



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΧΑΝΙΑ 2015



# ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΛΙΓΝΙΤΗ: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΟΝΣΟΛΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

---

Το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στους γονείς μου Γιάννη και Σοφία, για την αμέριστη ηθική και υλική τους υποστήριξη σε όλη τη διαδρομή των σπουδών μου, μέχρι σήμερα. Βεβαίως, δεν ξεχνώ να ευχαριστήσω την αδερφή μου Χρύσα που υπήρξε πάντα ανεκτίμητο στήριγμα για μένα καθώς και τα όμορφα χρόνια που περάσαμε μαζί στα Χανιά.

Φυσικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου και υπεύθυνο για την διπλωματική μου εργασία κ. Κονσολάκη Μιχαήλ για όλη τη στήριξη και βοήθειά του, καθώς και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε δίνοντας μου τη δυνατότητα να εκπονήσω το θέμα στον επιστημονικό τομέα που επιθυμούσα. Η συνεργασία μου μαζί του ήταν άψογη και με βοήθησε στον τρόπο σκέψης, συμπεριφοράς και λήψης αποφάσεων στα διάφορα ζητήματα που είχαμε να αντιμετωπίσουμε.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Παπαευθυμίου Σπυρίδων καθώς και τον κ. Κομνίτσα Κωνσταντίνο μέλη της τριμελούς επιτροπής αξιολόγησης της εργασίας μου.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον κ. Αθανασιάδη Απόστολο, για τη χρήσιμη βοήθεια του στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους και τις φίλες των φοιτητικών μου χρόνων, για την ηθική υποστήριξη τους όλο το χρονικό διάστημα παραμονής μου στα Χανιά.

Τέλος, ευχαριστώ το Θεό που με κράτησε υγιή.



Η κύρια εγχώρια πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρισμού είναι ο λιγνίτης. Τα 4/5 (80%) της συνολικής εγχώριας κατανάλωσης ενέργειας καλύπτονται από ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο και λιγνίτης). Το φυσικό αέριο εισήχθη για πρώτη φορά το 1996 και οι ανανεώσιμες πηγές, εξαιρουμένων των μεγάλων υδροηλεκτρικών, άρχισαν να αποτελούν αξιοσημείωτη πηγή ενέργειας από τα τέλη της δεκαετίας του 90'.

Ο λιγνίτης είναι οργανικής προελεύσεως πέτρωμα, του οποίου το κύριο συστατικό είναι ο άνθρακας. Περιέχει επίσης, υδρογόνο, οξυγόνο και άζωτο. Προέρχεται από την ενανθράκωση κυρίως φυτικών οργανισμών και χρησιμοποιείται κυρίως στα ατμοηλεκτρικά εργοστάσια για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Το υψηλό ποσοστό άνθρακα του λιγνίτη τον καθιστά εξαιρετικά επικίνδυνο για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία, καθώς από την καύση του εκλύονται τεράστιες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα. Επιπλέον, η υψηλή θερμοκρασία καύσης του λιγνίτη σε συνδυασμό με τις αζωτούχες ή και θειούχες ενώσεις που περιέχει συντελούν στην εκπομπή οξειδίων του αζώτου και του θείου με δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Με βάση τα παραπάνω, η παρούσα Διπλωματική Εργασία στοχεύει αφενός στις επιπτώσεις που έχει στο περιβάλλον η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση του λιγνίτη, αφετέρου στις τεχνολογίες που μπορούν να εφαρμοστούν για τον περιορισμό της ρύπανσης. Στο πλαίσιο της εργασίας, αρχικά θα γίνει αναφορά στο ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας καθώς και στον ρόλο του λιγνίτη στο σημερινό ενεργειακό σύστημα. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστεί ο τρόπος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον λιγνίτη, καθώς και ποιες είναι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εκμετάλλευσή του. Τέλος, θα προταθούν μέτρα και τεχνολογίες για τον περιορισμό της ρύπανσης με βάση την υπάρχουσα τεχνογνωσία.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	8
2.1 Το Ενεργειακό Σύστημα Της Ελλάδας .....	8
2.2 Συμπαράγωγή ηλεκτρισμού-θέρμανσης .....	11
2.3 Ο λιγνίτης στην ηλεκτροπαραγωγή.....	12
2.3.1 Τα χαρακτηριστικά του .....	12
2.3.2 Αποθέματα λιγνίτη .....	13
2.3.3 Εξόρυξη λιγνίτη .....	16
2.3.4 Μελλοντική ανάπτυξη της βιομηχανίας του λιγνίτη .....	18
2.4 Λειτουργία ατμοηλεκτρικού σταθμού – Διανομή ηλεκτρικού ρεύματος.....	19
2.4.1 Τρόπος λειτουργίας ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού (ΑΗΣ).....	19
2.4.2 Διαχείριση και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ρύπανση του περιβάλλοντος από παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας .....	25
3.1 Εκπεμπόμενοι ρύποι .....	25
3.2 Ρύπανση των υδάτων.....	32
3.3 Ρύπανση του εδάφους – στερεά απόβλητα .....	33
3.4 Διατάραξη οικοσυστημάτων – Εξάντληση αποθεμάτων .....	35
3.5 Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία από την εκμετάλλευση του λιγνίτη .....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Τεχνολογίες αντιμετώπισης της ρύπανσης .....	38
4.1 Τεχνολογίες καταστροφής αέριων ρύπων .....	38
4.1.1 Βασικές διεργασίες και τεχνικές για την απομάκρυνση ρύπων .....	38
4.2 Μέτρα για την μείωση περιβαλλοντικών επιπτώσεων .....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Τι προβλέπει ο νόμος για την μείωση των ρύπων .....	58
5.1 Το νομοθετικό πλαίσιο σε Ελλάδα και Ευρώπη.....	58
5.2 Το πρωτόκολλο του Kyoto.....	58
5.3 Η εφαρμογή στην Ελλάδα .....	59
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	63
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	64



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εργασία μελετάται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση λιγνίτη και αναλύονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από τους εκπεμπόμενους ρύπους, καθώς και οι τεχνολογίες αντιρρύπανσης που χρησιμοποιούνται. Σκοπός της εργασίας είναι να δώσει στον αναγνώστη μια εικόνα για την ενεργειακή κατάσταση που επικρατεί στην Ελλάδα, να παρουσιάσει την λειτουργία ενός ηλεκτρικού σταθμού και να μελετηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και οι τρόποι αντιμετώπισής τους.

Αρχικά, γίνεται μια γενική αναφορά στο ενεργειακό σύστημα της χώρας μας και παρουσιάζεται λεπτομερώς η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση λιγνίτη, ο οποίος προέρχεται από τα αποθέματα που διαθέτει η Ελλάδα. Επιπλέον, αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού όπως επίσης και η διαχείριση και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο επόμενο κεφάλαιο, εξετάζουμε την ρύπανση που προκαλεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τόσο στο περιβάλλον όσο και στην ανθρώπινη υγεία. Οι εκπεμπόμενοι ρύποι απειλούν τα ύδατα, το έδαφος και τα οικοσυστήματα της χώρας μας αλλά και την ίδια την ζωή των ανθρώπων.

Στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας, μελετώνται οι τεχνολογίες αντιμετώπισης της ρύπανσης από την ηλεκτροπαραγωγή, δίνοντας έμφαση στις τεχνολογίες καταστροφής αέριων ρύπων καθώς και στις βασικές διεργασίες απομάκρυνσής τους. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται το νομοθετικό πλαίσιο που διέπει την Ελλάδα και την Ευρώπη, καθώς και τα μετρά που πρέπει να ληφθούν στην χώρα μας για την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την ηλεκτροπαραγωγή.

Καταληκτικά, παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας. Οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν είναι επίσημοι ιστότοποι εθνικών και μη φορέων, δημοσιεύσεις από έμπειρους στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής μηχανικούς, διπλωματικές εργασίες και βιβλία.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η ηλεκτροπαραγωγή εμφανίστηκε στην Ελλάδα για πρώτη φορά το 1889 στην Αθήνα και το 1899 στην Θεσσαλονίκη. Την παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας (Η.Ε.) ανέλαβαν διάφορες εταιρείες. Η ίδρυση των σταθμών παραγωγής ενέργειας έγινε από ιδιώτες, ξένους επιχειρηματίες ή ακόμη και συμπράξεις, σε κάποιες από τις οποίες συμμετείχε και το Ελληνικό Δημόσιο. Σε πολλές πόλεις ιδρύθηκαν τοπικές εταιρείες για την κάλυψη της περιοχής. Ο αριθμός τους μέχρι το 1950 έφτασε τις 400, πολλές δε από αυτές είχαν χαρακτήρα δημοτικής ή κοινοτικής επιχείρησης. Στην Αθήνα υπήρχαν τρεις εταιρείες για την τροφοδότηση διαφορετικών περιοχών. Στην Θεσσαλονίκη λειτουργούσε ένα εργοστάσιο στον Λευκό Πύργο και τρία πλοία που κάλυπταν άλλες περιοχές.

Η παραγωγή γινόταν με συνεχές ρεύμα μέχρι το 1945, οπότε επεκτάθηκε η χρήση του εναλλασσόμενου και στη χώρα μας. Η τιμή της kWh προκύπτει ανάλογα με τα έξοδα και τα έσοδα κάθε επιχείρησης. Οι τιμές ανάμεσα στις εταιρείες παρουσίαζαν σημαντικές διαφορές. Το μεγάλο βέβαια κόστος ήταν απαγορευτικό για τους περισσότερους και καθιστούσε τον ηλεκτρισμό είδος πολυτελείας [1].

### 2.1 Το Ενεργειακό Σύστημα Της Ελλάδας

Κάθε φυσικό σύστημα περιέχει (ή εναλλακτικά αποθηκεύει) μία ποσότητα που ονομάζεται ενέργεια. Η ενέργεια είναι σε τέτοιο βαθμό συνυφασμένη με την καθημερινή μας ζωή που μόνο η έλλειψή της καθιστά ολοφάνερη την αναγκαιότητα της. Το σύνολο των ανθρώπινων δραστηριοτήτων δεσμεύει, παράγει, καταναλώνει, μετατρέπει και αποθηκεύει τεράστια ποσά ενέργειας.

Η ενέργεια εμφανίζεται με πολλές μορφές. Επίσης, μπορεί να προέρχεται από διαφορετικές πηγές, όπως ο άνεμος, ο άνθρακας, η ξυλεία ή τα τρόφιμα. Ο κύκλος της παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας ξεκινά από τις αρχικές μορφές ενέργειας, όπως ο άνθρακας, το αργό πετρέλαιο, ο άνεμος, το ηλιακό φως ή το φυσικό αέριο. Αυτές οι μορφές χαρακτηρίζονται ως πρωτογενής ενέργεια και ελάχιστα μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατευθείαν από τους καταναλωτές.

Το επόμενο βήμα είναι η μετατροπή των πρωτογενών μορφών σε τελική ενέργεια, όπως για παράδειγμα ηλεκτρισμός ή βενζίνη. Από την πρωτογενή έως την χρήσιμη ενέργεια, μεσολαβούν πολλά ενδιάμεσα στάδια ανάλογα με τη μορφή ενέργειας. Εξόρυξη

άνθρακα ή πετρελαίου, μεταφορά με αγωγούς, χρήση δεξαμενόπλοιων, καύση σε μεγάλους θερμικούς σταθμούς, δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και πολλά άλλα. Όλη αυτή η πολυσύνθετη αλυσίδα είναι γνωστή ως ενεργειακό σύστημα.

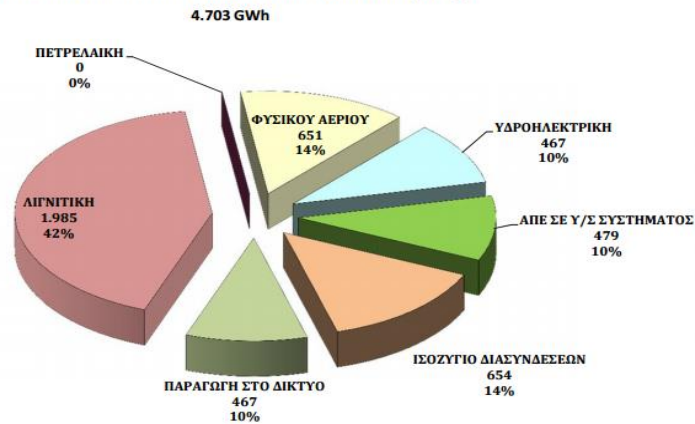
Το ελληνικό ενεργειακό σύστημα βρίσκεται την τελευταία δεκαετία σε φάση σημαντικών αλλαγών. Η προσπάθεια της χώρας μας να εξισωθεί οικονομικά με τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες προϋποθέτει την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας σε όλους τους τομείς. Για να το πετύχει αυτό, απαιτείται η αξιοποίηση των εγχώριων ενεργειακών πηγών σε συνδυασμό με την ανάπτυξη της τεχνολογίας τόσο για την αύξηση του βαθμού απόδοσης όσο και για τον περιορισμό των ρυπογόνων εκπομπών. Η διείσδυση του φυσικού αερίου, η κατασκευή των διευρωπαϊκών δικτύων, η προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της εξοικονόμησης ενέργειας και τέλος η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν τα νέα δεδομένα στην αγορά ενέργειας. Βέβαια, όλες αυτές οι ενέργειες θα πρέπει να γίνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην επιβαρύνεται το περιβάλλον και να μην διαταράσσεται η οικολογική ισορροπία.

Το ενεργειακό σύστημα της χώρας μας, αποτελείται από σημαντικά στοιχεία τα οποία σχετίζονται με την υποδομή, το μέγεθος και τα είδη των διαφόρων ενεργειακών μορφών που υπάρχουν σ' αυτό. Τα στοιχεία του ενεργειακού συστήματος είναι δομημένα ανά ενεργειακό προϊόν και περιλαμβάνουν:

- Τα πετρελαιοειδή
- Το φυσικό αέριο
- Το λιγνίτη
- Τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Παρακάτω, στην Εικόνα 2.1 αποτυπώνονται η εκτίμηση παραγωγής και το ισοζύγιο διασυνδέσεων για τον Αύγουστο του 2015:

# ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΩΝ (GWh)



- Δεν περιλαμβάνεται η ζήτηση στα μη διασυνδεδεμένα νησιά.
- Η παραγωγή αναφέρεται στο σημείο έγχυσης στο Σύστημα.
- Η παραγωγή στο Δίκτυο προκύπτει από πιστοποιημένες μετρήσεις για την Μέση Τάση και εκτιμήσεις για την Χαμηλή Τάση.
- Θετικό πρόσημο στο ισοζύγιο διασυνδέσεων σημαίνει εισαγωγικό ισοζύγιο.

Εικόνα 2.1: Εκτίμηση Παραγωγής και Ισοζύγιο Διασυνδέσεων [2].

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των 98 συνολικά σταθμών της ΔΕΗ ανέρχεται στα 12.843 MW, ενώ η καθαρή παραγωγή έφτασε τις 52,4 TWh. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται άνοδος στην εγκατεστημένη ισχύ, ενώ στην καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είχαμε μικρή πτώση. Στην εικόνα 2.2. αποτυπώνεται η γεωγραφική κατανομή των ατμοηλεκτρικών και υδροηλεκτρικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα [3].



Εικόνα 2.2: Γεωγραφική κατανομή των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής [4].

## 2.2 Συμπαραγωγή ηλεκτρισμού-θέρμανσης

Στον ελλαδικό χώρο, οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργούν είναι ποικίλων τεχνολογιών και χρησιμοποιούν σε μεγάλο βαθμό εκείνες τις ενεργειακές πηγές, οι οποίες υπάρχουν στη χώρα μας. Το συντριπτικό ποσοστό αυτών των σταθμών ανήκει στη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) η οποία διαθέτει μια μεγάλη υποδομή σε εγκαταστάσεις ορυχείων λιγνίτη, παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ΔΕΗ παράγει ηλεκτρική ενέργεια με καύση θερμικών πηγών ενέργειας συμπεριλαμβανομένων του λιγνίτη, πετρελαίου, φυσικού αερίου καθώς και με χρήση υδάτων και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τους θερμικούς αγωγούς, ένα μεγάλο μέρος της αποδιδόμενης από το καύσιμο ενέργειας χάνεται με την μορφή θερμότητας στο περιβάλλον (65-70%). Η θερμότητα που εκπέμπεται μπορεί εν μέρει μόνο να αξιοποιηθεί για την βελτίωση του βαθμού απόδοσης του σταθμού, με χρησιμοποίηση της για την ξήρανση του καυσίμου [3].

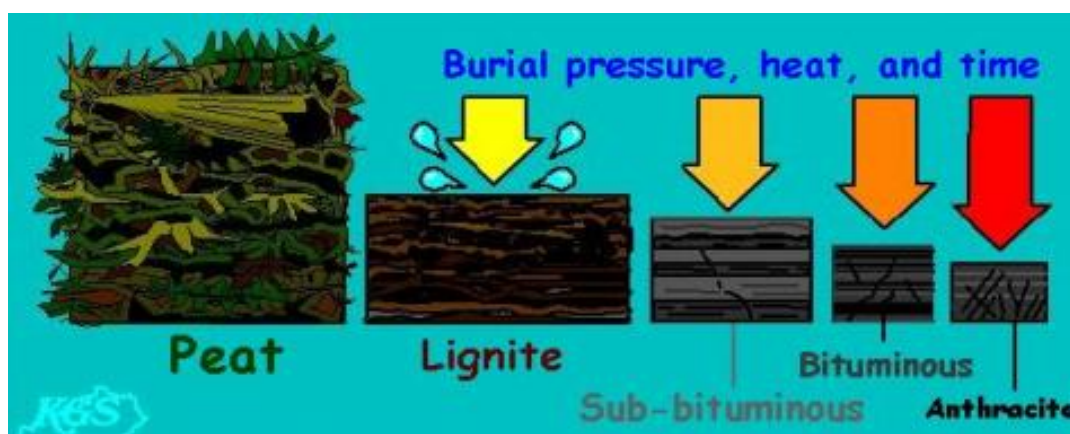
Είναι αδιαμφισβήτητη η ανάγκη για εξεύρεση τρόπων αξιοποίησης όλης ή έστω κάποιου μέρους αυτής της χαμένης ενέργειας. Η καλύτερη λύση της αξιοποίησης της θερμότητας που απελευθερώνεται από τους θερμικούς σταθμούς είναι η χρησιμοποίηση της ως έχει σε καταναλωτές θερμικής ενέργειας, εξοικονομώντας αντίστοιχα τα καύσιμα που θα απαιτούνταν για την παραγωγή της. Οι μέθοδοι με τις οποίες αξιοποιείται είναι η τηλεθέρμανση, η τροφοδοσία με ζεστό νερό ξενοδοχείων, κολυμβητηρίων, μονάδων αφαλάτωσης και η παροχή ατμού υψηλής ενθαλπίας σε βιομηχανίες.

Η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας στοχεύει στην εκμετάλλευση της αποβαλλόμενης από το σύστημα θερμότητας χωρίς την τροφοδότηση επιπλέον ποσότητας καυσίμου. Η συμβατική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι από τη φύση της μη αποδοτική, αφού μετατρέπεται μόνο το ένα τρίτο της ενέργειας των καυσίμων σε ωφέλιμη ενέργεια. Η σημαντική αύξηση της αποδοτικότητας με τη συμπαραγωγή οδηγεί σε μικρότερη κατανάλωση καυσίμων και σε μειωμένες εκπομπές ρύπων σε σχέση με την ανεξάρτητη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Η συμπαραγωγή αποτελεί μία οικονομικά παραγωγική προσέγγιση για τη μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων μέσω της πρόληψης της ρύπανσης, ενώ ο παραδοσιακός έλεγχος της ρύπανσης που επιτυγχάνεται απλά μέσω της επεξεργασίας των καυσαερίων δεν παρέχει κανένα οικονομικό όφελος και στην πραγματικότητα μειώνει την απόδοση και την ωφέλιμη παραγωγή ενέργειας [5].

## 2.3 Ο λιγνίτης στην ηλεκτροπαραγωγή

### 2.3.1 Τα χαρακτηριστικά του

Οι λιγνίτες ανήκουν στις στερεές ορυκτές καύσιμες ύλες με τη γενική ονομασία γαιάνθρακες και προήλθαν από φυτικά υπολείμματα μέσω μιας σειράς διεργασιών ενανθράκωσης. Οι διεργασίες αυτές είχαν ως αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό των φυτικών υπολειμμάτων σε άνθρακα. Η μετατροπή των φυτών σε τύρφη και η μετάβαση από την τύρφη (αρχικό στάδιο ενανθράκωσης) στον ανθρακίτη (τελικό στάδιο ενανθράκωσης) είναι συνάρτηση της επίδρασης του χρόνου, της θερμοκρασίας και της πίεσης (Εικόνα 2.3). Η μετατροπή της φυτικής ύλης σε άνθρακα ξεκίνησε πριν 400 περίπου εκατομμύρια χρόνια και βεβαίως συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Οι ειδικοί επιστήμονες εκτιμούν ότι απαιτείται στρώμα 2,5 μέτρων φυτικής ύλης για τη δημιουργία άνθρακα στρώματος 30 εκατοστών. Η θερμογόνος ισχύς των λιγνιτών είναι 3 έως 7 φορές χαμηλότερη από αυτήν του λιθάνθρακα και 5 έως 10 φορές μικρότερη από αυτήν του πετρελαίου.



Εικόνα 2.3: Δημιουργία λιγνίτη με το πέρασμα του χρόνου κάτω από συνθήκες πίεσης και υψηλής θερμοκρασίας [6].

Γενικά, η ποιότητα των ελληνικών λιγνιτών είναι χαμηλή. Η θερμογόνος δύναμη περιορίζεται από 975-1380 kcal/kg στις περιοχές της Μεγαλόπολης, του Αμυνταίου και της Δράμας, ενώ στην περιοχή της Πτολεμαΐδας τα πράγματα είναι λίγο καλύτερα με τις τιμές να κυμαίνονται από 1261-1615 kcal/kg και τέλος στις περιοχές της Φλώρινας και της Ελασσόνας τα πράγματα είναι ακόμα καλύτερα όπου η θερμογόνος δύναμη είναι της τάξης του 1927-2257 kcal/kg. Το σημαντικό πλεονέκτημα των λιγνιτών της χώρας μας συγκριτικά με τους λιγνίτες των υπόλοιπων χωρών είναι η χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο [7].

