

Αθήνα, 2014



ΟΡΓΑΝΩΣΗ & ΔΙΟΙΚΗΣΗ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Συστήματα Διαχείρισης της Ενέργειας
και Προστασίας του Περιβάλλοντος

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΖΙΩΜΑΣ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΕ ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Διπλωματική εργασία, στα πλαίσια του ΔΠΜΣ Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων, με ειδίκευση στα Συστήματα Διαχείρισης της Ενέργειας και Προστασίας του Περιβάλλοντος, του τμήματος Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Πειραιώς και της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Σιοντόρου Χριστίνα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	4
1.1 Είδη σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	4
1.2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση ορυκτών καυσίμων.....	6
1.2.1 Μέθοδοι παραγωγής Η.Ε. με χρήση συμβατικών ορυκτών καυσίμων και προϊόντων αυτών	8
1.2.2 Είδη καυσίμων	8
Πετρέλαιο.....	8
Φυσικό αέριο	9
Λιγνίτης	9
1.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	10
1.3.1 Ενεργειακή απόδοση μεθόδων παραγωγής ενέργειας.....	10
1.3.2 Αέριες εκπομπές κατά την εξόρυξη των ορυκτών καυσίμων.....	11
Κεφάλαιο 2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	12
2.1 Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα.....	12
Ισοζύγιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα.....	14
2.2 Αέριες εκπομπές από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα.....	15
Κεφάλαιο 3. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	18
Οι ευέλικτοι μηχανισμοί επίτευξης των στόχων του Κιότο. Εμπόριο ρύπων, μηχανισμός καθαρής ανάπτυξης, εκτέλεση έργων από κοινού.....	19
Κεφάλαιο 4. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΣΗΣ	21
4.1 Τεχνολογίες καταστροφής αερίων ρύπων.....	22
4.1.1 Βασικές τεχνικές και διεργασίες καταστροφής αερίων ρύπων	22
4.1.2 Βασικές τεχνολογίες δέσμευσης CO ₂ σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς (Carbon Capture and Storage (CCS))	24
Διαχωρισμός διοξειδίου του άνθρακα από το καυσαέριο (Post-combusting capture)	24
Καύση σε συνθήκες καθαρού οξυγόνου (oxy-fuel).....	25
Παραγωγή καυσίμου χωρίς άνθρακα (Pre-combusting capture)	26
4.2 Τεχνολογίες απομάκρυνσης σωματιδιακών ρύπων	26
4.2.1 Μηχανικοί συλλέκτες.....	27
Βαρυτικοί συλλέκτες	27
Συλλέκτες εκτροπής με ανακυκλοφορία	28

Κυκλώνες υψηλής απόδοσης.....	28
4.2.2 Φίλτρα από ύφασμα (σακόφιλτρα)	29
4.2.3 Εκπλυτές ή υγρά φίλτρα	30
4.2.4 Ηλεκτροστατικά φίλτρα	30
Κεφάλαιο 5. ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ	32
5.1 Η περίπτωση των Η.Π.Α.	32
5.2 Η περίπτωση της Αυστραλίας	34
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	36
ΣΧΗΜΑΤΑ	
Σχήμα 1. Πηγές και τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	4
Σχήμα 2. Γεωγραφική απεικόνιση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	13
Σχήμα 3. Τεχνολογίες αντιρρύπανσης	22
Σχήμα 4. Τροχιές καθίζησης διακριτών σωματιδίων σε βαρυτικό συλλέκτη.....	27
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	
Διάγραμμα 1. Παγκόσμιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά πηγή.....	7
Διάγραμμα 2. Παγκόσμιες εκπομπές CO ₂ (εκατομμύρια τόνοι) από ορυκτά καύσιμα ανά έτος.....	7
Διάγραμμα 3. Ενεργειακό ισοζύγιο	14
Διάγραμμα 4. Εκπομπές CO ₂ ανά παραγόμενη kWh (kg CO ₂ / kWh)	16
ΠΙΝΑΚΕΣ	
Πίνακας 1. Τυπική σύσταση φυσικού αερίου.....	9
Πίνακας 2. Εκπεμπόμενοι ρύποι κατά την καύση ορυκτών καυσίμων (gr/kWh) ...	11
Πίνακας 3. Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα (2009).....	12
Πίνακας 4. Συντελεστές εκπομπών αερίων ρύπων ανά παραγόμενη kWh (Ελλάδα)16	
Πίνακας 5. Δηλωθείσες εκπομπές CO ₂ ανά μονάδα ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα για την 4ετία 2008-2011	17
Πίνακας 6. Επιλογές για τον έλεγχο του διοξειδίου του θείου	23

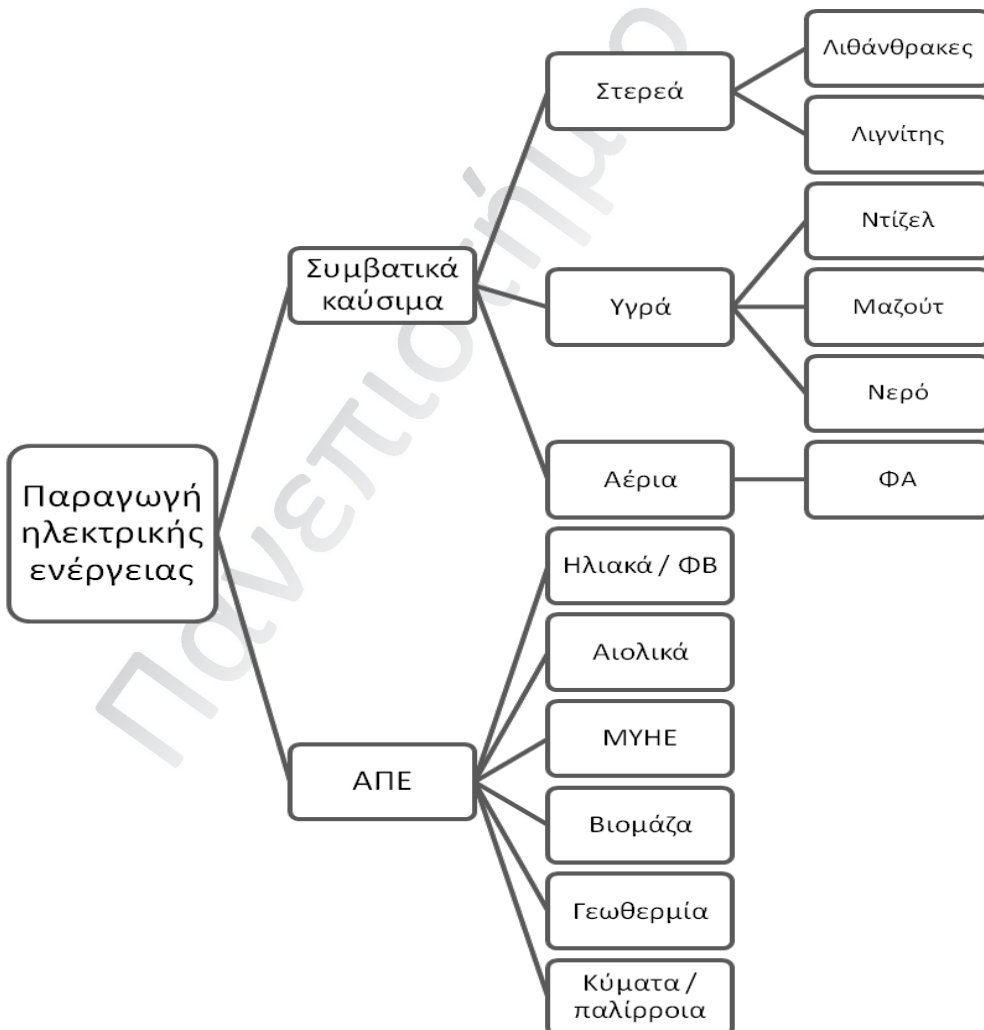
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 Είδη σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Θεωρητικά η ηλεκτρική ενέργεια (ΗΕ) μπορεί να παραχθεί από κάθε άλλη μορφή ενέργειας. Όλοι οι ηλεκτροπαραγωγικοί σταθμοί μετατρέπουν κάποιο είδος ενέργειας (θερμική, πυρηνική, δυναμική κ.λπ.) σε κινητική ενέργεια στροβίλου (τουρμπίνας) θέτοντας σε κίνηση μια γεννήτρια, η οποία παράγει ηλεκτρικό ρεύμα. Η διαφορά έγκειται, κυρίως, στο είδος καυσίμου που χρησιμοποιείται. Στη σημερινή εποχή όπου η παραγωγή ενέργειας αποτελεί κύριο άξονα εθνικής, ηπειρωτικής και διεθνούς πολιτικής, οι τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνέχεια αναβαθμίζονται και αναπτύσσονται. Υπάρχει, πλέον, ένα φάσμα διαφορετικών τύπων σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίοι εκμεταλλεύονται διάφορες τεχνολογίες επεξεργασίας διαφόρων ενεργειακών πηγών.

Σχήμα 1. Πηγές και τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Η ηλεκτροπαραγωγή κατατάσσεται¹ σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το είδος των πηγών ενέργειας που χρησιμοποιεί:

- Ηλεκτροπαραγωγή από συμβατικά καύσιμα, όπου χρησιμοποιούνται ορυκτά στερεά, υγρά ή αέρια, τα οποία έχουν σχηματιστεί σε παλαιότερες γεωλογικές περιόδους και βρίσκονται αποθηκευμένα στο υπέδαφος, σε μικρότερα ή μεγαλύτερα βάθη σε πεπερασμένες, μη ανανεώσιμες ποσότητες.
- Ηλεκτροπαραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), οι οποίες περιλαμβάνουν κυρίως την ηλιακή και την αιολική ενέργεια. Στην περίπτωση αυτή, η περιοδικότητα και η στοχαστικότητα των εκμεταλλεόμενων φαινομένων παίζει σημαντικό ρόλο στις συνιστώσες της παραγωγής.

Ειδικότερα, με βάση το καύσιμο που χρησιμοποιείται κατά την παραγωγή υπάρχουν [1]:

- Πυρηνικοί σταθμοί, όπου η ενέργεια αποδίδεται από τη σχάση ουρανίου U235 και άλλων ισotόπων αυτού.
- Θερμικοί σταθμοί, όπου η ενέργεια αποδίδεται από την ύλη που χρησιμοποιείται για την καύση (στερεή, υγρή ή αέρια) π.χ. λιγνίτης, τύρφη, λιθάνθρακες, φυσικό αέριο, ντίζελ, μαζούτ κ.λπ.
- Υδροηλεκτρικοί σταθμοί, όπου η ενέργεια αποδίδεται από τη δυναμική ενέργεια του νερού η οποία μετατρέπεται σε κινητική μέσω υδατόπτωσης.
- Σταθμοί ΑΠΕ οι οποίοι περιλαμβάνουν:
 - Ηλιακά-φωτοβολταϊκά, όπου η ενέργεια αποδίδεται από τον ήλιο.
 - Αιολικά πάρκα όπου η ενέργεια αποδίδεται από τον άνεμο.
 - Μικρά υδροηλεκτρικά (φράγματα μικρότερα των 15 μέτρων ή με ταμιευτήρες όγκου μικρότερου των 3 εκατ. m³).
 - Θερμικοί σταθμοί με καύσιμη ύλη τη βιομάζα.
 - Γεωθερμικοί σταθμοί με χρήσης ενεργειακής πηγής τα γεωθερμικά πεδία.
 - Συστήματα που εκμεταλλεύονται την κινητική ενέργεια των κυμάτων και την παλιρροϊκή ενέργεια.

¹ ΥΠΕΚΑ (www.ypeka.gr)

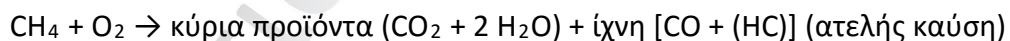
1.2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση ορυκτών καυσίμων

Στους θερμικούς (ή θερμοηλεκτρικούς) σταθμούς παράγεται ηλεκτρική ενέργεια από διάφορες ορυκτές πρώτες ύλες, με ενδιάμεση ενεργειακή μορφή τη θερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας. Τα ορυκτά υλικά (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο) εμπεριέχουν αποθηκευμένη ενέργεια σε χημική μορφή, η οποία απελευθερώνεται με την καύση για να παραχθεί θερμότητα.

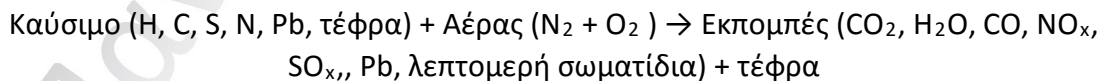
Οι ορυκτές ύλες δεν είναι ανανεώσιμες, ενώ το νερό, ο αέρας και η ηλιακή ενέργεια στην πρωτογενή ενεργειακή μορφή τους είναι ανανεώσιμα και θεωρητικά, διαρκώς διαθέσιμα.

Η παραγωγή ενέργειας με καύση συμβατικών ορυκτών καυσίμων και προϊόντων αυτών είναι η συνηθέστερη μέθοδος παραγωγής διαφόρων μορφών ενέργειας (ηλεκτρική, θερμική κλπ.) [2]. Σημαντικό πρόβλημα κατά τη λειτουργία των θερμικών σταθμών στερεών ορυκτών, είναι η σοβαρή επιβάρυνση του περιβάλλοντος που προκαλούν, κυρίως με την τέφρα και την υγρασία των ψυκτικών πύργων που αποβάλλουν. Κατά την καύση, επειδή οι αντιδράσεις του άνθρακα και του υδρογόνου με το οξυγόνο του αέρα προς παραγωγή CO₂ και H₂O είναι εξώθερμες, παράγεται ενέργεια υπό μορφή θερμότητας και φωτεινής ακτινοβολίας. Μέρος της παραγόμενης θερμότητας καταναλώνεται για τη διατήρηση του νερού υπό μορφή υδρατμών και απάγεται με τα καπναέρια στο περιβάλλον και η υπόλοιπη αξιοποιείται ως θερμική ενέργεια ή μετατρέπεται σε άλλη μορφή ενέργειας (πχ. ηλεκτρική), αφού όμως προηγουμένως η θερμική ενέργεια μετατρέψει ποσότητα νερού σε ατμό (ατμοηλεκτρικά εργοστάσια).

