



Α.Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
Οικονομική Ανάλυση Εγκατάστασης Ατμοηλεκτρικού Εργοστασίου

Πρίφτης Ιωάννης

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ  
Σακκάς Νικόλαος

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2018



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον καθηγητή μου Σακκά Νίκο, για την ευκαιρία που μου έδωσε και για την απαραίτητη καθοδήγηση. Τέλος, δεν θα είχα ποτέ την ευκαιρία να σπουδάσω χωρίς την βοήθεια της οικογένειάς μου. Θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Γιώργο και Ελισάβετ, αλλά και τον αδερφό μου Δημήτρη για την πίστη τους σε εμένα όλα αυτά τα χρόνια, την αγάπη τους και την συνεχή υποστήριξη τους στις επιλογές μου.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία έχει θέμα την οικονομική ανάλυση της εγκατάστασης ενός ατμοηλεκτρικού εργοστασίου (ΑΗΣ). Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να εξεταστεί το κόστος και το όφελος μιας τέτοιας επένδυσης, σε ποιο βαθμό είναι αποτελεσματική και βιώσιμη. Λόγω της περιορισμένης έκτασης, δεν ήτο δυνατό η εις βάθος ανάλυση του θέματος, για αυτό θα παραλειφθούν οικονομετρικά και στατιστικά στοιχεία και η μελέτη θα έχει θεωρητικό χαρακτήρα. Πιο συγκεκριμένα, η ανάλυση θα περιοριστεί στην περίπτωση της ΔΕΗ, παρέχοντας μια μελέτη-περίπτωση επικείμενης επέκτασης των δραστηριοτήτων της μέσω της εγκατάστασης ενός ακόμα ατμοηλεκτρικού εργοστασίου.

Η παρούσα εργασία, χωρίζεται σε τρία μέρη. Στο πρώτο μέρος, το οποίο είναι το εισαγωγικό κομμάτι της εργασίας, γίνεται μια ιστορική αναδρομή του ελληνικού ενεργειακού συστήματος και αναφέρεται περιληπτικά η λειτουργία ενός αμοστρόβιλου με παράλληλη αναφορά στο λιγνίτη, καθώς είναι καθοριστικός για τη λειτουργία του. Τέλος, παρατίθενται βασικές πληροφορίες ενός ατμοηλεκτρικού εργοστασίου.

Στο δεύτερο μέρος, παρουσιάζεται η οικονομική μελέτη της εγκατάστασης του ατμοηλεκτρικού εργοστασίου.

Στο τελευταίο μέρος, αναφέρονται τα συμπεράσματα της μελέτης.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ, ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ, ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ.



## ABSTRACT

The thesis deals with the economic analysis of the installation of a steam power plant. The purpose of this study is to examine the cost and benefit of such an investment, to what extent it is effective and sustainable. Because of the limited scope, it was not possible to analyze the matter in depth, so econometric and statistical data are omitted and the study is mainly theoretical. More specifically, the analysis will be limited to the case of PPC by providing a case study of imminent expansion of its activities through the installation of another steam power plant.

This work is divided into three parts. In the first part, which is the introductory part of the paper, a historical retrospection of the Greek energy system is made, and the operation of a steam turbine with a parallel reference to lignite is mentioned, as it is decisive for its operation. Finally, basic information from a steam power plant is provided.

In the second part, which is the main part of the work, the economic study of the installation of the steam power plant is presented.

In the last part, the conclusions of the study are mentioned.

KEY WORDS: Steam Power Plant, Financial analysis, Capital cost





## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	5
ABSTRACT .....	7
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> Εισαγωγή – Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας Στην Ελλάδα .....	11
1.1 Σφαιρική εικόνα της παραγωγής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα 13	
1.1 Παραγωγή και Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	13
1.1.1 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	14
1.1.2 Εισαγωγές και Εξαγωγές Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	16
1.1.3 Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	17
1.2 Ο Ρόλος του Λιγνίτη στην Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	18
1.3 Δομή της Αγοράς.....	19
1.3.1 Λιανική Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	20
1.3.2 Μη διασυνδεδεμένα Νησιά .....	22
1.3.3 Τιμολόγηση .....	22
1.4 Νομοθετική Και Κανονιστική Μεταρρύθμιση Της Αγοράς .....	25
1.5 Σχεδιασμός Αγοράς .....	26
1.6 Μεταφορά Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	29
1.6.1 Διασυνδέσεις Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	29
1.6.2 Διανομή.....	30
1.7 Ασφάλεια Παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	33
1.7.1 Παραγωγή και Επάρκεια Καυσίμων .....	33
1.7.2 Καταλληλότητα Δικτύου .....	35
1.8 Συμπεράσματα .....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> Συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ατμό .....	39
2.1 Παραγωγή ατμού και κύκλος ατμού .....	40
2.2 Τυπικοί Σταθμοί ΡC .....	44
2.3 Εξελίξεις στην Παραγωγή Ενέργειας με Καύση Άνθρακα .....	48
2.3.1 Ο Υπερκρίσιμος Κύκλος.....	49
2.3.2 Καύση Κυκλοφορούσας Ρευστοποιημένης Κλίνης.....	52

2.3.3	Ολοκληρωμένος Συνδυασμένος Κύκλος Αεριοποίησης (IGCC) .....	53
2.4	Σύλληψη CO <sub>2</sub> .....	57
2.4.1	Σύλληψη CO <sub>2</sub> σε Μονάδες PC και CFBC.....	58
2.4.2	Σύλληψη CO <sub>2</sub> σε Μονάδες IGCC .....	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις της Καύσης Άνθρακα για Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας.....		61
3.1	Εκπομπές και Περιβαλλοντικές Συνέπειες.....	62
3.2	Συνέπειες στην Υγεία.....	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> Το Εξεταζόμενο Εργοστάσιο Παραγωγής.....		69
4.1	Η Περιοχή του Λαυρίου .....	69
4.2	Η Δομή του Προτεινόμενου Σταθμού ΑΗΣ.....	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup> Χρηματοοικονομική Ανάλυση Εγκατάστασης Εργοστασίου Παραγωγής Ηλ. Ενέργειας.....		75
5.1	Δεδομένα - Παραδοχές .....	75
5.2	Οικονομική Μελέτη.....	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 <sup>ο</sup> - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....		81
ΒΙΒΙΟΓΡΑΦΙΑ .....		83

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> Εισαγωγή – Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας Στην Ελλάδα

Η Ελλάδα σημείωσε αξιοσημείωτη πρόοδο στις μεταρρυθμίσεις στον τομέα του ενεργειακού τομέα από την τελευταία ανασκόπηση του ΔΟΕ το 2011, με την αναδιάρθρωση των κρατικών επιχειρήσεων και τη μεταφορά των διατάξεων του τρίτου ενεργειακού πακέτου της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την απελευθέρωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου.

Οι ανταγωνιστικές και οικονομικά βιώσιμες αγορές ενέργειας, οι οποίες προσφέρουν επιλογές και χαμηλές τιμές στους καταναλωτές, είναι κρίσιμες για την ανάκτηση της οικονομικής ανάπτυξης και τη διασφάλιση μακροπρόθεσμων οικονομικών προοπτικών. Οι μεταρρυθμίσεις αναμένεται να δημιουργήσουν ευκαιρίες για τους επενδυτές και για το μετασχηματισμό του ενεργειακού συστήματος, παρέχοντας έτσι βιώσιμα αποτελέσματα για το περιβάλλον και την ελληνική κοινωνία.

Η Ελλάδα αναμένεται να επιτύχει τους στόχους για τη μείωση των εκπομπών και την ενεργειακή απόδοση που συμφωνήθηκαν με την Ευρωπαϊκή Ένωση για το 2020. Αυτό οφείλεται εν μέρει στη χαμηλότερη συνολική τελική ζήτηση ενέργειας λόγω της οικονομικής κρίσης από το 2010. Οι πολιτικές για τη στήριξη της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης συνέβαλαν επίσης στην επίτευξη αυτών των στόχων. Η Ελλάδα είχε το δεύτερο μεγαλύτερο μερίδιο των ηλιακών φωτοβολταϊκών (PV) στο σύνολο της πρωτογενούς ενεργειακής τροφοδότησης όλων των χωρών του ΔΟΕ το 2016.

Ο λιγνίτης είναι το μόνο σημαντικό εγχώριο παραγόμενο ορυκτό καύσιμο στην Ελλάδα, αν και η σημασία του μειώνεται σύμφωνα με τους κλιματικούς στόχους. Η χρήση εισαγόμενου αερίου εξακολουθεί να είναι σχετικά χαμηλή σε σύγκριση με άλλες χώρες του ΔΟΕ, αν και το μερίδιο της στη συνολική τελική κατανάλωση διπλασιάστηκε την τελευταία δεκαετία. Η Ελλάδα έχει τη δυνατότητα να αυξήσει σημαντικά τη χρήση του φυσικού αερίου για θέρμανση στον οικιακό τομέα, αντικαθιστώντας τα αναποτελεσματικά συστήματα πετρελαίου και βιομάζας. Η Ελλάδα έχει επίσης μεγάλες δυνατότητες για χρήση ανανεώσιμης ενέργειας με τους αιολικούς, τους ηλιακούς, τους γεωθερμικούς και τους πόρους βιομάζας, να μην έχουν ακόμη αναπτυχθεί πλήρως. Η ενισχυμένη εκμετάλλευση αυτού του δυναμικού ανανεώσιμης ενέργειας θα οδηγήσει σε ένα πιο ισορροπημένο ενεργειακό μείγμα και θα συμβάλει στην αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας.

Εντούτοις, ο λιγνίτης έχει αποδείχθει ότι αποτελεί αξιόπιστη πηγή καυσίμων στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά έχει μειούμενη τάση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία αντισταθμίζεται από την αύξηση των μεριδίων του φυσικού αερίου και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ωστόσο, εξακολουθεί να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ασφάλεια του εφοδιασμού.

Το σχετικά υψηλό ποσοστό χρήσης πετρελαίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από την θερμική παραγωγή στα ελληνικά νησιά που δεν έχουν διασυνδέσεις ηλεκτρικής ενέργειας με την ηπειρωτική χώρα. Η Ελλάδα έχει ξεκινήσει μεγάλα έργα διασύνδεσης στο πλαίσιο μιας μακροπρόθεσμης στρατηγικής.

Ο αυξανόμενος ρόλος του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί μεγαλύτερη εστίαση στην ασφάλεια του εφοδιασμού με φυσικό αέριο. Η Ελλάδα έχει ένα μικρό περιθώριο επάρκειας του συστήματος και βασίζεται στο μοναδικό τερματικό σταθμό υδροποιημένου φυσικού αερίου για ευελιξία, η οποία είχε ως αποτέλεσμα σφιχτά εφόδια κατά τη διάρκεια του χειμώνα του 2016/2017. Το σχέδιο αντίδρασης έκτακτης ανάγκης για το φυσικό αέριο αποδείχθηκε ισχυρό κατά τη διάρκεια της κρίσης εφοδιασμού με φυσικό αέριο, ενώ οι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας άλλαζαν από αέριο σε πετρέλαιο όπως ζητήθηκε.

Υπάρχουν πολλά διδάγματα που πρέπει να αντληθούν από την κρίση του φυσικού αερίου. Η ανταπόκριση στη ζήτηση μπορεί να αποτελέσει σημαντική πηγή ευελιξίας του συστήματος εάν η ενεργοποίησή της καθοδηγείται από σήματα τιμών σε μια αγορά που έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει στις τιμές να αντανakλούν την πραγματική αξία της προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας και καυσίμων. Τα σήματα τιμών θα αποκτήσουν ολοένα και μεγαλύτερη σημασία όταν θα καταστούν λειτουργικές οι ενισχυμένες διασυνδέσεις μεταξύ της Ελλάδας και των γειτονικών αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου.

Η Ελλάδα έχει εφαρμόσει αρκετές πολιτικές ενεργειακής απόδοσης κατά την περίοδο από την τελευταία αναθεώρηση του ΔΟΕ, η πλειονότητα των οποίων οφείλεται στη μεταφορά των απαιτήσεων της οδηγίας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την ενεργειακή απόδοση στην ελληνική νομοθεσία. Τα μέτρα πολιτικής που εφαρμόστηκαν δεν επέτρεψαν την εξοικονόμηση ενέργειας σύμφωνα με τις αρχικές προσδοκίες, λόγω της χρηματοπιστωτικής και οικονομικής κρίσης, της χαμηλής ευαισθητοποίησης του κοινού, των ανεπαρκών στοιχείων και της έλλειψης χρηματοδότησης.

Η πρόσφατη εφαρμογή μιας πολιτικής ενεργειακού ελέγχου είναι ένα βήμα προς τα εμπρός για την ενεργειακή απόδοση της βιομηχανίας στην Ελλάδα. Αυτό παρέχει στους προμηθευτές ενέργειας την ευκαιρία να συνεργαστούν με τη βιομηχανία για να διενεργήσουν ενεργειακούς ελέγχους και να εντοπίσουν και να εφαρμόσουν ευκαιρίες αποδοτικότητας, επειδή υπάρχουν συνέργειες με την καθιέρωση του προγράμματος υποχρεώσεων.

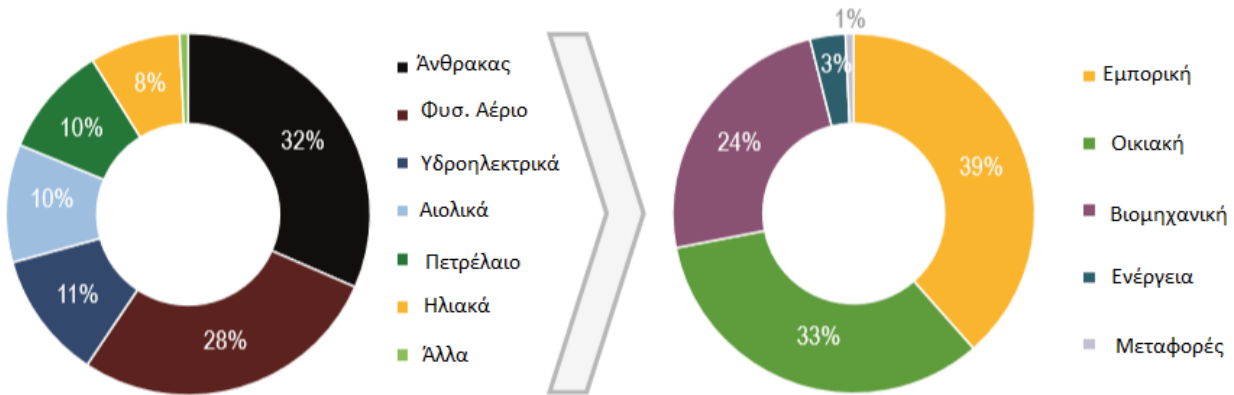
### 1.1 Σφαιρική εικόνα της παραγωγής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (σε όρους παραγωγής και καθαρών εισαγωγών) μειώθηκε κατά 16% από το 2008 έως το 2016 λόγω της οικονομικής κρίσης. Ο άνθρακας / λιγνίτης είναι το κυρίαρχο καύσιμο στο μείγμα παραγωγής, ακολουθούμενο από το φυσικό αέριο και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ηλιακή και αιολική). Ο μεγαλύτερος τομέας που καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια είναι ο εμπορικός τομέας, ακολουθούμενος από τον οικιακό τομέα. Η Ελλάδα έχει κάνει αρκετά βήματα προς την απελευθέρωση των αγορών χονδρικής και λιανικής πώλησης ενέργειας για την αύξηση του ανταγωνισμού. Η Ελλάδα έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο στη διαφοροποίηση του μείγματος καυσίμων ηλεκτρικής ενέργειας, ιδίως στην ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι οποίες αυξήθηκαν σχεδόν στο 19% της συνολικής παραγωγής το 2016.

Η Ελλάδα έχει μεγάλο δυναμικό να αυξήσει τα μερίδια της καθαρής ενέργειας, όταν τα μη-διασυνδεδεμένα νησιά (NIs) ενσωματωθούν στο ηπειρωτικό σύστημα ηλεκτρισμού. Η προβλεπόμενη μείωση του μεριδίου της παραγωγής λιγνίτη για συμμόρφωση με τις περιβαλλοντικές πολιτικές εγείρει ανησυχίες σχετικά με την επάρκεια της προσφοράς, η οποία θα πρέπει να αντιμετωπιστεί όταν προχωρήσει με τις μεταρρυθμίσεις στον τομέα της ενέργειας.

### 1.1 Παραγωγή και Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας

Τα ορυκτά καύσιμα διαδραμάτισαν ιστορικά σημαντικό ρόλο στην ελληνική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αντιπροσώπευαν σχεδόν το 70% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται το 2016. Ωστόσο, η κυριαρχία τους μειώθηκε την τελευταία δεκαετία λόγω της μείωσης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και της αύξησης των ανανεώσιμων πηγών από τον άνεμο και την ηλιακή ενέργεια. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντιπροσώπευαν σχεδόν το ένα τρίτο της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας το 2016 (βλ. Σχήμα 1). Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μειώθηκε λόγω της οικονομικής ύφεσης και δεν έχει ανακάμψει πλήρως.

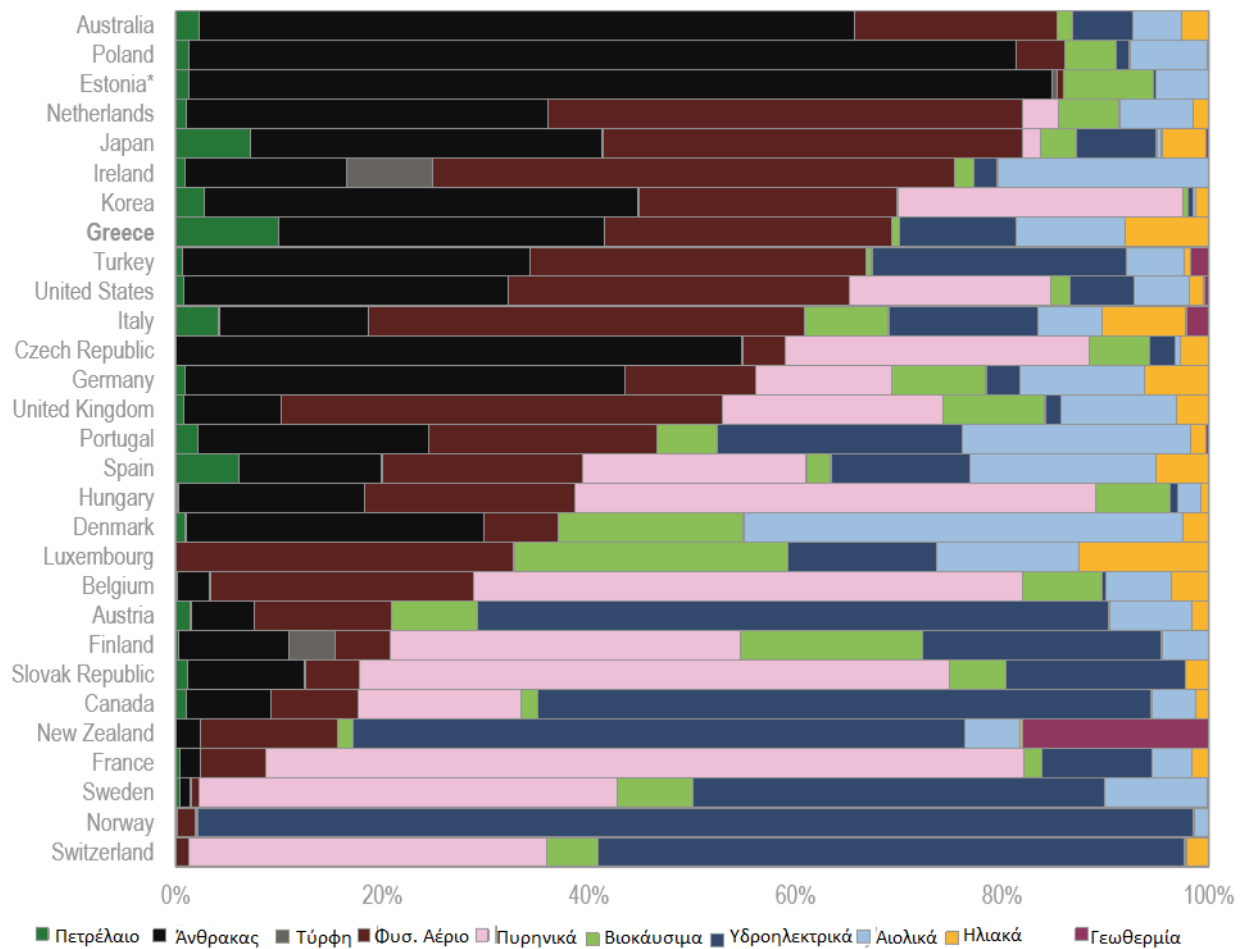


Σχήμα 1 Δεδομένα παραγωγής για το έτος 2016 και κατανάλωσης για το έτος 2015 [1]

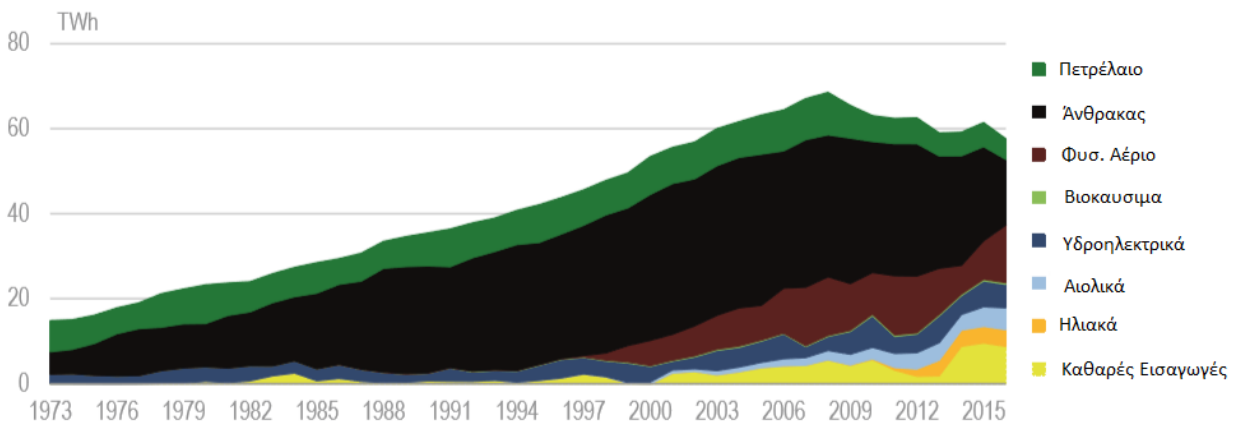
### 1.1.1 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η Ελλάδα παρήγαγε 48,8 TWh ηλεκτρικής ενέργειας το 2016, μια μείωση 19% από το 2006. Ο άνθρακας είναι η μεγαλύτερη ενεργειακή πηγή, που αντιπροσώπευε το 31,6% το 2016, ακολουθούμενη από φυσικό αέριο στο 27,8%. Η Ελλάδα είχε το όγδοο υψηλότερο μερίδιο των ορυκτών καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των χωρών μελών του ΔΟΕ το 2016 και το υψηλότερο μερίδιο πετρελαίου (βλ. Σχήμα 2). Ο άνθρακας είναι η μεγαλύτερη πηγή ενέργειας όσον αφορά την εγκατεστημένη ισχύ, ακολουθούμενη από φυσικό αέριο (βλ. Πίνακα 1).

Ωστόσο, η κυριαρχία των ορυκτών καυσίμων μειώθηκε την τελευταία δεκαετία. Ενώ η παραγωγή ηλεκτρισμού από τον άνθρακα και το πετρέλαιο μειώθηκε κατά περίπου 50% για το καθένα μεταξύ 2006 και 2016, η ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές σχεδόν διπλασιάστηκε την ίδια περίοδο (βλ. Σχήμα 3). Η παραγωγή σε υδροηλεκτρικά ήταν η τρίτη μεγαλύτερη πηγή ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2016, αλλά η κύρια ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προέρχεται από την αιολική και την ηλιακή ενέργεια. Το μερίδιο της αιολικής ενέργειας αυξήθηκε από 2,8% το 2006 σε 10,5% το 2016 και η ηλιακή ενέργεια αυξήθηκε ακόμη πιο γρήγορα από 0,3% το 2010 σε 8,1% το 2016



Σχήμα 2 Σχήμα παραγωγής Ηλ. Ενέργειας στις χώρες του ΔΟΕ το 2016 [1]



Σχήμα 3 Παραγωγή Ηλ. ενέργειας στην Ελλάδα ανά πηγή 1973-2016 [1]

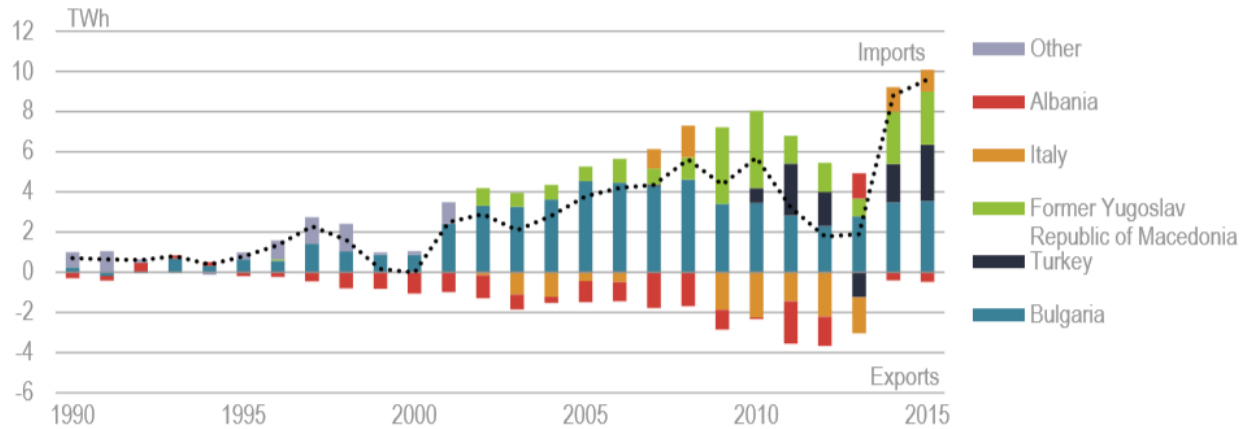
Πίνακας 1 Εγκατεστημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανα πηγή 2000-15 (MW) [1]

Πηγή Ενέργειας	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Θερμικά Καύσιμα	7606	9708	10597	11048	11226	11229	10932	10855
Άνθρακας και προϊόντα	4492	4808	4793	4793	4556	4556	4302	4302
Φυσ. Αέριο	1112	2529	3252	3677	417	4103	4068	3972
Υγρά καύσιμα	2966	2318	2505	2505	2503	2500	2492	2503
Άλλα καύσιμα	36	53	47	73	50	70	70	78
Ύδρο	3072	3106	3215	3224	3236	3238	3389	3392
Αιολικά	226	491	1298	1640	1753	1809	1978	2091
Φωτοβολταϊκά	0	0	1	202	612	1536	2579	2596
Συνολική χωρητικότητα	10904	13306	15312	16524	17751	18855	18895	18942

### 1.1.2 Εισαγωγές και Εξαγωγές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η Ελλάδα είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τις γειτονικές χώρες και, εκτός από την εγχώρια παραγωγή ενέργειας, η Ελλάδα δραστηριοποιείται όλο και περισσότερο στο εμπόριο ηλεκτρικής ενέργειας. Οι εισαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκαν με νέες διασυνδέσεις, αν και αυτές έχουν μεγάλες ετήσιες διακυμάνσεις (βλ. Σχήμα 4). Οι καθαρές εισαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα το 2015 ήταν 9,6 TWh, κυρίως από τη Βουλγαρία (32% των συνολικών εισαγωγών), την Τουρκία (25%), την Πρώην Γιουγκοσλαβική Δημοκρατία της Μακεδονίας (25%) και την Ιταλία (15%). Η Ελλάδα είναι καθαρός εισαγωγέας εδώ και πολλά χρόνια, αλλά και κατά καιρούς εξαγωγές, κυρίως στην Ιταλία και την Τουρκία. Οι συνολικές καθαρές εισαγωγές ήταν 8,8 TWh το 2016.



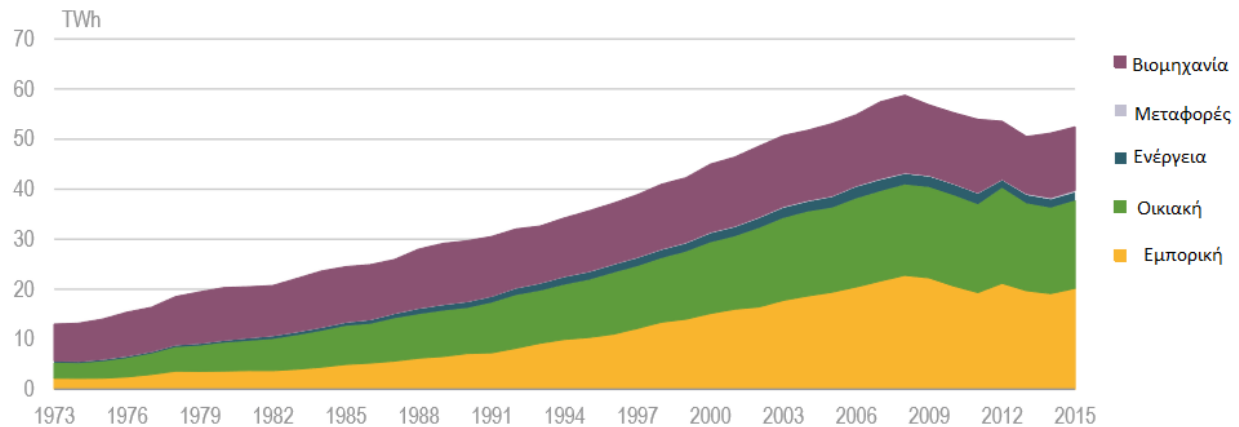


Σχήμα 4 Εισαγωγές Ηλ. Ενέργειας στην Ελλάδα 1990-2015 [1]

### 1.1.3 Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα αυξήθηκε σταθερά έως ότου έφθασε στο ανώτατο επίπεδο των 58,8 TWh το 2008, ακολουθούμενη από πενταετή περίοδο μείωσης από το 2009 έως το 2013 μετά την οικονομική κρίση. Η κατανάλωση έχει ανακάμψει ελαφρώς τα τελευταία χρόνια και το 2015 η Ελλάδα κατανάλωσε 52,4 TWh ηλεκτρικής ενέργειας.