Ο λιγνίτης βρίσκεται σε αφθονία στο υπέδαφος της Ελλάδας. Η ΔΕΗ έχει δικαιώματα εκμετάλλευσης που καλύπτει ποσοστό της τάξεως του 60%. Σήμερα, οι 7 λιγνιτικοί σταθμοί καλύπτουν το 41,6% της εγκατεστημένης ισχύος της ΔΕΗ και παράγουν περίπου το 60% της ετήσιας ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο λιγνίτης συνεχίζει και είναι καύσιμο στρατηγικής σημασίας, αφού εξακολουθεί να έχει άμεσα ελεγχόμενο κόστος εξόρυξης, εξασφαλίζοντας την αναγκαία σταθερότητα και ασφάλεια εφοδιασμού. Η εξόρυξη του λιγνίτη συντελεί τα μέγιστα στην αύξηση του εθνικού προϊόντος, εφόσον προσφέρει χιλιάδες θέσεις εργασίας στην περιφέρεια, ιδιαίτερα σε περιοχές με μεγάλη ανεργία. Ταυτόχρονα περιορίζει τη συναλλαγματική δαπάνη εισαγωγής ενεργειακών καυσίμων [8].

### 2.3.2 Αποθέματα λιγνίτη

Τα κυριότερα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα λιγνίτη βρίσκονται στη Δυτική Μακεδονία στο τρίγωνο Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου – Φλώρινας με υπολογισμένα αποθέματα περίπου 2 δις τόνους και στην Πελοπόννησο, στη Μεγαλόπολη συγκεκριμένα, με αποθέματα 251 εκ. τόνους. Σημαντικά κοιτάσματα, τα οποία δεν αξιοποιούνται προς το παρόν, φαίνεται να υπάρχουν ακόμη και στην περιοχή της Δράμας (περίπου 900 εκ. τόνοι) καθώς και στην περιοχή της Ελασσόνας (169 εκ. τόνοι). Τα συνολικά βεβαιωμένα γεωλογικά αποθέματα λιγνίτη στη χώρα ανέρχονται σε περίπου 5 δις τόνους. Τα κοιτάσματα αυτά παρουσιάζουν αξιοσημείωτη γεωγραφική εξάπλωση στον ελληνικό χώρο (Εικόνα 2.4). Με τα σημερινά τεχνικοοικονομικά δεδομένα τα κοιτάσματα που είναι κατάλληλα για ενεργειακή εκμετάλλευση, ανέρχονται σε περίπου 3,2 δις τόνους και ισοδυναμούν με περίπου 450 εκ. τόνους πετρελαίου. Για την αξιοποίηση των κοιτασμάτων στις περιοχές Δράμας και Ελασσόνας βρίσκονται σε εξέλιξη τεχνικό-οικονομικές μελέτες. Με βάση τα σημερινά εθνικά και διεθνή ενεργειακά δεδομένα και τα στοιχεία που αφορούν την ποσότητα και την ποιότητα του λιγνίτη, προκύπτει ότι η εκμετάλλευση των πιο πάνω κοιτασμάτων είναι οικονομικά συμφέρουσα [7].



Εικόνα 2.4: Γεωγραφική θέση κοιτασμάτων λιγνίτη στην Ελλάδα [9].

Με βάση τα συνολικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη της χώρας και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι τα αποθέματα αυτά επαρκούν για περισσότερο από 45 χρόνια. Μέχρι σήμερα οι εξορυχθείσες ποσότητες λιγνίτη δεν ξεπερνούν το 25% των συνολικών αποθεμάτων. Έτσι, η χώρα μας κατέχει τη δεύτερη θέση σε παραγωγή λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση και την έκτη παγκοσμίως. Εκτός από λιγνίτη, ο ελλαδικός χώρος διαθέτει και ένα μεγάλο κοίτασμα τύρφης στην περιοχή των Φιλιππων (Ανατολική Μακεδονία). Τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα στο κοίτασμα εκτιμώνται σε 4 δις κυβικά μέτρα και αντιστοιχούν περίπου σε 125 εκ. τόνους πετρελαίου [7].

### 2.3.2.1 Λιγνιτικό κοίτασμα Πτολεμαΐδας

Ο λιγνίτης της Πτολεμαΐδας σχηματίστηκε κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης χρονικής περιόδου (περίπου 10 εκατομμύρια χρόνια) και εκτιμάται ότι οι διεργασίες τελείωσαν πριν 1 εκατομμύριο χρόνια. Η ευρύτερη λεκάνη Μοναστηρίου, Φλώρινας, Αμυνταίου, Πτολεμαΐδας, Κοζάνης και Σερβίων καλυπτόταν την εποχή εκείνη από αβαθείς λίμνες και έλη. Οι κλιματολογικές συνθήκες ήταν ευνοϊκές για τη βλάστηση των υδρόφιλων φυτών (βρύα, καλάμια, κ.λπ.) στις διάφορες θέσεις της λεκάνης αυτής. Με το χρόνο τα φυτά αυτά συγκεντρώθηκαν σε μεγάλες ποσότητες στον πυθμένα των λιμνών. Στη συνέχεια η βλάστηση αυτή, καλύφθηκε από γαιώδη υλικά. Έτσι, οι οργανικές ύλες των φυτών κάτω από συνθήκες πίεσης και με την επίδραση διαφόρων μικροοργανισμών, μετατράπηκαν με το χρόνο σε στρώματα λιγνίτη. Αυτό συνέβη πολλές φορές και τελικά πάνω από τα νεότερα



στρώματα λιγνίτη επικάθισαν άλλα γαιώδη υλικά, τα λεγόμενα «υπερκείμενα». Για το λόγο αυτό έχουμε τη δημιουργία λιγνιτικών κοιτασμάτων μορφής Ζέβρα (Εικόνα 2.5).



Εικόνα 2.5: Λιγνιτικά κοιτάσματα τύπου Ζέβρα [4].

Το πάχος των υπερκειμένων υλικών κυμαίνεται μεταξύ 12 και 230 μέτρα για τα ορυχεία που βρίσκονται σε λειτουργία στην περιοχή της Πτολεμαΐδας. Τα υλικά αυτά είναι, συνήθως άμμος, αμμοχάλικα, μαλακός ασβεστόλιθος και άργιλος. Ωστόσο και το κοίτασμα του λιγνίτη δεν είναι ενιαίο, καθώς μέσα σ' αυτό υπάρχουν λεπτά στρώματα από τα γαιώδη υλικά τα οποία βρίσκονται μεταξύ των λιγνιτικών στρωμάτων και για το λόγο αυτό ονομάζονται «ενδιάμεσα». Το μέσο πάχος των απολήψιμων στρωμάτων λιγνίτη ανέρχεται σε 2 μέτρα περίπου και ο αριθμός αυτών φτάνει από 20 μέχρι 30 [9].

### 2.3.2.2 Λιγνιτικό κοίτασμα Μεγαλόπολης

Στη λεκάνη της Μεγαλόπολης η δημιουργία του λιγνίτη έγινε με τον ίδιο τρόπο. Η ανάπτυξη πλούσιας βλάστησης έγινε σε τέλματα ή αβαθείς λίμνες στις θερμές περιόδους του πλειστόκαινου, γεγονός που είχε ως αποτέλεσμα τον ασυνεχή σχηματισμό λιγνιτικών στρωμάτων, που καλυπτόταν από φερτά γαιώδη υλικά του ποταμού Αλφειού. Συνολικά δημιουργήθηκαν τρεις λιγνιτικοί ορίζοντες με ιζήματα μεταξύ τους.

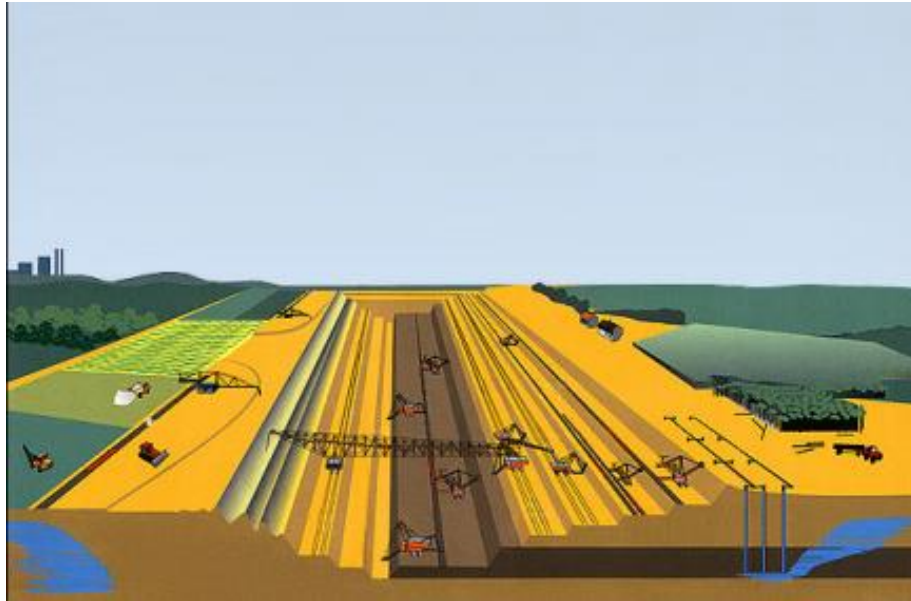
Στη λεκάνη αυτή διακρίνονται τρία λιγνιτικά κοιτάσματα, πιθανόν λόγω της ύπαρξης τριών ανεξάρτητων λιμνών, με διαφορετικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά. Τα κοιτάσματα αυτά εκτείνονται από το Χωρέμι μέχρι την Μαραθούσα με ολικό βάθος 140 m., από την Θωκνία μέχρι την Κυπαρισσία με ολικό βάθος 20-100m και της Καρύταινας με



ολικό βάθος 45m. Το πάχος των λιγνιτικών στρωμάτων κυμαίνεται από λίγα εκατοστά έως 5 m [9].

### 2.3.3 Εξόρυξη λιγνίτη

Τα λιγνιτικά κοιτάσματα στις περιοχές του άξονα Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου και Μεγαλόπολης παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον εξαιτίας της συχνής εναλλαγής του ποικίλου πάχους των οριζόντιων λιγνιτικών στρωμάτων και των ενδιάμεσων στείρων υλικών. Τα υπερκείμενα είναι μεγάλου πάχους άγονα υλικά τα οποία βρίσκονται πάνω από τα λιγνιτικά κοιτάσματα. Επίσης, αποτελούνται από μάργες, αμμοχάλικα και αργίλους. Η εκμετάλλευση των λιγνιτικών κοιτασμάτων γίνεται επιφανειακά με το σύστημα των ορθών βαθμίδων. Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής καθορίζεται από την εξάπλωση του κοιτάσματος, καθώς και από το πάχος των υπερκείμενων άγονων υλικών τα οποία καθορίζουν τόσο τη μέθοδο εκμετάλλευσης, όσο και το μοντέλο ανάπτυξης του ορυχείου. Η μέθοδος εκμετάλλευσης των ορθών βαθμίδων περιλαμβάνει την εξόρυξη, τη μεταφορά και την απόθεση του λιγνίτη. Η διαμόρφωση του κόστους επένδυσης στην περίπτωση των επιφανειακών εκμεταλλεύσεων σχετίζεται κυρίως με τον απαιτούμενο μηχανικό εξοπλισμό. Το πάχος των υπερκείμενων και των ενδιάμεσων άγονων υλικών σε συνδυασμό με το πάχος του κοιτάσματος διαμορφώνει τη σχέση εκμετάλλευσης. Η σχέση αυτή ορίζεται ως ο όγκος των υπερκείμενων και ενδιάμεσων υλικών που πρέπει να απομακρυνθούν για την παραγωγή ενός τόνου λιγνίτη και επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το λειτουργικό κόστος της εκμετάλλευσης και την οικονομικότητα του έργου [10]. Οι απαιτήσεις αυτές οδήγησαν στην επιλογή της «γερμανικής μεθόδου» εκσκαφής, μεταφοράς και απόθεσης. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.6 παρουσιάζεται σχηματικά η εξόρυξη λιγνίτη με την μέθοδο αυτή.



Εικόνα 2.6: Εξόρυξη λιγνίτη με την «γερμανική μέθοδο» [9].

Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ως κύριος εξοπλισμός ένα σύστημα συνεχούς λειτουργίας που αποτελείται από ηλεκτροκίνητους καδοφόρους εκσκαφείς (Εικόνα 2.7), ταινιόδρομους (Εικόνα 2.8) και αποθέτες. Για την εξόρυξη του κοιτάσματος χωρίζονται τα υπερκείμενα άγονα υλικά και τα λιγνιτικά στρώματα σε βαθμίδες ύψους 10-30 μέτρων ανάλογα με τον τύπο του καδοφόρου εκσκαφέα.



Εικόνα 2.7: Καδοφόρος εκσκαφέας [4].

Το κοίτασμα εκσκάπτεται κατά στρώσεις και τα μεν άγονα υλικά (υπερκείμενα ή ενδιάμεσα) μεταφέρονται με τους ταινιόδρους στους αποθέτες, ο δε λιγνίτης μεταφέρεται στις αυλές των ατμοηλεκτρικών σταθμών ή σε άλλους καταναλωτές ή σε υπαίθριες αποθήκες των λιγνιτωρυχείων. Η απόθεση των αγόνων υλικών γίνεται σε ειδικά επιλεγμένες περιοχές, όπου μεταφέρεται και η τέφρα, το υπόλειμμα της καύσης του λιγνίτη στους σταθμούς. Εκτός από τον κύριο εξοπλισμό στην παραγωγική διαδικασία εξόρυξης του λιγνίτη, χρησιμοποιούνται και άλλα μικρότερα χωματουργικά μηχανήματα, όπως φορτωτές, μπουλντόζες, εκσκαφείς, φορτηγά κ.ά., τα οποία υποστηρίζουν τη λειτουργία του ορυχείου και ονομάζονται βοηθητικός εξοπλισμός.



Εικόνα 2.8: Εξόρυξη του λιγνίτη σε βαθμίδα και μεταφορά του με ταινιόδρομο [4].

#### 2.3.4 Μελλοντική ανάπτυξη της βιομηχανίας του λιγνίτη

Στις 9/3/2013 υπεγράφη η σύμβαση ανάθεσης της μελέτης και κατασκευής της μονάδας V του ατμοηλεκτρικού σταθμού (ΑΗΣ) Πτολεμαΐδας, η οποία αναμένεται να λειτουργήσει το 2019. Η λιγνιτική μονάδα της Πτολεμαΐδας V αποτελεί τη μεγαλύτερη επένδυση της ΔΕΗ μέχρι σήμερα και μία από τις μεγαλύτερες βιομηχανικές επενδύσεις της χώρας. Η ΔΕΗ έχει στηρίξει σε αυτήν τον εκσυγχρονισμό του λιγνιτικού της παραγωγικού δυναμικού και την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητάς της. Με συνολική προβλεπόμενη ισχύ στα 660 MW και θερμική ισχύ 140 MW για την τηλεθέρμανση της Πτολεμαΐδας, η νέα μονάδα θα αντικαταστήσει με τη λειτουργία της ισόποση ισχύ από παλαιές και ρυπογόνες μονάδες, μειώνοντας σημαντικά το κόστος της επιχείρησης και τις επιπτώσεις στο

περιβάλλον. Η Πτολεμαΐδα V θα έχει βαθμό απόδοσης 41,5% με λιγότερη κατανάλωση λιγνίτη και άρα λιγότερη παραγωγή τέφρας και λιγότερη έκλυση διοξειδίου του άνθρακα. Πιο συγκεκριμένα, η λειτουργία της μονάδας θα μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (CO<sub>2</sub>) κατά 40% και κατά 90% των σωματιδιακών ρύπων.

Ο ΑΔΜΗΕ, στη μελέτη Επάρκειας Στοιχείων 2013-2020, επισημαίνει ότι αν δεν κατασκευαστεί η Πτολεμαΐδα V θα υπάρξουν προβλήματα επάρκειας της ηλεκτρικής ενέργειας. Από το έργο υποστηρίζεται ότι θα προκύψουν οφέλη από την τηλεθέρμανση για την Πτολεμαΐδα και την Εορδαία και από τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, καθώς κατά τη διαδικασία κατασκευής της θα απασχοληθούν περίπου 3000 άτομα, ενώ με τη λειτουργία της η απασχόληση του μόνιμου προσωπικού θα ξεπεράσει τα 250 άτομα [11],[12].

## **2.4 Λειτουργία ατμοηλεκτρικού σταθμού – Διανομή ηλεκτρικού ρεύματος**

### **2.4.1 Τρόπος λειτουργίας ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού (ΑΗΣ)**

Οι λιγνιτικοί θερμοηλεκτρικοί σταθμοί καλύπτουν το φορτίο βάσης του ελληνικού συστήματος. Με τον όρο ατμοηλεκτρικό εργοστάσιο ή ατμοηλεκτρικός σταθμός (ΑΗΣ) εννοούμε την βιομηχανική εγκατάσταση-μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω της δύναμης του ατμού. Ο ατμός μπορεί να προέλθει είτε με καύση κάρβουνου ή λιγνίτη είτε ακόμα και με πυρηνική ενέργεια. Στην τελευταία περίπτωση ο σταθμός ονομάζεται ατμοηλεκτρικός πυρηνικός σταθμός (ΑΗΠΣ).

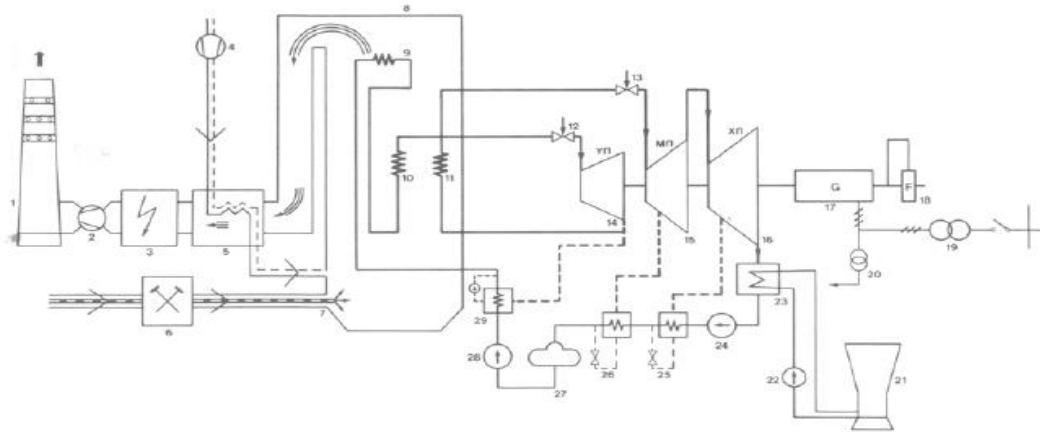
Οι ΑΗΣ χρησιμοποιούνται ως εργοστάσια βάσης, επειδή έχουν σχετικά μεγάλο βαθμό απόδοσης όταν λειτουργούν σε πλήρη φόρτιση, μικρό συνολικό κόστος ανά παραγόμενη μονάδα ενέργειας αλλά κυρίως επειδή χρειάζονται πολλές ώρες και μια πολύπλοκη διαδικασία για την εκκίνηση τους. Το καύσιμο που χρησιμοποιούν είναι άνθρακας, λιγνίτης, τύρφη, μαζούτ και αέριο [4].

Η Εικόνα 2.9 δείχνει το απλοποιημένο διάγραμμα μιας μονάδας. Το καύσιμο, αν είναι λιγνίτης, μεταφέρεται από την εξόρυξη με ταινιόδρομους στην αυλή του σταθμού. Από εκεί ανάλογα με την ισχύ που χρειάζεται ο λέβητας, μεταφέρεται στον λέβητα. Στο συγκρότημα ενός λέβητα ανήκουν πολλοί μύλοι (6), π.χ. οκτώ που κονιορτοποιούν και ξηραίνουν το καύσιμο. Μετά, το καύσιμο υπό μορφή σκόνης άνθρακα, οδηγείται στους καυστήρες (7). Ατμοσφαιρικός αέρας, προθερμασμένος από τα καυσαέρια σ' ένα προθερμαντήρα (5), οδηγείται και αυτός στο λέβητα. Στο λέβητα γίνεται η καύση του κονιορτοποιημένου άνθρακα και οι φλόγες και τα θερμά καυσαέρια, αφού περάσουν από

εναλλάκτες θερμότητας και σωληνώσεις (9,10,11), οδηγούνται προς την καμινάδα (1). Τα καυσάεργια, πριν μπουν στην καμινάδα, καθαρίζονται με φίλτρα αιωρημάτων. Το φίλτρο (3) είναι συνήθως ένα μηχανικό φίλτρο ή ηλεκτροστατικό φίλτρο ή συνδυασμός των δύο.

Το κύκλωμα του ατμού λειτουργεί με νερό απιονισμένο για να μην έχουμε επικαθίσεις αλάτων. Η τροφοδοτική αντλία (28) συμπιέζει το νερό, που έχει ήδη προθερμαθεί στους περίπου 250°C, στην γεννήτρια ατμού (9). Από την αντλία (28) μέχρι τον στρόβιλο (14) έχουμε, αν παραλείψει κανείς τις απώλειες τριβών, ενιαία πίεση περίπου 180 bar. Στην γεννήτρια ατμού (9) το νερό ατμοποιείται στους 356°C και διαχωρίζεται ο ατμός απ' το νερό. Ο ατμός υπερθερμαίνεται ακολούθως στον εναλλάκτη (10) στους 540°C. Μετά τον εναλλάκτη (10) έχουμε ατμό μέγιστης ενθαλπίας. Ο ατμός μετά την υπερθέρμανσή του λέγεται φρέσκος ή ζωντανός ατμός.

