



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΕ ΣΤΑΘΜΟ ΦΥΣΙΚΟΥ  
ΑΕΡΙΟΥ**

**ΣΚΟΥΝΤΟΥΜΗΣ ΠΕΤΡΟΣ, ΑΜ: 6776**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ПАТРА 2023**

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Πάτρα, Ημερομηνία

#### ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή
2. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή
3. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή

#### **Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητών**

Βεβαιώνω ότι είμαι ο 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

.....π  
ου 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 του δικαιωμάτων.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετάται η μετατροπή μιας λιγνιτικής μονάδας ηλεκτροπαραγωγής σε μονάδα ηλεκτροπαραγωγής με χρήση φυσικού αερίου. Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η κατάσταση όσον αφορά την χρήση και τις επιπτώσεις του λιγνίτη στην Ελλάδα. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η δομή και η λειτουργία ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού με κατανάλωση λιγνίτη και στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η δομή και η λειτουργία ενός σταθμού φυσικού αερίου. Ακολουθεί στο τέταρτο κεφάλαιο όπου αναλύεται η έννοια και η αρχή λειτουργίας της συμπαραγωγής που αποτελεί αναπόσπαστο μέρος ενός σταθμού φυσικού αερίου και στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τρόποι μετατροπής ενός λιγνιτικού σταθμού σε σταθμό με φυσικό αέριο.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	III
ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ .....	VII
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	IX
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	IX
1.1. Γενικά για τον λιγνίτη.....	IX
1.2. Ελληνικά αποθέματα λιγνίτη και χαρακτηριστικά.....	X
1.3. Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη .....	XII
1.4. Το μερίδιο του Λιγνίτη στο ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα .....	XIII
1.5. Επιπτώσεις του Λιγνίτη στη δημόσια υγεία.....	XV
1.6. Επιπτώσεις του Λιγνίτη στο περιβάλλον .....	XVII
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	XIX
2. ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ .....	XIX
2.1. Αρχή Λειτουργίας .....	XIX
2.2. Δομικά μέρη σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ατμού .XX	
2.2.1. Τμήμα επεξεργασίας άνθρακα και τέφρας .....	XXI
2.2.2. Εγκατάσταση παραγωγής ατμού.....	XXI
2.2.2.1. Boiler.....	XXI
2.2.2.2. Υπερθερμαντήρας.....	XXI
2.2.2.3. Economiser.....	XXII
2.2.2.4. Προθερμαντήρας αέρα .....	XXII

2.2.3. Ατμοστρόβιλος .....	XXII
2.2.4. Εναλλάκτης .....	XXII
2.2.5. Νερό τροφοδοσίας .....	XXIII
2.2.6. Διάταξη ψύξης .....	XXIII
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....	XXIV
3. ΜΟΝΑΔΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ .....	XXIV
3.1. Τουρμπίνα σταθμού φυσικού αερίου (αεριοστρόβιλος) .....	XXV
3.2. Τύποι σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας φυσικού αερίου .	
XXVI	
3.2.1. Μονάδα αερίου απλού κύκλου .....	XXVII
3.2.2. Μονάδα συνδυασμένου κύκλου .....	XXIX
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....	XXXIII
4. Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ	
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	XXXIII
4.1. Ιστορική αναδρομή .....	XXXIII
4.2. Παρούσα κατάσταση .....	XXXV
4.3. Η έννοια της συμπαραγωγής .....	XXXVI
4.4. Συμβατικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής (κεντρικοί) .....	XXXVI
4.5. Συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας	
(αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας).....	XXXVI
4.6. Αρχή λειτουργίας της συμπαραγωγής.....	XXXVII

4.7. Αποτελέσματα από τη χρήση της συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας .....	XXXIX
4.8. Προϋπόθεση ώστε η συμπαραγωγή να θεωρηθεί ανανεώσιμη ...	XL
4.9. Οφέλη της συμπαραγωγής.....	XLI
5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	XLIII
5. ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΕ ΣΤΑΘΜΟ ΚΑΥΣΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ .....	XLIII
5.1. Ανάγκη μετατροπής των λιγνιτικών σταθμών .....	XLIII
5.2. Διαδικασία και τρόποι αντικατάστασης ενός λιγνιτικού σταθμού σε σταθμό καύσης φυσικού αερίου.....	XLIV
5.2.1. Μετατροπή λέβητα / γεννήτριας ατμού.....	XLV
5.2.2. Topping.....	XLV
5.2.3. Boosting.....	XLVI
5.2.4. Παράλληλη επανατροφοδότηση .....	XLVII
5.2.5. Πλήρης ανανέωση .....	XLVIII
5.2.6. Παράδειγμα λύσεων μετατροπής καυσίμου με αεριοστρόβιλο..	L
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	LII

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<a href="https://gr.boell.org/el">Εικόνα 1.1</a>	<a href="https://gr.boell.org/el">Ενεργειακή εξάρτηση της Ελλάδας από τον λιγνίτη (https://gr.boell.org/el)</a> .....	8
<a href="https://gr.boell.org/el">Εικόνα 1.2</a>	<a href="https://gr.boell.org/el">Τα ελληνικά αποθέματα λιγνίτη (https://gr.boell.org/el)</a> ..	10
<a href="#">Εικόνα 1.3</a>	<a href="#">Ρυθμός εξόρυξης λιγνίτη στην Ελλάδα τις τελευταίες δεκαετίες και κατάταξη της Ελλάδας σε παγκόσμια κατάταξη</a> .....	11
<a href="#">Εικόνα 1.4</a>	<a href="#">Κόστος εξόρυξης και ηλεκτροπαραγωγής από λιγνίτη σε παγκόσμιο επίπεδο</a> .....	12
<a href="#">Εικόνα 1.5</a>	<a href="#">Ποσοστό καυσίμου για ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα</a> .	13
<a href="#">Εικόνα 1.6</a>	<a href="#">Εγκατεστημένη ισχύς μονάδων ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα</a>	13
<a href="#">Εικόνα 1.7</a>	<a href="#">Ενδεικτικός χάρτης επιπτώσεων εξόρυξης και καύσης λιγνίτη στον ανθρώπινο οργανισμό</a> .....	15
<a href="#">Εικόνα 1.8</a>	<a href="#">Επιπτώσεις εξόρυξης και καύσης λιγνίτη στο περιβάλλον</a> ..	16
<a href="https://energyeducation.ca/encyclopedia/Rankine_cycle">Εικόνα 2.1</a>	<a href="https://energyeducation.ca/encyclopedia/Rankine_cycle">Κύκλος Rankine (https://energyeducation.ca/encyclopedia/Rankine_cycle)</a> .....	18
<a href="https://energyeducation.ca/encyclopedia/Natural_gas_power_plant">Εικόνα 3.1</a>	<a href="https://energyeducation.ca/encyclopedia/Natural_gas_power_plant">Το εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας Surgut-2 στη Ρωσία είναι το μεγαλύτερο εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας φυσικού αερίου στον κόσμο. (από το 2019) (https://energyeducation.ca/encyclopedia/Natural_gas_power_plant)</a> .....	23
<a href="https://energyeducation.ca/encyclopedia/Gas_turbine">Εικόνα 3.2</a>	<a href="https://energyeducation.ca/encyclopedia/Gas_turbine">Διάγραμμα κινητήρα αεριοστροβίλου. (https://energyeducation.ca/encyclopedia/Gas_turbine)</a> .....	25
<a href="https://energyeducation.ca/encyclopedia/Gas_turbine">Εικόνα 3.3</a>	<a href="https://energyeducation.ca/encyclopedia/Gas_turbine">Εσωτερικό αεριοστροβίλου (https://energyeducation.ca/encyclopedia/Gas_turbine)</a> .....	25
<a href="#">Εικόνα 3.4</a>	<a href="#">Ένας μεγάλος αεριοστροβίλος που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας.</a> .....	27
<a href="#">Εικόνα 3.5</a>	<a href="#">Μονάδα αερίου συνδυασμένου κύκλου στο Ιράν.</a> .....	28
<a href="https://energyeducation.ca/encyclopedia/Combined_cycle_gas_plant">Εικόνα 3.6</a>	<a href="https://energyeducation.ca/encyclopedia/Combined_cycle_gas_plant">Δομικό διάγραμμα μονάδας συνδυασμένου κύκλου (https://energyeducation.ca/encyclopedia/Combined_cycle_gas_plant)</a> ...	30
<a href="https://energyeducation.ca/encyclopedia">Εικόνα 3.7</a>	<a href="https://energyeducation.ca/encyclopedia">Στάδιο 1:Ο αεριοστροβίλος τροφοδοτείται με καύσιμο και περιστρέφεται και μαζί του περιστρέφεται και η γεννήτρια παράγοντας ηλεκτρική ισχύ (https://energyeducation.ca/encyclopedia/</a>	



<a href="#">Combined cycle gas plant</a> .....	30
<a href="#">Εικόνα 3.8 Τα καυσαέριο της καύσης τροφοδοτούν τη μονάδα ατμοποίησης του νερού,HRSG ((<a href="https://energyeducation.ca/encyclopedia/Combined_cycle_gas_plant">https://energyeducation.ca/encyclopedia/Combined_cycle_gas_plant</a>))</a> .....	31
<a href="#">Εικόνα 3.9 Ο ατμός τροφοδοτεί την τουρμπίνα ατμού η οποία περιστρέφει μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ((<a href="https://energyeducation.ca/encyclopedia/Combined_cycle_gas_plant">https://energyeducation.ca/encyclopedia/Combined_cycle_gas_plant</a>))</a> .....	31
<a href="#">Εικόνα 4.1 Αρχή λειτουργίας της συμπαραγωγής (<a href="https://corporate.enelx.com/en/question-and-answers/what-are-cogeneration-systems">https://corporate.enelx.com/en/question-and-answers/what-are-cogeneration-systems</a>)</a>	37
<a href="#">Εικόνα 5.1 Υπόμνημα συμβόλων (<a href="https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/power-plants/brownfield-transformation/coal-to-gas.html#Interactive">https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/power-plants/brownfield-transformation/coal-to-gas.html#Interactive</a>)</a> .....	46
<a href="#">Εικόνα 5.2 Συμπαραγωγή με αεριοστρόβιλο φυσικού αερίου – περίπτωση 1 (<a href="https://solutions.mhi.com/power/case-studies/coal-to-gas-conversion-of-power-plant-to-meet-strict-co2-emission-regulation/">https://solutions.mhi.com/power/case-studies/coal-to-gas-conversion-of-power-plant-to-meet-strict-co2-emission-regulation/</a>)</a> ....	47
<a href="#">Εικόνα 5.3 Συμπαραγωγή με αεριοστρόβιλο φυσικού αερίου – περίπτωση 2 (<a href="https://solutions.mhi.com/power/case-studies/coal-to-gas-conversion-of-power-plant-to-meet-strict-co2-emission-regulation/">https://solutions.mhi.com/power/case-studies/coal-to-gas-conversion-of-power-plant-to-meet-strict-co2-emission-regulation/</a>)</a> ....	48

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

<a href="#">Διάγραμμα 2.1 Δομικό διάγραμμα ατμοηλεκτρικού σταθμού</a> .....	18
<a href="#">Διάγραμμα 5.1 Μετατροπή λέβητα / ατμογεννήτριας (<a href="https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/power-plants/brownfield-transformation/coal-to-gas.html#Interactive">https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/power-plants/brownfield-transformation/coal-to-gas.html#Interactive</a>)</a> .....	41
<a href="#">Διάγραμμα 5.2 Μέθοδος topping (<a href="https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/power-plants/brownfield-transformation/coal-to-gas.html#Interactive">https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/power-plants/brownfield-transformation/coal-to-gas.html#Interactive</a>)</a> .....	42
<a href="#">Διάγραμμα 5.3 Μέθοδος Boosting (<a href="https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/power-plants/brownfield-transformation/coal-to-gas.html#Interactive">https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/power-plants/brownfield-transformation/coal-to-gas.html#Interactive</a>)</a> .....	43

<a href="https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/power-plants/brownfield-transformation/coal-to-gas.html#Interactive">Διάγραμμα 5.4 Μέθοδος παράλληλης ανατροφοδότησης (https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/power-plants/brownfield-transformation/coal-to-gas.html#Interactive)</a> .....	44
<a href="https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/power-plants/brownfield-transformation/coal-to-gas.html#Interactive">Διάγραμμα 5.5 Πλήρης ανανέωση (https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/power-plants/brownfield-transformation/coal-to-gas.html#Interactive)</a> .....	45

1.

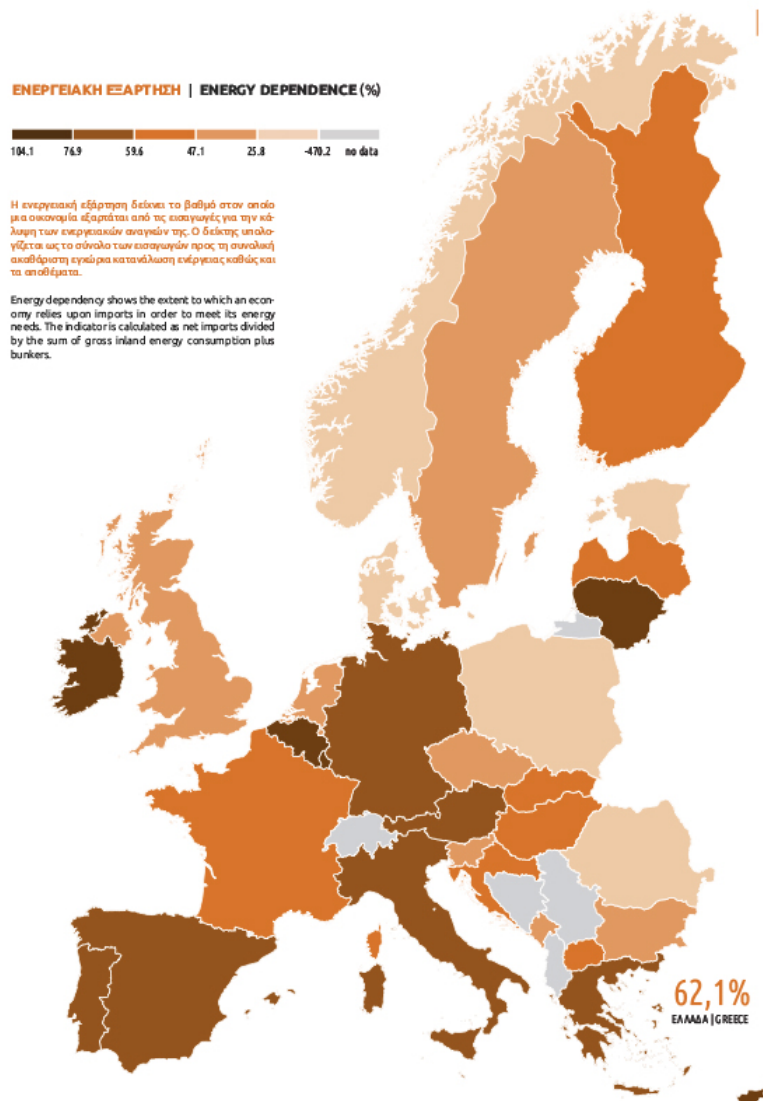
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

#### 1.1. Γενικά για τον λιγνίτη

Ο λιγνίτης είναι ουσιαστικά το μόνο ορυκτό καύσιμο που διατίθεται στην Ελλάδα. Η Ελλάδα εισάγει το 100% του φυσικού αερίου και το 98% του πετρελαίου που καταναλώνεται στη χώρα, με ποσοστό ενεργειακής εξάρτησης έως και 62,1% (2013) σε αντίθεση με το μέσο όρο 53,2% για την ΕΕ-28.