Σε περίπτωση που η θερμοκρασία της καύσης δεν είναι αρκετά υψηλή ή δεν υπάρχει περίσσεια αέρα, ή ακόμη ο χρόνος καύσης του καυσίμου δεν είναι αρκετός, τότε η καύση αυτού είναι ατελής και η γενική αντίδραση που λαμβάνει χώρα είναι:



Παίρνοντας ως δεδομένα την ατελή καύση, την καύση παρουσία αέρα και την καύση μη καθαρών καυσίμων, η πραγματική εξίσωση της αντίδρασης διαμορφώνεται ως εξής:

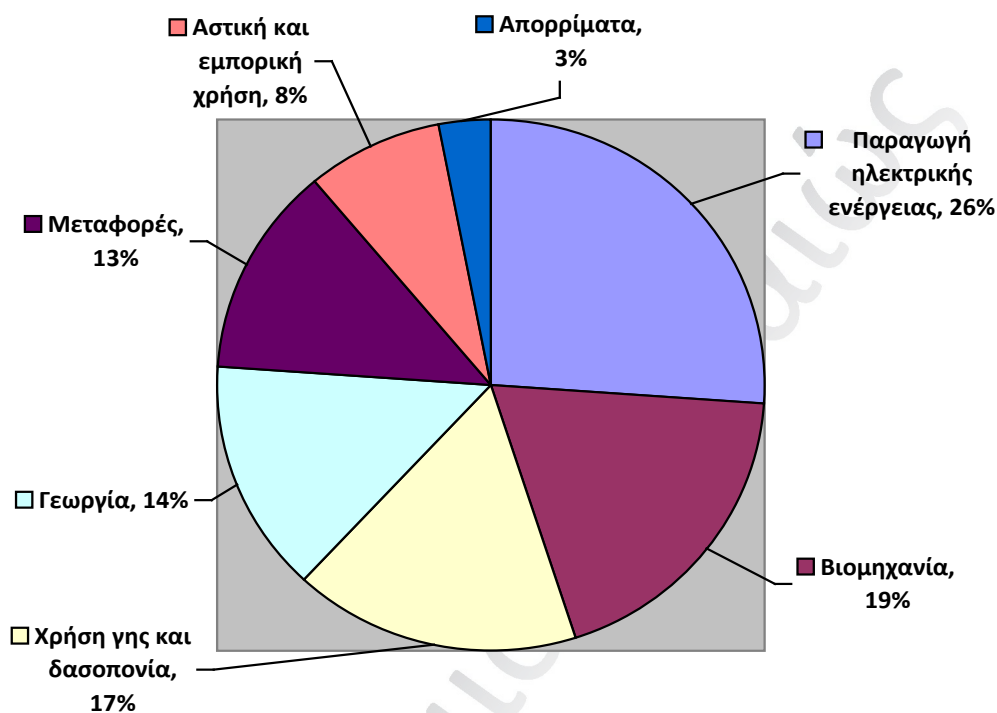


Τα αέρια της καύσης είναι CO₂, CO, υδρατμοί (H₂O), NO_x (μείγμα NO και NO₂) και SO₂ τα οποία εκπέμπονται μέσω των καμινάδων των σταθμών παραγωγής ενέργειας στην ατμόσφαιρα, με δέσμευση των λεπτομερών εκπομπών (λεπτομερή τεμάχια τέφρας) ή επικίνδυνων αερίων (π.χ. SO₂).

Η καύση των ορυκτών καυσίμων συμβάλλει στη μεταβολή της ισορροπίας της ατμόσφαιρας και στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου, λόγω των εκπομπών CO₂. Η συνεισφορά της ηλεκτροπαραγωγής στις παγκόσμιες εκπομπές

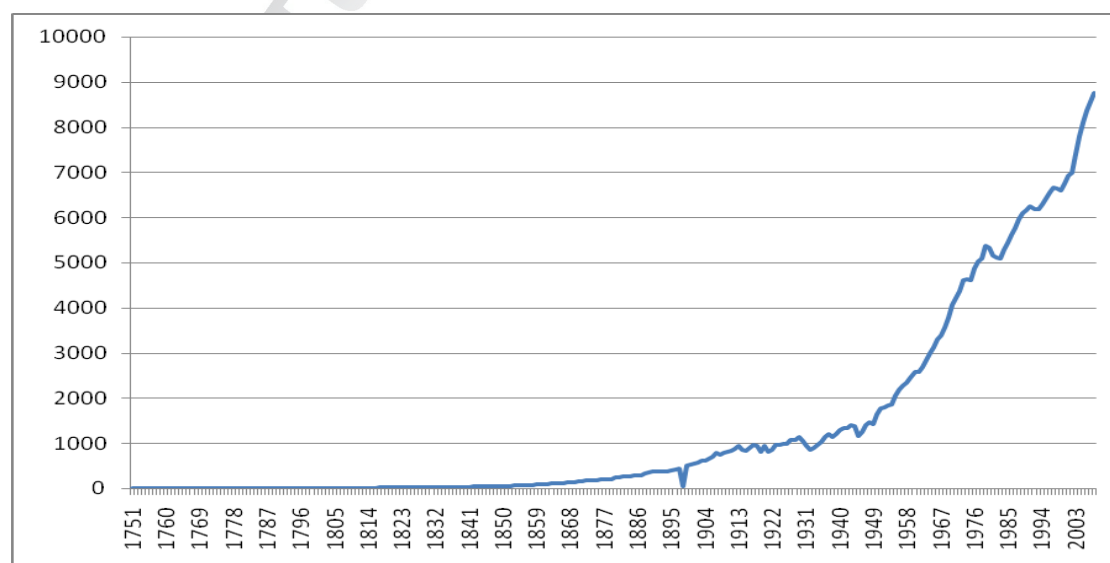
αερίων του θερμοκηπίου ανέρχεται σε 26%, ενώ οι βιομηχανικές εκπομπές ακολουθούν με 19%.

Διάγραμμα 1. Παγκόσμιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά πηγή.



Σημαντική είναι, επίσης, η παρατηρούμενη συνεχής αυξητική τάση των εκπομπών CO₂ με τη χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας.

Διάγραμμα 2. Παγκόσμιες εκπομπές CO₂ (εκατομμύρια τόνοι) από ορυκτά καύσιμα ανά έτος.



1.2.1 Μέθοδοι παραγωγής Η.Ε. με χρήση συμβατικών ορυκτών καυσίμων και προϊόντων αυτών

Οι συνηθέστερες μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση συμβατικών ορυκτών καυσίμων [2] είναι:

- Οι συμβατικές, με καύση του καυσίμου για θέρμανση νερού και παραγωγή ατμού, περιστροφή ατμοστροβίλων και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη βοήθεια γεννητριών.
- Οι εξελιγμένες (συνδυασμένος κύκλος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αεριοστροβίλους και ατμοστροβίλους ή συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας ή συνδυασμός των παραπάνω) με δυνατότητα χρήσης όλων των τύπων ορυκτών καυσίμων με στόχο:
 - την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης,
 - τη μείωση της κατανάλωσης μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ορυκτά καύσιμα) και
 - τη μείωση των αερίων εκπομπών για προστασία του περιβάλλοντος.

1.2.2 Είδη καυσίμων

Πετρέλαιο

Το πετρέλαιο άρχισε να διαμορφώνεται πριν από εκατομμύρια χρόνια. Τα υπολείμματα των διαφόρων οργανισμών που ζούσαν στις θάλασσες αναμίχθηκαν με τη λάσπη, τις πέτρες κ.λπ. που κατέβαζαν τα ποτάμια από τη στεριά, δημιουργώντας σιγά-σιγά στρώματα πάχους εκατοντάδων μέτρων στο βυθό. Οι τεράστιες γεωφυσικές ανακατατάξεις που έγιναν στη Γη με το πέρασμα του χρόνου, είχαν σαν αποτέλεσμα την παγίδευση της απολιθωμένης οργανικής ύλης σε πορώδη στρώματα, όπου κάτω από την επίδραση των πιέσεων, των υψηλών θερμοκρασιών και των βακτηριδίων μεταμορφώθηκε σε υγρούς υδρογονάνθρακες.

Το πετρέλαιο, λόγω της φύσης του, χρησιμοποιήθηκε στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αρχικά σε μεγάλη έκταση, αλλά μετά την ενεργειακή κρίση, την αύξηση της τιμής του και τη συνειδητοποίηση ότι τα αποθέματά του θα εξαντληθούν μέσα σε λίγες δεκαετίες, δημιουργήθηκε η τάση περιορισμού του και αντικατάστασής του από άλλες πηγές ενέργειας. Εξακολουθεί, όμως, να χρησιμοποιείται, λόγω των πλεονεκτημάτων του έναντι άλλων πηγών, καθώς είναι καύσιμο υψηλής θερμογόνου δύναμης και γι' αυτό είναι εύκολη η μεταφορά του σε απομακρυσμένες περιοχές.

Το αργό πετρέλαιο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Στα διυλιστήρια με μια σειρά διεργασιών επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός του σε υδρογονάνθρακες διαφορετικού ειδικού βάρους και σημείου ζέσεως. Τα βασικότερα προϊόντα του

είναι: προπάνιο, βουτάνιο, υγραέριο, νάφθα, βενζίνες, πετρέλαιο εσωτερικής καύσης (ντίζελ) και εξωτερικής καύσης (μαζούτ).

Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται το ντίζελ, σε αεριοστροβιλικούς σταθμούς και σε μηχανές εσωτερικής καύσης, και το μαζούτ, σε ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (ΑΗΣ).

Φυσικό αέριο

Το φυσικό αέριο είναι ένα φυσικό προϊόν που βρίσκεται σε υπόγεια κοιτάσματα της γης και είτε συναντάται μόνο του είτε συνυπάρχει με κοιτάσματα πετρελαίου. Είναι μίγμα υδρογονανθράκων σε αέρια κατάσταση, αποτελούμενο κυρίως από μεθάνιο [3] (σε ποσοστό 80%), που είναι ο ελαφρύτερος υδρογονάνθρακας, είναι καθαρό, χωρίς προσμίξεις και θειούχα συστατικά.

Πίνακας 3. Τυπική σύσταση φυσικού αερίου.

Μεθάνιο (CH ₄)	80% (ελάχ.)
Αιθάνιο (C ₂ H ₆)	8% (μέγ.)
Προπάνιο (C ₃ H ₈)	3% (μέγ.)
Βουτάνια	2% (μέγ.)
Πεντάνια και άλλοι υδρογονάνθρακες	1% (μέγ.)
Άζωτο	5% (μέγ.)
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	3% (μέγ.)

Οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής χρησιμοποιούν διάφορες μεθόδους για τη μετατροπή του φυσικού αερίου σε ηλεκτρική ενέργεια. Μία μέθοδος είναι η καύση του φυσικού αερίου για την παραγωγή ατμού, ο οποίος στη συνέχεια χρησιμοποιείται από μια τουρμπίνα ατμού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η πιο κοινή προσέγγιση είναι η καύση του αερίου σε μία τουρμπίνα καύσης για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Μια άλλη τεχνολογία είναι η καύση του φυσικού αερίου σε ένα στρόβιλο καύσης και οι ζεστές εξατμίσεις του στροβίλου αυτού να χρησιμοποιούνται στην κίνηση μιας τουρμπίνας ατμού. Αυτή η τεχνολογία ονομάζεται "συνδυασμένου κύκλου" και επιτυγχάνει υψηλότερη απόδοση αφού χρησιμοποιεί την ίδια πηγή καυσίμου δύο φορές.

Λιγνίτης

Στην Ελλάδα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται κυρίως από θερμικούς σταθμούς καύσης λιγνίτη. Πρόκειται για καύσιμο χαμηλής θερμογόνου δύναμης, που κυμαίνεται μεταξύ 900-2000 kcal/kg, με μέση τιμή περί τα 1300 kcal. Διάφορα μικρά κοιτάσματα λιγνίτη, διεσπαρμένα σε όλο τον ελλαδικό χώρο,

εκτιμάται ότι διαθέτουν αποθέματα περίπου 350 εκ. τόνους από τα οποία 150 εκ. τόνους βρίσκονται στην περιοχή μεταξύ Κοζάνης και Σερβίων².

1.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Οι παγκόσμιες, αλλά και οι εθνικές, ετήσιες εκπομπές άνθρακα στην ατμόσφαιρα από την κατανάλωση των συμβατικών ορυκτών καυσίμων, μπορούν να υπολογιστούν με τη βοήθεια της ενεργειακής έντασης κάθε συμβατικού καυσίμου και από την παγκόσμια ή εθνική κατανάλωσή τους.

Οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής εκπέμπουν CO₂ ως προϊόν της καύσης του άνθρακα που περιέχει το καύσιμο και είναι ανάλογο του καυσίμου που καίγεται για την παραγωγή μιας ωφέλιμης μονάδας ενέργειας (ηλεκτρικής ή/και θερμικής). Στην περίπτωση των λιγνιτικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής, η εξαιρετικά χαμηλή θερμογόνος δύναμη του συνεπάγεται πολύ χαμηλούς βαθμούς απόδοσης της τάξης του 33%.

1.3.1 Ενεργειακή απόδοση μεθόδων παραγωγής ενέργειας

Η πραγματική ενεργειακή απόδοση από την καύση των καυσίμων είναι υποπολλαπλάσια της ενέργειας που απελευθερώνεται από την αντίδραση καύσης τους και κυμαίνεται από 30-60% [2] για τα διάφορα καύσιμα (άνθρακες, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) και μεθόδους παραγωγής ενέργειας (συμβατικές θερμικές, συνδυασμένου κύκλου παραγωγής θερμότητας και ατμού κλπ.).

