

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΝΑΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΦΡΑΓΚΟΠΟΥΛΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΣ ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2007

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1.1 Συνοπτική Παρουσίαση των Αεριοστροβίλων	4
1.2 Τα Βασικά Στοιχεία των Αεριοστροβίλων.....	7
1.3 Είδη Αεριοστροβίλων και Βασικά Χαρακτηριστικά τους.....	12
1.4 Ανοικτός Κύκλος Λειτουργίας.....	14
1.5 Σύζευξη Συμπιεστών και Στροβίλων	16
1.6 Κλειστός Κύκλος Λειτουργίας.....	17
1.7 Εφαρμογή των Αεριοστροβίλων στην πρόωση των αεροπλάνων	19
2.ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ	20
2.1 Υπολογισμός Θερμοκρασιών, Λόγου Καυσίμου/Αέρα, Βαθμών Απόδοσης και Κατανάλωσης Καυσίμου	20
2.1.1 Κύκλος απλού αεριοστροβίλου (CBT).	21
2.1.2 Απλός αεριοστροβίλος με χωριστό στρόβιλο ισχύος.....	22
2.1.3 Κύκλος αεριοστροβίλου με αναθέρμανση και κοινό άξονα (CBTRT)	24
2.1.4 Κύκλος αεριοστροβίλου με αναθέρμανση και στρόβιλο ισχύος.....	25
2.1.5 Κύκλος αεριοστροβίλου με ενδιάμεση ψύξη του αέρα (CICBT).....	26
2.1.6 Κύκλος αεριοστροβίλου με αναγεννητική προθέρμανση του αέρα (CBTX).....	28
2.1.7 Κύκλος αεριοστροβίλου με ενδιάμεση ψύξη, αναγεννητική προθέρμανση του αέρα και αναθέρμανση(CICBRTX).....	29
2.2 Προσδιορισμός της Σύνθεσης του Καυσαερίου [3]	31
2.2.1 Σύνθεση του καυσαερίου χωρίς υγρασία στον αέρα.	31
2.2.2 Σύνθεση του καυσαερίου με υγρασία στον αέρα [1].	33
2.2.3 Αριθμητική εφαρμογή.....	35
2.3 Υπολογισμός της Ειδικής Θερμοχωρητικότητας.....	37
3.ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ	41
3.1 Ανάλυση Διατάξεων Αεριοστροβίλου	42
3.1.1 Απλός αεριοστροβίλος (CBT).	42
3.1.2 Αεριοστροβίλος με χωριστό στρόβιλο ισχύος.	44
3.1.3 Διάταξη αεριοστροβίλου με κοινό άξονα και αναθέρμανση (CBTRT)....	46
3.1.4 Διάταξη αεριοστροβίλου με χωριστό στρόβιλο ισχύος και αναθέρμανση.	48
3.1.5 Διάταξη αεριοστροβίλου με ενδιάμεση ψύξη του αέρα (CICBT).....	50
3.1.6 Διάταξη αεριοστροβίλου με αναγεννητική προθέρμανση του αέρα (CBTX).....	52
3.1.7 Διάταξη αεριοστροβίλου με ενδιάμεση ψύξη, αναγεννητική προθέρμανση του αέρα και αναθέρμανση(CICBRTX).....	55
3.2 Σύγκριση Διατάξεων Αεριοστροβίλου.....	57
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	60
5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΣΥΝΕΧΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ	61
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α (ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ MATLAB)	62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ	82

ΣΥΝΟΨΗ

Συστήματα αεριοστροβίλων είτε απλά είτε συνδυασμένου κύκλου αρχίζουν να διαδίδονται σε ναυτικές εφαρμογές. Είναι χρήσιμο να μελετηθούν από ενεργειακής άποψης οι διατάξεις αυτές προκειμένου να μπορεί να γίνει επιλογή για τις διάφορες συγκεκριμένες εφαρμογές.

Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό αναπτύχθηκαν προγράμματα ηλεκτρονικού υπολογιστή με το πρόγραμμα matlab και χαράχτηκαν διαγράμματα ενεργειακών χαρακτηριστικών όπως είναι η ειδική ισχύς και ο βαθμός απόδοσης, συναρτήσει του λόγου πίεσης και των βαθμών εκμετάλλευσης των εναλλακτών θερμότητας, με τα λιγότερα δυνατά δεδομένα.

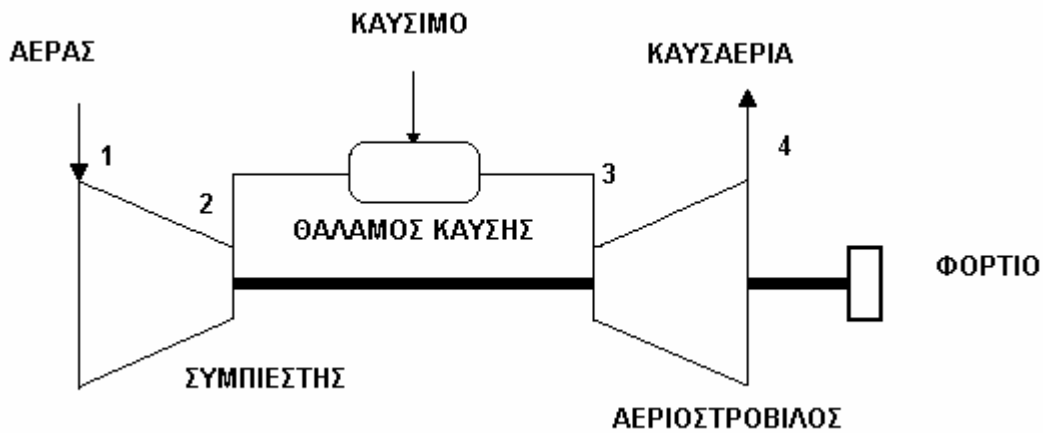
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Συνοπτική Παρουσίαση των Αεριοστροβίλων

Ο στρόβιλος γενικά, σε σχέση με τις άλλες διατάξεις παραγωγής μηχανικού έργου, παρουσιάζει αρκετά ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης. Δεν υπάρχουν πολλά τριβόμενα τμήματα, όπως στις εμβολοφόρες μηχανές, η κατανάλωση λιπαντικού είναι μικρή και έχουν ελάχιστα προβλήματα ζυγοσταθμίσεως. Γενικά οι αεριοστρόβιλοι παρουσιάζουν υψηλή αξιοπιστία.

Τα πλεονεκτήματα του στροβίλου φάνηκαν όταν χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στις αρχές του 20ου αιώνα άρχισε η χρησιμοποίηση των ατμοστρόβιλων για την κίνηση των πλοίων και των τρένων, καθώς και για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σήμερα λειτουργούν εργοστάσια με ισχύ πάνω από 500 MW και απόδοση περίπου 40%. Οι ατμοστρόβιλοι, αν και έχουν βελτιωθεί αρκετά, εμφανίζουν ένα μειονέκτημα. Αυτό σχετίζεται με την εγκατάσταση παραγωγής ατμού υψηλής πίεσεως και υψηλής θερμοκρασίας. Οι εγκαταστάσεις αυτές είναι δαπανηρές και μπορεί να είναι από ένα συμβατικό λέβητα μέχρι ένα πυρηνικό αντιδραστήρα. Το βασικό χαρακτηριστικό είναι ότι τα παραγόμενα θερμά αέρια, από το λέβητα ή τον αντιδραστήρα, δε χρησιμοποιούνται κατευθείαν στο στρόβιλο, αλλά για την παραγωγή ενός ενδιάμεσου ρευστού, του ατμού. Τα προβλήματα αυτά οδήγησαν στην κατασκευή και ανάπτυξη των αεριοστροβίλων, με αποτέλεσμα τη χρησιμοποίησή τους σε ένα μεγάλο πεδίο εφαρμογών (εργοστάσια ηλεκτρικής ενέργειας, πλοία, αεροπλάνα).

Για τη λειτουργία του αεριοστροβίλου χρειάζεται αέριο υψηλής πίεσεως το οποίο εκτονούμενο μέσα στο στρόβιλο τον κινεί. Ο απαιτούμενος υψηλός λόγος πίεσεως πραγματοποιείται με τη χρησιμοποίηση του συμπιεστή. Εάν δεν υπήρχαν απώλειες, στο σύστημα συμπιεστής – στρόβιλος, τότε το αποδιδόμενο έργο από τον στρόβιλο θα ήταν ίσο προς το καταναλισκόμενο από τον συμπιεστή. Αλλά και σ' αυτή την ιδανική κατάσταση δε θα μπορούσε να παραχθεί ωφέλιμο έργο και το αποτέλεσμα θα ήταν απλώς η λειτουργία του συστήματος συμπιεστής-στρόβιλος. Το έργο που παράγει ο στρόβιλος αυξάνεται με την πρόσθεση ενέργειας στο εκτονούμενο αέριο που αυξάνει τη θερμοκρασία του. Όταν το αέριο είναι ο αέρας, η πρόσθεση ενέργειας πραγματοποιείται με την καύση ενός καύσιμου με τον αέρα που έχει προηγούμενα συμπιεστεί. Τα καυσαέρια εκτονούμενα παράγουν στο στρόβιλο μεγαλύτερο έργο, μέρος του οποίου κινεί τον συμπιεστή, ενώ ταυτόχρονα παράγεται και ωφέλιμο έργο. Η διαδικασία αυτή παραγωγής ωφέλιμου έργου είναι η αρχή λειτουργίας ενός αεριοστροβίλου (Σχ. 1.1).



Σχήμα 1.1 Αρχή λειτουργίας ενός αεριοστροβίλου.

Επειδή υπάρχουν απώλειες, το έργο που λαμβάνεται τελικά στην έξοδο του στροβίλου είναι μικρότερο. Το ωφέλιμο έργο αυξάνεται με την προσθήκη επιπλέον καυσίμου, αν και υπάρχει ένα όριο του λόγου καυσίμου/αέρα, για δεδομένη παροχή αέρα, που περιορίζει το ποσό του ωφέλιμου έργου. Η μέγιστη τιμή του λόγου καυσίμου/αέρα καθορίζεται από τη θερμοκρασία λειτουργίας των πτερυγίων του στροβίλου, η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνει μια κρίσιμη τιμή. Αυτή καθορίζεται από την αντοχή σε ερπυσμό των υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή και από την επιθυμητή διάρκεια ζωής του αεριοστροβίλου.

Συνεπώς οι δύο βασικοί παράγοντες που καθορίζουν τη λειτουργία των αεριοστροβίλων είναι:

- η απόδοση κάθε τμήματος (στρόβιλος, συμπιεστής, καυστήρας, εναλλάκτης κλπ.)
- η θερμοκρασία λειτουργίας (που εξαρτάται από τα χρησιμοποιούμενα υλικά)

Η ολική απόδοση του κύκλου ενός αεριοστροβίλου εξαρτάται και από το λόγο συμπίεσης του συμπιεστή. Αρχικά υπήρχαν δυσκολίες στην πραγματοποίηση υψηλού λόγου συμπίεσης, όμως σήμερα, ιδιαίτερα σε τελειοποιημένους κινητήρες, επιτυγχάνονται λόγοι συμπίεσης πάνω από 30:1, με απόδοση συμπιεστή 85-90% και με θερμοκρασία εισόδου στο στρόβιλο πάνω από 1200-1500°K.

Παλαιότερα είχαν προταθεί δύο δυνατά συστήματα καύσεως. Το ένα υπό σταθερό όγκο και το άλλο υπό σταθερή πίεση. Θεωρητικά η θερμική απόδοση του κύκλου υπό σταθερό όγκο είναι μεγαλύτερη αυτού υπό σταθερή

πίεση, αλλά οι μηχανικές δυσκολίες είναι πολύ μεγαλύτερες που σχεδόν αποκλείουν την εξέλιξη αεριοστρόβιλου με κύκλο υπό σταθερό όγκο.

Οι διαδικασίες συμπίεση-καύση-εκτόνωση στον αεριοστρόβιλο δε γίνονται στην ίδια μονάδα όπως στους παλινδρομικούς κινητήρες. Οι διαδικασίες γίνονται σε ξεχωριστές μονάδες, που λέγονται στοιχεία του κινητήρα, και οι οποίες χωρίζονται με την έννοια ότι σχεδιάζονται χωριστά. Τα στοιχεία αυτά όμως συνδέονται λειτουργικά μεταξύ τους και σχηματίζουν τον αεριοστρόβιλο. Είναι δυνατόν να προστεθούν ψύκτες μεταξύ των συμπιεστών, αναθερμαντικοί θάλαμοι καύσης μεταξύ των στρόβιλων καθώς και αναγεννητές θερμότητας μεταξύ του συμπιεστή και του θαλάμου καύσης που αξιοποιούν τα καυσαέρια που εξέρχονται από το στρόβιλο για να θερμάνουν τον αέρα που εισέρχεται στο θάλαμο καύσεως. Αυτές οι διατάξεις χρησιμοποιούνται για την αύξηση της εξερχόμενης ισχύος και αποδόσεως. Η επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού εξαρτάται από την ειδική περίπτωση εφαρμογής του αεριοστρόβιλου.

Εκτός από τους διάφορους απλούς κύκλους, που προκύπτουν με την προσθήκη των βοηθητικών στοιχείων όπως είναι οι ψύκτες, οι αναθερμαντήρες και οι εναλλάκτες, οι αεριοστρόβιλοι κατατάσσονται σε δύο διακεκριμένες κατηγορίες: ανοικτού και κλειστού κύκλου. Στους αεριοστρόβιλους ανοικτού κύκλου (Σχ.1.1), πραγματοποιείται συνεχής εισροή ατμοσφαιρικού αέρα μέσα στο συμπιεστή και η ενέργεια προστίθεται με την καύση ενός καυσίμου εντός του αέρα. Στη συνέχεια τα καυσαέρια εκτονώνονται στο στρόβιλο και εξέρχονται στην ατμόσφαιρα. Στους αεριοστρόβιλους κλειστού κύκλου (Σχ.1.2) ένα αέριο ή ο αέρας ανακυκλώνεται συνεχώς μέσα στη μηχανή. Είναι φανερό ότι η καύση δεν λαμβάνει χώρα εντός του αερίου του κυκλώματος και η απαιτούμενη ενέργεια πρέπει να δοθεί από ένα θερμαντήρα (εναλλάκτη), ενώ η καύση λαμβάνει χώρα σ' ένα χωριστό κύκλωμα. Ο κλειστός κύκλος λειτουργίας ενός αεριοστρόβιλου μοιάζει με εκείνον του ατμοστρόβιλου.



Σχήμα 1. 2 Παράδειγμα κλειστού κύκλου λειτουργίας.

1.2 Τα Βασικά Στοιχεία των Αεριοστροβίλων

Τα βασικά στοιχεία του συστήματος είναι:

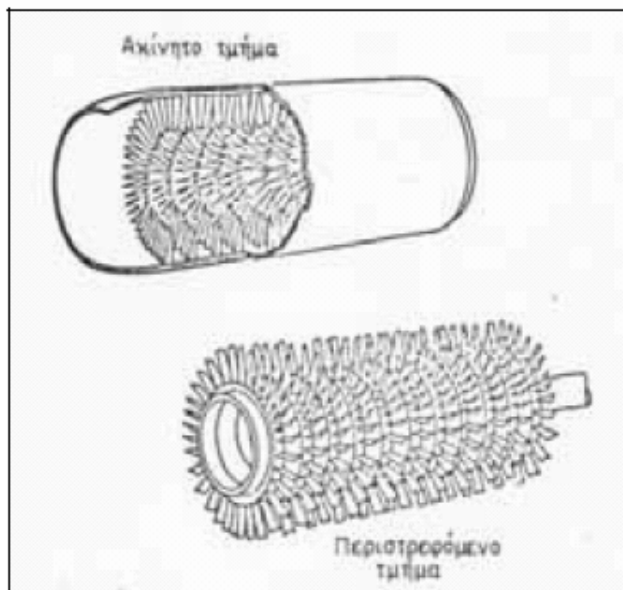
- (α) Το τμήμα εισαγωγής (intake)
- (β) Ο συμπιεστής (compressor)
- (γ) Ο θάλαμος καύσης (combustion chamber)
- (δ) Ο στρόβιλος (turbine)
- (ε) Το τμήμα εξαγωγής (nozzle)
- (στ) Οι εναλλάκτες θερμότητας (heat exchanger)

Τμήμα εισαγωγής

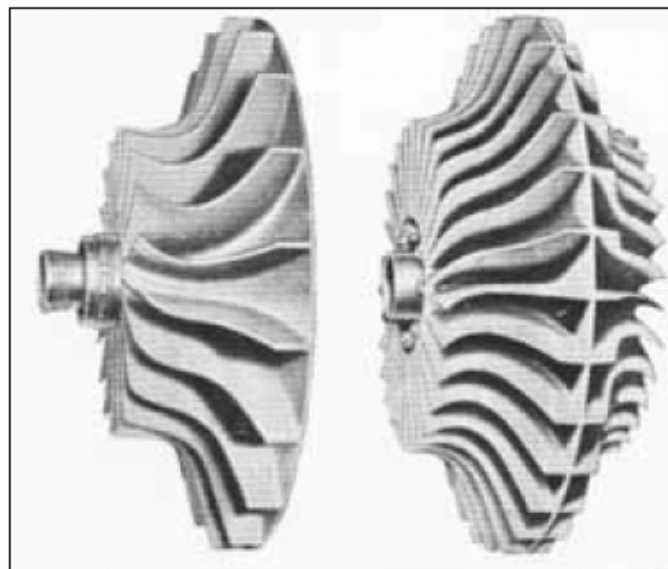
Προσαρμόζει τον αέρα που εισέρχεται στη μηχανή στις απαιτήσεις του συμπιεστή σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας. Οι πιο βασικές απαιτήσεις είναι καθαρός (από σωματίδια) αέρας, ομοιόμορφης κατανομής σε ταχύτητα και πίεση και στον κατάλληλο αριθμό Mach για αεροπορικές εφαρμογές. Μερικές φορές περιλαμβάνει και φίλτρο κατακράτησης σωματιδίων ή απορρόφησης ηχητικών κυμάτων.

Ο συμπιεστής

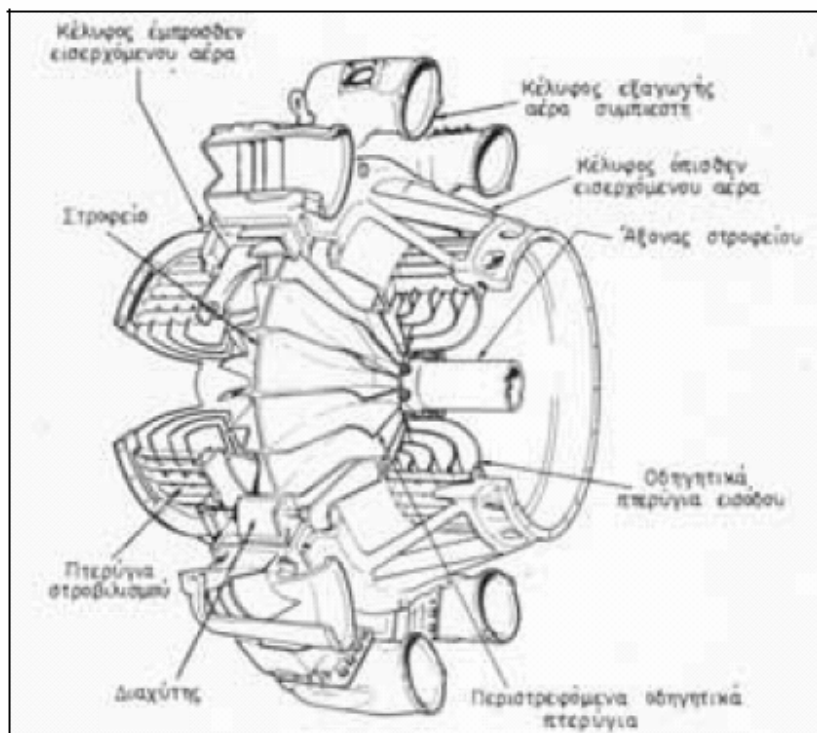
Συμπιέζει τον αέρα, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του θερμοδυναμικού κύκλου. Μπορεί να είναι είτε αξονικός (Σχ.1.3), είτε φυγοκεντρικός (Σχ.1.4,1.5,1.6), είτε παλινδρομικός. Συνήθως προτιμούνται οι δύο πρώτοι τύποι, γιατί εμφανίζουν μεγαλύτερη απόδοση, είναι πιο συμπαγείς και πιο φθηνοί. Επιτρέπουν την αναρρόφηση μεγάλων ποσοτήτων ατμοσφαιρικού αέρα ($\approx 150 \text{ kg/s/m}^2$ διατομής του αγωγού εισόδου σε αριθμό Mach ≈ 0.4). Τυπικές τιμές του ισεντροπικού βαθμού απόδοσης είναι $0.7 \leq \eta_c \leq 0.9$. Συνήθεις λόγοι πίεσης r_c είναι 1.1 – 1.25 ανά βαθμίδα, 8-10 ανά τύμπανο και 25-30 ανά συμπιεστή.



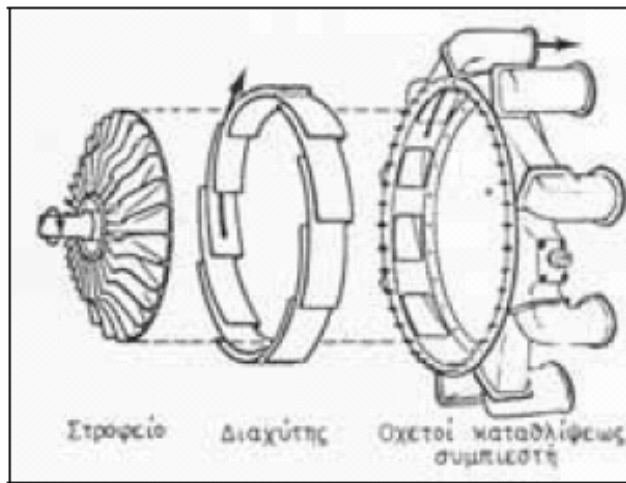
Σχήμα 1.3 Αξονικός συμπιεστής[10].



Σχήμα 1.4 Στροφέιο συμπιεστή[10].



