

# Αεριοστρόβιλοι

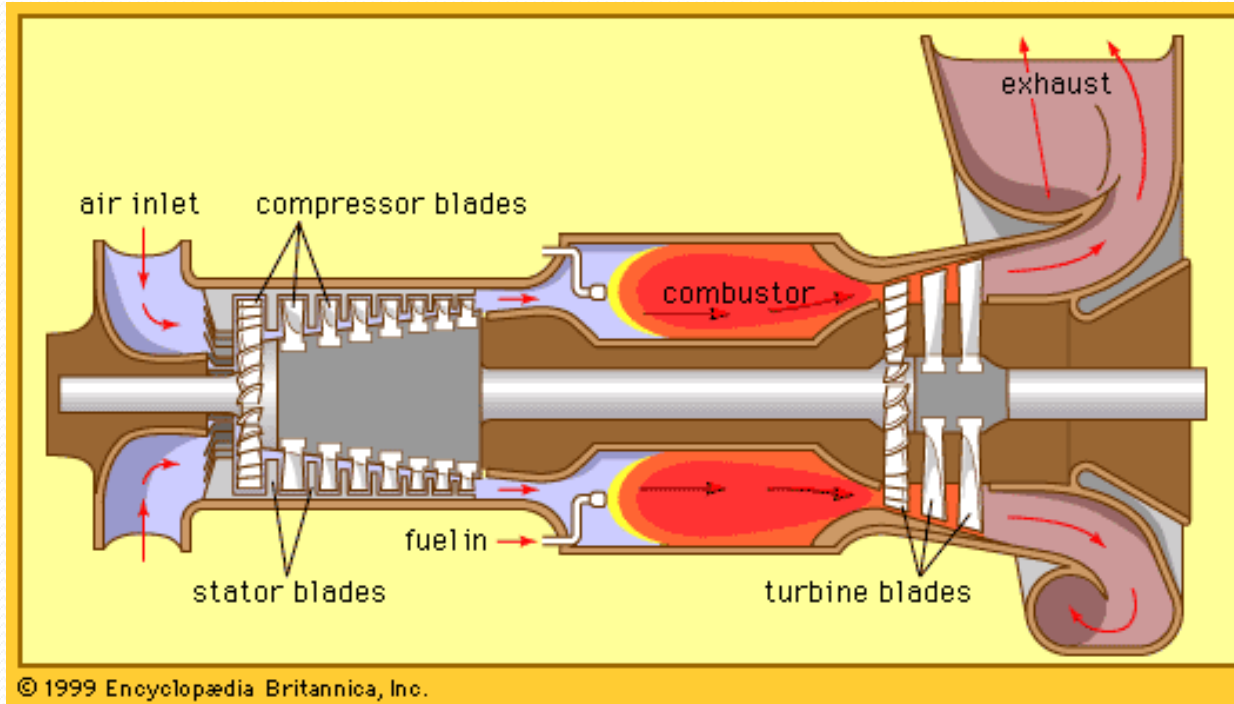
- Τι είναι;
    - Μηχανή που μετατρέπει θερμότητα σε μηχανική ισχύ.
  - Βασικά τμήματα:
    - Συμπιεστής
    - Θάλαμος καύσης
    - Στρόβιλος
- Όλα μαζί ονομάζονται «τμήμα ισχύος» του αεριοστρόβιλου
- Η μηχανική ισχύς του προκύπτει από τη διαφορά της ισχύος που απορροφά ο συμπιεστής από αυτή που παράγει ο στρόβιλος.

# Κατηγορίες αεριοστροβίλων

- Ανοικτού κυκλώματος
  - Μηχανές εσωτερικής καύσης: εργαζόμενο μέσο είναι πάντοτε ο αέρας και μετά το θάλαμο καύσης
    - Βιομηχανικοί
    - Αεροπορικοί
- Κλειστού κυκλώματος
  - Μηχανές εξωτερικής καύσης: εργαζόμενο μέσο είναι καθαρό αέριο στο οποίο προσδίδεται θερμότητα εξωτερικά (μέσω επιφάνειας συναλλαγής)
- Μεικτού κυκλώματος
  - Συνδυασμός των δύο ανωτέρω

# Αεριοστρόβιλοι διαφόρων διατάξεων ατράκτων

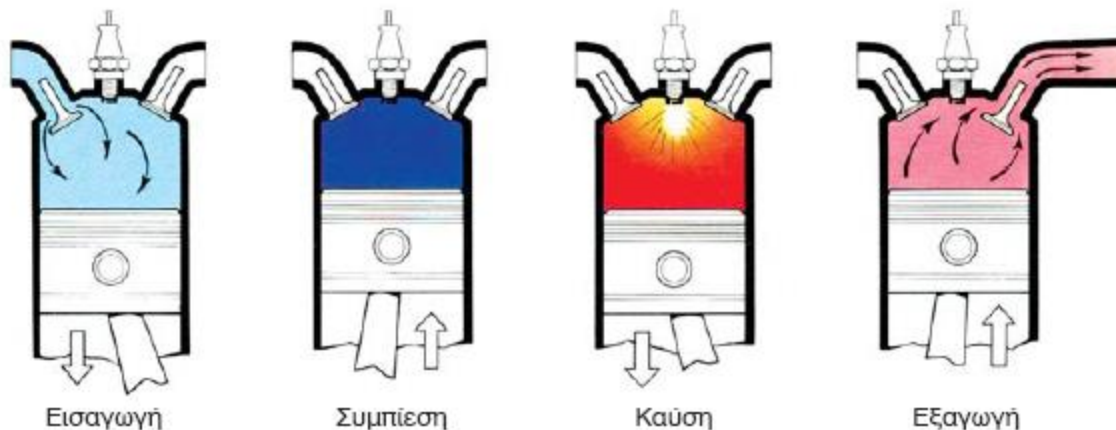
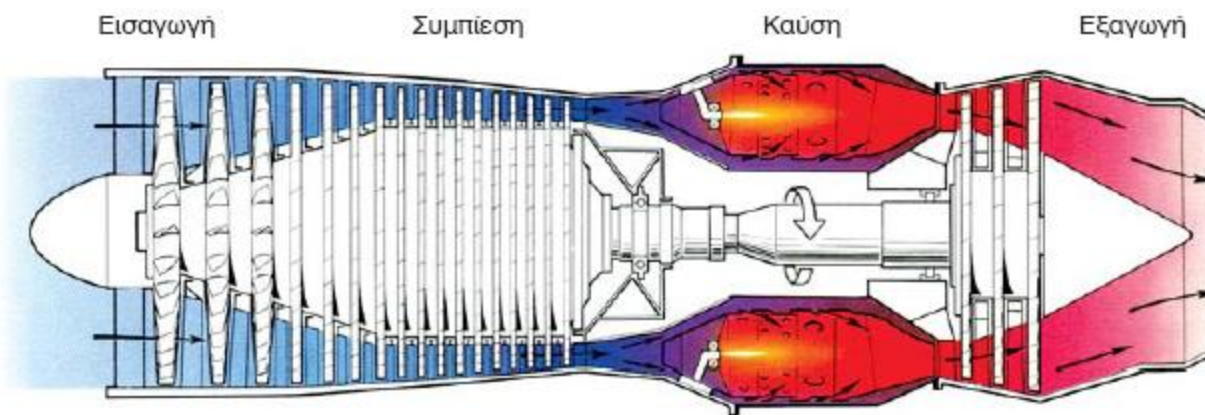
- Αεριοστρόβιλος απλής ατράκτου



- Η άτρακτος που συνδέει τον συμπιεστή και το στρόβιλο είναι συνδεδεμένη απευθείας με το φορτίο.
- Μπορεί να προσαρμόζεται σε αλλαγές φορτίου.

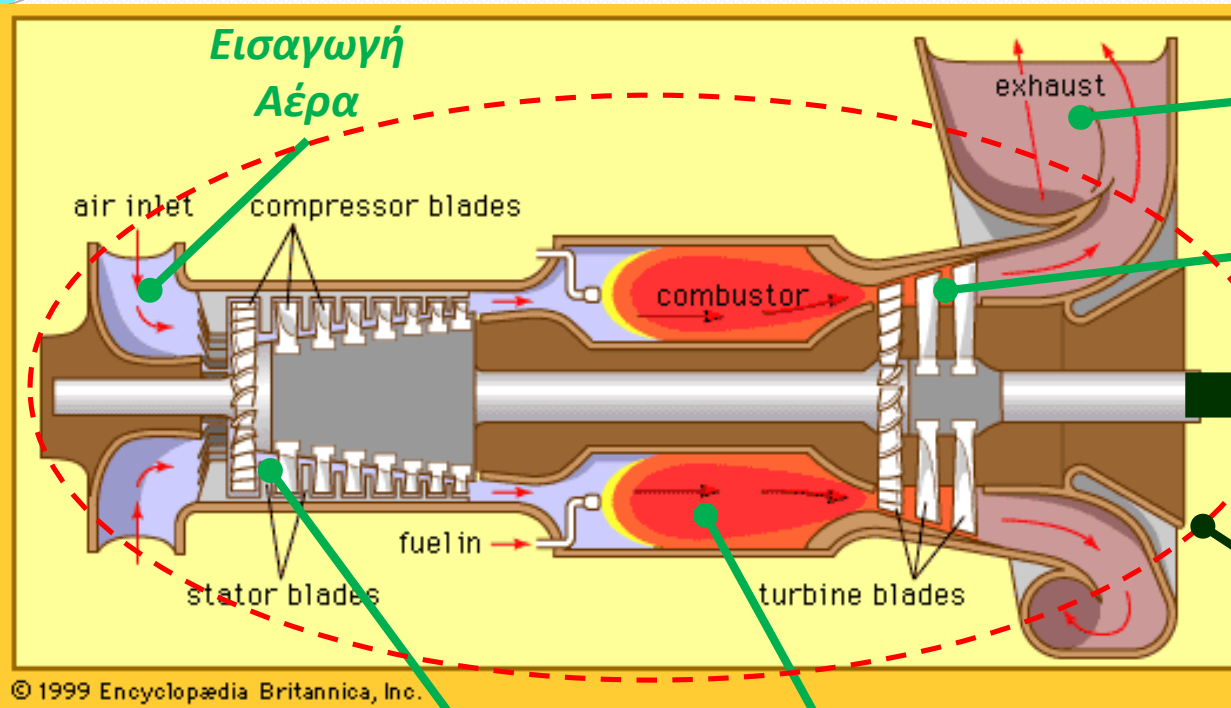
# Αεριοστρόβιλοι διαφόρων διατάξεων ατράκτων

- Αεριοστρόβιλος απλής ατράκτου (σύγκριση με εμβολοφόρες ΜΕΚ).