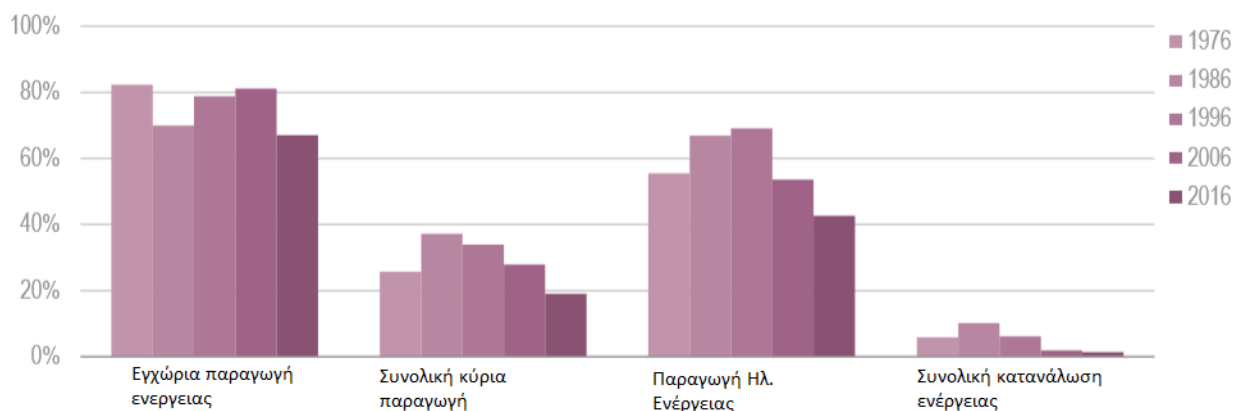
Ο εμπορικός τομέας ήταν ο μεγαλύτερος τομέας που καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια, αντιπροσωπεύοντας το 38% της συνολικής κατανάλωσης το 2015 (βλ. Σχήμα 5). Ακολούθησε ο οικιακός τομέας (33,4%) και ο κλάδος (24,2%). Άλλοι τομείς (δηλαδή άλλες βιομηχανίες ενέργειας και μεταφορές) αντιπροσώπευαν μόνο ένα μικρό μερίδιο της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 5 Κατανάλωση ηλ. ενέργειας ανά τομέα 1973-2015 [1]

## 1.2 Ο Ρόλος του Λιγνίτη στην Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

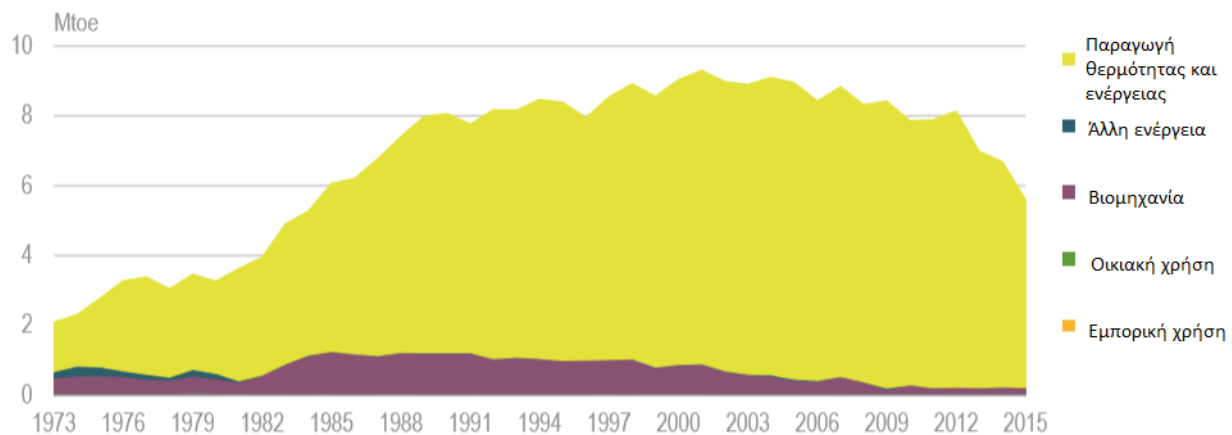
Ο λιγνίτης είναι ένας σημαντικός εγχώριος πόρος ορυκτών καυσίμων στην Ελλάδα και αποτελεί σημαντική συνιστώσα της ενεργειακής ασφάλειας της Ελλάδας. Η Ελλάδα είναι ο τέταρτος μεγαλύτερος παραγωγός λιγνίτη στα ευρωπαϊκά κράτη μέλη του ΔΠΕ (πίσω από τη Γερμανία, την Πολωνία και την Τσεχική Δημοκρατία) με συνολική παραγωγή 32,3 εκατομμυρίων τόνων το 2016. Ο άνθρακας είναι το δεύτερο πιο σημαντικό καύσιμο στη συνολική παροχή πρωτογενούς ενέργειας μετά το πετρέλαιο, αλλά αντιπροσωπεύει μόνο ένα μικρό μερίδιο της συνολικής τελικής κατανάλωσης από την κατανάλωση της βιομηχανίας (βλ. Σχήμα 6).



Σχήμα 6 Μερίδιο άνθρακα σε πηγές ενέργειας 1976-2016 [1]

Το μεγαλύτερο μέρος του άνθρακα χρησιμοποιείται στον τομέα της ενέργειας, αντιπροσωπεύοντας το 43% της κατανάλωσης (βλ. Σχήμα 7). Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τον άνθρακα μειώθηκε από 31 TWh το 2012 σε 15 TWh το 2016, λόγω της αύξησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της χαμηλότερης συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

Η παραγωγή άνθρακα μειώθηκε κατά 50% μεταξύ 2012 και 2016, σε συνάρτηση με τη μειωμένη ζήτηση για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από άνθρακα. Ο εισαγόμενος λιθάνθρακας, σχεδόν όλος από τη Ρωσική Ομοσπονδία, χρησιμοποιείται στον τομέα του τσιμέντου. Η βιομηχανική χρήση άνθρακα αντιπροσωπεύει το 4% της συνολικής κατανάλωσης άνθρακα το 2015, μια μεγάλη πτώση από το υψηλό ποσοστό 20% στα μέσα της δεκαετίας του '80, κυρίως λόγω της μείωσης της κατανάλωσης άνθρακα στη βιομηχανία των μη μεταλλικών ορυκτών.



Σχήμα 7 Κατανάλωση άνθρακα ανά τομέα 1973-2015 [1]

### 1.3 Δομή της Αγοράς

Η κάθετα ολοκληρωμένη κρατική εταιρεία ηλεκτρισμού Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε. (ΔΕΗ) κυριαρχεί στην αλυσίδα αξίας της ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτελεί το 79% της εγκατεστημένης θερμικής ισχύος και περίπου το 75% της παραγωγής θερμικής ηλεκτρικής ενέργειας. Το μερίδιο της ΔΕΗ στην αγορά της επόμενης ημέρας, το οποίο περιλαμβάνει εισαγωγές, υδροηλεκτρικές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ήταν 53% το 2016. Το μερίδιο της ΔΕΗ στη λιανική αγορά είναι περίπου 88%. Μέσα στη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, της αύξησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, των περιβαλλοντικών περιορισμών και των

χαμηλών τιμών αερίου, το κόστος παραγωγής λιγνίτη αυξάνεται. Η τάση αυτή αναμένεται να συνεχιστεί καθώς οι μονάδες με καύση άνθρακα αντικαθίστανται από μονάδες που τροφοδοτούνται με φυσικό αέριο και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Κατά συνέπεια, η κατανάλωση και η παραγωγή λιγνίτη το 2016 παρουσίασε πτωτική τάση. Η ΔΕΗ είναι ο κυρίαρχος ιδιοκτήτης των ορυχείων λιγνίτη και υπήρχαν επίσης μερικές ιδιωτικές εταιρείες που εκμεταλλεύονται μικρά λιγνιτωρυχεία το 2016 (Achlada, METE και LARCO).

Η ΔΕΗ απέσυρε 913 MW λιγνιτικής δυναμικότητας το 2010-16 και σχεδιάζει να παροπλίσει άλλα 2112 MW μέχρι το 2025. Η εταιρεία σχεδιάζει να εγκαταστήσει δύο νέες μονάδες λιγνίτη συνολικής ισχύος 1.100 MW κατά την περίοδο 2017-25. Η ΔΕΗ έχει επίσης επεκτείνει το στόλο των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με φυσικό αέριο τα τελευταία πέντε χρόνια, προσθέτοντας 1.700 MW. Η παραγωγή από τα εργοστάσια φυσικού αερίου της ΔΕΗ αντιστοιχούσε στο 11% της συνολικής προσφοράς το 2016.

Καθώς η ΔΕΗ κατέχει όλα τα στοιχεία λιγνίτη και τα υδροηλεκτρικά, οι μεγάλες ιδιωτικές εταιρίες ασχολούνται μόνο με την παραγωγή εκ του φυσικού αερίου και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι ανεξάρτητοι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας (IPP) δημιούργησαν οκτώ μονάδες παραγωγής εκ του φυσικού αερίου συνολικής χωρητικότητας 2 571 MW, οι οποίες αντιπροσώπευαν το 16% της προσφοράς το 2016. Περιλαμβάνουν έναν αυτοδύναμο καταναλωτή, τον μεγαλύτερο βιομηχανικό παραγωγό της χώρας, την Aluminium SA. Οι εισαγωγές και εξαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας καθοδηγούνται από την αγορά, αντικατοπτρίζοντας τις διαφορές των τιμών μεταξύ της ελληνικής αγοράς χονδρικής πώλησης και των τιμών στις γειτονικές χώρες. Υπάρχουν πολλοί ιδιώτες παραγωγοί ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον ελληνικό τομέα ενέργειας αυξάνεται γρήγορα, φτάνοντας το 18% της προσφοράς το 2016. Η παραγωγή λιγνίτη της ΔΕΗ συνεχίζει να είναι ένας από τους κύριους προμηθευτές, αντιπροσωπεύοντας το 23% της εγκατεστημένης ισχύος (4 337 MW) και το 32% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας το 2016.

### 1.3.1 Λιανική Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η ΔΕΗ διατηρούσε μερίδιο αγοράς κοντά στο 88% το 2016, παρόλο που 17 προμηθευτές δραστηριοποιούνταν στην αγορά λιανικής. Το δεύτερο μεγαλύτερο κατά σειρά μερίδιο αγοράς προμηθευτή ήταν 2,9%.

Το μερίδιο της ΔΕΗ πρέπει να μειωθεί στο 50% μέχρι τα τέλη του 2019 στο πλαίσιο του προγράμματος οικονομικής προσαρμογής. Σε διαβούλευση με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η

κυβέρνηση κατέφυγε σε έναν εναλλακτικό μηχανισμό για τη μείωση του μεριδίου αγοράς της ΔΕΗ: οι δημοπρασίες NOME, σύμφωνα με τον νέο νόμο για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας (4389/2016), βάσει της οποίας οι νεοεισερχόμενοι στην αγορά λιανικής παρέχουν πρόσβαση στην παραγωγή της ΔΕΗ. Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (RAE) καθορίζει την ετήσια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που θα διατίθεται μέσω δημοπρασιών πωλήσεων προμηθειών ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ ο διαχειριστής της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας (LAGIE) διεξάγει τις δημοπρασίες. Στις δημοπρασίες η ΔΕΗ πωλεί περίπου 40% της παραγωγής της από λιγνιτικούς και υδροηλεκτρικούς σταθμούς (πάνω από τους οποίους έχει μονοπώλιο), με συνήθως αυξημένο κόστος παραγωγής σε σύγκριση με τις μονάδες φυσικού αερίου των ιδιωτών. Ως εκ τούτου, το κόστος του μείγματος καυσίμων των ιδιωτών μειώνεται, γεγονός που έχει θετικό αντίκτυπο στην αγορά λιανικής μέσω χαμηλότερων και πιο ανταγωνιστικών τιμών.

Οι δημοπρασίες NOME επιτρέπουν διμερείς συμφωνίες μεταξύ παραγωγών και διανομέων ηλεκτρικής ενέργειας. Η πρώτη τέτοια δημοπρασία NOME πραγματοποιήθηκε τον Οκτώβριο του 2016 και οι πλειοδότες απορρόφησαν 460 MWh την ώρα, πληρώνοντας το στόχο για το έτος. Η δεύτερη δημοπρασία NOME πραγματοποιήθηκε τον Ιανουάριο του 2017, όταν οι πλειοδότες απορρόφησαν 145 MWh την ώρα. Η τρίτη δημοπρασία ήταν τον Ιούλιο του 2017 και οι πλειοδότες απορρόφησαν πλήρως την προσφερόμενη ποσότητα. Οι δημοπρασίες NOME και ο αυξανόμενος αριθμός συμμετεχόντων στην αγορά αποτελούν θετικό πρώτο σημάδι για την αύξηση της ρευστότητας της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα τιμολόγια λιανικής απελευθερώθηκαν την 1η Σεπτεμβρίου 2013, εξαιρουμένων ορισμένων κατηγοριών ευάλωτων καταναλωτών, όπως ορίζονται από υπουργική απόφαση βασισμένη σε γνωμάτευση της ΡΑΕ. Ωστόσο, οι τιμές λιανικής δεν ανταποκρίνονται πλήρως στις τιμές χονδρικής. Η ΡΑΕ εντείνει την παρακολούθηση της εξέλιξης των τιμών στην αγορά λιανικής. Οι πελάτες δεν έχουν κάνει χρήση της δυνατότητας αλλαγής προμηθευτή με το επίπεδο αλλαγής να είναι μόνο 6%. Η ΡΑΕ έχει εντοπίσει αρκετούς πιθανούς λόγους για αυτή τη γενική αδράνεια λόγω εσφαλμένης αντίληψης σχετικά με πιθανά οικονομικά οφέλη και την πολυπλοκότητα της διαδικασίας αλλαγής. Η πολυπλοκότητα της κατανόησης του λογαριασμού για την ηλεκτρική ενέργεια, συμπεριλαμβανομένων αρκετών στοιχείων που δεν σχετίζονται με την ηλεκτρική ενέργεια, όπως τα δημοτικά τέλη και τα τέλη τηλεόρασης, έχει επίσης αναγνωριστεί ως πιθανός φραγμός στην αλλαγή προμηθευτών.

### 1.3.2 Μη διασυνδεδεμένα Νησιά

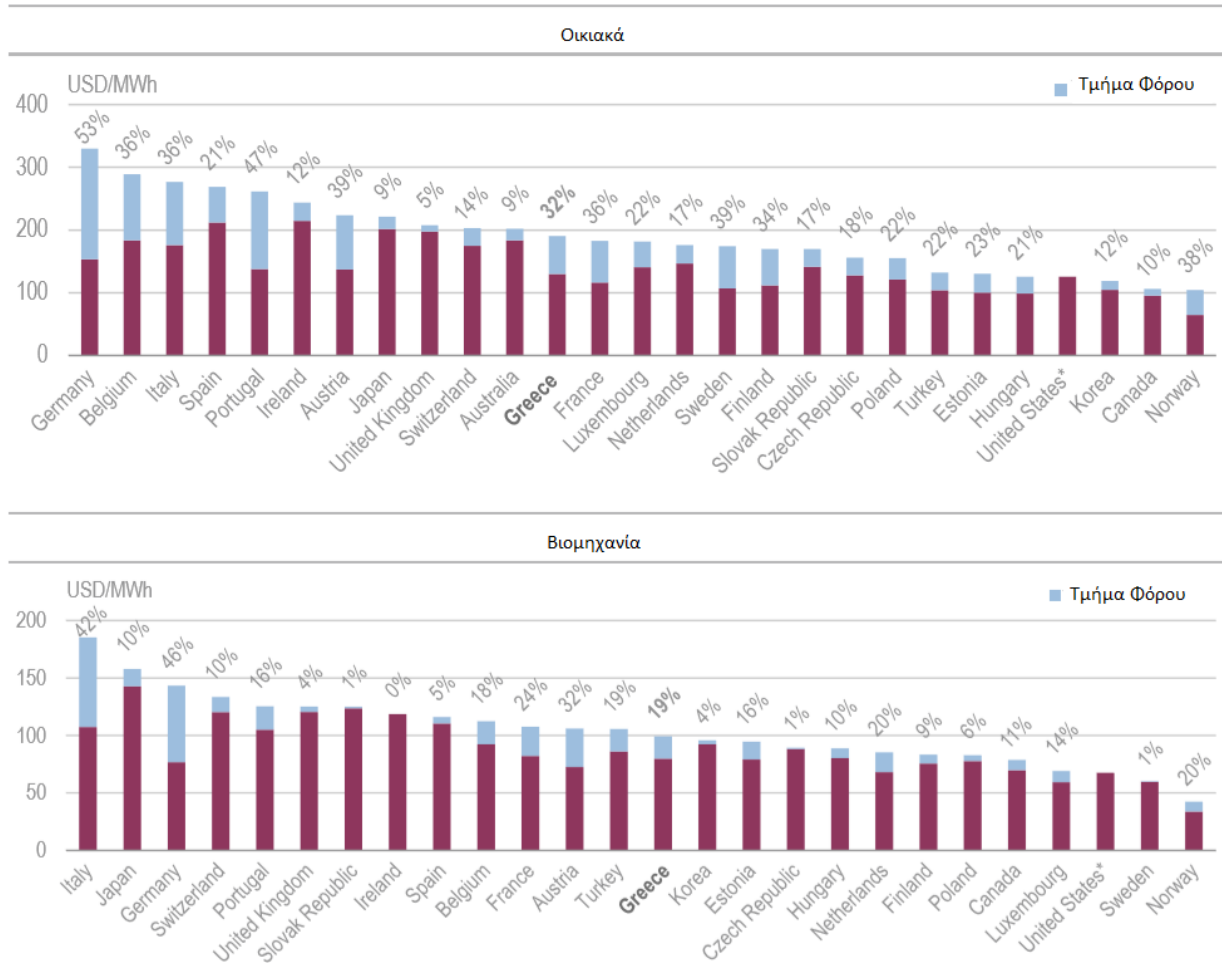
Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά (NIs) είναι μικρά. Τα NIs δεν μπορούν να επωφεληθούν από το πλεονέκτημα κόστους της μεγάλης παραγωγικής ικανότητας και είναι συνήθως εξοπλισμένα με γεννήτριες με καύσιμο ντίζελ, οι οποίες είναι δαπανηρές και μη-φιλικές προς το περιβάλλον. Ωστόσο, τα NIs διαθέτουν άριστες συνθήκες για ηλιακή και αιολική ενέργεια. Η ενσωμάτωση τέτοιων πόρων με βάση τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στα μικρά νησιωτικά συστήματα είναι πολύπλοκη λόγω της μεταβλητότητάς τους και της ανάγκης για εφεδρεία από την ικανότητα αποστολής παραγωγής. Η εγκατεστημένη μεταβλητή χωρητικότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας υπόκειται σε περιορισμούς, προκειμένου να εξασφαλιστεί η συνεχής παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σε NIs. Ωστόσο, το πλαίσιο για τις υβριδικές εγκαταστάσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας επιτρέπει την εκμετάλλευση του τοπικού δυναμικού ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με τρόπο φιλικό προς το σύστημα.

Το ελληνικό ρυθμιστικό σύστημα προβλέπει υποχρέωση παροχής δημόσιας υπηρεσίας (PSO) για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές σε NI με τις ίδιες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας με τους καταναλωτές στην ηπειρωτική χώρα. Οι προμηθευτές του νησιού αποζημιώνονται για τη διαφορά μεταξύ του (υψηλού) κόστους τους και της οριακής τιμής του συστήματος στην ηπειρωτική χώρα μέσω ενός ταμείου που χρηματοδοτείται από εισφορά που επιβάλλεται σε όλους τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας. Το συνολικό κόστος αυτού του PSO κυμαίνεται μεταξύ 500 και 700 εκατ. Ευρώ ετησίως. Η εισφορά ανήλθε σε 65 έως 90 ευρώ ετησίως για τα έτη 2014-16 για κάθε σημείο μέτρησης στο ελληνικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Τα οφέλη από την ενισχυμένη συνδεσιμότητα των NIs με το κύριο δίκτυο θα περιλαμβάνουν το κόστος που αποφεύγεται όσον αφορά την παραγωγή πετρελαίου και τη (μερική) μείωση του PSO για όλους τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας.

### 1.3.3 Τιμολόγηση

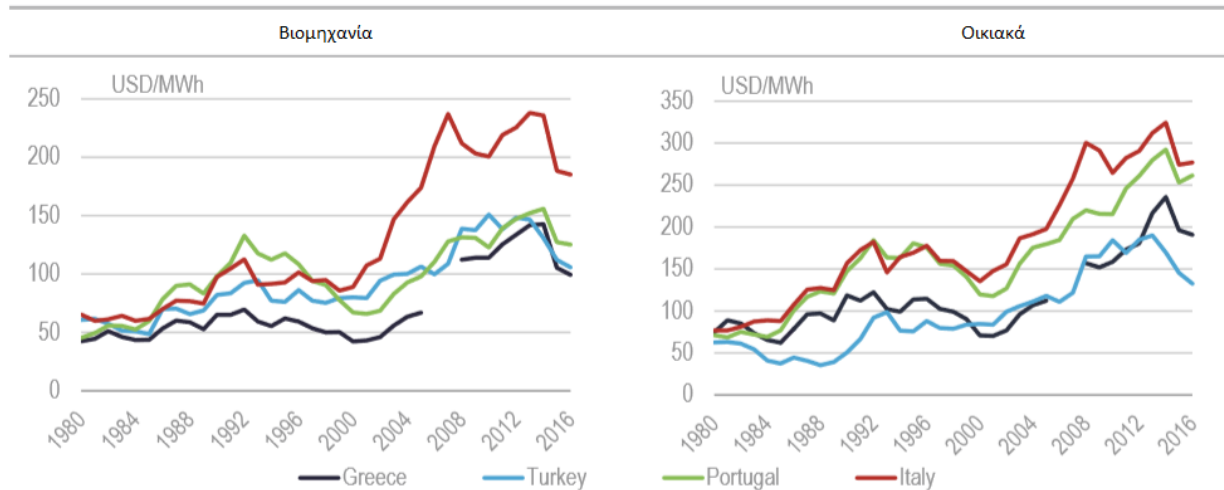
Η Ελλάδα απελευθέρωσε πλήρως τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας από την 1η Ιουλίου 2013, ανάλογα με παράγοντες όπως η προσφορά και η ζήτηση, το κόστος παραγωγής, μετάδοσης και διανομής· και το επίπεδο φορολογίας. Η τιμή ηλεκτρικής ενέργειας για τα νοικοκυριά στην Ελλάδα ήταν 191 USD ανά MWh το 2016, η οποία ήταν γύρω στο διάμεσο των χωρών μελών του IEA (βλ. Σχήμα 8). Το φορολογικό στοιχείο αντιπροσώπευε το 32% της ελληνικής τιμής ηλεκτρικής ενέργειας των νοικοκυριών (συμπεριλαμβανομένων όλων των φόρων, του φόρου προστιθέμενης

αξίας και των εισφορών), το οποίο ήταν σχετικά υψηλό σε σύγκριση με το μέσο όρο του ΔΟΕ κατά 24%. Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας της ελληνικής βιομηχανίας ήταν γύρω στο μέσο όρο των χωρών μελών του IEA, σε USD 99 ανά MWh. Ο φόρος που εισπράττεται από τον λογαριασμό ηλεκτρικού ρεύματος στη βιομηχανία ήταν 19%, ελαφρώς υψηλότερος από τον μέσο όρο του ΔΟΕ κατά 14%.



Σχήμα 8 Τιμές στις χώρες μέλη του ΔΟΕ 2016 [1]

Οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας ακολούθησαν τις ίδιες τάσεις με τις γειτονικές χώρες, με συνολική αύξηση την τελευταία δεκαετία (βλ. Σχήμα 9). Ωστόσο, οι τιμές μειώθηκαν κατά 30% στη βιομηχανία και κατά 19% στα νοικοκυριά από το 2014 έως το 2016.



Σχήμα 9 Τάση τιμών ηλ. ενέργειας στην Ελλάδα και επιλεγμένα μέλη του ΔΟΕ 1980-2016 [1]

Παρά την πλήρη απελευθέρωση των τιμών, η ρύθμιση των τιμών εξακολουθεί να υφίσταται υπό τις PSO. Αυτές περιλαμβάνουν τον επονομαζόμενο προμηθευτή της έσχατης ανάγκης και τον προμηθευτή καθολικής υπηρεσίας. Ο προμηθευτής έσχατης ανάγκης παρέχει μια προσωρινή προμήθεια σε πελάτες που έχασαν τον προηγούμενο προμηθευτή τους για λόγους που δεν ήταν δικό τους λάθος. Οι συμβάσεις αυτές περιορίζονται σε τρεις μήνες. Σύμφωνα με την υποχρέωση παροχής καθολικής υπηρεσίας, τα τιμολόγια που υπόκεινται σε ρύθμιση προσφέρονται σε πελάτες οι οποίοι είτε δεν έχουν επιλέξει έναν δικό τους προμηθευτή είτε δεν είναι σε θέση να συνάψουν νέα σύμβαση λόγω της κακής τους κατάστασης πληρωμών. Το πρόγραμμα PSO περιλαμβάνει τους ευάλωτους καταναλωτές που επωφελούνται από τα κοινωνικά τιμολόγια και τους καταναλωτές στα Nlls. Το κόστος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στα Nlls περιλαμβάνει τους παραγωγούς πετρελαίου υψηλού κόστους (περίπου 150 έως 250 ευρώ ανά MWh), η τιμή των οποίων κυμαίνεται από τις διεθνείς τιμές του αργού πετρελαίου.

Η Ελλάδα εισήγαγε το κοινωνικό τιμολόγιο το 2011 για τις ακόλουθες κατηγορίες ευάλωτων καταναλωτών: 1) οικογένειες με χαμηλό εισόδημα, 2) οικογένειες με τρία ή περισσότερα παιδιά, 3) ανέργους και 4) άτομα που χρειάζονται ιατρική υποστήριξη. Περισσότεροι από 600.000 καταναλωτές ήταν επιλέξιμοι για το τιμολόγιο το 2015. Το τιμολόγιο δίνει έκπτωση περίπου 40% στην ετήσια κατανάλωση μέχρι 5.000 κιλοβατώρες (kWh). Το κόστος της συνιστώσας κατανάλωσης που δεν καταβάλλεται από τον τελωνειακό δικαιούχο κατανέμεται σε όλους τους καταναλωτές μέσω των PSO. Η Ελλάδα εισήγαγε ένα προτιμησιακό τιμολόγιο κοινωνικής αλληλεγγύης το 2014 για να προωθήσει την πρόσβαση σε ηλεκτρική ενέργεια από πιστοποιημένα



μη κερδοσκοπικά ιδρύματα. Επιπλέον, οι καταναλωτές με χαμηλό εισόδημα δικαιούνται να συμμετάσχουν σε πρόγραμμα που εισήχθη το 2015, το οποίο παρέχει δωρεάν επανασύνδεση του εφοδιασμού με ηλεκτρική ενέργεια, δωρεάν κατανάλωση 300 kWh το μήνα και κοινωνική χρηματοδότηση για ενοικίαση σπιτιών. Περίπου 70.000 καταναλωτές συμμετείχαν σε αυτό το πρόγραμμα το 2015.

#### 1.4 Νομοθετική Και Κανονιστική Μεταρρύθμιση Της Αγοράς

Ο νόμος 4001/2011 έθεσε το θεμέλιο για τη συνεχή απελευθέρωση της ελληνικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Ο νόμος ενσωμάτωσε την τρίτη οδηγία της ΕΕ στο εθνικό δίκαιο και προετοίμασε τον λειτουργικό διαχωρισμό του συστήματος μεταφοράς με τη μετάβαση από το μοντέλο του ανεξάρτητου διαχειριστή συστήματος στο μοντέλο του ανεξάρτητου φορέα μετάδοσης (ΙΤΟ). Ο νόμος ενίσχυσε επίσης την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, παρέχοντάς της οικονομική αυτονομία και διακριτή νομική προσωπικότητα.

Η κυβέρνηση εισήγαγε ολοκληρωμένη νέα νομοθεσία το 2011, η οποία εφαρμόστηκε μέσω ρυθμιστικής και δευτερογενούς νομοθεσίας για τη μεταρρύθμιση του τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι βασικές διατάξεις της νέας νομοθεσίας περιλαμβάνουν: την περαιτέρω ενίσχυση της οικονομικής και λειτουργικής ανεξαρτησίας της ΡΑΕ (νόμος 4425/2016), παρέχοντας το πλαίσιο διεξαγωγής δημοπρασιών ΝΟΜΕ για την ενίσχυση του ανταγωνισμού στην αγορά και την ιδιωτικοποίηση του ΙΤΟ (νόμοι 4336/2015, 4389 / 2016 και 4393/2016).

