



Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
& Μηχανικών Υπολογιστών

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΙΤΛΟΣ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ

ΦΟΙΤΗΤΗΣ:

ΝΙΚΟΛΑΣ ΖΑΡΚΑΔΗΣ , 7324

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2023

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητών

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έγινε χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τη συγκεκριμένη εργασία.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Νικόλα Ζαρκαδη που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών τους δικαιωμάτων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η περιγραφή ενός προηγμένου σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα. Όσο και αν η παγκόσμια τάση είναι η απολιγνιτοποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, είναι γεγονός αδιαμφισβήτητο ότι η καύση άνθρακα αποτελεί μια σταθερή και διαρκώς παρούσα συνιστώσα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η καύση λιγνίτη δεν επηρεάζεται από καιρικές συνθήκες (συννεφιά, ζέστη-κρύο, άπνοια) και είναι έτοιμη σε οποιαδήποτε στιγμή να ανταποκριθεί ανάλογα με τις ανάγκες του δικτύου.

Επιβάλλεται λοιπόν η χρησιμοποίηση μεθόδων περιορισμού των καυσαερίων από την καύση άνθρακα. Οι μέθοδοι αυτές παρουσιάζονται στην παρούσα πτυχιακή εργασία.

ABSTRACT

The subject of this thesis is the description of an advanced coal-fired power plant. Although the global trend is to de-lignite electricity generation, it is an indisputable fact that coal combustion is a stable and ever-present component of electricity generation. The combustion of lignite is not affected by weather condition (cloudiness, heat-cold, apnoea) and is ready at any time to respond according to the needs of the network. It is therefore imperative to use methods to limit the exhaust gases from burning coal. These methods are presented in this thesis.

Λέξεις – κλειδιά: Λιγνίτης, σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ΑΠΕ, θερμοηλεκτρικός σταθμός, ολοκληρωμένος συνδυασμένος κύκλος αεριοποίησης

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

| | |
|---|-------------------------------------|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | II |
| ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ | III |
| ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ | V |
| ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ | VII |
| ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ | Error! Bookmark not defined. |
| 1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 | 9 |
| 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 9 |
| 1.1 Η πορεία του λιγνίτη στην Ελλάδα | 9 |
| 1.2 Απολιγνιτοποίηση | 14 |
| 2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 | 15 |
| 2 ΕΙΔΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 15 |
| 2.1 Υδροηλεκτρικός Σταθμός: Διάταξη, Εργασία Και Τύποι | 15 |
| 2.1.1 Διάταξη Και Λειτουργία Υδροηλεκτρικού Σταθμού | 15 |
| 2.2 Ατμοηλεκτρικός Σταθμός | 17 |
| 2.3 Πυρηνικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής | 21 |
| 2.3.1 Εξαρτήματα και Λειτουργία | 22 |
| 2.4 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας | 25 |
| 2.4.1 Ηλιακή ενέργεια | 25 |
| 2.4.2 Αιολική ενέργεια | 26 |
| 2.4.3 Παλιρροιακή ενέργεια | 27 |
| 2.4.4 Γεωθερμική ενέργεια | 27 |
| 2.4.5 Ενέργεια Βιομάζας | 28 |
| 3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 | 30 |
| 3 ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΗΣ ΛΙΓΝΙΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 30 |
| 3.1 Παραδοσιακοί θερμοηλεκτρικοί σταθμοί | 30 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.2 | Μονάδες ηλεκτροπαραγωγής αερίου συνδυασμένου κύκλου (ή σταθμοί ατμοστρόβιλου αερίου)..... | 31 |
| 3.3 | Ανάκτηση αερίου υψικαμίνου | 32 |
| 3.4 | Αεριοστρόβιλοι και στροβιλοκινητήρες | 32 |
| 3.5 | Μονάδες συμπαραγωγής | 33 |
| 4 | ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 35 |
| 4.1 | Ολοκληρωμένος συνδυασμένος κύκλος αεριοποίησης (Integrated Gasification Combined Cycle IGCC) χωρίς δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα | 35 |
| 4.2 | Πλεονεκτήματα της τεχνικής IGCC | 36 |
| 4.3 | <i>Προκλήσεις</i> για την ευρεία υιοθέτηση της τεχνολογίας IGCC | 38 |
| 4.4 | Τυπική διάταξη σταθμών IGCC | 39 |
| 4.4.1 | Επίδραση δέσμευσης CO ₂ | 40 |
| 4.5 | Εξέλιξη της τεχνολογίας IGCC | 41 |
| 4.6 | Άνθρακας και βιομάζα - | 44 |
| 4.7 | Η διαδικασία της αεριοποίησης | 46 |
| 4.7.1 | Βασική αρχή αεριοποίησης | 48 |
| 4.8 | Τύποι αεριοποιητών | 49 |
| 4.8.1 | Αεριοποιητές σταθερής ή κινούμενης κλίνης | 50 |
| 4.8.2 | Αεριοποιητές συμπαρασυρόμενης ροής | 52 |
| 4.8.3 | Αεριοποιητές ρευστοποιημένης κλίνης | 54 |
| 5 | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ | 57 |

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

| | | |
|-------------|---|----|
| Εικόνα 1.1 | Λιγνιτικά Κέντρα και σημαντικότερα κοιτάσματα λιγνίτη στον ελλαδικό χώρο. (https://www.dei.gr/el/dei-omilos/i-dei/tomeis-drastiriotitas/symvatiki-paragogi/) | 10 |
| Εικόνα 2.1 | Τυπική διάταξη ενός υδροηλεκτρικού σταθμού και τα βασικά στοιχεία του (https://www.electricaleasy.com/2015/09/hydroelectric-power-plant-layout.html) | 15 |
| Εικόνα 2.2 | Δεξαμενή υπερχείλισης (https://www.electricaleasy.com/2015/09/hydroelectric-power-plant-layout.html) | 17 |
| Εικόνα 2.3 | Διάγραμμα Ατμοηλεκτρικού Σταθμού (https://www.thermodyneboilers.com/steam-power-station/) | 18 |
| Εικόνα 2.4 | Ατμολέβητας (εξωτερική άποψη) (https://www.thermodyneboilers.com/steam-power-station/) | 19 |
| Εικόνα 2.5 | Ατμολέβητας (εσωτερική δομή) (https://www.thermodyneboilers.com/steam-power-station/) | 19 |
| Εικόνα 2.6 | Ο πυρηνικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής Darlington στο Οντάριο παράγει ενέργεια από τέσσερις αντιδραστήρες (https://energyeducation.ca/encyclopedia/Nuclear_power_plant) | 21 |
| Εικόνα 2.7 | Ένας πυρηνικός αντιδραστήρας με βραστό νερό σε συνδυασμό με τον κύκλο Rankine αποτελεί τη βάση ενός πυρηνικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής. (https://energyeducation.ca/encyclopedia/Nuclear_power_plant) | 22 |
| Εικόνα 2.8 | Δύο πύργοι ψύξης ενός πυρηνικού σταθμού. (https://energyeducation.ca/encyclopedia/Nuclear_power_plant) | 24 |
| Εικόνα 2.9 | Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πάνελ σε πάρκο (https://www.edfenergy.com/energywise/renewable-energy-sources) ... | 25 |
| Εικόνα 2.10 | Αιολικό πάρκο (https://www.edfenergy.com/energywise/renewable-energy-sources) | 26 |
| Εικόνα 2.11 | Ένα "κυματικό αγρόκτημα" 30 MegaWatt μετατροπών ενέργειας κυμάτων Pelamis (Business Wire) (https://www.salon.com/2016/08/27/is-blue-the-new-green-wave-power-could-revolutionize-the-renewable-energy-game/) | 27 |
| Εικόνα 2.12 | Ο γεωθερμικός σταθμός Hellisheiði στη νοτιοδυτική Ισλανδία (https://www.materialsperformance.com/articles/material- | |

| | |
|---|----|
| selection-design/2017/05/testing-materials-for-corrosion-in-an-icelandic-geothermal-environment) | 28 |
| Εικόνα 2.13 Κύκλος της βιομάζας(https://www.123rf.com/photo_172711954_cycle-of-biomass-energy-as-direct-combustion-in-power-plant-outline-diagram.html) | 29 |
| Εικόνα 3.1 Δομή παραδοσιακού θερμοηλεκτρικού σταθμού (https://www.engie.com/en/activities/thermal-energy/thermal-power-stations) | 31 |
| Εικόνα 3.2 Σταθμοί συνδυασμένου κύκλου (https://www.engie.com/en/activities/thermal-energy/thermal-power-stations) | 32 |
| Εικόνα 3.3 <i>Αεριοστρόβιλος και turbojets: ο συμπιεστής τραβάει αέρα, τον συμπιέζει και τον εγχέει στον θάλαμο καύσης. Φυσικό αέριο (αεριοστρόβιλος) ή κηροζίνη (turbojet) εγχέεται στον θάλαμο που θα καεί. Τα θερμά αέρια καύσης περιστρέφουν τον στρόβιλο, ο οποίος οδηγεί έναν εναλλάκτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.</i> (https://www.engie.com/en/activities/thermal-energy/thermal-power-stations) | 33 |
| Εικόνα 3.4 Συμπαγωγή: μια γεννήτρια με αέριο κινεί έναν εναλλάκτη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η θερμότητα που ανακτάται από την ψύξη του κινητήρα και τα αέρια καύσης θερμαίνουν ένα κύκλωμα νερού χάρη στους εναλλάκτες θερμότητας.(https://www.engie.com/en/activities/thermal-energy/thermal-power-stations) | 34 |
| Εικόνα 4.1 Εργοστάσιο Tampa Electric IGCC στη Φλόριντα, ΗΠΑ (https://netl.doe.gov/research/Coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/igcc) | 36 |
| Εικόνα 4.2 Σύγκριση μέσων εκπομπών για το διοξείδιο του θείου (SO ₂), τα οξειδία του αζώτου (NO _x) και τα σωματίδια (PM) μεταξύ των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής IGCC και κονιοποιημένου άνθρακα (PC, υπερ-και υποκρίσιμου), χωρίς δέσμευση άνθρακα. Τα δεδομένα προέρχονται από το Cost and Performance Baseline for Fossil Energy Plants, Vol. 1, DOE/NETL-2023/4320, Οκτώβριος 2022) (https://netl.doe.gov/research/Coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/igcc) | 37 |
| Εικόνα 4.3 Εικόνα 1: Ροή διεργασίας IGCC του εργοστασίου TECO Polk Power Plant Unit 1 (https://netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/igcc-config) | 39 |

| | | |
|------------|---|----|
| Εικόνα 4.4 | Προηγμένη μονάδα IGCC που ενσωματώνει προηγμένες τεχνολογίες (https://netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/igcc-config) | 43 |
| Εικόνα 4.5 | Διαδικασία αεριοποίησης για τον άνθρακα (https://netl.doe.gov/research/Coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/intro-to-gasification) | 47 |
| Εικόνα 4.6 | Αεριοποιητής σταθερής ή κινούμενης κλίνης (https://netl.doe.gov/research/Coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/fmb) | 50 |
| Εικόνα 4.7 | Αεριοποιητής συμπαρασυρόμενης κλίνης (https://netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/entrainedflow) | 52 |
| Εικόνα 4.8 | Αεριοποιητής ρευστοποιημένης κλίνης (https://netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/fluidizedbed) | 54 |

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

| | | |
|---------------|--|----|
| Διάγραμμα 1.1 | Διαχρονική εξέλιξη παραγωγής λιγνίτη και συνολικών εκσκαφών στα ορυχεία Πτολεμαΐδας – Αμύνταιου- Φλωρίνας της ΔΕΗ (1958-2020) (https://www.dei.gr/el/dei-omilos/i-dei/tomeis-drastiriotitas/symvatiki-paragogi/) | 12 |
| Διάγραμμα 1.2 | Διαχρονική εξέλιξη παραγωγής λιγνίτη και συνολικών εκσκαφών στα ορυχεία Μεγαλόπολης της ΔΕΗ (1970-2020) (https://www.dei.gr/el/dei-omilos/i-dei/tomeis-drastiriotitas/symvatiki-paragogi/) | 13 |
| Διάγραμμα 4.1 | Διάγραμμα ροής μπλοκ IGCC (https://netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/igcc-config) | 40 |
| Διάγραμμα 4.2 | Σωρευτικός αντίκτυπος της προηγμένης τεχνολογίας IGCC στην καθαρή απόδοση των εγκαταστάσεων και στο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (COE) (https://netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/igcc-config) | 44 |
| Διάγραμμα 4.3 | Παγκόσμια ικανότητα αεριοποίησης και προγραμματισμένα ανάπτυξη (https://netl.doe.gov/research/Coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/feedstock) | 45 |

| | | |
|---|------------|--------------|
| Διάγραμμα 4.4 | Διαδικασία | αεριοποίησης |
| (https://netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/gasifier-intro) | | 49 |

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η πορεία του λιγνίτη στην Ελλάδα

Ο εξηλεκτρισμός της Ελλάδας επιτεύχθηκε χάρη στα λιγνιτωρυχεία, κυρίως της ΔΕΗ και δευτερευόντως ιδιωτών, στις περιοχές Αλιβερίου, Κοζάνης–Πτολεμαΐδας-Φλώρινας και Μεγαλόπολης εξασφάλισαν, από το έτος 1955 και για μια περίοδο 65 ετών περίπου, τον λιγνίτη, σημαντικό για την ελληνική οικονομία ενεργειακό καύσιμο. Στο παρακάτω Σχήμα παρουσιάζεται η εξάπλωση των κυριότερων λιγνιτικών κοιτασμάτων και των λιγνιτικών Κέντρων στον ελλαδικό χώρο.[1]

Η πρώτη σοβαρή προσπάθεια για την εκμετάλλευση λιγνιτικών κοιτασμάτων στη χώρα ξεκίνησε στο Αλιβέρι (Εύβοια) το έτος 1873. Δυστυχώς οι επιφανειακές και υπόγειες εγκαταστάσεις εξόρυξης καταστράφηκαν το 1897 από μια πλημμύρα. Η εκμετάλλευση ξανάρχισε μετά τον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο και έτος 1922, η ετήσια παραγωγή έφθασε τους 23.000 τόνους και διατηρήθηκε έως το έτος 1927. Το επόμενο έτος έπαυσε προσωρινά η λειτουργία των ορυχείων για οικονομικούς λόγους.

Μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, η ανάγκη εξηλεκτρισμού της χώρας οδήγησε στην απόφαση κατασκευής ατμοηλεκτρικού σταθμού στο Αλιβέρι. Στις 19 Μαΐου 1951 υπεγράφη σύμβαση μεταξύ της ΔΕΗ και του Γερμανικού οίκου ΡΗ.HOLZMANN A.G, υπεργολάβου της εταιρείας PIERCE MANAGEMENT INC σύμφωνα με την οποία θα εκτελούσε τις εργασίες για τις επιφανειακές εγκαταστάσεις στο Λιγνιτωρυχείο Αλιβερίου καθώς και τη διάνοιξη και όρυξη φρεάτων βάθους 115 μέτρων, στοών μήκους 1.750 μέτρων και υπόγειου αντλιοστασίου.

Κοιτάσματα Λιγνίτη στην Ελλάδα

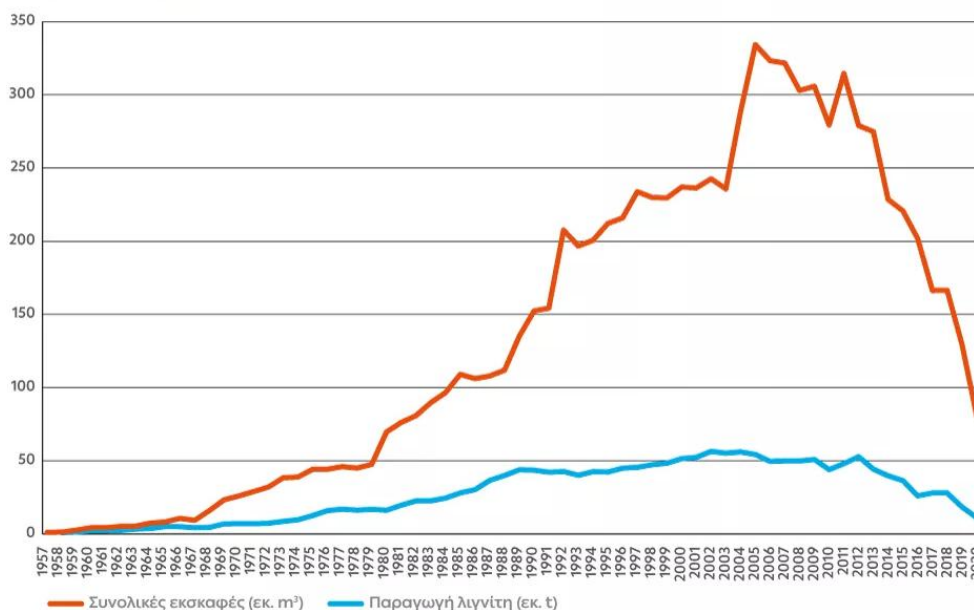


Εικόνα 1.1 Λιγνιτικά Κέντρα και σημαντικότερα κοιτάσματα λιγνίτη στον ελλαδικό χώρο. (<https://www.dei.gr/el/dei-omilos/i-dei/tomeis-drastiriotitas/symvatiki-paragogi/>)

Επίσημα η ελληνική διοίκηση της ΔΕΗ ανέλαβε τη διεύθυνση του Λιγνιτωρυχείου την 21η Μαΐου 1954. Έκτοτε ξεκίνησε η συστηματική και εντατική εκμετάλλευση των λιγνιτικών κοιτασμάτων τόσο με υπόγειες όσο και με επιφανειακές εξορύξεις σε μία επιφάνεια έκτασης 1.700 περίπου στρεμμάτων, με την εγκατάσταση εξοπλισμού και μηχανημάτων και την εφαρμογή μεθόδων και σχετικής τεχνολογίας, πρωτοποριακών και μοναδικών για την εποχή εκείνη στον ελλαδικό χώρο, δημιουργώντας έτσι το πρώτο παραγωγικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Το 1981 ολοκληρώθηκε η υπόγεια εκμετάλλευση του λιγνίτη

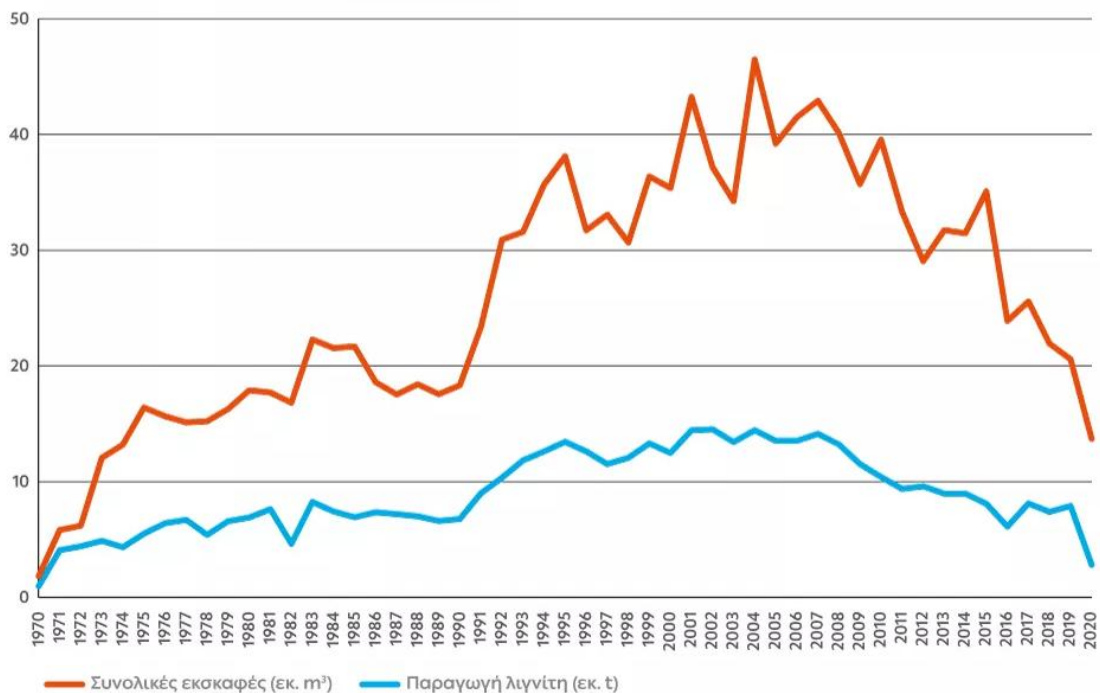
και λίγο αργότερα, το 1988, περατώθηκαν και οι εργασίες επιφανειακής εκμετάλλευσης, η οποία είχε ξεκινήσει το 1975. Συνολικά από τα υπόγεια έργα του Ορυχείου Αλιβερίου εξορύχθηκαν 14,7 εκ.τόνοι και από την επιφανειακή εκμετάλλευση 3,9 εκ. τόνοι λιγνίτη.