# Η Περιστροφική ΜΕΚ (Αεριοστρόβιλος) ως Θερμική Μηχανή

Εργαζόμενο Μέσο : Αέρας - Καυσαέριο



Εισαγωγή  
Αέρα

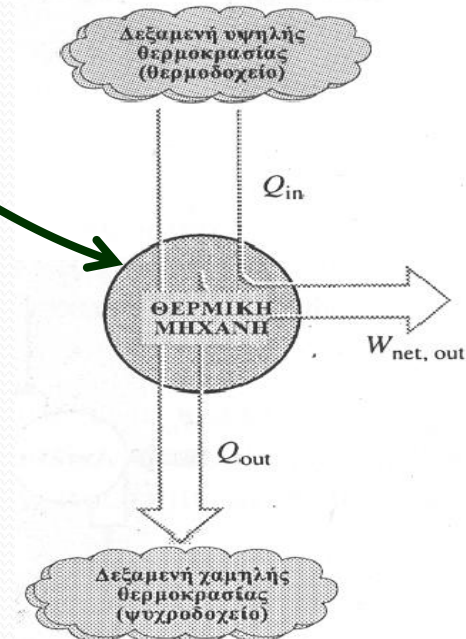
Εξαγωγή  
Καυσαερίου

Εκτόνωση Καυσαερίου &  
Παραγωγή Έργου

Άξονας Λήψης Ωφέλιμου  
Έργου/Ωφέλιμης Ισχύος

Συμπίεση  
Αέρα

Καύση Καυσίμου με  
Οξυγόνο του αέρα

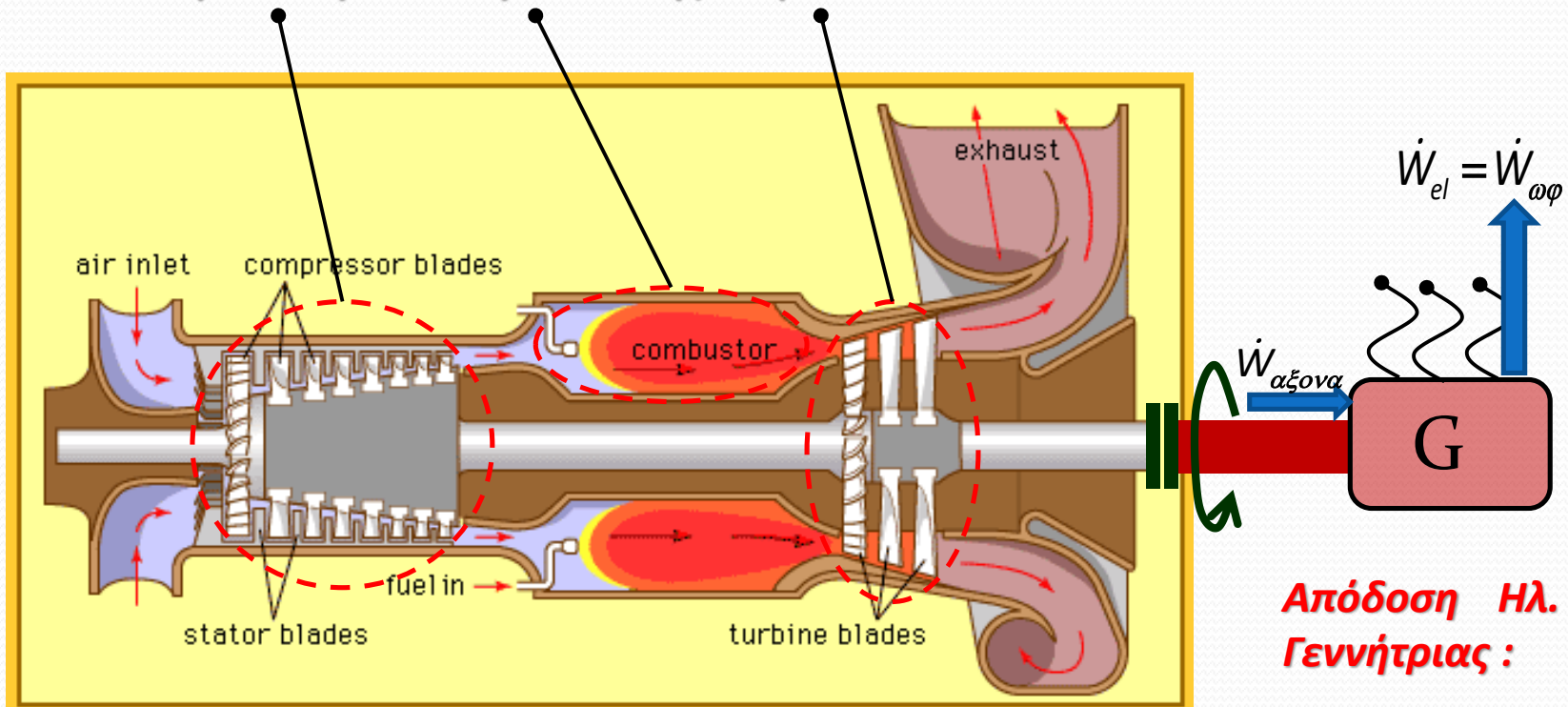


# Απλή εγκατάσταση αεριοστροβίλου ανοικτού κυκλώματος μίας ατράκτου

## □ Απλός Αεριοστρόβιλος :

- Μηχανολογική διάταξη συνεχούς και μόνιμης ροής η οποία αποτελείται από τα ακόλουθα επιμέρους **Ανοικτά Θερμοδυναμικά Συστήματα μόνιμης και σταθεροποιημένης ροής :**

✓ Συμπιεστή – Θάλαμο Καύσης - Στρόβιλο

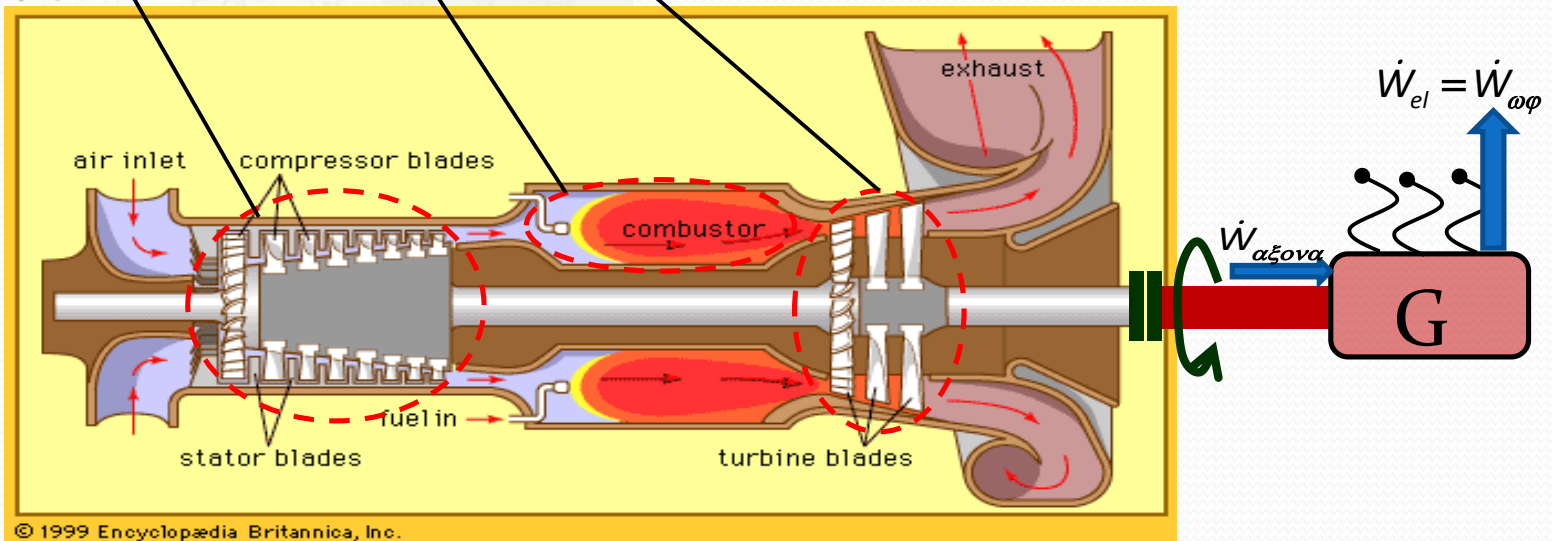
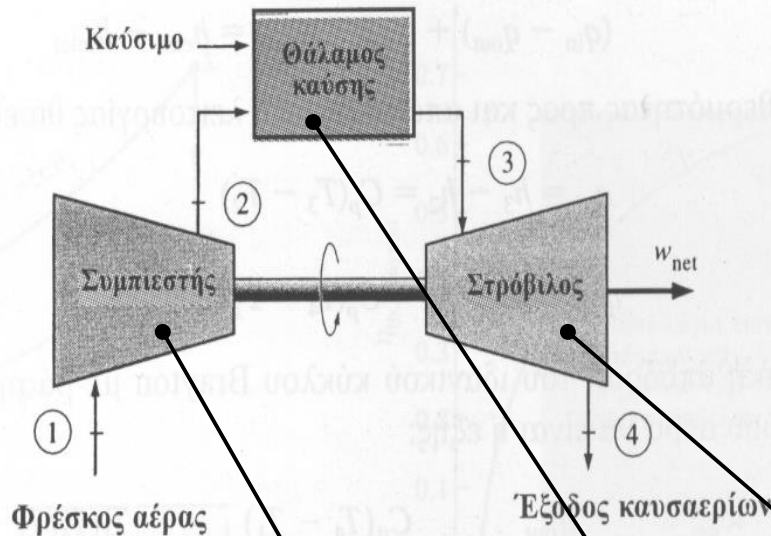


**Απόδοση Ηλ. Γεννήτριας :**

$$\eta_G = \frac{\dot{W}_{el}}{\dot{W}_{αξονα}} < 100\%$$

# Απλή εγκατάσταση αεριοστροβίλου ανοικτού κυκλώματος μίας ατράκτου

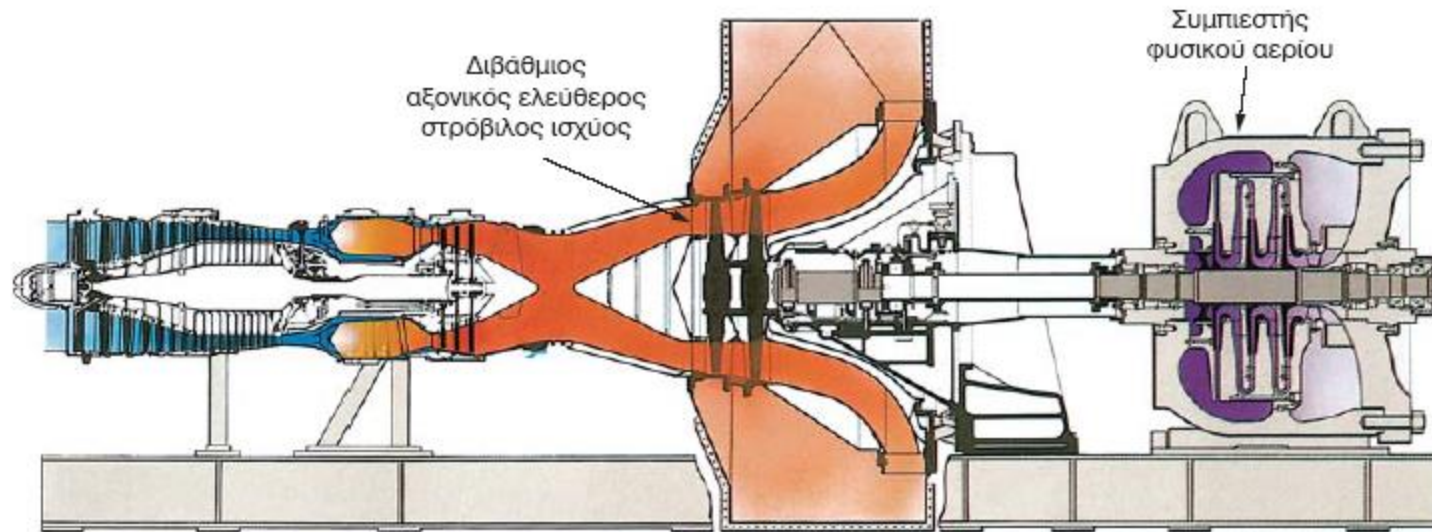
## □ Θερμοδυναμικό Σκαρίφημα Απλού Α/Σ ανοικτού κύκλου



© 1999 Encyclopædia Britannica, Inc.

