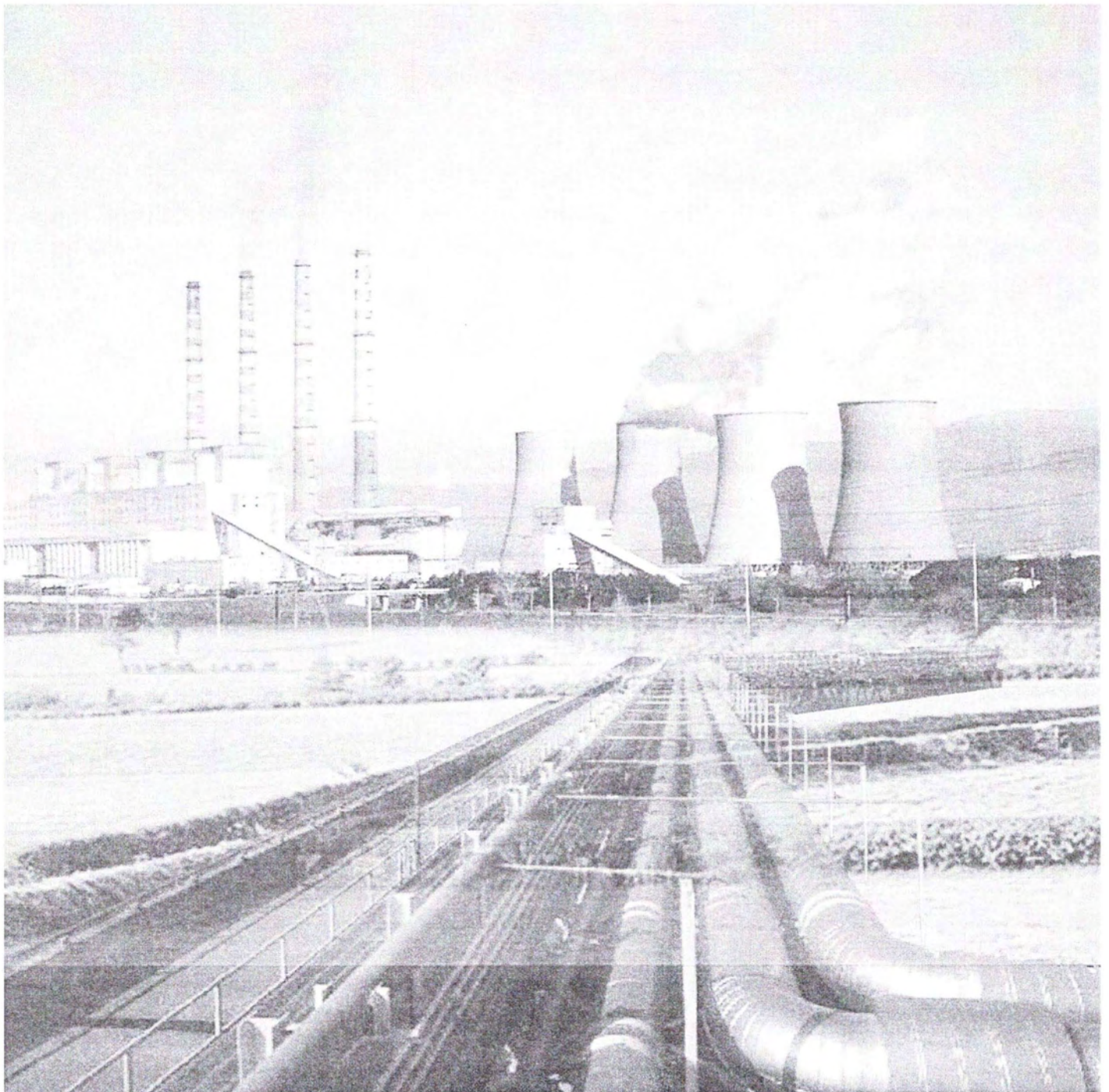




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ  
ΛΙΓΝΙΤΗ, ΒΙΟΜΑΖΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ



Φοιτητής: Παντελής Βασιλόπουλος  
Επιβλέπων: Καθ. Ανδρίτσος Νικόλαος,



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 14122/1  
Ημερ. Εισ.: 21-03-2017  
Δωρεά: Συγγραφέας  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜ  
2015  
ΒΑΣ



© 2015 Παντελής Βασιλόπουλος

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).



**Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:**

Πρώτος Εξεταστής: Δρ. Ανδρίτσος Νικόλαος

(Επιβλέπων) Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής: Δρ. Μποντόζογλου Βασίλειος

Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής: Δρ. Σταπουντζής Ερρίκος

Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλλαν άμεσα ή έμμεσα στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τον αδερφό μου, για όλα όσα μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια και την υποστήριξη με κάθε τρόπο, σε κάθε έκφραση της ζωής μου. Αισθάνομαι πως σε αυτούς οφείλω τα πάντα.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ν. Ανδρίτσο, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω βαθύτατα όλους όσους ήταν δίπλα μου και συνέβαλαν με τον τρόπο τους στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας αλλά και τη συνολικότερη διαμόρφωσή μου κατά τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων με τις αξέχαστες στιγμές που ζήσαμε, τους φίλους μου, Αλέξανδρο Αναστασιάδη, Πάρη Κακαρέτσα, Ιησού Σαριόγλου, Τάσο Τριανταφύλλου, Βαγγέλη Τζίκα, Απόστολο Γκούντα, Στέργιο Μάμαλη, Δημήτρη Τύρη, τη Γιούλη Σπυροπούλου και Έφη Δημητρακοπούλου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Έφη για την επιμέλεια του εξωφύλλου και της παρουσίασης.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία με τίτλο «Οικονομοτεχνική και Περιβαλλοντική Διάσταση Παραγωγής Ενέργειας από Λιγνίτη, Βιομάζα και Φυσικό αέριο» πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των διάφορων τρόπων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση λιγνίτη, βιομάζας και φυσικού αερίου, η ανάλυση των χαρακτηριστικών κάθε καυσίμου, η αρχή λειτουργίας της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ισχύος ανάλογα με το καύσιμο και στη συνέχεια, μία οικονομοτεχνική ανάλυση με ρεαλιστικά και περιβαλλοντικά στοιχεία, ώστε τελικά να καταλήξουμε στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των καυσίμων που εξετάσαμε. Συγκεκριμένα, στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή όσον αφορά την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα και της πηγές της καθώς και ο σκοπός της εργασίας. Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρονται τα γενικά στοιχεία των καυσίμων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο έχουμε την οικονομοτεχνική διάσταση των καυσίμων που εξετάζουμε (Λιγνίτης, Βιομάζα, Φυσικό αέριο). Στο 4<sup>ο</sup> έχουμε την περιβαλλοντική διάσταση των καυσίμων αυτών για την παραγωγή ενέργειας. Τέλος, πραγματοποιήθηκε μια συμπερασματική μελέτη σε σχέση με τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε καυσίμου.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	11
1.1. Σκοπός εργασίας.....	12
2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	13
2.1. Γενικά στοιχεία για λιγνίτη.....	13
2.1.1. Εξόρυξη λιγνίτη .....	16
2.1.2. Χρήση του λιγνίτη στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	16
2.1.3. Καύση του λιγνίτη .....	16
2.1.4. Τυπική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμο λιγνίτη.....	18
2.2. Γενικά στοιχεία για βιομάζα.....	20
2.2.1. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα βιομάζας.....	21
2.3. Γενικά στοιχεία για το φυσικό αέριο .....	23
2.3.1. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα φυσικού αερίου .....	26
2.4. Γενικά οικονομικά στοιχεία για τους λέβητες κάθε καυσίμου.....	28
3. ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΛΙΓΝΙΤΗ, ΒΙΟΜΑΖΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ .....	34
3.1. Αρχή λειτουργίας μονάδας παραγωγής ενέργειας από λιγνίτη.....	34
3.2. Οικονομοτεχνικά στοιχεία λέβητα λιγνίτη.....	38



3.3.	Αρχή λειτουργίας μονάδας παραγωγής ενέργειας από βιομάζα.....	39
3.4.	Οικονομοτεχνικά στοιχεία για παραγωγή ενέργειας από βιομάζα.....	43
3.5.	Αρχή λειτουργίας μονάδας παραγωγής ενέργειας με φυσικό αέριο.....	46
3.6.	Οικονομοτεχνικά στοιχεία παραγωγής ενέργειας από αεριοστρόβιλο φυσικού αερίου .....	50
4.	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	52
4.1.	Σημαντικότεροι αέριοι ρύποι ως προϊόντα καύσης .....	52
4.1.1.	Διοξείδιο του άνθρακα ως προϊόν καύσης (CO <sub>2</sub> ) .....	52
4.1.2.	Μονοξείδιο του άνθρακα ως προϊόν καύσης (CO).....	54
4.1.3.	Τα οξείδια του αζώτου (NO <sub>x</sub> ) .....	55
4.1.4.	Το διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> ).....	56
4.2.	Στοιχειακή ανάλυση λιγνίτη, βιομάζας και φυσικού αερίου.....	58
4.2.1.	Στοιχειακή ανάλυση λιγνίτη.....	58
4.2.2.	Στοιχειακή ανάλυση φυσικού αερίου.....	60
4.2.3.	Στοιχειακή ανάλυση βιομάζας.....	61
4.3.	Περιβαλλοντική σύγκριση καυσίμων.....	65
4.3.1.	Παραγωγή CO <sub>2</sub> από καύση λιγνίτη .....	65
4.3.2.	Παραγωγή CO <sub>2</sub> από καύση βιομάζας .....	66
4.3.3.	Παραγωγή CO <sub>2</sub> από καύση φυσικό αέριο .....	67
4.3.4.	Τρόποι μείωσης των ρύπων.....	68
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	71
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	74

## ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 2.1.	Συγκριτικός πίνακας ποιότητας των ελληνικών κοιτασμάτων.....	15
Πίνακας 3.1.	Οικονομικά και τεχνικά στοιχεία λιγνίτη σε μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....	38
Πίνακας 3.2.	Οικονομικά και τεχνικά στοιχεία για την αναβάθμιση μιας μονάδας λιγνίτη σε βιομάζα. ....	43
Πίνακας 3.3.	Οικονομικά και τεχνικά στοιχεία βιομάζας από ροκανίδια σε μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. ....	44
Πίνακας 3.4.	Οικονομικά και τεχνικά στοιχεία βιομάζας από άχυρο σε μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. ....	45
Πίνακας 3.5.	Τεχνική και οικονομική ανάλυση φυσικού αερίου για παραγωγή ενέργειας.....	50
Πίνακας 3.6.	Τεχνική και οικονομική ανάλυση φυσικού αερίου για την αντίθλιψη. ....	51

Πίνακας 4.1. Στοιχειακή ανάλυση λιγνίτη .....	60
Πίνακας 4.2. Στοιχειακή ανάλυση φυσικού αερίου .....	61
Πίνακας 4.3. Στοιχειακή ανάλυση της βιομάζας .....	62
Πίνακας 4.4. Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από ενεργειακές καλλιέργειες (Πηγή: βάση δεδομένων ΕΚΕΤΑ/ ΙΔΕΠ).....	63
Πίνακας 4.5. Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από αγροτικά υπολείμματα (Πηγή: βάση δεδομένων ΕΚΕΤΑ/ ΙΔΕΠ).....	63
Πίνακας 4.6. Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων πελλετών και μπρικετών (Πηγή: βάση δεδομένων ΕΚΕΤΑ/ ΙΔΕΠ) .....	64
Πίνακας 4.7. Εκπομπές αερίων από την καύση λιγνίτη .....	66
Πίνακας 4.8. Εκπομπές ρυπογόνων αερίων κατά την καύση βιομάζας.....	67
Πίνακας 4.9. Εκπομπές λόγω καύσης φυσικού αερίου για παραγωγή ενέργειας.....	68
Πίνακας 4.10. Εκπομπές CO <sub>2</sub> για λιγνίτη, βιομάζα και φυσικό αέριο και κόστος MWhε λόγω εκπομπών CO <sub>2</sub> .....	68
Πίνακας 5.1. Συγκριτικός πίνακας μονάδων λιγνίτη-βιομάζας και φυσικού αερίου ως προς τους κρίσιμους παράγοντες για την επιλογή επένδυσης.....	72

## ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1.1. Διάγραμμα καυσίμων-πηγών για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως.....	11
Εικόνα 1.2. Διάγραμμα πηγών ηλεκτρικής ενέργειας για την Ελλάδα .....	12
Εικόνα 2.1. Περιοχές με κοιτάσματα λιγνίτη στην Ελλάδα .....	15
Εικόνα 2.2. Σχηματική αναπαράσταση όλης της σειράς διεργασιών του λιγνιτή .....	19
Εικόνα 2.3. Σχηματικό διάγραμμα παραγωγής και χρήσης βιομάζας στην παραγωγή ενέργειας ( <a href="http://www.alten.gr/energeia_biomazas.html">http://www.alten.gr/energeia_biomazas.html</a> ).....	21
Εικόνα 2.4. Δίκτυο μεταφοράς φυσικού αερίου υψηλής πίεσης στην Ελλάδα.....	24
Εικόνα 2.5. Ποσοστό παραγωγής ενέργειας ανά πηγή (2013).....	25
Εικόνα 2.6. Σωληνώσεις για τη μεταφορά φυσικού αερίου από τη Ρωσία.....	26
Εικόνα 3.1. Σχηματική απεικόνιση παραγωγής ενέργειας από λιγνιτικό σταθμό .....	34
Εικόνα 3.2. Συστήματα παραγωγικής διαδικασίας σταθμού .....	35
Εικόνα 3.3. Διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τη Μονάδα.....	36
Εικόνα 3.4. Ροή καυσίμου λέβητα για παραγωγή ενέργειας με λιγνίτη.....	37
Εικόνα 3.5. Σχηματικό διάγραμμα παραγωγής ενέργειας από βιομάζα (Πηγή: <a href="http://www.biomassinnovation.ca">http://www.biomassinnovation.ca</a> ).....	39
Εικόνα 3.6. Επιμέρους μέρη μια μονάδας παραγωγής ενέργειας από βιομάζα (Πηγή: <a href="http://www.renevol.gr/">http://www.renevol.gr/</a> ) .....	41
Εικόνα 3.7. Διάταξη εξοπλισμού για παραγωγή ενέργειας με φυσικό αέριο (Πηγή: <a href="http://www3.toshiba.co.jp/power">http://www3.toshiba.co.jp/power</a> ) .....	46
Εικόνα 3.8. Θερμοδυναμικός κύκλος σε ατμοστρόβιλο για παραγωγή ενέργειας με φυσικό αέριο.....	47

Εικόνα 3.9. Συνδυασμένος κύκλος παραγωγής ενέργειας με φυσικό αέριο (Πηγή: <a href="http://www.niprc.org/images">http://www.niprc.org/images</a> ).....	49
Εικόνα 4.1. Οι εκπομπές CO <sub>2</sub> ανά μονάδα παραγωγής ενέργειας για κάθε καύσιμο παγκοσμίως (Πηγή: <a href="http://www.world-nuclear.org">http://www.world-nuclear.org</a> ) .....	53

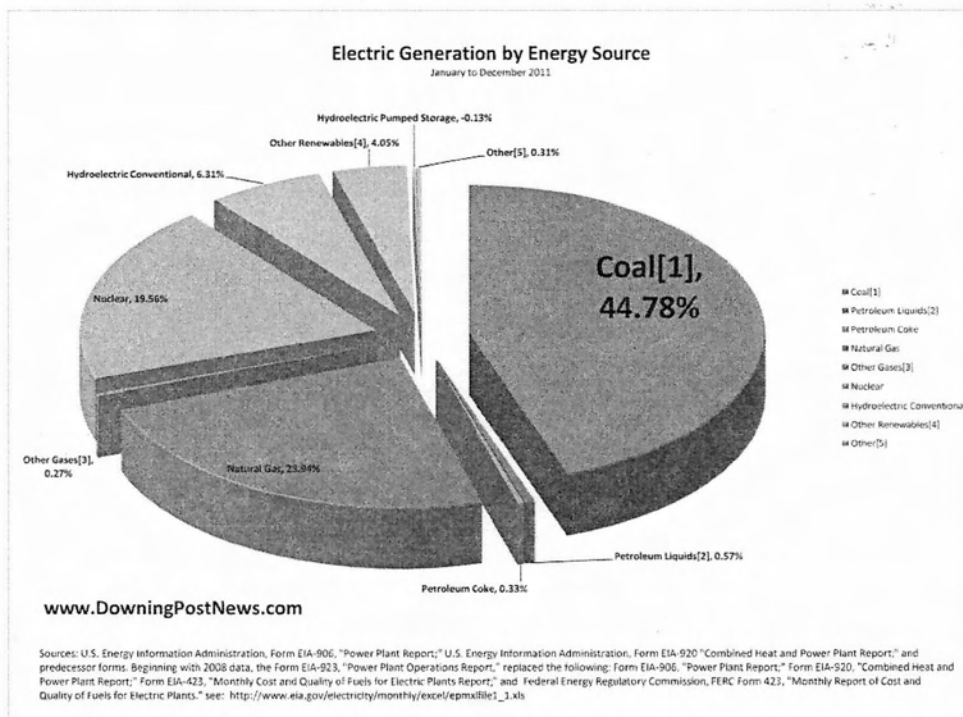
# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάπτυξη του κοινωνικοοικονομικού επιπέδου της Ελλάδας από το 1950 μέχρι και το 2000 στηρίχθηκε σε μεγάλο βαθμό στη φθηνή ηλεκτρική ενέργεια που παρήγαγε η Ελλάδα από δικούς της πόρους.

Αρχικά, η ηλεκτροπαραγωγή μεγάλης κλίμακας άρχισε με σχετικά μεγάλα για τα ελληνικά δεδομένα υδροηλεκτρικά έργα που εκμεταλλεύτηκαν το πλούσιο υδροδυναμικό της ορεινής Ελλάδας. Πριν τελειώσει η δεκαετία του 50' άρχισαν να λειτουργούν τα πρώτα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από τοπικό ορυκτό καύσιμο, αρχικά λιθάνθρακα Αλιβερίου και στη συνέχεια λιγνίτη.

Από το 2000, μετά τις επιταγές της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το ενεργειακό σκηνικό της χώρας αλλάζει δραστικά με την απελευθέρωση της ηλεκτρικής ενέργειας και παράλληλα την εισαγωγή φυσικού αερίου στη χώρα. Η παραγωγή ενέργειας από φυσικό αέριο είναι αρκετά αξιόπιστη λύση καθώς έχει μεγάλη απόδοση και παράλληλα δεν απαιτεί μεγάλα κεφάλαια επένδυσης καθώς δεν είναι απαραίτητη η δημιουργία ορυχείου. Το μοναδικό πρόβλημα του φυσικού αερίου είναι το υψηλό του κόστος, αφού αποτελεί προϊόν εισαγωγής από ανατολικές χώρες.

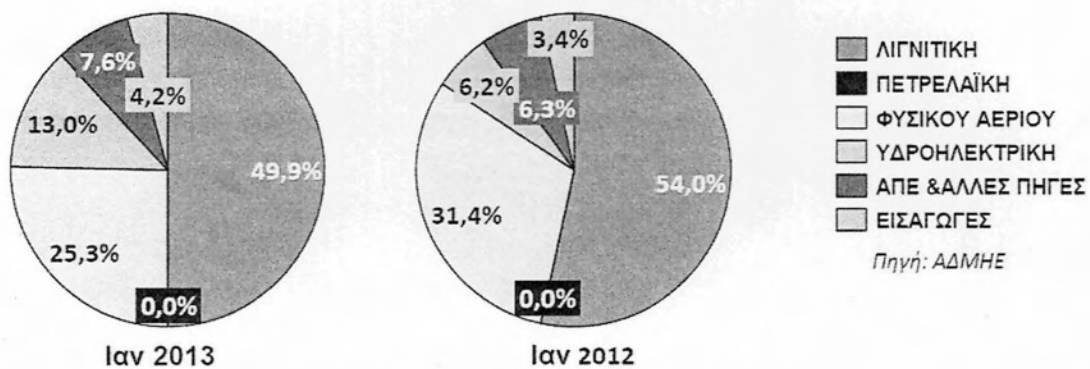
Η εύκολη πρόσβαση στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του φυσικού αερίου ώθησε επενδυτές στην εγκατάσταση μεγάλης ισχύος σταθμούς ηλεκτρικής ενέργειας, όμως σύντομα αποδείχθηκε ότι οι μονάδες φυσικού αερίου δεν μπορούν να συναγωνιστούν τον τοπικό λιγνίτη με αποτέλεσμα να μην αποδίδουν το μέγιστο της ισχύος τους και να αντιμετωπίζουν πρόβλημα βιωσιμότητας.



Εικόνα 1.1. Διάγραμμα καυσίμων-πηγών για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως



Πέραν αυτών τις τελευταίες δύο δεκαετίες άρχισε και στην Ελλάδα η σταδιακή ανάπτυξη και των υπόλοιπων ΑΠΕ εκτός της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Στις ΑΠΕ ανήκει και η λύση της βιομάζας, η καύση της οποίας δεν έχει αναπτυχθεί ακόμα στην Ελλάδα και δεν υπάρχουν μονάδες μεγάλης ισχύος όπως υπάρχουν στην Βόρεια Ευρώπη. Ο σπουδαιότερος λόγος για τον οποίο η ανάπτυξη της βιομάζας δεν αποτελεί βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο έγκειται κυρίως στη διαθεσιμότητά της ή καλύτερα στις δυσκολίες που παρουσιάζει η συγκέντρωσή μεγάλων ποσοτήτων. Σημειώνεται ότι μια μονάδα 300 MW απαιτεί περίπου 1.400.000 τόνους βιομάζας. Η βιομάζας έχει σημαντικό συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι των ορυκτών καυσίμων, καθότι δεν της επιβάλλεται ο πράσινος φόρος του διοξειδίου του άνθρακα, αν και λόγω της παγκόσμια οικονομικής και βιομηχανικής ύφεσης της τελευταίας τριετίας αυτός ο φόρος βρίσκεται σε κατακόρυφη πτώση λόγω της μειωμένης ζήτησης.



Εικόνα 1.2. Διάγραμμα πηγών ηλεκτρικής ενέργειας για την Ελλάδα

Επομένως, γίνεται εύκολα αντιληπτό το ενδιαφέρον που προκύπτει για τη μελέτη και συγκριτική ανάλυση της περιβαλλοντικής και οικονομικής διάστασης της παραγωγής ενέργειας από λιγνίτη, φυσικό αέριο και βιομάζα, ώστε να γίνουν καταφανή τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του κάθε τρόπου.

### 1.1. Σκοπός εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι αρχικά η παράθεση των διάφορων τρόπων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για τα ελληνικά δεδομένα με τη χρήση λιγνίτη, βιομάζας και φυσικού αερίου, στην πορεία η ανάλυση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών κάθε καυσίμου, της αρχή λειτουργίας της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ισχύος ανάλογα με το καύσιμο και στη συνέχεια επιχειρείται μία οικονομοτεχνική ανάλυση με ρεαλιστικά στοιχεία (όπως κόστος επένδυσης, κόστος φυσικού εξοπλισμού, κ.ά.) και περιβαλλοντικά στοιχεία, ώστε συμπερασματικά να παρουσιαστούν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε καυσίμου.

## 2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Όπως αναφέρθηκε και στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο, στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη τριών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με περιβαλλοντικά και οικονομικά στοιχεία. Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρατεθούν κάποιες γενικές πληροφορίες που αφορούν τα καύσιμα που επιλέχθηκαν, ώστε να είναι ευκολότερη η περαιτέρω ανάλυση που θα επιχειρηθεί.

### 2.1. Γενικά στοιχεία για λιγνίτη

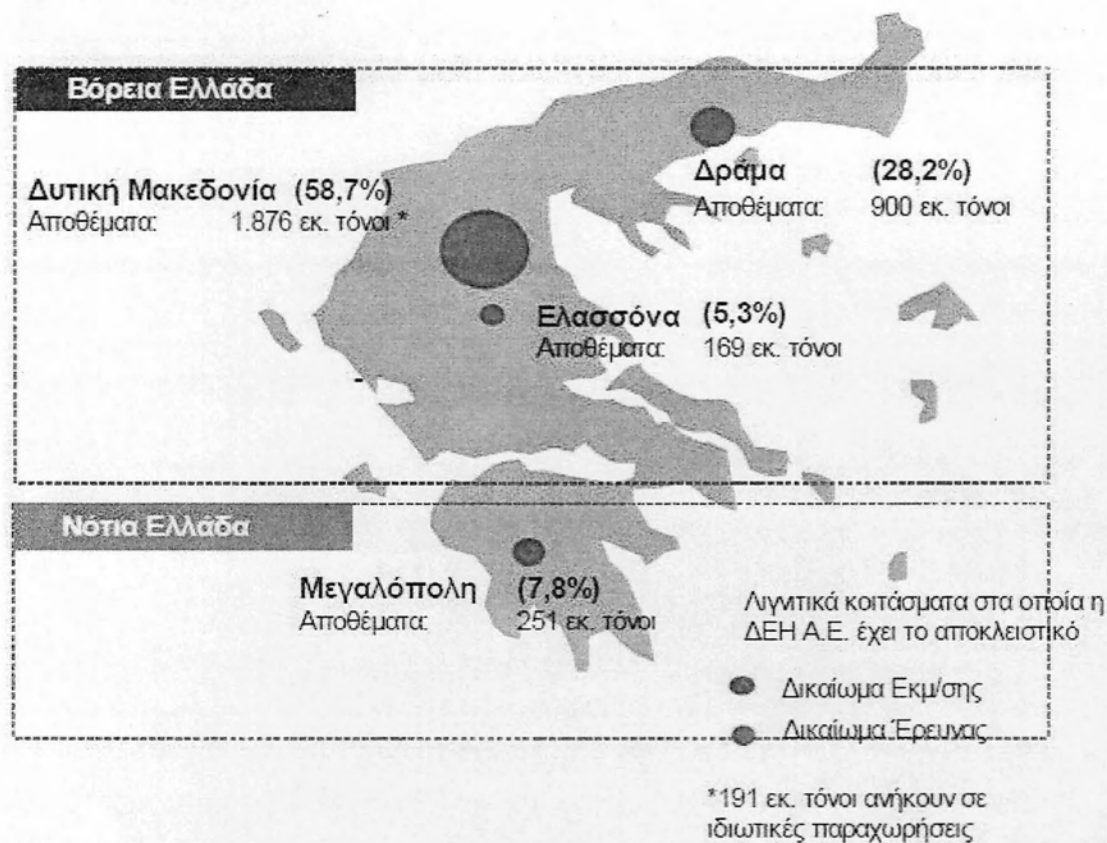
Ο λιγνίτης, ή φαιάνθρακας, είναι ένα οργανικής προέλευσης πέτρωμα, το οποίο αποτελείται κυρίως από άνθρακα, αλλά και κάποια άλλα συστατικά όπως υδρογόνο, άζωτο και οξυγόνο. Ο λιγνίτης, παρόλο που διαθέτει υψηλότερη περιεκτικότητα άνθρακα από την τύρφη (άλλη μορφή άνθρακα), θεωρείται το χειρότερης ποιότητας καύσιμο άνθρακα και προέρχεται κυρίως από την εξανθράκωση φυτικών οργανισμών. Ο λιγνίτης χρησιμοποιείται κυρίως ως καύσιμο, αν και η θερμική του αξία είναι μικρότερη από του ανθρακίτη, και είναι εκμεταλλεύσιμος κυρίως στα ατμοηλεκτρικά εργοστάσια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ επίσης χρησιμοποιείται για την παραγωγή οργανοχημικών λιπασμάτων, στην γεωργία κ.α. Το χρώμα του λιγνίτη είναι καφέ-μαύρο και το ποσοστό του σε υγρασία κυμαίνεται μεταξύ 35-65%.

Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία και της χαμηλής θερμαντικής αξίας που διαθέτει, ο λιγνίτης δε μεταφέρεται εύκολα κι για αυτό το λόγο συνηθίζεται να χρησιμοποιείται από εργοστάσια που είναι τοποθετημένα πολύ κοντά σε ορυχεία εξόρυξης λιγνίτη. Επιπρόσθετα, αυτός είναι ο κύριος λόγος για τον οποίο ο λιγνίτης δεν αποτελεί συχνά εμπορεύσιμο καύσιμο στην παγκόσμια αγορά, αλλά χρησιμοποιείται τοπικά από την κάθε χώρα εξόρυξής του (όπως Γερμανία, Ελλάδα).

Ο λιγνίτης διαθέτει υψηλό ποσοστό τέφρας και για αυτό το λόγο δημιουργεί την ανάγκη για εξαιρετικά μεγάλες εγκαταστάσεις συγκράτησης των σωματιδίων τέφρας, ενώ η χαμηλή του θερμογόνος δύναμη απαιτεί μεγάλες παροχές προκειμένου να επιτευχθεί το απαιτούμενο θερμικό φορτίο, το οποίο οδηγεί με τη σειρά του σε σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Επιπλέον, η μεταλλευτική δραστηριότητα των ορυχείων λιγνίτη δημιουργεί τριβές με τις τοπικές κοινωνίες και για αυτό ο λιγνίτης συχνά προκαλεί πολιτικές διαμάχες καθώς συχνά ομάδες πληθυσμού εμφανίζονται αντίθετες στην εγκατάσταση εργοστασίων λιγνίτη [1].

Όσον αφορά στα κοιτάσματα λιγνίτη στην Ελλάδα, είναι από τα πιο φτωχά στερεά καύσιμα, ευτυχώς όμως διατίθενται σε μεγάλες ποσότητες. Τα συνολικά βεβαιωμένα γεωλογικά αποθέματα λιγνίτη στη χώρα ανέρχονται σε 5 δισ. τόνους, περίπου. Μάλιστα, τα κοιτάσματα αυτά παρουσιάζουν αξιοσημείωτη γεωγραφική εξάπλωση στον ελληνικό χώρο. Με τα σημερινά τεχνικοοικονομικά δεδομένα κοιτάσματα που είναι καλύτερα για ενεργειακή εκμετάλλευση, ανέρχονται περίπου σε 3,2 δισ. τόνους.

Τα κυριότερα κοιτάσματα λιγνίτη που εκμεταλλευόμαστε βρίσκονται στις περιοχές Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου και Φλώρινας με υπολογισμένο απόθεμα 1,9 δις τόνους, στην περιοχή της Δράμας με απόθεμα 900 εκ. τόνους και στην περιοχή Ελασσόνας με 150 εκατομμύρια τόνους. Επίσης, στην περιοχή της Μεγαλόπολης στην Πελοπόννησο, υπάρχει λιγνιτικό κοιτάσμα με απόθεμα περίπου 250 εκατομμύρια τόνους. Με βάση τα συνολικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη της χώρας και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι τα αποθέματα αυτά επαρκούν για λίγο περισσότερο από 45 χρόνια. Μέχρι σήμερα οι εξορυχθείσες ποσότητες λιγνίτη φτάνουν συνολικά τα 1,3 δισ. τόνους, ποσοστό που αντιστοιχεί περίπου στο 29% των συνολικών αποθεμάτων. Το 2003 εξορύχθησαν συνολικά 68,1 εκ. τόνοι, ενώ μόνο κατά το πρώτο εξάμηνο του 2004 παρήχθησαν 35,4 εκ. τόνοι. Έτσι, η χώρα μας κατέχει τη δεύτερη θέση σε παραγωγή λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση και την έκτη θέση παγκοσμίως. Τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα στο κοιτάσμα αυτό εκτιμώνται σε 4 δισ. κυβικά μέτρα και ισοδυναμούν περίπου με 125 εκατ. τόνους πετρελαίου [2].



Εικόνα 2.1. Περιοχές με κοιτάσματα λιγνίτη στην Ελλάδα

Σημαντικό συγκριτικό πλεονέκτημα των λιγνιτών της χώρας μας είναι η χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο.

Πίνακας 2.1. Συγκριτικός πίνακας ποιότητας των ελληνικών κοιτασμάτων

Περιοχή κοιτάσματος	Θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	Τέφρα(%)	Υγρασία(%)
Πτολεμαΐδα	5452	15,1	52,6
Αμύνταιο	4828	16,4	54,7
Μεγαλόπολη	4400	15,5	57,9
Φλώρινα	7960	17,0	42,0
Δράμα	4315	16,0	59,0
Ελασσόνα	8590	19,0	41,0

Για την αξιοποίηση των κοιτασμάτων στις περιοχές Δράμας και Ελασσόνας βρίσκονται σε εξέλιξη τεχνικοοικονομικές μελέτες. Με βάση τα σημερινά εθνικά και διεθνή ενεργειακά δεδομένα και τα στοιχεία που αφορούν την ποσότητα και την ποιότητα του λιγνίτη των ανωτέρω κοιτασμάτων, προκύπτει ότι η εκμετάλλευσή



τους είναι οικονομικά συμφέρουσα. Τα υπάρχοντα αποθέματα επαρκούν για τη λειτουργία μέχρι και πέντε μονάδων των 300 MW στη Δράμα και μίας μονάδας 500 MW στην Ελασσόνα.

### **2.1.1. Εξόρυξη λιγνίτη**

Η μορφολογία των κοιτασμάτων του λιγνίτη στην Πτολεμαΐδα, παρουσιάζει μια εναλλαγή μεταξύ των οριζόντιων λιγνιτικών κοιτασμάτων και ενδιάμεσων υλικών, τα οποία ονομάζονται "στείρα". Η εξόρυξη του λιγνίτη γίνεται επιφανειακά με την μέθοδο των ορθών βαθμίδων χρησιμοποιώντας μεγάλα ηλεκτροκίνητα μηχανήματα συνεχούς λειτουργίας, μεταφοράς και απόθεσης (καδοφόρους εκσκαφείς, ταινιόδρομοι, αποθέτες). Από τα υλικά που εξορύσσονται, αρχικά ο λιγνίτης αποθηκεύεται στην αυλή λιγνίτη, θραύεται, και στην συνέχεια πηγαίνει για καύση στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς, ενώ τα υπόλοιπα γεωυλικά μεταφέρονται και αποτίθενται κυρίως στις περιοχές στις οποίες έχει προηγηθεί εξόρυξη, ώστε οι επιπτώσεις στο τοπίο της περιοχής μετά την εκμετάλλευση να είναι ελάχιστες. Η μεταφορά του λιγνίτη και των στείρων, πραγματοποιείται με ταινιόδρομους οι οποίοι μπορούν να μεταφέρουν σε μακρινές αποστάσεις μεγάλες ποσότητες υλικών. Τέλος, γίνεται απόθεση των γεωυλικών στις περιοχές όπου έχει εξορυχθεί ο λιγνίτης, με μεγάλα ηλεκτροκίνητα μηχανήματα τους αποθέτες. Επιπλέον, η εξόρυξη και διαχείριση του λιγνίτη απαιτεί τη χρήση βοηθητικού εξοπλισμού όπως χωματουργικά μηχανήματα, φορτωτές εκσκαφείς, φορτηγά κ.ά. [3]

### **2.1.2. Χρήση του λιγνίτη στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας**

Στη Δυτική Μακεδονία υπάρχουν έξι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν το λιγνίτη ως καύσιμη ύλη και η συνολική ισχύς των σταθμών αυτών είναι περίπου 4.500 MW. Με τη βοήθεια των ατμοηλεκτρικών σταθμών επιτυγχάνουμε τη μετατροπή της χημικής ενέργειας του λιγνίτη σε ηλεκτρική. Από το σημείο εξόρυξης πραγματοποιείται μεταφορά του λιγνίτη, με τη χρήση ταινιόδρομων, στο σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπου εκεί είτε αποθηκεύεται ή οδηγείται απευθείας στους σπαστήρες. Στους σπαστήρες ο λιγνίτης θρυμματίζεται σε κομμάτια μέγιστης διαμέτρου 4 cm και έπειτα μεταφέρεται στα σιλό λιγνίτη των μονάδων. Στο λέβητα της μονάδας πραγματοποιείται η καύση του λιγνίτη, οπότε παρέχεται ποσότητα θερμότητας στο νερό το οποίο με τη σειρά του ατμοποιείται, μέχρι το σημείο που γίνεται υπέρθερμος ατμός. Το μεγαλύτερο ποσοστό του χρήσιμου νερού παράγεται από την εκτόνωση του υπέρθερμου ατμού στο στρόβιλο υψηλής πίεσης. Έπειτα, ο ατμός οδηγείται και πάλι στο λέβητα προκειμένου να ξανά αυξηθεί η θερμοκρασία και η πίεση του, και στη συνέχεια εκτονώνεται στο στρόβιλο μέσης και χαμηλής πίεσης όπου παράγεται επιπλέον

έργο, το οποίο οδηγεί σε περαιτέρω βελτίωση του βαθμού απόδοσης του σταθμού. Στη συνέχεια, ο ατμός εισέρχεται στο ψυγείο της μονάδας όπου συμπυκνώνεται με τη βοήθεια ψυκτικού νερού. Με τη βοήθεια αντλιών ο συμπυκνωμένος ατμός, προθερμαίνεται με τη χρήση εναλλακτών θερμότητας και οδηγείται μέσω αντλιών και πάλι στο λέβητα ολοκληρώνοντας ένα θερμικό κύκλο. Στη συνέχεια το νερό οδηγείται στον πύργο ψύξης, όπου ψύχεται, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και πάλι ως ψυκτικό μέσο. Βέβαια, με τη μέθοδο του καταιονισμού στον πύργο ψύξης χάνεται μια ποσότητα νερού με τη μορφή ατμού και σταγονιδίων.

Στον άξονα του στροβίλου, ο οποίος διαθέτει ταχύτητα περιστροφής 3000 στροφές/λεπτό, έχει συνδεθεί η ηλεκτρική γεννήτρια, η οποία εκμεταλλεύεται την υψηλή ενθαλία του ατμού. Για την παραγωγή ενέργειας που ισούται με 1 MWh, απαιτείται η καύση περίπου 1,80 τόνων λιγνίτη και η κατανάλωση 2,5 τόνων ψυκτικού νερού. Τα καυσαέρια που παράγονται από την καύση του λιγνίτη οδηγούνται σε διατάξεις κατακράτησης των αιωρούμενων σωματιδίων, τα ηλεκτροστατικά φίλτρα (Η/Φ). [4]

### 2.1.3. Καύση του λιγνίτη

Από την αυλή λιγνίτη, ο λιγνίτης οδεύει μέσω μεταλλικών τροφοδοτών με βαρύτητα, στους μύλους των λεβήτων. Οι μύλοι αλέθουν το υλικό και το προωθούν στις εστίες λεβήτων. Η προώθηση αυτή γίνεται με την χρήση καυσαερίων που αναρροφώνται από την εστία και καταθλίβονται στους καυστήρες συμπαρασύροντας λιγνίτη. Στο στάδιο αυτό γίνεται επίσης και ξήρανση του λιγνίτη με τη θερμότητα που παρέχουν τα καυσαέρια. Από τους μύλους ο λιγνίτης καταθλίβεται στις εστίες των λεβήτων όπου γίνεται η καύση για την ατμοποίηση του νερού. Η θεωρητικά απαιτούμενη ποσότητα για τη στοιχειομετρική καύση του λιγνίτη είναι 30% περίσσειας του αέρα καύσης. Ο λιγνίτης αυτός καίγεται σε θερμοκρασία περίπου 1000°C και αποδίδει τη θερμότητα καύσης του. Τα τρία προϊόντα της καύσης είναι αρχικά καυσαέρια (με κύρια συστατικά τους άζωτο, υδρατμούς, οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου και οξείδια του αζώτου), δεύτερον η ιπτάμενη τέφρα (περίπου το 97% της συνολικής τέφρας του λιγνίτη), δηλαδή άκαυστα ανόργανα συστατικά του λιγνίτη που παρασύρονται με τα καυσαέρια, και τέλος η υγρή τέφρα που αποτελεί το 3% της συνολικής τέφρας και μαζί με λιγνίτη που δεν έχει καεί, δε μεταφέρονται από τα καυσαέρια και λόγω βαρύτητας συγκεντρώνονται στο κάτω μέρος του λέβητα που αποτελείται από μια δεξαμενή γεμάτη με νερό, τη λεγόμενη τεφρολεκάνη. Μέσα στην τεφρολεκάνη γίνεται αποπυράκτωση των τεμαχίων αυτών που αποτελούν την υγρή τέφρα.

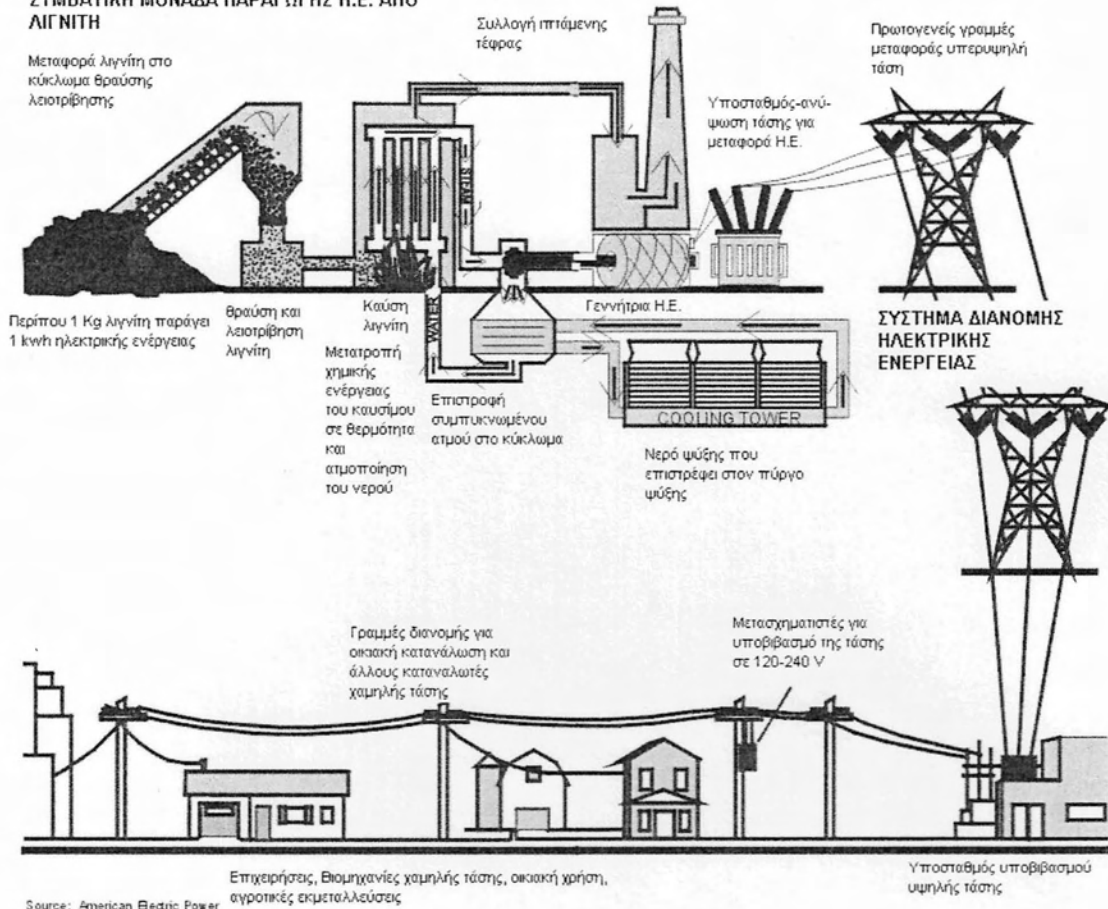
Επομένως, κατά τη διαδικασία καύσης του λιγνίτη παράγονται αέρια και στερεά βιομηχανικά απόβλητα. Τα αέρια απόβλητα είναι καυσαέρια που περιέχουν

αιωρούμενα σωματίδια και τα στερεά απόβλητα είναι τα αδρανή συστατικά του καύσιμου με μικρές ποσότητες λιγνίτη που δεν καίγεται στις εστίες των λεβήτων.

#### **2.1.4. Τυπική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμο λιγνίτη**

Για την παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μια μονάδα ηλεκτροπαραγωγής ακολουθούνται κάποιες βασικές διεργασίες. Αρχικά ο εξορυσσόμενος λιγνίτης μεταφέρεται με ταινιόδρομους στην μονάδα θραύσης. Εκεί υφίσταται πρωτογενώς μία θραύση και μεταφέρεται στη μονάδα ηλεκτροπαραγωγής, όπου ακολουθεί μια δευτερογενής θραύση (τρίβεται σε λεπτομερές μέγεθος τεμαχίων). Ο λιγνίτης αναμειγνύεται με αέρα και εισάγεται στο θάλαμο καύσης όπου καίγεται προς παραγωγή θερμότητας. Μέσα στο θάλαμο καύσης κυκλοφορούν σε σωληνώσεις μεγάλες ποσότητες καθαρού νερού. Το νερό προσλαμβάνει την εκλυόμενη θερμότητα από την καύση και μετατρέπεται σε υπέρθερμο και υψηλής πίεσης ατμό. Στη συνέχεια, ο ατμός οδηγείται με σωληνώσεις σε ατμοστροβίλους που μετατρέπουν την ενέργεια του ατμού σε κινητική ενέργεια, η οποία παράγει με τη βοήθεια μιας γεννήτριας ηλεκτρική ενέργεια. Η ηλεκτρική ενέργεια μετασχηματίζεται σε υψηλής τάσης Η.Ε. και οδηγείται στο σύστημα μεταφοράς. Η τάση της Η.Ε. υποβιβάζεται όταν φθάσει κοντά στους καταναλωτές και διανέμεται στους χρήστες. Τέλος, ο θερμός ατμός των ατμοστροβίλων οδηγείται στο κύκλωμα συμπύκνωσης και επιστρέφει με τη μορφή νερού στο κύκλωμα ατμοποίησης του θαλάμου καύσης. Το νερό ψύξης του θερμού ατμού επιστροφής των αεριοστροβίλων, θερμαίνεται και αυτό και αφού περάσει από εναλλάκτες θερμότητας επιστρέφει στη λίμνη από την οποία αντλήθηκε έχοντας υψηλότερη θερμοκρασία. [4]

**ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ Η.Ε. ΑΠΟ ΛΙΓΝΙΤΗ**



Source: American Electric Power

**Εικόνα 2.2.** Σχηματική αναπαράσταση όλης της σειράς διεργασιών του λιγνιτή



## 2.2. Γενικά στοιχεία για βιομάζα

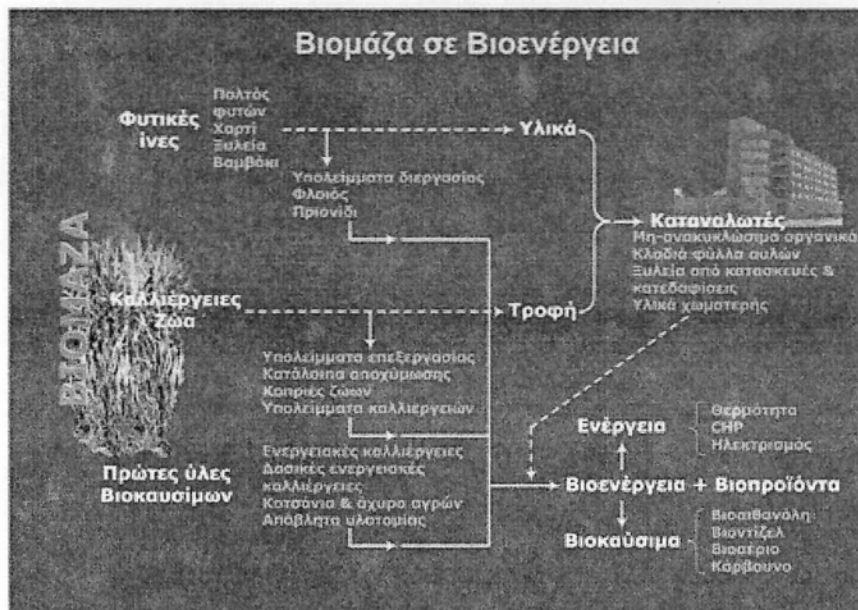
Με τον όρο βιομάζα ονομάζουμε οποιοδήποτε υλικό προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς, όπως είναι το ξύλο και άλλα δασικά προϊόντα, αγροτικά υπολείμματα, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων, αστικά απόβλητα κλπ, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας, αποτελώντας μία ανανεώσιμη μορφή ενέργειας. Το βιοαέριο προκύπτει από διεργασίες της αναερόβιας χώνευσης αγροτικών και βιομηχανικών απορριμμάτων ή από τη χώνευση των λυμάτων και των αποβλήτων όπου αυτά βρίσκονται (ΧΥΤΑ, βιολογικοί καθαρισμοί, κλπ). Το βιοαέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα και σε ελάχιστες ποσότητες περιέχει άζωτο, υδρογόνο, αμμωνία, υδρόθειο κ.ά. Η σημαντική περιεκτικότητα μεθανίου (40% - 70%) είναι αυτή που το καθιστά κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας ή ακόμα σε μηχανές εσωτερικής καύσης.

Η βιομάζα είναι δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή ηλιακής ενέργειας, αφού αποτελεί το αποτέλεσμα της φωτοσύνθεσης των φυτών και αποτελείται κυρίως από ενώσεις με άνθρακα και υδρογόνο [5]. Οι κυριότερες μορφές βιομάζας είναι τα αγροτικά παραπροϊόντα (υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών, πυρηνόξυλο), τα κτηνοτροφικά απόβλητα και απορρίμματα, η δασικής προέλευσης βιομάζα, τα ενεργειακά φυτά (καλάμι, μίσχανθος, γλυκό σόργο, ευκάλυπτος κ.λ.π.) και το οργανικό μέρος των αστικών στερεών αποβλήτων. Στην πράξη υπάρχουν δύο τύποι βιομάζας, ο ένας είναι οι υπολειμματικές μορφές (τα κάθε είδους φυτικά υπολείμματα και ζωικά απόβλητα) και ο άλλος είναι η βιομάζα που παράγεται από ενεργειακές καλλιέργειες.

Η βιομάζα βρίσκει αρκετές εφαρμογές ως εναλλακτική λύση για ενεργειακά ζητήματα, όπως η θέρμανση με ξύλα, η οποία είναι γνωστή εδώ και πάρα πολλά χρόνια. Σήμερα, η βιομάζα χρησιμοποιείται σε πληθώρα σύγχρονων εφαρμογών ως ανανεώσιμη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τέτοιες εφαρμογές είναι οι παρακάτω [6]:

- *Θέρμανση θερμοκηπίων:* η βιομάζα χρησιμοποιείται σαν καύσιμο σε κατάλληλους λέβητες για τη θέρμανση θερμοκηπίων.
- *Θέρμανση κτιρίων με καύση βιομάζας σε ατομικούς/κεντρικούς λέβητες:* χρησιμοποιούνται ατομικοί/κεντρικοί λέβητες πυρηνόξυλου για τη θέρμανση κτιρίων (ιδιαίτερα διαδεδομένη σε αγροτικές περιοχές).
- *Παραγωγή ενέργειας σε γεωργικές βιομηχανίες:* χρησιμοποιείται από γεωργικές βιομηχανίες, όπου υπάρχει πληθώρα βιομάζας ως υπόλειμμα ή υποπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας και έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε θερμότητα. Ελαιοτριβεία, πυρηνελαιουργεία, βιομηχανίες ρυζιού καθώς και βιοτεχνίες κονσερβοποίησης καίνε βιομάζα (υπολείμματα εκκοκκισμού, πυρηνόξυλο, φλοιοί, κουκούτσια) για την κάλυψη των θερμικών τους αναγκών ή/και μέρος των αναγκών τους σε ηλεκτρική ενέργεια.

- **Παραγωγή ενέργειας σε βιομηχανίες ξύλου:** Τα υπολείμματα βιομηχανιών επεξεργασίας ξύλου (πριονίδι, πούδρα, ξακρίδια κλπ) χρησιμοποιούνται για τη κάλυψη των θερμικών αναγκών της διεργασίας καθώς και για την θέρμανση των κτιρίων.
- **Παραγωγή ενέργειας από βιοαέριο:** Το βιοαέριο που παράγεται από συγκεκριμένη διεργασία της βιομάζας, καίγεται σε μηχανές εσωτερικής καύσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα μπορεί να αξιοποιείται η θερμική ενέργεια των καυσαερίων για να καλυφθούν ανάγκες τις διεργασίας ή/και άλλες ανάγκες θέρμανσης (π.χ θέρμανση κτιρίων).
- **Παραγωγή βιοκαυσίμων:** Υγρά καύσιμα που παράγονται από διάφορους τύπους βιομάζας. Τα βιοκαύσιμα παράγονται από φυτικά υλικά, συγκεκριμένα είδη καλλιεργειών και από ανακυκλωμένα ή χρησιμοποιημένα σπορέλαια. Η χρήση των βιοκαυσίμων στα οχήματα έχει σαν στόχο τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τον τομέα των μεταφορών.



Εικόνα 2.3. Σχηματικό διάγραμμα παραγωγής και χρήσης βιομάζας στην παραγωγή ενέργειας ([http://www.alten.gr/energeia\\_biomazas.html](http://www.alten.gr/energeia_biomazas.html))

### 2.2.1. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα βιομάζας

Η χρήση της βιομάζας παρουσιάζει μια σειρά από πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που την καθιστούν κατάλληλη ή ακατάλληλη ανάλογα με την εφαρμογή, τα κοινωνικοοικονομικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά κάθε περιοχής.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η χρήση της βιομάζας είναι πως η καύση της έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα

(CO<sub>2</sub>), δηλαδή δε συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αυτό συμβαίνει διότι οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνονται κατά την καύση της βιομάζας δεσμεύονται και πάλι από τα φυτά για τη δημιουργία της βιομάζας. Επίσης, η μηδαμινή ύπαρξη του θείου στη βιομάζα συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) που είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή.

Ένα ακόμα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα της βιομάζας σε σχέση με πολλά ορυκτά καύσιμα, είναι η δυνατότητα κάθε χώρας να παράγει η ίδια την απαιτούμενη ποσότητα για παραγωγή ενέργειας και έτσι η αξιοποίησή της συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα και βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου και στην εξασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού.

Τέλος, η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας σε μια περιοχή, αυξάνει την απασχόληση στις αγροτικές περιοχές με τη χρήση εναλλακτικών καλλιεργειών (διάφορα είδη ελαιοκράμβης, σόργο, καλάμι), τη δημιουργία εναλλακτικών αγορών για τις παραδοσιακές καλλιέργειες (ηλίανθος κ.ά.) και τη συγκράτηση του πληθυσμού σε επαρχιακές περιοχές, συμβάλλοντας έτσι στην κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη της περιοχής.

Από την άλλη πλευρά, βέβαια, δε θα μπορούσαν να μην επισημανθούν τα μειονεκτήματα της βιομάζας, στα οποία οφείλεται και η δυσκολία στην εξάπλωση της ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Αρχικά, ο αυξημένος όγκος και η μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα δυσχεραίνουν την ενεργειακή αξιοποίησή της. Επίσης, ένα πολύ μεγάλο μειονέκτημα της βιομάζας είναι η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της που δυσκολεύουν τη συνεχή τροφοδοσία με πρώτη ύλη των μονάδων ενεργειακής εκμετάλλευσής της και επομένως αυξάνουν το κόστος της αξιοποίησης της βιομάζας λόγω δυσκολιών στη συλλογή, μεταφορά και αποθήκευσή της. Επιπρόσθετα με αυτό το κόστος, σημαντικό είναι και το κόστος εξοπλισμού που δυσχεραίνει την επένδυση στον τομέα της βιομάζας σε σχέση με το αντίστοιχο κόστος των συμβατικών καυσίμων.