Το μεγαλύτερο όμως Λιγνιτικό Κέντρο της Χώρας αναπτύχθηκε στην ευρύτερη περιοχή Κοζάνης – Πτολεμαΐδας –Φλώρινας με την ανάπτυξη επιφανειακών Ορυχείων (Κύριου Πεδίου, Πεδίου Καρδιάς, Νότιου Πεδίου, Πεδίου Αμυνταίου, Αχλάδας και Κλειδιού). Οι πρώτες συστηματικές έρευνες για τον εντοπισμό και αξιολόγηση των λιγνιτών στην περιοχή αυτή άρχισαν μετά το έτος 1938. Το έτος 1955 ιδρύθηκε η εταιρεία ΛΙΠΤΟΛ, με αντικείμενο την εκμετάλλευση του λιγνίτη και τη χρησιμοποίησή του για την παραγωγή μπρικετών, αζωτούχων λιπασμάτων, ημικώκ και ηλεκτρικής ενέργειας. Το έτος 1959, το 90% των μετοχών της ΛΙΠΤΟΛ περιήλθαν στη ΔΕΗ, ενώ το έτος 1975 οι δύο εταιρείες συγχωνεύθηκαν. Από την έναρξη της λειτουργίας των Ορυχείων το έτος 1957, η παραγωγή λιγνίτη παρουσίασε σημαντική αύξηση. Συγκεκριμένα, από 1,4 εκ. τόνους (1960), ανήλθε σε 11,7 εκ. τόνους το έτος 1975, 27,3 εκ. τόνους το έτος 1985, και σε 55,8 εκ. τόνους το έτος 2002 (μέγιστη παραγωγή). Η παραγωγή διατηρήθηκε στο ύψος των 50 εκ. τόνων ετησίως έως το έτος 2012, οπότε ξεκίνησε η σταδιακή πτώση της (Σχήμα 2). Το έτος 2020, η παραγωγή λιγνίτη από τα Ορυχεία της περιοχής του Λιγνιτικού Κέντρου Δυτικής Μακεδονίας (ΛΚΔΜ) ήταν 10,3 εκ. τόνοι.[1]



Διάγραμμα 1.1 Διαχρονική εξέλιξη παραγωγής λιγνίτη και συνολικών εκσκαφών στα ορυχεία Πτολεμαΐδας – Αμύνταιου- Φλωρίνας της ΔΕΗ (1958-2020) (<https://www.dei.gr/el/dei-omilos/i-dei/tomeis-drastiriotitas/symvatiki-paragogi/>)

Το δεύτερο σημαντικό Λιγνιτικό Κέντρο της Χώρας αναπτύχθηκε στην περιοχή της Μεγαλόπολης Αρκαδίας, επίσης με επιφανειακά Ορυχεία (Θωκνίας, Χωρεμίου, Κυπαρισσίων και Μαραθούσας). Το λιγνιτικό κοιτάσμα Μεγαλόπολης μελετήθηκε για πρώτη φορά το έτος 1957 και τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά. Η εκμετάλλευση του κοιτάσματος στην περιοχή ξεκίνησε το έτος 1970 και αποτέλεσε μία ιδιαίτερη περίπτωση σε παγκόσμιο επίπεδο, διότι για πρώτη φορά εξορύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λιγνίτη τόσο χαμηλής ποιοτικής στάθμης. Η ετήσια παραγωγή λιγνίτη από 4,1 εκ. τόνους το 1971, σταδιακά ανήλθε σε 14,5 εκ. τόνους το έτος 2002 (μέγιστη παραγωγή). Η παραγωγή διατηρήθηκε στο ύψος των 13-14 εκ. τόνων ετησίως έως το έτος 2008, οπότε ξεκίνησε μικρή σταδιακή πτώση. Την πενταετία 2015-2019 η παραγωγή κυμάνθηκε στο επίπεδο των 6-8 εκ. τόνων ετησίως. Το έτος 2020 η παραγωγή λιγνίτη από τα ορυχεία Μεγαλόπολης ήταν 2,8 εκ. τόνοι.



Διάγραμμα 1.2 Διαχρονική εξέλιξη παραγωγής λιγνίτη και συνολικών εκσκαφών στα ορυχεία Μεγαλόπολης της ΔΕΗ (1970-2020) (<https://www.dei.gr/el/dei-omilos/i-dei/tomeis-drastiriotitas/symvatiki-paragogi/>)

Το έτος 2018 συστάθηκαν θυγατρικές εταιρείες με την επωνυμία ΛΙΓΝΙΤΙΚΗ ΜΕΛΙΤΗΣ Α.Ε. και ΛΙΓΝΙΤΙΚΗ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ Α.Ε. Στην πρώτη εισφέρθηκαν ως κλάδος τα περιουσιακά στοιχεία, δικαιώματα και υποχρεώσεις που αφορούν στη λιγνιτική ηλεκτροπαραγωγική δραστηριότητα στην περιοχή της Μελίτης Φλώρινας και στην ευρύτερη αυτής περιοχή, όπου έχουν χωροθετηθεί δημόσια λιγνιτικά κοιτάσματα, και στη δεύτερη τα περιουσιακά στοιχεία, δικαιώματα και υποχρεώσεις που αφορούν στη λιγνιτική ηλεκτροπαραγωγική δραστηριότητα στην περιοχή της Μεγαλόπολης Αρκαδίας.

Κατά το έτος 2020, η παραγωγή λιγνίτη από τη ΔΕΗ ΑΕ και τις θυγατρικές της εταιρείες ανήλθε σε 13,1 εκ. τόνους. Συνολικά, από την έναρξη της παραγωγής των λιγνιτωρυχείων της ΔΕΗ και έως το τέλος του έτους 2020, εξορύχθηκαν 2,2 δισ. τόνοι λιγνίτη. Για την παραγωγή αυτή, διακινήθηκαν συνολικά περίπου 10 δισ. κυβικά μέτρα υλικών.

Αναφορικά με το ποσοστό συμμετοχής των λιγνιτικών μονάδων στο διασυνδεδεμένο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής της Χώρας, την περίοδο

1984-2005 αυτό κυμάνθηκε σε πολύ υψηλά επίπεδα, από 64,2 % έως 79,7% (το έτος 1989). Σημειώνεται ότι για τα λιγνιτικά κοιτάσματα Ελασσόνας και Δράμας, πραγματοποιήθηκε σημαντική λιγνιτική έρευνα, χωρίς όμως να αναπτυχθούν Ορυχεία στις περιοχές αυτές.[1]

1.2 Απολιγνιτοποίηση

Τα τελευταία έτη, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη έχει μειωθεί σημαντικά, κυρίως λόγω της σημαντικής αύξησης της τιμής των δικαιωμάτων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Σύμφωνα με το ισχύον Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ, ΚΥΣΟΠ/4/31.12.2019, ΦΕΚ 4893/Β'/31.12.2019), η απολιγνιτοποίηση της χώρας θα διαρκέσει το αργότερο έως το έτος 2028, με τα νεότερα όμως δεδομένα προβλέπεται ενωρίτερη παύση της λιγνιτικής παραγωγής.

Η ραγδαία μείωση της παραγωγής λιγνίτη σχετίζεται συνεπώς με τις δυσμενείς συνθήκες αγοράς και την απόσυρση των λιγνιτικών μονάδων. Ήδη έχουν οριστικά τεθεί εκτός λειτουργίας και αποσυρθεί, τα παρακάτω μέσα παραγωγής (8/2021):[1]

- Μονάδα I, II, III και IV ΑΗΣ Πτολεμαΐδας
- Μονάδα I και II ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ
- Μονάδα I, II, III και IV ΑΗΣ Αλιβερίου
- Μονάδα I, II και III ΑΗΣ Κερατέας – Λαυρίου
- Μονάδα 8 και 9 ΑΗΣ Αγίου Γεωργίου
- Μονάδα I, II, III και IV ΑΗΣ Καρδιάς
- Μονάδα I και II ΑΗΣ Αμυνταίου – Φιλώτα
- Ορυχείο Πεδίου Αμυνταίου
- Ορυχείο Πεδίου Καρδιάς

και έως το τέλος του 2023 θα διακοπεί και η παραγωγική λειτουργία των Ορυχείων Μεγαλόπολης.

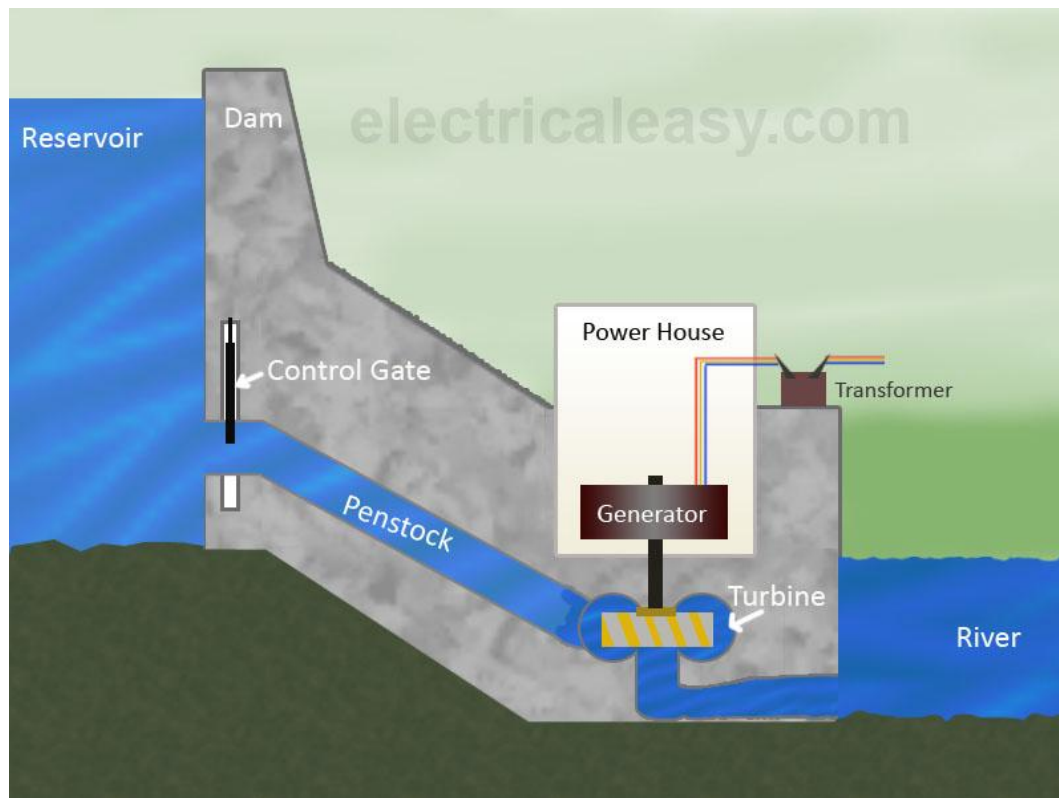
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2 ΕΙΔΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 Υδροηλεκτρικός Σταθμός: Διάταξη, Εργασία Και Τύποι

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ΑΠΟ υδροηλεκτρική ενέργεια (δυναμική ενέργεια στο αποθηκευμένο νερό) είναι μια από τις πιο καθαρές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας. Είναι μια ευέλικτη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας και επίσης το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι σχετικά χαμηλό.

2.1.1 Διάταξη Και Λειτουργία Υδροηλεκτρικού Σταθμού

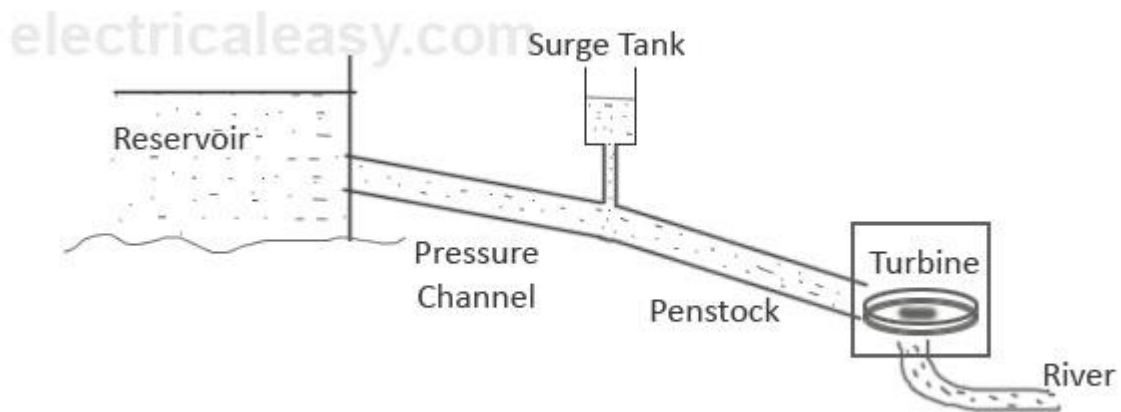


Εικόνα 2.1 Τυπική διάταξη ενός υδροηλεκτρικού σταθμού και τα βασικά στοιχεία του (<https://www.electricaleasy.com/2015/09/hydroelectric-power-plant-layout.html>)

Η παραπάνω εικόνα δείχνει την τυπική διάταξη ενός υδροηλεκτρικού σταθμού και τα βασικά στοιχεία του .[2]

- **Φράγμα και Δεξαμενή:** Το φράγμα κατασκευάζεται σε μεγάλο ποτάμι σε λοφώδεις περιοχές για να εξασφαλίζεται επαρκής αποθήκευση νερού σε ύψος. Το φράγμα σχηματίζει μια μεγάλη δεξαμενή πίσω του. Το ύψος της στάθμης του νερού (που ονομάζεται κεφαλή νερού) στη δεξαμενή καθορίζει πόση δυναμική ενέργεια αποθηκεύεται σε αυτήν.
- **Πύλη ελέγχου:** Το νερό από τη δεξαμενή αφήνεται να ρέει μέσω του αποθέματος προς τον στρόβιλο. Η ποσότητα του νερού που πρόκειται να απελευθερωθεί στο στέλεχος μπορεί να ελεγχθεί από μια πύλη ελέγχου. Όταν η πύλη ελέγχου ανοίξει πλήρως, η μέγιστη ποσότητα νερού απελευθερώνεται μέσω του αποθέματος.
- **Penstock:** Ένα penstock είναι ένας τεράστιος χαλύβδινος σωλήνας που μεταφέρει νερό από τη δεξαμενή στον στρόβιλο. Η δυναμική ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια καθώς ρέει προς τα κάτω μέσω του αποθέματος λόγω βαρύτητας.
- **Νεροστρόβιλος:** Το νερό από τον σωλήνα εισέρχεται στον υδροστρόβιλο. Ο στρόβιλος συνδέεται μηχανικά με μια ηλεκτρική γεννήτρια. Η κινητική ενέργεια του νερού οδηγεί τον στρόβιλο και κατά συνέπεια η γεννήτρια κινείται. Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι υδροστροβίλων. (i) Στρόβιλος ώθησης και (ii) στρόβιλος αντίδρασης. Οι τουρμπίνες ώθησης χρησιμοποιούνται για μεγάλες κεφαλές και οι τουρμπίνες αντίδρασης για χαμηλές και μεσαίες κεφαλές.
- **Γεννήτρια :** Μια γεννήτρια συνδέεται μηχανικά με τον άξονα του στροβίλου. Όταν τα πτερύγια του στροβίλου περιστρέφονται, οδηγεί τη γεννήτρια και παράγεται ηλεκτρική ενέργεια, η οποία στη συνέχεια ενισχύεται με τη βοήθεια ενός μετασχηματιστή για το σκοπό της μετάδοσης.
- **Δεξαμενή Υπερχείλισης:** Οι δεξαμενές υπερχείλισης (Εικόνα 2.2) συνήθως παρέχονται σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής υψηλής ή μεσαίας ισχύος όταν απαιτείται πολύ μεγάλο απόθεμα. Μια δεξαμενή υπερχείλισης είναι μια μικρή δεξαμενή ή δεξαμενή που είναι ανοιχτή στην κορυφή. Τοποθετείται μεταξύ της δεξαμενής