Η Ελλάδα αναδιάρθρωσε την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας το 2012 για την εφαρμογή του μοντέλου ΙΤΟ διαχωρίζοντας τον πρώην ΗΕΤΣΟ στον ανεξάρτητο διαχειριστή μεταφοράς ΙΤΟ (ΑΔΜΙΕ), τον διαχειριστή της αγοράς ΛΑΓΙΕ και τον ΗΕΔΝΟ, τον διαχειριστή του δικτύου διανομής. Η ΗΕΤΣΟ ήταν 100% θυγατρική της ΔΕΗ, της κάθετα ολοκληρωμένης δημόσιας επιχείρησης στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Η ΑΔΜΙΕ δημιουργήθηκε με το διαχωρισμό των στοιχείων φυσικής μετάδοσης από τη ΔΕΗ και τη συγχώνευσή τους με τη δραστηριότητα μεταφοράς της ΗΕΤΣΟ. Η ΑΔΜΙΕ κατέστη νομικά ανεξάρτητη αλλά παρέμεινε 100% θυγατρική της ΔΕΗ και η ΡΑΕ την πιστοποίησε ως ΙΤΟ το 2012. Η ΑΔΜΙΕ κατέχει και εκμεταλλεύεται το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, εκτελεί αποστολή σε πραγματικό χρόνο και εκκαθαρίζει τις ανισορροπίες και τον διακανονισμό όλων των άλλων χρεώσεων ή πληρωμές.

Η ΑΔΜΙΕ ιδιωτικοποιείται (νόμος 4389/2016) σύμφωνα με τις δεσμεύσεις στο πλαίσιο του προγράμματος οικονομικής αναπροσαρμογής σχετικά με τον διαχωρισμό των φορέων δικτύων, προκειμένου να ολοκληρωθεί ο πλήρης διαχωρισμός ιδιοκτησίας από τη ΔΕΗ. Το μετοχικό

κεφάλαιο της ADMIE διαιρέθηκε σε τρία ξεχωριστά μέρη: το 51% μεταβιβάστηκε σε εταιρεία χαρτοφυλακίου (ADMIE Participations S.A.), η οποία είναι εισηγμένη στο Χρηματιστήριο Αθηνών. 25% μεταβιβάστηκε σε εταιρεία ελεγχόμενη από το Ελληνικό Δημόσιο (DES ADMIE S.A.). ενώ το υπόλοιπο 24% πωλήθηκε σε στρατηγικό επενδυτή (κρατικό δίκτυο της Κίνας) με τη σύμβαση που υπεγράφη στα μέσα του 2017.

Η υπόλοιπη δραστηριότητα της HETSO μετονομάστηκε σε ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ (HEDMO) ή LAGIE χρησιμοποιώντας το ελληνικό ακρωνύμιο της, τον φορέα της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Ο LAGIE εκμεταλλεύεται την αγορά ημέρας και συμβάσεων, διαχειρίζεται τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και διαχειρίζεται επίσης τον ειδικό λογαριασμό για ΑΠΕ και ΣΗΘ (ΑΠΕ = ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, CHP = συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού). Ο LAGIE ορίστηκε ως ο διορισμένος διαχειριστής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας το 2015 για να πραγματοποιήσει σύζευξη μίας ημέρας και μιας ημέρας σύμφωνα με το άρθρο 4 του κανονισμού αριθ. 2015/1222. Πρόκειται για κρίσιμα απαραίτητα βήματα προς την κατεύθυνση της εισαγωγής του ενωσιακού μοντέλου στόχου το 2018.

Το τμήμα διανομής της ΔΕΗ άρχισε να διαχωρίζεται σε μια νέα ανεξάρτητη εταιρεία το 2012, που ονομάζεται Χειριστής Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (HEDNO), ο οποίος είναι υπεύθυνος για τη λειτουργία, τη διατήρηση και την ανάπτυξη του δικτύου διανομής. Η HEDNO είναι επίσης ο διαχειριστής συστημάτων και αγορών των Nlls και είναι 100% θυγατρική της ΔΕΗ. Ένας νέος κώδικας δικτύου διανομής εκδόθηκε τον Ιανουάριο του 2017

## 1.5 Σχεδιασμός Αγοράς

Η ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργεί ως υποχρεωτική δεξαμενή στην οποία η προγραμματισμένη ζήτηση και προσφορά (παραγωγή και εισαγωγές) ταιριάζουν μόνο σε μια αγορά μίας ημέρας. Η LAGIE είναι υπεύθυνη για τον προγραμματισμό της ημερήσιας ώρας (DAS) και ρυθμίζει την αγορά ενέργειας για την επόμενη μέρα με βάση την οριακή τιμή του συστήματος, η οποία είναι συγκρίσιμη με την τιμή της ημέρας μπροστά, όπως συνήθως χρησιμοποιείται σε άλλες χώρες της ΕΕ.

Δεν υπάρχει χωριστή αγορά εξισορρόπησης. Αντίθετα, η ADMIE εκκαθαρίζει την ανισορροπία της DAS μέσω ενός μηχανισμού ειδικού διακανονισμού ανισορροπίας στον οποίο οι αποκλίσεις από τη DAS χρεώνονται ή αντισταθμίζονται βάσει της τιμής ανισορροπίας. Η ADMIE είναι επίσης υπεύθυνη για το χρονοδιάγραμμα αποστολής, τις οδηγίες αποστολής σε πραγματικό χρόνο και

τον διακανονισμό όλων των άλλων χρεώσεων ή πληρωμών στο σύστημα. Η διασυνοριακή διαπραγμάτευση δεν βασίζεται στην αποκαλούμενη σύζευξη της αγοράς και η χωρητικότητα δημοπρατείται ξεχωριστά. Η Ελλάδα κινείται προς την κατεύθυνση της σύζευξης της αγοράς με τη Βουλγαρία και την Ιταλία με βάση το μοντέλο στόχο.

Η οριακή τιμή του συστήματος υπολογίζεται από το LAGIE και η τιμή ανισορροπίας που υπολογίζεται από το ADMIE προέρχεται από τον ίδιο αλγόριθμο ελαχιστοποίησης κόστους. Βασίζεται στις δηλωθείσες τιμές που υποβάλλονται από τους παραγωγούς, ενώ η τιμή ανισορροπίας βασίζεται σε πραγματικές μετρημένες τιμές. Η εκ των υστέρων τιμή εκκαθάρισης αντιστοιχεί στην ενιαία τιμή εκκαθάρισης της αγοράς. Ένα ανώτατο όριο τιμών ισχύει στην αγορά χονδρικής πώλησης. Το ανώτατο όριο ήταν 150 ευρώ ανά MWh έως τις 15 Ιουλίου 2016, όταν αυξήθηκε σε 300 ευρώ ανά MWh. Η υποχρεωτική δεξαμενή προσφέρει στους συμμετέχοντες στην αγορά περιορισμένους μόνο βαθμούς ελευθερίας, δεν επιτρέπει διμερείς συμβάσεις και περιορίζει τη μακροπρόθεσμη αντιστάθμιση σε εξωχρηματιστηριακά χρηματοπιστωτικά προϊόντα. Αυτό θα αλλάξει με την εισαγωγή του μοντέλου-στόχου της ΕΕ το 2018.

Η Ελλάδα εισήγαγε έναν μεταβατικό μηχανισμό αποζημίωσης παραγωγικής ικανότητας με ρυθμιζόμενη τιμολόγηση την 1η Μαΐου 2016, η οποία έληξε στις 30 Απριλίου 2017. Οι μονάδες αερίου και υδροηλεκτρικής ενέργειας που πληρούν συγκεκριμένες απαιτήσεις ραψίματος πληρωμές χωρητικότητας για την αντιστάθμιση της διαθεσιμότητας της ευέλικτης παραγωγής. Μπορεί να εισαχθεί ένας μόνιμος μηχανισμός πληρωμής χωρητικότητας, ανάλογα με το αποτέλεσμα της τρέχουσας αξιολόγησης της επάρκειας. Η αυξανόμενη διείσδυση της μεταβλητής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και η αποστολή προτεραιότητας της οδήγησαν στην εκτίμηση της εισαγωγής του μηχανισμού. Στόχος του μηχανισμού αμοιβής για τη μεταφορική ικανότητα είναι η διασφάλιση της διαθεσιμότητας μακροπρόθεσμης δυναμικότητας και η αντιμετώπιση των αποτυχιών της αγοράς.

Η Ελλάδα δεσμεύτηκε να προχωρήσει προς την κατεύθυνση της αγοράς μοντέλου-στόχου της ΕΕ κατά το πρώτο εξάμηνο του 2018 και το κοινοβούλιο της ενέκρινε την απαραίτητη νομοθεσία (4425/2016). Το νέο μοντέλο της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας θα αποτελείται από τέσσερις αγορές (ημερήσιες, ενδοημερήσιες, μελλοντικές και εξισορροπητικές αγορές). Η Ελλάδα ετοιμάζει τους απαραίτητους κωδικούς της αγοράς. Ο νόμος ορίζει επίσης τις ευθύνες της ΡΑΕ και των φορέων της αγοράς για τη διέλευση και την υλοποίηση της νέας αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας για την εφαρμογή της σύζευξης της αγοράς σύμφωνα με το μοντέλο στόχου της ΕΕ.

Στο πλαίσιο της δέσμευσης της Ελλάδας να υιοθετήσει την ευρωπαϊκή αγορά μοντέλου-στόχου, ψηφίστηκε η νομοθεσία το 2016 για τη μεταρρύθμιση της υπάρχουσας δομής της αγοράς προς τέσσερις αγορές χονδρικής. Η Ελλάδα θα εισαγάγει μια προθεσμιακή, ενδοημερήσια και εξισορροπητική αγορά σε μια μεταβατική περίοδο, για να συμπληρώσει την αγορά της ημέρας. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των νέων αγορών είναι τα εξής:

- Μία προθεσμιακή αγορά με φυσική παράδοση που λειτουργεί από την LAGIE. Τα προωθητικά προϊόντα είναι σημαντικά για την αντιστάθμιση των κινδύνων των τιμών και είναι κρίσιμα για τους λιανοπωλητές που επιδιώκουν να επεκτείνουν το χαρτοφυλάκιο των πελατών τους και για τις αποφάσεις για επενδύσεις γεννήτριας. Μειώνουν επίσης (ακόμα και αν εξαλείφονται) τα περιθώρια άσκησης ισχύος στην αγορά.
- Μια νέα αγορά επόμενης ημέρας η οποία θα είναι μια αγορά αποκλειστικά για ενέργεια χωρίς τεχνικοοικονομικούς περιορισμούς και η οποία θα λειτουργεί από το LAGIE.
- Μια ενδοημερήσια αγορά που θα λειτουργεί επίσης από την LAGIE. Οι αγορές εντός της ημέρας επιτρέπουν στους παραγωγούς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας να προσαρμόσουν το χαρτοφυλάκιο τους μέχρι να κλείσουν σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας αποκλίσεις μεταξύ πραγματικής και προγραμματισμένης παραγωγής και μειώνοντας την έκθεση στο κόστος εξισορρόπησης. Αυτό είναι σημαντικό για τους παραγωγούς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τώρα που εκτίθενται ολοένα και περισσότερο στα σήματα της αγοράς, καθώς η πραγματική παραγωγή τους μπορεί να προβλεφθεί μόνο με μεγάλη βεβαιότητα λίγες ώρες πριν από τον πραγματικό χρόνο.
- Μια αγορά εξισορρόπησης που θα λειτουργεί από την ADMIE. Οι αγορές εξισορρόπησης ανταμείβουν την πραγματική έλλειψη ηλεκτρικής ενέργειας και μπορούν να ενθαρρύνουν όλα τα μέρη να παραμείνουν σε ισορροπία, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ανάγκη του διαχειριστή συστήματος μεταφοράς να συνάπτει αποθέματα και να καθιστά τις αγορές εντός της ημέρας πιο υγρές.

Οι αγορές εντός ημέρας και εξισορρόπησης επιτρέπουν επίσης την αμοιβή των ευέλικτων μονάδων σε ένα πλαίσιο αγοράς, βελτιώνουν το επενδυτικό κλίμα αποθήκευσης και υποκινούν τη συμμετοχή της ζήτησης στην αγορά. Αυτό εξασφαλίζει ότι η αγορά παρέχει την ευελιξία του συστήματος που απαιτείται για την αποδοτική ενσωμάτωση των αιολικών και ηλιακών πόρων στο ηλεκτρικό σύστημα. Η θέσπιση απαιτήσεων εξισορρόπησης από τους παραγωγούς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προβλέπεται ήδη από τη νομοθεσία, αλλά έχει ως προϋπόθεση την ύπαρξη υγρής ενδοημερήσιας αγοράς για την εξασφάλιση ίσων ευκαιριών.

Τέλος, η σύνδεση της αγοράς βελτιστοποιεί τη χρήση της δυναμικότητας διασύνδεσης, διευκολύνει την ανάπτυξη υγρών και ανταγωνιστικών εγχώριων αγορών και ενισχύει την ασφάλεια του εφοδιασμού. Η πραγματική εφαρμογή του μοντέλου της αγοράς-στόχου απαιτεί μια ολοκληρωμένη δέσμη κανονισμών και άλλες προπαρασκευαστικές εργασίες, οι οποίες θα πραγματοποιηθούν σε βήματα. Η Ελλάδα βρίσκεται στη διαδικασία προετοιμασίας των απαραίτητων κωδικών της αγοράς.

## 1.6 Μεταφορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η ADMIE είναι ο ιδιοκτήτης και διαχειριστής του ελληνικού συστήματος μεταφοράς ηπειρωτικών περιοχών, το οποίο περιλαμβάνει 11508 χιλιόμετρα (km) γραμμών μεταφοράς και 343 υποσταθμούς. Η ραχοκοκαλιά του συστήματος μετάδοσης αποτελείται από τρεις γραμμές διπλού κυκλώματος 400 kilovolt (kV) που κινούνται σε κατεύθυνση βορρά-νότο και πρόσθετες γραμμές 400 kV μονής κατεύθυνσης που κινούνται σε κατεύθυνση ανατολή-δύση. Το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής βρίσκεται στη βόρεια Ελλάδα κοντά στα ορυχεία λιγνίτη, ενώ το 65% περίπου της συνολικής κατανάλωσης πραγματοποιείται στην κεντρική και νότια Ελλάδα. Ένα δίκτυο 150 kV λειτουργεί παράλληλα με το δίκτυο 400 kV.

Υπάρχουν στην πραγματικότητα δύο συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα: το διασυνδεδεμένο ηπειρωτικό σύστημα και τα συστήματα NII. Η πλειοψηφία των κατοικημένων νησιών υποστηρίζεται μέσω των δικών τους συστημάτων, αν και ορισμένα βρίσκονται κοντά στην ηπειρωτική χώρα έχουν ήδη συνδεθεί με το ηπειρωτικό σύστημα. Ο σχεδιασμός λειτουργίας και επέκτασης των συστημάτων NII είναι ευθύνη του HEDNO.

Ένα φιλόδοξο μέρος του σχεδίου επέκτασης του δικτύου ADMIE είναι η διασύνδεση ορισμένων νησιών του Αιγαίου με το ηπειρωτικό σύστημα. Αυτές οι διασυνδέσεις θεωρούνται βασική προτεραιότητα. Θα διευκολύνουν τον υψηλό δυναμικό ρυθμό αύξησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα ΝΙΠ και θα έχουν θετικό αντίκτυπο στο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, επειδή τα απομονωμένα συστήματα βασίζονται στις γεννήτριες ντίζελ.

### 1.6.1 Διασυνδέσεις Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η Ελλάδα συνδέεται με πέντε γειτονικές χώρες. Το ελληνικό σύστημα συνδέεται με την Αλβανία, την Πρώην Γιουγκοσλαβική Δημοκρατία της Μακεδονίας, τη Βουλγαρία και την Τουρκία μέσω πέντε γραμμών εναλλασσόμενου ρεύματος 400 kV και έχει ασύγχρονη σύνδεση συνεχούς

ρεύματος με υποβρύχιο καλώδιο 400 kV με την Ιταλία. Επιπλέον, υπάρχει σύνδεση εναλλασσόμενου ρεύματος 150 kV με την Αλβανία. Οι διασυνδέσεις χρησιμοποιούνται κυρίως για την εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αν και η Ελλάδα εξάγει επίσης ηλεκτρική ενέργεια στην Αλβανία (βλ. Πίνακα 2)

Πίνακας 2 Καθαρή ικανότητα μεταφοράς (MW) [5]

Γείτονα χώρα	Καθαρή χωρητικότητα μεταφοράς προς	Καθαρή χωρητικότητα μεταφοράς από
Αλβανία	250	250
Βουλγαρία	400	700
ΠΓΔΜ	350	450
Τουρκία	216	166
Ιταλία	500	500

### 1.6.2 Διανομή

Το δίκτυο διανομής αποτελείται από 237 390 χιλιόμετρα γραμμές μέσης και χαμηλής τάσης και 945 χιλιόμετρα γραμμές υψηλής τάσης και 225 υποσταθμούς υψηλής / μέσης τάσης και 161 900 μέσης / χαμηλής τάσης. Είναι ιδιοκτησία και λειτουργεί από την HEDNO, 100% θυγατρική της ΔΕΗ. Η HEDNO εξυπηρετεί 7.4 εκατομμύρια πελάτες σε ολόκληρη την Ελλάδα, συμπεριλαμβανομένων των NII, όπου λειτουργούν 32 ηλεκτρικά συστήματα αποτελούμενα από 31 απομονωμένα μικροσυστήματα και ένα μικρό απομονωμένο σύστημα στην Κρήτη με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 2 328 MW.

Ο νέος κώδικας δικτύου διανομής περιγράφει μια μεθοδολογία για τον υπολογισμό των επιτρεπόμενων εσόδων διανομής. Ο κώδικας λειτουργίας για το NII εγκρίθηκε το 2014, συμπληρώνοντας τη δευτερογενή νομοθεσία για την προετοιμασία για την εισαγωγή του ανοίγματος της αγοράς για την παραγωγή και την προμήθεια στις NIIs.

Η Ελλάδα παρέλαβε παρέκκλιση από τις διατάξεις του άρθρου 7 της οδηγίας 2009/72 / ΕΚ για τα NIIs, σύμφωνα με τις οποίες οι άδειες ανακαίνισης, αναβάθμισης και επέκτασης της υπάρχουσας

συμβατικής χωρητικότητας σε πολύ μικρά απομονωμένα συστήματα μπορούν να χορηγηθούν απευθείας στη ΔΕΗ. Η παρέκκλιση αυτή ισχύει μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2021 και δεν ισχύει για τη νέα παραγωγική ικανότητα.

Επιπλέον, η Ελλάδα παρέλαβε παρέκκλιση από τις διατάξεις του άρθρου 33 της οδηγίας 2009/72 / ΕΚ για διάστημα έως πέντε έτη μετά την έγκριση του κώδικα ΝII ή έως ότου τεθεί σε ισχύ η απαραίτητη υποδομή για το άνοιγμα της αγοράς. Οι λιανικές αγορές για τα νησιά Κρήτη και Ρόδο είναι ήδη ανοιχτές και οι πελάτες είναι ελεύθεροι να επιλέξουν τον προμηθευτή τους. Ως εκ τούτου, η παρέκκλιση δεν εφαρμόζεται εκεί.



Σχήμα 10 Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας [5]

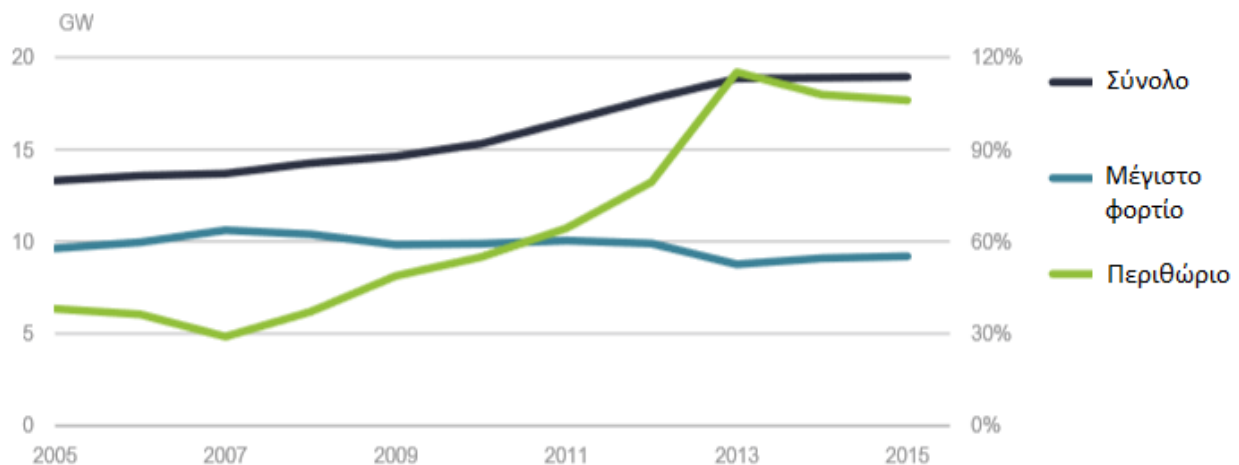


## 1.7 Ασφάλεια Παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η επάρκεια σε αυτό το πλαίσιο αναφέρεται στην ικανότητα ενός συστήματος ηλεκτροπαραγωγής να ανταποκρίνεται στις αλλαγές στις απαιτήσεις συνολικής ισχύος σήμερα και με την πάροδο του χρόνου, μέσω έγκαιρων και ευέλικτων επενδύσεων και επιχειρησιακών και τελικών απαντήσεων

### 1.7.1 Παραγωγή και Επάρκεια Καυσίμων

Κατά την περίοδο 2005-13, τα περιθώρια εφεδρικής δυναμικότητας βελτιώθηκαν στην Ελλάδα, με νέες επενδύσεις να γίνονται σε απευθείας σύνδεση, κυρίως από φυσικό αέριο και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ωθώντας το περιθώριο εφεδρικής δυναμικότητας πάνω από 100%. Ωστόσο, από το 2013, τα περιθώρια έχουν μειωθεί και πάλι, ενώ η αιχμή της ζήτησης και η εγκατεστημένη ισχύς παρέμειναν σταθερές (βλ. Σχήμα 11).



Σχήμα 11 Περιθώριο στην παραγωγή ηλ. ενέργειας 2005-2015 [1]

Η Ελλάδα ακολουθεί ένα συνδυασμό μέτρων προσφοράς και ζήτησης τα τελευταία χρόνια, για να βελτιώσει την ασφάλεια του εφοδιασμού εφαρμόζοντας ένα πρόγραμμα αμοιβής για την παραγωγική ικανότητα, το οποίο έχει επιφέρει επενδύσεις σε φυσικό αέριο. Η ΡΑΕ αναθεωρεί αυτόν τον μεταβατικό μηχανισμό αμοιβής ευελιξίας ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ΔΕΗ ανακοίνωσε ένα μεγάλο πρόγραμμα παροπλισμού, το οποίο θα αποσυρθεί γύρω στο 55% των μονάδων λιγνίτη μέχρι το 2030, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της ΕΕ για την ατμοσφαιρική ρύπανση (Ολοκληρωμένη Οδηγία Εκπομπών, 2010/75 / ΕΕ). Η ασφάλεια του εφοδιασμού με

ηλεκτρισμό δεν μπορεί να εξασφαλιστεί πέραν της περιόδου 2020-21, ιδίως σε περιπτώσεις ακραίων καιρικών συνθηκών λόγω της συνδυασμένης αποχώρησης περίπου 3 000 MW παλαιών λιγνιτικών φυτών (Kardia και Amydeo) (ENTSO-E, 2016).

Η νέα μονάδα λιγνίτη Ptolemaida (620 MW) αναμένεται να τεθεί σε λειτουργία το 2022 και μια σειρά νέων υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων και ενός νέου εργοστασίου αεριοστροβίλου συνδυασμένου κύκλου ισχύος 810 MW στη Μεγαλόπολη αναμένεται να εξισορροπήσουν την προσφορά και τη ζήτηση. Ωστόσο, οι μακροπρόθεσμες προβλέψεις προσφοράς και ζήτησης και τα ζητήματα επάρκειας πέραν του 2023 είναι προκλητικές. Μπορεί να απαιτούν προσαρμογές, δεδομένων των αβεβαιοτήτων σχετικά με τη μελλοντική οικονομική ανάπτυξη και τις επενδυτικές αποφάσεις. Η ADMIE αναμένει ότι η ελληνική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας θα αυξηθεί στο επίπεδο πριν από την κρίση (2008) μετά το 2020.

Το μέγιστο φορτίο έχει μετατοπιστεί από το μεσημέρι μέχρι το αργά το απόγευμα τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω της αυξημένης διείσδυσης των ηλιακών φωτοβολταϊκών τα τελευταία χρόνια. Η αυξημένη χρήση ηλεκτρικής θέρμανσης έχει μετατοπίσει τις ετήσιες κορυφές στη χειμερινή περίοδο.

Η ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας έχει περιορισμένη ευελιξία. Η Ελλάδα διαθέτει περίπου 3,3 γιγαβάτ υδροηλεκτρικών σταθμών που μπορούν να προσφέρουν ευελιξία και όλα ανήκουν στη ΔΕΗ. Οι λίγοι μεγάλοι βιομηχανικοί χρήστες δεν συμμετέχουν στην ελληνική αγορά χονδρικής πώλησης, καθώς δεν υπάρχει ακόμα αγορά εξισορρόπησης, περιορίζοντας έτσι την ευελιξία. Ωστόσο, υπάρχει ένα σύστημα διακοπτόμενων συμβάσεων για μεγάλους καταναλωτές. Η παροχή ευελιξίας θα καταστεί σημαντική λόγω του αυξανόμενου μεριδίου των μεταβλητών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ιδίως της αιολικής ενέργειας.

Ο ελληνικός τομέας ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργεί μηχανισμό διακοπτόμενων συμβάσεων που λήγει στα τέλη του 2017. Στο πλαίσιο αυτού του μηχανισμού, ορισμένοι πελάτες που βρίσκονται στο διασυνδεδεμένο σύστημα συνάπτουν συμβάσεις με την ADMIE για να μειώσουν την κατανάλωσή τους για δεδομένο χρονικό διάστημα και εντός προ- συμφωνηθείσα ώρα ειδοποίησης. Αυτοί οι πελάτες αποζημιώνονται για τη μείωση της ζήτησης. Κάθε σύμβαση πρέπει να παρέχει τουλάχιστον 3 MW διακοπτόμενου φορτίου. Ένα μέγιστο 1 000 MW ετήσιου διακοπτόμενου φορτίου δημοπρατείται από την ADMIE. Αυτός ο μηχανισμός πρόκειται να επεκταθεί και θα διαχειριστεί και η ADMIE.

Η κρίση του φυσικού αερίου το χειμώνα στις αρχές του 2017 έδειξε τη δυνητική επίδραση των ελλείψεων αερίου στην ασφάλεια του εφοδιασμού με ηλεκτρισμό. Οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα παρέμειναν χαμηλές κατά την κρίση εφοδιασμού με φυσικό αέριο, καθώς οι υψηλότερες τιμές του φυσικού αερίου δεν είχαν ως αποτέλεσμα υψηλότερες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας. Οι εξαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας από φυσικό αέριο από την Ελλάδα αυξήθηκαν επειδή οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκαν στην Τουρκία και την Ευρωπαϊκή Ένωση λόγω του κρύου καιρού, επιδεινώνοντας περαιτέρω την κρίση του φυσικού αερίου. Οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα δεν ανταποκρίθηκαν πλήρως λόγω της διατήρησης των ρυθμιζόμενων τιμών, συμπεριλαμβανομένου του χαμηλού ανώτατου ορίου χονδρικής πώλησης. Η πρόσφατη αύξηση του ανώτατου ορίου στην αγορά χονδρικής πώλησης από 150 σε 300 ευρώ ανά MWh αναμένεται να παράσχει κίνητρα στους παραγωγούς και στην απάντηση στην πλευρά της ζήτησης.

### 1.7.2 Καταλληλότητα Δικτύου

Η ADMIE ετοιμάζει ετησίως ένα δεκαετές σχέδιο ανάπτυξης δικτύου το οποίο περιλαμβάνει όλα τα έργα ανάπτυξης δικτύων που καλύπτουν την επόμενη δεκαετία για το ελληνικό διασυνδεδεμένο σύστημα και για τη διασύνδεση Nlls με το ηπειρωτικό σύστημα. Το τελικό σχέδιο εγκρίνεται από τη ΡΑΕ μετά από δημόσια διαβούλευση. Βασικές εκτιμήσεις για το αναπτυξιακό σχέδιο είναι η ασφάλεια του εφοδιασμού, η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η αύξηση των ικανοτήτων μεταφοράς με τις γειτονικές χώρες προς τη σύζευξη της αγοράς.

Ένα φιλόδοξο μέρος του σχεδίου επέκτασης του δικτύου ADMIE είναι η διασύνδεση ορισμένων νησιών του Αιγαίου με το ηπειρωτικό σύστημα. Αυτές οι διασυνδέσεις θεωρούνται βασική προτεραιότητα, διότι θα διευκολύνουν την ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα ΝΙΠ και θα έχουν θετικό αντίκτυπο στο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η εσωτερική διασύνδεση μερικών από τα βόρεια κυκλαδικά νησιά βρίσκεται υπό κατασκευή και προγραμματίζεται να τεθεί σε λειτουργία σε τρία στάδια μέχρι τα τέλη του 2017, 2019 και 2022. Η πρώτη φάση θα συνδέσει τη Σύρο με την ηπειρωτική χώρα και θα δημιουργήσει ακτινικές διασυνδέσεις της Πάρου και τη Μύκονο με τη Σύρο. η δεύτερη φάση θα συνδέσει τη Νάξο με την Πάρο και τη Σύρο. και η τρίτη φάση θα δημιουργήσει μια δεύτερη σύνδεση μεταξύ της Σύρου και του ηπειρωτικού συστήματος. Το έργο αυτό θεωρείται κρίσιμο για τους ακόλουθους δύο πυλώνες της ενεργειακής πολιτικής της κυβέρνησης: ενίσχυση της ασφάλειας του εφοδιασμού με ηλεκτρική ενέργεια και υποστήριξη της ανάπτυξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, έτσι ώστε η Ελλάδα να μπορέσει να επιτύχει τους στόχους της για την ανανεώσιμη ενέργεια και την μείωση των αερίων

θερμοκηπίου. Τα κυκλαδικά νησιά έχουν μεγάλο αιολικό δυναμικό, μεγάλο μέρος του οποίου δεν έχει ακόμη αξιοποιηθεί.