# Αεριοστρόβιλοι διαφόρων διατάξεων ατράκτων

- Αεριοστρόβιλος δίδυμων ατράκτων (twin shaft)



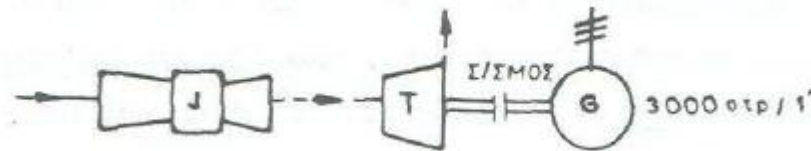
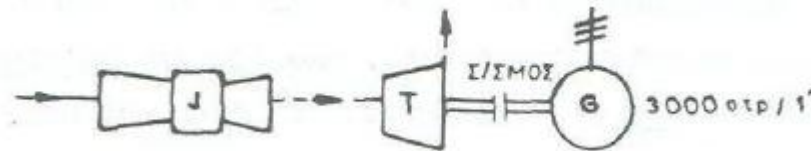
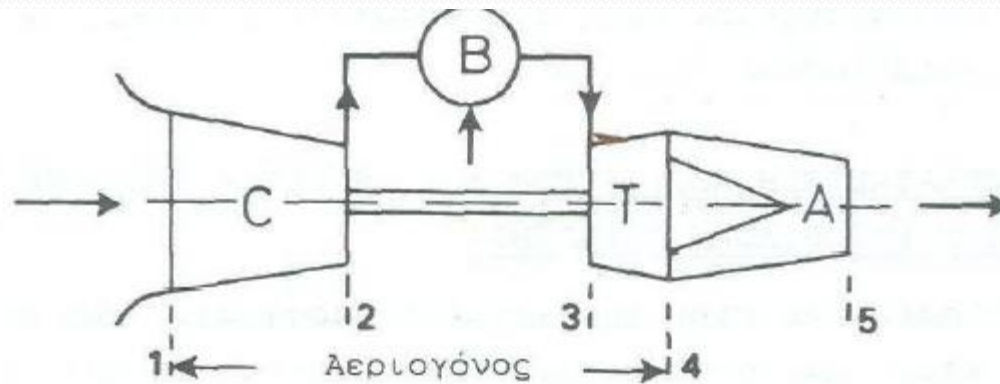
- Στρόβιλος που παράγει ακριβώς την ισχύ που χρειάζεται για να κινηθεί ο συμπιεστής
- Δεύτερος στρόβιλος ο οποίος συνδέεται μέσω δεύτερης ανεξάρτητης ατράκτου με φορτίο. Ονομάζεται ελεύθερος στρόβιλος ή «στρόβιλος ισχύος».

# Αεριοστρόβιλοι διαφόρων διατάξεων ατράκτων

- Αεριοστρόβιλος δίδυμων ατράκτων (twin shaft)  
πλεονεκτήματα:
  - Πλεονεκτεί στην περίπτωση που απαιτείται ευελιξία στις αλλαγές φορτίου (έλικα πλοίου)
  - Μειονεκτεί στο ότι έχει μικρότερη αδράνεια αφού η άτρακτος του φορτίου συνδέεται μόνο με το στρόβιλο ισχύος.
  - Μεγαλύτερη ευαισθησία των στροφών στις εναλλαγές φορτίου και με κατάλληλο σύστημα ελέγχου χρησιμοποιούνται για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος.

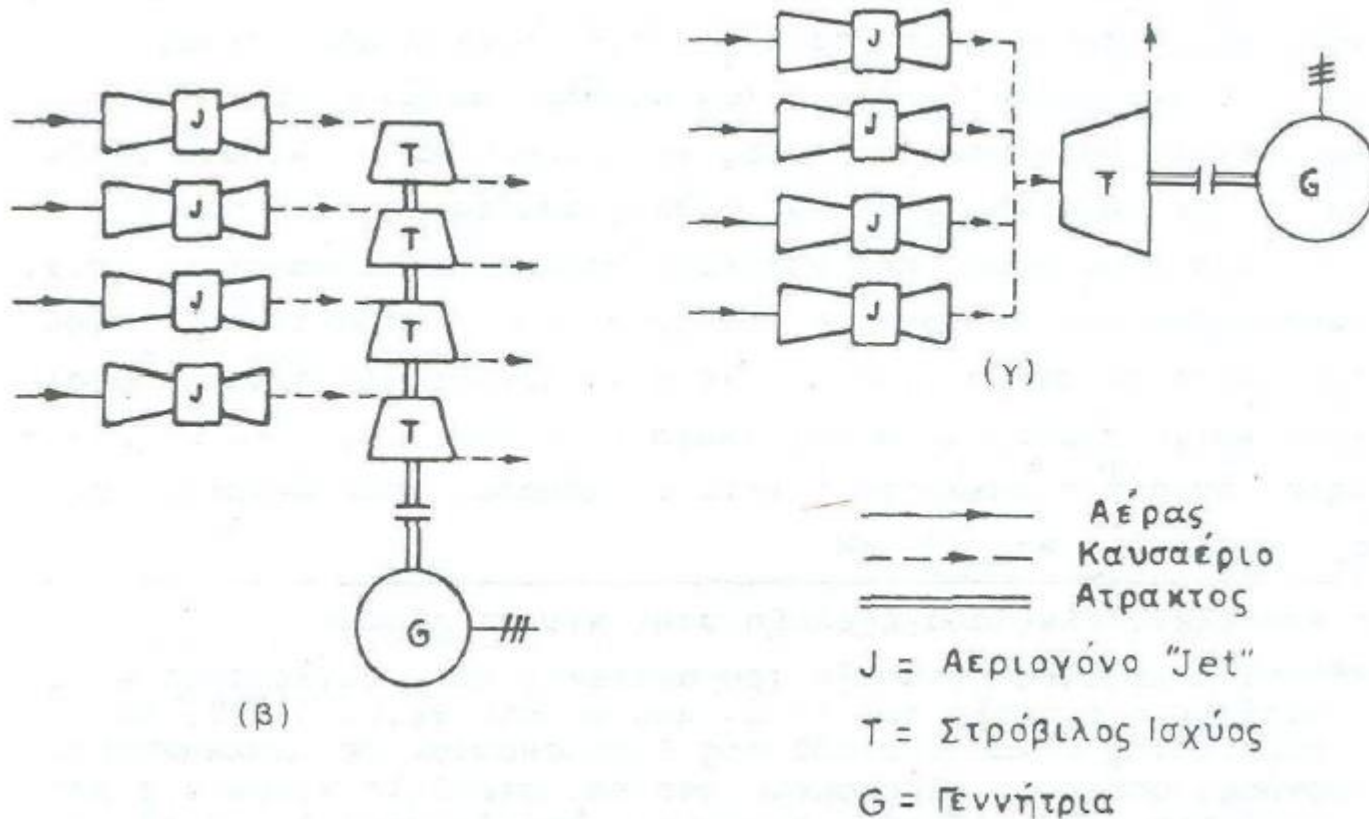
# Στροβιλοαντιδραστήρας

- Χρήση στροβιλοαντιδραστήρα παροχής καυσαερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος 12-30 MW



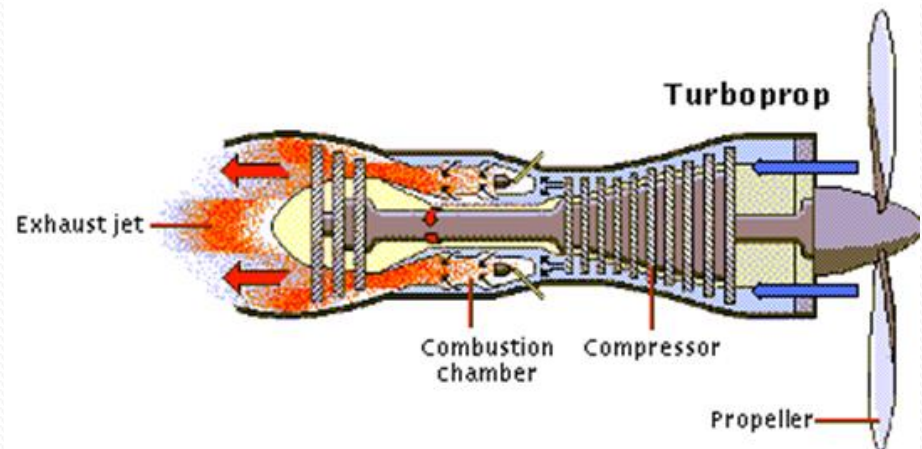
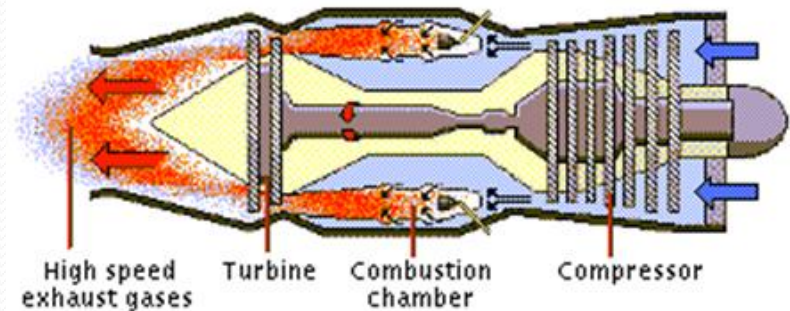
# Στροβιλοαντιδραστήρας

- Συνδυασμός στροβιλοαντιδραστήρων που τροφοδοτούν στρόβιλους ισχύος
    - Σε κοινή άτρακτο με το φορτίο
    - Παράλληλα κοινό στρόβιλο ισχύος
- Για την παραγωγή πολύ μεγάλης ισχύος: 100 ή και 200 MW



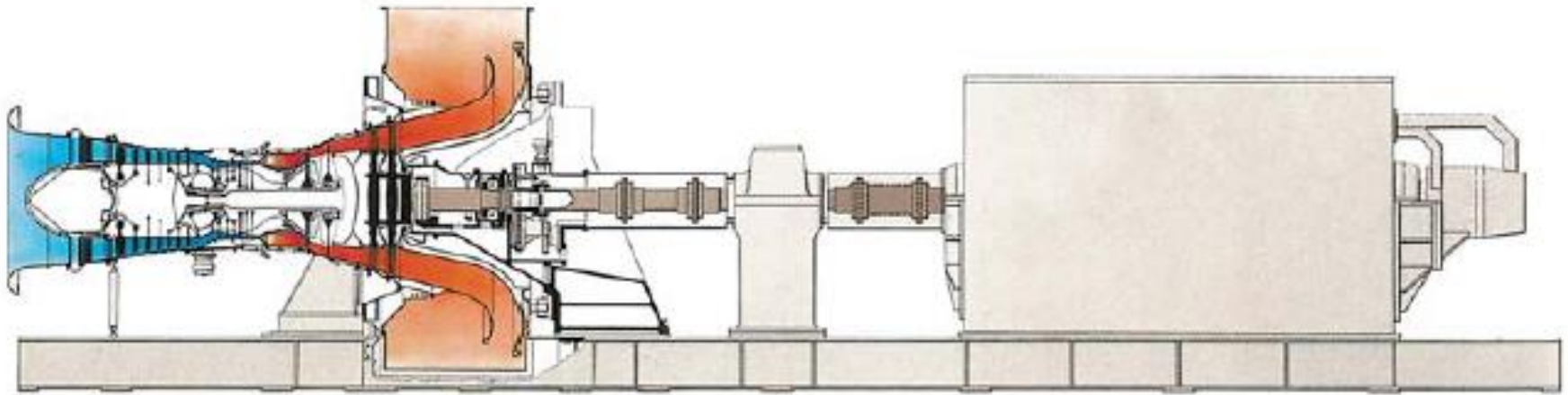
# Αεριοστρόβιλοι εφαρμογές

- Αεροπορικοί αεριοστρόβιλοι (στροβιλοαντιδραστήρας)
  - Αεριοθούμενα αεροσκάφη
    - Ώση μόνο από την εκτόνωση των αερίων της καύσης στο ακροφύσιο
- Ελικοφόρα αεροσκάφη
  - Ώση κυρίως από την κίνηση του έλικα και δευτερευόντως από την εκτόνωση των αερίων