Ακόμα στα μειονεκτήματα συμπεριλαμβάνονται κάποιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις στις περιοχές όπου παράγεται ή καίγεται η βιομάζα. Τέτοιες είναι:

- Πυκνές μεταφορές πρώτης ύλης με βαρέα οχήματα που σημαίνουν καυσαέρια και ηχορύπανση από το θόρυβο των οχημάτων.
- Τέφρα η οποία κατακάθεται στα σιλό αεριοποίησης (0,5 τόνοι/ημέρα). Η τέφρα χρειάζεται ειδική διαχείριση δηλαδή ασφαλή μεταφορά και ταφή. Εφόσον είναι ασαφές το τι θα καίγεται υπάρχουν αρκετές αμφιβολίες για την ασφαλή διαχείρισή της τέφρας που θα παράγεται.
- Αέριοι ρύποι μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα προερχόμενοι από την καύση.
- Το νερό στο κύκλωμα ψύξης περιέχει ρύπους. Οι μελετητές λένε ότι αυτό θα κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα. Δε λένε τι θα γίνεται σε περίπτωση διαφυγής.

- Υπάρχει επίσης η πιθανότητα διαφυγής αερίου «σύνθεσης».

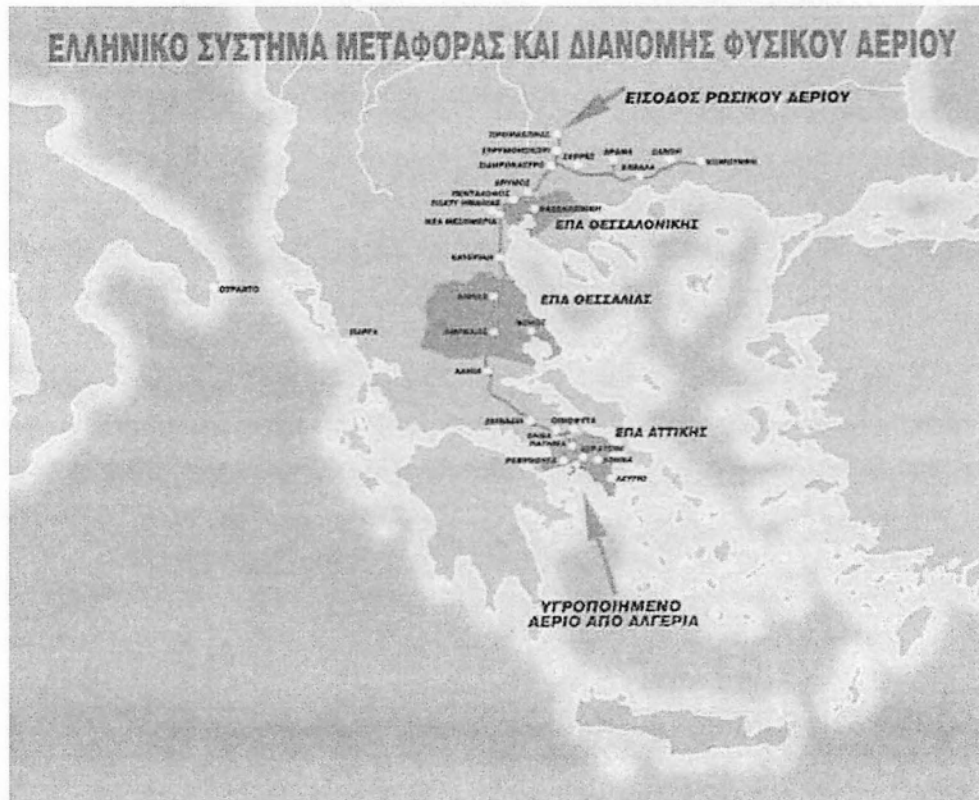
### **2.3. Γενικά στοιχεία για το φυσικό αέριο**

Το φυσικό αέριο, το οποίο είναι αέριο μίγμα κορεσμένων υδρογονανθράκων με μικρό αριθμό ατόμων άνθρακα, δημιουργήθηκε πριν από πολλά εκατομμύρια χρόνια στους πυθμένες θαλασσών από μεγάλες ποσότητες μικροοργανισμών, λόγω της απουσίας του αέρα και υπό την επίδραση βακτηριδίων. Κατά τη διάρκεια των γεωλογικών αιώνων, το υλικό αυτό βυθίσθηκε και καταπλακώθηκε από μεγάλα στρώματα γης και στη συνέχεια το αέριο που παράχθηκε, κατά αυτόν τον τρόπο, κατέφυγε στους πόρους του μητρικού στρώματος, όπου και συγκρατήθηκε προσωρινά. Αργότερα, όταν διαμορφώθηκαν οι κατάλληλες συνθήκες, το αέριο αυτό μετακινήθηκε σε άλλες στρωματικές διαμορφώσεις, οπότε και μπορούμε να το εντοπίζουμε σήμερα.

Το φυσικό αέριο αποτελεί μίγμα αερίων (μεθάνιο 70-90%, αιθάνιο 5-15%, προπάνιο-βουτάνιο 5%), το οποίο εξάγεται από τις υπόγειες κοιλότητες υπό υψηλή πίεση και μεταφέρεται προς τους τόπους όπου πρόκειται να χρησιμοποιηθεί όπως είναι, χωρίς να υπάρχει η ανάγκη για περαιτέρω επεξεργασίας. Το φυσικό αέριο είναι άχρωμο και άοσμο, αλλά του προσδίδεται μία χαρακτηριστική οσμή τεχνικά ώστε να γίνεται αντιληπτό σε τυχούσες διαρροές. Το φυσικό αέριο είναι η καθαρότερη πηγή πρωτογενούς ενέργειας, μετά τις ανανεώσιμες μορφές, ενώ σε σχέση με το πετρέλαιο αποτελεί μια πολύ ενδιαφέρουσα εναλλακτική λύση για την Ελλάδα. Τα μεγέθη των εκπεμπόμενων ρύπων είναι σημαντικά μικρότερα σε σχέση με τα υπόλοιπα συμβατικά καύσιμα, ενώ η βελτίωση του βαθμού απόδοσης μειώνει τη συνολική κατανάλωση καυσίμου και συνεπώς οδηγεί σε μικρότερα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η σύστασή του δεν είναι σταθερή καθώς μεταβάλλεται ανάλογα με την προέλευση του. Στην Ελλάδα το φυσικό αέριο προέρχεται από δυο παρόχους, τη Ρωσία (αγωγός που διατρέχει όλη την Ελλάδα) και την Αλγερία, από την οποία παραλαμβάνεται σε υγροποιημένη μορφή και φτάνει σε λιμάνια της Αττικής και μέσω αγωγών μεγάλης διαμέτρου, το φυσικό αέριο μεταφέρεται στις διάφορες περιοχές. Η πίεση στους αγωγούς αυτούς είναι μεγάλη και για αυτό το λόγο σε κατάλληλες θέσεις σταδιακά η πίεση μειώνεται, ενώ η διατομή των αγωγών γίνεται ολοένα και μικρότερη. Σε όλο το μήκος του δικτύου υπάρχουν σταθμοί μέτρησης ελέγχου και ρύθμισης των διάφορων παραμέτρων, ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια κατά τη λειτουργία του δικτύου (αυτόματα ενεργοποιούμενες βάνες) και η αξιοπιστία του δικτύου. Το φυσικό αέριο είναι ένα αέριο, το οποίο είναι ελαφρύτερο σε σχέση με τον αέρα και λόγω της σύνθεσής του είναι φιλικό προς το περιβάλλον, καθώς κατά την καύση του δεν παράγονται βλαβεροί ρύποι. Λόγω, όμως, της αέριας φάσης στην οποία βρίσκεται πρέπει να



δείχνεται ιδιαίτερη ευαισθησία σε θέματα ασφάλειας, διότι η συγκέντρωση φυσικού αερίου σε κλειστό χώρο παρουσία αέρα εγκυμονεί μεγάλους κινδύνους, αφού αν η συγκέντρωση του φτάσει σε ένα ορισμένο (κρίσιμο) σημείο το μίγμα γίνεται εκρηκτικό.



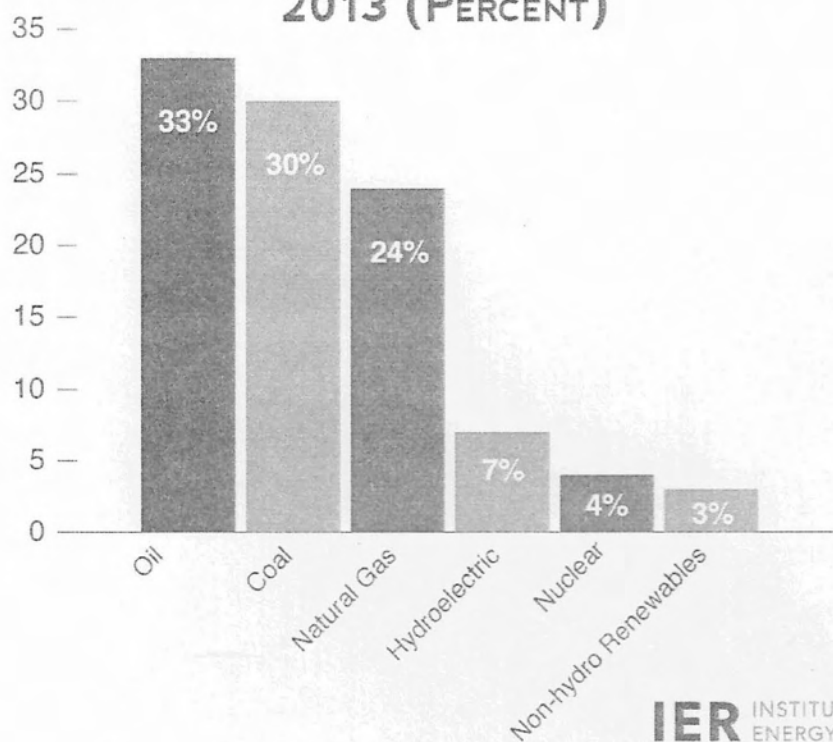
Εικόνα 2.4. Δίκτυο μεταφοράς φυσικού αερίου υψηλής πίεσης στην Ελλάδα

Το φυσικό αέριο μπορεί να βρεθεί στις υπόγειες δεξαμενές πετρελαίου. Τα φρεάτια φυσικού αερίου φθάνουν σε βάθος 1500 μέτρα κατά μέσο όρο. Σήμερα, κάνουμε γεωτρήσεις και μέσω των στρωμάτων της άμμου, του βούρκου, και των πετρωμάτων φθάνουμε στους σχηματισμούς βράχου που περιέχουν πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Αφότου βγαίνει το φυσικό αέριο από το έδαφος, στέλνεται σε εγκαταστάσεις όπου καθαρίζεται από τις προσμίξεις του και χωρίζεται στα διάφορα μέρη του. Το φυσικό αέριο είναι συνήθως μεθάνιο, αλλά και περιέχει μικρά ποσά άλλων αερίων όπως το προπάνιο και το βουτάνιο.

Το φυσικό αέριο αποτελεί την ταχύτερη αναπτυσσόμενη πηγή ενέργειας, καθώς η κατανάλωσή του αναμένεται να αυξηθεί κατά 70% μεταξύ 2002 και 2025, σύμφωνα με τη συντηρητικότερη αύξηση της ζήτησης που προβλέπεται μεταξύ των αναπτυσσόμενων οικονομιών. Η κατανάλωση φυσικού αερίου αυξάνεται παγκοσμίως κατά μέσο όρο 2,3% ετησίως από το 2002 έως το 2025 και όταν το πετρέλαιο και ο άνθρακας προβλέπεται να αυξηθούν κατά 1,9% και 2% αντίστοιχα [6], ενώ καλύπτει το 24% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



## GLOBAL ENERGY CONSUMPTION BY SOURCE 2013 (PERCENT)



Εικόνα 2.5. Ποσοστό παραγωγής ενέργειας ανά πηγή (2013)

Πέρα από τον τρόπο που αναφέρθηκε παραπάνω, το φυσικό αέριο μπορεί επίσης να προέλθει και από άλλες πηγές, όπως το αέριο μεθάνιο που βρίσκεται στον άνθρακα. Το μεθάνιο των ορυχείων άνθρακα θεωρήθηκε κάποτε πολύ επικίνδυνο για την ασφάλεια των ανθρακωρύχων στα υπόγεια ορυχεία άνθρακα, αλλά τώρα είναι μια πολύτιμη πηγή ενέργειας. Μια άλλη πηγή φυσικού αερίου είναι το αέριο που παράγεται στις χωματερές. Το αέριο που παράγεται στις χωματερές χαρακτηρίζεται ως ανανεώσιμη πηγή φυσικού αερίου δεδομένου ότι προέρχεται από το σάπισμα των απορριμμάτων.

Οι κύριες χρήσεις του φυσικού αερίου συναντώνται τόσο σε οικιακό, όσο και σε εμπορικό και βιομηχανικό επίπεδο. Η βιομηχανία μάλιστα είναι ο μεγαλύτερος χρήστης. Το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται, επίσης, ως συστατικό στα λιπάσματα, τις κόλλες, τα χρώματα, τα απορρυπαντικά πλυντηρίων, και σε πολλά άλλα αγαθά.

Το φυσικό αέριο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ακριβώς όπως η χημική ενέργεια του άνθρακα χρησιμοποιείται για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια, ανάλογα χρησιμοποιείται και η ενέργεια του αερίου. Το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται ακόμη και ως καύσιμο για τα αυτοκίνητα. Η καύση του φυσικού αερίου εκπέμπει λιγότερους ρύπους στην ατμόσφαιρα απ' ό,τι η βενζίνη. Τα οχήματα πρέπει να έχουν ειδικό εξοπλισμό για να χρησιμοποιήσουν το φυσικό αέριο ως καύσιμο.



Εικόνα 2.6. Σωληνώσεις για τη μεταφορά φυσικού αερίου από τη Ρωσία

Όσον αφορά στη φιλικότητα του φυσικού αερίου προς το περιβάλλον πρέπει να αναφερθεί ότι η καύση του φυσικού αερίου, όπως και όλων των ορυκτών καυσίμων, απελευθερώνει ρύπους στην ατμόσφαιρα, καθώς επίσης και διοξείδιο του άνθρακα και επομένως συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το φυσικό αέριο και το προπάνιο είναι τα καθαρότερα ορυκτά καύσιμα. Σε σχέση με τον άνθρακα και το πετρέλαιο, τα παραπάνω αέρια εκπέμπουν πολύ λιγότερο θείο, διοξείδιο του άνθρακα και τέφρα όταν καίγονται. Έτσι, επειδή το φυσικό αέριο είναι μια καθαρή πηγή ενέργειας, οι επιστήμονες ψάχνουν νέες πηγές φυσικού αερίου και νέους τρόπους να το χρησιμοποιήσουν.

### 2.3.1. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα φυσικού αερίου

Το φυσικό αέριο, ως ένα ορυκτό καύσιμο, παρουσιάζει όλα εκείνα τα συγκριτικά πλεονεκτήματα των ορυκτών καυσίμων, τα οποία συνδυάζει με άλλα πλεονεκτήματα που το κατατάσσουν στις πρώτες θέσεις ανάμεσα στα συμβατικά καύσιμα. Αρχικά, ο σημαντικότερος λόγος για τον οποίο οι περισσότεροι λέβητες πετρελαίου αντικαθίστανται με φυσικού αερίου είναι η οικονομία, καθώς οι λέβητες φυσικού αερίου πετυχαίνουν καλύτερες αποδόσεις, μικρότερο κόστος συντήρησης, ενώ έχει και χαμηλότερη τιμή ως καύσιμο σε σχέση με το πετρέλαιο. Επίσης, οι λέβητες φυσικού αερίου (επίτοιχοι λέβητες) είναι πολύ μικρότεροι και πρακτικοί από τους αντίστοιχους πετρελαίου και παρέχουν εύρος δυνατοτήτων για εγκαταστάσεις με ιδιαιτερότητες, ενώ ταυτόχρονα η άμεση πρόσβαση στο μετρητή προσφέρει καλύτερη διαχείριση σε σχέση με τους (κεντρικούς ιδιαιτέρους) λέβητες

πετρελαίου. Επιπροσθέτως, ένα τεράστιο πλεονέκτημα της χρήσης φυσικού αερίου για την παγκόσμια κοινότητα αποτελεί η μείωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο και τις αυξομειώσεις της τιμής του ανάλογα με διάφορα συμφέροντα, ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται ένα πιο ολοκληρωμένο μοντέλο ενεργειακής πολιτικής. Επιπλέον, η διεύρυνση της χρήσης του φυσικού αερίου στον οικιακό, εμπορικό και βιομηχανικό τομέα συμβάλλει αποτελεσματικά στην αντιμετώπιση της ανεργίας με τη δημιουργία νέων θέσεων και ειδικοτήτων στην αγορά εργασίας. Τέλος, το φυσικό αέριο αν και δεν αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, είναι αρκετά φιλικό προς το περιβάλλον, καθώς η καύση του δημιουργεί σαφώς μικρότερη ρύπανση σε σχέση με τα λοιπά συμβατικά καύσιμα, συμβάλλει περιορισμένα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου αφού παράγει μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με το πετρέλαιο, και δεν προκαλεί όξινη βροχή, καθώς δεν περιέχει καθόλου θείο. Συμβάλλει λοιπόν στην προστασία του περιβάλλοντος, για την οποία έχουμε δεσμευτεί και διεθνώς ως χώρα. Εξασφαλίζεται έτσι η χρήση ενός καθαρού καυσίμου, χωρίς οσμές, θορύβους και ρύπους.

Βέβαια, πέρα από τα πολλαπλά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει και αρκετά μειονεκτήματα, τα οποία παρατίθενται παρακάτω:

- ο Το φυσικό αέριο είναι μία ουσία πολύ εύφλεκτη λόγω του υψηλού ποσοστού μεθανίου και φυσικά όσο ασφαλή μέτρα και αν λαμβάνονται πάντα ελλοχεύουν κίνδυνοι κάποιας διαρροής.
- ο Θεωρείται μη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, το οποίο σημαίνει πως αν τα επίπεδα της χρήσης του φυσικού αερίου συνεχίζουν να αυξάνονται, αυτός ο ενεργειακός πόρος τελικά θα εξαντληθεί.
- ο Το φυσικό αέριο απαιτεί εξαιρετικά περίπλοκες τεχνικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας και αγωγών για τη μεταφορά του. Οι αγωγοί μεταφοράς του φυσικού αερίου πρέπει να ελέγχονται τακτικά για διαρροές, γεγονός που προσθέτει κόστος στη συντήρηση των αγωγών.
- ο Τέλος, η διαδικασία της εξόρυξης του φυσικού αερίου δημιουργεί μεγάλες κοιλότητες στο έδαφος. Οι κοιλότητες αυτές οδηγούν σε αύξηση της πίεσης του εδάφους και μπορεί να προκαλέσουν τη βύθισή του. Για το λόγο αυτό, η εξόρυξη και η μεταφορά πρέπει να πραγματοποιούνται με καλή διαχείριση και σε συνδυασμό με τον έλεγχο του περιβάλλοντος.

## 2.4. Γενικά οικονομικά στοιχεία για τους λέβητες κάθε καυσίμου

Στα παρακάτω κεφάλαια, στην οικονομοτεχνική διάσταση κάθε καυσίμου, θα συναντήσουμε κάποιους πίνακες που διαθέτουν οικονομικά και τεχνικά στοιχεία που αφορούν τους λέβητες που χρησιμοποιούνται για κάθε καύσιμο (λιγνίτη, βιομάζα, φυσικό αέριο). Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούν οι ορισμοί των χαρακτηριστικών (τεχνικών και οικονομικών) που θα χρησιμοποιηθούν για κάθε λέβητα.

Για να διευκολύνουμε συγκριτικές αναλύσεις μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών έγινε προσπάθεια τα δεδομένα να είναι πραγματικά συγκρίσιμα. Για παράδειγμα τα οικονομικά δεδομένα αναφέρονται στα ίδια επίπεδα τιμών. Έχει γίνει σύγκριση τεχνολογιών ισοδύναμης βάσης επί παραδείγματι είτε ικανότητας μικτής παραγωγής ή καθαρής ικανότητας (μικτής μείον ιδιοκατανάλωσης).

Τα δεδομένα αφορούν για τις ίδιες χρονιές. Το έτος 2015 η βάση για την παρούσα κατάσταση των τεχνολογιών (καλύτερη διαθέσιμη τεχνολογία σε λειτουργία το 2015), ενώ τα δεδομένα για τις προσδοκίες στις μελλοντικές εξελίξεις δίνονται για τα έτη 2020, 2030, 2050 [17-25].

### *Ενεργειακά/τεχνικά δεδομένα*

#### — Παραγωγική ικανότητα για μια μονάδα

Η ικανότητα παραγωγής αναφέρεται για μια απλή μονάδα και όχι για ένα σταθμό με πολλές μονάδες. Η ικανότητα δίνεται ως καθαρή ικανότητα παραγωγής συνεχούς λειτουργίας, δηλαδή η μικτή παραγωγή (έξοδος Γεννήτριας) αφαιρώντας την ιδιοκατανάλωση.

Η μονάδα μέτρησης ισχύος MW για μία μονάδα θα χρησιμοποιούνται στην παρούσα διπλωματική εργασία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ τα MJ/s θα χρησιμοποιούνται για την κατανάλωση και την παραγωγή θερμικής ενέργειας.

#### — Ενεργειακές αποδόσεις

Ο μεικτός βαθμός απόδοσης ισούται με τη συνολική παραδιδόμενη ηλεκτρική και θερμική ενέργεια (εξαιρούμενης της ιδιοκατανάλωσης) διαιρεμένη από την κατανάλωση καυσίμου. Η απόδοση αναφέρεται επί της εκατό και οι υπολογισμοί έχουν γίνει για θερμοκρασίες περιβάλλοντος αέρα 15 βαθμούς Κελσίου και νερού 10 βαθμούς Κελσίου.

Ο καθαρός βαθμός απόδοσης ισούται με τη συνολική παραδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο δια την κατανάλωση καυσίμου. Όπως κάθε απόδοση, έτσι και ο καθαρός βαθμός δίνεται επί τις εκατό.



Οι αποδόσεις καθορίζονται σε πλήρες φορτίο (100%) συνεχή λειτουργία σε ετήσια βάση λαμβάνοντας υπόψη τυπικό αριθμό εκκινήσεων και κρατήσεων.

Συχνά, η ηλεκτρική ενέργεια μειώνεται ελαφρώς κατά τη διάρκεια ζωής λειτουργίας της μονάδας. Αυτή η επιδείνωση δεν συνυπολογίζεται στην παρούσα εργασία. Γενικά ο βαθμός απόδοσης μειώνεται 2,5-3,5% κατά τη διάρκεια ζωής.

#### → Τιμές συμπαραγωγής

Ο συντελεστής  $C_b$  (συντελεστής αντίθλιψης) ορίζεται ως η μέγιστη ικανότητα παραγόμενης ισχύος σε κατάσταση αντίθλιψης δια τη μέγιστη ικανότητα θερμότητας.

Ο συντελεστής  $C_v$  για μια απομάστευση ατμοστροβίλου ορίζεται ως η απώλεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όταν η παραγωγή θερμότητας αυξάνει κατά μια μονάδα σε σταθερή περιοχή καυσίμου.

Τιμές για τους  $C_b$  και  $C_v$  δίνονται (εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά) στους βαθμούς Κελσίου για την θερμοκρασία νερού προς την πόλη και 50 βαθμούς Κελσίου για την επιστρεφόμενη θερμοκρασία στο σύστημα τηλεθέρμανσης. Για υπερκρίσιμους ατμοστροβίλους οι τιμές πρέπει να δίνονται και για 80/40 βαθμούς Κελσίου.

#### → Συντελεστής μέσης ετήσιας ικανότητας μονάδας

Η μέση ετήσια καθαρή παραγωγή διαιρεμένη με την θεωρητική ετήσια καθαρή παραγωγή, εάν η μονάδα λειτουργούσε σε πλήρη ικανότητα ολόκληρο το χρόνο. Οι ισοδύναμες ώρες πλήρους φορτίου ανά έτος καθορίζονται πολλαπλασιάζοντας το συντελεστή διαθεσιμότητας (ικανότητας) με 8760 ώρες, τον συνολικό αριθμό ωρών σε ένα έτος.

#### → Εξαναγκασμένες και σχεδιασμένες κρατήσεις

Οι εξαναγκασμένες κρατήσεις ορίζονται ως το πλήθος των σταθμισμένων ωρών απωλειών για το σύνολο των εξαναγκασμένων ωρών κράτησης (απωλειών) και ωρών λειτουργίας, πολλαπλασιασμένο επί 100. Οι σταθμισμένες ώρες αναγκαστικής κράτησης είναι ώρες που οφείλονται σε μη προγραμματισμένες κρατήσεις, σταθμισμένες σύμφωνα με το πόση ικανότητα ήταν εκτός. Οι εξαναγκασμένες κρατήσεις δίνονται ως ποσοστό, ενώ οι σχεδιασμένες κρατήσεις δίνονται σε βδομάδες ανά έτος.

Η διαθεσιμότητα ορίζεται ως  $1$  μείον (σταθμισμένες ώρες εξαναγκασμένης κράτησης + ώρες σχεδιασμένης κράτησης) / 8760, πιθανότατα επί τις εκατό.

#### → Χρόνος κατασκευής

Η περίοδος από την οικονομική ετοιμότητα – για παράδειγμα όταν εξασφαλιστούν όλες οι άδειες και η χρηματοδότηση – μέχρι την ολοκλήρωση των εμπορικών δοκιμών (εκκίνηση της εμπορικής λειτουργίας).



## Οικονομικά Στοιχεία

### — Κόστη επένδυσης

Το κόστος επένδυσης ή το αρχικό κόστος συχνά αναφέρεται σε κανονικοποιημένη βάση, για παράδειγμα κόστος ανά kW. Το ονομαστικό κόστος είναι το συνολικό κόστος επένδυσης διαιρεμένο με την καθαρή ικανότητα παραγωγής, δηλαδή την ικανότητα όπως φαίνεται από το δίκτυο, είτε αυτή είναι ηλεκτρισμός είτε είναι τηλεθέρμανση. Για τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της συμπαραγωγής (ηλεκτρική και θερμική ενέργεια), ο παρονομαστής είναι η ηλεκτρική ικανότητα και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, η πρόθεση είναι το κόστος επένδυσης να περιλαμβάνει όλο τον φυσικό εξοπλισμό, τυπικά αποκαλούμενο από μηχανολογικά, προμήθειες και τιμή κατασκευής (EPC) ή κόστος σε σημερινές τιμές. Κόστη υποδομής ή διασύνδεσης, για παράδειγμα ηλεκτρικής ενέργειας, καυσίμων και συνδέσεις ύδατος συμπεριλαμβάνονται.

Το κόστος της γης, τα κόστη ιδιοκτησίας πριν την ανάπτυξη (διοίκηση, συμβουλευτική, διαχείριση έργου, προετοιμασία στο πεδίο, εγκρίσεις από τις αρχές) και επιτόκιο κατά τη διάρκεια της κατασκευής δεν περιλαμβάνονται. Το κόστος διάλυσης παροπλισμένων εργοστασίων δεν περιλαμβάνεται, θεωρώντας ότι τα κόστη παροπλισμού υποσκελίζονται από την αξία των εναπομενόντων παγίων.

Τα κόστη του ενεργειακού εξοπλισμού αυξήθηκαν απότομα τα 2007-2008. Η τάση ήταν γενικευμένη και παγκόσμια. Ένα παράδειγμα είναι οι αεριοστρόβιλοι συνδυασμένου κύκλου (CCGT), των οποίων οι τιμές από 400-600 \$/kW εκτινάχθηκαν στα 1250 \$/kW. Τέτοιες πρωτοφανείς διακυμάνσεις προφανώς καθιστούν δύσκολο να εξαχθούν δεδομένα σύγκρισης για τα πέντε τελευταία χρόνια, αλλά ένας ενημερωμένος κατάλογος δεν μπορεί να παραχθεί χωρίς τη χρήση ενός αριθμού διαφορετικών πηγών από διαφορετικά έτη. Αυτό είναι σημαντικό στοιχείο και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν επιχειρείται να συγκριθούν διαφορετικές τεχνολογίες.