Η διασύνδεση με την Κρήτη βρίσκεται ακόμη στο στάδιο του σχεδιασμού και αναμένεται να υλοποιηθεί σε δύο φάσεις (2020 και 2024), με δύο ξεχωριστές συνδέσεις να κατασκευάζονται. Ωστόσο, η χρηματοδότηση αυτού του σημαντικού σχεδίου δεν έχει ακόμη εξασφαλιστεί.

Η Ελλάδα ενισχύει ενεργά τις διασυνδέσεις της με τις γειτονικές χώρες. Η τελευταία διασύνδεση είναι η γραμμή 400 kV με την Τουρκία που τέθηκε σε λειτουργία το 2015. Επιδιώκονται σχέδια για επέκταση της δυναμικότητας της σύνδεσης με την Τουρκία καθώς και σχέδια για μια δεύτερη διασύνδεση με τη Βουλγαρία, η οποία έλαβε έργο κοινού ενδιαφέροντος από το Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Η ADMIE επιδιώκει τη δεύτερη διασύνδεση με τη Βουλγαρία η οποία προβλέπεται να τεθεί σε λειτουργία έως το 2021, με στόχο την ολοκλήρωση της περιφερειακής αγοράς και την ενίσχυση της ασφάλειας του εφοδιασμού

## 1.8 Συμπεράσματα

Η Ελλάδα διέρχεται ένα ολοκληρωμένο και εντυπωσιακό πρόγραμμα μεταρρυθμίσεων που τελικά θα οδηγήσει σε ανταγωνιστικές τιμές για την ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και θα δημιουργήσει ένα επίπεδο ρυθμιστικής ωρίμανσης στον κλάδο που θα είναι ελκυστικό για τους επενδυτές.

Η Ελλάδα διοργανώνει την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας γύρω από ένα υποχρεωτικό σύστημα συγκέντρωσης με εκκαθάριση εκ των υστέρων. Το σημερινό σύστημα υποχρεωτικής συγκέντρωσης δεν παρέχει μηνύματα τιμών για προϊόντα εντός της ημέρας ή για προθεσμιακές αγορές, ούτε προβλέπει χωριστή αγορά εξισορρόπησης. Ωστόσο, η Ελλάδα θα προχωρήσει στη μεταρρύθμιση της αγοράς χονδρικής πώλησης (μοντέλο-στόχο) το 2018. Προβλέπονται τέσσερις αγορές (προς τα εμπρός, την ημέρα, την ημέρα και την εξισορρόπηση), σύμφωνα με τις διατάξεις του υποδείγματος-στόχου. Η εισαγωγή αυτού του μοντέλου στόχου της ΕΕ έχει τις δυνατότητες για πιο αποδοτικές αγορές, όπου οι κίνδυνοι μπορούν να αντισταθμιστούν καλύτερα και ευνοούν τον ανταγωνισμό στις αγορές χονδρικής και λιανικής.

Η Ελλάδα λειτουργεί ηλεκτρικά συστήματα σε ορισμένα νησιά που δεν είναι διασυνδεδεμένα με το κύριο ελληνικό διασυνδεδεμένο σύστημα. Η ενσωμάτωση των μεταβλητών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι λιγότερο πολύπλοκη και οικονομικότερη σε ένα μεγαλύτερο ηλεκτρικό σύστημα. Η ενσωμάτωση των NII στο ηπειρωτικό σύστημα αποτελεί επομένως προτεραιότητα

εδώ και πολλά χρόνια. Ωστόσο, μόνο μερικά έργα έχουν εξασφαλίσει χρηματοδότηση. Η αύξηση των τελών δικτύου, λόγω της διασύνδεσης των νησιών, ισορροπημένη με την αντίστοιχη μείωση της εισφοράς PSO, θα μπορούσε να συμβάλει στην μερική χρηματοδότηση της κατασκευής των διασυνδέσεων. Η σκοπιμότητα της διασύνδεσης των NIs μπορεί να βελτιωθεί με την εξασφάλιση της ανάπτυξης από την ADMIE ή τους εμπορικούς επενδυτές.

Η Ελλάδα έχει σημειώσει αξιόπαινη πρόοδο όσον αφορά τη θέσπιση ενός κανονιστικού πλαισίου για την παροχή παραγωγικής ικανότητας και το άνοιγμα των αγορών λιανικής πώλησης στις εθνικές αγορές. Τα καλά ποσοστά εναλλαγής των καταναλωτών στην Κρήτη και τη Ρόδο καταδεικνύουν ότι αυτές οι μεταρρυθμίσεις αποδίδουν καρπούς.

Η Ελλάδα έχει περιορισμένη ευελιξία από την υδροηλεκτρική ενέργεια και την ανταπόκριση στη ζήτηση, αλλά έχει τεθεί σε εφαρμογή ένα προσωρινό πρόγραμμα διακοπτότητας το οποίο λήγει στα τέλη του 2017. Η Ελλάδα πρέπει να επιδείξει τη δέσμευσή της για ένα σταθερό κανονιστικό πλαίσιο ελκυστικό για τους επενδυτές εξασφαλίζοντας την έγκαιρη παράταση και, , τη βελτιστοποίηση του προγράμματος πληρωμής χωρητικότητας (βάσει αξιολόγησης επάρκειας του συστήματος). Ο στόχος θα πρέπει να είναι η ενσωμάτωση της ανταπόκρισης στη ζήτηση στις βραχυπρόθεσμες αγορές (εξισορρόπηση και ενδοημερήσια) κατά τη θέση σε ισχύ του μοντέλου στόχου.

Η συμμετοχή στην αγορά της πλευράς ζήτησης είναι σημαντική για την αύξηση της ασφάλειας του εφοδιασμού, όπως αποδεικνύεται από την κρίση φυσικού αερίου / ηλεκτρισμού που γνώρισε η Ελλάδα το χειμώνα του 2016/17. Η απόκριση ζήτησης αποτελεί σημαντική πηγή ευελιξίας του συστήματος εάν η ενεργοποίησή της καθοδηγείται από σήματα τιμών σε μια αγορά που έχει σχεδιαστεί ώστε να επιτρέπει στις τιμές να αντικατοπτρίζουν την πραγματική αξία των προμηθειών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου όταν είναι σπάνιες.

Η μείζονα πρόκληση μεσοπρόθεσμα μέχρι το 2025 είναι η αποχώρηση παλαιών λιγνιτικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, σύμφωνα με τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις της ΕΕ, καθώς και η αναμενόμενη αντικατάστασή τους με αρκετά νέα έργα, συμπεριλαμβανομένων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με φυσικό αέριο, νέων λιγνιτικών μονάδων και υδροηλεκτρικής αποθήκευσης. Η παραγωγή λιγνίτη θεωρείται σημαντική για την ενεργειακή ασφάλεια της χώρας, καθώς ο λιγνίτης είναι ο μόνος εγχώριος πόρος ορυκτών καυσίμων στην Ελλάδα. Επιπλέον, ο τομέας του άνθρακα έχει κοινωνικούς παράγοντες όπως η απασχόληση, που μπορεί να είναι ένα βασικό μέσο από οικονομική άποψη. Ορισμένοι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα θα μπορούσαν να επενδύσουν στον εκσυγχρονισμό και την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης,

πράγμα που θα απαιτούσε μεγάλες επενδύσεις επειδή συνδέονται με ανθρακωρυχεία. Μια εκτίμηση της προοπτικής προσφοράς-ζήτησης του 2030 θα πρέπει να πραγματοποιηθεί όταν οι οικονομικές προβλέψεις είναι σαφέστερες. αυτό θα πρέπει να περιλαμβάνει τις συνεισφορές από εισαγωγές, υδροηλεκτρικούς σταθμούς και ανταπόκριση στη ζήτηση.

Οι καλά λειτουργούσες ρευστές αγορές χρειάζονται ενδιαφερόμενους και ευαισθητοποιημένους πελάτες που μπορούν να έχουν πρόσβαση και να αξιολογήσουν τις πληροφορίες της αγοράς. Εξακολουθούν να υπάρχουν μεγάλα ποσοστά πελατών, οι οποίοι απελευθερώνονται, αν και η Ελλάδα έχει επιτύχει σε αυτό το θέμα.

Η Ελλάδα έχει σημειώσει πρόοδο προς τις τιμές που αντικατοπτρίζουν το κόστος, αν και οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνουν χρεώσεις για κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς σκοπούς. Οι λογαριασμοί ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνουν επίσης χρεώσεις που δεν σχετίζονται με την ενέργεια και που μπορούν να προκαλέσουν σύγχυση στους πελάτες.

Η ρευστότητα της αλυσίδας εφοδιασμού με μετρητά μπορεί να βελτιωθεί εξαλείφοντας τις υπερβολικές χρεώσεις στον λογαριασμό ηλεκτρικής ενέργειας, για παράδειγμα, άλλοι φόροι και τέλη που δεν σχετίζονται με την ηλεκτρική ενέργεια (π.χ. τηλεοπτικές αμοιβές ή φόροι τοπικής αυτοδιοίκησης).

Οι τάσεις της χονδρικής αγοράς δεν αντανακλώνται δεόντως στις τιμές λιανικής, παρόλο που η λιανική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας άνοιξε το 2007 και οι τιμές των τελικών χρηστών ελευθερώθηκαν από την 1η Ιουλίου 2013. Οι χαμηλές τιμές ενέργειας αποτελούν την ιδανική ευκαιρία για να ξεκινήσει η διαδικασία εφαρμογής του κόστους που αντικατοπτρίζει το κόστος λιανικής τιμές, εάν η σύγκλιση των τιμών είναι εφικτή.

Οι εναλλακτικοί προμηθευτές έχουν αρχίσει να προσφέρουν και να διαφημίζουν ανταγωνιστικά και καινοτόμα τιμολόγια. Αυτά τα κίνητρα μπορούν να διευκολύνουν την πρόσβαση των καταναλωτών σε πληροφορίες σχετικά με τη δική τους κατανάλωση και να στείλουν μηνύματα τιμών που θα μπορούσαν να αποτελέσουν πολύτιμες πληροφορίες για βιώσιμη και αποδοτική χρήση ενέργειας. Η δημιουργία ενός εποπτευόμενου προγράμματος σύγκρισης τιμών που είναι εύκολα προσβάσιμο (π.χ. ένα ηλεκτρονικό σύστημα) μπορεί να ενισχύσει τον ανταγωνισμό και να βοηθήσει να γίνει μια ενημερωμένη επιλογή για πιθανή αλλαγή. Ως εκ τούτου, οι πρωτοβουλίες δημιουργίας εποπτευόμενων ιστοτόπων σύγκρισης τιμών ενδέχεται να είναι κατάλληλες για την προώθηση της πρόσβασης σε πληροφορίες σχετικά με συγκρίσιμες τιμές και τη διαδικασία αλλαγής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> Συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ατμό

Ο άνθρακας είναι το πιο άφθονο ορυκτό καύσιμο στον κόσμο, που είναι σχετικά φθηνή πηγή ενέργειας, ωστόσο παράγει σχετικά υψηλά επίπεδα ρύπανσης. Το 2009, σχεδόν το 40% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο προερχόταν από την καύση άνθρακα.

Από τον αριθμό των εργοστασίων ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα, ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής με κονιορτοποιημένο άνθρακα (PC) είναι ο πλέον χρησιμοποιούμενος σε εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε ολόκληρο τον πλανήτη. Οι άλλες επιλογές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από άνθρακα είναι:

- Καύση κυκλοφορούσας ρευστοποιημένης κλίνης (CFBD)
- Καύση υπό πίεση ρευστοποιημένης κλίνης (PFBC)
- Ολοκληρωμένος Συνδυασμένος Κύκλος Αεριοποίησης (IGCC)

Ωστόσο, ο σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με κονιορτοποιημένο άνθρακα (PC) έχει την υψηλότερη αξιοπιστία και εμπορική ευελιξία για υψηλή παραγωγική ικανότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Το 2004, ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής (PC) αντιπροσώπευε το 99% της συνολικής ηλεκτρικής παραγωγής άνθρακα.

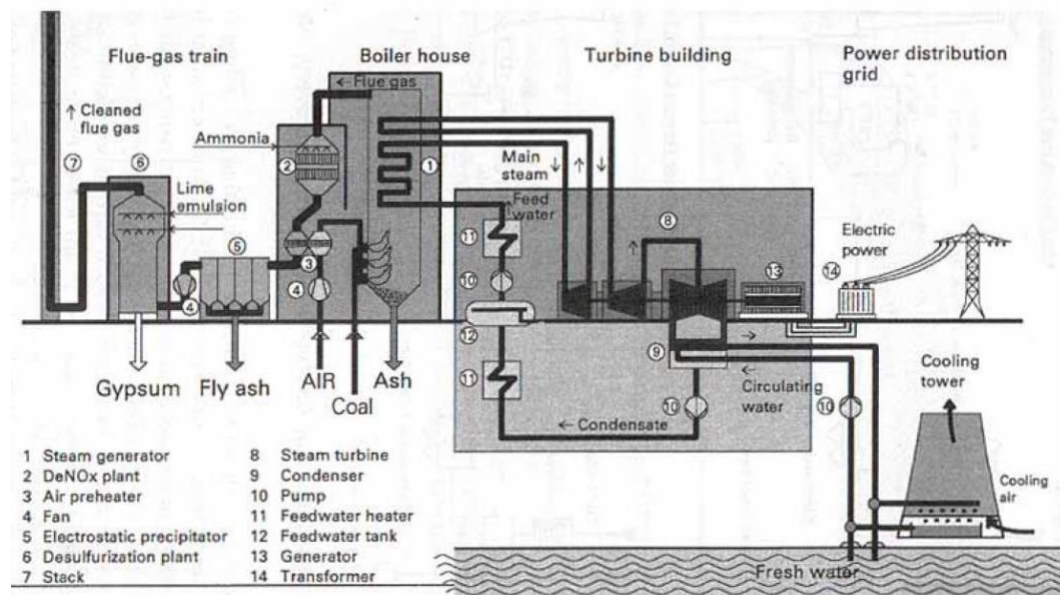
Διαφορετικοί τύποι σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με Η / Υ μπορούν να διακριθούν κυρίως μέσω των βελτιώσεων που εμφανίστηκαν κατά τη διάρκεια των ετών. Η σύγκριση των τύπων παρουσιάζεται στον πίνακα 3.

Πίνακας 3 Κατηγορίες Ατμοηλεκτρικών μονάδων [6]

Κατηγορία	Μονάδα	Υποκρίσιμη	Υπερκρίσιμη	Εξελιγμένη υπερκρίσιμη	Υπέρ - υπερκρίσιμη (USC)
Πίεση ατμού	MPa	16.5	>22.1	27.5 - 30	>30
Θερμοκρασία ατμού	°C	540	540 - 560	560 - 600	>600
Θερμοκρασία αναθέρμανσης	°C	No reheat	560	580	>600
Μονή αναθέρμανση	°C	Όχι	Ναι	Ναι	Όχι
Διπλή αναθέρμανση	-	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι
Απόδοση παραγωγής	%	38	41	44	>46

Μια σχηματική απεικόνιση μιας μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από κονιορτοποιημένο άνθρακα φαίνεται στην εικόνα 1. Σε αυτό το σχήμα, παρουσιάζεται ολόκληρη η αλληλεπίδραση

του συστήματος, από τα συστήματα παραγωγής ατμού και κύκλου ατμού στο δίκτυο διανομής ενέργειας.



Εικόνα 1 Μονάδα ατμοπαραγωγής με καύση άνθρακα

## 2.1 Παραγωγή ατμού και κύκλος ατμού

Το σχήμα ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής με χρήση κονιοποιημένου άνθρακα παρουσιάστηκε στην εικόνα 1. Ο βασικός εξοπλισμός για την παραγωγή ατμού είναι ο λέβητας, όπου ο άνθρακας καίγεται με αέρα, για να θερμαίνει και να εξατμίσει το νερό για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια στον κύκλο του ατμού.

Στο εσωτερικό του λέβητα υπάρχει έλεγχος των οξειδίων του αζώτου (NOx) όπως το διοξείδιο του αζώτου και το διοξείδιο του αζώτου που παράγονται κατά την καύση. Αυτός ο έλεγχος γίνεται με μια εκλεκτική καταλυτική μείωση (SCR) μειώνοντας τη συγκέντρωση των NOx στα όρια που επιβάλλει η νομοθεσία. Χρησιμοποιεί την αμμωνία για να αντιδράσει με τα NOx παρουσία καταλύτη και να παράγει νερό και άζωτο. Ένας θερμαντήρας αέρα μπορεί επίσης να βρεθεί στο σχέδιο του λέβητα, όπου ο αέρας ενσωματώνεται με τα καυτά καυσαέρια για να επωφεληθεί από τη θερμότητα που είναι ακόμα διαθέσιμη.



Η απομάκρυνση σωματιδίων από την τέφρα ή τα σωματίδια γίνεται σε ένα φίλτρο ή ηλεκτροστατικό καθίζημα (ESP). Η απομάκρυνση της τέφρας ακολουθείται από την απομάκρυνση του θείου που γίνεται στη μονάδα αποθείωσης καυσαερίων (FGD), χρησιμοποιώντας ασβεστόλιθο για να αντιδράσει με την περιεκτικότητα σε θείο των καυσαερίων και παράγοντας ένα υποπροϊόν που είναι γύψος.

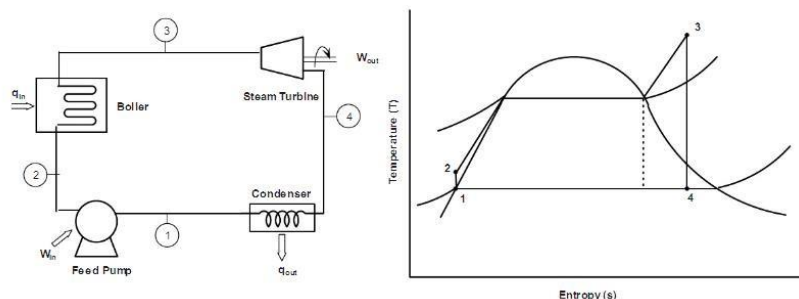
Μετά από αυτές τις διαδικασίες καθαρισμού για τον έλεγχο των εκπομπών ρύπων, τα καυσαέρια πηγαίνουν στη καπνοδόχο όπου διασκορπίζονται στην ατμόσφαιρα

Η παραγωγή ενέργειας αφορά στη μετατροπή ενός τύπου ενέργειας σε μια άλλη, για παράδειγμα η βενζίνη πρώτα καίγεται μετατρέποντας τη χημική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια για να κινηθούν τα αυτοκίνητα. Ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής συνεπάγεται τη διατήρηση της θερμικής ενέργειας σε μια θερμοδυναμική διαδικασία. Όταν μια μορφή ενέργειας μετατρέπεται σε άλλη, η συνολική ποσότητα ενέργειας παραμένει σταθερή.

Οι κύκλοι ατμού των εργοστασίων προσπαθούν να επωφεληθούν από αυτήν την αρχή για να παράγουν ενέργεια όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά, χρησιμοποιώντας τη θερμοδυναμική. Ένας θερμοδυναμικός κύκλος είναι μια σειρά θερμοδυναμικών διεργασιών στο τέλος των οποίων το σύστημα επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση.

Ο κύκλος Rankine ή κύκλος ισχύος ατμού, επειδή το υγρό εργασίας αλλάζει φάση από υγρό σε ατμό μέσα στο σύστημα, δίνει μια καλύτερη περιγραφή μιας μονάδας παραγωγής ενέργειας.

Ένα σχήμα του κύκλου Rankine στην εικόνα 2 βοηθά στην κατανόηση της θερμοδυναμικής του συστήματος.



Εικόνα 2 Ο τυπικός κύκλος Rankine

- Διαδικασία 1 έως 2: Η αντλία πιέζει το ρευστό εργασίας, με αύξηση της θερμοκρασίας σε αυτό το ισότροπο βήμα, η αντλία απαιτεί εξωτερική ισχύ.

- Διαδικασία 2 έως 3: Ο λέβητας το νερό σε ατμό υψηλής πίεσης στον στρόβιλο, χρησιμοποιώντας άνθρακα ή φυσικό αέριο ως πηγή θερμότητας.
- Διαδικασία 3 έως 4: Ιδανικά, ο ιστροτροπικός στρόβιλος παράγει ενέργεια από τη διαστολή του ρευστού εργασίας, μειώνοντας την πίεση και τη θερμοκρασία.
- Διαδικασία 4 προς 1: Η ροή εξόδου από τους στρόβιλους εισέρχεται σε έναν συμπυκνωτή, όπου ο ατμός ψύχεται σε υγρό κορεσμού.

Σε έναν πραγματικό κύκλο Rankine, η συμπίεση και η επέκταση του κύκλου δεν είναι ισότροπες κάτι που μειώνει την αποτελεσματικότητα του συστήματος. Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα είναι ότι με μια πίεση υψηλού λέβητα ή χαμηλή πίεση συμπύκνωσης σχηματισμού σταγονιδίων υγρού εμφανίζεται στην πλευρά χαμηλής πίεσης του στρόβιλου, προκαλώντας διάβρωση.

Ο θερμοδυναμικός κύκλος που χρησιμοποιείται σήμερα στους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής είναι ο Κύκλος Αναθέρμανσης-Αναγέννησης, καθώς το όνομα υποδηλώνει ότι είναι ένας συνδυασμός δύο θερμοδυναμικών κύκλων.

Οι κύκλοι αναθέρμανσης χρησιμοποιούν δύο στρόβιλους αντί για έναν και ο ατμός από τον πρώτο στρόβιλο θερμαίνεται ξανά στον αναθερμαντήρα του λέβητα πριν μεταβεί στον επόμενο.

Αυτό το σύστημα έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

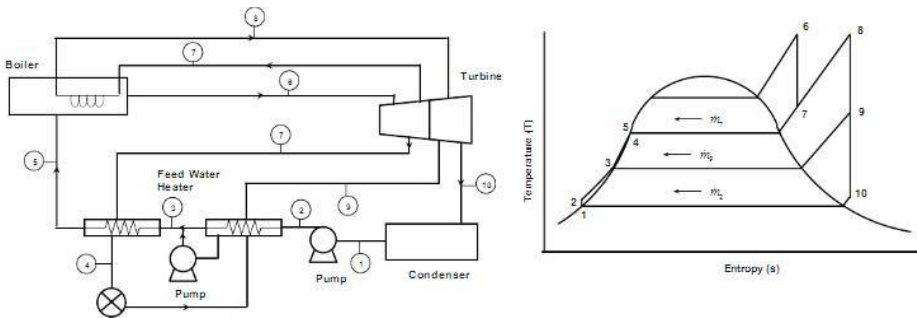
- Αυξάνει την ξηρότητα του ατμού, μειώνοντας το πρόβλημα διάβρωσης στους στρόβιλους.
- Αυξάνει την αποδοτικότητα.
- Το μέγεθος του λέβητα μειώνεται λόγω αύξησης της εργασίας ανά kg ατμού.

Τα μειονεκτήματα των συστημάτων αναθέρμανσης είναι το υψηλότερο κόστος συντήρησης και εξοπλισμού των εγκαταστάσεων λόγω του υπερθερμαντήρα και των μεγάλων συνδέσεων του και η ικανότητα συμπυκνωτή αυξάνεται λόγω της αύξησης της ξηρότητας στους στρόβιλους.

Σε αναγεννητικούς κύκλους, ο ατμός εξάγεται από τον στρόβιλο σε ορισμένα σημεία κατά τη διάρκεια της διαστολής του και ο ατμός χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του νερού τροφοδοσίας, ενώ περισσότερες εκχυλίσσεις συνήθως σημαίνουν αύξηση της απόδοσης.

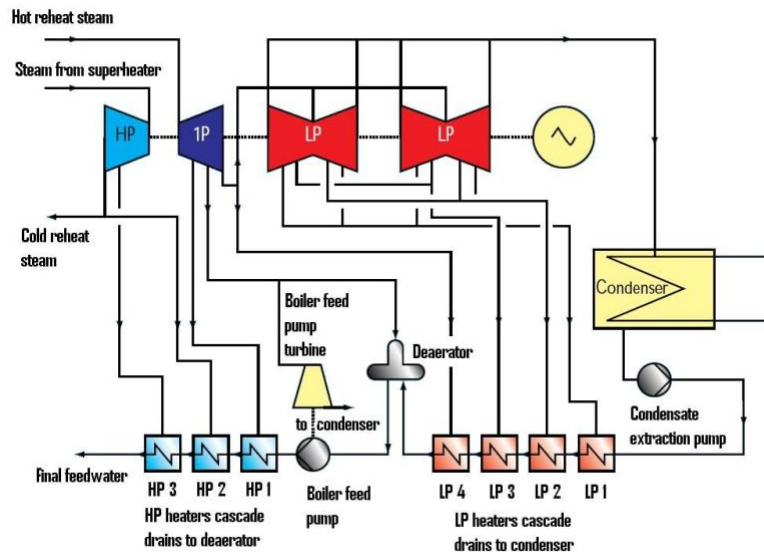
Αυτή η διαδικασία μειώνει την απαιτούμενη ενέργεια για να θερμάνει το νερό υψηλής πίεσης στο λέβητα και τη λειτουργία του συμπυκνωτή επειδή απαιτείται μικρός ατμός για συμπύκνωση, συχνά αυτό το σύστημα έχει τα προβλήματα που περιγράφονται ήδη στους στρόβιλους, έτσι συνήθως ο σχεδιασμός της μονάδας παραγωγής ενέργειας συνδυάζει κύκλους αναθέρμανσης με

αναγεννητική κύκλος, επιτυγχάνοντας υψηλότερη απόδοση από ό, τι σε οποιονδήποτε από τους άλλους κύκλους.



Εικόνα 3 Θερμοδυναμικός κύκλος αναγέννησης

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η όλη ιδέα ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από κωνιορτοποιημένο άνθρακα, είναι σημαντικό να γίνει αντιληπτή η θερμοδυναμική πίσω από αυτή. Ένα τυπικό φύλλο ροής είναι πολύ πιο πολύπλοκο από το σχήμα που παρουσιάζεται στην εικόνα 3 για να απεικονίσει τον αναγεννητικό κύκλο αναγέννησης. Στην εικόνα 4 παρουσιάζεται ένα τυπικό φύλλο ροής. Η πολυπλοκότητα αυξάνεται εκθετικά με τον αριθμό των απορροφήσεων ενσωμάτωσης που λαμβάνονται από τους στροβίλους.



Εικόνα 4 Τυπικό φύλλο ροής ατμοστρόβιλων παραγωγής

Ο κύριος εξοπλισμός για τον κύκλο ατμού είναι: ο συμπυκνωτής, ο απαερωτήρας, ο θερμαντήρας τροφοδοσίας, οι στρόβιλοι, η βαλβίδα ρύθμισης, ο λέβητας και οι αντλίες.

Ο απαερωτήρας είναι ένας ανοικτός θερμαντήρας τροφοδοσίας, όπου όλα αναμιγνύονται με αφαλατωμένα αέρια, όπως το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα. Ένα εργοστάσιο θα μπορούσε να σχεδιάζεται μόνο με ανοιχτούς θερμαντήρες τροφοδοσίας, αλλά στη συνέχεια θα χρειαζόταν μια αντλία μετά από κάθε απαέρωση. Με αυτή τη διαμόρφωση μειώνεται το κόστος ενέργειας, έχοντας μόνο δύο αντλίες που ξεπερνούν τις πτώσεις πίεσης στο σύστημα.

Μία διάταξη εγκατάστασης με μόνο θερμαντήρες νερού τροφοδοσίας θα μπορούσε επίσης να σχεδιαστεί έχοντας απομάκρυνση στον συμπυκνωτή. Ωστόσο, σε παλαιότερες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όπου αυτή δοκιμάστηκε, η απαερίωση δεν ήταν τόσο πλήρης και ο έλεγχος της αντλίας τροφοδοσίας του λέβητα ήταν δυσκολότερος. Οι περισσότερες από τις σύγχρονες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας διαθέτουν έναν απαγωγό και τα υπόλοιπα με θερμαντήρες τροφοδοσίας.

Για σκοπούς ονοματολογίας, ο ατμός συμπυκνώματος από τον συμπυκνωτή που διέρχεται από τους κλειστούς θερμαντήρες τροφοδοσίας χαμηλής πίεσης στον απαερωτήρα ονομάζεται συμπύκνωμα. Από την άλλη πλευρά, το ρεύμα εξόδου από τον απαερωτήρα ονομάζεται τροφοδοτικό νερό.

