαέριο και το υγρό διάλυμα έρχονται σε επαφή κατ' αντιστροφή. Το καυσαέριο, πριν την είσοδό του στη στήλη, συμπιέζεται στα 1,3 bar και εισέρχεται από το κάτω μέρος. Το διάλυμα εισέρχεται στο άνω μέρος της στήλης απορρόφησης και κατευθύνεται προς τα κάτω. Το στάδιο της αναγέννησης των πλούσιου σε CO₂ διαλύματος πραγματοποιείται

στους 120-150 °C και υπό χαμηλή πίεση και στόχο έχει την απομάκρυνση του CO₂ από το διάλυμα απορρόφησης. Το διάλυμα, που δεν περιέχει πλέον CO₂ και που έχει θερμανθεί, επιστρέφει στη στήλη απορρόφησης αφού αποδώσει τη θερμότητά του στο πλούσιο σε CO₂ ρεύμα του διαλύματος. Ο περιορισμός της θερμοκρασίας της διαδικασίας αναγέννησης οφείλεται στο γεγονός ότι σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 125°C δημιουργούνται συνθήκες αποσύνθεσης του διαλύματος αλκανοαμίνης.

Η απαιτούμενη θερμότητα για την αναγέννηση του διαλύματος είναι περίπου 4 MJ/kg δεσμευμένου CO₂ και στην περίπτωση ΑΗΣ προέρχεται από απομάστευση ατμού χαμηλής πίεσης. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η αναγέννηση του διαλύματος απορρόφησης πραγματοποιείται περίπου στους 150°C, η απομάστευση γίνεται στα 5 bar. Σε ότι αφορά την απαιτούμενη ενέργεια για τη συμπίεση τον καυσαερίου πριν αυτό εισέλθει στη στήλη απορρόφησης και την απαιτούμενη ενέργεια για την κυκλοφορία τον διαλύματος στο σύστημα, αυτή ανέρχεται στα 0,11 MJ/kg δεσμευμένου CO₂. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου χημικής απορρόφησης σε ατμοηλεκτρικούς σταθμούς, η παροχή ατμού στο στρόβιλο χαμηλής πίεσης μειώνεται κατά 2/3 περίπου. Η ενέργεια που καταναλώνεται αντιστοιχεί στο 80% της συνολικής ενέργειας που απαιτεί η διαδικασία της χημικής απορρόφησης. Τελικά, η παραγωγή ενέργειας μειώνεται κατά 20% και ο βαθμός απόδοσης του σταθμού κατά 11-14%. Για έναν τυπικό σταθμό, το ποσοστό απομάκρυνσης για οικονομική λειτουργία τον συστήματος, όταν η περιεκτικότητα τον καυσαερίου σε CO₂ είναι 3%, είναι 85%, ενώ για περιεκτικότητα 8% αυτό είναι 90-92% .

2.2.2 Καύση σε συνθήκες καθαρού οξυγόνου (OxyFuel)

Η τεχνολογία καύσης σε συνθήκες καθαρού οξυγόνου βασίζεται στο γεγονός ότι όταν η καύση του λιγνίτη, των υδρογονανθράκων ή του συνθετικού αερίου πραγματοποιείται με καθαρό οξυγόνο, το παραγόμενο καυσαέριο περιέχει κυρίως διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Με ψύξη των καυσαερίων, το H₂O που περιέχεται στο καυσαέριο συμπυκνώνεται και παράγεται σχεδόν καθαρό αέριο CO₂. Στη συνέχεια, αυτό συμπιέζεται και μεταφέρεται στην τοποθεσία αποθήκευσης. Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοσθεί σε ατμοηλεκτρικούς σταθμούς, αεριοστρόβιλους και σταθμούς συνδυασμένου κύκλου με καύσιμο φυσικό αέριο ή ακόμα και σε συστήματα συνδυασμένου κύκλου με αεριοποίηση. Επίσης, μπορεί να εφαρμοσθεί για οποιοδήποτε ορυκτό καύσιμο (λιγνίτη, πετρέλαιο ή φυσικό αέριο). Για την παραγωγή του οξυγόνου είναι απαραίτητη η μονάδα διαχωρισμού του αέρα (Air Separation Unit, ASU). Η κρυογενική μέθοδος είναι η πιο κατάλληλη τεχνολογία για το διαχωρισμό του αζώτου από τον αέρα. Τα στάδια της κρυογενικής μεθόδου διαχωρισμού του αέρα είναι τα ακόλουθα:

1. Συμπίεση του αέρα με ενδιάμεσες ψύξεις. Το επίπεδο συμπίεσης είναι περίπου 5,5 bar και προτείνονται τα ακόλουθα στάδια συμπίεσης: 1,013-1,53 bar, 1,53-2,35 bar, 2,35-3,6 bar και 3,6-5,5 bar και οι ενδιάμεσες ψύξεις είναι στους 25 °C.
2. Ψύξη του αέρα περίπου στους 11,5 °C.
3. Απομάκρυνση της υγρασίας και άλλων σωματιδίων με τη μέθοδο της προσρόφησης.
4. Υγροποίηση τον αέρα (-180 °C).
5. Απομάκρυνση του αζώτου σε στήλη απόσταξης.

Η διαδικασία διαχωρισμού του αέρα είναι δυνατό να καταναλώσει έως και το 15% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας τον σταθμού. Η καθαρότητα τον οξυγόνου παρουσιάζει σημαντική επίδραση όσον αφορά την κατανάλωση ισχύος από τη μονάδα διαχωρισμού του αέρα. Η καθαρότητα που μπορεί να επιτύχει η κρυογενική μονάδα διαχωρισμού του αέρα είναι έως και 99,7%. Για καθαρότητα οξυγόνου μικρότερη τον 95%, η κατανάλωση ισχύος μειώνεται, καθώς το επίπεδο της απαιτούμενης συμπίεσης του αέρα μειώνεται. Από την άλλη μεριά, για καθαρότητα οξυγόνου πάνω από 97%, η κατανάλωση ισχύος αυξάνεται απότομα, γιατί σε αυτή την περίπτωση πρέπει να διαχωριστεί αργά. Η βέλτιστη επιλογή για την καθαρότητα του οξυγόνου που παράγεται από τη μονάδα διαχωρισμού είναι 95%.

Η καύση με καθαρό οξυγόνο οδηγεί σε πολύ υψηλή θερμοκρασία καύσης. Για να μειωθεί η θερμοκρασία αυτή, ένα μέρος τον καυσαερίου ανακυκλοφορεί στο θάλαμο καύσης. Στην περίπτωση εφαρμογής της τεχνολογίας καύσης με οξυγόνο σε ήδη υπάρχον σταθμό, τόσο η θερμοκρασία όσο και η παροχή του καυσαερίου πρέπει να κυμαίνονται στα επίπεδα της συμβατικής καύσης με αέρα. Αναφέρεται ότι κατά την εφαρμογή της τεχνολογίας σε λέβητα μεγάλης εγκατάστασης παραγωγής ενέργειας, περίπου τα 2/3 της παροχής τον καυσαερίου στην έξοδο της εστίας πρέπει να ανακυκλοφορούν. Η διαχείριση τον ρεύματος καυσαερίου που απομακρύνεται από το λέβητα έχει τα ακόλουθα στάδια :

1. Ψύξη του καυσαερίου για απομάκρυνση του μεγαλύτερου μέρους του νερού.
2. Συμπίεση, ώστε το καυσαέριο να μεταβεί στην υγρή φάση.
3. Αφύγρανση με γλυκόλη τριεθυλενίου (TEO - Tri-Ethylene-Glycol) για την απομάκρυνση τον νερού που έχει απομείνει, με σκοπό την αποφυγή της διάβρωσης κατά τη μεταφορά.
4. Περαιτέρω ψύξη του προϊόντος.
5. Απομάκρυνση των συστατικών που δεν έχουν συμπυκνωθεί, όπως N_2 , O_2 και Ar .
6. Συμπίεση μέχρι το σημείο που απαιτείται για τη μεταφορά τον προϊόντος.

Η καθαρότητα τον οξυγόνου καθώς και η εισαγωγή αέρα στο λέβητα είναι δυνατά να μειώσουν την ικανότητα απομάκρυνσης του διοξειδίου τον άνθρακα που παράγεται κατά την καύση.

2.2.3 Παραγωγή καύσιμου χωρίς άνθρακα

Σύμφωνα με αυτή την τεχνολογία, ο άνθρακας απομακρύνεται από το καύσιμο πριν αυτό οδηγηθεί για καύση. Στην τυπική διαδικασία τον συνδυασμένου κύκλου με αεριοποίηση (IGCC) το στερεά καύσιμο κονιορτοποιείται και διαλύεται σε νερά. Στη συνέχεια, το διάλυμα θερμαίνεται με οξυγόνο ή αέρα στους 1300 K περίπου και παράγεται ένα αέριο μίγμα που αποτελείται κυρίως από υδρογονάνθρακες και μονοξείδιο του άνθρακα. Ακολουθεί αντίδραση μετατροπής του μονοξειδίου του άνθρακα σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Η αντίδραση αυτή είναι εξώθερμη. Το αέριο καύσιμο που τελικά παράγεται περιέχει H_2 και CO_2 . Λόγω της υψηλής μερικής πίεσης του CO_2 στο αέριο μίγμα, η μέθοδος

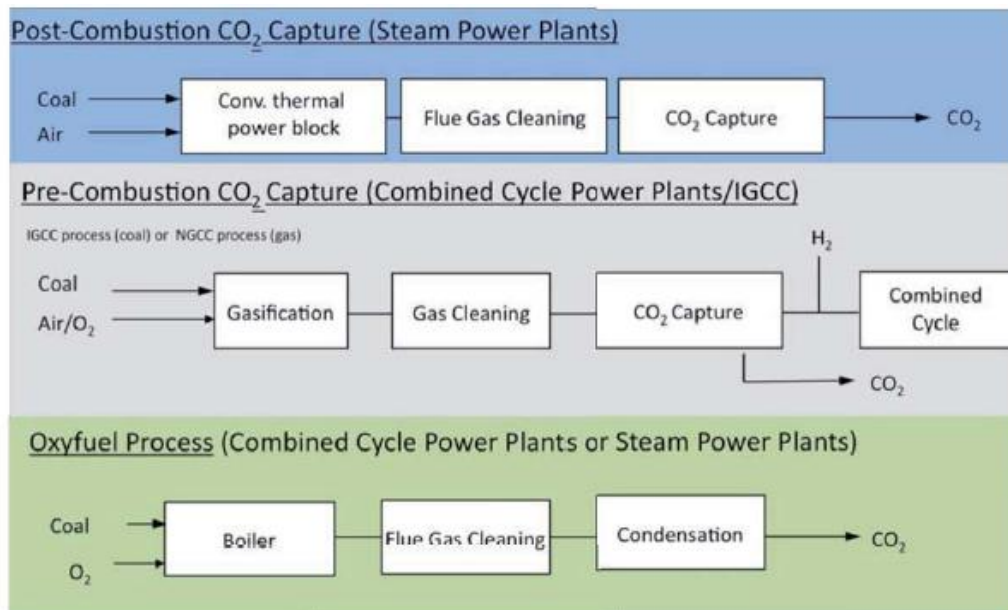
της φυσικής απορρόφησης αποτελεί μια πιθανή λύση για το διαχωρισμό του CO₂ από το H₂ στο αέριο καύσιμο. Μεμβράνες διαχωρισμού του H₂ μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν. Μια άλλη μέθοδος για την απομάκρυνση του άνθρακα από το καύσιμο, που βασίζεται στην ίδια κύρια μεθοδολογία που προαναφέρθηκε, είναι η ταυτόχρονη πραγματοποίηση των τριών αντιδράσεων, και συγκεκριμένα της αεριοποίησης, της μετατροπής του CO και της απομάκρυνσης του CO₂. Οι αντιδράσεις αυτές πραγματοποιούνται υπό τις ίδιες συνθήκες στον ίδιο αντιδραστήρα. Κατά τη συνήθη διαδικασία, η αεριοποίηση λαμβάνει χώρα στους 1273 K, ενώ η αντίδραση μετατροπής του CO σε CO₂ στους 673 K. Η δέσμευση CO₂ με CaO είναι ενδεικνυόμενη μέθοδος και πραγματοποιείται στους 1100 K. Δύο κλίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν, η μία για την αεριοποίηση του καυσίμου, τη μετατροπή του CO και τη δέσμευση του CO₂ και η άλλη για την αναγέννηση του παραγόμενου CaCO₃ προς CaO. Το πλούσιο σε H₂ παραγόμενο καύσιμο εξέρχεται από τον πρώτο αντιδραστήρα ενώ το CO₂ από τον δεύτερο. Σε αυτή τη διεργασία αναμένεται μείωση της κατανάλωσης ισχύος της τάξης του 20-25%, σε σχέση με τη συνήθη διαδικασία παραγωγής καυσίμου χωρίς άνθρακα.

Οι τεχνικές που προαναφέρθηκαν βρίσκουν εφαρμογή και για το φυσικό αέριο, μόνο που αντί για την αντίδραση της αεριοποίησης λαμβάνει χώρα η αντίδραση της διάσπασης του μεθανίου σε H₂ και CO παρουσία H₂O. Συνεπώς, οι τεχνολογίες δέσμευσης CO₂ διακρίνονται ανάλογα με το στάδιο της διεργασίας στο οποίο απομονώνεται το CO₂ στις εξής τεχνολογίες:

α) **Τεχνολογίες δέσμευσης μετά την καύση (post-combustion):** το CO₂ διαχωρίζεται από ένα αέριο μίγμα αζώτου N₂ και O₂. Η πρακτική που χρησιμοποιείται συνήθως είναι ο διαχωρισμός με χημική απορρόφηση με χρήση αμινών σε στήλες απορρόφησης - αναγέννησης. Άλλες πρακτικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν (διαχωρισμός με μεμβράνες) βρίσκονται στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης τους.

β) **Τεχνολογίες δέσμευσης πριν από την καύση (pre combustion):** εδώ το CO₂ απομονώνεται από αέριο μίγμα πλούσιο σε H₂ προϊόν αεριοποίησης άνθρακα ή αναμόρφωσης φυσικού αερίου σε υψηλή πίεση (1540 bar). Εδώ, η επικρατέστερη τεχνική είναι ο διαχωρισμός από το κυρίως ρεύμα με διάφορες εναλλακτικές, όπως φυσική απορρόφηση, απορρόφηση με εναλλαγή πίεσης κ.τ.λ.

γ) **Καύση με υψηλή συγκέντρωση O₂/ CO₂ (Oxyfuel Process):** η τεχνολογία αυτή βασίζεται στο διαχωρισμό του N₂ από τον αέρα καύσης και στην καύση με O₂ αντί για αέρα, έχοντας ως αποτέλεσμα καυσαέριο που αποτελείται από CO₂ και H₂O. Σημαντική προσπάθεια καταβάλλεται στην ανάπτυξη καινοτόμων εφαρμογών δέσμευσης CO₂, όπως η καύση με το Μηχανισμό Χημικής Ανάδρασης (Chemical Looping Combustion), η οποία στηρίζεται στην χρήση οξειδίων διαφόρων μετάλλων τα οποία χρησιμοποιούνται ως φορείς οξυγόνου και μεταφέρουν οξυγόνο από τον αέρα καύσης στο καύσιμο. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι τρεις μηχανισμοί δέσμευσης τον διοξειδίου του άνθρακα.



Εικόνα 3: Διάγραμμα Ροής Βασικών Τεχνολογιών Δέσμευσης CO₂[RECCS Study 2010]

2.3 Βασικές Τεχνολογίες Μεταφοράς Διοξειδίου του Άνθρακα

Για την μεταφορά του CO₂ από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στους ταμειυτήρες αποθήκευσης υπάρχουν τέσσερα διαφορετικά συστήματα:

α) Μεταφορά με φορτηγά μεγάλης χωρητικότητας: η πιο κοινή εναλλακτική λύση για μεταφορά προϊόντων με βάρος λιγότερο των πέντε τόνων, εξαιτίας της αξιοπιστίας, της προσαρμογής και της ευελιξίας που παρέχει ο τρόπος αυτός.

β) Μεταφορά με τρένα: ειδικά προσαρμοσμένα βαγόνια μπορούν να μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες CO₂ σε μεγάλες αποστάσεις.

γ) Μεταφορά με βυτιοφόρα πλοία: κατάλληλος τρόπος για θαλάσσια μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις. Το μεγάλο πλεονέκτημα εδώ είναι η οικονομική αποδοτικότητα αφού έτσι μπορούν να μεταφερθούν πολύ μεγάλες (38000-78000m³) ποσότητες CO₂.

δ) Μεταφορά με αγωγούς: με τον τρόπο αυτό μεταφέρεται CO₂ από τις αρχές της δεκαετίας του 1980. Από πολλούς εμπειρογνώμονες θεωρείται ως η πιο αποδοτική οικονομικά τεχνολογία για συνεχή μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων CO₂. Κατά την μεταφορά σε αγωγούς πρέπει να πληρούνται οι απαιτούμενες προδιαγραφές, όπως: P=152 bar, σημείο δρόσου - 40 °C, καθώς και οι περιεκτικότητες σε N₂, O₂ και Ar να είναι < 300 ppmv, < 40 ppmv και < 10 ppmv αντίστοιχα. Το CO₂ πρέπει να βρίσκεται σε υγρή ή σε υπερκρίσιμη κατάσταση (P>7.38 MPa και T>-60°C) κατά την μεταφορά του. Οι λόγοι για τους οποίους η στερεά ή αέρια κατάσταση δεν είναι κατάλληλη, στηρίζεται στο ότι στη στερεά κατάσταση χρειάζεται

μεγαλύτερη ενέργεια για την μεταφορά του, ενώ στην αέρια κατάσταση το CO₂ έχει πάρα πολύ χαμηλή πυκνότητα.

2.4 Τεχνολογίες Αποθήκευσης Διοξειδίου του Άνθρακα

Εισαγωγή CO₂ σε ταμειυτήρες πετρελαίου για την βελτίωση της ανάκτησης του, έλαβε χώρα για πρώτη φορά την δεκαετία τον '70 στις Η.Π.Α. Οι πιο σημαντικοί γεωλογικοί χώροι υπόγειας αποθήκευσης είναι:

1. Αποθήκευση σε ενεργούς ταμειυτήρες πετρελαίου (EOR).
2. Αποθήκευση σε ταμειυτήρες πετρελαίου/φυσικού αερίου που έχουν ήδη εκκενωθεί και σε αλατούχους υδροφόρους ορίζοντες μεγάλου βάθους.
3. Αποθήκευση σε κοιτάσματα μη εξορυγμένου γαιάνθρακα (ECBMR).
4. Αποθήκευση σε ωκεανούς μέσω αγωγού ή μέσω βυτιοφόρου πλοίου.
5. Αποθήκευση μέσω ορυκτοποίησης (mineralization).