Λόγω αυτής της χαμηλής συνολικής ενεργειακής απόδοσης (μη τέλεια καύση και θερμικές απώλειες στο σύστημα κατά τη μετατροπή από μια μορφή ενέργειας σε άλλη), οφείλεται η μεγάλη παραγωγή αερίων εκπομπών του θερμοκηπίου ανά μονάδα εισαγόμενης ή παραγόμενης ενέργειας και η σημαντική συμβολή άλλων αερίων εκπομπών (SO₂, CO) στο φαινόμενο της όξινης βροχής και στην αιθαλομίχλη. Οι εκπομπές CO₂ κατά τη λειτουργία σταθμών παραγωγής ενέργειας εξαρτώνται τόσο από τη φύση του ορυκτού καυσίμου, όσο και από την απόδοση καύσης της μονάδας παραγωγής ενέργειας (τεχνολογική εξέλιξη της μεθόδου ή εφαρμογή μεθόδων συνδυασμένου κύκλου με συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας ή ατμού κλπ.).

Οι μεγαλύτερες τιμές εκπομπών, όσον αφορά στο CO₂, δίνει η καύση των διαφόρων τύπων ανθράκων, ενώ τις μικρότερες δίνει το φυσικό αέριο. Οι τιμές εκπομπών κατά την καύση πετρελαίου είναι ενδιάμεσες. Το πετρέλαιο όμως έχει το μειονέκτημα να παράγει SO₂ κατά την καύση του, λόγω του περιεχομένου σε αυτό S.

² Δ.Ε.Η.

Οι εκπεμπόμενοι ρύποι κατά την καύση του φυσικού αερίου, σε σχέση με άλλα καύσιμα (σε gr ρύπου ανά KWh εισαγόμενης θερμότητας καυσίμου), είναι χαμηλότεροι. Το φυσικό αέριο είναι το πιο καθαρό σε σχέση με τα υπόλοιπα συμβατικά καύσιμα επειδή δεν περιέχει ενώσεις του θείου και η καύση του παράγει λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα και δεν εκπέμπει αιθάλη και αιωρούμενα σωματίδια.

Πίνακας 4. Εκπεμπόμενοι ρύποι κατά την καύση ορυκτών καυσίμων (gr/KWh)³

Τύπος καυσίμου	Διοξείδιο του Άνθρακα	Διοξείδιο του Θείου	Μονοξείδιο του Άνθρακα	Μονοξείδιο του Αζώτου	Υδρογονάνθρακες	Σωματίδια
Μαζούτ χαμηλού θείου	260	1,147	0,046	0,0439	0,015	0,150
Πετρέλαιο θέρμανσης	249	0,056	0,045	0,189	0,015	0,023
Πετρέλαιο κίνησης	244	0,054	0,044	0,185	0,015	0,022
Υγραέριο	227	0,000	0,025	0,157	0,006	0,007
Φυσικό Αέριο	177	0,000	0,022	0,137	0,005	0,007

1.3.2 Αέριες εκπομπές κατά την εξόρυξη των ορυκτών καυσίμων

Εκτός από την διαδικασία της καύσης, κατά την οποία εκλύονται αέριοι ρύποι, και κατά τη διαδικασία εξόρυξης των πρώτων υλών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παρατηρείται ατμοσφαιρική επιβάρυνση. Οι ρύποι αυτοί ποικίλλουν ανάλογα με την πρώτη ύλη που εξορύσσεται. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, το μονοξείδιο του άνθρακα και τα οξείδια του αζώτου.

Η εξόρυξη λιγνίτη επιβαρύνει σε πολύ μεγάλο ποσοστό την ατμόσφαιρα εκλύοντας διοξείδιο άνθρακα σε επίπεδα χιλιάδων kt. Το υψηλότερο σημείο των τελευταίων ετών, για τη χώρα μας, εμφανίζεται το 2000 ενώ τα επόμενα έτη παρατηρείται μείωση του επιπέδου αυτού. Το 2009 εμφανίζει μεγάλη πτώση, γεγονός το οποίο δικαιολογείται τόσο από τη διεύθυνση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αλλά κυρίως από την οικονομική κατάσταση της χώρας⁴.

³ US EPA (www.epa.gov)

⁴ ΕΛΣΤΑΤ (www.statistics.gr)

Όσον αφορά στο αργό πετρέλαιο έχει σαφώς χαμηλότερα επίπεδα έκλυσης CO₂ από το λιγνίτη, παρόλα αυτά τα επίπεδα των εκπομπών δε μειώνονται αλλά συνεχώς αυξάνονται. Επίσης το αργό πετρέλαιο συνεισφέρει εξολοκλήρου, σε σχέση με το λιγνίτη, στις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα και οξειδίων του αζώτου κατά τη διαδικασία της εξόρυξης αυτού.

Τα επίπεδα των εκπομπών έχουν φθίνουσα πορεία την δεκαετία 2000-2009⁵. Η πορεία αυτή πιθανώς εξηγείται από την εφαρμογή πιο φιλικών μεθόδων κατά την εξόρυξη των πρώτων υλών.

⁵ ΕΛΣΤΑΤ (www.statistics.gr)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

2.1 Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

Σελίδα | 13

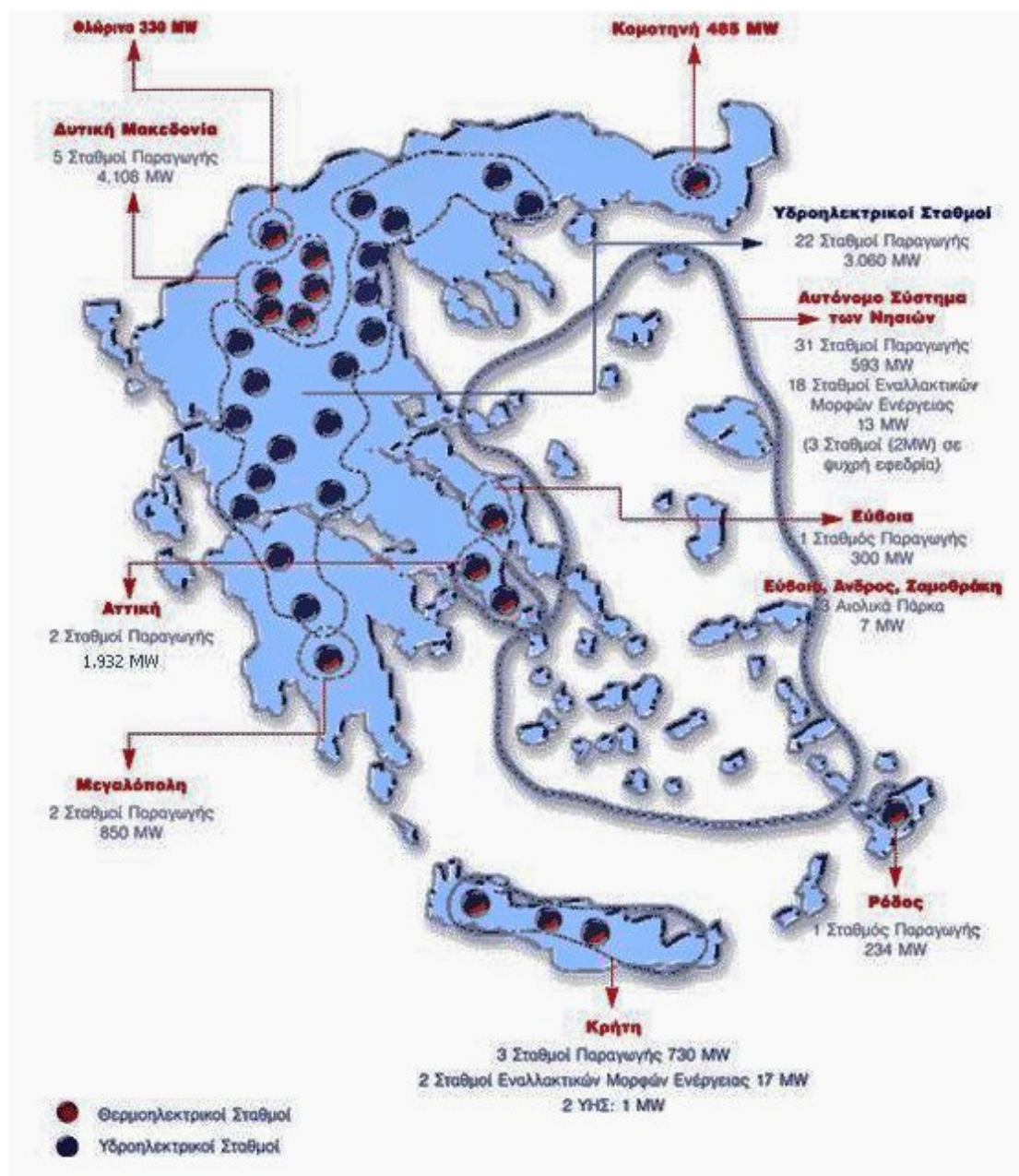
Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα προέρχεται κυρίως από θερμικούς σταθμούς. Συγκεκριμένα υπάρχουν 34 μεγάλοι θερμικοί και υδροηλεκτρικοί σταθμοί και 3 αιολικά πάρκα στο διασυνδεδεμένο σύστημα της ηπειρωτικής χώρας, καθώς και 61 αυτόνομοι σταθμοί στην Κρήτη, τη Ρόδο και τα λοιπά νησιά, εκ των οποίων 39 είναι θερμικοί, 2 υδροηλεκτρικοί, 15 αιολικά πάρκα και 5 φωτοβολταϊκοί σταθμοί. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των 98 συνολικά σταθμών της ΔΕΗ, ανέρχεται στα 12.760 MW, ενώ η καθαρή παραγωγή το 2007 έφτασε τις 53,09 TWh⁶.

Πίνακας 3. Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα (2009)

Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα (Διασυνδεδεμένο Σύστημα)			
Μονάδα	Ισχύς	Παραγόμενη ενέργεια (2009)	Εκπομπές CO ₂ (2009)
Λιγνιτικές μονάδες			
ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου	1595 MW	10,48 TWh	12,92 εκατ. τόνοι
ΑΗΣ Αμυνταίου	600 MW	3,2 TWh	4,4 εκατ. τόνοι
ΑΗΣ Καρδιάς	1250 MW	6,9 TWh	9,65 εκατ. τόνοι
ΑΗΣ Πτολεμαΐδας	620 MW	3,34 TWh	-
ΑΗΣ Μελίτης	300 MW	1,94 TWh	1,87 εκατ. τόνοι
ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ	43 MW	95 GWh	~200 χιλ. τόνοι
ΑΗΣ Μεγαλόπολης	1700 MW	~4 TWh	~7,4 εκατ. τόνοι
Μονάδες φυσικού αερίου			
ΑΗΣ Κομοτηνής	485 MW	1,95 TWh	800 χιλ. τόνοι
ΑΗΣ Αγ. Γεωργίου	360 MW	1,1 TWh	680 χιλ. τόνοι
ΑΗΣ Λαυρίου	1190 MW	4,7 TWh	2,7 εκατ. τόνοι
ELPEDISON	390 MW	-	-
ΗΡΩΝ	160 MW	135 GWh	-
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	335 MW	1,1 TWh	~450 χιλ. τόνοι
Πετρελαϊκές μονάδες			
ΑΗΣ Αλιβερίου	380 MW	770 GWh	~450 χιλ. τόνοι
ΑΗΣ Λαυρίου	430 MW	927 GWh	~700 χιλ. τόνοι

⁶ Δ.Ε.Η. (www.dei.gr)

Σχήμα 2. Γεωγραφική απεικόνιση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας⁷.



Στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας παράγεται το 75% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας, εκ της οποίας το 50% στο νομό Κοζάνης. Η Δυτική Μακεδονία καλύπτει το 80% των απαιτήσεων σε ηλεκτρική ενέργεια της χώρας. Η συγκέντρωση των θερμικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο Βορρά της χώρας δημιουργεί αυξημένες απώλειες κατά τη μεταφορά και ανισορροπία στη λειτουργία. Ωστόσο ο σχεδιασμός τους βασίστηκε στην εγγύτητά τους στις περιοχές που είναι οι πλουτοπαραγωγικές πηγές του λιγνίτη, ο οποίος αποτελεί την καύσιμη πρώτη ύλη για αρκετούς σταθμούς. Στη χώρα μας υπάρχουν τέσσερις περιοχές με

⁷ Δ.Ε.Η. (www.dei.gr)

αποθέματα λιγνίτη, στη Δράμα, στη Δυτική Μακεδονία, στην Ελασσόνα και στη Μεγαλόπολη.

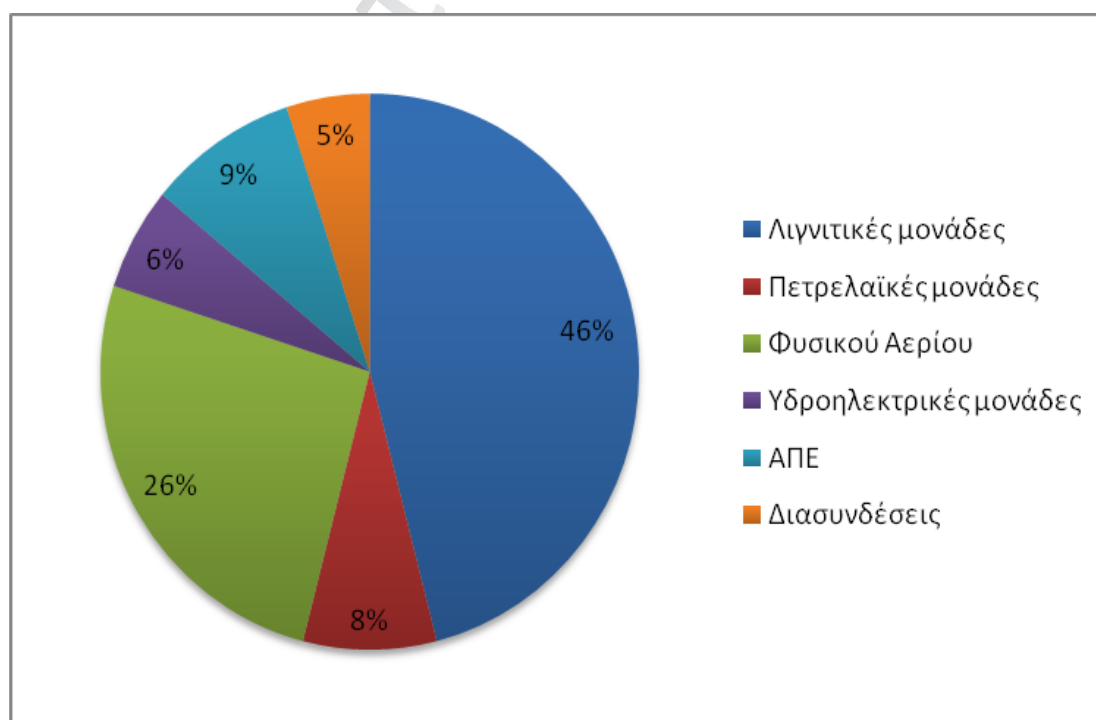
Η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη για το 2009 ήταν 30,5 TWh [4]. Αντίστοιχα για το ίδιο έτος οι συνολικές εκπομπές CO₂ ήταν 41,5 εκατ. τόνοι. Περίπου το 1/3 της παραγωγής και των εκπομπών προέρχεται από τον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, τη μεγαλύτερη ενεργειακή μονάδα της χώρας. Για τη λιγνιτική μονάδα της Πτολεμαΐδας δεν υπάρχουν στοιχεία εκπομπών για το 2009, αν και τον Ιούνιο του 2010 σταμάτησε οριστικά η Μονάδα Ι της Πτολεμαΐδας, μετά από 50 χρόνια λειτουργίας. Η μονάδα αυτή είχε έναν από τους υψηλότερους συντελεστές εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα.