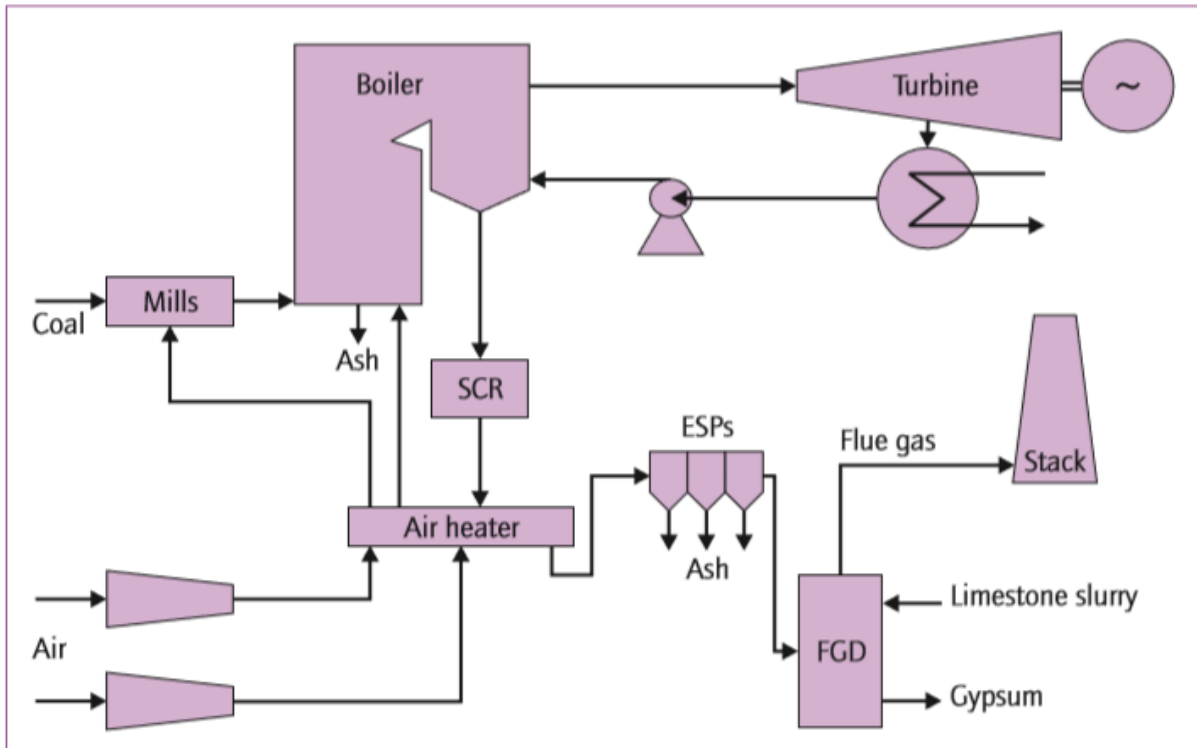
## 2.2 Τυπικοί Σταθμοί PC

Σε μια σύγχρονη μονάδα παραγωγής καύσης κονιοποιημένου άνθρακα (PCC), άνθρακας σε μορφή λεπτής σκόνης (συνήθως με το 75% μικρότερο από 75 μm) καίγεται καθώς διοχετεύεται σε ένα λέβητα και η θερμότητα που απελευθερώνεται παράγει τον ατμό που τροφοδοτεί μια ειδική γεννήτρια αμοστρόβιλου. Οι λέβητες θερμών τοιχωμάτων έχουν καυστήρες που είναι τοποθετημένοι στα τοιχώματα του κλιβάνου, μπροστά, πίσω ή πλευρικά, και εκτελούν τη καύση κάθετα προς τα τοιχώματα του κλιβάνου, ενώ τα γωνιακά συστήματα διαθέτουν τους καυστήρες στις γωνίες του κλιβάνου και εκτελούν την καύση ώστε τα καυσαέρια να κατευθύνονται δημιουργώντας ένα στρόβιλο. Η τεχνολογία Downshot, όπου οι καυστήρες δείχνουν κατακόρυφα προς τα κάτω για να δώσουν μεγαλύτερο χρόνο παραμονής για καύση προτού τα αέρια του προϊόντος εγκαταλείψουν τον κλιβάνο, χρησιμοποιείται για καύσιμα χαμηλής πτητικότητας, όπως ανθρακίτες.

Η συγκολλημένη σωλήνωση που σχηματίζει το τοίχωμα του θαλάμου καύσης του λέβητα ανακτά τη θερμότητα για την εξάτμιση του νερού σε υποκρίσιμους λέβητες. Σε ένα υπερκρίσιμο λέβητα, το νερό αλλάζει κατάσταση ομαλά σε ατμό, όταν περάσει τη κρίσιμη θερμοκρασία, χωρίς να μπορεί να διακριθεί ένα όριο υγρού / ατμού, αν και στην πράξη μπορεί να υπάρξουν στροβιλισμοί (ψευδο-βρασμός). Σε αμφοτέρους τους υποκρίσιμους και υπερκρίσιμους λέβητες του τύπου δύο διόδων, οι επιφάνειες μεταφοράς θερμότητας και υπερθέρμανσης τοποθετούνται πάνω από τον κλίβανο και σε μεταγενέστερο τμήμα μεταφοράς του λέβητα, στο οποίο υπάρχει επίσης εξοικονόμηση για να εξάγεται περισσότερη θερμότητα. Το τελευταίο στάδιο ανάκτησης θερμότητας είναι αμέσως μετά το λέβητα και θερμαίνει τον αέρα καύσης, παρέχοντας ένα μέσο τόσο για την ξήρανση του άνθρακα ώστε να βοηθήσει την καύση του και την ανακύκλωση ενέργειας στον λέβητα. Ως εναλλακτική λύση του σχεδιασμού δύο διόδων, οι λέβητες μπορούν να λάβουν τη μορφή ενός τύπου πύργου, στον οποίο ο υπερθερμαντήρας και ο θερμαντήρας τοποθετούνται πάνω από τον κλίβανο.

Η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη διάταξη στροβίλου είναι το διάδικο σύστημα, το οποίο έχει όλους τους κυλίνδρους των στροβίλων (υψηλή, ενδιάμεση και χαμηλή πίεση) τοποθετημένους εν σειρά, οδηγώντας έναν μόνο εναλλάκτη. Σε όλες τις σύγχρονες μονάδες παραγωγής ενέργειας, ο ατμός επαναθερμαίνεται στον λέβητα πριν εισέλθει στον στρόβιλο ενδιάμεσης πίεσης.

Το Σχήμα 12 δείχνει μία τυπική ρύθμιση δύο διόδων με επιλεκτική καταλυτική αναγωγή (SCR) για τον έλεγχο NO<sub>x</sub>, ηλεκτροστατικούς κατακρημνιστές (ESP) για την απομάκρυνση της σκόνης και την αποθείωση αερίου φθορίου (FGD) για έλεγχο SO<sub>2</sub>. Οι λέβητες μπορεί να είναι τύπου recirculatory, με ένα μεγάλο τύμπανο για διαχωρισμό ατμού / νερού ή μιας φοράς. Το τελευταίο είναι απαραίτητο για τους υπερκρίσιμους λέβητες, των οποίων οι υψηλότερες συνθήκες ατμού επιτρέπουν υψηλότερες επιδόσεις. Ένα μέρος του ατμού εξάγεται πάντα από τον στρόβιλο για να θερμάνει το τροφοδοτικό νερό του λέβητα, καθώς αυτό αυξάνει την αποτελεσματικότητα του κύκλου.



Σχήμα 12 Τυπική διαμόρφωση συστήματος PCC

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.

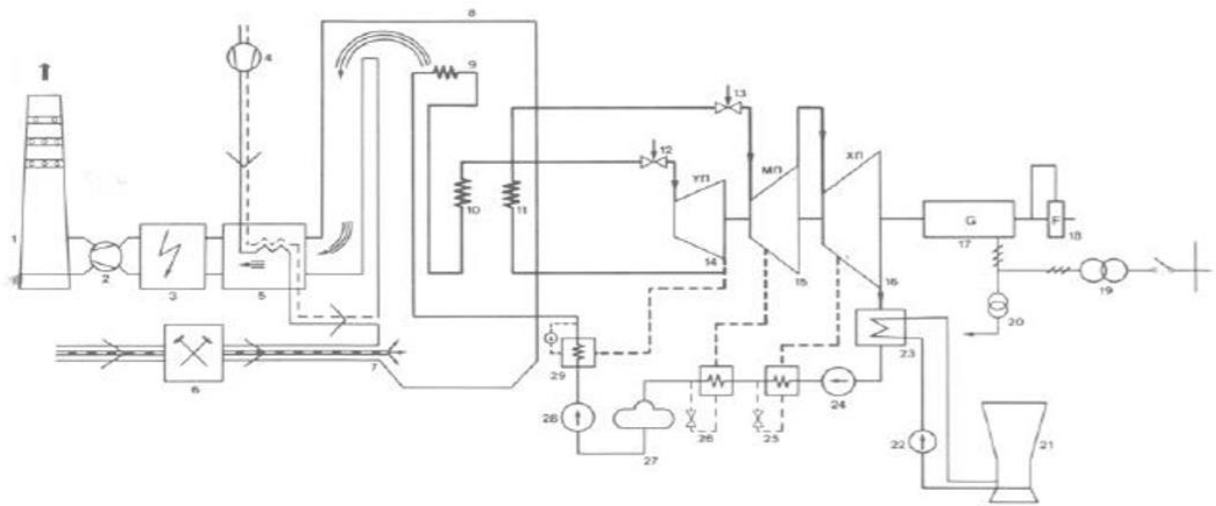
Η Εικόνα 2 δείχνει το απλοποιημένο διάγραμμα μιας μονάδας. Το καύσιμο, αν είναι λιγνίτης, μεταφέρεται από την εξόρυξη με ταινιόδρομους στην αυλή του σταθμού. Από εκεί ανάλογα με την ισχύ που χρειάζεται ο λέβητας, μεταφέρεται στον λέβητα. Στο συγκρότημα ενός λέβητα ανήκουν πολλοί μύλοι (6), π.χ. οκτώ 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 καυσαέρια, 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 5 Τυπική διαμόρφωση σταθμού παραγωγής

Ο συμπυκνωμένος ατμός, οδηγείται με κυκλοφορητή (24) στους εναλλάκτες που προθερμαίνουν το νερό, τους προθερμαντές (25,26,29). Προθέρμανση του νερού γίνεται από τους 350C στην θερμοκρασία των 2500C 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 στρόβιλο.

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.

### 2.3 Εξελίξεις στην Παραγωγή Ενέργειας με Καύση Άνθρακα

Η χρήση της καύσης του άνθρακα για να παραχθεί ατμός υπήρξε ο βασικός πυλώνας της παραγωγής ενέργειας με βάση τον άνθρακα παγκοσμίως για σχεδόν 100 χρόνια. Η αποτελεσματικότητα μιας μονάδας καύσης άνθρακα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες: τις συνθήκες ατμού, την ποιότητα του χρησιμοποιούμενου άνθρακα, τις συνθήκες περιβάλλοντος, τον σχεδιασμό των εγκαταστάσεων και την πρακτική λειτουργίας και συντήρησης. Ορισμένες προηγμένες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με άνθρακα, τεχνολογίες καθαρότερου άνθρακα (KTX), όπως συχνά καλούνται, έχουν αναπτυχθεί για τη βελτίωση της θερμικής



απόδοσης, τη μείωση και την καταγραφή των εκπομπών CO<sub>2</sub> και τη μείωση άλλων εκπομπών (π.χ. NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> και σωματίδια).

Οι κύριες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζονται στον άνθρακα που είναι διαθέσιμες σήμερα ή / και βρίσκονται υπό ανάπτυξη περιλαμβάνουν:

- Καύση υπερκρίσιμων (SC) και υπε-υπέρκρίσιμων PC (USC)
- Καύση κυκλοφορούσας ρευστοποιημένης κλίνης (CFBC)
- Ολοκληρωμένος συνδυασμένος κύκλος αεριοποίησης (IGCC)

### 2.3.1 Ο Υπερκρίσιμος Κύκλος

Η αποτελεσματικότητα ενός κύκλου ατμού επηρεάζεται, μεταξύ άλλων παραγόντων, από την πίεση και τη θερμοκρασία υπερθέρμανσης και επαναθέρμανσης του ατμού. Το υπερκρίσιμο είναι μια θερμοδυναμική έκφραση όπου δεν υπάρχει διάκριση μεταξύ της υγρής και της αέριας φάσης. Το νερό / ατμός φθάνει σε αυτή την κατάσταση σε πίεση περίπου 22,1 MPa (221 bar). Πάνω από αυτή την πίεση λειτουργίας, ο κύκλος είναι υπερκρίσιμος και το μέσο του κύκλου του είναι ένα μονοφασικό υγρό. Ως αποτέλεσμα δεν υπάρχει ανάγκη διαχωρισμού του ύδατος από τον ατμό όπως στον λέβητα ενός υποκρίσιμου κύκλου. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιούνται λέβητες once-through στον υπερκρίσιμο κύκλο.

Οι τυπικές παράμετροι λειτουργίας του κρίσιμου κύκλου ατμού είναι από 150 έως 180 bar πίεση και θερμοκρασία μεταξύ 540 ° C και 565 ° C για υπερθερμαινόμενο ατμό, με επαναθέρμανση σε παρόμοιες θερμοκρασίες. Οι παράμετροι λειτουργίας κύκλου ατμού για εγκαταστάσεις SC είναι τυπικά 245 bar πίεση και 540 ° C έως 570 ° C για υπερθερμαινόμενο ατμό, με την επαναθέρμανση σε παρόμοιες θερμοκρασίες. Οι εγκαταστάσεις USC λειτουργούν σε θερμοκρασίες ατμού περίπου 600 ° C ή υψηλότερες σήμερα. Η μετάβαση από τις δευτερεύουσες κρίσιμες σε τρέχουσες συνθήκες ατμού USC αυξάνει την απόδοση κατά περίπου 4 έως 6 ποσοστιαίες μονάδες.

Για χαμηλά έως μέτρια ποιότητα καυσίμου, τόσο οι υπερκρίσιμες όσο και οι υπέρ-υπερκρίσιμες μονάδες είναι διαθέσιμες από τους μεγάλους προμηθευτές λεβήτων και του στροβίλων. Αυτές οι μονάδες λειτουργούν με πίεση κύριου ατμού 260 bar και θερμοκρασία ατμού έως 620 ° C για ατμό αναθέρμανσης, ελαφρώς μικρότερη για τον κύριο ατμό. Για τους άνθρακες υψηλής τέφρας, οι υπερκρίσιμες μονάδες αρχίζουν να εισάγονται στην Ινδία. Η επιχειρησιακή εμπειρία των εργοστασίων Sipat και Barh της Ινδίας καθώς και οι νέες μονάδες που θα κατασκευαστούν στο

πλαίσιο των έργων Ultra Mega αναμένεται να ανοίξουν το δρόμο για ευρύτερη χρήση μονάδων SC τόσο στην Ινδία όσο και σε άλλες χώρες που βασίζονται σε άνθρακα ψηλής τέφρας για όπως η Βουλγαρία, οι περιοχές της Κίνας, η Πολωνία, η Ρουμανία και η Νότια Αφρική.

Η υπερκρίσιμη τεχνολογία χρησιμοποιείται ήδη σε αρκετές χώρες και έχει γίνει ο κανόνας για νέες εγκαταστάσεις στις βιομηχανικές χώρες. Οι υπερκρίσιμες εγκαταστάσεις βρίσκονται επί του παρόντος σε δεκαοκτώ χώρες, όπου το μερίδιό τους στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα στις χώρες αυτές ποικίλλει. Συνολικά, από το 2004 έως τα μέσα του 2007, το μερίδιο των μονάδων SC αυξήθηκε από περίπου 18% σε 20% (~ 265 GW) της χωρητικότητας άνθρακα. Αυτό αυξήθηκε σε πάνω από 25% το 2009 και αυξήθηκε περαιτέρω καθώς δημιουργήθηκαν νέες μονάδες SC στην Κίνα, την Ινδία, τη Νότια Αφρική και τη Ρωσία. Νέες εγκαταστάσεις SC κατασκευάζονται στις Ηνωμένες Πολιτείες για πρώτη φορά από το 1992. Το 2008 τέθηκαν σε λειτουργία δύο νέες μονάδες συνολικού ύψους 1 470 MWe, το 2009 ανατέθηκε μονάδα 800 MWe και θα παραδοθεί επιπλέον μονάδα MWe το 2010 .

Εγκαταστάσεις USC λειτουργούν στη Δανία, τη Γερμανία, την Ιαπωνία και την Ιταλία. ωστόσο το μερίδιό τους στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι κάτω από το 1%. Ορισμένες μονάδες USC κατασκευάζονται επίσης στην Κίνα. Ένα παράδειγμα είναι η μονάδα Yuhuan Power της ομάδας Huaneng στην επαρχία Zhejiang, η οποία είναι μια μονάδα USC με δύο μονάδες ισχύος 1 000 MWe και παράμετροι ατμού 26,25 MPa / 600 ° C / 600 ° C. Οι Κινέζοι κατασκευαστές προσφέρουν επίσης USC σε θερμοκρασία έως και 605 ° C, δηλαδή σε συνθήκες υπερσύγχρονης τεχνολογίας ή κοντά σε αυτές [7].

Ενώ η πρώτη γενιά υπερκρίσιμων μονάδων ήταν κάτω από 400 MWe, κατασκευάζονται προοδευτικά μεγαλύτερες μονάδες έως και 1.100 MWe. Οι μεγάλες μονάδες, που είναι υπό κατασκευή ή βρίσκονται υπό σχεδιασμό σε διάφορες χώρες, δείχνουν σαφώς την εξέλιξη σε μεγαλύτερα μεγέθη μονάδων.

Οι εκτιμήσεις δείχνουν ότι οι εγκαταστάσεις USC θα μειώσουν την κατανάλωση καυσίμων και τις εκπομπές κατά 25% έως 30% σε σύγκριση με τον τρέχοντα υποκρίσιμο κύκλο [8].

Το κόστος του λέβητα και του ατμοστρόβιλου μπορεί να φτάσει έως 40% έως 50% υψηλότερα για ένα εργοστάσιο USC απ 'ό, τι για ένα υποκρίσιμο εργοστάσιο [9]. Ωστόσο, το κόστος του ισοζυγίου των εγκαταστάσεων μπορεί να είναι χαμηλότερο από 13% έως 16%, λόγω της μείωσης της κατανάλωσης άνθρακα, του χειρισμού του άνθρακα και του χειρισμού των καυσαερίων. Το

συνολικό κόστος επένδυσης για τις εγκαταστάσεις κύκλου ατμού USC μπορεί να είναι 12% έως 15% υψηλότερο από το κόστος ενός υποκριτικού κύκλου ατμού.

Η πρώτη υπερκρίσιμη μονάδα, Eddystone 1, χτίστηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες το 1959. Αρχικά σχεδιασμένη για λειτουργία σε 345 bar και 650/650/650 ° C σε ένα διπλό κύκλο αναθέρμανσης, η μονάδα αντιμετώπισε προβλήματα χαμηλής διαθεσιμότητας που προέκυπτε από σημαντικά ζητήματα και προβλήματα που είναι τυπικά για τις εξελίξεις του «πρώτου τύπου». Η μονάδα λειτουργεί τώρα στα 243 bar και στους 565/565 ° C. Οι αρχικές δυσκολίες, συν το κόστος της περαιτέρω ανάπτυξης και η σχετικά χαμηλή τιμή του άνθρακα, οδήγησαν σε έλλειψη ενδιαφέροντος για την τεχνολογία SC μεταξύ των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας, οι περισσότερες από τις οποίες επέστρεψαν σε πιο αξιόπιστες υποκρίσιμες μονάδες. Ωστόσο, τα προβλήματα αυτά έχουν λυθεί σε μεγάλο βαθμό. Ωστόσο, η τεχνολογία SC και USC μπορεί μερικές φορές να απορριφθεί ή να παραβλεφθεί εξαιτίας λανθασμένων αντιλήψεων ότι είναι δαπανηρή, μη αποδεδειγμένη και ακατάλληλη για χρήση με το τοπικό άνθρακα. Κατά συνέπεια, πολλές χώρες προτιμούσαν τη συμβατική υποκρίσιμη τεχνολογία παρά τα στοιχεία που αποδεικνύουν ότι τα σχέδια SC και USC είναι εμπορικά αποδεδειγμένα και ανταγωνιστικά, ειδικά όταν οι τιμές του άνθρακα είναι υψηλές, όπως στο πρόσφατο παρελθόν. Η εμπειρία απουσιάζει μόνο στην περίπτωση του άνθρακα υψηλής τέφρας. αλλά ακόμη και για τέτοιους άνθρακες, θα πρέπει να υπάρξει σταδιακή μετάβαση από την υποκρίσιμη σε SC και στη συνέχεια στην USC καθώς η επιχειρησιακή εμπειρία μεγαλώνει και οι αρχικές δυσκολίες, αν υπάρχουν, έχουν επιλυθεί.

Οι υπερ-υπερκρίσιμες μονάδες που λειτουργούν σε θερμοκρασίες 700 ° C και άνω και πιέσεις άνω των 300 bar βρίσκονται στη φάση ανάπτυξης. Θα χρησιμοποιήσουν υπερ-κράματα με βάση το νικέλιο για ορισμένα εξαρτήματα στον λέβητα, τον στρόβιλο και τις σωληνώσεις. Τέτοια υλικά χρησιμοποιούνται ήδη σε αεριοστρόβιλους. Ωστόσο, το περιβάλλον λειτουργίας με καυσαέρια από άνθρακα είναι διαφορετικό, έτσι ώστε τα διεθνή προγράμματα να επιδιώκουν την ανάπτυξη των απαραίτητων υλικών και μεθόδων κατασκευής για χρήση με αυτά τα υλικά [10]. Τα προγράμματα αυτά είναι:

- δύο σχέδια που υποστηρίζονται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή · δηλ. AD700, η οποία αντικαταστάθηκε το 2004 από το COMTES700. Το τελευταίο έργο [11] στοχεύει στην αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης του ατμού σε 700 ° C και μέχρι 375 bar, με θερμοκρασία επαναθέρμανσης έως 720 ° C. Λόγω καθυστερήσεων στην τεχνολογική ανάπτυξη, πρόσφατα αναβλήθηκε η κατασκευή επίδειξης πλήρους κλίμακας, υπό μορφή μονάδας 500 MWe στο Wilhelmshaven της Γερμανίας [12]. Οι συνθήκες ατμού έπρεπε να

είναι 35 MPa / 700 ° C / 720 ° C, με στόχο την επίτευξη αποτελεσματικότητας τουλάχιστον 50% LHV-, με τη βοήθεια ψυχρής ψύξης θαλάσσιου νερού. Αυτή τη στιγμή, δεν είναι σαφές πότε θα συνεχιστεί αυτή η εξέλιξη.

- Το πρόγραμμα που διοργάνωσε η DOE στο Ηνωμένο Βασίλειο με θέμα «Προηγμένα υλικά για υπερ-υπερκρίσιμα συστήματα λέβητα», το οποίο αποσκοπεί στην αύξηση της θερμοκρασίας ατμού σε 760 ° C (1400 ° F) , Και πίεση έως 375 bar [8].

Σε περίπτωση επιτυχίας, οι συνθήκες USC θα αυξήσουν την απόδοση του σταθμού παραγωγής ενέργειας σε ποσοστό άνω του 50% (LHV, καθαρό) με ασφαλούχο άνθρακα και πάνω από 50% (LHV, καθαρό) με ενσωματωμένο, προ-ξήρανση για λιγνίτη υψηλής υγρασίας

Τα βασικά εμπόδια στην πρόοδο των κύκλων ατμού SC και USC είναι επομένως τεχνικά, δηλαδή μεταλλουργικά και υλικά κατασκευής. Εκτός από τη συνεχιζόμενη ανάπτυξη υλικών, μεθόδων κατασκευής και μακροχρόνιας δοκιμής υλικών, υπάρχει σαφώς η ανάγκη επιτάχυνσης της ανάπτυξης και πλήρους κλίμακας επίδειξης των προηγμένων συνθηκών USC.

### 2.3.2 Καύση Κυκλοφορούσας Ρευστοποιημένης Κλίνης

Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες μονάδων καύσης ρευστοποιημένης κλίνης: εκείνες που λειτουργούν με καύση ρευστοποιημένης κλίνης (BFBC) και εκείνες με καύση κυκλοφορούσας ρευστοποιημένης κλίνης (CFBC). Σχεδόν όλες οι πρόσφατες μονάδες είναι μονάδες CFBC. Οι μονάδες CFBC μπορούν να ανεχθούν μεγάλη ποικιλία άνθρακα και μεγέθη σωματιδίων και, λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών λειτουργίας τους και της σταδιακής καύσης, παράγουν χαμηλά επίπεδα NOx σε σχέση με τους λέβητες PC. Η χαμηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας είναι επίσης ιδανική για την επί τόπου σύλληψη διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>). Η απόδοση των μονάδων CFBC είναι παρόμοια με αυτή των μονάδων PC.

Η μεγαλύτερη λειτουργική υποκρίσιμη μονάδα CFBC είναι 320 MWe στο Jacksonville, Florida. Μονάδες παρόμοιου μεγέθους λειτουργούν επίσης στην Κίνα. Η συνολική χωρητικότητα CFBC παγκοσμίως είναι περίπου 20 GW και αναμένεται να αυξηθεί. Προηγουμένως διαθέσιμη μόνο σε υποκρίσιμα σχέδια, η τεχνολογία CFBC έχει φτάσει πλέον σε οικονομική κλίμακα για υπερκρίσιμες συνθήκες. Η πρώτη υπερκρίσιμη μονάδα CFBC (460 MWe, 282 bar / 563 ° C / 582 ° C) βρίσκεται στο Lagisza (Πολωνία). Σχεδιασμένο από τον Foster Wheeler, το εργοστάσιο αυτό λειτουργεί και έχει απόδοση σχεδιασμού 43,3% (LHV, καθαρό) με πολωνικό λιγνίτη. Μια δεύτερη υπερκρίσιμη μονάδα CFBC, με χωρητικότητα 330 MWe, βρίσκεται στη μονάδα Novocherkasskaya GRES στη

Ρωσία [13]. Είναι επίσης ενθαρρυντικό να δούμε ότι μια σημαντική κατευθυντήρια γραμμή στο 11<sup>ο</sup> πενταετές σχέδιο της Κίνας ήταν η δημιουργία μονάδων CFBC μεγάλης κλίμακας.

Έχει σημειωθεί σημαντική αύξηση της παραγωγικής ικανότητας μονάδων CFBC τα τελευταία χρόνια. Έχουν ολοκληρωθεί μελέτες για υπερκρίσιμες μονάδες ισχύος 600 MWe και 800 MWe [14]. Ωστόσο, λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών λειτουργίας των μονάδων CFBC, απαιτείται σημαντική βελτίωση του σχεδιασμού για τα USC που χρειάζονται θερμοκρασίες υπερθερμάνσεως ή επαναθέρμανσης πολύ υψηλότερες από 600 ° C. Εάν επιτυγχάνονται τέτοιες θερμοκρασίες, μαζί με πίεση ατμού 28 MPa, οι μονάδες θα έχουν απόδοση άνω του 45% (LHV, καθαρό) ή 43% (HHV, καθαρό) για τον λιθάνθρακα.

Με περίπου 20 GW συνολικά σε λειτουργία παγκοσμίως, οι μονάδες CFBC μπορούν να επιδείξουν σημαντική λειτουργική εμπειρία. Έχουν την ικανότητα να δέχονται μια ποικιλία καυσίμων, συμπεριλαμβανομένης μιας σειράς καυσίμων: από λιγνίτες έως ανθρακίτη, απόβλητα άνθρακα και βιομάζα. Παρουσιάζουν χαμηλές εκπομπές συμβατικών ρύπων και παρουσιάζουν δυνατότητες σχεδιασμού για πυροδότηση με οξυγόνο. Αν και υπάρχει ανάγκη έρευνας, ανάπτυξης και επίδειξης (RD & D) για την πρόοδο σε υψηλότερες συνθήκες ατμού με την πάροδο του χρόνου, δεν υπάρχουν προφανή εμπόδια για το CFBC πέραν του μεγέθους της αγοράς. Οι σημαντικότερες αναπτυξιακές ανάγκες για την υπερκρίσιμη τεχνολογία CFBC είναι ως επί το πλείστον παρόμοιες με εκείνες για την SC και την USC τεχνολογία πυρόλυσης άνθρακα:

- Ανάπτυξη υλικών με υψηλότερες αντιστάσεις θερμοκρασίας και πίεσης.
- να βελτιωθεί η τεχνολογία κατασκευής χρησιμοποιώντας αυτά τα υλικά. και
- Επιτάχυνση της επίδειξης μεγάλων μονάδων SC.

### 2.3.3 Ολοκληρωμένος Συνδυασμένος Κύκλος Αεριοποίησης (IGCC)

Η IGCC που βασίζεται στον άνθρακα χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό αεριοστροβίλων και ατμοστροβίλων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το αέριο που χρησιμοποιείται για την αεριοστροβίλου κατασκευάζεται αρχικά με "αεριοποίηση" ή μερική οξείδωση του άνθρακα για παραγωγή αερίου καυσίμου, το οποίο στη συνέχεια ακολουθείται από τον καθαρισμό του αερίου.

Τα βασικά υποσυστήματα των IGCC που έχουν τη δυνατότητα να επηρεάσουν τη συνολική απόδοση, το κόστος και την αξιοπιστία είναι:

- αεριοποιητής - αυτό επηρεάζει τη μετατροπή του άνθρακα στον άνθρακα σε αέριο καύσης

- σύστημα καθαρισμού αερίων - επηρεάζει την εκπομπή ρύπων και αερίων επιβλαβών είτε στο περιβάλλον, στον αεριοστρόβιλο ή και στα δύο.
- παραγωγή οξυγόνου,
- αεριοστρόβιλος ·
- Ψύκτης syngas, ατμογεννήτρια ανάκτησης θερμότητας, κύκλος ατμοστρόβιλων.