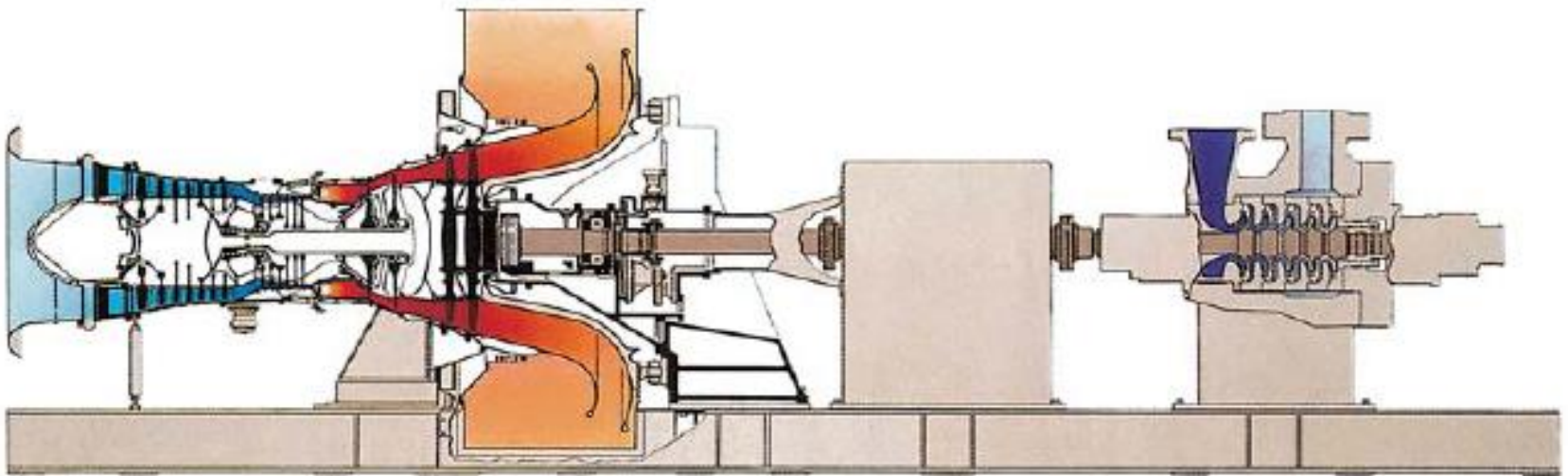
# Αεριοστρόβιλοι εφαρμογές

- Βιομηχανικοί αεριοστρόβιλοι (συνδυασμός στροβιλοαντιδραστήρα με στρόβιλο ισχύος)
  - Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



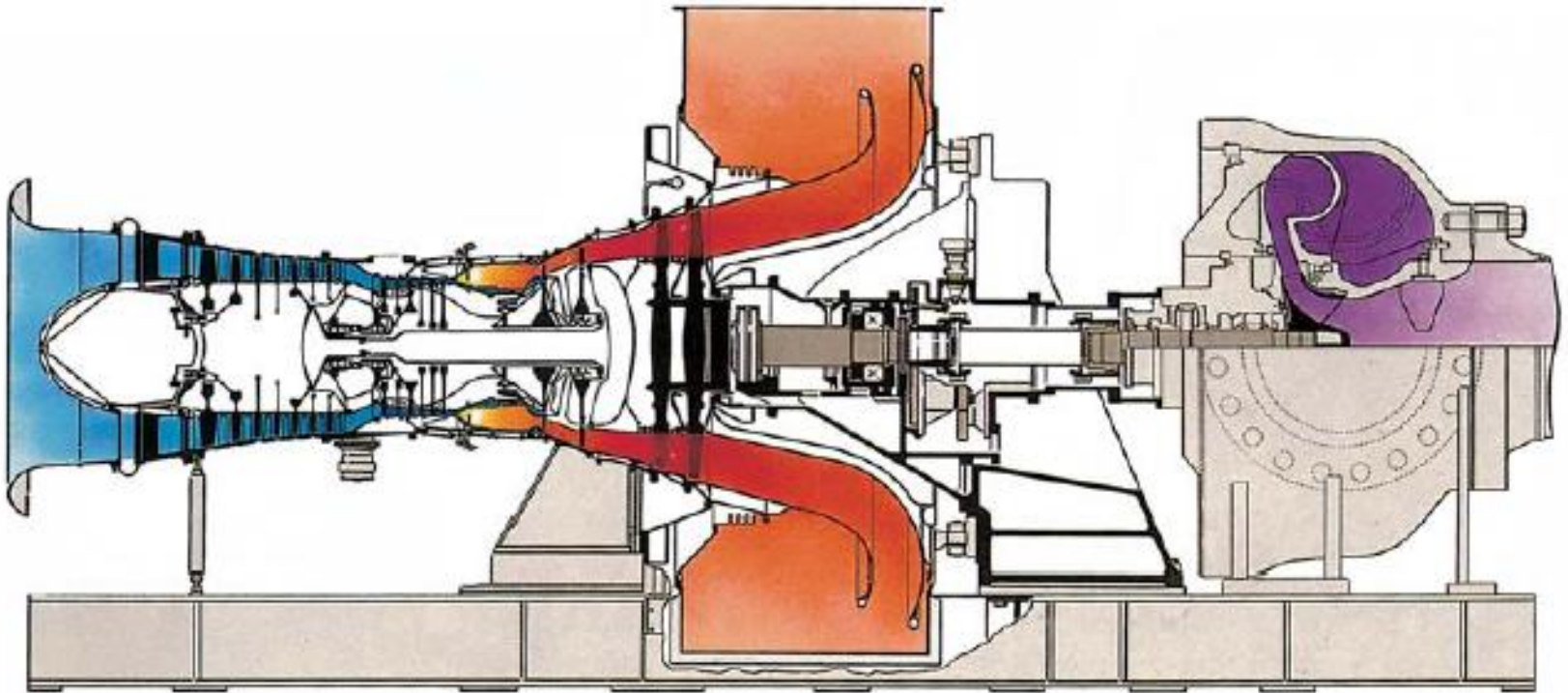
# Αεριοστρόβιλοι εφαρμογές

- Βιομηχανικοί αεριοστρόβιλοι (συνδυασμός στροβιλοαντιδραστήρα με στρόβιλο ισχύος)
  - Κίνηση αντλιών



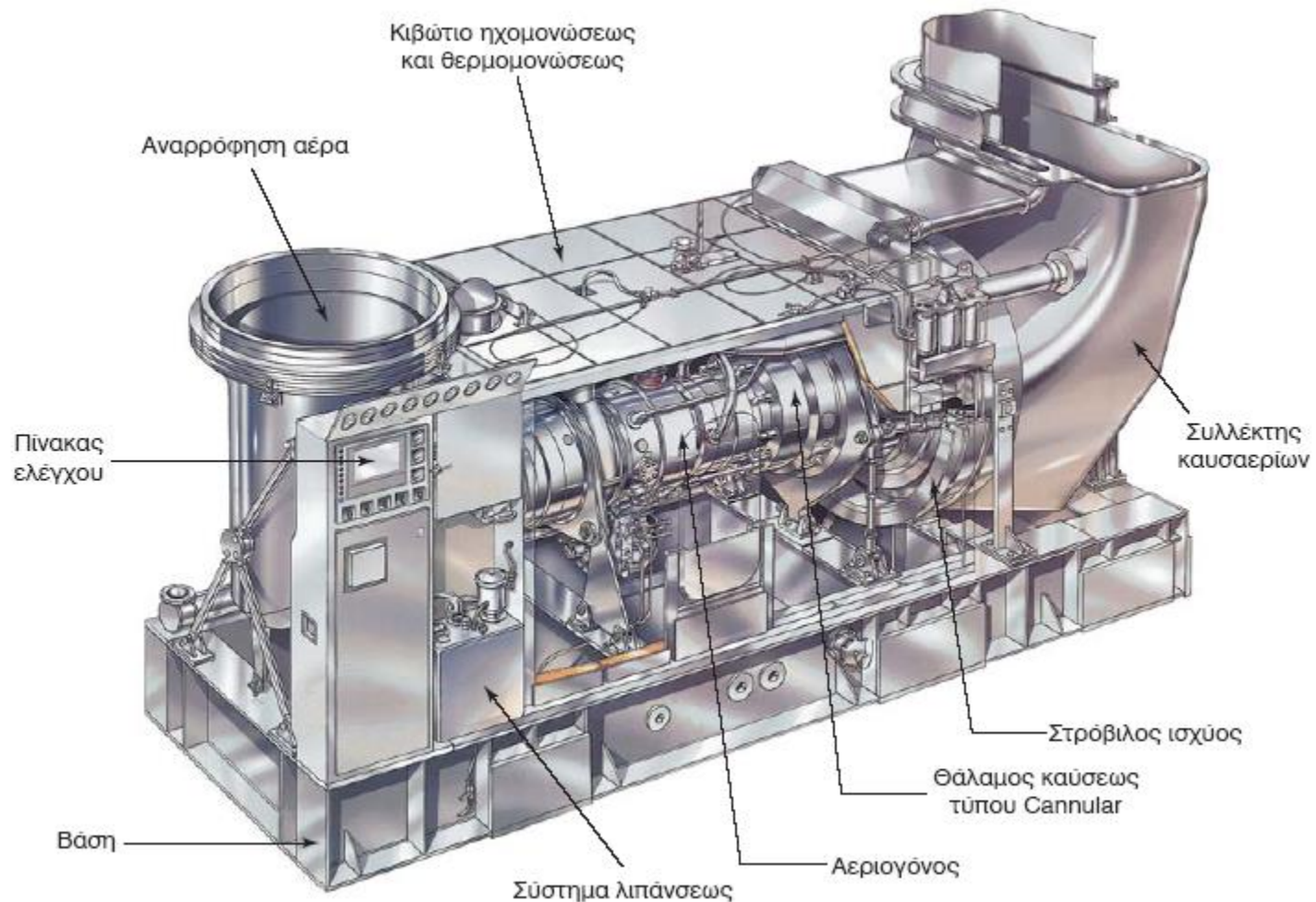
# Αεριοστρόβιλοι εφαρμογές

- Βιομηχανικοί αεριοστρόβιλοι (συνδυασμός στροβιλοαντιδραστήρα με στρόβιλο ισχύος)
  - Κίνηση συμπιεστών φυσικού αερίου



# Αεριοστρόβιλοι εφαρμογές

- Βιομηχανικοί αεριοστρόβιλοι (συνδυασμός στροβιλοαντιδραστήρα με στρόβιλο ισχύος)
  - Κίνηση πλοίων



# Χαρακτηριστικές παράμετροι λειτουργίας

- Για την περιγραφή των επιδόσεων μιας εγκατάστασης αεριοστροβίλου γίνεται χρήση των παραμέτρων:
  - Ειδική ισχύς εξόδου: καθαρή ισχύς εξόδου στην άτροκτο του αεριοστροβίλου ανά μονάδα μάζας εργαζόμενου μέσου. (καθορίζει το μέγεθος μιας μηχανής για συγκεκριμένη απαίτηση ισχύος).
  - Θερμικός βαθμός απόδοσης που περιγράφει την ποιότητα μιας μηχανής.