Επιπρόσθετα, οι πετρελαϊκές μονάδες στο Αλιβέρι και το Λαύριο έχουν μπει σε μια πορεία οριστικής διακοπής της λειτουργίας τους. Ήδη, το 2009 η παραγωγή τους ήταν περίπου στο 50% εκείνης του 2008. Αυτή του Αλιβερίου ουσιαστικά βρίσκεται σε κατάσταση εφεδρείας. Μικρή χρήση πετρελαίου γίνεται και στη Μεγαλόπολη, σε μονάδες οι οποίες λειτουργούν συνήθως τους καλοκαιρινούς μήνες για να αντιμετωπιστούν οι αυξημένες ανάγκες του συστήματος.

Ισοζύγιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΔΕΗ, οι λιγνιτικές μονάδες συμμετέχουν σε ποσοστό 46% στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ ακολουθούν αυτές του φυσικού αερίου με ποσοστό 26% και οι πετρελαϊκές με 8%. Οι υδροηλεκτρικές μονάδες και οι ΑΠΕ συμμετέχουν με ποσοστό 6% και 9% αντίστοιχα, ενώ τέλος υπάρχει και ένα 5% που προέρχεται από τις διασυνδέσεις [5].

Διάγραμμα 3. Ενεργειακό ισοζύγιο



Τα τελευταία χρόνια δίνεται έμφαση στην επιτάχυνση της διεύδυσης του φυσικού αερίου στο ενεργειακό ισοζύγιο. Επειδή η χρονική διάρκεια ζωής των ήδη γνωστών εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων λιγνίτη δεν υπερβαίνει τα 35 χρόνια, έχει διατυπωθεί η άποψη ότι θα πρέπει να μπου, στο ελληνικό ισοζύγιο ηλεκτρισμού, νέα καύσιμα, όπως ο λιθάνθρακας, ώστε να παραταθεί η διαθεσιμότητα και η χρήση του λιγνίτη σε μεγαλύτερο βάθος χρόνου. Οι ανθρακικές μονάδες επιτυγχάνουν υψηλότερους βαθμούς απόδοσης από τις λιγνιτικές και κατά συνέπεια εκπέμπουν μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα ανά παραγόμενη μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον ανάμεσα στα πλεονεκτήματα του άνθρακα είναι ότι, ενώ το φυσικό αέριο θα είναι διαθέσιμο για τα επόμενα 50 – 60 χρόνια, ο άνθρακας θα είναι διαθέσιμος για, τουλάχιστον, 200 χρόνια ακόμη. Ωστόσο η μελλοντική αξιοποίηση του άνθρακα θα εξαρτηθεί από τη δυνατότητα των ηλεκτροπαραγωγών μονάδων άνθρακα να υιοθετήσουν καθαρές και αποδοτικές τεχνολογίες καύσης, ώστε να προσαρμοστούν στο αυστηρό πλαίσιο των περιβαλλοντικών απαιτήσεων του «Πρωτοκόλλου του Κιότο» και των αυστηρών ευρωπαϊκών προδιαγραφών για νέες εγκαταστάσεις καύσης.

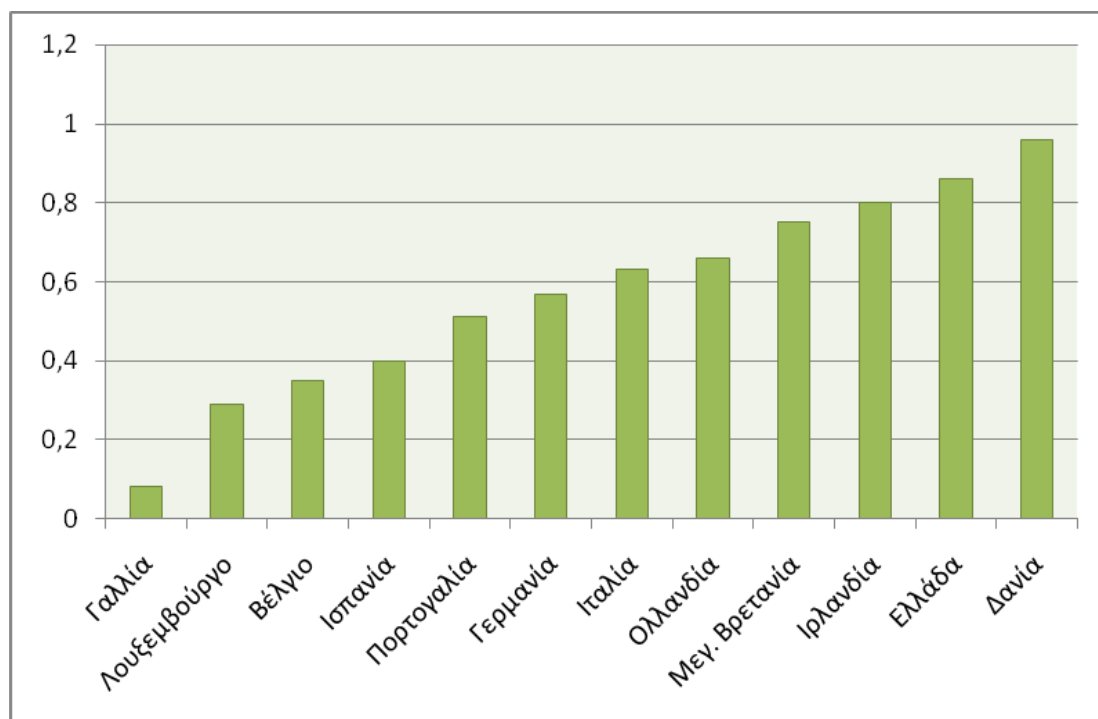
2.2 Αέριες εκπομπές από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

Οι τιμές των αερίων εκπομπών κατά τη λειτουργία σταθμών παραγωγής ενέργειας εξαρτώνται, τόσο από το χρησιμοποιούμενο καύσιμο (λιγνίτης, λιθάνθρακας, φυσικό αέριο, πετρέλαιο κλπ.) και το θερμικό δυναμικό αυτού, όσο και από την απόδοση καύσης της μονάδας παραγωγής ενέργειας (συνδυασμένου κύκλου με συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας ή ατμού κλπ.).

Τα αέρια της καύσης είναι CO_2 , CO , υδρατμοί (H_2O) και NO_x (μείγμα NO και N_2O), O_2 και SO_2 (όταν καίονται άνθρακες και πετρέλαιο). Τα αέρια του θερμοκηπίου στην Ελλάδα οφείλονται, όπως ισχύει και παγκοσμίως, κυρίως στην παραγωγή ενέργειας. Συγκεκριμένα το CO_2 προκύπτει κατά 78% από την παραγωγή ενέργειας, τη στιγμή που το αντίστοιχο ποσοστό το 1990 ήταν στο 73%. Από την άλλη τα CH_4 και N_2O προκύπτουν κατά 26% και 10% από την παραγωγή ενέργειας, αντίστοιχα [2].

Ειδικότερα, η Ελλάδα, όπως φαίνεται παρακάτω, έχει μεγάλο ποσό εκπομπής CO_2 ανά KWh και μάλιστα βρίσκεται 4^η στη λίστα με τις πλέον εξαρτημένες χώρες από το πετρέλαιο, ενώ 50-60% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από το λιγνίτη, ο οποίος είναι ιδιαίτερα ρυπογόνος κατά την καύση του. Ο τομέας της ηλεκτροπαραγωγής, μάλιστα, ευθύνεται για την παραγωγή 70Kt NO ετησίως [6].

Διάγραμμα 4. Εκπομπές CO₂ ανά παραγόμενη KWh (kg CO₂ / KWh)



Γενικά, οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμο το φυσικό αέριο έχουν πολύ χαμηλότερες εκπομπές σωματιδίων, SO₂ και NO_x ανά παραγόμενη KWh, σε σχέση με εκείνες που χρησιμοποιούν λιγνίτη ή πετρέλαιο.

Πιο συγκεκριμένα σε ότι αφορά την Ελλάδα, οι συντελεστές που αφορούν στους ατμοσφαιρικούς ρύπους ανά παραγόμενη KWh [7] είναι:

Πίνακας 4. Συντελεστές εκπομπών αερίων ρύπων ανά παραγόμενη kWh (Ελλάδα)

ρύποι	CO ₂	CO	NO _x	NM _{NO} C	SO ₂	TSP
g/KWh	990	5,2*10 ⁻⁴	1,5	5,2*10 ⁻²	8,5	0,695
	CH ₄	N ₂ O	HCl	HF	H ₂ S	NH ₃
g/KWh	1,3*10 ⁻²	1,1*10 ⁻²	6,3*10 ⁻²	3,1*10 ⁻¹	1,2*10 ⁻⁶	3,0*10 ⁻⁴

Όσον αφορά τις εκπομπές CO₂ των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, όπως αυτές δηλώθηκαν στην Εθνική Απογραφή των Εκπομπών και κατατέθηκαν στην Ε.Ε., το 2011 είχαμε μείωση της τάξεως του 10% περίπου από τις αντίστοιχες το 2008.

Πίνακας 5. Δηλωθείσες εκπομπές CO₂ ανά μονάδα ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα για την 4ετία 2008-2011.

INSTALLATION_NAME	VERIFIED_EMISSIONS_2011	VERIFIED_EMISSIONS_2010	VERIFIED_EMISSIONS_2009	VERIFIED_EMISSIONS_2008
DEH S.A LPP PATMOS	10.641	10.484	10.326	9.381
DEH S.A LPP SIFNOS	12.065	12.231	12.321	12.647
DEH S.A. APP CHIOS	123.706	123.783	122.842	79.825
DEH S.A. APP KALIMNOS	55.804	43.433	43.581	39.657
DEH S.A. APP KARPATIOS	25.140	23.821	23.130	22.013
DEH S.A. APP KOS	154.979	171.859	164.683	164.187
DEH S.A. APP LESVOS	179.599	184.174	161.010	150.077
DEH S.A. APP LIMNOS	43.868	44.805	44.395	44.179
DEH S.A. APP MIKONOS	74.312	76.399	76.405	57.656
DEH S.A. APP MILOS	27.215	26.882	23.833	22.907
DEH S.A. APP PAROS	108.626	115.404	123.016	124.637
DEH S.A. APP SAMOS	86.149	90.502	91.079	88.732
DEH S.A. APP SYROS	69.465	72.058	73.520	66.836
DEH S.A. APP THIRA	83.878	80.464	80.395	78.162
DEH S.A. LPP IKARIA	21.486	20.737	20.333	8.069
DEH S.A. TPS AGIOS DIMITRIOS	14.228.640	14.292.671	12.919.320	11.803.191
DEH S.A. TPS AGIOS GEORGIOS	126.792	626.593	683.421	976.083
DEH S.A. TPS ALIVERI	3.250	44.421	582.721	1.104.833
DEH S.A. TPS AMINTAIO	5.056.625	4.609.479	4.396.383	5.256.992
DEH S.A. TPS ATHERINOLAKOS	700.152	753.417	732.646	337.762
DEH S.A. TPS CHANIA	399.012	438.035	478.217	632.886
DEH S.A. TPS KARDIA	9.285.357	8.399.515	9.646.055	9.644.380
DEH S.A. TPS KOMOTINI	508.677	526.950	799.406	1.222.408
DEH S.A. TPS LAVRIO	1.566.646	1.617.813	2.700.711	4.092.188
DEH S.A. TPS LINOPERAMATA	769.020	804.496	801.628	809.374
DEH S.A. TPS LKDM	158.900	153.502	233.999	250.409
DEH S.A. TPS MEGALOPOLI (Unit IV)	3.009.880	2.694.745	2.914.168	2.190.791
DEH S.A. TPS MEGALOPOLI (Units I, II & III)	3.076.864	3.422.835	4.461.751	5.300.608
DEH S.A. TPS MELITIS FLORINA	1.900.480	2.196.000	1.875.199	1.846.726
DEH S.A. TPS PTOLEMAIDA	4.376.666	4.204.275	5.027.815	5.150.138
DEH S.A. TPS RHODES	562.286	546.944	564.063	566.845
THESSALONIKI ENERGY S.A. (T-POWER)	798.340	674.607	196.298	675.798
KAVALA OIL S.A.	46.866	49.793	87.475	85.831

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Η παγκόσμια κοινότητα έχει δεσμευτεί μέσω της σύμβασης – πλαίσιο για τις κλιματικές μεταβολές να σταθεροποιήσει τις εκπομπές CO₂ στα επίπεδα του 1990 και μέσω του Πρωτοκόλλου του Κιότο να μειώσει τις εκπομπές αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά 5,2% έως την περίοδο 2008-2012, σε σχέση με τις εκπομπές του 1990.