Σήμερα, πολλές εγκαταστάσεις αεριοποίησης χρησιμοποιούν μια ποικιλία καυσίμων για χημική παραγωγή, αλλά λειτουργούν μόνο έξι εργοστάσια IGCC με βάση τον άνθρακα. Αυτά είναι:

- Το εργοστάσιο Buggenum στις Κάτω Χώρες χρησιμοποιώντας την τεχνολογία Shell. 253 MWe (καθαρό). Ξεκίνησε το 1994 με αεριοστρόβιλο με οξειδωμένο καύσιμο  $O_2$  και  $1060^\circ C$  αεριοστρόβιλο.
- Το εργοστάσιο Elcogas στο Puertollano της Ισπανίας, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία Prenflo. 300 MWe (καθαρό). Ξεκίνησε το 1998 με αεριοστρόβιλο με οξειδωμένο καύσιμο  $O_2$  και  $1120^\circ C$  αεριοστρόβιλο. Το εργοστάσιο χρησιμοποιεί ένα μείγμα retcoke και άνθρακα
- Το εργοστάσιο Nakoso στην Ιαπωνία με τεχνολογία Mitsubishi. 250 MWe (ακαθάριστο). Ξεκίνησε το 2007 με έναν αεριοποιητή ξηραντήρα με αέρα και  $1200^\circ C$  αεριοστρόβιλο.
- Το εργοστάσιο Tampa Electric στη Φλόριδα, Ηνωμένες Πολιτείες, χρησιμοποιώντας τη GE Technology. 250 MWe (καθαρό). Ξεκίνησε το 1996 με αεριοστρόβιλο με καυσαέριο  $O_2$  και με αεριοστρόβιλο  $1200^\circ C$ .
- Εγκατάσταση SUV / EGT στην Τσεχική Δημοκρατία. 350 MWe (καθαρό). Ξεκίνησε το 1996 με την τεχνολογία Lurgi Dry Ash.
- Πρόγραμμα αναδιοργάνωσης IGCC Wabash River στην Ιντιάνα, Ηνωμένες Πολιτείες, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία E-GAS. 262 MWe (καθαρό). Ξεκίνησε το 1995 με αεριοστρόβιλο που είχε τροφοδοτηθεί με πολτό και με αεριοστρόβιλο  $1200^\circ C$ .

Άλλα εργοστάσια είτε είναι σχεδιασμένα είτε βρίσκονται υπό κατασκευή στην Κίνα και στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η καθαρή απόδοση για τα υπάρχοντα εργοστάσια IGCC με καύση άνθρακα είναι περίπου 42% (LHV, καθαρό). Το εργοστάσιο IGCC που βασίζεται στη διαδικασία αεριοποίησης άνθρακα της Shell, στο Buggenum (Κάτω Χώρες), επιτυγχάνει έως και 43% (LHV) στους ασφαλτούχους άνθρακες, το οποίο ισοδυναμεί με 41% (HHV). Η λειτουργία άρχισε το 1993, με στρόβιλο αερίου V94.2 και θερμοκρασία εισόδου στροβίλου για φυσικό αέριο περίπου  $1060^\circ C$ . Θεωρητικά και ανάλογα με την επιλογή του αεριοποιητή, ένας σύγχρονος αεριοστρόβιλος υψηλής θερμοκρασίας τύπου F θα παράγει απόδοση 46% έως 47% καθαρό (LHV, καθαρό) ή

44% έως 45% (HHV, καθαρό) χρησιμοποιώντας λιθάνθρακα. Υπάρχουν πολλά σημαντικά έργα IGCC με βάση τον άνθρακα που εξετάζονται σε όλο τον κόσμο.

Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι αεριοποιητή που είναι κατάλληλοι για εφαρμογή IGCC:

- Αεριοποιητής παρασυρόμενης ροής. Με τροφοδοσία στεγνής (π.χ. Shell, Siemens, Mitsubishi) και υγρής ιλύος (π.χ. GE, ConocoPhillips), αυτοί οι αεριοποιητές ροής απαιτούν λεπτά σωματίδια, είναι κατάλληλοι για όλους τους τύπους άνθρακα και λειτουργούν σε θερμοκρασίες πάνω από το σημείο τήξης της τέφρας. Ως αποτέλεσμα, η μετατροπή του άνθρακα στο αέριο καύσιμο είναι σχεδόν πλήρης. Με εξαίρεση τον αεριοποιητή Mitsubishi, όλοι διογκώνονται με οξυγόνο.
- Αεριοποιητής. Απαιτούν μεγάλα μεγέθη σωματιδίων για αποτελεσματική ρευστοποίηση και λειτουργούν περίπου στους 900 ° C, δηλ. Κάτω από το σημείο τήξης της τέφρας. Είναι ιδιαίτερα κατάλληλοι για εξαιρετικά αντιδραστικά, μη συσσωματωμένα κάρβουνα, όπως οι λιγνίτες. Ως αποτέλεσμα των χαμηλότερων θερμοκρασιών λειτουργίας, η μετατροπή του άνθρακα είναι συχνά στο εύρος 80% έως 90%. Οι αεριοποιητές μπορούν να διογκώνονται τόσο με αέρα όσο και με οξυγόνο.
- Αεριοποιητής μεταφοράς. Αναπτύχθηκε από την KBR, είναι ένα υβρίδιο μεταξύ της παρασυρόμενης ροής και των αεριοποιητών. Μπορεί να χειρίζεται τόσο λιγνίτες όσο και ασφαλτούχους άνθρακες και λειτουργεί σε ελαφρώς υψηλότερες θερμοκρασίες από τους αεριοποιητές ρευστοποιημένης κλίνης.

Άλλοι τύποι νέων αεριοποιητών που προτείνονται ή βρίσκονται σε εξέλιξη περιλαμβάνουν:

- τον αεριοποιητή Pratt και Whitney Rocketdyne, ο οποίος έχει ως αποτέλεσμα μια οικονομικά μικρότερη μονάδα μεγέθους.
- έναν αεριοποιητή χημικής ανακύκλωσης που αποφεύγει την ανάγκη για μια μονάδα παραγωγής ενέργειας που καταναλώνει ενέργεια ·
- αεριοποιητή μεμβράνης, που συνδυάζει την αεριοποίηση και τον διαχωρισμό οξυγόνου σε ένα στάδιο.

Τόσο οι άνθρακες υψηλής τέφρας όσο και η υψηλή υγρασία παρουσιάζουν προβλήματα στην αεριοποίηση. Οι άνθρακες υψηλής τέφρας παράγουν υπερβολικές ποσότητες τετηγμένης τέφρας μέσα στον αεριοποιητή ροής, ο οποίος δημιουργεί λειτουργικά προβλήματα και οδηγεί σε ποινή αποτελεσματικότητας. Αυτοί οι άνθρακες θα αεριζόταν καλύτερα σε αεριοποιητή χαμηλότερης θερμοκρασίας, όπως ο αεριοποιητής ρευστοποιημένης κλίνης. Για να διατηρηθεί η ρευστοποίηση

και να αποφευχθεί η συσσώρευση συσσωματωμένου υλικού, η κλίνη πρέπει να αποστραγγίζεται τακτικά από τέφρα, πράγμα που έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια στερεής ανθρακούχου ύλης.

Ομοίως, δεν είναι εύκολο να χρησιμοποιηθούν άνθρακες χαμηλού βαθμού και υψηλής υγρασίας απευθείας σε αεριοποιητές που τροφοδοτούνται με αιωρήματα. Το υψηλό πορώδες και η περιεκτικότητα σε οξυγόνο αυτών των αλάτων δημιουργούν δυσκολίες στην παρασκευή του πολτού. Η συμβατική εναλλακτική λύση, της προ-ξήρανσης και της συμβατικής τροφοδοσίας βασισμένης στη χοάνη, μειώνει την απόδοση. Τα συνεχή συστήματα ξηρής τροφοδοσίας (αντλίες στερεών) για την εισαγωγή υψηλής θερμοκρασίας άνθρακα απευθείας στον αεριοποιητή θα μπορούσαν να βοηθήσουν και ταυτόχρονα να αποφέρουν οφέλη στην αποδοτικότητα, δηλ. Μειωμένη ζήτηση οξυγόνου και μειωμένη φθορά των εγχυτήρων αεριοποίησης [15].

Τα ζητήματα αεριοποίησης άνθρακα εν γένει και IGCC συγκεκριμένα έχουν εξεταστεί εκτενώς σε δύο εκθέσεις [15,16].

Απαιτείται επίσης καθαρισμός αερίων για την απομάκρυνση του αερίου καυσίμου από στερεούς και αέριους ρύπους, συμπεριλαμβανομένων ιχνοστοιχείων, αμμωνίας, αερίων θείου, χλωριούχων αλάτων και υδραργύρου, τα οποία είναι επιβλαβή για τον αεριοστρόβιλο κατάντη. Ο καθαρισμός αερίου σε υψηλή θερμοκρασία ή "καθαρισμός θερμού αερίου" προτιμάται, καθώς διατηρείται το ενεργειακό περιεχόμενο του αερίου καυσίμου. Ωστόσο, ο καθαρισμός θερμού αερίου σε εμπορική κλίμακα δεν έχει ακόμη αναπτυχθεί για αξιόπιστη και συνεχή λειτουργία. Ο ξηρός καθαρισμός χρησιμοποιείται κυρίως για τον έλεγχο ιχνοστοιχείων και αερίων θείου, ενώ προτιμάται ο υγρός καθαρισμός για τον έλεγχο της αμμωνίας και των χλωριούχων ειδών [15].

Η αποτελεσματικότητα ενός συστήματος IGCC εξαρτάται από τις εξόδους από τον συνδυασμένο κύκλο, δηλαδή από τον αεριοστρόβιλο και από τον κύκλο του ατμού. Η ισχύς που παράγεται από τον αεριοστρόβιλο συνεισφέρει περίπου το 60% της ακαθάριστης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε μονάδα παραγωγής IGCC. Η απόδοση του αεριοστρόβιλου εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας εισόδου του.

Οι πρώτες δυσκολίες αντιμετωπίστηκαν με την καύση συγγέσεων σε αεριοστρόβιλους. Για τα ευρωπαϊκά IGCC, αυτά τα προβλήματα επιλύθηκαν με τροποποιήσεις στους καυστήρες σιλό [17]. Ο αεριοστρόβιλος Siemens V94.2 στο εργοστάσιο IGCC Buggenum έχει θερμοκρασία εισόδου στροβίλου σε φυσικό αέριο περίπου 1 060 ° C.

Οι στρόβιλοι F-Class που λειτουργούν με θερμοκρασίες εισόδου περίπου 1400 ° C χρησιμοποιούνται σήμερα με το φυσικό αέριο ως καύσιμο τόσο σε ανοιχτό κύκλου όσο και σε



συνθέσεις συνδυασμένου κύκλου. Παραδείγματα των πιο εξελιγμένων, μερικώς ατμοκίνητων στροβίλων που χρησιμοποιούν ακόμα υψηλότερες θερμοκρασίες (έως 1500 ° C) είναι η τουρμπίνα H της GE και οι μηχανές κατηγορίας G από την MHI και τη Siemens-Westinghouse. Όλοι οι κύριοι προμηθευτές αεριοστροβίλων προσφέρουν σήμερα μηχανές για συγγενές έως F-κλάσεις. Οι εκδόσεις με βάση τις τελευταίες τάξεις φυσικού αερίου θα προσαρμοστούν σταδιακά για χρήση με IGCC που τροφοδοτούνται με άνθρακα. Ανάλογα με τη σύνθεση του καυσίμου, για να λειτουργούν οι αεριοστροβίλοι της κατηγορίας F σε σύστημα συγγενών, ενδέχεται να απαιτείται κάποια αποδυνάμωση στις θερμοκρασίες καύσης για να αντιμετωπιστεί η υψηλότερη περιεκτικότητα ατμού στο αέριο καύσης. Επιπλέον, ενδέχεται να χρειαστούν τροποποιήσεις σχεδιασμού καυστήρα και επανασχεδιασμός του τμήματος εισόδου στροβίλου, σε σύγκριση με τον αεριοστροβίλο που λειτουργεί με φυσικό αέριο για τη συμμόρφωση με τις εκπομπές, ώστε να παρασχεθεί μεγαλύτερη ικανότητα κατάποσης αεριοστροβίλων. Οι μελλοντικές βελτιώσεις των στροβίλων έχουν τη δυνατότητα να αυξήσουν την απόδοση της IGCC κατά 3 έως 5 ποσοστιαίες μονάδες [18]

## 2.4 Σύλληψη CO<sub>2</sub>

Από την βιβλιογραφία προκύπτει ότι η CCS αποτελεί βασική συνιστώσα των μέτρων που αποσκοπούν στη μείωση των παγκόσμιων εκπομπών CO<sub>2</sub> και την αποφυγή των πιο σοβαρών επιπτώσεων που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή. Παρά τις μεγάλες προσπάθειες για την ανάπτυξη αξιόπιστης και αποτελεσματικής τεχνολογίας σύλληψης, σε μεγάλη κλίμακα, η τεχνολογία CCS δεν είναι ακόμη εμπορικά διαθέσιμη για εφαρμογές παραγωγής ενέργειας. Για να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά το υψηλό κόστος και η ενεργειακή ποινή που απορρέει από τη δέσμευση CO<sub>2</sub>, πολλές χώρες επιδιώκουν μαζικές επιδείξεις τεχνολογίας CCS. Σύμφωνα με μελέτη που διεξήχθη από το Global CCS Institute [19], 80 έργα μεγάλης κλίμακας βρίσκονται σήμερα σε διάφορα στάδια ανάπτυξης σε όλο τον κόσμο.

Παρόλο που είναι πιθανό να εγκατασταθεί η τεχνολογία CCS με την εισαγωγή νέων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, αναμένεται επίσης η απαίτηση να εγκατασταθεί εκ νέου σε υφιστάμενη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Θα ήταν σημαντικά επωφελές εάν οι νέες εγκαταστάσεις θα μπορούσαν να προσαρμοστούν για να συλλέξουν CO<sub>2</sub> σε μια μελλοντική ημερομηνία, δηλ. Να είναι έτοιμες για CCS. Η κίνηση προς αυτήν την κατεύθυνση βρίσκεται ήδη σε εξέλιξη. Η Γαλλία ενέκρινε νέα νομοθεσία το 2009, απαιτώντας από κάθε νέο σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από άνθρακα να είναι έτοιμο για CCS και να συνοδεύεται από ένα πλήρες πρόγραμμα επίδειξης CCS. Επίσης, το 2009, το «πλαίσιο για την ανάπτυξη καθαρού

άνθρακα» απαγόρευσε την κατασκευή νέων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα χωρίς την επίδειξη CCS στην Αγγλία και την Ουαλία, ορίζοντας σχέδια για τη μακροπρόθεσμη μετάβαση στον καθαρό άνθρακα. Οι υπουργοί ανακοίνωσαν μια παρόμοια προσέγγιση στη Σκωτία. Η Αυστραλιανή κυβέρνηση επίσης εξελέγη πρόσφατα, εν μέρει, σε μια πλατφόρμα που προτείνει ότι η έγκριση νέων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα θα πρέπει να εξαρτάται από την ικανότητά τους να αναβαθμίζονται με τεχνολογίες CCS

#### 2.4.1 Σύλληψη CO<sub>2</sub> σε Μονάδες PC και CFBC

Μια εναλλακτική λύση στην ανάπτυξη τεχνολογίας CCS για εγκαταστάσεις PC ή CFBC θα ήταν η χρήση χημικών διαλυτών για τη δέσμευση του CO<sub>2</sub>. Οι συνεχιζόμενες ανάγκες έρευνας και ανάπτυξης για τη δέσμευση με χρήση χημικών διαλυτών περιλαμβάνουν:

- Ανάπτυξη καλύτερων διαλυτών για την επίλυση ζητημάτων διάβρωσης και απώλειας αντιδραστηρίων.
- Μείωση των επιζήμιων επιπτώσεων στην αποδοτικότητα και το κόστος παραγωγής. και
- Ανάπτυξη επαφών μεμβράνης και άλλων συστημάτων απορρόφησης.

Απαιτείται ολοκληρωμένη επίδειξη CCS μεγάλης κλίμακας, συμπεριλαμβανομένης της επίδειξης τόσο των νεοσύστατων εγκαταστάσεων όσο και των εκ των υστέρων εγκαταστάσεων. Έχουν αναδειχθεί και αναπτύσσονται πολλά έργα [20]. Υπάρχουν περισσότεροι από 1 500 GWe υπάρχουσας ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα παγκοσμίως, κυρίως μονάδες PC. Στην τρέχουσα κατάσταση της τεχνολογικής εξέλιξης, οι μονάδες PC ή CFBC που είναι εκ των υστέρων εξοπλισμένες με δέσμευση CO<sub>2</sub> θα οδηγήσουν σε απώλεια απόδοσης έως και 10 ποσοστιαίων μονάδων. Στην πραγματικότητα, η ποιότητά της αποτελεσματικότητας έχει μειωθεί σημαντικά ως αποτέλεσμα της συντονισμένης προσπάθειας τα τελευταία πέντε χρόνια. Σημαντικό μέρος του υφιστάμενου στόλου είναι πιθανό να είναι ακατάλληλο για την ανακαίνιση δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα είτε επειδή η απόδοση της εγκατάστασης είναι πολύ χαμηλή ή / και η χωρητικότητά της είναι πολύ μικρή. Η υψηλή απόδοση είναι πιθανόν να προτιμάται για την εκ των υστέρων ανασύσταση του CO<sub>2</sub>. Εάν η αποδοτικότητα κατά 40% θεωρηθεί ελάχιστη για την εκ των υστέρων εγκατάσταση με δέσμευση CO<sub>2</sub>, θα πληρούσε το κατώτατο όριο του 10% της τρέχουσας παγκόσμιας ισχύος άνθρακα. Ακόμα και τότε, θα πρέπει να διερευνηθούν και άλλοι παράγοντες για να εκτιμηθεί η καταλληλότητα του εργοστασίου για ανακαίνιση.

Καθώς η τεχνολογία CCS αναπτύσσεται ευρύτερα, η τεχνολογία H / Υ θα κινηθεί επίσης σε συνθήκες ατμού υψηλότερης πίεσης και θερμοκρασίας, ενώ τα εργοστάσια θα στοχεύουν σε θερμοκρασίες ατμού στην περιοχή 700 ° C και πιέσεις έως 375 bar. Η ενεργειακή ποιινή που συνδέεται με την CCS θα πρέπει να μειωθεί καθώς η εμπειρία με την τεχνολογία αυξάνεται και αναπτύσσονται πιο ενεργειακά αποδοτικές διαδικασίες σύλληψης. Όταν στη συνέχεια συνδυάζονται με τη δέσμευση CO<sub>2</sub>, οι αποδοτικότητες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη δέσμευση θα πλησιάσουν εκείνες των σημερινών μονάδων μη συγκομιδής. Το κόστος της σύλληψης αναμένεται επίσης να μειωθεί με την εμπειρία και την περαιτέρω ανάπτυξη.

Αναπόφευκτα, η δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα αυξάνει την πολυπλοκότητα της διαδικασίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, είτε προστίθεται σε PC είτε σε μονάδα CFBC. Πρέπει να εκτιμηθεί η λειτουργικότητα και η ευελιξία των εγκαταστάσεων με τη δέσμευση, ιδίως η δυναμική επίδοση κατά τις συνθήκες εκκίνησης, παύσης λειτουργίας και μεταβολής φορτίου.

#### 2.4.2 Σύλληψη CO<sub>2</sub> σε Μονάδες IGCC

Ορισμένοι παράγοντες πρέπει να αντιμετωπιστούν εάν μια μονάδα IGCC πρόκειται να γίνει έτοιμη για CCS. Αυτοί οι παράγοντες ποικίλουν ανάλογα με τον τύπο αεριοποιητή που χρησιμοποιείται. Κάθε σχεδιασμός εγκαταστάσεων θα απαιτήσει μια διαφορετική στρατηγική εκσυγχρονισμού λόγω των πολλαπλών διαθέσιμων επιλογών [21], καθένα από τα οποία έχει διαφορετικό αντίκτυπο.

Για το IGCC με δέσμευση CO<sub>2</sub>, τα συγγενή χωρίς σκόνη θα αποστέλλονται σε έναν αντιδραστήρα μετατόπισης για την παραγωγή CO<sub>2</sub> και επιπλέον υδρογόνου. Το CO<sub>2</sub> θα διαχωρίζεται και τα πλούσια σε υδρογόνο συγγενή θα καίγονται στον αεριοστρόβιλο. Είναι ενδιαφέρον ότι η δέσμευση CO<sub>2</sub> θα μπορούσε να συνδυαστεί με μια μονάδα αφαίρεσης αερίων που θα αφαιρούσε επίσης αέρια θείου. Τα αέρια του θείου θα μπορούσαν εναλλακτικά να απομακρυνθούν πριν από τον αντιδραστήρα μετατόπισης. Καθώς το μεταφερόμενο αέριο καύσιμου βρίσκεται σε υψηλή πίεση και το CO<sub>2</sub> βρίσκεται σε υψηλότερη συγκέντρωση (και επομένως έχει μεγαλύτερη μερική πίεση), μπορεί να διαχωριστεί σχετικά εύκολα με φυσικά μέσα, διατηρώντας χαμηλότερα τα κόστη κόστους και αποτελεσματικότητας σε σύγκριση με τα συστήματα χημικής καθαρισμού για φυτά με βάση την PC .

Η σύλληψη μπορεί επίσης να επιτευχθεί με τη χρήση μεμβρανών ταλάντωσης πίεσης ή μεμβρανών διαχωρισμού αερίων. Η παραγωγή υδρογόνου που χρησιμοποιεί αεριοποίηση άνθρακα είναι μια καθιερωμένη τεχνολογία για την παραγωγή αμμωνίας, όπου ο διαχωρισμός

CO<sub>2</sub> / υδρογόνου με καθαρισμό φυσικών διαλυτών είναι συνήθης πρακτική. Υπάρχουν μακροπρόθεσμα προοπτικές για τη μείωση της ενεργειακής κύρωσης για τη δέσμευση CO<sub>2</sub> στο IGCC σε περίπου τέσσερις ποσοστιαίες μονάδες με τη χρήση καινοτόμων συστημάτων, όπως αντιδραστήρες μεμβρανικού μετασχηματισμού. όπου η μεταρρύθμιση, η μετατόπιση και η δέσμευση CO<sub>2</sub> θα πραγματοποιηθούν σε έναν μόνο αντιδραστήρα.

Οι εγκαταστάσεις επίδειξης της IGCC-CCS αναδύονται με πηγές χρηματοδότησης από τον δημόσιο και τον ιδιωτικό τομέα. Η NUON, μέρος του ομίλου Vattenfall, έχει κατασκευάσει μια πιλοτική μονάδα δέσμευσης CO<sub>2</sub> σε 253 MWe IGCC στο Buggenum (Ολλανδία). Οι γνώσεις και η πείρα που αποκτήθηκε στο πλαίσιο του πιλοτικού προγράμματος θα στηρίξουν την περαιτέρω ανάπτυξη και εφαρμογή σε μελλοντικές εγκαταστάσεις επίδειξης και εμπορικές έννοιες. Το 2010, η Tampa Electric Corporation ανακοίνωσε ότι σχεδιάζει να συνεργαστεί με την RTI International για να κατασκευάσει ένα πιλοτικό έργο για την επίδειξη τεχνολογίας για τη δέσμευση και την απομόνωση του CO<sub>2</sub> από τον σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας Polk County IGCC της TECO. Η RTI θα σχεδιάσει, θα κατασκευάσει και θα χειριστεί το πιλοτικό εργοστάσιο που θα συλλέξει CO<sub>2</sub> από ένα ρεύμα 30% για να αποδείξει την τεχνολογία. Η ολοκλήρωση της κατασκευής αυτής της πιλοτικής εγκατάστασης προγραμματίζεται για το 2013

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις της Καύσης Άνθρακα για Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Τα τελευταία χρόνια, η σημαντική αύξηση των τιμών του αργού πετρελαίου και του φυσικού αερίου και οι ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια του εφοδιασμού τους εστίασαν τη διεθνή προσοχή στο κατά πόσον τα καύσιμα για την παραγωγή ενέργειας θα μπορούσαν να ληφθούν από την αεριοποίηση του άνθρακα. Ο άνθρακας είναι μακράν το φθηνότερο ορυκτό καύσιμο, το οποίο κοστίζει περίπου το ένα τρίτο της τιμής του πετρελαίου ή του φυσικού αερίου ανά μονάδα παραγωγής ενέργειας. Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής που τροφοδοτούνται με άνθρακα καταναλώνουν σήμερα το 41% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας. Σε ορισμένες χώρες, ο άνθρακας παράγει μεγαλύτερο ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας.

Σε όλη την ιστορία, ο άνθρακας χρησιμοποιείται ως ενεργειακός πόρος για την παραγωγή ηλεκτρισμού ή θερμότητας και χρησιμοποιείται επίσης για βιομηχανικούς σκοπούς. Ο άνθρακας είναι η μεγαλύτερη πηγή ενέργειας και χρησιμοποιείται ως στερεό καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας μέσω της καύσης παγκοσμίως, καθώς και μία από τις μεγαλύτερες παγκόσμιες ανθρωπογενείς πηγές απελευθέρωσης διοξειδίου του άνθρακα.

Ο άνθρακας χρησιμοποιείται είτε με αεριοποίηση είτε με υδροποίηση για την παραγωγή syngas ή συνθετικών καυσίμων αντίστοιχα που είναι ισοδύναμα με βενζίνη ή ντίζελ.

Η χρήση άνθρακα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν εξαιρείται από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και συνδέεται με ορισμένες περιβαλλοντικές προκλήσεις, οι οποίες συνδέονται κυρίως με τις ατμοσφαιρικές εκπομπές. Ο άνθρακας είναι καύσιμο μαύρο ή καστανόχρωμο ιζηματογενές πέτρωμα αποτελούμενο κυρίως από άνθρακα και υδρογονάνθρακες. Ο άνθρακας είναι μια μη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, διότι χρειάζονται εκατομμύρια χρόνια για να δημιουργηθεί. Ο άνθρακας βρίσκεται σε στρώματα βράχου που έχουν συμπιεστεί. Οι πόροι άνθρακα είναι άφθονοι σε ολόκληρο τον κόσμο, αν και όπως οποιοσδήποτε γεωλογικός πόρος, δεν κατανέμονται ομοιόμορφα. Οι μεγαλύτερες πηγές άνθρακα στον κόσμο εμφανίζονται στις Ηνωμένες Πολιτείες, τη Ρωσία, την Κίνα, την Ινδία και την Αυστραλία. Η αφθονία και η ευκολία χρήσης του άνθρακα τον καθιστούν μια φθηνή πηγή καυσίμων, ιδιαίτερα για αναπτυσσόμενες χώρες που δεν έχουν ακόμα βιομηχανικά διυλιστήρια.

Ο άνθρακας κατατάσσεται σε τέσσερις κύριους τύπους: ανθρακίτης, ασφαλτούχος, υποβιβωματώδης και λιγνίτης. Αυτή η ταξινόμηση εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε άνθρακα

και την ικανότητα παραγωγής θερμότητας. Οι υψηλότερες τάξεις άνθρακα περιέχουν περισσότερη ενέργεια που παράγει θερμότητα.

Ο ανθρακίτης αντιπροσωπεύει λιγότερο από το 0,5% του άνθρακα που εξορύσσεται στις Ηνωμένες Πολιτείες και περιέχει άνθρακα 86-97% και γενικά έχει θερμαντική αξία ελαφρώς υψηλότερη από τον ασφαλτούχο άνθρακα. Ο ασφαλτούχος άνθρακας χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αποτελεί σημαντικό καύσιμο και πρώτη ύλη για τις βιομηχανίες σιδήρου και χάλυβα. Ο υποβουνθώδης άνθρακας έχει χαμηλότερη θερμαντική αξία από τον ασφαλτούχο άνθρακα και περιέχει 35-45% άνθρακα. Ο λιγνίτης είναι ο κατώτερος βαθμός άνθρακα, ο οποίος περιέχει 25% -35% άνθρακα, υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, με το χαμηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο.

### 3.1 Εκπομπές και Περιβαλλοντικές Συνέπειες

Ο άνθρακας ατμού (θερμικός άνθρακας) χρησιμοποιείται στους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Πρώτον, ο άνθρακας αλέθεται σε λεπτή σκόνη, για ταχύτερη ικανότητα καύσης και για να αυξηθεί η επιφάνεια. Σε αυτά τα συστήματα καύσης κονιοποιημένου άνθρακα (PCC), ο κονιοποιημένος άνθρακας διοχετεύεται στον θάλαμο καύσης ενός λέβητα και τα παραγόμενα καυτά αέρια μετατρέπουν το νερό σε σωλήνες που φέρουν το λέβητα σε ατμό.

Ο ατμός υψηλής πίεσης διέρχεται σε έναν στρόβιλο που περιέχει χιλιάδες λεπίδες που μοιάζουν με έλικα και περιστρέφουν τον άξονα του στροβίλου σε υψηλή ταχύτητα. Η γεννήτρια αποτελείται από τυλίγματα που είναι τοποθετημένα στο ένα άκρο του άξονα του στροβίλου. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται όταν τα τυλίγματα περιστρέφονται ταχέως σε ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο. Μετά τη διέλευση από τον στρόβιλο, ο ατμός συμπυκνώνεται και επιστρέφει στον λέβητα για να θερμανθεί ξανά.

Ο παραγόμενος ηλεκτρισμός μετασχηματίζεται στις υψηλότερες τάσεις (μέχρι 400.000 βολτ) που χρησιμοποιούνται για οικονομική, αποδοτική μετάδοση μέσω των ηλεκτρικών γραμμών και μετασχηματίζεται προς τα ασφαλέστερα συστήματα τάσης 100-250 βολτ για οικιακές χρήσεις.