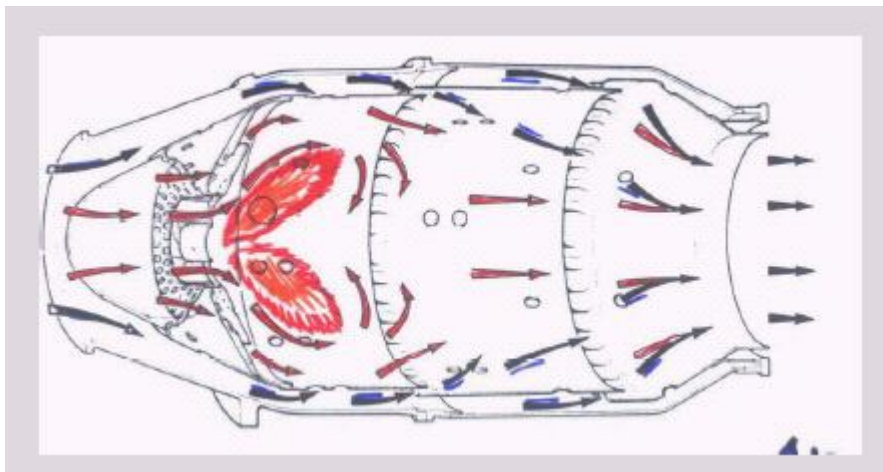
Σχήμα 1.5 Φυγοκεντρικός συμπιεστής[10].



Σχήμα1.6 Φυγοκεντρικός συμπιεστής[10].

Ο θάλαμος καύσης

Είναι συνεχούς λειτουργίας. Η όλη διεργασία καύσης είναι σχεδόν ισοβαρής . Επειδή ο λόγος καυσίμου/αέρα είναι μικρότερος από τη στοιχειομετρική αναλογία (περίσσεια αέρα της τάξης του 250%), μόνο μέρος του αέρα καίγεται άμεσα με το καύσιμο, στην πρωτεύουσα (primary) ζώνη, σε υψηλή θερμοκρασία. Ο υπόλοιπος αέρας εισάγεται στο θάλαμο σε δεύτερο στάδιο, ψύχοντας έτσι τα καυσαέρια στη θερμοκρασία που επιτρέπει ο στρόβιλος. Λόγω της μεγάλης πίεσης, της μεγάλης περίσσειας αέρος και του μικρού μήκους του θαλάμου (ο όγκος του θαλάμου μπορεί να είναι 10 με 20 φορές μικρότερος από τον αντίστοιχο όγκο εστίας λέβητα), απαιτείται πολύ προσεκτικός έλεγχος της ευστάθειας της καύσης. Επίσης επιβάλλεται η μικρή εκπομπή ρύπων (CO, NO, υδρογονανθράκων) και καπνού. Σε μερικές εφαρμογές η καύση γίνεται έξω από την κύρια μηχανή και η θερμότητα μεταφέρεται στον αέρα μέσω κάποιου εναλλάκτη θερμότητας.

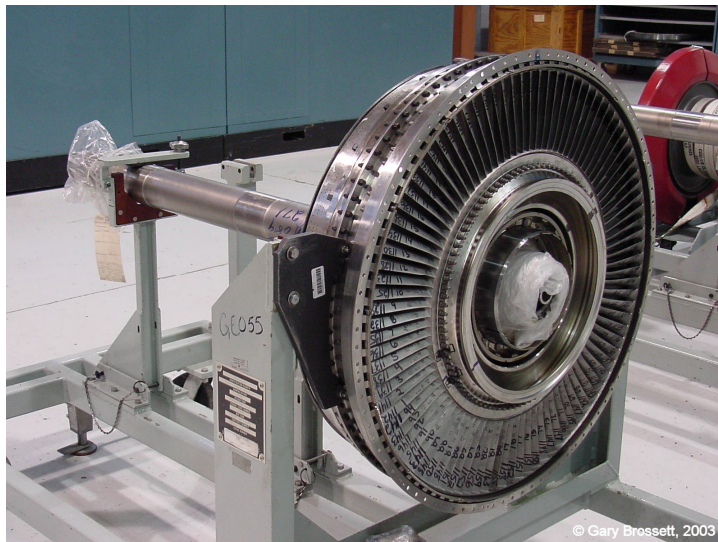


Σχήμα 1.7 Θάλαμος καύσης[10].

Ο στρόβιλος

Είναι το εξάρτημα όπου παράγεται μηχανική ισχύς λόγω της εκτόνωσης των καυσαερίων μέχρι την ατμοσφαιρική πίεση. Είναι είτε φυγοκεντρικός (σπανίως) είτε αξονικός (συνήθως). Ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης είναι της τάξης $0.75 \leq \eta_T \leq 0.93$ για αξονικές βαθμίδες. Συνήθως συνδέεται με το συμπιεστή με κοινό άξονα.

Επιβάλλεται επομένως να ρυθμιστούν κατάλληλα οι συνθήκες λειτουργίας του συμπιεστή και του στροβίλου ώστε να λειτουργούν στην ίδια γωνιακή ταχύτητα.



Σχήμα 1.8 Στρόβιλος χαμηλής πίεσης.



Σχήμα 1.9 Στρόβιλος υψηλής πίεσης.

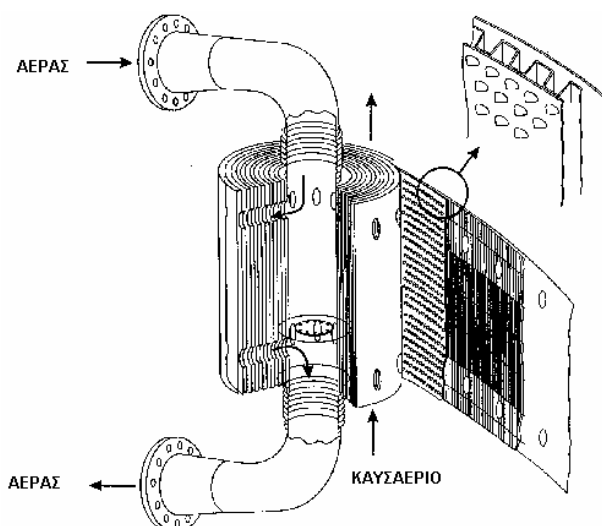
Το τμήμα εξόδου

Το τμήμα αυτό σχεδιάζεται ανάλογα με τη χρήση της μηχανής. Στους αεροπορικούς κινητήρες έχει τη μορφή συγκλίνοντος ή αποκλίνοντος – αποκλίνοντος ακροφυσίου, έτσι ώστε τα καυσαέρια να αποκτήσουν μεγάλη ταχύτητα, στους ηλεκτροπαραγωγούς κινητήρες έχει τη μορφή διαχύτη έτσι, ώστε η δυναμική πίεση στην έξοδο να είναι πολύ μικρή (της τάξης των 20 – 50 mbar). Αυτό επιτρέπει τη μέγιστη δυνατή εκτόνωση στο στρόβιλο και επομένως, τη μεγαλύτερη θερμική απόδοση. Σε μερικούς κινητήρες περιλαμβάνει και τον μετακαυστήρα (afterburner) για την αύξηση της ενέργειας των καυσαερίων.

Οι εναλλάκτες θερμότητας

Αυτοί είναι διαφορετικής μορφής ανάλογα με τη θέση τους στο θερμοδυναμικό κύκλο. Οι συνηθέστεροι τύποι είναι ο αναγεννητικός προθερμαντήρας αέρα (regenerative) (Σχ.1.10), ο ενδιάμεσος ψύκτης (intercooler) και ο αντικαταστάτης του θαλάμου καύσης (σε συστήματα κλειστού κύκλου). Ο πιο συνηθής είναι ο πρώτος.

Πέρα από τα παραπάνω βασικά στοιχεία, ο αεριοστρόβιλος έχει και συστήματα καύσιμου, λίπανσης, ελέγχου γωνιακής ταχύτητας του άξονα, βαλβίδες αναρρόφησης αέρα, έναυσης κλπ.



Σχήμα 1.10 Ο αναγεννητικός εναλλάκτης θερμότητας.

1.3 Είδη Αεριοστροβίλων και Βασικά Χαρακτηριστικά τους

Σήμερα υπάρχει μια τεράστια ποικιλία αεριοστροβίλων. Μερικές κατηγορίες διαχωρισμού των ειδών είναι και οι παρακάτω:

(α) Κατά τον κύκλο:

- (i) Ανοικτού κύκλου (open cycle) με αναρρόφηση και επαναφορά στην ατμόσφαιρα
- (ii) Κλειστού κύκλου (closed cycle), όπου το ρευστό παραμένει πάντα μέσα στη μηχανή. Τα ποσά θερμότητας εισέρχονται και εξέρχονται από τη μηχανή μέσω εναλλακτών θερμότητας.

(β) Κατά τον αριθμό αξόνων:

- (i) Μονο-αξονικοί (Single shaft)
- (ii) Δι-αξονικοί (Two shaft)
- (iii) Τρι-αξονικοί (Triple shaft)
- (iv) Με χωριστό στρόβιλο ισχύος. Εδώ η εκτόνωση γίνεται εν μέρει στο στρόβιλο που κινεί το συμπιεστή και η υπόλοιπη στο στρόβιλο ισχύος (που κινεί το φορτίο π.χ. την ηλεκτρογεννήτρια)

(γ) Κατά την ύπαρξη εναλλακτών θερμότητας:

- (i) Αναγεννητικός (Regenerative)
- (ii) Με ενδιάμεση ψύξη (Intercooled)
- (iii) Με αναθέρμανση (Reheated)

δ) Κατά την εφαρμογή:

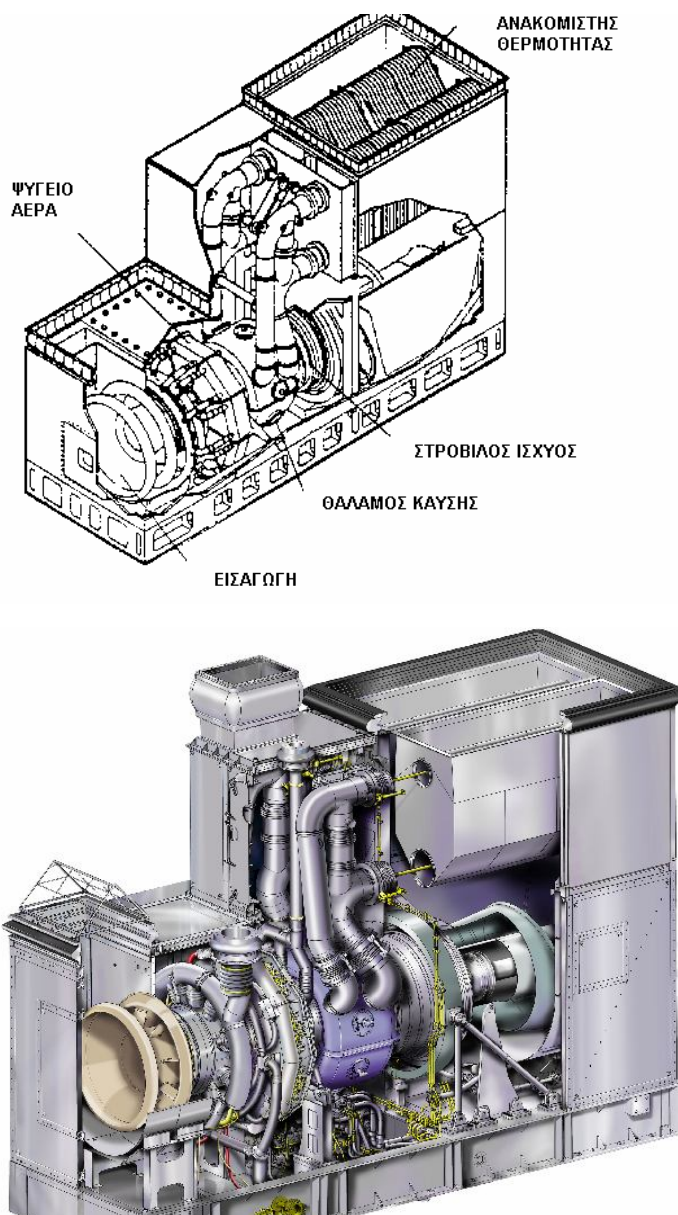
- (i) Αεροπορικοί, που υποδιαιρούνται σε αεριοστρόβιλους, στροβιλο-αντιδραστήρες (turbojet), στροβιλο –ανεμιστήρες (turbofan) ή στροβιλο-ελικοφόροι (turboprop)
- (i) Ηλεκτροπαραγωγικοί
- (ii) Βιομηχανικοί (Industrial)
- (iii) Ναυτικοί (Σχ.1.11)

Άλλα κύρια χαρακτηριστικά του κινητήρα, πέρα από τα προαναφερθέντα, είναι:

(i) Η διαδικασία εκκίνησης, με ή χωρίς εξωτερική βοήθεια. Εδώ επίσης προσδιορίζεται ο ρυθμός επιτάχυνσης (κυρίως για την αποφυγή έντονων θερμικών τάσεων) και το ελάχιστο φορτίο αυτοδύναμης λειτουργίας.

(ii) Η διαδικασία σταματήματος, με διακοπή καύσιμου και έλεγχο του ρυθμού ψύξης των εξαρτημάτων.

(iii) Επιτρεπόμενη περιοχή στροφών ανά λεπτό του άξονα για σταθερή λειτουργία και αντίστοιχοι ρυθμοί επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης.



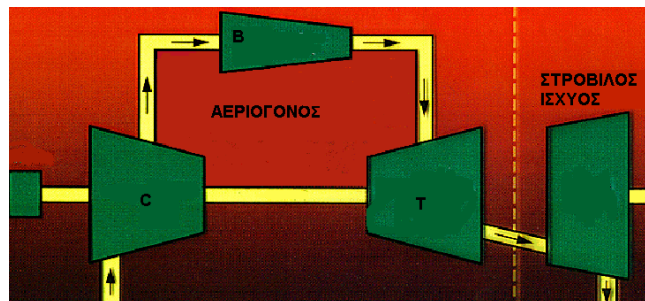
Σχήμα 1.11 Ναυτικός αεριοστρόβιλος

1.4 Ανοικτός Κύκλος Λειτουργίας

Διατάξεις με απλό και διπλό άξονα

Εάν ένας αεριοστρόβιλος πρέπει να λειτουργεί με σταθερό αριθμό στροφών και υπό σταθερό φορτίο (για την παραγωγή ισχύος μέγιστου φορτίου) τότε η κατάλληλη διάταξη είναι εκείνη με τον απλό άξονα που φαίνεται στο Σχ 1.1. Στην περίπτωση αυτή, η απόδοση του αεριοστρόβιλου σε μερικό φορτίο και η ευελιξία λειτουργίας (δηλ. η ταχύτητα με την οποία η μηχανή προσαρμόζεται μόνη της στις αλλαγές του φορτίου και της ταχύτητας περιστροφής) δεν είναι σημαντικές παράμετροι. Πράγματι, η αποτελεσματικά υψηλή αδράνεια, που οφείλεται στην αντίσταση του συμπιεστή, είναι ένα πλεονέκτημα, επειδή ελαττώνει τον κίνδυνο υπερβολικής ταχύτητας στην ξαφνική απώλεια φορτίου. Για να αυξηθεί η θερμική απόδοση του κύκλου προστίθεται ένας εναλλάκτης, αν και οι απώλειες πίεσεως λόγω τριβής, που εμφανίζονται στον εναλλάκτη, μπορούν να ελαττώσουν την εξερχόμενη ισχύ .

Όταν ένας αεριοστρόβιλος πρέπει να έχει ευελιξία στη λειτουργία (π.χ. πλοία), τότε πρέπει να υπάρχει ένας μηχανικά ανεξάρτητος (η ελεύθερος) στρόβιλος ισχύος. Για το σκοπό αυτό είναι αναγκαία η χρησιμοποίηση της διατάξεως του διπλού άξονα. Το Σχ. 1.12 δείχνει την κατάλληλη διάταξη, όπου ο στρόβιλος υψηλής πίεσεως κινεί το συμπιεστή και το σύστημα αυτό λειτουργεί ως γεννήτρια αερίου για το στρόβιλο χαμηλής πίεσεως. Διατάξεις αυτής της μορφής χρησιμοποιούνται σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπου ο στρόβιλος ισχύος είναι σχεδιασμένος κατά τέτοιο τρόπο που να μπορεί να περιστρέφεται σε κατάλληλη ταχύτητα χωρίς την ανάγκη υπάρξεως ενός ακριβούς συστήματος μειώσεως των στροφών. Ένα άλλο μικρότερο προτέρημα είναι ότι ο εκκινητής θα πρέπει τώρα να θέσει σε λειτουργία μόνο τη γεννήτρια αερίου. Ωστόσο ένα μειονέκτημα αυτής της διατάξεως είναι η πιθανή ανάπτυξη υπερβολικών ταχυτήτων του στρόβιλου ισχύος σε απότομη πτώση του φορτίου, με αποτέλεσμα να απαιτείται ένα σύστημα ελέγχου που θα εμποδίζει την ανάπτυξη υπερβολικής ταχύτητας.



Σχήμα 1.12 Αεριοστρόβιλος με χωριστό στρόβιλο ισχύος.

Η μεταβολή της ισχύος σε μονάδες με απλό ή διπλό άξονα επιτυγχάνεται με τον έλεγχο της ροής του καύσιμου στο θάλαμο καύσεως. Καθώς η ισχύς εξόδου μειώνεται από την τιμή σχεδιασμού, μειώνονται και οι τιμές του λόγου πίεσεως του κύκλου και της μέγιστης θερμοκρασίας με αποτέλεσμα την πτώση του βαθμού απόδοσης του κύκλου, ιδιαίτερα κατά τη λειτουργία με μερικό φορτίο.

Η λειτουργία ενός στροβίλου βελτιώνεται σημαντικά όταν ελαττώνεται το έργο συμπίεσεως και / ή αυξάνεται το έργο εκτονώσεως. Για γνωστό λόγο συμπίεσεως, η απαιτούμενη ισχύς, ανά μονάδα ποσότητας του αερίου, είναι ανάλογη της θερμοκρασίας εισόδου. Το έργο συμπίεσεως μπορεί να ελαττωθεί με τη χρησιμοποίηση δύο ή περισσοτέρων συμπιεστών με ενδιάμεση ψύξη. Όμοια το έργο εκτονώσεως μπορεί να αυξηθεί με τη χρησιμοποίηση δύο ή περισσοτέρων στροβίλων με ενδιάμεση αναθέρμανση μέχρι τη μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία.

Σύνθετοι κύκλοι αυτού του τύπου προσφέρουν τη δυνατότητα μεταβολής της ισχύος εξόδου ελέγχοντας την παροχή καύσιμου στο θάλαμο αναθερμάνσεως (αναθερμαντήρας) και αφήνοντας τη γεννήτρια αερίου να λειτουργεί πλησιέστερα στις βέλτιστες συνθήκες. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μεγαλύτερη οικονομία.

Οι σύνθετοι κύκλοι εφαρμόστηκαν την εποχή αναπτύξεως των αεροσκαφών, όταν δεν ήταν δυνατή η ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών στο στρόβιλο (υλικά κατασκευής), ενώ ήταν επιθυμητός ένας ικανοποιητικός βαθμός απόδοσης. Η εφαρμογή των αεριοστροβίλων ήταν περιορισμένη (εκτός από τα αεροπλάνα), μέχρι που έγινε δυνατή η ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών, που έκαναν τον απλό κύκλο οικονομικά εφαρμόσιμο.

Τα πλεονεκτήματα των αεριοστροβίλων κατέστησαν τη χρησιμοποίησή τους ιδιαίτερα ελκυστική και για ναυτικές εφαρμογές. Στις εφαρμογές πρόωσης πλοίων, όπου υπάρχουν απαιτήσεις για μικρή ή μεσαία ταχύτητα για το μεγαλύτερο ποσοστό του χρόνου κίνησης και για μεγάλη ταχύτητα για σχετικά μικρό ποσοστό του χρόνου, παρουσιάζουν το μειονέκτημα της υψηλής ειδικής κατανάλωσης καύσιμου (sfc) για λειτουργία υπό μερικό φορτίο. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε με συνδυασμό του αεριοστροβίλου με άλλες μηχανές. Κατά καιρούς έχουν προταθεί οι ακόλουθοι συνδυασμοί:

- 1) COSAG (Combined Steam And Gas) δηλαδή συνδυασμός ατμοστροβίλου και αεριοστροβίλου.
- 2) CODOG (Combined Diesel And Gas) δηλαδή συνδυασμός μηχανής diesel και αεριοστροβίλου.

- 3) COGAG (Combined Gas And Gas) δηλαδή συνδυασμός αεριοστροβίλου με αεριοστρόβιλο.
- 4) CODOG (Combined Diesel Or Gas) δηλαδή λειτουργία μηχανής diesel ή αεριοστρόβιλου.
- 5) COGOG (Combined Gas Or Gas) δηλαδή λειτουργία ενός από δυο, γενικά διαφορετικούς αεριοστροβίλους.

1.5 Σύζευξη Συμπιεστών και Στροβίλων

Για την επιτυχία υψηλού βαθμού αποδόσεως χωρίς τη χρησιμοποίηση εναλλάκτη είναι απαραίτητη η επίτευξη σχετικά υψηλού λόγου πίεσεως. Η δυσκολία που προκύπτει οφείλεται στη φύση της διαδικασίας συμπίεσεως.

