



# ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ

Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο  
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Αλεξάνδρα Μπαρμπατζά



# Τρόποι Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

**-Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παραχθεί με δύο τρόπους:**

- Από την ενέργεια των υδάτων
- Από την ενέργεια που περικλείεται στα διάφορα καύσιμα. Στην περίπτωση αυτή ενδιάμεση ενεργειακή μορφή είναι η θερμότητα που χαρακτηρίζει και όλη τη διαδικασία.

**-Συνεπώς με βάση αυτούς τους δύο τρόπους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι μονάδες παραγωγής ταξινομούνται σε δύο βασικές κατηγορίες:**

- Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί
- Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί

**-Δυο μεγάλες κατηγορίες Θερμοηλεκτρικών Σταθμών είναι οι:**

- Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί
- Σταθμοί με Μηχανή Εσωτερικής Καύσης



# Συμπαραγωγή

## **-Τι είναι η Συμπαραγωγή?**

Είναι η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας. Με άλλα λόγια είναι η ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας ή ψύξης από την ίδια ποσότητα καυσίμου με σημαντικά μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης από την ανεξάρτητη παραγωγή καθεμιάς από τις ανωτέρω μορφές ενέργειας. Ο μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης της συγκεκριμένης εφαρμογής σημαίνει μικρότερη κατανάλωση καυσίμου για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας τελικής ενέργειας με προφανή οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

## **-Βασική Αρχή Λειτουργίας των Συστημάτων Συμπαραγωγής:**

Τα συστήματα συμπαραγωγής έχουν ως κύριο χαρακτηριστικό τους την ανάκτηση του μεγαλύτερου μέρους της παραγομένης θερμικής ενέργειας, η οποία αν δεν μεσολαβήσει κάποια άλλη διεργασία, αποτελεί απλώς απώλεια προς το περιβάλλον, επιτυγχάνοντας με τον τρόπο αυτό εξοικονόμηση πόρων και βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



# Συμπαραγωγή

- Η θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη ή κλιματισμό.
- Η ψύξη ή ο κλιματισμός επιτυγχάνονται με αντλίες θερμότητας οι οποίες απορροφούν θερμική ενέργεια από τους χώρους που θέλουμε να ψύξουμε ή να κλιματίσουμε και την μεταφέρουν στο νερό που χρησιμοποιείται για θέρμανση.
- Κατά τη λειτουργία ενός συμβατικού θερμοηλεκτρικού σταθμού, μεγάλα ποσά θερμότητας αποβάλλονται στο περιβάλλον, είτε μέσω των ψυκτικών κυκλωμάτων (συμπυκνωμάτων ατμού, πύργων ψύξης, ψυγείων νερού κινητήρων Diesel, κτλ.), είτε μέσω των καυσαερίων (αεριοστροβίλων, κινητήρων Diesel, κινητήρων Otto, κτλ.).



# Συμπαραγωγή

**-Καύσιμα που χρησιμοποιούνται για τη Συμπαραγωγή:**

Ως πηγή ενέργειας σε μονάδες Συμπαραγωγής μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε καύσιμο (ορυκτό ή βιομάζα). Ωστόσο το καύσιμο που σήμερα κυριαρχεί, για οικονομικούς αλλά και περιβαλλοντικούς λόγους, είναι το Φυσικό Αέριο.

Το συγκεκριμένο καύσιμο βρίσκει ευρεία εφαρμογή σε τεχνολογίες Συμπαραγωγής και ιδιαίτερα στους αεροστρόβιλους και στις μηχανές εσωτερικής καύσης. Παρουσιάζει υψηλό ενεργειακό βαθμό απόδοσης καθώς και χαμηλές εκπομπές αέριων ρύπων.



# Συμπαραγωγή

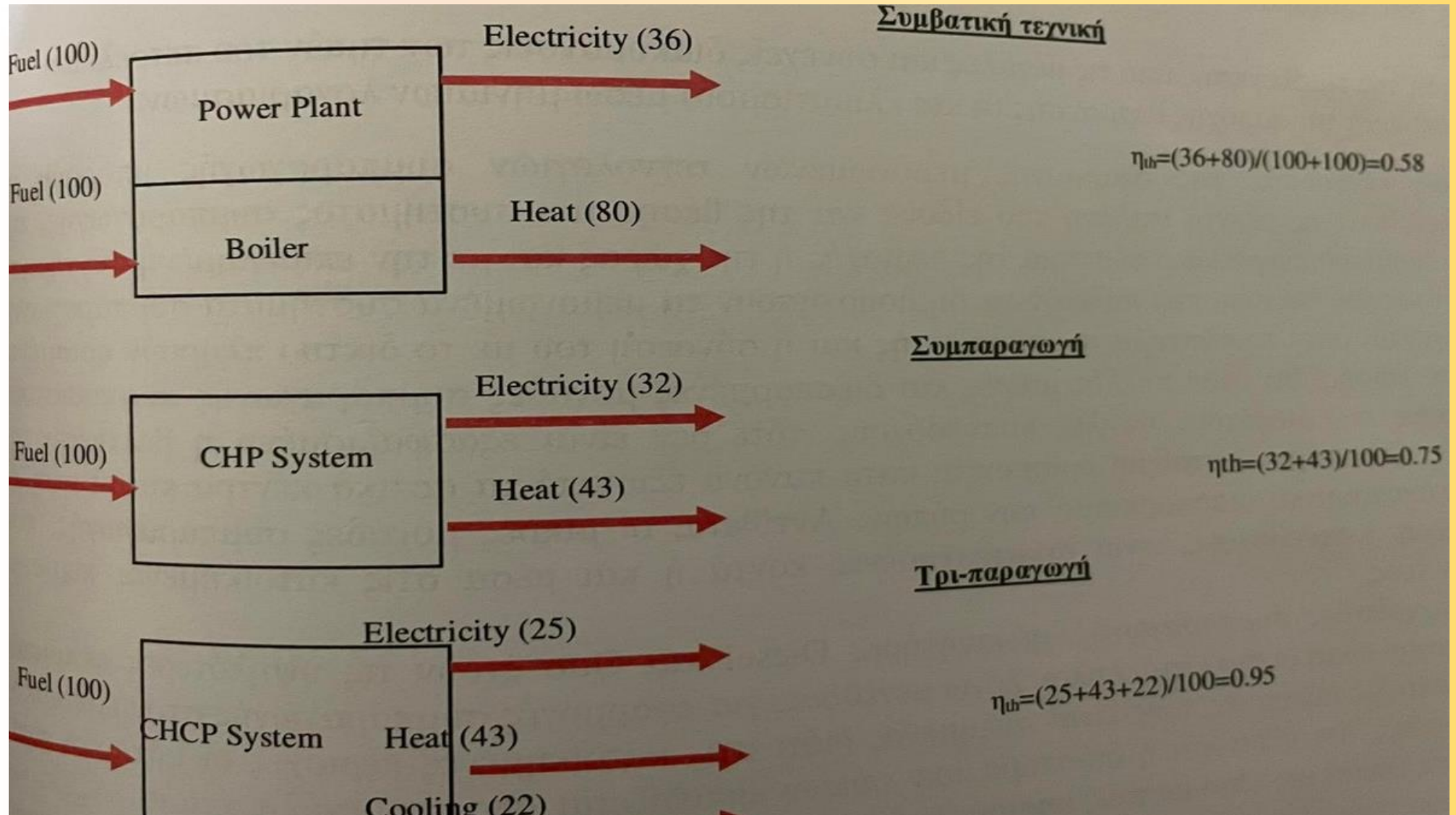
## -Απόδοση Συστημάτων Συμπαραγωγής

Με την αξιοποίηση της θερμικής ενέργειας η απόδοση μιας εγκατάστασης συμπαραγωγής μπορεί να φθάσει ή και να ξεπεράσει το 90%. Ως εκ τούτου η Συμπαραγωγή προσφέρει εξοικονόμηση ενέργειας που κυμαίνεται μεταξύ 15%-40% σε σύγκριση με τη διάθεση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από συμβατικούς σταθμούς και λέβητες αντίστοιχα.

Με το συμβατικό τρόπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μεγάλες ποσότητες θερμότητας απορρίπτονται στο περιβάλλον, είτε μέσω των ψυκτικών κυκλωμάτων (συμπυκνωτές, πύργοι ψύξης κτλ.), είτε μέσω των καυσαερίων (αεροστρόβιλοι κτλ.). Με τη μέθοδο της συμπαραγωγής σημαντικό μέρος της θερμότητας αυτής ανακτάται και χρησιμοποιείται.