$$\eta_{th} = \frac{W_i}{f_{real} Q_f}$$

# Χαρακτηριστικές παράμετροι λειτουργίας

- Για την περιγραφή των επιδόσεων μιας εγκατάστασης αεριοστροβίλου γίνεται χρήση των παραμέτρων:
  - Ειδική κατανάλωση καυσίμου (specific fuel consumption)

$$s.f.c. = \frac{f_{real}}{W_i}$$

- Παροχή θερμότητας (heat rate) ή ειδική κατανάλωση θερμότητας

$$q_p = \frac{1}{\eta_{th}}$$

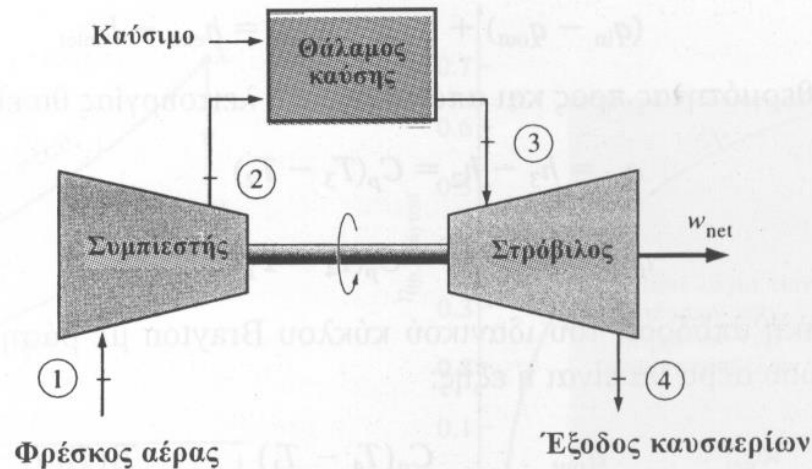
- Δίνει άμεση εικόνα για το ποσό θερμότητας που απαιτείται ανά μονάδα παραγόμενης ισχύος

# Χαρακτηριστικές παράμετροι λειτουργίας

- Για την περιγραφή των επιδόσεων μιας εγκατάστασης αεριοστροβίλου γίνεται χρήση των παραμέτρων:
  - Μηχανικός βαθμός απόδοσης: ορίζεται ως το πηλίκο της μηχανικής ισχύος που είναι διαθέσιμη στην έξοδο ενός μηχανικού τμήματος προς την αντίστοιχη τιμή της εισόδου.

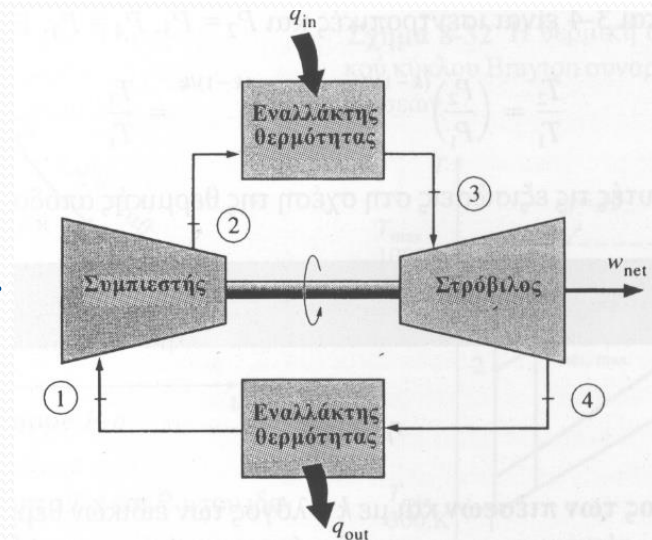
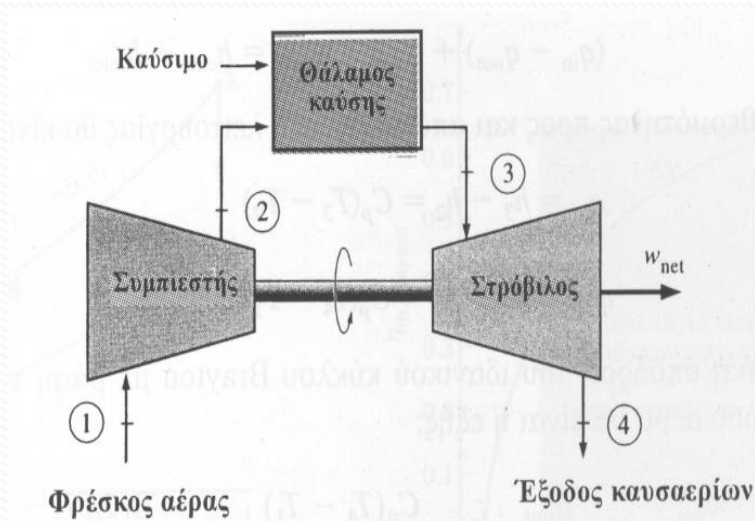
# Περιγραφή Διεργασιών στο Εσωτερικό Απλού Α/Σ

- 1 : Είσοδος στο Συμπιεστή αέρα σε ατμοσφαιρικές συνθήκες.
- 1→2 : Συμπύεση αέρα στον συμπιεστή → ↑ (P) & ↗ (T)
- 2 : Ο ζεστός αέρας εισέρχεται στον ΘΚ
- 2→3: Ανάμειξη ζεστού αέρα με τα σταγονίδια του καυσίμου → Καύση → ↑ ↑ (T) με πολύ ελαφρά πτώση πίεσης λόγω απωλειών ροής.
- 3 : Καυσαέριο πολύ υψηλής πίεσης και πολύ υψηλής θερμοκρασίας
- 3→4: Εκτόνωση καυσαερίου στον στρόβιλο → Σημαντικό μέρος της θερμικής ενέργειας του καυσαερίου μετατρέπεται σε μηχανικό έργο (παραγωγή μηχανικής ισχύος) στο στρόβιλο.
- 4 : Έξοδος καυσαερίου στην ατμόσφαιρα με πίεση ίση με την ατμοσφαιρική και θερμοκρασία μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής.



# Προσομοίωση Διεργασιών στο Εσωτερικό Απλού Α/Σ

- Ο Ανοικτός Κύκλος Απλού Αεριοστροβίλου είναι δυνατόν να προτυποποιηθεί (προσομοιαστεί) σαν Κλειστός Κύκλος εφαρμόζοντας τις ακόλουθες παραδοχές:
- Το εργαζόμενο μέσο σε κάθε σημείο του κύκλου θεωρείται αέρας σταθερής θερμοχωρητικότητας.
  - Η καύση αντικαθίσταται από μια Ισοβαρή και αντιστρεπτή Θέρμανση μέσω εξωτερικής πηγής.
  - Η έξοδος των καυσαερίων αντικαθίσταται από μια ισοβαρή και αντιστρεπτή διεργασία απόρριψης θερμότητας στον ατμοσφαιρικό αέρα.
  - Συμπίεση & Εκτόνωση → Αδιαβατικές & Αντιστρέψιμες Διεργασίες

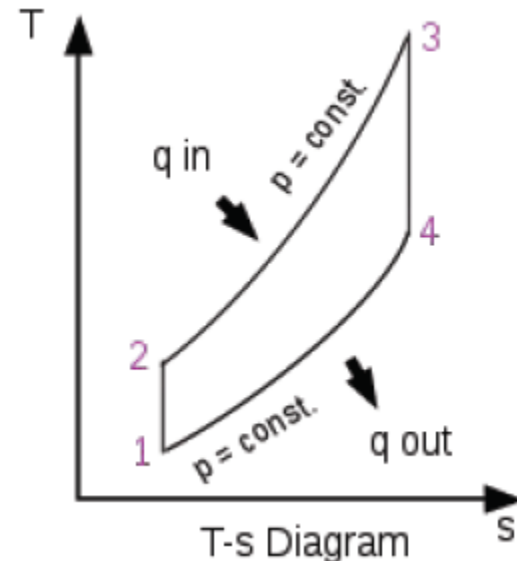
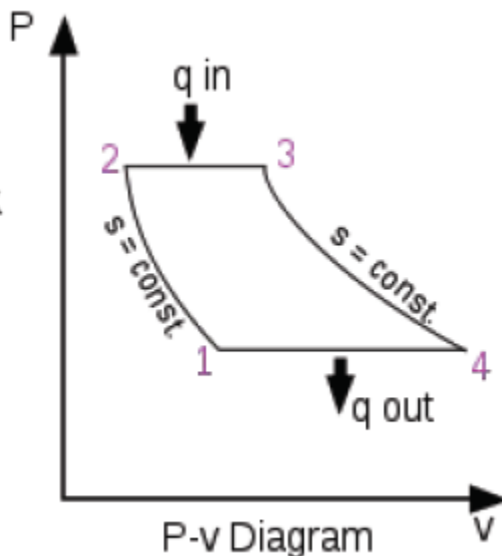
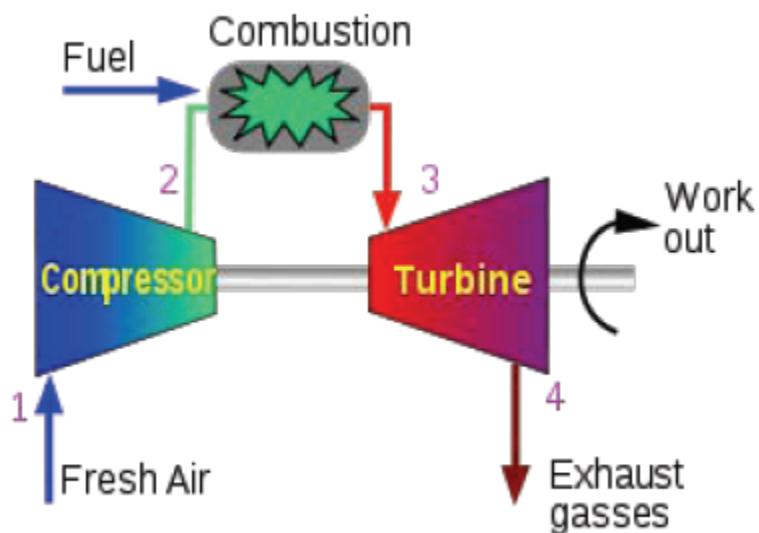
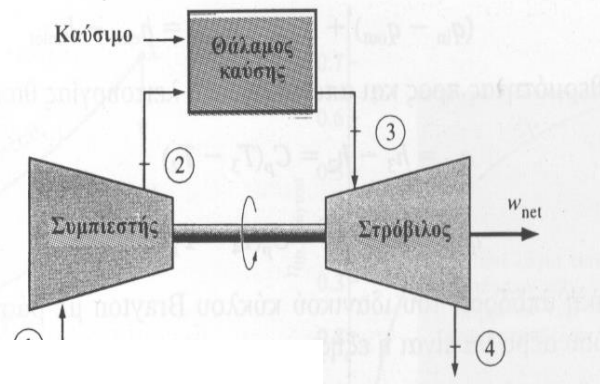


# Ιδανικός Ανοικτός Κύκλος Αέρα Joule (Brayton)

❑ Ο Ιδανικός Θερμοδυναμικός ανοικτός κύκλος που προσομοιώνει τις διεργασίες που αναφέρθηκαν στον κλειστό κύκλο ονομάζεται Ανοικτός Κύκλος Joule (Brayton).