Επειδή η παροχή μάζας αέρα είναι συνήθως μεγάλη, στους αεριοστροβίλους χρησιμοποιούνται πάντα συμπιεστές μη παλινδρομικοί. Αν και ένας πολυβάθμιος φυγοκεντρικός συμπιεστής είναι ικανός να παράγει υψηλό λόγο πίεσεων για μέτρια ισχύ, η απόδοση του είναι αισθητά χαμηλότερη από αυτή των συμπιεστών αξονικής ροής. Για το λόγο αυτό προτιμούνται οι αξονικοί συμπιεστές, ιδιαίτερα σε μεγάλες μονάδες. Στην περίπτωση λειτουργίας των αξονικών συμπιεστών σε συνθήκες αρκετά μετατοπισμένες από το σημείο λειτουργίας του σχεδιασμού (design operating point), ο συμπιεστής εμφανίζει αστάθεια. Όταν λοιπόν ένας αξονικός συμπιεστής λειτουργεί σε ταχύτητα περιστροφής αρκετά κάτω από την τιμή σχεδιασμού, η πυκνότητα του αέρα στις τελευταίες βαθμίδες είναι τόσο πολύ χαμηλή και η αξονική ταχύτητα ροής γίνεται πολύ μεγάλη με αποτέλεσμα την απώλεια στήριξης των πτερυγίων. Η περιοχή αστάθειας είναι φανερή από τις ισχυρές ταλαντώσεις και πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη όταν ο αεριοστροβίλος τίθεται σε λειτουργία ή λειτουργεί σε χαμηλά επίπεδα ισχύος.

Το πρόβλημα αυτό εμφανίζεται ιδιαίτερα στην περίπτωση λόγων πίεσεων πάνω από 8-10:1 με χρήση ενός μόνο συμπιεστή. Η δυσκολία όμως αυτή αντιμετωπίζεται με το διαχωρισμό του συμπιεστή σε δύο ή περισσότερα τμήματα που λέγονται "τύμπανα". Με αυτή τη διαίρεση, που λέγεται μηχανικός διαχωρισμός, μπορεί κάθε τύμπανο να στρέφεται σε διαφορετική ταχύτητα. Όταν οι συμπιεστές είναι μηχανικά ανεξάρτητοι, τότε κάθε ένας χρειάζεται το δικό του στρόβιλο, που θα τον κινεί.

Ο συμπιεστής χαμηλής πίεσεως κινείται από το στρόβιλο χαμηλής πίεσεως και ο συμπιεστής υψηλής πίεσεως από το στρόβιλο υψηλής πίεσεως. Η ισχύς μπορεί να λαμβάνεται από το στρόβιλο χαμηλής ή υψηλής πίεσεως ή από ένα πρόσθετο ελεύθερο στρόβιλο ισχύος. Η διάταξη των δύο τυμπάνων χρησιμοποιείται ευρύτατα σε μονάδες ισχύος και σε κινητήρες αεροπλάνων. Μερικές φορές, ειδικά σε αεριοστροβίλους με μικρή παροχή αέρα, ο

συμπιεστής υψηλής πίεσεως είναι φυγοκεντρικός. Η εκλογή αυτή γίνεται επειδή οι υψηλές πιέσεις συνεπάγονται μικρή παροχή όγκου αέρα, με αποτέλεσμα η απαιτούμενη πτερύγωση για αξονικό συμπιεστή να είναι πάρα πολύ μικρή για καλή απόδοση. Με διατάξεις δύο τυμπάνων επιτυγχάνονται λόγοι πίεσεως ακόμη και πάνω από την τιμή 20:1.

Ως εναλλακτική λύση της χρήσης τυμπάνων, υψηλοί λόγοι πίεσεως επιτυγχάνονται και με έναν απλό συμπιεστή αλλά με τη βοήθεια πολλών βαθμίδων. Αυτή η προσπάθεια έγινε για πρώτη φορά από την General Electric Co. και πραγματοποιήθηκαν λόγοι πίεσεως 15:1. Οι κινητήρες υψηλής τεχνολογίας είναι συχνά μεταβλητής γεωμετρίας.

Πρωτού ολοκληρωθεί το θέμα της σύζευξης αξίζει να αναφερθεί μια παλαιότερη πρόταση για μια διάταξη που ο συμπιεστής χαμηλής πίεσεως κινείται από τον στρόβιλο υψηλής πίεσεως και ο συμπιεστής υψηλής πίεσεως από το στρόβιλο χαμηλής πίεσεως. Το πλεονέκτημα από αυτή τη “σταυρωτή” διάταξη είναι η καλύτερη απόδοση σε μερικό φορτίο. Δυστυχώς το αποτέλεσμα στη σταθερότητα της λειτουργίας είναι το αντίθετο εκείνου της “ευθείας διατάξεως” με αποτέλεσμα το πρόβλημα να χειροτερεύει.

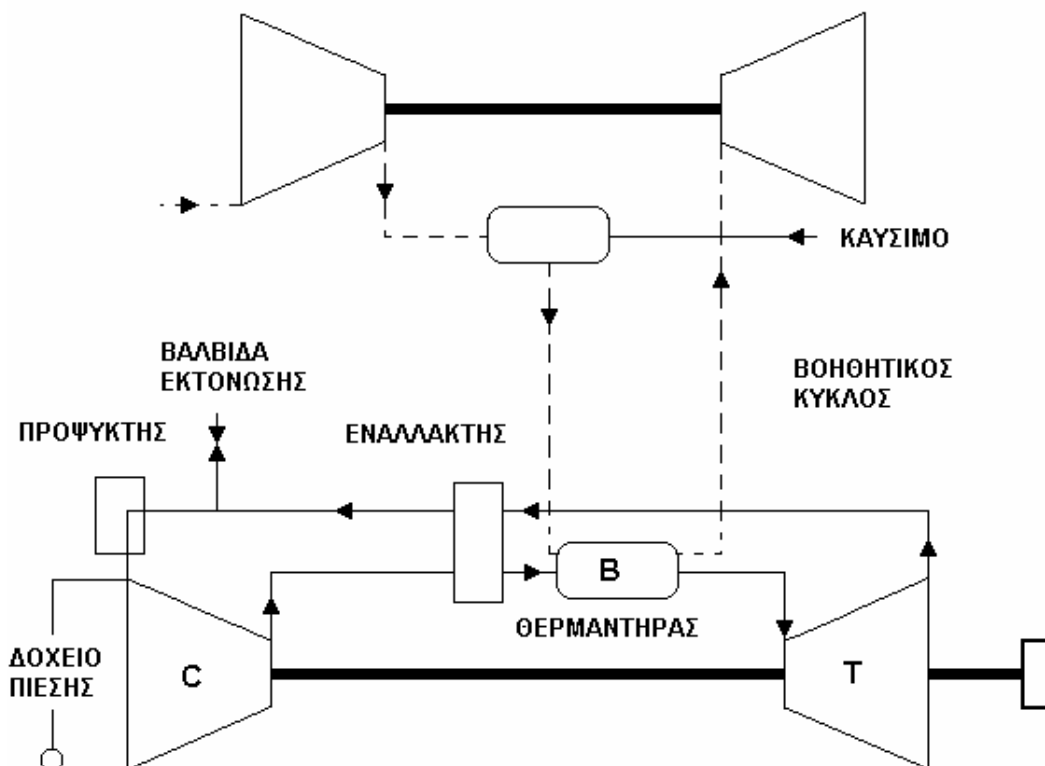
1.6 Κλειστός Κύκλος Λειτουργίας

Μεταξύ των πολλών προτερημάτων που συγκεντρώνει ο κλειστός κύκλος λειτουργίας, είναι η δυνατότητα χρησιμοποίησεως υψηλής πίεσεως μέσα στο κλειστό κύκλωμα που θα κατέληγε σε αεριοστρόβιλο μικρού μεγέθους και με τη δυνατότητα μεταβολής της αποδιδόμενης ισχύος με τη μεταβολή της πίεσεως στο κύκλωμα. Με τον τρόπο αυτό καλύπτεται ένα ευρύ πεδίο φορτίων χωρίς μεταβολή της μέγιστης θερμοκρασίας του κύκλου και συνεπώς με μικρή μεταβολή της ολικής αποδόσεως. Το κύριο μειονέκτημα του κλειστού κύκλου είναι η ανάγκη υπάρξεως ενός εξωτερικού συστήματος θερμάνσεως. Το σύστημα αυτό προσφέρει την απαιτούμενη ενέργεια στο αέριο του αεριοστροβίλου με τη βοήθεια ενός θερμαντήρα αερίου. Η επιτρεπτή θερμοκρασία λειτουργίας των επιφανειών του θερμαντήρα καθορίζει ένα ανώτατο όριο για τη μέγιστη θερμοκρασία του κύριου κύκλου. Ένα παράδειγμα κλειστού κύκλου περιλαμβάνει έναν προψύκτη, που λειτουργεί με νερό, για το αέριο του κύριου κύκλου και είναι τοποθετημένος μεταξύ του εναλλακτή και του συμπιεστή. Σε αυτή τη διάταξη ο θερμαντήρας αποτελεί τμήμα του κύκλου του βοηθητικού αεριοστροβίλου και η εξερχόμενη ισχύς ελέγχεται από μια βαλβίδα εκτόνωσης (blow-off valve) και από ένα βοηθητικό σύστημα συμπιεσμένου αερίου (ΣΧ.1.13).

Επιπλέον των πλεονεκτημάτων του μικρότερου συμπιεστή και στρόβιλου καθώς και του αποτελεσματικού ελέγχου, ο κλειστός κύκλος δεν αντιμετωπίζει προβλήματα διαβρώσεως των πτερυγίων του στρόβιλου και άλλων αρνητικών επιπτώσεων που οφείλονται στα προϊόντα της καύσεως.

Επίσης δε χρειάζεται φιλτράρισμα του εισερχόμενου αερίου ή αέρα στον κύριο κύκλο, πρόβλημα που αντιμετωπίζεται στη λειτουργία των ανοικτών κύκλων. Η μεταφορά θερμότητας στον εναλλάκτη βελτιώνεται λόγω της υψηλής πυκνότητας του αερίου. Η χρησιμοποίηση άλλων αερίων εκτός του αέρα, για το κλειστό κύκλωμα, παρέχει τη δυνατότητα εκμεταλλεύσεως αερίων με επιθυμητές θερμικές ιδιότητες. Έτσι η αντικατάσταση του αέρα, με λόγο ειδικών θερμοτήτων $\gamma=1.4$, από ένα μονοατομικό αέριο (π.χ. ήλιο), με $\gamma=1.66$ αυξάνει σημαντικά την εξερχόμενη ισχύ και τον βαθμό απόδοσης του κύκλου. Οι απώλειες πίεσεως λόγω τριβής είναι πολύ μικρότερες με το ήλιο, οι βέλτιστοι λόγοι πίεσεως του κύκλου είναι χαμηλότεροι και η μεταφορά θερμότητας καλύτερη με αποτέλεσμα το μέγεθος του εναλλάκτη και του προψύκτη να ελαττώνονται μέχρι το μισό από εκείνο στην περίπτωση του αέρα.

Υπάρχουν σήμερα αεριοστρόβιλοι κλειστού κύκλου με ισχύ 2–20 MW που χρησιμοποιούν ως λειτουργούν αέριο τον αέρα και ως καύσιμο άνθρακα, φυσικά αέρια, αέρια από υφικαμένους και πετρέλαιο. Οι πιέσεις εισόδου στο στρόβιλο είναι μεγαλύτερες από 40 at. Με την αντικατάσταση του αέρα από το ήλιο είναι δυνατή η παραγωγή ισχύος πάνω από 250 MW και συνεπώς η χρησιμοποίηση αυτού του τύπου των αεριοστροβίλων σε συνδυασμό με πυρηνικές μονάδες.



ΣΧΗΜΑ 1.13 Παράδειγμα Κλειστού Κύκλου [1].

1.7 Εφαρμογή των Αεριοστροβίλων στην πρόωση των αεροπλάνων

Τα είδη των αεριοστροβίλων ή στροβιλοκινητήρων που εξετάστηκαν μέχρι τώρα αφορούσαν την εφαρμογή τους σε μονάδες ισχύος. Αναμφισβήτητα όμως η σημαντικότερη εφαρμογή των στροβιλοκινητήρων είναι στην πρόωση των αεροπλάνων.

Το 1930 ο F. Whittle σχεδίασε με επιτυχία τον πρώτο στροβιλοκινητήρα που αποτελείται από ένα φυγοκεντρικό συμπιεστή, ένα θάλαμο καύσης και ένα στρόβιλο. Ο λόγος συμπίεσης ήταν 4:1 και η ισχύς που απέδιδε ο κινητήρας 3000 HP. Από τότε οι στροβιλοκινητήρες αντικατέστησαν στα αεροπλάνα τους εμβολοφόρους κινητήρες επειδή παρουσίαζαν πολύ μεγάλο λόγο ισχύος/βάρους.

Ο κύκλος λειτουργίας ενός στροβιλοκινητήρα απλής ροής (turbojet) είναι βασικά αυτός που φαίνεται στο Σχ.1.1 με τη διαφορά ότι ο στρόβιλος είναι σχεδιασμένος κατά τέτοιο τρόπο που κινεί μόνο το συμπιεστή. Τα καυσαέρια εκτονούνται δια μέσου ενός ακροφύσιου στην ατμοσφαιρική πίεση αναπτύσσουν την απαιτούμενη ώση για την πρόωση του αεροπλάνου.

Σε ταχύτητες πτήσεως κάτω από 450 m.p.h. ο στροβιλοκινητήρας απλής ροής έχει μικρότερη απόδοση από το συνδυασμό εμβολοφόρου κινητήρα – έλικας, επειδή η προωθητική του απόδοση έχει άμεση σχέση με την ταχύτητα προώσεως. Αντίθετα η απόδοση της έλικας πέφτει πάνω από τα 350 m.p.h. λόγω της αεροδυναμικής απώλειας στήριξης των άκρων της πτέρυγας. Αυτά τα χαρακτηριστικά οδήγησαν στη χρησιμοποίηση μιας οικογένειας προωθητικών μηχανών. Η συνεχής εξέλιξη των στροβιλοκινητήρων οδήγησε στην κατασκευή των στροβιλοκινητήρων διπλής ροής (turbofan ή by pass). Αυτό το είδος δημιουργεί ροή μεγαλύτερων μαζών αέρα, με μικρότερη επιτάχυνση, αυξάνοντας έτσι το βαθμό απόδοσής τους σε σχέση με τους στροβιλοκινητήρες απλής ροής.

Η χρησιμοποίηση εναλλάκτη στους στροβιλοκινητήρες είναι αντιοικονομική λόγω του βάρους και του όγκου του, αν και είναι δυνατή η μελλοντική χρησιμοποίησή τους στους ελικοφόρους στροβιλοαντιδραστήρες (turboprop) ιδιαίτερα για την κίνηση ελικοπτερίων.

2. ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ

2.1 Υπολογισμός Θερμοκρασιών, Λόγου Καυσίμου/Αέρα, Βαθμών

Απόδοσης και Κατανάλωσης Καυσίμου

Ο υπολογισμός του λόγου καυσίμου /αέρα f είναι σημαντικός για την εύρεση της ειδικής κατανάλωσης του καυσίμου που καθορίζεται σαν παροχή μάζας του καυσίμου ανά μονάδα καθαρής παραγόμενης ισχύος και αυτό θα μας οδηγήσει στην απόδοση του πραγματικού κύκλου.

Για τον λόγο καυσίμου /αέρα f , πρέπει να είναι γνωστή η θερμοκρασία T_C , μετά τον συμπιεστή ή τους εναλλάκτες θερμότητας, στην είσοδο του θαλάμου καύσης, και επίσης η θερμοκρασία T_{max} στην έξοδο του θαλάμου καύσης, η οποία είναι και η μέγιστη θερμοκρασία του κύκλου και προκαθορίζεται.

Το ζητούμενο είναι να καθοριστεί η απαιτούμενη τιμή του f , για να μετατραπεί μια μονάδα μάζας αέρα που βρίσκεται σε θερμοκρασία T_C και f kg καυσίμου που βρίσκεται σε θερμοκρασία T_f σε μίγμα $(f+1)$ kg προϊόντων καύσης σε θερμοκρασία T_{max} .

Με θερμοκρασία αναφοράς T_o και αν θεωρηθεί αδιαβατική καύση ο ισολογισμός ενέργειας στον θάλαμο καύσης μπορεί να γραφεί:

$$fH_u \eta_B = (1 + f)c_{pg}(T_{max} - T_o) - c_{pa}(T_C - T_o)$$

Και έτσι προκύπτει ο λόγος καυσίμου /αέρα:

$$f = \frac{c_{pg}(T_{max} - T_o) - c_{pa}(T_C - T_o)}{H_u \eta_B - c_{pg}(T_{max} - T_o)}$$

όπου η_B : ο βαθμός απόδοσης του θαλάμου καύσης.

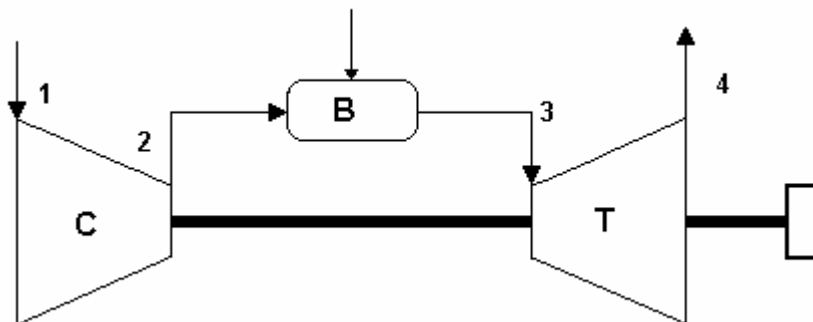
H_u : η κατώτερη θερμογόνο ικανότητα του καυσίμου.

Αν ο λόγος καυσίμου /αέρα f είναι γνωστός, η κατανάλωση καυσίμου δίνεται από το γινόμενο $\dot{m}_a * f$ όπου \dot{m}_a είναι η παροχή μάζας του αέρα. Ο βαθμός απόδοσης και η ειδική κατανάλωση καυσίμου βρίσκονται από τις σχέσεις:

$$\eta = \frac{W_N}{\dot{m}_f H_u} \qquad sfc = \frac{\dot{m}_f}{W_N}$$

W_N : η καθαρή ισχύς του συστήματος

2.1.1 Κύκλος απλού αεριοστροβίλου (CBT).



1-2 Αδιαβατική συμπίεση

2-3 Ισοβαρής θέρμανση

3-4 Αδιαβατική εκτόνωση

Θερμοκρασίες εξόδου του συμπιεστή και του στροβίλου, αντίστοιχα:

$$T_2 = T_1 \cdot \left(1 + \frac{r_C^{k_{a12}} - 1}{\eta_C} \right) \quad (1)$$

$$T_4 = T_3 \cdot [1 - \eta_T \cdot (1 - r_T^{-k_{g34}})] \quad (2)$$

Σταθερές ισεντροπικής μεταβολής:

$$k_{a12} = \frac{(\gamma_a)_{12} - 1}{(\gamma_a)_{12}} \quad (3) \quad k_{g34} = \frac{(\gamma_g)_{34} - 1}{(\gamma_g)_{34}} \quad (4)$$

Λόγος καυσίμου/αέρα

$$f_B = \frac{(c_{pg})_{03}(T_3 - T_o) - (c_{pa})_{02}(T_2 - T_o)}{H_u n_B - (c_{pg})_{03}(T_3 - T_o)} \quad (5)$$

Η ισχύς στον άξονα του συμπιεστή και στον άξονα του στροβίλου αντίστοιχα είναι:

$$\dot{W}_C = \frac{\dot{m}_a (c_{pa})_{12}}{\eta_{mC}} \cdot (T_2 - T_1)$$

$$\begin{aligned} \dot{W}_T &= \dot{m}_g \cdot (c_{pg})_{34} \cdot (T_3 - T_4) \cdot \eta_{mT} = \\ &= (1 + f_B) \cdot \dot{m}_a \cdot (c_{pg})_{34} \cdot (T_3 - T_4) \eta_{mT} \end{aligned}$$

(6)

(7)

Ανά μονάδα μάζας αέρα είναι:

$$w_c = (c_{pa})_{12} T_1 \frac{r_c^{k_{a12}} - 1}{\eta_c}$$

(8)

$$w_T = (1 + f) \eta_T (c_{pg})_{34} T_3 (1 - r_T^{-k_{g34}})$$

(9)

Η καθαρή ισχύς του συστήματος και ο βαθμός απόδοσης του συστήματος είναι, αντίστοιχα, (χρησιμοποιώντας τον μηχανικό βαθμό απόδοσης):

$$\dot{W}_N = \eta_m [\dot{m}_g (c_{pg})_{34} (T_3 - T_4) - \dot{m}_a (c_{pa})_{12} (T_2 - T_1)] \quad (10)$$

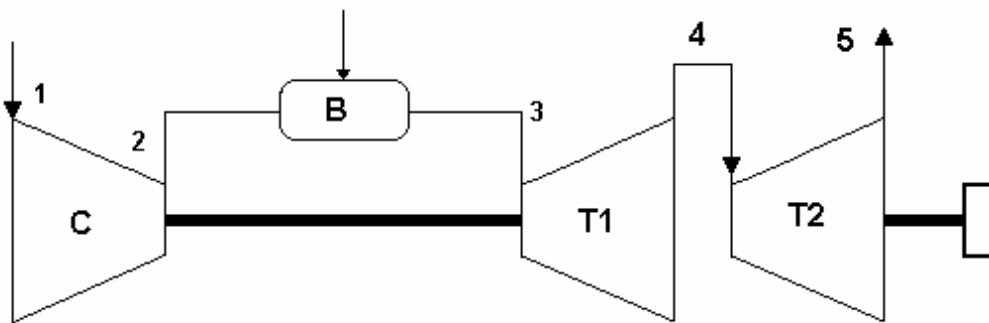
$$\eta = \frac{\dot{W}_N}{\dot{m}_B H_u} \quad (11)$$

Ανά μονάδα μάζας αέρα είναι:

$$w_i = \eta_m \cdot (w_T - w_c) \quad (12)$$

$$\eta = \frac{w_i}{f_B H_u} \quad (13)$$

2.1.2 Απλός αεριοστροβίλος με χωριστό στροβίλο ισχύος.



1-2 Αδιαβατική συμπίεση

2-3 Ισοβαρής θέρμανση

3-4-5 Αδιαβατική εκτόνωση

Ο χωρισμός του στροβίλου σε δύο μέρη αντιμετωπίζει το πρόβλημα της ανεξάρτητης κίνησης του στροβίλου που κινεί το φορτίο καθώς και τον έλεγχο της ταχύτητας περιστροφής, ιδιαίτερα σε ναυτικές εφαρμογές. Ο υψηλής πίεσης στροβίλος κινεί τον συμπιεστή και ο συνδυασμός λειτουργεί σαν αεριογόνος για τον χαμηλής πίεσης στροβίλο .