Εικόνα 1.1 Ενεργειακή εξάρτηση της Ελλάδας από τον λιγνίτη (<https://gr.boell.org/el>)

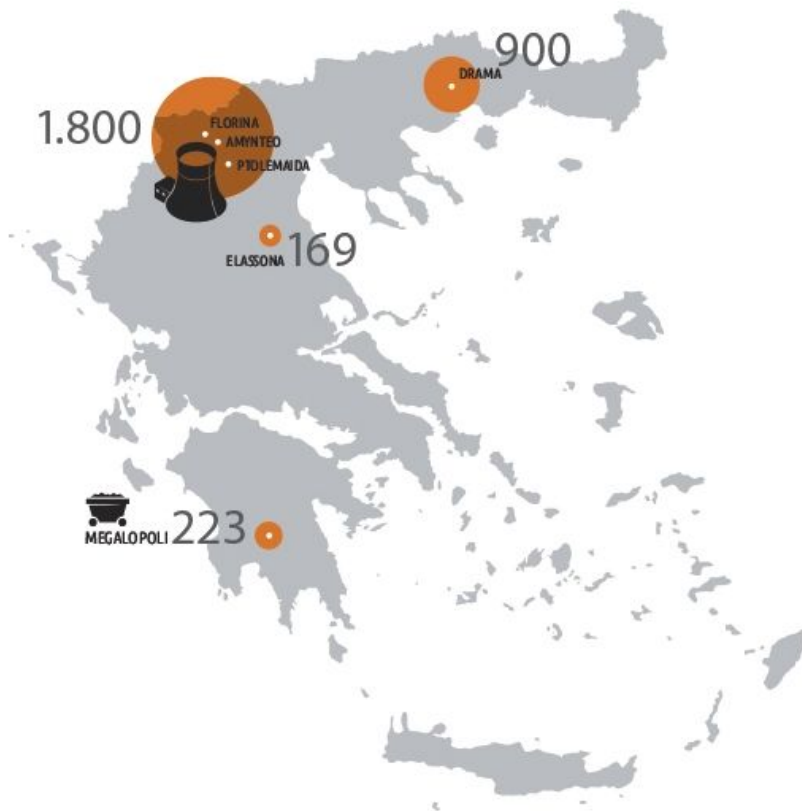
Η ενεργειακή εξάρτηση δείχνει το βαθμό στον οποίο μια οικονομία εξαρτάται από τις εισαγωγές για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Η ανάγκη χρήσης εγχώριων πόρων και το παραδοσιακά χαμηλό κόστος του λιγνίτη ήταν οι λόγοι που η Ελλάδα στη δεκαετία του 1950 στράφηκε στην καύση του λιγνίτη ως τη ραχοκοκαλιά του ηλεκτρικού της συστήματος. Ωστόσο, τις τελευταίες δεκαετίες, έχει ξεκινήσει μια συζήτηση (αν και δειλά) για τη μετάβαση της χώρας στη μεταλιγνιτική εποχή, ως αποτέλεσμα μιας σειράς παραγόντων: οι Οδηγίες της ΕΕ για τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> και των βιομηχανικών εκπομπών, η αύξηση της ευαισθητοποίησης του κοινού σε θέματα περιβάλλοντος και δημόσιας υγείας, η σταδιακή εξάντληση των αποθεμάτων, η εισαγωγή φυσικού αερίου στο ενεργειακό μείγμα της χώρας και η δραματική πτώση του κόστους των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.[1]

## **1.2. Ελληνικά αποθέματα λιγνίτη και χαρακτηριστικά**

Με βάση τα τρέχοντα τεχνοοικονομικά δεδομένα, τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη στη χώρα ανέρχονται σε περίπου 3,2 δισεκατομμύρια τόνους. Τα κύρια κοιτάσματα βρίσκονται σε:[1]

- Δυτική Μακεδονία (Πτολεμαΐδα, Αμύνταιο και Φλώρινα) με εκτιμώμενα αποθέματα 1,5 δις τόνους.
- Πελοπόννησος (Μεγαλόπολη), με αποθέματα περίπου 150 εκατ. τόνους.
- Δράμα, με αποθέματα 900 εκατ. τόνους.
- Ελασσόνα, με 170 εκατ. τόνους

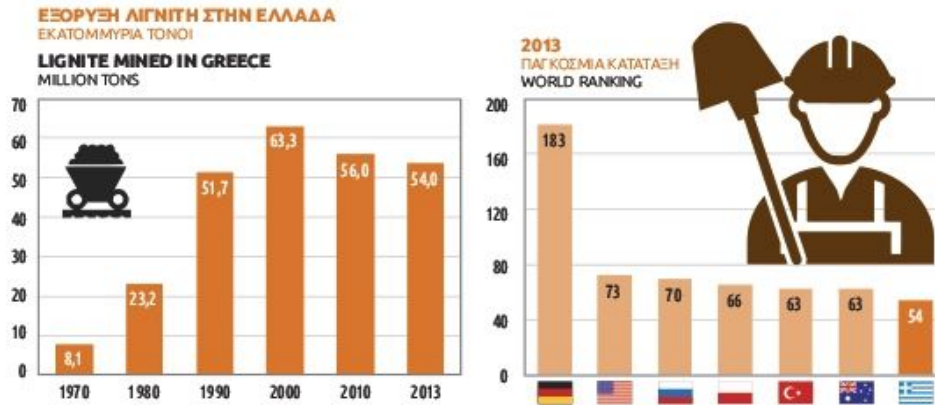
Από αυτά τα κοιτάσματα παραμένουν ανεκμετάλλευτα αυτά της Δράμας και της Ελασσόνας.



Εικόνα 1.2 Τα ελληνικά αποθέματα λιγνίτη (<https://gr.boell.org/el>)

Με βάση τα συνολικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη στη χώρα και τον προγραμματισμένο μελλοντικό ρυθμό κατανάλωσης, εκτιμάται ότι τα αποθέματα θα διαρκέσουν πάνω από 45 χρόνια. Οι ποσότητες λιγνίτη που εξορύσσονται μέχρι σήμερα αντιπροσωπεύουν περίπου το 29% των συνολικών αποθεμάτων. Η συνολική ετήσια εξόρυξη λιγνίτη κορυφώθηκε το 2004 στους 72 εκατ. τόνους, πριν πέσει στους 54 εκατ. τόνους το 2013. Όσον αφορά την παραγωγή λιγνίτη, η Ελλάδα κατατάσσεται έβδομη παγκοσμίως και τρίτη στην ΕΕ (μετά τη Γερμανία και την Πολωνία).

Ο ελληνικός λιγνίτης είναι γενικά χαμηλής ποιότητας. Η θερμογόνο δύναμη του κυμαίνεται από 975 έως 1380 kcal/kg στη Μεγαλόπολη, το Αμύνταιο και τη Δράμα, από 1261 έως 1615 kcal/kg στην Πτολεμαΐδα και από το 1927 έως 2257 kcal/kg στη Φλώρινα και την Ελασσόνα.[1]

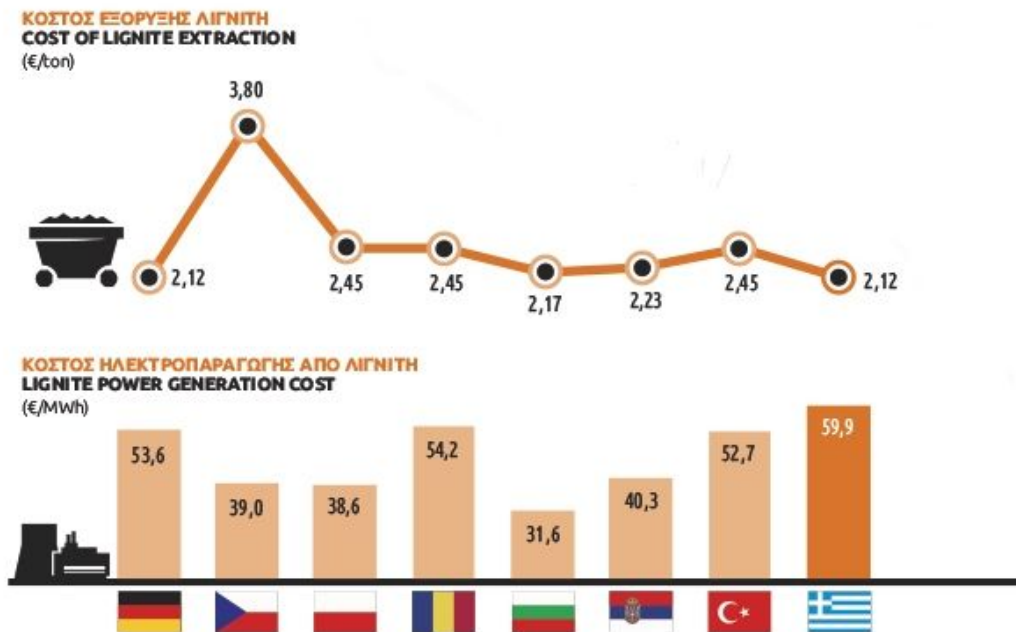


**Εικόνα 1.3** Ρυθμός εξόρυξης λιγνίτη στην Ελλάδα τις τελευταίες δεκαετίες και κατάταξη της Ελλάδας σε παγκόσμια κατάταξη

### 1.3. Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη

Το 2014, η Ελληνική Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) ανέθεσε μια μελέτη στην Booz & Co Consultants προκειμένου να συγκρίνει το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη στις ευρωπαϊκές χώρες εξόρυξης λιγνίτη (Γερμανία, Πολωνία, Ελλάδα, Τουρκία, Τσεχία, Ρουμανία, Βουλγαρία, Σερβία) το έτος 2012, ενόψει του προσδιορισμού των βασικών παραμέτρων κόστους και των διαφορών μεταξύ των διαφόρων λιγνιτικών συστημάτων στην Ευρώπη.

Σύμφωνα με τα ευρήματα, το κόστος εξόρυξης στην Ελλάδα (στα 2,12 € ανά τόνο) είναι το χαμηλότερο, συγκρίσιμο με αυτό στη Γερμανία. Ωστόσο, εάν ληφθεί υπόψη η εξαιρετικά χαμηλή θερμογόνο δύναμη του ελληνικού λιγνίτη (καθώς και άλλες παράμετροι μεταβλητού κόστους παραγωγής), τότε η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη στην Ελλάδα αποδεικνύεται η πιο δαπανηρή στην Ευρώπη, με 59,9 €/MWh, έναντι 53,6 στη Γερμανία, 39,0 στην Τσεχική Δημοκρατία, 38,6 στην Πολωνία, 54,2 στη Ρουμανία, 31,6 στη Βουλγαρία, 40,3 στη Σερβία και 52,7 στην Τουρκία.[1]



Εικόνα 1.4 Κόστος εξόρυξης και ηλεκτροπαραγωγής από λιγνίτη σε παγκόσμιο επίπεδο

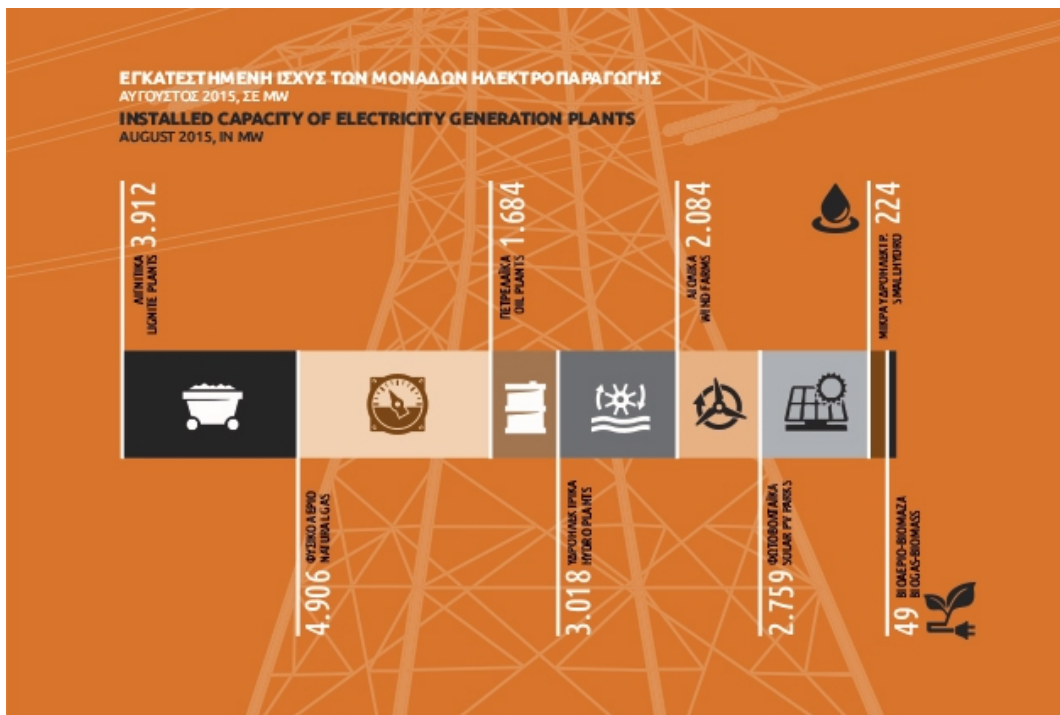
#### 1.4. Το μερίδιο του Λιγνίτη στο ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα

Αρχικά, ο ελληνικός τομέας ηλεκτρικής ενέργειας είναι ιδιόμορφος στο ότι αποτελείται από το διασυνδεδεμένο ηπειρωτικό σύστημα και τα μη διασυνδεδεμένα αυτόνομα δίκτυα στα νησιά, όπου η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας καλύπτεται από πετρελαϊκές μονάδες και σε μικρότερο βαθμό από Εγκαταστάσεις ΑΠΕ, σε αναλογία περίπου 85%-15%.