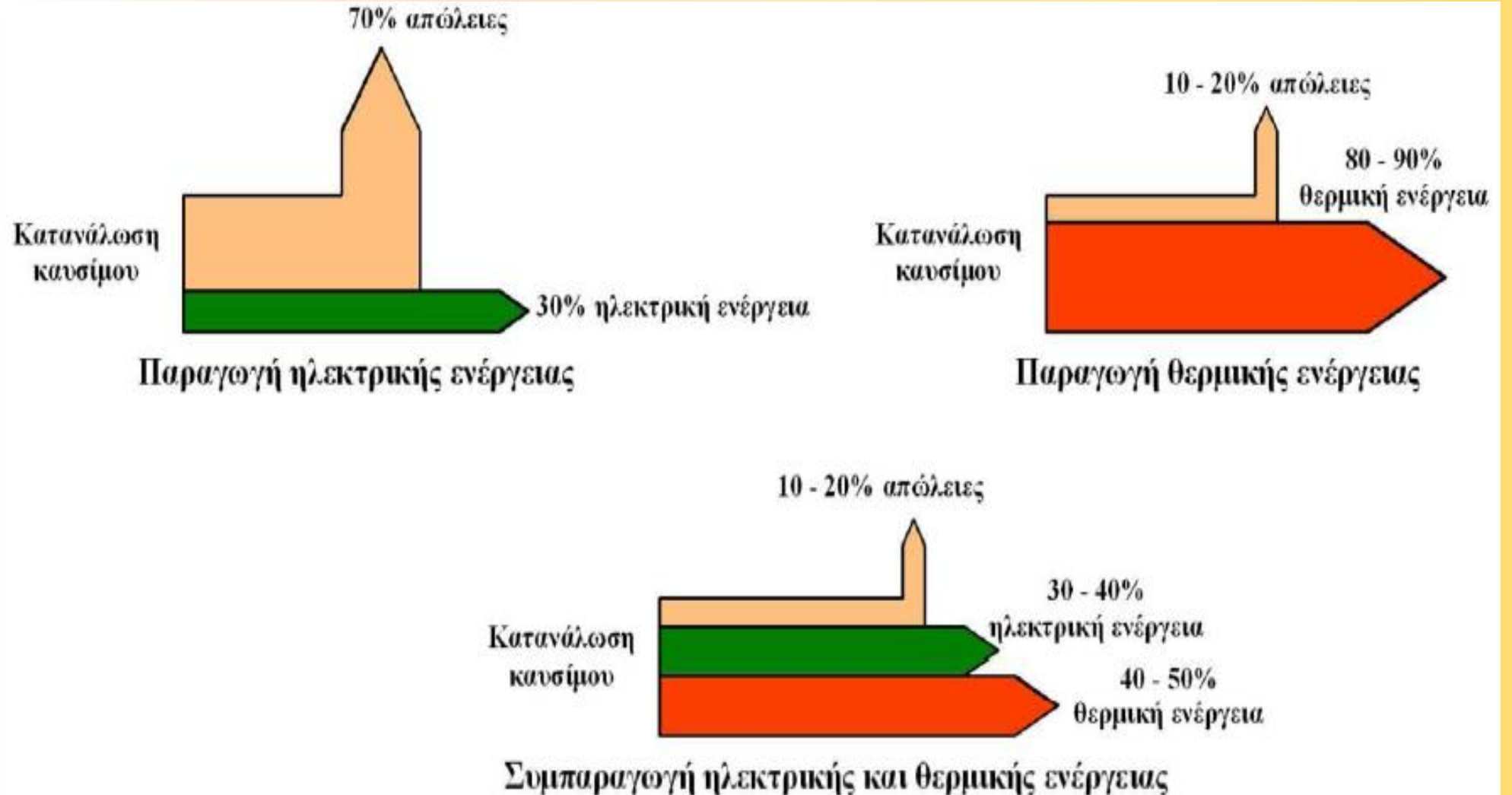


# Συμπαράγωγή





# Συμπαραγωγή





# Ιστορική αναδρομή της Συμπαραγωγής

Η ιδέα της συμπαραγωγής είναι αρκετά παλιά. Συγκεκριμένα πρωτοεμφανίσθηκε στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α. γύρω στα 1890. Κατά τις πρώτες δεκαετίες του 20ου αιώνα, οι περισσότερες βιομηχανίες είχαν δικές τους μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με ατμολέβητα-στρόβιλο που λειτουργούσαν με άνθρακα. Πολλές από τις μονάδες αυτές ήταν συμπαραγωγικές. Αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι περίπου το 58% του ηλεκτρισμού, που παραγόταν σε βιομηχανίες των Η.Π.Α. στις αρχές του αιώνα, προερχόταν από μονάδες συμπαραγωγής. Ωστόσο, η βιομηχανική συμπαραγωγή στις Η.Π.Α. μειώθηκε στο 15% του όλου δυναμικού ηλεκτροπαραγωγής μέχρι το 1950 και έπεσε στο 5% μέχρι το 1974.

**-Η κάμψη αυτή σημειώθηκε για δύο κυρίως λόγους:**

- Ανάπτυξη των δικτύων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρισμού, που προσέφεραν σχετικά φθηνή και αξιόπιστη ηλεκτρική ενέργεια
- Διαθεσιμότητα υγρών καυσίμων και φυσικού αερίου σε χαμηλές τιμές, που έκανε τη λειτουργία λεβήτων οικονομικά συμφέρουσα



# Ιστορική αναδρομή της Συμπαραγωγής

-Η πορεία αυτή έχει πλέον αντιστραφεί όχι μόνον στις Η.Π.Α. αλλά και σε χώρες της Ευρώπης, στην Ιαπωνία κτλ., γεγονός το οποίο οφείλεται κυρίως:

- Στην απότομη αύξηση των τιμών των καυσίμων από το 1973 και μετά.
- Στην αξιοσημείωτη πρόοδο της σχετικής τεχνολογίας. Οι βελτιώσεις και εξελίξεις συνεχίζονται και νέες τεχνικές αναπτύσσονται και δοκιμάζονται, αλλά ήδη η συμπαραγωγή έχει φθάσει σε επίπεδο ωριμότητας με αποδεδειγμένη αποδοτικότητα και αξιοπιστία.



# Οι τεχνολογίες της Συμπαγωγής

**-Ένα σύστημα συμπαγωγής αποτελείται από τις ακόλουθες διακριτές συνιστώσες:**

- **Κύκλωμα θέρμανσης:** Το κύκλωμα θέρμανσης έχει σκοπό να δεσμεύσει την απορριπτόμενη θερμότητα και να καλύψει το θερμικό φορτίο. Στο κύκλωμα θέρμανσης περιλαμβάνονται η ανάκτηση θερμότητας, λέβητας ή βοηθητική πηγή θέρμανσης, αντλία θερμότητας κλπ.
- **Κύκλωμα ψύξης:** Το κύκλωμα ψύξης έχει σκοπό την παροχή ψύξεως προς τις βασικές μονάδες ισχύος του συστήματος συμπαγωγής. Δύναται να περιλαμβάνει πύργους ψύξης, αντλίες θερμότητας, συμπιεστές, ψύκτες απορρόφησης κλπ.
- **Κύκλωμα ισχύος:** Στο κύκλωμα ισχύος εκτελείται η βασική παραγωγή ισχύος του συστήματος. Μπορεί να αποτελείται από ατμοστρόβιλους, αεριοστρόβιλους, ντιζελογεννήτριες κλπ.



# Οι τεχνολογίες της Συμπαγωγής

-Οι βασικές τεχνολογίες Σ.Η.Θ. προκύπτουν με βάση τα χρησιμοποιούμενα κυκλώματα ισχύος και είναι οι εξής:

- Συστήματα Ατμοστροβίλου
- Συστήματα Αεροστροβίλου:
  - Ανοιχτού Κύκλου
  - Κλειστού Κύκλου
- Συστήματα Εμβολοφόρου Κινητήρα Εσωτερικής Καύσης Otto - Diesel
- Συστήματα Συνδυασμένου Κύκλου
- Τυποποιημένες Μονάδες Συμπαγωγής («πακέτα»)
- Κύκλοι Βάσης Rankine με Οργανικά Ρευστά
- Κυψέλες Καυσίμου (Fuel Cells)
- Μηχανές Stirling