Ισχύουν οι εξισώσεις 1,3,4,5,6,8

Σταθερά ισεντροπικής μεταβολής:

$$k_{g45} = \frac{(\gamma_g)_{45} - 1}{(\gamma_{g\alpha})_{45}} \quad (14)$$

Για τον στροβίλο υψηλής πίεσεως (χρησιμοποιώντας την εξίσωση 7) ισχύει:

$$\dot{W}_C = \dot{W}_{T_1} \Leftrightarrow \frac{\dot{W}_C}{\dot{m}_g} = \frac{\dot{W}_{T_1}}{\dot{m}_g} \Leftrightarrow w_c = (1+f)(c_{pg})_{34}(T_3 - T_4)\eta_{mT} \Leftrightarrow T_4 = T_3 - \frac{w_c}{(1+f_B)(c_{pg})_{34}\eta_{mT}} \quad (15)$$

Από την εξίσωση 2 και για τον στροβίλο υψηλής πίεσης προκύπτει ο λόγος πίεσης:

$$r_{34} = \left(\frac{\eta_{T_1} \cdot T_3}{T_4 - T_3 + \eta_{T_1} \cdot T_3} \right)^{\frac{1}{k_{g34}}} \quad (16)$$

Λόγος πίεσης και θερμοκρασία εξόδου στον στροβίλο χαμηλής πίεσης (για συνολικό λόγο πίεσης των 2 στροβίλων r_T)

$$r_{45} = \frac{r_T}{r_{34}} \quad (17) \quad T_5 = T_4 \cdot [1 - \eta_T \cdot (1 - r_{45}^{-k_{g45}})] \quad (18)$$

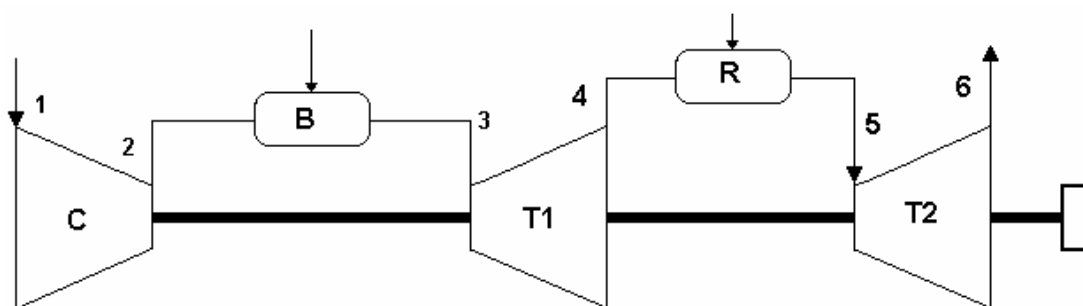
Η καθαρή ισχύς του συστήματος(χρησιμοποιώντας τον μηχανικό βαθμό απόδοσης) και ο βαθμός απόδοσης του συστήματος είναι αντίστοιχα:

$$\dot{W}_N = \eta_m \dot{m}_g (c_{pg})_{45} (T_4 - T_5) \quad (19) \quad \eta = \frac{\dot{W}_N}{\dot{m}_B H_u} \quad (20)$$

Ανά μονάδα μάζας αέρα θα είναι:

$$w_T = (1+f) \cdot (c_{pg})_{45} \cdot (T_4 - T_5) \quad w_i = \eta_m \cdot w_T \quad \eta = \frac{w_i}{f_B H_u}$$

2.1.3 Κύκλος αεριοστροβίλου με αναθέρμανση και κοινό άξονα (CBTRT).



4-5 Ισοβαρής θέρμανση $r_{34} = r_{56} = \sqrt{r}$

Ισχύουν οι εξισώσεις 1,3,4,5,6,8

Σταθερά ισεντροπικής μεταβολής:

$$k_{g56} = \frac{(\gamma_g)_{56} - 1}{(\gamma_g)_{56}}$$

Θερμοκρασία εξόδου από τον στρόβιλο υψηλής πίεσης:

$$T_4 = T_3 \cdot \left[1 - n_{T_1} \cdot (1 - r_{34}^{-k_{g34}}) \right] \quad (21)$$

$$T_6 = T_5 \cdot \left[1 - n_{T_2} \cdot (1 - r_{56}^{-k_{g56}}) \right] \quad (22)$$

Λόγος καυσίμου αέρα στον αναθερμαντήρα:

$$f_R = \frac{m_{fR}}{m_{g4}}$$

$$f_R = \frac{(c_{pg})_{05}(T_5 - T_o) - (c_{pg})_{04}(T_4 - T_o)}{H_u \eta_R - (c_{pg})_{05}(T_5 - T_o)} \quad (23)$$

Η ισχύς στον άξονα των στρόβιλων θα είναι :

$$\begin{aligned} \dot{W}_{T_1} &= \dot{m}_{g4} \cdot (c_{pg})_{34} \cdot (T_3 - T_4) \cdot \eta_{mT} = \\ &= (1 + f_B) \cdot \dot{m}_a \cdot (c_{pg})_{34} (T_3 - T_4) \eta_{mT} \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \dot{W}_{T_2} &= \dot{m}_{g5} \cdot (c_{pg})_{56} \cdot (T_5 - T_6) \cdot \eta_{mT} = \\ &= (1 + f_R) \cdot \dot{m}_{g4} \cdot (c_{pg})_{56} (T_5 - T_6) \eta_{mT} = \\ &= (1 + f_R) \cdot (1 + f_B) \cdot \dot{m}_a \cdot (c_{pg})_{56} (T_5 - T_6) \eta_{mT} \end{aligned} \quad (25)$$

Ανά μονάδα μάζας αέρα θα είναι:

$$w_{T_1} = (1 + f_B) \cdot (c_{pg})_{34} (T_3 - T_4) \quad (26)$$

$$w_{T_2} = (1 + f_R) \cdot (1 + f_B) \cdot (c_{pg})_{56} (T_5 - T_6) \quad (27)$$

Η καθαρή ισχύς του συστήματος (χρησιμοποιώντας τον μηχανικό βαθμό απόδοσης) και ο βαθμός απόδοσης του συστήματος είναι αντίστοιχα:

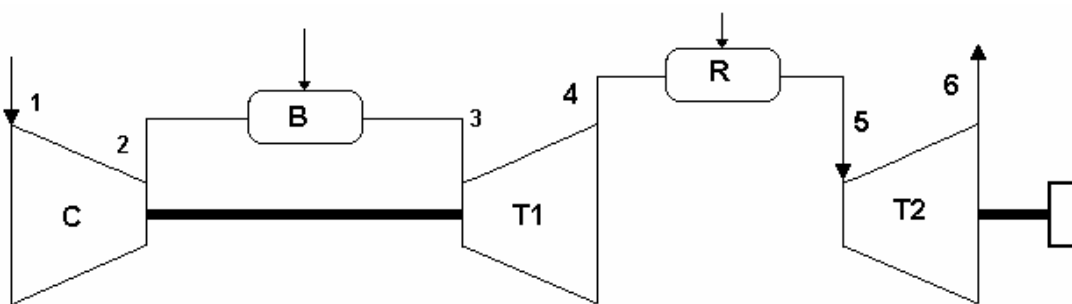
$$\dot{W}_N = \eta_m [\dot{m}_g (c_{pg})_{34} (T_3 - T_4) + \dot{m}_g (c_{pg})_{56} (T_5 - T_6) - \dot{m}_a (c_{pa})_{12} (T_2 - T_1)] \quad (28)$$

$$\eta = \frac{\dot{W}_N}{(\dot{m}_{fB} + \dot{m}_{fR}) H_u} \quad (29)$$

Ανά μονάδα μάζας αέρα είναι:

$$w_i = \eta_m \cdot (w_{T_1} + w_{T_2} - w_C) \quad (30) \quad \eta = \frac{w_i}{[f_B + (1 + f_B) f_R] H_u} \quad (31)$$

2.1.4 Κύκλος αεριοστροβίλου με αναθέρμανση και στρόβιλο ισχύος.



4-5 Ισοβαρής θέρμανση

Ισχύουν οι εξισώσεις 1,3,4,5,6,8,15,16,18,22,23 $r_{56} = \frac{r_T}{r_{34}}$

Σταθερά ισεντροπικής μεταβολής: $k_{g_{56}} = \frac{(\gamma_g)_{56} - 1}{(\gamma_g)_{56}}$

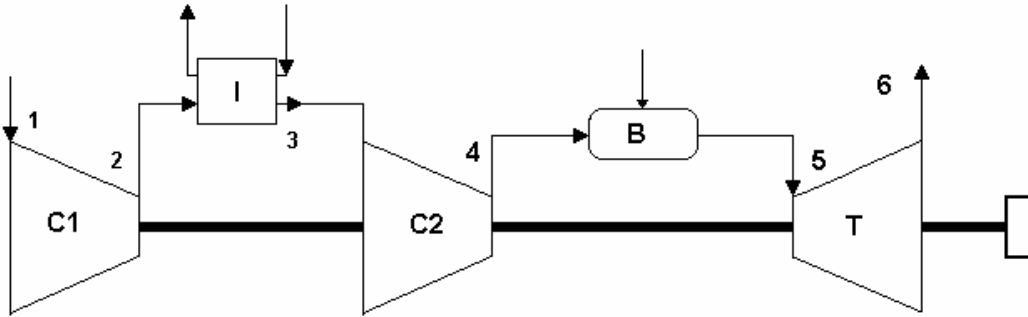
Η καθαρή ισχύς του συστήματος (χρησιμοποιώντας τον μηχανικό βαθμό απόδοσης) και ο βαθμός απόδοσης του συστήματος είναι, αντίστοιχα:

$$\dot{W}_N = \eta_m \dot{m}_g (c_{pg})_{56} (T_5 - T_6) \quad \eta = \frac{\dot{W}_N}{(\dot{m}_{fB} + \dot{m}_{fR}) H_u}$$

Ανά μονάδα μάζας αέρα θα είναι:

$$w_{T_2} = (1 + f_R) \cdot (1 + f_B) \cdot (c_{pg})_{56} (T_5 - T_6) \quad w_i = \eta_m \cdot w_{T_2} \quad \eta = \frac{w_i}{[f_B + (1 + f_B) f_R] H_u}$$

2.1.5 Κύκλος αεριοστροβίλου με ενδιάμεση ψύξη του αέρα (CICBT).



1-2 Αδιαβατική συμπίεση, 2-3 Ισοβαρής ψύξη, 3-4 Αδιαβατική συμπίεση, 4-5 Ισοβαρής θέρμανση, 5-6 Αδιαβατική εκτόνωση

$$T_3 = T_1 + 10 \quad r_{12} = r_{34} = \sqrt{r} \quad \dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a3} = \dot{m}_a$$

Σταθερές ισεντροπικής μεταβολής:

$$k_{a12} = \frac{(\gamma_a)_{12} - 1}{(\gamma_a)_{12}} \quad k_{a34} = \frac{(\gamma_a)_{34} - 1}{(\gamma_a)_{34}} \quad k_{g56} = \frac{(\gamma_g)_{56} - 1}{(\gamma_g)_{56}}$$

Θερμοκρασίες εξόδου των συμπιεστών και του στροβίλου:

$$T_2 = T_1 \cdot \left(1 + \frac{r_{12}^{k_{a12}} - 1}{n_C} \right) \quad (32) \quad T_4 = T_3 \cdot \left(1 + \frac{r_{34}^{k_{a34}} - 1}{n_C} \right) \quad (33)$$

$$T_6 = T_{\max} \cdot [1 - n_T \cdot (1 - r^{-kg})]$$

Ισχύς στον άξονα των συμπιεστών είναι:

$$\dot{W}_{C1} = \frac{\dot{m}_{a1} (c_{pa})_{12}}{\eta_{mC}} \cdot (T_2 - T_1) \quad (34)$$

$$\dot{W}_{C2} = \frac{\dot{m}_{a3} (c_{pa})_{34}}{\eta_{mC}} \cdot (T_4 - T_3) \quad (35)$$

Ισχύς στον άξονα του στροβίλου είναι:

$$\begin{aligned} \dot{W}_T &= \dot{m}_g \cdot (c_{pg})_{56} \cdot (T_5 - T_6) \cdot \eta_{mT} = \\ &= (1 + f_B) \cdot \dot{m}_a \cdot (c_{pg})_{56} (T_5 - T_6) \eta_{mT} \end{aligned} \quad (36)$$

Λόγος καυσίμου/αέρα

$$f_B = \frac{(c_{pg})_{05} (T_5 - T_1) - (c_{pa})_{04} (T_4 - T_0)}{H_u n_B - (c_{pg})_{05} (T_5 - T_0)} \quad (37)$$

Ανά μονάδα μάζας αέρα θα είναι:

$$w_{C1} = (c_{pa})_{12} T_1 \frac{r_{12}^{k_{a12}} - 1}{n_{C1}} \quad w_{C2} = (c_{pa})_{34} T_3 \frac{r_{34}^{k_{a34}} - 1}{n_{C2}} \quad (38) \quad (39)$$

$$w_T = (1 + f_B) \eta_T (c_{pg})_{56} T_{\max} (1 - r_T^{-k_{g56}}) \quad (40)$$

Η καθαρή ισχύς του συστήματος (χρησιμοποιώντας τον μηχανικό βαθμό απόδοσης) και ο βαθμός απόδοσης του συστήματος είναι αντίστοιχα:

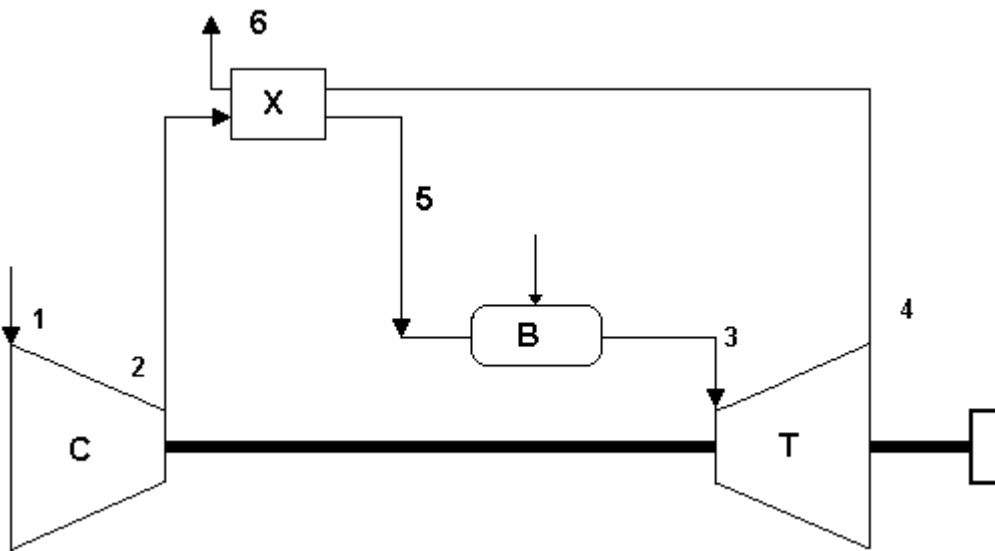
$$\dot{W}_N = \eta_m [\dot{m}_g (c_{pg})_{56} (T_5 - T_6) - \dot{m}_{a1} (c_{pa})_{12} (T_2 - T_1) - \dot{m}_{a3} (c_{pa})_{34} (T_4 - T_3)] \quad \eta = \frac{\dot{W}_N}{\dot{m}_a H_u}$$

Ανά μονάδα μάζας αέρα είναι:

$$w_i = \eta_m \cdot (w_T - w_{C_1} - w_{C_2})$$

$$\eta = \frac{w_i}{f_B H_u}$$

2.1.6 Κύκλος αεριοστροβίλου με αναγεννητική προθέρμανση του αέρα (CBTX).



1-2 Αδιαβατική συμπίεση

2-5 Ισοβαρής (εσωτερική) προθέρμανση

5-3 Ισοβαρής (εξωτερική) θέρμανση

3-4 Αδιαβατική εκτόνωση

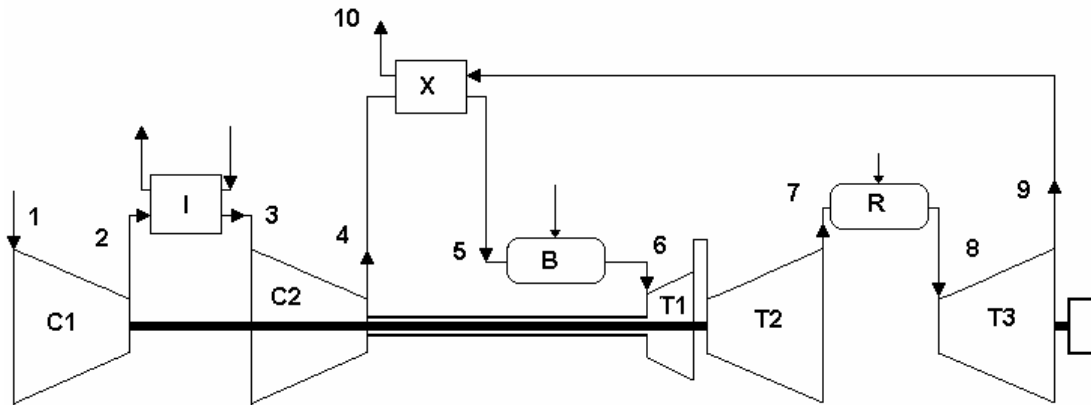
ε ο βαθμός εκμετάλλευσης του εναλλάκτη

$$T_5 = e \cdot (T_4 - T_2) + T_2$$

$$f_B = \frac{(c_{pg})_{03}(T_3 - T_o) - (c_{pa})_{05}(T_5 - T_o)}{H_u n_B - (c_{pg})_{03}(T_3 - T_o)}$$

Ισχύουν οι εξισώσεις 1,2,3,4,6,7,8,9,10,11,12,13

2.1.7 Κύκλος αεριοστροβίλου με ενδιάμεση ψύξη, αναγεννητική προθέρμανση του αέρα και αναθέρμανση(CICBRTX).



1-2 Αδιαβατική συμπίεση 2-3 Ισοβαρής ψύξη 3-4 Αδιαβατική συμπίεση
 4-5 Ισοβαρής (εσωτερική) προθέρμανση 5-6 Ισοβαρής (εξωτερική) θέρμανση
 6-7 Αδιαβατική εκτόνωση 7-8 Ισοβαρής (εξωτερική) θέρμανση 8-9
 Αδιαβατική εκτόνωση

$$T_3 = T_1 + 10$$

$$r_{12} = r_{34} = \sqrt{r}$$

Ισχύουν οι εξισώσεις 32,33,34,35

Σταθερές ισεντροπικής μεταβολής:

$$k_{a_{12}} = \frac{(\gamma_a)_{12} - 1}{(\gamma_a)_{12}}$$

$$k_{a_{34}} = \frac{(\gamma_a)_{34} - 1}{(\gamma_a)_{34}}$$

$$k_{g_{67}} = \frac{(\gamma_g)_{67} - 1}{(\gamma_{ga})_{67}}$$

$$k_{g_{89}} = \frac{(\gamma_g)_{89} - 1}{(\gamma_{ga})_{89}}$$

Λόγοι καυσίμου /αέρα θαλάμου καύσης και αναθερμαντήρα

$$f_B = \frac{(c_{pg})_{06}(T_6 - T_0) - (c_{pa})_{05}(T_5 - T_0)}{H_u \eta_B - (c_{pg})_{06}(T_6 - T_0)}$$

$$f_R = \frac{(c_{pg})_{08}(T_8 - T_0) - (c_{pg})_{07}(T_7 - T_0)}{H_u \eta_B - (c_{pg})_{08}(T_8 - T_0)}$$

Θερμοκρασία εξόδου από τον στρόβιλο μέσης πίεσης:

$$T_7 = T_{\max} - \frac{w_c}{(c_{pg})_{67} (1 + f_B) \eta_{mT}}$$

Λόγοι πίεσης

$$r_{67} = \left(\frac{\eta_t \cdot T_6}{T_7 - T_6 + \eta_t \cdot T_6} \right)^{\frac{1}{k_{g67}}} \quad r_{89} = \frac{r}{r_{67}}$$

Αναγεννητής θερμότητας

$$T_5 = e \cdot (T_9 - T_4) + T_4$$

Θερμοκρασία εξόδου από τον στρόβιλο ισχύος:

$$T_9 = T_8 \cdot [1 - n_T \cdot (1 - r_8^{-k_{g89}})]$$

Η καθαρή ισχύς του συστήματος (χρησιμοποιώντας τον μηχανικό βαθμό απόδοσης) και ο βαθμός απόδοσης του συστήματος είναι αντίστοιχα:

$$W_N = \eta_m \cdot \eta_{g8} \cdot (c_{pg})_{89} (T_8 - T_9) \quad \eta = \frac{W_N}{(\eta_{fB} + \eta_{fR}) H_u}$$

Ανά μονάδα μάζας αέρα θα είναι:

$$w_{T_2} = (1 + f_R) \cdot (1 + f_B) \cdot (c_{pg})_{89} (T_8 - T_9) \quad w_i = \eta_m \cdot w_{T_2} \quad \eta = \frac{w_i}{[f_B + (1 + f_B) f_R] H_u}$$

2.2 Προσδιορισμός της Σύνθεσης του Καυσαερίου [3]

2.2.1 Σύνθεση του καυσαερίου χωρίς υγρασία στον αέρα.

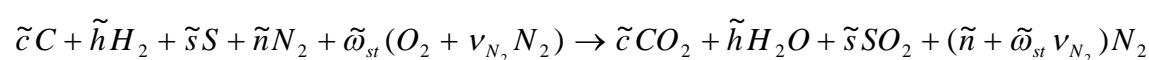
Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται η σύνθεση του καυσαερίου καθώς και ο λόγος αέρα λ για τις διάφορες τιμές του λόγου παροχών μάζας καυσίμου /αέρα. Το καύσιμο θεωρείται ότι αποτελείται από άνθρακα C, υδρογόνο H₂, άζωτο N₂ και θείο S.