Στο διασυνδεδεμένο δίκτυο, τα τελευταία 10 χρόνια το μερίδιο του λιγνίτη στην κάλυψη της ζήτησης έχει σαφώς μειωθεί, από 63% το 2004 σε 45% το 2014. Η μείωση αυτή αντισταθμίστηκε από παρόμοια αύξηση των μεριδίων ΑΠΕ και υδροηλεκτρικής ενέργειας (από 11% σε 25%) καθώς και οι εισαγωγές, ενώ το μερίδιο του φυσικού αερίου μειώθηκε από 15,5% στο 12,5% και το μερίδιο του πετρελαίου μειώθηκε στο μηδέν από 5%. [1]



Εικόνα 1.5 Ποσοστό καυσίμου για ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα



Εικόνα 1.6 Εγκατεστημένη ισχύς μονάδων ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα

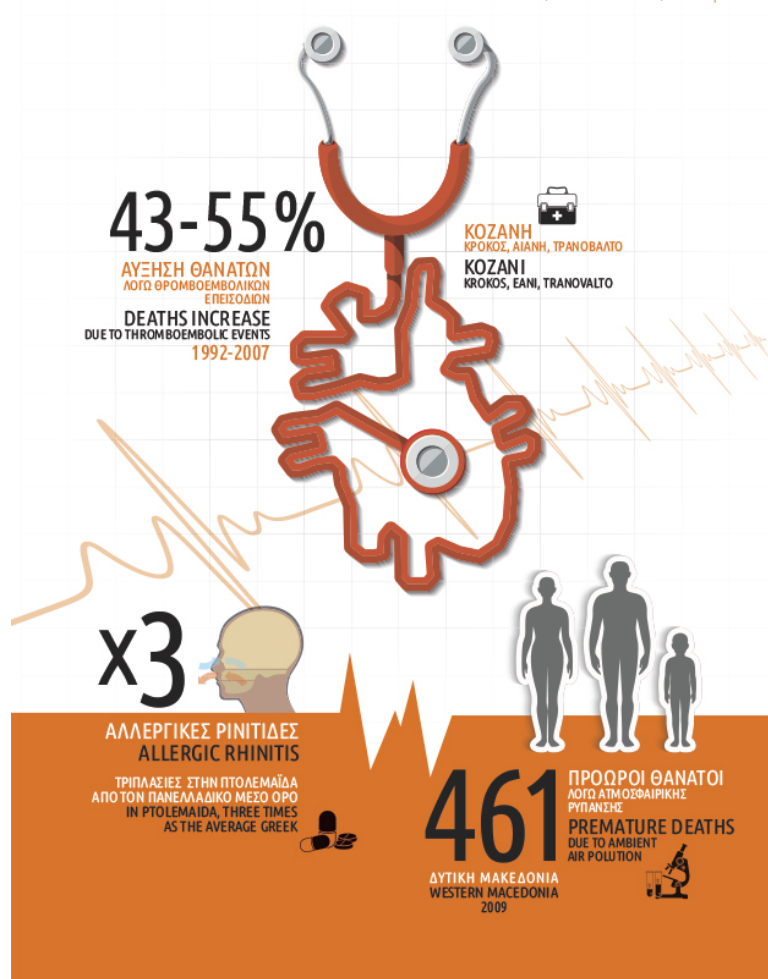


Η εγκατεστημένη ισχύς των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα έχει επί του παρόντος (από τον Αύγουστο 2015) ως εξής:  
[1]

- Μονάδες λιγνιτικής καύσης 3.912 MW
- Μονάδες 4.906 MW με φυσικό αέριο
- Στα νησιά με πετρέλαιο ισχύος 1.684 MW
- Υδροσταθμοί ισχύος 3.018 MW
- 1.767 MW αιολικά πάρκα στο διασυνδεδεμένο δίκτυο και 317 MW στα νησιά
- Φ/Β πάρκα 2.443 MW στο διασυνδεδεμένο δίκτυο και 136 MW στα νησιά
- Μικρό υδροηλεκτρικό 224 MW
- 49 MW βιοαέριο – βιομάζα

#### **1.5. Επιπτώσεις του Λιγνίτη στη δημόσια υγεία**

Οι εκπομπές ρύπων από μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, καθώς και από την εξόρυξη και μεταφορά λιγνίτη από τα ορυχεία στις μονάδες, προκαλούν σημαντικά προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή, με σημαντικότερη τις υψηλές συγκεντρώσεις PM10. Σύμφωνα με στοιχεία του Κέντρου Περιβάλλοντος της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας, το 2010, στους 9 από τους 15 σταθμούς μέτρησης στους Νομούς Κοζάνης και Φλώρινας, σημειώθηκε υπέρβαση των ευρωπαϊκών οριακών τιμών κατά περισσότερο από 20%. [1]

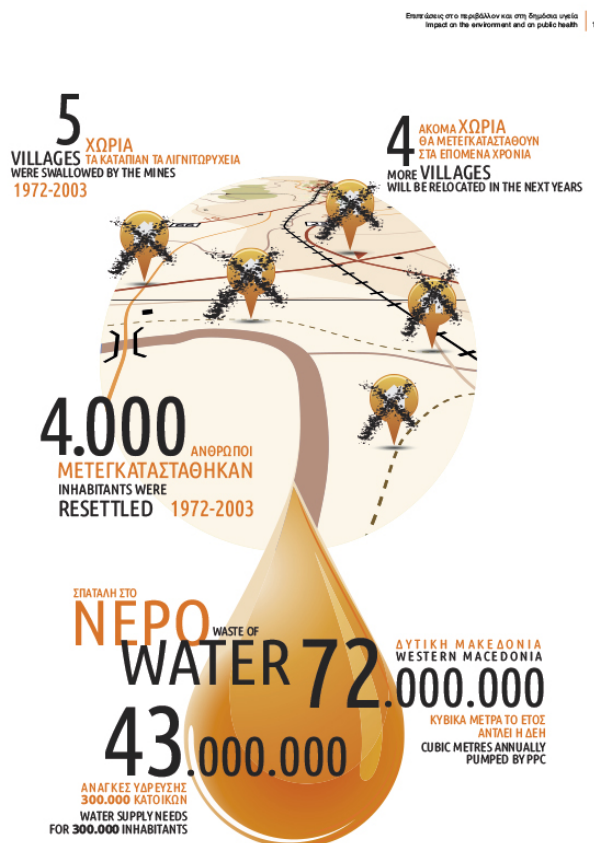


Εικόνα 1.7 Ενδεικτικός χάρτης επιπτώσεων εξόρυξης και καύσης λιγνίτη στον ανθρώπινο οργανισμό

Σε ό,τι αφορά τη δημόσια υγεία, αν και οι λιγνιτικές μονάδες και τα λιγνιτικά ορυχεία λειτουργούν για περισσότερα από 60 χρόνια, είναι εντυπωσιακό ότι δεν έχει διεξαχθεί καμία επιδημιολογική μελέτη για τις επιπτώσεις τους στην κατάσταση της υγείας των κατοίκων των λιγνιτικών περιοχών. Ωστόσο, σύμφωνα με μελέτη του Πανεπιστημιακού Νοσοκομείου ΑΧΕΠΑ Θεσσαλονίκης, σε τρία χωριά του Νομού Κοζάνης, οι θάνατοι από θρομβοεμβολικά επεισόδια την περίοδο 1992-2007 αυξήθηκαν από 43% σε 55%. Μελέτη που διεξήχθη από το Μποδοσάκειο Νοσοκομείο Πτολεμαΐδας διαπίστωσε ότι οι κάτοικοι της Πτολεμαΐδας είχαν τρεις φορές περισσότερες πιθανότητες να υποφέρουν από αλλεργική ρινίτιδα από τον μέσο Έλληνα. [1]

## 1.6. Επιπτώσεις του Λιγνίτη στο περιβάλλον

Η λειτουργία των λιγνιτικών μονάδων έχει επίσης πολύ σημαντικό αποτύπωμα στους υδάτινους πόρους που χρησιμοποιούνται για ψύξη. Στη Δυτική Μακεδονία, η ΔΕΗ αντλεί από τον ποταμό Αλιάκμονα και τη λίμνη Πολύφυτου 72 εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού ετησίως, σε απόσταση 60 km και υψομετρική διαφορά 390 m. Για λόγους σύγκρισης, οι ανάγκες ύδρευσης των 300.000 κατοίκων της περιοχής καλύπτονται με 43 εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων σημειώθηκε επίσης στην περιοχή ως αποτέλεσμα ρυπογόνων φορτίων (π.χ. βαρέα μέταλλα), καθώς και δραστική μείωση του υδροφόρου ορίζοντα στην περιοχή των ορυχείων στην Πτολεμαΐδα.



Εικόνα 1.8 Επιπτώσεις εξόρυξης και καύσης λιγνίτη στο περιβάλλον

Μια ακόμη σημαντική αρνητική πτυχή των εξορυκτικών δραστηριοτήτων της ΔΕΗ στη Δυτική Μακεδονία είναι η αναγκαστική μετεγκατάσταση αρκετών χωριών, με σημαντικές οικονομικές, κοινωνικές, πολιτιστικές, χωροταξικές και τεχνικές συνέπειες. Από το 1972 έως το 2003, σχεδόν 4.000 κάτοικοι επανεγκαταστάθηκαν, αφού τα 5 χωριά τους καταβροχθίστηκαν από τις επεκτάσεις του ορυχείου.

Αυτή τη στιγμή είτε βρίσκεται σε εξέλιξη είτε έχει αποφασιστεί η μετεγκατάσταση επιπλέον 4 χωριών.[1]

## 2.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

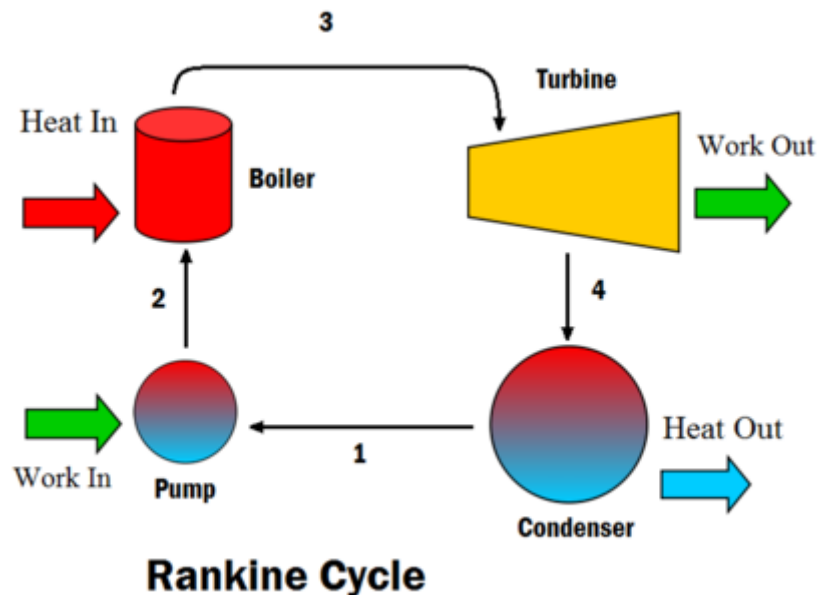
## 2.

### ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ

#### 2.1. Αρχή Λειτουργίας

Ένας σταθμός παραγωγής που μετατρέπει τη θερμική ενέργεια της καύσης άνθρακα σε ηλεκτρική ενέργεια είναι γνωστός ως ατμοηλεκτρικός σταθμός. Μπορεί επίσης να ονομαστεί θερμοηλεκτρικός σταθμός ή μονάδα παραγωγής θερμικής ενέργειας. [2]

Ένας ατμοηλεκτρικός σταθμός λειτουργεί με βάση τον κύκλο Rankine .

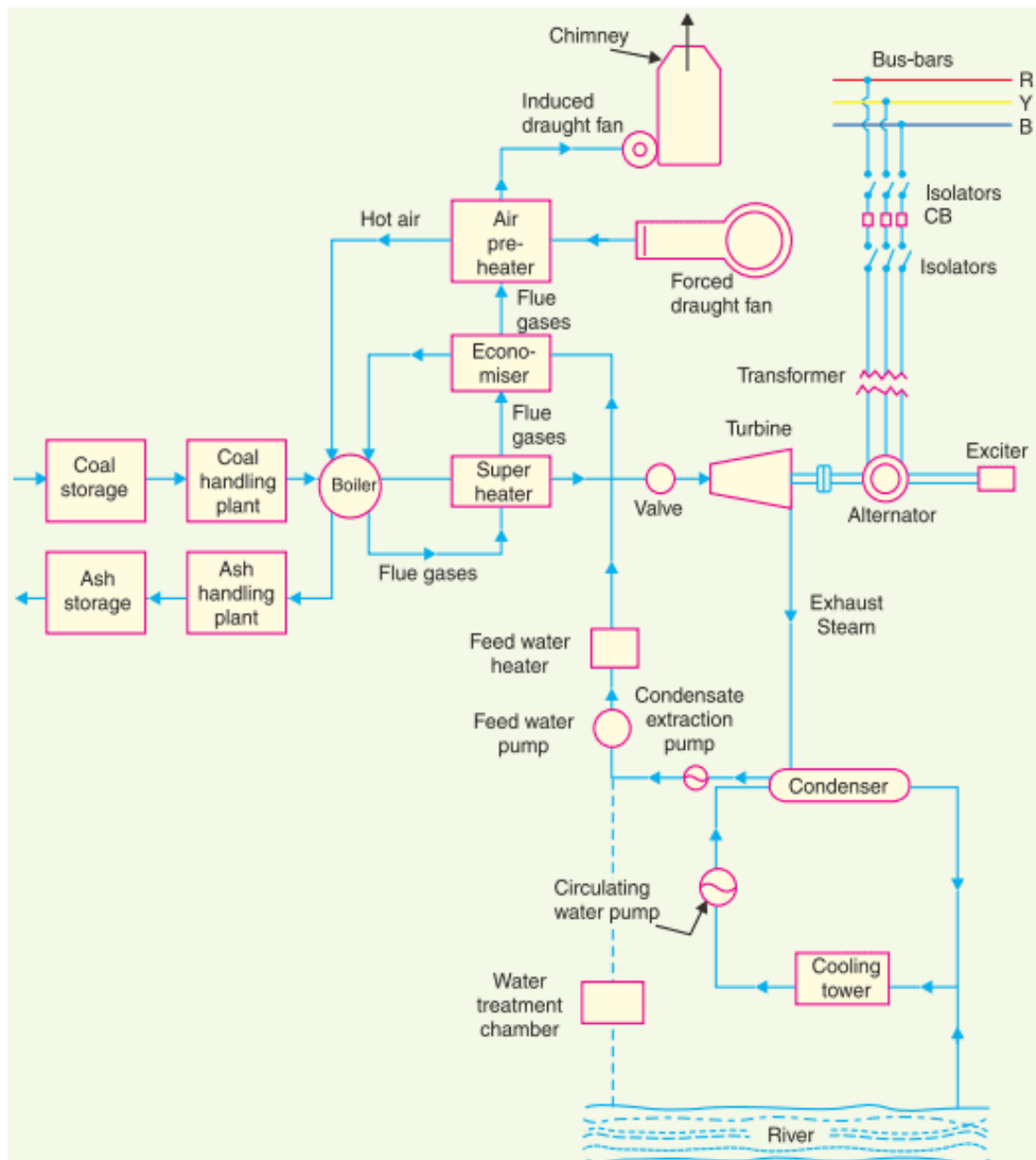


Εικόνα 2.1 Κύκλος Rankine ([https://energyeducation.ca/encyclopedia/Rankine\\_cycle](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Rankine_cycle))

Ο ατμός παράγεται στο λέβητα χρησιμοποιώντας τη θερμότητα της καύσης άνθρακα. Ο ατμός στη συνέχεια διαστέλλεται στον κύριο κινητήρα (ατμοστρόβιλος) και συμπυκνώνεται σε έναν συμπυκνωτή για να τροφοδοτηθεί ξανά στο λέβητα. Ο ατμοστρόβιλος κινεί τον εναλλάκτη που μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια του στροβίλου σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτός ο τύπος σταθμού είναι κατάλληλος όπου ο άνθρακας και το νερό είναι διαθέσιμα σε αφθονία και πρόκειται να παραχθεί μεγάλη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας.[2]

## 2.2. Δομικά μέρη σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ατμού

Αν και ο ατμοηλεκτρικός σταθμός περιλαμβάνει απλώς τη μετατροπή της θερμότητας της καύσης άνθρακα σε ηλεκτρική ενέργεια, εντούτοις περιλαμβάνει πολλές ρυθμίσεις για σωστή λειτουργία και απόδοση. Το σχηματικό διάγραμμα του ατμοηλεκτρικού σταθμού φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. [2]



Διάγραμμα 2.1 Δομικό διάγραμμα ατμοηλεκτρικού σταθμού

Ολόκληρη η διάταξη μπορεί να χωριστεί σε τα ακόλουθα στάδια για λόγους απλότητας:[2]

1. Τμήμα επεξεργασίας άνθρακα και τέφρας
2. Εγκατάσταση παραγωγής ατμού
3. Ατμοστρόβιλος
4. Εναλλάκτης
5. Εισαγωγή νερού
6. Διάταξη ψύξης

#### **2.2.1. Τμήμα επεξεργασίας άνθρακα και τέφρας**

Ο άνθρακας μεταφέρεται στον **ατμοηλεκτρικό σταθμό** και αποθηκεύεται. Από το χώρο αποθήκευσης, παραδίδεται στο τμήμα κονιορτοποίησης προάγοντας έτσι την ταχεία καύση χωρίς τη χρήση μεγάλης ποσότητας περίσσειας αέρα.

Ο κονιοποιημένος άνθρακας τροφοδοτείται στο λέβητα. Ο άνθρακας καίγεται στον λέβητα και η τέφρα που παράγεται μετά την πλήρη καύση του άνθρακα απομακρύνεται στη μονάδα επεξεργασίας τέφρας και στη συνέχεια παραδίδεται στη μονάδα αποθήκευσης τέφρας για απόρριψη.