Η υγρή ψύξη που χρησιμοποιείται στους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα, κ.λπ., εκπέμπει παρασυρόμενα και ομίχλη που είναι επίσης περιβαλλοντικά ανησυχητικά. Η εκπομπή από τους πύργους ψύξης περιέχει αναπνευστικά αιωρούμενα σωματίδια.

Όταν το νερό που χρησιμοποιείται ως ψυκτικό επιστρέφει στο φυσικό περιβάλλον σε υψηλότερη θερμοκρασία, η μεταβολή της θερμοκρασίας επιδρά στους οργανισμούς μειώνοντας την παροχή οξυγόνου και επηρεάζοντας τη σύνθεση του οικοσυστήματος.

Ο απόβλητος άνθρακας, γνωστός επίσης ως "culm", "gob" ή "boney", αποτελείται από αχρησιμοποίητο άνθρακα αναμειγμένο με χώμα και βράχο από προηγούμενες μεταλλευτικές εργασίες. Η απόρριψη από χώρους αποθήκευσης άνθρακα μπορεί να μολύνει τις τοπικές παροχές ύδατος.

Κατά την καύση άνθρακα, εκλύονται αέρια όπως CO<sub>2</sub>, οξείδια θείου (SO<sub>2</sub>), διάφορα οξείδια αζώτου (NO<sub>x</sub>), υδροκυάνιο (HCN) και νιτρικό θείο (SNO<sub>3</sub>) [22]. Η αυθόρμητη καύση σε αποθέματα και πασσάλους αποβλήτων προκαλεί εκπομπή καπνού και επιβλαβών αναθυμιάσεων στην ατμόσφαιρα [23].

Διοξειδίο του άνθρακα: Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με άνθρακα ευθύνονται για το ένα τρίτο των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) της Αμερικής, καθιστώντας τον άνθρακα τεράστιο παράγοντα για την υπερθέρμανση του πλανήτη (φαινόμενο θερμοκηπίου) [24]. Η καύση του άνθρακα είναι ο μεγαλύτερος συντελεστής στην ανθρώπινη αύξηση του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα. Το 1999, οι παγκόσμιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τη χρήση άνθρακα ήταν 8.666 εκατομμύρια τόνοι διοξειδίου του άνθρακα [25].

Η σκόνη άνθρακα είναι η πιο εμφανής περιβαλλοντική επίπτωση των βιομηχανιών που λειτουργούν με άνθρακα. Η σκόνη μπορεί να επηρεάσει γειτονικές κοινότητες ανάλογα με την κατεύθυνση του ανέμου, εξ ου και η σημασία της αξιολόγησης της θέσης αυτών των βιομηχανιών και των αποτελεσματικών μέτρων μετριασμού. Η ηλεκτρική παραγωγή που χρησιμοποιεί καύση άνθρακα παράγει περίπου διπλάσια από τα αέρια του θερμοκηπίου ανά κιλοβατώρα σε σύγκριση με την παραγωγή φυσικού αερίου. Το 2011, οι μονάδες άνθρακα κοινής ωφέλειας στις Ηνωμένες Πολιτείες εκπέμπουν συνολικά 1,7 δισεκατομμύρια τόνους CO<sub>2</sub>. Ένα τυπικό εργοστάσιο άνθρακα παράγει 3,5 εκατομμύρια τόνους CO<sub>2</sub> ετησίως [26].

Το 2008, οι Kharecha και Hansen ανέλυσαν την επίδραση της σταδιακής εξάλειψης του άνθρακα σε επίπεδα ατμοσφαιρικών εκπομπών CO<sub>2</sub>. Το σενάριο μετριασμού της βάσης ήταν η σταδιακή κατάργηση των παγκόσμιων εκπομπών άνθρακα μέχρι το 2050. Λόγω των συνεχιζόμενων δραστηριοτήτων, οι ατμοσφαιρικές εκπομπές CO<sub>2</sub> κορυφώθηκαν στα 563 μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) το έτος 2100.

Το 2011, οι παγκόσμιες ακαθάριστες εκπομπές από τη χρήση άνθρακα ήταν 14,416 εκατομμύρια τόνοι. Η ηλεκτροπαραγωγή με καύση άνθρακα εκπέμπει περίπου 2.000 λίβρες διοξειδίου του άνθρακα για κάθε μεγαβάτ-ώρα που παράγεται, σχεδόν διπλάσια από την απελευθέρωση από μια ηλεκτρική εγκατάσταση με φυσικό αέριο. Το 2013, ο επικεφαλής της Υπηρεσίας Κλίματος των Ηνωμένων Εθνών ενημέρωσε ότι τα περισσότερα από τα παγκόσμια αποθέματα άνθρακα πρέπει να παραμείνουν στο έδαφος για να αποφευχθεί η καταστροφική υπερθέρμανση του πλανήτη και να μεταβληθεί επείγοντως η βιομηχανία και να μεταβληθεί ριζικά στην ανανεώσιμη ενέργεια.

Το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ) απελευθερώνεται από καύση άνθρακα που οξειδώνεται σε αέρια  $\text{H}_2\text{SO}_2$  προκαλώντας ευρεία οξύνιση των οικοσυστημάτων και διασκορπισμό της ηλιακής ακτινοβολίας που ασκεί ψυκτική επίδραση στο κλίμα, καλύπτοντας έτσι μερικές από τις θερμότητες που προκαλούνται από αυξημένα αέρια θερμοκηπίου [27]. Τα εργοστάσια άνθρακα είναι η κύρια πηγή  $\text{SO}_2$  των Ηνωμένων Πολιτειών που διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη δημόσια υγεία και συμβάλλει επίσης στη δημιουργία μικρών όξινων σωματιδίων που μπορούν να διεισδύσουν στους πνεύμονες του ανθρώπου και να απορροφηθούν από την κυκλοφορία του αίματος. Το διοξείδιο του θείου επίσης προκαλεί όξινη βροχή, η οποία μπορεί να καταστρέψει τις καλλιέργειες, τα δάση και τα εδάφη και να οξύνει τις λίμνες και τα ρέματα. Ένα τυπικό ανεξέλεγκτο εργοστάσιο άνθρακα εκπέμπει 14.100 τόνους  $\text{SO}_2$  ετησίως. Ένα τυπικό εργοστάσιο άνθρακα με ελέγχους εκπομπών, συμπεριλαμβανομένης της αποθείωσης καυσαερίων (πλυντρίδες καπνού), εκπέμπει 7.000 τόνους  $\text{SO}_2$  ετησίως.

Η ρύπανση από οξειδία του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) προκαλεί όζον στο έδαφος ή νέφος, που μπορεί να κάψει πνευμονικό ιστό, να επιδεινώσει το άσθμα και να κάνει τους ανθρώπους πιο ευαίσθητους σε χρόνιες αναπνευστικές ασθένειες. Ένα τυπικό ανεξέλεγκτο εργοστάσιο άνθρακα εκπέμπει 10.300 τόνους  $\text{NO}_x$  ετησίως. Ένα τυπικό εργοστάσιο άνθρακα με ελέγχους εκπομπών, συμπεριλαμβανομένης της επιλεκτικής τεχνολογίας καταλυτικής αναγωγής, εκπέμπει 3.300 τόνους  $\text{NO}_x$  ετησίως.

Σε περίπτωση πύργων ψύξης σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με χρήση θαλάσσιου νερού, τα άλατα νατρίου αποτίθενται σε κοντινά εδάφη τα οποία θα μετατρέπουν τη γη σε αλκαλικό έδαφος μειώνοντας τη γονιμότητα των φυτικών εκτάσεων και προκαλούν επίσης τη διάβρωση των κοντινών δομών.

Οξείδιο του ασβεστίου: Άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης άνθρακα σε λέβητες / σταθμούς παραγωγής ενέργειας για την ποιότητα του νερού κατά τη χρήση άνθρακα ή λιγνίτη πλούσια σε ασβεστόλιθο είναι η παραγωγή τέφρας που περιέχει οξείδιο του ασβεστίου ( $\text{CaO}$ ). Το



CaO διαλύεται εύκολα σε νερό για να σχηματιστεί ασβέστη /  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  και μεταφέρεται με το νερό βροχής σε ποτάμια / νερό άρδευσης από τις περιοχές χωματερής. Η διαδικασία αποσκλήρυνσης ασβέστου κατακρημνίζει ιόντα Ca και Mg και απομακρύνει την προσωρινή σκληρότητα στο νερό και επίσης μετατρέπει τα διπτανθρακικά άλατα του νατρίου σε νερό του ποταμού σε ανθρακικό νάτριο που αντιδρά με την εναπομένουσα σκληρότητα νερού Ca και Mg. Έτσι το νερό του ποταμού μετατρέπεται σε μαλακό νερό που όταν χρησιμοποιείται στην άρδευση μετατρέπει τα εύφορα εδάφη σε αλκαλικά εδάφη.

Οι ρύποι που εκπέμπονται από την καύση του άνθρακα περιλαμβάνουν τα λεπτά σωματίδια ( $\text{AS}_{2.5}$ ) και το όζον του εδάφους. Κάθε χρόνο, η καύση του άνθρακα χωρίς τη χρήση της διαθέσιμης τεχνολογίας ελέγχου της ρύπανσης προκαλεί χιλιάδες θανάτους. Τα σωματίδια (που αναφέρονται επίσης ως αιθάλη ή ιπτάμενη τέφρα) μπορούν να προκαλέσουν χρόνια βρογχίτιδα, επιδεινούμενο άσθμα και πρόωρο θάνατο, καθώς και θόλωση που παρεμποδίζει την ορατότητα. Ένα τυπικό ανεξέλεγκτο εργοστάσιο εκπέμπει 500 τόνους μικρών αερομεταφερόμενων σωματιδίων κάθε χρόνο. Μια μελέτη που ανατέθηκε από το σωματείο νοσηλευτών του Maryland το 2006 διαπίστωσε ότι οι εκπομπές από έξι μόνο από τα εργοστάσια καύσης άνθρακα του Maryland προκάλεσαν 700 θανάτους ετησίως σε ολόκληρη την επικράτεια, συμπεριλαμβανομένων 100 στο Maryland.

Μελέτες έχουν δείξει ότι η έκθεση σε σωματίδια σχετίζεται με την αύξηση της αναπνευστικής και καρδιακής θνησιμότητας [28].

Ο καύση του άνθρακα είναι επίσης η κύρια αιτία θανάτου, όξινης βροχής και τοξικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ορισμένες εκπομπές μπορούν να μειωθούν σημαντικά με τους άμεσα διαθέσιμους ελέγχους ρύπανσης, αλλά οι περισσότερες μονάδες άνθρακα των ΗΠΑ δεν έχουν εγκαταστήσει τεχνολογίες προστασίας.

Ο άνθρακας περιέχει επίσης χαμηλά επίπεδα ουρανίου, θορίου και άλλων ραδιενεργών ισότοπων που απαντώνται στη φύση και ενδέχεται να μολύνουν το περιβάλλον. Όταν καίγεται ο άνθρακας, η ιπτάμενη τέφρα περιέχει ουράνιο και θόριο "έως και 10 φορές τα αρχικά επίπεδα [29]. Τα εργοστάσια άνθρακα εκπέμπουν ακτινοβολία υπό μορφή ραδιενεργού ιπτάμενης τέφρας, η οποία εισπνέεται και απορροφάται από γείτονες και ενσωματώνεται σε καλλιέργειες. Ένα έγγραφο του 1978 από το Εθνικό Εργαστήριο του Oak Ridge υπολόγισε ότι οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα του ίδιου χρόνου μπορεί να συνεισφέρουν μια δεσμευμένη σε ολόκληρο το σώμα δόση των 19  $\mu\text{Sv}$  / έτος στους άμεσους γείτονές τους σε ακτίνα 500 μέτρων [30].

Η επιστημονική επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών για τις επιπτώσεις της έκθεσης για την ατομική ακτινοβολία του 1988 εκτιμά ότι η δεσμευμένη δόση που απέχει 1 χλμ. Είναι 20  $\mu\text{Sv}$  / έτος για παλαιότερα φυτά ή 1  $\mu\text{Sv}$  / έτος για νεότερα φυτά με βελτιωμένη σύλληψη ιπτάμενης τέφρας, αλλά δεν μπόρεσε να επιβεβαιώσει αυτούς τους αριθμούς δοκιμή. Ο Su στην έκθεσή του (2006) δήλωσε ότι τα εργοστάσια άνθρακα μεταφέρουν περισσότερα ραδιενεργά απόβλητα στο περιβάλλον από ό, τι τα πυρηνικά εργοστάσια που παράγουν την ίδια ποσότητα ενέργειας. Επίσης, ο Hvistendahl, το 2007 ενέκρινε το ίδιο γεγονός και δήλωσε ότι η εκπομπή φυτών που μεταφέρεται από ιπτάμενη τέφρα προερχόμενη από άνθρακα παράγει 100 φορές περισσότερη ακτινοβολία στο περιβάλλον από ό, τι η κανονική λειτουργία ενός παρόμοια παραγωγικού πυρηνικού σταθμού.

Τα προϊόντα αποβλήτων άνθρακα και άνθρακα (συμπεριλαμβανομένης της ιπτάμενης τέφρας, της τέφρας πυθμένα και της σκωρίας του λέβητα) απελευθερώνουν περίπου 20 χημικές ουσίες που προκαλούν τοξικές εκρήξεις, συμπεριλαμβανομένων του αρσενικού, του μολύβδου, του υδραργύρου, του νικελίου, του βαναδίου, του βηρυλλίου, του καδμίου, του βαρίου, του χρωμίου, του χαλκού, του μολυβδαινίου, , τα οποία είναι επικίνδυνα εάν απελευθερωθούν στο περιβάλλον. Ενώ αυτές οι ουσίες είναι ίχνη προσμείξεων, αρκετό άνθρακα καίγεται ότι απελευθερώνονται σημαντικές ποσότητες αυτών των ουσιών [31]. Εάν καίγονται 100 τόνοι καυσαερίων, 85 τόνοι θα παραμείνουν ως τέφρα άνθρακα.

Οι ρύποι που εκπέμπονται ετησίως από ένα τυπικό μη ελεγχόμενο εργοστάσιο άνθρακα περιλαμβάνουν περίπου: 114 λίβρες μολύβδου, 4 λίβρες κάδμιο, άλλα τοξικά βαρέα μέταλλα και ιχνοστοιχεία ουρανίου. Οι θήκες μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές βαρέων μετάλλων κατά 90%, 720 τόνους μονοξειδίου του άνθρακα (που προκαλούν πονοκεφάλους και προκαλούν πρόσθετο άγχος σε άτομα με καρδιακές παθήσεις), 220 τόνους υδρογονανθράκων, πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC) που σχηματίζουν όζον, του αρσενικού, που θα προκαλέσει καρκίνο σε ένα στους 100 ανθρώπους που πίνουν νερό που περιέχει 50 μέρη ανά δισεκατομμύριο [32].

Οι εκπομπές υδραργύρου από την καύση άνθρακα συγκεντρώνονται στην τροφική αλυσίδα και μετατρέπονται σε μεθυλυδράργυρο που βλάπτει τόσο την άγρια φύση όσο και τους ανθρώπους που καταναλώνουν ψάρια γλυκού νερού [33]. Οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής ευθύνονται για το ήμισυ των εκπομπών υδραργύρου στις Ηνωμένες Πολιτείες [34]. Ένα τυπικό ανεξέλεγκτο εργοστάσιο άνθρακα εκπέμπει περίπου 170 λίβρες υδραργύρου κάθε χρόνο.

### 3.2 Συνέπειες στην Υγεία

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι που απελευθερώνονται από τις καπνοδόχους των σταθμών παραγωγής καυσίμων άνθρακα αποτελούν τον μεγαλύτερο κίνδυνο για την υγεία του ευρύτερου κοινού σε σύγκριση με τις εκπομπές στο νερό ή στο έδαφος. Προκαλούν τόσο οξεία όσο και χρόνιες επιπτώσεις στην υγεία. Οι κοινότητες στην γειτνίαση με σταθμούς παραγωγής άνθρακα μερικές φορές εκτίθενται σε ορισμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Το μεγαλύτερο μέρος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ωστόσο, μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις και συνεπώς επηρεάζει πολύ μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού, αυξάνοντας τα επίπεδα υποβάθρου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Οι βλάβες στην υγεία που προκαλούνται από την καύση του άνθρακα δεν περιορίζονται στην εγγύτητα του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής, καθώς το νέφος των καυσαερίων από το καπνό μπορεί να μεταφερθεί σε αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα και πέρα από τα σύνορα, έως ότου οι ρύποι κατατεθούν σε οικοσυστήματα ή στους πνεύμονες των ανθρώπων. Το ύψος των καταιγίδων και οι συνθήκες ανέμου καθορίζουν το πού μεταφέρεται η ρύπανση. Μέχρι 10 χιλιόμετρα μακριά από το εργοστάσιο, μπορούν να μεταφερθούν χοντρά σωματίδια (PM<sub>10</sub>), οξειδία του αζώτου, διοξείδιο του θείου, όξινα αέρια, ανθεκτικοί οργανικοί ρύποι, βαρέα μέταλλα και διοξίνες. Ωστόσο, οι διασυννοριακές μετακινήσεις πραγματοποιούνται με διοξείδιο του θείου, οξειδία του αζώτου, πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC), βαρέα μέταλλα, διοξίνες, λεπτά σωματίδια (ΑΣ<sub>2,5</sub>). Η παγκόσμια μόλυνση μέχρι 1000 χιλιόμετρα τεκμηριώνεται επίσης με λεπτά σωματίδια (PM<sub>2,5</sub>), υδράργυρο και διοξίνες [35].

Υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις για το πόσο μακροχρόνια έκθεση σε αυτούς τους ατμοσφαιρικούς ρύπους επηρεάζει τους πνεύμονες και την καρδιά. Περιλαμβάνουν χρόνιες αναπνευστικές ασθένειες, όπως χρόνια βρογχίτιδα, εμφύσημα και καρκίνο του πνεύμονα και καρδιαγγειακές παθήσεις, όπως εμφράγματα μυοκαρδίου, συμφορητική καρδιακή ανεπάρκεια, ισχαιμική καρδιακή νόσο και καρδιακές αρρυθμίες. Τα οξεία επεισόδια περιλαμβάνουν αναπνευστικά συμπτώματα, όπως σφίξιμο στο στήθος και βήχα, καθώς και επιδεινούμενες επιθέσεις άσθματος. Τα παιδιά, οι ηλικιωμένοι και οι ασθενείς με υποκείμενη κατάσταση είναι πιο ευάλωτοι σε αυτά τα αποτελέσματα. Πρόσφατες έρευνες υποδεικνύουν ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί επίσης να οδηγήσει σε χαμηλό βάρος κατά τη γέννηση και σε προγενέστερη παράδοση ως αποτέλεσμα της έκθεσης της μητέρας κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης.

Ιδιαίτερη ανησυχία προκύπτουν από τις μεγάλες εκπομπές υδραργύρου από σταθμούς παραγωγής ενέργειας από άνθρακα, καθώς ο υδράργυρος μπορεί να βλάψει τη γνωστική

ανάπτυξη των παιδιών και να προκαλέσει μη αναστρέψιμη βλάβη στα ζωτικά όργανα του εμβρύου.

Σύμφωνα με μια έκθεση που δημοσιεύθηκε από τις ειδήσεις του NBC το 2004, οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα μειώνουν σχεδόν τις 24.000 ζωές ετησίως στις Ηνωμένες Πολιτείες (2.800 από καρκίνο του πνεύμονα). Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (EPA) εκτιμά ότι μια σειρά 13.000 έως 34.000 προληπτικών θανάτων θα αποφευχθεί από την εμπειρία πολύ μεγαλύτερης μείωσης των  $AS_{2,5}$  και του όζοντος, που αναμένεται από το τέλος των ετών που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της εφαρμογής των διατάξεων περί καθαρισμού εγκαταστάσεων άνθρακα του τελικού κανόνα για την υπερβολική ρύπανση της ατμόσφαιρας. Ο τελικός κανόνας διασταυρούμενου κράτους εκτιμάται ότι αποτρέπει 15.000 επιπρόσθετες (μη θανατηφόρες) καρδιακές προσβολές, 19.000 επιθέσεις οξείας βρογχίτιδας, 420.000 συμπτώματα ανώτερου και κατώτερου αναπνευστικού, 400.000 επιδεινούμενες επιθέσεις άσθματος, και 19.000 επισκέψεις νοσοκομείων και ΚΕ (π.χ. για επιθέσεις άσθματος που προκλήθηκαν από αιθάλη από καύση άνθρακα). Με τη μείωση αυτών των βλαβών στην υγεία αναμένεται μείωση της εργασίας ή του σχολείου.

Χρονολογείται από το 1967 μια μελέτη που εκπονήθηκε από τον Hassenien και τους συνεργάτες του στο εργοστάσιο Masr El Kadima της Αιγύπτου. Ο συνολικός εργαζόμενος πληθυσμός ήταν 185 εργάτες και καταγγέλλονταν κυρίως τον βήχα (80,5%), τη δύσπνοια (47%) και το συριγμό (42%). Τα ραδιολογικά ευρήματα αποκάλυψαν τη πνευμονοκονίαση του ανθρακωρύχου στο 28,1% του πληθυσμού που μελετήθηκε. Μια άλλη μελέτη από τους Abo El Ata et al (2000) αξιολόγησε την υγεία του περιβάλλοντος και της αναπνευστικής δραστηριότητας μεταξύ 228 ανθρακωρύχων στο North Saini (ανθρακωρυχείο της Μαγκάρα). Τα συνολικά αναπνεύσιμα και μη αναπνεύσιμα σωματίδια σκόνης απέδειξαν ότι ξεπερνούν τα TLVs. Η κλινική μελέτη έδειξε 40% προσβολή της ομάδας μελέτης, ωστόσο οι ακτίνες Χ θώρακα έδειξαν 25% προσωπικό που πάσχει από προσβολή.

Το 2008, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) και άλλοι οργανισμοί υπολόγισαν ότι η ρύπανση από σωματίδια άνθρακα προκαλεί περίπου ένα εκατομμύριο θανάτους ετησίως σε ολόκληρο τον κόσμο, δηλαδή περίπου το ένα τρίτο όλων των πρόωρων θανάτων που σχετίζονται με όλες τις πηγές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> Το Εξεταζόμενο Εργοστάσιο Παραγωγής

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει την εγκατάσταση ενός σταθμού ΑΗΣ στην περιοχή του Λαυρίου, στην Αττική. Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν η περιοχή εγκατάστασης καθώς και η δομή της μονάδας παραγωγής.

### 4.1 Η Περιοχή του Λαυρίου

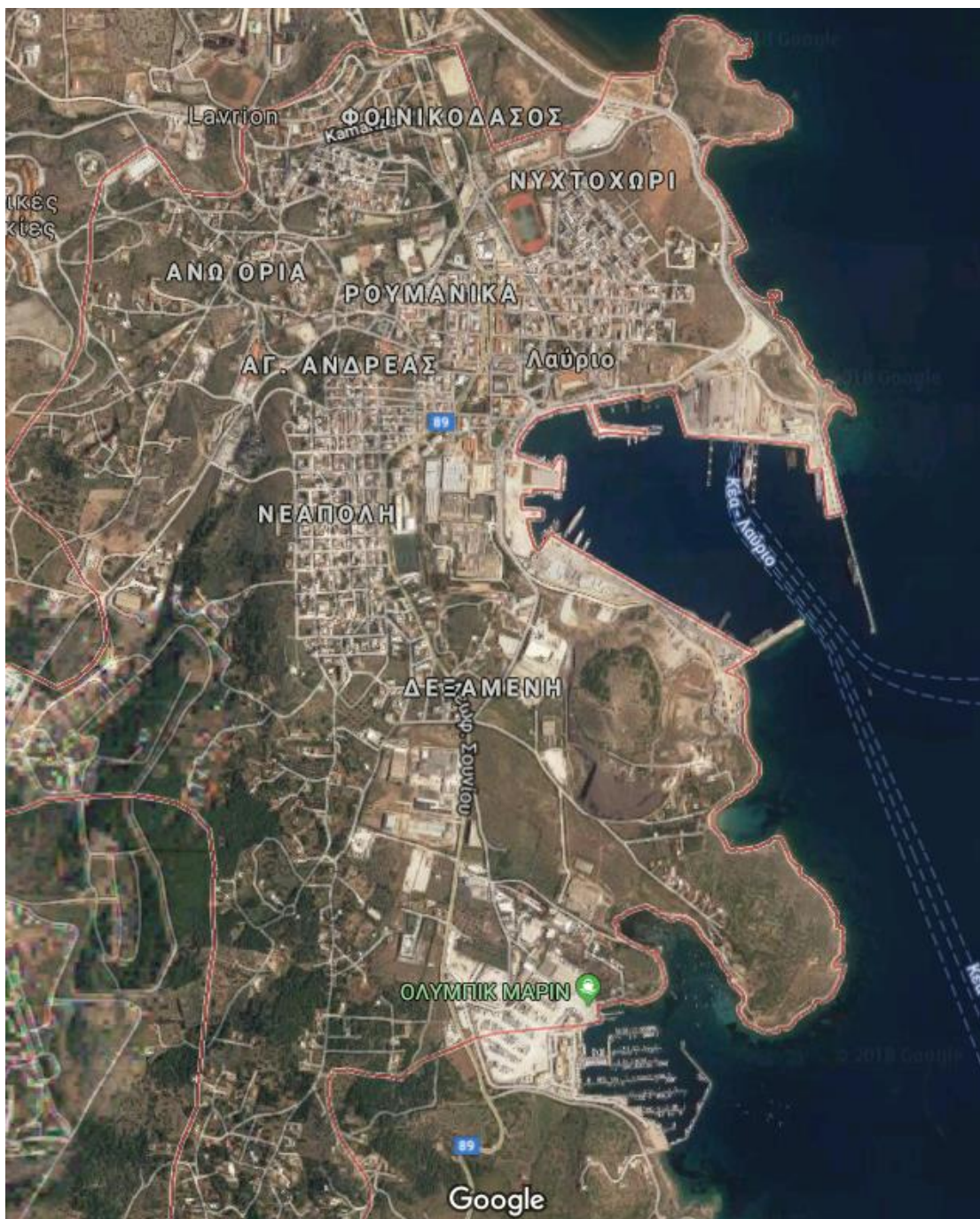
Το Λαύριο βρίσκεται στο νοτιοανατολικό άκρο της Αττικής, όπως φαίνεται στον χάρτη του Σχήματος 13, και απέχει περίπου 50 km από το κέντρο της Αθήνας. Αποτελεί έδρα του Δήμου Λαυρεωτικής, ο οποίος συστάθηκε με το Πρόγραμμα Καλλικράτης και έχει έκταση 176,87 km<sup>2</sup> και μόνιμο πληθυσμό 25.102 κατοίκους, σύμφωνα με την απογραφή του 2011.



Σχήμα 13<sup>η</sup> θέση του Λαυρίου

Η πόλη διαθέτει λιμένα, του οποίου μια γενική άποψη φαίνεται στην αεροφωτογραφία της Εικόνας 6. Τα τελευταία χρόνια, διατέθηκαν σημαντικοί πόροι για την ανάπτυξη και την επέκτασή του. Σε

αυτό το πλαίσιο, εκσυγχρονίστηκε, επίσης, η οδική σύνδεση με το αεροδρόμιο των Σπάτων, αλλά και με την πρωτεύουσα



Εικόνα 6 Κάτοψη της περιοχής του Λαυρίου

Το Λαύριο αποτέλεσε παλαιότερα ανθηρή βιομηχανική πόλη με πλήθος βιομηχανιών. Εντούτοις, ύστερα από το οριστικό κλείσιμο των μεταλλείων, περί το 1980, καθώς και των περισσότερων

βιομηχανιών, ως συνέπεια της γενικότερης αποβιομηχάνισης της χώρας, πέρασε μια περίοδο οικονομικής κρίσης και αυξημένης ανεργίας. Η κύρια απασχόληση των κατοίκων του είναι η εργασία σε μικρές βιομηχανίες και βιοτεχνίες. Λόγω της σχετικά μικρής απόστασής του από την περιοχή του Κορωπίου, το οποίο είναι ένα βιομηχανικό κέντρο, σημαντικός αριθμός κατοίκων εργάζεται εκεί.

Η περιοχή είναι γενικά περιοχή λοφώδης και άνυδρη και διασχίζεται από τρεις κύριες κοιλάδες, την κοιλάδα του Ποταμού, την κοιλάδα Πλάκας-Αδάμι-Θορικού και τη μεγάλη σε μήκος κοιλάδα των Λεγραινών. Το υψόμετρό της δεν υπερβαίνει τα 260 m.

Το κλίμα της περιοχής είναι του ίδιου τύπου με αυτό της υπόλοιπης Αττικής και μπορεί να χαρακτηριστεί ως ημίξηρο και αρκετά θερμό, με μέσες θερμοκρασίες περίπου 26οC και 10οC, κατά τη θερινή και τη χειμερινή περίοδο, αντίστοιχα. Οι επικρατούντες άνεμοι είναι βόρειοι και βορειοανατολικοί, ενισχυόμενοι κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

Ο λιμένας του Λαυρίου, με γεωγραφικές συντεταγμένες 37.70989°/24.062° (πλάτος/μήκος) βρίσκεται στην ανατολική Αττική και είναι ο πλησιέστερος λιμένας στο Διεθνές Αεροδρόμιο των Σπάτων, ενώ η οδική σύνδεσή του με το εθνικό δίκτυο εξυπηρετείται μέσω της Αττικής Οδού. Αποτελεί λιμένα μικτής χρήσης, όπως και η πλειοψηφία των ελληνικών λιμενικών εγκαταστάσεων. Ειδικότερα, οι κύριες χρήσεις του είναι η ακτοπλοϊκή σύνδεση με τα νησιά του Αιγαίου Πελάγους και η διακίνηση γενικού φορτίου με το σύστημα Ro-Ro, οι οποίες εξυπηρετούνται από τις αντίστοιχες λιμενικές υποδομές. Επιπλέον, εντός του λιμένα λειτουργούν δύο μαρίνες οι οποίες υποδέχονται αρκετά μεγάλο αριθμό σκαφών αναψυχής, καθώς και καταφύγιο επαγγελματιών και ερασιτεχνών αλιέων, ενώ διαθέτει, επίσης, τη δυνατότητα φιλοξενίας κρουαζιερόπλοιων μικρού και μεσαίου μεγέθους, με μήκος έως 200 m. Ο λιμένας λειτουργεί ακόμη ως σταθμός επιθεώρησης πλοίων, όπου πραγματοποιούνται επισκευές και αλλαγές πληρωμάτων και παράλληλα υποδέχεται στα κρηπιδώματά του υδροφόρες.