Έστω οι αναλογίες μάζας συστατικού ανά μονάδα μάζας καυσίμου αντίστοιχα για άνθρακα, υδρογόνο, θείο και άζωτο c, h, s και n άρα ισχύει η σχέση c+h+s+n=1.

Ορίζονται τα μεγέθη:

$$\text{όπου } M \text{ οι μοριακές μάζες. } \tilde{c} \equiv \frac{c}{M_C} \quad \tilde{h} = \frac{h}{M_{H_2}} \quad \tilde{s} = \frac{s}{M_S} \quad \tilde{n} = \frac{n}{M_{N_2}}$$

Έτσι για στοιχειομετρική καύση, δηλαδή για καύση με λόγο αέρα ίσο με τη μονάδα (το οξυγόνο αντιδρά πλήρως με τον υδρογονάνθρακα), και με τη παραδοχή ότι το άζωτο δεν αντιδρά με το οξυγόνο, η αντίδραση γράφεται:



$$\text{όπου } \nu_{N_2} = \frac{\chi_{N_2}^a}{\chi_{O_2}^a} \text{ η γραμμομοριακή αναλογία των περιεκτικότητων}$$

του αζώτου και του οξυγόνου στον ατμοσφαιρικό αέρα και ισούται με 3.7619, με την υπόθεση ότι ο αέρας αποτελείται μόνο από άζωτο και οξυγόνο, με αντίστοιχες γραμμομοριακές ή κατά όγκο περιεκτικότητες 79% και 21%.

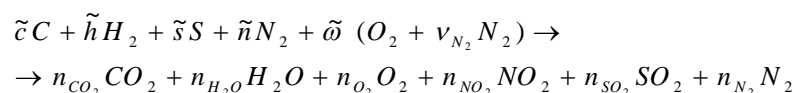
Από την αντίδραση της στοιχειομετρικής καύσης προκύπτει:

$$\tilde{\omega}_{st} = \tilde{c} + \frac{\tilde{h}}{2} + \tilde{s}$$

Έτσι προκύπτει και ο στοιχειομετρικός λόγος καυσίμου αέρα

$$\frac{m_f}{m_a} = \frac{\tilde{c}M_C + \tilde{h}M_{H_2} + \tilde{n}M_{N_2} + \tilde{s}M_S}{\tilde{\omega}_{st}(M_{O_2} + \nu_{N_2}M_{N_2})} = \frac{c + h + n + s}{\tilde{\omega}_{st}(M_{O_2} + \nu_{N_2}M_{N_2})} = \frac{1}{\tilde{\omega}_{st}(M_{O_2} + \nu_{N_2}M_{N_2})}$$

Υποθέτοντας καύση με περίσσεια αέρα και μέρος του αζώτου να μετατρέπεται σε NO₂, η αντίδραση καύσης θα έχει ως εξής:



με το ω να είναι η πραγματική ποσότητα του οξυγόνου ανά μονάδα μάζας καυσίμου.

Ο ισολογισμός προϊόντων-αντιδρώντων δίνει τα εξής:

K η ολική ποσότητα του καυσαερίου.

Είναι:

$$K = n_{CO_2} + n_{H_2O} + n_{SO_2} + n_{NO_2} + n_{O_2} + n_{N_2}$$

$$n_{CO_2} = \tilde{c}, n_{H_2O} = \tilde{h}, n_{SO_2} = \tilde{s}$$

$$\tilde{\omega} = n_{O_2} + n_{CO_2} + \frac{n_{H_2O}}{2} + n_{SO_2} + n_{NO_2}$$

$$n_{N_2} = \tilde{\omega}v_{N_2} + \tilde{n} - \frac{n_{NO_2}}{2}$$

Από τα παραπάνω προκύπτει η σχέση:

$$n_{O_2} = \tilde{\omega} - n_{CO_2} - \frac{n_{H_2O}}{2} - n_{SO_2} - n_{NO_2} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow n_{O_2} = \tilde{\omega} - \tilde{c} - \frac{\tilde{h}}{2} - \tilde{s} - n_{NO_2} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow n_{O_2} = \tilde{\omega} - \tilde{\omega}_{st} - n_{NO_2}$$

Έτσι προκύπτει η ολική ποσότητα καυσαερίου:

$$K = \tilde{c} + \tilde{h} + \tilde{s} + n_{NO_2} + \tilde{\omega} - \tilde{\omega}_{st} - n_{NO_2} + \tilde{\omega}v_{N_2} + \tilde{n} - \frac{n_{NO_2}}{2} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow K = \tilde{c} + \tilde{h} + \tilde{s} + \tilde{\omega} - \tilde{\omega}_{st} + \tilde{\omega}v_{N_2} + \tilde{n} - \frac{n_{NO_2}}{2}$$

Ο υπολογισμός του ω γίνεται για τις διάφορες τιμές του λόγου καυσίμου/ αέρα f από την σχέση:

$$f = \frac{m_f}{m_a} = \frac{\tilde{c}M_C + \tilde{h}M_{H_2} + \tilde{n}M_{N_2} + \tilde{s}M_S}{\tilde{\omega}(M_{O_2} + v_{N_2}M_{N_2})} = \frac{c + h + n + s}{\tilde{\omega}(M_{O_2} + v_{N_2}M_{N_2})} =$$

$$= \frac{1}{\tilde{\omega}(M_{O_2} + v_{N_2}M_{N_2})} \Leftrightarrow \omega = \frac{1}{f(M_{O_2} + v_{N_2}M_{N_2})}$$

2.2.2 Σύνθεση του καυσαερίου με υγρασία στον αέρα [8].

Κατά τη λειτουργία ενός αεριοστροβίλου, η επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών επηρεάζει αρκετά τα χαρακτηριστικά του. Έτσι είναι χρήσιμο να εξεταστεί η λειτουργία ενός αεριοστροβίλου με υγρασία στον αέρα εισαγωγής.

Ένα μέτρο για το πόσο πλησιάζει ένα μίγμα ατμοσφαιρικού αέρα-ατμού την κατάσταση κορεσμού είναι η σχετική υγρασία:

$$\phi = \frac{P_w}{P_{w,s}}$$

Όπου P_w : η μερική πίεση ατμών στο μίγμα

$P_{w,s}$: η μερική πίεση κορεσμού στην θερμοκρασία περιβάλλοντος

Η μερική πίεση κορεσμού στην θερμοκρασία περιβάλλοντος δίνεται

από τον τύπο:[7]

$$\log P_{w,s} = 28.59051 - 8.2 \cdot \log(T) + 0.0024804 \cdot (T) - \frac{3142.31}{(T)}$$

όπου T σε K η θερμοκρασία

Η μάζα ατμού ανά μάζα ξηρού αέρα σε Kgr/Kgr ξηρού αέρα με πίεση αναφοράς $P_a=1 \text{ bar}$ είναι:

$$\mu = \frac{M_w}{M_a} \cdot \frac{\frac{P_w}{P_a}}{\left(1 - \frac{P_w}{P_a}\right)} \Rightarrow \mu = 0.622 \cdot \frac{\phi \cdot P_{w,s}}{1 - \phi \cdot P_{w,s}}$$

Για να μετατραπεί η αναλογία μάζας μ σε γραμμομοριακή x_i χρειάζεται το μοριακό βάρος του μίγματος M_m όπου είναι:

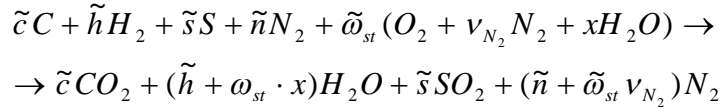
$$M_m = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\mu}{M}\right)_i} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\mu}{M}\right)_i}$$

Η γραμμομοριακή αναλογία τότε είναι:

$$x_i = \left(\frac{\mu}{M}\right)_i \cdot M_m$$

Έτσι οι αντιδράσεις της καύσης γίνονται:

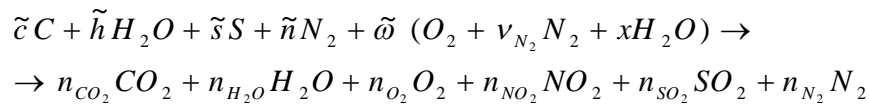
Στοιχειμετρική (θεωρώντας ότι οι υδρατμοί περνούν στο καυσαέριο και ότι το άζωτο δεν αντιδρά με το οξυγόνο)



Δουλεύοντας όπως παραπάνω:

$$\tilde{\omega}_{st} = \tilde{c} + \frac{(\tilde{h} + \omega_{st} \cdot x)}{2} + \tilde{s}$$

Καύση με περίσσεια αέρα και σύμφωνα με την επεξεργασία για αέρα χωρίς υγρασία.



Ο ισολογισμός προϊόντων-αντιδρώντων δίνει τα εξής:

Κ η ολική ποσότητα του καυσαερίου

$$K = n_{CO_2} + n_{H_2O} + n_{SO_2} + n_{NO_2} + n_{O_2} + n_{N_2}$$

Είναι:

$$n_{CO_2} = \tilde{c}, n_{H_2O} = \tilde{h} + \tilde{\omega} \cdot x, n_{SO_2} = \tilde{s}$$

$$\tilde{\omega} = n_{O_2} + n_{CO_2} + \frac{n_{H_2O}}{2} + n_{SO_2} + n_{NO_2} - \frac{\tilde{\omega} \cdot x}{2}$$

$$n_{N_2} = \tilde{\omega}\nu_{N_2} + \tilde{n} - \frac{n_{NO_2}}{2}$$

Από τα παραπάνω προκύπτει η σχέση:

$$n_{O_2} = \tilde{\omega} - n_{CO_2} + \frac{\omega \cdot x}{2} - \frac{n_{H_2O}}{2} - n_{SO_2} - n_{NO_2} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow n_{O_2} = \tilde{\omega} - \tilde{c} - \frac{\tilde{h}}{2} - \tilde{s} + \frac{\omega \cdot x}{2} - n_{NO_2} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow n_{O_2} = \tilde{\omega} - \tilde{\omega}_{st} + \frac{\omega \cdot x}{2} - n_{NO_2}$$

Έτσι προκύπτει η ολική ποσότητα καυσαερίου:

$$K = \tilde{c} + \tilde{h} + \tilde{s} + n_{NO_2} + \tilde{\omega} - \tilde{\omega}_{st} + \frac{\omega \cdot x}{2} - n_{NO_2} + \tilde{\omega}v_{N_2} + \tilde{n} - \frac{n_{NO_2}}{2} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow K = \tilde{c} + \tilde{h} + \tilde{s} + \tilde{\omega} - \tilde{\omega}_{st} + \frac{\omega \cdot x}{2} + \tilde{\omega}v_{N_2} + \tilde{n} - \frac{n_{NO_2}}{2}$$

2.2.3 Αριθμητική εφαρμογή.

Για την προσέγγιση του προβλήματος χρησιμοποιήθηκαν τα εξής στοιχεία:

1. Καύσιμο: υγρός υδρογονάνθρακας με περιεκτικότητα
86.94% C , 12.98% H, 0.06% S, 0.02% N.
2. Κατώτερη θερμογόνο ικανότητα του καυσίμου $H_u=42640$ KJ/Kg
3. Βαθμός απόδοσης θαλάμου καύσης $\eta_B=1$
4. Θερμοκρασία αναφοράς $T_0=298.16$ K
5. Θεωρείται για το συστατικό NO_2 του καυσαερίου γραμμομοριακή αναλογία ως προς το ολικό καυσαέριο 25 ppm κάτι όπου ισχύει για σύγχρονους θαλάμους καύσης.

Οι μοριακές μάζες των συστατικών που θα χρησιμοποιηθούν κατά τη διαδικασία είναι:

$$\begin{array}{lll} M_C = 12.0107 & M_{O_2} = 31.9988 & M_{H_2O} = 18.01528 \\ M_{H_2} = 2.01588 & M_{N_2} = 28.0134 & M_{CO_2} = 44.0095 \\ M_S = 32.065 & M_{SO_2} = 64.0638 & M_{NO_2} = 46.0055 \end{array}$$

Επίσης θεωρείται ότι ο υδρογονάνθρακας καίγεται πλήρως και κατά την παραγωγή του καυσαερίου έχουμε παραγωγή NO_2, SO_2 . Ο αέρας κατά τη διαδικασία της μοντελοποίησης εξετάζεται αρχικά ξηρός και μετέπειτα με σχετική υγρασία 60% που είναι αρκετά συνήθης σε ναυτικές εφαρμογές αεριοστροβίλων

Ορίζονται τα μεγέθη:

$$\tilde{c} \equiv \frac{c}{M_C} = 0.07238 \quad \tilde{h} = \frac{h}{M_{H_2}} = 0.06438$$

$$\tilde{n} = \frac{n}{M_{N_2}} = 7.14 \cdot 10^{-6} \quad \tilde{s} = \frac{s}{M_S} = 1.87 \cdot 10^{-5}$$

Για στοιχειομετρική καύση χωρίς υγρασία στον αέρα βρίσκεται:

$$\tilde{\omega}_{st} = \tilde{c} + \frac{\tilde{h}}{2} + \tilde{s} = 0.1046$$

Έτσι προκύπτει και ο στοιχειομετρικός λόγος καυσίμου αέρα:

$$f = 0.0695$$

Για καύση με υγρασία στον αέρα προκύπτει:

Η συνήθης σχετική υγρασία στις ναυτικές εφαρμογές είναι $\phi=60\%$ όπου θα ληφθεί υπ'όψη στους υπολογισμούς.

Η μερική πίεση κορεσμού στην θερμοκρασία περιβάλλοντος $T=23\text{ }^{\circ}\text{C}$ είναι:

$$P_{w,s} = 0.0317\text{ bar}$$

Η μάζα ατμού ανά μάζα ξηρού αέρα σε kg/kg ξηρού αέρα με πίεση αναφοράς $P_a=1\text{ bar}$ είναι:

$$\mu = 0.012$$

Άρα για σχετική υγρασία 60% υπάρχουν στο μίγμα υδρατμών-αέρα 0.012 kgf ατμού για κάθε 1 kgf ξηρού αέρα.

Για να μετατραπεί η αναλογία μάζας μ σε γραμμομοριακή x χρειάζεται το μοριακό βάρος του μίγματος, για αναλογία μάζας 23.1% O και 76.9% N αέρα $M_m=28.6359$ και τότε η γραμμομοριακή αναλογία είναι: $x=0.0191$

Για στοιχειομετρική καύση με υγρασία στον αέρα βρίσκεται:

$$\tilde{\omega}_{st} = \tilde{c} + \frac{(\tilde{h} + \omega_{st} \cdot x)}{2} + \tilde{s} = 0.1061$$

Έτσι προκύπτει και ο στοιχειομετρικός λόγος καυσίμου αέρα:

$$f = 0.0686$$

Ο αριθμός των kmol του NO_2 στο καυσαέριο και στις δύο περιπτώσεις είναι:

$$n_{\text{NO}_2} = 2.5 \cdot 10^{-5} \cdot K$$

Έτσι βρίσκεται η ολική ποσότητα του καυσαερίου, για τις δύο περιπτώσεις με υγρασία στον αέρα ή χωρίς, και επομένως η γραμμομοριακή αναλογία των συστατικών του καυσαερίου όπου χρησιμοποιείται για την εύρεση των ειδικών θερμοχωρητικότητων.

2.3 Υπολογισμός της Ειδικής Θερμοχωρητικότητας

Οι ιδιότητες c_p και γ παίζουν σημαντικό ρόλο στον υπολογισμό της απόδοσης ενός κύκλου και είναι αναγκαίο να λαμβάνονται υπ' όψιν οι μεταβολές των τιμών τους που οφείλονται σε αλλαγές των συνθηκών κατά τη διάρκεια ενός θερμοδυναμικού κύκλου. Γενικά για πραγματικά αέρια σε συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που αντιστοιχούν σε περιοχές κανονικής λειτουργίας, η ειδική θερμοχωρητικότητα c_p είναι συνάρτηση μόνο της θερμοκρασίας. Το ίδιο συμβαίνει και με το γ αφού συνδέεται με το c_p με τη σχέση:

$$\frac{\gamma - 1}{\gamma} = \frac{\tilde{R}}{M c_p} \quad \tilde{R} = 8.31451 \text{ J/molK} \\ M \Rightarrow \text{Μοριακή μάζα}$$

Η μεταβολή των c_p και γ για διάφορες θερμοκρασίες και λόγους καυσίμου /αέρα καθώς και για αέρα με υγρασία ή χωρίς, δίνονται στα σχήματα. Η διαδικασία εύρεσης των c_p και γ βασίστηκε σε εμπειρικές εξισώσεις ξεχωριστές για κάθε στοιχείο του αέρα ή του μίγματος καυσίμου αέρα[6].

Η πολυωνυμική εξίσωση είναι η εξής:

$$c_p^o(T)/R = a_1 T^{-2} + a_2 T^{-1} + a_3 + a_4 T + a_5 T^2 + a_6 T^3 + a_7 T^4 \quad [6]$$

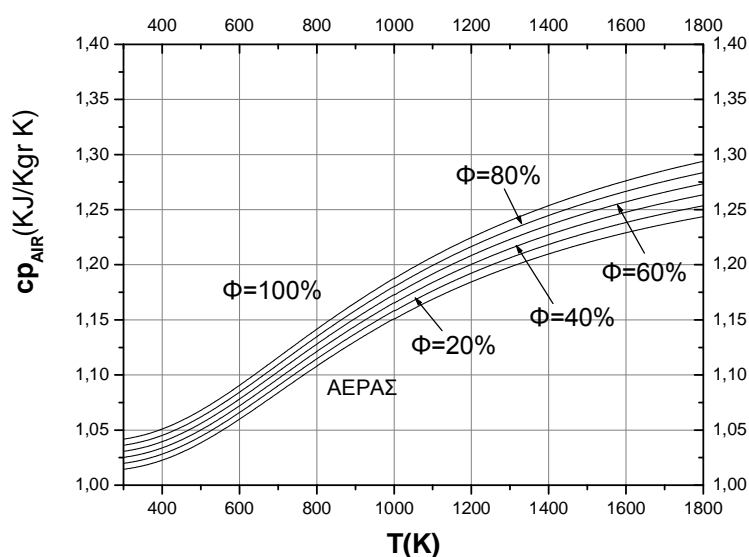
Για την εύρεση του c_p των μιγμάτων ισχύει:

$$c_p = \sum_1^n x_i c_{p_i}$$

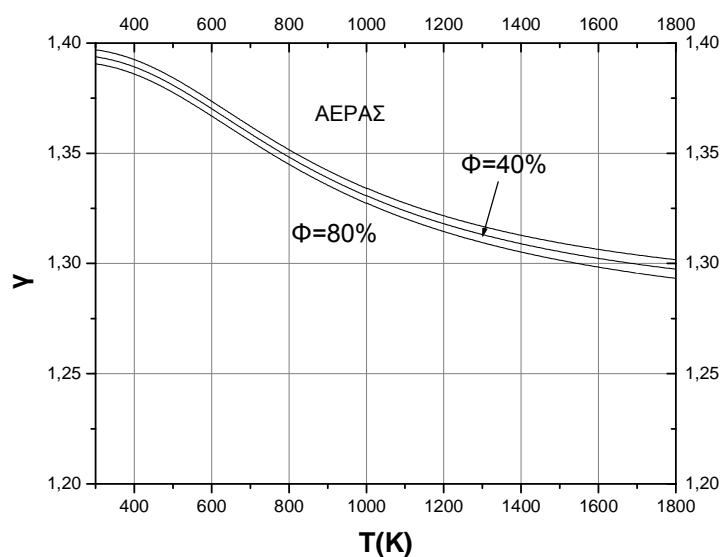
ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1 Σταθερές Πολυωνυμικής Εξίσωσης [6]

	Tmin K	Tmax K	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7
O2	200	1000	-34255,6	484,7001	1,11901	0,00429	-6,836E-07	-2,023E-09	1,039E-12
	1000	6000	-1037939	2344,83	1,81973	0,00127	-2,188E-07	2,054E-11	-8,193E-16
N2	200	1000	22103,7	-381,846	6,08274	-0,00853	1,385E-05	-9,626E-09	2,52E-12
	1000	6000	587712	-2239,25	6,06695	-0,00061	1,492E-07	-1,923E-11	1,062E-15
CO2	200	1000	49436,5	-626,412	5,30173	0,0025	-2,127E-07	-7,69E-10	2,85E-13
	1000	6000	117696	-1788,79	8,29152	-9,2E-05	4,864E-09	-1,891E-12	6,33E-16
H2O	200	1000	-39479,6	575,5731	0,93178	0,00722	-7,343E-06	4,955E-09	-1,337E-12
	1000	6000	1034972	-2412,7	4,64611	0,00229	-6,837E-07	9,426E-11	-4,822E-15
SO2	200	1000	-53108,4	909,0311	-2,3568	0,02204	-2,51E-05	1,45E-08	-3,37E-12
	1000	6000	-112764	-825,226	7,616179	-0,0002	5,66E-08	-5,45E-12	2,92E-16
NO2	200	1000	-56420	963,308	-2,43451	0,019277	-1,874E-05	9,1454E-09	-1,777E-12
	1000	6000	7.213E+05	-3831,61	11,13963	-0,00238	6,547E-07	-7,611E-11	3,3283E-15

c_p και γ του αέρα για διάφορες τιμές της σχετικής υγρασίας.