Οι ταμειυτήρες αποθήκευσης CO₂ θα πρέπει να διαθέτουν μεγάλη χωρητικότητα ενώ παράλληλα θα πρέπει να παρέχουν και ένα αποδεδειγμένα ασφαλές και σίγουρο περιβάλλον αποθήκευσης. Η ιδέα της υπόγειας αποθήκευσης σε ταμειυτήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου ενισχύεται από το πλεονέκτημα της γνωστής γεωλογικής μορφολογίας, αφού ήδη έχουν γίνει γεωτεχνικές μελέτες γι αυτούς. Συνήθως αποτελούνται από πορώδη πετρώματα, έχουν σχήμα θόλου και περικλείονται από τέτοια πετρώματα τα οποία απαγορεύουν την μετακίνηση του αερίου σε οποιαδήποτε κατεύθυνση, έτσι ώστε να μην υπάρχει διαρροή προς την ατμόσφαιρα. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η απεικόνιση μερικών από τις γεωλογικές τοποθεσίες για υπόγεια αποθήκευση του CO₂.



Εικόνα 4: Απεικόνιση μερικών από τις γεωλογικές τοποθεσίες για υπόγεια αποθήκευση του CO₂

Η χωρητικότητα αυτών των ταμιευτήρων, παγκοσμίως, έχει εκτιμηθεί με κατάλληλες προσομοιώσεις από διάφορα ινστιτούτα και επιστημονικά εργαστήρια. Έτσι, η χωρητικότητα για τους υδροφόρους ορίζοντες υπολογίστηκε περίπου στους 400 - 10000 Gt CO₂, για τους ταμιευτήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου, περίπου στους 473 - 1152 Gt CO₂, ενώ για τα στρώματα κοιτασμάτων μη εξορυγμένου γαιάνθρακα, περίπου στους 5-267 Gt CO₂. Παράλληλα, οι εκπομπές του CO₂ στην ατμόσφαιρα παγκοσμίως, υπολογίζονται γύρω στους 24 Gt τον χρόνο, παρουσιάζοντας μάλιστα αυξανόμενη τάση. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τη χωρητικότητα διάφορων γεωλογικών ταμιευτήρων.

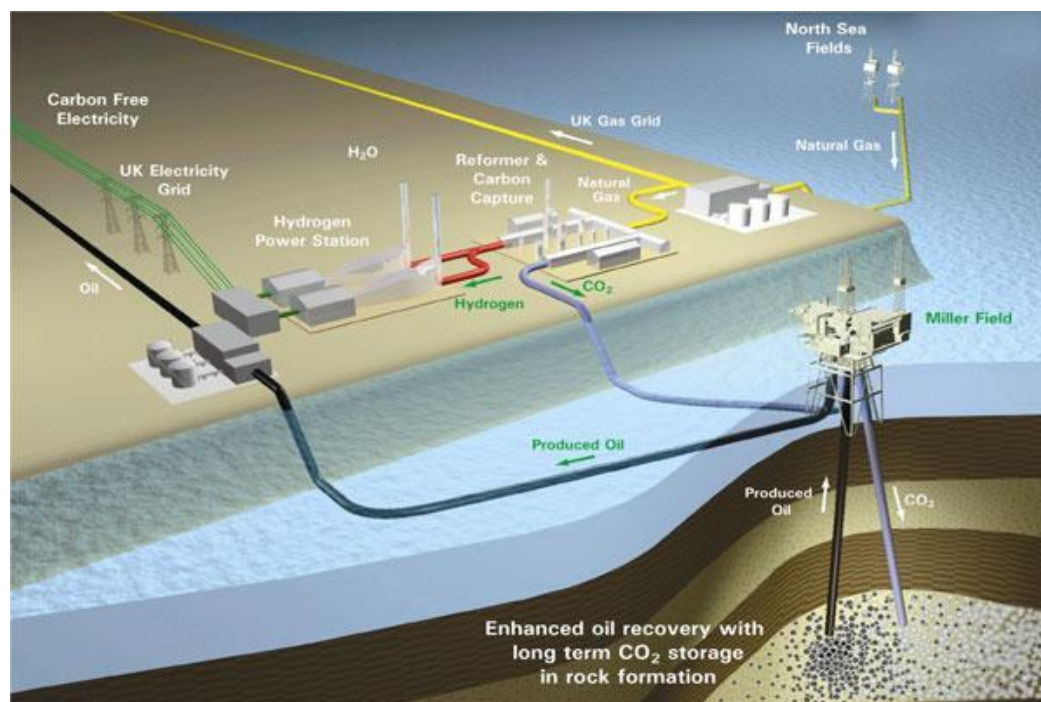
	Turkenburg 1999	Hendriks 1994	IPCC 2001/ ARC 2000	Stevens 2000	ECOFYS, TNO 2004
Κοιτάσματα πετρελαίου	500-1800	385	370	126	242
Κοιτάσματα φυσικού αερίου		1500	1500	800	910
ECBM	na *	na	150	na	267
Υδροφόροι ορίζοντες	na	200	4000	na	247

*na :μη διαθέσιμα στοιχεία (not available)

Πίνακας 3: Χωρητικότητα γεωλογικών ταμιευτήρων για αποθήκευση του CO₂ παγκοσμίως (Gt CO₂)

2.4.1. Αποθήκευση σε ενεργούς ταμιευτήρες πετρελαίου

Η τεχνική της βελτιωμένης ανάκτησης πετρελαίου (Enhanced Oil Recovery-EOR) χρησιμοποιείται σε ταμιευτήρες που έχουν σχεδόν εκκενωθεί ή σε ταμιευτήρες πετρελαίου με υψηλό ιξώδες. Αυτή η τεχνική έχει την δυνατότητα, όχι μόνο να αυξάνει την ανάκτηση του πετρελαίου, αλλά και να αποθηκεύει στον ταμιευτήρα την ποσότητα του CO₂ που χρησιμοποιείται. Το παρακάτω σχήμα δείχνει αυτή ακριβώς την τεχνική.

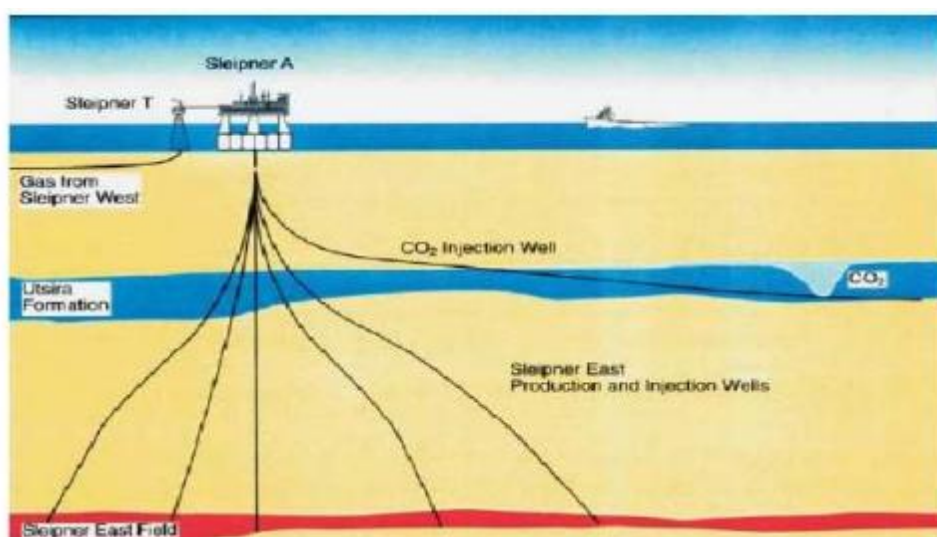


Εικόνα 5: Διάγραμμα Βελτιωμένης Ανάκτησης Πετρελαίου (EOR) στο Hatfield της Αγγλίας, βασισμένο στην ιδέα της BP Peterhead

Πρόκειται για εισαγωγή του CO₂ σε υπερκρίσιμη κατάσταση ($P > 7.38 \text{ MPa}$ και $T > -60^\circ\text{C}$) σε ενεργούς ταμιευτήρες, η οποία προκαλεί αύξηση της κινητικότητας του πετρελαίου και έχει ως αποτέλεσμα την πιο εύκολη ανάκτηση του. Ένα ποσοστό του εισαγόμενου CO₂ θα ανακτηθεί πάλι μαζί με το πετρέλαιο, θα διαχωριστεί απ' αυτό με την κατάλληλη διεργασία και θα εισαχθεί και πάλι στον ταμιευτήρα. Υπάρχουν διεργασίες EOR όπου το CO₂ μπορεί να είναι αναμίξιμο ή όχι. Αυτό εξαρτάται κυρίως από την πίεση με την οποία το CO₂ θα εισαχθεί στον ταμιευτήρα. Στην πρώτη περίπτωση το CO₂ αναμειγνύεται με το ακατέργαστο πετρέλαιο, το αναγκάζει να διογκωθεί και μειώνει το ιξώδες του ενώ παράλληλα αυξάνει ή διατηρεί την πίεση του ταμιευτήρα. Ο συνδυασμός αυτός επιτρέπει το πετρέλαιο να κυκλοφορήσει πιο ελεύθερα προς τον αγωγό απ' όπου και θα γίνει η ανάκτηση του. Στην δεύτερη περίπτωση, το πεπιεσμένο CO₂, που εισάγεται, χρησιμοποιείται για να αυξήσει την πίεση του ταμιευτήρα στα αρχικά του στάδια και να παρασύρει το ακατέργαστο πετρέλαιο προς τον αγωγό, ώστε να ανακτηθεί με μεγαλύτερη ευκολία. Με τη μέθοδο αυτή (CO₂ EOR), η οποία ονομάζεται τριτογενής εξόρυξη, μπορεί να αυξηθεί η παραγωγή του πετρελαίου κατά προσέγγιση 10% με 15%.

2.4.2 Αποθήκευση σε κενούς ταμιευτήρες πετρελαίου/φυσικού αερίου & σε αλατούχους υδροφόρους ορίζοντες μεγάλου βάθους

Οι ταμιευτήρες πετρελαίου ή φυσικού αερίου που ήδη έχουν εκκενωθεί, παρουσιάζονται ως η πιο ελπιδοφόρα επιλογή αποθήκευσης στο προσεχές μέλλον. Αυτά γιατί οι ταμιευτήρες αυτοί έχουν αποδείξει την ικανότητα τους να διατηρούν υγρά ή αέρια σε υψηλές πιέσεις για μεγάλα διαστήματα χρόνου. Εντούτοις, τα περισσότερα από τα φρεάτια θα έπρεπε να ανοιχτούν πάλι με νέες γεωτρήσεις. Επίσης, η πραγματική ικανότητα είναι αβέβαιη, λαμβάνοντας υπόψη τις αλλαγές στον ταμιευτήρα που μπορεί να έχουν εμφανιστεί λόγω εισβολής αλατούχου νερού ή λόγω της γεωδομικής αλλαγής. Από την άλλη πλευρά, οι αλατούχοι υδροφόροι ορίζοντες έχουν τη μέγιστη δυνατότητα αποθήκευσης του CO₂, αφού οι ταμιευτήρες αυτοί είναι οι πιο διαδεδομένοι και έχουν την μεγαλύτερη χωρητικότητα. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η εισαγωγή CO₂ σε αλατούχο υδροφόρο ορίζοντα της Νορβηγίας.

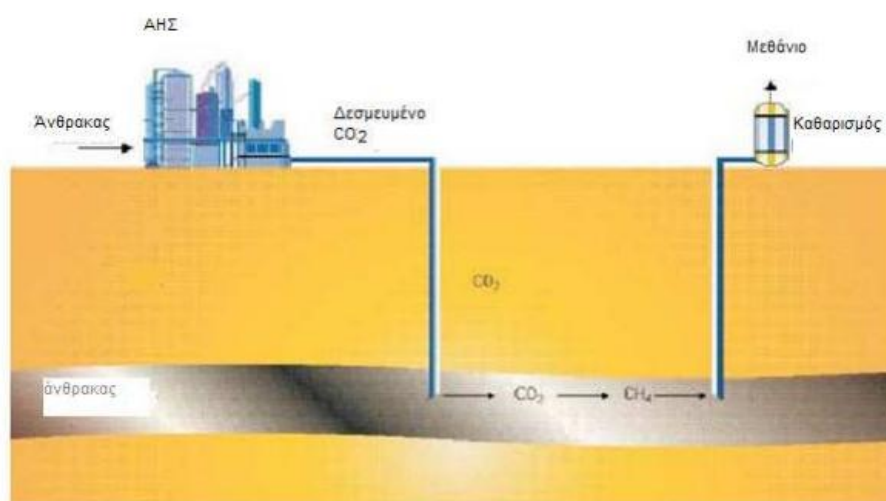


Εικόνα 6: Εισαγωγή CO₂ στον αλατούχο υδροφόρο ορίζοντα μεγάλου βάθους Utsira στη Νορβηγία

2.4.3. Αποθήκευση σε Κοιτάσματα Μη Εξορυγμένου Γαιάνθρακα

Το CO₂ εισάγεται σε κοιτάσματα άνθρακα και απορροφάται στις επιφάνειες των στρωμάτων άνθρακα ελευθερώνοντας μεθάνιο, το οποίο, μπορεί έπειτα να ανακτηθεί σαν ελεύθερο αέριο. Ένα ιδιαίτερο πλεονέκτημα της τεχνικής αυτής, είναι ότι τα κοιτάσματα

αυτά μπορούν να αποθηκεύσουν πολύ μεγαλύτερες ποσότητες CO₂ από τον ισοδύναμο όγκο ενός συμβατικού ταμιευτήρα, λόγω του ότι ο άνθρακας έχει μεγαλύτερες περιοχές επιφάνειας. Υπάρχουν δύο τέτοια προγράμματα (Enhanced Coal-bed Methane Recovery- ECBMR), στο βορειοδυτικό Μεξικό και στο νοτιοδυτικό Κολοράντο των Η.Π.Α. Η εμπειρία που έχει αποκτηθεί από την μελέτη των προγραμμάτων αυτών χρησιμοποιείται για να ελέγξει και να προτυποποιήσει τους μηχανισμούς αποθήκευσης του CO₂ σε τέτοιους ταμιευτήρες, όπως επίσης και για να αξιολογηθεί η δυνατότητα αποθήκευσης σε άλλες λεκάνες τέτοιου είδους. Μια τέτοια τεχνολογία παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 7: Τεχνολογία ECBMR χρησιμοποιώντας CO₂

2.4.4 Αποθήκευση σε Ωκεανούς

Το CO₂ είναι διαλυμένο στο νερά των ωκεανών, ενώ οι ωκεανοί και απορροφούν αλλά και εκπέμπουν CO₂ μέσω φυσικών διαδικασιών. Το CO₂ μπορεί να εισαχθεί μέσω μίας συσκευής διάχυσης σε βάθη 1.000 έως 2.000 m. Από τα βάθη αυτά, το εισαγόμενο νέφος σταγονιδίων του CO₂ ανέρχεται προς την επιφάνεια και διαλύεται στο νερά, προτού φτάσει σε βάθος 500 m, όπου τα σταγονίδια παίρνουν πλέον μορφή φυσαλίδων, οι οποίες θα φτάσουν στην επιφάνεια. Πειράματα σε εργαστήρια, έχουν δείξει ότι μία ταινία ένυδρων ουσιών (hydrate film) μπορεί να διαμορφωθεί γύρω από τα σταγονίδια του CO₂, καθιστώντας τα βαρύτερα από το νερά της θάλασσας, με αποτέλεσμα να τα ωθεί στον πυθμένα. Έτσι, το CO₂ μπορεί να εισαχθεί σε βάθη μεγαλύτερα από 3.000 m, οπότε σε αυτή την περίπτωση, το υγρό CO₂ θα γίνει βαρύτερο από το νερά της θάλασσας και θα βυθιστεί στον πυθμένα δημιουργώντας μία λίμνη, όπου και θα παραμείνει. Η αποθήκευση στους ωκεανούς είναι ακόμη σε αρχικά στάδια ανάπτυξης, σε σύγκριση με τις άλλες τεχνολογίες. Οι ωκεανοί έχουν βέβαια τεράστια χωρητικότητα για την απομόνωση του CO₂, αλλά το επιστημονικό επίπεδο κατανόησης της τεχνολογίας αυτής, ώστε να υποστηριχθεί σαν την πιο σημαντική εναλλακτική λύση, δεν είναι διαθέσιμο τουλάχιστον μέχρι σήμερα.

2.4.5 Αποθήκευση μέσω Ορυκτοποίησης

Μία νέα πολλά υποσχόμενη μέθοδος, με την οποία το του CO₂ αποθηκεύεται υπό μορφή ανθρακικών ορυκτών είναι η αποθήκευση μέσω ορυκτοποίησης. Η αντίδραση του CO₂ με οξείδια, ώστε να σχηματιστούν ανθρακικά ορυκτά, όπως μαγνητίτης ή ασβεστίτης είναι εξώθερμη. Πετρώματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ορυκτοποίηση του CO₂ είναι υπερβασικά πετρώματα πλούσια σε μαγνήσιο όπως δουνίτες, περιδοτίτες και σερπεντινίτες. Οι μελέτες επικεντρώνονται στην επιτάχυνση του φυσικού ποσοστού αντίδρασης, με αποτέλεσμα την οικονομικά βιώσιμη αποθήκευση του CO₂ ως στερεό ορυκτό ανθρακικό άλας. Τα ανθρακικά άλατα είναι σταθερά θερμοδυναμικά και δεν μπορούν να απελευθερώσουν τις ποσότητες του CO₂. Υπάρχει η επιχειρηματολογία, ότι η αποθήκευση του CO₂ στα ορυκτά είναι πιθανή και ασφαλέστερη από άλλες τεχνολογίες όπως αποθήκευση σε υπόγειους ταμειυτήρες ή σε ωκεανούς. Τα οξείδια ασβεστίου και μαγνησίου που απαιτούνται για τη διαμόρφωση των σταθερών ορυκτών ανθρακικών αλάτων είναι διαθέσιμα στη φύση σε μεγάλες ποσότητες.

2.4.6 Επαναχρησιμοποίηση CO₂

Επισκόπηση των δυνατοτήτων για την επαναχρησιμοποίηση του CO₂:

Χημικές ουσίες / υδρογονάνθρακες: Το διοξείδιο του άνθρακα χρησιμοποιείται ήδη ως βάση για την παραγωγή μιας ποικιλίας υλικών, από πρώτες ύλες όπως η μεθανόλη μέχρι τελικά προϊόντα, όπως ουρεθάνη, τασιενεργά και ουρία. Από αυτά, η ουρία έχει το μεγαλύτερο όγκο της αγοράς. Η ετήσια παγκόσμια ζήτηση ουρίας είναι περίπου 90 εκατομμύρια τόνους. Συνολικά, περίπου 10 εκατομμύρια τόνοι ανόργανων ουσιών και υδρογονανθράκων απαιτούνται ετησίως. Το πολουρεθάνιο έχει επίσης μερίδιο στην αγορά κατά 10 εκατομμύρια τόνους [IPCC 2005].