Στη συνέχεια εισάγεται ο ατμός στον στρόβιλο. Ο στρόβιλος έχει συχνά τρία τμήματα, της υψηλής (14), της μέσης (15) και της χαμηλής πίεσης (16). Τα τμήματα αυτά λέγονται στρόβιλος υψηλής, μέσης και χαμηλής πίεσης αντίστοιχα. Ο ατμός εκτονώνεται πρώτα στο τμήμα υψηλής πίεσης και ακολούθως εισάγεται διαδοχικά στα άλλα τμήματα (15) και (16) για να εκτονωθεί εκεί. Στην έξοδο του στρόβιλου χαμηλής πίεσης (16) έχουμε περίπου κενό  $p=0,005$  bar και θερμοκρασία λίγο πάνω από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, π.χ. 35°C. Το κενό δημιουργείται στο ψυγείο ή συμπυκνωτή (23). Ο ατμός που μπαίνει στο ψυγείο (23) συμπυκνώνεται πάνω στον ψυχρό εναλλάκτη θερμότητας που διαρρέεται από ψυχρό νερό. Στο ψυγείο γίνεται αποβολή της αχρησιμοποίητης θερμότητας που πηγαίνει τελικά στον πύργο ψύξης (21). Ο πύργος ψύξης μεταφέρει, ανάλογα με τον βαθμό απόδοσης, γύρω στα 60-80% της θερμότητας που παράγεται από την καύση στο περιβάλλον. Αντί του πύργου ψύξης μπορεί το αποβαλλόμενο ποσό θερμότητας να οδηγηθεί σε στάσιμα ή τρεχούμενα νερά, όπως λίμνες, θάλασσες, ποτάμια.



Εικόνα 2.9: Συγκρότηση ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού (ΑΗΣ)[1].

1.καμινάδα 2.ανεμιστήρας ελκυσμού καπνοδόχου 3.φίλτρο 4.ανεμιστήρας αέρα καύσης 5.προθερμαντής αέρα 6.κονιορτοποιητικός μύλος άνθρακα 7.καυστήρας 8.λέβητας 9.ατμογεννήτρια 10.υπερθερμαντής ατμού 11.επαναθέρμανση ατμού 12,13.βαλβίδες ρύθμισης και ασφάλειας ΥΠ και ΜΠ 14,15,16.στροβίλοι υψηλής, μέσης και χαμηλής πίεσης 17.γεννήτρια 18.διεγέρτρια 19.ΜΣ μονάδας 20.ΜΣ ιδιοκατανάλωσης 21.πύργος ψύξης 22.κυκλοφορητής νερού ψύξης 23.συμπυκνωτής (ψυγείο) 24.κυκλοφορητής συμπυκνώματος 25,26.προθερμαντές νερού (ΜΠ, ΧΠ) με απομάστευση ατμού 27.διαχωριστής ατμού-νερού 28.αντλία τροφοδοσίας λέβητα 29.προθερμαντής νερού (ΥΠ)

Ο συμπυκνωμένος ατμός, οδηγείται με κυκλοφορητή (24) στους εναλλάκτες που προθερμαίνουν το νερό, τους προθερμαντές (25,26,29). Προθέρμανση του νερού γίνεται από τους 35°C στην θερμοκρασία των 250°C με απομαστεύσεις του ατμού. Για την προθέρμανση του νερού χρησιμοποιούνται επίσης εναλλάκτες που βρίσκονται στην έξοδο του λέβητα και δεν φαίνονται στο σχήμα. Το νερό συμπιέζεται τελικά στο λέβητα σε πίεση 180 bar στην αντλία τροφοδοσίας του λέβητα. Η συγκεκριμένη αντλία είναι και η μεγαλύτερη μηχανή σε έναν ΑΗΣ μετά το στροβίλο.

Πάνω σε κοινό άξονα με τις βαθμίδες των στροβίλων βρίσκεται η γεννήτρια (17) και η διεγέρτρια της γεννήτριας (18). Η έξοδος της γεννήτριας συνδέεται στον υποσταθμό του εργοστασίου με τις άλλες μονάδες και με το δίκτυο. Η τάση της γεννήτριας κυμαίνεται από 6-30 kV. Αυτή ανυψώνεται στην τάση που απαιτείται για τη μεταφορά ηλεκτρικής ισχύος με ειδικό μετασχηματιστή (19), τον μετασχηματιστή γεννήτριας ή τον μετασχηματιστή μονάδας [1].



#### 2.4.2 Διαχείριση και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας

Η ενέργεια που παράγεται, μετατρέπεται σε ηλεκτρικό ρεύμα που διοχετεύεται προς τους τελικούς αποδέκτες. Η ισχύς ενός ατμοηλεκτρικού εργοστασίου μπορεί να είναι τεράστια και για αυτό το λόγο υπάρχουν υποσταθμοί που κατανέμουν την ισχύ ανάλογα με τις ανάγκες. Το συντονισμό του συστήματος διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, που θα παράγεται πλέον από πολλούς παραγωγούς, στους πελάτες του καθενός, αναλαμβάνει ο Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ). Ο ΔΕΣΜΗΕ είναι ανώνυμη εταιρία. Το 51% του μετοχικού κεφαλαίου του ανήκει στο Ελληνικό Δημόσιο και το υπόλοιπο ποσοστό του μπορεί να καλύπτεται από κατόχους άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των οποίων οι μονάδες παραγωγής συνδέονται στο σύστημα. Σε αυτούς περιλαμβάνεται και η ΔΕΗ, η οποία σε πρώτη φάση κατέχει το 49% του μετοχικού κεφαλαίου του ΔΕΣΜΗΕ.

Η ΔΕΗ παραμένει αποκλειστικός ιδιοκτήτης του Συστήματος Μεταφοράς και θα εισπράττει από την ανώνυμη εταιρεία ΔΕΣΜΗΕ οικονομικό αντάλλαγμα για την εκμετάλλευση του συστήματος μεταφοράς. Ο Διαχειριστής του Συστήματος λειτουργεί, εκμεταλλεύεται, διασφαλίζει τη συντήρηση και μεριμνά για την ανάπτυξη του Συστήματος σε ολόκληρη τη χώρα καθώς και των διασυνδέσεων του με άλλα δίκτυα για να διασφαλίζεται ο εφοδιασμός της χώρας με ηλεκτρική ενέργεια, με τρόπο επαρκή, ασφαλή, οικονομικά αποδεκτό και αξιόπιστο [9].

Τη σπονδυλική στήλη του διασυνδεδεμένου συστήματος μεταφοράς αποτελούν οι τρεις γραμμές διπλού κυκλώματος των 400 kV, που μεταφέρουν ηλεκτρισμό, κυρίως από το σπουδαιότερο για την χώρα ενεργειακό κέντρο παραγωγής της Δυτικής Μακεδονίας. Στην περιοχή αυτή, παράγεται περίπου το 70% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής της χώρας που στη συνέχεια μεταφέρεται στα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης της Κεντρικής και Νότιας Ελλάδας, όπου καταναλώνεται περίπου το 65% της ηλεκτρικής ενέργειας.

Το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς διαθέτει επιπλέον γραμμές των 400 kV, καθώς επίσης εναέριες, υπόγειες γραμμές και υποβρύχια καλώδια των 150 kV που συνδέουν την Άνδρο και τα νησιά της Δυτικής Ελλάδας, την Κέρκυρα, την Λευκάδα, την Κεφαλονιά και την Ζάκυνθο με το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς, καθώς υπάρχει και μία υποβρύχια διασύνδεση της Κέρκυρας με την Ηγουμενίτσα στα 66 kV.

Στον πίνακα 2.1 παρουσιάζονται τα χιλιόμετρα των γραμμών μεταφοράς, ενώ στην Εικόνα 2.10 αποτυπώνεται ο χάρτης των αγωγών και των μονάδων ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Την 31η Δεκεμβρίου του 2009 το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς

αποτελείτο από 11.092 km γραμμών μεταφοράς. Ο κύριος τρόπος μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα είναι με εναέριες γραμμές και λιγότερο με υπόγειες. Τα τελευταία χρόνια βέβαια υπάρχει μια προσπάθεια σύνδεσης όλο και περισσότερων νησιών με το διασυνδεδεμένο σύστημα μέσω υποβρύχιων γραμμών [7].

**Πίνακας 2.1:** Γραμμές μεταφοράς σε km [4].

	<b>400 κιλοβόλτ (kV)</b>	<b>Συνεχούς Ρεύματος 400 κιλοβόλτ (kV)</b>	<b>150 κιλοβόλτ (kV)</b>	<b>66 κιλοβόλτ (kV)</b>	<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>
<b>ΕΝΑΕΡΙΕΣ</b>	2.535	107	8.043	39	<b>10.724</b>
<b>ΥΠΟΒΡΥΧΙΕΣ</b>		160	140	15	<b>315</b>
<b>ΥΠΟΓΕΙΕΣ</b>	4,5		48,5		<b>53</b>
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>2.539,5</b>	<b>267</b>	<b>8.231,5</b>	<b>54</b>	<b>11.092</b>





### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ρύπανση του περιβάλλοντος από παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Οι θερμικοί σταθμοί με καύσιμο τον εγχώριο λιγνίτη, όπως προαναφέρθηκε, καλύπτουν το μεγαλύτερο ποσοστό της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Οι σταθμοί αυτοί βοηθούν σημαντικά στην ανεξαρτητοποίηση της χώρας, στην παραγωγή φθηνής ηλεκτρικής ενέργειας και προσφέρουν πολλές θέσεις απασχόλησης. Το σημαντικό όμως, μειονέκτημα τους είναι η εκπομπή ρυπογόνων ουσιών που επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα και κατ' επέκταση την ανθρώπινη υγεία.

Κατά την λειτουργία θερμικών σταθμών με καύσιμο λιγνίτη εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα αέριοι και σωματιδιακοί ρύποι, οι οποίοι προέρχονται από την καύση του λιγνίτη καθώς και υδρατμοί από τους πύργους ψύξης (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1: Καυσαέρια και υδρατμοί κατά την νυχτερινή λειτουργία ενός ΑΗΣ [4].

#### 3.1 Εκπεμπόμενοι ρύποι

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται αναλυτικά οι κυριότεροι εκπεμπόμενοι ρύποι από θερμικούς σταθμούς.

### ➤ Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)

Το CO<sub>2</sub> παρόλο που δεν είναι άμεσα τοξικό, αποτελεί ένα εκτεταμένης κλίμακας αερίο με έμμεσες επιδράσεις στην εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη και ως εκ τούτου κατατάσσεται στους αέριους ρύπους. Τα αποτελέσματα της εκπομπής του CO<sub>2</sub> είναι μακροπρόθεσμα.

Η εκπομπή CO<sub>2</sub> προέρχεται, είτε από φυσικές πηγές, είτε από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Στην πρώτη περίπτωση περιλαμβάνονται οι διεργασίες βιολογικής αποσύνθεσης που έχουν ως αρχή την παραγωγή μεθανίου, ενώ στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες ανήκουν κυρίως οι διεργασίες καύσης των ορυκτών καυσίμων, όπως ο άνθρακας και το πετρέλαιο. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια σταθερή αύξηση του CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας που παράγεται από τις ποικίλες διεργασίες καύσης. Σύμφωνα με επιστημονικές έρευνες το CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας μπορεί να διπλασιαστεί στο άμεσο μέλλον. Το προβλεπόμενο αποτέλεσμα της αύξησης αυτής είναι η ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Το φαινόμενο αυτό συνεπάγεται μια σταδιακή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης που θα προκαλέσει ευρείας κλίμακας κλιματικές αλλαγές. Αυτό θα έχει ως συνέπεια πιθανό λιώσιμο των πάγων, πλημμυρίζοντας παράκτιες περιοχές και γενικότερα θα συμβάλει στην μεταβολή της ισορροπίας του πλανήτη.

Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί και ένα άλλο φαινόμενο που είναι επακόλουθο της καύσης των στερεών καυσίμων και το οποίο δημιουργεί τα αντίθετα αποτελέσματα από αυτά του θερμοκηπίου. Η ατμοσφαιρική ομίχλη και η σωματιδιακή ύλη που είναι προϊόντα καύσης και αυτά, μπορούν να προκαλέσουν ελαφρά ψύξη της ατμόσφαιρας λόγω παρεμπόδισης της ηλιακής ακτινοβολίας προς τη Γη. Στις μέρες μας υπάρχει συστηματική παρακολούθηση των ατμοσφαιρικών επιπέδων του CO<sub>2</sub> σε παγκόσμια κλίμακα. Για τον περιορισμό των εκπομπών του, γίνονται συζητήσεις, κυρίως ακαδημαϊκής φύσης με σκοπό τη λήψη σοβαρών μέτρων.

Από την άλλη πλευρά είναι γνωστή η σημασία του CO<sub>2</sub> για τη ζωή σε αυτό τον πλανήτη. Τα φυτά χρειάζονται το CO<sub>2</sub> για τη φωτοσύνθεση. Με άλλα λόγια ολόκληρη η τροφική αλυσίδα από την οποία εξαρτάται ο άνθρωπος, βασίζεται σε αυτό. Επιπλέον, αν και είναι προϊόν απόρριψης κατά την αναπνοή των ζώων, κάνοντάς το τοξικό σε υψηλές συγκεντρώσεις, ένα ορισμένο ποσοστό του διεγείρει την αναπνοή. Το επίπεδο ασφαλείας για παρατεταμένη έκθεση του ανθρώπου σε CO<sub>2</sub>, είναι 15 φορές μεγαλύτερο από τα

σημερινά επίπεδα του στον ατμοσφαιρικό αέρα. Εντούτοις, παρατηρείται μια συνεχώς αυξητική τάση του ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub> τα τελευταία 70 περίπου χρόνια.

Το φυτικό βασίλειο δείχνει να επωφελείται από τις αυξήσεις του CO<sub>2</sub>. Σε καμία περίπτωση όμως δεν θα πρέπει να παρασύρεται κανείς, καθώς μια περαιτέρω αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 1-2 βαθμούς Κέλβιν (K) (λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου), ενδέχεται να έχει σημαντικότερες συνέπειες στο παγκόσμιο κλίμα [13].

#### ➤ Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι ένα άχρωμο και άοσμο αέριο, ελάχιστα διαλυτό στο νερό και αναφλέξιμο. Είναι ένας από τους μαζικότερους παραγόμενους ρύπους. Στις αστικές περιοχές η κύρια ποσότητα CO προέρχεται από την ατελή καύση των υδρογονανθράκων που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα. Αυτή η ατελής καύση συμβαίνει όταν υπάρχει ανεπαρκής ποσότητα οξυγόνου ή χρόνου για την πλήρη μετατροπή των υδρογονανθράκων και ανθράκων σε CO<sub>2</sub> (πλήρης καύση).

Η τοξική δράση του CO σχετίζεται με το αναπνευστικό σύστημα. Προκαλεί δέσμευση του οξυγόνου από την αιμοσφαιρίνη του αίματος, η οποία αποτελεί τον μεταφορέα του οξυγόνου στους ιστούς ενός οργανισμού, παράγοντας καρβοξυαιμοσφαιρίνη, ένα μόριο που δεν έχει πλέον την ικανότητα δέσμευσης και μεταφοράς του οξυγόνου. Έτσι, παρεμποδίζεται η μεταφορά του οξυγόνου από τους πνεύμονες στους ιστούς του σώματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της φυσικής και πνευματικής ικανότητας του ανθρώπου προκαλώντας σοβαρές επιπτώσεις στα διάφορα λειτουργικά όργανα και κυρίως στον εγκέφαλο. Αποτελέσματα ασθενειών από τη ρύπανση CO είναι υπερβολικά δύσκολο να καταγραφούν οπότε υπάρχουν ανεπαρκή στοιχεία για να προσδιορισθούν τα ασφαλή όρια [13].

#### ➤ Τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>)

Η μεγάλη μάζα των οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) προέρχεται από καύσεις σε υψηλές θερμοκρασίες. Η παραγωγή του μονοξειδίου του αζώτου (NO) κατά τις καύσεις ευνοείται από την αύξηση της θερμοκρασίας, γι' αυτό και μια από τις σπουδαιότερες πηγές του είναι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Από την άλλη, μια σύγκριση ανά μονάδα βάρους παραγόμενης ποσότητας NO από διάφορα συνηθισμένα καύσιμα, τα κατατάσσει με την ακόλουθη φθίνουσα σειρά δυναμικότητας παραγωγής NO: άνθρακας>πετρέλαιο>φυσικό αέριο.

Αν και οι ανθρώπινες δραστηριότητες εκλύουν σαφώς λιγότερες ποσότητες οξειδίων του αζώτου από τις διάφορες βιολογικές δραστηριότητες, οι εκπομπές αυτές συγκεντρώνονται στο περιβάλλον των αστικών και βιομηχανικών περιοχών, με αποτέλεσμα να γίνονται πολύ επικίνδυνες. Η παρουσία τους στην ατμόσφαιρα είναι συνδυασμένη με μια μεγάλη ποικιλία αναπνευστικών προβλημάτων και είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία των φωτοχημικών οξειδωτικών.

Υπάρχουν σοβαρές αρνητικές επιδράσεις των οξειδίων του αζώτου στην υγεία με σημαντικότερη τη συμμετοχή τους στην εμφάνιση οξείας βρογχίτιδας σε νήπια και παιδιά προσχολικής ηλικίας. Τέτοια φαινόμενα έχουν παρατηρηθεί όταν τα επίπεδα του διοξειδίου του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ) κυμαίνονται σε 24ωρη βάση, από 118 έως 156  $\text{mg/m}^3$  και για περίοδο έκθεσης άνω των έξι μηνών.

Επίσης, έχουν αναφερθεί αρνητικές επιδράσεις στα φυτά π.χ. πτώση φύλλων, μείωση της παραγωγής πορτοκαλίων κ.ά. όταν τα επίπεδα  $\text{NO}_2$  ήταν κοντά στα 470  $\text{mg/m}^3$  για περίοδο διάρκειας άνω των 8 μηνών. Ακόμα σχετίζονται και με εκτεταμένη διάβρωση υλικών και κατασκευών.

Το  $\text{NO}_2$  εμπλέκεται και σε αντιδράσεις νιτρικού οξέος ( $\text{HNO}_3$ ) με τη συνεισφορά του τελευταίου στο φαινόμενο της όξινης βροχής. Ο μικρός σχετικά χρόνος ζωής του διοξειδίου του αζώτου (λιγότερο από μια μέρα), συμβάλει στον σχηματισμό του νιτρικού οξέος σε χρόνους ζωής της τάξεως της μιας εβδομάδας, με αποτέλεσμα να υπάρχει αυξημένη πιθανότητα επιστροφής στην επιφάνεια της Γης ως όξινη βροχή ή εναπόθεση. Όμως οι διαδικασίες δεν σταματάνε εδώ. Η διαλυτότητα των  $\text{NO}$  και  $\text{NO}_2$  σε σταγονίδια βροχής είναι σχετικά χαμηλή. Αυτά μπορούν να μεταφερθούν εξαιτίας καθέτων αναταραχών της τροπόσφαιρας σε υψηλότερα στρώματα. Όμως και εκεί η αντίδραση σχηματισμού νιτρικού οξέος εξακολουθεί να συμβαίνει, όπου πλέον το σχηματιζόμενο νιτρικό οξύ δεν υπόκειται σε διαδικασίες ξηρής ή υγρής εναπόθεσης. Έχοντας ικανό χρόνο ζωής, εξακολουθεί να διαχέεται προς τα πάνω φτάνοντας στα όρια της στρατόσφαιρας, όπου έχει μεγάλη πιθανότητα φωτοδιάσπασης για τον σχηματισμό και πάλι  $\text{NO}_x$ . Σε πιο περιορισμένη έκταση μπορεί να αντιδράσει με το υδροξύλιο ( $\text{OH}$ ) και να σχηματίσει  $\text{NO}_x$ . Η διαδικασία αυτή είναι ένας άλλος πιθανός μηχανισμός μεταφοράς  $\text{NO}_x$  στην στρατόσφαιρα με αρνητικές συνέπειες στο όζον της στρατόσφαιρας [13].

### ➤ Το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>)

Η πιο επικίνδυνη και καταστροφική ομάδα ατμοσφαιρικών ρύπων σχετίζεται με το άτομο του θείου. Το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) είναι η πλέον συνηθισμένη πρωτογενής εκπομπή από αυτή την ομάδα. Πρωτεύοντα ρόλο στην εκπομπή SO<sub>2</sub> παίζει η καύση του άνθρακα στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το θείο υπάρχει στον άνθρακα και στο πετρέλαιο, συνήθως σε ποσοότητες 0-6% κατά βάρος υπό μορφή οργανικών μορίων που όταν καίγονται παράγουν το SO<sub>2</sub>.

Στην ατμόσφαιρα το SO<sub>2</sub> αντιδρά για να σχηματίσει το τριοξείδιο του θείου (SO<sub>3</sub>) το οποίο εμφανίζει έντονη δραστικότητα με υδρατμούς σχηματίζοντας ομίχλη (αεροζόλ) θειικού οξέος. Είναι προφανής η διαβρωτική ικανότητα του θειικού οξέος στα υλικά και στις ανθρώπινες κατασκευές. Επίσης, έχει τοξικές ιδιότητες που εξαρτώνται άμεσα από το μέγεθος των σωματιδίων αυτής της ομίχλης. Ακόμα εμφανίζει σημαντική δραστικότητα με άλλου τύπου σωματιδιακή ύλη που πλανάται στην ατμόσφαιρα.

Το θείο με τη μορφή των διαφόρων ενώσεων του, εκπέμπεται από φυσικές πηγές, όπως λόγου χάρη ηφαίστεια, θερμές και άλλες πηγές που το επαναφέρουν στη γη για να κλείσει ο κύκλος. Σε 24ωρη βάση, η μέση τιμή συγκέντρωσης του SO<sub>2</sub> στις περισσότερες μεγάλες πόλεις του κόσμου κυμαίνεται στα επίπεδα δέκατων ppm. Αν και αυτές οι τιμές συγκεντρώσεων φαντάζουν χαμηλές, η ευαισθησία του ανθρώπινου οργανισμού στο SO<sub>2</sub> είναι πολύ μεγάλη. Το όριο αντίληψης ύπαρξης του SO<sub>2</sub> είναι περίπου 0,3 ppm και γίνεται μια πολύ δυσάρεστη εμπειρία στα επίπεδα του 1 ppm. Σε αυτή τη χαμηλή έστω συγκέντρωση σημειώνονται μεταβολές στην συχνότητα της αναπνοής και των σφυγμών. Ένα επίπεδο 5 ppm SO<sub>2</sub> προκαλεί αναπνευστικές διαταραχές ακόμη και σπασμωδικές αντιδράσεις.