Το κόστος ανά μονάδα σε μεγάλα εργοστάσια είναι συνήθως μικρότερο από ότι σε μικρά. Αυτό ονομάζεται «οικονομία κλίμακας». Η βασική εξίσωση είναι :

$$c_1 / c_2 = (p_1 / p_2)^a$$

Όπου  $c_1$  = κόστος επένδυσης εργοστασίου 1 (σε εκατομμύρια ευρώ για παράδειγμα)

$c_2$  = κόστος επένδυσης εργοστασίου 2

$p_1$  = ικανότητα παραγωγής ισχύος εργοστασίου 1 (σε MW)

$p_2$  = ικανότητα παραγωγής ισχύος εργοστασίου 2 (σε MW)

$a$  = συντελεστής αναλογικότητας

Για πολλά χρόνια ο συντελεστής αναλογικότητας ήταν περίπου 0,6, αλλά καθυστερήσεις στο χρονοδιάγραμμα εργασιών μπορεί να προκαλέσει αύξηση του συντελεστή. Ωστόσο, με προσεκτική χρήση αυτός ο κανόνας μπορεί να εφαρμοστεί για τη μετατροπή δεδομένων σε άλλα μεγέθη εργοστασίων από αυτά που αναφέρονται. Είναι σημαντικό ότι τα εργοστάσια είναι θεμελιωδώς παρόμοια στις τεχνικές κατασκευής, σχεδίασης και χρονικού ορίζοντα και η σημαντική διαφορά είναι στο μέγεθος.

Για πολύ μεγάλα εργοστάσια, όπως τα λιγνιτικά, μπορεί να έχουμε φτάσει ένα πρακτικό όριο, καθώς πολύ λίγοι επενδυτές προτίθενται να προσθέσουν προσαυξήσεις των 1000 MW ή παραπάνω. Αντί αυτού πολλαπλοί συνδυασμοί μονάδων μπορούν να παράσχουν επαρκείς εξοικονομήσεις επιτρέποντας τον διαμοιρασμό του εξοπλισμού του εργοστασίου και του υποστηρικτικών υποδομών του. Τυπικά, περίπου 15% εξοικονόμηση στο κόστος επένδυσης ανά MW μπορεί να επιτευχθεί για συνδυασμένο κύκλο αερίου και μεγάλους ΑΗΣ από μια ταξίθηση διπλών μονάδων. Τα οικονομικά δεδομένα αυτής της εργασίας είναι όλα για εργοστάσια μιας μονάδας, οπότε κάποιος μπορεί να αφαιρέσει 15% από τα κόστη επένδυσης, αν πολύ μεγάλα εργοστάσια ληφθούν υπόψη. Τα κόστη της επέκτασης του δικτύου από της πρόσθεση μιας νέας γεννήτριας ηλεκτρισμού ή ενός νέου μεγάλου καταναλωτή στο δίκτυο δεν περιλαμβάνονται στα παρουσιαζόμενα στοιχεία.

#### — Κόστη Λειτουργίας και συντήρησης (O&M)

Το σταθερό κόστος O&M (€/MW/έτος) περιλαμβάνει όλα τα κόστη τα οποία είναι ανεξάρτητα από τον τρόπο λειτουργία της μονάδας, π.χ. Έξοδα διοίκησης, προσωπικό λειτουργίας, προγραμματισμένη και έκτακτη συντήρηση, πληρωμές για συμφωνίες συντήρησης O&M, χρεώσεις χρήσης δικτύου μεταφοράς, φόρος ιδιοκτησίας και ασφάλεια. Επανεπενδύσεις εντός του σχεδιασμένου χρόνου ζωής επίσης περιλαμβάνονται, ενώ επανεπενδύσεις για επέκταση του χρόνου ζωής δεν περιλαμβάνονται.

Τα μεταβλητά κόστη O&M (€/Mwh) περιλαμβάνουν την κατανάλωση βοηθητικών υλικών (νερού, λιπαντικών, επιπρόσθετων καυσίμου), καθαρισμό και απόθεση επισκευή και συντήρηση και ανταλλακτικά. Τα κόστη καυσίμου δεν περιλαμβάνονται, ενώ η ιδιοκατανάλωση περιλαμβάνεται.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα κόστη O&M συχνά αυξάνουν με το χρόνο. Τα αναφερόμενα κόστη O&M είναι κατά συνέπεια τα μέση κόστη κατά την συνολική διάρκεια ζωής.

Τα κόστη O&M υπολογίζονται διαιρώντας τα συνολικά ετήσια κόστη, σταθερά και μεταβλητά, με την καθαρή παραγόμενη ικανότητα και καθαρή ετήσια παραγωγή αντίστοιχα, είτε πρόκειται για ηλεκτρική ενέργεια είτε για θερμική ενέργεια. Για τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρισμού συμπεριλαμβανομένων και

συνδυασμού θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας, ο παρονομαστής είναι η ηλεκτρική ικανότητα και ηλεκτρική παραγωγή.

#### – Συντελεστές κόστους

Ο καθορισμός του κόστους της παραγωγής ενέργειας δεν είναι εύκολη υπόθεση. Η πρόβλεψη του κόστους υπόκειται σε ακόμη μεγαλύτερες αβεβαιότητες. Κατά συνέπεια πολλές μελέτες έχουν προσπαθήσει να καθορίσουν τους πιο σημαντικούς συντελεστές κόστους. Για τεχνολογίες εντάσεως κεφαλαίου, όπως η πυρηνική ενέργεια και οι περισσότερες ανανεώσιμες, η μεγαλύτερη αβεβαιότητα έγκειται στις κεφαλαιακές δαπάνες, το χρόνο κατασκευής και τον συντελεστή μείωσης ετήσιας ικανότητας. Για καύσιμο με χαμηλή θερμιδική αξία η βασική αβεβαιότητα σχετίζεται με την αποδοτικότητα της μετατροπής καυσίμου, την τιμή του καυσίμου και πιθανές ποινές άνθρακα. Ένας κύριος συντελεστής στη μείωση τιμών είναι πιθανώς ο αυξανόμενος ανταγωνισμός από Κινέζους και άλλους κατασκευαστές χαμηλού κόστους, συγκρινόμενοι με Ευρωπαίους, Βορειοαμερικανούς και Ιάπωνες κατασκευαστές.

Η παρούσα εργασία δεν επιδιώκει να αναπτύξει μια νέα αντίληψη των συντελεστών κόστους ή να χρησιμοποιήσει μια συγκεκριμένη μεθοδολογία. Η προσέγγιση είναι να αναλύσει τι έχουν προβλέψει οι άλλοι και να επιλέξει δεδομένα τα οποία εμφανίζονται πιο ορθά θεμελιωμένα. Για το λόγο αυτό η μελέτη έχει ανάγει σε βασικό στόχο τις αναφορές πληροφοριών και δεδομένων στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό, επιτρέποντας τον αναγνώστη να κάνει τις δικές του εκτιμήσεις.

#### – Δυνατότητα ρύθμισης

Η ρύθμιση περιγράφεται με τρεις παραμέτρους:

- A. Γρήγορη εφεδρεία, MW ανά 15 λεπτά
- B. Ταχύτητα ρύθμισης, MW ανά λεπτό
- Γ. Ελάχιστο φορτίο, επί τις εκατό του πλήρους φορτίου

#### **Ορισμοί**

Μια διεργασία ατμού μπορεί να είναι διαφορετικής φύσεως:

1. **Συμπύκνωση:** Όλος ο ατμός ρέει δια μέσου του ατμοστροβίλου σε ένα συμπυκνωτή ο οποίος ψύχεται με νερό σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.
2. **Αντίθλιψη:** Παρόμοια με την συμπύκνωση, αλλά η πίεση και η θερμοκρασία ατμού στον συμπυκνωτή είναι μεγαλύτερη, έτσι ώστε η θερμοκρασία του ψυκτικού γίνεται επαρκώς υψηλή για να χρησιμοποιηθεί σε βιομηχανικές διεργασίες ή για τηλεθέρμανση. Ένας στρόβιλος αντίθλιψης παράγει ηλεκτρική ενέργεια και θέρμανση σε σχεδόν σταθερή αναλογία.

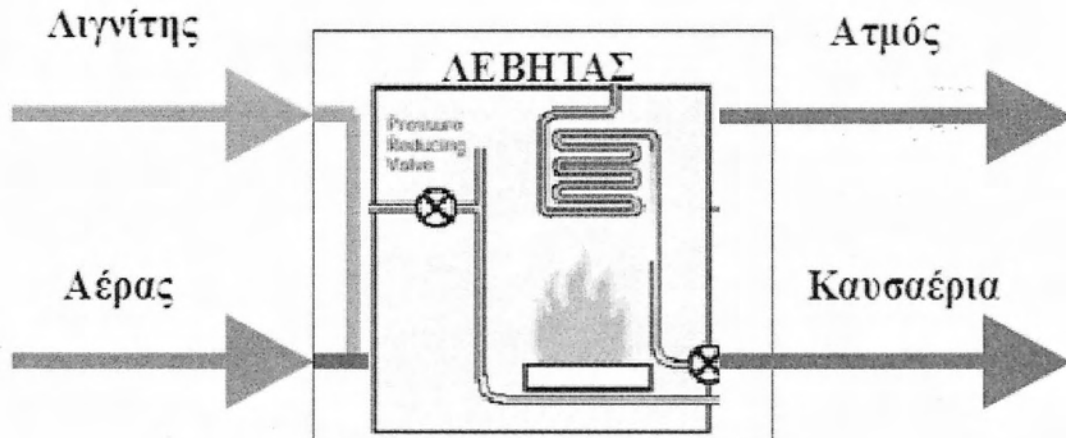
**3. Απομάστευση:** Είναι αντίστοιχη με τη συμπύκνωση, αλλά ο ατμός μπορεί να απομαστευθεί από το στρόβιλο για να παράγει θερμική ενέργεια. Αυτή η διεργασία δίνει ευελιξία στον καθορισμό της αναλογίας της παραγόμενης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας στα κεφάλαια που ακολουθούν.

### 3. ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΛΙΓΝΙΤΗ, ΒΙΟΜΑΖΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν οι βασικές αρχές λειτουργίας που διέπουν κάθε καύσιμο με σκοπό την παραγωγή ενέργειας, οι διαφορές στους λέβητες που χρησιμοποιούνται, στην καύση τους και θα παρουσιαστούν κάποια τεχνικά και οικονομικά στοιχεία για την παραγωγή ενέργειας από κάθε καύσιμο ξεχωριστά.

#### 3.1. Αρχή λειτουργίας μονάδας παραγωγής ενέργειας από λιγνίτη

Για την παραγωγή ενέργειας από ένα λιγνιτικό ατμοηλεκτρικό σταθμό, οι απαραίτητες πρώτες ύλες είναι λιγνίτης και νερό. Η καύση του λιγνίτη στο λέβητα μετατρέπει τη χημική ενέργεια σε θερμική ενέργεια, ένα μέρος της οποίας (εξαρτάται από τον βαθμό απόδοσης του λέβητα) μεταφέρεται στο νερό για την ατμοποίηση και την υπερθέρμανσή του. Στη συνέχεια, ο ατμός οδηγείται στο στρόβιλο, όπου το μεγαλύτερο μέρος της θερμικής ενέργειας του ατμού μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια των πτερυγίων του στροβίλου, η οποία μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια στη γεννήτρια.



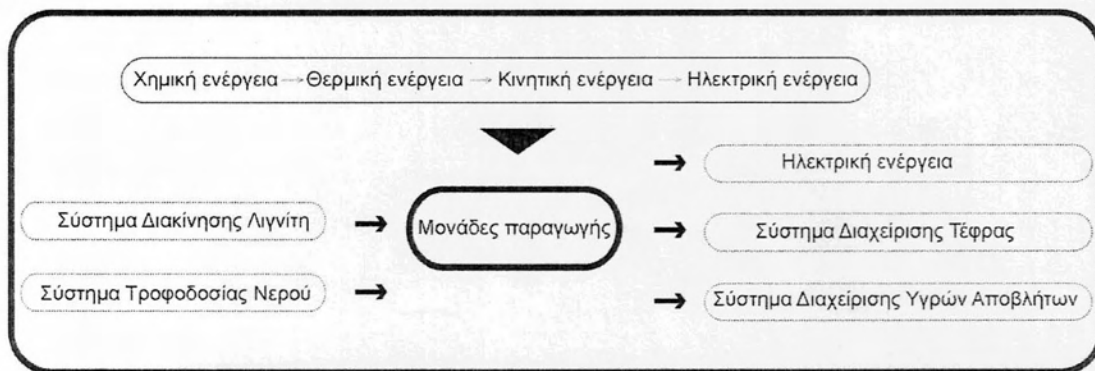
Εικόνα 3.1. Σχηματική απεικόνιση παραγωγής ενέργειας από λιγνιτικό σταθμό

Ένας λιγνιτικός σταθμός παραγωγής ενέργειας από τα εξής κύρια συστήματα (Εικόνα 3.2) [7]:

- Το σύστημα μέσω του οποίου διακινείται ο λιγνίτης και τροφοδοτείται ως καύσιμο στο λέβητα.



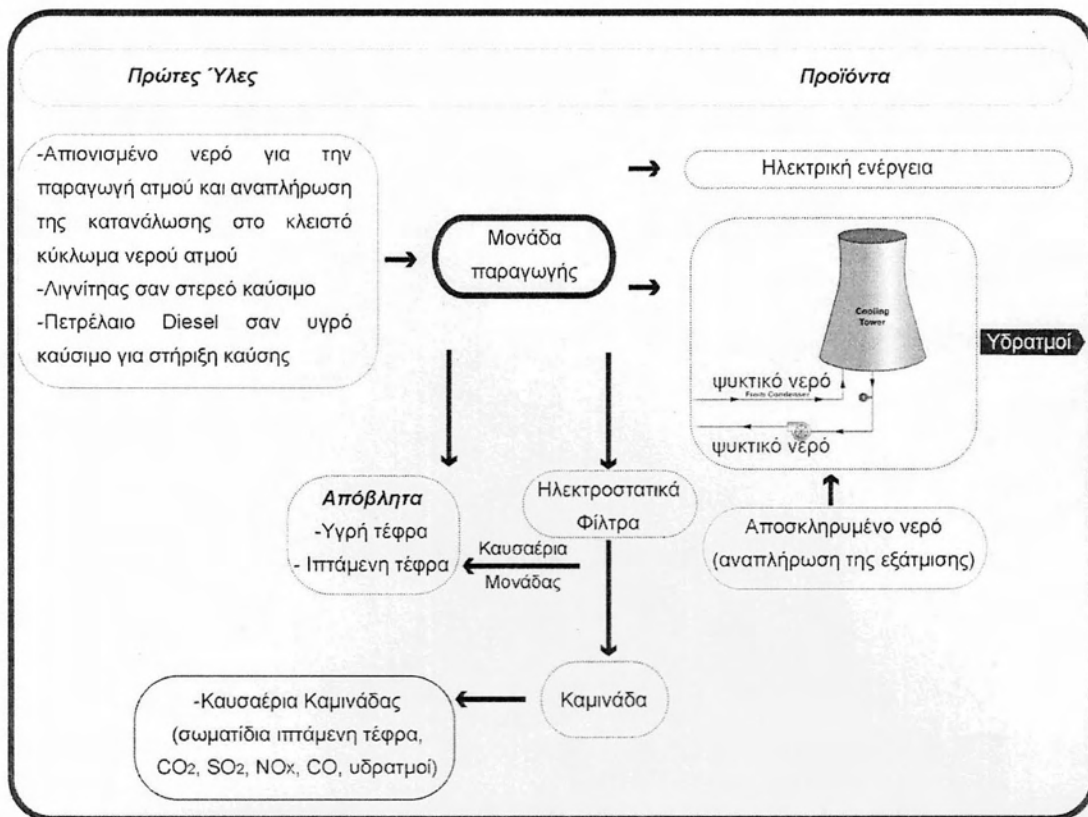
- Το σύστημα μέσω του οποίου τροφοδοτείται με νερό συγκεκριμένης ποσότητας και ποιότητας η παραγωγική διαδικασία και αποβάλλονται τα υγρά απόβλητα.
- Το σύστημα αποκομιδής της τέφρας, μέσω του οποίου απομακρύνεται η υγρή και ιπτάμενη τέφρα ως ρυπογόνα απόβλητα της καύσης.
- Το σύστημα των μονάδων παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας, στις οποίες η χημική ενέργεια του λιγνίτη μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια στο λέβητα και ακολούθως μέσω του συστήματος στροβίλου-γεννήτριας σε ηλεκτρική.



Εικόνα 3.2. Συστήματα παραγωγικής διαδικασίας σταθμού

Από αυτά τα συστήματα αυτό που αφορά την παρούσα διπλωματική εργασία και θα αναλυθεί περαιτέρω είναι το Σύστημα Μονάδων Παραγωγής, το οποίο αποτελείται από τα εξής κύρια τμήματα [7]:

- ♣ Πέντε κύριες εγκαταστάσεις (μία για κάθε Μονάδα) που κάθε μία περιλαμβάνει:
  - Λέβητα ατμοποίησης με τον ατμοστρόβιλο και την αντίστοιχη γεννήτρια
  - Συμπυκνωτή, στον οποίο εισέρχεται ο ατμός που εξέρχεται από τον ατμοστρόβιλο, εκεί ο ατμός συμπυκνώνεται με τη βοήθεια ψυκτικού νερού και το συμπύκνωμα, αφού προθερμανθεί από απομαστεύσεις του στροβίλου και απαερωθεί μέσω των τροφοδοτικών αντλιών επιστρέφει στο λέβητα.
  - Πύργο ψύξεως για την ψύξη του ψυκτικού νερού του κύριου συμπυκνωτή.
  - Μετασχηματιστές ανύψωσης της τάσης και εγκαταστάσεις σύνδεσης των μετασχηματιστών με τον υποσταθμό των 400 kV, από όπου ξεκινούν οι γραμμές μεταφοράς.
  - Συστήματα ελέγχου και λειτουργίας της Μονάδας
- ♣ Τρεις καπνοδόχους, μία κοινή για τις μονάδες I και II, μία κοινή για τις Μονάδες III και IV, και μία για τη Μονάδα V.



Εικόνα 3.3. Διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τη Μονάδα

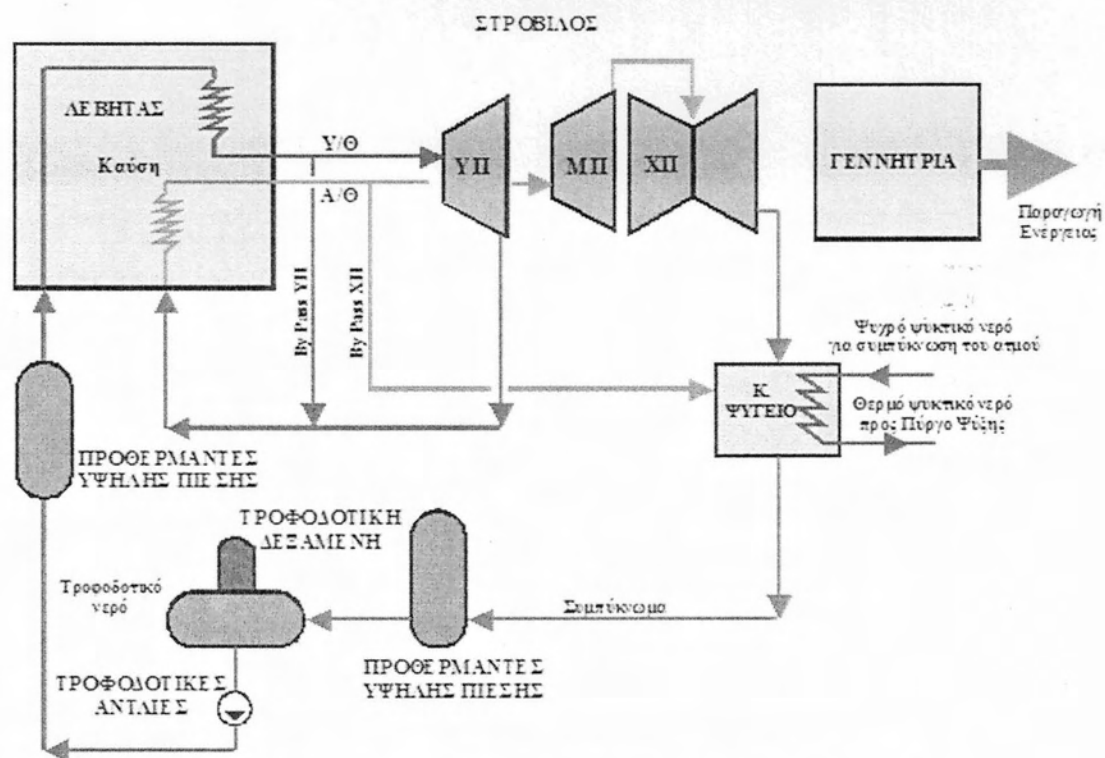
Το νερό κυκλοφορεί στη Μονάδα σε ένα κλειστό κύκλωμα και προθερμαίνεται στους προθερμαντήρες χαμηλής πίεσης, στην τροφοδοτική δεξαμενή, ενώ πριν εισέλθει στο λέβητα περνάει από τους προθερμαντήρες υψηλής πίεσης. Ο ατμός που χρησιμοποιείται για την προθέρμανση του νερού λαμβάνεται ως ένα ποσοστό της ολικής ροής που πηγαίνει στο στρόβιλο.

Το νερό ακολουθεί τη διαδρομή όπως αναλύεται παρακάτω. Όπως αντλείται από το κύριο ψυγείο της Μονάδας ως συμπύκνωμα από τις αντλίες συμπυκνώματος και αφού διέλθει από το Polishing για εξευγενισμό και από τους προθερμαντήρες χαμηλής πίεσης για προθέρμανση οδηγείται στην τροφοδοτική δεξαμενή για επιπλέον προθέρμανση και απαερίωση. Από εκεί μέσω των τροφοδοτικών αντλιών συνεχίζει στους προθερμαντήρες υψηλής πίεσης. Στην πορεία, το νερό εισέρχεται στον οικονομητήρα (ECO) του λέβητα για να προθερμανθεί επιπλέον και στη συνέχεια οδηγείται στην είσοδο (αναρρόφηση) της αντλίας κυκλοφορίας, όπου αναμιγνύεται με το νερό του διαχωριστή και στη συνέχεια καταθλίβεται στους αυλούς ανόδου. Αφού θερμανθεί και φτάσει στην θερμοκρασία ατμοποίησης που αντιστοιχεί στην πίεση λειτουργίας του κυκλώματος, τότε οδηγείται υπό μορφή ατμού - νερού στον διαχωριστή.

Στο διαχωριστή γίνεται διαχωρισμός της υγρής και αέριας φάσης, οπότε η υγρή φάση οδηγείται στην αναρρόφηση της αντλίας κυκλοφορίας για να αναμιχθεί με το νερό που έρχεται από τον οικονομητήρα, για να οδηγηθεί και πάλι στο λέβητα.

Όσον αφορά τον ατμό, αυτός οδηγείται πλέον στο λέβητα για να υπερθερμανθεί σε τρία στάδια και το ρεύμα στην έξοδο του λέβητα πλέον, οδηγείται στο στρόβιλο HP (θερμοκρασία ατμού 540 °C - πίεση 170 bar). Στο στρόβιλο HP εκτονώνεται προσφέροντας έργο, το οποίο μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η έξοδος του στρόβιλου υψηλής πίεσης (HP) που είναι ατμός θερμοκρασίας 300 °C και πίεσης 36 bar, οδηγείται στο λέβητα για να θερμανθεί στους 540 °C. Στη συνέχεια, υπάρχουν 2 στάδια αναθέρμανσης. Η έξοδος του δεύτερου σταδίου αναθέρμανσης οδηγείται στον στρόβιλο μέσης πίεσης (IP) και αφού εκτονωθεί οδηγείται στον στρόβιλο χαμηλής πίεσης (LP). Η έξοδος του στρόβιλου LP οδηγείται στο κύριο ψυγείο με πίεση μικρότερη της ατμοσφαιρικής (κενό) σε μορφή υγρού ατμού όπου συμπυκνώνεται. Η συμπύκνωση του ατμού πραγματοποιείται με την ψύξη του ατμού κατά τη διάρκεια της οποίας απάγεται θερμότητα προς το ψυκτικό νερό που κυκλοφορεί στο συμπυκνωτή. Το ψυκτικό νερό που κυκλοφορεί και έχει θερμανθεί, οδηγείται στον πύργο ψύξης ώστε να ψυχθεί. Η ψύξη γίνεται μέσω του ατμοσφαιρικού αέρα που διέρχεται από την βάση του πύργου. Η διαδικασία όμως αυτή της ψύξης έχει σαν αποτέλεσμα την εξάτμιση μέρους του νερού προς την ατμόσφαιρα με ρυθμό περίπου 2 τόνους νερού ημερησίως.



Εικόνα 3.4. Ροή καυσίμου λέβητα για παραγωγή ενέργειας με λιγνίτη

### 3.2. Οικονομοτεχνικά στοιχεία λέβητα λιγνίτη

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά σχετικά με την ικανότητα παραγωγής της μονάδας, διάρκεια ζωής και τη διαθεσιμότητα σε λιγνίτη για ένα λέβητα οποίος χρησιμοποιεί κονιορτοποιημένο λιγνίτη. Επίσης, παρουσιάζονται ορισμένα οικονομικά στοιχεία που αφορούν το κόστος επένδυσης και άλλα στοιχεία, καθώς και τις μελλοντικές προβλέψεις που θα καθορίσουν την απόσβεση της επένδυσης.

**Πίνακας 3.1.** Οικονομικά και τεχνικά στοιχεία λιγνίτη σε μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

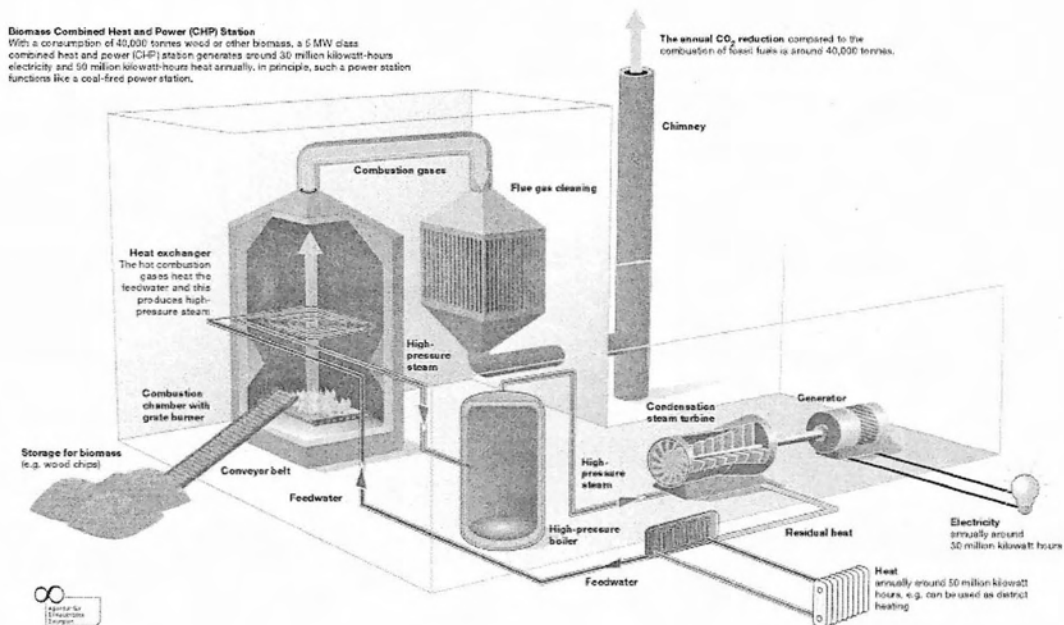
<b>Καύση κονιορτοποιημένου λιγνίτη σε λέβητα προηγμένης τεχνολογίας</b>				
Προβλέψεις σε χρονικές περιόδους	2015	2020	2030	2050
<b>Ενεργειακά/τεχνικά χαρακτηριστικά</b>				
Ικανότητα παραγωγής μονάδας (MW)	400-700			
Διαθεσιμότητα(%)	95	95	95	
Τεχνική διάρκεια ζωής (χρόνια)	40	40	40	40
Διάρκεια κατασκευής (χρόνια)	4,5	4,5	4,5	
<b>Οικονομικά στοιχεία</b>				
Σταθερά O&M (€/MW/year)	57200	61600	61600	61600
Κόστος επένδυσης (€/MW)	2,04	2.03	1.99	1,99
Μεταβλητή O&M(€/MWh)	2	2,2	2,2	2,2

### 3.3. Αρχή λειτουργίας μονάδας παραγωγής ενέργειας από βιομάζα

Η πλειοψηφία των εργοστασίων τα οποία καίνε βιομάζα, παράγουν υψηλής πίεσης ατμό, ο οποίος κινεί τη στροβιλογεννήτρια της μονάδας. Σε μερικές βιομηχανίες ο ατμός χρησιμοποιείται και για διάφορες διεργασίες παραγωγής ή για τη θέρμανση χώρων. Αυτά τα συνδυασμένα συστήματα ισχύος και θέρμανσης αυξάνουν σημαντικά τον μεικτό βαθμό απόδοσης της μονάδος σε σχέση με τα απλά συστήματα παραγωγής ηλεκτρισμού από βιομάζα [8].