❑ Ο κύκλος αυτός αποτελείται από τις ακόλουθες ιδανικές διεργασίες :

- ✓  $1 \rightarrow 2$  : Ισεντροπική Συμπύεση (Συμπιεστής)
- ✓  $2 \rightarrow 3$  : Ισοβαρή Θέρμανση (Θάλαμος Καύσης)
- ✓  $3 \rightarrow 4$  : Ισεντροπική Εκτόνωση (Στρόβιλος)
- ✓  $4 \rightarrow 1$  : Ισοβαρή Ψύξη (Εξαγωγή Καυσαερίου)



# Ιδανικός Ανοικτός Κύκλος Αέρα Joule (Brayton)

- Βαθμός απόδοσης: 
$$\eta = \frac{c_p(T_3 - T_4) - c_p(T_2 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)}$$

- Λόγος πίεσης: 
$$r = \frac{p_2}{p_1} = \frac{p_3}{p_4}$$

Λόγω των ισεντροπικών μεταβολών 1-2 και 3-4 ισχύει:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \text{και} \quad \frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{p_3}{p_4}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

και επομένως ισχύει:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4} = r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

Άρα τελικά ισχύει: 
$$\eta = \frac{c_p(T_3 - T_4) - c_p(T_2 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{1}{r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$$

# Ιδανικός Ανοικτός Κύκλος Αέρα Joule (Brayton)

- Το ειδικό έργο αδιάστατο ως προς την ποσότητα ,  $c_p T_1$  δίνεται από την εξίσωση:

$$\frac{W}{c_p T_1} = \frac{c_p (T_3 - T_4) - c_p (T_2 - T_1)}{c_p T_1} = \frac{T_3 - T_4}{T_1} - \frac{T_2 - T_1}{T_1} = t \left( 1 - \frac{T_4}{T_3} \right) - \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 \right) = t \left( 1 - \frac{1}{r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \right) - \left( r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right)$$

- Όπου  $t$  είναι ο λόγος της μέγιστης προς την ελάχιστη θερμοκρασία του κύκλου:

$$t = \frac{T_3}{T_1}$$

# Ιδανικός Ανοικτός Κύκλος Αέρα Joule (Brayton)

- Η παράγωγος του ειδικού έργου του κύκλου με το λόγο πίεσης ή με την ποσότητα  $r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$  αντίστοιχα, για δεδομένο λόγο  $t$  δίνει:

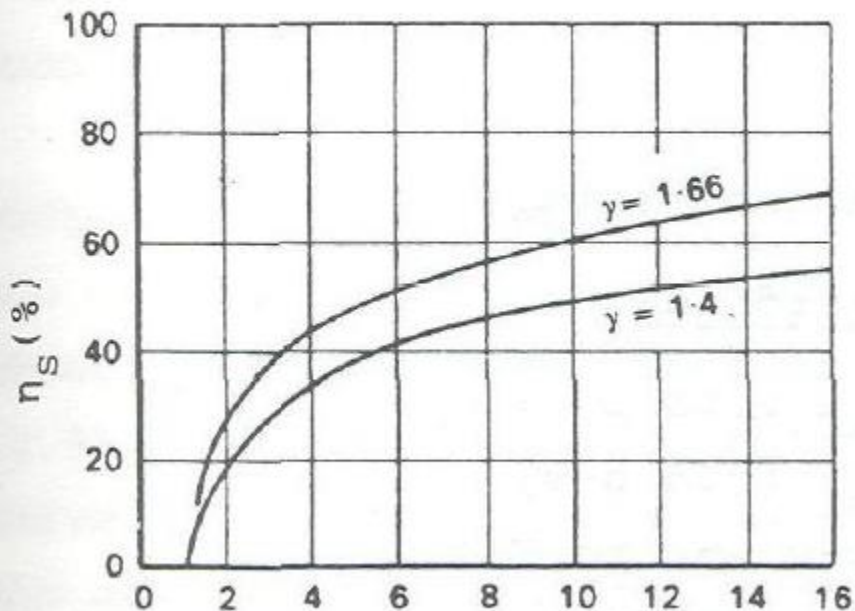
$$\frac{\partial\left(\frac{W}{c_p T_1}\right)}{\partial\left(r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right)} = \frac{t}{\left(r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right)^2} - 1 = 0 \Rightarrow \sqrt{t} = r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Rightarrow \frac{T_3}{T_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2 \text{ και } \frac{T_3}{T_1} = \left(\frac{T_3}{T_4}\right)^2 \Rightarrow T_2 = T_4$$

- Αφού η δεύτερη παράγωγος είναι αρνητική το έργο γίνεται μέγιστο όταν  $T_2 = T_4$ .
- Για αυτή την περίπτωση ο βέλτιστος (optimum) λόγος πίεσης είναι:

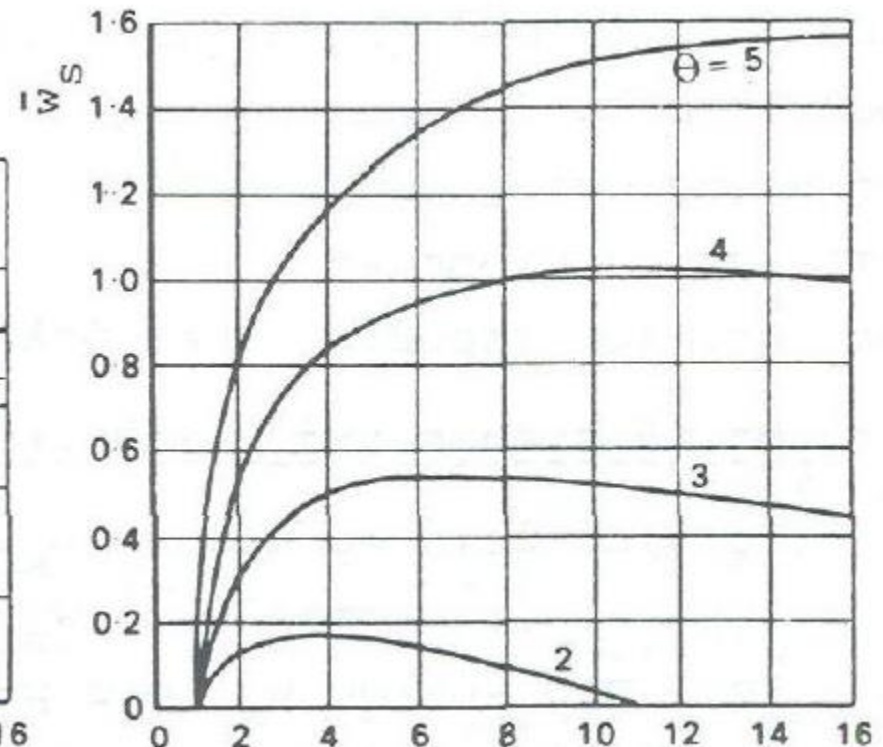
$$r_{optimum} = t^{\frac{\gamma}{2(\gamma-1)}}$$

# Ιδανικός Ανοικτός Κύκλος Αέρα Joule (Brayton)

- Με την προϋπόθεση ότι  $1 < r < r_{optimum}$ , ισχύει ότι  $T_2 > T_4$ .
- Στην περίπτωση αυτή η προσθήκη ενός ενναλλάκτη θα αυξήσει το βαθμό απόδοσης του κύκλου.



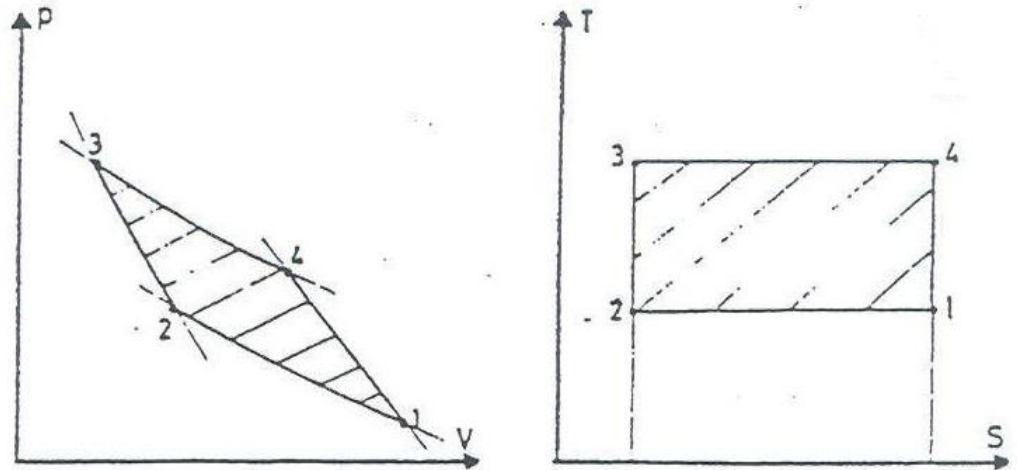
(α) Σχέση συμπίεσης  $r$



(β) Σχέση συμπίεσης  $r$

# Κύκλος Carnot

- 1 - 2c  
ισοθερμοκρασιακή  
συμπίεση
- 2c - 3 ισεντροπική  
συμπίεση
- 3 - 4c  
ισοθερμοκρασιακή  
αποτόνωση
- 4c - 1 ισεντροπική  
αποτόνωση

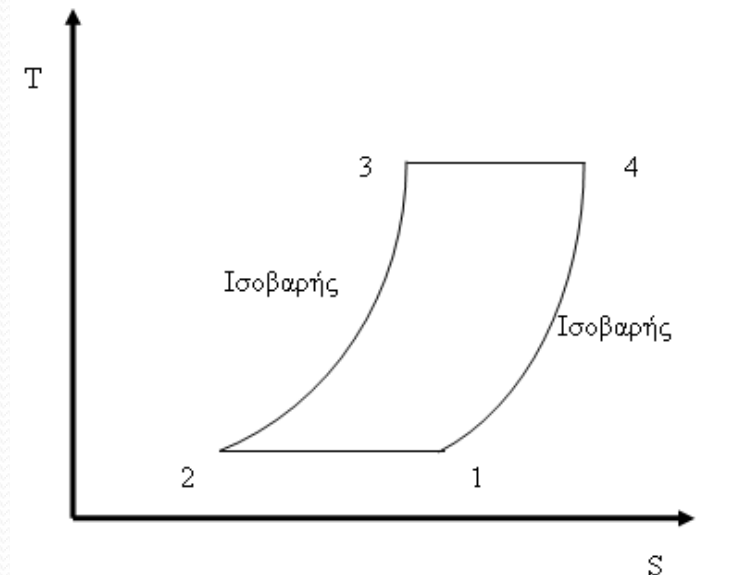
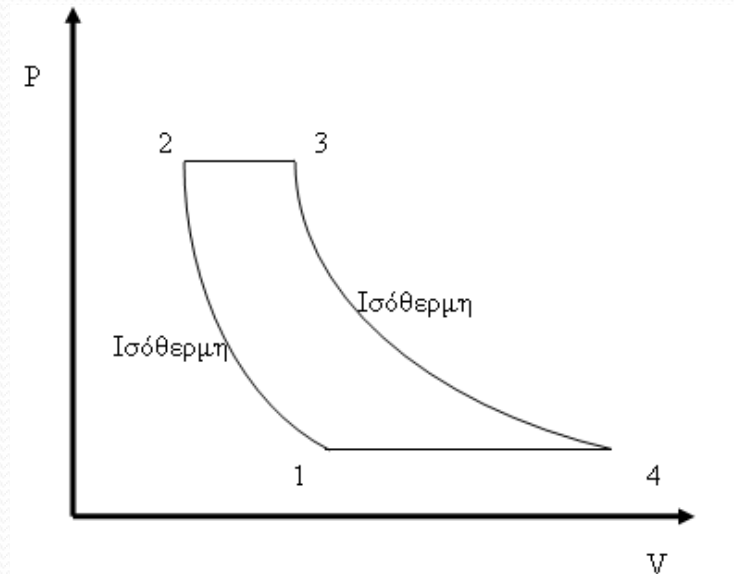


- Βαθμός απόδοσης:

$$\eta = \frac{W_E}{Q_{3-4}} = \frac{T_{3-4}(s_4 - s_3) + c_v(T_4 - T_1) - T_{1-2}(s_1 - s_2) - c_v(T_3 - T_2)}{T_{3-4}(s_4 - s_3)} = 1 - \frac{T_{1-2}}{T_{3-4}}$$

# Κύκλος Ericson

- 1 – 2e ισοθερμοκρασιακή συμπίεση
- 2e - 3 ισόθλιπτη πρόσδοση θερμότητας
- 3 – 4e ισοθερμοκρασιακή αποτόνωση
- 4e - 1 ισόθλιπτη απόδοση θερμότητας
- Η ισόθλιπτη θέρμανση 2-3 εκτελείται με πλήρη ανακόμιση της θερμότητας (βαθμός εκμεταλεύσεως  $\eta_W=100\%$ ), της απαγόμενης θερμότητας από την ισόθλιπτη ψύξη 4-1.
- Θερμότητα στον κύκλο προσφέρουμε για την επίτευξη ισοθερμοκρασιακής μεταβολής στην εκτόνωση 3-4, και απάγεται στο περιβάλλον κατά την ισοθερμοκρασιακή συμπίεση 1-2.