Τεχνικά βοηθήματα: Το διοξείδιο του άνθρακα χρησιμοποιείται επίσης ως τεχνική βοήθεια στο στεγνό καθαρίσμα, στους πυροσβεστήρες, στα δοχεία αεροζόλ, στις συσκευές ψύξης, και σε άλλες εφαρμογές. Αυτή η ποσότητα θα μπορούσε να αντικατασταθεί σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα από δεσμευμένο CO₂ από μονάδες ηλεκτροπαραγωγής από άλλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Σύμφωνα με την [IPCC 2005], η παγκόσμια ζήτηση CO₂ για τεχνική χρήση είναι περίπου 10 εκατομμύρια τόνους.

Τρόφιμα: Στη βιομηχανία τροφίμων, το CO₂ χρησιμοποιείται κυρίως σαν αέριο διοξείδιο του άνθρακα στα ποτά και για την εξουδετέρωση του νερού. Βέβαια, η υποκατάσταση CO₂ που χρησιμοποιείται σε αυτή τη βιομηχανία, με CO₂ που προήλθε από δέσμευση είναι σχεδόν αμελητέα. Οι απαιτήσεις καθαρότητας είναι επίσης ανασταλτικός παράγοντας γι

'αυτό και δεν επιδιώκεται. Γύρω στα 8 εκατομμύρια τόνοι CO₂ χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο στη βιομηχανία τροφίμων κάθε χρόνο [IPCC 2005].

Πλαστικά: Τα πλαστικά αποτελούνται από μακρομόρια - μακριές αλυσίδες άνθρακα - που επίσης να περιέχουν άλλα στοιχεία, όπως υδρογόνο, οξυγόνο, άζωτο και θείο. Αυτά τα μακρομόρια παράγονται από μικρότερα μόρια με σύνθεση ή από φυσικά προϊόντα με χημική μετατροπή. Περίπου το 4 % των προϊόντων πετρελαίου από τα διυλιστήρια σήμερα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή συνθετικού πλαστικού. Αφού το αργό πετρέλαιο διασπάται σε υδρογονάνθρακες βραχείας αλύσου, αυτά ενώνονται μαζί στην πλαστική σύνθεση για να συνθέσουν όσο το δυνατό μεγαλύτερες αλυσίδες άνθρακα. Στη θέση του αργού πετρελαίου, υδρογονάνθρακες μικρής αλυσίδας που λειτουργούν ως υλικό βάσης μπορεί να δημιουργηθούν από το CO₂. Με αυτή τη μέθοδο επαναχρησιμοποίησης CO₂, περαιτέρω εξέλιξη απαιτείται, μόνο στην μετατροπή των εκπομπών CO₂ σε διάφορους υδρογονάνθρακες. Τα πρώτα αποτελέσματα της έρευνας παρουσιάστηκαν στην κατασκευή πλαστικών από φυσικά προϊόντα που χρησιμοποιούν CO₂. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η κατασκευή των πλαστικών που χρησιμοποιούν λιμονένιο. Στο Πανεπιστήμιο Cornell, έχει αναπτυχθεί μια καταλυτική διαδικασία σε εργαστηριακό περιβάλλον. Σε αυτή τη διαδικασία, σκληρό πλαστικό που μοιάζει με πολυστυρένιο έχει δημιουργηθεί από CO₂ και λιμονένιο, η οποία μπορεί να βρεθεί σε φλούδα πορτοκαλιού. Διαδικασίες, όπως αυτές, ωστόσο, είναι ακόμη σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης [Froboese 2007].

Υπάρχει ήδη μια σειρά από ιδέες για τη χρήση βιολογικών διεργασιών δέσμευσης του CO₂ ή απορρόφησης CO₂ από την ατμόσφαιρα. Εδώ, πρέπει να γίνει διάκριση μεταξύ onshore και offshore επιλογές για τη χρήση. Επιπλέον, η έρευνα επίσης διεξάγεται σε διαδικασίες για μικροβιολογικές μετατροπές CO₂ σε CH₄ (μεθάνιο).

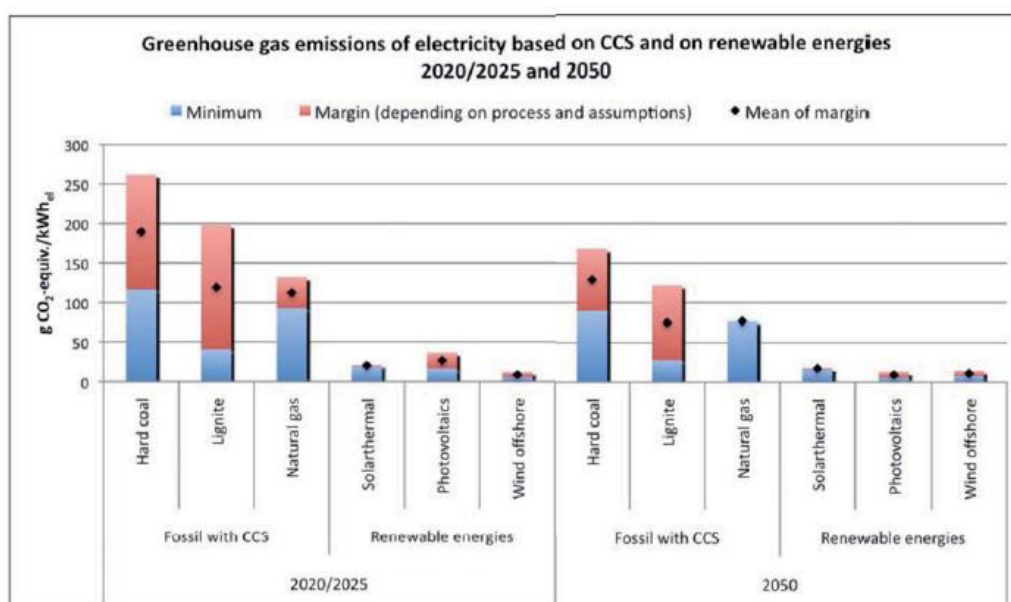
Μικροφύκη: Τα μικροφύκη μπορούν να προσφέρουν πάνω από δέκα φορές μεγαλύτερη απόδοση βιομάζας από τα φυτά της ξηράς. Ουσιαστικά, τα φύκια είναι σε θέση να απορροφήσουν το CO₂ από τα καυσαέρια, με τα οποία τροφοδοτούνται. Τα καυσαέρια μπορούν να έχουν περιεκτικότητα CO₂ μέχρι περίπου 20%. Όταν τα μικροφύκη τοποθετηθούν σε βιοαντιδραστήρα, εκπέμπουν καυσαέρια φτωχά σε CO₂. Η βιομάζα που παράγεται θα πρέπει να διαχωρίζεται με φυγοκέντρηση, για παράδειγμα, και ύστερα να εκμεταλλεύεται, (για παράδειγμα, για την παραγωγή βιοαερίου, βιοντίζελ, βιοιθανόλης ή βιοϋδρογόνου). Υπάρχουν περίπου οκτώ εκατομμύρια είδη μικροφυκών, και μέχρι στιγμής χρησιμοποιούνται ελάχιστα στην διαδικασία αυτή.

Μονάδες αυτού του τύπου θα μπορούσαν πιθανότατα να χρησιμοποιηθούν για μικρότερες πηγές CO₂ εάν διατίθεται μεγάλος όγκος βιοαντιδραστήρων. Το φως του ήλιου απαιτείται ως πηγή ενέργειας. Αυτή η διαδικασία δεν είναι ακόμη έτοιμη για μεταφορά σε μεγάλη κλίμακα. Η απόδοση της βελτίωσης είναι εφικτή από τεχνική άποψη με τη βελτίωση του σχεδιασμού του αντιδραστήρα και τη βελτιστοποίηση του φωτός εισόδου, π.χ. από μικροδομημένα πρίσματα [Ausfelder και BAZZANELLA 2008]. Τα μικροφύκη δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εξωτερικό χώρο. Απαιτούν ένα κλειστό σύστημα ή δεξαμενή που εξασφαλίζει ότι καλύπτονται από νερό και αναμιγνύεται επαρκώς. Η καθαρή ενεργειακή απόδοση και η ποσότητα του χώρου που απαιτείται είναι οι κρίσιμοι παράγοντες για την αξιολόγηση της σκοπιμότητας της διαδικασίας.

Ανάπτυξη ενζύμου: Το ένζυμο ριβουλοζο-φωσφορική καρβοξυλάση / οξυγενάση (Rubisco) είναι αποκλειστικά υπεύθυνο στα συστήματα φυτών που απορροφούν CO₂ από τον αέρα. Η γενετική τροποποίηση αυτού του ενζύμου μπορεί να κάνει τα συστήματα των εγκαταστάσεων να αποθηκεύουν CO₂ πιο γρήγορα ή αποτελεσματικά. Αυτό ισχύει κατά την περίοδο ανάπτυξης. Παρόλο που το CO₂ παράγεται πάλι, αν το φυτό χρησιμοποιηθεί αργότερα ως πηγή βιοενέργειας, η ενέργεια που απέδωσε αρχικά μπορεί να χαρακτηριστεί ως CO₂free, επειδή το CO₂ απομακρύνεται από τον αέρα και πάλι στον επόμενο κύκλο.

2.5 Σύγκριση CCS Με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Στην εικόνα 8, συγκρίνεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με CCS μονάδες ηλεκτροπαραγωγής το 2020/2025 και 2050. Δίνεται η ελάχιστη, η μέγιστη τιμή και η μέση τιμή όλων των συνδυασμών που εξετάστηκαν.



Εικόνα 8: Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίων από Εργοστάσια Καύσης Λιγνίτη με CCS συγκριτικά με την Ηλεκτρική Ενέργεια από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ηλιακή θερμική ενέργεια, φωτοβολταϊκά και offshore αιολικών (2020/2025 και 2050) [RECCS Study 2010]

Συγκριτικά με σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας CCS, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δημιουργούν μόνο ένα κλάσμα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (περισσότερα των οποίων προέρχονται από την κατασκευή του εργοστασίου).




Το διάγραμμα δείχνει ότι το 2025, η υπεράκτια αιολική ενέργεια δημιουργεί μόνο 5 έως 8%, η ηλιακή θερμική ενέργεια 11 έως 18% και τα φωτοβολταϊκά 14 έως 24% των εκπομπών των σταθμών παραγωγής ενέργειας CCS. Μέχρι το 2050, τα φωτοβολταϊκά βελτιώνονται, αφήνοντας μόνο 7 έως 12% σε σχέση με τις εκπομπές των σταθμών παραγωγής ενέργειας CCS. Η offshore αιολική ενέργεια δημιουργεί 9 έως 15% και η ηλιακή θερμική ενέργεια 13 έως 23 τοις εκατό.

2.6 Πιλοτικά προγράμματα και μονάδες επίδειξης σε ολόκληρη την Ευρώπη

Ο ακόλουθος χάρτης παρουσιάζει τις γνωστές πιλοτικές μονάδες CCS στην Ευρώπη. Η Αγγλία, η Ολλανδία και η Νορβηγία, υπερέρχουν στον αριθμό, και ακολουθεί η Γερμανία.

Επίσης περιέχονται έργα CCS που έχουν ήδη κλείσει - το έργο Tjeldbergodden, στη Νορβηγία, απορρίφθηκε για οικονομικούς λόγους, καθώς και το έργο στο Peterhead στη Σκωτία, το οποίο εγκαταλείφθηκε λόγω έλλειψης στήριξης από την κυβέρνηση [van Noorden 2007]. Επιπλέον, στην Αυστραλία, η μονάδα ηλεκτροπαραγωγής IGCC στο Περθ εγκαταλείφθηκε εξαιτίας της υπό αμφισβήτηση μακροπρόθεσμης σταθερότητας στην αποθήκευση του διοξειδίου του άνθρακα. Ένα εργοστάσιο μεταγενούς καύσης στο Cooper Basin επίσης διαλύθηκε, για οικονομικούς λόγους.

Στον Καναδά, η κατασκευή ενός νέου σταθμού ηλεκτροπαραγωγής με οξυγόνο στο Saskatchewan εγκαταλείφθηκε. Αντ' αυτού, μια υφιστάμενη μονάδα παραγωγής ενέργειας θα εξοπλιστεί με τη διαδικασία μεταγενούς καύσης. Δύο πρόσφατα ευρωπαϊκά προγράμματα - ένα πρόγραμμα στο Aalborg (Δανία) εγκαταλείφθηκε λόγω διαμαρτυριών από το κοινό και ένα έργο στο Mongstad (Νορβηγία) επίσης σταμάτησε για οικονομικούς λόγους - δεν έχουν ακόμη καταχωρηθεί στον χάρτη [Wolff 2009].

-  Περιοχές που εγχύνουν ήδη το CO₂
-  CCS διατάξεις υπό σχεδιασμό έγχυσης τουλάχιστον 700.000 τόνους CO₂ ανά χρόνο
-  Περιοχές όπου έχουν ακυρώσει ή ολοκληρώσει την έγχυση CO₂



Εικόνα 9: Γνωστές πιλοτικές μονάδες CCS στην Ευρώπη [RECCS Study 2010]

3

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

3.1 Εισαγωγή στο Ελληνικό Ηλεκτρικό Σύστημα

Μετά τις πετρελαϊκές κρίσεις τις δεκαετίας του 1970 και τις επιδράσεις που είχαν αυτές οι κρίσεις στην ελληνική οικονομία, υιοθετήθηκαν πολιτικές ώστε να μειωθεί η εξάρτηση του ενεργειακού συστήματος από το πετρέλαιο. Βασικό στοιχείο αυτών των πολιτικών ήταν η αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας, όπως ο λιγνίτης και το υδροδυναμικό, η διασύνδεση της χώρας με γειτονικές χώρες και η διαφοροποίηση της προσφοράς ενέργειας μέσω της εισαγωγής του φυσικού αερίου στην αγορά. Το κύριο βάρος της παραγωγής στην Ελλάδα εξακολουθεί να φέρεται από τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ Α.Ε.), η οποία ιδρύθηκε το 1950 σε μονοπωλιακή βάση με κύριο σκοπό την παραγωγή και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας.

3.2 Περιγραφή του Υφιστάμενου Συστήματος και της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

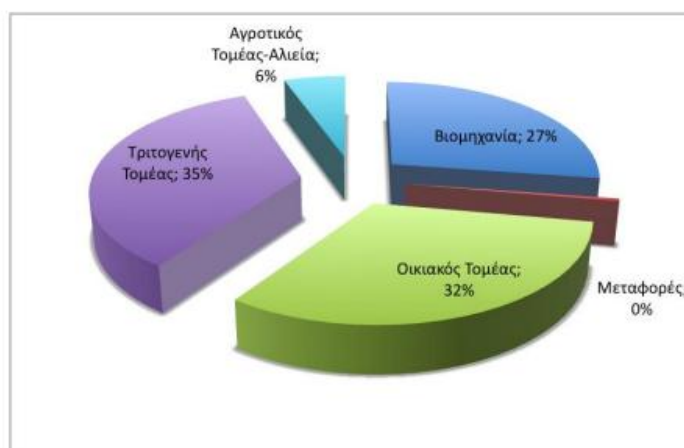
Το ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα χωρίζεται στο διασυνδεδεμένο σύστημα της ηπειρωτικής χώρας και το νησιωτικό σύστημα της Κρήτης, της Ρόδου και των Αυτόνομων Σταθμών Παραγωγής των νησιών. Χαρακτηριστικό του συστήματος είναι ότι, αν και το δυναμικό της χώρας είναι πλούσιο, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένες, οι ενδογενείς ενεργειακοί πόροι σε συνδυασμό με την ανησυχία για την εξασφάλιση της ασφάλειας εφοδιασμού οδηγούν στη διατήρηση σημαντικού μεριδίου του λιγνίτη στην ηλεκτροπαραγωγή και η χρήση πετρελαιοειδών στην ηλεκτροπαραγωγή δεν είναι εύκολο να μειωθεί λόγω τον νησιωτικού χαρακτήρα της χώρας.

Έτσι, το σύστημα βασίζεται στις θερμικές μονάδες, οι οποίες το 2008 έφταναν τα 10043 MW σε συνολική εγκατεστημένη ισχύ 14241 MW. Επιπρόσθετα, το σύστημα δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένο, με πολύ μεγάλο ποσοστό της εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος να βρίσκεται στη Βόρεια Ελλάδα, όπου υπάρχουν μεγάλα κοιτάσματα λιγνίτη, ενώ το μέγιστο της κατανάλωσης να είναι στην περιοχή της Αττικής.

Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα αυξήθηκε με γρήγορους ρυθμούς, κυρίως λόγω της αύξησης της ζήτησης από τον οικιακό και τον τριτογενή τομέα. Ειδικότερα, ο τριτογενής τομέα ήταν το 2008 ο μεγαλύτερος καταναλωτής ηλεκτρικής ενέργειας με 19.7

TWh ετήσια κατανάλωση. Πρόκειται για ποσοστιαία αύξηση της τάξης των 252% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, όταν η κατανάλωση του τριτογενή τομέα ήταν 5.6 TWh.

Ενώ, το 1990, η βιομηχανία ήταν ο μεγαλύτερος καταναλωτής με κατανάλωση 12.1 TWh, το 2008 έπεσε στην 3η θέση με κατανάλωση 15.5 TWh και ποσοστό αύξησης 28.1% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. Ο οικιακός τομέας έχει πλέον μεγαλύτερη αύξηση από το βιομηχανικό τομέα, αφού κατανάλωσε 18.1 TWh παρουσιάζοντας αύξηση 98.9% σε σύγκριση με το 1990, όταν κατανάλωσε 9.1 TWh.



Διάγραμμα 1: Κατανάλωση Ηλεκτρισμού ανά Τομέα, 2008

3.3 Εγχώριες Πηγές Καυσίμων

3.3.1 Λιγνίτης

Περνώντας στις εγχώριες πηγές ενέργειας, ο λιγνίτης είναι η μοναδική εγχώρια πηγή στερεών καυσίμων. Είναι ένα καύσιμο χαμηλής θερμογόνου δύναμης, η οποία κυμαίνεται από 900-2000 kcal/kg με μέση τιμή περίπου 1300 kcal/kg, το οποίο χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Ενδεικτικό είναι το γεγονός ότι το 2008 οι λιγνιτικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής παρήγαγαν 33356 GWh (2869ktoe), ηλεκτρισμός που αντιστοιχεί στο 53% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής και στο 58% της ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα. Μόνο μικρές ποσότητες λιγνίτη χρησιμοποιούνται ως καύσιμο σε μεταλλουργίες, για θέρμανση κατοικιών και για βελτιωτικό εδάφους ορισμένων καλλιεργειών. Λιγνιτικά κοιτάσματα υπάρχουν κυρίως στη Δυτική Μακεδονία, στις περιοχές των Αμυνταίου, της Πτολεμαΐδας και της Φλώρινας, και στην Πελοπόννησο, στην περιοχή της Μεγαλόπολης.

Ο λιγνίτης θα συνεχίσει να είναι το εθνικό καύσιμο της Ελλάδας για ηλεκτροπαραγωγή αλλά σταδιακά το ποσοστό συμμετοχής του θα περιορίζεται, αφού η ενσωμάτωση του κόστους από το εμπόριο ρύπων και η διαμόρφωση των διεθνών τιμών του φυσικού αερίου θα επηρεάσουν το μέλλον των λιγνιτικών ατμοηλεκτρικών σταθμών της χώρας.