#### **2.2.2. Εγκατάσταση παραγωγής ατμού**

Η μονάδα παραγωγής ατμού αποτελείται από ένα λέβητα για την παραγωγή ατμού και άλλο βοηθητικό εξοπλισμό για την αξιοποίηση των καυσαερίων.

##### **2.2.2.1. Boiler**

Η θερμότητα της καύσης του άνθρακα στο λέβητα χρησιμοποιείται για τη μετατροπή του νερού σε ατμό σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση. Τα καυσαέρια από τον λέβητα εξαντλούνται στην ατμόσφαιρα μέσα από την καμινάδα.

##### **2.2.2.2. Υπερθερμαντήρας**

Ο ατμός που παράγεται στο λέβητα διέρχεται από έναν υπερθερμαντήρα όπου στεγνώνει και υπερθερμαίνεται (δηλαδή, η θερμοκρασία του

ατμού αυξάνεται πάνω από αυτή του σημείου βρασμού του νερού) από τα καυσαέρια του . Κατόπιν ο καυτός ατμός τροφοδοτείται στον αμοστρόβιλο μέσω της κύριας βαλβίδας.

### **2.2.2.3. Economiser**

Ένας εξοικονομητής είναι ουσιαστικά ένας θερμαντήρας νερού τροφοδοσίας και αντλεί θερμότητα από τα καυσαέρια για το σκοπό αυτό. Το νερό τροφοδοσίας τροφοδοτείται στον εξοικονομητή πριν από την παροχή στο λέβητα. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας.

### **2.2.2.4. Προθερμαντήρας αέρα**

Ο προθερμαντήρας αέρα εξάγει θερμότητα από τα καυσαέρια και αυξάνει τη θερμοκρασία του αέρα που χρησιμοποιείται για την καύση άνθρακα. Τα κύρια οφέλη της προθέρμανσης του αέρα είναι η αυξημένη θερμική απόδοση και η αυξημένη χωρητικότητα ατμού ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας λέβητα.

### **2.2.3. Αμοστρόβιλος**

Ο ξηρός και υπερθερμασμένος ατμός από τον υπερθερμαντήρα τροφοδοτείται στον αμοστρόβιλο μέσω της κύριας βαλβίδας. Η θερμική ενέργεια του ατμού όταν περνά πάνω από τα πτερύγια του στροβίλου μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια. Αφού δώσει θερμική ενέργεια στο τουρμπίνα, ο ατμός εξαντλείται στον συμπυκνωτή που συμπυκνώνει τον εξαντλημένο ατμό μέσω της κυκλοφορίας κρύου νερού.

### **2.2.4. Εναλλάκτης**

Ο αμοστρόβιλος συνδέεται με έναν εναλλάκτη. Ο εναλλάκτης μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια του στροβίλου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η ηλεκτρική έξοδος από τον εναλλάκτη παραδίδεται στο ηλεκτρικό δίκτυο μέσω μετασχηματιστή, διακοπών κυκλώματος και απομονωτών.



#### **2.2.5. Νερό τροφοδοσίας**

Το συμπύκνωμα από τον συμπυκνωτή χρησιμοποιείται ως νερό τροφοδοσίας στο λέβητα. Κάποιο νερό μπορεί να χαθεί στον κύκλο, το οποίο αναπληρώνεται κατάλληλα από εξωτερική πηγή. Το νερό τροφοδοσίας στο δρόμο προς το λέβητα θερμαίνεται από θερμοσίφωνες. Αυτό βοηθά στην αύξηση της συνολικής απόδοσης της εγκατάστασης.

#### **2.2.6. Διάταξη ψύξης**

Το ζεστό νερό από τον συμπυκνωτή διοχετεύεται στους πύργους ψύξης όπου ψύχεται. Το κρύο νερό από τον πύργο ψύξης επαναχρησιμοποιείται στον συμπυκνωτή.

### 3.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3. ΜΟΝΑΔΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ



Εικόνα 3.1 Το εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας Surgut-2 στη Ρωσία είναι το μεγαλύτερο εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας φυσικού αερίου στον κόσμο. (από το 2019) ([https://energyeducation.ca/encyclopedia/Natural\\_gas\\_power\\_plant](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Natural_gas_power_plant))

Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής φυσικού αερίου παράγουν ηλεκτρική ενέργεια καίγοντας φυσικό αέριο ως καύσιμο. Υπάρχουν πολλοί τύποι σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας φυσικού αερίου που όλοι παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, αλλά εξυπηρετούν διαφορετικούς σκοπούς. Όλες οι μονάδες φυσικού αερίου χρησιμοποιούν αεριοστρόβιλο . Προστίθεται φυσικό αέριο, μαζί με ένα ρεύμα αέρα, το οποίο καίγεται και διαστέλλεται μέσω αυτής της τουρμπίνας προκαλώντας μια γεννήτρια να περιστρέφει έναν μαγνήτη, παράγοντας ηλεκτρισμό . Υπάρχει σπατάλη θερμότητας που προέρχεται από αυτή τη διαδικασία, λόγω του δεύτερου νόμου της θερμοδυναμικής . Ορισμένες μονάδες φυσικού αερίου επαναχρησιμοποιούν επίσης αυτή τη σπατάλη θερμότητας, όπως εξηγείται παρακάτω.

Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής φυσικού αερίου είναι φθηνοί και γρήγοροι στην κατασκευή. Έχουν επίσης πολύ υψηλές θερμοδυναμικές αποδόσεις σε σύγκριση με άλλους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής . Η

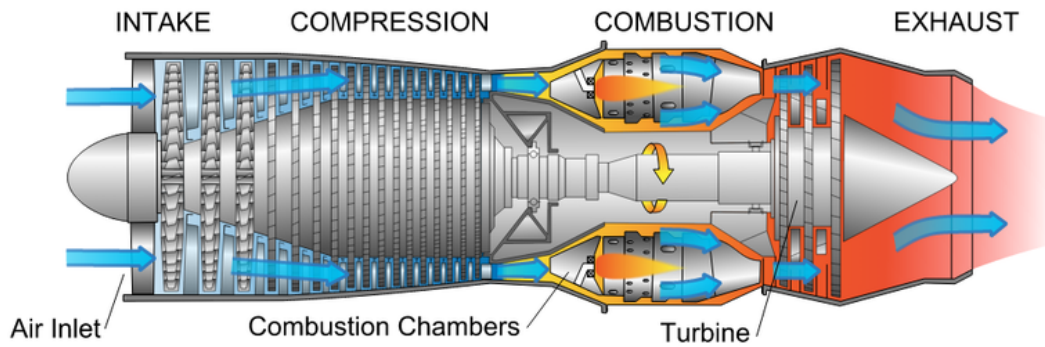
καύση φυσικού αερίου παράγει λιγότερους ρύπους όπως NO<sub>x</sub> , SO<sub>x</sub> και σωματίδια από τον άνθρακα και το πετρέλαιο. Από την άλλη πλευρά, οι μονάδες φυσικού αερίου έχουν σημαντικά υψηλότερες εκπομπές από έναν πυρηνικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής . Αυτό σημαίνει ότι η ποιότητα του αέρα τείνει να βελτιώνεται (δηλ. μειώνει την αιθαλομίχλη) κατά τη μετάβαση σε μονάδες φυσικού αερίου από εργοστάσια άνθρακα — αλλά η πυρηνική ενέργεια κάνει ακόμη περισσότερα για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα.

Παρά τη βελτιωμένη ποιότητα του αέρα, οι μονάδες φυσικού αερίου συμβάλλουν σημαντικά στην κλιματική αλλαγή και αυτή η συμβολή αυξάνεται. Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής φυσικού αερίου παράγουν σημαντικό διοξείδιο του άνθρακα , αν και λιγότερο από τα εργοστάσια άνθρακα. Από την άλλη πλευρά, η διαδικασία λήψης φυσικού αερίου από όπου εξορύσσεται στους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής οδηγεί σε σημαντική απελευθέρωση μεθανίου ( φυσικό αέριο που διαρρέει στην ατμόσφαιρα ). Όσο οι μονάδες φυσικού αερίου χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οι εκπομπές τους θα συνεχίσουν να θερμαίνουν τον πλανήτη με επικίνδυνους τρόπους.[3]

### **3.1. Τουρμπίνα σταθμού φυσικού αερίου (αεριοστρόβιλος)**

Οι τουρμπίνες φυσικού αερίου είναι θεωρητικά απλές κατασκευές και έχουν τρία κύρια μέρη όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.2[3]

- Συμπιεστής: Παίρνει αέρα από το εξωτερικό του στροβίλου και αυξάνει την πίεσή του.
- Καυστήρας: Καίει το καύσιμο και παράγει αέριο υψηλής πίεσης και υψηλής ταχύτητας .
- Στρόβιλος: Εξάγει την ενέργεια από το αέριο που προέρχεται από τον καυστήρα.



Εικόνα 3.2 Διάγραμμα κινητήρα αεριοστροβίλου. ([https://energyeducation.ca/encyclopedia/Gas\\_turbine](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Gas_turbine))



Εικόνα 3.3 Εσωτερικό αεριοστροβίλου ([https://energyeducation.ca/encyclopedia/Gas\\_turbine](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Gas_turbine))

### 3.2. Τύποι σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας φυσικού αερίου

Υπάρχουν δύο τύποι σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας φυσικού αερίου: Μονάδες αερίου απλού κύκλου και μονάδες αερίου συνδυασμένου κύκλου. Το πρώτο αποτελείται από έναν αεριοστροβίλο συνδεδεμένο σε μια γεννήτρια και το δεύτερο αποτελείται από μια μονάδα απλού κύκλου, σε συνδυασμό με μια άλλη μηχανή εξωτερικής καύσης, που λειτουργεί στον κύκλο Rankine —εξ ου και η ονομασία του "συνδυασμένος κύκλος".

Ο απλός κύκλος είναι λιγότερο αποτελεσματικός από τον συνδυασμένο κύκλο. Ωστόσο, οι σταθμοί απλού κύκλου μπορούν να αναστέλλουν τη λειτουργία τους ταχύτερα από τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με

καύση άνθρακα ή τους πυρηνικούς σταθμούς. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να ανταποκριθούν πιο γρήγορα για να καλύψουν τις ανάγκες της κοινωνίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Συχνά χρειάζεται να τροφοδοτήσει το δίκτυο που έχει εισροές αιολικής και ηλιακής ενέργειας, με σκοπό να καλύψει τις κυμαινόμενες ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας της κοινωνίας, γνωστές ως ισχύς αιχμής . Οι μονάδες συνδυασμένου κύκλου είναι πιο αποδοτικές επειδή χρησιμοποιούν τα καυτά καυσαέρια που διαφορετικά θα απορρίπτονταν από το σύστημα. Αυτά τα καυσαέρια χρησιμοποιούνται για θέρμανση νερού σε ατμό —ο οποίος μπορεί στη συνέχεια να περιστρέψει έναν άλλο στρόβιλο και να παράγει περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια. Η θερμική απόδοση του συνδυασμένου κύκλου μπορεί να φτάσει έως και 60%. Επιπλέον, αυτές οι μονάδες παράγουν το ένα τρίτο της απορριπτόμενης θερμότητας ενός τυπικού εργοστασίου με απόδοση 33% (όπως ένας τυπικός πυρηνικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής ή ένας παλαιότερος σταθμός ηλεκτροπαραγωγής με άνθρακα).

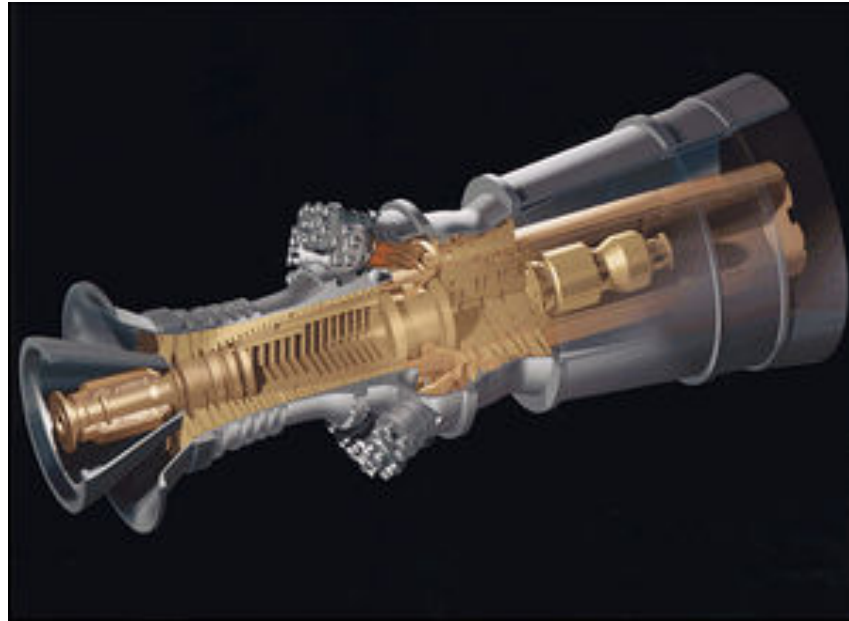
Το κόστος των μονάδων συνδυασμένου κύκλου είναι γενικά υψηλότερο, καθώς κοστίζουν περισσότερο η κατασκευή και η λειτουργία τους.

Η χρήση φυσικού αερίου αντιπροσωπεύει περίπου το 23% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (δείτε την απεικόνιση δεδομένων παρακάτω ). Αυτό είναι το δεύτερο μόνο μετά τον άνθρακα , και το ποσοστό αναμένεται να αυξηθεί τα επόμενα χρόνια. Αυτό σημαίνει ότι η συμβολή του φυσικού αερίου στην κλιματική αλλαγή θα συνεχίσει να αυξάνεται.[3]

### 3.2.1. Μονάδα αερίου απλού κύκλου

Οι εγκαταστάσεις αερίου απλού κύκλου είναι ένας τύπος σταθμών παραγωγής ενέργειας φυσικού αερίου που λειτουργούν προωθώντας ζεστό αέριο μέσω στρόβιλου, προκειμένου να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια . Διαφέρουν από τις μονάδες αερίου συνδυασμένου κύκλου επειδή η απορριπτόμενη θερμότητα τους δεν παρέχεται σε άλλη εξωτερική μηχανή θερμότητας, επομένως χρησιμοποιούνται μόνο για

την κάλυψη των αιχμής των αναγκών ισχύος στο ηλεκτρικό δίκτυο . Αυτοί οι στρόβιλοι έχουν υψηλή ειδική ισχύ , που σημαίνει ότι η ισχύς που παρέχουν για τη μάζα τους είναι σχετικά υψηλή.



Εικόνα 3.4 Ένας μεγάλος αεριοστρόβιλος που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας. [1]

Η ισχύς βασικού φορτίου παρέχεται στο δίκτυο από διάφορους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, όπως ο άνθρακας ή η πυρηνική ενέργεια, που καλύπτουν τις ελάχιστες ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας, και οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας αιχμής, όπως οι σταθμοί αερίου απλού κύκλου, μπορούν να ανταποκριθούν στις κυμαινόμενες απαιτήσεις για ηλεκτρική ενέργεια. Για να γίνει αυτό, οι μονάδες απλού κύκλου έχουν μεγάλη λειτουργική ευελιξία που σημαίνει ότι μπορούν να ξεκινήσουν γρήγορα για να καλύψουν αυτές τις ανάγκες. Ωστόσο, αυτό έχει χαμηλότερη απόδοση σε σύγκριση με τις μονάδες συνδυασμένου κύκλου, καθώς χρησιμοποιούν λιγότερο την ενέργεια του καυσίμου που χρησιμοποιούν. Η απόδοση αυτών των εγκαταστάσεων είναι περίπου 35%.