Η ευαισθησία των φυτών στο SO<sub>2</sub> ποικίλει. Ορισμένα δέντρα και θάμνοι κιτρινίζουν κάτω από ολιγόωρη έκθεση σε 0,3 έως 0,5 ppm SO<sub>2</sub>. Σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις αλλά για μεγαλύτερες περιόδους μπορούν να προκαλέσουν πτώσεις φύλλων και σοβαρές καταστροφές σε ορισμένους καρπούς. Το τριφύλλι αποχρωματίζεται σε έκθεση 1,25 ppm για μια ώρα. Επίσης, είναι δυνατόν να συμβεί καθυστέρηση στη διαδικασία ανάπτυξης ενός φυτού ακόμα και κάτω από χαμηλές συγκεντρώσεις SO<sub>2</sub>.

Όπως προαναφέρθηκε, το διοξείδιο του θείου στην ατμόσφαιρα μπορεί να αντιδράσει φωτοχημικά με το οξυγόνο και να σχηματίσει τριοξείδιο του θείου, το οποίο είναι ένα έντονα υγροσκοπικό μόριο που θα απορροφήσει αμέσως την υγρασία για να

σχηματίζει θειικό οξύ υπό τη μορφή μικροσκοπικών σταγόνων (αεροζόλ). Οι ρυθμοί αυτών των αντιδράσεων εξαρτώνται από την ποσότητα της υπάρχουσας υγρασίας, το ηλιακό φως, την παρουσία άλλων χημικών ενώσεων όπως είναι οι υδρογονάνθρακες, το διοξείδιο του αζώτου αλλά και από την παρουσία σωματιδιακής ύλης.

Η ικανότητα του SO<sub>2</sub> να προκαλεί ερεθισμό των ματιών αυξάνεται κατά 3-4 φορές όταν οι συνθήκες ευνοούν το σχηματισμό θειικού οξέος. Η ποικιλία των ενώσεων που περιέχουν θείο είναι μεγάλη και αλληλεξαρτώμενη. Για το λόγο αυτό η απλή μέτρηση των επιπέδων του θειικού οξέος κρίνεται ανεπαρκής για να προβλέψει τις τοξικολογικές συνέπειες ενός δεδομένου περιβάλλοντος.

Η σωματιδιακή ύλη της τάξης των 5 μικρομέτρων (μm) παραμένει διασκορπισμένη στον αέρα. Η σωματιδιακή ύλη αυτών των μεγεθών παγιδεύεται εύκολα στους πνεύμονες. Από άποψη χημικής συμπεριφοράς μπορεί να είναι ικανή να καταλύσει την οξείδωση του SO<sub>2</sub> και έτσι γίνεται φορέας σταγόνων θειικού οξέος. Σωματίδια σιδήρου, μαγγανίου ή άλατα βαναδίου είναι μερικά παραδείγματα ενεργών καταλυτών που μπορούν να συμβάλουν σε τέτοιου είδους περιστατικά. Πολλά από τα επεισόδια που έχουν καταγραφεί σε μεγάλες πόλεις ανά τον κόσμο ήταν αποτέλεσμα υψηλής ρύπανσης από SO<sub>2</sub> όπου ταυτόχρονα επικρατούσαν ευνοϊκές συνθήκες για τη μετατροπή του σε θειικό οξύ. Τα επεισόδια αυτά είναι χαρακτηριστικό παράδειγμα του μεγάλου αριθμού θανάτων και αυξημένων επισκέψεων στα νοσοκομεία με αναπνευστικά προβλήματα.

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες υφίστανται τη συνδυασμένη καταστροφή από το SO<sub>2</sub> και το θειικό οξύ. Χαλύβδινες κατασκευές, καλώδια, υφάσματα, ασβεστόλιθος, οικοδομικές πέτρες, τσιμέντο και μπογιά, καταστρέφονται σταδιακά από αυτούς τους ρύπους. Η καταστροφή είναι ανεπανόρθωτη στα αρχαία έργα τέχνης, όπως αγάλματα, μνημεία, ναοί, τα οποία έχουν επιβιώσει για εκατοντάδες ή χιλιάδες χρόνια. Ο μέσος όρος ζωής του θείου (υπό μορφή διαφόρων ενώσεων) στην ατμόσφαιρα κυμαίνεται από 3-7 ημέρες. Τελικά υφίσταται καθίζηση στη γη υπό μορφή θειικού οξέος και θειικών αλάτων [13].

#### ➤ Σωματιδιακοί ρύποι (PM-10)

Σε σχετικές μελέτες που αφορούν την ατμοσφαιρική ρύπανση, τα σωματίδια είναι ένας πολύ 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 και άλλες ουσίες. Μερικά από αυτά τα σωματίδια λειτουργούν ως πυρήνες στους οποίους συμπυκνώνονται ατμοί. Μερικά από αυτά αντιδρούν χημικά με αέρια της ατμόσφαιρας ή ατμούς σχηματίζοντας διάφορες συνθέσεις. Όταν δύο σωματίδια συγκρούονται μεταξύ τους στον αέρα, τείνουν να συγκολληθούν μεταξύ τους εξαιτίας ισχυρών ελκτικών δυνάμεων, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγαλύτερων συσσωματωμάτων. Όσο μεγαλύτερο γίνεται το σωματίδιο, τόσο μεγαλώνει το βάρος του και επομένως οι πιθανότητες για εναπόθεση στο έδαφος αυξάνονται. Εναπόθεση είναι η διαδικασία κατά την οποία ένα σωματίδιο της ατμόσφαιρας επικάθεται στη Γη.

Οι οπτικές και τοξικολογικές ιδιότητες των σωματιδίων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος τους. Στην εργασία αυτή αναφερόμαστε στα σωματίδια με αεροδυναμική 0,1-1  $\mu\text{m}$  (PM-10). Τα εν λόγω σωματίδια σχηματίζονται κυρίως από προϊόντα καύσης, ατμοσφαιρική σκόνη, στάχτες και συμπύκνωση υδρατμών. Είναι πολύ βαριά ώστε να επηρεαστούν από την κίνηση Μπράουν (Brown), αλλά εναποτίθενται τόσο αργά παραμένοντας στην ατμόσφαιρα για ολόκληρους μήνες. Η κίνηση Brown οφείλεται στις συγκρούσεις των σωματιδίων με τα μόρια αερίων. Αυτά τα σωματίδια είναι η αιτία της ομίχλης και της μείωσης της ορατότητας. Επίσης, συμμετέχουν σε ατμοσφαιρικές αντιδράσεις,, συγκρούσεις και συσσωματώσεις.

Η κυριότερη ανησυχία για τη σωματιδιακή ύλη που περιπλανάται στην ατμόσφαιρα προέρχεται από το γεγονός ότι τα σωματίδια ορισμένου μεγέθους εισπνέονται και κατακρατούνται από το ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα. Η τοξικολογία των σωματιδίων απαιτεί τη γνώση τόσο του μεγέθους των σωματιδίων όσο και της χημικής τους σύνθεσης. Σωματίδια έως περίπου 2,5  $\mu\text{m}$  κατακρατούνται από τη μύτη, ενώ αυτά κάτω των 2,5  $\mu\text{m}$  συνήθως εναποτίθενται στην τραχεία των πνευμόνων. Μέταλλα που περιέχονται στον άνθρακα και χρησιμοποιούν οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, κυρίως μόλυβδος (Pb) και νικέλιο (Ni), υπό μορφή σκόνης ή σύνθετων μορίων έχουν τη χειρότερη επίδραση από άποψη τοξικότητας. Σήμερα γίνονται έρευνες για τη σχέση αυτών των εκπομπών με την εμφάνιση μορφών καρκίνου στον πληθυσμό των περιοχών κοντά στις οποίες είναι εγκατεστημένοι οι σταθμοί.

Ένα άλλο θέμα που σχετίζεται με τη σωματιδιακή ύλη είναι η επίδραση τους στην απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Το θέμα έχει άμεση σχέση με την διατήρηση και εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη και επομένως είναι μείζονος σημασίας. Μια τέτοια



διασπορά και απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας τείνει να ελαττώσει τη θερμοκρασία του πλανήτη σε αντίθεση με το φαινόμενο του θερμοκηπίου [13].

#### ➤ Οι υδρογονάνθρακες (HCs)

Η τάξη των ατμοσφαιρικών ρύπων, γνωστή ως υδρογονάνθρακες (HCs) περιλαμβάνει όλες τις ενώσεις που αποτελούνται από υδρογόνο και άνθρακα, εκτός από τα οξείδια του άνθρακα, τα καρβίδια και τα ανθρακικά άλατα.

Οι υδρογονάνθρακες που εκπέμπονται, σε μικρές σχετικά ποσότητες, συναθροίζονται ενδεχομένως με τις εκπομπές υδρογονανθράκων των οχημάτων. Κάτω από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και αντιδρώντας με τα οξείδια του αζώτου δημιουργούνται τα οξειδωτικά συστατικά του φωτοχημικού νέφους, που σημαίνει ότι μπορεί να προκαλέσει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία [13].

### 3.2 Ρύπανση των υδάτων

Δυστυχώς οι ανθρώπινες δραστηριότητες δεν άφησαν ανέπαφο και το νερό, που αποτελεί πηγή ζωής για όλους τους ζωντανούς οργανισμούς. Ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα είναι η μόλυνση των υδάτων ως αποτέλεσμα κυρίως της βιομηχανικής δραστηριότητας. Η μόλυνση αυτή συντελείται με διάφορους τρόπους, ανάλογους με την μορφή των διαφόρων αποβλήτων. Οι αέριοι ρύποι μεταφέρονται με την βροχή και μπορούν να ρυπάνουν υδάτινες ποσότητες μακριά από τον τόπο εκπομπής τους. Τα υγρά απόβλητα που αποβάλλουν τα διάφορα εργοστάσια, πολλές φορές χωρίς καμία επεξεργασία, μεταφέρουν διάφορες οργανικές και ανόργανες ουσίες, όπως υδρογονάνθρακες, νιτρικά άλατα, φαινόλες, πλαστικά, βαρέα μέταλλα, επικίνδυνα ιχνοστοιχεία και πολλά άλλα. Ορισμένες φορές μάλιστα, η ρύπανση αυτή δεν περιορίζεται στα επιφανειακά ύδατα, αλλά μέσω της απορρόφησής τους από το έδαφος καταλήγουν να μολύνουν και τους υδροφόρους ορίζοντες.

Από την ηλεκτροπαραγωγή προκαλείται ρύπανση των υδάτων μέσω των καυσαερίων που μεταφέρονται από τον αέρα και την βροχή. Η όξινη βροχή που αναφέραμε πιο πάνω καταλήγει στα ποτάμια και τις θάλασσες. Η κυριότερη όμως επίδραση των ατμοηλεκτρικών εργοστασίων είναι η θερμική ρύπανση. Το υδατικό περιβάλλον χαρακτηρίζεται από σχετική σταθερότητα της θερμοκρασίας, γεγονός που κάνει τους υδρόβιους οργανισμούς πολύ ευάλωτους στις θερμικές διακυμάνσεις. Είναι γνωστό ότι τα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια κατασκευάζονται σε μέρη όπου υπάρχουν μεγάλες ποσότητες νερού για να το χρησιμοποιούν ως ψυκτικό μέσο. Αποτέλεσμα αυτού είναι η αύξηση της

θερμοκρασίας των ποταμών ή λιμνών που χρησιμοποιούνται με αυτό τον τρόπο. Αυτό προκαλεί διατάραξη της οικολογικής ισορροπίας των υγροτόπων, με την εξαφάνιση πολλών οργανισμών που δεν κατορθώνουν να επιβιώσουν στην απότομη αλλαγή. Πολλές φορές κάποια βλάβη στην λειτουργία των εργοστασίων έχει ως αποτέλεσμα την μόλυνση του ψυκτικού τους μέσου, του νερού και την μεταφορά μέσω αυτού επιβλαβών ουσιών.

Ακόμα όμως και τα μεγάλα υδροηλεκτρικά εργοστάσια, που είναι πιο φιλικά προς το περιβάλλον έχουν το μερίδιο τους στην αλλοίωση των υδάτινων και μη οικοσυστημάτων. Η κατασκευή τους συνήθως αρχίζει με το χτίσιμο φραγμάτων για την δημιουργία ταμιευτήρων, όπου συγκεντρώνονται μεγάλες ποσότητες νερού. Στην συνέχεια μία μεγάλη περιοχή κατακλύζεται από νερό και δημιουργείται μια λίμνη σκεπάζοντας όλη την βλάστηση που προϋπήρχε. Τα φυτά που μένουν σκεπασμένα από το νερό αργούν πάρα πολύ να αφομοιωθούν από το νέο περιβάλλον. Έτσι εμποδίζεται η επιβίωση ακόμη και των υδρόβιων οργανισμών και πλασμάτων. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε πολλές τεχνητές λίμνες οι κορφές των δέντρων που σκεπάστηκαν από το νερό φαίνονται κοντά ή και πάνω από την επιφάνεια της λίμνης. Αλλά και κατά την λειτουργία του ένας υδροηλεκτρικός σταθμός επηρεάζει την λίμνη που τον τροφοδοτεί. Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργούν μόνο λίγες ώρες το εικοσιτετράωρο. Η διέλευση μεγάλων ποσοτήτων νερού κατά τις ώρες αυτές προκαλούν μία σημαντική πτώση της στάθμης του. Κατά την διακοπή της λειτουργίας του η στάθμη επανέρχεται σταδιακά πάλι στο αρχικό ύψος. Με αυτό τον τρόπο όμως οι μικροοργανισμοί και η βλάστηση που είναι χαρακτηριστικά σε ένα παράκτιο οικοσύστημα δεν μπορούν να επιβιώσουν. Σε πολλές τεχνητές λίμνες αυτό είναι εμφανές [1].

### **3.3 Ρύπανση του εδάφους – στερεά απόβλητα**

Το έδαφος αποτελεί τον ενδιάμεσο αποδέκτη ανάμεσα στην ατμόσφαιρα και το υδάτινο περιβάλλον. Συνεπώς, η ρύπανση που αναφέρθηκε προηγουμένως έχει την επίπτωσή της και στο έδαφος. Οι ρύποι που διοχετεύονται σε αέρια κατάσταση στην ατμόσφαιρα μεταφέρονται πολλά χιλιόμετρα μακριά από τον τόπο παραγωγής τους με τους ανέμους και την βροχή και κατακάθονται στο έδαφος. Τα μολυσμένα νερά από τα ποτάμια ή τις λίμνες που τροφοδοτούσαν με θρεπτικές ουσίες τα εδάφη με τα οποία συνορεύουν καταλήγουν να τα δηλητηριάζουν. Ως αποτέλεσμα έχουμε την αισθητή μείωση και εξαφάνιση πολλών ειδών. Σε πολλές περιπτώσεις έχει γίνει το έδαφος, τόσο φτωχό που είναι αδύνατο να καλλιεργηθεί ενώ σε άλλες η συσσώρευση τοξικών αποβλήτων και

βαρέων μετάλλων, καθιστά επικίνδυνη την καλλιέργεια του για φυτά της τροφικής αλυσίδας [1].

Η καύση των ορυκτών καυσίμων προϋποθέτει την εξόρυξή τους. Η διαδικασία της εξόρυξης είναι διαφορετική ανάλογα με το βάθος και τον τύπο του κάθε ορυκτού. Η επιβάρυνση όμως του γύρω περιβάλλοντος είναι η ίδια. Το μέταλλευμα που αξιοποιείται για την εξαγωγή του άνθρακα έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε στείρα υλικά, που μετά τον διαχωρισμό τους εναποτίθενται στην γύρω περιοχή. Με την αυτοματοποίηση των τεχνικών εξόρυξης η αναλογία άνθρακα/στείων υλικών έχει μειωθεί. Αν και είναι σημαντική αυτή η μείωση, τα προβλήματα παραμένουν λόγω των μεγάλων ποσοτήτων άνθρακα που απαιτούνται με την ολοένα αυξανόμενη ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια. Έχει υπολογιστεί στην Μ. Βρετανία ότι για κάθε 50 εκατομμύρια τόνους άνθρακα που εξορύσσονται με υπόγειες μεθόδους, χρειάζονται 2000 στρέμματα νέας επιφάνειας που θα δεχθεί τα στείρα υλικά [1].

Επίσης, τα στερεά απόβλητα ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η υπτάμενη τέφρα, η υγρή τέφρα και η λάσπη. Η υπτάμενη τέφρα είναι τα αδρανή συστατικά του λιγνίτη. Η τέφρα είναι λιγνίτης εμπλουτισμένος με αδρανή συστατικά. Η λάσπη παράγεται στις μονάδες αποσκλήρυνσης του νερού και καθιζάνει με άλλα αιωρούμενα σωματίδια στις δεξαμενές διαύγασης. Αποτελείται στο μεγαλύτερο ποσοστό της από ανθρακικό ασβέστιο και ανθρακικό μαγνήσιο [4].

Η μεταφορά της τέφρας και της λάσπης γίνεται με μεταφορική ταινία και με φορτηγά. Όλα τα στερεά απόβλητα του ορυχείου αποτίθενται σε χώρους απόθεσης του ορυχείου (Εικόνα 3.2). Αξίζει να σημειωθεί ότι μια ποσότητα υπτάμενης τέφρας, περίπου το 20% της ολικής, φορτώνεται πριν διαβραχεί σε σιλοφόρα οχήματα και μεταφέρεται σε τσιμεντοβιομηχανίες όπου χρησιμοποιείται για παραγωγή τσιμέντου. Η τέφρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές, όπως ως βάση στην οδοποιία, στην κατασκευή πλίνθων σαν υλικό αμμοβολής και σε πολλές άλλες [4].



Εικόνα 3.2: Απόθεση στείων υλικών από φορτηγά σε ορυχείο της Πτολεμαΐδας [14].

### 3.4 Διατάραξη οικοσυστημάτων – Εξάντληση αποθεμάτων

Η ολοένα αυξανόμενη δράση του ανθρώπινου είδους και η εξάπλωσή του σε συνδυασμό με τον υπερπληθυσμό έχει περιορίσει σημαντικά τον δραστικό χώρο πολλών άλλων πλασμάτων. Η βιομηχανοποίηση με τα δυσμενή αποτελέσματα που αναφέρθηκαν πιο πάνω και η συχνή χρήση και απόθεση χημικών ουσιών στο περιβάλλον είναι συχνά η αιτία για την εξαφάνιση πολλών ειδών από τον πλανήτη. Υπολογίστηκε από ειδικούς ερευνητές ότι καθημερινά χάνονται 50 ποικιλίες από το φυτικό και ζωικό βασίλειο.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την καύση των ορυκτών καυσίμων συμμετέχει στην αλλοίωση του περιβάλλοντος στο οποίο είναι προσαρμοσμένα πολλά είδη, ώστε να καθίσταται δύσκολη η επιβίωση τους. Κατά την κατασκευή μεγάλων υδροηλεκτρικών σταθμών, προκειμένου να εκμεταλλευτούν όσο το δυνατόν περισσότερο το υδροδυναμικό μιας περιοχής, γίνονται αλλοιώσεις του περιβάλλοντος, όπως εκτροπές ποταμών, δημιουργίες λιμνών, με αποτέλεσμα σημαντική διατάραξη της οικολογικής ισορροπίας. Πολλές φορές οι επεμβάσεις αυτές δε δίστασαν ούτε μπροστά στην καταστροφή σημαντικών υδροβιότοπων ή εθνικών δρυμών.

Η συστηματική εξόρυξη των ορυκτών καυσίμων θα εξαντλήσει μέσα σε λίγα σχετικά χρόνια τα αποθέματα που χρειάστηκαν χιλιετίες για να δημιουργηθούν. Σε κάποιες περιπτώσεις ακόμη και πιο ήπιες μέθοδοι, όπως είναι η καύση της βιομάζας, όταν γίνονται σε εντατικούς ρυθμούς, διαταράσσουν την οικολογική αλυσίδα. Όταν τα οργανικά απορρίμματα καίγονται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας οι ποσότητες του άνθρακα και των άλλων στοιχείων που περιέχουν εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα, ενώ σε έναν υγιή βιολογικό κύκλο μέσω της αποσύνθεσής τους θα έτρεφαν το έδαφος και κατ' επέκταση τα νέα φυτά που θα φύτευαν εκεί [1].

### **3.5 Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία από την εκμετάλλευση του λιγνίτη**

Με βάση τις επιστημονικές μελέτες που έχουν δημοσιευτεί μέχρι τώρα, αποδεικνύεται ότι η λειτουργία των λιγνιτικών κέντρων στην Ελλάδα είναι ιδιαίτερα δυσμενής για την ανθρώπινη υγεία. Η ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλείται από τις διαδικασίες εξόρυξης και μεταφοράς του λιγνίτη μέχρι και την καύση του στις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής έχει συσχετιστεί με πλήθος επιπτώσεων. Μερικές από αυτές είναι η αυξημένη συχνότητα εμφάνισης παθήσεων του ανώτερου και κατώτερου αναπνευστικού, αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης αγγειακών διαταραχών και στεφανιαίας νόσου αλλά και υψηλά ποσοστά πρόωρων θανάτων από καρκίνους και θρομβοεμβολικά επεισόδια. Οι ευπαθείς ομάδες καθώς και οι έγκυοι και τα παιδιά βρίσκονται στην πρώτη γραμμή των επιπτώσεων.

Τα συμπεράσματα αυτά βρίσκονται σε πλήρη συμφωνία με πληθώρα μελετών σε παγκόσμιο επίπεδο, οι οποίες αποτυπώνουν το τεράστιο κόστος στη δημόσια υγεία από τη λειτουργία μονάδων άνθρακα. Η βραβευμένη με Νόμπελ Ειρήνης οργάνωση Physicians for Social Responsibility, έχει συγκεντρώσει σε μία έκθεση μερικές από τις πιο πρόσφατες και έγκυρες μελέτες για τις επιπτώσεις των ρύπων από ανθρακικές μονάδες στον άνθρωπο. Σύμφωνα με μία από αυτές (Markandaya A, Wilkinson, 2007) για κάθε τετραβάτώρα (1 δις κιλοβατώρας) που παράγεται από καύση λιγνίτη προκαλούνται έως και 32,6 πρόωροι θάνατοι.