3.3.2 Προϊόντα πετρελαίου

Όσο αφορά τα προϊόντα πετρελαίου, στην Ελλάδα υπάρχουν τέσσερα διυλιστήρια (Πίνακας 4) τα οποία έχουν αρκετή ικανότητα διύλισης για να καλύψουν την εγχώρια ζήτηση, ενώ οι επιπλέον ποσότητες εξάγονται. Το αργά πετρέλαιο, ωστόσο, είναι σχεδόν αποκλειστικά εισαγόμενο, κυρίως από τη Μέση Ανατολή και δευτερευόντως από χώρες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης, ενώ ένα μικρό κοίτασμα πετρελαίου στη Βόρεια Ελλάδα καλύπτει λιγότερο από το 1% της ζήτησης πετρελαιοειδών. Στο ελληνικό ενεργειακό ισοζύγιο το ποσοστό των πετρελαιοειδών είναι πολύ υψηλό λόγω της μεγάλης χρήσης τους στις μεταφορές αλλά και στο γεγονός ότι τα ηλεκτροπαραγωγικά συστήματα στα μη διασυνδεδεμένα νησιά έχουν ως κύριο καύσιμο πετρελαϊκά προϊόντα. Έτσι, το 2008, τα πετρελαϊκά προϊόντα κάλυψαν το 65.5% της τελικής κατανάλωσης, κατανάλωση βασικά στις μεταφορές, το 16% της συνολικής και το 18% της συμβατικής ηλεκτροπαραγωγής με 9990 GWh (859 ktoe).

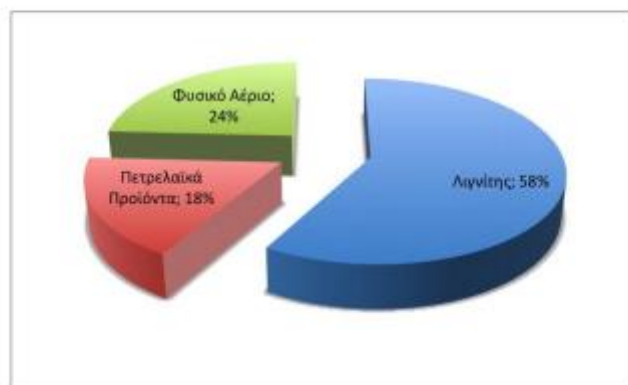
Ιδιοκτήτης	ΕΛΠΕ	ΕΛΠΕ	ΕΛΠΕ	Motor Oil Hellas
Όνομασία	Διυλιστήριο Ασπρόπυργου	Διυλιστήριο Θεσσαλονίκης	Διυλιστήριο Ελευσίνας	Motor Oil Hellas
Τοποθεσία	Ασπρόπυργος	Θεσσαλονίκη	Ελευσίνα	Άγιοι Θεόδωροι
Ικανότητα:				
mt/year	6.7	3.45	5.0	4.5
bbl/d	135	75	100	100
Είδος Διυλιστηρίου-Διεργασίες	Διύλιση αργού, Απόσταξη κενού, Καταλυτική Αναμόρφωση, Ισομερισμός Ελαφράς Νάφθας, Ιξωδόλυση, Μονάδα Αποθείωσης Πετρελαίου, Μονάδα αποθείωσης VGO	Διύλιση αργού, Απόσταξη κενού, Καταλυτική Αναμόρφωση, Ισομερισμός Ελαφράς Νάφθας, Μονάδα Αποθείωσης Πετρελαίου	Διύλιση αργού, Μονάδα Αποθείωσης Πετρελαίου	Καταλυτική και θερμική μετατροπή, Ισομερισμός, MTBE Παραγωγή ενώσεων υψηλού αριθμού οκτανίων, Ατμοσφαιρική απόσταξη Μονάδα Αποθείωσης Πετρελαίου
Έτος Κατασκευής	1958	1966	1972	1972

Πίνακας 4: Τα τέσσερα Ελληνικά Διυλιστήρια

3.3.3 Φυσικό αέριο

Το φυσικό αέριο, το οποίο εισήχθη στην αγορά για πρώτη φορά το 1996, παρουσιάζει μια σταθερή, δυναμική ανάπτυξη στην Ελλάδα. Ενδεικτικό είναι ότι το 2008 κάλυψε περίπου το 22% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής και το 24% της συμβατικής, αφού 13797 GWh προήλθαν από φυσικό αέριο. Το φυσικό αέριο στην Ελλάδα, εισάγεται κυρίως από τη

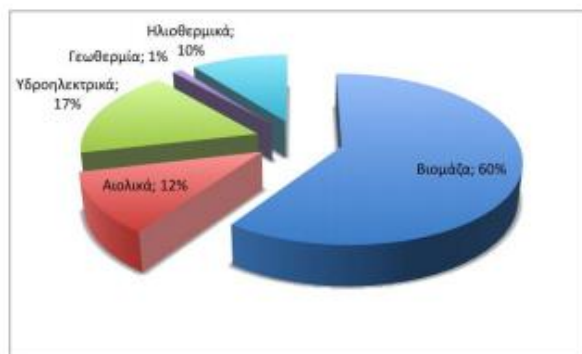
Ρωσία μέσω αγωγών μεταφοράς και σε μικρότερες ποσότητες εισάγεται από την Τουρκία και υγροποιημένο από την Αλγερία. Η ασφάλεια εφοδιασμού εξασφαλίζεται επί τον παρόντος με μακροχρόνια συμβόλαια της Δημόσιας Επιχείρησης Αερίου με τη Ρωσία, με την Τουρκία και με την Αλγερία.



Διάγραμμα 2: Κατανομή Ηλεκτροπαραγωγής από Συμβατικά Καύσιμα 2008

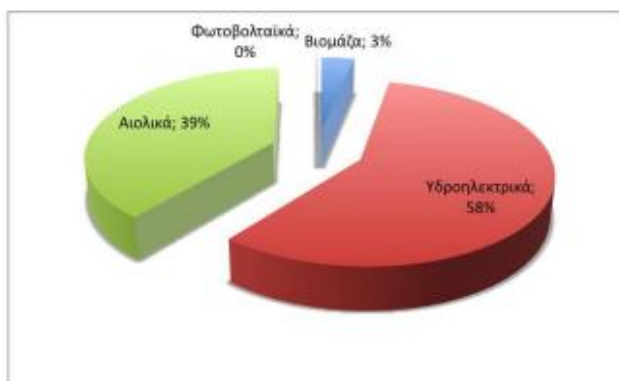
3.3.4 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με εξαίρεση τα μεγάλα υδροηλεκτρικά, άρχισαν να αποτελούν αξιοσημείωτη πηγή ενέργειας στα τέλη της δεκαετίας τον 1990. Η συνεισφορά τους, συμπεριλαμβανομένων των μεγάλων υδροηλεκτρικών, στο εθνικό ενεργειακό ισοζύγιο ήταν της τάξης τον 5.4%, το 2008, σε επίπεδο ακαθάριστης κατανάλωσης ενέργειας στη χώρα και της τάξης του 16.8% σε επίπεδο εγχώριας παραγωγής πρωτογενούς ενέργειας. Η παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας από ΑΠΕ το 2008 ήταν 1658 ktoe, και εξ αυτών, 990 ktoe (59.7%) προήλθαν από βιομάζα, η οποία χρησιμοποιήθηκε στα νοικοκυριά, στη βιομηχανία αλλά και στην ηλεκτροπαραγωγή, 285 ktoe (17.2%) από την παραγωγή των υδροηλεκτρικών, 193 ktoe (11.7%) από την παραγωγή των αιολικών, 173 ktoe (10.4%) των θερμικών ηλιακών συστημάτων και 17 ktoe (1%) από τη γεωθερμία.



Διάγραμμα 3: Πρωτογενής Παραγωγή Ενέργειας ανά Είδος ΑΠΕ 2008

Η ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ ήταν 9% της ακαθάριστης εγχώριας ηλεκτροπαραγωγής του 2008, δηλαδή 5744 GWh (494 ktoe), και αφορά κυρίως την παραγωγή από αιολικά και υδροηλεκτρικά, ενώ σε μικρότερο βαθμό συμμετέχουν η βιομάζα και τα φωτοβολταϊκά. Στο Διάγραμμα 4, η παραγωγή από φωτοβολταϊκά φαίνεται να είναι 0%, γιατί από φωτοβολταϊκά παρήχθησαν 5 GWh (0.43 ktoe), και έτσι το ποσοστό τους στην ηλεκτροπαραγωγή από ανανεώσιμες πηγές τείνει στο μηδέν.



Διάγραμμα 4: Κατανομή Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ 2008

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ήταν κατά το 2008 1232 MW, τα οποία κατανέμονται σε 1022 MW αιολικά, 158 MW μικρά υδροηλεκτρικά, δηλαδή εγκατεστημένη ισχύς μικρότερη των 10 MW, 2319 MW μεγάλα υδροηλεκτρικά, ισχύς μεγαλύτερη από 10 MW, 40 MW βιομάζα και μόλις 12 MW φωτοβολταϊκά.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ήταν κατά το 2008 1232 MW, τα οποία κατανέμονται σε 1022 MW αιολικά, 158 MW μικρά υδροηλεκτρικά, δηλαδή εγκατεστημένη ισχύς μικρότερη των 10 MW, 2319 MW μεγάλα υδροηλεκτρικά, ισχύς μεγαλύτερη από 10 MW, 40 MW βιομάζα και μόλις 12 MW φωτοβολταϊκά.

3.4 Διασυνδεδεμένα συστήματα Ελλάδας με άλλες χώρες

Εν συνεχεία, από τον Οκτώβριο του 2004, το ελληνικό σύστημα είναι διασυνδεδεμένο με τα συστήματα της Αλβανίας, της Βουλγαρίας και της ΠΓΔΜ μέσω γραμμών μεταφοράς 400 και 150 kV και έτσι επιτυγχάνεται η παράλληλη και σύγχρονη λειτουργία του με το σύγχρονο διασυνδεδεμένο σύστημα του ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity). Επιπρόσθετα, το ελληνικό σύστημα συνδέεται ασύγχρονα, μέσω υποβρύχιο καλωδίου συνεχούς ρεύματος, με την Ιταλία. Όλες οι προηγούμενες, καθώς και οι υπό κατασκευή, οι προγραμματισμένες και οι υπό μελέτη διασυνδέσεις, φαίνονται ακολούθως (Εικόνα 10). Μέσω των διασυνδέσεων, το 2008, η Ελλάδα εξήγαγε 1965 GWh (169 ktoe), ενώ εισήγαγε 7570 GWh (651 ktoe).



Εικόνα 10: Σχηματικό Διάγραμμα των Διασυνδεδεμένων Συστημάτων της Βαλκανικής

Οι υπάρχουσες, καθώς και οι προγραμματισμένες διασυνδέσεις της Ελλάδας και της ευρύτερης περιοχής της νοτιοανατολικής Ευρώπης βελτιώνουν την επάρκεια του συστήματος και βοηθούν στην ολοκλήρωση των αγορών.

Δεδομένου ότι το ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας θεωρείται ρυπογόνο, σημειώνεται ότι η ανθρακική ένταση της χώρας το 2008 ήταν 3860 tCO₂/ktoe, μη αποδοτικό, εξαρτημένο από πεπερασμένους πόρους και ελλειμματικό, γίνονται προσπάθειες ώστε να μετατραπεί σε ένα σύστημα μειωμένων εκπομπών. Για να είναι επιτυχής μια τέτοια μετάβαση, είναι απαραίτητες νέες τεχνολογίες, ένα διαφορετικό ενεργειακό μείγμα και η βελτίωση της

ενεργειακής απόδοσης. Η δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα, ενδεχομένως η πυρηνική ενέργεια, η τεχνολογία υδρογόνου, η αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ, οι υποκαταστάσεις μεταξύ των ορυκτών καυσίμων, ώστε να χρησιμοποιούνται καύσιμα με μικρότερους συντελεστές εκπομπών, καθώς και η μείωση του όγκου της ενέργειας που χρειάζεται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών είναι όλα μέτρα που θα μπορούσαν να βελτιώσουν τα χαρακτηριστικά του συστήματος.

3.5 Η εφαρμογή του Πρωτοκόλλου του Κιότο στην Ελλάδα

Η Ελλάδα υπέγραψε το Πρωτόκολλο τον Απρίλιο του 1998, παράλληλα με τα υπόλοιπα Κράτη-Μέλη της Ε.Ε. και την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Όλα τα Κ-Μ της ΕΕ κύρωσαν το Πρωτόκολλο το Μάιο 2002. Η Ελλάδα το κύρωσε με το Νόμο 3017/2002 (ΦΕΚ Α'117). Σύμφωνα με το Πρωτόκολλο, η ΕΕ και τα Κ-Μ της είχαν υποχρέωση μείωσης των εκπομπών κατά 8% κατά τη περίοδο 2008-2012 σε σύγκριση με τις εκπομπές του έτους βάσης (1990). Βάσει του άρθρου 4 του Πρωτοκόλλου που επιτρέπει την από κοινού ανταπόκριση στις υποχρεώσεις που αναλαμβάνονται από το Πρωτόκολλο, στο Συμβούλιο Υπουργών Περιβάλλοντος της Ε.Ε. της 4ης Μαρτίου 2002, επετεύχθη συμφωνία σε απόφαση του Συμβουλίου για την "έγκριση εξ ονόματος της Ευρωπαϊκής Κοινότητας του Πρωτοκόλλου του Κιότο της Σύμβασης Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος και την από κοινού ανταπόκριση στις αντιστοίχως αναλαμβανόμενες υποχρεώσεις". Η απόφαση αυτή κοινοποιήθηκε στη Γραμματεία της Σύμβασης στη Βόννη, την ίδια μέρα που έγινε η κατάθεση των πράξεων κύρωσης του Πρωτοκόλλου στο θεματοφύλακα (Νέα Υόρκη).

Η Ελλάδα σύμφωνα με την απόφαση αυτή, δεσμεύεται να περιορίσει την αύξηση των εκπομπών της στο +25% για το διάστημα 2008-2012, προκειμένου να συνεισφέρει στο κοινό στόχο της ΕΕ για 8% μείωση των εκπομπών της για το αυτό διάστημα. Για να ανταποκριθεί στη δέσμευσή της αυτή, η χώρα μας εκπόνησε το Εθνικό Πρόγραμμα μείωσης εκπομπών αερίων φαινομένου θερμοκηπίου για την περίοδο 2000-2010.

Παράλληλα με το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών, λειτουργεί και ο μηχανισμός των εμπορεύσιμων πράσινων πιστοποιητικών (Tradable Green Certificates—TGC). Η Οδηγία 2001/77/ΕΚ προβλέπει την έκδοση "εγγύησης προέλευσης" της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. [Επίσημη Εφημερίδα L 123, 17/05/2003]. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο έχει διαμορφωθεί ένα σχήμα πιστοποίησης της ανανεώσιμης ενέργειας, το Σύστημα Πιστοποίησης Ανανεώσιμης Ενέργειας (Renewable Energy Certificate System — RECs). Το σχήμα περιλαμβάνει τρία στάδια: α) Έκδοση πιστοποιητικού (ένα πιστοποιητικό ανά χίλιες πράσινες κιλοβατώρες), β) μεταβίβαση - εμπορία και γ) εξαγορά - ακύρωση πιστοποιητικού.

Στην Ελλάδα, με το νομοσχέδιο για τις Α.Π.Ε., προσδιορίζεται ο τρόπος έκδοσης πιστοποιητικών ανανεώσιμης ενέργειας. Τα πιστοποιητικά αυτά, που κάποιος μπορεί να τα αποκτήσει είτε παράγοντας πράσινη ενέργεια (έκδοση) είτε αγοράζοντας τα (μεταβίβαση-εμπορία), μπορεί να χρησιμοποιηθούν π.χ. για την κάλυψη μιας υποχρέωσης ενός συγκεκριμένου ποσοστού πράσινης ενέργειας ή για την πώληση πράσινης ενέργειας σε επιλεγέντες πελάτες ή για φορολογικούς λόγους (εξαγορά-ακύρωση). Ο μηχανισμός εμπορεύσιμων πράσινων πιστοποιητικών αποτελεί ένα εργαλείο μείωσης του κόστους ηλεκτροπαραγωγής των ΑΠΕ σε σχέση με τις φθηνότερες συμβατικές μονάδες. Ένας άλλος τρόπος πριμοδότησης της “πράσινης” ενέργειας είναι μέσω της υποχρέωσης των συμβατικών παραγωγών ενέργειας να αγοράζουν ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ, πληρώνοντας ελάχιστους δασμούς (feed-in-tarifs) ανάλογα με την τεχνολογία παραγωγής ΑΠΕ. Οι δασμοί αυτοί υπερβαίνουν τα μακροπρόθεσμα οριακά κόστη ηλεκτροπαραγωγής και καθορίζονται από τις ρυθμιστικές αρχές. Ο νέος νόμος για τις ΑΠΕ στην Ελλάδα, που βρίσκεται σε δημόσια διαβούλευση, περιλαμβάνει τη λογική feed-in-tarifs στην τιμολόγηση της “πράσινης” ενέργειας, όπου η ΔΕΗ Α.Ε. υποχρεούται να αγοράζει την πράσινη ενέργεια.

3.6 Χαρτογράφηση ηλεκτροπαραγωγικών δυνατοτήτων της Ελλάδας

Η Ελλάδα έχει αξιόλογο αιολικό και ηλιακό δυναμικό, το οποίο ήδη προσελκύει επενδυτικό ενδιαφέρον, ενώ πολλά υποσχόμενο είναι και το δυναμικό της χώρας σε βιομάζα και γεωθερμία, το οποίο, ωστόσο, ακόμα παραμένει ανεκμετάλλευτο. Τα υδροηλεκτρικά έργα, αν και είναι ελκυστικά, έχουν περιορισμένα, είτε φυσικά, είτε γεωγραφικά, περιθώρια ανάπτυξης.

Προκειμένου να προωθηθούν περαιτέρω και να επιτευχθεί μεγαλύτερη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή θα πρέπει να εφαρμοστούν συντονισμένες μεταρρυθμίσεις σε οικονομικό, νομικό και τεχνικό επίπεδο, οι οποίες θα στοχεύουν στην οικονομική εκμετάλλευση του δυναμικού ανανεώσιμων πηγών στη χώρα. Έτσι, θα μπορέσουν να αναπτυχθούν μεγάλες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, θα ολοκληρωθούν οι αναγκαίες αναβαθμίσεις στο δίκτυο, θα δημιουργηθεί η υποδομή για τη διανεμημένη παραγωγή και θα μπορέσουν σταδιακά να αποψιλωθούν οι παλιές και μη αποδοτικές θερμικές μονάδες παραγωγής.