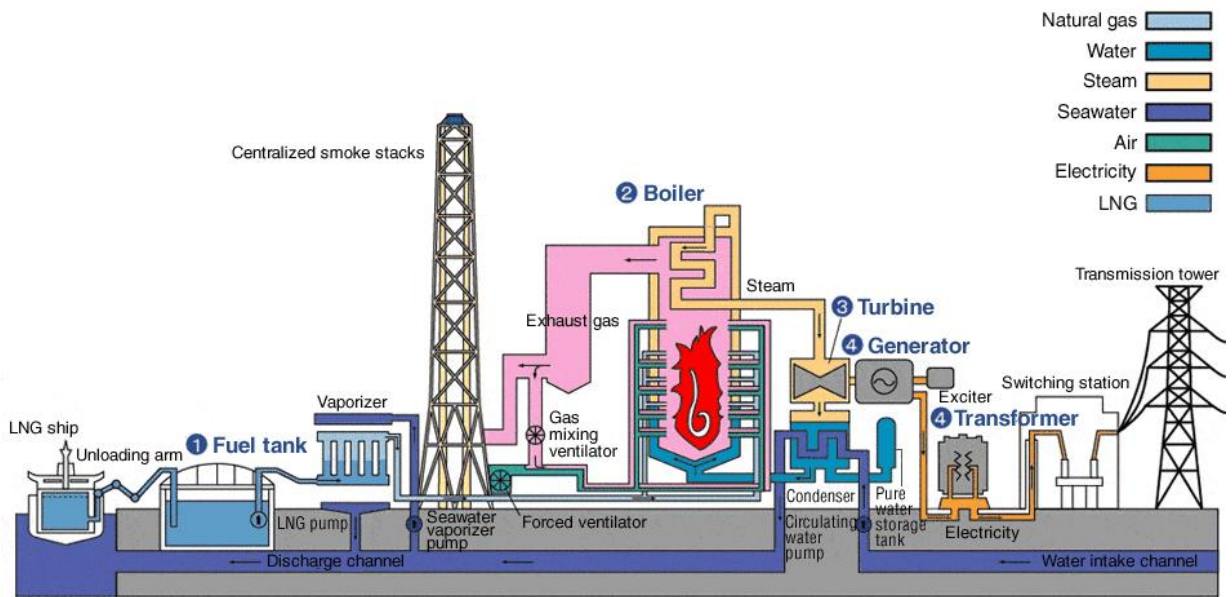
και της τουρμπίνας. Η στάθμη του νερού στη δεξαμενή υπερχειλίσσης ανεβαίνει ή πέφτει για να μειώσει τις εναλλαγές πίεσης στο σωλήνα. Όταν υπάρχει ξαφνική μείωση του φορτίου στον στρόβιλο, ένας διακόπτης κλείνει τις πύλες του στροβίλου για να μειώσει τη ροή του νερού. Αυτό προκαλεί την ασυνήθιστη αύξηση της πίεσης στο σωλήνα. Αυτό αποτρέπεται χρησιμοποιώντας μια δεξαμενή υπερχειλίσσης, στην οποία η στάθμη του νερού ανεβαίνει για να μειώσει την πίεση. Από την άλλη πλευρά, η δεξαμενή υπερχειλίσσης παρέχει περίσσεια νερού που απαιτείται όταν οι πύλες ανοίγουν ξαφνικά για να καλύψουν την αυξημένη ζήτηση φορτίου.[2]



Εικόνα 2.2 Δεξαμενή υπερχειλίσσης
(<https://www.electricaleasy.com/2015/09/hydroelectric-power-plant-layout.html>)

2.2 Ατμοηλεκτρικός Σταθμός

Ένας ατμοηλεκτρικός σταθμός, γνωστός και ως εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα, αξιοποιεί τη θερμική ενέργεια που παράγεται από την καύση άνθρακα για να παράγει σημαντική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτοί οι τύποι σταθμών παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιούνται ευρέως σε ολόκληρο τον κόσμο λόγω της άφθονης διαθεσιμότητας άνθρακα, που τους επιτρέπει να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλη κλίμακα.[3]



Εικόνα 2.3 Διάγραμμα Ατμοηλεκτρικού Σταθμού
(<https://www.thermodyneboilers.com/steam-power-station/>)

Οι ατμοκίνητοι σταθμοί παραγωγής ενέργειας συνεχίζουν να λειτουργούν πολύ κοντά στην πλήρη απόδοση για 24 ώρες την ημέρα. Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής έχουν τυπική διάρκεια ζωής από 30 έως 40 χρόνια. Ακολουθεί μια καταγραφή των παραγόντων που επηρεάζουν την επιλογή μιας τοποθεσίας για την κατασκευή ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας Steam :[3]

Τα κύρια τμήματα ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού είναι τα ακόλουθα[3]

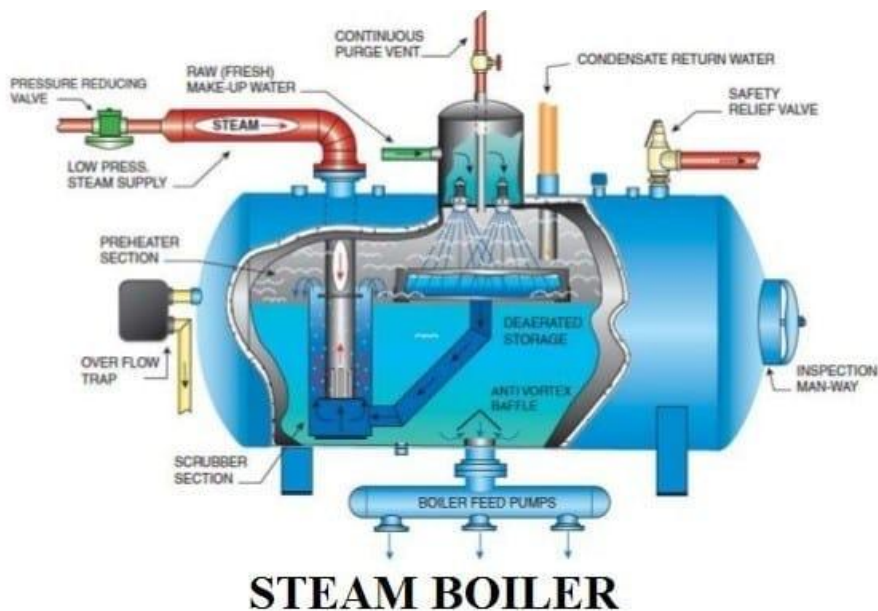
- Ατμολέβητας

Ο λέβητας έχει την ικανότητα να μετατρέπει το νερό σε ατμό . Η διαδικασία αλλαγής του νερού σε ατμό παράγεται με θέρμανση του νερού στους σωλήνες με ενέργεια από την καύση του καυσίμου. Η διαδικασία καύσης πραγματοποιείται συνεχώς στο δωμάτιο καύσης με καύσιμο και ροή αέρα από την επιφάνεια.



Εικόνα 2.4 Ατμολέβητας (εξωτερική άποψη)
(<https://www.thermodyneboilers.com/steam-power-station/>)

Ο ατμός που προκύπτει είναι υπερθερμασμένοι ατμοί που έχουν υψηλή θερμοκρασία και υψηλή πίεση. Το μέγεθος της παραγωγής ατμού εξαρτάται από την επιφάνεια της μεταφοράς θερμότητας, τον ρυθμό ροής και τη θερμότητα της καύσης που εφαρμόζεται. Ένα σύστημα λέβητα που αποτελείται από σωλήνες γεμάτους νερό ονομάζεται λέβητας σωλήνων νερού .



Εικόνα 2.5 Ατμολέβητας (εσωτερική δομή)
(<https://www.thermodyneboilers.com/steam-power-station/>)

- Ατμοτουρμπίνα (ατμοστρόβιλος)

Ο ατμοστρόβιλος λειτουργεί για να μεταβάλλει τη θερμική ενέργεια που μεταφέρεται στον ατμό σε περιστροφική κίνηση. Ο ατμός με υψηλό φορτίο και θερμοκρασία διοχετεύθηκε για να ωθήσει τα πτερύγια του στροβίλου που ήταν εγκατεστημένα στον άξονα, έτσι ώστε ο άξονας να περιστρέφεται. Λόγω της πλήρους εργασίας στον στρόβιλο, η πίεση και η θερμότητα του ατμού που εισέρχεται στον στρόβιλο μειώνεται σε εμποτισμένο ατμό. Αυτός ο ατμός στη συνέχεια προχωρά στον συμπυκνωτή, ενώ η ισχύς στροβιλισμού χρησιμοποιείται για την περιστροφή μιας γεννήτριας. Σήμερα σχεδόν όλος ο ατμοστρόβιλος είναι ένα είδος τουρμπίνας συμπύκνωσης.

- Συμπυκνωτής

Οι συμπυκνωτές είναι εργαλεία για τη μετατροπή του ατμού σε νερό. Οι αλλαγές γίνονται από τη ροή ατμού σε σωλήνες συγκράτησης δωματίου. Ο ατμός τρέχει έξω από τους σωλήνες, ενώ το νερό ψύξης ρέει μέσα στους σωλήνες. Αυτό ονομάζεται επιφανειακός συμπυκνωτής. Είναι συνήθως για χρήση ψυκτικού θαλασσινού νερού.

Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας εξαρτάται από την κίνηση του νερού ψύξης, τις συσκευές υγιεινής και τη διακύμανση θερμοκρασίας μεταξύ του ατμού και του νερού ψύξης. Η μέθοδος αλλαγής σε υδρατμούς συμβαίνει σε κορεσμένο βάρος και θερμοκρασία. Σε αυτή την περίπτωση, ο συμπυκνωτής βρίσκεται κάτω από το κενό.

Επειδή η θερμοκρασία του νερού ψύξης είναι ίση με την εξωτερική θερμοκρασία, η υψηλότερη θερμοκρασία συμπυκνώνει το νερό κοντά στη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα. Εάν ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας ανασταλεί, θα επηρεάσει την πίεση και τη θερμοκρασία.

- Γεννήτρια

Η κύρια ιδέα των δραστηριοτήτων σε μια μονάδα είναι η ηλεκτρική ενέργεια. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από τη γεννήτρια. Η γεννήτρια συναρτήσεων μετατρέπει τη μηχανική δύναμη σε ηλεκτρική ενέργεια με τη μορφή κύκλου με την αρχή της μαγνητικής επαγωγής.

Η γεννήτρια αποτελείται από στάτορα και ρότορα. Ο στάτορας αποτελείται από το περίβλημα που συγκρατεί πηνία και ένας σταθμός μαγνητικού πεδίου ρότορα αποτελείται από έναν πυρήνα που περιλαμβάνει ένα πηνίο.

- Εναλλάκτης

Ο ατμοστρόβιλος συνδέεται με έναν εναλλάκτη. Όταν ο στρόβιλος περιστρέφει τον εναλλάκτη, παράγεται ηλεκτρική ενέργεια. Αυτή η παραγόμενη ηλεκτρική τάση στη συνέχεια ανυψώνεται με τη βοήθεια ενός μετασχηματιστή και στη συνέχεια μεταφέρεται εκεί που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί.

2.3 Πυρηνικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής

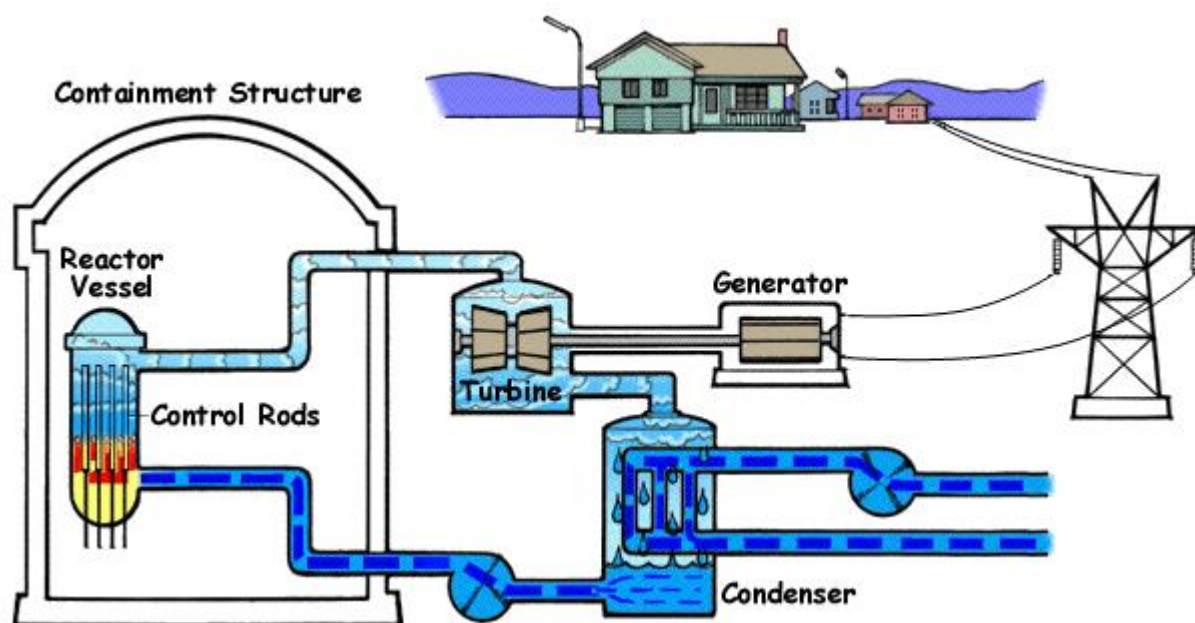
Οι πυρηνικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής είναι ένας τύπος σταθμού ηλεκτροπαραγωγής που χρησιμοποιούν τη διαδικασία της πυρηνικής σχάσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας . Το κάνουν αυτό χρησιμοποιώντας πυρηνικούς αντιδραστήρες σε συνδυασμό με τον κύκλο Rankine, όπου η θερμότητα που παράγεται από τον αντιδραστήρα μετατρέπει το νερό σε ατμό , ο οποίος περιστρέφει έναν στρόβιλο και μια γεννήτρια . Η πυρηνική ενέργεια παρέχει στον κόσμο περίπου το 11% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας , με τους μεγαλύτερους παραγωγούς να είναι οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Γαλλία.[4]



Εικόνα 2.6 Ο πυρηνικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής Darlington στο Οντάριο παράγει ενέργεια από τέσσερις αντιδραστήρες (https://energyeducation.ca/encyclopedia/Nuclear_power_plant)

Εκτός από την πηγή θερμότητας , οι πυρηνικοί σταθμοί μοιάζουν πολύ με τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα . Ωστόσο,

απαιτούν διαφορετικά μέτρα ασφαλείας, καθώς η χρήση πυρηνικών καυσίμων έχει πολύ διαφορετικές ιδιότητες από τον άνθρακα ή άλλα ορυκτά καύσιμα . Παίρνουν τη θερμική τους ισχύ από τη διάσπαση των πυρήνων των ατόμων στον πυρήνα του αντιδραστήρα τους, με το ουράνιο να είναι η κυρίαρχη επιλογή καυσίμου στον κόσμο σήμερα. Το θόριο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή πυρηνικής ενέργειας, ωστόσο δεν χρησιμοποιείται επί του παρόντος. Παρακάτω είναι η βασική λειτουργία του αεργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βραστό νερό , το οποίο δείχνει τα πολλά συστατικά ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής, μαζί με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας .[4]



Εικόνα 2.7 Ένας πυρηνικός αντιδραστήρας με βραστό νερό σε συνδυασμό με τον κύκλο Rankine αποτελεί τη βάση ενός πυρηνικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής. (https://energyeducation.ca/encyclopedia/Nuclear_power_plant)

2.3.1 Εξαρτήματα και Λειτουργία

Τα λειτουργικά μέρη από τα οποία αποτελείται ένας πυρηνικός σταθμός περιγράφονται στη συνέχεια[4]

- Πυρηνικός αντιδραστήρας

Ο αντιδραστήρας είναι βασικό συστατικό ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής, καθώς περιέχει το καύσιμο και την πυρηνική αλυσιδωτή αντίδραση του, μαζί με όλα τα πυρηνικά απόβλητα. Ο αντιδραστήρας είναι η πηγή θερμότητας για το εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας, όπως και ο λέβητας για ένα εργοστάσιο άνθρακα. Το ουράνιο είναι το κυρίαρχο πυρηνικό καύσιμο που χρησιμοποιείται στους πυρηνικούς αντιδραστήρες και οι αντιδράσεις σχάσης του είναι αυτές που παράγουν τη θερμότητα μέσα σε έναν αντιδραστήρα. Αυτή η θερμότητα στη συνέχεια μεταφέρεται στο ψυκτικό υγρό του αντιδραστήρα, το οποίο παρέχει θερμότητα σε άλλα μέρη του πυρηνικού σταθμού.

Εκτός από τη χρήση τους στην παραγωγή ενέργειας, υπάρχουν και άλλοι τύποι πυρηνικών αντιδραστήρων που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πλουτωνίου, την πρόωση πλοίων, αεροσκαφών και δορυφόρων, μαζί με ερευνητικούς και ιατρικούς σκοπούς. Ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής περιλαμβάνει όχι μόνο τον αντιδραστήρα, αλλά και πύργους ψύξης, τουρμπίνες, γεννήτριες και διάφορα συστήματα ασφαλείας. Ο αντιδραστήρας είναι αυτό που τον κάνει να διαφέρει από άλλους εξωτερικούς θερμικούς κινητήρες.

- Στροβίλος και Γεννήτρια

Μόλις παραχθεί ο ατμός, ταξιδεύει με υψηλές πιέσεις και ταχύτητες μέσω ενός ή περισσότερων στροβίλων. Αυτά φτάνουν σε εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες, με αποτέλεσμα ο ατμός να χάνει ενέργεια, επομένως, να συμπυκνώνεται πίσω σε ένα πιο ψυχρό υγρό νερό. Η περιστροφή των στροβίλων χρησιμοποιείται για την περιστροφή μιας ηλεκτρικής γεννήτριας, η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια που αποστέλλεται από το ηλεκτρικό δίκτυο.