Οι πλέον σημαντικές νομοθετικές διατάξεις για την εξέλιξη των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου έχουν συνοπτικά ως εξής:

- Οδηγία 2003/54/ΕΚ σχετικά με τους κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Η εφαρμογή της Οδηγίας αναμένεται να διαφοροποιήσει το μίγμα καυσίμων και ενεργειακών πόρων που χρησιμοποιούνται στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα, συμβάλλοντας στην περαιτέρω αξιοποίηση του φυσικού αερίου και των ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων.
- Οδηγία 1996/61/ΕΚ για την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης. Στο Σενάριο Αναμενόμενης Εξέλιξης (ΣΑΕ) που διαμορφώθηκε, και ειδικότερα όσον αφορά στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τον ενεργειακό τομέα, ενσωματώνονται μια σειρά από παρεμβάσεις που σχετίζονται με την εφαρμογή Βέλτιστων Διαθέσιμων Τεχνικών σε συγκεκριμένους βιομηχανικούς κλάδους.
- Οδηγία 2001/77/ΕΚ για την προώθηση της αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στο ΣΑΕ που διαμορφώθηκε υιοθετείται σημαντική διείσδυση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή και θεωρείται η συνέχιση των υφιστάμενων υποστηρικτικών πολιτικών προώθησής τους (Ν. 2244/1995, αναπτυξιακός νόμος, κλπ.). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνονται σημαντικές μειώσεις εκπομπών από τον περιορισμό λειτουργίας θερμικών μονάδων.
- Οδηγία 2001/80/ΕΚ για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων ρύπων από μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης. Η εν λόγω Οδηγία επηρεάζει τη λειτουργία συγκεκριμένων μονάδων (όπως π.χ. στην ηλεκτροπαραγωγή) και έχει ληφθεί υπ' όψιν κατά τη διαμόρφωση του ΣΑΕ ως προς τη διαθεσιμότητα και τη λειτουργία των εν λόγω εγκαταστάσεων.
- Οδηγία 2001/81/ΕΚ σχετικά με εθνικά ανώτατα όρια εκπομπών για ορισμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Η εν λόγω Οδηγία αφορά στις εκπομπές SO₂ και NO_x. Συγκεκριμένα, η ανάπτυξη/εξέλιξη του ενεργειακού

συστήματος στο χρονικό ορίζοντα του 2010, θεωρήθηκε έτσι ώστε οι συνολικές εκπομπές των εν λόγω ρύπων να μην υπερβαίνουν ή να είναι πολύ κοντά στα εθνικά όρια που θεσπίζονται με την Οδηγία.

- Οδηγία 2003/17/ΕΚ για την ποιότητα βενζινών και πετρελαίου. Στη συγκεκριμένη Οδηγία λαμβάνονται υπ' όψιν οι πρόσθετες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου που οφείλονται είτε στη λειτουργία νέων μονάδων ή και σε αυξημένη λειτουργία υφιστάμενων μονάδων στα Ελληνικά διυλιστήρια, λόγω της συμμόρφωσης με την υποχρέωση παραγωγής καυσίμων πολύ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.
- Οδηγία 2004/8/ΕΚ για την προώθηση της συμπαραγωγής. Οι μειώσεις εκπομπών από τη διεύθυνση συστημάτων συμπαραγωγής υψηλής απόδοσης ορίζονται στα πλαίσια της Οδηγίας.

Οι ευέλικτοι μηχανισμοί επίτευξης των στόχων του Κιότο. Εμπόριο ρύπων, μηχανισμός καθαρής ανάπτυξης, εκτέλεση έργων από κοινού

Το Εμπόριο Ρύπων είναι ίσως ο πιο γνωστός από τους μηχανισμούς που προτάθηκαν για την επίτευξη των στόχων του πρωτοκόλλου του Κιότο. Άλλωστε η πρώτη του εφαρμογή έγινε στις ΗΠΑ κατά τη δεκαετία του 1990, ενώ ήταν και ανάμεσα στις προτάσεις της επιτροπής Brundtland στην έκθεση «Το κοινό μας μέλλον» (Our common future, 1987).

Ως μέθοδος περιορισμού των ρύπων ορίζεται ένα ανώτατο όριο εκπομπών (cap, emission ceiling) στο σύνολο των παραγωγών, είτε σε επίπεδο τομέα (ηλεκτροπαραγωγή, βιομηχανία, τριτογενής, μεταφορές), είτε σε εθνικό ή διεθνές επίπεδο. Στη συνέχεια κάθε τομέας παραγωγής των ρυπαντών λαμβάνει από τον διαχειριστή του συστήματος δικαιώματα (allowances) εκπομπών. Τα δικαιώματα είναι εμπορεύσιμα (tradable permits), μεταξύ των διαφόρων φορέων εκπομπής, ενώ οι τιμές καθορίζονται από τις συνθήκες της αγοράς. Στο τέλος του έτους (ή της ορισμένης περιόδου ελέγχου) κάθε ένας φορέας από τους συμμετέχοντες στο σύστημα, οφείλει να κατέχει δικαιώματα εκπομπής αντίστοιχα προς τις ποσότητες ρυπαντών που εξέπεμψε. Σε περίπτωση που κάποιος φορέας έχει περίσσειμα δικαιωμάτων, έχει δηλαδή εκπέμψει ποσότητα ρύπων χαμηλότερη από τα δικαιώματα εκπομπής που κατέχει, τότε υπάρχει η δυνατότητα για εκποίηση ή διατήρησή τους για μελλοντική χρήση. Αντίθετα αν κάποιος φορέας έχει εκπέμψει μεγαλύτερες ποσότητες ρύπων από τα δικαιώματα εκπομπής που κατέχει, τότε πρέπει να αγοράσει δικαιώματα από άλλους φορείς που έχουν διαθέσιμα προς πώληση. Ο βαθμός της τελικής διαθεσιμότητας των ανεκμετάλλευτων δικαιωμάτων ρύπανσης καθώς και το κατά πόσον οι υπόλοιπες επιχειρήσεις πέτυχαν ή όχι τους

στόχους μείωσης των εκπομπών τους θα καθορίσει τις τιμές διάθεσης των δικαιωμάτων.

Πρόκειται δηλαδή ουσιαστικά για ένα χρηματιστήριο όπου οι τιμές των προς συναλλαγή προϊόντων καθορίζεται από τους νόμους της ζήτησης και της προσφοράς. Αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι ενώ μια επιλογή θα μπορούσε να είναι η επένδυση σε αντιρρυπαντική τεχνολογία, φίλτρων ή συναφών συσκευών ελέγχου μετά την καύση (secondary measures), μια άλλη επιλογή είναι η μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας και συνεπώς των καυσίμων που χρησιμοποιούνται ή η χρήση ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων.

Παράλληλα όμως τα παραπάνω δεν αποκλείουν τη χρήση της δυνατότητας που προσφέρεται για μη εναρμόνιση με τις απαιτήσεις για μείωση της ρύπανσης και την αγορά επιπλέον δικαιωμάτων εκπομπής. Στις υποχρεώσεις ωστόσο των επιχειρήσεων περιλαμβάνεται η συνεχής μέτρηση και καταγραφή των εκπομπών τους και η αδιάλειπτη πληροφόρηση των αρμοδίων φορέων ελέγχου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΣΗΣ

Λαμβάνοντας υπ' όψιν την ανάγκη μείωσης της αέριας ρύπανσης, γίνεται συνεχώς προσπάθεια εξεύρεσης πιο αποτελεσματικών μεθόδων και τεχνικών καταπολέμησης αυτής. Η προσπάθεια αυτή επιδεινώνεται από την παγκόσμια φύση του προβλήματος και τις διασυννοριακές επιπτώσεις των συγκεκριμένων πηγών ρύπανσης. Το κόστος των ζημιών από τη ρύπανση του αέρα είναι όλο και πιο εμφανές και ολοένα πιο μεγάλο. Από την άλλη πλευρά του νομίσματος όμως, είναι η εξάρτηση των βιομηχανοποιημένων οικονομιών από τα ορυκτά καύσιμα, στα οποία βασίζεται το μεγαλύτερο μέρος της βιομηχανίας και κατά κύριο λόγο η ηλεκτροπαραγωγή. Αρκετές διαφορετικές στρατηγικές μείωσης των εκπομπών έχουν προταθεί συμπεριλαμβανομένων των διαφόρων μορφών φορολογίας, της άμεσης ρύθμισης και εποπτείας και του συστήματος εμπορεύσιμης ρύπανσης, μέσω του χρηματιστηρίου αδειών.

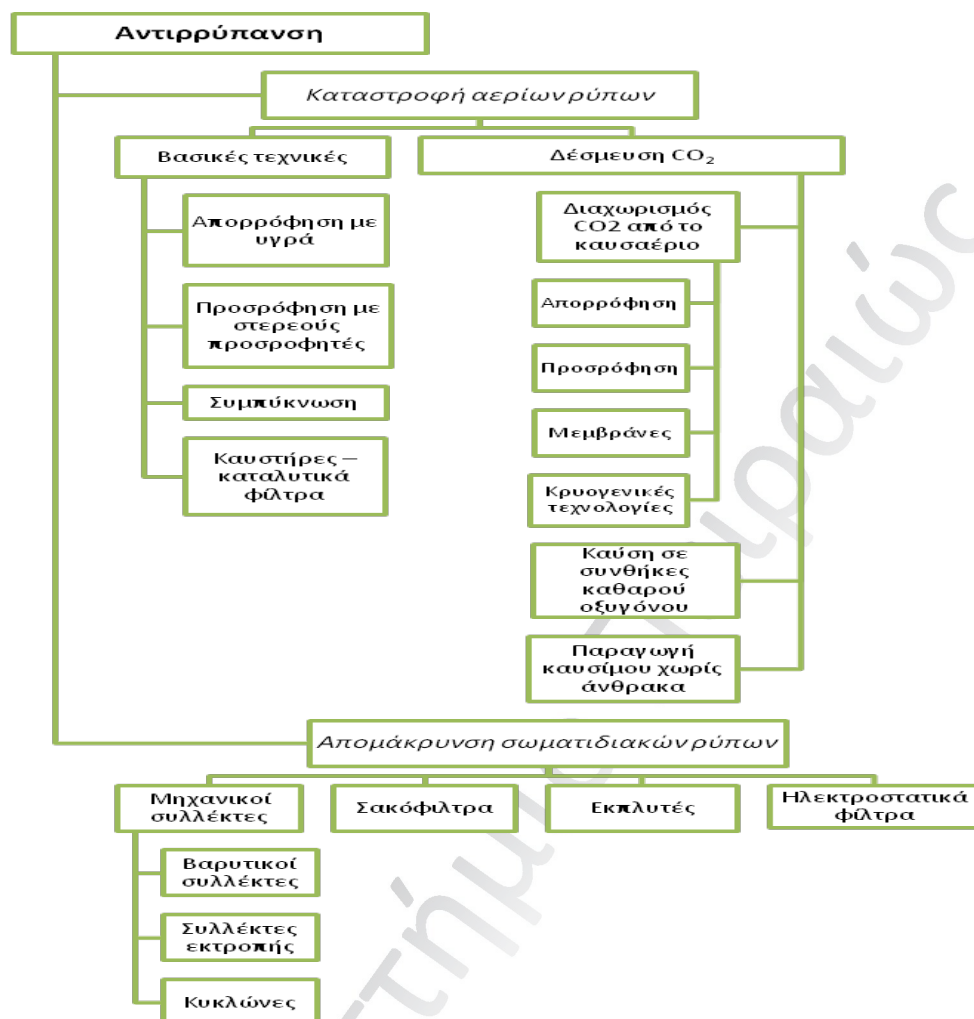
Έχουν αναπτυχθεί, γενικά, διάφορες τεχνολογίες αντιρρύπανσης κατά τη διαδικασία της ηλεκτροπαραγωγής. Οι δύο μεγάλες κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται είναι η καταστροφή των αέριων ρύπων και η απομάκρυνση των σωματιδιακών ρύπων.

Κυριότερες τεχνικές καταστροφής αερίων ρύπων είναι η απορρόφηση, η συμπύκνωση, η προσρόφηση και η χρήση καταλυτικών φίλτρων, καθώς επίσης και η δέσμευση του CO₂ μέσω διαχωρισμού αυτού από τα καυσαέρια ή την καύση σε συνθήκες καθαρού οξυγόνου.

Από την άλλη, η απομάκρυνση των σωματιδιακών ρύπων γίνεται με μηχανικούς συλλέκτες (βαρυτικοί, εκτροπής, κυκλώνες), σακόφιλτρα, εκπλυτές και ηλεκτροστατικά φίλτρα.

Πολλές από τις συγκεκριμένες τεχνολογίες βρίσκουν εφαρμογή και σε άλλους τομείς της βιομηχανίας, όχι μόνο στην ηλεκτροπαραγωγή.

Σχήμα 3. Τεχνολογίες αντιρρύπανσης.



4.1 Τεχνολογίες καταστροφής αερίων ρύπων

4.1.1 Βασικές τεχνικές και διεργασίες καταστροφής αερίων ρύπων

Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι, που εκπέμπονται από τη λειτουργία των συμβατικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, είναι το διοξείδιο του θείου (SO₂), τα οξείδια του αζώτου (NO_x) και τα σωματίδια (σκόνη). Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι καταστροφής αερίων ρύπων που προέρχονται από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Κάθε σταθμός, ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιεί και το έτος κατασκευής του, έχει τις δικές του εκπομπές τόσο σε σύσταση όσο και σε ποσότητα. Έτσι τα συστήματα ελέγχου που θα πρέπει να σχεδιαστούν, προκύπτουν σε κάθε περίπτωση βάσει αυτών.

Οι κύριες διεργασίες (τεχνικές) καταστροφής αέριων ρύπων [8] οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρέως είναι:

- **Η απορρόφηση με υγρά**
- **Η προσρόφηση με στερεούς προσροφητές**
- **Η συμπύκνωση**
- **Η χημική μετατροπή με καυστήρες ή καταλυτικά φίλτρα (μετατροπείς)**

Παράλληλα, οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που έχουν σαν καύσιμο το λιγνίτη, παράγουν εκπομπές σε υψηλές θερμοκρασίες και δημιουργούν ρύπανση κυρίως από ιπτάμενη τέφρα. Επίσης οι εκπομπές τους χαρακτηρίζονται από μεγάλους ρυθμούς και απαιτείται να συμβαδίζουν με τα αυστηρά όρια που έχουν θεσπιστεί.