# Κύκλος Ericson

- Βαθμός απόδοσης:

$$\eta_{Ericson} = \frac{W_E}{Q_{3-4}} = \frac{Q_{3-4} - Q_{1-2}}{Q_{3-4}} = \frac{q_{3-4} - q_{1-2}}{q_{3-4}}, \quad \text{και \acute{a}ρα}$$

$$\eta_{Ericson} = 1 - \frac{RT_{1-2} \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)}{RT_{3-4} \ln\left(\frac{p_3}{p_4}\right)}$$

ή

$$\eta_{Ericson} = 1 - \frac{T_{1-2}}{T_{3-4}} \equiv \eta_{Carnot}$$

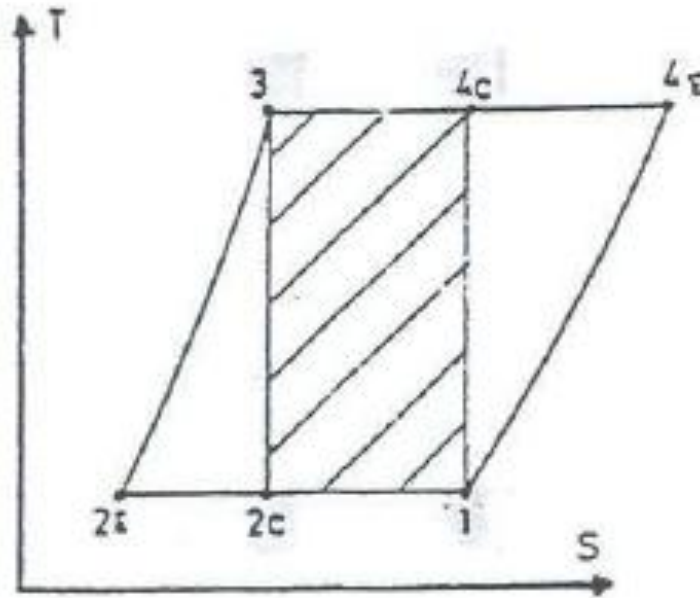
- Το έργο του κύκλου:

$$W_E = W_{3-4} - W_{1-2} = Q_{3-4} - Q_{1-2} = -mRT_{3-4} \ln\left(\frac{p_4}{p_3}\right) - (-mRT_{1-2} \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)) = mR(T_{3-4} - T_{1-2}) \ln r$$

όπου ο λόγος πίεσης  $r = \frac{p_2}{p_1} = \frac{p_3}{p_4}$

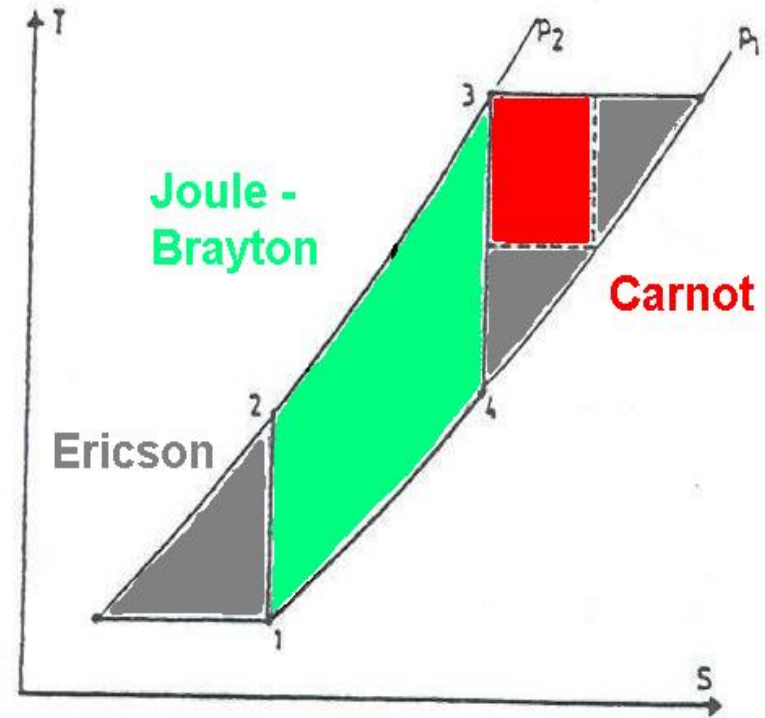
# Σύγκριση Κύκλων

- Απόδοση κύκλων Carnot και Ericson που δουλεύουν στα ίδια θερμοκρασιακά όρια και όρια πιέσεων, έχουν την ίδια απόδοση.
- Μικρότερο έργο για τον Carnot.



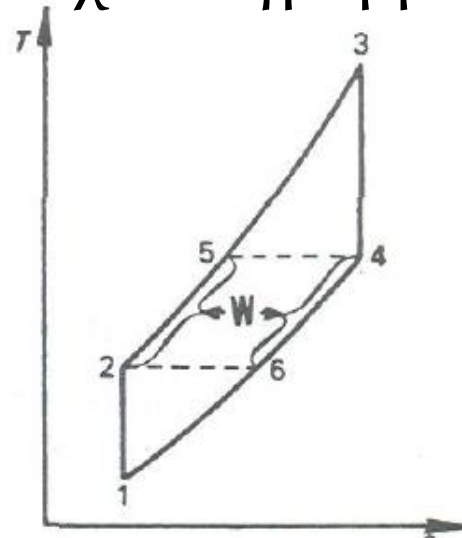
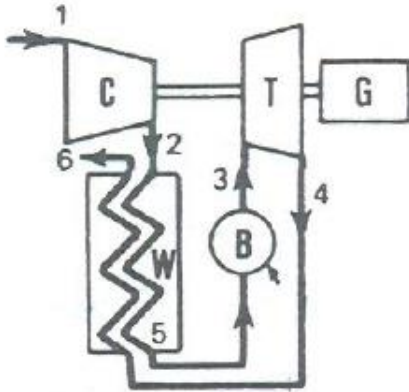
# Σύγκριση Κύκλων

- Απόδοση κύκλων Carnot, Joule και Ericson που δουλεύουν στα ίδια όρια πιέσεων, έχουν την ίδια απόδοση.
- Ελλιπής εκμετάλλευση θερμοκρασιακών ορίων από τον κύκλο Carnot, άρα και μικρότερη απόδοση από τον κύκλο Ericson.
- Ο κύκλος Ericson παρουσιάζει την καλύτερη απόδοση και το μεγαλύτερο έργο ανά μονάδα μάζας για δεδομένα όρια πιέσεως και θερμοκρασίας. Για το λόγο αυτό έχουν γίνει προσπάθειες προσέγγισης του κύκλου του Ericson με ενδιάμεση ψύξη κατά τη συμπίεση και αναθέρμανση κατά την εκτόνωση.

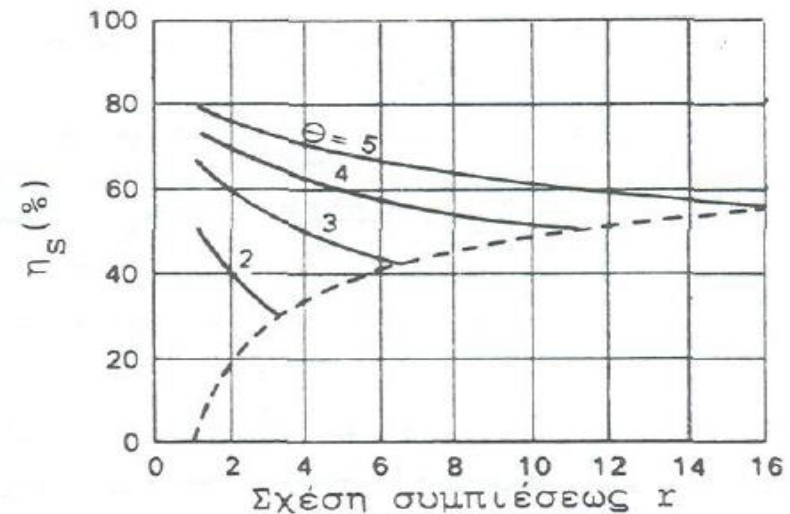


# Απλός Κύκλος Αεροστροβίλου με εναλλάκτη θερμότητας

- Εγκατάσταση αεροστροβίλου ανοικτού κυκλώματος με εναλλάκτη θερμότητας και αντίστοιχο διάγραμμα  $T-S$ .



- Βαθμός απόδοσης σε συνάρτηση με τη σχέση συμπίεσης απλού κύκλου αέρα με προσθήκη εναλλάκτη θερμότητας



# Απλός Κύκλος Αεροστροβίλου με εναλλάκτη θερμότητας

- Η προσθήκη εναλλάκτη επιφέρει σημαντικές διαφορές για τις θερμοκρασίες.