# Ατμοστρόβιλοι

- Σε ένα ατμοστρόβιλο η παραγωγή μηχανικής ισχύος επιτυγχάνεται μέσω της εκτόνωσης υπέρθερμου, πεπιεσμένου ατμού υψηλής ενθαλπίας σε ένα στρόβιλο.
- Η σύγχρονη μορφή του εισήχθη το 1884 από το Βρετανό Sir Charles Parsons (1854 - 1931).
- Η χρήση των ατμοστροβίλων είναι εξαιρετικά διαδεδομένη στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Περισσότερο από το 85% της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται από ατμοστρόβιλους.
- Το μέγεθος των ατμοστροβίλων ποικίλλει από μονάδες με ισχύ μικρότερη των 0,75 kW για κίνηση αντλιών, συμπιεστών και μικρών γεννητριών ηλεκτρικής ισχύος, έως μονάδες με ισχύ 1,5 GW για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ένας ατμοστρόβιλος αποτελείται από μία σειρά στροβίλων συνδεδεμένων μεταξύ τους και συζευγμένων σε κοινό άξονα με τη γεννήτρια. Στην αρχή του άξονα η αλληλουχία των στροβίλων ξεκινάει με τη βαθμίδα υψηλής πίεσης, η οποία ακολουθείται από τη βαθμίδα μέσης πίεσης, για να καταλήξει τελικά σε δύο στροβίλους χαμηλής πίεσης πριν την επαγωγική γεννήτρια. Καθώς ο ατμός κινείται διαμέσου των βαθμίδων, αποδίδοντας συνεχώς μηχανική ισχύ, η πίεσή του και θερμική ενέργειά του μειώνονται, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο όγκος του, απαιτώντας έτσι ολοένα αυξανόμενη διάμετρο και πτερύγια μεγαλύτερου μήκους για τη δέσμευση της εναπομένουσας ισχύος.



# Ατμοστρόβιλοι

Η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος σε ένα ατμοηλεκτρικό σταθμό θα μπορούσε να διακριθεί σε τρία στάδια:

- Στάδιο παρασκευής ατμού
- Στάδιο εκτόνωσης ατμού και παραγωγής μηχανικής ισχύος
- Στάδιο επαναφοράς του ατμού σε υγρή κατάσταση μετά την εκτόνωσή του στις βαθμίδες στροβίλου

## **-Στάδιο παρασκευής ατμού:**

- Το καύσιμο (συνήθως στερεό) μεταφέρεται από το χώρο αποθήκευσής του με τη βοήθεια των ταινιόδρομων (14) προς το μύλο κονιοποίησης (16), όπου μετατρέπεται σε πολύ λεπτή σκόνη. Στην περίπτωση χρήσης μη στερεού καυσίμου (π.χ. μαζούτ) δεν υπάρχουν ταινιόδρομοι και μύλος κονιοποίησης, αλλά, αντίθετα, το καύσιμο αντλείται από τη δεξαμενή αποθήκευσης και οδηγείται απευθείας στον καυστήρα.
- Από το μύλο κονιοποίησης η σκόνη καυσίμου οδηγείται στον καυστήρα, όπου αναμειγνύεται με προθερμασμένο αέρα, που έχει προπαρασκευαστεί στον προθερμαντήρα (24), και ο οποίος φτάνει, επίσης, στον καυστήρα με τη βοήθεια του ανεμιστήρα κυκλοφορίας (20).
- Το ήδη θερμό μίγμα αέρα - καυσίμου αναφλέγεται στον καυστήρα του λέβητα.



# Ατμοστρόβιλοι

- Η παραγόμενη θερμότητα από την καύση του καυσίμου μεταφέρεται σε νερό υψηλής καθαρότητας, το οποίο ρέει κάθετα στα τοιχώματα του λέβητα.
- Το νερό ατμοποιείται και μεταφέρεται στο τύμπανο του λέβητα (17), όπου απομακρύνονται από τον ατμό τα οποιαδήποτε κατάλοιπα μη ατμοποιημένου νερού.
- Ο καθαρός ατμός οδηγείται στη συνέχεια στον υπερθερμαντήρα (19), όπου η πίεση και η θερμοκρασία του αυξάνονται σε τιμές της τάξης των 200 bar και 570 °C, αντίστοιχα. Εδώ ολοκληρώνεται η διαδικασία παρασκευής του ατμού για την εκτόνωσή του στις βαθμίδες στροβίλων.

## **-Στάδιο εκτόνωσης ατμού:**

- Αρχικά ο ατμός οδηγείται από το στρόβιλο υψηλής πίεσης (11), όπου εκτελείται η πρώτη από τις τρεις μετατροπές της ενθαλπίας του ατμού σε μηχανικό έργο. Μέσω της βαλβίδας ελέγχου (10) είναι δυνατός τόσο ο χειροκίνητος έλεγχος του στροβίλου όσο και η αυτόματη παύση του.
- Ο εξερχόμενος ατμός από τη βαθμίδα υψηλής πίεσης, έχοντας μειωμένη πίεση και θερμοκρασία σε σχέση με την έξοδό του από τον υπερθερμαντήρα (19), οδηγείται, στη συνέχεια, στον υπερθερμαντήρα (21), όπου αναθερμαίνεται.
- Ο αναθερμασμένος ατμός διέρχεται έπειτα από το στρόβιλο ενδιάμεσης ή μέσης πίεσης (9) και, στη συνέχεια, οδηγείται απευθείας στο στρόβιλο χαμηλής πίεσης (6). Εδώ ολοκληρώνεται η διαδικασία παραλαβής μηχανικού έργου από τον ατμό.