Ο έλεγχος της αέριας ρύπανσης εξαρτάται κυρίως από το χρησιμοποιούμενο καύσιμο και τη διεργασία της καύσης. Οι μεγάλες ποσότητες σωματιδιακών ρύπων που εκπέμπονται πρέπει να ελεγχθούν με συσκευές όπως πολλαπλοί κυκλώνες, εκπλυτές, φίλτρα, ηλεκτροστατικά φίλτρα (ESPs).

Το SO₂ είναι ένας βασικός ρύπος για τους θερμικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η μείωση του SO₂, στα επιθυμητά επίπεδα εκπομπής, μπορεί να πραγματοποιηθεί αρχικά με τη χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Η χρήση κάρβουνου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο μπορεί να είναι φθηνότερη σε σχέση με τη χρήση ενός συστήματος ελέγχου SO₂ κατά τη διεργασία.

Στην περίπτωση που είναι απαραίτητη μια συσκευή ελέγχου του SO₂, μπορεί να ακολουθηθεί κάποια από τις μεθόδους του παρακάτω πίνακα, αφού όμως πρώτα αποφασισθεί αν το προς χρήση σύστημα θα είναι υγρό ή ξηρό. Πολλά συστήματα απομάκρυνσης SO₂ χρησιμοποιούν οξείδιο του ασβεστίου (CaO), οξείδιο του μαγνησίου (MgO) ή διαλύματα αργίλου (δηλ. πηλού) ή γύψου σε υδροξείδιο του νατρίου (NaOH).

Πίνακας 6. Επιλογές για τον έλεγχο του διοξειδίου του θείου

Μέθοδος	Παρατηρήσεις
Με ασβεστόλιθο ή άσβεστο (ξηρό)	Ψημένος (ασβεστοποιημένος) ασβεστόλιθος αντιδρά με SO _x . Απομάκρυνση με ξηρό σύστημα ελέγχου σωματιδίων.
Με ασβεστόλιθο ή άσβεστο (υγρό)	Ο ψημένος ασβεστόλιθος αντιδρά με SO _x που απομακρύνονται εν συνεχεία με υγρούς εκπλυτές.
Με ανθρακικό νάτριο	Το ανθρακικό νάτριο αντιδρά με SO _x σε ξηρό σύστημα προς σουλφίδιο του νατρίου (Na ₂ S) και CO ₂ . Το Na ₂ S απομακρύνεται με σακόφιλτρα.

Επεξεργασία με κιτρικά	Κιτρικό προστίθεται σε εκπλυτή νερού για να ενισχύσει τη διάλυση του SO ₂ στο νερό. Στη συνέχεια απομακρύνεται S από το διάλυμα του κιτρικού.
Προσρόφηση από CuO	Τα SO _x αντιδρούν με CuO προς Cu ₂ S. Μετά γίνεται απομάκρυνση με φίλτρα κατακράτησης σωματιδίων Cu ₂ S.
Έκπλυση με καυστικά	Τα καυστικά εξουδετερώνουν τα SO _x . Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται σε μικρές διεργασίες.

Η ξηρά απομάκρυνση του SO₂ μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τα ίδια χημικά με αυτά των υγρών διαδικασιών, προσθέτοντας τα σε ένα θάλαμο υπό μορφή ψεκάσμου και έπειτα απομακρύνοντας τα διεσπαρμένα οξείδια με ένα φίλτρο κλασικού τύπου ή ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο. Η βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχει τεράστια εμπειρία σε συστήματα ελέγχου SO₂.

Ο έλεγχος των οξειδίων του αζώτου μπορεί να επιτευχθεί με απορροφητές ή καταλύτες, αλλά τα περισσότερα συστήματα ελέγχου έχουν επικεντρωθεί σήμερα στη βελτιστοποίηση της διεργασίας καύσης ώστε να μειωθεί ο σχηματισμός των NO_x. Εξελιγμένοι καταλύτες και καυστήρες, χρήση συστημάτων χαμηλής θερμοκρασίας (συστήματα ρευστοποιημένης κλίνης), σταδιακή καύση αλλά και πολλά άλλα μέτρα έχουν παρθεί σήμερα για την επίλυση του προβλήματος.

4.1.2 Βασικές τεχνολογίες δέσμευσης CO₂ σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς (Carbon Capture and Storage (CCS))

Οι κυριότερες τεχνολογίες δέσμευσης CO₂ [9], που είναι ο κυριότερος ρύπος, σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες:

- Διαχωρισμός CO₂ από το καυσαέριο
- Καύση σε συνθήκες καθαρού οξυγόνου
- Παραγωγή καυσίμου που δεν περιέχει άνθρακα

Διαχωρισμός διοξειδίου του άνθρακα από το καυσαέριο (Post-combustion capture)

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

- Απορρόφηση (διαχωρισμός του CO₂ με υγρό διάλυμα σε στήλη απορρόφησης)
- Προσρόφηση (διαχωρισμός του CO₂ με προσρόφηση αυτού σε κάποιο στερεό)
- Μεμβράνες (διαχωρισμός του CO₂ βάση της αρχής της διαφορετικής διαπερατότητας των αερίων διαμέσου μεμβρανών)
- Κρυογενικές τεχνολογίες (Ψύξη ή συμπύκνωση του CO₂)

Από τις παραπάνω τεχνολογίες μόνον 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 ή όχι 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 θερμοηλεκτρικού σταθμού με καύσιμο λιγνίτη, η χημική απορρόφηση είναι η προτιμώμενη λύση.

Καύση σε συνθήκες καθαρού οξυγόνου (oxy-fuel)

Η τεχνολογία αυτή 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 την 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).

Η κρυογενική μέθοδος είναι η πιο κατάλληλη τεχνολογία για το διαχωρισμό του αζώτου από τον αέρα.

Η καύση με καθαρό οξυγόνο οδηγεί σε πολύ υψηλή θερμοκρασία καύσης στην εστία. Για να μειωθεί η θερμοκρασία αυτή, ένα μέρος του καυσαερίου ανακυκλοφορεί στο θάλαμο καύσης. Στην περίπτωση εφαρμογής της τεχνολογίας καύσης με οξυγόνο σε ήδη υπάρχοντα 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 ηλεκτρικής ενέργειας, περίπου τα 2/3 της παροχής του καυσαερίου στην έξοδο της εστίας πρέπει να ανακυκλοφορεί.

Παραγωγή καυσίμου χωρίς άνθρακα (Pre-combusting capture)

Στην τεχνολογία αυτή ο άνθρακας απομακρύνεται από το καύσιμο πριν αυτό οδηγηθεί για καύση. Στην τυπική διαδικασία του συνδυασμένου κύκλου με αεριοποίηση (IGCC), το στερεό καύσιμο κονιοποιείται και διαλύεται σε νερό. Στη συνέχεια το διάλυμα θερμαίνεται με οξυγόνο ή αέρα περίπου στους 1300 °K 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 CO_2 από το H_2 στο αέριο καύσιμο. Μεμβράνες διαχωρισμού του H_2 μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν.

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 H_2 και CO παρουσία H_2O .

4.2 Τεχνολογίες απομάκρυνσης σωματιδιακών ρύπων

Η σωματιδιακή ύλη παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία στην κατανομή μεγέθους, το σχήμα, το ειδικό βάρος, τη χημική σύσταση, την πυκνότητα, την ηλεκτρική αγωγιμότητα, τη συνοχή κ.α. Όλες αυτές οι ιδιότητες, μαζί με την αναμενόμενη ποσότητα του απόβλητου αερίου προς επεξεργασία, καθορίζουν την επιλογή του εξοπλισμού απομάκρυνσης σωματιδιακών ρύπων.

Τα σωματίδια είναι ένας ευρύς όρος που καλύπτει όλες τις ουσίες στην ατμόσφαιρα που δεν είναι αέρια. Τα σωματίδια είναι συνδυασμοί πολλών μορίων, μερικές φορές παρόμοιων και άλλες διαφορετικών μεταξύ τους. Περιλαμβάνουν σκόνη, σωματίδια καπνού, ιόντα, συμπλέγματα μορίων κτλ. Μερικά από αυτά τα σωματίδια λειτουργούν σαν πυρήνες στους οποίους συμπυκνώνονται ατμοί. Μερικά σωματίδια αντιδρούν χημικά με αέρια της ατμόσφαιρας ή ατμούς και σχηματίζουν διάφορες συνθέσεις.

Οι συσκευές απομάκρυνσης σωματιδιακών ρύπων είναι τεσσάρων ειδών [10]:

- ❖ Μηχανικοί συλλέκτες
- ❖ Υφασμάτινα φίλτρα ή σακόφιλτρα
- ❖ Εκπλυτές ή υγροί συλλέκτες

❖ Ηλεκτροστατικοί συλλέκτες

Ο συνδυασμός των παραπάνω είναι η αποτελεσματικότερη λύση για την αντιμετώπιση των σωματιδιακών ρύπων.

4.2.1 Μηχανικοί συλλέκτες

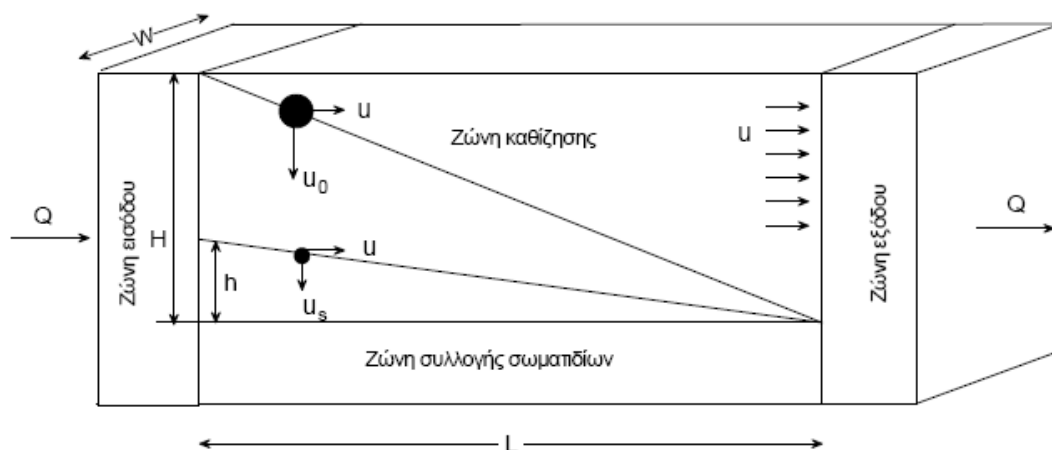
Οι μηχανικοί συλλέκτες για να διαχωρίσουν τα σωματίδια από τον αέρα εκμεταλλεύονται τη μεγάλη διαφορά (1000-2000 φορές) μεταξύ των δύο. Βασικοί τύποι μηχανικών συλλεκτών είναι [10]:

- Βαρυτικοί συλλέκτες
- Συλλέκτες εκτροπής με ανακυκλοφορία
- Κυκλώνες υψηλής απόδοσης

Βαρυτικοί συλλέκτες

Το απόβλητο αέριο εισέρχεται μέσα στους βαρυτικούς συλλέκτες μέσω μιας διαστολής, οπότε η ταχύτητα διέλευσης μειώνεται πολύ και έχει αρκετά μεγάλους χρόνους παραμονής ώστε τα σωματίδια να προλαβαίνουν να κατακάθονται υπό την επίδραση της βαρύτητας.

Σχήμα 4. Τροχιές καθίζησης διακριτών σωματιδίων σε βαρυτικό συλλέκτη.



Όπως φαίνεται στο Σχήμα, σωματίδια με ταχύτητα καθίζησης $u_s < u_0$, απομακρύνονται μόνο αν εισέλθουν στη ζώνη εισόδου από ύψος μικρότερο του h . Σωματίδια που εισέρχονται από ύψος μεγαλύτερο του h δεν προλαβαίνουν να φτάσουν στον πυθμένα και να απομακρυνθούν πριν φθάσουν στη ζώνη εξόδου.

Οι βαρυτικοί συλλέκτες, ανάλογα με την ταχύτητα του αερίου για την οποία σχεδιάστηκαν, χωρίζονται σε συλλέκτες στρωτής ροής και συλλέκτες τυρβώδους ροής. Ο έλεγχος για το αν η ροή είναι στρωτή ή όχι γίνεται με τον αριθμό Reynolds.

Αν και έχουν σαν πλεονέκτημα το χαμηλό κόστος, από την άλλη σημαντικό μειονέκτημά τους είναι η πολύ χαμηλή τους επίδοση για μικρά σωματίδια. Γενικά χρησιμοποιούνται για συλλογή σωματιδίων μεγαλύτερων από 50 μm. Ένα επιπλέον λειτουργικό μειονέκτημα είναι η σημαντική πτώση πίεσης, που έχει ως αποτέλεσμα να χρειάζεται περισσότερη ενέργεια για την κίνηση του αέρα μέσα στις σωληνώσεις [10].

Συλλέκτες εκτροπής με ανακυκλοφορία

Το αέριο εισάγεται με μεγάλη ταχύτητα στον εκτροπέα. Για να κάνει τη διαδρομή από την είσοδο στις οπές εξόδου, πρέπει να πραγματοποιήσει μια απότομη στροφή μεγάλης ταχύτητας. Τα βαρύτερα σωματίδια δεν μπορούν να ακολουθήσουν το αέριο και έτσι επέρχεται διαχωρισμός. Αν και έχουν μεγαλύτερη απόδοση από τον βαρυτικό συλλέκτη στα μικρά σωματίδια εξακολουθεί να είναι ανεπαρκής.

Ο συλλέκτης εκτροπής με ανακυκλοφορία χρησιμοποιείται κυρίως ως προκαθαριστής αερίων αποβλήτων, ενώ μια άλλη συσκευή τοποθετημένη μετά από αυτόν αναλαμβάνει το κύριο έργο της απομάκρυνσης λεπτόκοκκου φορτίου (πχ σκόνης) [10].