Οι πάσης φύσεως εγκαταστάσεις του λιμένα Λαυρίου έχουν παραχωρηθεί στην Ανώνυμη Εταιρεία "Οργανισμός Λιμένα Λαυρίου" από το Ελληνικό Δημόσιο, μέσω σχετικής σύμβασης που υπογράφηκε το Νοέμβριο 2002 και προβλέπει διάρκεια της παραχώρησης ίση με 40 έτη, με δυνατότητα επέκτασης κατά 10 έτη το μέγιστο. Το Λαύριο βρίσκεται μεταξύ των 12 μεγάλων λιμένων που περιλαμβάνονται στο χαρτοφυλάκιο του Ελληνικού Κράτους με τη μορφή εταιρειών περιορισμένης ευθύνης και υπάγεται, πλέον, στο Ταμείο Αξιοποίησης Ιδιωτικής Περιουσίας του Δημοσίου (Τ.Α.Ι.Π.Ε.Δ.), το οποίο βρίσκεται σε διαδικασία αξιολόγησης του πλέον αρμόδιου τρόπου αξιοποίησής του.

Σύμφωνα με τη νέα Λιμενική Στρατηγική πενταετούς ορίζοντα του Υπουργείου Ναυτιλίας και Αιγαίου, το εν λόγω λιμάνι κατατάσσεται μεταξύ των Λιμένων Διεθνούς Ενδιαφέροντος της κατηγορίας Κ1, όπως ορίζει η Υπουργική Απόφαση 831 του 2007 (ΥΑ 8315.07 ΦΕΚ Β 202 2007). Όραμα του Οργανισμού Λιμένα Λαυρίου αποτελεί η ανάδειξη του Λαυρίου σε "Ανατολική Λιμενική Πύλη" της Αττικής, αναλαμβάνοντας ουσιαστικό και στοχευμένο συμπληρωματικό ρόλο προς τον λιμένα του Πειραιά, ο οποίος παρουσιάζει μεγάλο βαθμό κορεσμού, αλλά προς το ευρύτερο Σύστημα Λιμένων της Αττικής. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι σήμερα ο λιμένας σε καμία περίπτωση δεν προσεγγίζει το βέλτιστο επίπεδο αξιοποίησης της χωρητικότητάς του. Προς την κατεύθυνση αυτή, υπάρχει εγκεκριμένο Προγραμματικό Σχέδιο το οποίο προβλέπει φάσεις έργων, εκ των οποίων οι τέσσερις πρώτες χρηματοδοτούνται από το Γ' Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης, ενώ για τις υπόλοιπες δεν έχει εξασφαλιστεί χρηματοδότηση.

Η περιοχή ενδείκνυται για την εγκατάσταση του ΑΗΣ με χρήση Λιγνίτη καθώς υπάρχει ήδη βιομηχανική περιοχή εγκατεστημένη όπου μπορεί να λειτουργήσει αυτός χωρίς σημαντικές οχλήσεις προς τους κατοίκους που είναι εγκλιματισμένοι με την λειτουργία μονάδων βαρέας βιομηχανίας στην περιοχή. Επίσης, η εγγύτητα σε λιμένα με εμπορικό χαρακτήρα, διευκολύνει την τροφοδοσία του ΑΗΣ με καύσιμη ύλη, χωρίς την απαίτηση σημαντικών παρεμβάσεων και εγκατάσταση σημαντικών στοιχείων μεταφοράς. Τέλος, η περιοχή λόγω της βιομηχανικής δραστηριότητας έχει σύνδεση με το δίκτυο υπερυψηλής τάσης και συνεπώς η σύνδεση του σταθμού με το δίκτυο για την μεταφορά του ρεύματος επίσης δεν απαιτεί σημαντικές παρεμβάσεις και νέες εγκαταστάσεις. Να σημειωθεί ότι η εγκατάσταση συνδυασμένου κύκλου που προτείνεται στην εργασία, αποτελεί μια επιπλέον θετική πλευρά της εγκατάστασης του ΑΗΣ στην περιοχή, καθώς θα προσφέρει θέρμανση στους κατοίκους σε συμφέρουσες τιμές, ενώ παράλληλα η πώληση της θερμικής ενέργειας θα αποτελεί και ένα σημαντικό επιπλέον έσοδο.

## 4.2 Η Δομή του Προτεινόμενου Σταθμού ΑΗΣ

Η συνολική διαμόρφωση είναι παρόμοια με αυτή του Σχήματος 12. Η καθαρή παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς θα είναι 384 MW. Ο άνθρακας καίγεται σε ένα λέβητα πύργου που είναι διαθέσιμος από την κοινοπραξία FLS miljø / BWE, Aalborg Industries και Volund Energy Systems. Οι εκπομπές NO<sub>x</sub> θα ελέγχονται από συνδυασμό μετρήσεων καύσης και επιλεκτικής μονάδας καταλυτικής μείωσης. Τα ηλεκτροστατικά κατακρημνιστικά θα συλλέγουν τη τέφρα και η μονάδα υγρής αποθείωσης αερίου θα αποθιοποιεί το αναδυόμενο αέριο, το οποίο στη συνέχεια θα αποστέλλεται σε μια δεξαμενή των 200 m.



Ο λέβητας θα μετατρέπει το νερό σε υπέρθερμο υπερκρίσιμο ατμό σε ένα μόνο πέρασμα. Ο ατμός θα εκτονώνεται σε έναν υπέρ-υπερκρίσιμο στρόβιλο που θα προέλθει από την GEC Alsthom, θα αναθερμαίνεται στο λέβητα, θα εκτονώνεται σε μέση πίεση, θα αναθερμαίνεται για δεύτερη φορά, θα εκτονώνεται μέχρι την συμπύκνωση τελικά και θα επιστρέφει ως νερό στο λέβητα. Ο συμπυκνωτής θα ψύχεται με θαλασσινό νερό. Ορισμένος ατμός θα λαμβάνεται από τον στρόβιλο για να εξυπηρετεί τους εναλλάκτες θερμότητας συμπύκνωσης για τη θέρμανση του νερού τηλεθέρμανσης. Οι συνθήκες ατμού θεωρούνται ότι θα είναι 29 MPa / 582 ° C / 580 ° C / 580 ° C. Αυτή η επιλογή βασικών παραμέτρων ατμού βασίστηκε σε αντίστοιχες τιμές από την βιβλιογραφία [36].

Ο άνθρακας που παραδίδεται στον λιμένα θα μεταφέρεται με φορτηγά από την περιοχή αποθήκευσης σε τέσσερις δεξαμενές που τροφοδοτούν τέσσερα κατακόρυφα τριβεία. Ο λιγνίτης από διαφορετικές πηγές θα στοιβάζεται σε χωριστά τμήματα της περιοχής αποθήκευσης έτσι ώστε να μπορεί να ανακτηθεί εκλεκτικώς ή να αναμειχθεί.

Ο υπερ-υπερκρίσιμος λέβητας θα χρησιμοποιεί 16 καυστήρες χαμηλών εκπομπών NOx, ο καθένας με σταδιακή εισαγωγή τεσσάρων αεραγωγών. Οι καυστήρες θα είναι διατεταγμένοι σε τέσσερα επίπεδα στις γωνίες του λέβητα. Θα υπάρχει ένα ακροφύσιο αέρα πάνω από κάθε καυστήρα και επίσης ένα σύστημα (OFA) πάνω από τους καυστήρες ανώτερου επιπέδου [36].

Όλες οι επιφάνειες εξόρυξης θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας (βλέπε σχήμα 5) θα βρίσκονται πάνω από τον κλίβανο, εκτός από τη σωλήνωση του εξαμιστή, η οποία, η οποία όπως και σε όλους τους λέβητες PCC, συγκολλάται για να σχηματίσει ένα τοίχωμα μεμβράνης στον λέβητα. Ο εξαμιστής θα είναι ελικοειδής. Η μονάδα του λέβητα-στροβίλου έχει σχεδιαστεί για λειτουργία ολίσθησης πίεσης για να ικανοποιεί τις μεταβολές φορτίου.

Ο εξοικονομητής θα βρίσκεται στην κορυφή του λέβητα πύργου, πάνω από τα τμήματα του αναθερμαντήρα, τα οποία βρίσκονται πάνω από τις επιφάνειες των υπερθερμαντήρων. Τα τμήματα του τελικού υπερθερμαντήρα θα βρίσκονται σε παράλληλη ροή και θα είναι μικρά έτσι ώστε οι θερμοκρασίες στην έξοδο να είναι αρκετά κοντά στη θερμοκρασία μετά την τελική αναθέρμανση.

Ο λέβητας λειτουργεί συμβατικά, δηλαδή ελαφρώς υπο-ατμοσφαιρικά κάτω από ισορροπημένο ρεύμα. Δύο ανεμιστήρες αέρα (FD) αναρροφούν από το εσωτερικό στο επάνω μέρος του λέβητα. Ο μοναδικός ανεμιστήρας πρωτογενούς αέρα αναρροφά από τις εξόδους ανεμιστήρων FD.

Οι κύριες και δευτερεύουσες ροές αέρα καύσης θερμαίνονται με περιστροφικό αναγεννητικό θερμαντήρα Ljungstrom που θα εξαγάγει θερμότητα από τα αέρια καύσης που εξέρχονται από τον εξοικονομητή στην κορυφή του λέβητα. Ένας προθερμαντήρας ατμού / αέρα θα παρέχεται επίσης για τον αέρα καύσης για χρήση όταν απαιτείται. Ο θερμαινόμενος πρωτογενής αέρας θα στεγνώνει και θα μεταφέρει τον κονιορτοποιημένο άνθρακα από τους μύλους στους καυστήρες του λέβητα. Ο θερμαινόμενος δευτερεύων αέρας από τον θερμαντήρα θα εισάγεται στον κλίβανο πάνω από κάθε σειρά καυστήρα και, υψηλότερα, για να εξασφαλίσει αποτελεσματική καύση και χαμηλές εκπομπές NOx.

Τα καυσαέρια θα διοχετεύονται μέσω του λέβητα μέσω επαγόμενων ανεμιστήρων έλξης μετά από τους ηλεκτροστατικούς κατακρημνιστές. Πριν φτάσουν στους ανεμιστήρες, περίπου το 10% της ροής μετά την ανακύκλωση των ESP θα διοχετεύεται από έναν ανεμιστήρα στον λέβητα μέσω του θερμαντήρα αέρα για να εξασφαλίσει τον έλεγχο του ατμού επαναθέρμανσης και να διατηρήσει τις θερμοκρασίες του μετάλλου σε ικανοποιητικά επίπεδα.

Ο κύκλος ατμού και νερού θα είναι ένα σύστημα διπλής αναθέρμανσης συμπυκνωμένου υπερκρίσιμου συστήματος με προηγμένες συνθήκες ατμού. Ο ατμοστρόβιλος 411 MWe 3000 στροφών ανά λεπτό θα προέλθει από την GECAlsthom (τώρα μέρος της Alstom). Αυτό έχει έναν ενιαίο πλωτήρα στροβίλου υψηλής πίεσης, έναν συνδυασμένο στρόβιλο υψηλής πίεσης και ενδιάμεσης πίεσης σε αντίθετη διάταξη ροής, έναν στρόβιλο διπλής ροής με μερική πίεση που επιτρέπει την εξαγωγή ατμού για θέρμανση του συστήματος τηλεθέρμανσης νερού και δύο διπλούς στροβίλους χαμηλής πίεσης με λεπίδες τελευταίας σειράς 860 mm. Οι κύριες συνθήκες ατμού θα είναι 29 MPa / 582 ° C / 580 ° C / 580 ° C. Ο στρόβιλος έχει σχεδιαστεί για λειτουργία ολίσθησης με πίεση ώστε να διατηρείται η αποτελεσματικότητα όσο το δυνατόν υψηλότερη με μειωμένο φορτίο και η ελάχιστη απόδοση είναι 30%.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> Χρηματοοικονομική Ανάλυση Εγκατάστασης Εργοστασίου Παραγωγής Ηλ. Ενέργειας

### 5.1 Δεδομένα - Παραδοχές

Για την διενέργεια της οικονομικής ανάλυσης για την εγκατάσταση της προτεινόμενης μονάδας ΑΗΣ στην περιοχή του Λαυρίου, αναζητήθηκαν δεδομένα για τα κόστη της εγκατάστασης από την διεθνή βιβλιογραφία [37]. Τα σχετικά δεδομένα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Παράμετρος	Τιμή
Κόστος Κεφαλαίου εγκατάστασης για μονάδα USC	4018.35 (€/kW)
Σταθερό κόστος λειτουργίας	46.52 (€/kW-yr)
Μεταβλητό κόστος λειτουργίας	5.9 (€/MWh)
Απαιτούμενη θερμική ενέργεια	9.2 MJ/kWh
Θερμογόνος δύναμη λιγνίτη	29,3 MJ/kg
Τιμή Λιγνίτη	0.03 €/kg
Κόστος μεταφοράς καυσίμου με φορτηγά	0.2-0.5 €/t
Οριακή Τιμή Συστήματος	150€/MWh
Τιμή πώλησης θερμικής ενέργειας	20 €/MWh
Παραγμένη θερμική ενέργεια	1 MWh <sub>th</sub> /8000 MWh
Externalities (εξωτερικό κόστος από την παραγωγή ενέργειας από τον λιγνίτη) [23]	8 €/MWh

Οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης είναι οι ακόλουθες:

- Έξοδα όπως χρήση γης, και σύνδεση με οδικά δίκτυα δεν συμπεριλαμβάνονται στην σχετική μελέτη, καθώς αποτελούν και θέμα συζήτησης με τους αντίστοιχους φορείς για την διευκόλυνση της εγκατάστασης των μονάδων. Υπάρχει σοβαρή πιθανότητα, να μπορέσει να διατεθεί γη στις βιομηχανικές περιοχές με εξαιρετικά χαμηλό κόστος, ενώ η τοποθέτηση των μονάδων σε αυτές επιτρέπει την άμεση σύνδεση με το οδικό δίκτυο, όπως και τα δίκτυα παροχής νερού, αποχέτευσης και υψηλής τάσης χωρίς την ανάγκη για επιπλέον κόστη, πλέον των τελών σύνδεσης. Πρέπει να σημειωθεί ότι με βάση τον αναπτυξιακό νόμο, η χρήση γης σε βιομηχανικές περιοχές απαλλάσσεται ΕΝΦΙΑ σε σημαντικό βαθμό μειώνοντας το κόστος της επένδυσης σημαντικά, όπως και από τέλη μεταφοράς και συμβολαιογραφικών πράξεων για την χρήση της γης.
- Οι τιμές που αφορούν στα μόνιμα και μεταβλητά κόστη προέκυψαν από την βιβλιογραφία για την εγκατάσταση σε αμερικάνικο έδαφος. Οι τιμές καθότι ήταν σε δολάρια μετατράπηκαν σε ευρώ με βάση την ισχύουσα ισοτιμία. Επίσης, όλα τα κόστη αυξήθηκαν κατά 30% (κόστος κεφαλαίου και σταθερό κόστος) ενώ τα μεταβλητά έξοδα κατά 50% καθώς στην Ελλάδα η φορολογία είναι αρκετά υψηλή, όπως και οι εργοδοτικές και ασφαλιστικές εισφορές.
- Για την διενέργεια των υπολογισμών θεωρείται ότι ο σταθμός λειτουργεί στο 100% της παραγωγικής ισχύος.
- Η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας της μονάδας θεωρήθηκε το 75% της οριακής τιμής του συστήματος.

## 5.2 Οικονομική Μελέτη

Με βάση τα παραπάνω, αρχικά υπολογίζεται το κόστος εγκατάστασης της μονάδας.

Πίνακας 4 Κόστος Κεφαλαίου Εγκατάστασης

Παραγόμενη Ισχύς (MW) (1)	Κόστος Κεφαλαίου (€/kW) (2)	Τελικό Κόστος Κεφαλαίου (€) (3)=(1)*1000*(2)
384	4018.35	1543Μ€

Το κόστος λειτουργίας περιλαμβάνει το σταθερό και μεταβλητό κόστος λειτουργίας της μονάδας, το κόστος καυσίμου καθώς και το κόστος μεταφοράς του καυσίμου από το λιμάνι στο σημείο αποθήκευσης. Αρχικά υπολογίζεται η απαιτούμενη ανά έτος ποσότητα λιγνίτη.

Πίνακας 5 Απαιτούμενη Ετήσια ποσότητα λιγνίτη

Παραγόμενη Ισχύς (MW) (1)	Απαιτούμενη Θερμική ενέργεια MJ/kWh (2)	Απαιτούμενη Θερμική Ενέργεια/ έτος (MJ) (3)=(1)*1000*24*365*(2)	Θερμογόνος δύναμη λιγνίτη (MJ/kg) (4)	Ετήσια απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου (t) (5)=((3)/(4))/1000
384	9.2	3947328000	29.3	1056222.799

Συνεπώς, με βάση τα αποτελέσματα του πίνακα 5 μπορούν να υπολογιστούν τα επιπλέον κόστη ανά έτος (Πίνακας 6).

Αντίστοιχα με χρήση των δεδομένων του πίνακα 4, μπορούν να υπολογισθούν τα άμεσα κέρδη της μονάδας ανά έτος (Πίνακας 7).

Πίνακας 6 Υπολογισμός επιπλέον κόστους ανά έτος

Παραγόμενη Ισχύς (MW) (1)	Ετήσια απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου (t) (2)	Σταθερά κόστη (€/kW-yr) (3)	Μεταβλητά κόστη και externalities (€/MWh) (4)	Τιμή Λιγνίτη (€/kg) (5)	Κόστος μεταφοράς (ελάχιστο) (€/t) (6)	Κόστος μεταφοράς (μέγιστο) (€/t) (7)	Τελικό κόστος (ελάχιστο) (€) (8)=(2)*1000*(5)+ (1)*1000*(3)+ (1)*24*365*(4)+ (2)*(6)	Τελικό κόστος (ελάχιστο) (€) (8)=(2)*1000*(5)+ (1)*1000*(3)+ (1)*24*365*(4)+ (2)*(6)
384	1056222.799	46.52	13.9	0.03	0.2	0.5	97Μ€	97Μ€

Πίνακας 7 Συνολικό κέρδος ανά έτος

Παραγόμενη Ισχύς (MW) (1)	Παραγόμενη θερμική ισχύς (MWhth/8000 MWh) (2)	Συνολική παραγόμενη θερμική ενέργεια (MWhth) (3)=(1)*24*365*(2)/8000	Τιμή Πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας (€/MWh) (4)	Τιμή Πώλησης θερμικής ενέργειας (€/MWhth) (5)	Συνολικό κέρδος (€) (6)=(1)*24*365*(4)+(3)*(20)
384	1	420.48	112.5	20	378Μ€

Τελος, με βάση τα δεδομένα στους πίνακες 5,6,7 και θεωρώντας ότι το έργο θα γίνει με ίδια χρηματοδότηση, μπορεί να γίνει μια μελέτη για το χρόνο απόσβεσης αυτού (Πίνακας 8).

Πίνακας 8 Υπολογισμός έτους απόσβεσης (Νεκρό Σημείο)

Έτος	Κόστος Κεφαλαίου	Συνολικό κόστος λειτουργίας ανά έτος	Συνολικά κέρδη ανά έτος	Ισοζύγιο
0	1543Μ€			1543Μ€
1		97Μ€	378Μ€	1261Μ€
2		97Μ€	378Μ€	980Μ€
3		97Μ€	378Μ€	698Μ€
4		97Μ€	378Μ€	417Μ€
5		97Μ€	378Μ€	135Μ€
6		97Μ€	378Μ€	-

Με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα 8, είναι σαφές ότι η απόσβεση της εγκατάστασης του συστήματος θα λάβει χώρα εντός του πέμπτου έτους λειτουργίας. Με βάση βέβαια τις παραδοχές που λήφθηκαν υπόψη, αυτός είναι και ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για την απόσβεση. Είναι βέβαιο ότι αυτός θα είναι αυξημένος σε κάποιο βαθμό, εξαιτίας καταρχήν του γεγονότος ότι είναι πολύ πιθανό ο σταθμός να μην λειτουργεί μόνιμα στο 100% της παραγωγής εξαιτίας της μειωμένης ζήτησης. Επίσης οι τιμές της ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας ενδεχομένως να μεταβληθούν.

Στην περίπτωση που ζητηθεί χρηματοδότηση με την λήψη δανείου, θεωρήθηκε ότι ζητήθηκε ως ποσό το μισό του αρχικού κεφαλαίου, ήτοι 771523200 € και το δάνειο είχε διάρκεια 60 μήνες με επιτόκιο 5%. Οι μηνιαίες δόσεις προκύπτουν συνεπώς 14559594.57 €. Συνεπώς για την ίδια μελέτη, προκύπτει ο πίνακας 9. Είναι εμφανές ότι ο χρόνος απόσβεσης αυξάνει κατά δύο έτη με την λήψη του δανείου.

Πίνακας 9 Υπολογισμός χρόνου απόσβεσης με λήψη δανείου.

Έτος	Κόστος Κεφαλαίου	Συνολικό κόστος λειτουργίας ανά έτος	Συνολικά κέρδη ανά έτος	Υπόλοιπο
0	772Μ€			772Μ€
1		272Μ€	378Μ€	665Μ€
2		272Μ€	378Μ€	558Μ€
3		272Μ€	378Μ€	451Μ€
4		272Μ€	378Μ€	344Μ€
5		272Μ€	378Μ€	237Μ€
6		272Μ€	378Μ€	130Μ€
7		272Μ€	378Μ€	23Μ€
		245Μ€	378Μ€	-



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εγκατάσταση μονάδας ΑΗΣ και ΣΗΘΥΑ εν γένει αποτελεί μια σημαντική επένδυση στην Ελλάδα. Εντούτοις, η μελέτη της εργασίας έδειξε ότι αποτελεί μια βιώσιμη επένδυση καθώς όπως προέκυψε από τους υπολογισμούς η τελική απόσβεση της και η παραγωγή κέρδους από την μονάδα προκύπτει σχετικά γρήγορα (στα 5 έτη). Ακόμα και στην περίπτωση που αυτή μεταβληθεί εξαιτίας των πραγματικών καταστάσεων (καθότι οι συνθήκες λειτουργίας που εξετάστηκαν ήταν αν μη τι άλλο ιδανικές), η εγκατάσταση της μονάδας εξακολουθεί να αποτελεί μια βιώσιμη και ικανή επένδυση.



## ΒΙΒΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity) (2016), Mid-Term Adequacy Forecast 2016, ENTSO-E, [https://www.entsoe.eu/Documents/SDC%20documents/MAF/MAF\\_2016\\_FINAL\\_REPORT.pdf#search=greece](https://www.entsoe.eu/Documents/SDC%20documents/MAF/MAF_2016_FINAL_REPORT.pdf#search=greece).
2. IEA (International Energy Agency) (2017a), Electricity Information 2017, OECD/IEA, Paris, [www.iea.org/statistics/](http://www.iea.org/statistics/).
3. IEA (2017b), World Energy Balances 2017, OECD/IEA, Paris, [www.iea.org/statistics/](http://www.iea.org/statistics/).
4. IEA (2017c), Energy Prices and Taxes 2017, OECD/IEA, Paris, [www.iea.org/statistics/](http://www.iea.org/statistics/).
5. PPC (Public Power Corporation) (2017), Presentation during the IEA team visit in April 2017.
6. B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (2007), Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
7. Minchener A. (2010), Developments in China's Coal-fired Power Sector, Report CCC/163, IEA Clean Coal Centre, London, January
8. Dalton, S. (2006), "Ultrasupercritical Progress in the United States and in Coal Fleet for Tomorrow", 2nd Annual Conference of the Ultrasupercritical Thermal Power Technology Collaboration Network, 27-28 October, Qingdao, China
- 9.
10. IEA (International Energy Agency) (2007), Fossil Fuel-Fired Power Generation: Case Studies of Recently Constructed Coal- and Gas-Fired Power Plants, OECD/IEA, Paris
11. Gierschner G. (2008), "COMTES700: On Track Towards the 50plus Power Plant", presentation at New Build Europe 2008, Düsseldorf, 4-5 March.

12. Topper J (2011), “Prospects for Coal Supply and Clean Coal Technologies Worldwide”, Jülich, Germany, March, <http://www2.fz-juelich.de/ief/ief-ste/datapool/steforum/ForumJuelich%20meeting.pdf>.
13. Jantti T., H. Lampenius, M. Russkanen and R. Parkkonen (2009), “Supercritical OTU CFB Projects – Lagisza 460 MWe and Novochoerkasskaya 330 MWe”, presentation at Russia Power 2009, Moscow, 28-30 April
14. Utt, J. (2008), “Advanced CFB Developments and Activities by Foster Wheeler”, presentation at IEA G8 Cleaner Fossil Fuels Workshop: What's needed to facilitate upgrading or replacement of older coal-fired plants, IEA, Paris, France, 17-18 January 2008, [http://www.iea.org/work/workshopdetail.asp?WS\\_ID=348](http://www.iea.org/work/workshopdetail.asp?WS_ID=348).
15. Henderson C. (2008), Future Developments in IGCC, Report CCC/143, IEA Clean Coal Centre London, UK, December
16. Goudappel E. and M. Berkhout (2006), “IGCC Based on Proven Technology Developing Towards 50% Efficiency Mark”, presentation at 7th European Gasification Conference, Barcelona, April.
17. Anand A., B. Mancuso, G. Wotzak and K. Collins (2006), “Coal IGCC Turbine Technology Improvements for Carbon-Free Fuels”, presentation at 23rd Annual Pittsburgh International Coal Conference, Pittsburgh, 25-28 September
18. Global CCS Institute (2010), “The Global Status of CCS:2010”, 8 March, <http://www.globalccsinstitute.com/resources/publications/global-status-ccs-2010>
19. Global CCS Institute (2011), “The Global Status of CCS:2010”, 8 March, <http://www.globalccsinstitute.com/resources/publications/global-status-ccs-2011>
20. Kubek D., C. Higman, N. Holt, and R. Schoff (2007), “CO2 Capture Retrofit Issues”, presentation at Gasification Technologies 2007, San Francisco, 14-17 October, <http://www.gasification.org/uploads/downloads/Conferences/2007/28KUBE.pdf>
21. Noer M and Kjær S Development of ultra super critical PF power plants in Denmark, World Energy Council, 17th World Energy Congress, Houston (1998).

- Available from: [http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/default/tech\\_papers/17th\\_congress/2\\_2\\_02.asp](http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/default/tech_papers/17th_congress/2_2_02.asp)
22. Gabbard A (2008): «Coal Combustion: Nuclear Resource or Danger». Oak Ridge National Laboratory. Retrieved 2008-10-22
  23. Dekok D (1986): David, Unseen Danger: A Tragedy of People, Government and the Centralia Mine Fire. University of Pennsylvania Press. ISBN 978-0-8122-8022-7.
  24. Freese B and Clemmer S (2006): «Gambling with Coal: How New Climate Laws Will Make Future Coal Plants More Expensive,» Union of Concerned Scientists;
  25. IEA (International Energy Annual) (2006): Energy Information Administration. 2008
  26. Hansen J (2007): «Testimony of James E. Hansen at Iowa Utilities Board» (PDF). Columbia University
  27. Crutzen PJ and Lelieveld J (2001): Human Impacts on Atmospheric Chemistry, by, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 29: 17 -45.
  28. Lockwood A, Welker-Hood K, Rauch M and Gottlieb B (2009):»Coal's Assault on Human Health» Physicians for Social Responsibility Report.
  29. Hvistendahl M (2007): «Coal Ash Is More Radioactive than Nuclear Waste: Scientific American», Scientific American, Nature America,
  30. McBride J P, Moore R E, Witherspoon J P and Blanco R E (1978): «Radiological impact of airborne effluents of coal and nuclear plants.» Science; 202(4372): 1045
  31. Gabbard A (2008): «Coal Combustion: Nuclear Resource or Danger». Oak Ridge National Laboratory. Retrieved 2008-10-22
  32. Nescaum (2011): Control Technologies to Reduce Conventional and Hazardous Air Pollutants from Coal-Fired Power Plants
  33. Wenig M, Spichtinger N, Stohl A, et al. (2003): Intercontinental transport of nitrogen oxide pollution plumes. Atmospheric Chemistry and Physics, 2003, 3:387393

34. EPA (Environmental Protection Agency) (2011): First National Standards for Mercury Pollution from Power Plants: Historic mercury and air toxics standards meet 20-year-old requirement to cut dangerous smokestack emissions, EPA
35. Brigham ME, Krabbenhoft DP and Hamilton PA (2003): «Mercury in stream ecosystemsnew studies initiated by the U.S. Geological Survey». US Geological Survey
36. Kjær S Review of supercritical power plant technology. Presentation to Canadian CCT Roadmap meeting, Calgary, 20-21 (March, 2003)
37. RCREEE, Enviromental Externalities from Electric Power Generation, (September, 2013)