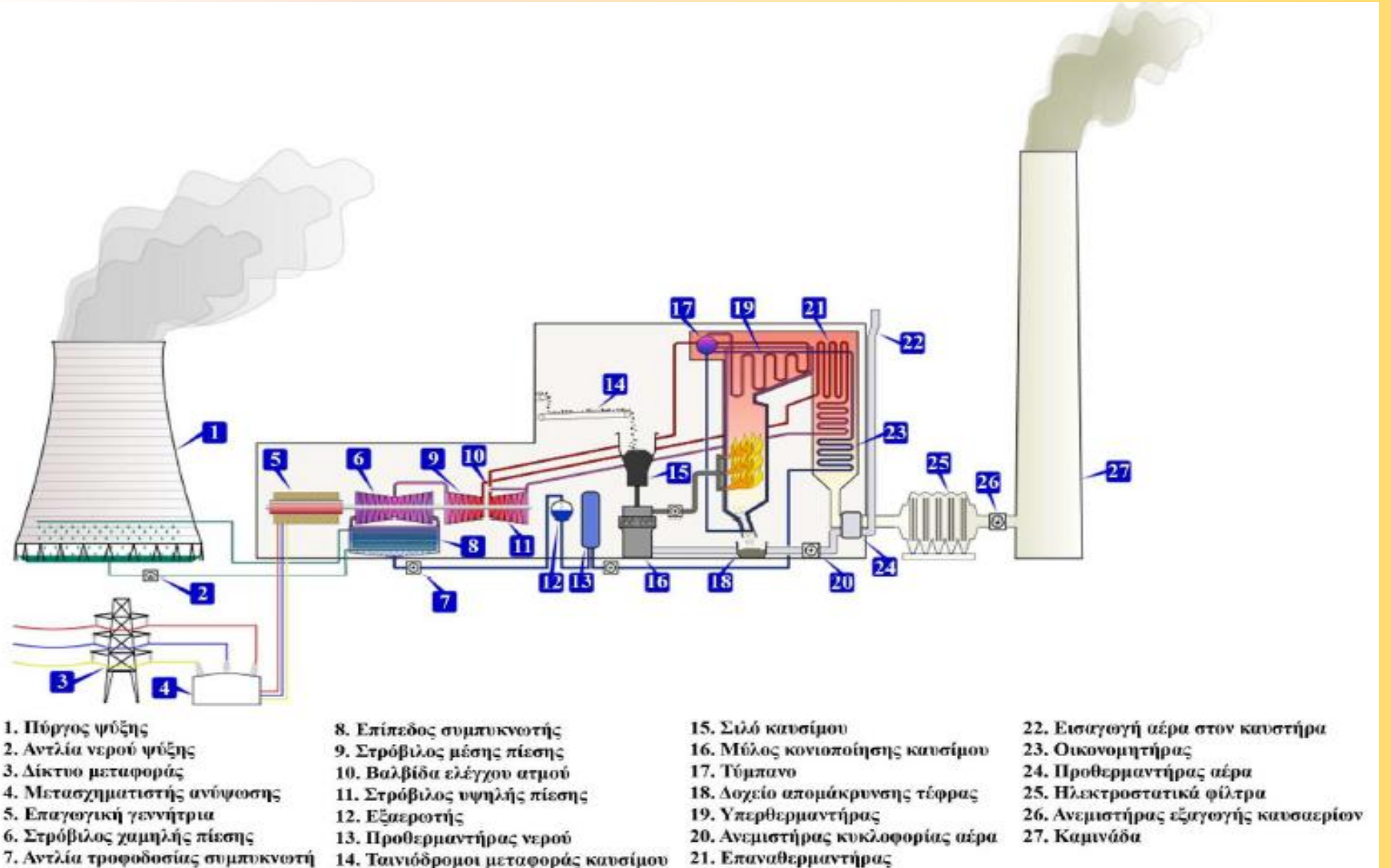
# Ατμοστρόβιλοι

## -Στάδιο επαναφοράς ατμού:

- Μετά την εκτόνωση του ατμού στη βαθμίδα χαμηλής πίεσης, ο ατμός, ο οποίος βρίσκεται σε θερμοκρασία λίγο πάνω από το σημείο βρασμού του νερού, οδηγείται στο συμπυκνωτή (8), όπου ψύχεται και υγροποιείται, ερχόμενος σε επαφή με κρύο νερό που αντλείται από τον πύργο ψύξης (1). Το κρύο νερό ψύξης επιστρέφει στον πύργο ψύξης για την αποβολή της θερμότητας που παρέλαβε κατά την ψύξη του ατμού.
- Το συμπυκνωμένο νερό οδηγείται μέσω της αντλίας ανατροφοδοσίας (7) στον εξαεριωτή (12) για την αποβολή τυχόν αερίων. Στη συνέχεια, αφού διέρθει από τον προθερμαντήρα (13), οδηγείται τελικά πίσω στο λέβητα, μέσω του οικονομητήρα (23). Η παραγωγή της τελικής ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται μέσω της επαγωγικής γεννήτριας (5), με τον άξονα της οποίας είναι συζευγμένοι οι άξονες και των τριών στρόβιλων.



# Ατμοστρόβιλοι





# Αεριοστροβίλοι

Οι αεριοστροβίλοι κατατάσσονται, επίσης στις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης.

Σε αντίθεση με τις εμβολοφόρες ΜΕΚ, στους αεριοστροβίλους οι απαιτούμενες φάσεις για την παραγωγή του τελικού μηχανικού έργου λαμβάνουν χώρα σε τρεις διακριτές συνιστώσες της μηχανής:

- Το συμπιεστή
- Το θάλαμο καύσης
- Το στροβίλο

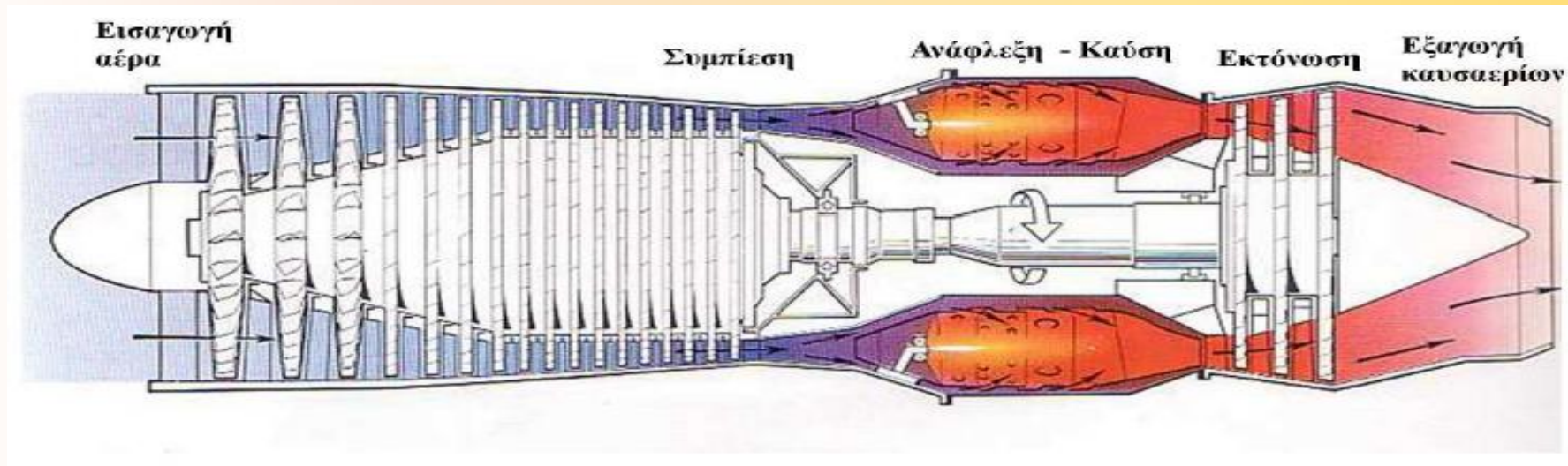
## -Αρχή Λειτουργίας

- Ο αεριοστροβίλος αποτελείται από έναν κύριο άξονα, που στη μία άκρη έχει μία ή, συνήθως, δύο βαθμίδες συμπιεστή και στην άλλη άκρη έχει μία ή, συνήθως, δύο βαθμίδες στροβίλων.
- Με την περιστροφή του άξονα αναρροφάται αέρας από το περιβάλλον, ο οποίος συμπιέζεται και οδηγείται στο θάλαμο καύσης, όπου εκτελείται ψεκασμός καυσίμου.



# Αεριοστρόβιλοι

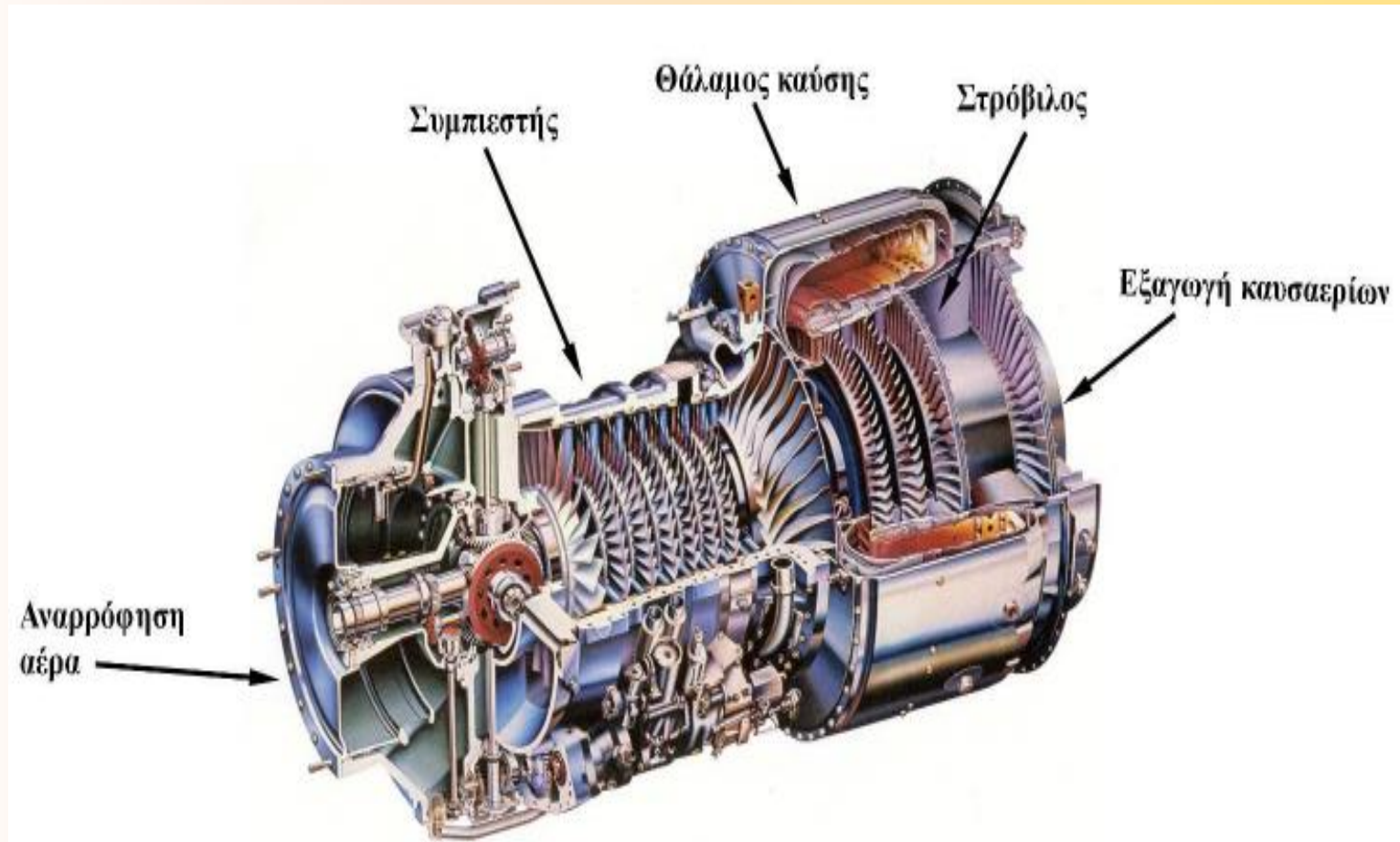
- Το μίγμα αέρα – καυσίμου υψηλής πίεσης αναφλέγεται. Τα παραγόμενα καυσαέρια υψηλής ενθαλπίας (πίεσης και θερμοκρασίας) οδηγούνται, στη συνέχεια, καταρχήν στην υψηλή βαθμίδα στροβίλου και, στη συνέχεια, στη χαμηλή βαθμίδα, όπου εκτονώνονται, αποδίδοντας μηχανική ισχύ.
- Ένα μέρος από την παραγόμενη μηχανική ισχύ χρησιμοποιείται για την περιστροφή του άξονα του στροβίλου και την τροφοδοσία της απαιτούμενης μηχανικής ισχύος στο συμπιεστή.
- Το υπόλοιπο και μεγαλύτερο μέρος της μηχανικής ισχύος αποτελεί το ωφέλιμο μηχανικό έργο.



Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας αεριοστροβίλου



# Αεριοστροβίλοι



Σχηματική απεικόνιση των βασικών τμημάτων ενός αεριοστροβίλου



# Ντιζελογεννήτριες

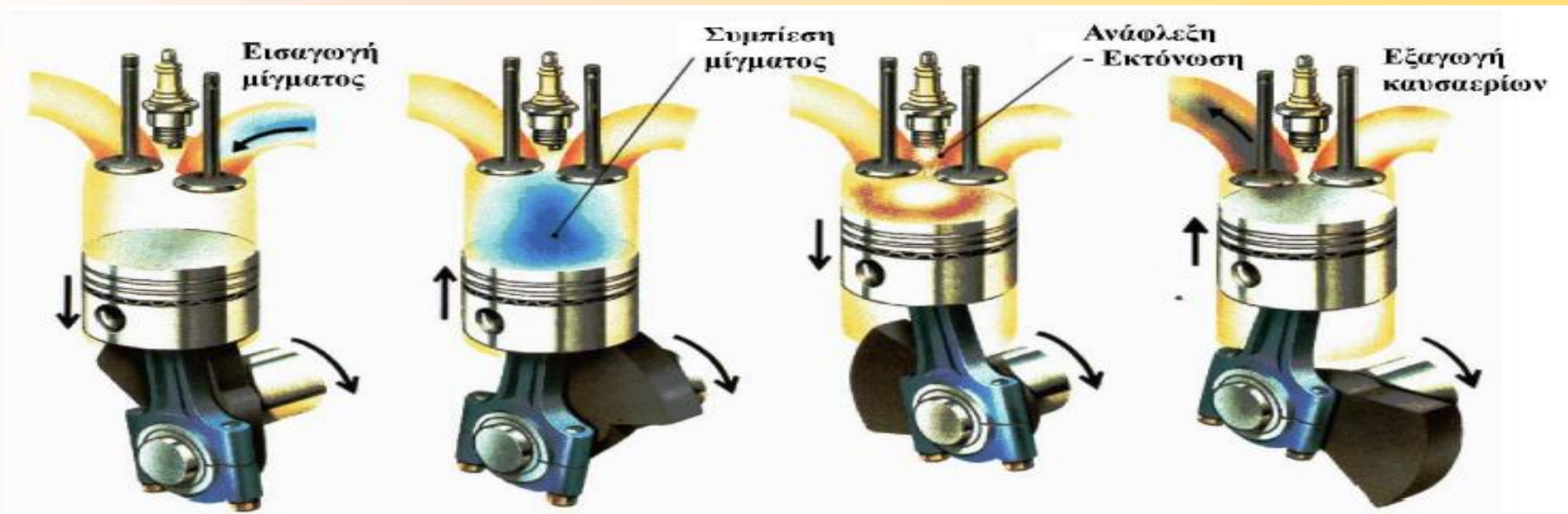
- ✓ Μία ντιζελογεννήτρια προκύπτει από το συνδυασμό μιας εμβολοφόρου Μηχανής Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ) με μία επαγωγική γεννήτρια.
- ✓ Οι εμβολοφόρες ΜΕΚ χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα διαδεδομένη χρήση, ενώ η ισχύς του κυμαίνεται από μερικά kW έως δεκάδες MW.
- ✓ Η προμήθεια και η εγκατάσταση μιας ντιζελογεννήτριας είναι σε γενικές γραμμές οικονομική και γρήγορη.
- ✓ Επίσης η προηγμένη τεχνολογία και, κυρίως, η ιδιότητα των εμβολοφόρων ΜΕΚ να αξιοποιούν εργαζόμενο μέσο (καυσαέρια) σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις, επιτρέπει τη λειτουργία τους με υψηλό βαθμό απόδοσης και, κατά συνέπεια, με χαμηλό κόστος παραγωγής.



# Ντιζελογεννήτριες

## -Αρχή Λειτουργίας

- Στις εμβολοφόρες ΜΕΚ το εργαζόμενο μέσο, το οποίο μπορεί να είναι αέρας ή μίγμα αέρα - καυσίμου, αναρροφάται στο θάλαμο καύσης και συμπιέζεται μέχρι μια μέγιστη πίεση. Με τη συμπίεση του μέσου αυξάνεται ταυτόχρονα και η θερμοκρασία του.
- Στη χρονική στιγμή της μέγιστης συμπίεσης εκτελείται η ανάφλεξη του μίγματος αέρα καυσίμου, το οποίο είτε έχει αναρροφηθεί εντός του θαλάμου καύσης, είτε έχει προκύψει με ψεκασμό του καυσίμου στο συμπιεσμένο αέρα.

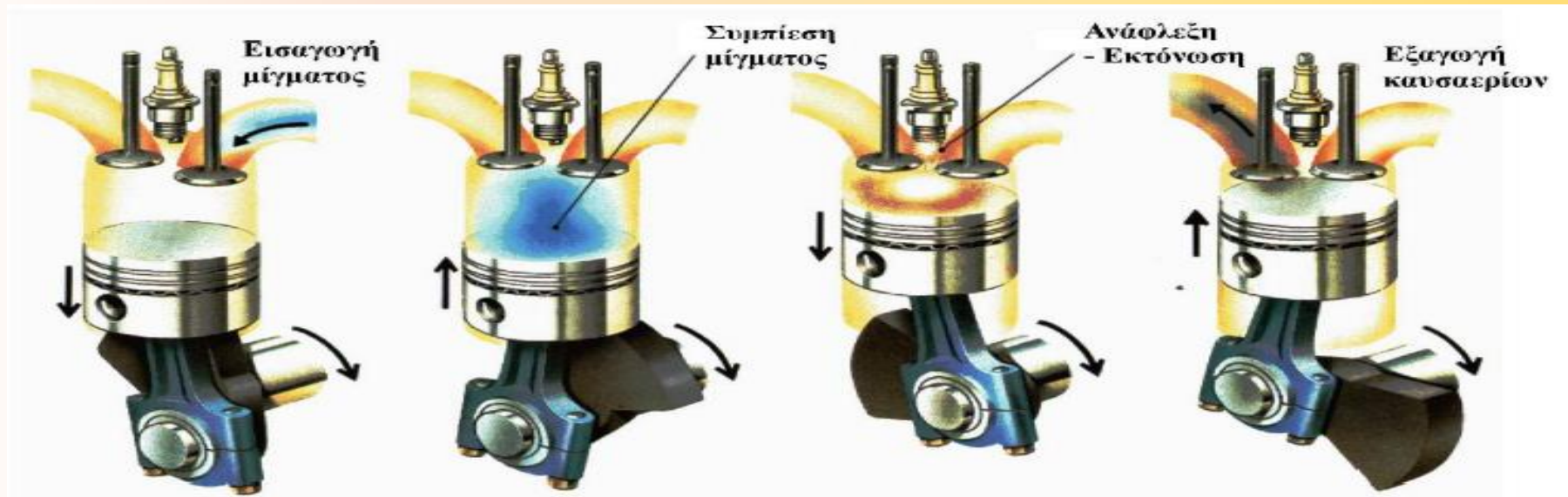


Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας εμβολοφόρου ΜΕΚ



# Ντιζελογεννήτριες

- Με την ανάφλεξη του καυσίμου προσδίδεται στο συμπιεσμένο εργαζόμενο μέσο επιπλέον η χημική ενέργεια του καυσίμου με τη μορφή θερμότητας, αυξάνοντας ακόμα περισσότερο τη θερμοκρασία και την πίεσή του.
- Το εργαζόμενο μέσο υψηλής ενθαλπίας εκτονώνεται, ωθώντας το έμβολο της ΜΕΚ και προσδίδοντας σε αυτό την παραγόμενη μηχανική ισχύ, ένα μέρος της οποίας ιδιοκαταναλώνεται για τις ανάγκες της συμπίεσης που προηγήθηκε, ενώ το υπόλοιπο και μεγαλύτερο μέρος αποτελεί το ωφέλιμο μηχανικό έργο.



Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας εμβολοφόρου ΜΕΚ



# Ντιζελογεννήτριες

- ✓ Από την ανωτέρω περιγραφή προκύπτει ότι σε μία εμβολοφόρο ΜΕΚ όλοι οι διαδοχικοί χρόνοι παραγωγής μηχανικής ισχύος, δηλαδή η αναρρόφηση, η συμπίεση, η εκτόνωση και η εξαγωγή των καυσαερίων υλοποιούνται εντός του ίδιου χώρου, ο οποίος είναι ο θάλαμος καύσης.
- ✓ Ο θάλαμος καύσης ταυτίζεται με το χώρο παραγωγής μηχανικής ισχύος, ιδιότητα που κατατάσσει τις εμβολοφόρες ΜΕΚ στην τεχνολογία εσωτερικής καύσης.



Ντιζελογεννήτρια φυσικού αερίου κατασκευής Wartsila ισχύος 18MW



# Σύστημα με Εμβολοφόρο Μηχανή Εσωτερικής Καύσης

Οι Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως (Μ.Ε.Κ.) χρησιμοποιούνται, συνήθως, για χαμηλής ισχύος συστήματα συμπαραγωγής (ονομαστική ισχύς 20-1.000kWe), ενώ για μεγαλύτερες επιδόσεις προτιμώνται οι αεριοστρόβιλοι.

## **-Διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες:**

- Μονάδες πολύ μικρής ισχύος με αεριομηχανή (15 – 250kWe) ή κινητήρα Diesel αυτοκινήτων (75-250kW)
- Μονάδες μικρής κλίμακας με αεριομηχανή ή κινητήρα Diesel ισχύος έως 1.000kW
- Συστήματα μέσης ισχύος με αεριομηχανή ή κινητήρα Diesel ισχύος έως 6.000kW
- Συστήματα μεγάλης ισχύος με κινητήρα Diesel άνω των 6.000kW

## **-Ποιες μηχανές ονομάζονται αεριομηχανές?**

Αεριομηχανές (gas engines) ονομάζονται οι εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης που λειτουργούν με αέριο καύσιμο (φυσικό αέριο, βιοαέριο κλπ).



# Τύποι Αεριομηχανών

**-Βενζινοκινητήρες Otto αυτοκινήτων που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές**

- Είναι συνήθως μικρές μηχανές (15-30 kW), ελαφριές, με μεγάλη συγκέντρωση ισχύος.
- Η μετατροπή επηρεάζει πολύ λίγο το βαθμό απόδοσης, ενώ μειώνει την ισχύ κατά 15 - 20%.
- Οι τιμές τους είναι χαμηλές, αλλά η διάρκεια ζωής τους είναι σχετικά μικρή (10.000 - 30.000 ώρες λειτουργίας).
- Οι κινητήρες Otto χρησιμοποιούν συνήθως καύσιμο αέριο (π.χ. φυσικό αέριο, υγραέριο κτλ.) και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω γεννήτριας, ενώ, συγχρόνως, παράγεται χρήσιμη θερμική ενέργεια από ανάκτηση θερμότητας στον εναλλάκτη των χιτωνίων και από τα καυσαέρια, μέσω λέβητα ανάκτησης θερμότητας.
- Κατασκευάζονται για ισχύ από 15 έως 1.300kW.
- Παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 32 – 35%, θερμικό βαθμό απόδοσης 50 – 60% και ολικό βαθμό απόδοσης 80 – 85%.
- Ο λόγος της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την παραγόμενη θερμική ισχύ είναι 0,5 – 0,8.
- Ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 10 έτη.



# Τύποι Αεριομηχανών

## -Κινητήρες Diesel αυτοκινήτων που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές

- Έχουν ισχύ μέχρι 200kW.
- Η μετατροπή συνήθως δεν προκαλεί μείωση της ισχύος.
- Η μετατροπή επιτυγχάνεται με τροποποιήσεις των εμβόλων, των κεφαλών και του μηχανισμού βαλβίδων, που επιβάλλονται, διότι η έναυση δε γίνεται πλέον με απλή συμπίεση αλλά με σπινθηριστή.

## -Χαρακτηριστικά των συστημάτων Σ.Η.Θ. με κινητήρα Diesel:

- Κατασκευάζονται για ισχύ από 100 έως 20.000kW.
- Παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 35 - 45%, θερμικό βαθμό απόδοσης 40 - 45% και ολικό βαθμό απόδοσης 75 - 90%.
- Ο λόγος της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την παραγόμενη θερμική ισχύ είναι 0,70 - 0,90.
- Ο μέσος χρόνος ζωής τους είναι περίπου 15 - 20 έτη.



# Τύποι Αεριομηχανών

## -Μηχανές Diesel παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

- Είναι βαριές και στιβαρές, ισχύος έως 50.000 kWe.
- Έχουν μειωμένες απαιτήσεις συντηρήσεως αλλά αυξημένο κόστος αγοράς, και ενδείκνυνται για συνεχή λειτουργία σε μεγάλα φορτία.
- Η απορριπτόμενη θερμότητα προέρχεται κυρίως από την υψηλή ενθαλπία των καυσαερίων, το χιτώνιο της μηχανής και το σύστημα ψύξεως των λιπαντικών.
- Επιπλέον είναι δυνατή, με τη χρήση κατάλληλων εναλλακτών θερμότητας, η αξιοποίηση της θερμότητας που προέρχεται από τα συστήματα ψύξεως των υπολοίπων ρευστών, που έχουν σχέση με τη λειτουργία της μηχανής. Τέτοια συστήματα είναι το κλειστό κύκλωμα ψύξης του κινητήρα και του αέρα υπερπλήρωσης.
- Ο έλεγχος της λειτουργίας ολόκληρου του θερμικού συστήματος πραγματοποιείται με ένα ειδικό σύστημα αυτόματου ελέγχου.



# Τύποι Αεριομηχανών

## -Μηχανές Diesel παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

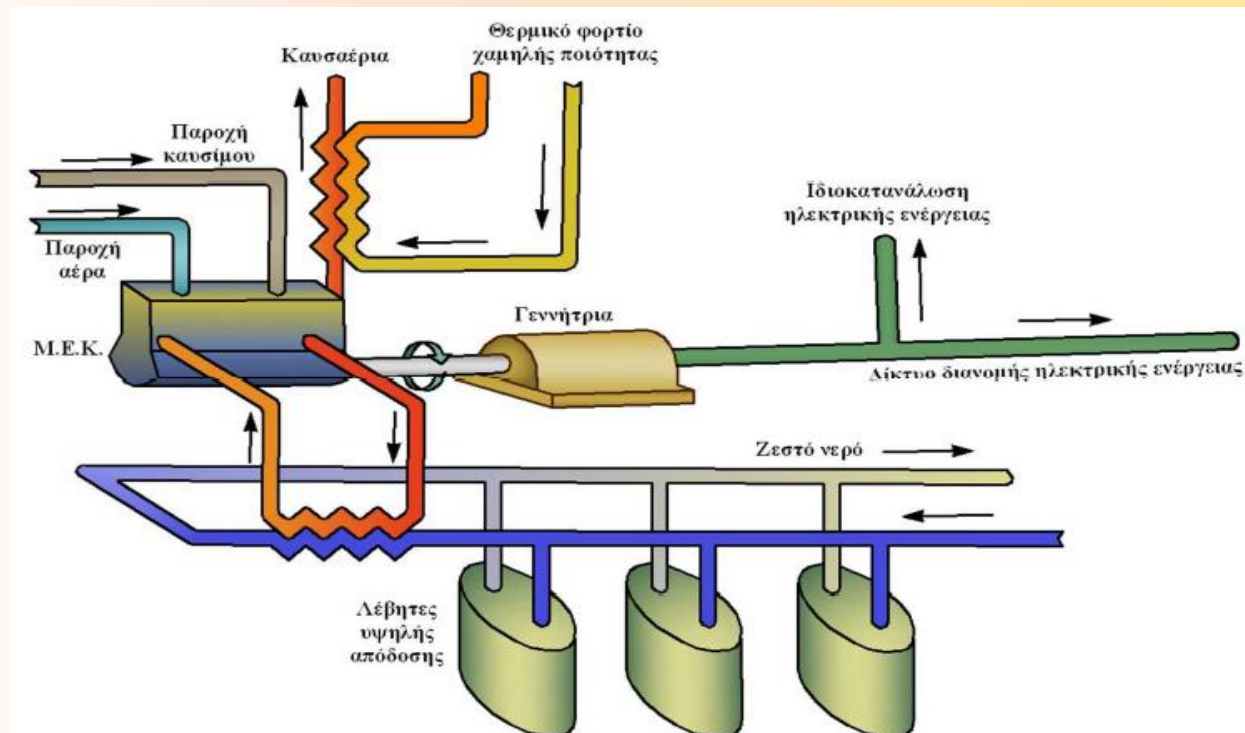
- Όταν δεν επαρκεί η θερμότητα που παράγεται στο μέγιστο της λειτουργίας της ΜΕΚ, τότε το σύστημα δίνει εντολή εκκίνησης σε έναν, ή περισσότερους λέβητες, για συμπληρωματική παραγωγή θερμικής ισχύος.
- Η ολική απόδοση του συστήματος μπορεί να βελτιωθεί περισσότερο με την εγκατάσταση ενός δεύτερου εναλλάκτη θερμότητας (βοηθητικού λέβητα), για την περαιτέρω ανάκτηση θερμότητας από τα καυσαέρια.
- Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης μικρών και μεσαίων κινητήρων είναι 35 – 45%, ενώ σε σύγχρονους μεγάλους κινητήρες φθάνει το 50%. Ο ολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής με εμβολοφόρο κινητήρα εσωτερικής καύσεως βρίσκεται στην περιοχή του 80%.
- Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης είναι υψηλός και επηρεάζεται πολύ λίγο από τις μεταβολές του φορτίου.
- Η απόκριση του συστήματος στις μεταβολές φορτίου είναι ταχύτατη.