- Βαθμός απόδοσης: 
$$\eta = \frac{c_p(T_3 - T_4) - c_p(T_2 - T_1)}{c_p(T_3 - T_5)}$$

- Λόγος πίεσης: 
$$r = \frac{p_2}{p_1} = \frac{p_3}{p_4}$$

- Παραδεχόμενοι πλήρης μετάδοση της θερμότητας έχουμε  $T_4 = T_5$ , για το βαθμό απόδοσης ισχύει:

$$\eta = \frac{c_p(T_3 - T_4) - c_p(T_2 - T_1)}{c_p(T_3 - T_5)} = 1 - \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_4} = 1 - \frac{T_1}{T_3} \frac{\frac{T_2}{T_1} - 1}{1 - \frac{T_4}{T_3}} = 1 - \frac{r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{t}$$

# Απλός Κύκλος Αεροστροβίλου με εναλλάκτη θερμότητας

- Λόγω των ισεντροπικών μεταβολών 1-2 και 3-4 ισχύει:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \text{και} \quad \frac{T_3}{T_4} = \left( \frac{p_3}{p_4} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

- Επομένως ισχύει:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4} = r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

- Το αδιάστατο ειδικό έργο δίνεται από την ίδια σχέση με αυτή του απλού κύκλου

$$\frac{W}{c_p T_1} = \frac{c_p (T_3 - T_4) - c_p (T_2 - T_1)}{c_p T_1} = \frac{T_3 - T_4}{T_1} - \frac{T_2 - T_1}{T_1} = t \left( 1 - \frac{T_4}{T_3} \right) - \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 \right) = t \left( 1 - \frac{1}{r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \right) - \left( r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right)$$

# Απλός Κύκλος Αεροστροβίλου με εναλλάκτη θερμότητας

- Για  $r=1$  προκύπτει ο βαθμός απόδοσης του κύκλου Carnot.

$$\eta = 1 - \frac{1}{t}$$

- Έτσι, η καμπύλη του βαθμού απόδοσης, για δεδομένο  $t$ , ξεκινά στην θέση  $r=1$ , δηλαδή, από την τιμή για τον βαθμό απόδοσης του Carnot.
- Με αύξηση του λόγου  $r$  ο βαθμός απόδοσης μειώνεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$\eta = 1 - \frac{r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{t}$$

- Έως την τιμή του λόγου  $r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \sqrt{t}$  ή  $T_2 = T_4$

# Απλός Κύκλος Αεροστροβίλου με εναλλάκτη θερμότητας

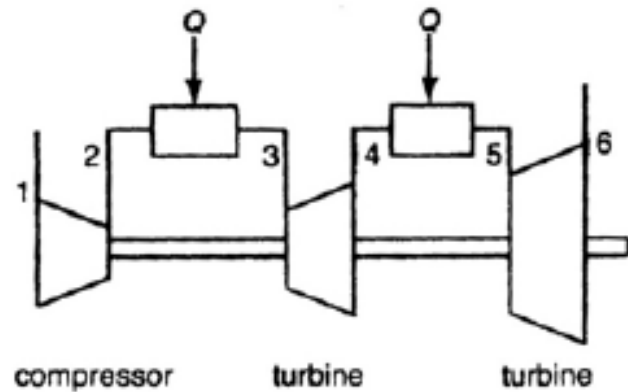
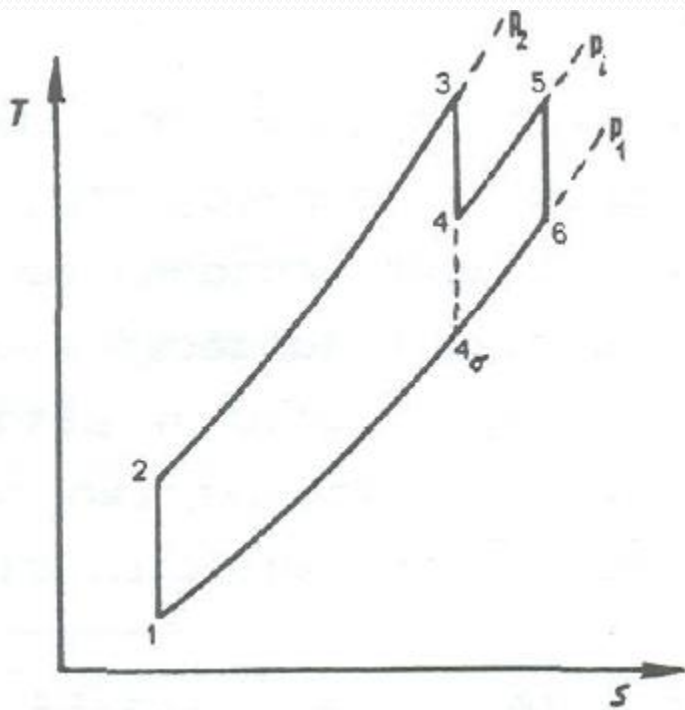
- Δηλαδή προκύπτει ο βαθμός απόδοσης του απλού κύκλου:

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$$

- Για μεγαλύτερα  $r$ , ο εναλλάκτης ψύχει πλέον το ρεύμα μετά το συμπιεστή οπότε και  $T_4 < T_2$  άρα δεν έχει νόημα η χρησιμοποίησή του.
- Για τον λόγο αυτό οι καμπύλες του βαθμού απόδοσης για διάφορα  $t$ , σταματούν στον βαθμό απόδοσης του απλού κύκλου (σχήμα διαφάνειας 28).
- Συμπέρασμα: για να έχει νόημα η χρήση εναλλάκτη πρέπει το  $r$  να έχει πολύ μικρότερη τιμή από την βέλτιστη ( $r_{optimum}$ ).

# Κύκλος Αεροστροβίλου με αναθέρμανση

- Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο κύκλος Ericsson παρουσιάζει την καλύτερη απόδοση και το μεγαλύτερο έργο ανά μονάδα μάζας για δεδομένα όρια πίεσης και θερμοκρασίας. Για το λόγο αυτό, έχουν γίνει προσπάθειες προσέγγισης του κύκλου του Ericsson με ενδιάμεση ψύξη κατά τη συμπίεση και αναθέρμανση κατά την εκτόνωση.



# Κύκλος Αεροστροβίλου με αναθέρμανση

- Το έργο αυξάνεται αφού όπως φαίνεται στο διάγραμμα T-s, οι κάθετες αποστάσεις των ισόθλιπτων αυξάνουν όσο αυξάνεται η εντροπία.

$$(T_3 - T_4) + (T_5 - T_6) > (T_3 - T_{4'})$$

- Σημαντική αύξηση στο αποδιδόμενο έργο του κύκλου προκύπτει διοχετεύοντας την εκτόνωση σε δύο διαφορετικούς στροβίλους και προσθέτοντας ενδιάμεση θέρμανση (ενδιάμεση καύση).
- Μπορεί να γίνει επιλογή για την θερμοκρασία αναθέρμανσης ( $T_5 = T_3$ ) για ίδια θερμοκρασιακά όρια στους δύο στροβίλους.
- Ορίζουμε επίσης:
- Λόγο πίεσης:

$$r = \frac{p_2}{p_1}$$

- Αλλά και:

$$c = r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}, \quad t = \frac{T_3}{T_1}$$

# Κύκλος Αεροστροβίλου με αναθέρμανση

- Βαθμός απόδοσης:

$$\eta = \frac{c_p(T_3 - T_4) + c_p(T_5 - T_6) - c_p(T_2 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2) + c_p(T_5 - T_4)}$$

- Ειδικό αδιάστατο έργο:

$$\frac{W}{c_p T_1} = \frac{c_p(T_3 - T_4) + c_p(T_5 - T_6) - c_p(T_2 - T_1)}{c_p T_1}$$

- Όπως και προγενέστερα, αν  $T_5 = T_3$ , η παράγωγος του ειδικού έργου μας δίνει το βέλτιστο (optimum) σημείο για την εκτόνωση (μέγιστο κέρδος σε έργο ανά κύκλο) το οποίο υφίσταται όταν οι λόγοι εκτόνωσης στους δυο στροβίλους είναι ίσοι, δηλαδή:

$$r_1 = \frac{p_3}{p_4} = r_2 = \frac{p_5}{p_6}, \quad \text{δηλαδή} \quad r = r_1 \cdot r_2$$

# Κύκλος Αεροστροβίλου με αναθέρμανση

- Άρα και ο βαθμός απόδοσης γίνεται:

$$\eta = \frac{\left(\frac{T_3}{T_1} - \frac{T_4}{T_1}\right) + \left(\frac{T_5}{T_1} - \frac{T_6}{T_1}\right) - \left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right)}{\left(\frac{T_3}{T_1} - \frac{T_2}{T_1}\right) + \left(\frac{T_5}{T_1} - \frac{T_4}{T_1}\right)} = \frac{\left(t - t \frac{1}{\sqrt{c}}\right) + \left(t - t \frac{1}{\sqrt{c}}\right) - (c-1)}{(t-c) + \left(t - t \frac{1}{\sqrt{c}}\right)} = \frac{2t - c + 1 - 2t \frac{1}{\sqrt{c}}}{2t - c - t \frac{1}{\sqrt{c}}}$$

- Το ειδικό αδιάστατο έργο:

$$\frac{W}{c_p T_1} \text{ reheat} = \left(\frac{T_3}{T_1} - \frac{T_4}{T_1}\right) + \left(\frac{T_5}{T_1} - \frac{T_6}{T_1}\right) - \left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right) = 2t - c + 1 - 2t \frac{1}{\sqrt{c}}$$

- Για τον απλό κύκλο ισχύει:

$$\frac{W}{c_p T_1} \text{ simple cycle} = t \left(1 - \frac{1}{c}\right) - (c-1)$$

- Συγκρίνοντας προκύπτει ότι:  $\frac{W}{c_p T_1} \text{ reheat} > \frac{W}{c_p T_1} \text{ simple cycle}$

- Με κάποιο κόστος στην απόδοση (σχήμα).

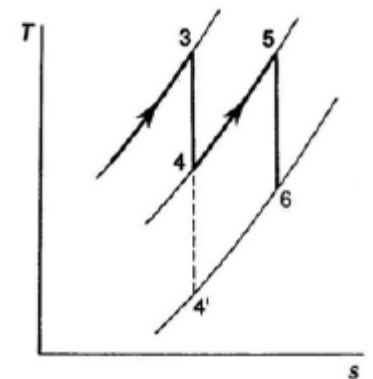
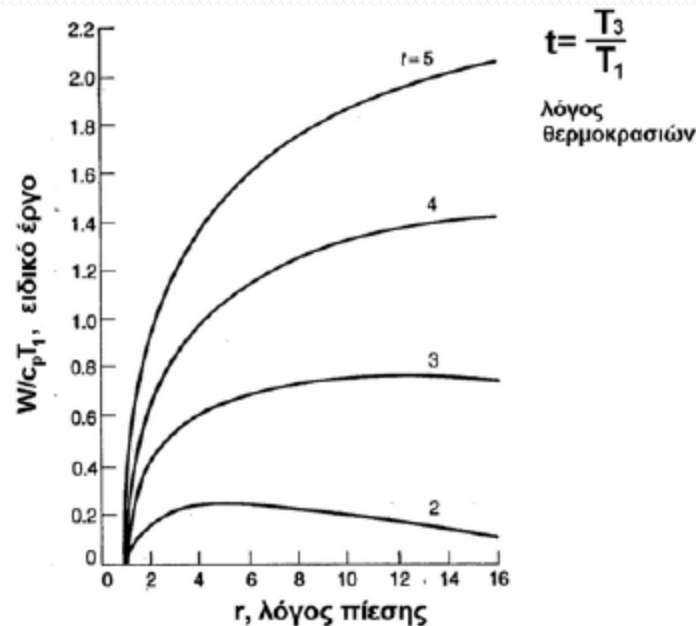
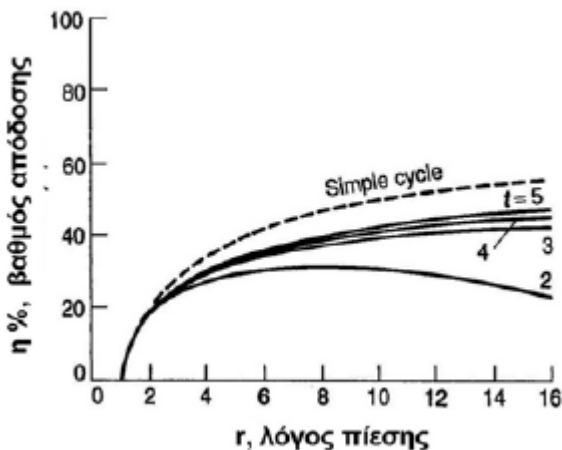
# Κύκλος Αεροστροβίλου με αναθέρμανση

- Συγκρίνοντας προκύπτει ότι:

$$\frac{W}{c_p T_1} \text{ simple cycle} = t \left( 1 - \frac{1}{c} \right) - (c - 1)$$

- Με κάποιο κόστος στην απόδοση (σχήμα).

$$\frac{W}{c_p T_1} \text{ reheat} > \frac{W}{c_p T_1} \text{ simple cycle}$$



# Κύκλος Αεροστροβίλου με αναθέρμανση

- Πρόσδοση και απαγωγή θερμότητας στο ίδιο σύστημα