Ένα απλό σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού με χρήση βιομάζας αποτελείται από μερικά σημαντικά μέρη. Για τον κύκλο ατμού, απαιτούνται τα παρακάτω:

- } Αποθήκη καυσίμου και εξοπλισμός που αφορά τη μεταφορά καυσίμου
- } Καυστήρας
- } Λέβητας
- } Αντλίες
- } Ανεμιστήρες
- } Γεννήτρια
- } Συμπυκνωτής
- } Πύργος ψύξης
- } Εξάτμιση
- } Συστήματα ελέγχου



Εικόνα 3.5. Σχηματικό διάγραμμα παραγωγής ενέργειας από βιομάζα (Πηγή: <http://www.biomassinnovation.ca>)



Τα συστήματα καύσης οδηγούν το απόθεμα βιομάζας στον καυστήρα, όπου η βιομάζα καίγεται με πλεονασμό αέρα, ώστε να ζεστάνει νερό που βρίσκεται σε καυστήρα και να παραχθεί ατμός. Συχνά, αντί για απευθείας καύση υπάρχουν τεχνολογίες στις οποίες η βιομάζα αεριοποιείται και παράγεται ένα εύφλεκτο αέριο, ενώ άλλες τεχνολογίες τη μετατρέπουν σε εύφλεκτο υγρό. Τα καύσιμα μπορεί να αποτελούνται από pellet, πριονίσματα, ή βιοπετρέλαιο. Ο ατμός από τον καυστήρα εκτονώνεται σε μία γεννήτρια και παράγεται ηλεκτρισμός.

Βέβαια, οι σημαντικότεροι παράγοντες στο σχεδιασμό ενός συστήματος βιομάζας είναι ο έλεγχος διαθεσιμότητας πόρων, ο σχεδιασμός και η προμήθεια. Είναι σημαντικό να αναγνωριστούν πιθανές υποψήφιες πηγές βιομάζας και να εκτιμηθούν οι απαιτούμενες ποσότητες. Αν αυτό είναι δυνατό, πρέπει να προσδιοριστεί λεπτομερώς η δυνατότητα της πηγής να παράγει αρκετό καύσιμο ώστε να καλύπτει τις ανάγκες του εξοπλισμού. Αυτό είναι μια εξονυχιστική διαδικασία που περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του φορτίου, αναγνώριση πιθανών κατασκευαστών εξοπλισμού και επικοινωνία μεταξύ προμηθευτών.

Επιπρόσθετα, όλα τα συστήματα βιομάζας απαιτούν χώρο αποθήκευσης καυσίμου και κάποια συστήματα ελέγχου. Ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου μεταφέρει το καύσιμο από τον εξωτερικό χώρο αποθήκευσης. Τα ηλεκτρικά συστήματα που χρησιμοποιούν ροκανίδια τυπικά απαιτούν έναν τόνο ανά μεγαβατώρα ηλεκτρικής ενέργειας (MWh). Αυτή η προσέγγιση είναι χρήσιμη για τον υπολογισμό των απαιτήσεων του συστήματος σε καύσιμο αλλά και χώρο.

Τα περισσότερα ροκανίδια παράγονται από ξυλεία και περιέχουν υγρασία σε ποσοστό 40%-55%, το οποίο σημαίνει ότι ένας τόνος θα περιέχει 360-500 κιλά νερού. Το ποσοστό υγρασίας στο ξύλο είναι πολύ σημαντικό, καθώς το νερό μειώνει την ανακτώμενη ενέργεια από το καύσιμο και έτσι μειώνεται η απόδοση του καυστήρα, καθώς το νερό θα πρέπει να εξατμίζεται στα πρώτα στάδια της καύσης.

Τα μεγαλύτερα προβλήματα των εργοστασίων βιομάζας συναντώνται στο χειρισμό και προεπεξεργασία του καυσίμου. Η αποξήρανση της βιομάζας πριν την καύση ή την αεριοποίηση, αυξάνει το μεικτό βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης, αλλά μπορεί να μην είναι οικονομικά συμφέρουσα σε αρκετές περιπτώσεις.

Υπάρχουν διάφορα συστήματα λεβήτων για βιομάζα, που χρησιμοποιούνται ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα, τα προϊόντα της καύσης που θέλουμε και τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς. Τα τρία πιο διαδεδομένα συστήματα είναι τα εξής:

- *Συστήματα διαχωρισμού αερίων-υγρών (fixed-bed systems)*
- *Συστήματα υγροποίησης στερεού καυσίμου (fluidized-bed systems)*
- *Συστήματα αεριοποίησης βιομάζας*

Αναφορικά με τα συστήματα διαχωρισμού αερίων-υγρών (fixed-bed systems) υπάρχουν διάφορες διατάξεις, αλλά το κοινό χαρακτηριστικό είναι ότι το καύσιμο

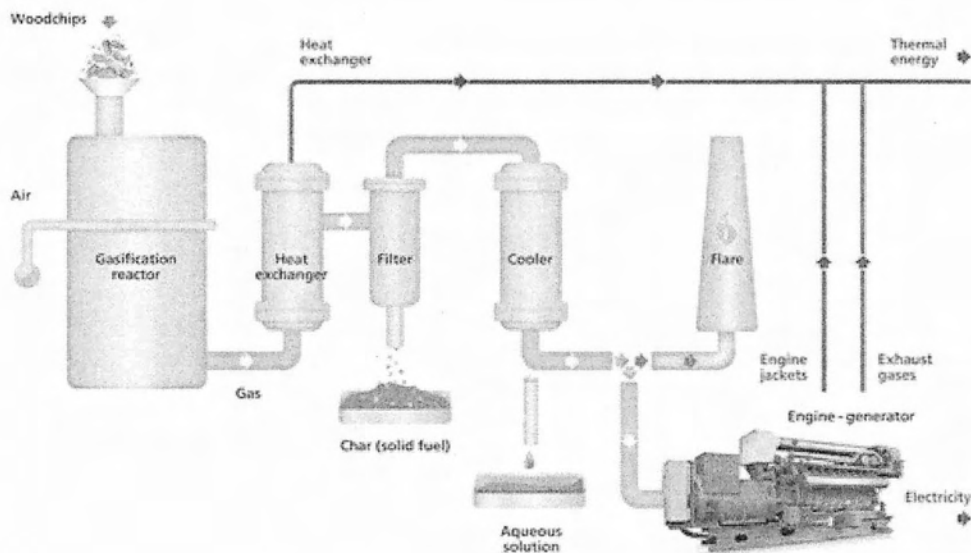


οδηγείται με κάποιο τρόπο σε μια σχάρα όπου αντιδρά με το οξυγόνο του αέρα. Αυτή είναι μια εξώθερμη αντίδραση που παράγει πολύ θερμά αέρια και ατμό στο εναλλάκτη θερμότητας του λέβητα.

Στα συστήματα υγροποίησης στερεού καυσίμου, η βιομάζα καίγεται σε μία θερμή στήλη από άφλεκτα μόρια, όπως η άμμος. Σε σχέση με τις εστίες καύσης, τα fluidized-bed συστήματα, γενικώς, παράγουν πιο ολοκληρωμένη μετατροπή του άνθρακα, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν μειωμένες εκπομπές και βελτιωμένη απόδοση συστήματος. Επιπλέον, οι fluidized-bed καυστήρες μπορούν να έχουν μεγαλύτερο εύρος αποθέματος αλλά και μεγαλύτερο παρασιτικό ηλεκτρικό φορτίο λόγω των απαιτήσεων των ανεμιστήρων.

Τα συστήματα αεριοποίησης βιομάζας, αν και λιγότερο συχνά, είναι παρόμοια με τα συστήματα καύσης, με εξαίρεση ότι η ποσότητα του αέρα είναι περιορισμένη και παράγεται καθαρό αέριο με χρήσιμη θερμαντική αξία, καθώς το καθαρό καυσαέριο έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί σε διάφορα είδη μηχανών καύσης, όπως οι ηλεκτρικές γεννήτριες. Η απόδοση ενός συστήματος επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η περιεκτικότητα σε υγρασία, η διανομή και ποσότητα αέρα, θερμοκρασία και πίεση του αερίου.

Όσον αφορά τα προϊόντα της καύσης, υπάρχουν συστήματα εξάτμισης τα οποία χρησιμοποιούνται για να εξάγουν τα προϊόντα της καύσης στο περιβάλλον. Τα συστήματα ελέγχου εκπομπών μπορεί να περιλαμβάνουν ένα διαχωριστή, σακκόφιλτρα ή ηλεκτροστατικά φίλτρα. Οι διαχωριστές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν προσυλλέκτες για να αφαιρέσουν τα μεγαλύτερα μόρια πριν τα σακκόφιλτρα ή τα ηλεκτροστατικά φίλτρα. Επιπλέον, μπορεί να απαιτούνται και συστήματα ελέγχου για άκαυστα οξείδια αζώτου, υδρογονάνθρακες και θείο, ανάλογα τις νομοθετικές διατάξεις κάθε χώρας.



Εικόνα 3.6. Επιμέρους μέρη μια μονάδας παραγωγής ενέργειας από βιομάζα (Πηγή: <http://www.renevol.gr/>)

Τέλος, πρέπει να τονιστεί πως ο τύπος συστήματος που είναι κατάλληλος για συγκεκριμένη εφαρμογή εξαρτάται από παράγοντες όπως ή διαθεσιμότητα και το κόστος του κάθε είδους βιομάζας, τα ανταγωνιζόμενα είδη καυσίμου (πετρέλαιο, φυσικό αέριο), ηλεκτρικά φορτία, διαθεσιμότητα χώρου, προσωπικό και τοπικές νομοθετικές διατάξεις.

Τα έργα που συνδυάζουν παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και θερμικής ενέργειας από βιομάζα είναι, συνήθως, τα πιο αποδοτικά σε κόστος. Αν μια τοποθεσία έχει πρόσβαση σε φθηνούς πόρους βιομάζας, τότε η εγκατάσταση ενός συστήματος παραγωγής ηλεκτρισμού και θέρμανσης αποτελεί καλή επιλογή. Η μεταφορά του καυσίμου αποτελεί σημαντικό μέρος του κόστους, επομένως οι πόροι θα πρέπει να είναι από κοντινές πηγές. Επιπλέον, η εγκατάσταση απαιτεί και χώρους αποθήκευσης, επομένως ο χώρος και η πρόσβαση σε αυτόν είναι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η αποθήκευση ποσοτήτων από ροκανίδια απαιτεί προετοιμασία και προσεκτικότητα. Βέβαια, εξίσου σημαντική παράμετρος για την αξιολόγηση μονάδας ενέργειας από βιομάζα είναι εκπομπές ρύπων. Επομένως, οι τοπικές απαιτήσεις πρέπει να εξετάζονται. Οι εκπομπές ρύπων από ένα σύστημα βιομάζας εξαρτώνται στο σχεδιασμό του συστήματος και τα χαρακτηριστικά του καυσίμου. Αν είναι αναγκαίο, τα συστήματα ελέγχου εκπομπών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μειώσουν τις εκπομπές σωματιδίων και τις εκπομπές οξειδίων αζώτου. Οι εκπομπές θείου εξαρτώνται απολύτως από την περιεκτικότητα θείου της βιομάζας, η οποία είναι συνήθως πολύ χαμηλή.

Φυσικά, όπως και με όλες τις τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρισμού, το σύστημα παραγωγής θα πρέπει να είναι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο.

### 3.4. Οικονομοτεχνικά στοιχεία για παραγωγή ενέργειας από βιομάζα

Πίνακας 3.2. Οικονομικά και τεχνικά στοιχεία για την αναβάθμιση μιας μονάδας λιγνίτη σε βιομάζα.

<b>Ανακατασκευάζοντας εργοστάσια από λιγνίτη σε βιομάζα</b>	
<b>Χρονική περίοδος</b>	<b>2015</b>
<i>Ενέργεια/τεχνικά χαρακτηριστικά</i>	
Τυπική χωρητικότητα MW	200-400
<i>Περιβάλλον</i>	
Κονιορτοποιημένος λιγνίτης για καύσιμο (g/GJ)	0,6-1
Κονιορτοποιημένο ξύλο για καύσιμο(g/GJ)	0,5-1,6
Άχυρο για καύσιμο	32
Κονιορτοποιημένος λιγνίτης για καύσιμο(g/GJ)	0,5-1,6
Κονιορτοποιημένο ξύλο για καύσιμο(g/GJ)	1,2
Άχυρο για καύσιμο	1,4
<i>Οικονομικά στοιχεία</i>	
Καθορισμένη δαπάνη(€/MW μετατρεπόμενης ικανότητας)	
Pellets από ξύλο	0,13-0,23
Άχυρα	0,42
Ξύλο με μικρό ποσοστό υγρασίας	0,50-0,53



**Πίνακας 3.3.** Οικονομικά και τεχνικά στοιχεία βιομάζας από ροκανίδια σε μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

<b>Ατμοστρόβιλος μέσης ισχύος, Ροκανίδια</b>				
<b>Προβλέψεις για χρονικές περιόδους</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
<i><b>Ενεργειακά/τεχνικά χαρακτηριστικά</b></i>				
Ικανότητα Παραγωγής μιας Μονάδας (MW)	50			
Καθαρή απόδοση ηλεκτρικής ενέργειας(%)	29	29	29	
Διαθεσιμότητα (%)	90	90	90	
Τεχνική διάρκεια ζωής(χρόνια)	30	30	30	
Διάρκεια κατασκευής(χρόνια)	4,5	4,5	4,5	
<i><b>Οικονομικά στοιχεία</b></i>				
Σταθερά Ο&Μ (€/MW/year)	29000	29000	29000	29000
Κόστος επένδυσης(M€/MW)	2.6	2.6	2.6	2.6
Μεταβλητή Ο&Μ(€/MWh)	3,9	3,9	3,9	3,9
<i><b>Ικανότητα Ρύθμισης Φορτίου</b></i>				
Ταχύτητα Ρύθμισης (MW per min.)	4	4	4	
Ταχύτητα Ρύθμισης (MW per min.)	4	4	4	
Ελάχιστο Φορτίο (% επί του πλήρους φορτίου)	20	20	20	



**Πίνακας 3.4.** Οικονομικά και τεχνικά στοιχεία βιομάζας από άχυρο σε μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

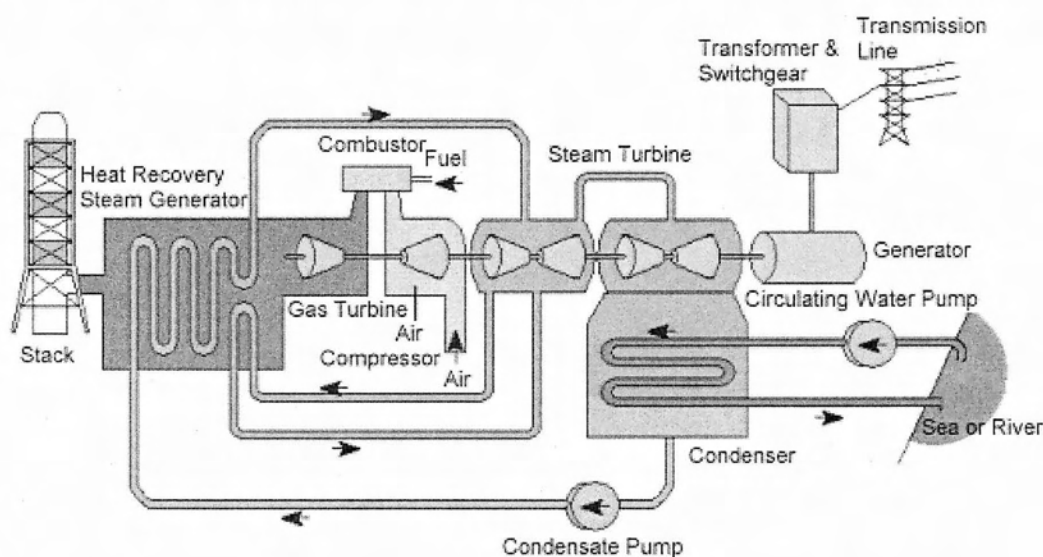
<b>Ατμοστρόβιλος Μέσης Ισχύος, άχυρο</b>				
<b>Προβλέψεις για χρονικές περιόδους</b>	2015	2020	2030	2050
<b>Ενεργειακά/τεχνικά χαρακτηριστικά</b>				
Ικανότητα Παραγωγής μιας Μονάδας (MW)	10-50			
Καθαρή απόδοση ηλεκτρικής ενέργειας (%)	29			
Διαθεσιμότητα (%)	90	90	90	
Τεχνική διάρκεια ζωής (χρόνια)	25			
Διάρκεια κατασκευής(χρόνια)				
<b>Οικονομικά στοιχεία</b>				
Σταθερό κόστος λειτουργίας & συντήρησης (€/MW/year)	40000			
Κόστος επένδυσης(M€/MW)	4			
Μεταβλητό κόστος λειτουργίας & συντήρησης (€/MWh)	6,4			

### 3.5. Αρχή λειτουργίας μονάδας παραγωγής ενέργειας με φυσικό αέριο

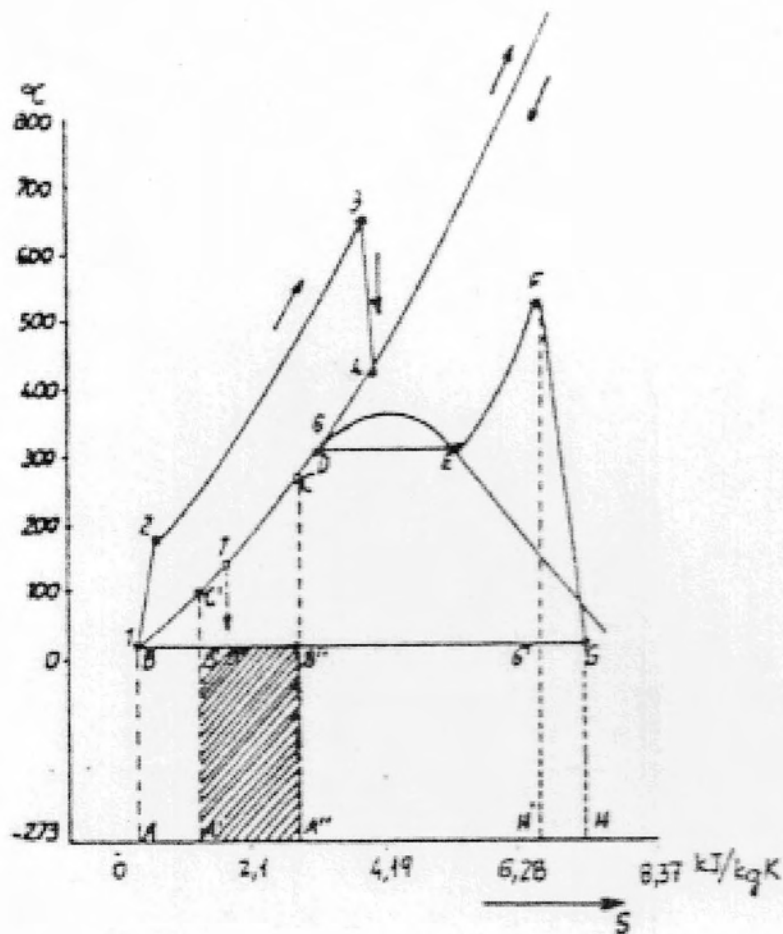
Τις τελευταίες δεκαετίες παρουσιάζεται μια συνεχής αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ παράλληλα ανακύπτει και το ζήτημα μείωσης των εκπεμπόμενων ρύπων. Για αυτό το λόγο υπάρχει μια έντονη προσπάθεια αύξησης του βαθμού απόδοσης των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, προκειμένου να μειωθεί η κατανάλωση καυσίμων και να καλυφθεί ταυτόχρονα η αυξανόμενη ζήτηση.

Την τελευταία εικοσαετία υπάρχει μια νέα τάση στην ηλεκτροπαραγωγή, η οποία συνίσταται στην εγκατάσταση μονάδων συνδυασμένου κύκλου. Το γεγονός αυτό σχετίζεται με την ύπαρξη μεγάλων ποσοτήτων φυσικού αερίου, το οποίο αποτελεί σχετικά φτηνό καύσιμο στους αεροστροβίλους, καθώς και με τα πολλαπλά πλεονεκτήματα των μονάδων αυτών.

Η κεντρική ιδέα των μονάδων συνδυασμένου κύκλου έγκειται στη χρήση της θερμότητας των καυσαερίων ενός ή περισσοτέρων αεροστροβίλων, προκειμένου να παραχθεί ατμός σε ένα ατμοπαραγωγό, ο οποίος στη συνέχεια θα εκτονωθεί σε ένα ατμοστρόβιλο. Όπως φαίνεται και στο σχήμα ο αέρας συμπιέζεται στην αρχή και έπειτα αναμειγνύεται με το καύσιμο στον θάλαμο καύσης του αεροστροβίλου, όπου το μίγμα καίγεται. Τα καυσαέρια αφού εκτονωθούν στον στρόβιλο οδηγούνται σε έναν ατμοπαραγωγό, ο οποίος απάγει μέρος της θερμότητάς τους για την παραγωγή ατμού που κινεί τον ατμοστρόβιλο [19].



Εικόνα 3.7. Διάταξη εξοπλισμού για παραγωγή ενέργειας με φυσικό αέριο (Πηγή: <http://www3.toshiba.co.jp/power>)



Εικόνα 3.8. Θερμοδυναμικός κύκλος σε ατμοστρόβιλο για παραγωγή ενέργειας με φυσικό αέριο

Παρατηρώντας το θερμοδυναμικό κύκλο (Εικόνα 3.8) μπορούμε να δούμε πως αρχικά συμπιέζεται αδιαβατικά ο αέρας στο συμπιεστή, κατά τη διαδρομή 1-2. Το μίγμα καυσίμου-αέρα καίγεται στον θάλαμο καύσης (διαδρομή 2-3). Τα πλούσια σε οξυγόνο καυσαέρια που παράγονται εισέρχονται στον αεριοστρόβιλο, όπου εκτονώνονται, μετατρέποντας μέρος της εσωτερικής τους ενέργειας σε μηχανικό έργο (διαδρομή 3-4). Έπειτα, εισέρχονται σχεδόν με ατμοσφαιρική πίεση στην εστία του ατμοπαραγωγού προσδίδοντάς του θερμότητα (κατάσταση 4). Επίσης, ένα ποσοστό της θερμότητας εισέρχεται στον ατμοπαραγωγό μέσω της καύσης του καυσίμου του. Η θερμοκρασία στον φλογοθάλαμο (εστία καύσης) φθάνει σε κάποιο σημείο (κατάσταση 5) πολύ ψηλά. Τα καυσαέρια που έχουν εισέλθει στον ατμοπαραγωγό, αφού του προσδώσουν θερμότητα, τον εγκαταλείπουν με μία θερμοκρασία, που αντιστοιχεί στην κατάσταση 6, δηλαδή λίγο παραπάνω από την θερμοκρασία ατμοποίησης μέσα στον κυρίως λέβητα. Η υπόλοιπη θερμότητά τους μέχρι την κατάσταση 7, όπου εξέρχονται στον καπνοδόχο, αποδίδεται σε έναν προθερμαντήρα νερού (διαδρομή 7-1). Εκεί προθερμαίνεται ένα μέρος του τροφοδοτικού νερού, το οποίο ατμοποιείται σύμφωνα με την καμπύλη BDEF, εκτονώνεται κατά την FG και συμπυκνώνεται κατά την GB, όπως περιγράφεται στον κύκλο υπέρθερμου ατμού (το υπόλοιπο προθερμαίνεται με ατμό).

Ο βαθμός απόδοσης αυτού του θερμικού κυκλώματος είναι ο μέγιστος συγκριτικά με τον αντίστοιχο του κάθε κυκλώματος που εξετάσαμε ξεχωριστά. Περαιτέρω αύξηση μπορούμε να επιτύχουμε προσθέτοντας περισσότερες βαθμίδες αποτόνωσης στον στρόβιλο και ενδιάμεσης ψύξης, καθώς και με επαναθέρμανση των καυσαερίων (όπως εφαρμόσαμε ξεχωριστά στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς), ενώ οι συνήθεις τιμές όπου κυμαίνεται είναι 0,5.

Μάλιστα με συνδυασμένα συστήματα αεριοστροβίλων που καταναλώνουν φυσικό αέριο μπορούμε να πετύχουμε ακόμα καλύτερα αποτελέσματα. Τα συνδυασμένα συστήματα είναι αρκετά πολυπλοκότερα των συμβατικών μονάδων, ωστόσο όπως προαναφέρθηκε έχουν σχετικά χαμηλά έξοδα και δίνουν απάντηση στο πρόβλημα αύξησης της απόδοσης των σταθμών παραγωγής. Οι διαμορφώσεις που χρησιμοποιούνται στον συνδυασμένο κύκλο είναι αρκετές και χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες.

- Ο ατμοπαραγωγός συνδέεται μετά τον αεριοστρόβιλο και χρησιμοποιεί την θερμότητα των καυσαερίων με πίεση περιβάλλοντος, μη ή χωρίς καύση πρόσθετου καυσίμου.
- Ο ατμοπαραγωγός συνδέεται μεταξύ του συμπιεστή και του αεριοστροβίλου και αποτελεί το θάλαμο καύσης του αεριοστροβίλου.