# Τύποι Αεριομηχανών

## -Μηχανές Diesel παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

- Η διάρκεια ζωής του συστήματος είναι 15 – 20 έτη, και εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας, την ποιότητα του καυσίμου και την ποιότητα της συντήρησης.
- Οι παλινδρομικοί κινητήρες απαιτούν τακτικότερη συντήρηση απ' ό,τι τα προηγούμενα συστήματα.



Σύστημα Σ.Η.Θ. με εμβολοφόρο Μ.Ε.Κ.



# Τύποι Αεριομηχανών

## -Σταθερές μηχανές διπλού καυσίμου

- Είναι κινητήρες diesel ισχύος μέχρι 6 MW.
- Το καύσιμο αποτελείται κατά 90% από φυσικό αέριο, η έναυση του οποίου γίνεται όχι με σπινθιριστή αλλά με έγχυση υγρού καυσίμου diesel, (που αποτελεί το υπόλοιπο 10% της προσφερόμενης ενέργειας).
- Το πλεονέκτημά τους είναι ότι μπορούν να λειτουργούν είτε με φυσικό αέριο είτε με diesel, το οποίο βέβαια αυξάνει το κόστος αγοράς και συντήρησης.



# Τύποι Αεριομηχανών

Οι κινητήρες diesel διακρίνονται σε ταχύστροφους, μεσόστροφους και βραδύστροφους.

Τύπος	Ταχύτητα (RPM)	Ισχύς (kW)	Εφαρμογές
Ταχύστροφος	1.200 - 3.600	75 - 1.500	Αυτοκίνητα - Πλοία
Μεσόστροφος	500 - 1.200	500 - 15.000	Πλοία - Σιδηρόδρομος
Βραδύστροφος	100 - 180	2.000 - 40.000	Πλοία - Βιομηχανία

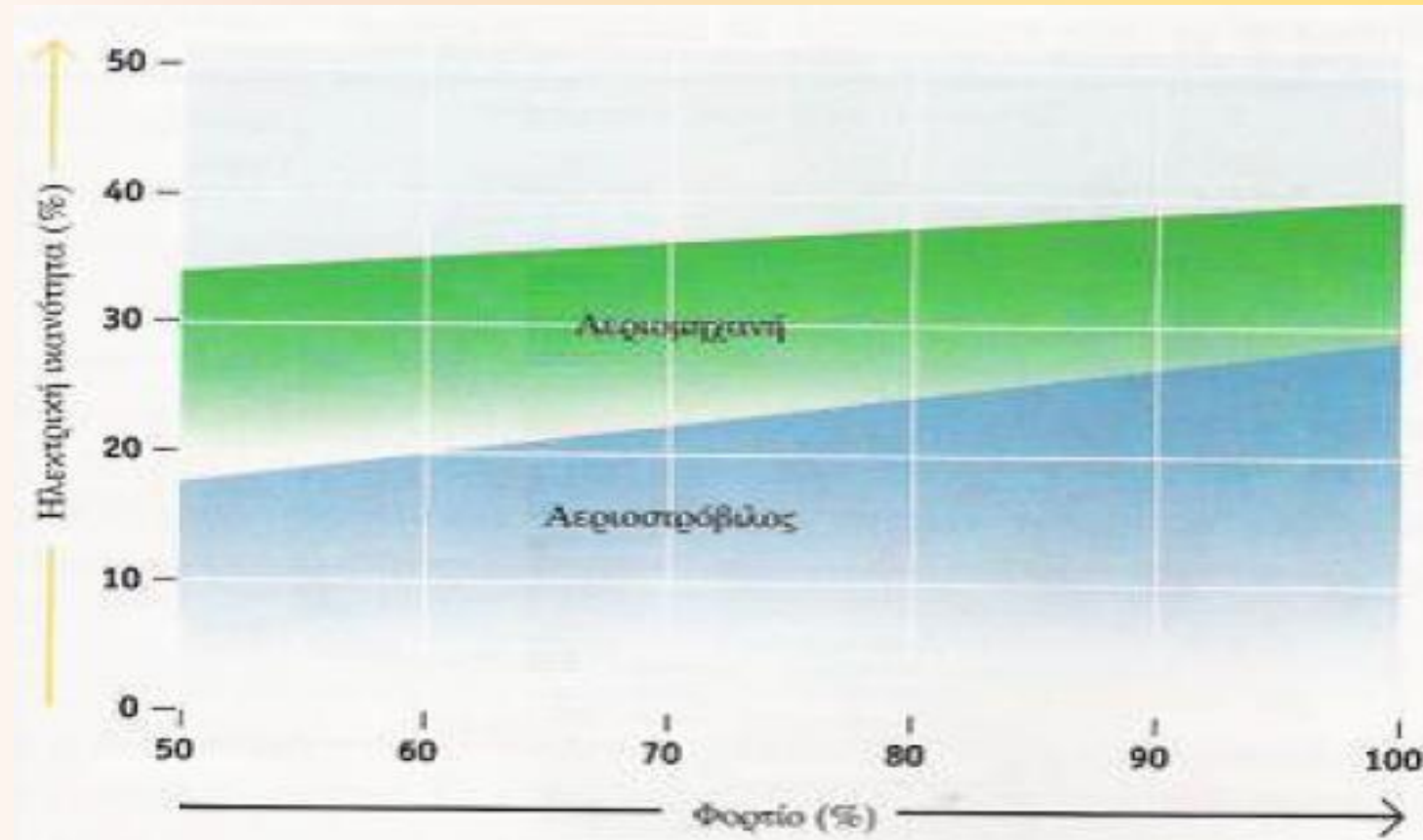
Η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι 300-400 °C, δηλ. αισθητά χαμηλότερη από εκείνη του αεριοστροβίλου, συνεπώς υπάρχει η ανάγκη για συμπληρωματική θερμότητα. Αυτή αποκτάται με τους εξής τρόπους:

- Τοποθέτηση καυστήρα και προσαγωγή αέρα για καύση συμπληρωματικού καυσίμου στον λέβητα καυσαερίων (ή στον κλίβανο της θερμικής διεργασίας)
  - Εγκατάσταση βοηθητικού λέβητα
- ✓ Οι μεγάλοι κινητήρες προσφέρουν επίσης τη δυνατότητα συνδυασμένου κύκλου.



# Σύγκριση Αεριομηχανής και Αεριοστροβίλου

Συγκριτικά, η Συμπαγωγή με αεριομηχανές δίνει ηλεκτρική ενέργεια με μεγαλύτερη απόδοση σε σύγκριση με αυτή που θα παραχθεί με αεριοστρόβιλους.





# Συνδυασμένοι Κύκλοι

## -Ποιοι είναι οι Συνδυασμένοι Κύκλοι?

Πέρα από τους ανωτέρω τρεις βασικούς τύπους θερμοηλεκτρικών μονάδων, είναι δυνατή η συνδυασμένη λειτουργία κάποιων από αυτών, με απώτερο στόχο την αύξηση της συνολικής απόδοσης του συνολικού συστήματος. Οι υλοποιήσεις που προκύπτουν από τη συνδυασμένη λειτουργία των βασικών θερμοηλεκτρικών μονάδων ονομάζονται συνδυασμένοι κύκλοι.