Από την άλλη μεριά η ΔΕΗ, με βάση τον ενεργειακό σχεδιασμό της σκοπεύει να αποσύρει λιγνιτικές μονάδες συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 910 MW έως το τέλος του 2015. Σ' αυτή την ενέργεια θα προβεί για λόγους παλαιότητας αλλά και για περιβαλλοντικούς λόγους. Οι νέες μονάδες στερεών καυσίμων που θα αντικατασταθούν μετά το 2015 θα έχουν τέτοιες εκπομπές, ώστε να μην επιβαρύνουν την ανθρώπινη υγεία. Τα όρια των εκπομπών διαμορφώνονται ως εξής:

- $\text{SO}_2 \leq 150 \text{ mg/Nm}^3$
- $\text{NO}_x \leq 200 \text{ mg/Nm}^3$
- Σωματίδια  $\leq 10 \text{ mg/Nm}^3$

Η ελληνική κοινωνία οφείλει ευγνωμοσύνη στους κατοίκους της βορειοδυτικής Μακεδονίας και της Μεγαλόπολης, που όλα αυτά τα χρόνια έχουν επωμιστεί ένα δυσανάλογο βαρύ φορτίο για την ανάπτυξη της χώρας.

Η Greenpeace και το WWF Ελλάς τονίζουν ότι η έγκαιρη και ομαλή μετάβαση στη μετά-λιγνιτική εποχή είναι εθνική υπόθεση που αφορά όλους και όχι μια τοπική υπόθεση. Το κράτος οφείλει να στηρίζει με κάθε τρόπο αυτή την προσπάθεια και να λάβει όλα τα απαραίτητα μέτρα προκειμένου να αποκατασταθεί η αδικία που επί δεκαετίες συντελείται εις βάρος των τοπικών κοινωνιών στη βορειοδυτική Μακεδονία και Μεγαλόπολη. Σε κάθε περίπτωση προέχει η προστασία της δημόσιας υγείας και η ανθρώπινη αξιοπρέπεια [7],[15].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Τεχνολογίες αντιμετώπισης της ρύπανσης

Οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προκειμένου να μειώσουν τους εκπεμπόμενους ρύπους, οι οποίοι είναι επικίνδυνοι τόσο για το περιβάλλον όσο και την ανθρώπινη υγεία, χρησιμοποιούν ορισμένους μηχανισμούς αντιρρύπανσης.

### 4.1 Τεχνολογίες καταστροφής αέριων ρύπων

#### 4.1.1 Βασικές διεργασίες και τεχνικές για την απομάκρυνση ρύπων

Ο έλεγχος της ρύπανσης που προέρχεται από μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ποικίλει. Κάθε σταθμός ανάλογα με το έτος κατασκευής του και την τεχνολογία που χρησιμοποιεί, έχει τις δικές του εκπομπές τόσο σε σύσταση όσο και σε ποσότητα. Έτσι τα συστήματα ελέγχου θα πρέπει να σχεδιαστούν αποκλειστικά για τον καθένα. Οι κύριες διεργασίες (τεχνικές) διαχωρισμού και απομάκρυνσης αέριων ρύπων που 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 (Σ.Π.Η.Ε) με λιγνίτη ως καύσιμο εκπέμπουν αέριους ρύπους σε υψηλές θερμοκρασίες και επιπλέον δημιουργούν ρύπανση 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 ρύπανσης του αέρα εξαρτάται κυρίως από το χρησιμοποιούμενο καύσιμο και τη διεργασία της καύσης. Εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες σωματιδιακών ρύπων που πρέπει να ελεγχθούν με συσκευές, όπως πολλαπλοί κυκλώνες, φίλτρα, εκπλυτές, ηλεκτροστατικά φίλτρα (ESPs). Η αντιμετώπιση της ρύπανσης σωματιδιακού τύπου θα αναλυθεί ξεχωριστά παρακάτω.

Το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ), όπως είχαμε αναφέρει σε προηγούμενη ενότητα, είναι ένας βασικός ρύπος για τους θερμικούς σταθμούς. Η μείωση του  $\text{SO}_2$  στα επιθυμητά επίπεδα εκπομπής μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Εξάλλου, η χρήση κάρβουνου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο μπορεί να είναι φθηνότερη από τη χρήση ενός συστήματος ελέγχου του διοξειδίου του θείου κατά τη διεργασία.



Αν είναι απαραίτητη μια συσκευή ελέγχου για το SO<sub>2</sub>, μπορεί να ακολουθηθεί κάποια από τις μεθόδους που συγκεντρώνονται στον πίνακα 4.1. Πρέπει πρώτα να αποφασισθεί αν το προς χρήση σύστημα θα είναι υγρό ή ξηρό. Πολλά εμπορικά συστήματα χρησιμοποιούν οξειδίο του ασβεστίου, οξειδίο του μαγνησίου ή διαλύματα πηλού ή γύψου σε υδροξείδιο του νατρίου για την απομάκρυνση του SO<sub>2</sub>.

**Πίνακας 4.1:** Πιθανές επιλογές για τον έλεγχο του διοξειδίου του θείου [16].

Μέθοδος	Παρατηρήσεις
Με ασβεστόλιθο ή άσβεστο (ξηρό)	Ψημένος (ασβεστοποιημένος) ασβεστόλιθος αντιδρά με SO <sub>x</sub> . Απομάκρυνση με ξηρό σύστημα ελέγχου σωματιδίων.
Με ασβεστόλιθο ή άσβεστο (υγρό)	Ο ψημένος ασβεστόλιθος αντιδρά με SO <sub>x</sub> και εν συνεχεία απομακρύνονται με υγρούς εκπλυτές.
Με ανθρακικό νάτριο	Το ανθρακικό νάτριο αντιδρά με SO <sub>x</sub> σε ξηρό σύστημα προς σουλφίδιο του νατρίου (Na <sub>2</sub> S) και CO <sub>2</sub> . Το θειούχο νάτριο απομακρύνεται με σακόφιλτρα.
Επεξεργασία με κιτρικά οξέα	Κιτρικό οξύ προστίθεται σε εκπλυτή νερού για να ενισχύσει τη διάλυση του SO <sub>2</sub> στο νερό. Στη συνέχεια απομακρύνεται το S από το διάλυμα του κιτρικού.
Προσρόφηση οξειδίου του χαλκού (CuO)	Τα SO <sub>x</sub> αντιδρούν με CuO προς Cu <sub>2</sub> S. Μετά γίνεται απομάκρυνση με φίλτρα κατακράτησης σωματιδίων Cu <sub>2</sub> S.
Έκπλυση με καυστικά υγρά	Τα καυστικά υγρά εξουδετερώνουν τα SO <sub>x</sub> . Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται σε μικρές διεργασίες.

Η ξηρά απομάκρυνση του SO<sub>2</sub> μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τα ίδια χημικά με αυτά των υγρών διαδικασιών, προσθέτοντας τα σε ένα θάλαμο υπό μορφή ψεκασμού. Έπειτα γίνεται η απομάκρυνση των διεσπαρμένων οξειδίων με ένα φίλτρο κλασσικού τύπου ή ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο. Η βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχει τεράστια εμπειρία σε συστήματα ελέγχου SO<sub>2</sub>.



Ο έλεγχος των οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) μπορεί να επιτευχθεί με καταλύτες ή απορροφητές, αλλά σήμερα τα περισσότερα συστήματα ελέγχου έχουν επικεντρωθεί στη βελτιστοποίηση της διεργασίας καύσης, ώστε να μειωθεί ο σχηματισμός των  $\text{NO}_x$ . Στις μέρες μας εξελιγμένοι καταλύτες, εξελιγμένοι καυστήρες, σταδιακή καύση, χρήση συστημάτων χαμηλής θερμοκρασίας (συστήματα ρευστοποιημένης κλίνης), αλλά και πολλά άλλα μέτρα έχουν ληφθεί για την επίλυση του προβλήματος.

Πιο συγκεκριμένα, οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μείωση των εκπομπών  $\text{NO}_x$  είναι οι εξής:

**Μείωση περίσσειας αέρα:** πρόκειται για τεχνική που βελτιστοποιεί την ποσότητα του αέρα καύσης που παρέχεται σε αναλογία με την ποσότητα καυσίμου. Βελτιστοποίηση της ποσότητας αέρα σημαίνει την παροχή τόσο αέρα, ώστε η περίσσεια να είναι η λιγότερη δυνατή προκειμένου και οι εκπομπές  $\text{NO}_x$  να είναι οι λιγότερες δυνατές.

**Διαβάθμιση λειτουργίας καυστήρων:** πρόκειται για τεχνική με την οποία διακόπτεται η παροχή καυσίμου σε μερικούς καυστήρες (ακραίους ή των άνω σειρών). Με τον τρόπο αυτόν, το καύσιμο οδηγείται εντός του θαλάμου καύσης μέσω είτε των μεσαίων είτε των κάτω σειρών καυστήρων. Αυτοί παράλληλα τροφοδοτούνται με αέρα σε υποστοιχειομετρική αναλογία. Στη ζώνη αυτή υπάρχει μειωμένη παραγωγή  $\text{NO}_x$ .

**Μείωση της μεγίστης θερμοκρασίας στη φλόγα:** πρόκειται για τεχνική που δημιουργεί έναν μηχανισμό απαγωγής της θερμότητας από την περιοχή της φλόγας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος, συνίσταται στην εξωτερική κυκλοφορία των καυσαερίων μέσω των καυστήρων, ενώ ο δεύτερος στην αύξηση της ανακυκλοφορίας των καυσαερίων μέσα στο θάλαμο καύσης.

**Αναβάθμιση καυστήρων:** η τεχνική αυτή αυξάνει το στροβιλισμό και τη σταθεροποίηση της φλόγας και βελτιώνει το διασκορπισμό του πετρελαίου κατά τη διάρκεια της έγχυσής του στο θάλαμο καύσης.

**Χρήση καυστήρων χαμηλών  $\text{NO}_x$ :** πρόκειται για καυστήρες που έχουν όλα τα πλεονεκτήματα που έχουν οι αναβαθμισμένοι καυστήρες, αλλά επιπλέον η σχεδιάσή τους είναι τέτοιου είδους που επιτρέπει τη δημιουργία μιας μεγάλης υποστοιχειομετρικής ζώνης της καύσης η οποία περιβάλλεται από μία ζώνη μετάκαυσης.

**Διαβάθμιση καυσίμου και ανάκαυση:** πρόκειται για τεχνική που απαιτεί την εγκατάσταση συμπληρωματικών προς τους ήδη υπάρχοντες καυστήρων. Με τον τρόπο

αυτό, είναι δυνατή η λειτουργία των υπαρχόντων σε υποστοιχειομετρική καύση και επιπλέον η ανάκαυση των προϊόντων ατελούς καύσης.

**Διαβάθμιση αέρα και μετάκαυση:** πρόκειται για τεχνική που συνιστάται στην εγκατάσταση νέων αεροβόλων αέρα που έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας ζώνης αέρα πάνω από τη φλόγα. Η ζώνη αυτή συντελεί στην τελική καύση των προϊόντων CO, μερικών οξειδωμένων υδρογονανθράκων και αιθάλης.

**Καταιονισμός απιονισμένου νερού στο θάλαμο της καύσης:** πρόκειται για τεχνική αυτόματου ψεκασμού του εσωτερικού συγκεκριμένων θαλάμων καύσης με απιονισμένο νερό, που συντελείται όταν η θερμοκρασία των καυσαερίων ξεπεράσει τους 1.000°C λόγω της υψηλής παραγωγής NO<sub>x</sub>. Με τη μείωση της θερμοκρασίας στο θάλαμο καύσης μειώνεται και η συγκέντρωση των NO<sub>x</sub> [16].

Οι περισσότερες από αυτές τις διαδικασίες είναι υπερβολικά δαπανηρές για μία ενεργειακή μονάδα που ήδη λειτουργεί και επιπλέον δεν φαίνεται να είναι τόσο αποτελεσματικές σε μονάδες που χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη το λιγνίτη. Έτσι, σε γενικές γραμμές προτιμώνται και εφαρμόζονται τεχνικές για τον έλεγχο των απαερίων. Οι τεχνικές αυτές διακρίνονται σε «ξηρές» και «υγρές».

Οι «υγρές» τεχνικές, οι οποίες περιγράφονται ως «χημική έκπλυση», έχουν ως σημαντικότερο πλεονέκτημα το γεγονός ότι απομακρύνουν ταυτόχρονα τόσο τα οξείδια του αζώτου όσο και τα οξείδια του θείου. Τα σημαντικότερα μειονεκτήματά τους είναι ότι το NO απαιτεί την οξείδωσή του σε NO<sub>2</sub> για να μπορέσει να προσροφηθεί σε υδατικό διάλυμα καθώς είναι αδιάλυτο στο νερό και η διαδικασία αυτή έχει μεγάλο κόστος, και το γεγονός ότι στα παραπροϊόντα περιλαμβάνονται νιτρικά και νιτρώδη οξέα, η περαιτέρω διάθεση των οποίων είναι δύσκολη και επικίνδυνη.

Οι «ξηρές» τεχνικές είναι κυρίως καταλυτικές μέθοδοι οι οποίες είναι αναγωγικού τύπου και χωρίζονται σε έξι κατηγορίες: εκλεκτική μη καταλυτική αναγωγή, εκλεκτική καταλυτική αναγωγή, μη εκλεκτική καταλυτική αναγωγή, μη εκλεκτική και μη καταλυτική αναγωγή, ακτινοβολήση και ρόφηση.

Στη συνέχεια θα αναφερθούν λίγο πιο αναλυτικά οι «ξηρές» μέθοδοι, καθώς οι «υγρές» εφαρμόζονται κυρίως σε μικρές πηγές NO<sub>x</sub> [17].

**Εκλεκτική μη καταλυτική αναγωγή:** πρόκειται για μέθοδο μέσω της οποίας γίνεται εκλεκτική αναγωγή των NO<sub>x</sub> σε N<sub>2</sub>. Η αναγωγή επιτυγχάνεται με την εισαγωγή στο επάνω μέρος του καυστήρα NH<sub>3</sub>. Ως μέθοδος μπορεί να επιτύχει επίπεδα αναγωγής μέχρι και 50%,

ενώ το κόστος επένδυσης είναι μικρό. Σημαντικότερα μειονεκτήματά της είναι: (α) το στενό θερμοκρασιακό «παράθυρο» λειτουργίας κατά το οποίο μπορεί να είναι αποτελεσματική η διεργασία και (β) ο υψηλός λόγος  $\text{NH}_3/\text{NO}_x$  που χρησιμοποιείται, ο οποίος δημιουργεί αφενός «διαρροή» αμμωνίας και αφετέρου προκαλεί το σχηματισμό αμμωνιακών αλάτων στο βιομηχανικό εξοπλισμό, στα μετέπειτα στάδια, διαβρώνοντάς τον. Τέλος, η συγκεκριμένη τεχνική δεν ενδείκνυται στα συστήματα που τα αέρια περιέχουν αυξημένες ποσότητες αιωρούμενων σωματιδίων, γιατί τα σωματίδια αυτά απορροφούν την αμμωνία.

**Μη εκλεκτική καταλυτική αναγωγή:** πρόκειται για τεχνική κατά την οποία τροφοδοτείται σε περίσσεια ένα αναγωγικό μέσο (π.χ. μεθάνιο), προκειμένου να αντιδράσει με την περίσσεια οξυγόνου του αέριου μείγματος. Ακολουθώντας, το  $\text{NO}$  ανάγεται στους  $450\text{ }^\circ\text{C}$  από το εναπομείναν αναγωγικό μέσο, μέσω ενός καταλύτη ευγενούς μετάλλου. Αν το αέριο μείγμα περιέχει  $\text{SO}_2$ , αυτό οξειδώνεται σε  $\text{SO}_3$  μέσω ενός δεύτερου καταλύτη και απομακρύνεται με μορφή θειικού οξέος. Η συγκεκριμένη τεχνική μειονεκτεί ως προς το γεγονός ότι απαιτεί μεγάλες ποσότητες αναγωγικού μέσου αυξάνοντας έτσι το κόστος, ενώ προκαλεί και διάβρωση εξαιτίας της υψηλής θερμοκρασίας που έχει το αέριο μείγμα.

**Εκλεκτική καταλυτική αναγωγή:** πρόκειται για την τεχνική που έχει αποδειχτεί ότι είναι η πιο αποτελεσματική (καθώς επιτυγχάνει μετατροπή των  $\text{NO}_x$  σε ποσοστό περισσότερο από 80%) και ταυτόχρονα είναι η πλέον εφαρμόσιμη για τη μείωση της συγκέντρωσης των οξειδίων τόσο του αζώτου όσο και του θείου. Με την τεχνική αυτή, τα  $\text{NO}_x$  ανάγονται με τη χρήση  $\text{NH}_3$  σε  $\text{N}_2$  και  $\text{H}_2\text{O}$  με τη χρήση ενός καταλύτη και σε θερμοκρασία που κυμαίνεται από  $150\text{ }^\circ\text{C}$  έως  $450\text{ }^\circ\text{C}$ . Για τη διεργασία αυτή χρησιμοποιούνται 0,6-0,9 mol  $\text{NH}_3$  για κάθε mol  $\text{NO}_2$ , ενώ μία ποσότητα  $\text{NH}_3$  (που ανέρχεται σε 1-5 ppm) δεν αντιδρά και διαφεύγει στην έξοδο του αντιδραστήρα. Η μετατροπή μπορεί να αυξηθεί με την αύξηση της ποσότητας του αναγωγικού μέσου, αλλά αυτό αυξάνει και την ποσότητα της αμμωνίας που δεν αντιδρά και διαφεύγει στο περιβάλλον. Όσο για τον καταλύτη, απ' όσους έχουν εφαρμοστεί (ευγενή μέταλλα, υποστηρίγματα οξειδία και ζεόλιθοι) αυτός που έχει τη μεγαλύτερη βιομηχανική εφαρμογή είναι το πεντοξείδιο του βαναδίου, καθώς εμφανίζει υψηλή μετατροπή σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και ικανοποιητική αντίσταση σε δηλητηρίαση από το  $\text{SO}_2$  που υπάρχει στα απαέρια.

**Ακτινοβολήση:** πρόκειται για μέθοδο που απομακρύνει τα οξείδια του αζώτου και του θείου ταυτόχρονα και έχει αναπτυχθεί κατά κύριο λόγο στην Ιαπωνία. Η μέθοδος συνίσταται στην ακτινοβολήση ηλεκτρονίων για έκπλυση εν ξηρώ. Το αέριο μείγμα που έχει

απαλλοτριώνεται από την αιωρούμενη τέφρα ψύχεται στους 70 °C έως 120 °C (είτε με εναλλάκτη θερμότητας είτε με ψεκασμό νερού) και ακολούθως αναμειγνύεται με την κατάλληλη ποσότητα αμμωνίας, προκειμένου να γίνει η αντίδραση με τα υπάρχοντα NO<sub>x</sub> και SO<sub>2</sub>. Το μείγμα ακτινοβολείται με ηλεκτρόνια μέσα στον αντιδραστήρα. Η παρουσία του SO<sub>2</sub> επιταχύνει την αντίδραση των NO<sub>x</sub> με την αμμωνία. Τα στερεά απόβλητα που παράγονται με αυτή τη διαδικασία απομακρύνονται μέσω μιας δεξαμενής καθίζησης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως λίπασμα και μάλιστα ιδιαίτερα αποτελεσματικό. Η συγκεκριμένη τεχνική, όμως, απαιτεί υψηλό κόστος επένδυσης, ενώ τα ποσοστά των μετατροπών που επιτυγχάνει (περίπου 70% για τα NO<sub>x</sub> και 40% για το SO<sub>2</sub>) είναι χαμηλότερα από αυτά άλλων μεθόδων.

Όσον αφορά την απομάκρυνση των αέριων ρύπων θείου οι βασικές τεχνικές είναι τρεις: η αποθείωση του καυσίμου, η κατάλληλη επιλογή καυσίμου και η αποθείωση των καυσαερίων. Εκ των πραγμάτων, η δεύτερη τεχνική δεν μας ενδιαφέρει καθώς το καύσιμο είναι δεδομένο ότι είναι ο λιγνίτης.

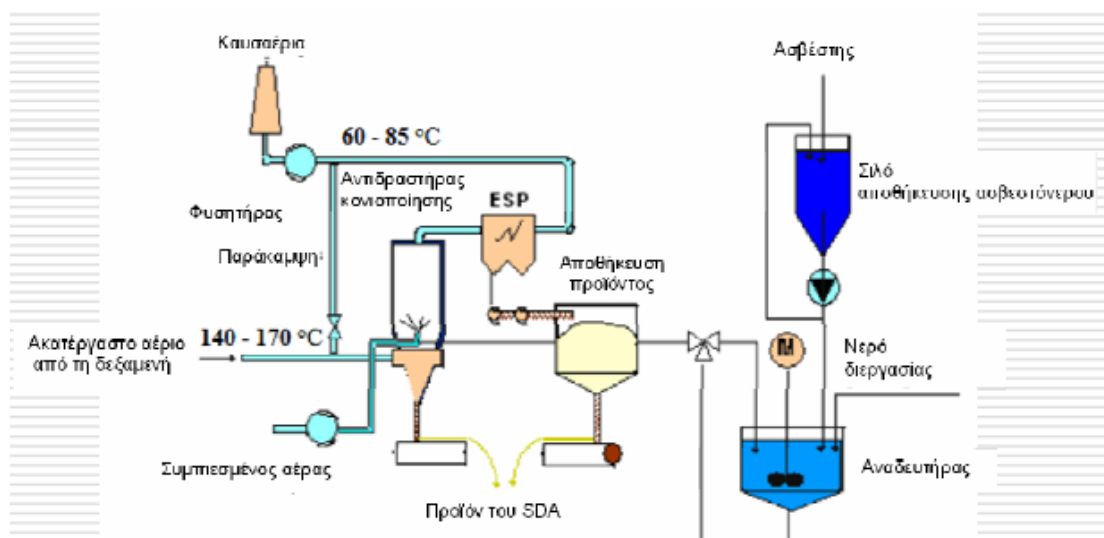
Η αποθείωση του στερεού καυσίμου γίνεται με αεριοποίηση. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι ένα μείγμα αέριου καυσίμου, στο οποίο το θείο πλέον υφίσταται ως υδρόθειο (H<sub>2</sub>S) οπότε μπορεί εύκολα να απομακρυνθεί.