Για να επιτύχει η προώθηση των ΑΠΕ, δεν θα πρέπει να αγνοηθούν τα εμπόδια στις επενδύσεις τους. Έτσι, θα πρέπει να ξεπεραστούν καταστάσεις που καθιστούν δύσκολη την αύξηση στην προσφορά ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως η μεγάλη αντίδραση των τοπικών κοινωνιών, η πολύπλοκη γραφειοκρατία και τα χρονοβόρα πλαίσια για την αδειοδοτική διαδικασία.

Δεν θα πρέπει, επιπρόσθετα, να παραβλέπεται το γεγονός ότι η Ελλάδα αποτελείται από πολλά μεγαλύτερα και μικρότερα νησιά, τα οποία δεν είναι διασυνδεδεμένα με το ηπειρωτικό σύστημα και διαθέτουν αυτόνομα, ασθενή δίκτυα, τα οποία δεν είναι σε θέση να απορροφήσουν μεγάλο μέρος της πιθανής ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ. Συνεπώς, όσο

αφορά το διασυνδεδεμένο σύστημα, θα πρέπει, εκτός από τις επενδύσεις που θα παρουσιαστούν παρακάτω, να αναπτυχθούν έξυπνα δίκτυα σε συνδυασμό με την εποπτεία και τον έλεγχο τους, ώστε να μειωθούν οι απώλειες δικτύου και να βελτιωθεί η διαχείριση της ζήτησης.

Σχετικά με τα μη διασυνδεδεμένα νησιά, η πρώτη προτεραιότητα είναι η σταδιακή διασύνδεσή τους με το ηπειρωτικό σύστημα, ώστε να μπορέσουν να αποψιλωθούν οι τοπικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρισμού, οι οποίες λειτουργούν κυρίως με πετρέλαιο. Με τη διασύνδεση των νησιών, θα είναι δυνατή η δημιουργία μεγάλων μονάδων ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, μιας και σε αρκετά νησιά υπάρχει υψηλό αιολικό, ηλιακό και γεωθερμικό δυναμικό, και το πλεόνασμα σε ηλεκτρική ενέργεια θα μπορεί να διοχετευθεί στο ηπειρωτικό σύστημα. Σε νησιά, όμως, όπου η σύνδεση είναι πολύ δύσκολη ή πολύ ακριβή θα πρέπει να γίνει σχεδιασμός ενεργειακά αυτόνομων συστημάτων με υψηλή διείσδυση ΑΠΕ και σε συνδυασμό με υβριδικά συστήματα.

Επίσης, θα πρέπει να δρομολογηθεί άμεσα ο σχεδιασμός και η δυνατότητα χρήσης της παράκτιας ζώνης και της θάλασσας για την εγκατάσταση αιολικών πάρκων. Τελικά, η περαιτέρω ανάπτυξη νέων εφαρμογών έργων ΑΠΕ και η αναμενόμενη ολοκλήρωση έργων υποδομής δικτύων αναμένεται να συνεισφέρει επιπρόσθετα στην επίτευξη του επιθυμητού εθνικού στόχου.

Η δέσμευση και αποθήκευση του διοξειδίου του άνθρακα, σε συνδυασμό με άλλες πρακτικές περιορισμού, οι οποίες έχουν ήδη αναφερθεί, όπως η αλλαγή του μείγματος καυσίμων, η ενεργειακή αποδοτικότητα και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, παρέχει τη δυνατότητα για μεγάλο περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Κάθε πρόγραμμα για δέσμευση και αποθήκευση περιλαμβάνει τρία διακριτά στάδια, τη δέσμευση από την πηγή εκπομπής, τη συμπίεση και μεταφορά του και τελικά την έγχυση του CO₂ στους ταμιευτήρες στην τοποθεσία αποθήκευσης. Ωστόσο, προκειμένου να μπορεί να γίνει αξιολόγηση της συμβολής της τεχνολογίας CCS στη μείωση των εκπομπών παγκοσμίως θα πρέπει να γίνει αποτίμηση της γεωγραφικής κατανομής των εκπομπών και των ταμιευτήρων αποθήκευσης.

3.7 Η τεχνολογία δέσμευσης και Αποθήκευσης του Διοξειδίου του Άνθρακα στην Ελλάδα

Η συζήτηση για το αν το CCS είναι μια τεχνολογία η οποία μπορεί να συμβάλλει στην επίτευξη του στόχου της Ελλάδας για μείωση των εκπομπών της ολοένα εντείνεται. Εξαιτίας της αυξανόμενης προβολής του CCS ως ένα εργαλείο για το μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς προσεγγίζουν το ζήτημα με ιδιαίτερα κριτική ματιά.

Αφ' ενός, από τη μεριά της κυβέρνησης, το Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής δεν έχει παρουσιάσει κάποια ξεκάθαρη πολιτική σχετικά με την εφαρμογή του CCS στην Ελλάδα. Αν και το Υπουργείο θα έπρεπε να εφαρμόσει την Οδηγία 2009/31/ΕΚ σχετικά με την Αποθήκευση του Διοξειδίου τον Άνθρακα σε Γεωλογικούς Σχηματισμούς μέχρι τις 25 Ιουνίου 2011, δεν έχει παρουσιάσει ακόμα το νομικό πλαίσιο με

το οποίο θα ενσωματώσει την οδηγία. Ως αποτέλεσμα, παραμένει αμφίβολο εάν η Ελλάδα θα επιτρέψει την αποθήκευση CO₂.

Από τη μεριά της ελληνικής βιομηχανίας, ιδιωτικές εταιρίες έχουν εκφράσει ενδιαφέρον για το CCS, ωστόσο αυτό το ενδιαφέρον δεν έχει καταλήξει ακόμη σε ένα ολοκληρωμένο εγχείρημα. Η ΔΕΗ Α.Ε., η οποία αυτή τη στιγμή λειτουργεί τις περισσότερες μονάδες που έχουν αυξημένες εκπομπές, έχει μια διφορούμενη στάση σχετικά με την εφαρμογή του CO₂ και ενώ ακολουθεί όλες τις τεχνολογικές εξελίξεις, δεν έχει εκδώσει κανένα σχέδιο που να σχετίζεται με την εγκατάσταση της τεχνολογίας σε καμία από τις τωρινές είτε τις μελλοντικές μονάδες της.

Οι περιβαλλοντικές μη κυβερνητικές οργανώσεις στην Ελλάδα γενικά διατηρούν μια ξεκάθαρα αρνητική ή σκεπτικιστική στάση απέναντι στο ζήτημα. Έτσι, το CCS θεωρείται επικίνδυνο, ακριβό και περιττό εργαλείο, το οποίο, σύμφωνα με αυτές τις οργανώσεις, εξυπηρετεί τα συμφέροντα των πετρελαϊκών εταιριών που δεν θέλουν να αλλάξει το ενεργειακό μείγμα. Τα πιο ήπια επιχειρήματα αναφέρουν ότι το CCS είναι μια τεχνολογία η οποία δεν έχει δοκιμαστεί και κατά συνέπεια δεν έχει αποδειχθεί το κατά πόσο είναι φιλική προς το περιβάλλον.

Τέλος, υπάρχουν ερευνητικά κέντρα στην Ελλάδα που φαίνεται να ενδιαφέρονται για τις προοπτικές αυτής της νέας τεχνολογίας, αφού οργανισμοί όπως το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών και το Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης εκπονούν σχετικές μελέτες για την εφαρμογή του CCS στη χώρα.

4

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

4.1 Πρόβλεψη Παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας μέχρι το 2030 με το μοντέλο ARIMA

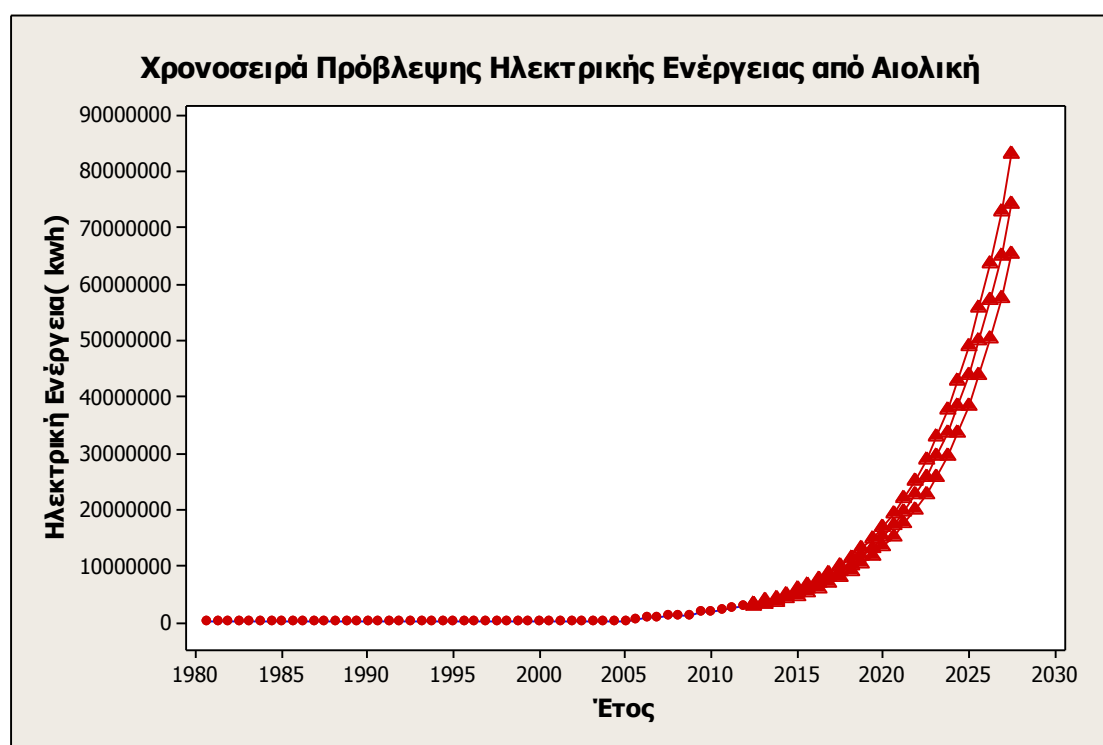
Η πρόβλεψη των χρονοσειρών για την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια έγινε με το στατιστικό εργαλείο Minitab μέσω του μοντέλου ARIMA(1,1,0). Στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν λαμβάνεται σταθερός όρος για το μοντέλο σε καμία πρόβλεψη.

Τα μοντέλα τύπου ARMA (που συμπεριλαμβάνουν τα AR και MA) είναι κατάλληλα για στάσιμες χρονοσειρές. Όταν η χρονοσειρά δεν είναι στάσιμη μπορούμε να γίνει στάσιμη και να εφαρμοσθούν τα μοντέλα τύπου ARMA. Γενικότερα απαλείφεται η τάση μιας χρονοσειράς παίρνοντας τις πρώτες διαφορές. Στη γενική περίπτωση οι πρώτες διαφορές δίνουν μια στάσιμη χρονοσειρά $\{x_t\}_{t=1..n}$ με συσχετίσεις που μπορούν να περιγραφτούν από μοντέλα τύπου ARMA(p,q). Αν η $\{x_t\}_{t=1..n}$ που προκύπτει από τις πρώτες διαφορές δεν είναι στάσιμη, επαναλαμβάνουμε το μετασχηματισμό των πρώτων διαφορών στη $\{x_t\}_{t=1..n}$ μέχρι να προκύψει στάσιμη χρονοσειρά.

Ο συνδυασμός μετασχηματισμού πρώτων διαφορών σε μια μη-στάσιμη χρονοσειρά $\{y_t\}_{t=0..n}$ και μοντέλου ARMA στην $\{x_t\}_{t=1..n}$ είναι το μοντέλο ARIMA. Επιτρέποντας d επαναλήψεις των πρώτων διαφορών για στάσιμη χρονοσειρά και να προσαρμοστεί κάποιο ARMA(p,q) μοντέλο, τα μοντέλα ARIMA συμβολίζονται ως ARIMA(p,d,q). Τα μοντέλα αυτά λέγονται και Box-Jenkins

Το γενικό πολλαπλασιαστικό μοντέλο ARIMA(p,d,q) εξαρτάται από τις παραμέτρους p,d,q όπου p η τάξη του μη - εποχικού αυτοπαλινδρομούμενου μέρους του μοντέλου, q η τάξη του μη - εποχικού κινούμενου μέσου του μοντέλου, d η τάξη των λαμβανομένων διαφορών.

4.1.1 Δεδομένα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αιολική ενέργεια μέχρι το 2030



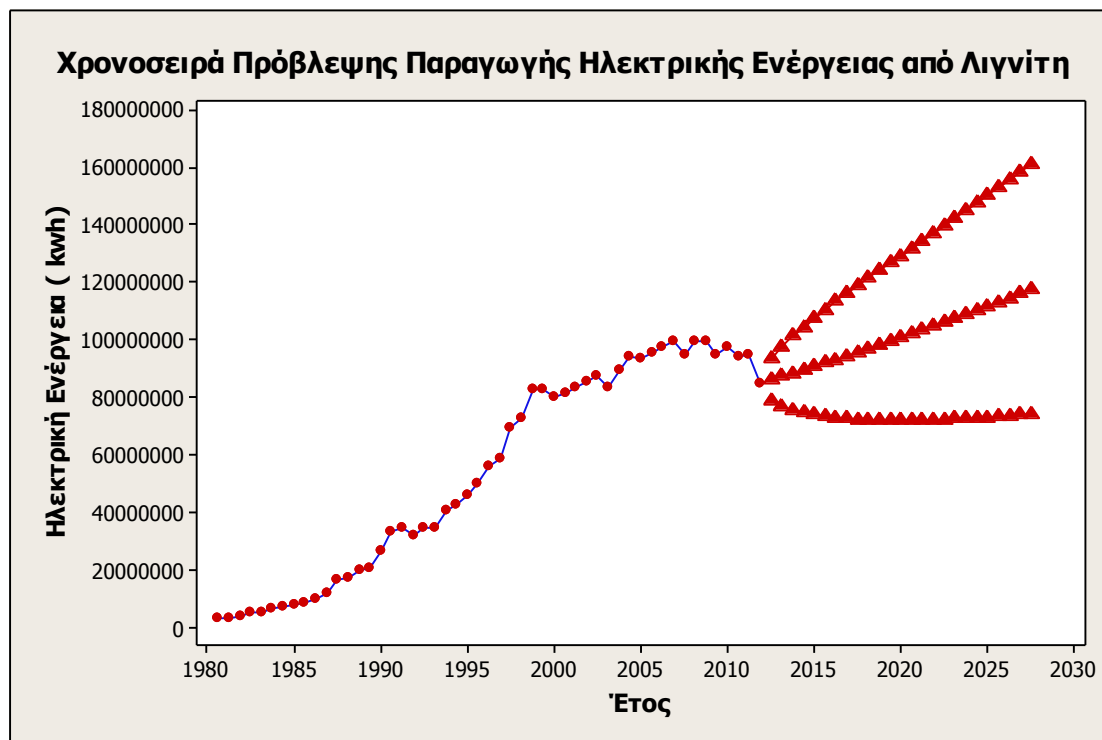
Διάγραμμα 5: Χρονοσειρά Πρόβλεψης Ηλεκτρικής Ενέργειας από Αιολικά με δεδομένα από το 1980-2012 [ΕΙΑ] και πρόβλεψη μέχρι το 2030 μέσω του μοντέλου ARIMA του στατιστικού εργαλείου Minitab. Οι τρεις καμπύλες παριστάνουν την μέγιστη, την μεσαία και την ελάχιστη πρόβλεψη των δεδομένων. Η αρχή των αξόνων δεν παριστάνει μηδενική παραγωγή αλλά πολύ μικρότερης τάξης συγκριτικά με το 10^7 που είναι το πρώτο στοιχείο στον άξονα της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η προεκβολή των τριών καμπυλών παριστάνει την μέγιστη, την μέση και την ελάχιστη εξέλιξη των δεδομένων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αιολική παραγωγή.

Στο διάγραμμα φαίνεται ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολική ενέργεια έκανε την εμφάνισή της στην Ελλάδα το 1990 με πολύ μικρό ρυθμό μέχρι το 2005, όπου τα ποσά παραγωγής άρχισαν να συμμετέχουν αποτελεσματικά στο σύνολο των αναγκών. Η αύξηση το 2010 έφτασε το 50%. Δηλαδή μέσα σε 5 χρόνια η ανάπτυξη των αιολικών πάρκων, στον Ελλαδικό χώρο ήταν ραγδαία.

Η πρόβλεψη των δεδομένων και στις τρεις περιπτώσεις μέχρι το 2030, καταδεικνύουν ότι το μερίδιο της αιολικής ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος έχει αύξουσα πορεία με υψηλό ρυθμό, διότι η κλίση της καμπύλης είναι απότομη.