- Πύργοι ψύξης

Ίσως το πιο εμβληματικό σύμβολο ενός πυρηνικού σταθμού είναι οι πύργοι ψύξης, που φαίνονται στην Εικόνα 2.8. Λειτουργούν για να απορρίψουν τη σπατάλη θερμότητας στην ατμόσφαιρα με τη μεταφορά

θερμότητας από το ζεστό νερό (από το τμήμα του στροβίλου) στον ψυχρότερο εξωτερικό αέρα . Το ζεστό νερό ψύχεται σε επαφή με τον αέρα και ένα μικρό μέρος, περίπου 2%, εξατμίζεται και ανεβαίνει στην κορυφή. Επιπλέον, αυτά τα φυτά δεν απελευθερώνουν διοξείδιο του άνθρακα —το κύριο αέριο του θερμοκηπίου που συμβάλλει στην κλιματική αλλαγή



Εικόνα 2.8 Δύο πύργους ψύξης ενός πυρηνικού σταθμού.
(https://energyeducation.ca/encyclopedia/Nuclear_power_plant)

Πολλοί πυρηνικοί σταθμοί απλώς τοποθετούν την απορριπτόμενη θερμότητα σε ένα ποτάμι, λίμνη ή ωκεανό αντί να έχουν πύργους ψύξης. Πολλοί άλλοι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής, όπως οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα, διαθέτουν επίσης πύργους ψύξης ή αυτές τις μεγάλες υδάτινες μάζες. Αυτή η ομοιότητα υπάρχει επειδή η διαδικασία μετατροπής της θερμότητας σε ηλεκτρική ενέργεια είναι σχεδόν πανομοιότυπη μεταξύ πυρηνικών σταθμών και σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα.[4]

2.4 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Οι πιο δημοφιλείς ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αυτή τη στιγμή είναι:

- Ηλιακή ενέργεια
- Αιολική ενέργεια
- Παλιρροιακή ενέργεια
- Γεωθερμική ενέργεια
- Ενέργεια βιομάζας

2.4.1 Ηλιακή ενέργεια



Εικόνα 2.9 Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πάνελ σε πάρκο
(<https://www.edfenergy.com/energywise/renewable-energy-sources>)

Το φως του ήλιου είναι ένας από τους πιο άφθονους και ελεύθερα διαθέσιμους ενεργειακούς πόρους του πλανήτη μας. Η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στην επιφάνεια της γης σε μία ώρα είναι μεγαλύτερη από τις συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις του πλανήτη για έναν ολόκληρο χρόνο. Αν και ακούγεται σαν μια τέλεια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η ποσότητα ηλιακής ενέργειας που μπορούμε να αξιοποιήσουμε ποικίλλει ανάλογα με την ώρα της ημέρας και την εποχή του έτους καθώς και τη γεωγραφική θέση. Επίσης η ποιότητα και η απόδοση των φωτοβολταϊκών πάνελ είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για την αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας και αποτελεί ένα συνεχές κομμάτι έρευνας [5]

2.4.2 Αιολική ενέργεια



Εικόνα 2.10 Αιολικό πάρκο(<https://www.edfenergy.com/energywise/renewable-energy-sources>)

Ο άνεμος είναι μια άφθονη πηγή καθαρής ενέργειας. Τα αιολικά πάρκα είναι ένα όλο και πιο οικείο θέαμα στο Ηνωμένο Βασίλειο, με την αιολική ενέργεια να συμβάλλει ολοένα και περισσότερο στο Εθνικό Δίκτυο. Για την αξιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας από την αιολική ενέργεια, οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται για την κίνηση γεννητριών οι οποίες στη συνέχεια τροφοδοτούν ηλεκτρική ενέργεια στο Εθνικό Δίκτυο. Παρόλο που είναι διαθέσιμα οικιακά ή «εκτός δικτύου» συστήματα παραγωγής, δεν είναι όλα τα ακίνητα κατάλληλα για οικιακή ανεμογεννήτρια. Μάθετε περισσότερα για την αιολική ενέργεια στη σελίδα μας για την αιολική ενέργεια.[5]

2.4.3 Παλιρροιακή ενέργεια



Εικόνα 2.11 Ένα "κυματικό αγρόκτημα" 30 MegaWatt μετατροπέων ενέργειας κυμάτων Pelamis (Business Wire)(<https://www.salon.com/2016/08/27/is-blue-the-new-green-wave-power-could-revolutionize-the-renewable-energy-game/>)

Αυτή είναι μια άλλη μορφή υδροηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιεί παλιρροιακά ρεύματα δύο φορές την ημέρα για να κινήσει γεννήτριες στροβίλων. Αν και η παλιρροιακή ροή, σε αντίθεση με ορισμένες άλλες πηγές υδροενέργειας, δεν είναι σταθερή, είναι εξαιρετικά προβλέψιμη και επομένως μπορεί να αντισταθμίσει τις περιόδους που το ρεύμα παλίρροιας είναι χαμηλό. Μάθετε περισσότερα επισκεπτόμενοι τη σελίδα μας θαλάσσια ενέργεια. [5]

2.4.4 Γεωθερμική ενέργεια

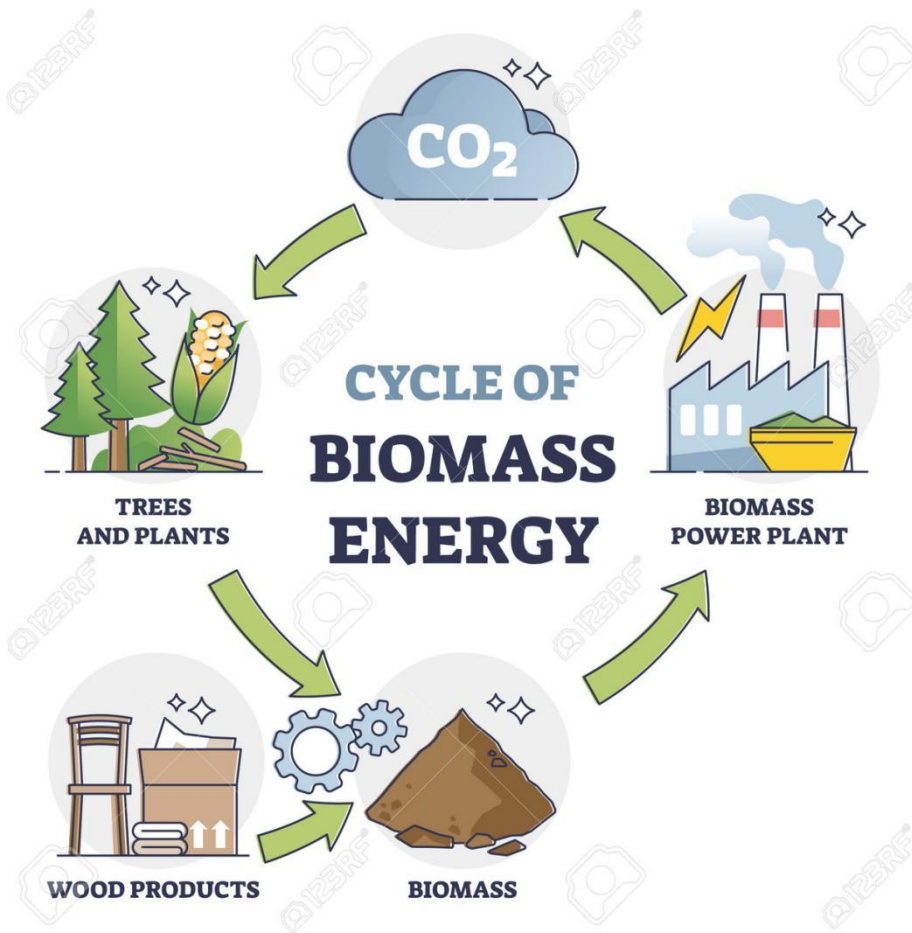
Αξιοποιώντας τη φυσική θερμότητα κάτω από την επιφάνεια της γης, η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση των σπιτιών απευθείας ή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αν και αξιοποιεί μια ισχύ ακριβώς κάτω από τα πόδια μας, η γεωθερμική ενέργεια είναι αμελητέα σημασίας στο Ηνωμένο Βασίλειο σε σύγκριση με χώρες όπως η Ισλανδία, όπου η γεωθερμική θερμότητα είναι πολύ πιο ελεύθερα διαθέσιμη. [5]



Εικόνα 2.120 γεωθερμικός σταθμός Hellisheiði στη νοτιοδυτική Ισλανδία (<https://www.materialsperformance.com/articles/material-selection-design/2017/05/testing-materials-for-corrosion-in-an-icelandic-geothermal-environment>)

2.4.5 Ενέργεια Βιομάζας

Πρόκειται για τη μετατροπή στερεών καυσίμων που παράγονται από φυτικά υλικά σε ηλεκτρική ενέργεια. Αν και βασικά, η βιομάζα περιλαμβάνει την καύση οργανικών υλικών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, και στις μέρες μας αυτή είναι μια πολύ καθαρότερη, πιο ενεργειακά αποδοτική διαδικασία. Μετατρέποντας τα γεωργικά, βιομηχανικά και οικιακά απόβλητα σε στερεά, υγρά και αέρια καύσιμα, η βιομάζα παράγει ενέργεια με πολύ χαμηλότερο οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος.[5]



Εικόνα 2.13 Κύκλος της βιομάζας(https://www.123rf.com/photo_172711954_cycle-of-biomass-energy-as-direct-combustion-in-power-plant-outline-diagram.html)

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

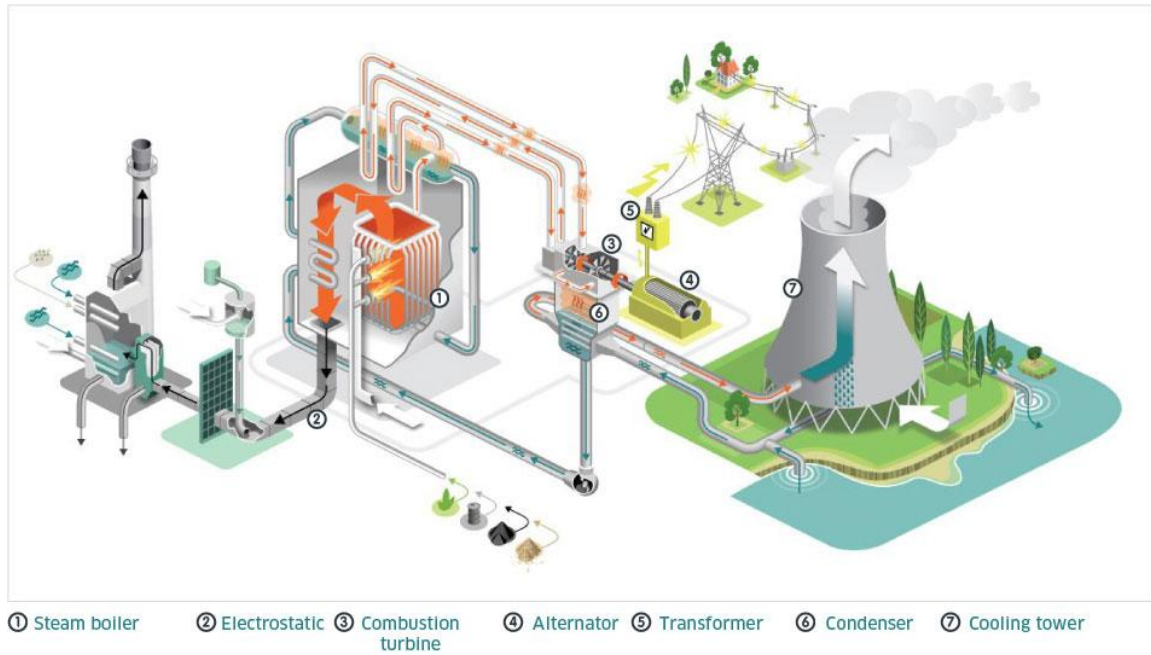
3 ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΗΣ ΛΙΓΝΙΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

3.1 Παραδοσιακοί θερμοηλεκτρικοί σταθμοί

Ονομάζονται επίσης σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής καύσης, λειτουργούν με ενέργεια που παράγεται από λέβητα ατμού που τροφοδοτείται από άνθρακα. Ο ατμός ενεργοποιεί έναν στρόβιλο ο οποίος, με τη σειρά του, οδηγεί έναν εναλλάκτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα μέρη από τα οποία αποτελείται ο σταθμός είναι:[6]

1. Boiler ατμού
2. Ηλεκτροστατικός κατακριμνηστήρας
3. Τουρμπίνα καύσης
4. Εναλλάκτης
5. Μετασχηματιστής
6. Συμπυκνωτής
7. Πύργος ψύξης

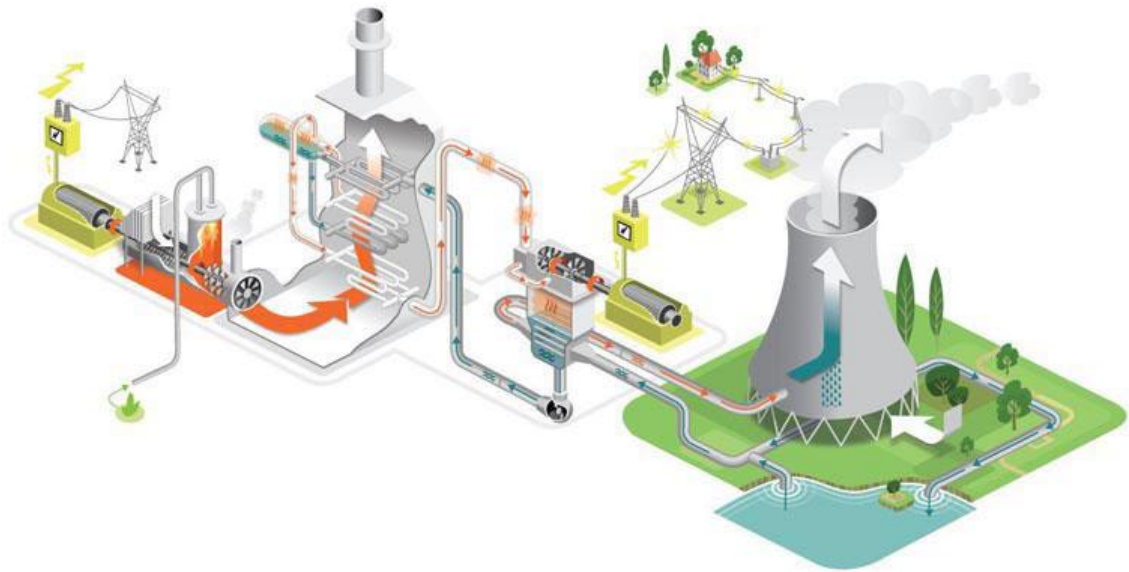


Εικόνα 3.1 Δομή παραδοσιακού θερμοηλεκτρικού σταθμού
<https://www.engie.com/en/activities/thermal-energy/thermal-power-stations>

3.2 Μονάδες ηλεκτροπαραγωγής αερίου συνδυασμένου κύκλου (ή σταθμοί ατμοστρόβιλου αερίου)

Οι σταθμοί αυτοί συνδυάζουν έναν αεριοστρόβιλο και μια παραδοσιακή θερμική μονάδα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αντίθεση με τους συμβατικούς θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, η ενέργεια των αερίων που περισσεύει, χρησιμοποιείται για έναν άλλο κύκλο. Αυτός είναι ένας από τους λόγους για τους οποίους αυτού του είδους οι εγκαταστάσεις είναι πιο αποδοτικές (κατά 56%), πράγμα που σημαίνει επίσης ότι παράγουν χαμηλότερες εκπομπές CO₂ από τις συμβατικές εγκαταστάσεις.[6]

Steam-gas turbine plant



Εικόνα 3.2 Σταθμοί συνδυασμένου κύκλου
(<https://www.engie.com/en/activities/thermal-energy/thermal-power-stations>)

Αρχικά, το αέριο εγχέεται στον στρόβιλο καύσης. Παράγει ατμό, ο οποίος στη συνέχεια τροφοδοτείται σε άλλη τουρμπίνα. Ο στρόβιλος καύσης και ο ατμοστρόβιλος λειτουργούν παράλληλα για να περιστρέφουν έναν ή περισσότερους εναλλάκτες, οι οποίοι παράγουν ηλεκτρική ενέργεια.[7]

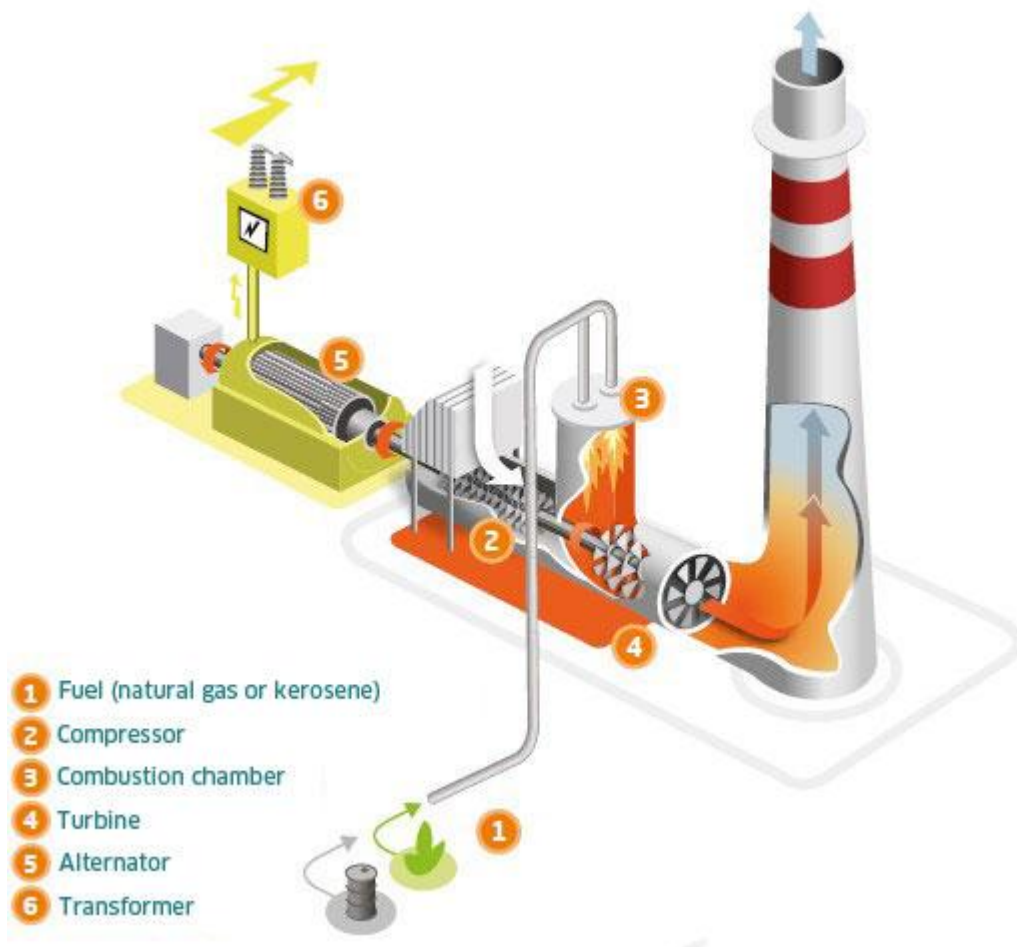
3.3 Ανάκτηση αερίου υψικαμίνου

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί επίσης να επιτευχθεί με ανάκτηση και ανακύκλωση αερίων από την παραγωγή σιδήρου και χάλυβα (αέριο υψικαμίνων, αέριο μονάδας οπτανθρακοποίησης, αέριο εργοστασίων χάλυβα), χρησιμοποιώντας έναν παραδοσιακό λέβητα (μια τεχνολογία συγκρίσιμη με τους παραδοσιακούς θερμοηλεκτρικούς σταθμούς) ή σε λέβητα ανάκτησης θερμότητας σε μονάδα αερίου συνδυασμένου κύκλου.