Η αποθείωση των καυσαερίων είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος και η βασική της αρχή είναι η προσπάθεια μετατροπής του θείου σε μία ένωση διαφορετική από αυτήν του SO<sub>2</sub>, ώστε ο διαχωρισμός της από το αέριο μείγμα, πριν αυτό εξέλθει από την καμινάδα, να είναι ευκολότερος [17],[18].

Για την αποθείωση των καυσαερίων υπάρχουν τρεις βασικές διεργασίες: η ξηρή, η ημίξηρη και η υγρή. Η ξηρή διεργασία συνίσταται στην άμεση έγχυση ενός ξηρού αντιδραστηρίου στα κανάλια των καυσαερίων. Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται συνήθως γι' αυτή τη διαδικασία είναι κονιοποιημένος ασβεστόλιθος (CaCO<sub>3</sub>), ένυδρος ασβέστης (Ca(OH)<sub>2</sub>) και δολομίτης (μείγμα CaCO<sub>3</sub> και MgCO<sub>3</sub>).

Μέσα στο θάλαμο καύσης προκαλείται με τη βοήθεια της θερμότητας, η φρύξη του αντιδραστηρίου και ο μετασχηματισμός του σε αντιδραστικές ενώσεις (CaO, MgO). Οι ενώσεις αυτές αντιδρούν με τη σειρά τους με το SO<sub>2</sub> σχηματίζοντας θειώδη (CaSO<sub>3</sub>, MgSO<sub>3</sub>). Τα θειώδη ως ασταθή προϊόντα αντιδρούν με το οξυγόνο παράγοντας θειικά άλατα Ca και Mg (CaSO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>). Τα προϊόντα της αντίδρασης κατακρατούνται στη συνέχεια από φίλτρα σκόνης.

Το διάγραμμα μιας εγκατάστασης αποθείωσης με ξηρή πλυντρίδα παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.1:



**Εικόνα 4.1:** Τυπική εγκατάσταση αποθείωσης με ξηρή πλυντρίδα: απορροφητής ξηραντήρα ψεκασμού (SDA), σύστημα ελέγχου της σκόνης με χρήση ενός ηλεκτροστατικού φίλτρου (ESP) ή σακόφιλτρου και συσκευές ανακύκλωσης για τα προϊόντα της αντίδρασης [18].

Η αντίδραση έχει ως παραπροϊόντα ένα ξηρό μείγμα θειώδους ασβεστίου, θειικών, ιπτάμενης τέφρας και ασβέστου που δεν έχει αντιδράσει. Η διεργασία κονιοποίησης με ξηρή πλυντρίδα κάποιες φορές αποκαλείται «ημίξηρη» διεργασία, γιατί γίνεται χρήση ασβεστοπολτού. Το κατάλοιπο όμως είναι ξηρή σκόνη, η οποία συλλέγεται είτε μέσα στον ηλεκτροστατικό κατακρημνιστή (ESP) είτε σε φίλτρο από ύφασμα. Ένα μέρος της ασβέστου που δεν έχει αντιδράσει μπορεί να ανακυκλωθεί από το κατάλοιπο και στη συνέχεια αναμειγνύεται με φρέσκια ύλη ασβέστη για να αυξηθεί η χρήση του ασβέστη.

Όσον αφορά την ιπτάμενη τέφρα, στις περισσότερες μονάδες της Ευρώπης χρησιμοποιείται ένας προ-συλλέκτης που απομακρύνει το μεγαλύτερο μέρος της πριν εισέλθει στον προσροφητή. Ο προ-συλλέκτης αυτός τοποθετείται ανάμεσα στον θερμαντήρα αέρα και στον απορροφητή.

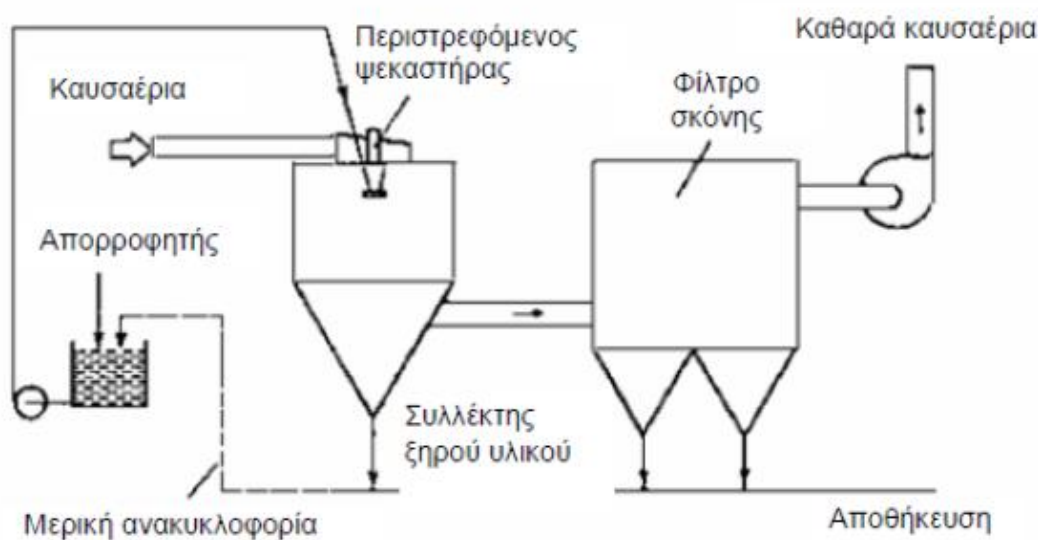
Η εγκατάσταση του προ-συλλέκτη προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα που συνίστανται στα εξής:

- Μείωση της κατανάλωσης ασβέστη για μία δεδομένη αποθείωση ή αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας (για μια δεδομένη αναλογία Ca/S) μειώνοντας έτσι τους κινδύνους καθίζησης της σκόνης.

- Διευκόλυνση επίτευξης υψηλότερης αποδοτικότητας από τον ESP που έχει ως αποτέλεσμα μειωμένες τελικές εκπομπές.
- Σταμάτημα της διάβρωσης του εξοπλισμού στο τελευταίο μέρος προς την κατεύθυνση της ιπτάμενης τέφρας.
- Μείωση του όγκου των προς διάθεση αποβλήτων.
- Συλλογή ωφέλιμου εμπορικού προϊόντος (της ιπτάμενης τέφρας), καθώς η αγορά ιπτάμενης τέφρας είναι μία καλά εδραιωμένη αγορά.

Η ημίξηρη διεργασία που βασίζεται στο γεγονός ότι η απορρόφηση του  $\text{SO}_2$  από τις ενώσεις ασβεστίου μπορεί να βελτιωθεί μέσω της διαβροχής τους, χρησιμοποιεί ένα μέσο απορρόφησης (συνήθως εναιώρημα ασβέστη) το οποίο κονιοποιείται στα καυσαέρια σε μία πολύ λεπτή διασπορά. Αφού συντελεστεί η διεργασία, εξατμίζεται το νερό στον απορροφητή και το  $\text{SO}_2$  αντιδρά με το χημικό μέσο απορρόφησης. Η διαδικασία της εξάτμισης συνεχίζεται μέχρι τα αντιδραστήρια να πάρουν μορφή ξηράς σκόνης, η οποία στη συνέχεια κατακρατείται στο φίλτρο της τέφρας [19].

Το διάγραμμα ροής μιας μονάδας ημίξηρης αποθείωσης παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.2:



Εικόνα 4.2: Διάγραμμα μονάδας ημίξηρης αποθείωσης [18].

Συγκρινόμενη με την ξηρή διεργασία, η ημίξηρη έχει υψηλότερη αποδοτικότητα αποθείωσης για την ίδια ποσότητα αντιδραστηρίων, αλλά και υψηλότερα κόστη επένδυσης και λειτουργίας. Αν συγκριθεί με την υγρή διεργασία, έχει χαμηλότερο κόστος ως αρχική

επένδυση, αλλά υψηλότερα λειτουργικά κόστη καθώς το αντιδραστήριο που χρησιμοποιείται (δηλαδή ο ασβέστης) είναι ακριβότερο. Όμως, πλεονεκτεί σε σχέση με την υγρή διεργασία ως προς το γεγονός ότι μετά την αποθείωση τα καυσαέρια γενικά δεν χρειάζονται επαναθέρμανση.

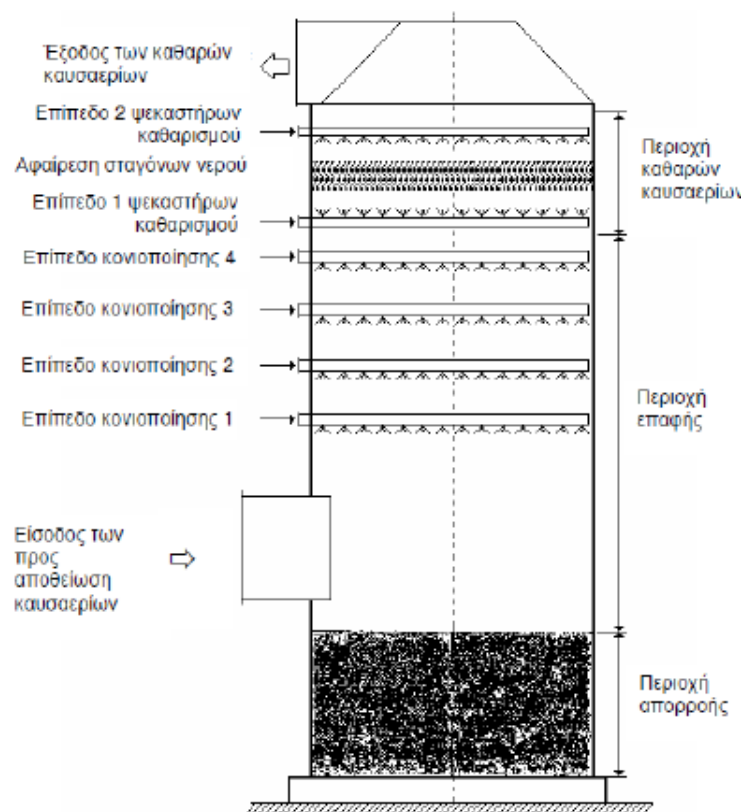
Η επαναθέρμανση του αερίου απαιτείται, γιατί η έκπλυση του αέρα ή η ύγρανσή του αποφέρει αέριο το οποίο ψύχεται μέχρι τους 50 °C – 60 °C για την υγρή διεργασία και μέχρι τους 70 °C – 100 °C για την ημίξηρη. Έτσι, όμως, η ανύψωση του νέφους του καπνού είναι περιορισμένη και η διασπορά του γίνεται πολύ πιο δύσκολα. Επιπλέον, όταν μειώνεται η θερμοκρασία σε επίπεδα κάτω από το σημείο δρόσου του οξέος, ταυτόχρονα αυξάνει η πιθανότητα για πρόκληση σημαντικών διαβρώσεων σε όλη τη διαδρομή του αερίου.

Η υγρή διεργασία συναντάται στο 80% περίπου των περιπτώσεων αποτελώντας έτσι την πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνολογία αποθείωσης καυσαερίων. Συχνότερα χρησιμοποιείται ως απορροφητής το ανθρακικό ασβέστιο (ασβεστόλιθος –  $\text{CaCO}_3$ ). Η χρήση του ανθρακικού ασβεστίου ως απορροφητή προσφέρει ένα σημαντικό οικονομικό πλεονέκτημα, καθώς πρόκειται για υλικό που απαντάται σε μεγάλες ποσότητες σε πολλές χώρες οπότε είναι φθινό. Τα προϊόντα της διεργασίας είναι γύψος ή ένα μείγμα θειικού και θειώδους ασβεστίου.

Η μονάδα έχει ως βασική συνιστώσα της έναν πύργο (πλυντρίδα) στον οποίο γίνεται η μίξη μεταξύ των καυσαερίων και των αντιδραστηρίων (Εικόνα 4.3). Ο πύργος έκπλυσης αποτελείται από την περιοχή απορροής (στο κάτω μέρος), την περιοχή επαφής αερίου/υγρού και την περιοχή του καθαρού καυσαερίου. Στην περιοχή της απορροής, συλλέγεται το εναιώρημα που προκύπτει από την έκπλυση. Αυτό στη συνέχεια αναμιγνύεται, αερίζεται και εμπλουτίζεται με φρέσκο απορροφητικό υλικό. Ο όγκος που θα έχει αυτή η περιοχή του πύργου εξαρτάται κυρίως από το ρυθμό διαλυτοποίησης του απορροφητή αλλά και από την ποσότητα του  $\text{SO}_2$  που πρέπει να απομακρυνθεί.

Στην περιοχή επαφής αερίου/υγρού, που αποτελεί τη μεσαία περιοχή της πλυντρίδας, τα αέρια καθαρίζονται ερχόμενα σε επαφή με το εναιώρημα της έκπλυσης σε οπισθόρρευμα. Το υγρό έκπλυσης κατανέμεται ομοιόμορφα και σε αρκετές στρώσεις κονιοποίησης, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα ομοιογενές μείγμα αερίου/υγρού. Εκεί γίνεται και η μεταφορά μάζας από τα καυσαέρια στο υγρό έκπλυσης [18].





Εικόνα 4.3: Πύργος απορρόφησης κονιοποίησης για την υγρή αποθήωση των καυσαερίων [18].

Τέλος, στο άνω τμήμα της πλυντηρίδας, δηλαδή στην περιοχή των καθαρών καυσαερίων, τα καυσαέρια διέρχονται από έναν διαχωριστή σταγόνων προκειμένου να κατακρατηθούν οι μικρές σταγόνες υγρού που μεταφέρθηκαν μέχρι εκεί από τα καυσαέρια. Ο καθαριστής σταγόνων καθαρίζεται με έκπλυση νερού προς τα κάτω σε μία συγκεκριμένη διαδοχή των τομέων του με τη βοήθεια ψεκαστήρων.

Οι υγρές πλυντηρίδες που χρησιμοποιούν ασβεστόλιθο διακρίνονται με βάση τον τύπο της οξείδωσης σε δύο κατηγορίες. Αυτήν της εξαναγκασμένης οξείδωσης και αυτήν της φυσικής οξείδωσης. Ο τύπος της οξείδωσης με τη σειρά του, καθορίζεται από τις χημικές αντιδράσεις, το pH της αντιδραστικής ύλης και το παραπροϊόν που προκύπτει [18].

#### 4.1.2 Τεχνολογίες απομάκρυνσης σωματιδιακών ρύπων

Η σωματιδιακή ύλη παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία στην κατανομή μεγέθους σωματιδίων, στο σχήμα, τη χημική σύσταση, το ειδικό βάρος, την πυκνότητα, την ηλεκτρική συνοχή, την αγωγιμότητα και σε άλλα. Η επιλογή του εξοπλισμού για την αφαίρεση της

σκόνης περιπλέκεται ακόμα περισσότερο από την ποσότητα και την ποιότητα του επεξεργασμένου αερίου.

Εξαιτίας αυτών των μεταβλητών, το πρώτο βήμα στην επιλογή του εξοπλισμού για την αφαίρεση της σκόνης είναι η γνώση των τεσσάρων τύπων μηχανικού εξοπλισμού που είναι εμπορικά διαθέσιμοι, ώστε να γίνει η σωστή ή η ενδεικνυόμενη για την περίπτωση επιλογή. Οι διαθέσιμοι τύποι του μηχανικού εξοπλισμού είναι οι εξής:

- ❖ Μηχανικοί συλλέκτες
- ❖ Εκπλυτές, ή υγροί συλλέκτες, ή πλημμυρίδες, ή απλώς υγρά φίλτρα
- ❖ Υφασμάτινα φίλτρα ή σακόφίλτρα
- ❖ Ηλεκτροστατικοί συλλέκτες ή ηλεκτροστατικά φίλτρα (ESPs)

Η επιλογή της κατάλληλης διεργασίας δεν είναι εύκολο πρόβλημα. Σήμερα έχει αναπτυχθεί ένας μεγάλος αριθμός τεχνικών εταιριών που είναι διαθέσιμος για την γρήγορη και οικονομική λύση των προβλημάτων αυτών. Παρακάτω θα γίνει λόγος για τα κύρια χαρακτηριστικά και τη λειτουργικότητα των τεσσάρων βασικών συστημάτων ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από σωματιδιακή ύλη [13].

#### **4.1.2.1 Μηχανικοί συλλέκτες**

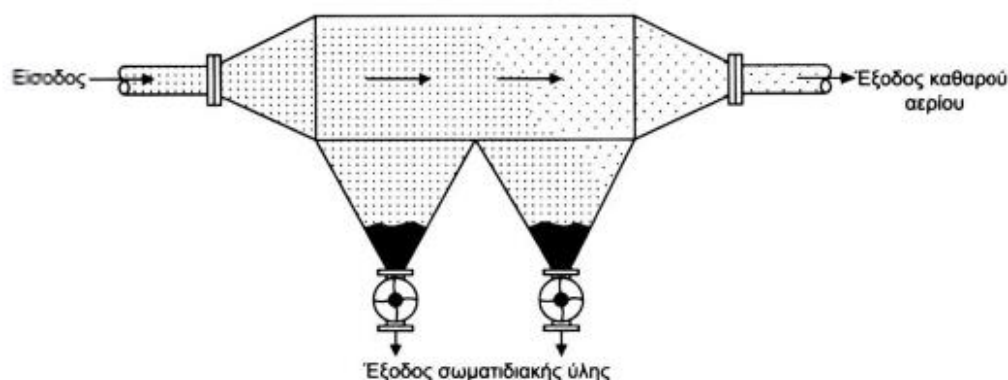
Το ειδικό βάρος της σωματιδιακής ύλης είναι τυπικά μία με δύο φορές μεγαλύτερο του ειδικού βάρους του αερίου που το εμπεριέχει. Οι μηχανικοί συλλέκτες εκμεταλλεύονται αυτή τη διαφορά στο ειδικό βάρος, για να διαχωρίσουν τη βαριά σωματιδιακή ύλη από το ελαφρύτερο αέριο. Μερικοί βασικοί τύποι μηχανικών συλλεκτών είναι:

1. Οι βαρυτικοί συλλέκτες (καθίζηση διαμέσου βαρύτητας)
2. Οι συλλέκτες εκτροπής με ανακυκλοφορία
3. Οι κυκλώνες υψηλής απόδοσης

#### **Βαρυτικοί συλλέκτες**

Ο συλλέκτης αυτός (Εικόνα 4.4) υποβιβάζει την ταχύτητα του αερίου σε ταχύτητα ικανή για καθίζηση και για επαρκές χρονικό διάστημα, ώστε να μπορέσει να κατακαθίσει η βαρύτερη (από το αέριο) σωματιδιακή ύλη, υπό την επίδραση της βαρύτητας, μέσα σε χοάνες απ' όπου απομακρύνεται περιοδικά. Οι ταχύτητες καθίζησης κυμαίνονται από 20-200 m/min. Το μοναδικό μειονέκτημα αυτού του τύπου είναι η πολύ χαμηλή του απόδοση

σε λεπτόκοκκη και μέτρια σωματιδιακή ύλη, οπότε εάν η κατακράτηση της κρίνεται απαραίτητη, η χρήση αυτού του συστήματος είναι μειονεκτική [13].

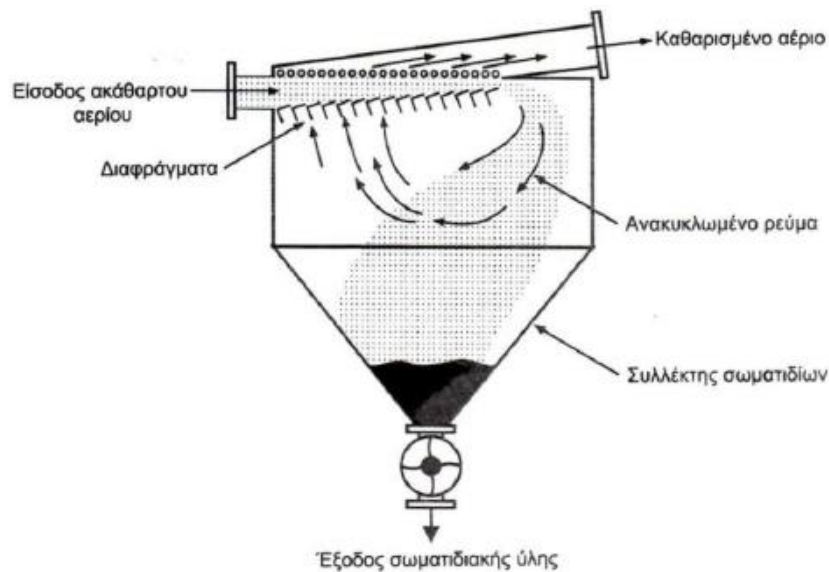


Εικόνα 4.4: Βαρυτικός συλλέκτης σωματιδιακής ύλης [20].

#### Κυκλώνες εκτροπής με ανακυκλοφορία

Η Εικόνα 4.5 απεικονίζει έναν συλλέκτη εκτροπής, όπου το ρεύμα της εκπομπής για να καθαριστεί από τη σωματιδιακή ύλη εισάγεται με μεγάλη ταχύτητα σε έναν οριζόντιο εκτροπέα αποτελούμενο από οπές οι οποίες απέχουν μεταξύ τους περίπου 1,5 cm. Για να περάσει ανάμεσα από τις οπές και να φτάσει στο θάλαμο καθαρού αερίου στην έξοδο, το ακάθαρτο αέριο πρέπει να κάνει μια ξαφνική, υψηλής ταχύτητας, στροφή. Αντίθετα, η βαρύτερη σωματιδιακή ύλη, λόγω αδράνειας, δεν μπορεί να ακολουθήσει αυτή την πορεία και συγκρατείται κάτω από τον εκτροπέα μέχρις ότου παγιδευτεί στον υποδοχέα σωματιδιακής ύλης. Η σκόνη μεταφέρεται με φθίνουσα ταχύτητα και υφίσταται καθίζηση μέσα στη χοάνη του συλλέκτη.