## -Ένας συνδυασμένος κύκλος διακρίνεται σε δύο μέρη:

- Τις βασικές μονάδες παραγωγής ή μονάδες βάσης του συνδυασμένου κύκλου, οι οποίες είναι, συνήθως, αεριοστρόβιλοι, ενώ μπορεί να είναι και ντιζελογεννήτριες,
  - Την τελική μονάδα, η οποία είναι πάντα ατμοστρόβιλος.
- ✓ Σε ένα συνδυασμένο κύκλο συνήθως έχουμε δύο μονάδες βάσης, χωρίς να αποκλείεται να υπάρχει και μόνο μία μονάδα βάσης. Η τελική μονάδα, δηλαδή ο ατμοστρόβιλος, είναι πάντα μία.



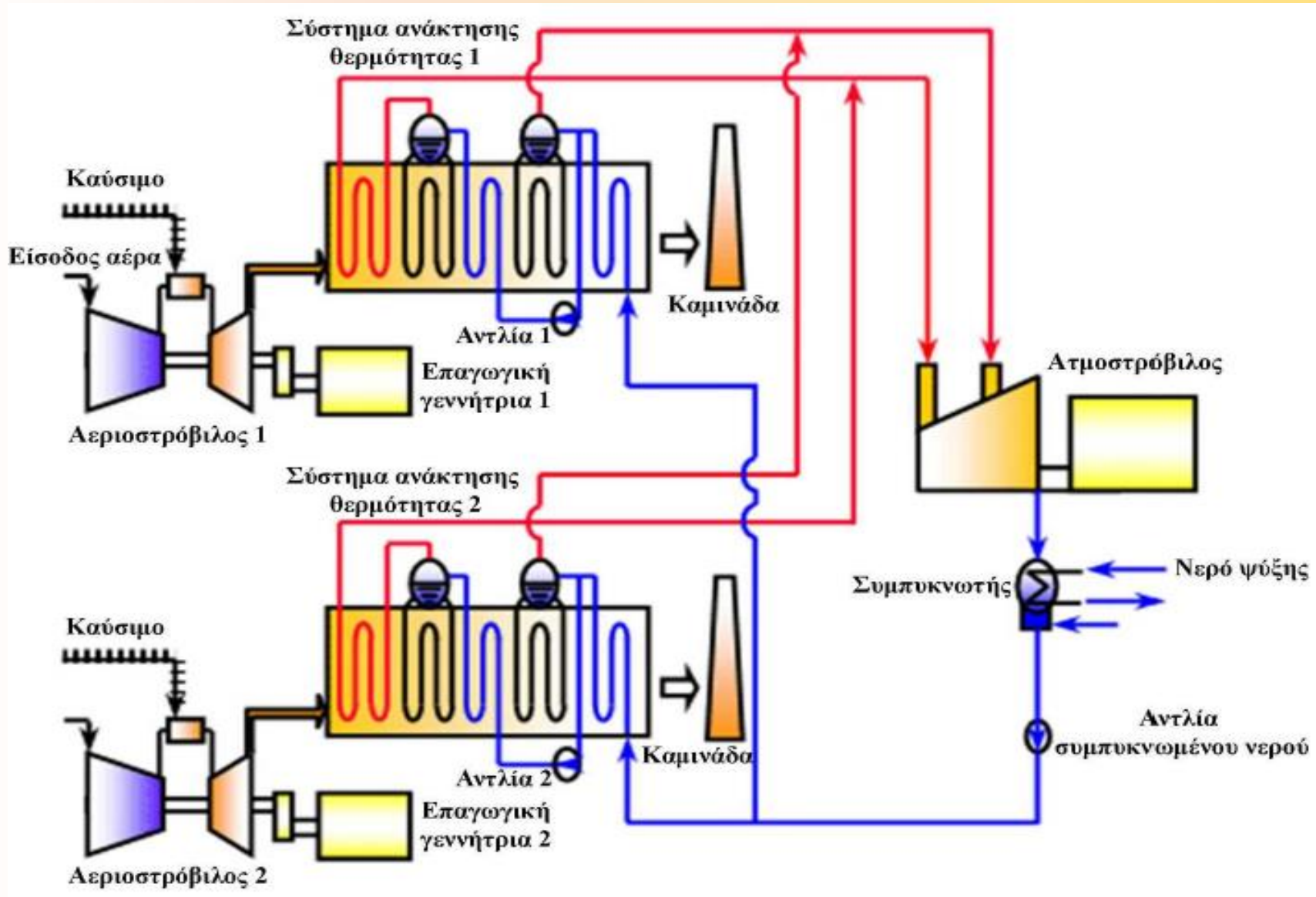
# Συνδυασμένοι Κύκλοι

## -Αρχή Λειτουργίας

- Τα θερμά καυσαέρια από τους δύο αεριοστρόβιλους που αποτελούν τη μονάδα βάσης του συνδυασμένου κύκλου, πριν απορριφθούν στην ατμόσφαιρα, διέρχονται από δύο συστήματα ανάκτησης θερμότητας, στα οποία οδηγείται συμπυκνωμένο νερό.
- Στα συστήματα ανάκτησης θερμότητας, η θερμότητα των καυσαερίων αξιοποιείται, θερμαίνοντας το νερό, το οποίο ατμοποιείται.
- Τα καυσαέρια χαμηλής πλέον ενθαλπίας απορρίπτονται στην ατμόσφαιρα, ενώ ο παραγόμενος ατμός οδηγείται σε ατμοστρόβιλο για την παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ισχύος, η οποία αθροίζεται στην παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, που γίνεται ανεξάρτητα από τους δύο αεριοστρόβιλους.



# Συνδυασμένοι Κύκλοι



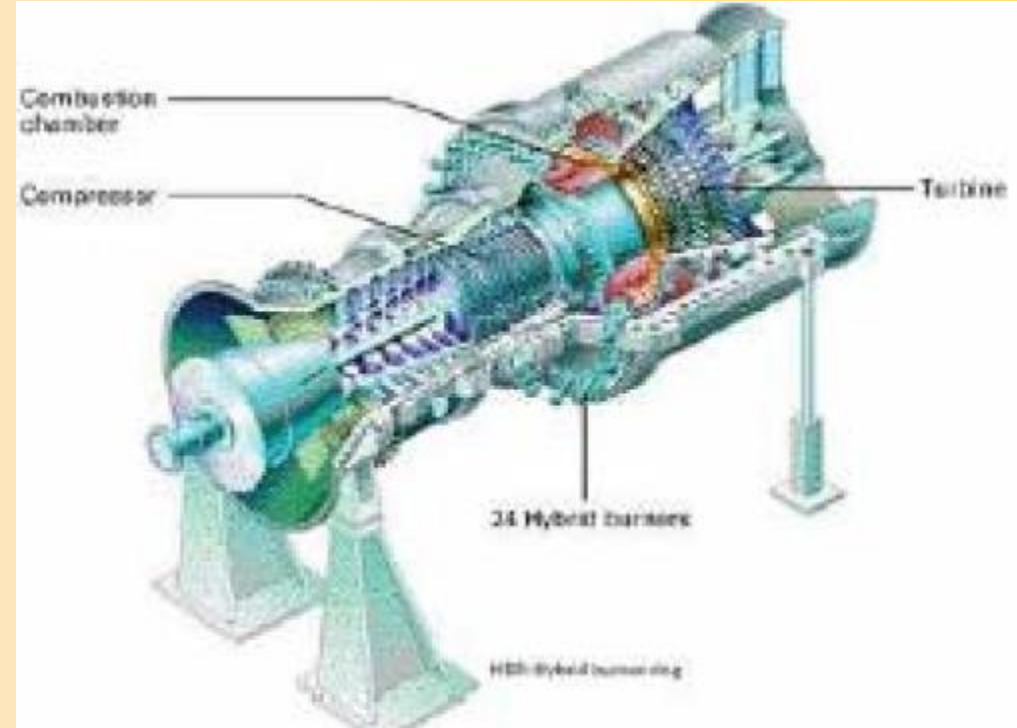
Γενική δομή και λειτουργία συνδυασμένου κύκλου δύο αεριοστροβίλων και ατμοστροβίλου.



# Οι τεχνολογίες της Συμπαγωγής



Ατμομηχανή



Αεριομηχανή



# Οι τεχνολογίες της Συμπαγωγής



Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (Μ.Ε.Κ.) Otto και Diesel



Κυψέλες καυσίμου (Fuels Cells)



# Οι τεχνολογίες της Συμπαγωγής



Μηχανή Stirling



Σύστημα Συμπαγωγής σε Βιομηχανία