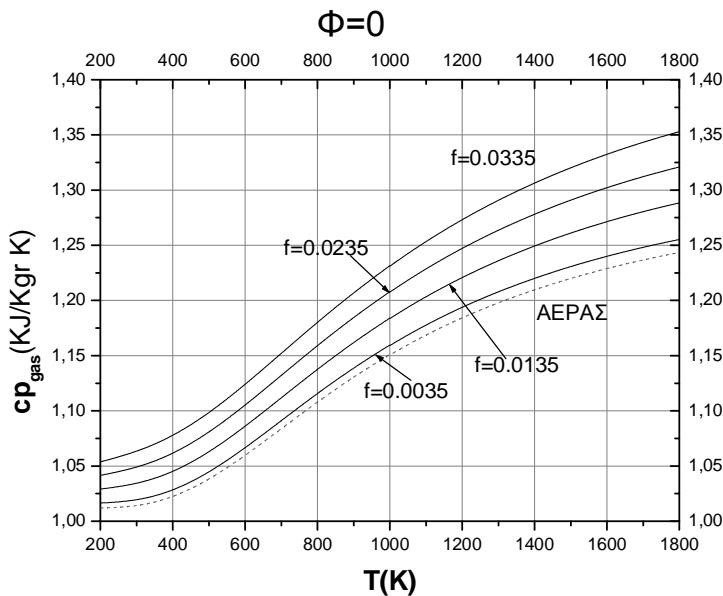


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1

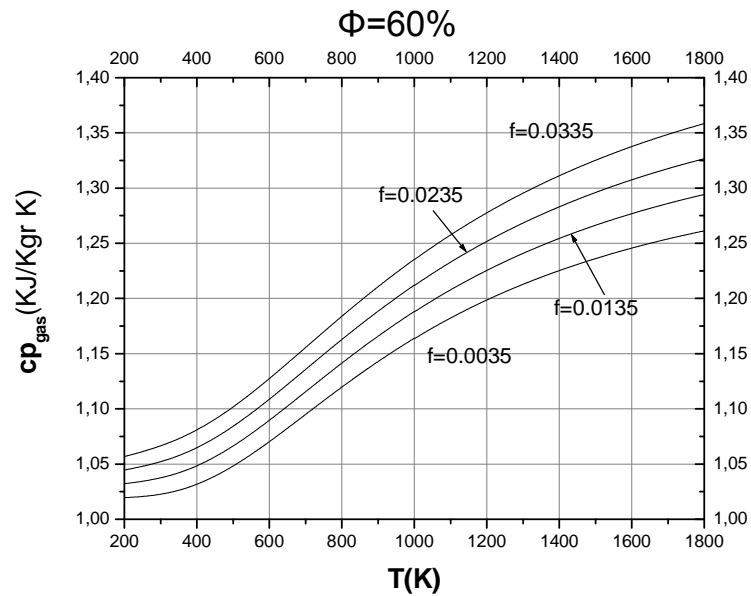


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2

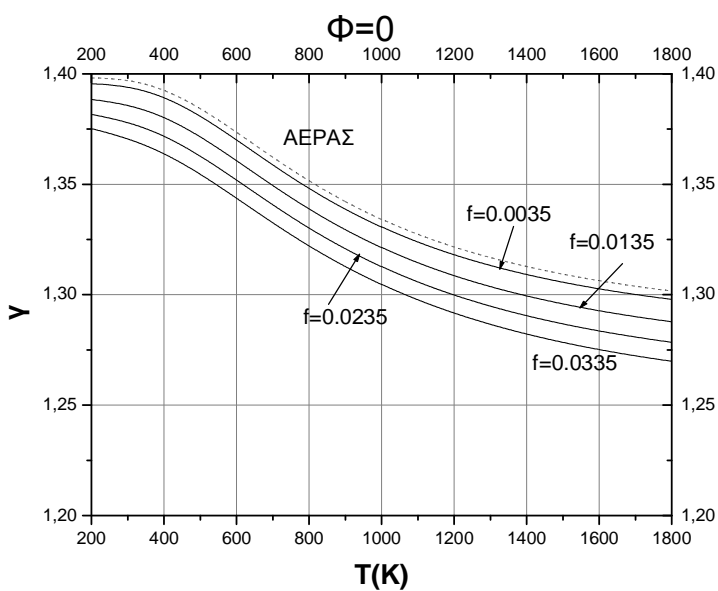
c_p του καυσαερίου για διάφορες τιμές του λόγου καυσίμου /αέρα και για σχετική υγρασία για το καύσιμο του προβλήματος.



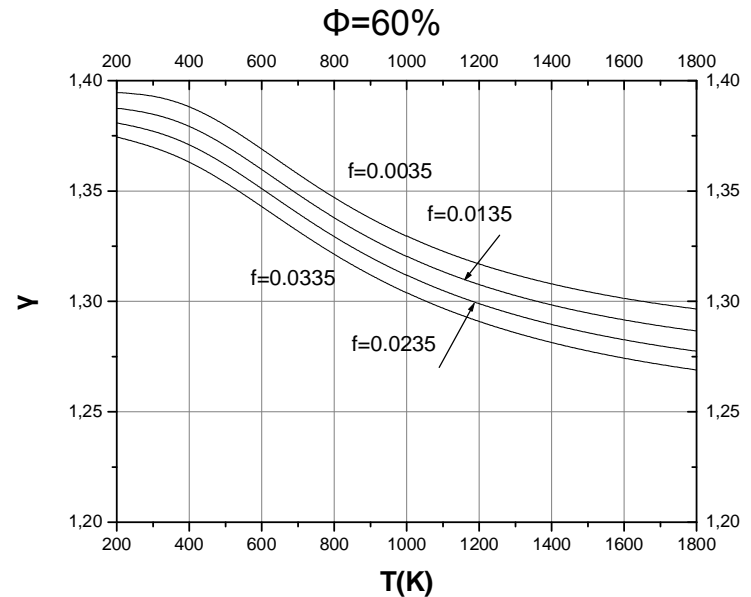
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6

Από τα διαγράμματα (1-6) διακρίνεται η επίδραση της σχετικής υγρασίας στα c_p και γ του αέρα αλλά και του καυσαερίου. Αυτό έχει σημασία για την ανάλυση των κύκλων αφού είναι το ζητούμενο της σύγκλισης.

Τα διαγράμματα χάρacterηκαν για πλήρη καύση του υδρογονάνθρακα. Για την εύρεση του c_p του μίγματος καυσαερίων αλλά και του αέρα ισχύει η

κατ' όγκο ή η γραμμομοριακή αναλογία. Τα συγκεκριμένα προϊόντα της καύσης είναι γνωστά και έτσι γίνεται η σχετική ανάλυση. Από τα διαγράμματα φαίνεται ότι το c_p αυξάνεται με τον λόγο καυσίμου /αέρα, το αντίθετο συμβαίνει με το γ . Αν είχε ληφθεί υπόψη η διάσταση των μορίων στα προϊόντα, η ανάλυση θα ήταν πολυπλοκότερη, γιατί η πίεση επιδρά σημαντικά στο ποσοστό διάστασης των μορίων και τα c_p και γ γίνονται συναρτήσεις της πίεσης. Το φαινόμενο της διάσπασης επιδρά πάνω από τη θερμοκρασία των 1500 K.

Για αρχικούς υπολογισμούς μπορούν να ληφθούν σταθερές τιμές για τα c_p και γ για εκτόνωση και συμπίεση.

$$\text{ΑΕΡΑΣ} \rightarrow c_{pa} = 1.005(KJ / Kg - K), \gamma_a = 1.40$$

$$\text{ΚΑΥΣΑΕΡΙΑ} \rightarrow c_{pg} = 1.147(KJ / Kg - K), \gamma_g = 1.33$$

Η χρήση σταθερών τιμών δεν οδηγεί σε ανακρίβειες διότι μεταβάλλονται κατά αντίθετη κατεύθυνση με τη θερμοκρασία. Για τον υπολογισμό του έργου στον συμπιεστή και στον στρόβιλο ενδιαφερόμαστε για το γινόμενο $c_p \Delta T$. Έτσι αν η θερμοκρασία που αντιστοιχούν τα c_p και γ είναι χαμηλότερη από την υπάρχουσα θερμοκρασία, η τιμή του γ είναι υψηλότερη από αυτήν που θα έπρεπε να έχει και το ΔT θα υπερεκτιμηθεί, αλλά το c_p θα είναι μικρότερο από το πραγματικό και έτσι θα εξισορροπηθεί κατά ένα μέρος η υπερεκτίμηση από το γινόμενο $c_p \Delta T$.

3. ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ

Η μελέτη της συμπεριφοράς των διατάξεων πραγματοποιήθηκε με χρήση του Matlab. Το ζητούμενο είναι με τις λιγότερες παραδοχές να είναι δυνατόν να προσομοιωθεί μια διάταξη αεριοστροβίλου, ώστε να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για αυτήν. Αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια που δίνει ο ηλεκτρονικός υπολογιστής στη διαδικασία της σύγκλισης η οποία θα χρησιμοποιηθεί στη θερμοδυναμική μοντελοποίηση.

ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

1. Θερμοκρασία περιβάλλοντος και εισόδου στον συμπιεστή $T_1=298.15$ K
2. Θερμοκρασία εξόδου από τον θάλαμο καύσης αλλά και από τους αναθερμαντήρες T_{max} από $T_{max}=2 \times T_1$ έως $T_{max}=6 \times T_1$ που είναι αρκετά προχωρημένο επίπεδο θερμοκρασίας εξόδου του θαλάμου καύσης ($\Theta = T_{max} / T_1$)
3. Οι λόγοι πίεσης στον στρόβιλο και στον συμπιεστή θεωρήθηκαν ίσοι
$$r_c = r_T = r$$
4. Ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης για συμπιεστή και για στρόβιλο αντίστοιχα η_c και η_T λήφθηκαν υπ' όψη σε σχέση με τον λόγο πίεσης[9].

$$\eta_c = 0.91 - \frac{(r_c - 1)}{300} \quad \eta_T = 0.90 - \frac{(r_T - 1)}{250}$$

5. Στις περιπτώσεις όπου ο συμπιεστής ή ο στρόβιλος διαιρούνται σε βαθμίδες έχουν τον ίδιο λόγο πίεσης ανά βαθμίδα εκτός αν πρόκειται για στρόβιλο ισχύος.
6. Οι υδρατμοί των καυσαερίων που προέρχονται από την υγρασία του εισερχόμενου αέρα υπολογίζονται από το μίγμα αυτού του εισερχόμενου αέρα.
7. Δεν υπάρχει πτώση πίεσης στις συνιστώσες των διατάξεων αεριοστροβίλου.
8. Μηχανικοί βαθμοί απόδοσης συμπιεστή, στροβίλου και όλης της μονάδας $\eta_{mC} = \eta_{mT} = \eta_m = 0.98$
9. $H_u = 42640$ KJ/Kgr
10. Η έκφραση $(C_p)_{AB}$ ή $(\gamma)_{AB}$ σημαίνει ότι λαμβάνεται υπ' όψη ο μέσος όρος των θερμοκρασιών T_A και T_B ($T = (T_A + T_B) / 2$) στον υπολογισμό των ειδικών θερμοχωρητικότητων C_p καθώς και στον λόγο των ειδικών

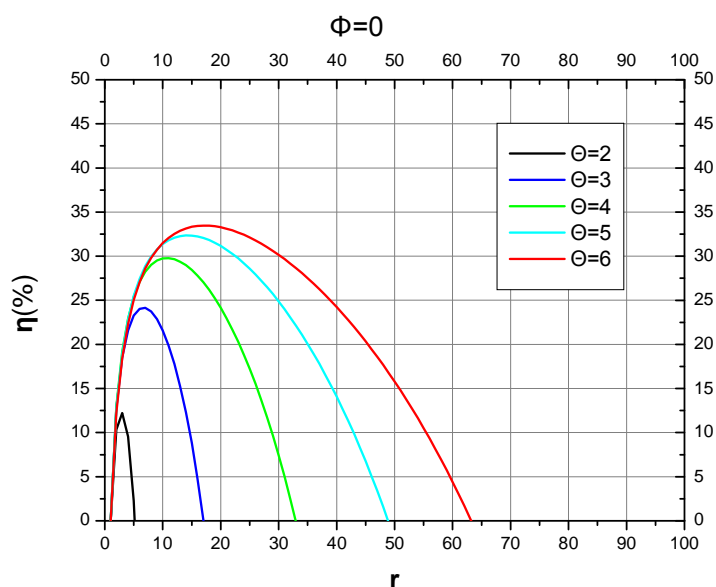
θερμοχωρητικότητων γ .

11. Στην περίπτωση ενδιάμεσης ψύξης θεωρείται ότι μετά το ψυγείο στην είσοδο του συμπιεστή θερμοκρασία 10 K παραπάνω από την θερμοκρασία αναφοράς 298.15 K
12. Αποτελεσματικότητα εναλλάκτη $e=0.6, 0.8$
13. Βαθμός απόδοσης θαλάμου καύσης $\eta_B=1$

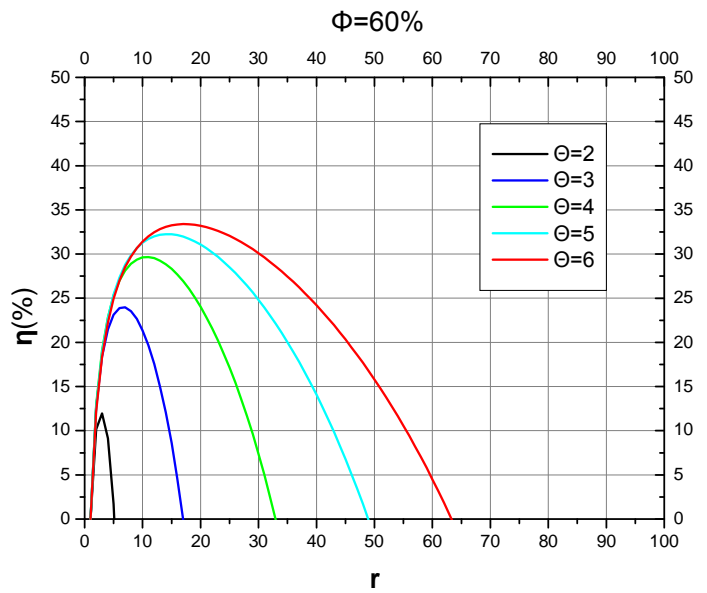
3.1 Ανάλυση Διατάξεων Αεριοστρόβιλου

Για τις διάταξεις των παραγράφων 2.1.1-2.1.7 και με επίλυση των εξισώσεων χαράχτηκαν τα διαγράμματα του βαθμού απόδοσης και του ειδικού έργου συναρτήσει του λόγου πίεσης για διάφορες τιμές του βαθμού εκμετάλλευσης των καυσαερίων, όπου χρειάζεται. Επίσης χαράχτηκαν τα διαγράμματα του βαθμού απόδοσης με το ειδικό έργο καθώς αυξάνεται ο λόγος πίεσης.

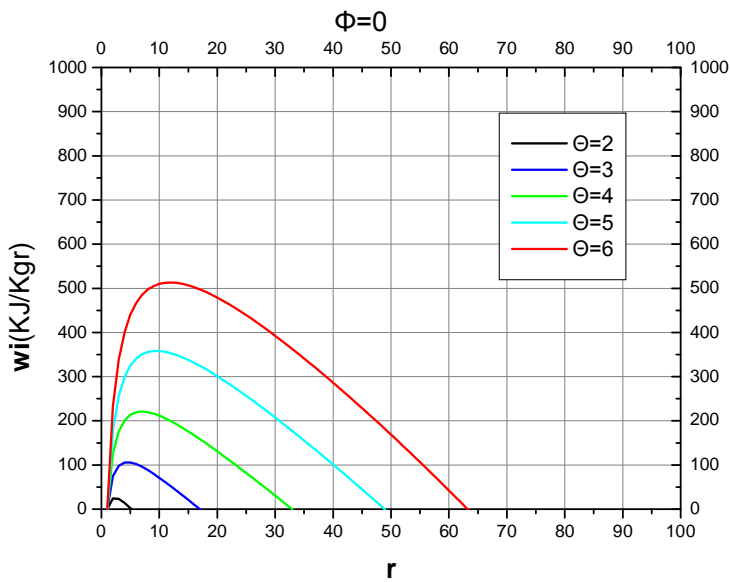
3.1.1 Απλός αεριοστρόβιλος (CBT).



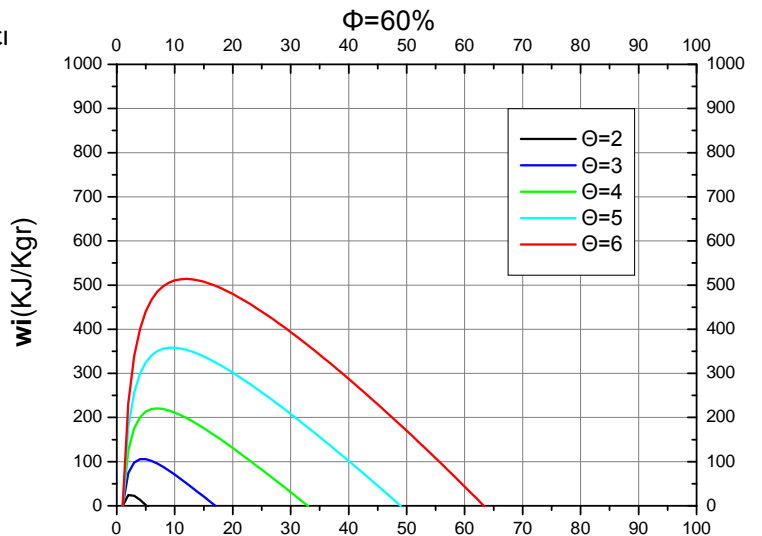
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7 Βαθμός απόδοσης συναρτήσει λόγου πίεσης χωρίς υγρασία.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8 Βαθμός απόδοσης συναρτήσει λόγου πίεσης με υγρασία.

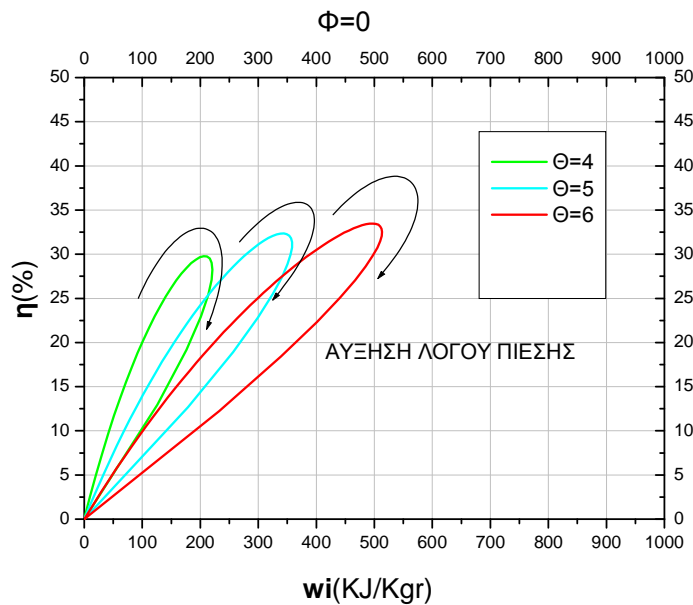


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9 Ειδική ισχύς συναρτήσει λόγου πίεσης χωρίς υγρασία.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10 Ειδική ισχύς συναρτήσει λόγου πίεσης με υγρασία.

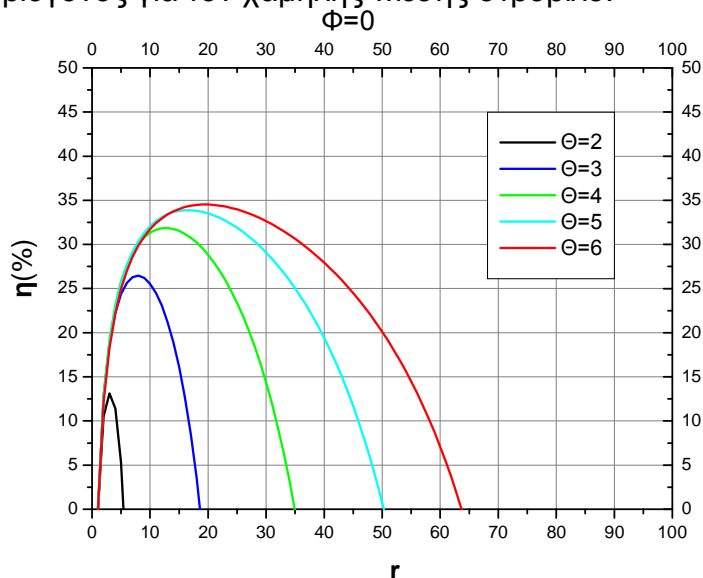
Παρατηρείται ότι η υγρασία στον αέρα δεν επηρεάζει ούτε τον βαθμό απόδοσης ούτε και το ειδικό έργο. Γενικά η διάταξη απλού αεριοστροβίλου παρουσιάζει χαμηλό βαθμό απόδοσης κι έτσι προτιμούνται πιο σύνθετες διατάξεις προκειμένου να αυξηθεί ο βαθμός απόδοσης. Ο βαθμός απόδοσης και το ειδικό έργο αυξάνονται παράλληλα με την αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου του θαλάμου καύσης.



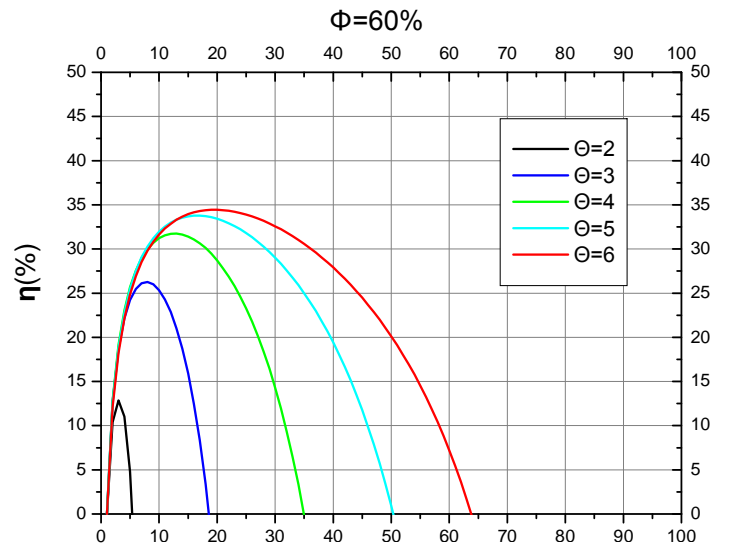
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11 Βαθμός απόδοσης και ειδική ισχύς.

3.1.2 Αεριοστρόβιλος με χωριστό στρόβιλο ισχύος.