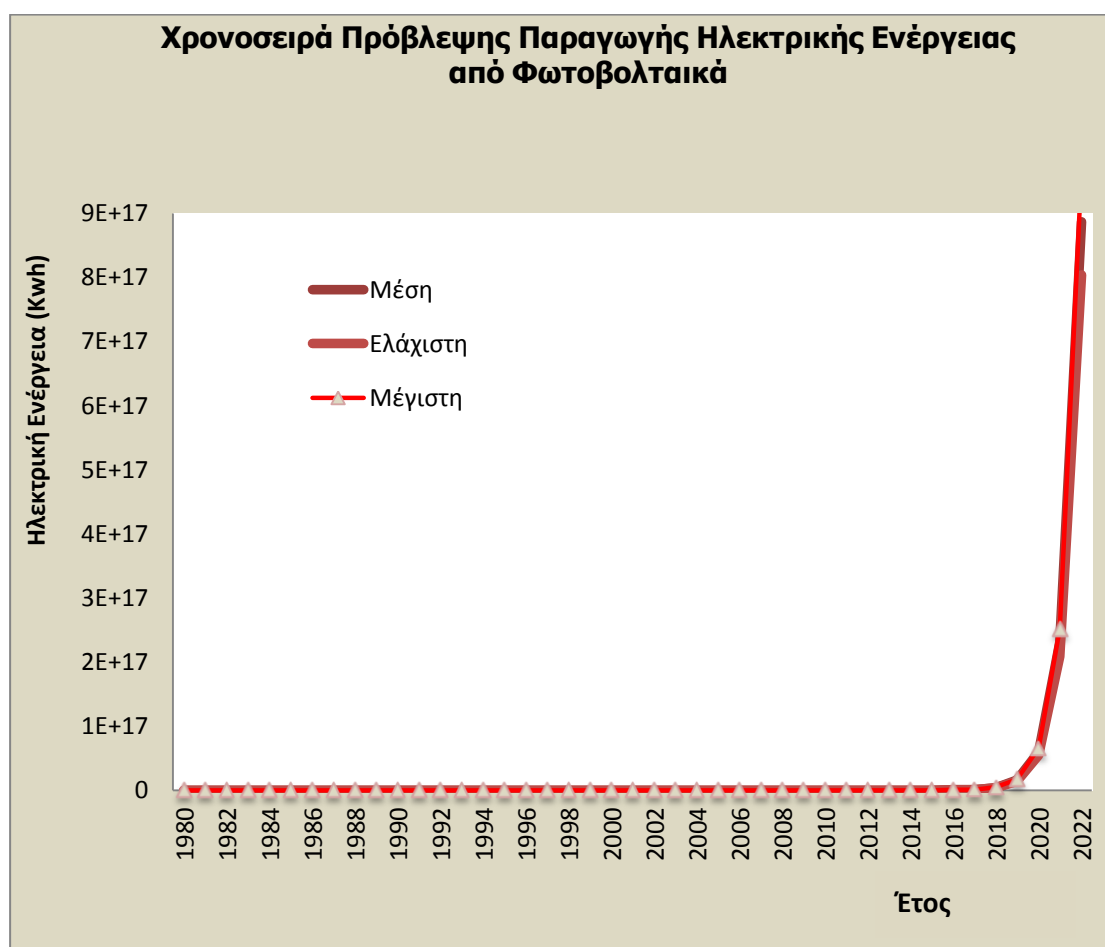
4.1.2 Δεδομένα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη με CCS μέχρι το 2030



Διάγραμμα 6: Χρονοσειρά Πρόβλεψης Ηλεκτρικής Ενέργειας από Λιγνίτη με δεδομένα από το 1980-2012[EIA] και πρόβλεψη μέχρι το 2030 μέσω του μοντέλου ARIMA του προγραμματιστικού εργαλείου Minitab. Οι τρεις καμπύλες παριστάνουν την μέγιστη, την μεσαία και την ελάχιστη πρόβλεψη των δεδομένων. Η αρχή των αξόνων δεν παριστάνει μηδενική παραγωγή αλλά πολύ μικρότερης τάξης συγκριτικά με την τάξη 10^7 που είναι το πρώτο στοιχείο στον άξονα της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η κύρια πηγή παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος στην Ελλάδα είναι από την καύση λιγνίτη. Από το 1960 μέχρι το 2010 η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος ήταν 26 φορές μεγαλύτερη, δηλαδή αυξήθηκε σε ποσοστό 2500%! Ενώ από το 1990 μέχρι το 2010 η αύξηση είναι μόλις 2%. Στην περίπτωση των μέγιστων τιμών η αύξηση της παραγωγής γίνεται με πολύ υψηλό ρυθμό μέχρι το 2030. Στο σενάριο των μέσων τιμών η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από λιγνίτη αυξάνεται αλλά βαθμιαία κατά 30% συγκριτικά με το 2010. Αντίθετα στην περίπτωση των ελάχιστων τιμών πρόβλεψης η παραγωγή εμφανίζει μείωση σε σχέση με το 2010.

4.1.3 Δεδομένα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά μέχρι το 2030

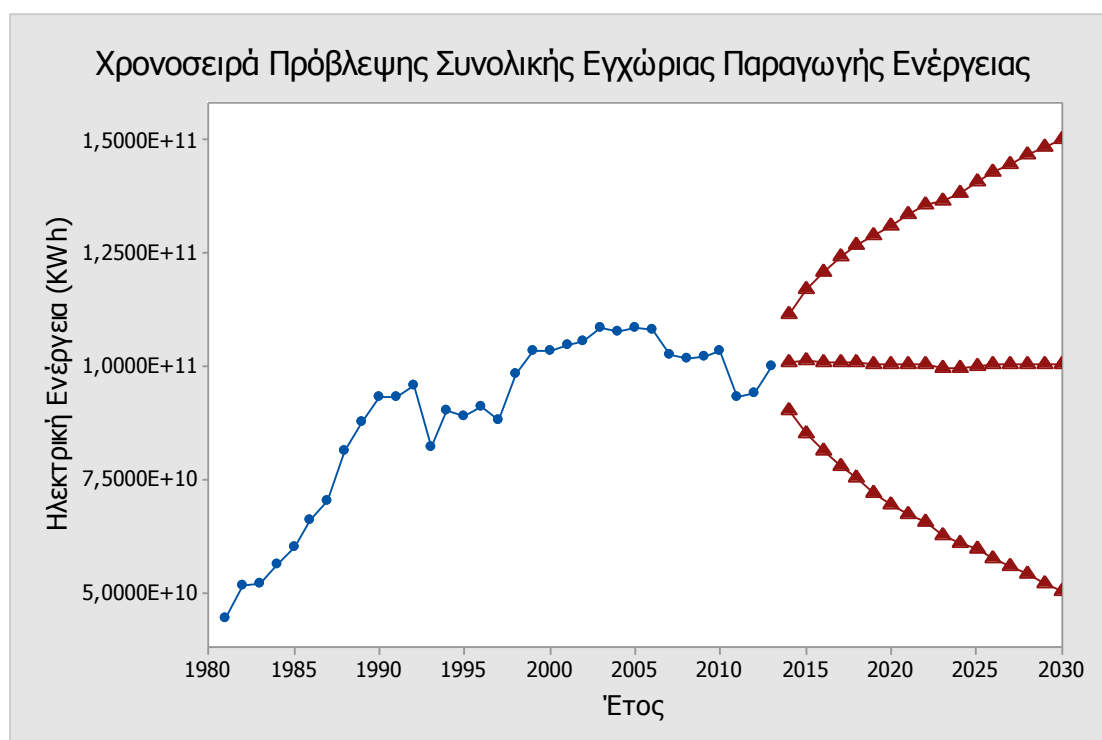


Διάγραμμα 7: Χρονοσειρά Πρόβλεψης Ηλεκτρικής Ενέργειας από Φωτοβολταϊκά με δεδομένα από το 1980-2012 [EIA] και πρόβλεψη μέχρι το 2030 μέσω του μοντέλου ARIMA του προγραμματιστικού εργαλείου Minitab. Οι τρεις καμπύλες παριστάνουν την μέγιστη, την μεσαία και την ελάχιστη πρόβλεψη των δεδομένων. Προς αποφυγήν παρανόησης μέχρι το 2018 η παραγωγή δεν είναι μηδενική αλλά πολύ μικρότερης τάξης συγκριτικά με το 10^{17} που είναι το πρώτο στοιχείο στον άξονα της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά ξεκίνησε στην Ελλάδα μόλις το 2004 [EIA] με παραγωγή 10^6 kWh_{el}. Όμως το 2012 η παραγωγή είχε φτάσει στις 10^{12} kWh_{el}. Τα ποσά αυτά απεικονίζονται στο διάγραμμα σαν μηδενικά διότι προβλέπεται ότι η τάξη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά θα φτάσει σχεδόν τις 10^{18} kWh_{el} και αποφεύγεται ο συνωστισμός των τιμών στον άξονα της ηλεκτρικής παραγωγής. Οι μέγιστες με τις ενδιάμεσες και τις ελάχιστες τιμές πρόβλεψης είναι πολύ κοντινές με αποτέλεσμα οι καμπύλες σχεδόν να ταυτίζονται.

Στην περίπτωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά, η πρόβλεψη των δεδομένων δεν μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστη αφού το μοντέλο ARIMA, παράγει την χρονοσειρά πρόβλεψης μόνο με 8 τιμές εισόδου.

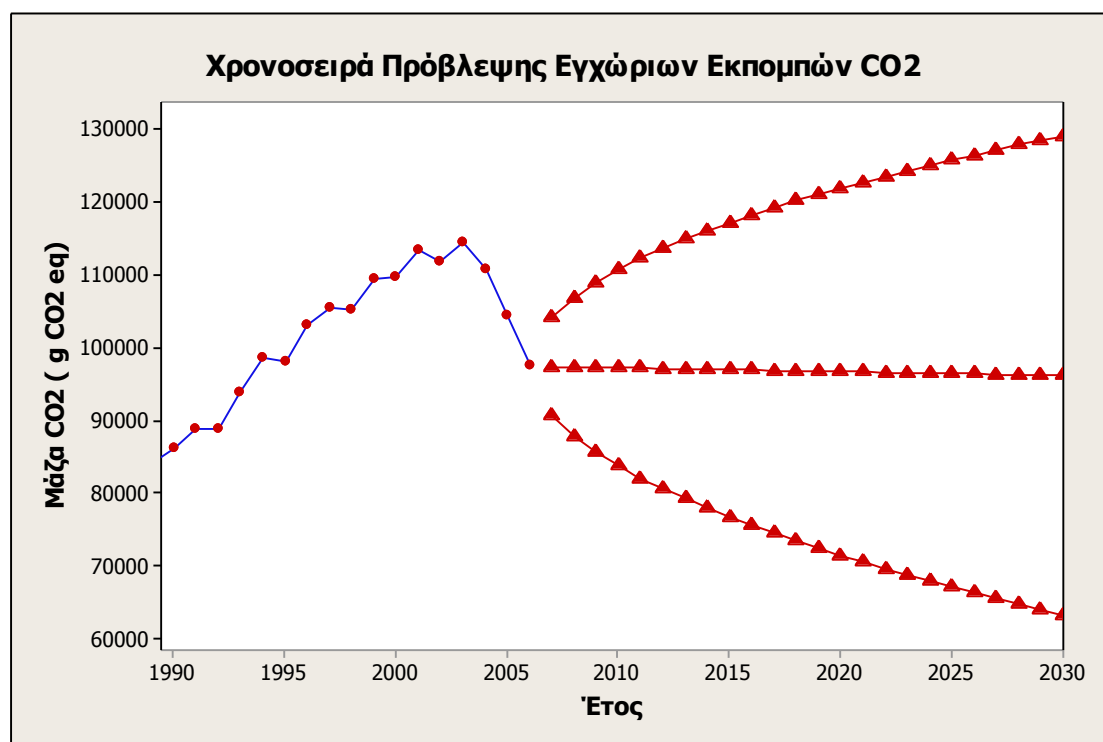
4.1.4 Δεδομένα παραγωγής συνολικής εγχώριας ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι το 2030



Διάγραμμα 8: Χρονοσειρά Πρόβλεψης Συνολικής Εγχώριας Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας με δεδομένα από το 1980-2012 [ΕΙΑ] και πρόβλεψη μέχρι το 2030 μέσω του μοντέλου ARIMA του προγραμματιστικού εργαλείου Minitab. Οι τρεις καμπύλες παριστάνουν την μέγιστη, την μεσαία και την ελάχιστη πρόβλεψη των δεδομένων.

Σύμφωνα με το μοντέλο πρόβλεψης η συνολική εγχώρια ηλεκτροπαραγωγή σταθεροποιείται από το 2015 μέχρι το 2030, στην περίπτωση των μέσων τιμών. Ενώ η καμπύλη των μέγιστων τιμών έχει αυξητική τάση, με τιμές που αποκλίνουν σημαντικά από την καμπύλη μεσαίων τιμών. Για την υλοποίηση ενός ρεαλιστικού σεναρίου βιώσιμης ανάπτυξης, λήφθηκαν υπόψη τα δεδομένα της καμπύλης μεσαίων τιμών.

4.2 Πρόβλεψη Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα μέχρι το 2030



Διάγραμμα 9: Χρονοσειρά Πρόβλεψης Συνολικής Εγχώριων Εκπομπών CO₂ με δεδομένα από το 1990-2010 [ΥΠΕΚΑ] και πρόβλεψη μέχρι το 2030 μέσω του μοντέλου ARIMA του προγραμματιστικού εργαλείου Minitab. Οι τρεις καμπύλες παριστάνουν την μέγιστη, την μεσαία και την ελάχιστη πρόβλεψη των δεδομένων.

Τα δεδομένα για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ξεκινάνε από το 1990 (έτος βάσης). Η Ελλάδα υπέγραψε το πρωτόκολλο του Κιότο το 1998. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είχαν αυξηθεί μέχρι τότε σχεδόν κατά 19%. Με το ΠτΚ η χώρα δεσμεύτηκε να μειώσει τις εκπομπές κατά 25% κατά τη περίοδο 2008-2012 σε σύγκριση με τις εκπομπές του έτους βάσης (1990), με σκοπό η ΕΕ να πετύχει συνολική μείωση 8%. Έτσι ενώ μέχρι το 2008 οι εκπομπές αυξάνονται κατά 33% συγκριτικά με το 1990, το 2009 αρχίζει και παρατηρείται μείωση με αποτέλεσμα η χώρα να μειώσει τις εκπομπές της σχεδόν 17% σε σχέση με τις εκπομπές του 1990, κατά την διάρκεια της περιόδου 2008-2012.

Η χώρα δεν πέτυχε το 25%, για το οποίο είχε δεσμευτεί για κοινωνικούς και οικονομικούς λόγους.

Η χρονοσειρά πρόβλεψης εγχώριων εκπομπών CO₂ που λαμβάνεται υπόψη είναι η καμπύλη των μεγίστων, με σκοπό το σενάριο βιώσιμης ανάπτυξης να καλύπτει την πιθανότητα των μεγίστων εκπομπών της Ελλάδας και η χώρα να πετύχει τον στόχο, που της τέθηκε από το ΠτΚ σε κάθε περίπτωση.

4.3 Σενάριο Βιώσιμης Ανάπτυξης για την Ελλάδα

4.3.1 Αλγόριθμος

Ο αλγόριθμος της οικονομικής αριστοποίησης έγινε στο προγραμματιστικό εργαλείο Matlab και περιέχεται στο παράρτημα 1.

Εξισώσεις Αλγορίθμου

$$1. \quad E_{PV} + E_{LS} + E_W = W_i \cdot W_{(2010)} \quad (1)$$

όπου εξ ορισμού

E_{PV} := Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά

E_{LS} := Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη με σύστημα δέσμησης διοξειδίου του άνθρακα (CCS)

E_W := Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά

W_i := Συνολική Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις τρεις πηγές αθροιστικά, για το έτος i μετά το 2010

$W_{(2010)}$:= Συνολική Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις τρεις πηγές αθροιστικά, για το έτος 2010.

2. Συνάρτηση Περιορισμού

$$E_{PV} \times g_{PV} + E_{LS} \times g_{LS} + E_W \times g_W \leq a(G_i - G_{max}) \quad (2)$$

όπου εξ ορισμού

g_{PV} := μάζα εκπομπών ισοδύναμου CO_2^* ανά παραγόμενη kWh_{el} από φωτοβολταϊκά ($g \text{ CO}_{2eq}/kWh_{el}$)

g_{LS} := μάζα εκπομπών ισοδύναμου CO_2 ανά παραγόμενη kWh_{el} λιγνίτη με σύστημα δέσμησης διοξειδίου του άνθρακα (CCS)

($g \text{ CO}_{2eq}/kWh_{el}$)

g_W := μάζα εκπομπών ισοδύναμου CO_2 ανά παραγόμενη kWh_{el} από αιολικά

($g \text{ CO}_{2eq}/kWh_{el}$)

a := ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ορυκτά καύσιμα-λιγνίτη, φυσικό αέριο, πετρέλαιο

G_i : Συνολική μάζα εκπομπών ισοδύναμου CO₂ από την Ελλάδα, για το έτος i (g CO_{2eq})

G_{max} : Συνολική μάζα εκπομπών ισοδύναμου CO₂ την Ελλάδα, για το 2010

(g CO_{2eq})

$G_{max} = \beta \times G_{1990}$,

όπου

β : ποσοστό % μείωσης των ρύπων σύμφωνα με το ΠτΚ

G_{1990} : Συνολική μάζα εκπομπών ισοδύναμου CO₂ της Ελλάδας, για το 1990 (έτος βάσης), (g CO_{2eq})

3. Αντικειμενική συνάρτηση αριστοποίησης κόστους

$$\text{Minimize } E_{PV} \times C_{PV} + E_{LS} \times C_{LS} + E_W \times C_W \quad (3)$$

όπου εξ ορισμού

c_{PV} : κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά παραγόμενη kWh_{el} από φωτοβολταϊκά, (€/kWh_{el})

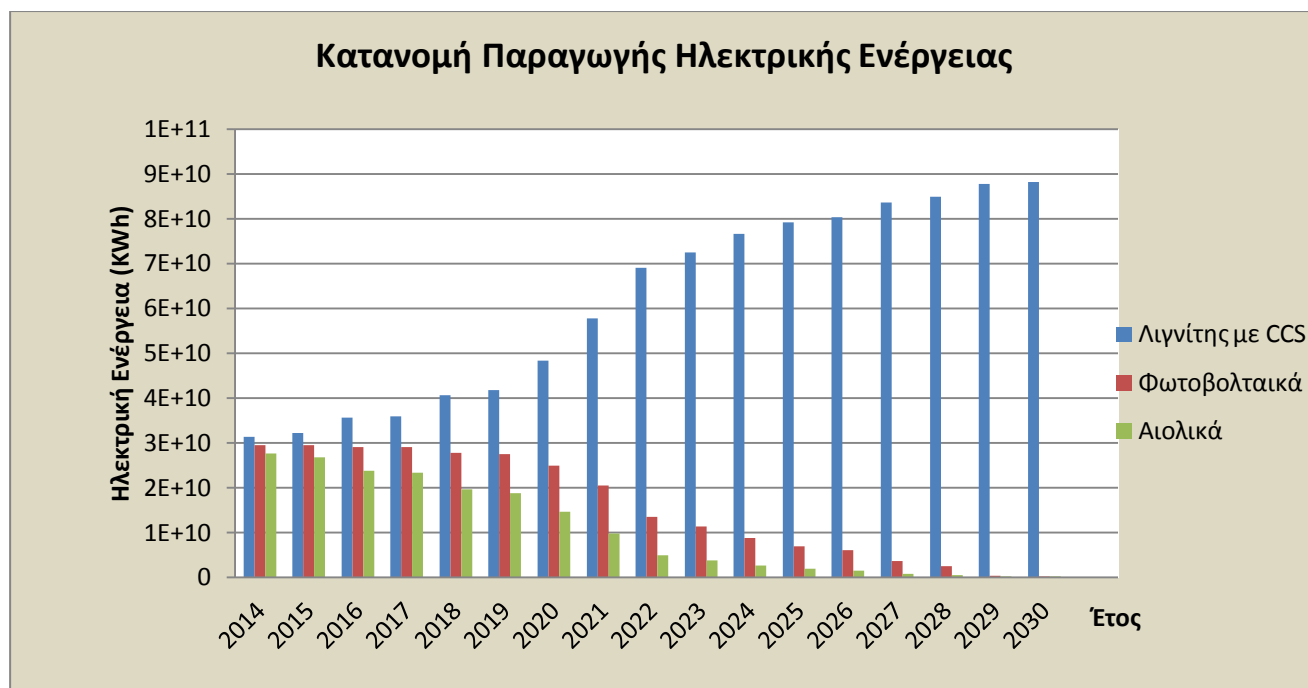
c_{LS} : κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά παραγόμενη kWh_{el} από λιγνίτη με σύστημα δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα (CCS), (€/kWh_{el})

c_W : κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά παραγόμενη kWh_{el} από αιολικά, (€/kWh_{el})

Οι μεταβλητές εισόδου στον κώδικα περιέχονται στο παράρτημα. Οι τιμές κόστους αλλά και οι τιμές εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ανά πηγή, επιλέχθηκαν βιβλιογραφικά. Αναμφισβήτητα είναι ευμετάβλητες ανά χώρα και έτος διεξαγωγής μελέτης. Οι μεταβλητές επιλέχθηκαν και προσαρμόστηκαν βάσει των παραμέτρων της Ελλάδας.