3.4 Αεριοστρόβιλοι και στροβιλοκινητήρες

Χρησιμοποιούνται κυρίως για τη συμπλήρωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας άλλων θερμικών σταθμών, οι μονάδες αεριοστρόβιλου και στροβιλοκινητήρων μπορούν να αναλάβουν τη

λειτουργία τους πολύ γρήγορα σε περίπτωση βλάβης άλλων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής ή απροσδόκητων κορυφών στην κατανάλωση.[7]

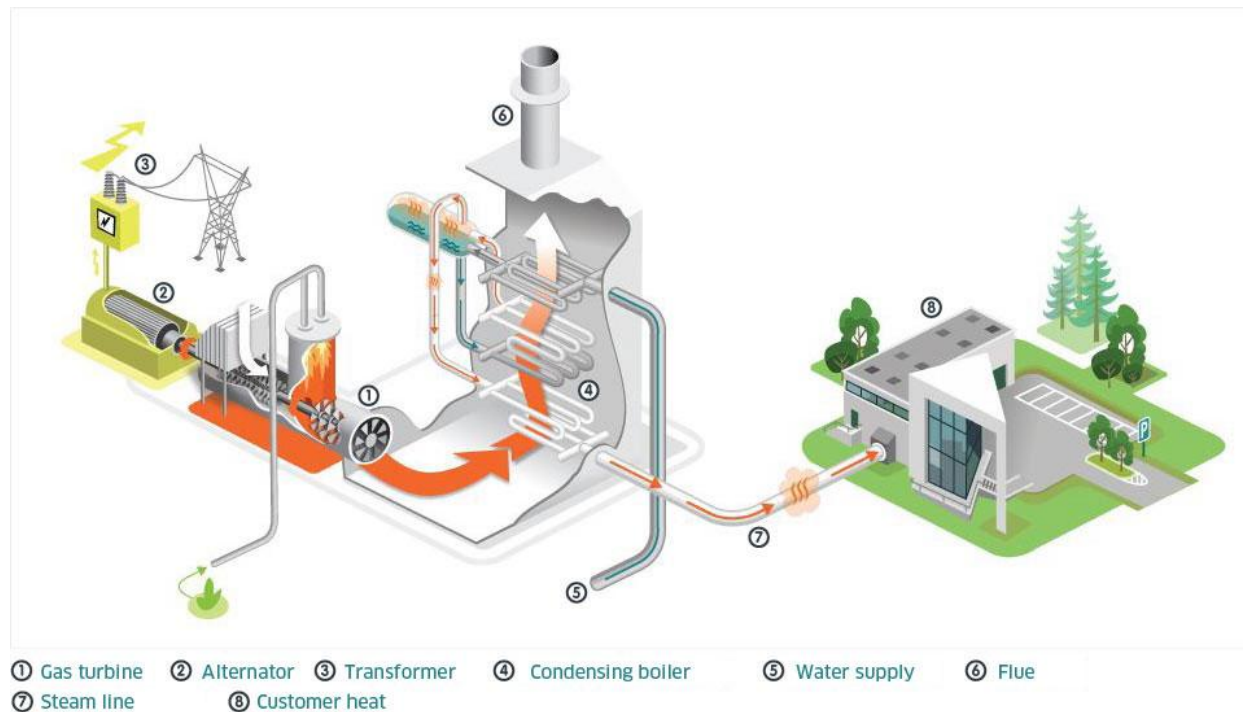


Εικόνα 3.3 Αεριοστρόβιλος και turbojets: ο συμπιεστής τραβάει αέρα, τον συμπιέζει και τον εγχέει στον θάλαμο καύσης. Φυσικό αέριο (αεριοστρόβιλος) ή κηροζίνη (turbojet) εγχέεται στον θάλαμο που θα καεί. Τα θερμά αέρια καύσης περιστρέφουν τον στρόβιλο, ο οποίος οδηγεί έναν εναλλάκτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. (<https://www.engie.com/en/activities/thermal-energy/thermal-power-stations>)

3.5 Μονάδες συμπαραγωγής

Παράγουν θερμότητα (ο κύριος ρόλος τους) ταυτόχρονα με ηλεκτρισμό (ο δευτερεύων ρόλος τους) σε μια ενιαία εγκατάσταση και χρησιμοποιούν ένα μόνο καύσιμο. Είναι μια λύση υψηλής ενεργειακής απόδοσης. Με την ανάκτηση της θερμικής ενέργειας που συνήθως χάνεται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αυτές οι μονάδες είναι

σε θέση να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα με απόδοση κοντά στο 90%, γεγονός που παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον για τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις.[7]



Εικόνα 3.4 Συμπαράγωγή: μια γεννήτρια με αέριο κινεί έναν εναλλάκτη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η θερμότητα που ανακτάται από την ψύξη του κινητήρα και τα αέρια καύσης θερμαίνουν ένα κύκλωμα νερού χάρη στους εναλλάκτες θερμότητας. (<https://www.engie.com/en/activities/thermal-energy/thermal-power-stations>)

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΣΕ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

4.1 Ολοκληρωμένος συνδυασμένος κύκλος αεριοποίησης (Integrated Gasification Combined Cycle IGCC) χωρίς δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα

Η τεχνική IGCC χρησιμοποιεί αέριο και ατμοστρόβιλους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά το αέριο είναι αέριο σύνθεσης (αέριο σύνθεσης, ένα μείγμα κυρίως υδρογόνου [H₂] και μονοξειδίου του άνθρακα [CO]) που παράγεται από τον αεριοποιητή. Οποιαδήποτε πρώτη ύλη με βάση τον άνθρακα μπορεί να αεριοποιηθεί, συμπεριλαμβανομένων ποικίλων υλικών όπως απορρίμματα πλαστικών, υπολείμματα πυθμένα διυλιστηρίων πετρελαίου, αστικά απόβλητα και βιομάζα, αλλά στην πράξη ο άνθρακας και το petcoke (Petroleum coke: Ο οπτάνθρακας πετρελαίου, συντομογραφία οπτάνθρακας ή petcoke, είναι ένα τελικό στερεό υλικό πλούσιο σε άνθρακα που προέρχεται από τη διύλιση πετρελαίου και είναι ένας τύπος της ομάδας καυσίμων που αναφέρονται ως οπτάνθρακες) είναι τα πιο κοινά. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με βάση το IGCC έχει αποδειχθεί ότι είναι οικονομική. Επιπλέον, ο συνδυασμός άλλων υλικών όπως αστικά απόβλητα και πρώτες ύλες βιομάζας σε αυτό το πλαίσιο μπορεί να επιτρέψει στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με βάση το IGCC (ειδικά όταν συνδυάζεται με δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα) να βρει αυξημένο ρόλο στις μελλοντικές οικονομίες υπό αναμενόμενα σενάρια απανθρακοποίησης.[8]



Εικόνα 4.1 Εργοστάσιο Tampa Electric IGCC στη Φλόριντα, ΗΠΑ
(<https://netl.doe.gov/research/Coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/igcc>)

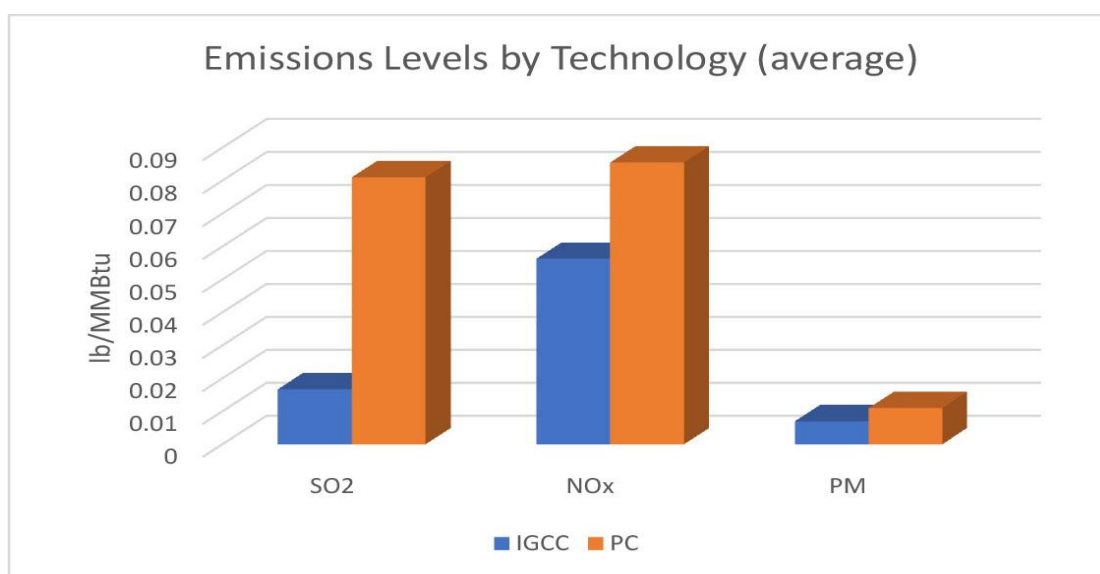
Η ενσωμάτωση του αεριοποιητή, του αεριοστροβίλου και του ατμοστροβίλου (για την ανάκτηση θερμότητας στην εξάτμιση του αεριοστροβίλου) επιτρέπει υψηλές αποδόσεις. Στην πραγματικότητα, τα τρέχοντα σχέδια μπορούν να συναγωνιστούν τις πιο προηγμένες μονάδες κονιοποιημένου άνθρακα σε απόδοση, ενώ η έρευνα και η ανάπτυξη που οδηγούν σε τεχνολογικές προόδους στην ολοκλήρωση, το σχεδιασμό στροβίλων και τις διαδικασίες υποστήριξης ενδέχεται να αυξήσουν ακόμη περισσότερο την απόδοση. Ακολουθεί μια επισκόπηση πρόσθετων πληροφοριών σχετικά με το IGCC, συμπεριλαμβανομένων των τεχνικών πλεονεκτημάτων, των προκλήσεων και των τάσεων της αγοράς.[8]

4.2 Πλεονεκτήματα της τεχνικής IGCC

Οι μονάδες IGCC επωφελούνται από τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αεριοποίησης, ιδιαίτερα τα περιβαλλοντικά οφέλη, την ευκολία δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), την ικανότητα χρήσης ποικίλων πρώτων υλών και την υψηλή απόδοση σε σχέση με άλλες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας.

Για προστασία του περιβάλλοντος από επιβλαβείς ενώσεις που παράγονται κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οι μονάδες κονιοποιημένου άνθρακα (PC:pulverized coal) και φυσικού αερίου συνήθως καθαρίζουν τα καυσαέρια μετά την καύση—αφού τα

καυσαέρια αναμειχθούν με τον αέρα και οι ελεγχόμενες ενώσεις αραιωθούν. Γενικά, όσο λιγότερο συγκεντρωμένες είναι οι ανεπιθύμητες ενώσεις, τόσο πιο δύσκολο είναι να αφαιρεθούν. Στη λειτουργία IGCC, ωστόσο, το αέριο σύνθεσης από τον αεριοποιητή καθαρίζεται πριν από τους αεριοστρόβιλους, όταν είναι σε υψηλή πίεση και πιο συγκεντρωμένο. Ο έλεγχος σωματιδίων είναι ιδιαίτερα αυστηρός λόγω των λειτουργικών απαιτήσεων για τον αεριοστρόβιλο. Αυτό επιτρέπει καθαρότερη λειτουργία από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την τρέχουσα τεχνολογία καύσης Η/Υ (και πολύ πιο καθαρή λειτουργία από παραδοσιακές μονάδες άνθρακα).



Εικόνα 4.2 Σύγκριση μέσων εκπομπών για το διοξείδιο του θείου (SO₂), τα οξείδια του αζώτου (NO_x) και τα σωματίδια (PM) μεταξύ των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής IGCC και κονιοποιημένου άνθρακα (PC, υπερ-και υποκρίσιμου), χωρίς δέσμευση άνθρακα. Τα δεδομένα προέρχονται από το Cost and Performance Baseline for Fossil Energy Plants, Vol. 1, DOE/NETL-2023/4320, Οκτώβριος 2022) (<https://netl.doe.gov/research/Coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/igcc>)

Το συμπυκνωμένο CO₂ στο αέριο σύνθεσης σε υψηλή πίεση κάνει τη δέσμευση CO₂ ευκολότερη σε μια εγκατάσταση αεριοποίησης σε σύγκριση με την απομάκρυνση από ένα αραιό ρεύμα καυσαερίων. Καθώς οι κανονισμοί για τα αέρια του θερμοκηπίου (που περιλαμβάνουν τη δέσμευση και αποθήκευση CO₂) αναμένεται να έχουν έντονο ρόλο στη μελλοντική ενεργειακή πολιτική, η αεριοποίηση και το IGCC μπορούν να διαδραματίσουν βασικό ρόλο στα μελλοντικά

σενάρια απαλλαγής από άνθρακα/καθαρών μηδενικών εκπομπών άνθρακα.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι πρώτες ύλες για αεριοποίηση περιλαμβάνουν τα περισσότερα ανθρακούχα καύσιμα, όπως άνθρακα διαφορετικών βαθμίδων, καθώς και οπτάνθρακες πετρελαίου, πυθμένα διυλιστηρίων, βιομάζα, απόβλητα κ.λπ., αλλά οι περισσότερες εφαρμογές IGCC έχουν επικεντρωθεί σε άνθρακα υψηλής θερμοδικής αξίας για λόγους απόδοσης. Οι περιστάσεις, ωστόσο, μπορούν να αλλάξουν την οικονομική ισορροπία. π.χ. εξετάστε την περίπτωση των στερεών αποβλήτων. Η αεριοποίηση των αποβλήτων στο IGCC απελευθερώνει χώρο υγειονομικής ταφής, μπορεί να ανακτήσει πολύτιμα υλικά και παράγει ηλεκτρική ενέργεια και χρήσιμα υποπροϊόντα. Η αεριοποίηση ενός κλάσματος βιομάζας με άνθρακα μπορεί να παράγει ηλεκτρική ενέργεια με χαμηλότερο αντίκτυπο στην εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα, καθώς η βιομάζα θεωρείται σχεδόν ουδέτερη ως προς τον άνθρακα.

Το IGCC, δεδομένου των ευδιάκριτων διαφορών του από τους συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα, μπορεί να είναι εξίσου ή πιο αποτελεσματικός από τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής Η/Υ. Οι μονάδες IGCC είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για συμπαραγωγή. Ένα εργοστάσιο IGCC θα μπορούσε να παράγει ενέργεια όταν οι τιμές ή οι απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλές, αλλά να εκτρέπει το αέριο σύνθεσης για ένα άλλο προϊόν όπως το υδρογόνο, τα καύσιμα μεταφοράς ή τα χημικά, όπως υπαγορεύουν οι παράγοντες κερδοφορίας.[8]

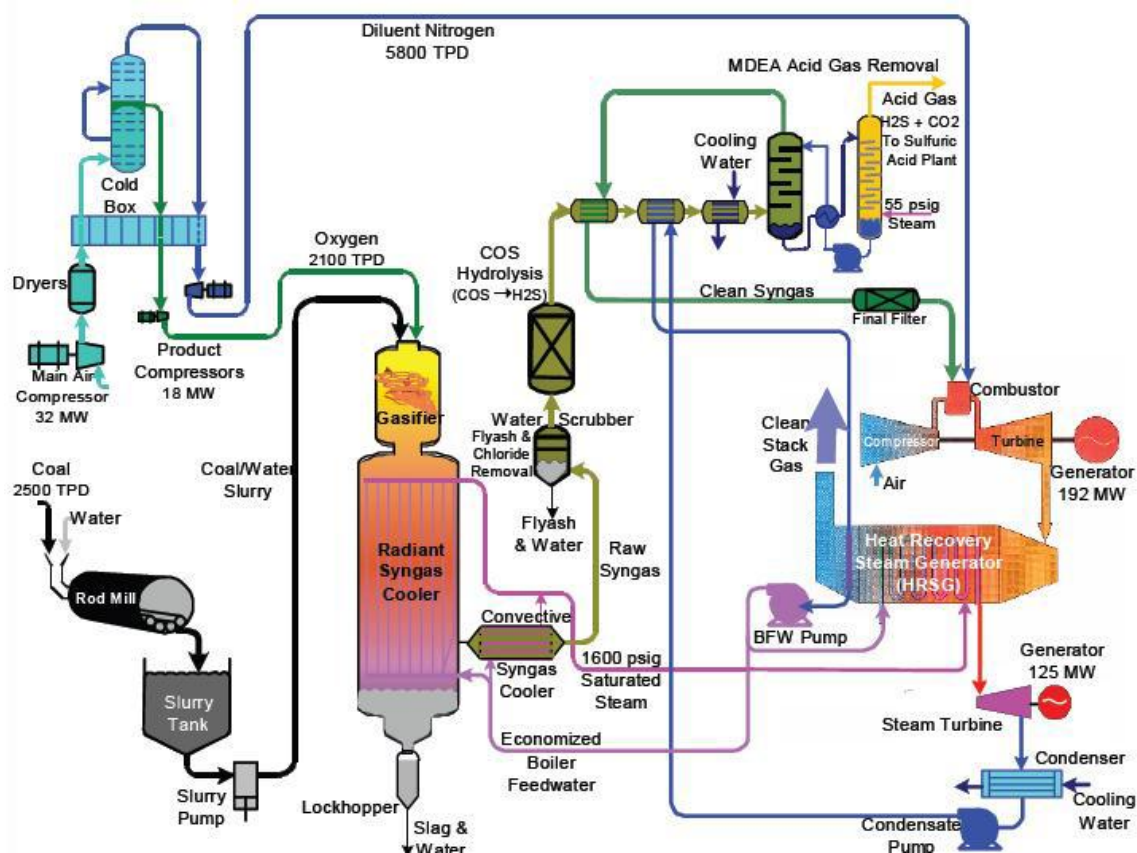
4.3 Προκλήσεις για την ευρεία υιοθέτηση της τεχνολογίας IGCC