Λόγω του ότι η απόδοση του είναι κατά πολύ μεγαλύτερη του βαρυτικού συλλέκτη, αυτό δεν είναι επαρκές ώστε να αντιμετωπίσει λεπτόκοκκο φορτίο σκόνης, εκτός αν χρησιμοποιηθεί σαν προ-καθαριστής αερίου και κατόπιν ακολουθήσει ένας αποδοτικότερος συλλέκτης, που είναι και η μέθοδος που συνηθίζεται [13].



Εικόνα 4.5: Συλλέκτης εκτροπής με ανακυκλοφορία [20].

### Κυκλώνες υψηλής απόδοσης

Οι φυγόκεντροι συλλέκτες, που συχνά ονομάζονται κυκλώνες, διαχωρίζουν λεπτόκοκκη σωματιδιακή ύλη από ένα φέρον αέριο, μετασχηματίζοντας την ταχύτητα του ρεύματος εισόδου σε μια κατερχόμενη εξωτερική και μια ανερχόμενη εσωτερική δίνη. Οι δίνες αυτές βρίσκονται και οι δύο περιορισμένες στο πάνω εσωτερικό μέρος του κώνου του κυκλώνα. Η ταχέως περιστρεφόμενη καθοδική δίνη κατακρατά τα βαρύτερα σωματίδια στα τοιχώματα του κυκλώνα με την ανάπτυξη φυγόκεντρης δύναμης και τα εναποθέτει στη χοάνη, από όπου απομακρύνονται περιοδικά. Η ανοδική εσωτερική δίνη του καθαρισμένου αερίου εγκαταλείπει τον κυκλώνα διαμέσου ενός κυλίνδρου που βρίσκεται στην κορυφή του κυκλώνα.

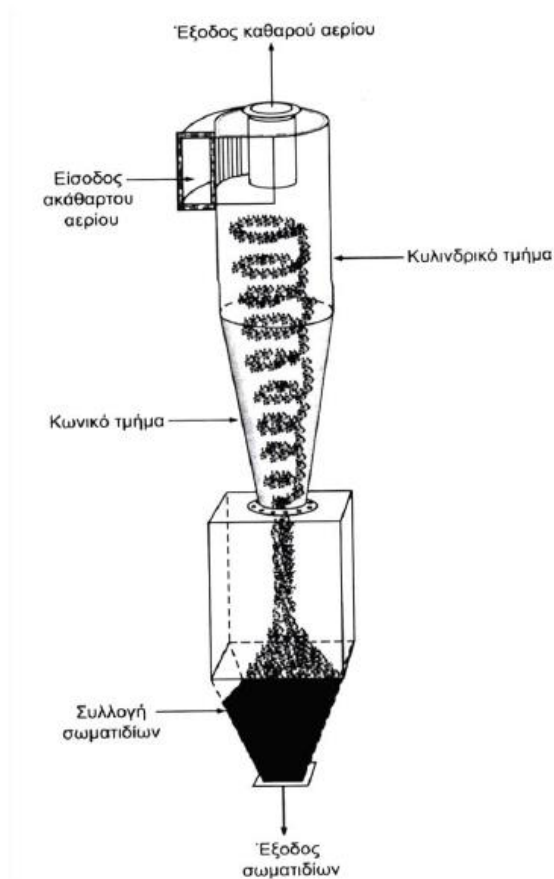
Η μορφή της ροής σε έναν κυκλώνα μπορεί να είναι από απλή μέχρι περίπλοκη, εξαρτώμενη από πολλές μεταβλητές, όπως ο τύπος της εισόδου, οι αναλογίες των διαστάσεων και άλλες. Στην Εικόνα 4.6 απεικονίζεται η μορφή ροής για έναν τυπικό κυκλώνα υψηλής απόδοσης.

Εξαιτίας της απλότητας, της αξιοπιστίας και της υψηλής απόδοσης του, ο κυκλώνας έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα τα τελευταία 100 χρόνια. Για να επιτευχθεί μια επιθυμητή λειτουργία, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μεταξύ εκατοντάδων τύπων συλλεκτών

σωματιδιακής ύλης που χρησιμοποιούν τη βασική αρχή λειτουργίας του κυκλώνα. Οι πλέον συνηθισμένοι τύποι που κυκλοφορούν είναι τρεις:

- ❖ Κυκλώνες μικρής διαμέτρου με πτερύγια
- ❖ Κυκλώνες μεγάλης διαμέτρου με περιελισσόμενη είσοδο
- ❖ Κυκλώνες μεγάλης διαμέτρου με περιελισσόμενη είσοδο και εγχυτήρα λεπτόκοκκων σωματιδίων.

Καθένας από τους παραπάνω, ευρέως χρησιμοποιούμενους τύπους, έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και είναι διαθέσιμος σε ένα μεγάλο εύρος διαστάσεων και αναλογιών, οι οποίες και καθορίζουν τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του. Είναι σημαντικό να γίνει σωστή επιλογή ώστε να μεγιστοποιηθούν τα πλεονεκτήματα και να ελαχιστοποιηθούν τα μειονεκτήματα. Τα παρακάτω χαρακτηριστικά είναι κοινά και για τους τρεις τύπους κυκλώνων οι οποίοι διαφέρουν κυρίως ως προς τον τρόπο με τον οποίο το ακαθάριστο αέριο εισάγεται στον κύλινδρο [13].



Εικόνα 4.6: Η μορφή ροής ενός τυπικού κυκλώνα κατακράτησης σωματιδιακής ύλης [20].

## **Βασικά χαρακτηριστικά κυκλώνων:**

### *Η απόδοση:*

Προσεγγίζει το 100%, μειούμενη απότομα από κάποιο μέγεθος σωματιδίων και κάτω, το οποίο ποικίλει ανάλογα με τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του κυκλώνα (μέγεθος, τύπος, κ.λπ.) και τα λειτουργικά της προς επεξεργασίας ροής. Για κάθε τύπο κυκλώνα είναι διαθέσιμα διαγράμματα απόδοσης έναντι του μεγέθους των σωματιδίων που βοηθούν στην επιλογή.

### *Η απώλεια ενέργειας ροής:*

Οι περισσότεροι κυκλώνες λειτουργούν σε ταχύτητες εισόδου 900-1200 m/min. Η απαιτούμενη ενέργεια, λόγω πτώσης πίεσης (απώλεια ενέργειας ροής), για τη διακίνηση του αέριου ρεύματος σε αυτές τις ταχύτητες είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας εισόδου. Όταν εισάγουμε ατμοσφαιρικό αέρα, η απώλεια θα είναι μεταξύ 100-150 mm στήλης H<sub>2</sub>O. Αυτή η απώλεια εκφράζεται ως διαφορά στατικής πίεσης (πτώση πίεσης) ανάμεσα στην είσοδο και την έξοδο. Σε αέρια υψηλότερων θερμοκρασιών και χαμηλότερης πυκνότητας παρουσιάζονται χαμηλότερες απώλειες.

### *Η δυναμικότητα:*

Ο σχεδιασμός κάθε κυκλώνα αντιπροσωπεύει ένα «συμβιβασμό» ανάμεσα σε τρεις παράγοντες: απόδοση, απώλεια ενέργειας ροής και μέγεθος. Σε γενικές γραμμές οι υψηλότερες αποδόσεις απαιτούν υψηλότερες απώλειες ενέργειας ροής (μεγαλύτερη δαπάνη ενέργειας) ή μεγαλύτερο μέγεθος κυκλώνα ή και τα δύο [20].

Μια αλλαγή στις διαστάσεις του κυκλώνα ή στην ακτίνα επηρεάζει τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι παράγοντες που αναφέρθηκαν δεν μπορούν να ποικίλλουν απεριόριστα. Τα τελικά λειτουργικά χαρακτηριστικά κάθε κυκλώνα είναι το αποτέλεσμα μιας περίπλοκης συσχέτισης όλων των κρίσιμων διαστάσεων και ακτινών [13].

#### **4.1.2.2 Φίλτρα από υφάσμα (σακόφιλτρα)**

Τα σακόφιλτρα (Εικόνα 4.7) είναι συλλέκτες με τις περισσότερες εφαρμογές στην απομάκρυνση ξηρών (άνυδρων) σωματιδίων από ένα ρεύμα εκπομπών. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία τέτοιων φίλτρων. Σε όλα αυτά τα φίλτρα η σκόνη κατακρατείται από την μια πλευρά του υφάσματος (από αυτή που εισάγεται το πλούσιο σε σωματίδια αέριο), ενώ

από τα διάκενα του υφάσματος διαπερνά το καθαρό αέριο. Σε ένα τυπικό εμπορικό σακόφιλτρο αυτά τα διάκενα είναι διαστάσεων 100  $\mu\text{m}$ . Ένας συλλέκτης αυτών των χαρακτηριστικών μπορεί να παγιδεύσει σωματίδια περίπου της τάξεως των 0,5  $\mu\text{m}$ .

Η ικανότητα του φίλτρου να συλλέγει τόσο λεπτόκοκκο υλικό είναι ένα αποτέλεσμα της συνεχούς ενίσχυσης αυτής της ικανότητας από ένα πορώδες στρώμα σωματιδίων που σχηματίζεται στην πλευρά συλλογής. Αυτό το στρώμα, το οποίο λέγεται πλάκα ή κρούστα του φίλτρου, φράσσει σταδιακά τα μεγαλύτερα σε διαστάσεις διάκενα και αιχμαλωτίζει όλο και πιο λεπτά σωματίδια.

Στα φίλτρα στα οποία χρησιμοποιούνται πιο συμπαγή υφάσματα, δηλαδή μια σύνθετη μάζα από ένα λαβύρινθο λεπτών ινών τυχαία προσανατολισμένων, η εξάρτηση της απόδοσης από την πλάκα είναι μικρότερη. Τα φίλτρα αυτού του τύπου δεν μπορούν να καθαριστούν αποτελεσματικά με απλό τίναγμα και πρέπει να καθαρίζονται συχνά με ανάστροφο αέριο ρεύμα υψηλής πίεσης.

Οι φυσικοί μηχανισμοί οι οποίοι προκαλούν το σχηματισμό της πλάκας είναι κυρίως οι ακόλουθοι:

- ❖ Συσώρευση λεπτόκοκκου υλικού που κινείται αντίθετα προς το ρεύμα
- ❖ Ενσφήνωση των μεγάλων σωματιδίων στις ίνες
- ❖ Διάχυση σωματιδίων μέσα από τις ίνες (αυτά τα σωματίδια έχουν διαστάσεις  $< 1 \mu\text{m}$ )
- ❖ Ηλεκτροστατική έλξη και άπωση
- ❖ Θερμικές επιδράσεις
- ❖ Χοντρό κοσκίνισμα από το ύφασμα
- ❖ Λεπτό κοσκίνισμα από την πλάκα του φίλτρου

Οι συσκευές με υφασμάτινα φίλτρα υπάρχουν σε μεγάλη ποικιλία μεγεθών και τύπων [13].





Εικόνα 4.7: Απεικόνιση τυπικού σακόφίλτρου [20].

#### 4.1.2.3 Εκπλυτές (υγρά φίλτρα)

Οι εκπλυτές (υγρά φίλτρα) χρησιμοποιούν ένα υγρό, συνήθως νερό, για να παγιδεύσουν και να απομακρύνουν σωματιδιακή ύλη από ένα ρέον ρεύμα. Το υγρό εισέρχεται σε ένα ειδικό θάλαμο υπό μορφή ψεκασμού.

Το προς καθαρισμό αέριο επιβραδύνεται στο στόμιο εισόδου και περνάει μέσα από τη δίνη που προκαλείται από τη δύναμη των ψεκαστήρων. Στη συνέχεια διέρχεται από τον τομέα απομάκρυνσης της ομίχλης (κατακράτηση υγρών σωματιδίων) και επιταχύνεται στο στόμιο εξόδου για να ανακτήσει ξανά την ταχύτητα εισόδου.

Η απομάκρυνση επιτυγχάνεται κυρίως με τη σύγκρουση ανάμεσα σε ένα σωματίδιο σκόνης και ένα σταγονίδιο νερού. Αυτή η σύγκρουση έχει ως αποτέλεσμα τη δέσμευση του σωματιδίου σκόνης από το σταγονίδιο του νερού. Η συλλογή των σωματιδίων από τα σταγονίδια του υγρού προκαλείται από τους ακόλουθους μηχανισμούς:

- ❖ Πρόσκρουση των μεγαλύτερων σωματιδίων σκόνης στις σταγόνες
- ❖ Σύλληψη λόγω διάχυσης των λεπτών σωματιδίων
- ❖ Ηλεκτροστατικές δυνάμεις
- ❖ Θερμικές κλίσεις
- ❖ Συμπύκνωση υγρασίας σε σωματίδια

Οι παραπάνω μηχανισμοί έχουν ως αποτέλεσμα το σωματίδιο, δεσμευμένο πλέον από μια σταγόνα νερού, να γίνεται μεγαλύτερο και βαρύτερο. Αυτή η αύξηση στο μέγεθος και το βάρος βοηθάει στη διαδικασία συλλογής και απομάκρυνσης των σωματιδίων από τις δυνάμεις βαρύτητας, αδράνειας ή και φυγόκεντρες δυνάμεις (ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του υγρού φίλτρου).

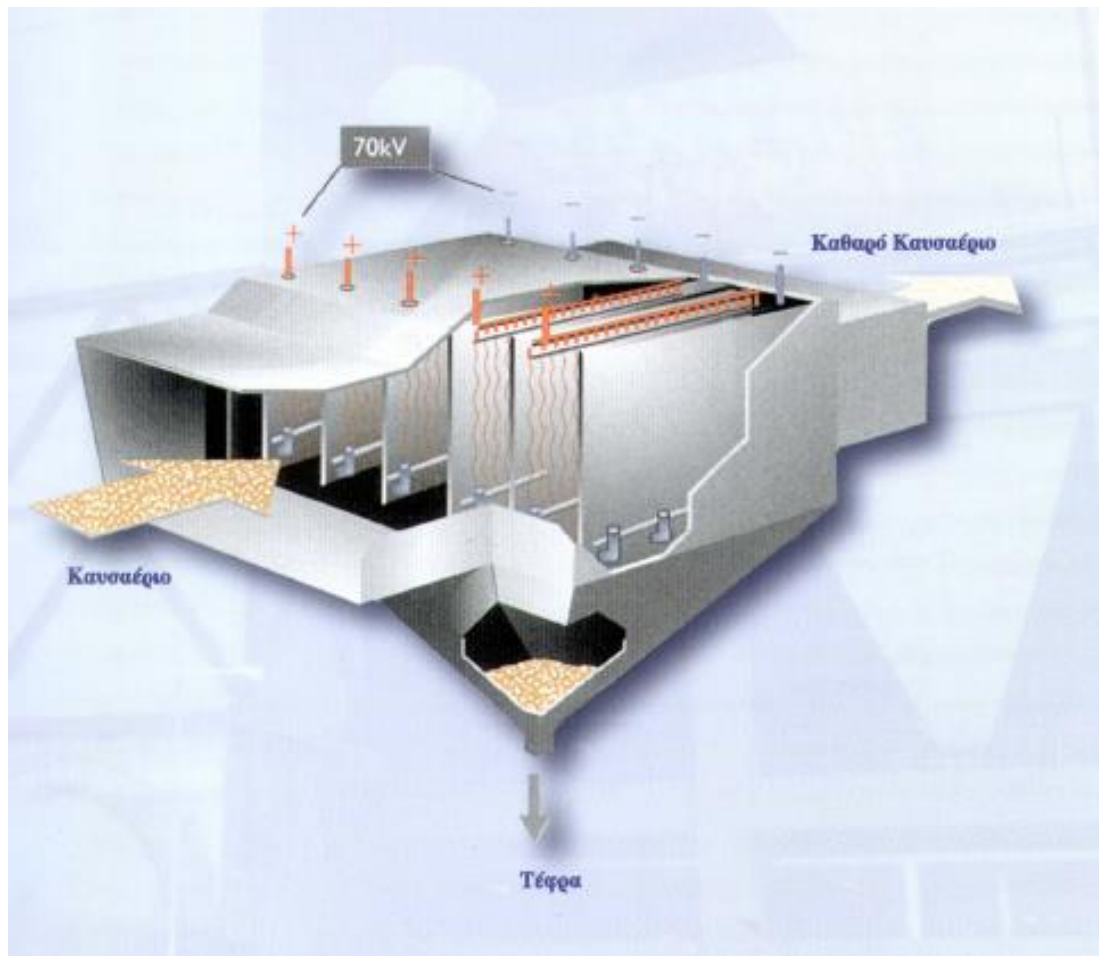
Οι σταγόνες λιμνάζουν στον πυθμένα απελευθερώνοντας τη σκόνη, η οποία έχοντας μεγαλύτερο ειδικό βάρος από το νερό, κατακάθεται σχηματίζοντας λάσπη που περιοδικά αντλείται. Κατά την έξοδο των αερίων συνδυάζονται (μέσω ειδικής κατασκευής) οι δυνάμεις αδράνειας και βαρύτητας, ώστε τα σταγονίδια να προσκρούσουν στην επιφάνεια του λιμνάζοντος υγρού και να απομακρυνθεί η ομίχλη που διαφεύγει από τον θάλαμο ψεκασμού.

Το υγρό, αφού καθαριστεί με σχετική ευκολία ώστε να αποφευχθούν προβλήματα διάβρωσης των εγκαταστάσεων, μπορεί να ανακυκλωθεί. Ο θάλαμος ψεκασμού μπορεί να διαθέτει και διαφράγματα πρόσκρουσης και εκτροπής της ροής που αυξάνουν την απόδοση του υγρού φίλτρου. Έχει αναπτυχθεί μια μεγάλη ποικιλία υγρών φίλτρων που συνδυάζουν το σχέδιο του κυκλώνα υπό ταυτόχρονο ψεκασμό ή τη χρήση υγρών σακόφιλτρων μέσα στο θάλαμο ψεκασμού [13].

#### **4.1.2.4 Ηλεκτροστατικά φίλτρα (ESPs: Electrostatic Precipitators)**

Το ηλεκτροστατικό φίλτρο εφευρέθηκε το 1910 από τον Frederic Garder Cottrell του πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας. Οι ηλεκτροστατικές συσκευές (ESPs) εφαρμόζονται σε ένα μεγάλο φάσμα προβλημάτων καθαρισμού αερίων με αποδόσεις συλλογής που φτάνουν το 99,9%, χωρητικότητας έως 120.000 m<sup>3</sup>/min και σε θερμοκρασίες επεξεργασμένου αερίου έως 550°C. Το 1970 στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής είχαν εγκατασταθεί πάνω από 5000 εγκαταστάσεις που καθάριζαν 20 εκατομμύρια m<sup>3</sup>/min ακάθαρτων αερίων, προερχόμενα κυρίως από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Μια συσκευή ESP (Εικόνα 4.8) διαχωρίζει τα σωματίδια ύλης από ένα ρεύμα αερίου. Αρχικά, τα σωματίδια φορτίζονται σε ένα αρνητικό δυναμικό περίπου 50.000 V και κατόπιν προσκολλώνται πάνω σε ειδικά ηλεκτρόδια συλλογής. Τελικά, η συσσωρευμένη σκόνη συλλέγεται σε μια χοάνη. Παρόλο που χρησιμοποιούνται υψηλές τάσεις, η κατανάλωση ενέργειας είναι μικρή και οι απώλειες των ηλεκτροστατικών φίλτρων είναι οι μικρότερες από όλους τους άλλους συλλέκτες υψηλής απόδοσης.



Εικόνα 4.8: Σχεδιάγραμμα γενικής λειτουργίας ηλεκτροστατικού φίλτρου [13].

Σε εμπορικές μονάδες φυσικού μεγέθους, το πλούσιο σε σωματιδιακή ύλη αέριο περνά οριζόντια μέσα από στενά περάσματα που σχηματίζονται από παράλληλες πλάκες γειωμένων ηλεκτροδίων συλλογής. Ηλεκτρικά μονωμένα σύρματα υψηλής τάσης είναι τοποθετημένα στους χώρους διέλευσης του αερίου, περίπου στο μέσο της απόστασης των πλακών (γειωμένων ηλεκτροδίων).

Οι τυπικές διαστάσεις των χωρισμάτων διέλευσης του αερίου (απόσταση πλακών) σε ένα μεγάλο ESP του εμπορίου είναι: 24 cm απόσταση, 9 m ύψος και 8 m μήκος. Η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων υψηλής τάσης και των γειωμένων πλακών συλλογής είναι το μισό του πλάτους του χώρου διέλευσης του αερίου, δηλαδή 12 cm.

Η ροή ηλεκτρικών φορτίων μεταξύ συρμάτων και πλακών ονομάζεται «ηλεκτρικός άνεμος» και είναι το αποτέλεσμα μαζικής μεταφοράς αρνητικά φορτισμένων ιόντων αερίου από τα αρνητικά φορτισμένα σύρματα προς τις θετικά φορτισμένες (γειωμένες) πλάκες συλλογής [13].

## **Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ηλεκτροστατικών φίλτρων**

Το κύριο πλεονέκτημα του ηλεκτροστατικού φίλτρου είναι η υψηλή απόδοση συλλογής και το μικρό κόστος λειτουργίας. Απαιτεί τη μικρότερη ενέργεια από όλους τους συλλέκτες υψηλής απόδοσης. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι η υψηλή αξιοπιστία σε κάθε απαιτούμενη απόδοση συλλογής. Μοναδικά μειονεκτήματα είναι το υψηλό κόστος εγκατάστασης για διεργασίες μικρής δυναμικότητας (ειδικά για μεγέθη κάτω από 1500 m<sup>3</sup>/min), η απρόβλεπτη απόδοση συλλογής σκόνης σε υψηλές ειδικές αντιστάσεις και η απώλεια της απόδοσης συλλογής σε ροές αερίων πάνω από την προσχεδιασμένη [13].