4.3.2 Ενεργειακή κατανομή μέχρι το 2030

Η αριστοποίηση κόστους για την ενεργειακή κατανομή της ηλεκτρικής παραγωγής της χώρας σε λιγνίτη με σύστημα δέσμευσης, φωτοβολταϊκά και αιολικά έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα:



Διάγραμμα 10: Σενάριο Κατανομής Ηλεκτροπαραγωγής από Λιγνίτη με Σύστημα Δέσμευσης Διοξειδίου Άνθρακα (CCS), από φωτοβολταικά και Αιολικά. Η αρχή των αξόνων δεν παριστάνει μηδενική παραγωγή αλλά πολύ μικρότερης τάξης συγκριτικά με το 10^{10} που είναι το πρώτο στοιχείο στον άξονα της ηλεκτρικής ενέργειας.

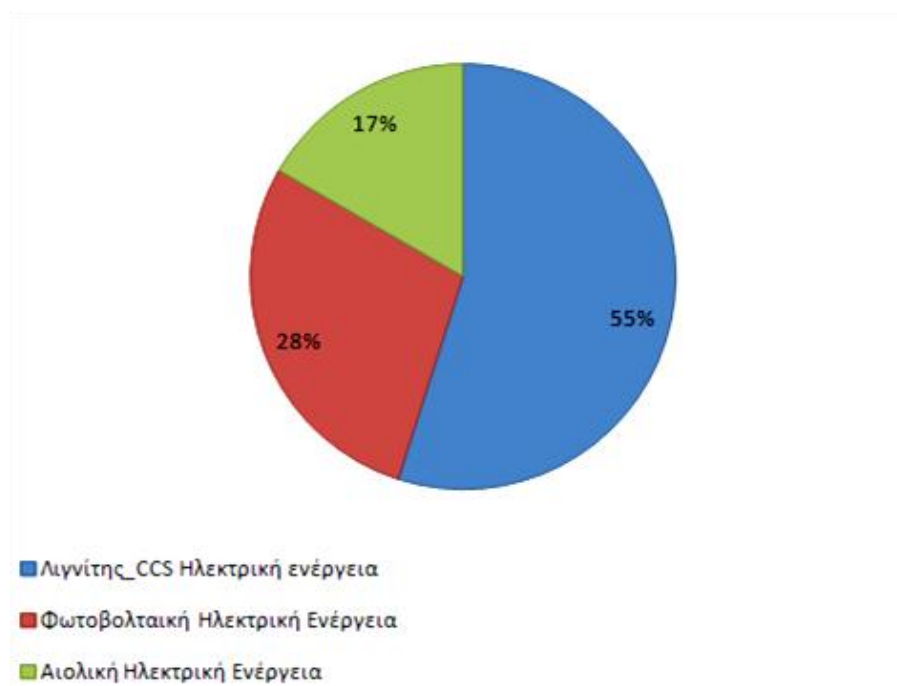
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το Υπουργείο θα έπρεπε να εφαρμόσει την Οδηγία 2009/31/ΕΚ σχετικά με την Αποθήκευση του Διοξειδίου τον Άνθρακα σε Γεωλογικούς Σχηματισμούς μέχρι τις 25 Ιουνίου 2011. Δηλαδή η εφαρμογή της τεχνολογίας CCS θα έπρεπε ήδη να λαμβάνει μερίδιο στην ηλεκτροπαραγωγή της χώρας, με σκοπό την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης για την Ελλάδα.

Διαγραμματικά φαίνεται ότι τα φωτοβολταικά και τα αιολικά έχουν μηδενική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Δεν έχουν μηδενική παραγωγή αλλά η τάξη της είναι πολύ μικρότερη από αυτή του λιγνίτη με CCS. Για παράδειγμα το 2030, από το ενεργειακό σενάριο προτείνεται παραγωγή από λιγνίτη με CCS $8,8 \times 10^{10} \text{ kWh}_{el}$, για τα φωτοβολταικά $2,97 \times 10^8 \text{ kWh}_{el}$ και για τα αιολικά $6,1 \times 10^7 \text{ kWh}_{el}$. [Παράρτημα 3] Τα ποσά ηλεκτροπαραγωγής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν είναι αμελητέα, όπως ίσως εύλογα να θεωρήσει κάποιος από την διαγραμματική απεικόνιση. Απλά για να αποφευχθεί συνωστισμός στοιχείων στον άξονα της ηλεκτροπαραγωγής παρουσιάζονται κατά αυτόν τον τρόπο.

Το 2014 η συμμετοχή της καύσης λιγνίτη με σύστημα δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα (CCS) αυξάνεται σταδιακά μέχρι που σχεδόν διπλασιάζεται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας το 2020.

Η ουσιαστική υλοποίηση της τεχνολογίας CCS συνάδει με την επίτευξη των στρατηγικών στόχων που αναφέρονται ως 20-20-20, δηλαδή έως το 2020 να έχει γίνει μείωση των εκπομπών τον Θερμοκηπίου κατά 20% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990, και κατά 30% εάν και άλλες αναπτυγμένες χώρες δεσμευτούν για ανάλογες μειώσεις, αύξηση του

μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών, όπως η αιολική, η ηλιακή και η βιομάζα, στην τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 20% και περιορισμός της ενεργειακής κατανάλωσης κατά 20%, σε σχέση με την προβλεπόμενη, μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης.

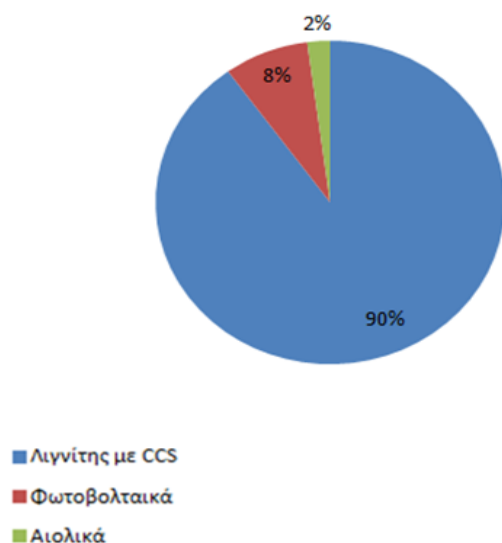


Διάγραμμα 11: Σενάριο Κατανομής Ηλεκτροπαραγωγής από Λιγνίτη με Σύστημα Δέσμευσης Διοξειδίου Άνθρακα (CCS), από φωτοβολταϊκά και Αιολικά για το έτος 2020

Το κυκλικό διάγραμμα απεικονίζει τον καταμερισμό της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2020, στο οποίο οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συμμετέχουν σε ποσοστό 45%. Σύμφωνα με τις προβλέψεις των δεδομένων, η Ελλάδα ακολουθώντας το προτεινόμενο σενάριο επιτυγχάνει τον στόχο 20-20-20.

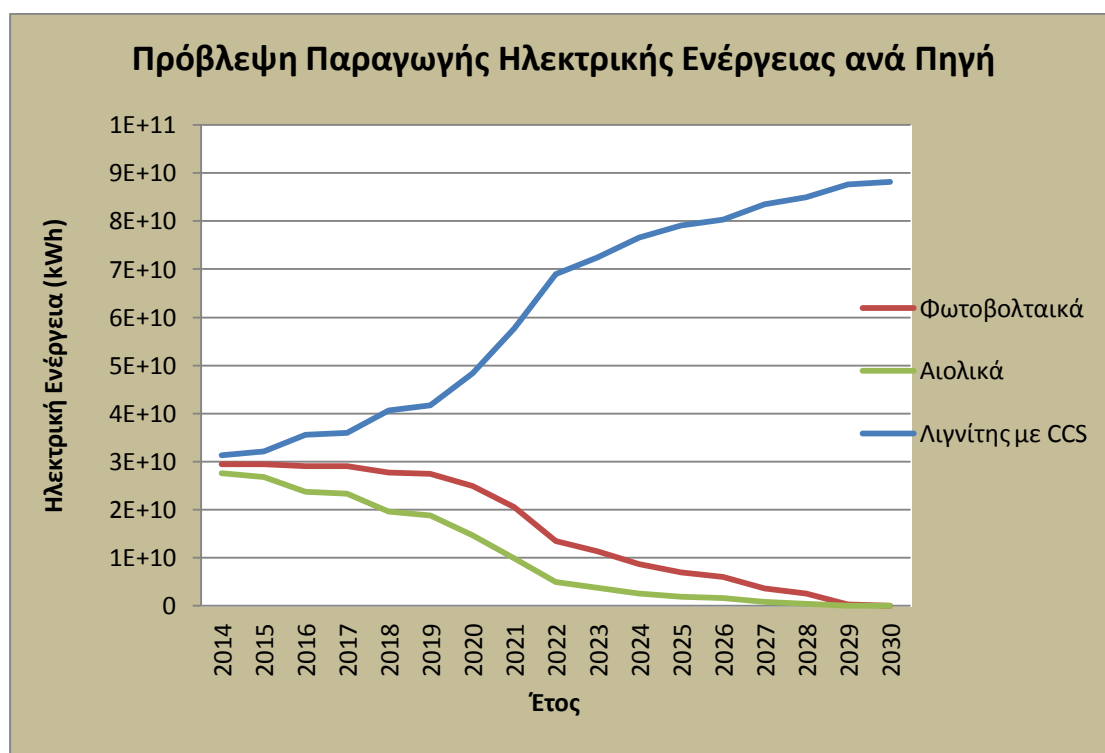
Το 2025 όπου αναμένεται η εμπορική είσοδος των συστημάτων δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα (CCS) στην ενεργειακή αγορά, το μερίδιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη συνδυασμένο με CCS είναι εντυπωσιακά μεγαλύτερο από την συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Κατανομή Ηλεκτροπαραγωγής το 2025



Διάγραμμα 12: Σενάριο Κατανομής Ηλεκτροπαραγωγής από Λιγνίτη με Σύστημα Δέσμευσης Διοξειδίου Άνθρακα (CCS), από φωτοβολταϊκά και Αιολικά για το έτος 2025

Το 2025 θέλει την τεχνολογία CCS να συμμετέχει σε ποσοστό 90% στην ηλεκτροπαραγωγή, ενώ τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να καλύπτουν μόλις το 10% της συνολική εγχώριας ηλεκτροπαραγωγής.



Διάγραμμα 13: Εξέλιξη της Ηλεκτροπαραγωγής από Λιγνίτη με Σύστημα Δέσμευσης Διοξειδίου Άνθρακα (CCS), από Φωτοβολταϊκά και Αιολικά από το 2014 μέχρι το 2030

Μέχρι το 2030 η συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μειώνεται σε βαθμό που η κατανομή τους συγκριτικά με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη με σύστημα δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα, είναι ποσοστιαία μηδενική. Ενώ αντίθετα η αύξηση ηλεκτροπαραγωγής αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς αντικαθιστώντας ποσοστιαία διαρκώς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε κάθε έτος.

4.3.3. Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Σύμφωνα με την αριστοποίηση συνάρτησης κόστους, παρόλο που η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά είναι φτηνότερη αλλά και πιο “πράσινη” αφού οι εκπομπές CO₂ είναι μικρότερες από τις άλλες δύο πηγές, το 2030 θα συμφέρει η παραγωγή της από λιγνίτη με σύστημα δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα.

Το σενάριο βιώσιμης ανάπτυξης που προτείνεται για την Ελλάδα καθιστά την τεχνολογία CCS κυρίαρχο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος της (0,078 €/kWh_{el}) είναι ελάχιστα πιο αυξημένο από αυτό των αιολικών (0,068 €/kWh_{el}) ενώ οι εκπομπές CO₂ για την τεχνολογία CCS (280 g CO_{2eq}/kWh_{el}) [Παράρτημα 2Γ] είναι πάνω από 100 φορές μεγαλύτερες από τα onshore αιολικά (20 g CO_{2eq}/kWh_{el}).

Σύμφωνα όμως με μελέτες η Ελλάδα έχει πολύ χαμηλό δυναμικό αποθήκευσης δεδομένου του γεωλογικού της υπόβαθρου. Η σεισμική δραστηριότητα γενικά αποκλείει πολλές περιοχές για λόγους ασφαλείας. Αριθμητικά, το δυναμικό έχει υπολογιστεί να είναι 2,2 δισεκατομμύρια τόνους. Η μελέτη της GEOCAPACITY έρχεται σε αντίθεση με αυτό το αποτέλεσμα, και εκτιμά ότι η συνολική χωρητικότητα αποθήκευσης θα είναι μόνο 250 εκατ. τόνους CO₂, το οποίο είναι ανεπαρκές για ρεαλιστικά προσοδοφόρα δημιουργία μιας υποδομής CCS.

Οι πιθανοί χώροι αποθήκευσης στην Ελλάδα, όπως μελετήθηκαν και στο ερευνητικό πρόγραμμα Gestco που αναφέρθηκε παραπάνω, είναι οι ταμιευτήρες στην περιοχή τον Πρίνου με χωρητικότητα 17 Mt, καθώς και ορισμένοι υδροφόροι ορίζοντες, όπως στην Αλεξάνδρεια και στον Λουδία με χωρητικότητα 2,2 Gt. Επίσης, εκτιμάται ότι πιθανό χώρο αποθήκευσης μπορεί να αποτελέσει και η Μεσοελληνική αύλακα αφού σύμφωνα με μελέτες υπάρχει πιθανότητα ύπαρξης υδρογονανθράκων.

Ωστόσο η εφαρμογή της τεχνολογίας CCS, έχει ως επίπτωση τη μείωση του καθαρού βαθμού απόδοσης μιας μονάδας παραγωγής, λόγω της επιπλέον ενέργειας που απαιτείται κυρίως για τη δέσμευση και τη συμπίεση τον διοξειδίου τον άνθρακα, αλλά και για τη μεταφορά και την αποθήκευσή του. Για μια μονάδα ηλεκτροπαραγωγής, όσο μεγαλύτερες είναι οι ενεργειακές απαιτήσεις για το CCS, τόσο αυξάνεται η κατανάλωση καυσίμου και οι απαιτήσεις σε άλλους πόρους, όπως τα νερά, ενώ ταυτόχρονα αυξάνονται και τα στερεά, υγρά και αέρια απόβλητα στο περιβάλλον. Γενικά, η απαιτούμενη ενέργεια εισόδου ανά μονάδα ενέργειας εξόδου από μια μονάδα με CCS μπορεί να εκφραστεί συναρτήσει της μεταβολής στο βαθμό απόδοσης ως εξής:

$$\Delta E = \frac{E_{in,CCS} - E_{in,Ref}}{E_{in,Ref}} = \frac{\frac{1}{\eta_{CCS}} - \frac{1}{\eta_{Ref}}}{\frac{1}{\eta_{Ref}}} = \frac{\eta_{Ref}}{\eta_{CCS}} - 1$$

όπου ΔE είναι η ποσοστιαία αύξηση στην ενέργεια εισόδου ανά μονάδα ενέργειας εξόδου της μονάδας, ενώ η_{CCS} και η_{Ref} , είναι οι καθαροί βαθμοί απόδοσης μια μονάδας με CCS και μιας μονάδας χωρίς CCS, αντίστοιχα. Η τιμή του ΔE καθορίζει επίσης και το μέγεθος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με την εξαγωγή, την αποθήκευση και τη μεταφορά των επιπλέον καύσιμων και των άλλων πόρων που καταναλώνονται στη μονάδα ηλεκτροπαραγωγής.

Τα ερωτήματα που ανακύπτουν σχετικά με το κόστος αυτής της τεχνολογίας, το οποίο περιλαμβάνει τόσο την επένδυση όσο και τα λειτουργικά κόστη, δεν είναι εύκολο να απαντηθούν, αφού υπάρχουν αρκετές διαμάχες. Αρχικά, θα πρέπει να γίνει κατανοητό το γεγονός ότι τόσο οι νέες όσο και οι εφαρμοζόμενες τεχνολογίες για τη δέσμευση του CO_2 δεν έχουν μέχρι στιγμής εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα, αφού δεν έχει προκύψει ακόμα η αντίστοιχη αγορά. Ένας ακόμη λόγος για τον οποίο είναι δύσκολο να γίνει μια εκτίμηση του κόστους είναι ότι δεν έχουν οριστεί κοινοί κανόνες όσο αφορά αυτούς τους υπολογισμούς. Ένας τρίτος λόγος είναι ότι όσοι εμφανίζουν αποτελέσματα από αναλύσεις κόστους το κάνουν εφαρμόζοντας δικούς τους κανόνες. Είναι πιθανό να θέλουν να προωθήσουν τη δική τους τεχνολογία ή να υποβιβάσουν κάποια άλλη τεχνολογία. Επίσης, το γεγονός ότι η ίδια τεχνολογία έχει διαφορετικό κόστος ανά την υφήλιο αποτελεί έναν τέταρτο λόγο που προκαλεί σύγχυση. Δεδομένο είναι, όμως, ότι η επιβάρυνση του καθαρού βαθμού απόδοσης των μονάδων αποτελεί πηγή επιπλέον κόστους.

Όσο αφορά το χρονικό ορίζοντα, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η δημιουργία ενός εργοστασίου με τεχνολογία CCS είναι μια χρονοβόρα διαδικασία, αφού μπορεί να διαρκέσει από 6.5 έως 10 χρόνια μέχρι την πλήρη ολοκλήρωσή της. Η τεχνολογία CCS δεν είναι ακόμα ώριμη και επομένως δεν εφαρμόζεται ακόμα στις μονάδες παραγωγής, ωστόσο υπάρχει πρόβλεψη λειτουργίας σε δοκιμαστική βάση 12 μονάδων με CCS μέχρι το 2015, με απώτερο στόχο η εν λόγω τεχνολογία να είναι διαθέσιμη στην αγορά το 2020.

Τελικά, η υιοθέτηση της τεχνολογίας CCS θα εξαρτηθεί από τη σχέση ανάμεσα στην τιμή της και στην τιμή του διοξειδίου τον άνθρακα μέσα στο μηχανισμό ETS (Emission Trading System), αφού κάθε τόνος που θα δεσμεύεται και θα αποθηκεύεται με ασφάλεια θα θεωρείται ότι δεν έχει εκπεμφθεί. Έτσι αν η τιμή για κάθε τόνο που δεν εκπέμπεται λόγω CCS είναι χαμηλότερη από την τιμή του διοξειδίου τον άνθρακα, τότε οι μονάδες με CCS θα αρχίσουν να αναπτύσσονται. Επομένως, ο μηχανισμός ETS θα είναι ένα από τα κύρια κίνητρα για την προώθηση τον CCS.