Όπου τους λείπει η αποτελεσματικότητα, αντισταθμίζουν το κόστος. Έχει υπολογιστεί ότι για μια μονάδα απλού κύκλου το κόστος είναι

περίπου 389 \$/ kW , ενώ οι μονάδες συνδυασμένου κύκλου είναι 500 – 550 \$/kW.

Η σχετικά χαμηλότερη απόδοση και η λειτουργία να παρέχουν μόνο ισχύ αιχμής, οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής απλού κύκλου δεν λειτουργούν για πολύ όλο το χρόνο. Αυτό τους δίνει έναν πολύ χαμηλό συντελεστή χωρητικότητας , που σημαίνει ότι, κατά μέσο όρο, δεν τρέχουν πολύ κοντά στη μέγιστη απόδοσή τους. Αυτά τα εργοστάσια λειτουργούν συνήθως μόνο για λίγες ώρες την ημέρα.[4]

### 3.2.2. Μονάδα συνδυασμένου κύκλου

Ο απλός κύκλος σταματά εδώ, ωστόσο, ο συνδυασμένος κύκλος εκτείνεται πέρα από αυτό για να χρησιμοποιήσει περισσότερη από την ενέργεια που δημιουργείται στην καύση. Τα καυσαέρια ρέουν προς την επόμενη μονάδα, που ονομάζεται γεννήτρια ατμού ανάκτησης θερμότητας (HRSG- heat recovery steam generator). Το HRSG είναι ουσιαστικά ένας εναλλάκτης θερμότητας , στον οποίο τα θερμά αέρια βράζουν το προθερμασμένο νερό σε ατμό. Στη συνέχεια, ο ατμός διαστέλλεται μέσω μιας τουρμπίνας, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια. Μόλις περάσει ο ατμός, συμπυκνώνεται και ανακυκλώνεται



Εικόνα 3.5 Μονάδα αερίου συνδυασμένου κύκλου στο Ιράν.

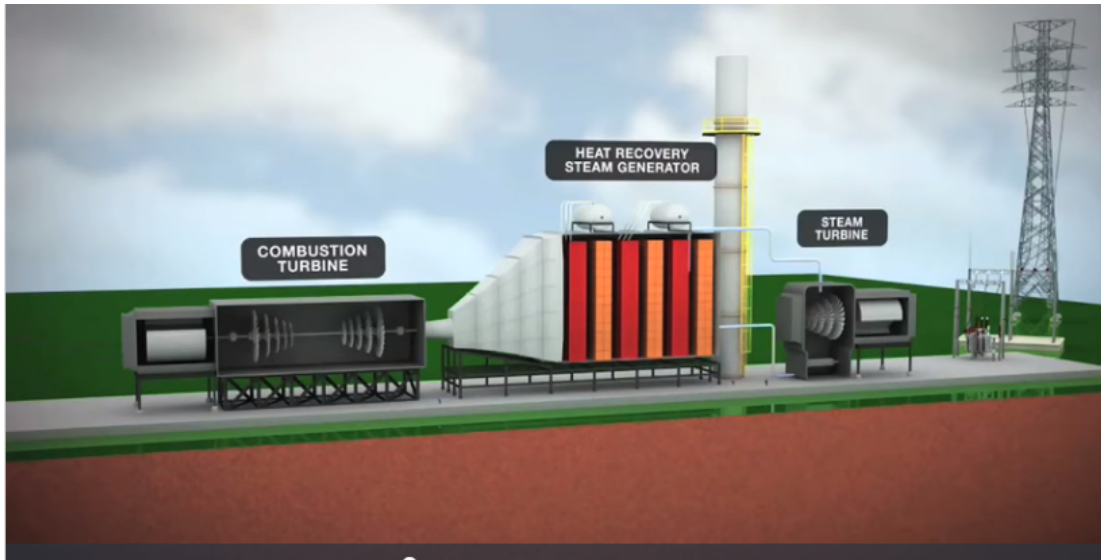
Οι μονάδες συνδυασμένου κύκλου αερίου είναι ένας τύπος σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας φυσικού αερίου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, που αποτελείται από μια μονάδα απλού κύκλου αερίου σε συνδυασμό με μια δεύτερη ατμομηχανή που χρησιμοποιεί τον κύκλο Rankine. Τα καυτά καυσαέρια από τον αρχικό αεριοστρόβιλο αποστέλλονται στην ατμομηχανή και η θερμότητα από αυτά χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού . Αυτός ο ατμός μπορεί στη συνέχεια να επεκταθεί μέσω μιας άλλης τουρμπίνας, παράγοντας ακόμη περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια και αυξάνοντας τη συνολική απόδοση της μονάδας . Η απόδοση αυτών των εγκαταστάσεων μπορεί να είναι τόσο μεγάλη όσο 55% , αλλά οι χρόνοι απενεργοποίησης και επαναλειτουργίας τείνουν να είναι πιο αργοί από τις εγκαταστάσεις φυσικού αερίου απλού κύκλου . Ο συνδυασμένος κύκλος έχει συνήθως αυξημένο κόστος.

Το πρώτο τμήμα του εργοστασίου λειτουργεί με χρήση αεριοστρόβιλου. Ουσιαστικά, λειτουργεί με τη συμπίεση του αέρα, την έγχυση καυσίμου και την ανάφλεξη του μείγματος, το οποίο διαστέλλεται μέσω του στροβίλου προκαλώντας την περιστροφή του. Αυτή η τουρμπίνα συνδέεται με μια γεννήτρια , η οποία στη συνέχεια προκαλεί τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτή η διαδικασία δημιουργεί καυτά καυσαέρια, τα οποία συνήθως διαχέονται σε μια μονάδα απλού κύκλου (απελευθερώνοντας την απορριπτόμενη θερμότητα).

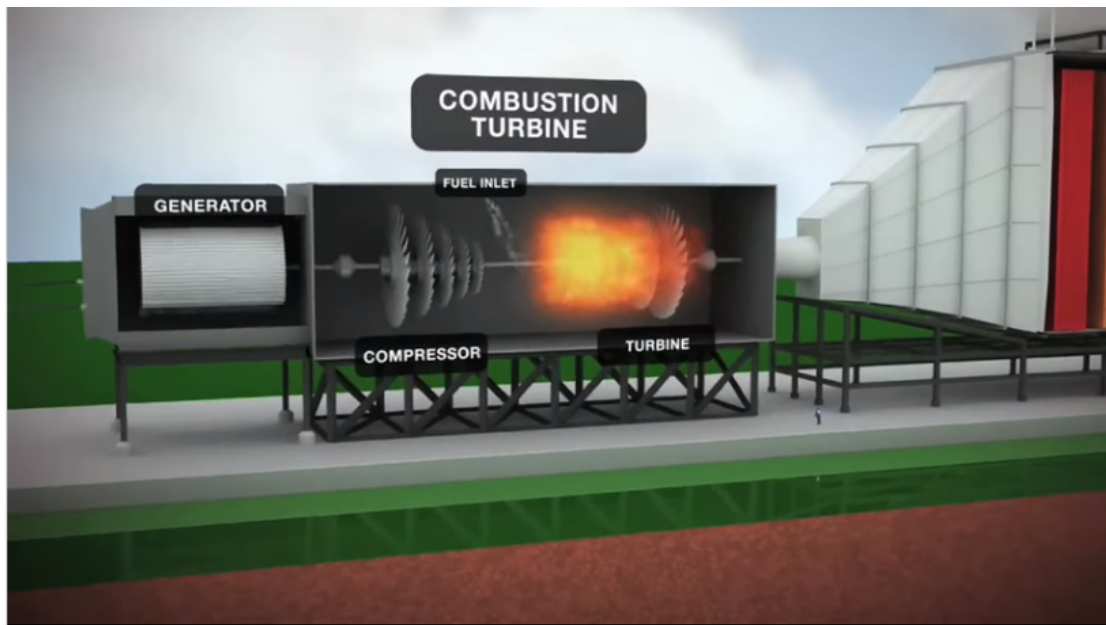
Τα καυσαέρια ρέουν προς την επόμενη μονάδα, που ονομάζεται γεννήτρια ατμού ανάκτησης θερμότητας (HRSG). Το HRSG είναι ουσιαστικά ένας εναλλάκτης θερμότητας , στον οποίο η θερμότητα από τα καυτά αέρια χρησιμοποιείται για να βράσει το νερό προθέρμανσης σε ατμό . Στη συνέχεια, ο ατμός διαστέλλεται μέσω μιας τουρμπίνας , παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια. Μόλις περάσει ο ατμός, συμπυκνώνεται και ανακυκλώνεται.[5]

Η διαδικασία που περιγράφεται στις προηγούμενες δύο παραγράφους παρουσιάζεται στις επόμενες εικόνες.

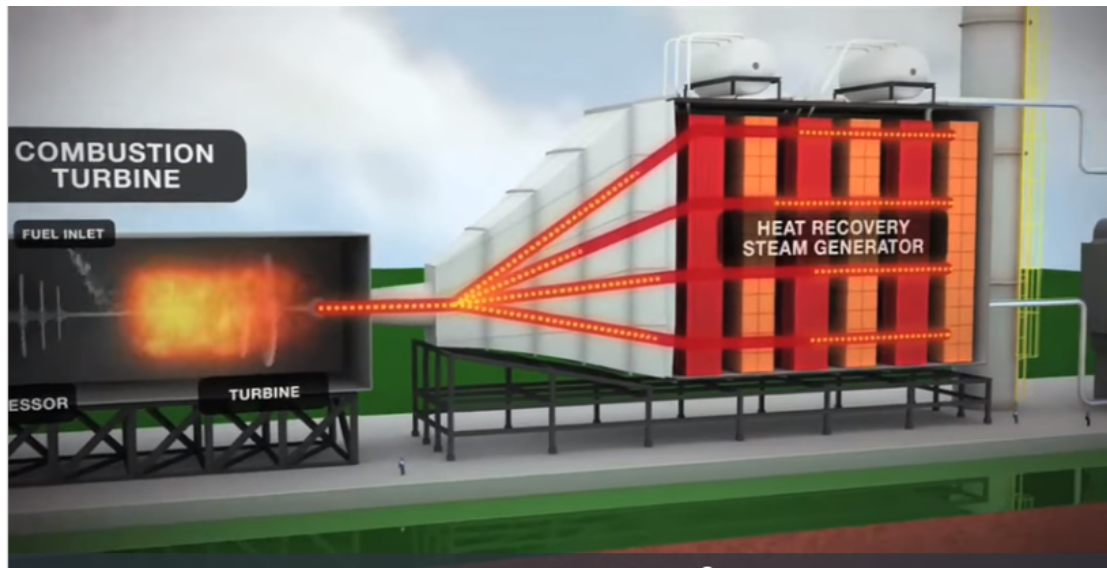




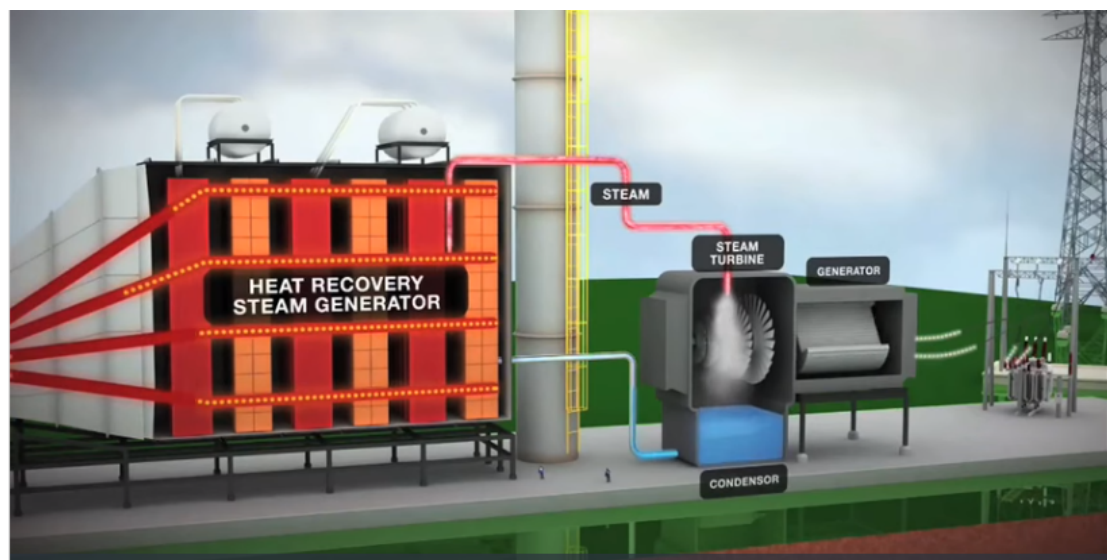
Εικόνα 3.6 Δομικό διάγραμμα μονάδας συνδυασμένου κύκλου ([https://energyeducation.ca/encyclopedia/Combined\\_cycle\\_gas\\_plant](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Combined_cycle_gas_plant))



Εικόνα 3.7 Στάδιο 1: Ο αεριοστρόβιλος τροφοδοτείται με καύσιμο και περιστρέφεται και μαζί του περιστρέφεται και η γεννήτρια παράγοντας ηλεκτρική ισχύ ([https://energyeducation.ca/encyclopedia/Combined\\_cycle\\_gas\\_plant](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Combined_cycle_gas_plant))



Εικόνα 3.8 Τα καυσαέριο της καύσης τροφοδοτούν τη μονάδα ατμοποίησης του νερού, HRSG (([https://energyeducation.ca/encyclopedia/Combined\\_cycle\\_gas\\_plant](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Combined_cycle_gas_plant)))



Εικόνα 3.9 Ο ατμός τροφοδοτεί την τουρμπίνα ατμού η οποία περιστρέφει μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (([https://energyeducation.ca/encyclopedia/Combined\\_cycle\\_gas\\_plant](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Combined_cycle_gas_plant)))

## 4. Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 4.1. Ιστορική αναδρομή

Η συμπαραγωγή δεν είναι κάτι νέο. Εμφανίστηκε για πρώτη φορά στα τέλη της δεκαετίας του 1880 στην Ευρώπη και στις αρχές του 20ου αιώνα στις Ηνωμένες Πολιτείες, όταν οι περισσότερες βιομηχανικές εγκαταστάσεις παρήγαγαν τη δική τους ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας λέβητες με καύση άνθρακα και γεννήτριες ατμοστροβίλων. Πολλές από αυτές τις εγκαταστάσεις χρησιμοποιούσαν τον ατμό της εξάτμισης για βιομηχανικές διεργασίες. Σύμφωνα με την COGEN Europe, ένας δημόσιος σύλλογος υποστήριξης και προβολής της συμπαραγωγής με έδρα το Βέλγιο, η συμπαραγωγή παρήγαγε έως και το 58% της συνολικής ενέργειας από επιτόπιους βιομηχανικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής στις Ηνωμένες Πολιτείες στις αρχές του 1900.

Ως αποτέλεσμα των βελτιώσεων στο κόστος και την αξιοπιστία της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τη χωριστή βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και των αυξανόμενων ρυθμίσεων, η δυναμικότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στις περισσότερες εγκαταστάσεις συμπαραγωγής εγκαταλείφθηκε προς όφελος της πιο βολικής αγοραζόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Λίγες βιομηχανίες, όπως η χαρτοπολτού και το χαρτί και η διύλιση πετρελαίου, συνέχισαν να λειτουργούν τις εγκαταστάσεις συμπαραγωγής τους, εν μέρει λόγω των υψηλών φορτίων ατμού και της διαθεσιμότητας καυσίμων υποπροϊόντων.

Στα μέσα της δεκαετίας του 1900, το ενδιαφέρον άρχισε να κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση με την εμφάνιση κεντρικών σταθμών ηλεκτρικής ενέργειας και αξιόπιστων δικτύων κοινής ωφέλειας, που επέτρεψαν στις βιομηχανικές μονάδες να αρχίσουν να αγοράζουν

ηλεκτρική ενέργεια χαμηλότερου κόστους. Ως αποτέλεσμα, η επιτόπια βιομηχανική συμπαραγωγή μειώθηκε σημαντικά μόνο στο 15% της συνολικής δυναμικότητας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των ΗΠΑ μέχρι το 1950 και στη συνέχεια μειώθηκε σε περίπου 4% έως το 1974.