Κυκλώνες υψηλής απόδοσης

Οι κυκλώνες χρησιμοποιούν τη φυγόκεντρο δύναμη, αντί της βαρύτητας, για το διαχωρισμό των σωματιδίων που μεταφέρονται σε ρεύμα αερίου αποβλήτου. Η ακτίνα περιστροφής μειώνεται συνεχώς, οδηγώντας όλο και μικρότερα σωματίδια σε σύγκρουση με τα τοιχώματα.

Το αέριο εισέρχεται μέσα στον κυκλώνα εφαπτομενικά στο πάνω μέρος του. Στη συνέχεια στροβιλίζεται πάνω στο κυλινδρικό τοίχωμα και αυτός ο στροβιλισμός αναπτύσσει φυγόκεντρες δυνάμεις πάνω στα σωματίδια, που εκτινάσσονται πάνω στο στερεό τοίχωμα, συσσωματώνονται και καθιζάνουν προς το δοχείο-σακί συλλογής, στη βάση του κυκλώνα. Το αέριο, απαλλαγμένο από ένα μεγάλο μέρος από σωματίδια, εξέρχεται από τον κεντρικό σωλήνα και από το πάνω μέρος του κυκλώνα. Η πολύπλοκη αυτή κίνηση μπορεί να περιγραφεί σαν ένας συνδυασμός μιας κατερχόμενης εξωτερικής δίνης με μια ανερχόμενη εσωτερική.

Ο κυκλώνας είναι πιο αποτελεσματικός από τις προηγούμενες δύο κατηγορίες διότι οι φυγόκεντρες δυνάμεις που αναπτύσσονται στους κυκλώνες και που αποτελούν το μηχανισμό εκτίναξης και συλλογής των σωματιδίων, είναι ισχυρότερες από τις βαρυτικές δυνάμεις που χαρακτηρίζουν τα αντίστοιχα φαινόμενα στους βαρυτικούς συλλέκτες.

Το κόστος του κυκλώνα είναι χαμηλό και έτσι πολλές βιομηχανίες κατασκευάζουν οι ίδιες τους κυκλώνες που χρειάζονται στις εγκαταστάσεις τους [10].

4.2.2 Φίλτρα από ύφασμα (σακόφιλτρα)

Τα σακόφιλτρα εφαρμόζονται για την απομάκρυνση ξηρών άνυδρων σωματιδίων. Η σκόνη κατακρατείται από τη μια πλευρά του υφάσματος που διαθέτει διάκενα από τα οποία διαπερνά το καθαρισμένο αέριο. Μια τυπική διάσταση οπών για εμπορικά σακόφιλτρα είναι 100μm [10].

Το ύφασμα αυτό μπορεί να είναι από διάφορα υλικά. Συνήθως χρησιμοποιούνται κατηγορίες πλαστικών υλικών αλλά και υλικά όπως βαμβάκι, μαλλί, γυαλί, τεφλόν.

Περιγραφή λειτουργίας σακόφιλτρων:

Όταν τα αέρια αρχίσουν να προσβάλλουν το σακόφιλτρο, τα μικρά σωματίδια αρχικά διαφεύγουν από την άλλη πλευρά του. Τα μεγαλύτερα όμως σωματίδια παγιδεύονται πάνω στο φίλτρο και καθώς το φαινόμενο συνεχίζεται στην επιφάνεια του φίλτρου αρχίζει και δημιουργείται ένα στρώμα σωματιδίων («κέικ»). Το στρώμα αυτό, με το πέρασμα του χρόνου, γίνεται μεγαλύτερο και αρχίζει και λειτουργεί το ίδιο ως φίλτρο. Τα αέρια καθώς προσκρούουν στο φίλτρο, δεν έρχονται σε επαφή με το πανί αλλά με το «κέικ». Επομένως, οι οπές που σχηματίζονται πάνω στο «κέικ» καθορίζουν τι θα περάσει και τι όχι και όχι οι μεγάλες οπές του φιλτρόπανου. Οι μέσες οπές στην επιφάνεια του «κέικ» είναι πολύ μικρότερες, για αυτό και το σακόφιλτρο τελικά είναι πολύ αποτελεσματικό στην κατακράτηση ακόμα και μικρών σωματιδίων μέχρι 2-3μm [10].

Εκτός από τον κλασικό μηχανισμό που περιγράφηκε και που συχνά ονομάζεται αδρανειακός, υπάρχει και ένας άλλος που αφορά πολύ μικρά σωματίδια, τυπικής διάστασης δεκάτων του μικρού. Αυτά τα σωματίδια εκτός από την ταχύτητά τους εκτελούν και μια έντονα ταλαντωτική κίνηση που ονομάζεται κίνηση Brown. Η πιθανότητα πρόσκρουσης και σύλληψης πάνω στο φίλτρο (ή στο «κέικ») για ένα τέτοιο σωματίδιο αυξάνει λόγω αυτής της κίνησης, αν και η διάστασή του είναι μικρότερη από την οπή που συναντά.

Συμπερασματικά, τα σακόφιλτρα έχουν πολύ καλή συμπεριφορά σε σχετικά μεγάλα σωματίδια, άνω των 2-3 μικρών (λόγω αδρανειακής αναχαίτισης τους) αλλά η αποτελεσματικότητά τους σε πολύ μικρά σωματίδια δεκάτων του 1 μm είναι μάλλον περιορισμένη, γιατί κανένας από τους δύο μηχανισμούς απομάκρυνσης δεν είναι αρκετά ισχυρός.

Σε τακτά χρονικά διαστήματα απαιτείται ο καθαρισμός του φίλτρου διότι καθώς μεγαλώνει το «κέικ», αυξάνεται και η πτώση πίεσης του αέρα κατά τη δίοδο του μέσα από το φίλτρο.

4.2.3 Εκπλυτές ή υγρά φίλτρα

Οι εκπλυτές χρησιμοποιούν υγρό (συνήθως νερό), το οποίο ψεκάζεται μέσα σε ειδικό θάλαμο συνήθως από την οροφή του, για την παγίδευση και απομάκρυνση των σωματιδίων. Η απομάκρυνση επιτυγχάνεται κυρίως με σύγκρουση μεταξύ σταγονιδίων και σωματιδίων και την επακόλουθη δέσμευση των δεύτερων από τα πρώτα. Τα δεσμευόμενα σωματίδια με αυξημένο βάρος συλλέγονται λόγω βαρύτητας, αδράνειας ή/και φυγόκεντρων δυνάμεων ανάλογα του τρόπου δράσης του υγρού φίλτρου. Στον πυθμένα καθιζάνει η λάσπη η οποία κατά διαστήματα αφαιρείται. Το ψεκαζόμενο υγρό μετά από καθαρισμό ανακυκλώνεται [10].

4.2.4 Ηλεκτροστατικά φίλτρα

Η λειτουργία του φίλτρου αυτού βασίζεται σε ηλεκτροστατικές και όχι μηχανικές δυνάμεις.

Τα σωματίδια φορτίζονται με αρνητικό δυναμικό ($\cong 50.000V$) και συλλέγονται πάνω σε επίπεδα γειωμένα (θετικά) ηλεκτρόδια και τελικά σε χοάνη. Δημιουργείται σταδιακά κρούστα πάχους 2-6mm πάνω στα ηλεκτρόδια, η οποία θρυμματίζεται με ελεγχόμενο τίναγμα σε σχετικά μεγάλα συσσωματώματα που απομακρύνονται εύκολα με την βαρύτητα [10].

Πλεονεκτήματα των ηλεκτροστατικών φίλτρων είναι:

- ✓ Υψηλή απόδοση (έως και 99%) και για πολύ μικρά σωματίδια (της τάξεως του 1 μ m)
- ✓ Υψηλή αξιοπιστία

Τα ηλεκτροστατικά φίλτρα χρησιμοποιούνται κυρίως σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ιδίως όταν χρησιμοποιείται κάρβουνο, πετρέλαιο και μαζούτ) αλλά και σε βιομηχανίες τσιμέντου. Στην Ελλάδα οι λιγνιτικές μονάδες I, II, III και IV του ΑΗΣ Καρδιάς, οι μονάδες I, II, III και IV του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας, οι μονάδες I και II του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ, και τα Η/Φ τέφρας και λιγνίτη της μονάδας III του ΑΗΣ Μεγαλόπολης Α.⁸

⁸ Δ.Ε.Η. (www.dei.gr)

Επιπρόσθετα, χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις πολύ μικρών σωματιδιακών ρύπων που είναι αδύνατον να συλληφθούν με τις προηγούμενες διατάξεις [10].

Μειονεκτήματα των ηλεκτροστατικών φίλτρων:

- ✓ Δαπανηρές διατάξεις και ως προς το αρχικό κόστος εγκατάστασης και ως προς το λειτουργικό λόγω ανάγκης παρουσίας ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου
- ✓ Εάν οι ροές των αερίων είναι μεγαλύτερες της προσχεδιασμένης επέρχεται απώλεια απόδοσης
- ✓ Η απόδοσή τους όσο αφορά σκόνες με υψηλή αντίσταση είναι απρόβλεπτη

Εξαιτίας του υψηλού κόστους δεν χρησιμοποιούνται συχνά και γίνεται μόνο σε περιπτώσεις που η εκπομπή σωματιδίων είναι πολύ μεγάλη και οι παραπάνω διατάξεις δεν επαρκούν για το διαχωρισμό τους από τον αέρα.

5.1 Η περίπτωση των Η.Π.Α.

Ο τομέας της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αντιπροσωπεύει το 32% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στις Η.Π.Α., με τις μεταφορές να ακολουθούν με ποσοστό περίπου 28%. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την ηλεκτρική ενέργεια έχουν αυξηθεί κατά περίπου 11% από το 1990 μέχρι σήμερα, καθώς η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας έχει αυξηθεί και τα ορυκτά καύσιμα παραμένουν η κυρίαρχη πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με ορυκτά καύσιμα είναι η μεγαλύτερη πηγή των αμερικανικών εκπομπών CO₂ [11].

Παρά το γεγονός ότι ο άνθρακας αντιπροσωπεύει το 39% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στις Η.Π.Α., συμμετέχει με ποσοστό περίπου 75% στις εκπομπές CO₂ από τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Περίπου το 29% της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται προέρχεται από το φυσικό αέριο, με το ποσοστό αυτό να έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια. Από την άλλη το πετρέλαιο αντιστοιχεί σε λιγότερο από το 1% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το υπόλοιπο προέρχεται από πυρηνική ενέργεια (περίπου 20%) και ανανεώσιμες πηγές (περίπου 12%), όπως υδροηλεκτρική ενέργεια, βιομάζα, αιολική και ηλιακή ενέργεια [12].

Γενικά, οι Η.Π.Α. έχουν αναπτύξει διάφορες στρατηγικές και τεχνικές μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που συνδέονται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Κυριότερες εθνικές στρατηγικές είναι η όλο και αυξανόμενη συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών και της πυρηνικής ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή, καθώς και η σταδιακή αντικατάσταση υπάρχοντων σταθμών που χρησιμοποιούν άνθρακα και λιγνίτη με άλλους που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο.

Όσον αφορά τις τεχνικές μείωσης των εκπομπών των αερίων ρύπων, αυτές επικεντρώνονται στη δέσμευση του CO₂ από τα καυσαέρια, πριν αυτό εισέλθει στην ατμόσφαιρα, τεχνικές οι οποίες αναπτύσσονται από το Αμερικανικό Υπουργείο Ενέργειας (DOE), τις εταιρείες παραγωγής ενέργειας και άλλους οργανισμούς.

Οι τεχνικές αυτές συνήθως χρησιμοποιούν διαλύτες, στερεούς προσροφητές, τεχνολογίες που βασίζονται σε μεμβράνες για τον διαχωρισμό και τη δέσμευση του CO₂ καθώς και καύση του άνθρακα σε συνθήκες καθαρού οξυγόνου. Τα συστήματα διαλυτών με βάση την αμίνη χρησιμοποιούνται ευρέως στις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, ωστόσο, οι διαλύτες εφαρμόζονται κυρίως για την απομάκρυνση των μεγάλων όγκων CO₂. Οι στερεοί προσροφητές μπορούν να

χρησιμοποιηθούν για τη δέσμευση του CO₂ είτε μέσω χημικής προσρόφησης, είτε μέσω φυσικής προσρόφησης, ή ακόμα και σε συνδυασμό των δύο τεχνικών. Οι μεμβράνες χρησιμοποιούν διαπερατά ή ημι-διαπερατά υλικά που επιτρέπουν την επιλεκτική δέσμευση του CO₂. Η καύση του άνθρακα σε συνθήκες καθαρού οξυγόνου, αντί του ατμοσφαιρικού αέρα, παράγει αέριο CO₂ υψηλής συμπύκνωσης το οποίο δεν απαιτεί διαχωρισμό [13] [14].

Μόλις δεσμεύεται το CO₂, μεταφέρεται, αν είναι απαραίτητο, και αποθηκεύεται σε γεωλογικούς σχηματισμούς, όπως δεξαμενές πετρελαίου και φυσικού αερίου ή ανεκμετάλλευτα κοιτάσματα άνθρακα.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα χρησιμοποίησης, σχεδόν του συνόλου, των τεχνικών μείωσης των αερίων ρύπων, είναι μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας 830 MW που πρόκειται να κατασκευαστεί στο Michigan από την εταιρεία Consumers Energy Company. Στη μονάδα αυτή πρόκειται να βρουν εφαρμογή η επιλεκτική καταλυτική δέσμευση (SCR - selective catalytic reduction), τα φίλτρα αέρος καθώς και η υγρή αποθείωση των καυσαερίων. Επίσης οι έλεγχοι των εκπομπών των αερίων ρύπων της μονάδας περιλαμβάνουν διαχωρισμό του CO₂ και του υδρόθειου από το μείγμα της καύσης [15].

5.2 Η περίπτωση της Αυστραλίας

Η Αυστραλία έχει αφθονία και ποικιλία ενεργειακών πόρων. Έχει πάνω από το ένα τρίτο των γνωστών πόρων ουρανίου στον κόσμο, πολύ μεγάλες ποσότητες άνθρακα και λιγνίτη καθώς και φυσικού αερίου, ποσότητες μάλιστα ικανές όχι μόνο να στηρίζουν την εγχώρια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και να εξάγονται σε άλλες χώρες. Επίσης έχει μια πλούσια ποικιλία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (αιολική, ηλιακή, γεωθερμική, υδροηλεκτρική ενέργεια, ενέργεια κυμάτων, παλιρροϊκή ενέργεια, βιοενέργεια) [16].