Οι προκλήσεις για την ευρεία υιοθέτηση της τεχνολογίας IGCC περιλαμβάνουν κυρίως παράγοντες κόστους και πολιτικής, καθώς και την πολυπλοκότητα των λειτουργιών. Το κόστος αναφέρεται ευρέως ως το μεγαλύτερο εμπόδιο για την αποδοχή του IGCC. Το κόστος κεφαλαίου για το IGCC είναι υψηλό σε σύγκριση με τα εναλλακτικά

σχέδια σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, ιδιαίτερα το NGCC, και η οικονομική βιωσιμότητα συχνά εξαρτάται από επιδοτήσεις ή εκπτώσεις φόρου. Ως σχετικά νέα τεχνολογία σε σχέση με το PC και το NGCC, το κόστος ανάπτυξης και σχεδιασμού είναι υψηλότερο για το IGCC. Η πολυπλοκότητα του IGCC σε σχέση με παλαιότερα, πιο καθιερωμένα σχέδια εγκαταστάσεων μπορεί να αυξήσει το λειτουργικό κόστος και ακόμη και να επηρεάσει τη διαθεσιμότητα και τη δημιουργία κεφαλαίου για την ανάπτυξη των εγκαταστάσεων.[8]

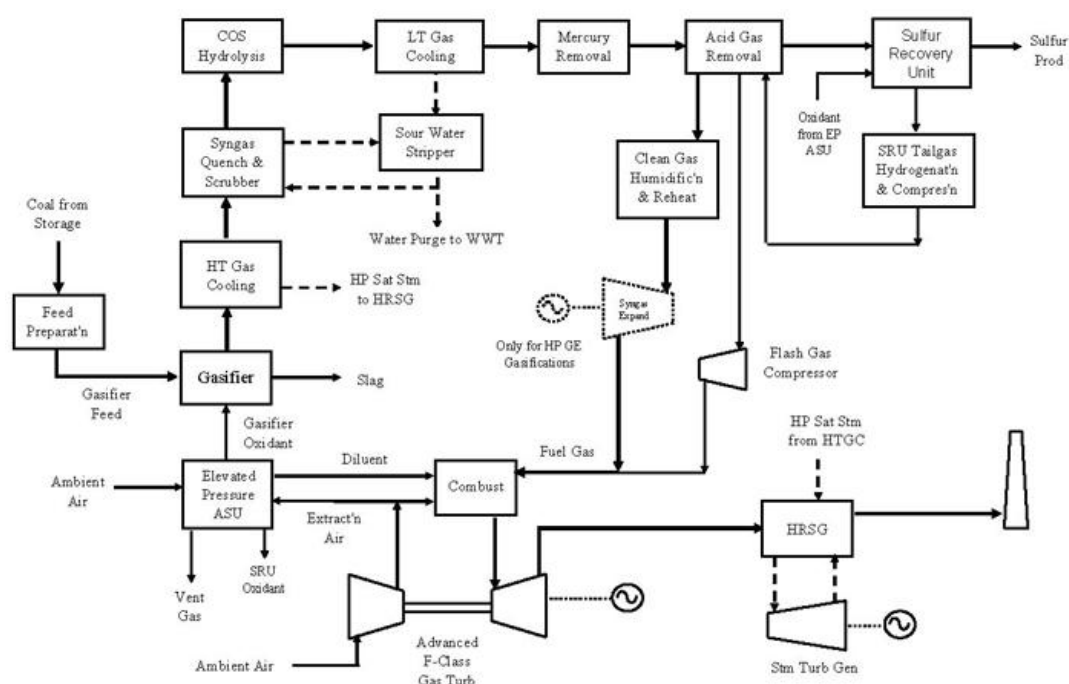
4.4 Τυπική διάταξη σταθμών IGCC

Η Εικόνα 4.1 απεικονίζει τη συνολική διαμόρφωση της διαδικασίας μιας μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας IGCC που βρίσκεται στις Ηνωμένες Πολιτείες, της μονάδας TECO Polk Power Plant Unit 1. Αυτή η μονάδα είναι αρκετά αντιπροσωπευτική των σταθμών IGCC γενικά.



Εικόνα 4.3 Εικόνα 1: Ροή διεργασίας IGCC του εργοστασίου TECO Polk Power Plant Unit 1 (<https://netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/igcc-config>)

Το Διάγραμμα 4.1 δείχνει ένα απλοποιημένο μπλοκ διάγραμμα ροής που απεικονίζει τα κύρια υποσυστήματα διεργασιών που περιλαμβάνονται σε μια τυπική μονάδα IGCC. Φαίνεται μια μονάδα διαχωρισμού αέρα ανυψωμένης πίεσης EP (elevated-pressure) ενσωματωμένη στη λειτουργία του αεριοστροβίλου GT (gas turbine) εξάγοντας μέρος της εκκένωσης του αεροσυμπιεστή GT ως τροφοδοσία για τη μείωση του μεγέθους του αεροσυμπιεστή ASU (air separation unit) και της κατανάλωσης ισχύος. Πολλές μονάδες IGCC, έχουν ενσωμάτωση EP ASU με το GT, όπως απεικονίζεται και στην Εικόνα 4.3 και στο Διάγραμμα 4.1. Το άζωτο χωρίς οξυγόνο από το EP ASU συμπιέζεται πίσω στο GT για τον έλεγχο του οξειδίου του αζώτου (NO_x) και διατήρηση της ροής μάζας μέσω του GT.[9]



Δ1

Διάγραμμα 4.1: Διάγραμμα ροής μπλοκ IGCC (<https://netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/igcc-config>)

4.4.1 Επίδραση δέσμευσης CO₂

Το Διάγραμμα 4.1 αντιπροσωπεύει μια τυπική διάταξη διεργασίας ενός βραχυπρόθεσμου εμπορικού σχεδιασμού IGCC χωρίς δέσμευση CO₂. Η δέσμευση CO₂ επηρεάζει σημαντικά τη συνολική απόδοση του IGCC και τα αποτελέσματα εξετάζονται στη συζήτηση δέσμευση CO₂ πριν από την καύση για εφαρμογή αεριοποίησης.

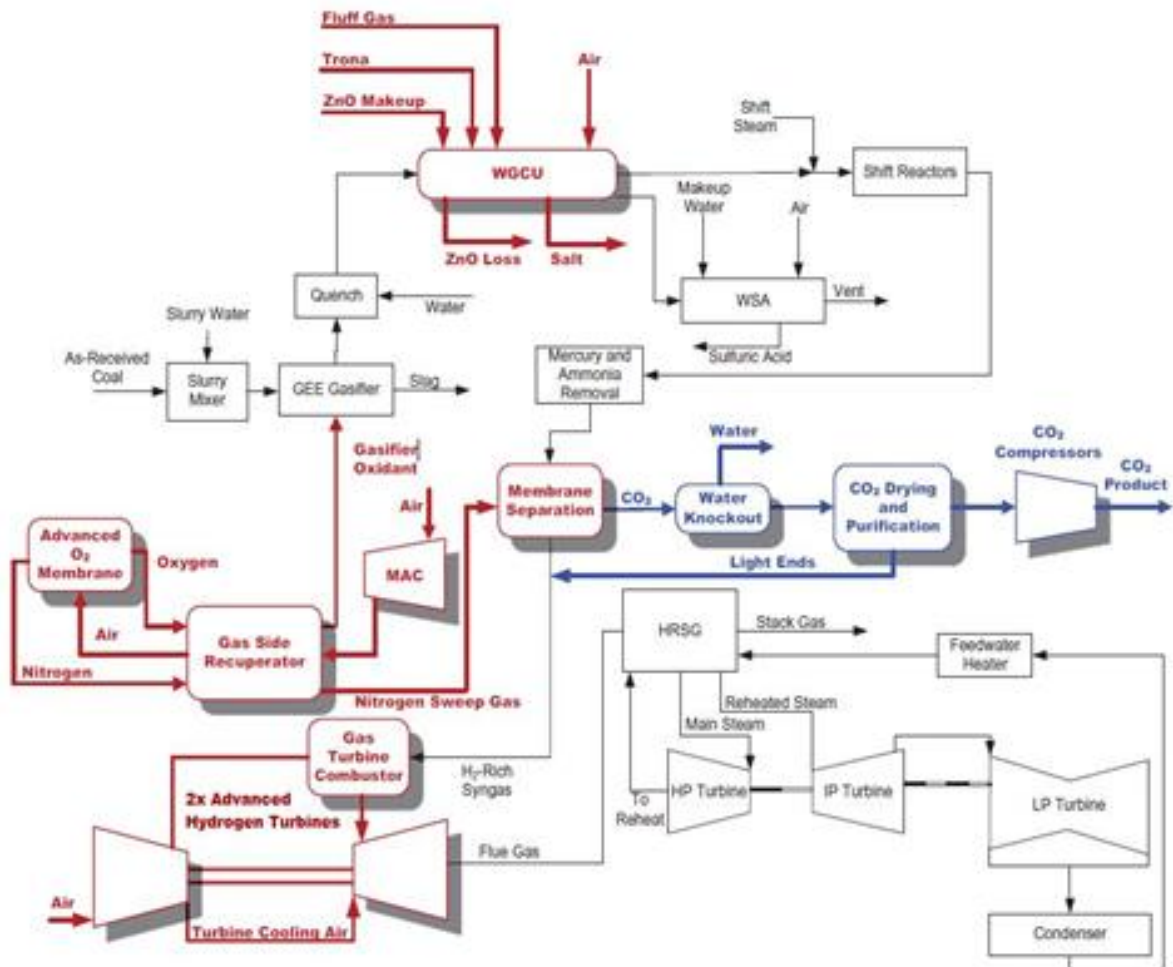
4.5 Εξέλιξη της τεχνολογίας IGCC

Ένας κύκλος IGCC συμπεριλαμβανομένης της δέσμευσης άνθρακα που ενσωματώνει αυτές τις προηγμένες τεχνολογίες απεικονίζεται στην Εικόνα 4.3. Ο αντίκτυπος κάθε τεχνολογίας τόσο στην απόδοση όσο και στο κόστος της διεργασίας αξιολογήθηκε, και ως περίληψη αναμένονται οι ακόλουθες τεχνολογικές εξελίξεις και τα οφέλη τους:[9]

- Προηγμένος στρόβιλος υδρογόνου (AHT:Advanced hydrogen Turbine): Το AHT αντικαθιστά τον υπερσύγχρονο στρόβιλο κατηγορίας F (η κατηγορία F απεικονίζεται στη γραμμή βάσης IGCC στο Διάγραμμα 4.1). Η υψηλότερη θερμοκρασία καύσης (~1455°C) βελτιώνει την απόδοση της διεργασίας και έχει ως αποτέλεσμα αύξηση ~45% στην παραγωγή αεριοστροβίλου, επιβάλλοντας αυξημένους ρυθμούς ροής όπως η εισαγωγή άνθρακα και ενισχύοντας σημαντικά την ικανότητα ισχύος. Οι μονάδες των εγκαταστάσεων είναι μεγαλύτερες για να ανταποκρίνονται στις αυξήσεις, με αποτέλεσμα οικονομίες κλίμακας που επιφέρουν μειώσεις του κόστους ανά μονάδα κεφαλαίου. Ποσοτικά, η αναβάθμιση του στροβίλου μειώνει το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας 14,5% και αυξάνει την απόδοση της διαδικασίας κατά 3 ποσοστιαίες μονάδες.
- Μεμβράνη μεταφοράς ιόντων (ITM: Ion transport membrane) για παραγωγή οξυγόνου : Η μονάδα οξυγόνου που βασίζεται σε ITM αντικαθιστά τον συμβατικό αεροσυμπιεστή ASU. Το ITM παρέχει πιο ενεργειακά αποδοτικό διαχωρισμό από το ASU, αλλά το βοηθητικό καθήκον για τη συμπίεση του αέρα εισόδου και το οξυγόνο χαμηλής πίεσης έχει ως αποτέλεσμα την καθαρή κατανάλωση ενέργειας παρόμοια με του ASU. Το σημαντικό πλεονέκτημα του ITM είναι ότι το στοχευμένο κόστος είναι περίπου τα δύο τρίτα του ASU, γεγονός που μειώνει σημαντικά το κόστος κεφαλαίου και οδηγεί σε μείωση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας κατά 3%. Οι διαμορφώσεις συμπεριλαμβανομένης της ενσωμάτωσης στην πλευρά του αέρα

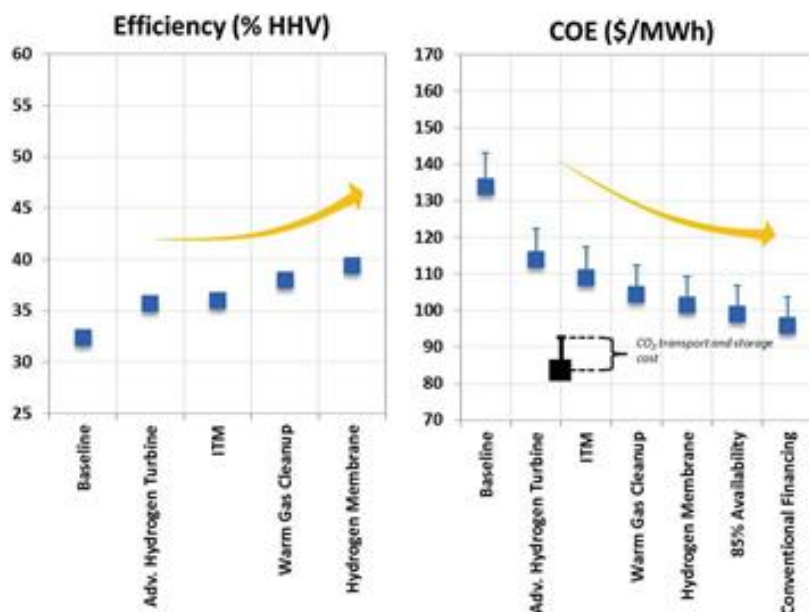
με τον στρόβιλο αναμένεται να αυξήσουν περαιτέρω την απόδοση και τα οφέλη κόστος ηλεκτρικής ενέργειας του ITM.

- Καθαρισμός θερμού αερίου (WGCU: Warm gas clean up): Αυτό το σύστημα αντικαθιστά το στάδιο αποθείωσης, τη διαδικασία αφαίρεσης υδραργύρου, τον αντιδραστήρα μετατόπισης νερού-αερίου, εκτελώντας όλες αυτές τις λειτουργίες σε υψηλές θερμοκρασίες που επιτρέπει τον καθαρισμό του αερίου σύνθεσης χωρίς τη σχετική μείωση αποδοτικότητα από την ψύξη και την αναθέρμανση του ρεύματος αερίου καυσίμου. Η εφαρμογή του συστήματος διεργασίας WGCU έχει ως αποτέλεσμα μια αύξηση κατά 2 ποσοστιαίες μονάδες στην καθαρή απόδοση της εγκατάστασης, η οποία είναι ως επί το πλείστον αποτέλεσμα της αυξημένης παραγωγής ενέργειας από τον ατμοστρόβιλο μέσω της αυξημένης ανάκτησης θερμότητας από τη διαδικασία. Πραγματοποιείται επίσης μείωση 4% στο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας.
- Μεμβράνη υδρογόνου για δέσμευση πριν από την καύση : Η μεμβράνη 100% υδρογόνου με βάση το παλλάδιο αντικαθιστά το στάδιο για τη δέσμευση CO₂ από το αέριο σύνθεσης. Η χρήση της μεμβράνης παλλαδίου βελτιώνει την αποδοτικότητα της εγκατάστασης κατά 1,4 ποσοστιαίες μονάδες κυρίως από το χαμηλότερο κόστος συμπίεσης του CO₂. Το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας μειώνεται περαιτέρω κατά 3%, και πάλι κυρίως λόγω του χαμηλότερου κόστους συμπίεσης.