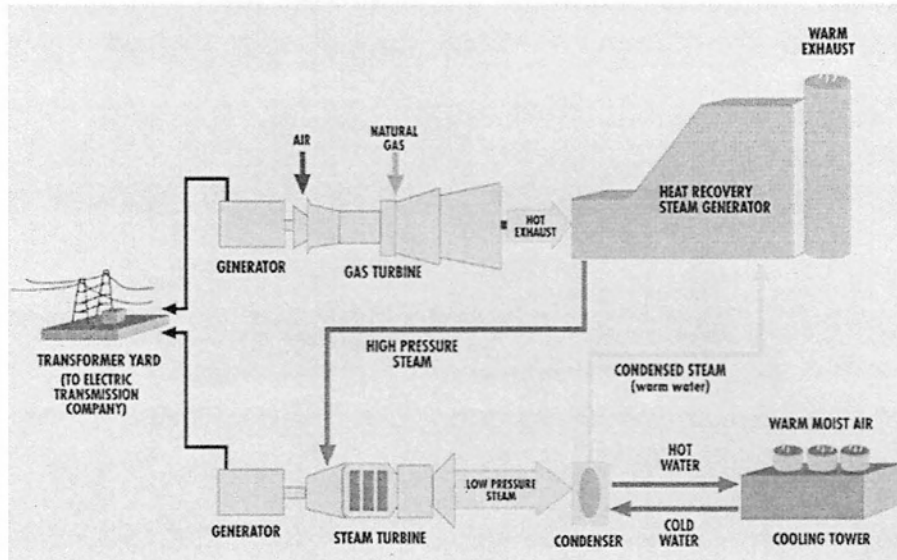
Η κεντρική ιδέα των μονάδων συνδυασμένου κύκλου είναι η χρησιμοποίηση της θερμότητας των καυσαερίων ενός ή περισσότερων αεριοστροβίλων προκειμένου ναπραχθεί ατμός σε ένα ατμοπαραγωγό και στη συνέχεια να κινηθεί ένας ατμοστρόβιλος. Όπως φαίνεται και στο σχήμα ο αέρας συμπιέζεται στην αρχή και έπειτα αναμειγνύεται με το καύσιμο στον θάλαμο καύσης του αεριοστροβίλου, όπου το μίγμα καίγεται. Τα καυσαέρια αφού εκτονωθούν στον στρόβιλο οδηγούνται σε ένα ατμοπαραγωγό ο οποίος απάγει μέρος της θερμότητάς τους για την παραγωγή ατμού που κινεί τον ατμοστρόβιλο.

Ο ολικός βαθμός απόδοσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων, ενώ ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης εξαρτάται, εκτός από τα τεχνικά χαρακτηριστικά, από την τελική θερμοκρασία παροχής τηλεθέρμανσης. Ωστόσο, μερικά εργοστάσια δεν έχουν την επιλογή να εκμεταλλεύονται τα τη θερμότητα 'πουλώντας' τηλεθέρμανση, και ο συμπυκνωτής ψύχεται εκεί από θάλασσα/ποτάμι/νερό λίμνης. Οι μονάδες που μπορούν να μετατρέπονται από "τύπου συμπύκνωσης" (μόνο ηλεκτρική ισχύς ) σε "τύπου αντίθλιψης" (ηλεκτρική ισχύς και τηλεθέρμανση) απαιτείται να έχουν και έναν στρόβιλο εξαγωγής ατμού. Τέτοιοι στρόβιλοι δεν διατίθενται σε μικρά μεγέθη, και μονάδες διπλού τύπου υπάρχουν μόνο σε μεγάλες κλίμακες.

Η ενέργεια που παράγεται από τον αεριοστρόβιλο είναι τυπικά διπλάσια της ενέργεια που παράγεται από τον ατμοστρόβιλο. Ένας στρόβιλος εξαγωγής ατμού αλλάζοντας από τύπου πλήρως συμπύκνωσης σε θερμοκρασία θάλασσας σε τύπο

πλήρους αντίθλιψης σε θερμοκρασία επιστροφής τηλεθέρμανσης τυπικά χάνει περίπου 10% από την ηλεκτροπαραγωγική της ικανότητα.

Για παράδειγμα, ένας αεριοστρόβιλος 40 MW συνδυασμένος με έναν ατμοστρόβιλο 20 MW (τύπου συμπύκνωσης), χάνει 2 MW, (10% από 20 MW) ή 3% από τη συνολική ηλεκτροπαραγωγική της ικανότητα (60 MW).



Εικόνα 3.9. Συνδυασμένος κύκλος παραγωγής ενέργειας με φυσικό αέριο  
(Πηγή: <http://www.niprc.org/images>)

Μερικοί αεριοστρόβιλοι μπορούν να τροφοδοτηθούν και με άλλα καύσιμα όπως LPG, βιοαέριο κ.α., ενώ μερικοί αεριοστρόβιλοι διατίθενται σε εκδόσεις διπλού καυσίμου (αέριο/πετρέλαιο).

Οι αεριοστρόβιλοι που ανάβουν με αέριο χρειάζονται πίεση καυσίμου αερίου της τάξης 20-70 bar. Τέλος, για συνδυασμένο κύκλο η βιομηχανία έχει σχεδόν παγκοσμίως χρησιμοποιήσει την βιομηχανική μηχανή τάξης F ισχύος 280MW, η οποία συνδυασμένη με έναν ατμοστρόβιλο η ικανότητα της μονάδος φτάνει τα 440 MW.



### 3.6. Οικονομοτεχνικά στοιχεία παραγωγής ενέργειας από αεριοστρόβιλο φυσικού αερίου

Πίνακας 3.5. Τεχνική και οικονομική ανάλυση φυσικού αερίου για παραγωγή ενέργειας

<b>Αεριοστρόβιλος συνδυασμένου κύκλου, εξαγωγή ατμού</b>				
Προβλέψεις για χρονικές περιόδους	2015	2020	2030	2050
<b>Ενεργειακά/τεχνικά χαρακτηριστικά</b>				
Ικανότητα Παραγωγής μιας Μονάδας (MW)	100-400			
Καθαρή απόδοση ηλεκτρικής ενέργειας (%)	29	29	29	
Απόδοση ηλεκτρισμού (%), καθαρή συμπύκνωση	55-58	58-62	59-64	59-64
C <sub>b</sub> συντελεστής	1,34	1,75	1,75	
C <sub>v</sub> συντελεστής	0.13	0.13	0.13	
Διαθεσιμότητα (%)	94	94	94	
Τεχνική διάρκεια ζωής (χρόνια)	25	25	25	
Διάρκεια κατασκευής (χρόνια)	1,5-2	1,5-2	1,5-2	1,5-2
<b>Οικονομικά στοιχεία</b>				
Σταθερά O&M (€/MW/year)	30000	30000	30000	30000
Ονομαστική επένδυση (Μ€/MW)	0,87	0,82	0,81	0,79
Μεταβλητή O&M (€/MWh)	2,5	2,5	2,5	2,5

<b>Ικανότητα Ρύθμισης Φορτίου</b>				
Ταχεία εφεδρεία (% ανά λεπτό)	10	10	10	

**Πίνακας 3.6.** Τεχνική και οικονομική ανάλυση φυσικού αερίου για την αντίθλιψη.

<b>Αεριοστρόβιλος συνδυασμένου κύκλου, αντίθλιψη</b>				
Προβλέψεις για χρονικές περιόδους	2015	2020	2030	2050
<b>Ενεργειακά/τεχνικά χαρακτηριστικά</b>				
Ικανότητα Παραγωγής μιας Μονάδας (MW)	<b>10 - 100</b>			
Συνολική καθαρή απόδοση (%)	82-89	91	91	
Καθαρή απόδοση ηλεκτρισμού (%)	41-55	48-56	48-56	
Σχεδιασμένες έξοδοι (weeks per year)	2-Μαρ	2-Μαρ	2-Μαρ	
Διαθεσιμότητα (%)	94	94	94	
Τεχνική διάρκεια ζωής (χρόνια)	25	25	25	
Διάρκεια κατασκευής (χρόνια)	2,5	2,5	2,5	2,5
<b>Οικονομικά στοιχεία</b>				
Συνολικά O&M (€/MWh)	2,5	2,5	2,5	2,5
Ονομαστική επένδυση (Μ€/MW)	1,1-1,6	1,2-1,7	1,2-1,7	
<b>Ικανότητα Ρύθμισης Φορτίου</b>				
Αχεία εφεδρεία (% ανά λεπτό)	10	10	10	

## 4. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα προηγούμενα κεφάλαια που αφορούσαν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα (λιγνίτης, φυσικό αέριο) και βιομάζα, απαριθμούν τα πλεονεκτήματά τους αναφορικά με τις ενεργειακές τους αποδόσεις, αλλά αφήνουν αναπάντητα ερωτήματα σχετικά με την επίδραση που έχει η καύση τους στο περιβάλλον, στον τρόπο με τον οποίο αλλοιώνουν το τοπικό οικοσύστημα αλλά και το ευρύτερο κλίμα, και τελικά στην επίδραση στον ανθρώπινο παράγοντα. Στη συνέχεια του κεφαλαίου, θα παρουσιαστούν οι πιο επιβλαβείς ουσίες που παράγονται κατά την καύση των καυσίμων που μελετώνται και ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζουν το περιβάλλον με βάση τη χημική τους σύσταση.

### 4.1. Σημαντικότεροι αέριοι ρύποι ως προϊόντα καύσης

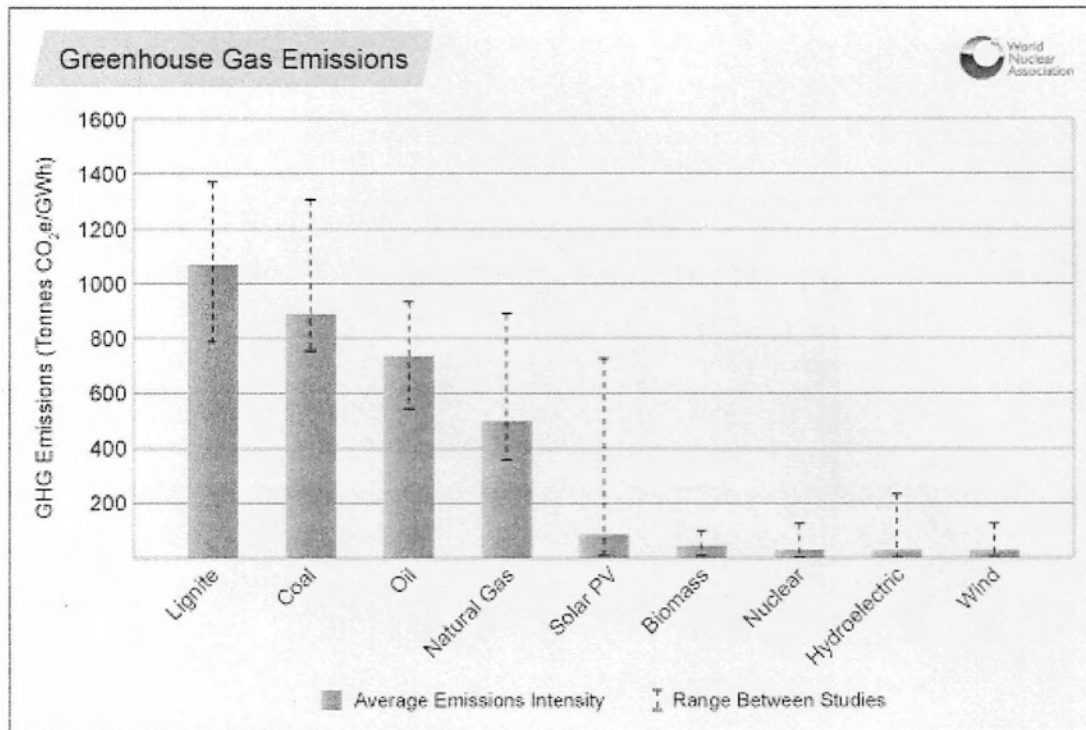
#### 4.1.1. Διοξείδιο του άνθρακα ως προϊόν καύσης (CO<sub>2</sub>)

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) δεν είναι από αυτούς τους αέριους ρύπους που θεωρούνται τοξικοί για τον άνθρωπο και το περιβάλλον, όμως αν βρίσκεται στην ατμόσφαιρα σε εκτεταμένη κλίμακα, επιφέρει κάποιες έμμεσες επιδράσεις στην εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη και ως εκ τούτου χαρακτηρίζεται αέριος ρύπος. Τα αποτελέσματα της εκπομπής CO<sub>2</sub> αν και θεωρούνται μακροπρόθεσμα, δείχνουν όλο και περισσότερο την επίδραση τους στο παγκόσμιο κλίμα.

Η εκπομπή CO<sub>2</sub> προέρχεται είτε από φυσικές πηγές (διεργασίες βιολογικής αποσύνθεσης που έχουν ως αρχή την παραγωγή μεθανίου) είτε από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, κυρίως καύσεις υδρογονανθράκων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι με την αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται ταυτόχρονα μια σταθερή αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Το προβλεπόμενο αποτέλεσμα αυτής της αύξησης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι η ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου, με όσες επιπτώσεις αυτό θα έχει στο παγκόσμιο κλίμα. Το φαινόμενο αυτό συνεπάγεται μια σταδιακή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης που θα προκαλέσει ευρείας κλίμακας κλιματικές αλλαγές με πιθανό λιώσιμο των πάγων, το οποίο οδηγεί σε μεγάλες αλλαγές στην πανίδα και χλωρίδα παγκοσμίως, σε πιθανές πλημμύρες τις παράκτιες περιοχές και γενικότερα σε μεταβολές της ισορροπίας στον πλανήτη.

Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί και ένα άλλο φαινόμενο που είναι επίσης συνέπεια της καύσης των στερεών καυσίμων και το οποίο δημιουργεί αντίθετα αποτελέσματα από αυτά του θερμοκηπίου, αλλά δεν είναι τόσο έντονο. Η ατμοσφαιρική καπνομίχλη και η σωματιδιακή ύλη, προϊόντα καύσης και αυτά,

μπορούν να προκαλέσουν ελαφρά ψύξη της ατμόσφαιρας λόγω παρεμπόδισης της ηλιακής ακτινοβολίας προς τη Γη. Στις μέρες μας υπάρχει συστηματική παρακολούθηση των ατμοσφαιρικών επιπέδων του CO<sub>2</sub> σε παγκόσμια κλίμακα, και αποτελεί ένα από τα κρίσιμα ζητήματα σε τραπέζια διαπραγματεύσεων των χωρών-μελών του ΟΗΕ με σκοπό τη λήψη σοβαρών μέτρων.



**Εικόνα 4.1.** Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά μονάδα παραγωγής ενέργειας για κάθε καύσιμο παγκοσμίως (Πηγή: <http://www.world-nuclear.org>)

Από την άλλη πλευρά είναι γνωστή η σημασία του CO<sub>2</sub> για τη ζωή σε αυτό τον πλανήτη. Τα φυτά χρειάζονται το CO<sub>2</sub> για τη φωτοσύνθεση και με αυτόν τον τρόπο το διοξείδιο του άνθρακα γίνεται σημαντικό για ολόκληρη την τροφική αλυσίδα. Επίσης, αν και είναι προϊόν απόρριψης κατά την αναπνοή των ζώων, και συνεπώς τοξικό σε υψηλές συγκεντρώσεις, ένα ορισμένο ποσοστό του διεγείρει την αναπνοή. Το επίπεδο ασφαλείας για παρατεταμένη έκθεση του ανθρώπου σε CO<sub>2</sub>, είναι 15 φορές μεγαλύτερο από τα σημερινά επίπεδά του στον ατμοσφαιρικό αέρα. Εντούτοις, παρατηρείται μια συνεχώς αυξητική τάση του ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub> τα τελευταία 70 χρόνια και αν και το φυτικό βασίλειο δείχνει να ωφελείται από αυτή την αύξηση, δεν θα πρέπει να παρασύρεται κανείς καθώς μια περαιτέρω αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 1-2 βαθμούς Kelvin εξαιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου, ενδέχεται να έχει πολύ άμεσα σημαντικότερες συνέπειες στο παγκόσμιο κλίμα. Αυτός είναι και ο λόγος που δεν απαγορεύεται η εκπομπή του από μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης ή άλλης βιομηχανικής δραστηριότητας, αλλά επιτρέπεται με την προϋπόθεση ο χρήστης να πληρώνει το ανάλογο τίμημα, το οποίο χαρακτηρίζεται ως «πράσινος φόρος» που καταβάλλεται για κάθε τόνο διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται. Οι μεγάλες εγκαταστάσεις



καύσης πρέπει να έχουν αναπτύξει σύστημα για να μετρώνται οι ρύποι αυτοί και να αποδίδονται οι φόροι μετά από τους ανάλογους ελέγχους. Το σύστημα αυτό μέτρησης του CO<sub>2</sub> και απόδοσης του αναλογούντος φόρου αλλά και η εμπορία των τοννων διοξειδίου του άνθρακα από εργοστάσιο σε εργοστάσιο ανάλογα με τις εκπομπές CO<sub>2</sub> του κάθε ενός εργοστασίου λέγεται Emission trading system (εμπορία αέριων ρύπων).

#### 4.1.2. Μονοξείδιο του άνθρακα ως προϊόν καύσης (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι μία ανόργανη χημική ένωση, που περιέχει άνθρακα και οξυγόνο, ενώ σε κανονικές συνθήκες είναι ένα άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο, ελάχιστα διαλυτό στο νερό, και αναφλέξιμο. Είναι ένας από τους μαζικότερα παραγόμενους ρύπους, παρόλο που είναι τοξικό τόσο για τους ανθρώπους όσο και για τα ζώα, ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις.

Γενικά στις αστικές περιοχές η κύρια ποσότητα CO προέρχεται από την ατελή καύση των υδρογονανθράκων που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα. Αυτή η ατελής καύση συμβαίνει όταν υπάρχει ανεπαρκής ποσότητα οξυγόνου ή χρόνου για την πλήρη μετατροπή των υδρογονανθράκων και ανθράκων σε CO<sub>2</sub> (πλήρης καύση). Η τοξική δράση του CO σχετίζεται με το γεγονός πως ανταγωνίζεται έντονα τη δέσμευση του οξυγόνου από την αιμοσφαιρίνη του αίματος, τον μεταφορέα δηλαδή του οξυγόνου στους ιστούς ενός οργανισμού, παράγοντας καρβοξυαιμοσφαιρίνη, ένα μόριο που δεν έχει πλέον την ικανότητα δέσμευσης και μεταφοράς οξυγόνου.

Όταν η αιμοσφαιρίνη έλθει σε επαφή με οξυγόνο σχηματίζει οξυαιμοσφαιρίνη, η οποία μεταφέρει το O<sub>2</sub> στους ιστούς για τις αναγκαίες καύσεις του οργανισμού. Η χημική συγγένεια του CO με την ενεργή θέση της αιμοσφαιρίνης για τη δέσμευση του O<sub>2</sub> είναι 210 φορές μεγαλύτερη από αυτήν του O<sub>2</sub>, με αποτέλεσμα να αρκούν αρκετά μικρές μερικές πιέσεις CO για να δεσμεύσουν ισχυρά σημαντική ποσότητα αιμοσφαιρίνης σχηματίζοντας καρβοξυαιμοσφαιρίνη (HbCO). Έτσι παρεμποδίζεται η μεταφορά οξυγόνου από τους πνεύμονες στους ιστούς. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της φυσικής και πνευματικής ικανότητας του ανθρώπου καθώς και σοβαρές επιπτώσεις στα διάφορα λειτουργικά όργανα και κυρίως στον εγκέφαλο.

Αποτελέσματα ασθενειών από ρύπανση CO είναι υπερβολικά δύσκολο να καταγραφούν και έτσι υπάρχουν ανεπαρκή στοιχεία για να προσδιορισθούν ασφαλή όρια.

Η Ευρωπαϊκή ένωση δεν έχει θεσπίσει ακόμα όριο εκπομπής, παρόλα αυτά η Γερμανία έχει όριο συγκέντρωσης τα 200 mg/Nm<sup>3</sup> ξηρού καυσαερίου, με 6% O<sub>2</sub> για τις μεγάλες εγκαταστάσεις. Αντίθετα, οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν θεσπίσει τέτοια όρια εδώ και πολύ καιρό.



#### 4.1.3. Τα οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>)

Οι υψηλές θερμοκρασίες στις οποίες πραγματοποιείται η καύση για την παραγωγή ατμού, έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση μεγάλης μάζας οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>). Η παραγωγή του NO κατά τις καύσεις ευνοείται από την αύξηση της θερμοκρασίας, γι' αυτό και μια από τις σπουδαιότερες πηγές του είναι οι θερμικοί σταθμοί. Μια σύγκριση της παραγόμενης ποσότητας NO ανά μονάδα βάρους για διάφορα συνηθισμένα καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε θερμικούς σταθμούς, τα κατατάσσει με την ακόλουθη φθίνουσα σειρά δυναμικότητας παραγωγής NO:

*άνθρακας > πετρέλαιο > φυσικό αέριο*

Αν και οι ανθρώπινες δραστηριότητες εκλύουν σαφώς λιγότερες ποσότητες οξειδίων του αζώτου από τις διάφορες βιολογικές δραστηριότητες, παρόλα αυτές οι εκπομπές μπορούν να γίνουν πολύ επικίνδυνες, καθώς συγκεντρώνονται στο άμεσο και περιορισμένο περιβάλλον των αστικών και βιομηχανικών περιοχών. Η παρουσία τους στην ατμόσφαιρα μπορεί να δημιουργήσει πληθώρα αναπνευστικών προβλημάτων και είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία των φωτοχημικών οξειδωτικών σε μεγάλα αστικά περιβάλλοντα.

Η αρνητική επίδραση των NO<sub>x</sub> στην υγεία, έχει αποδειχθεί πως μπορεί να είναι πολύ σοβαρή, με σημαντικότερη τη μεγάλη επίπτωση τους στην εμφάνιση οξείας βρογχίτιδας σε νήπια και παιδιά προσχολικής ηλικίας. Επιστημονικές μελέτες έχουν δείξει πως τέτοια φαινόμενα παρατηρούνται όταν τα επίπεδα του NO<sub>2</sub> κυμαίνονται σε 24ωρη βάση, από 118 έως 156 mg/m<sup>3</sup> (0,063 έως 0,083 ppm) και για μια περίοδο έκθεσης άνω των 6 μηνών. Έχουν επίσης αναφερθεί αρνητικές επιδράσεις στα φυτά, π.χ. πτώση των φύλλων, μείωση της παραγωγής πορτοκαλιών, κτλ όταν τα επίπεδα NO<sub>2</sub> ήταν κοντά στα 470 mg/m<sup>3</sup> (0,25 ppm) για μια περίοδο διάρκειας άνω των 8 μηνών. Ακόμα σχετίζονται και με εκτεταμένη διάβρωση υλικών και κατασκευών.

Πέρα από τα υπόλοιπα NO<sub>x</sub>, πιο συγκεκριμένα το NO<sub>2</sub> εμπλέκεται και σε αντιδράσεις σχηματισμού HNO<sub>3</sub> με τη συνεισφορά του τελευταίου στο φαινόμενο της όξινης βροχής. Έτσι ο μικρός σχετικά χρόνος ζωής του NO<sub>2</sub> (<1 μέρα), μέσω του σχηματισμού του HNO<sub>3</sub> μπορεί να εμφανίσει χρόνους ζωής της τάξεως της μιας εβδομάδας, με αποτέλεσμα την αύξηση της πιθανότητας επιστροφής στην επιφάνεια της Γης ως όξινη βροχή. Αλλά οι διαδικασίες δεν σταματάνε εδώ, αφού εφόσον η διαλυτότητα των NO και NO<sub>2</sub> σε σταγονίδια βροχής είναι σχετικά χαμηλή, αυτά μπορούν να μεταφερθούν εξαιτίας καθέτων αναταραχών της τροπόσφαιρας σε υψηλότερα στρώματα αυτής. Όμως και εκεί η αντίδραση σχηματισμού HNO<sub>3</sub> εξακολουθεί να συμβαίνει, όπου πλέον το σχηματιζόμενο HNO<sub>3</sub> δεν υπόκειται σε διαδικασίες ξηρής ή υγρής εναπόθεσης. Έχοντας μάλιστα ικανό χρόνο ζωής, εξακολουθεί να διαχέεται προς τα πάνω φθάνοντας στα όρια της στρατόσφαιρας, όπου έχει μεγάλη πιθανότητα φωτοδιάσπασης για επανασχηματισμό NO<sub>x</sub>. Σε πιο περιορισμένη έκταση μπορεί να αντιδράσει με OH και να σχηματίσει πάλι NO<sub>x</sub>. Η

διαδικασία αυτή είναι ακόμα ένας πιθανός μηχανισμός μεταφοράς  $\text{NO}_x$  στην στρατόσφαιρα με σημαντικές επιπτώσεις στο όζον της στρατόσφαιρας.

Το όριο εκπομπής οξειδίων του αζώτου ως  $\text{NO}_2$  είναι σήμερα  $500 \text{ mg/Nm}^3$  αλλά το 2016 θα μειωθεί σε  $200 \text{ mg/Nm}^3$  ξηρού καυσαερίου με 6%  $\text{O}_2$  για τις μεγάλες εγκαταστάσεις [22].

#### 4.1.4. Το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ )

Το διοξείδιο του θείου και γενικότερα οι ατμοσφαιρικοί ρύποι με άτομα θείου αποτελούν την πιο επικίνδυνη και καταστροφική ομάδα ατμοσφαιρικών ρύπων. Το διοξείδιο του θείου αποτελεί την πιο συνηθισμένη πρωτογενή εκπομπή από αυτή την ομάδα, στην εκπομπή του οποίου σημαντικότατο ρόλο παίζει η καύση άνθρακα στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το θείο υπάρχει στον άνθρακα και στο πετρέλαιο, συνήθως σε ποσοότητες 0-6% κ.β. υπό μορφή οργανικών μορίων που όταν καίγονται παράγουν  $\text{SO}_2$ .

Στην ατμόσφαιρα το  $\text{SO}_2$  αντιδρά για να σχηματίσει  $\text{SO}_3$  το οποίο εμφανίζει έντονη δραστηριότητα με υδρατμούς σχηματίζοντας ομίχλη (αεροζόλ) θειικού οξέος. Μάλιστα, η διαβρωτική ικανότητα του θειικού οξέος είναι πολύ ισχυρή και κάνει την εμφάνιση της έντονα σε υλικά και στις ανθρώπινες κατασκευές. Επίσης, έχει τοξικές ιδιότητες που εξαρτώνται άμεσα από το μέγεθος των σωματιδίων αυτής της ομίχλης. Το θείο με τη μορφή των διαφόρων ενώσεων του, εκπέμπεται και από κάποιες φυσικές πηγές, όπως για παράδειγμα ενεργά ηφαίστεια ή θερμές πηγές, ενώ κάποιες άλλες πηγές το επαναφέρουν στη Γη για να κλείσει ο κύκλος. Σε αυτό τον κύκλο, σε υπολογισμούς που έγιναν το 1975, η συνεισφορά των ανθρωπογενών πηγών έναντι των φυσικών ήταν περίπου 0.5:1. Σήμερα αναμένεται μεγάλη διαμόρφωση αυτής της σχέσης [22].

Η μέση τιμή συγκέντρωσης του  $\text{SO}_2$  σε ημερήσια βάση στις περισσότερες μεγάλες πόλεις του κόσμου κυμαίνεται στα επίπεδα δεκάτων ppm. Μπορεί αυτές οι τιμές συγκεντρώσεων να φαίνονται χαμηλές, αλλά παρόλα αυτά η ευαισθησία του ανθρώπινου οργανισμού στο  $\text{SO}_2$  είναι πολύ μεγάλη. Το όριο αντίληψης ύπαρξης  $\text{SO}_2$  είναι περίπου 0,3 ppm, και γίνεται μια πολύ δυσάρεστη εμπειρία στα επίπεδα του 1 ppm, καθώς σε αυτή τη συγκέντρωση σημειώνονται μεταβολές στην συχνότητα της αναπνοής και των σφυγμών του ανθρώπινου οργανισμού. Ένα επίπεδο 5 ppm  $\text{SO}_2$  προκαλεί αναπνευστικές διαταραχές ακόμη και σπασμωδικές αντιδράσεις. Η ευαισθησία των φυτών στο  $\text{SO}_2$  ποικίλει ευρέως. Ορισμένα δέντρα και θάμνοι κιτρινίζουν κάτω από ολιγόωρη έκθεση σε 0,3 έως 0,5 ppm  $\text{SO}_2$ . Χαμηλότερες συγκεντρώσεις, αλλά για μεγαλύτερες περιόδους μπορούν να προκαλέσουν πτώσεις φύλλων και σοβαρές καταστροφές σε ορισμένους καρπούς. Το τριφύλλι αποχρωματίζεται σε έκθεση 1.25 ppm για μια ώρα. Είναι επίσης δυνατόν να συμβεί καθυστέρηση στη διαδικασία ανάπτυξης ενός φυτού ακόμα και κάτω από πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις  $\text{SO}_2$ .