### **4.2 Μέτρα για την μείωση περιβαλλοντικών επιπτώσεων**

Το πρώτο μεγάλο βήμα για την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι η συνειδητοποίηση των βιομηχανικά ανεπτυγμένων χωρών για τις καταστροφές που έχει προκαλέσει η ανθρώπινη δραστηριότητα στο περιβάλλον. Η ανησυχία που κυριαρχεί δίνει τα τελευταία χρόνια μία ώθηση αφενός στην εξεύρεση νέων μεθόδων, λιγότερο επιβλαβών για το περιβάλλον και αφετέρου στον περιορισμό των αρνητικών συνεπειών της σημερινής τεχνολογίας [1].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Τι προβλέπει ο νόμος για την μείωση των ρύπων

### 5.1 Το νομοθετικό πλαίσιο σε Ελλάδα και Ευρώπη

Η ελληνική νομοθεσία σε ότι αφορά την ηλεκτρική ενέργεια περιλαμβάνει νομοθετήματα και αποφάσεις σχετικά με την μελέτη, εγκατάσταση και λειτουργία ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, του συστήματος διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς ακόμα και όρια εκπομπών ρύπων της ατμόσφαιρας από σταθμούς παραγωγής. Πιο συγκεκριμένα, ο Υ.Α. 26269/97 αναφέρει ότι με απόφαση του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. ορίζονται οι μέγιστες οριακές τιμές των ρυπαντικών φορτίων (αιωρούμενα σωματίδια, καπνός, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, κ.α.) από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Επίσης, στην ίδια απόφαση ορίζονται και οι μέγιστες οριακές τιμές υγρών αποβλήτων (pH, χρώμα, αγωγιμότητα κ.α.) από τους παραπάνω σταθμούς, οι οποίοι και υποχρεώνονται να υποβάλλουν στο Υπουργείο εκθέσεις υπερβάσεων οριακών τιμών ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Όσον αφορά το ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο υπάρχουν και εκεί αρκετές αναφορές και οδηγίες που αφορούν τις εκπομπές ρύπων από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής.

Χαρακτηριστικά αναφέρονται:

- ❖ Οδηγία Ε.Ο.Κ 85/203: Αναφέρεται σε οριακές τιμές NO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα
- ❖ Οδηγία Ε.Ο.Κ 80/779: Αναφέρεται σε οριακές τιμές SO<sub>2</sub> (σε συνδυασμό με την Υ.Α 99/87 Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ) και αιωρούμενων σωματιδίων (PM-10) στην ατμόσφαιρα [1].

### 5.2 Το πρωτόκολλο του Kyoto

Το Δεκέμβριο του 1997 έλαβε χώρα στο Kyoto της Ιαπωνίας η συνάντηση του Ο.Η.Ε με θέμα τις περιβαλλοντικές – κλιματολογικές αλλαγές. Ήταν η τρίτη διεθνής συνάντηση μετά την συνάντηση κορυφής του Rio de Janeiro, τον Ιούνιο του 1992, για το ίδιο θέμα. Το πρωτόκολλο του Kyoto υπεγράφη από 171 συμμετέχουσες χώρες και θέτει μια σειρά νομικών δεσμεύσεων στην εκπομπή CO<sub>2</sub> από τις 39 βιομηχανοποιημένες χώρες, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης. Γενικά και με βάση τις δεσμεύσεις αυτές, προγραμματίστηκε μια μείωση των εκπομπών των αερίων του «θερμοκηπίου» κατά 5,2% σε παγκόσμια κλίμακα, μεταξύ των ετών 2008-2012 σε σύγκριση με τα επίπεδα εκπομπής του 1990 [21].

Ο πίνακας 5.1 που ακολουθεί παρουσιάζει αναλυτικά τα όρια μείωσης ή για κάποιες χώρες την οριακή αύξηση εκπομπής του CO<sub>2</sub>, για τα επόμενα 10 έτη.

Στην προσπάθεια αυτή για την εφαρμογή του πρωτοκόλλου του Κyoto οι διάφορες κυβερνήσεις δεσμεύτηκαν για την:

- ❖ Ενίσχυση ή θέσπιση εθνικών πολιτικών μείωσης των εκπομπών και προώθησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- ❖ Συνεργασία με άλλα συμβαλλόμενα μέρη (π.χ. ανταλλαγή πείρας ή πληροφοριών)
- ❖ Εμπορία εκπομπών αερίων θερμοκηπίου [1].

**Πίνακας 5.1:** Όρια περιορισμού εκπομπής CO<sub>2</sub> για βιομηχανοποιημένες χώρες, όπως προβλέπεται από το πρωτόκολλο του Κyoto [1].

Ευρωπαϊκή Ένωση, Βουλγαρία, Εσθονία, Λετονία, Λιθουανία, Ρουμανία, Σλοβακία, Σλοβενία, Τσεχία	-8%
ΗΠΑ	-7%
Καναδάς, Ιαπωνία, Ουγγαρία, Πολωνία	-6%
Κροατία	-5%
Νέα Ζηλανδία, Ουκρανία, Ρωσία	0%
Νορβηγία	+1%
Αυστραλία	+8%
Ισλανδία	+10%

### 5.3 Η εφαρμογή στην Ελλάδα

Για να επιτευχθεί η μείωση των εκπομπών, αλλά και γενικότερα ο περιορισμός της ρύπανσης του περιβάλλοντος από τις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ορισμένοι τρόποι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι:

- ❖ Τοποθέτηση τελευταίας τεχνολογίας φίλτρων και διαφόρων άλλων μηχανισμών στους ΘΗΣ για την μεγαλύτερη δυνατή κατακράτηση ρύπων.
- ❖ Επιλογή της καθαρότερης και αποδοτικότερης τεχνολογίας για κάθε νέο ΘΗΣ που εγκαθίσταται.

- ❖ Προώθηση της χρήσης των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή και στήριξή τους με επιχορηγήσεις.
- ❖ Κατασκευή ενεργειακών πάρκων για καλύτερη χρησιμοποίηση της απορριπτόμενης θερμότητας και γενικότερα της ενέργειας.
- ❖ Προώθηση της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού – θερμότητας σε μικρές και μεγάλες βιομηχανικές και εμπορικές μονάδες.
- ❖ Εξοικονόμηση ενέργειας στον τριτογενή τομέα.

Η μελέτη σχετικά με τις υπάρχουσες δραστηριότητες και τις αντίστοιχες εκπομπές στην Ελλάδα, καθώς και τις τάσεις που επικρατούν για το επόμενο χρονικό διάστημα μαζί με την μεθοδολογία καταγραφής περιέχονται μέσα στο «Εθνικό Σχέδιο Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών για την περίοδο 2005-2007» του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. που αποτελεί και τον “οδηγό” βάσει του οποίου η Ελλάδα θα προσπαθήσει να εφαρμόσει το Πρωτόκολλο του Kyoto.

Με την απόφαση 2063 για την έγκριση εξ’ ονόματος Ευρωπαϊκής κοινότητας του πρωτοκόλλου του Kyoto και την τήρηση εκ μέρους της Ελλάδας των σχετικών δεσμεύσεων, η Ελλάδα υποχρεούται τον περιορισμό της αύξησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά την περίοδο 2008 έως 2012 στο 25% σε σχέση με τις εκπομπές του έτους αναφοράς. Ως έτος αναφοράς για τις εκπομπές CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, λαμβάνεται το 1990 ενώ για τα PFCs, HFCs, SF<sub>6</sub> λαμβάνεται το 1995. Βέβαια, ο περιορισμός της αύξησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου δεν επιτεύχθηκε και για το λόγο αυτό αποφασίστηκε η επέκταση του Πρωτοκόλλου του Κιότο πέραν του 2012 και μέχρι το 2020 [22].

Σε σχέση με τις εκπομπές αναφοράς οι συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα το 2002 έχουν αυξηθεί κατά ποσοστό 21% σε σχέση με το 1990. Η συνολική μέγιστη ποσότητα εκπομπών της Ελλάδας για την πρώτη περίοδο δέσμευσης του πρωτοκόλλου του Kyoto, δηλαδή την περίοδο 2008 έως 2012, υπολογίζεται από τις εκπομπές αναφοράς της χώρας σε μια ποσότητα που δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 688,826 kt CO<sub>2</sub> eq [1].

Οι μέθοδοι που αναφέρθηκαν δεν εφαρμόζονται όλες στην ίδια έκταση. Η εκλεκτική καταλυτική αναγωγή είναι μία μέθοδος ιδιαίτερα διαδεδομένη στην Ιαπωνία, όπως και η ακτινοβολήση, ενώ η μη εκλεκτική καταλυτική αναγωγή έχει εφαρμοστεί στη Γερμανία [17].



Όσον αφορά την Ελλάδα, η ΔΕΗ υλοποιεί δράσεις με στόχο τον έλεγχο και τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίων του θείου και οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα. Όλες οι μονάδες καύσης λειτουργούν με βάση τις γενικές αρχές που διέπουν τις βασικές υποχρεώσεις της ΔΕΗ και εφαρμόζουν όλα τα απαραίτητα για την προστασία του περιβάλλοντος μέτρα.

Στο πλαίσιο αυτό υποβλήθηκε από την Ελλάδα στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή για έγκριση το Μεταβατικό Εθνικό Σχέδιο Μείωσης Εκπομπών (ΜΕΣΜΕ) για συγκεκριμένες μονάδες και με χρονικό ορίζοντα υλοποίησης την περίοδο 01/01/2016 έως 30/06/2020. Το ΜΕΣΜΕ εγκρίθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή το 2013.

Παράλληλα, η ΔΕΗ προχώρησε στην υλοποίηση έργων μείωσης εκπομπών διοξειδίου του θείου. Πιο συγκεκριμένα, έχει κατασκευάσει και θέσει σε λειτουργία συγκροτήματα αποθείωσης καυσαερίων στις μονάδες III του ΑΗΣ Μεγαλόπολης Α', IV του ΑΗΣ Μεγαλόπολης Β' και στον ΑΗΣ Μελίτης. Επιπλέον, προχώρησε στη διασύνδεση με αντιστροφους ταινιόδρομους μεταφοράς των ορυχείων του Νοτίου Πεδίου και Πεδίου Καρδιάς της Δυτικής Μακεδονίας. Έτσι, οι ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου και Καρδιάς τροφοδοτούνται ομαλά και σταθερά με την ποιότητα και την ποσότητα του απαιτούμενου καυσίμου μειώνοντας παράλληλα τους παραγόμενους ρύπους (όπως τέφρα, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> κ.ά.).

Στη μονάδα III του ΑΗΣ του Αγίου Δημητρίου εξετάστηκε πιλοτικά η εφαρμογή της μεθόδου ξηρής αποθείωσης πολλαπλών σημείων έγχυσης, ενώ ανέθεσε σε εξειδικευμένη εταιρεία – σύμβουλο τη διενέργεια προμελέτης για τη μείωση των εκπομπών θείου σε λιγνιτικές μονάδες στη Δυτική Μακεδονία. Παράλληλα, αποφάσισε από το 2012 την κατασκευή έργων ξηρής αποθείωσης καυσαερίων με ενδεχόμενη επιλογή την υγρή αποθείωση στις μονάδες I-IV του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου (ανάλογα και με τα αποτελέσματα των δοκιμών στη Μονάδα III) και την κατασκευή έργου υγρής αποθείωσης καυσαερίων στη μονάδα V του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου [23].

Για τον έλεγχο και τη μείωση των εκπομπών οξειδίου του αζώτου έχει ολοκληρωθεί η προμελέτη που είχε ανατεθεί για τις μονάδες I-IV του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου. Έχει, επίσης, αποφασιστεί (από το 2012) η κατασκευή έργων μείωσης των εκπομπών NO<sub>x</sub> με εκτενή πρωτογενή μέτρα στις Μονάδες I-IV του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου αλλά και μικρότερης έκτασης επεμβάσεις στη Μονάδα V του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου και στον ΑΗΣ Μεγαλόπολης Β'.

Τέλος, για την μείωση των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις μονάδες καύσης έχουν υλοποιηθεί δράσεις και προγράμματα τα οποία περιλαμβάνουν:

Αντικατάσταση, αναβάθμιση και προσθήκη νέων ηλεκτροστατικών φίλτρων τέφρας υπερσύγχρονης τεχνολογίας και υψηλού βαθμού απόδοσης στις λιγνιτικές Μονάδες I, II, II και IV του ΑΗΣ Καρδιάς, στις Μονάδες I, II, III και IV του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας, στις Μονάδες I και II του ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ και ηλεκτροστατικών φίλτρων τέφρας και λιγνίτη της Μονάδας III του ΑΗΣ Μεγαλόπολης Α'. Το 2008 ολοκληρώθηκε και η αναβάθμιση υφιστάμενων αλλά και προσθήκη νέων ηλεκτροστατικών φίλτρων στις Μονάδες I έως IV του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου που είχε θεαματικά αποτελέσματα στη μείωση των εκπομπών [23].

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

---

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, εξάγεται το συμπέρασμα ότι ο τομέας του ηλεκτρισμού στην χώρα μας αποτελεί ένα πολύ σημαντικό κομμάτι. Ο λιγνίτης, όντας σε αφθονία στο υπέδαφος της χώρας μας και σε συνδυασμό με την χαμηλή τιμή της παραγόμενης κιλοβατώρας, αποτελεί το κυριότερο καύσιμο για ηλεκτροπαραγωγή με ποσοστό 38%.

Παρόλα αυτά, η ηλεκτροπαραγωγή από καύση άνθρακα αποτελεί βασική αιτία για την πρόκληση αρνητικών επιπτώσεων τόσο στην υγεία των ανθρώπων όσο και στο περιβάλλον. Γι' αυτό το λόγο, κρίνεται απαραίτητο η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να πραγματοποιείται με όσο το δυνατόν φιλικότερους περιβαλλοντικά όρους, μέσω της χρήσης προηγμένων συστημάτων απορρύπανσης. Κινούμενοι προς αυτόν τον άξονα, οι κατασκευαστές των συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να εναρμονίζονται με τους ολοένα και αυστηρότερους περιβαλλοντικούς όρους που θεσπίζονται.

Ένας ακόμη παράγοντας που μπορεί να συντελέσει στον περιορισμό των ρύπων που προέρχονται από την καύση του άνθρακα είναι η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με τέτοιον τρόπο, όμως, ώστε η επέμβαση στο περιβάλλον να μην είναι μεγάλη και να μη δημιουργείται αισθητικό πρόβλημα. Είναι απαραίτητος, λοιπόν, ο κατάλληλος συνδυασμός ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και καύση λιγνίτη.

Καταλήγοντας, είναι φανερό ότι παρόλες τις αρνητικές επιπτώσεις της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από καύση άνθρακα, μια πιθανή κατάργηση των ήδη εγκατεστημένων συμβατικών σταθμών θα προκαλούσε τεράστιο οικονομικό και κοινωνικό πρόβλημα. Γι' αυτό το λόγο, πρέπει η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να συνοδεύεται στο μέλλον με όσο το δυνατόν λιγότερες αρνητικές συνέπειες και να συμβάλλει στην ανάπτυξη του βιοτικού επιπέδου του ανθρώπου.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- [1] Βούλγαρης, Ι. «Πηγές ενέργειας και η μετατροπή τους σε ηλεκτρική ενέργεια», Διπλωματική Εργασία, Α.Π.Θ, Τμήμα Η.Μ.Μ.Υ, Θεσσαλονίκη, (2005)
- [2] ΑΔΜΗΕ, «Μηνιαίο δελτίο ενέργειας», URL: [http://www.admie.gr/fileadmin/groups/EDRETH/Monthly\\_Energy\\_Reports/Energy\\_Report\\_201508\\_v1.pdf](http://www.admie.gr/fileadmin/groups/EDRETH/Monthly_Energy_Reports/Energy_Report_201508_v1.pdf), (2015), (πρόσβαση: 30/09/2015)
- [3] Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, «Ετήσιο Δελτίο Εταιρικής Χρήσης», URL: <https://www.dei.gr/el/i-dei/i-etairia/tomeis-drastiriotitas/paragwgi>, (2007), (πρόσβαση: 15/05/2015)
- [4] Ζησάκης Χ. «Ανάλυση περιβαλλοντικών επιπτώσεων της λιγνιτικής μονάδας παραγωγής ηλεκτρισμού ΑΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ – σύγκριση με μονάδα παραγωγής ηλεκτρισμού με καύσιμο φυσικό αέριο», Διπλωματική Εργασία, Α.Π.Θ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Θεσσαλονίκη, (2011)
- [5] Κέντρο Ανάπτυξης και Εξοικονόμησης Ενέργειας, «Επίκαιρα & Ενδιαφέροντα», URL: <http://www.cres.gr/kape/index.htm>, (χ.χ.), (πρόσβαση: 17/05/2015)
- [6] Περιβάλλον & Διαχείριση Ενέργειας, «Τι είναι ενέργεια», URL: <http://www.allaboutenergy.gr/Intro11.html> (χ.χ.), (πρόσβαση: 19/05/2015)
- [7] ΑΔΜΗΕ, «Περιγραφή Συστήματος Μεταφοράς», URL: <http://www.admie.gr/to-systima-metaforas/dedomena-stoicheia-systimatos/perigrifi-systimatos-metaforas/>, (2015), (πρόσβαση: 19/05/2015)
- [8] Κωστάζου Βασιλική, «Ασφάλεια εργασίας στο λιγνιτικό κέντρο Δ. Μακεδονίας», Διπλωματική Εργασία, Α.Τ.Ε.Ι, Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής, Θεσσαλονίκη, (2007-2008)
- [9] Παπαδόπουλος Α. «Οικονομική ανάλυση ενεργειακών συστημάτων», Σημειώσεις παραδόσεως στο μάθημα Οικονομική Ανάλυση Ενεργειακών Συστημάτων, Α.Π.Θ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Θεσσαλονίκη, (2002)
- [10] Καβουρίδης, Κ. Β., Ρούμπος, Χ., Λεοντίδης, Μ., Χαλούλος, Κ. «Η εκμετάλλευση του λιγνίτη στην Ελλάδα με οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια. Σημερινή κατάσταση – προοπτικές», ΤΕΕ, Αθήνα, (2005)

[11] Λιάγγου Χ., «Ξεκινά η κατασκευή της νέας λιγνιτικής μονάδας Πτολεμαΐδα 5», Εφημερίδα: Η ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ, 18/09/2015

[12] protagon.gr, «Η βρόμικη ιστορία πίσω από τους διακόπτες», URL: <http://www.protagon.gr/?i=protagon.el.article&id=41389> , (2015), (πρόσβαση: 28/09/2015)

[13] Ισμαηλίδης Α. «Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και περιβάλλον», Διπλωματική Εργασία, Τ.Ε.Ι Κρήτης, Τμήμα Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Χανιά, (2005)

[14] GIAKOU MIDIS.COM, «Ατμοσφαιρική ρύπανση από εργοστάσια ΔΕΗ στην Κοζάνη», URL: <http://www.giakoumidis.gr/photo-press-agency/greek/2008-01-10/%CE%B8%CE%AD%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%B9%CF%8E%CE%BD/%CE%A0%CE%95%CE%A1%CE%99%CE%92%CE%91%CE%9B%CE%9B%CE%9F%CE%9D/%CE%A0%CE%95%CE%A1%CE%99%CE%92%CE%91%CE%9B%CE%9B%CE%9F%CE%9D/%CE%91%CE%A4%CE%9C%CE%9F%CE%A3%CE%A6%CE%91%CE%99%CE%A1%CE%99%CE%9A%CE%97-%CE%A1%CE%A5%CE%A0%CE%91%CE%9D%CE%A3%CE%97-%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%9F%CE%A3%CE%A4%CE%91%CE%A3%CE%99%CE%91-%CE%A1%CE%95%CE%A5%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%9F%CE%A3-%CE%A3%CE%A4%CE%97%CE%9D-%CE%9A%CE%9F%CE%96%CE%91%CE%9D%CE%97/> (2007-2015), (πρόσβαση: 23/05/2015)

[15] GREENPEACE, «Το ανθρώπινο κόστος του λιγνίτη και η αναγκαία μετάβαση σε ένα βιώσιμο μέλλον», URL: <http://www.greenpeace.org/greece/el/news/2012/septemvrios/koino-enimerotiko-deltio/> , (2012), (πρόσβαση: 2/06/2015)

[16] Γεντεκάκης Ι.Β. «Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Επιπτώσεις, Έλεγχος και Εναλλακτικές Τεχνολογίες», Εκδόσεις Τζιόλα, 1999, Θεσσαλονίκη

[17] Γιακουμέλου Ιωάννα, «Μελέτη καταλυτικών συστημάτων απομάκρυνσης οξειδίων του αζώτου και διοξειδίου του θείου με in situ φασματοσκοπία Raman», Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πάτρα, 2007

[18] Τουρλιδάκης Αντώνιος, «Τεχνολογίες ελέγχου των εκπομπών των Συμβατικών Ατμοηλεκτρικών Σταθμών (ΣΑΗΣ) με καύσιμο άνθρακα», παρουσίαση στο σεμινάριο «Πρώθηση των καθαρών τεχνολογιών άνθρακα» ΚΑΠΕ, 27 Ιανουαρίου 2015. URL: <http://www.cres.gr/kape/publications/xrisima.htm>

- [19] Ψαρρά Ασημίνα, « Μελέτη συστήματος Αποκονίωσης στα πλαίσια της μείωσης των εκπεμπόμενων αερίων ρύπων στην Λάρκο», Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Χανιά, (2014)
- [20] KOZAN.GR, «Συνεργασία του ΤΕΙ Δυτική Μακεδονίας με την Ολλανδική εταιρεία MESYS», URL: <http://www.kozan.gr/post/100961> , (2013), (πρόσβαση: 6/08/2015)
- [21] Καπλάνης Σ.Ν. «Περιβάλλον Και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», Εκδόσεις ΙΩΝ (2003)
- [22] ΘΕΜΑ.gr, «Η ισχύς του Πρωτοκόλλου του Κιότο επεκτείνεται έως το 2020», URL: <http://www.protothema.gr/environment/article/242231/h-isxys-toy-protokolloy-toy-kioto-epekteinetai-os-to-2020/>, (2012), (πρόσβαση: 30/09/2015)
- [23] ΔΕΗ, «Η ποιότητα του αέρα», URL: <https://www.dei.gr/el/i-dei/perivallon/perivallontiki-stratigiki/perivallontiki-drastiriotita/i-poiotita-tou-aera/param/t/ecprint.aspx> , (χ.χ.), (πρόσβαση: 17/09/2015)