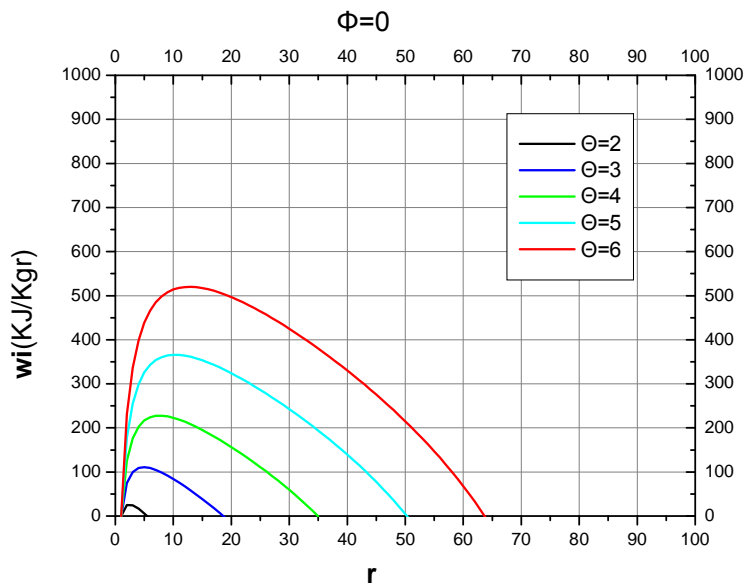
Ο χωρισμός του στροβίλου σε δύο μέρη αντιμετωπίζει το πρόβλημα της ανεξάρτητης κίνησης του στροβίλου που κινεί το φορτίο καθώς και τον έλεγχο της ταχύτητας περιστροφής, ιδιαίτερα σε ναυτικές εφαρμογές. Ο υψηλής πίεσης στρόβιλος κινεί τον συμπιεστή και ο συνδυασμός λειτουργεί σαν αεριογόνος για τον χαμηλής πίεσης στρόβιλο.



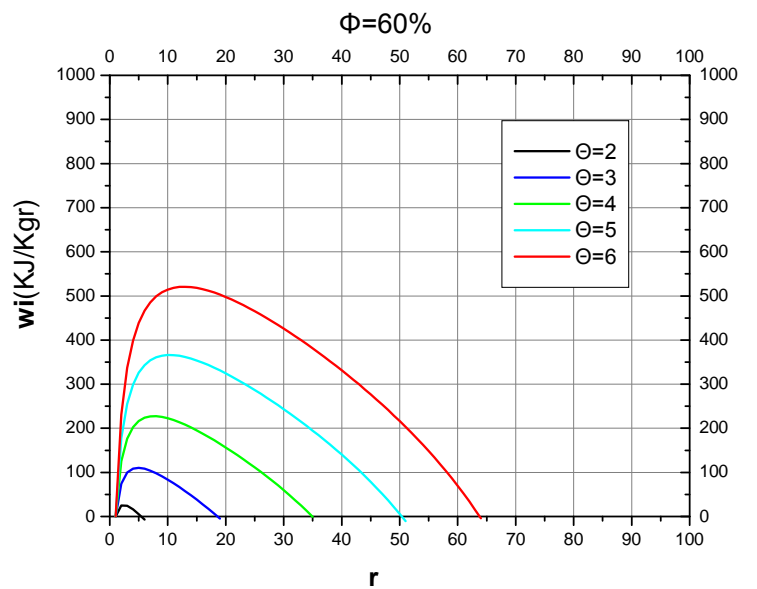
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12 Βαθμός απόδοσης συναρτήσει λόγου πίεσης χωρίς υγρασία.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13 Βαθμός απόδοσης συναρτήσει
λόγου πίεσης με υγρασία.

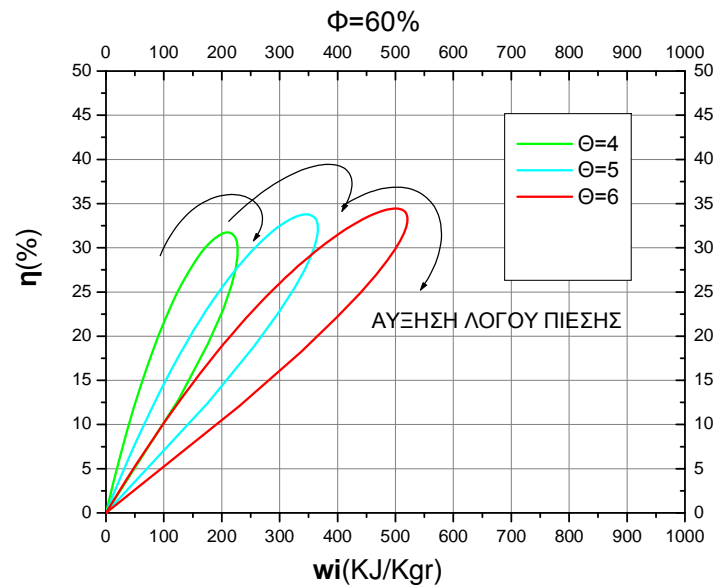


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14 Ειδική ισχύς συναρτήσει
λόγου πίεσης χωρίς υγρασία.



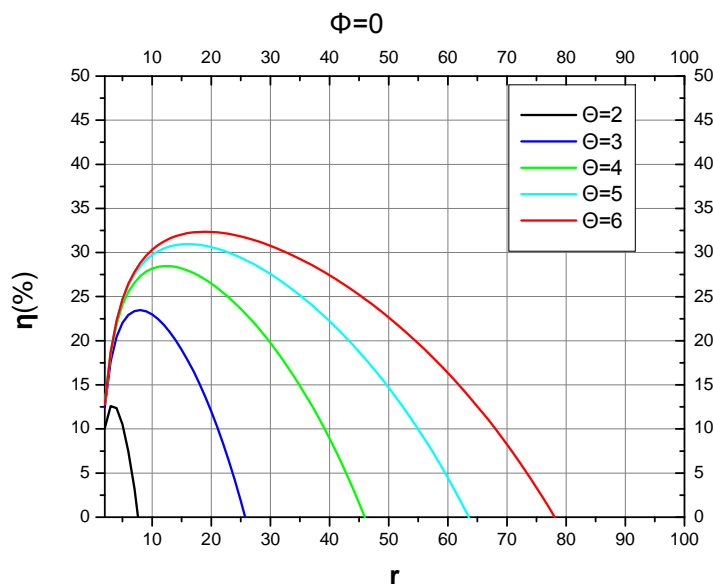
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15 Ειδική ισχύς συναρτήσει
λόγου πίεσης με υγρασία.

Η απλή διάταξη αεριοστροβίλου με χωριστό στρόβιλο ισχύος παρουσιάζει σχετικά καλύτερη απόδοση από την αντίστοιχη απλή διάταξη. Το βασικότερο πλεονέκτημα όμως είναι η χωριστή λειτουργία και η δυνατότητα αποδοτικότερης λειτουργίας υπό μερικό φορτίο. Η υγρασία στον αέρα επηρεάζει ελάχιστα τον βαθμό απόδοσης και την ειδική ισχύ όπως φαίνεται από τα διαγράμματα.

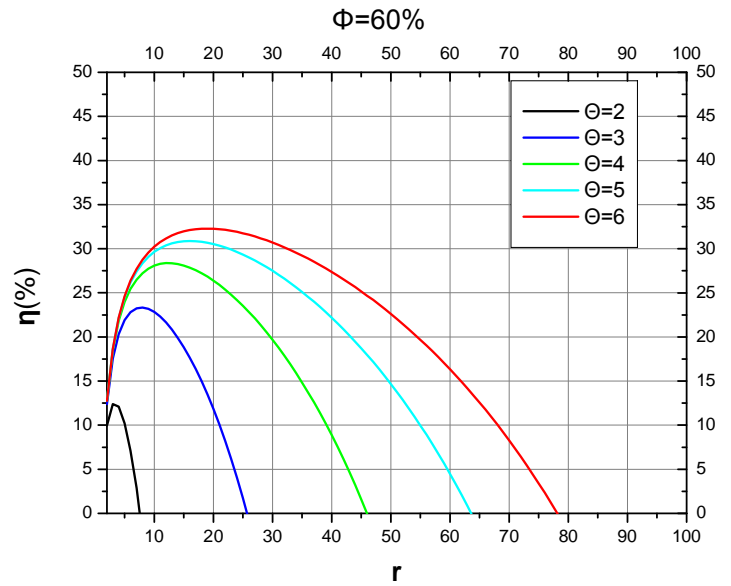


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 16 Βαθμός απόδοσης και ειδική ισχύς.

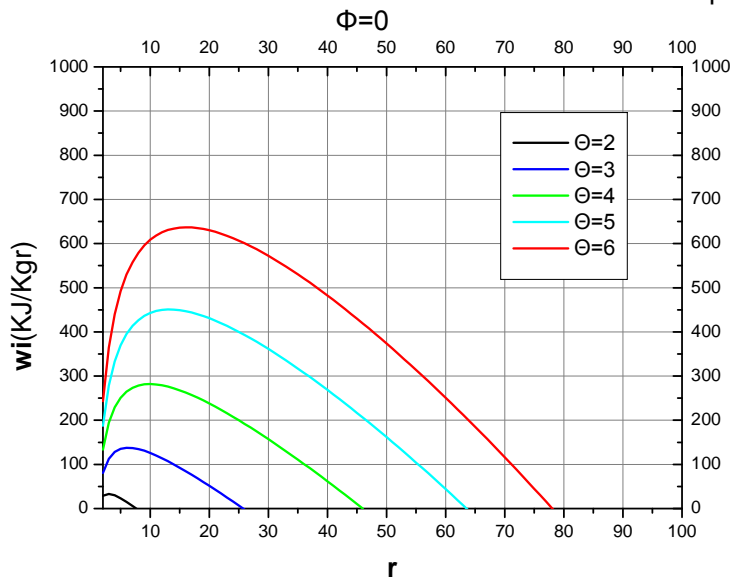
3.1.3 Διάταξη αεριοστροβίλου με κοινό άξονα και αναθέρμανση (CBTRT).



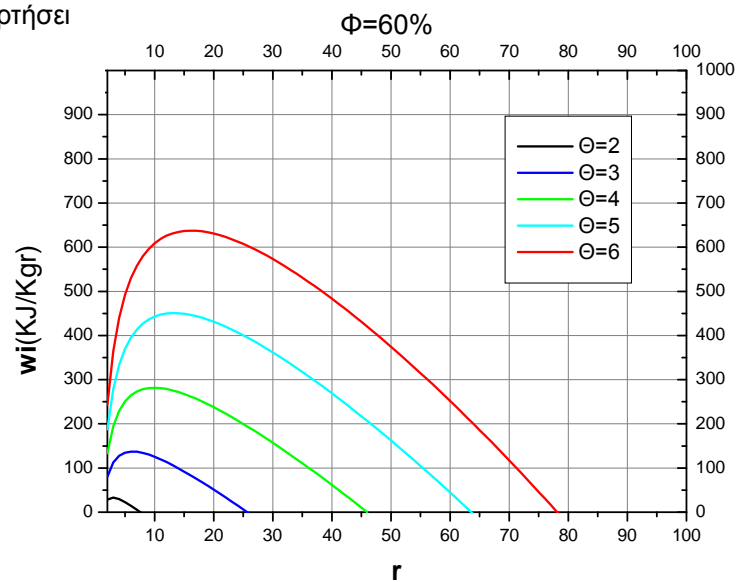
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 17 Βαθμός απόδοσης συναρτήσει λόγου πίεσης χωρίς υγρασία.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 18 Βαθμός απόδοσης συναρτήσει λόγου πίεσης με υγρασία.

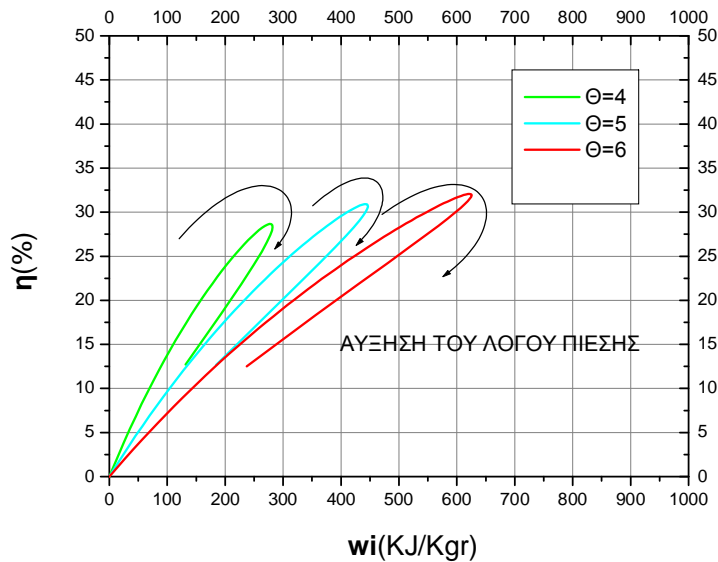


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 19 Ειδική ισχύς συναρτήσει λόγου πίεσης χωρίς υγρασία.



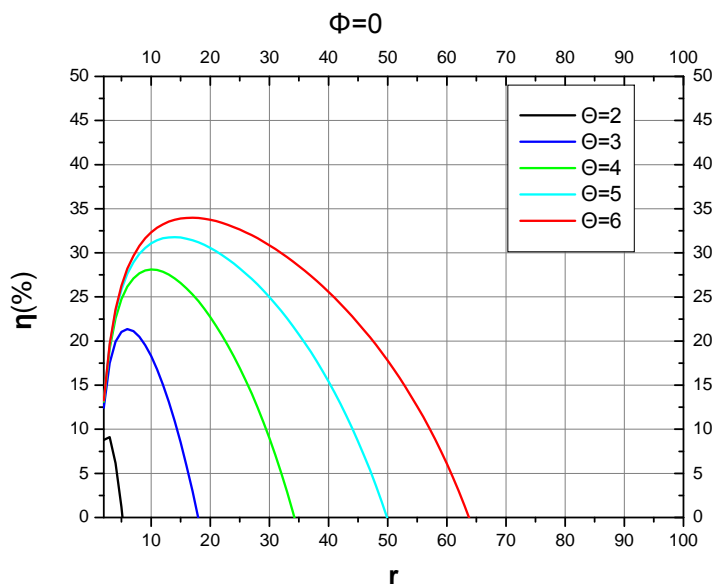
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 20 Ειδική ισχύς συναρτήσει λόγου πίεσης με υγρασία.

Ο στρόβιλος με αναθέρμανση δεν βελτιώνει τον βαθμό απόδοσης κάτι το οποίο αναμενόταν για τον λόγο ότι παρέχεται καύσιμο σε 2 στάδια. Επιτυγχάνεται αύξηση της ειδικής ισχύος με την αναθέρμανση των εκτωνούμενων καυσαερίων ανάμεσα στους στρόβιλους χαμηλής και υψηλής πίεσης σε σχέση με την απλή διάταξη κάτι το οποίο δεν είναι ανέξοδο αφού προσδώθηκε παραπάνω ενέργεια στην διάταξη. Η υγρασία επιδρά ελάχιστα στην ειδική ισχύ.

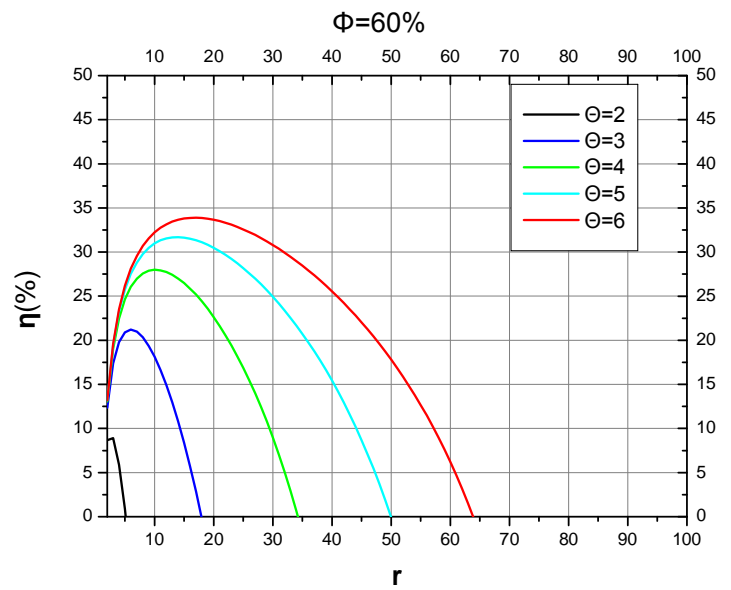


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 21 Βαθμός απόδοσης και ειδική ισχύς.

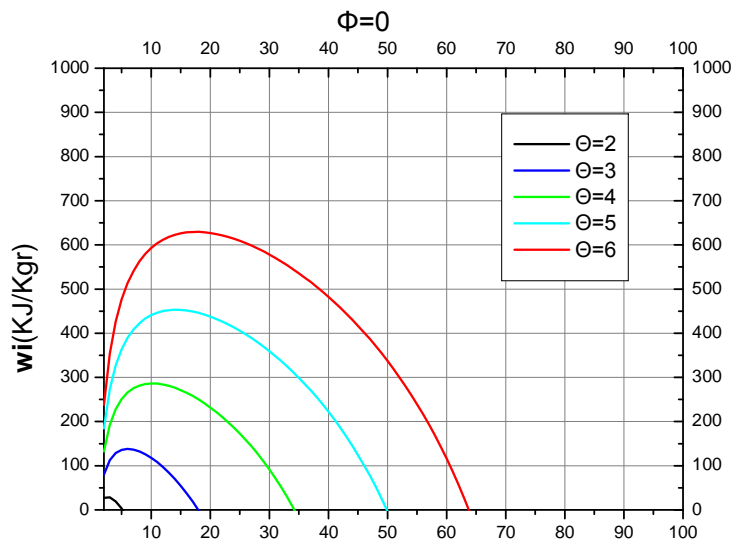
3.1.4 Διάταξη αεριοστρόβιλου με χωριστό στρόβιλο ισχύος και αναθέρμανση.



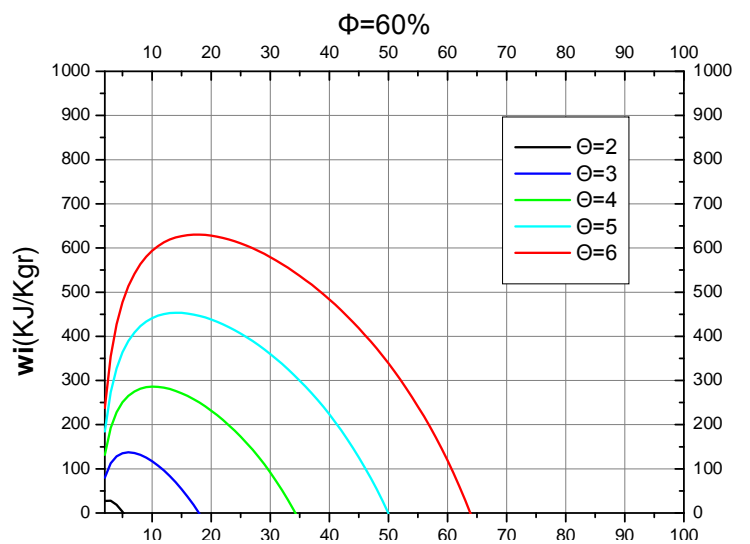
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 22 Βαθμός απόδοσης συναρτήσει λόγου πίεσης χωρίς υγρασία.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 23 Βαθμός απόδοσης συναρτήσει λόγου πίεσης με υγρασία.

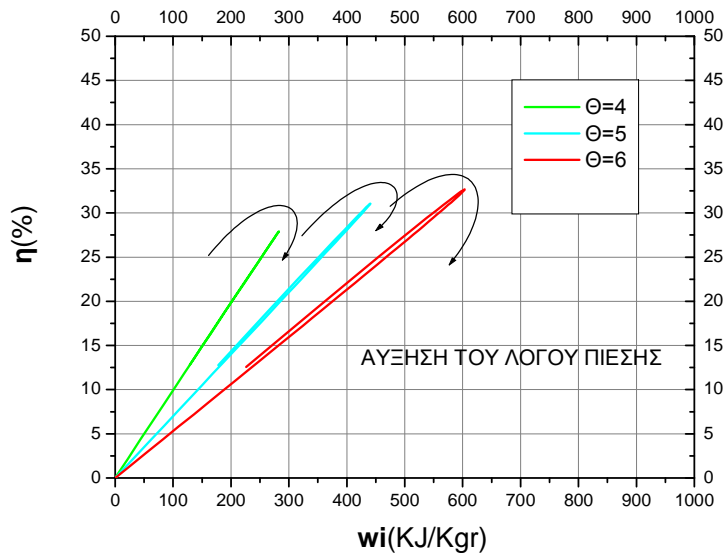


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 24 Ειδική ισχύς συναρτήσει λόγου πίεσης χωρίς υγρασία.



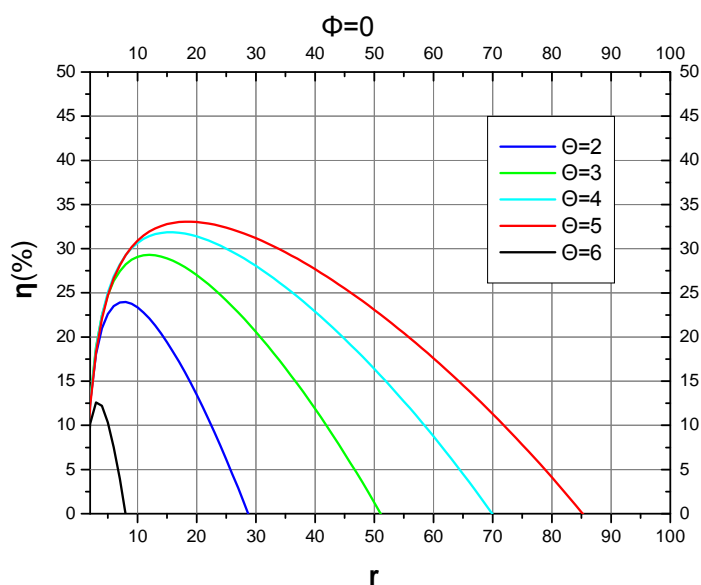
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 25 Ειδική ισχύς συναρτήσει λόγου πίεσης με υγρασία.