Η πρώτη δραματική αύξηση του κόστους των καυσίμων και η αβεβαιότητα στον εφοδιασμό καυσίμων στη δεκαετία του 1970 προκάλεσε μια άνοδο στη συμπαραγωγή, ιδιαίτερα σε μεγάλες βιομηχανικές εφαρμογές που απαιτούσαν τεράστιες ποσότητες ατμού. Τα τελευταία χρόνια, μικρότερα συστήματα συμπαραγωγής άρχισαν να διεισδύουν στις βιομηχανίες τροφίμων, φαρμακευτικών και ελαφρών βιομηχανιών, εμπορικά κτίρια και πανεπιστημιούπολεις.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1970, το ενδιαφέρον για τη συμπαραγωγή στις Ηνωμένες Πολιτείες ανανεώθηκε ως απάντηση στον Νόμο Ρυθμιστικής Πολιτικής για τις Δημόσιες Υπηρεσίες του 1978 (PURPA), ο οποίος περιλάμβανε μέτρα για την προώθηση της συμπαραγωγής ως ενεργειακά αποδοτικής τεχνολογίας. Με το πέρασμα του PURPA, αναλήφθηκαν έργα πολλαπλών μεγαβάτ σε μεγάλες μονάδες χαρτοπολτού και χαρτιού, χάλυβα, χημικών και διυλιστηρίων. Μολονότι το PURPA δημιούργησε ένα τεράστιο κίνητρο για αυτά τα έργα μεγάλης κλίμακας που συνέβαλαν σημαντικά στην αύξηση της ικανότητας συνδυασμένης παραγωγής, η πράξη μπορεί να έχει προκαλέσει τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να αποθαρρύνουν τα επωφελή έργα λόγω της ρυθμιστικής εντολής. Ωστόσο, αυτές οι στάσεις αλλάζουν: Οι εταιρείες κοινής ωφέλειας που στοχεύουν στο μέλλον επιδιώκουν ενεργά νέα έργα συμπαραγωγής ως μέρος της επιχειρηματικής τους στρατηγικής.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990, κατασκευάστηκαν περίπου 9.500 μίλια νέων γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσης (αύξηση περίπου 7%) -κάτω από την ανάγκη- που αντιπροσώπευε μια νέα ευκαιρία για αποδοτική καταναεμημένη παραγωγή (DG) και χρήση συμπαραγωγής. Το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ (DOE) εκτιμά ότι περισσότερα από 390

GW νέας παραγωγικής ικανότητας θα χρειαστούν έως το 2020 για να καλυφθεί η αυξανόμενη ενεργειακή ζήτηση στις ΗΠΑ και να αντισταθμιστεί η απώλεια ισχύος από αποσυρθέντες σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Ωστόσο, η απόκτηση έγκρισης για την κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς και η απόκτηση δικαιώματος διέλευσης είναι πολύ δύσκολη.

Σύμφωνα με τον Tom Casten, ιδρυτή της Trigen και επί του παρόντος πρόεδρος και διευθύνων σύμβουλος της Private Power, «Το κοινό απλά απεχθάνεται τις νέες γραμμές μεταφοράς και κανείς δεν τις θέλει στην πίσω αυλή τους. Τα πιο πρόσφατα προβλήματα ηλεκτρικού ρεύματος στις ΗΠΑ προκλήθηκαν από την έλλειψη επαρκούς μετάδοσης και διανομής (T&D) και κανείς κοντά στη βιομηχανία δεν πιστεύει ότι μπορεί να κατασκευαστεί αρκετή νέα μετάδοση». Τα συστήματα κατανεμημένης συμπαραγωγής δεν απαιτούν νέα κατασκευή γραμμών T&D. Ο Tom Casten αναφέρει προβλέψεις της βιομηχανίας που εκτιμούν ότι οι Ηνωμένες Πολιτείες θα χρειαστούν 137.000 MW νέας ισχύος μέχρι το 2010. Σύμφωνα με τον Casten, η ικανοποίηση αυτής της ζήτησης θα απαιτήσει 84 δισεκατομμύρια δολάρια για νέους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και 220 δισεκατομμύρια δολάρια για νέα T&A, για συνολικά 304 δολάρια δισεκατομμύριο. Η κάλυψη της ίδιας ζήτησης με τη ΓΔ θα απαιτήσει 168 δισεκατομμύρια δολάρια για νέα εργοστάσια αλλά 0 δολάρια για T&D. Ο Casten σημειώνει, «Ένα κατανεμημένο ενεργειακό μέλλον θα εξοικονομούσε 136 δισεκατομμύρια δολάρια επενδύσεων κεφαλαίου και θα μείωνε το κόστος της νέας ενέργειας κατά περίπου 3¢/kW».[6]

#### **4.2. Παρούσα κατάσταση**

Η Υπηρεσία Πληροφοριών Ενέργειας (EIA) αναφέρει ότι από το 2000, η συμπαραγωγή αντιπροσώπευε περίπου το 7,5% της δυναμικότητας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και σχεδόν το 9% της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η Private Power μελέτησε δεδομένα από μια αδημοσίευτη έρευνα ΕΠΕ και άλλα

δεδομένα ΕΠΕ και προσδιόρισε ότι η συνολική ΓΔ ήταν 10,7% των συνόλων των ΗΠΑ το 2000.

Σε πλήρη αντίθεση, στην Ολλανδία, περισσότερο από το 40% της ηλεκτρικής ενέργειας λαμβάνεται από συστήματα συνδυασμένης θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (CHP) και στη Δανία, περίπου το 60% λαμβάνεται από αυτά τα συστήματα. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, το μερίδιο της συμπαραγωγής στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει διπλασιαστεί την τελευταία δεκαετία, με στόχο πρόσθετη ανάπτυξη από την κυβέρνηση.[6]

### **4.3. Η έννοια της συμπαραγωγής**

Η συμπαραγωγή είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, που συνήθως ονομάζεται ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα. Σε αντίθεση με τη χωριστή παραγωγή που συχνά συνεπάγεται σημαντικές απώλειες ενέργειας, η συμπαραγωγή έχει τεράστια απόδοση με αποτέλεσμα χαμηλή κατανάλωση καυσίμου, χαμηλές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και αυξημένη οικονομική απόδοση.[7]

### **4.4. Συμβατικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής (κεντρικοί)**

Στη συμβατική παραγωγή ενέργειας σε μεγάλους κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, η θερμότητα που παράγεται διαφεύγει αχρησιμοποίητη στην ατμόσφαιρα.[7]

### **4.5. Συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας)**

Η συμπαραγωγή αξιοποιεί επίσης την απορριπτόμενη θερμότητα που παράγεται κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνονται σημαντικά υψηλότερες τιμές απόδοσης σε σχέση με τη χωριστή παραγωγή.

Η συμπαραγωγή είναι ένα μέσο αποκεντρωμένης παραγωγής ενέργειας, που σημαίνει ότι η ενέργεια παράγεται συνήθως απευθείας στον τόπο κατανάλωσης της. Σε αντίθεση με έναν κεντρικό σταθμό

ηλεκτροπαραγωγής που αποτελεί έναν κόμβο σε μια κεντρική υποδομή παροχής ενέργειας και τροφοδοτεί την υποδομή με ενέργεια, η παραγωγή ενέργειας των συστημάτων συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να είναι εντελώς ανεξάρτητη από το δημόσιο ενεργειακό δίκτυο. Αυτό αυξάνει την ασφάλεια του εφοδιασμού δεδομένου ότι οι δυναμικές παραγωγής είναι κατανεμημένες. [7]

#### **4.6. Αρχή λειτουργίας της συμπαραγωγής**

Τα κύρια εξαρτήματα ενός ΣΗΘ είναι ο κινητήρας, η γεννήτρια και ο εναλλάκτης θερμότητας καθώς και οι μονάδες χειρισμού και ελέγχου. Κανονικά, πρόσθετα εξαρτήματα όπως σύστημα εξάτμισης, συσκευές αερισμού κ.λπ. αποτελούν επίσης μέρος του συστήματος. Ο ακριβής εξοπλισμός εξαρτάται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή.

Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης οδηγεί τη γεννήτρια, η οποία με τη σειρά της παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η θερμότητα που παράγεται από την καύση καυσίμου μέσα στον κινητήρα εσωτερικής καύσης δεν απορρίπτεται - όπως θα συνέβαινε σε ένα αυτοκίνητο, για παράδειγμα - μέσω των συστημάτων ψύξης χωρίς να χρησιμοποιηθεί, αλλά διατίθεται στο δίκτυο θέρμανσης μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας. Με αυτόν τον τρόπο, χρησιμοποιείται έως και το 98 % της πρωτογενούς ενέργειας, δηλαδή με τη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας.

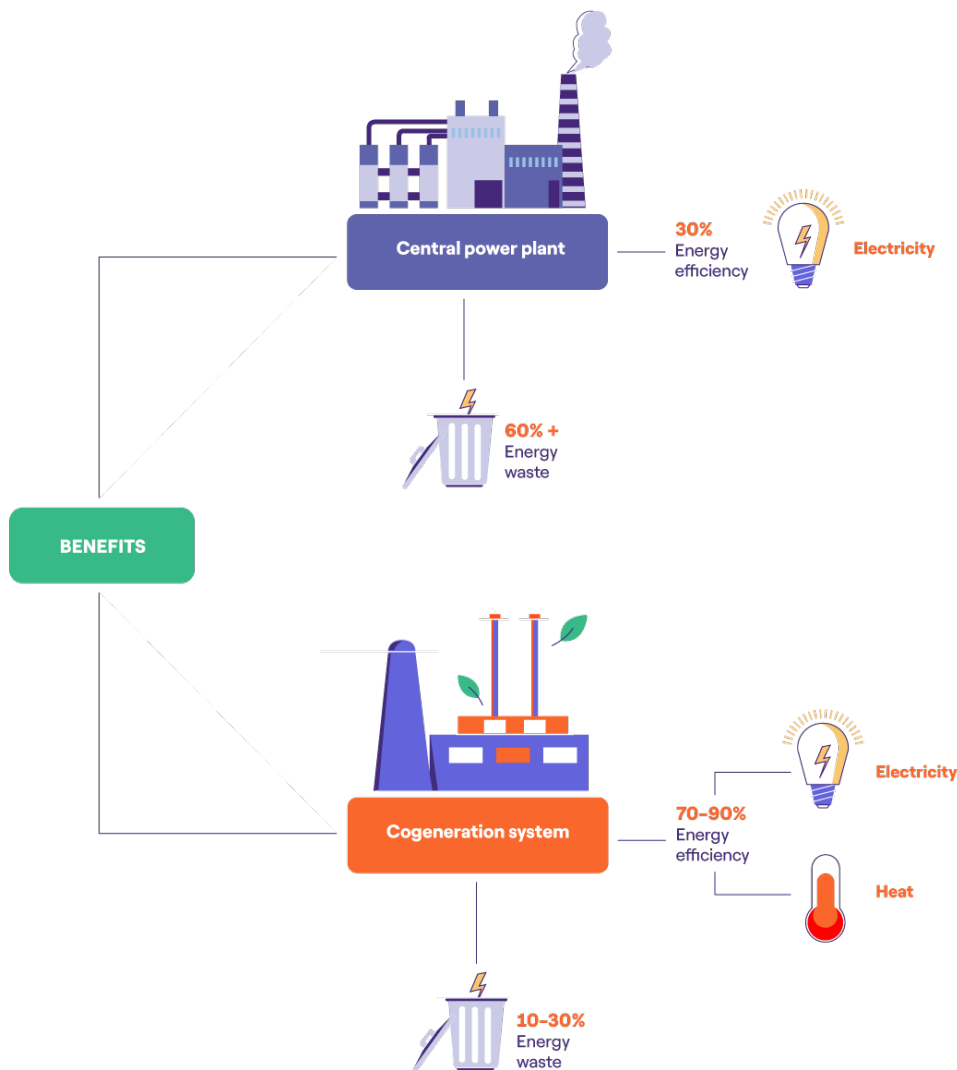
Ωστόσο, τα συστήματα συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι μόνο ικανά να παρέχουν θέρμανση ή ζεστό νερό. Είναι επίσης δυνατή η παραγωγή θερμότητας διεργασίας μέσω ατμού, θερμού αέρα ή θερμικού λαδιού. Αυτό εφαρμόζεται κυρίως σε διαδικασίες βιομηχανικής παραγωγής.

Για συστήματα συνδυασμένης θερμότητας και ισχύος που κινούνται με κινητήρα, ισχύουν γενικά τα ακόλουθα: Η ηλεκτρική ισχύς ενός CHP αντιστοιχεί άμεσα στην ηλεκτρική του απόδοση - σε αυτήν την περίπτωση, συνήθως είναι μεγαλύτερη.

Τα συνδυασμένα συστήματα θερμότητας και ισχύος μπορούν να λειτουργούν με ορυκτά καθώς και αναγεννητικά καύσιμα. Τα υγρά καύσιμα, όπως το πετρέλαιο θέρμανσης οικιακής χρήσης, το φυτικό λάδι ή το βιοντίζελ, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κινητήρες ανάφλεξης με συμπίεση. Αέρια καύσιμα όπως φυσικό αέριο, υγροποιημένο αέριο και βιοαέριο (καθώς και άπαχα αέρια με μικρά μερίδια καύσιμου μεθανίου όπως αέριο λυμάτων, αέριο χωματερής ή αποκαΐδια) χρησιμοποιούνται σε κινητήρες Otto, κινητήρες διπλού καυσίμου ή αεριοστρόβιλους.

Στο πλαίσιο της προοδευτικής ενεργειακής μετάβασης, το υδρογόνο είναι ο κύριος υποψήφιος για να γίνει μια ευρέως χρησιμοποιούμενη κλιματικά ουδέτερη πηγή ενέργειας. Μπορεί να παραχθεί χρησιμοποιώντας περίσσεια αιολικής και ηλιακής ενέργειας. Συνδυάζονται συστήματα παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας από 2G, καθώς είναι ήδη σε θέση να παράγουν θερμότητα και ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας μόνο 100% υδρογόνο. [7]





Εικόνα 4.1 Αρχή λειτουργίας της συμπαραγωγής (<https://corporate.enelx.com/en/question-and-answers/what-are-cogeneration-systems>)

#### 4.7. Αποτελέσματα από τη χρήση της συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας

Στόχος της ΣΗΘ είναι να έχουμε το υψηλότερο δυνατό ποσοστό αξιοποίησης του συστήματος που οδηγεί στην πληρέστερη εκμετάλλευση των διαθέσιμων παραγωγικών δυνατοτήτων. Ωστόσο, η ανάγκη για ευέλικτα ενεργοποιημένες ικανότητες ρύθμισης και εξισορρόπησης αυξάνεται παράλληλα με την επέκταση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που, από τη φύση τους, υπόκεινται σε διακυμάνσεις δυναμικότητας - και η συμπαραγωγή εκπληρώνει τέλεια αυτήν την ανάγκη. [7]

#### **4.8. Προϋπόθεση ώστε η συμπαραγωγή να θεωρηθεί ανανεώσιμη**

Το κεντρικό στοιχείο ενός συστήματος συνδυασμένης θερμότητας και ισχύος είναι ένας κινητήρας με παλινδρομικό έμβολο. Το αν η ενέργεια που παράγεται με τη συμπαραγωγή μπορεί να θεωρηθεί ανανεώσιμη εξαρτάται εξ ολοκλήρου από το καύσιμο.