Ένα ακόμη μείζον ζήτημα σχετικά με την τεχνολογία CCS, και κυρίως στο τμήμα της αποθήκευσης του διοξειδίου τον άνθρακα, είναι τα ζητήματα ασφάλειας που ενδέχεται να προκύψουν. Έτσι, θα πρέπει να αξιοποιηθεί πλήρως η πρότερη εμπειρία που έχει η βιομηχανία άντλησης πετρελαίου και φυσικού αερίου στο ζήτημα της υπόγειας

αποθήκευσης, μιας και η μέθοδος έγχυσης CO₂ για τη διευκόλυνση της άντλησης πετρελαίου χρησιμοποιείται ευρύτατα παγκοσμίως εδώ και πολλά χρόνια. Επίσης, η αποδοτικότητα της αποθήκευσης, οι άμεσοι κίνδυνοι ασφάλειας θα πρέπει να αναλυθούν ξεχωριστά για τη γεωλογική αποθήκευση. Επιπλέον, θα πρέπει να εκτιμηθεί η πιθανή επίδραση του CO₂ στα υπόγεια ύδατα και το αντίκτυπο που θα έχει στα οικοσυστήματα, όπως επίσης και η πιθανότητα να διαρρεύσει από τα σημεία αποθήκευσης. Το ενδεχόμενο να συμβεί διαρροή των διοξειδίου τον άνθρακα εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες, όπως το σχεδιασμό τον συστήματος αποθήκευσης, τα γεωλογικά χαρακτηριστικά τον επιλεγμένου τύπου αποθήκευσης, το σύστημα έγχυσης και τις μεθόδους σφράγισης των πηγαδιών μετά την έγχυση. Ωστόσο, έχει υπολογιστεί ότι, αν έχει γίνει κατάλληλη επιλογή τοποθεσίας, σωστός σχεδιασμός, λειτουργία και επίβλεψη τον έργου, τότε είναι πολύ πιθανό να παραμείνει το 99% του CO₂ στο μέρος αποθήκευσης για τα πρώτα 100 χρόνια.

Τέλος βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή της είναι η ανάπτυξη κατάλληλης νομοθεσίας που θα υποστηρίξει, θα ενισχύσει και θα καθιερώσει την τεχνολογία δέσμευσης και αποθήκευσης στην Ελλάδα.

Βάσει του ενεργειακού σεναρίου που μελετήθηκε η ανάπτυξη της συγκεκριμένης τεχνολογίας από την Ελλάδα είναι υψίστης σημασίας στην μείωση των εκπομπών CO₂. Η κύρια πηγή, παραγωγής ηλεκτρισμού καθώς και η πιο οικονομική, είναι ο λιγνίτης. Η τεχνολογία δέσμευσης και αποθήκευσης CO₂ πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη ως μέτρο μείωσης των εκπομπών και με κατάλληλα τεχνολογικά μέσα να εξαλειφθούν τα εμπόδια που εγείρονται. Ο βιομηχανικός τομέας της χώρας θα ταχθεί επίσης υπέρ της υιοθέτησης της συγκεκριμένης τεχνολογίας, αν δει από το νομοθετικό όργανο της χώρας το πεδίο δυνατοτήτων που της παρέχει.

Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

- Μελέτη για την βιωσιμότητα γεωλογικής αποθήκευσης CO₂ στον Ελλαδικό χώρο, την ασφάλεια της μακροπρόθεσμα, την σταθερότητα της υπόγειας αποθήκευσης, καθώς και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε περίπτωση διαρροής.
- Μελέτη συνδυασμού της τεχνολογίας δέσμευσης και αποθήκευσης CO₂ με άλλες πηγές παραγωγής ενέργειας όπως είναι η βιομάζα.
- Διεξαγωγή Τεχνικό-οικονομικών σεναρίων με μεταβλητό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά κιλοβατώρα.
- Αυστηρή Κοστολόγηση της τεχνολογίας δέσμευσης και αποθήκευσης CO₂ προσαρμοσμένο στην ελληνική οικονομία.
- Εγκατάσταση πιλοτικής μονάδας στην Ελλάδα για αξιολόγηση των πραγματικών δυνατοτήτων της συγκεκριμένης τεχνολογίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. An Arthur D. Little White Paper, "Distributed Generation: Understanding the economics", 1999
2. Ausfelder, F. Bazzanell, A. (2008): Verwertung und Speicherung von CO₂, Dechema Diskussionspapier, Oktober 2008
3. Banks H., "Cheap oil: enjoy it while it lasts", Forbes, 1998
4. Colin J. Campbell and Jean H. Laherrère, "The End of Cheap Oil Global production of conventional oil will begin to decline sooner than most people think, probably within 10 years", Scientific American, March 1998
5. COP, Conference of Parties, <http://unfccc.int/meetings/items/2654.php>
6. Deffeyes K.S., "Hubbert's peak: the impending world oil shortage", Princeton, Princeton University Press 2001
7. Dimitris T. Hatzivramidis, 2010, "New Paradigms in Chemical Engineering: Health, Climate Change and Energy, and Product Design", American Chemical Society
8. EIA (Energy Information Administration), <http://www.eia.gov/>
9. Froboese (2007): Kunststoffe aus Kohlendioxid, Pressemitteilung in „OpenPR“
10. Greek Ministry of environment, energy and climate change, "Annual inventory submission under the convention and the Kyoto protocol for greenhouse and other gases for the years 1990-2010", Athens, April 2012
11. Hatfield G.B., "How long can oil supply grow?", Hubbert Center Newsletter, vol. 97, issue 4, 2001
<http://www.taz.de/1/zukunft/wirtschaft/artikel/1/aus-fuer-ccs>
12. IPCC, 2005 - Bert Metz, Ogunlade Davidson, Heleen de Coninck, Manuela Loos and Leo Meyer (Eds.), Carbon Dioxide Capture and Storage, Cambridge University Press, UK
13. IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001, "Summary of Policy Makers: Climate change 2001: A report of Working Group I of the IPCC"
14. Ivanhoe L.F., 1997, "Get ready for another oil shock", The Futurist, January 1997
15. L. F. (Buz) Ivanhoe, "Petroleum supply studies", HUBBERT CENTER NEWSLETTER # 97/1, Ιανουάριος 1997
16. MacKenzie J.J., 2000, "Oil as a finite resource: When is global production likely to peak?", March 2000
17. Michaelowa A., 2003, "The Kyoto Protocol and its flexibility mechanisms", International Society for Ecological Economics, Internet Encyclopedia of Ecological Economics, http://www.ccocco.org/publica/encyc_entries/Kyotoandflex.pdf
18. Parry, M., 2000, "ACACIA — Assessment of potential effects and adaptations for climate change in Europe" Jackson Environmental Institute — University of East Anglia — European Commission
19. Sebastian Oberthur, Hermann E. Ott, "The Kyoto Protocol, International Climate Policy for the 21st century", Springer, Germany 1999
20. Shell Oil International, 2001, "Energy needs, choices and possibilities: scenarios to 2050"
21. UK Parliamentary Office of Science and Technology, "Carbon Footprint of Electricity Generation, Postnote Update", Number 383, London, June 2011

22. UNFCCC, United Nations Framework on Climate Change Convention, www.unfccc.org
23. van Noorden, Richard (2007): BP pulls out of carbon capture plans, 24.05.2007 at RSC advancing the chemical sciences.
<http://www.rsc.org/chemistryworld/News/2007/May/24050703.asp>.
24. White Lesley, 1959, "The evolution of Culture", New York, McGraw-Hill Company
25. Wolff, R. (2009): Aus für CCS. die tageszeitung vom 05.09.2009.
26. Wuppertal Institute, "Reccs Plus-Comparison of renewable energy technologies with Carbon dioxide Capture and Storage(CCS), Update and Expansion of the Reccs Study 0329967/07000285", Wuppertal, 9 August 2010
27. Youngist W., 1997, "GeoDestinies: the inevitable control of earth resources over nations and individuals", Portland, National Book company
28. IEA, International Energy Agency, 2000, "Carbon emissions set to rise steadily with fossil fuel use. But IEA indicates ways to halt climate changes do exist"
29. Αιμιλία Γ. Παττακού, " Οι επιπτώσεις του εμπορίου δικαιωμάτων εκπομπών ρύπων στο ελληνικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής", ΕΜΠ, Αθήνα, Μάρτιος 2012
30. Ασπρούλη Παρασκευή, " Σύγχρονες τεχνολογίες ατμοηλεκτρικών σταθμών ηλεκτρικής ενέργειας", Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη, Ιούλιος 2010
31. Δημήτρης Χατζηαβραμίδης, Γιάννης Πεταλάς, "Κλιματικές Αλλαγές, Υδατικές και Ενεργειακές Ανάγκες και σχέδιο ικανοποίησης των ενεργειακών αναγκών για την Ελλάδα.", 2010
32. ΔΝΤ, Διεθνές Νομισματικό Ταμείο, www.imf.org
33. Κουγιουμτζής Δημήτρης, "Υπολογιστικές Μέθοδοι Οικονομικής Φυσικής, Μοντέλα χρονοσειρών και πρόβλεψη-Κεφάλαιο 4", Θεσσαλονίκη 2009
34. Νταγκούμας Αθανάσιος, "Επίδραση του πρωτοκόλλου του Κιότο και της κατανομημένης παραγωγής στο σχεδιασμό συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας", Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη 2006

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1. Αλγόριθμος Αριστοποίησης

```
%bounds
ub=inf(60,1);
lb=zeros(60,1);
%o.f
for i=1:20
    f(1,i)=cls;
    f(1,20+i)=cpv;
    f(1,40+i)=cw;
end
%Inequality constraints
for i=1:20
    b(i,1)=a*(G(i)-Gmax1990);
end
for i=1:20
    A(i,i)=gls;
    A(i,20+i)=gpv;
    A(i,40+i)=gw;
end
%equality constraints
for i=1:20
    beq(i,1)=W(i)-W2010;
end
for i=1:20
    Aeq(i,i)=1;
    Aeq(i,20+i)=1;
    Aeq(i,40+i)=1;
end
[x,fval]=linprog(f,A,b,Aeq,beq,lb,ub);
```

2. Μεταβλητές Εισόδου στον Αλγόριθμο

A₁. Συνολική Εγχώρια Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Λιγνίτη και ΑΠΕ 1980-2012

Έτος	W (kWh _{el})
1980	44193991152
1981	51437869915
1982	51737653974
1983	56136930687
1984	60013222831
1985	65909145593
1986	70222541255
1987	81229270771
1988	87345374983
1989	93105720118
1990	93023966401
1991	95744987840
1992	81982469904
1993	89880568010
1994	88825844688
1995	90922294003
1996	88081143762
1997	98109331252
1998	103159162196
1999	103029469684
2000	104657823607
2001	105484568338
2002	108467863926
2003	107569689518
2004	108375172947
2005	107881142799
2006	102330829342
2007	101502285700
2008	101786132617
2009	102990954204
2010	93180652041
2011	93955295623
2012	99836209302

Α₂. Πρόβλεψη Εγχώριας Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας
από Λιγνίτη και ΑΠΕ 2012-2030

Έτος	W _i (kWh _{el})
2013	1,00491E+11
2014	1,00846E+11
2015	1,00762E+11
2016	1,00843E+11
2017	1,00794E+11
2018	1,00239E+11
2019	1,00156E+11
2020	1,00184E+11
2021	1,00305E+11
2022	9,93238E+10
2023	9,94013E+10
2024	9,99894E+10
2025	1,00055E+11
2026	1,00090E+11
2027	1,00082E+11
2028	1,00090E+11
2029	1,00085E+11
2030	1,00030E+11
2013	1,00491E+11
2014	1,00846E+11
2015	1,00762E+11
2016	1,00843E+11
2017	1,00794E+11
2018	1,00239E+11
2019	1,00156E+11
2020	1,00184E+11
2021	1,00305E+11
2022	9,93238E+10
2023	9,94013E+10
2024	9,99894E+10
2025	1,00055E+11
2026	1,00090E+11
2027	1,00082E+11
2028	1,00090E+11
2029	1,00085E+11
2030	1,00030E+11

Β₁. Συνολικές Εγχώριες Εκπομπές Διοξειδίου του Άνθρακα (CO₂) 1990-2010

Έτος	G (in g CO2 eq)
1990	8,3301E+13
1991	8,30169E+13
1992	8,47188E+13
1993	8,40647E+13
1994	8,63398E+13
1995	8,68001E+13
1996	8,89172E+13
1997	9,37632E+13
1998	9,86718E+13
1999	9,80683E+13
2000	1,0321E+14
2001	1,0557E+14
2002	1,05216E+14
2003	1,09351E+14
2004	1,09636E+14
2005	1,13408E+14
2006	1,11928E+14
2007	1,14442E+14
2008	1,10707E+14
2009	1,04472E+14
2010	9,74689E+13

B₂. Πρόβλεψη Συνολικών Εγχώριων Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα (CO₂) 2010-2030

Έτος	G _i (in g CO ₂ eq)
2013	1,04181E+14
2014	1,06628E+14
2015	1,07056E+14
2016	1,08764E+14
2017	1,08958E+14
2018	1,11058E+14
2019	1,11509E+14
2020	1,14296E+14
2021	1,17981E+14
2022	1,21903E+14
2023	1,23078E+14
2024	1,24539E+14
2025	1,25398E+14
2026	1,25786E+14
2027	1,26824E+14
2028	1,27273E+14
2029	1,28238E+14
2030	1,28408E+14

Γ. Κόστος Ανά παραγόμενη KWh_{el} ηλεκτρικής ενέργειας κάθε Τεχνολογίας

C _i	Κόστος (Ευρώ ₂₀₁₀ / KWh _{el})
C _{LS}	0,078
C _{PV}	0,103
C _W	0,068

Δ. Μάζα εκπομπών CO₂ ανά τεχνολογία

g _i	(g CO _{2eq} /kWh _{el})
g _{LS}	280
g _{PV}	160
g _W (ταχύτητα άνεμου 6m/s ²)	20

3. Αποτελέσματα Αριστοποίησης

Έτος	Λιγνίτης με CCS (kWh _{el})	Φωτοβολταϊκά (kWh _{el})	Αιολικά (kWh _{el})
2014	31268197347	2,95E+10	2,76E+10
2015	32112370575	2,94E+10	2,68E+10
2016	35549790941	2,91E+10	2,37E+10
2017	35965074291	2,9E+10	2,34E+10
2018	40658154087	2,78E+10	1,96E+10
2019	41702212874	2,74E+10	1,88E+10
2020	48320843574	2,5E+10	1,47E+10
2021	57742774637	2,05E+10	9,81E+09
2022	68984850895	1,35E+10	4,92E+09
2023	72395941801	1,13E+10	3,76E+09
2024	76540910835	8,72E+09	2,59E+09
2026	79137736671	6,89E+09	1,86E+09
2027	80319159331	6,04E+09	1,55E+09
2028	83539436471	3,6E+09	7,59E+08
2029	84913428829	2,52E+09	4,7E+08
2030	87685170713	2,97E+08	61146485

4. Κατάλογος Εικόνων, Πινάκων, Διαγραμμάτων

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Παραστατική Απεικόνιση του Φαινομένου του Θερμοκηπίου.....	17
Εικόνα 2: Συνολικές εκπομπές CO ₂ για τις συμμετέχουσες χώρες το 1990.....	26
Εικόνα 3: Διάγραμμα Ροής Βασικών Τεχνολογιών Δέσμευσης CO ₂	32
Εικόνα 4: Απεικόνιση μερικών από τις γεωλογικές τοποθεσίες για υπόγεια αποθήκευση του CO ₂	34
Εικόνα 5: Διάγραμμα Βελτιωμένης Ανάκτησης Πετρελαίου (EOR) στο Hatfield της Αγγλίας, βασισμένο στην ιδέα της BP Peterhead.....	35
Εικόνα 6: Εισαγωγή CO ₂ στον αλατούχο υδροφόρο ορίζοντα μεγάλου βάθους Utsira στη Νορβηγία.....	36
Εικόνα 7: Τεχνολογία ECBMR χρησιμοποιώντας CO ₂	37
Εικόνα 8: Γνωστές πιλοτικές μονάδες CCS στην Ευρώπη	40
Εικόνα 9: Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίων από Εργοστάσια Καύσης Λιγνίτη με CCS συγκριτικά με την Ηλεκτρική Ενέργεια από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ηλιακή θερμική ενέργεια, φωτοβολταϊκά και offshore αιολικών (2020/2025 και 2050)	42
Εικόνα 10: Σχηματικό Διάγραμμα των Διασυνδεδεμένων Συστημάτων της Βαλκανικής.....	48

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 : Ποσοστιαία Συμμετοχή Αερίων του Θερμοκηπίου στις Βιομηχανοποιημένες Χώρες το 1990.....	19
Πίνακας 2: Ποσοστά μείωσης αερίων εκπομπών για την περίοδο 2008-2012 σε σχέση με το 1990 ανά χώρα και εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο	25
Πίνακας 3: Χωρητικότητα γεωλογικών ταμειυτήρων για αποθήκευση του CO ₂ παγκοσμίως (Gt CO ₂)	34
Πίνακας 4: Τα τέσσερα Ελληνικά Διυλιστήρια	45

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Κατανάλωση Ηλεκτρισμού ανά Τομέα, 2008.....	44
Διάγραμμα 2: Κατανομή Ηλεκτροπαραγωγής από Συμβατικά Καύσιμα 2008.....	46
Διάγραμμα 3: Πρωτογενής Παραγωγή Ενέργειας ανά Είδος ΑΠΕ 2008.....	47
Διάγραμμα 4: Κατανομή Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ 2008.....	47
Διάγραμμα 5:Χρονοσειρά Πρόβλεψης Ηλεκτρικής Ενέργειας από Αιολικά	54
Διάγραμμα 6:Χρονοσειρά Πρόβλεψης Ηλεκτρικής Ενέργειας από Λιγνίτη.....	55
Διάγραμμα 7:Χρονοσειρά Πρόβλεψης Ηλεκτρικής Ενέργειας από Φωτοβολταϊκά.....	56
Διάγραμμα 8:Χρονοσειρά Πρόβλεψης Συνολικής Εγχώριας Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	57
Διάγραμμα 9:Χρονοσειρά Πρόβλεψης Συνολικής Εγχώριων Εκπομπών CO ₂	58
Διάγραμμα 10: Σενάριο Κατανομής Ηλεκτροπαραγωγής από Λιγνίτη με Σύστημα Δέσμευσης Διοξειδίου Άνθρακα (CCS), από φωτοβολταϊκά και Αιολικά.....	61
Διάγραμμα 11: Σενάριο Κατανομής Ηλεκτροπαραγωγής από Λιγνίτη με Σύστημα Δέσμευσης Διοξειδίου Άνθρακα (CCS), από φωτοβολταϊκά και Αιολικά για το έτος 2020	62
Διάγραμμα 12: Σενάριο Κατανομής Ηλεκτροπαραγωγής από Λιγνίτη με Σύστημα Δέσμευσης Διοξειδίου Άνθρακα (CCS), από φωτοβολταϊκά και Αιολικά για το έτος 2025.....	63
Διάγραμμα 13: Εξέλιξη της Ηλεκτροπαραγωγής από Λιγνίτη με Σύστημα Δέσμευσης Διοξειδίου Άνθρακα (CCS), από Φωτοβολταϊκά και Αιολικά από το 2014 μέχρι το 2030.....	63