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στην ατμόσφαιρα το διοξείδιο του θείου μπορεί να αντιδράσει φωτοχημικά και καταλυτικά με οξυγόνο για να σχηματίσει  $\text{SO}_3$ , το

οποίο είναι ένα έντονα υγροσκοπικό μόριο που θα απορροφήσει αμέσως την υγρασία για να σχηματίσει θειικό οξύ υπό τη μορφή μικροσκοπικών σταγόνων (αεροζόλ). Οι ρυθμοί αυτών των αντιδράσεων εξαρτώνται από την ποσότητα της υπάρχουσας υγρασίας, το ηλιακό φως, την παρουσία άλλων χημικών ενώσεων όπως υδρογονάνθρακες και  $\text{NO}_2$  και από την παρουσία σωματιδιακής ύλης.

Το διοξείδιο του θείου, το οποίο είναι σωματιδιακή ύλη της τάξης των 5  $\mu\text{m}$ , παραμένει διασκορπισμένη στον αέρα. Το  $\text{SO}_2$  ως σωματιδιακή ύλη αυτών των μεγεθών παγιδεύεται εύκολα στους πνεύμονες, ενώ έχει την ικανότητα να προκαλεί ερεθισμό των ματιών, η οποία μπορεί να αυξάνεται κατά 3-4 φορές όταν οι συνθήκες ευνοούν το σχηματισμό θειικού οξέος. Βέβαια, η ποικιλία των ενώσεων που περιέχουν θείο είναι μεγάλη και αλληλοεξαρτώμενη και για αυτό το λόγο η απλή μέτρηση των επιπέδων του θειικού οξέος κρίνεται ανεπαρκής για να προβλέψει τις τοξικολογικές συνέπειες ενός δεδομένου περιβάλλοντος. Πολλά από τα επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης που έχουν καταγραφεί σε μεγάλες πόλεις ανά τον κόσμο ήταν αποτέλεσμα υψηλής ρύπανσης από  $\text{SO}_2$  όπου ταυτόχρονα επικρατούσαν ευνοϊκές συνθήκες για τη μετατροπή του σε θειικό οξύ. Τα επεισόδια αυτά έχουν το χαρακτηριστικό του μεγάλου αριθμού θανάτων και αυξημένων επισκέψεων στα νοσοκομεία για αναπνευστικά προβλήματα.

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες υφίστανται επίσης τη συνδυασμένη καταστροφή από το  $\text{SO}_2$  και το θειικό οξύ, καθώς πολλά υλικά ή κατασκευές, όπως καλώδια, υφάσματα, ασφάλινες κατασκευές, ασβεστόλιθος, οικοδομικές πέτρες, τσιμέντο και μπογιά, καταστρέφονται βαθμιαία από αυτούς τους ρύπους. Το διοξείδιο του θείου και το θειικό οξύ είναι επίσης ο μεγαλύτερος εχθρός των εκτεθειμένων μνημείων, καθώς η καταστροφή είναι ανεπανόρθωτη στα αναντικατάστατα αρχαία έργα τέχνης, όπως αγάλματα, μνημεία, ναοί, τα οποία έχουν επιβιώσει για εκατοντάδες ή χιλιάδες χρόνια. Ο μέσος όρος ζωής του θείου (υπό μορφή διαφόρων ενώσεων) στην ατμόσφαιρα κυμαίνεται από 3-7 μέρες. Καθιζάνει τελικά στη Γη υπό μορφή θειικού οξέος και θειικών αλάτων.

Το διοξείδιο του θείου είναι ένας πολύ δύσκολα αντιμετωπίσιμος ρύπος διότι απαιτεί μεγάλες επενδύσεις αλλά και μεγάλο λειτουργικό κόστος στις εγκαταστάσεις αποθείωσης. Στις μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης το όριο είναι σήμερα  $400 \text{ mg/Nm}^3$  αλλά μετά το 2016 θα μειωθεί σε  $200 \text{ mg/Nm}^3$  ξηρού καυσαερίου, με 6%  $\text{O}_2$  για τις μεγάλες εγκαταστάσεις.

## 4.2. Στοιχειακή ανάλυση λιγνίτη, βιομάζας και φυσικού αερίου

### 4.2.1. Στοιχειακή ανάλυση λιγνίτη

Τα βασικά συστατικά του λιγνίτη είναι:

- Η οργανική καύσιμη ύλη, η οποία αποτελείται από πτητικά συστατικά και το μόνιμο άνθρακα.
- Η υγρασία, η οποία αποτελεί βασικό συστατικό των λιγνιτών, όπως και όλων των γαιανθράκων χαμηλού βαθμού ενανθράκωσης. Η υγρασία απαντάται σε τέσσερις μορφές:
  - i. Επιφανειακή υγρασία
  - ii. Προσοφημένη υγρασία
  - iii. Υγρασία που συνδέεται με τα οργανικά συστατικά του λιγνίτη
  - iv. Κρυσταλλική υγρασία
- Η τέφρα, στην οποία περιέχονται όλα τα ανόργανα συστατικά των φυτικών υπολειμμάτων (πρωτογενής ή συγγενετική τέφρα) καθώς και τα ανόργανα που προήλθαν από εξωτερικούς παράγοντες και εναποτέθηκαν μαζί με τα φυτικά υπολείμματα ή εισχώρησαν σε αυτά διαμέσου κάποιων ρωγμών (δευτερογενής ή επιγενετική τέφρα).

Τα παραπάνω τρία συστατικά των γαιανθράκων συνδέονται με την ακόλουθη σχέση:

$$(\text{καύσιμη ύλη})\% + (\text{υγρασία})\% + (\text{τέφρα})\% = 100 \%$$

Ο ελληνικός λιγνίτης της Πτολεμαΐδας έχει υγρασία 55% και θερμογόνο δύναμη 1.350 kcal/kg (επί φυσικού ή ως έχει), χαρακτηριστικά τα οποία μαζί με την υψηλή τέφρα τον καθιστούν έναν από τους φτωχότερους λιγνίτες διεθνώς, από όσους χρησιμεύουν για ηλεκτροπαραγωγή. Ο λιγνίτης Μεγαλόπολης πιθανώς να είναι και ο φτωχότερος υπό εκμετάλλευση λιγνίτης στον κόσμο.

Η στοιχειακή ανάλυση μαζί με την προσεγγιστική συνήθως επαρκούν για τον προσδιορισμό των χρήσεων ενός γαιάνθρακα. Με τη στοιχειακή ανάλυση προσδιορίζονται η περιεκτικότητα του λιγνίτη σε C, H, O, N και S. Το οξυγόνο συνήθως προσδιορίζεται έμμεσα ως η διαφορά του αθροίσματος των υπολοίπων από το 100. Ο στοιχειακός άνθρακας και το υδρογόνο περιέχονται στο γαιάνθρακα σε σύνθετες ενώσεις υδρογονανθράκων και αποδεσμεύονται κατά την καύση ως CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O<sub>v</sub>.

Αυτά τα προϊόντα της καύσης διοχετεύονται μέσα σε θερμαινόμενο οξείδιο του χαλκού και μετατρέπονται σε CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O<sub>v</sub>. Στη συνέχεια CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O<sub>v</sub> καθαρίζονται από τα οξείδια του θείου και το χλώριο (διερχόμενα από ζεστό χρωμικό μόλυβδο και ένα πλέγμα αργύρου) και οδηγούνται σε απορροφητές όπου τα ποσοστά του στοιχειακού άνθρακα και του υδρογόνου υπολογίζονται από την αύξηση βάρους των απορροφητικών υλικών.



Ο ελληνικός λιγνίτης περιέχει άνθρακα σε ποσοστό περίπου 63%. Το υδρογόνο είναι σχετικά σταθερό (5-6%) και μειώνεται μόνο στα τελικά στάδια της ενανθράκωσης όπου και αποτελεί το ασφαλέστερο κριτήριο κατάταξης των ανθράκων. Ο λιγνίτης περιέχει περίπου 4.5% υδρογόνο.

Το άζωτο προσδιορίζεται συνήθως με την ανάμειξη 1g λιγνίτη με 30ml πυκνό θειικό οξύ και 8-10g θειικού καλίου παρουσία καταλύτη (υδράργυρος, οξείδιο του κοβαλτίου). Το διάλυμα, αφού κρυώσει, γίνεται αλκαλικό και η αμμωνία που απελευθερώνεται αποσπάζεται σε κανονικό διάλυμα βορικού ή θειικού οξέως, από το οποίο το άζωτο (σαν αμμωνία) υπολογίζεται με τιτλοδότηση. Το άζωτο συνδέεται κυρίως με τα οργανικά συστατικά του άνθρακα. Κατά την καύση των ανθράκων το άζωτο σχηματίζει οξείδια αζώτου που όταν απελευθερώνονται με τα καυσαέρια στην ατμόσφαιρα, ρυπαίνουν σοβαρά το περιβάλλον. Αμμωνιακές ενώσεις σχηματίζονται κατά τις διάφορες διεργασίες των ανθράκων.

Το θείο περιέχεται στους γαιάνθρακες σε τρεις μορφές: με τη μορφή οργανικού θείου δεσμευμένου στη δομή του άνθρακα, με την μορφή θειικού ασβεστίου ή σιδήρου και με την μορφή πυριτικού σιδήρου (συνήθως πυρίτη και μαρκασίτη). Στην καύση το θείο μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα διάβρωσης των καυστήρων και ρύπανσης της ατμόσφαιρας. Όμως, σε περιπτώσεις όπως η υγροποίηση του άνθρακα, μικρές ποσότητες θείου είναι επιθυμητές επειδή δρουν ως καταλύτης.

Η συνολική περιεκτικότητα του θείου προσδιορίζεται με διάφορες μεθόδους που το μετατρέπουν σε θειικό άλας. Σύμφωνα με τη μέθοδο Eschka το δείγμα γαιάνθρακα οξειδώνεται με οξείδιο του μαγνησίου και ανθρακικό νάτριο σε θερμοκρασία 800°C και ακολουθεί προσθήκη χλωριούχου βαρίου για το σχηματισμό θειικού βαρίου, από τη μάζα του οποίου προκύπτει η συνολική περιεκτικότητα σε θείο. Σύμφωνα με τη μέθοδο της «υψηλής θερμοκρασίας» ο γαιάνθρακας καίγεται σε οξυγόνο στους 1350°C μετατρέποντας όλο το θείο σε SO<sub>2</sub> το οποίο στη συνέχεια μετατρέπεται σε θειικό οξύ για να υπολογιστεί με τιτλοδότηση.

Το οξυγόνο είναι ένα συστατικό που περιέχεται σε πολλά οργανικά και ανόργανα συστατικά του γαιάνθρακα (ακόμα και στην φυσική υγρασία) και αποτελεί δείκτη του βαθμού ενανθράκωσης. Η παρουσία του έχει μεγάλη σημασία για τις διεργασίες αεριοποίησης και υγροποίησης του άνθρακα, επειδή αποδεσμεύει σημαντικές ποσότητες υδρογόνου. Μετά την διόρθωση (αφαίρεση) για το ποσοστό οξυγόνου που περιέχεται στην φυσική υγρασία και την ανόργανη ύλη του δείγματος, το οξυγόνο αποτελεί σοβαρότατη ένδειξη του δείκτη ενανθράκωσης. Οι λιγνίτες Πτολεμαΐδας έχουν ποσοστό οξυγόνου λίγο κάτω από 23%.

Το οξυγόνο συνήθως προσδιορίζεται ως το υπόλοιπο της αφαίρεσης της % περιεκτικότητας των άλλων χημικών στοιχείων του άνθρακα (C, H, N, S) από το 100. Με αυτό τον τρόπο είναι πιθανή η συσώρευση σφαλμάτων άλλων μετρήσεων. Για το λόγο αυτό υπάρχουν και άμεσοι τρόποι προσδιορισμού, όπως η θέρμανση δείγματος άνθρακα σε αδρανή ατμόσφαιρα και σε θερμοκρασίες μεταξύ 900 - 2000°C κατά την οποία το οξυγόνο απελευθερώνεται ως CO. Στη συνέχεια το CO



μετατρέπεται παρουσία καταλύτη σε CO<sub>2</sub> η ποσότητα του οποίου υπολογίζεται με απορρόφηση και είναι αντιπροσωπευτική της περιεκτικότητας του άνθρακα σε οξυγόνο.

Στον παρακάτω πίνακα δίνουμε την στοιχειακή ανάλυση των Ελληνικών κοιτασμάτων επί καυσίμου ύλης.

Πίνακας 4.1. Στοιχειακή ανάλυση λιγνίτη

	Λιγνίτης Πτολίευαΐδας	Λιγνίτης Μεγαλόπολης	Τύρση Φιλίππων
C % κ.β	65,73	59,91	61,47
H % κ.β	4,74	5,22	5,27
O % κ.β	26,58	25,54	29,17
N % κ.β	1,01	2,13	2,02
S % κ.β	1,94	6,20	2,07

#### 4.2.2. Στοιχειακή ανάλυση φυσικού αερίου

Το φυσικό αέριο κυρίως αποτελείται από μεθάνιο CH<sub>4</sub>, ένα άχρωμο και άοσμο μη τοξικό αέριο. Το μεθάνιο επίσης παράγεται με φυσικό τρόπο από βάλτους και μηρυκαστικά ζώα (π.χ. αγελάδες και πρόβατα). Συνήθως περιέχει και άλλους υδρογονάνθρακες, ίσως και βαρύτερους από το πεντάνιο, αλλά και μη συμπυκνούμενα αέρια όπως το άζωτο, το διοξείδιο του άνθρακα και το υδρόθειο.

Σε κανονικές θερμοκρασίες το πεντάνιο και το εξάνιο είναι υγρά με χαμηλό σημείο βρασμού. Όμως σε στις μεγάλες θερμοκρασίες που συναντώνται μέσα στη γη, είναι αέρια και δημιουργούν έναν μέρος του φυσικού αερίου. Μαζί με αυτούς τους υδρογονάνθρακες, τα κοιτάσματα φυσικού αερίου μπορεί να περιέχουν μεγάλα ποσά ανόργανων συστατικών όπως άζωτο, ήλιο, διοξείδιο του άνθρακα και υδρόθειο.

Μετά από μια πρώτη επεξεργασία για απομάκρυνση προσμίξεων, προστίθεται στο φυσικό αέριο σε μικρή ποσότητα μια μερκαπτάνη (δύσοσμη οργανική θειούχα ουσία) για να γίνεται ευκολότερα αισθητή πιθανή διαρροή του και οδεύει προς τις γραμμές μεταφοράς και διανομής. Μεταφέρεται με αέρια μορφή υπό πίεση σε ειδικούς αγωγούς είτε με δεξαμενόπλοια υπό πίεση.

Το φυσικό αέριο είναι μια πολύ σπουδαία πρώτη ύλη τόσο για ενεργειακούς σκοπούς όσο και για βιομηχανική χρήση. Ο μεγάλος λόγος H/C που το χαρακτηρίζει το κάνει το φιλικότερο ίσως ορυκτό καύσιμο. Παράλληλα, η χρήση του σαν καύσιμο θέρμανσης σε βιομηχανικούς - βιοτεχνικούς χώρους αλλά και σε οικίες είναι πλέον εξαιρετικά διαδεδομένη. Σημαντική όμως είναι και η χρήση του στην χημική βιομηχανία ως πρώτης ύλης ενώ η χρήση του στην ηλεκτροπαραγωγή έχει

εξαιρετικά πλεονεκτήματα, ιδιαίτερα σήμερα που το περιβάλλον απασχολεί όλο και περισσότερο την κοινή γνώμη και την πολιτεία.

Το «ξηρό» φυσικό αέριο δεν περιέχει συμπυκνώσιμους υδρογονάνθρακες. Αν περιέχει υγρούς υδρογονάνθρακες σε ποσό πάνω από 2 gal ανά 1.000 ft<sup>3</sup>, τότε υπάρχει οικονομικό όφελος από την απομάκρυνσή των υδρογονανθράκων. Το αέριο αποκαλείται 'όξινο' εάν περιέχει αρκετή ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα ή υδρόθειο. Η χώρα μας προμηθεύεται φυσικό αέριο κυρίως από τον αγωγό της Ρωσίας και σε υγρή μορφή από την Αλγερία.

Στον παρακάτω πίνακα μας δίνεται η σύσταση του φυσικού αερίου που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα.

**Πίνακας 4.2.** Στοιχειακή ανάλυση φυσικού αερίου

ΣΥΣΤΑΣΗ	ΡΩΣΙΚΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	ΑΛΓΕΡΙΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ
Περιεκτικότητα (%, κ.ο.) σε :		
Μεθάνιο (C1)	98	91,2
Αιθάνιο (C2)	0,6	6,5
Προπάνιο (C3)	0,2	1,1
Βουτάνιο (C4)	0,2	0,2
Πεντάνιο (C5) και βαρύτερα	0,1	-
Άζωτο (N2)	0,8	1,0
Διοξείδιο του άνθρακα (CO2)	0,1	-
	Από 8,600 kcal/Nm <sup>3</sup>	από 9,640 kcal/Nm <sup>3</sup>
Ανωτέρα Θερμογόνος Δύναμη	έως 9,200 kcal/Nm <sup>3</sup>	έως 10,650 kcal/Nm <sup>3</sup>

#### 4.2.3. Στοιχειακή ανάλυση βιομάζας

Στη στοιχειακή ανάλυση προσδιορίζεται η κατά βάρος σύσταση της βιομάζας σε άνθρακα (C), υδρογόνο (H), οξυγόνο (O), άζωτο (N) και θείο (S). Ακόμα, συνηθίζεται και η μέτρηση της περιεκτικότητας σε χλώριο (Cl). Με βάση τη στοιχειακή ανάλυση μπορεί να πραγματοποιηθεί λεπτομερής και επακριβής περιγραφή της διεργασίας της θερμοχημικής μετατροπής.

Επίσης, η στοιχειακή σύνθεση της βιομάζας έχει άμεση επίδραση στο σχηματισμό ανεπιθύμητων εκπομπών ρύπων κατά την καύση της. Η σύνθεσή της είναι αυτή που ευθύνεται για το γεγονός πως το περιεχόμενο της καιόμενης βιομάζας συνεισφέρει σημαντικά στην εκπομπή οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) σε μονάδες καύσης βιομάζας (20-70% του αζώτου μετατρέπεται σε NO<sub>x</sub> ανεξάρτητα της θερμοκρασίας της αντίδρασης). Επίσης, το θείο σχηματίζει κατά την καύση οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>), τα οποία είναι διαβρωτικά και αντιδρώντας με υδρατμούς παράγουν θειικό οξύ, το οποίο είναι ανεπιθύμητο (όξινη βροχή κλπ). Το χλώριο,

τέλος, μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στους εναλλάκτες θερμότητας και στα συστήματα απαγωγής των καυσαερίων.

Γενικά, στα καύσιμα βιομάζας εμφανίζονται οι εξής τυπικές τιμές στοιχειακής ανάλυσης:

- ο άνθρακας κυμαίνεται μεταξύ 40-50%.
- Το υδρογόνο από 4-6%
- Το οξυγόνο από 35-45%
- Το άζωτο ανιχνεύεται με κάποιες εξαιρέσεις σε ποσοστό μικρότερο του 1%
- Το θείο είναι αμελητέο 0.1% ενώ
- Το χλώριο είναι συνήθως μικρότερο του 0.4%

Η υψηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο οφειλόμενη στη λιγνοκυτταρινική δομή των φυτικών ιστών είναι η αιτία για τη χαμηλότερη θερμογόνο δύναμη της βιομάζας σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα. Σημαντικό περιβαλλοντικό πλεονέκτημα των καυσίμων βιομάζας σε σύγκριση με τους γαιάνθρακες είναι ότι η βιομάζα περιέχει ελάχιστες ποσότητες θείου.

Στον παρακάτω πίνακα μας δίνεται η στοιχειακή ανάλυση της βιομάζας.

Πίνακας 4.3. Στοιχειακή ανάλυση της βιομάζας

Στοιχείο	Κατά βάρος σύσταση (χωρίς τέφρα σε ξηρή βάση)
Άνθρακας (C)	44-51%
Υδρογόνο (H)	5,5-6,7%
Οξυγόνο (O)	41-50%
Άζωτο (N)	0,12-0,60%
Θείο (S)	0-0,2%

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται αποτελέσματα αναλύσεων από δείγματα στερεών βιοκαυσίμων που εστάλησαν για χαρακτηρισμό στο εργαστήριο του ΕΚΕΤΑ/ ΙΔΕΠ. Ο πίνακας 11, περιέχει αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από ενεργειακές καλλιέργειες (αγριαγκινάρα, ηλίανθος κα), στον πίνακα 12 παρουσιάζονται αποτελέσματα από την ανάλυση αγροτικών υπολειμμάτων και τέλος στον πίνακα 13, παρουσιάζονται αποτελέσματα αναλύσεων από διάφορα δείγματα από πελλέτες και μπρικέτες.

**Πίνακας 4.4.** Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από ενεργειακές καλλιέργειες (Πηγή: βάση δεδομένων ΕΚΕΤΑ/ ΙΔΕΠ)

Δείγμα	Άμεση ανάλυση (% επί ξηρού)				Στοιχειακή ανάλυση (% επί ξηρού)				Ανώτερη Θερμογόνος ικανότητα (MJ/kg)
	Υγρασία	Τέφρα	Πτητικά	Μ.Α	С	Н	Ν	С	
Αγριαγκινάρα	13.2	17.72	74.87	7.41	51.88	6.44	2.71	0.55	16.73
Ηλίανθος	8.1	8.97	76.79	14.24	51.63	6.27	2.57	0.34	18.54
Μίσχανθος	8.28	3.2	83.72	13.08	50.34	6.30	0.35	0.14	20.36
Ιτιά	6.25	1.93	78.86	19.21	50.28	5.97	0.74	0.34	21.22
Παουλόβνια	8.15	0.93	81.08	17.99	50.30	5.71	0.37	0.26	19.61
Jatropha	6.17	8.74	77.59	13.67	53.89	6.97	6.31	0.44	19.91

**Πίνακας 4.5.** Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από αγροτικά υπολείμματα (Πηγή: βάση δεδομένων ΕΚΕΤΑ/ ΙΔΕΠ)

Δείγμα	Άμεση ανάλυση (% επί ξηρού)				Στοιχειακή ανάλυση (% επί ξηρού)				Ανώτερη Θερμογόνος ικανότητα (MJ/kg)
	Υγρασία	Τέφρα	Πτητικά	Μ.Α	С	Н	Ν	С	
Πυρηνόξυλο	14.22	10.66	75.74	13.60	54.58	7.14	2.89	0.74	19.07
Φλοιός ρυζιού	9.34	20.17	62.91	16.93	51.91	5.86	0.46	0.08-	15.53
Κλαδέματα ροδακινιάς	34.33	1.1	78.9	20	49.50	6.70	0.48	0.09	20.28
Κλαδέματα ελιάς	11.21	3.09	60.21	28.71	50.93	5.98	1.30	0.15	19.48
Βαμβάκι	11.78	22.85	62.27	14.88	50.25	5.70	1.85	0.18	14.79
καλαμπόκι	10.02	2.17	78.99	18.84	49.16	6.14	0.77	0.04	18.41

**Πίνακας 4.6.** Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων πελλετών και μπρικετών (Πηγή: βάση δεδομένων ΕΚΕΤΑ/ ΙΔΕΠ)

Δείγμα	Άμεση ανάλυση (% επί ξηρού)				Στοιχειακή ανάλυση (% επί ξηρού)				Ανώτερη Θερμογόνος ικανότητα (MJ/kg)
	Υγρασία	Τέφρα	Πτητικά	Μ.Α	С	Н	Ν	Ѕ	
Pellets οξιάς	5.64	1.01	81.99	17	49.53	6.43	0.13	0.07	19.45
Pellets πεύκου	9.05	0.31	81.45	18,24	52.85	6.73	0.05	0.01	20.47
Pellets ελιάς	11.35	4.7	75.28	20.02	52.81	7.08	0.99	0.11	20.34
Pellets καλαμποκιού	6.84	13.26	70.59	16.15	47.76	6.42	0.86	0	16,46
Pellets ελαιοπυρήνα	9.23	7.41	72.81	19.78	53.53	6.33	1.63	0.21	20.11
Μπρικέτα οξιάς	3.88	0.37	84.41	15.22	50.76	5.46	0.08	-	19.78
Μπρικέτα ξύλου	9.09	1.35	80.8	17.85	49.97	7.55	0	0.04	20.05



### 4.3. Περιβαλλοντική σύγκριση καυσίμων

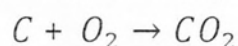
Σε αυτή την ενότητα θα δούμε κάποια στοιχεία που αφορούν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, μονοξειδίου του άνθρακα, διοξειδίου του θείου, οξειδίων του αζώτου και αιρούμενων σωματιδίων στο λιγνίτη στη βιομάζα και στο φυσικό αέριο.

Όλα τα καύσιμα αναπόφευκτα παράγουν διοξείδιο του Άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Ο άνθρακας είναι κύρια πηγή ενέργειας σε όλα τα ορυκτά καύσιμα. Ο λιγνίτης, όπως και το φυσικό αέριο, είναι ορυκτά καύσιμα και παράγουν σημαντικές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα. Η βιομάζα επίσης παράγει CO<sub>2</sub>, το οποίο μπορούμε να υπολογίσουμε. Παρόλα αυτά, η βιομάζα δε συμμετέχει στην εμπορία αερίων του θερμοκηπίου, διότι το παραγόμενο από την καύση διοξείδιο του άνθρακα μπορούμε να υποθέσουμε ότι θα απορροφηθεί από την χλωρίδα χωρίς κόστος για το περιβάλλον. Η ορθολογική σύγκριση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα απαιτεί την αναγωγή του CO<sub>2</sub> σε τόνους ανά παραγόμενη MWh.

#### 4.3.1. Παραγωγή CO<sub>2</sub> από καύση λιγνίτη

Παρακάτω παραθέτουμε τους υπολογισμούς μας για τις εκπομπές CO<sub>2</sub> από μια σύγχρονη μονάδα λιγνίτη της Βορείου Ελλάδας (λεκανοπέδιο Πτολεμαΐδας Κοζάνης). Μπορούμε να υποθέσουμε με ασφάλεια ότι για τυπική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ο βαθμός απόδοσης της μονάδας είναι 37%, η θερμογόνος δύναμη τυπικού λιγνίτη είναι 1300 kcal /kg και η περιεκτικότητα άνθρακα στο λιγνίτη είναι 20%.

Ένας τόνος λιγνίτη μας δίνει περίπου 200 kg άνθρακα, άρα μπορούμε να υπολογίσουμε πόσοι τόνοι διοξειδίου του άνθρακα παράγονται για την παραγωγή μιας ηλεκτρικής μεγαβατώρας (MWh), από τη σχέση της καύσης του άνθρακα:



Γνωρίζουμε πως 12 kg άνθρακα (C) παράγουν 44 kg CO<sub>2</sub> από τη στοιχειομετρική αναλογία των μοριακών μαζών. Αφού υποθέτουμε ότι ένας τόνος λιγνίτη περιέχει 20% άνθρακα (τυπική τιμή για τον Λιγνίτη Πτολεμαΐδας), θα έχουμε:

200 kg C αντιστοιχούν σε 733 kg CO<sub>2</sub>/τόνο λιγνίτη.

Άρα 200 kg C αντιστοιχούν σε 0,733 tn CO<sub>2</sub>/tn λιγνίτη.

$$\eta = 0,37 = \frac{MWh}{m_{lignite} \cdot 1300 \cdot 4,1868 \left(\frac{kJ}{kg}\right)}$$

$$\Rightarrow m_{lignite} = \frac{3600000}{0,37 \cdot 1300 \cdot 4,1868} = 1787,62 \text{ kg} = 1,787 \text{ tn λιγνίτη}$$

$$\frac{tn CO_2}{MWh} = \frac{0,733 \frac{tn CO_2}{tn \text{ λιγνίτη}}}{\frac{1 MWh}{1,787 tn \text{ λιγνίτη}}} = 1,31 tn CO_2/MWh$$

Επομένως, σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς παρατηρούμε ότι για κάθε μεγαβατώρα ηλεκτρική παράγεται 1,31 τόνοι διοξειδίου του άνθρακα.

Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας που περιλαμβάνει όλες τις εκπομπές σε αέριους ρύπους που παράγονται κατά την καύση του λιγνίτη.

Πίνακας 4.7. Εκπομπές αερίων από την καύση λιγνίτη

Αέριο	Γραμμάρια/GJ καυσίμου
SO <sub>2</sub> (βαθμός αποθείωσης %)	97
NO <sub>x</sub>	38
CH <sub>4</sub>	1,5
N <sub>2</sub> O	0,8

#### 4.3.2. Παραγωγή CO<sub>2</sub> από καύση βιομάζας

Η βιομάζα παράγει διοξείδιο του άνθρακα στην ίδια περίπου αναλογία με το λιγνίτη. Για παράδειγμα, αν εκτελέσουμε τους ίδιους υπολογισμούς με τους παραπάνω για αγριοαγκινάρα με υγρασία 13,2% και περιεκτικότητα άνθρακα 51,88% επί ξηρού αέρα, η οποία διαθέτει θερμογόνο δύναμη περίπου 16.000 kJ/kg για μονάδα ηλεκτροπαραγωγής με μικτό βαθμό απόδοσης 37%, υπολογίζουμε:

Για τη βιομάζα έχουμε 45,03% ποσοστό άνθρακα και θερμογόνο δύναμη 3821 kJ/kg, οπότε με την παραπάνω απόδοση θα υπολογίσουμε πόσοι τόνοι διοξειδίου του άνθρακα θα παραχθούν για μια ηλεκτρική μεγαβατώρα, άρα με την ίδια λογική που χρησιμοποιήσαμε για το λιγνίτη έχουμε:

400 kg C αντιστοιχούν σε 1466 kg CO<sub>2</sub>/τόνο βιομάζας.

Άρα 400 kg C αντιστοιχούν σε 1,466 tn CO<sub>2</sub>/tn βιομάζας.

$$\eta = 0,37 = \frac{MWh}{m_{biomass} \cdot 15977 \left(\frac{kJ}{kg}\right)}$$

$$\Rightarrow m_{biomass} = \frac{3600000}{0,37 \cdot 15977} = 608,983 kg = 0,608 tn \text{ βιομάζα}$$

$$\frac{tn CO_2}{MWh} = \frac{1,466 \frac{tn CO_2}{tn \text{ βιομάζας}}}{\frac{1 MWh}{0,608 tn \text{ βιομάζας}}} = 0,893 tn CO_2/MWh e$$

Επομένως, σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς βλέπουμε ότι παράγονται 0,893 τόνοι διοξειδίου του άνθρακα για κάθε ηλεκτρική μεγαβατώρα που παράγεται από βιομάζα. Το κόστος για τον παραγωγό, όμως, είναι μηδενικό διότι το διοξείδιο του άνθρακα της βιομάζας θα απορροφηθεί και πάλι από το φυτικό βασίλειο και δεν θα αθροιστεί στην επιβάρυνση της ατμόσφαιρας.

Στον **Σφάλμα!** Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε. μπορούμε να παρατηρήσουμε όλες τις εκπομπές αέριων ρύπων που απελευθερώνονται από την καύση βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας.

**Πίνακας 4.8.** Εκπομπές ρυπογόνων αερίων κατά την καύση βιομάζας

Αέριο	Γραμμάρια/GJ καυσίμου
SO <sub>2</sub>	1,9
NO <sub>x</sub>	81
Άκαυστοι υδρογονάνθρακες	6,1
N <sub>2</sub> O	0,8

#### 4.3.3. Παραγωγή CO<sub>2</sub> από καύση φυσικό αέριο

Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> για τυπική σύσταση φυσικού αερίου υπολογίζονται παρακάτω αν θεωρήσουμε ότι το φυσικό αέριο είναι κατά βάση μεθάνιο CH<sub>4</sub> σε κατ' όγκο περιεκτικότητα 100%, με θερμογόνο δύναμη 37,8 MJ/m<sup>3</sup>. Ο βαθμός απόδοσης μιας σύγχρονης μονάδας παραγωγής ενέργειας από φυσικό αέριο φτάνει μέχρι και 58% (συνδυασμένος κύκλος).

Εάν θεωρήσουμε ότι ο όγκος ενός κυβικού μέτρου έχει 1000 λίτρα CH<sub>4</sub> και επειδή το μεθάνιο έχει πυκνότητα 0,714 δηλαδή (16 γραμμάρια αντιστοιχούν σε 22,4 λίτρα), τότε ένα κυβικό μέτρο περιέχει 713 γραμμάρια μεθανίου ή 535 γραμμάρια άνθρακα.

Ο άνθρακας αυτός παράγει CO<sub>2</sub> που αντιστοιχεί σε 535 \* 44/12 = 1,961 kg CO<sub>2</sub>.

Κατά συνέπεια αντιστοιχούν 1,961 kg CO<sub>2</sub> ανά κυβικό φυσικού αερίου. Αν διαιρέσουμε με την θερμογόνο δύναμη έχουμε 0,05187 kg CO<sub>2</sub>/kJ ή 0,186 kg/kWh. Με βαθμό απόδοσης 58% στην ηλεκτροπαραγωγή από φυσικό αέριο αυτό αναλογεί σε 0,320 τόνους CO<sub>2</sub> ανά MWh.

Το παραπάνω αποτέλεσμα υπολογίστηκε με την παραδοχή ότι όλο το φυσικό αέριο είναι μεθάνιο. Βέβαια, συνήθως ένα μικρό μέρος του φυσικού αερίου είναι

αιθάνιο ή προπάνιο, οπότε μπορούμε να πούμε ότι η αναλογία είναι 0,350 τόνοι CO<sub>2</sub> ανά MWh.

Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας που περιλαμβάνει όλες τις εκπομπές σε αέριους ρύπους που παράγονται κατά την καύση του λιγνίτη.

**Πίνακας 4.9.** Εκπομπές λόγω καύσης φυσικού αερίου για παραγωγή ενέργειας

Αέριο	Γραμμάρια/GJ καυσίμου
N <sub>2</sub> O	1,0
NO <sub>x</sub>	48
CH <sub>4</sub>	1,5

#### 4.3.4. Τρόποι μείωσης των ρύπων

Το συμπέρασμα που βγαίνει από την παραπάνω περιβαλλοντική ανάλυση που αφορά τις εκπομπές επιβλαβών αέριων ρύπων που παράγονται από την καύση των καυσίμων που χρησιμοποιούνται ευρέως για ηλεκτροπαραγωγή, είναι πως απαιτείται μέριμνα από την πολιτεία που θα καθορίζει τα ανώτατα όρια εκπομπών και τεχνολογίες που θα είναι αποδοτικές προκειμένου να μην επιβαρύνεται σε σημαντικό βαθμό το περιβάλλον κοντά στις περιοχές όπου γίνονται τέτοιου είδους καύσεις. Για αυτό το λόγο πέρα από τις τεχνολογίες απορρύπανσης που επιβάλλονται, έχει τεθεί και ένα πρόστιμο αναφορικά με τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και μεγαβατώρα παραγωγής ενέργειας.

**Πίνακας 4.10.** Εκπομπές CO<sub>2</sub> για λιγνίτη, βιομάζα και φυσικό αέριο και κόστος MWhε λόγω εκπομπών CO<sub>2</sub>

	Λιγνίτης	Βιομάζα	Φυσικό Αέριο
Τόνοι CO <sub>2</sub> /MWhε	1,310	0,893	0,350
Επιβάρυνση MWhε με κόστος CO <sub>2</sub> 7 €/τόνο	9,17	0,00	2,45

Ένας πρώτος τρόπος μείωσης αυτών των ρύπων θα αποτελούσε η μείωση της καύσης υδρογονανθράκων και βιομάζας, με στόχο τη σταδιακή αντικατάστασή τους από νέες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που δεν επιβαρύνουν καθόλου με ρύπους. Από εκεί και πέρα, σε περιοχές που αυτό δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί άμεσα ή δεν υπάρχουν οι απαραίτητοι πόροι, κρίνεται αναγκαίο να εφαρμοστούν άλλου είδους πολιτικές μείωσης των ρύπων.

Όσον τους αέριους ρύπους όπως η τέφρα, το μεγαλύτερο ποσοστό της μεταφέρεται από τα καυσαέρια εξόδου μετά το λέβητα. Μόνο μια ποσότητα το πολύ της τάξης του 20% συλλέγεται σαν τέφρα πυθμένα σε λέβητες ξηρού πυθμένα.



Συνεπώς, η ποσότητα αυτή της τέφρας πρέπει να συλλέγει από τα συστήματα μείωσης σκονισμού. Στους λέβητες υγρού πυθμένα, η τέφρα υγροποιείται από τις υψηλές θερμοκρασίες καύσης. Αυτή η υγρή τέφρα ρέει με την βαρύτητα προς τον πυθμένα. Μερικές φορές αυτή η ιπτάμενη τέφρα ανακυκλώνεται για να συλλέγει όλη σαν υγρή τέφρα. Μεταξύ του εξοπλισμού απομάκρυνσης των σωματιδίων, τα ηλεκτροστατικά φίλτρα (Electro-Static Precipitators) είναι μακράν τα πιο συνηθισμένα στην Ευρώπη σε σταθμούς καύσης λιθάνθρακα και λιγνίτη. Τα ESP συλλέγουν την τέφρα σε ξηρή μορφή και διατίθεται στην επιχωμάτωση των ορυχείων, στην κατασκευή δρόμων ή την βιομηχανία τσιμέντου. Τα σακκόφιλτρα χρησιμοποιούνται σε μονάδες με χαμηλό ποσοστό θείου όπου το κάρβουνο έρχεται κατευθείαν από το ορυχείο. Οι κυκλώνες σπάνια χρησιμοποιούνται αλλά στη Γαλλία υπάρχουν δύο μονάδες με ηλεκτροστατικά φίλτρα αμέσως μετά τους κυκλώνες. Ο λιγνίτης λόγω του υψηλού ποσοστού τέφρας παράγει πολλά σωματίδια και συνεπώς οι εγκαταστάσεις καύσης απαιτούν μεγάλα ηλεκτροστατικά φίλτρα που αυξάνουν δραματικά το κόστος επένδυσης. Οι μονάδες βιομάζας έχουν ελάχιστη τέφρα και στις περισσότερες των περιπτώσεων, οι μονάδες αρκούνται σε επενδύσεις σε σακκόφιλτρα αντί Η/Φ. Οι μονάδες φυσικού αερίου δεν έχουν καθόλου σωματίδια και δεν έχουν καμία ανάγκη για ηλεκτροστατικά φίλτρα ή σακκόφιλτρα.

Αναφορικά με το διοξείδιο του θείου, οι τεχνικές ποικίλουν και εξαρτώνται από το μέγεθος, την τοποθεσία της μονάδας και το συντελεστή φόρτισης. Η ξηρή ή ημιοξηρή αποθείωση εφαρμόζεται σε μικρότερες μονάδες (<100MW<sub>th</sub>) ενώ η υγρή αποθείωση με πολλές διαφοροποιήσεις εφαρμόζεται σε μεγαλύτερα εργοστάσια πάνω από 300 MW<sub>th</sub>. Πύργοι απορρόφησης με πληρωτικό υλικό, με εκνεφωτές (spray) ή διπλής κυκλοφορίας σχεδιάζονται ανάλογα με την περίπτωση. Οι μονάδες φυσικού αερίου και βιομάζας είναι προνομιούχες διότι τα καύσιμα αυτά δεν έχουν θείο και δεν απαιτείται καμία τέτοιου είδους επένδυση. Οι μονάδες λιγνίτη απαιτούν την ύπαρξη μονάδας αποθείωσης με αποτέλεσμα να επιβαρύνουν το κόστος επένδυσης αλλά και το κόστος λειτουργίας. Για μια μονάδα 300 MWe, η ιδιοκάτανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την μονάδα αποθείωσης είναι περίπου 10 MWe ενώ στα λειτουργικά έξοδα θα πρέπει να υπολογίζεται και το κόστος προμήθειας ασβεστολίθου αλλά και συντήρησης των μύλων άλεσης που μπορεί να φθάνουν τα 2 εκατ. € ετησίως. Τα παραπάνω κόστη ενσωματώνονται στα κόστη επένδυσης των νέων μονάδων.

Ως προς τον έλεγχο των οξειδίων του αζώτου, πρέπει να τονίσουμε πως όλες οι μονάδες καύσης αναπόφευκτα παράγουν εκπομπές οξειδίων του αζώτου. Τα μέτρα που λαμβάνονται είναι πρωτογενή, δευτερογενή ή μικτά. Επειδή η θερμοκρασία καύσης των λιγνιτών είναι σχετικά μικρή, μόνο πρωτογενή μέτρα λαμβάνονται για μείωση εκπομπών σε λιγνιτικούς σταθμούς. Για μονάδες με άνθρακα που έχουν εφαρμόσει την χαμηλή περίσσεια αέρα σαν πρωτογενές μέτρο, η συνήθης περίσσεια αέρα είναι 5-9% O<sub>2</sub> (στα καυσαέρια). Μια χαμηλή περίσσεια σημαίνει 3-6% O<sub>2</sub> και η αντίστοιχη μείωση των NO<sub>x</sub> θα είναι μεταξύ 20-40%. Επίσης, ο χρόνος παραμονής έχει επισημανθεί σαν ένας παράγοντας για



ταυτόχρονο έλεγχο των NO<sub>x</sub>, CO και ακαύστων. Αυτή η τεχνική δίδει καλύτερα αποτελέσματα σε λέβητες υγρού πυθμένα αντί ξηρού πυθμένα, σε μετωπικούς καυστήρες αντί εφαπτομενικούς και για λιθάνθρακα αντί λιγνίτη.

Η ανακυκλοφορία των καυσαερίων δεν χρησιμοποιείται πολύ συχνά για λέβητες άνθρακα παρά μόνο όταν έχουμε υγρό πυθμένα. Η μείωση των NO<sub>x</sub> φθάνει το 15-20%. Το πιο κοινό μέτρο είναι η χρήση αέρα overfired που μπορεί να δώσει μειώσεις της τάξης του 40-50%. Επίσης για λέβητες άνθρακα χρησιμοποιούνται και οι καυστήρες χαμηλού NO<sub>x</sub> που είναι σταδιακής τροφοδοσίας αέρα ή καυσίμου με μειώσεις που μπορούν να φθάσουν το 25-35% ή 50-60% αντίστοιχα. Αυτή είναι και η τεχνολογία που επικρατεί και οι διάφοροι κατασκευαστές σε όλο τον κόσμο παρέχουν κάθε μέρα καλύτερα μοντέλα που είναι ανάλογοι με τις ιδιαιτερότητες - απαιτήσεις του κάθε λέβητα και καυσίμου. Οι καυστήρες χαμηλού NO<sub>x</sub> συχνά χρησιμοποιούνται μαζί με OFA ειδικά στους καυστήρες με εφαπτομενική διάταξη. Επίσης, η βελτιστοποίηση της κλίσης των τροφοδοτών άνθρακα και αέρα, ο βέλτιστος σχεδιασμός ακροφυσίων, (πρόσθεση σταθεροποιητών φλόγας) και η βαθμωτή χρήση αέρα (staged air) μπορούν να επιτύχουν μειώσεις της τάξης του 60%. Η χρήση καυστήρων χαμηλού NO<sub>x</sub> με κλιμακωτή εισαγωγή αέρα μπορεί να δημιουργήσει αυξημένο ποσοστό ακαύστων στην τέφρα. Η προσθήκη πρόσθετων περιστροφικών ταξινομητών στους μύλους άλεσης βελτιώνει την λεπτότητα των σωματιδίων άνθρακα και έτσι το πρόβλημα αντιπαρέχεται. Επίσης, η επανάκαυση (reburning) έχει εφαρμοστεί με επιτυχία με καύσιμο επανάκαυσης το φυσικό αέριο και αποδείχθηκε πως αποτελεί μία καλή λύση, κυρίως, για υπάρχοντες λέβητες. Τέλος, σαν δευτερογενές μέτρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εκλεκτική καταλυτική ή μη αναγωγή. Η μέθοδος αυτή είναι πολύ επιτυχημένη για λιθανθρακικές μονάδες, αλλά δεν έχει εφαρμοστεί ακόμα για λιγνιτικές μονάδες. Η χρήση των μεθόδων αυτών ενέχει προβλήματα που αφορούν τους καταλύτες και την κατάλληλη θερμοκρασία των καυσαερίων για την αναγωγή.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο “Οικονομοτεχνική και περιβαλλοντική διάσταση της παραγωγής ενέργειας από λιγνίτη, βιομάζα και φυσικό αέριο”, είχε ως στόχο μία ενεργειακή, οικονομική και περιβαλλοντική ανάλυση της παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιώντας ως καύσιμο το λιγνίτη, το φυσικό αέριο και τη βιομάζα. Μέσα από μία ανάλυση που πραγματοποιήθηκε με στοιχεία από τη βιβλιογραφία, αλλά και από τη ΔΕΗ, τα οποία αφορούν τα τρία καύσιμα που αναλύθηκαν, τους κύκλους παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιεί το κάθε καύσιμο, αλλά και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που επιφέρουν, εξήχθη αρχικά το συμπέρασμα πως δεν υπάρχει το καλύτερο καύσιμο, αλλά κάθε καύσιμο παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, και κάθε χώρα προκειμένου να δημιουργήσει την ενεργειακή της πολιτική τα σταθμίζει και αποφασίζει ποια είναι αυτά που έχουν την πιο βαρύνουσα σημασία.

Πραγματοποιώντας μία σύνοψη όσων αναλύθηκαν, διαπιστώνουμε πως από τη σύγκριση του κόστους καυσίμου των μονάδων που χρησιμοποιούν ως καύσιμο λιγνίτη, φυσικό αέριο και βιομάζα φαίνεται ότι το χαμηλότερο κόστος καυσίμου έχουν οι λιγνιτικές μονάδες, ακολουθούν οι μονάδες βιομάζας και τέλος οι μονάδες του φυσικού αερίου.

Επειδή τα κόστη καυσίμου αποτελούν το 80-85% στο συνολικό κόστος παραγωγής, οι λιγνιτικές μονάδες έχουν το χαμηλότερο κόστος παραγωγής σε σχέση με τις αντίστοιχες μονάδες φυσικού αερίου και βιομάζας. Οι μονάδες βιομάζας κατατάσσονται στο σύστημα διαχείρισης ενέργειας, γεγονός που τις κάνει ανταγωνιστικές σε σχέση με τις λιγνιτικές και του φυσικού αερίου.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας συγκριτικός πίνακας, ο οποίος λαμβάνει υπόψη όλους τους κρίσιμους παράγοντες που αναφέρθηκαν στα παραπάνω κεφάλαια της εργασίας και απεικονίζουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που έχουν τα τρία είδη μονάδων παραγωγής. Στο συγκεκριμένο πίνακα κατατάσσονται κατά σειρά προτεραιότητας οι κρίσιμοι παράγοντες με την εξής φιλοσοφία. Η καλύτερη επιλογή της μονάδας χαρακτηρίζεται συμβολικά με 3X (X), η δεύτερη καλύτερη επιλογή με 2X(X) και η χειρότερη με 1X(X).

**Πίνακας 5.1.** Συγκριτικός πίνακας μονάδων λιγνίτη-βιομάζας και φυσικού αερίου ως προς τους κρίσιμους παράγοντες για την επιλογή επένδυσης

ΚΡΙΣΙΜΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	ΕΙΔΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ		
	Λιγνίτη	Φυσικού Αερίου	Βιομάζας
Συνολικό κόστος καυσίμου (κόστος καυσίμου + φόρος CO <sub>2</sub> )	<b>XXX</b> (28,86€/MWh)	<b>X</b> (77,5€/MWh)	<b>XX</b> (73€/MWh)
Περιβαλλοντική απόδοση (εκπομπές CO <sub>2</sub> )	<b>X</b>	<b>XXX</b>	<b>XX</b>
Ανταγωνιστικό κόστος επένδυσης	<b>XX</b>	<b>XXX</b>	<b>XX</b>
Ανταγωνιστικό λειτουργικό κόστος (σταθερό + λειτουργικό) (εκτός καυσίμου)	<b>XX</b>	<b>XXX</b>	<b>XX</b>
Ανταγωνιστικό συνολικό κόστος παραγωγής (λειτουργικό κόστος + κόστος καυσίμων)	<b>XXX</b>	<b>X</b>	<b>XX</b>
Προτεραιότητα ένταξης στην αγορά εργασίας	<b>XX</b>	<b>X</b>	<b>XXX</b>
Μη εξάρτηση παραγωγής από τον προμηθευτή	<b>XXX</b>	<b>X</b>	<b>XX</b>
Πράσινος φόρος λόγω εκπομπών CO <sub>2</sub>	<b>X</b>	<b>XX</b>	<b>XXX</b>
Ευελιξία ανταπόκρισης στη ζήτηση της αγοράς	<b>XX</b>	<b>XXX</b>	<b>X</b>
Αποδοχή από την κοινωνία	<b>X</b>	<b>XXX</b>	<b>XX</b>

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ξεκάθαρα ότι οι λιγνιτικές μονάδες υπερτερούν έναντι των μονάδων φυσικού αερίου και βιομάζας ως προς το συνολικό λειτουργικό κόστος παραγωγής, ως εκ τούτου είναι ανταγωνιστικές κατά τη λειτουργία τους. Από την άλλη, οι μονάδες φυσικού αερίου έχουν καλύτερη περιβαλλοντικά απόδοση (εκπομπών ρύπων και CO<sub>2</sub>), αλλά οι μονάδες βιομάζας δεν πληρώνουν φόρο CO<sub>2</sub> διότι θεωρούνται Α.Π.Ε.

Στην Ελλάδα, η παραγωγή των λιγνιτικών μονάδων δεν παρουσιάζει εξάρτηση από τον προμηθευτή (άλλη χώρα), διότι υπάρχουν μεγάλα αποθέματα λιγνίτη στην ίδια τη χώρα. Οι μονάδες βιομάζας έχουν μικρότερη εξάρτηση λόγω των παραγόντων που επηρεάζουν την παραγωγή της και τη διαχείριση της (καιρικές συνθήκες, μεγάλος όγκος καυσίμων, δύσκολο σύστημα διαχείρισης). Οι μονάδες φυσικού αερίου έχουν την μεγαλύτερη εξάρτηση διότι εισάγεται. Οι μονάδες βιομάζας έχουν προτεραιότητα παραγωγής διότι είναι Α.Π.Ε έναντι των μονάδων

λιγνίτη και φυσικού αερίου. Το μειονέκτημά μίας μονάδας βιομάζας είναι ότι η μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς είναι μικρότερη από τις άλλες δύο αντίστοιχες μονάδες παραγωγής ισχύος. Όσον αφορά το φυσικό αέριο, οι μονάδες παραγωγής ενέργειας που το χρησιμοποιούν, έχουν μεγάλη ευελιξία στη ανταπόκριση ζήτησης στην αγορά ενέργειας, καθώς δε χρειάζεται προετοιμασία του λέβητα και η λειτουργία του ξεκινάει και σταματάει άμεσα, με αποτέλεσμα να προηγούνται των λιγνιτικών μονάδων και των μονάδων βιομάζας όπου απαιτούνται απότομες εναλλαγές φορίων.

Από τα παραπάνω είναι σαφές ότι και τα τρία είδη μονάδων παραγωγής ενέργειας είναι οικονομικά συμφέρουσες λύσεις και η επένδυση σε κάθε ένα από αυτά εξαρτάται από μία σειρά ερωτημάτων στα οποία πρέπει να απαντήσει κανείς πριν επιλέξει, όπως: α) ο ρυθμός αύξησης της ζήτησης, ώστε να αξιολογήσει αν πόση θα είναι η μέγιστη ζήτηση ισχύος του δικτύου, β) η απόσταση της εγκατάστασης της μονάδας από τον προμηθευτή, ώστε να είναι δυνατή και οικονομική η διαχείριση του καυσίμου, γ) ο βαθμός εξάρτησης από τον προμηθευτή καυσίμου, δ) το συνολικό λειτουργικό κόστος σε συνδυασμό με το κόστος επένδυσης, ώστε να αξιολογήσει την επένδυση και την αποδοχή της εγκατάστασης από την τοπική κοινωνία.

Βέβαια, στα συμπεράσματα της εργασίας πρέπει να τονιστεί ότι πλέον οι επιταγές της αγοράς της ενέργειας επιβάλλουν οι μονάδες παραγωγής του συστήματος να διαθέτουν όλους τους τύπους καυσίμων (energy mix), ώστε να περιοριστούν στο ελάχιστο οι επιπτώσεις από απρόβλεπτους παράγοντες που εμποδίζουν την παραγωγή ενέργειας από κάποιο είδος καυσίμου.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. <https://el.wikipedia.org/wiki/Λιγνίτης>
2. [https://www.espa.gr/elibrary/Episimo\\_Keimeno\\_EP\\_MAKedonias\\_Thrakis\\_3rd\\_Ed.pdf](https://www.espa.gr/elibrary/Episimo_Keimeno_EP_MAKedonias_Thrakis_3rd_Ed.pdf)
3. <http://www.allaboutenergy.gr/LigniteMakedonia.html>
4. Παραγωγή ενέργειας από συμβατικά ορυκτά καύσιμα και από εναλλακτικές πηγές ενέργεια Τσακαλάκης Κώστας (www.environmental-developer.ntua.gr/uploads/k\_7.pdf)
5. <http://www.cie.org.cy/sxoliko.html#menu2-3-6>
6. [http://www.cres.gr/kape/energeia\\_politis/energeia\\_politis\\_biomass.htm](http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_biomass.htm)
7. Annual Energy Outlook 2004-[www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/index.html](http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/index.html)
8. <http://vivliothmyy.ee.auth.gr/1903/1/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ.pdf>
9. ΓρατσίαΕ, Φωκιανού Τ. Η αγορά ενέργειας στην Ελλάδα, 2ο Κεφ. Εκδόσεις ICAP & Δήλος Επικοινωνίες.
10. “Ενημέρωση κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο Ηνωμένο Βασίλειο”, Mott MacDonald, Ιούνιος 2010. Υποβλήθηκε από το Τμήμα Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Ηνωμένο Βασίλειο.
11. Προβλεπόμενα κόστη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας” Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας, 2010.
12. Vamvouka D., Tsoutsos D. T., «Energy exploitation of agricultural residues in Crete»
13. Τσούτσος Θ., «Αειφόρα Ενεργειακά Συστήματα», Χανιά 2005
14. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Πρόγραμμα: ALTENER), «Εγχειρίδιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας : Ενέργεια από Βιομάζα»
15. <http://www.viotech.gr/content/view/17/40/>
16. Energy Information Administration (E.I.A.), U.S. Department of Energy, 2002 Country Energy Data report (Greece), [http://www.eia.doe.gov/emeu/world/country/entry\\_GR.html](http://www.eia.doe.gov/emeu/world/country/entry_GR.html)
17. <http://www.dei.gr/>
18. PAE. General Information on the Greek Electricity Sector for the period 2000-2003 (<http://www.rae.gr/energysys/main.html>)



19. Combined Heat and Power (CHP) Statistics, Statistical Office of the European Communities, Joint IEA/Eurostat Annual Questionnaire Training Workshop, IEA, Paris, October 2001.
20. Cogeneration-Combined Heat and Power (Electricity) Generation, Parliament of Australia, Parliamentary Library, <http://www.aph.gov.au/library/pubs/rn/1998-99/99rn21.html>
21. URL: <http://users.sch.gr//xtsamis/OkosmosMas/FainThermoKip.htm>
22. <http://lap.physics.auth.gr/atmdiasp/simeiwseis/chapter2.pdf>
23. Εταιρεία φυσικού αερίου <http://www.aerioattikis.gr>
24. Τμήμα περιβάλλοντος ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου (2014)
25. [www.iea.org](http://www.iea.org)
26. Ρυθμιστική αρχή ενέργειας  
([http://www.nmswork.gr/rae/energy\\_dictionary.aspx](http://www.nmswork.gr/rae/energy_dictionary.aspx))

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000125718