Εικόνα 4.4 Προηγμένη μονάδα IGCC που ενσωματώνει προηγμένες τεχνολογίες (<https://netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/igcc-config>)

Η επιτυχής εφαρμογή και ενσωμάτωση όλων αυτών των προηγμένων τεχνολογιών επιτρέπει μια εκτιμώμενη αύξηση της απόδοσης κατά 7,0 ποσοστιαίες μονάδες, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.2. Σε συνδυασμό με την αυξημένη διαθεσιμότητα και τη βελτιωμένη δομή χρηματοδότησης, μείωση κατά 28% του κόστος ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με την κατάσταση Έχει επίσης εκτιμηθεί το υπερσύγχρονο εργοστάσιο IGCC δέσμευσης άνθρακα.[10]



Διάγραμμα 4.2 Σφραγιστικός αντίκτυπος της προηγμένης τεχνολογίας IGCC στην καθαρή απόδοση των εγκαταστάσεων και στο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (COE) (<https://netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/igcc-config>)

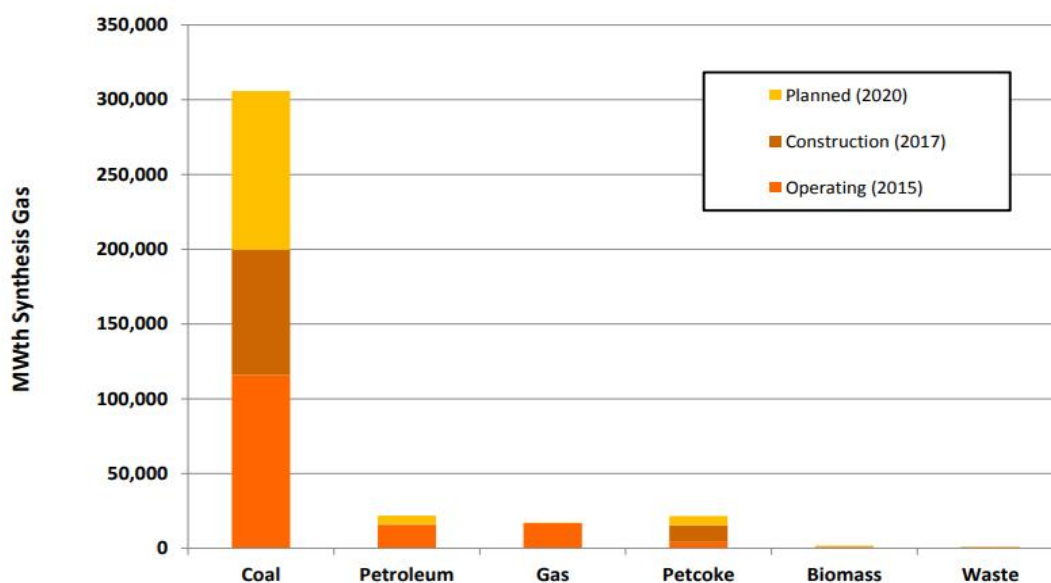
4.6 Άνθρακας και βιομάζα -

Όσο σημαντικός κι αν είναι ο άνθρακας ως πρωτογενής πρώτη ύλη αεριοποίησης, η τεχνολογία αεριοποίησης προσφέρει τη σημαντική ικανότητα λήψης ενός ευρέος φάσματος πρώτων υλών και επεξεργασίας τους σε αέριο σύνθεσης, από το οποίο είναι δυνατός ένας παρόμοιος διαφορετικός αριθμός τελικών προϊόντων. Οι αεριοποιητές έχουν αναπτυχθεί για να ταιριάζουν σε όλες τις διαφορετικές σειρές άνθρακα και άλλων ορυκτών καυσίμων, ρευμάτων petcoke και δυλιστηρίων, βιομάζας συμπεριλαμβανομένων των γεωργικών απορριμμάτων και βιομηχανικών και αστικών απορριμμάτων. Η ευελιξία πηγάζει από την ικανότητα αεριοποίησης να λαμβάνει οποιαδήποτε πρώτη ύλη που περιέχει άνθρακα και υδρογόνο και στη συνέχεια να διασπά θερμοχημικά την πρώτη ύλη σε ένα αέριο που περιέχει απλές ενώσεις που είναι εύκολο να επεξεργαστούν σε πολλά εμπορεύσιμα προϊόντα.

Το κλειδί για την περαιτέρω αύξηση της προσαρμοστικότητας της τεχνολογίας αεριοποίησης για οποιαδήποτε πρώτη ύλη είναι η συνέχιση της έρευνας και ανάπτυξης σχετικά με τις τεχνολογίες προεπεξεργασίας πρώτης ύλης και το σχεδιασμό αεριοποιητών. Η

έρευνα σε αυτούς τους τομείς θα ελαχιστοποιήσει το κόστος καυσίμων σε μια εγκατάσταση αεριοποίησης, επιπλέον θα δώσει στα εργοστάσια τη γνώση να επεκτείνουν τις επιλογές εφοδιασμού καυσίμων και να κάνουν επιλογές με βάση τις συνθήκες της αγοράς. Οι αεριοποιητές μπορούν να σχεδιαστούν για να χειρίζονται μια μεγάλη ποικιλία πρώτων υλών. Ωστόσο, απαιτείται καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του αεριοποιητή για να βελτιστοποιηθεί ο έλεγχος των ιδιοτήτων του αερίου σύνθεσης με βάση ποικίλες πρώτες ύλες. Αυτή η κατανόηση θα αποκτηθεί καθώς υπάρχουν περισσότερα επιχειρησιακά δεδομένα, ώστε να επιτραπεί στις εγκαταστάσεις να ελέγχουν πιο προσεκτικά το κόστος των καυσίμων εν μέσω μεταβαλλόμενων συνθηκών διαθεσιμότητας καυσίμων.[11]

Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει την παγκόσμια ικανότητα αεριοποίησης και την προγραμματισμένη ανάπτυξη ανά πρώτη ύλη έως το 2016.



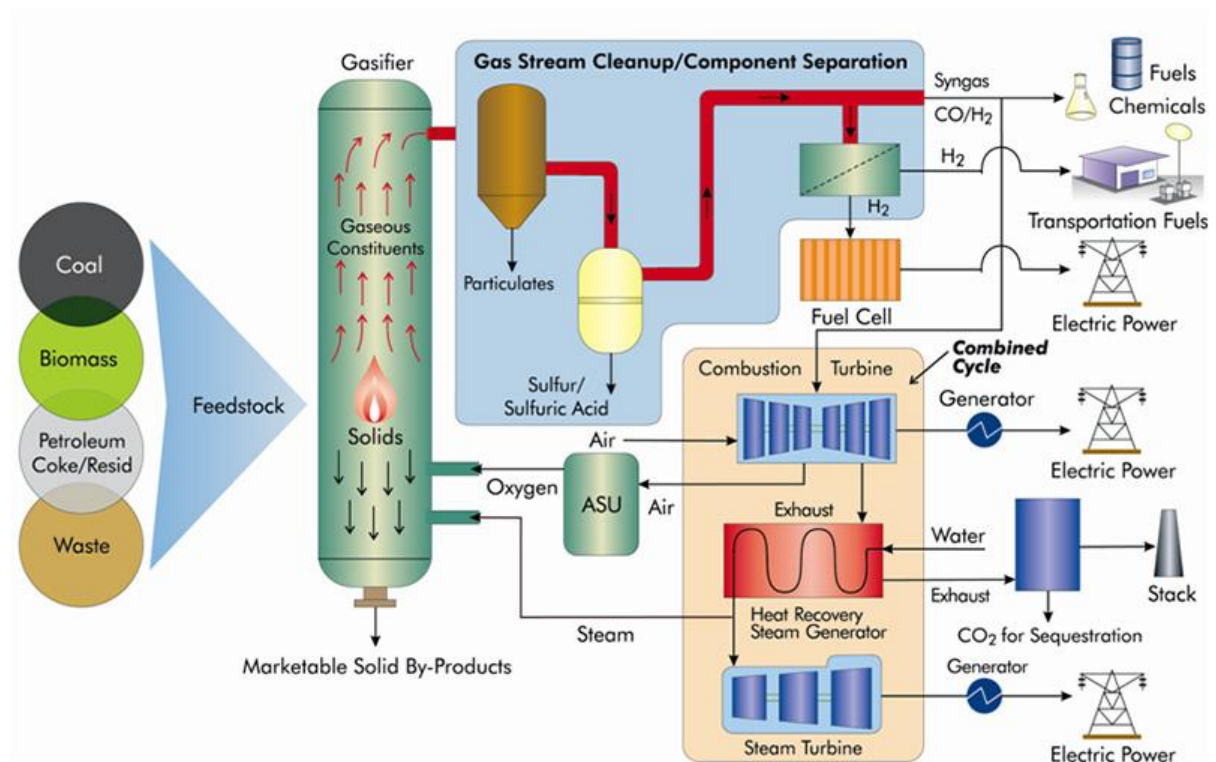
Διάγραμμα 4.3 Παγκόσμια ικανότητα αεριοποίησης και προγραμματισμένη ανάπτυξη (<https://netl.doe.gov/research/Coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/feedstock>)

4.7 Η διαδικασία της αεριοποίησης

Η αεριοποίηση είναι μια τεχνολογική διαδικασία που μπορεί να μετατρέψει οποιαδήποτε ανθρακούχα (με βάση τον άνθρακα) πρώτη ύλη, όπως ο άνθρακας σε καύσιμο αέριο, γνωστό και ως αέριο σύνθεσης (σύνθεση για συντομία). Η αεριοποίηση συμβαίνει σε έναν αεριοποιητή, γενικά ένα δοχείο υψηλής θερμοκρασίας/πίεσης όπου το οξυγόνο (ή ο αέρας) και ο ατμός έρχονται σε άμεση επαφή με τον άνθρακα ή άλλο υλικό τροφοδοσίας προκαλώντας μια σειρά χημικών αντιδράσεων που μετατρέπουν την τροφοδοσία σε αέριο σύνθεσης και τέφρα/σκωρία, δηλαδή υπολείμματα ορυκτών). Το Syngas ονομάζεται έτσι λόγω της ιστορίας του ως ενδιάμεσο στην παραγωγή συνθετικού φυσικού αερίου. Αποτελείται κυρίως από άχρωμα, άοσμα, πολύ εύφλεκτα αέρια μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και υδρογόνο (H₂), το syngas έχει ποικίλες χρήσεις. Το αέριο σύνθεσης μπορεί περαιτέρω να μετατραπεί (ή να μετατοπιστεί) σε τίποτα άλλο εκτός από υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) προσθέτοντας ατμό και αντιδρώντας πάνω από έναν καταλύτη σε έναν αντιδραστήρα μετατόπισης νερού-αερίου. Όταν καίγεται το υδρογόνο, δεν δημιουργεί τίποτα άλλο εκτός από θερμότητα και νερό, με αποτέλεσμα τη δυνατότητα δημιουργίας ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς διοξείδιο του άνθρακα στα καυσαέρια. Επιπλέον, το υδρογόνο που παράγεται από άνθρακα ή άλλα στερεά καύσιμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διύλιση του πετρελαίου ή για την παραγωγή προϊόντων όπως η αμμωνία και τα λιπάσματα. Το πιο σημαντικό, το εμπλουτισμένο με υδρογόνο αέριο σύνθεσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βενζίνης και καυσίμου ντίζελ. Μονάδες πολυπαραγωγής που παράγουν πολλαπλά προϊόντα είναι μοναδικά δυνατές με τις τεχνολογίες αεριοποίησης. Το διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να δεσμευτεί αποτελεσματικά από το αέριο σύνθεσης, αποτρέποντας την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα και επιτρέποντας τη χρησιμοποίησή του ή την ασφαλή αποθήκευση.

Η αεριοποίηση προσφέρει μια εναλλακτική σε πιο καθιερωμένους τρόπους μετατροπής πρώτων υλών όπως ο άνθρακας, η βιομάζα και

ορισμένα ρεύματα αποβλήτων σε ηλεκτρική ενέργεια και άλλα χρήσιμα προϊόντα. Τα πλεονεκτήματα της αεριοποίησης σε συγκεκριμένες εφαρμογές και συνθήκες, ιδιαίτερα στην καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από άνθρακα, μπορεί να την καταστήσουν όλο και πιο σημαντικό μέρος των παγκόσμιων ενεργειακών και βιομηχανικών αγορών. Η σταθερή τιμή και η άφθονη προσφορά άνθρακα σε όλο τον κόσμο τον καθιστούν την κύρια επιλογή πρώτης ύλης για τις τεχνολογίες αεριοποίησης στο μέλλον. Οι αγορές τοποθέτησης της τεχνολογίας σε σχέση με πολλούς τεχνοοικονομικούς και πολιτικούς παράγοντες, όπως το κόστος, η αξιοπιστία, η διαθεσιμότητα και η συντηρησιμότητα, οι περιβαλλοντικές εκτιμήσεις, η απόδοση, η πρώτη ύλη και η ευελιξία προϊόντων, η εθνική ενεργειακή ασφάλεια, η δημόσια και κυβερνητική αντίληψη και πολιτική και υποδομές θα καθορίσει εάν η αεριοποίηση αξιοποιεί ή όχι το πλήρες δυναμικό της στην αγορά.[11]

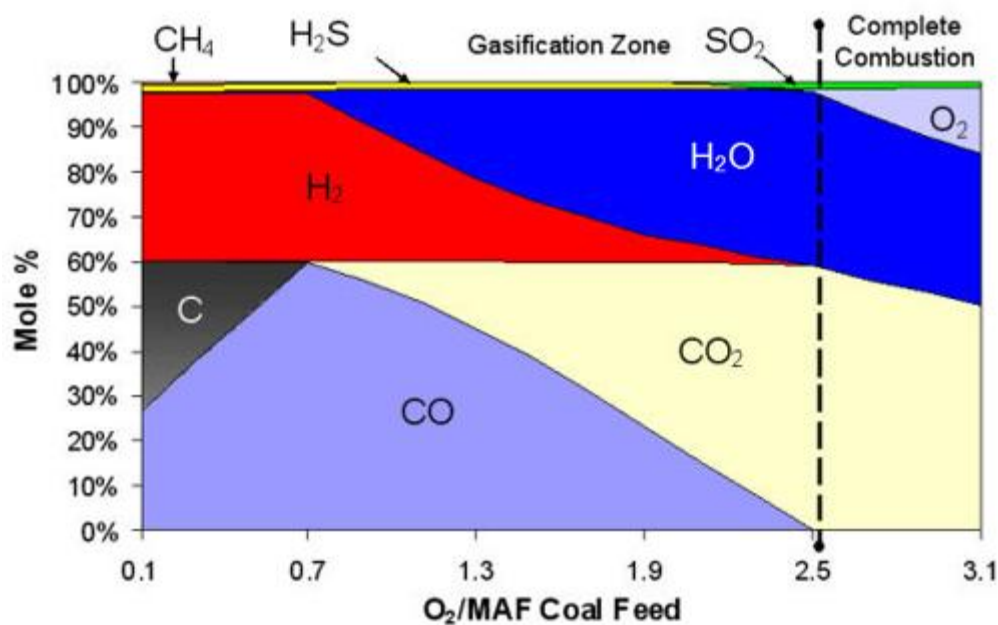


Εικόνα 4.5 Διαδικασία αεριοποίησης για τον άνθρακα
<https://netl.doe.gov/research/Coal/energy-systems/gasification/gasifedia/intro-to-gasification>)

Η παραπάνω εικόνα είναι μια αναπαράσταση μιας διαδικασίας αεριοποίησης για τον άνθρακα, που απεικονίζει τόσο την ευελιξία πρώτης ύλης που είναι εγγενής στην αεριοποίηση, όσο και το ευρύ φάσμα προϊόντων και τη χρησιμότητα της τεχνολογίας αεριοποίησης.

4.7.1 Βασική αρχή αεριοποίησης

Η αεριοποίηση είναι μια διαδικασία μερικής οξείδωσης. Ο όρος μερική οξείδωση είναι ένας σχετικός όρος που σημαίνει απλώς ότι χρησιμοποιείται λιγότερο οξυγόνο στην αεριοποίηση από ό,τι θα χρειαζόταν για την καύση (δηλ. καύση ή πλήρη οξείδωση) της ίδιας ποσότητας καυσίμου. Η αεριοποίηση χρησιμοποιεί συνήθως μόνο το 25 έως 40 τοις εκατό του θεωρητικού οξειδωτικού (είτε καθαρού οξυγόνου είτε αέρα) για να δημιουργήσει αρκετή θερμότητα για να αεριοποιήσει το υπόλοιπο μη οξειδωμένο καύσιμο, παράγοντας αέριο σύνθεσης. Τα κύρια εύφλεκτα προϊόντα αεριοποίησης είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και το υδρογόνο (H₂), με μια μικρή μόνο ποσότητα του άνθρακα να οξειδώνεται πλήρως σε διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και νερό. Η θερμότητα που απελευθερώνεται από τη μερική οξείδωση παρέχει το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που απαιτείται για τη διάσπαση των χημικών δεσμών στην πρώτη ύλη, για την κίνηση των άλλων ενδόθερμων αντιδράσεων αεριοποίησης και για την αύξηση της θερμοκρασίας των τελικών προϊόντων αεριοποίησης[12]



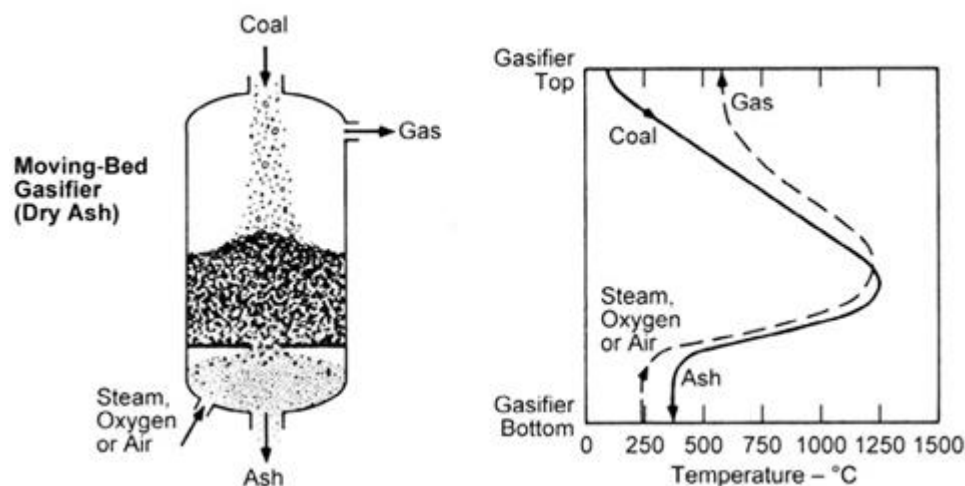
Διάγραμμα 4.4 Διαδικασία αεριοποίησης (<https://netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/gasifier-intro>)

4.8 Τύποι αεριοποιητών

Αν και υπάρχουν διάφοροι τύποι αεριοποιητών (αντιδραστήρες αεριοποίησης), διαφορετικοί ως προς το σχεδιασμό και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά, υπάρχουν τρεις κύριες ταξινομήσεις αεριοποιητών στις οποίες εμπίπτουν οι περισσότεροι από τους εμπορικά διαθέσιμους αεριοποιητές. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι εξής:[13]

- Αεριοποιητές σταθερής κλίνης (ονομάζονται επίσης αεριοποιητές κινητής κλίνης)
- Αεριοποιητές συμπαρασυρόμενης ροής
- Αεριοποιητές ρευστοποιημένης κλίνης

4.8.1 Αεριοποιητές σταθερής ή κινούμενης κλίνης



Εικόνα 4.6 Αεριοποιητής σταθερής ή κινούμενης κλίνης
(<https://netl.doe.gov/research/Coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/fmb>)

Οι αεριοποιητές σταθερής ή κινούμενης κλίνης λειτουργούν συνήθως σε μέτριες πιέσεις (25-30 ατμόσφαιρες). Οι πρώτες ύλες με τη μορφή μεγάλων σωματιδίων άνθρακα φορτώνονται στην κορυφή του δοχείου αεριοποιητή με πυρίμαχη επένδυση και κινούνται αργά προς τα κάτω μέσω της κλίνης, ενώ αντιδρούν με αέριο υψηλής περιεκτικότητας σε οξυγόνο που εισάγεται στο κάτω μέρος του αεριοποιητή που ρέει αντίθετα προς τα πάνω στον αεριοποιητή. Η βασική διαμόρφωση είναι η ίδια όπως φαίνεται στην κοινή υψικάμινο.