Ωστόσο, το γεγονός παραμένει: Ακόμη και όταν χρησιμοποιούνται ορυκτά καύσιμα όπως το φυσικό αέριο, η συμπαραγωγή υπερβαίνει κατά πολύ την απόδοση της συμβατικής παραγωγής ενέργειας. Επιπλέον, τα επιβλαβή αέρια που παράγονται αναπόφευκτα από τους χώρους υγειονομικής ταφής και τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας και έτσι να αποσυρθούν από το περιβάλλον - δύο οφέλη ταυτόχρονα.

Ως εκ τούτου, η συμπαραγωγή συμβάλλει ήδη στη σημαντική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου - και χάρη στη δυνατότητα μιας απλής μετατροπής μιας ΣΗΘ για να λειτουργεί με υδρογόνο, έχει ήδη ανοίξει ο δρόμος για μια εντελώς κλιματικά ουδέτερη λειτουργία. Η συμπαραγωγή είναι κάτι περισσότερο από μια τεχνολογία γέφυρας - είναι η ραχοκοκαλιά της ενεργειακής μετάβασης και αποτελεί τη βασική τεχνολογία ενός προοπτικού τοπίου 100% ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. [7]

#### 4.9. Οφέλη της συμπαραγωγής

- Τεράστια οικονομική αποδοτικότητα: Η βέλτιστη χρήση των καυσίμων για τη συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας οδηγεί σε απίστευτη λειτουργική απόδοση - και, κατά συνέπεια, σε μειωμένο ενεργειακό κόστος.
- Ταχεία απόσβεση: Λόγω του ασήμαντου κόστους απόκτησης - ακόμη και σε σύγκριση με τεράστιους, κεντρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας - η επένδυση σε ένα ΣΗΘ αποδίδει σε χρόνο μηδέν.
- Διατήρηση περιορισμένων πόρων: Σε αντίθεση με όταν η θερμότητα και η ηλεκτρική ενέργεια παράγονται χωριστά, οι πεπερασμένα διαθέσιμες ορυκτές πηγές ενέργειας χρησιμοποιούνται πολύ πιο αποτελεσματικά.
- Μείωση των εκπομπών: Η συμπαραγωγή είναι φιλική προς το περιβάλλον επειδή οι εκπομπές CO<sub>2</sub> μειώνονται σημαντικά.
- Τεράστια αξιοπιστία προμήθειας: Η παραγωγή ενέργειας μέσω συμπαραγωγής είναι αποκεντρωμένη και λαμβάνει χώρα κυρίως απευθείας στον τόπο κατανάλωσης και επομένως είναι ανεξάρτητη από το δημόσιο ενεργειακό δίκτυο. Κατά συνέπεια, η διαθεσιμότητα θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας είναι πάντα εγγυημένη. [7]



## 5. ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΕ ΣΤΑΘΜΟ ΚΑΥΣΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

### 5.1. Ανάγκη μετατροπής των λιγνιτικών σταθμών

Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα εκπέμπουν περίπου 10 Gt CO<sub>2</sub> ετησίως και θεωρούνται ένας από τους μεγαλύτερους εκπομπούς αερίων θερμοκηπίου στη βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σήμερα, υπάρχουν σημαντικοί λόγοι για τη μετατροπή των παλαιών υποδομών με άνθρακα σε φυσικό αέριο, όπως είναι η κλιματική αλλαγή και η εξάντληση των κοιτασμάτων άνθρακα. Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αναμένεται ότι η απεξάρτηση από τον άνθρακα θα υλοποιηθεί σε τρεις φάσεις. Σε πρώτη φάση, η παραγωγή άνθρακα θα μετατραπεί σε φυσικό αέριο, υποστηρίζοντας τη συνεχή ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στη δεύτερη φάση, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα γίνουν πιο διαδεδομένες, ενώ οι υποδομές φυσικού αερίου θα αρχίσουν να συνυπάρχουν με το υδρογόνο και άλλα καθαρά καύσιμα. Στην τρίτη φάση, που θα είναι γύρω στα μέσα του αιώνα, θα αρχίσει να αυξάνεται η κυριαρχία του φυσικού αερίου και, στη συνέχεια θα αντικατασταθεί με καθαρά καύσιμα, τα οποία θα αποτελούν ουσιαστικό μέρος των υβριδικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής - σταθμών ηλεκτροπαραγωγής που θα μπορούσαν να ενσωματώσουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ηλεκτρολύτες, αποθήκευση ενέργειας και άλλα στοιχεία για παραγωγή ενέργειας χωρίς άνθρακα.

Με τη μετατροπή σε φυσικό αέριο, οι εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά kWh θα μειωθούν κατά 40% σε σύγκριση με την καύση άνθρακα και κατά 30% με την καύση πετρελαίου. Καθώς το φυσικό αέριο έχει χαμηλότερη περιεκτικότητα σε άζωτο, μπορεί να επιτευχθεί σημαντική μείωση NO<sub>x</sub> (σε σύγκριση με την καύση άνθρακα) με την εγκατάσταση του καυστήρα μας χαμηλών NO<sub>x</sub>. Επιπλέον, καθώς το φυσικό αέριο έχει

χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο και τέφρα, οι εκπομπές SO<sub>x</sub> και τέφρας θα φτάσουν σχεδόν στο μηδέν. [8]

## **5.2. Διαδικασία και τρόποι αντικατάστασης ενός λιγνιτικού σταθμού σε σταθμό καύσης φυσικού αερίου**

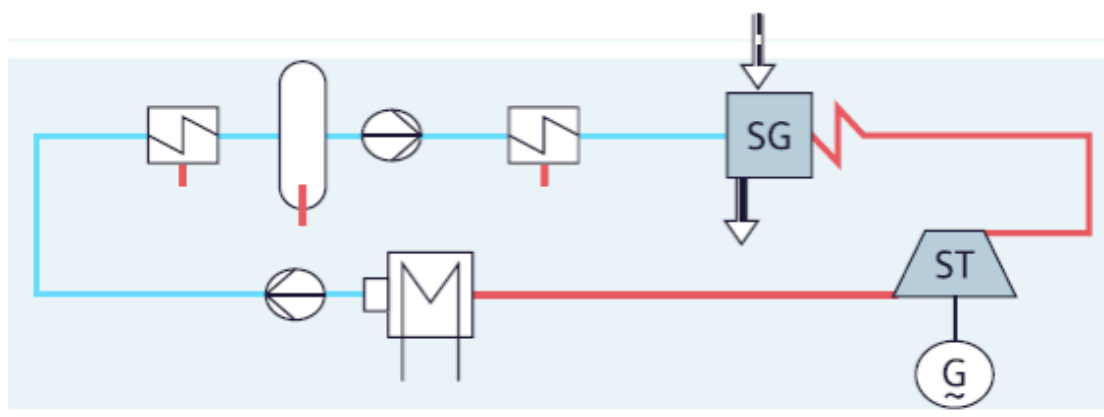
Η πιο προφανής και κοινή λύση για την απαλλαγή της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνθρακα είναι η αντικατάσταση παλαιών σταθμών με πιο αποτελεσματική τεχνολογία που επιτρέπει λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Είναι δυνατό να αντικατασταθούν μέρη ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής με άνθρακα σε φυσικό αέριο μετατρέποντας την υπάρχουσα εγκατάσταση σε μια προηγμένη εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής να γίνονται ολοένα και πιο εμφανείς και τη νέα νομοθεσία, τους στόχους απανθρακοποίησης και τα συγκεκριμένα σχέδια εξόδου από τον άνθρακα, η ανανέωση των παλαιών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα αναμένεται να βιώσει μια ισχυρή αναγέννηση όσον αφορά την ενσωμάτωση βελτιστοποιημένης οικονομίας και απόδοσης. Το επιχειρηματικό σχέδιο στο οποίο βασίζεται περιλαμβάνει χαμηλότερο κόστος επένδυσης, μειωμένες άδειες, μικρότερο χρόνο υλοποίησης και επαναχρησιμοποίηση των υφιστάμενων υποδομών.

Η ανανέωση των υφιστάμενων εγκαταστάσεων κυμαίνεται από μια απλή μετατροπή λέβητα από καύση άνθρακα σε φυσικό αέριο έως τη λεγόμενη topping, booster, παράλληλη τροφοδοσία και τέλος πλήρη ανανέωση ενέργειας, με αποτέλεσμα όχι μόνο το καύσιμο να μετατρέπεται από άνθρακα σε φυσικό αέριο, αλλά ένας σταθμός ηλεκτροπαραγωγής να μετατρέπεται σε μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδυασμένου κύκλου υψηλής απόδοσης. Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή αυτών των επιλογών[8]

### 5.2.1. Μετατροπή λέβητα / γεννήτριας ατμού

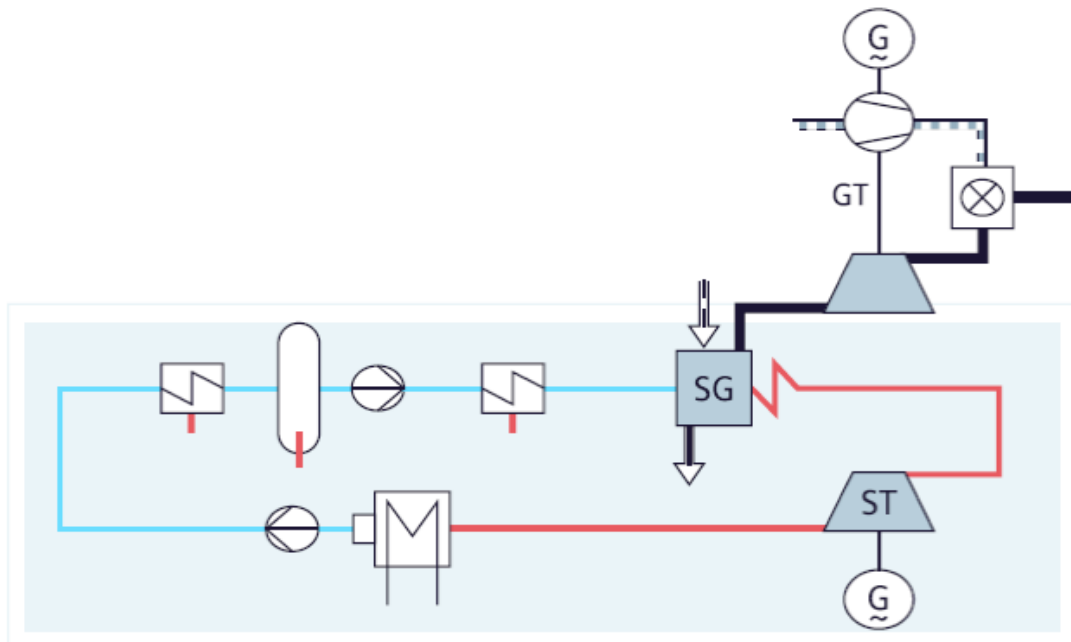
Περιλαμβάνει τροποποίηση της τεχνολογίας του καυστήρα και αλλαγή άνθρακα ή πετρελαίου σε φυσικό αέριο. Σε αυτή την περίπτωση, η μετάβαση στο αέριο ως καύσιμο δεν επιτυγχάνει αύξηση της απόδοσης της μονάδας ατμού. Μπορεί όμως να μειώσει τις εκπομπές CO<sub>2</sub> έως και 50%[8]



Διάγραμμα 5.1 Μετατροπή λέβητα / ατμογεννήτριας (<https://www.siemens-energy.com/global/en/offering/power-generation/power-plants/brownfield-transformation/coal-to-gas.html#Interactive>)

### 5.2.2. Topping

Το topping απαιτεί την εγκατάσταση ενός μικρού αεριοστρόβιλου, ανεξάρτητα από το αν το καύσιμο αλλάζει από άνθρακα σε φυσικό αέριο ή όχι. Η ποσότητα θερμικής ενέργειας που περιέχεται στα καυσαέρια του αεριοστρόβιλου τροφοδοτείται απευθείας στην ατμογεννήτρια της υπάρχουσας μονάδας. Αυτό συνήθως οδηγεί σε μια ελαφρά βελτίωση συνολική απόδοση της εγκατάστασης. [8]

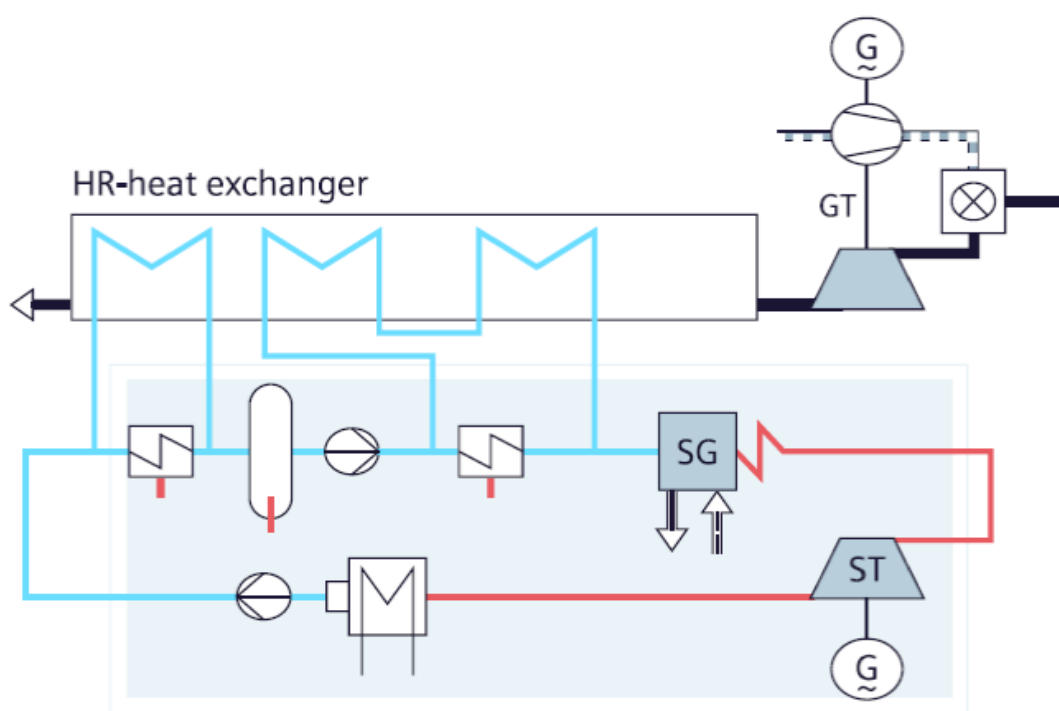


Διάγραμμα 5.2 Μέθοδος topping (<https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/power-plants/brownfield-transformation/coal-to-gas.html#Interactive>)

### 5.2.3. Boosting

Το boosting απαιτεί την εγκατάσταση ενός πρόσθετου – συνήθως μεσαίας δυναμικότητας – αεριοστρόβιλου και έναν λέβητα καυσαερίων. Σε αντίθεση με την τεχνική topping, η θερμική ενέργεια που περιέχεται στο καυσαέριο του αεριοστρόβιλου χρησιμοποιείται με τη βοήθεια ενός εναλλάκτη θερμότητας για την παραγωγή υψηλής πίεσης ατμού και για την προθέρμανση του νερού τροφοδοσίας της υπάρχουσας διαδικασίας. Το boosting ουσιαστικά στοχεύει να κάνει οριακά την ατμοηλεκτρική μονάδα πιο ευέλικτη, ενώ ταυτόχρονα επιτυγχάνεται ελαφρά αύξηση της απόδοσης και μείωση εκπομπές CO<sub>2</sub>[8]