Η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2013 ήταν 249 TWh έχοντας μειωθεί περίπου 0,3% σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Ο άνθρακας είναι η μεγαλύτερη πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ποσοστό 64%, με το φυσικό αέριο να ακολουθεί με 20% και τις ανανεώσιμες πηγές με 13%. Βέβαια υπάρχει σημαντική μείωση στη χρήση του άνθρακα, αν υπολογιστεί πως το αντίστοιχο ποσοστό το 2004 ήταν 77%, ενώ από την άλλη η χρήση ανανεώσιμων πηγών έχει αυξηθεί πάνω από 8% το ίδιο διάστημα [16] [17].

Γενικά, ο άνθρακας που εξορύσσεται από την Αυστραλία και χρησιμοποιείται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας, δεν εκπέμπει μεγάλες ποσότητες SO₂ κατά την καύση του. Ωστόσο η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας συμμετέχει με ποσοστό πάνω από 35% στις εγχώριες εκπομπές CO₂, με τις μονάδες που χρησιμοποιούν λιγνίτη να εκπέμπουν το 60% περίπου αυτών [18].

Τα τελευταία χρόνια η Αυστραλία έχει αναπτύξει τουλάχιστον πέντε προγράμματα δέσμευσης του CO₂ σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [19]. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το ZeroGen Project, όπου σε υπάρχουσα μονάδα προτάθηκε να προστεθεί μία νέα συνδυασμένου κύκλου που μαζί με τις τεχνολογίες δέσμευσης CO₂ θα καταφέρει να παράγει ηλεκτρική ενέργεια με πολύ χαμηλές εκπομπές αερίων ρύπων. Συγκεκριμένα θα μετατρέπεται ο άνθρακας, που θα αναμειγνύεται με αέρα πλούσιο σε οξυγόνο και ατμό υπό πίεση, σε ένα αέριο που θα αποτελείται κυρίως από μονοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο. Στη συνέχεια το αέριο αυτό υποβάλλεται σε μία μετατροπή, όπου το μονοξείδιο του άνθρακα μετατρέπεται σε υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Το τελευταίο διαχωρίζεται από το αέριο και παράγεται έτσι ένα καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα και υψηλής σε υδρογόνο, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Το έργο αυτό αναμένεται να έχει ολοκληρωθεί μέσα στο 2015.

Παρόμοια τεχνολογία θα χρησιμοποιηθεί και στο Wandoan Power Project, όπου υπολογίζεται πως θα δεσμεύεται πάνω από το 90% των εκπομπών CO₂ [19].

Ένα άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το Callide Oxyfuel Project που έχει ως στόχο τη δέσμευση του CO₂ μέσω της καύσης σε συνθήκες καθαρού οξυγόνου. Σε αυτήν την περίπτωση, ο άνθρακας καίγεται σε ένα λέβητα με οξυγόνο και στη

συνέχεια τα αέρια της καύσης ανακυκλώνονται και επαναχρησιμοποιούνται αντί του ατμοσφαιρικού αέρα [19].

Στο Delta-Munmorah PCC Project θα χρησιμοποιηθεί τεχνολογία δέσμευσης του CO₂ μετά την καύση, σε μια πιλοτική μονάδα παραγωγής που βασίζεται στην αμμωνία [19].

Τέλος στο Project on Mineral Carbonation, εξετάζεται η χρήση σερπεντινίτη, που είναι άφθονος στην Αυστραλία, με σκοπό τη δέσμευση του CO₂ σε μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [19].

Η περίπτωση του Ιράν

Το Ιράν βρίσκεται στη Μέση Ανατολή και συνορεύει με το Ιράκ και την Τουρκία δυτικά, την Αρμενία, το Αζερμπαϊτζάν, τη Ρωσία και το Τουρκμενιστάν βόρεια, το Αφγανιστάν και το Πακιστάν ανατολικά και νότια με το Ιράν στον Περσικό Κόλπο και το Ομάν. Συνορεύει επίσης με την Κασπία Θάλασσα, με 740 χιλιόμετρα ακτογραμμής, στα βόρεια της χώρας. Η χώρα έχει έκταση 1.648.000 τετραγωνικών χιλιομέτρων.

Το Ιράν έχει ποικιλία κλιματολογικών συνθηκών. Στα βόρεια της χώρας βρίσκεται η οροσειρά Alborz, με την ψηλότερη κορυφή να είναι στα 5671 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Επίσης από τα βορειοδυτικά προς τα νοτιοανατολικά εκτείνεται το βουνό Zagros. Οι κεντρικές και ανατολικές περιοχές του Ιράν είναι λιγότερο ορεινές με λιγότερες κορυφές. Εκτός από τις βόρειες και νότιες ακτές, όπου η υψηλή υγρασία είναι διαδεδομένη, η υγρασία και οι βροχοπτώσεις είναι χαμηλότερες από το βορρά προς το νότο, καθώς και από τα ανατολικά προς τα δυτικά.

Το 2014, ο πληθυσμός του Ιράν ήταν περίπου 78 εκατομμύρια, έχοντας αυξηθεί την τελευταία δεκαετία 10 εκατομμύρια, με ρυθμό αύξησης περίπου 1-1,5% ετησίως.

Το 2005, υπολογιζόταν πως το Ιράν διαθέτει αποθέματα ύψους περίπου 133 δις βαρέλια πετρελαίου και 24 τρισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου. Αυτά αποτελούν το 11,6% και το 15,6% των αποθεμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου στον κόσμο, αντίστοιχα, κάνοντας το Ιράν τη δεύτερη χώρα με πλουσιότερα αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου στον κόσμο. Λόγω της ιδιαιτερότητας αυτής, το σύνολο, σχεδόν, των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα χρησιμοποιεί ορυκτά καύσιμα.

Η χρήση του φυσικού αερίου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τις τελευταίες δεκαετίες, έχει αυξηθεί από 1,3% της συνολικής παραγόμενης ενέργειας που ήταν το 1966 σε 36,3% το 2003 και αυτή του πετρελαίου έχει μειωθεί από 84,3% σε 53,4% για το ίδιο διάστημα. Όμως η αυξανόμενη ζήτηση σε παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, λόγω της αύξησης του πληθυσμού και των απαιτήσεων, σε συνδυασμό με το γεγονός πως αυτή προέρχεται κατά κύριο λόγο από την καύση ορυκτών καυσίμων, έχει οδηγήσει σε αύξηση, των ήδη τεράστιων ποσοτήτων, εκπομπής αερίων ρύπων, όπως μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου και οξείδια του αζώτου.

Το Ιράν είναι μία από τις χώρες με τις υψηλότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στον κόσμο. Οι συνολικές εκπομπές CO₂ το 1990 ήταν 201,8 εκατομμύρια τόνοι, οι οποίες έχουν αυξηθεί στους 372 εκατομμύρια τόνους το 2003 με μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 5,7%. Τα υψηλά ποσοστά εκπομπών οφείλονται στην αύξηση του πλούτου, στη χαμηλή ενεργειακή απόδοση πολλών σταθμών και στην

υπερβολική κατανάλωση ενέργειας ως αποτέλεσμα των φτηνών τιμών της ενέργειας.

Το Ιράν, τα τελευταία χρόνια, προσπαθεί μέσω διαφόρων στρατηγικών να προσθέσει στο ενεργειακό του ισοζύγιο και άλλες μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, κυρίως μέσω ανανεώσιμων πηγών (όπως γεωθερμία, φωτοβολταϊκά, βιομάζα, βιοαέριο, υδρογόνο, κύματα) καθώς και μέσω της πυρηνικής ενέργειας.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τις νομοθετικές απαιτήσεις, τα ποιοτικά προβλήματα της περιοχής του Ιράν, το βαθμό κρισιμότητας των επιπτώσεων από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την κλίμακα εφαρμογής της τεχνολογίας, καθώς επίσης και τη διαθεσιμότητα, την αποδοτικότητα και το κόστος της τεχνολογίας, το Ιράν θα μπορούσε να στραφεί σε τεχνολογίες δέσμευσης CO₂, κυρίως μέσω της καύσης σε συνθήκες καθαρού O₂. Η τεχνική αυτή είναι η πλέον κατάλληλη για εφαρμογή σε μεγάλες μονάδες φυσικού αερίου, ενώ η διαδικασία μεταφοράς και αποθήκευσης του καθαρού αερίου CO₂, που προκύπτει από την ψύξη των καυσαερίων, είναι απλή και λιγότερο δαπανηρή από άλλες τεχνικές.

Επίσης, η χρήση ηλεκτροστατικών φίλτρων, παρά το αυξημένο κόστος εγκατάστασης και συντήρησής τους, ενδείκνυται για την απομάκρυνση των σωματιδίων, καθώς η υψηλή τους απόδοση και η υψηλή αξιοπιστία, ειδικά σε μεγάλες εγκαταστάσεις όπως αυτές του Ιράν, τα καθιστούν κατάλληλα για αυτό το σκοπό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. 1986. Ντοκόπουλος Π. Τόμος Α: Σελ. 150-215.

Σελίδα | 39

[2] Tsakalakis G.K.. 2010. Energy production from conventional fossil fuels and alternative energy sources. Pages 1, 8-10, 22-24.

[3] Δημόσια Επιχείρηση Αερίου (ΔΕΠΑ) ΑΕ. 2007. Ορολογία και μονάδες βιομηχανίας φυσικού αερίου. Σύσταση και ιδιότητες του Ρώσικου, Αλγερινού και Τούρκικου ΦΑ. Σελ. 5.

[4] ΔΕΗ Α.Ε. Διεύθυνση Εταιρικών Σχέσεων και Επικοινωνίας. 2009. Οικονομικά Αποτελέσματα έτους 2009 της ΔΕΗ Α.Ε.

[5] Υπουργείο Ανάπτυξης. 2009. Το ελληνικό ενεργειακό σύστημα. Παράρτημα 1: Τα σύγχρονα δεδομένα. Σελ. 77.

[6] Κατσουλάκος Ν, Δούλος Η, Γουλιάμου Α, Τσάτσης Δ. Η συμβολή της περιβαλλοντικής οικονομίας στον ολοκληρωμένο ενεργειακό σχεδιασμό. ΕΝΕΡΓΕΙΑ: ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΕΙΚΟΝΑ – ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ – ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ. ΤΕΕ. Σελ. 7.

[7] Kanellopoulos D. - 2007, Kaldellis J. K. – 2005, Kaldellis J. K. – 2004. 2008. Ministry for the Environment (Greece), Physical Planning and Public Works.

[8] Νουσιοπούλου Θ. Βέλτιστες τεχνικές αντιρρύπανσης (IPCC) στις βιομηχανίες και εφαρμογή στην τσιμεντοβιομηχανία. 2010. Σελ. 43-45, 97-101.

[9] Κακαράς Ε, Δουκέλης Α, Γιαννακόπουλος Δ, Κουμανάκος Α. Τεχνολογικές δυνατότητες μείωσης των εκπομπών CO₂ στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα. 2005. Heleco '05, ΤΕΕ. Σελ 2-8.

[10] Γεντεκάκης Ι.Β. 1999. Ατμοσφαιρική ρύπανση, Επιπτώσεις, Έλεγχος και Εναλλακτικές τεχνολογίες. Εκδόσεις Τζιόλα.

[11] Working Group III. 2012. Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Chapter 7 – Energy Systems. Pages 9-12, 25-27.

[12] Boden, T.A., G. Marland, R.J. Andres. 2010. Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.

[13] Department of Trade and Industry (DTI). 2002. Carbon Dioxide Capture and Storage, DTI International Technology Service Mission on CO₂ Capture and Storage to the USA and Canada.

[14] Wilkinson M.B., J.C. Boden, R.S. Panesar and R.J. Allam. 2001. CO₂ Capture via Oxyfuel Firing: Optimization of a Retrofit Design Concept for a Refinery Power Station Boiler. First National Conference on Carbon Sequestration, Washington DC, May 15-17, 2001.

[15] Singh D., E. Croiset, P.L. Douglas and M.A. Douglas. 2003. Techno-economic study of CO₂ capture from an existing coal-fired power plant: MEA scrubbing vs. O₂/CO₂ recycle combustion, Energy Conversion and Management, 44, pp. 3073-3091.

[16] Department of Resources, Energy and Tourism - Geoscience Australia - Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics. 2010. Australian Energy Resource Assessment, pages 1, 18-23.

[17] Allison Ball, Alex Feng, Caitlin McCluskey, Pam Pham, George Stanwix and Tom Willcock. 2014. 2014 Australian Energy Update - Bureau of Resources and Energy Economics (BREE). Pages 1-2, 12-15.

[18] International Energy Agency. 2009. Electricity Information 2009 - OECD Organization for Economic Co-operation and Development, Part III. Detailed OECD electricity and heat data – Australia.

[19] Mohammad Rasul. 2012. Thermal Power Plants, Chapter 11: A Review on Technologies for Reducing CO₂ Emission from Coal Fired Power Plants.

[20] Sabetghadam M.. 2006. Energy and Sustainable Development in Iran. Sustainable Energy Watch 2005/2006 – Helio International. Pages 7, 11-14, 19-21.

[21] Mazandarani A., Mahlia T.M.I., Chong W.T., Moghavvemi M.. 2008. A review on the pattern of electricity generation and emissions in Iran from 1967 to 2008. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14. Pages 1814-1829.

[22] B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer – IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

[23] Kaldellis J.K., Kapsali M.. 2014. Evaluation of the long-term environmental performance of Greek lignite-fired power stations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 31. March 2014. Pages 472–485.

[24] Sector Policies and Programs Division, Office of Air Quality Planning and Standards, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park. 2010. Available and Emerging Technologies for Reducing Greenhouse Gas Emissions from Coal-Fired Electric Generating Units. Pages 7-35.

[25] Πρόβλεψη εκπομπών 2010. Οκτώβριος 2010. CO2 Control Info – Περιοδική έκδοση της IPCC για τις κλιματικές αλλαγές και την ενέργεια. Τεύχος 18ο.