Οι αντιδράσεις εντός του αεριοποιητή συμβαίνουν σε διαφορετικές "ζώνες". Στη «ζώνη ξήρανσης» στο πάνω μέρος του αεριοποιητή, ο εισερχόμενος άνθρακας θερμαίνεται και ξηραίνεται, ενώ ψύχεται το αέριο προϊόντος προτού φύγει από τον αντιδραστήρα. Ο άνθρακας θερμαίνεται περαιτέρω και απααιρώνεται από το αέριο υψηλότερης θερμοκρασίας καθώς κατεβαίνει μέσω της «ζώνης ανθρακοποίησης». Στην επόμενη ζώνη, τη «ζώνη αεριοποίησης», ο απαεριωμένος άνθρακας αεριοποιείται με αντίδραση με ατμό και διοξείδιο του άνθρακα. Κοντά στον πυθμένα του αεριοποιητή, στη «ζώνη καύσης», που λειτουργεί στην υψηλότερη θερμοκρασία, το οξυγόνο αντιδρά με το εναπομείναν κάρβουνο.

Οι αεριοποιητές κινούμενης κλίνης λειτουργούν σε δύο διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας. Στον τρόπο λειτουργίας ξηρής τέφρας (π.χ. αεριοποιητής ξηρής τέφρας Lurgi), η θερμοκρασία μετριάζεται κάτω από τη θερμοκρασία σκωρίας τέφρας με αντίδραση του απανθρακώματος με περίσσεια ατμού. Η τέφρα κάτω από τη ζώνη καύσης ψύχεται από τον εισερχόμενο ατμό και το οξειδωτικό (οξυγόνο ή αέρα) και παράγεται ως στερεή τέφρα. Στον τρόπο λειτουργίας σκωρίας (π.χ. αεριοποιητής British Gas/Lurgi ή BGL), χρησιμοποιείται πολύ λιγότερος ατμός, και ως αποτέλεσμα, επιτυγχάνεται πολύ υψηλότερη θερμοκρασία στη ζώνη καύσης, λιώνοντας την τέφρα και παράγοντας σκωρία.

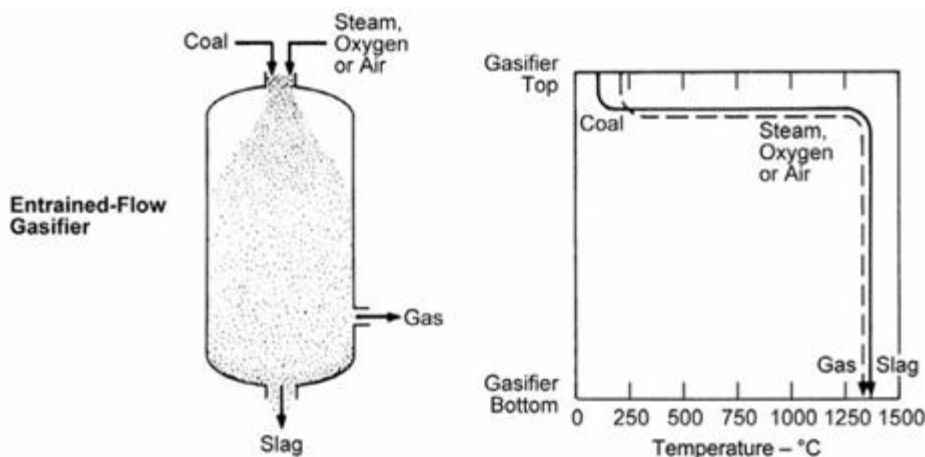
Η περιεκτικότητα σε υγρασία του καυσίμου είναι ο κύριος παράγοντας που καθορίζει τη θερμοκρασία του αερίου εκκένωσης. Ο λιγνίτης, ο οποίος έχει πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, παράγει ακατέργαστο αέριο σε θερμοκρασία περίπου 316°F. Ο ασφατικός άνθρακας χαμηλότερης υγρασίας παράγει θερμοκρασίες αερίου πάνω από 538°F. Τυπικά, το αέριο προϊόντος που εξέρχεται από τον αεριοποιητή σβήνει με άμεση επαφή με ανακυκλωμένο νερό για να συμπυκνωθεί και να αφαιρεθούν οι πίσσα και τα έλαια. Μετά την απόσβεση, η θερμότητα μπορεί να ανακτηθεί από το αέριο με τη δημιουργία ατμού χαμηλής πίεσης.

Οι αεριοποιητές κινητής κλίνης έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:[13]

- Απλότητα διαμόρφωσης και λειτουργίας αεριοποιητή
- Υψηλή απόδοση εξοπλισμού
- Σχετικά χαμηλή απαίτηση σε οξειδωτικά (οξυγόνο ή αέρας).
- Λιγότερο περίπλοκη προετοιμασία πρώτης ύλης με τη χρήση χονδροειδών σωματιδίων άνθρακα
- Αέριο προϊόντος σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, επομένως δεν χρειάζεται ακριβός εξοπλισμός ανάκτησης θερμότητας σε υψηλή θερμοκρασία
- Ευελιξία πρώτης ύλης: κατάλληλο για χειρισμό άνθρακα με υψηλή αντιδραστικότητα και υγρασία

- Υψηλή θερμική απόδοση «ψυχρού αερίου», όταν λαμβάνεται υπόψη η θερμαντική αξία των παραγόμενων υγρών υδρογονανθράκων
- Υψηλή περιεκτικότητα σε μεθάνιο στο προϊόν αέριο
- Περιορισμένη ικανότητα χειρισμού προστίμων άνθρακα
- Τα κάρβουνα σχηματισμού συσσωματωμάτων απαιτούν τροποποιήσεις σχεδιασμού στον αεριοποιητή
- Ο μεγάλος χρόνος παραμονής της πρώτης ύλης σε αεριοποιητές και χαρακτηριστικά ροής σκωρίας απαιτούν προσεκτικά ελεγχόμενη κατανομή μεγέθους τροφοδοσίας για σωστή λειτουργία
- Παράγονται υγρά υδρογονάνθρακα όπως πίσσα και λάδια. αυξημένη προσπάθεια καθαρισμού του παραγόμενου αερίου εάν χρησιμοποιείται για άλλες εφαρμογές εκτός από την άμεση θέρμανση
- Κίνδυνος έκρηξης χωρίς προσεκτική παρακολούθηση της διαδικασίας

4.8.2 Αεριοποιητές συμπαρασυρόμενης ροής



Εικόνα 4.7 Αεριοποιητής συμπαρασυρόμενης κλίνης
<https://netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/entrainedflow>

Στους αεριοποιητές συμπαρασυρόμενης ροής, η τροφοδοσία λεπτού άνθρακα και το οξειδωτικό (αέρας ή οξυγόνο) ή/και ατμός τροφοδοτούνται ταυτόχρονα στον αεριοποιητή. Αυτό έχει ως

αποτέλεσμα το οξειδωτικό και ο ατμός να περιβάλλουν ή να συμπαρασύρουν τα σωματίδια άνθρακα καθώς ρέουν μέσω του αεριοποιητή σε ένα πυκνό νέφος. Οι αεριοποιητές συμπαρασυρόμενης ροής λειτουργούν σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση —και εξαιρετικά τυρβώδη ροή— η οποία προκαλεί ταχεία μετατροπή τροφοδοσίας και επιτρέπει υψηλή απόδοση. Οι αντιδράσεις αεριοποίησης συμβαίνουν με πολύ υψηλό ρυθμό (ο τυπικός χρόνος παραμονής είναι της τάξης των λίγων δευτερολέπτων), με υψηλές αποδόσεις μετατροπής άνθρακα (98-99,5%). Η πίσσα, το λάδι, οι φαινόλες και άλλα υγρά που παράγονται από την αποπρωματοποίηση του άνθρακα μέσα στον αεριοποιητή αποσυντίθενται σε υδρογόνο (H_2), μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και μικρές ποσότητες ελαφρών αερίων υδρογονανθράκων. Οι αεριοποιητές συμπαρασυρόμενης ροής έχουν την ικανότητα να χειρίζονται σχεδόν οποιαδήποτε πρώτη ύλη άνθρακα και να παράγουν ένα καθαρό αέριο σύνθεσης χωρίς πίσσα. Δεδομένων των υψηλών θερμοκρασιών λειτουργίας, αεριοποιητές αυτού του τύπου λιώνουν την τέφρα άνθρακα σε υαλώδη αδρανή σκωρία.

Η τροφοδοσία λεπτού άνθρακα μπορεί να τροφοδοτηθεί στον αεριοποιητή είτε σε ξηρή είτε σε ιλυώδη μορφή. Το πρώτο χρησιμοποιεί σύστημα χοάνης κλειδώματος, ενώ το δεύτερο βασίζεται στη χρήση αντλιών πολτού υψηλής πίεσης. Η τροφοδοσία του πολτού είναι μια απλούστερη λειτουργία, αλλά εισάγει νερό στον αντιδραστήρα το οποίο πρέπει να εξατμιστεί. Το αποτέλεσμα αυτού του πρόσθετου νερού είναι ένα προϊόν σύνθεσης αερίου με υψηλότερη αναλογία H_2 προς CO, αλλά με χαμηλότερη θερμική απόδοση αεριοποιητή. Το σύστημα προετοιμασίας ζωοτροφών πρέπει να αξιολογηθεί μαζί με άλλες εναλλακτικές λύσεις σχεδιασμού διαδικασίας για μια συγκεκριμένη εφαρμογή.

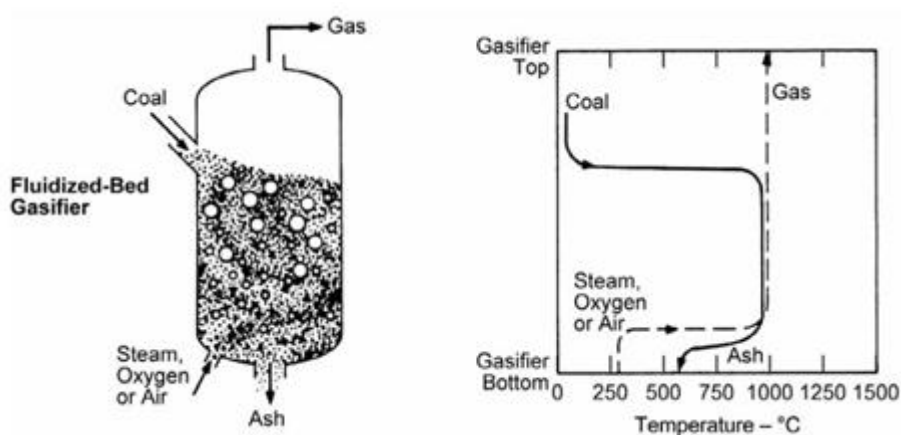
Οι υψηλές θερμοκρασίες που εμπλέκονται σε αυτόν τον τύπο αεριοποίησης τείνουν να μειώνουν τη διάρκεια ζωής των εξαρτημάτων του συστήματος, συμπεριλαμβανομένου του πυρίμαχου δοχείου αεριοποίησης. Επίσης, μπορεί να είναι απαραίτητο να προστεθούν

ροές ή να αναμειχθούν οι παράμετροι πρώτης ύλης για να επιτευχθούν καλά χαρακτηριστικά σκωρίας.

Οι αεριοποιητές συμπαρασυρόμενης ροής παρουσιάζουν συνήθως τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:[13]

- Ευελιξία καυσίμου; μπορεί να δεχθεί μια ποικιλία στερεών πρώτων υλών
- Μεγάλες απαιτήσεις σε οξειδωτικά
- Μπορεί να αναμειχθεί είτε με οξυγόνο είτε με αέρα, αλλά οι περισσότερες εγκαταστάσεις λειτουργούν με οξυγόνο
- Ομοιόμορφη θερμοκρασία εντός του αντιδραστήρα
- Λειτουργία σκωρίας
- Σύντομος χρόνος παραμονής του αντιδραστήρα
- Υψηλή μετατροπή άνθρακα, αλλά χαμηλή απόδοση κρύου αερίου
- Υψηλό επίπεδο αισθητής θερμότητας στο αέριο προϊόντος, απαιτείται ανάκτηση θερμότητας για τη βελτίωση της απόδοσης
- Περιβαλλοντικά πιο φιλικός: Το παραγόμενο αέριο σύνθεσης αποτελείται κυρίως από H_2 , CO και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) με ίχνη άλλων ρύπων που μπορούν να αφαιρεθούν κατόπιν του αντιδραστήρα. Η υαλώδης σκωρία είναι αδρανής και απορρίπτεται εύκολα

4.8.3 Αεριοποιητές ρευστοποιημένης κλίνης



Εικόνα 4.8 Αεριοποιητής ρευστοποιημένης κλίνης
(<https://netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/fluidizedbed>)

Οι αεριοποιητές ρευστοποιημένης κλίνης αιωρούν τα σωματίδια πρώτης ύλης σε ένα αέριο πλούσιο σε οξυγόνο, έτσι ώστε η προκύπτουσα κλίνη εντός του αεριοποιητή να λειτουργεί ως ρευστό. Αυτοί οι αεριοποιητές χρησιμοποιούν εκ νέου ανάμιξη και αναμειγνύουν αποτελεσματικά σωματίδια άνθρακα τροφοδοσίας με σωματίδια άνθρακα που ήδη υπόκεινται σε αεριοποίηση. Για τη διατήρηση της ρευστοποίησης ή της εναιώρησης των σωματιδίων άνθρακα εντός του αεριοποιητή, χρησιμοποιείται συνήθως άνθρακας μικρών μεγεθών σωματιδίων (<6 mm). Ο άνθρακας εισέρχεται στο πλάι του αντιδραστήρα, ενώ ο ατμός και το οξειδωτικό εισέρχονται κοντά στον πυθμένα με αρκετή ταχύτητα ώστε να αιωρούνται πλήρως ή να ρευστοποιούνται η κλίνη του αντιδραστήρα. Λόγω της επιμελούς ανάμειξης εντός του αεριοποιητή, διατηρείται μια σταθερή θερμοκρασία στην κλίνη του αντιδραστήρα. Οι αεριοποιητές λειτουργούν κανονικά σε μέτρια υψηλή θερμοκρασία για να επιτύχουν αποδεκτό ρυθμό μετατροπής άνθρακα (π.χ. 90-95%) και να αποσυνθέσουν το μεγαλύτερο μέρος της πίσσας, των ελαίων, των φαινολών και άλλων υγρών υποπροϊόντων. Ωστόσο, οι θερμοκρασίες λειτουργίας είναι συνήθως μικρότερες από τη θερμοκρασία σύντηξης τέφρας, έτσι ώστε να αποφευχθεί ο σχηματισμός κλίνκερ και η πιθανότητα αφαίρεσης υγρών της κλίνης. Αυτό, με τη σειρά του σημαίνει ότι οι αεριοποιητές ρευστοποιημένης κλίνης ταιριάζουν καλύτερα σε σχετικά ενεργούς άνθρακα, χαμηλής ποιότητας άνθρακα και άλλα καύσιμα όπως η βιομάζα.

Μερικά σωματίδια άνθρακα παρασύρονται στο ακατέργαστο αέριο σύνθεσης καθώς φεύγει από την κορυφή του αεριοποιητή, αλλά ανακτώνται και ανακυκλώνονται πίσω στον αντιδραστήρα μέσω ενός κυκλώνα. Τα σωματίδια τέφρας, που αφαιρούνται κάτω από το κρεβάτι, δίνουν θερμότητα στον εισερχόμενο ατμό και ανακυκλώνουν το αέριο. Κατά την εκκίνηση, το κρεβάτι θερμαίνεται εξωτερικά πριν εισαχθεί η πρώτη ύλη.

Οι αεριοποιητές ρευστοποιημένης κλίνης ενδέχεται να διαφέρουν ως προς τις συνθήκες τέφρας (στεγνές ή συσσωματωμένες/σκωρίες) και στις διαμορφώσεις σχεδιασμού για τη βελτίωση της χρήσης

απανθράκων. Επίσης, ανάλογα με τον βαθμό ρευστοποίησης και το ύψος της κλίνης, αυτοί οι τύποι αντιδραστήρων μερικές φορές ονομάζονται επίσης αντιδραστήρες ρευστοποιημένης κλίνης κυκλοφορίας ή/και αντιδραστήρες μεταφοράς.

Οι αεριοποιητές ρευστοποιημένης κλίνης εμφανίζουν αυτά τα χαρακτηριστικά:[13]

- Ευελιξία φορτίου και υψηλοί ρυθμοί μεταφοράς θερμότητας
- Ευελιξία καυσίμου, μπορεί να αεριοποιήσει ένα ευρύ φάσμα πρώτων υλών
- Μέτριες απαιτήσεις σε οξειδωτικά και ατμό
- Ομοιόμορφη, μέτρια υψηλή θερμοκρασία σε όλο τον αεριοποιητή
- Υψηλότερη απόδοση κρύου αερίου από τους αεριοποιητές συρόμενης κλίνης, αλλά χαμηλότερη μετατροπή άνθρακα
- Απαιτείται εκτεταμένη ανακύκλωση άνθρακα

5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] <https://www.dei.gr/el/dei-omilos/i-dei/tomeis-drastiriotitas/symvatiki-paragogi/>
- [2] <https://www.electricaleasy.com/2015/09/hydroelectric-power-plant-layout.html>
- [3] <https://www.thermodyneboilers.com/steam-power-station/>
- [4] https://energyeducation.ca/encyclopedia/Nuclear_power_plant
- [5] <https://www.edfenergy.com/energywise/renewable-energy-sources>
- [6] <https://www.engie.com/en/activities/thermal-energy/thermal-power-stations>
- [7] <https://www.engie.com/en/activities/thermal-energy/thermal-power-stations>
- [8] <https://netl.doe.gov/research/Coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/igcc>

[9] <https://netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/igcc-config>

[10] (<https://netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/igcc-config>)

[11] <https://netl.doe.gov/research/Coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/feedstock>

[12] <https://netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/gasifier-intro>

[13] <https://netl.doe.gov/research/Coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/types-gasifiers>