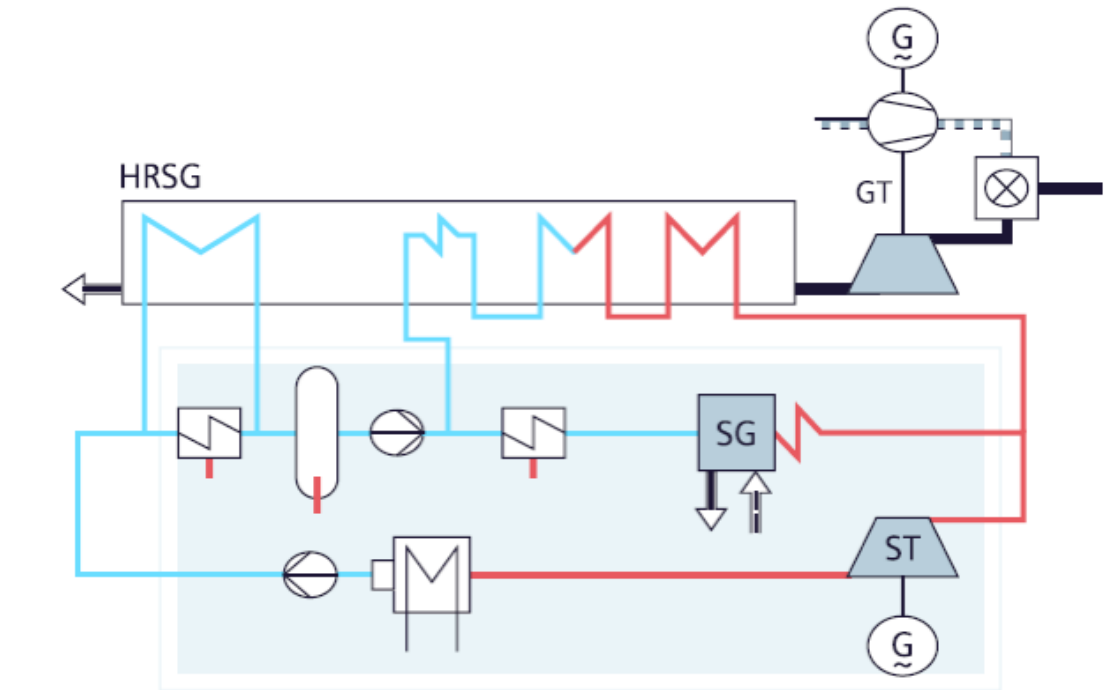




Διάγραμμα 5.3 Μέθοδος Boosting (<https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/power-plants/brownfield-transformation/coal-to-gas.html#Interactive>)

#### 5.2.4. Παράλληλη επανατροφοδότηση

Η παράλληλη επανατροφοδότηση πηγαίνει ένα βήμα παραπέρα χρησιμοποιώντας τον ατμό που περιέχεται στα καυσαέρια ενός πρόσφατα εγκατεστημένου μεγάλου αεριοστρόβιλου με τη βοήθεια μιας γεννήτριας ατμού ανάκτησης θερμότητας για πρόσθετη προθέρμανση του νερού τροφοδοσίας και παραγωγή ατμού στην υπάρχουσα διαδικασία παραγωγής ενέργειας του εργοστασίου. Αυτή η μετατροπή είναι επίσης σχεδιασμένη να αυξάνει την ευελιξία και την αποδοτικότητα ατμοηλεκτρικών σταθμών, σε μεγαλύτερο βαθμό από τη μέθοδο boosting. [8]

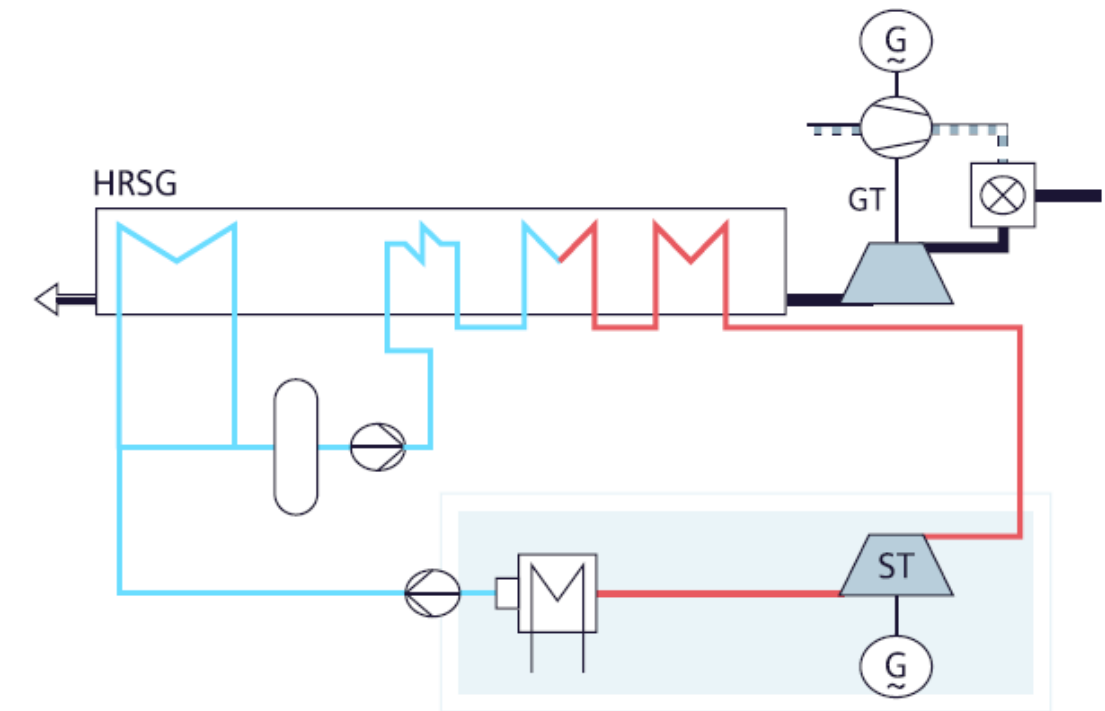


Διάγραμμα 5.4 Μέθοδος παράλληλης ανατροφοδότησης (<https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/power-plants/brownfield-transformation/coal-to-gas.html#Interactive>)

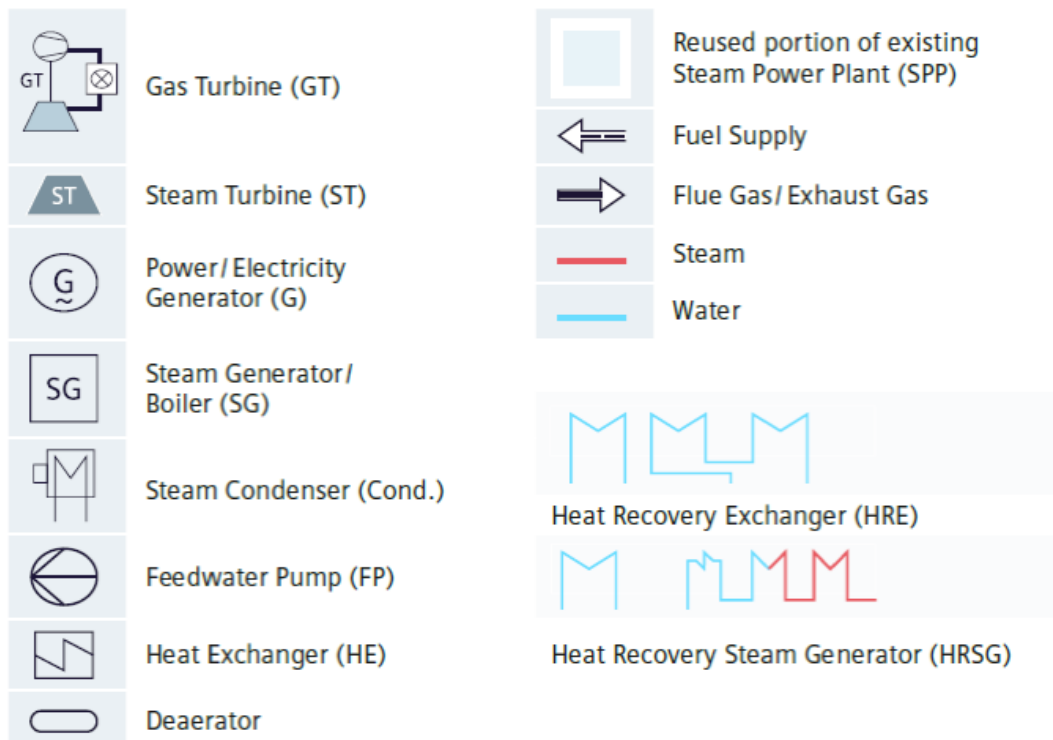
### 5.2.5. Πλήρης ανανέωση

Η πλήρης ανανέωση δεν περιλαμβάνει μόνο αλλαγή καυσίμου από άνθρακα ή πετρέλαιο σε φυσικό αέριο, αλλά και το μετατροπή της υπάρχουσας ατμοηλεκτρικής μονάδας ισχύος σε μονάδα συνδυασμένου κύκλου.

Ωστόσο, η μετατροπή της υπάρχουσας ατμοηλεκτρικής μονάδας σε συνδυασμένο κύκλο μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για απευθείας μετατροπή ατμοηλεκτρικού σταθμού με λέβητας αερίου. Οι γεννήτριες ατμού ανάκτησης θερμότητας αντικαθιστούν το ατμογεννήτρια που είχε προηγουμένως καύση με άνθρακα, πετρέλαιο ή φυσικό αέριο. [8]

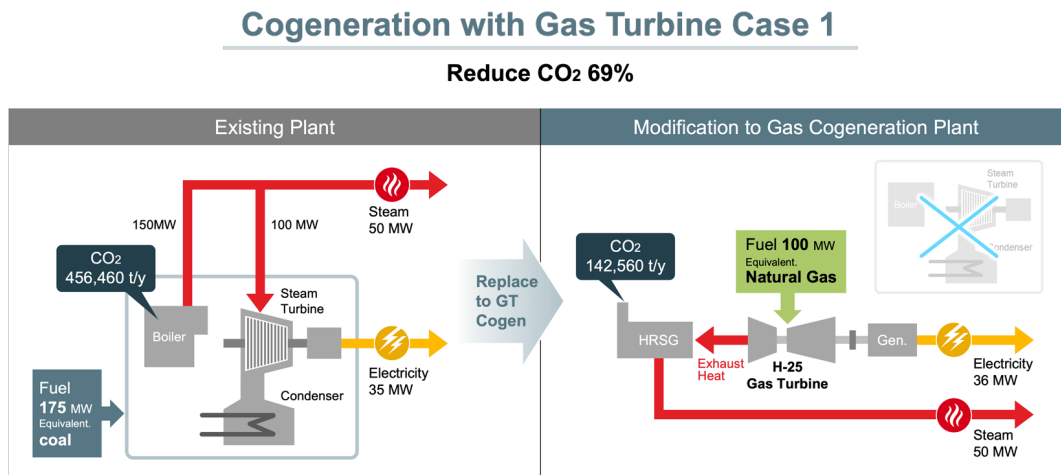


Διάγραμμα 5.5 Πλήρης ανανέωση (<https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/power-plants/brownfield-transformation/coal-to-gas.html#Interactive>)



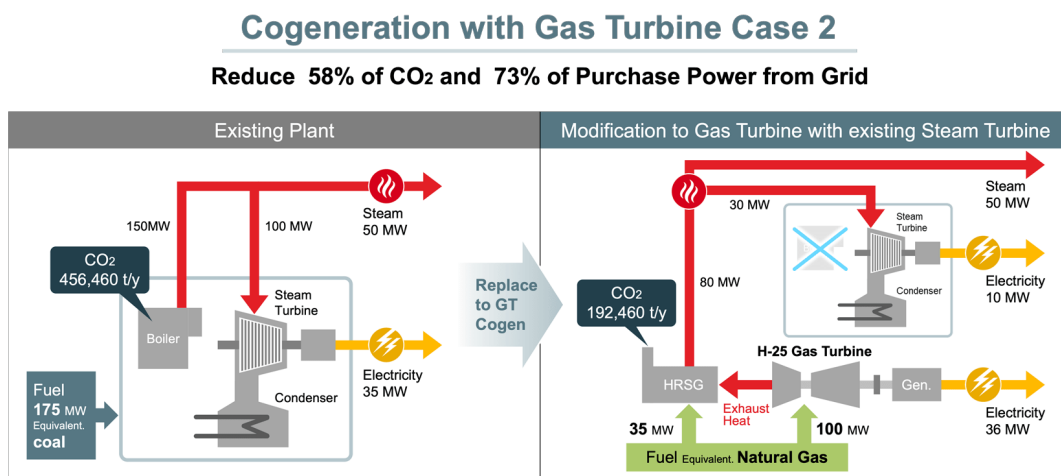
Εικόνα 5.1 Υπόμνημα συμβόλων (<https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/power-plants/brownfield-transformation/coal-to-gas.html#Interactive>)

5.2.6. Παράδειγμα λύσεων μετατροπής καυσίμου με αεριοστρόβιλο  
 Περίπτωση 1: Κατάργηση των εγκαταστάσεων καύσης άνθρακα με STG (Steam Turbine Generator) και εγκατάσταση νέας GT (Gas Turbine) + HRSG (Heat Recovery Steam Generator) προκειμένου να αυξηθεί η ηλεκτρική ισχύς κατά 1 MW και να μειωθούν οι εκπομπές CO<sub>2</sub> κατά 313.900 τόνους/έτος[9]



Εικόνα 5.2 Συμπαράγωγή με αεριοστρόβιλο φυσικού αερίου – περίπτωση 1 (<https://solutions.mhi.com/power/case-studies/coal-to-gas-conversion-of-power-plant-to-meet-strict-co2-emission-regulation/>)

Περίπτωση 2: Κατάργηση εγκαταστάσεων με καύση άνθρακα, εγκατάσταση νέων GT + HRSG, βελτιστοποίηση και μετασκευή μέρους των υφιστάμενων εγκαταστάσεων προκειμένου να αυξηθεί η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς κατά 11 MW και να μειωθούν οι εκπομπές CO<sub>2</sub> κατά 264.000 τόνους/έτος[9]



**Εικόνα 5.3** Συμπαγωγή με αεριοστρόβιλο φυσικού αερίου – περίπτωση 2  
(<https://solutions.mhi.com/power/case-studies/coal-to-gas-conversion-of-power-plant-to-meet-strict-co2-emission-regulation/>)

Τα καυσαέρια του αεριοστρόβιλου έχουν θερμοκρασία περίπου 560°C, το οποίο είναι υψηλότερο από άλλους αεριοστρόβιλους της ίδιας περιοχής εξόδου και επιτρέπει την παροχή μεγαλύτερης ποσότητας ατμού σε σύγκριση με τους άλλους αεριοστρόβιλους. Η μετατροπή συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (σε αέριο) μπορεί επίσης να ενισχύσει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ιδιόκτητες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, μειώνοντας την ανάγκη αγοράς ενέργειας και μειώνοντας ακόμη περισσότερο το κόστος.

Η μετατροπή μιας εγκατάστασης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από άνθρακα σε αέριο με χρήση γεννητριών αεριοστροβίλων με παρόμοια κατηγορία απόδοσης μπορεί να μειώσει στο μισό τις εκπομπές CO<sub>2</sub>.

## 6.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] <https://gr.boell.org/el>
  
- [2] <https://www.electricalengineeringinfo.com/2014/12/steam-power-station-or-steam-power-generation-plant-or-thermal-power-plant.html>
  
- [3] [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Natural\\_gas\\_power\\_plant](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Natural_gas_power_plant)
  
- [4] [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Simple\\_cycle\\_gas\\_plant](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Simple_cycle_gas_plant)
  
- [5] [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Combined\\_cycle\\_gas\\_plant](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Combined_cycle_gas_plant)
  
- [6] Encyclopedia of Energy,2004, Pages 581-594, Cogeneration, DougHinrichs (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B012176480X000930>)
  
- [7] <https://2-g.com/en/innovation-knowledge/combined-heat-and-power-generation>
  
- [8] <https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/power-plants/brownfield-transformation/coal-to-gas.html#Interactive>
  
- [9] <https://solutions.mhi.com/power/case-studies/coal-to-gas-conversion-of-power-plant-to-meet-strict-co2-emission-regulation/>