Η διάταξη αεριοστροβίλου με χωριστό στρόβιλο ισχύος και αναθέρμανση αυξάνει αρκετά τον βαθμό απόδοσης σε σχέση με την αντίστοιχη με κοινό άξονα και αναθέρμανση. Αν συγκριθεί με τον απλό αεριοστρόβιλο με χωριστό στρόβιλο ισχύος παρατηρείται μικρότερη απόδοση κάτι το οποίο αναμενόταν. Η υγρασία δεν επηρεάζει τον βαθμό απόδοσης και την ειδική ισχύ

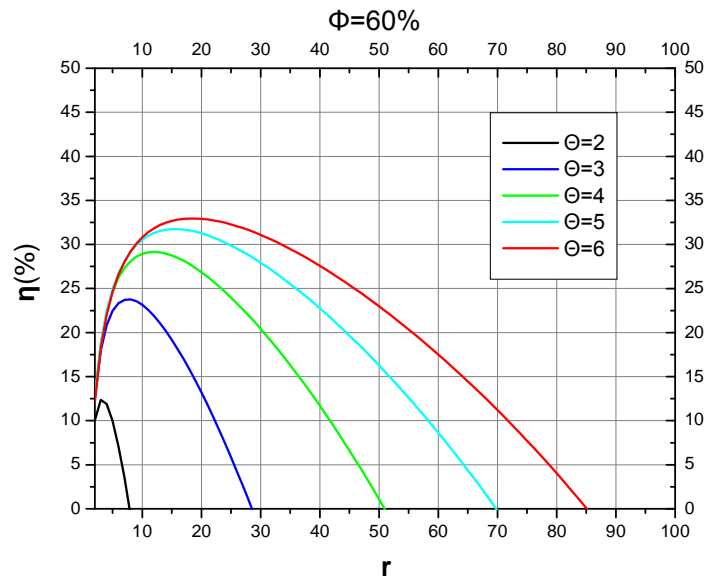


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 26 Βαθμός απόδοσης και ειδική ισχύς.

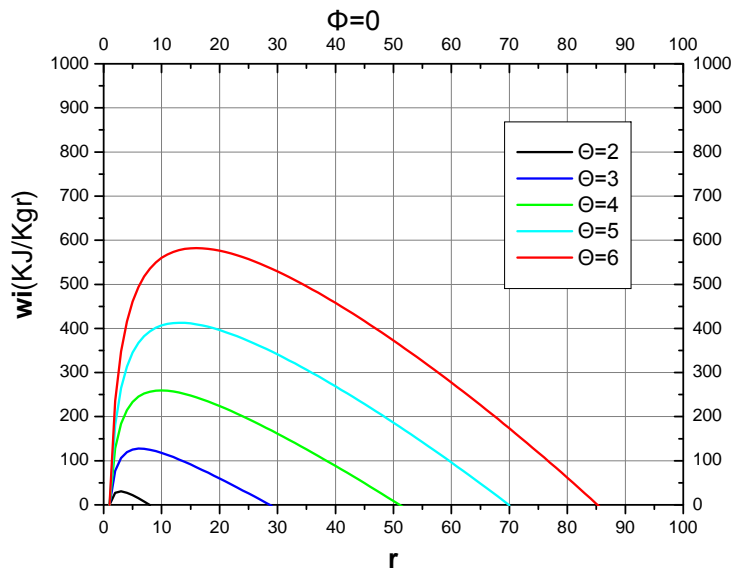
3.1.5 Διάταξη αεριοστροβίλου με ενδιάμεση ψύξη του αέρα (CICBT).



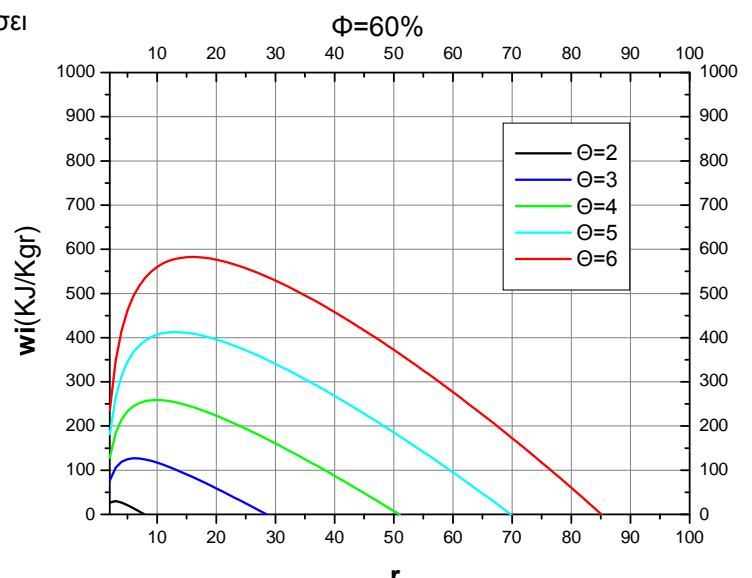
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 27 Βαθμός απόδοσης συναρτήσει λόγου πίεσης χωρίς υγρασία.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 28 Βαθμός απόδοσης συναρτήσει λόγου πίεσης με υγρασία.

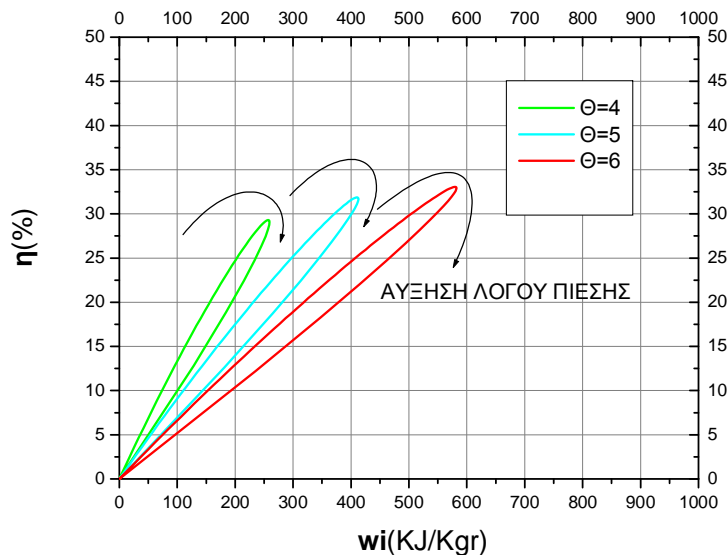


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 29 Ειδική ισχύς συναρτήσει λόγου πίεσης χωρίς υγρασία.



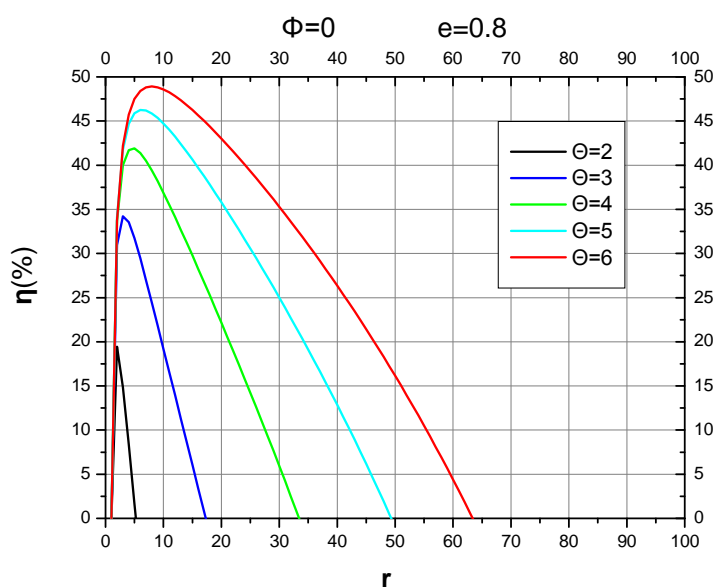
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 30 Ειδική ισχύς συναρτήσει λόγου πίεσης με υγρασία.

Στη διάταξη με ενδιάμεση ψύξη μεταξύ των συμπιεστών παρατηρείται βελτίωση της ειδικής ισχύος σε σχέση με τον απλό αεριοστρόβιλο καθώς μειώνεται η ισχύς που προσφέρεται στον συμπιεστή. Η απόδοση δεν μεταβάλλεται σημαντικά. Το μειονέκτημα αυτής της διατάξεως είναι η ποσότητα του ψυκτικού που πρέπει να χρησιμοποιηθεί καθώς και ο όγκος του ψυγείου. Η υγρασία δεν επηρεάζει.

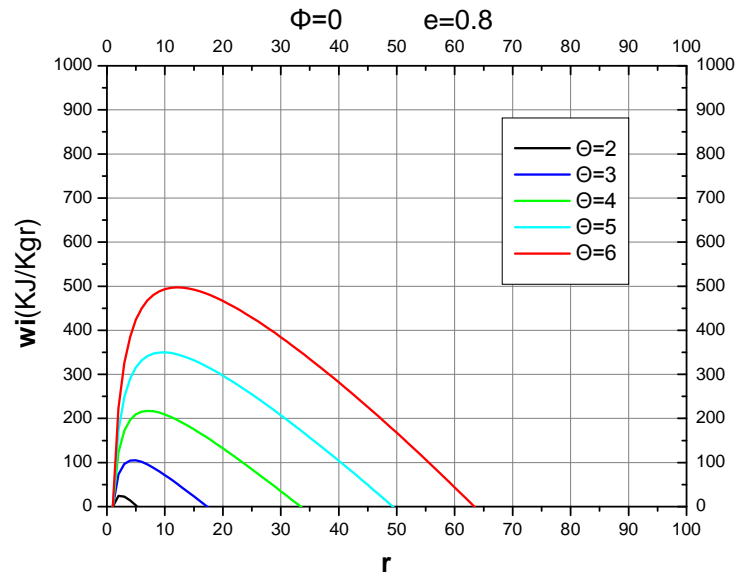


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 31 Βαθμός απόδοσης και ειδική ισχύς.

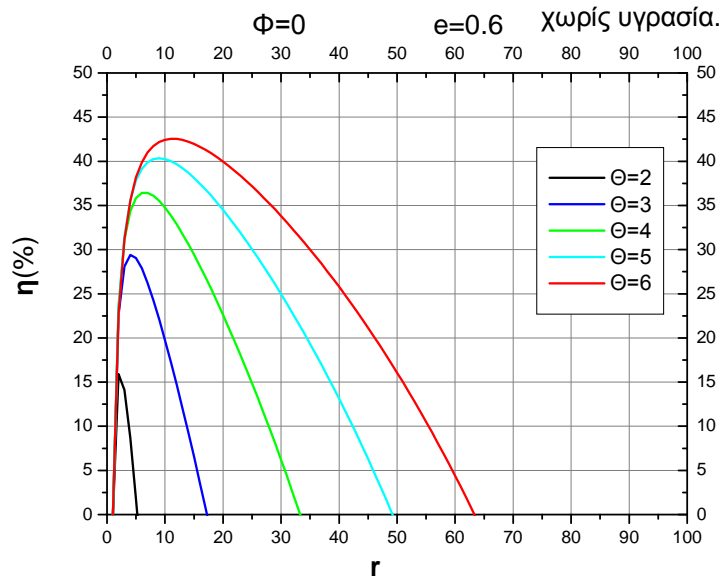
3.1.6 Διάταξη αεριοστρόβιλου με αναγεννητική προθέρμανση του αέρα (CBTX).



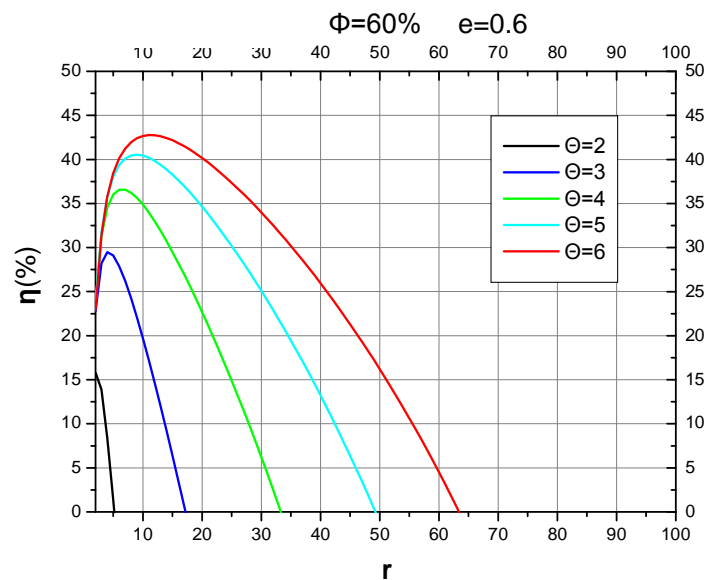
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 32 Βαθμός απόδοσης συναρτήσει λόγου πίεσης χωρίς υγρασία.



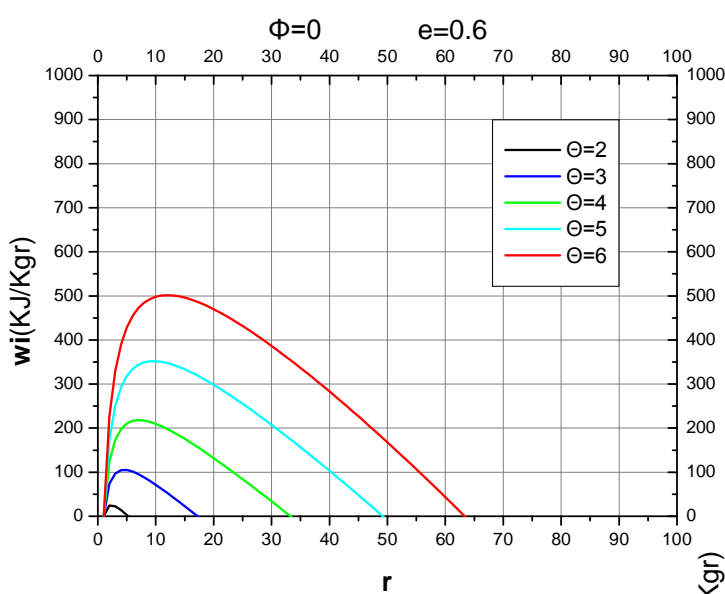
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 33 Ειδική ισχύς συναρτήσει λόγου πίεσης



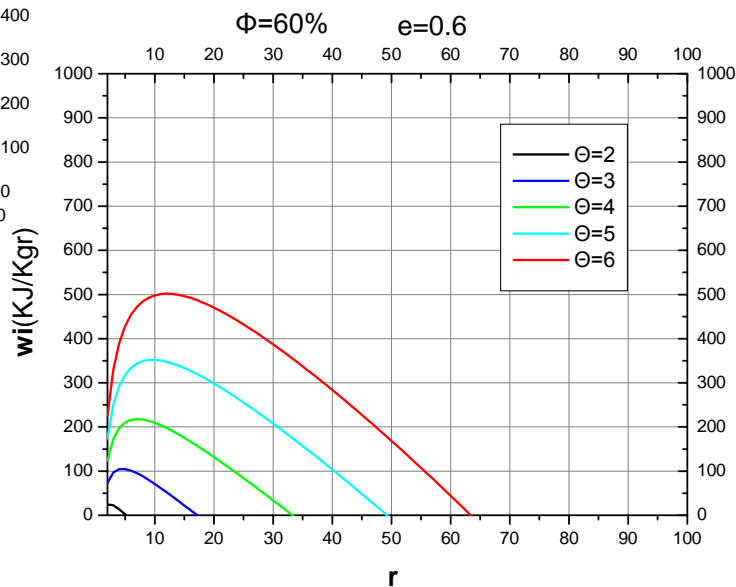
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 34 Βαθμός απόδοσης συναρτήσει λόγου πίεσης
χωρίς υγρασία.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 35 Βαθμός απόδοσης συναρτήσει λόγου πίεσης
με υγρασία.

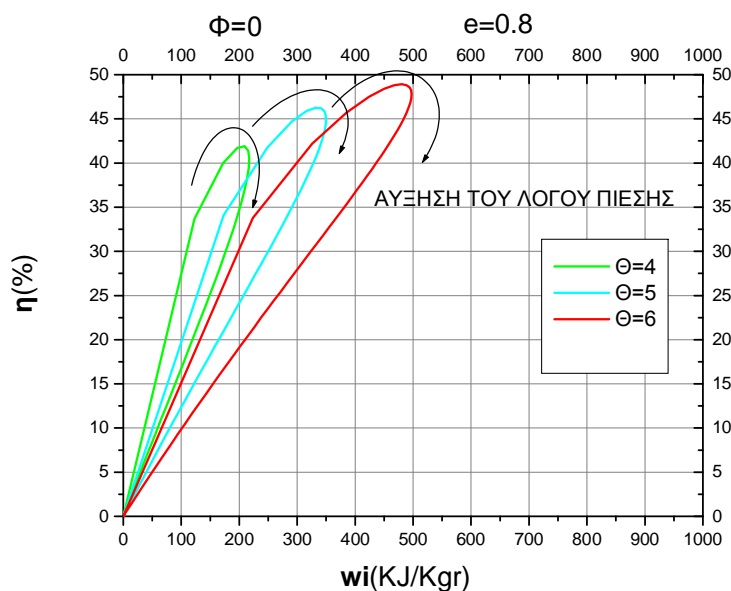


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 36 Ειδική ισχύς συναρτήσσει λόγου πίεσης χωρίς υγρασία.



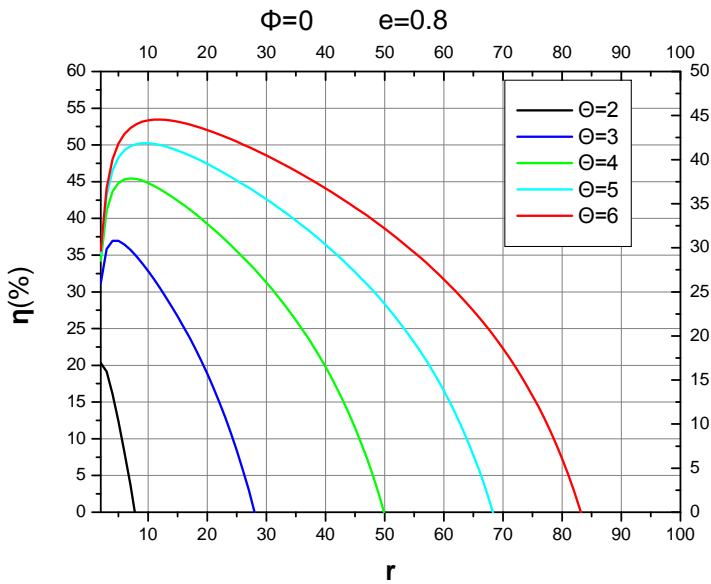
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 37 Ειδική ισχύς συναρτήσσει λόγου πίεσης με υγρασία.

Στην περίπτωση της χρησιμοποίησης ανακομιστή θερμότητας βελτιώνεται η θερμική απόδοση του κύκλου σημαντικά. Η βελτίωση αυτή είναι σημαντικότερη στους μικρούς λόγους πίεσης, στους οποίους η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ αέρα και καυσαερίου είναι μεγαλύτερη. Επίσης εξαρτάται αρκετά από την μέγιστη θερμοκρασία της διάταξης καθώς και από τον βαθμό εκμετάλλευσης του εναλλάκτη θερμότητας καυσαερίων. Παρατηρείται ελάχιστη αύξηση της ειδικής ισχύος στην περίπτωση αέρα με υγρασία.

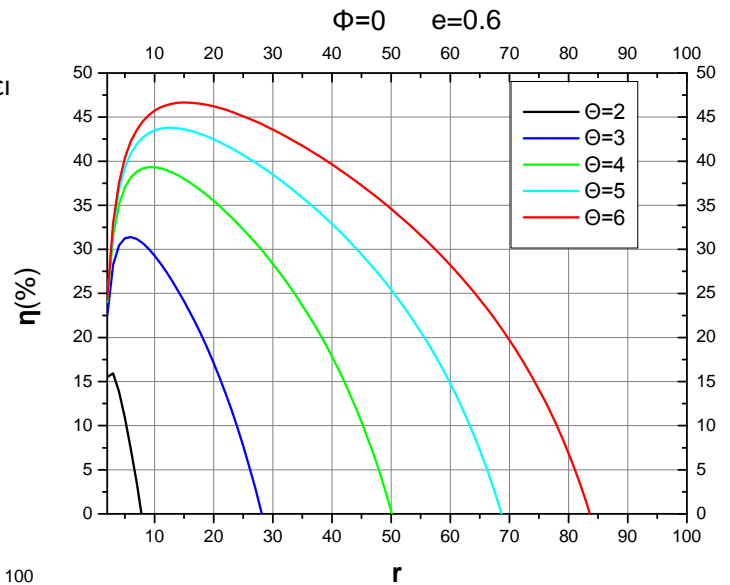


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 38 Βαθμός απόδοσης και ειδική Ισχύς.

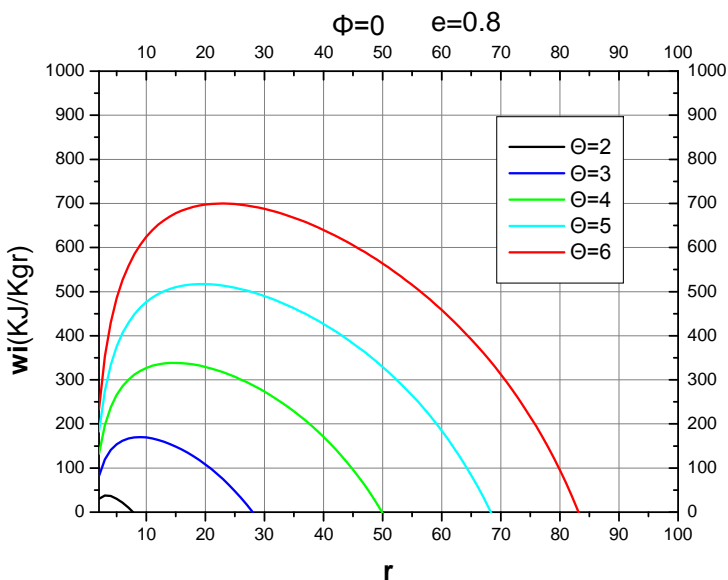
3.1.7 Διάταξη αεριοστροβίλου με ενδιάμεση ψύξη, αναγεννητική προθέρμανση του αέρα και αναθέρμανση(CICBRTX).



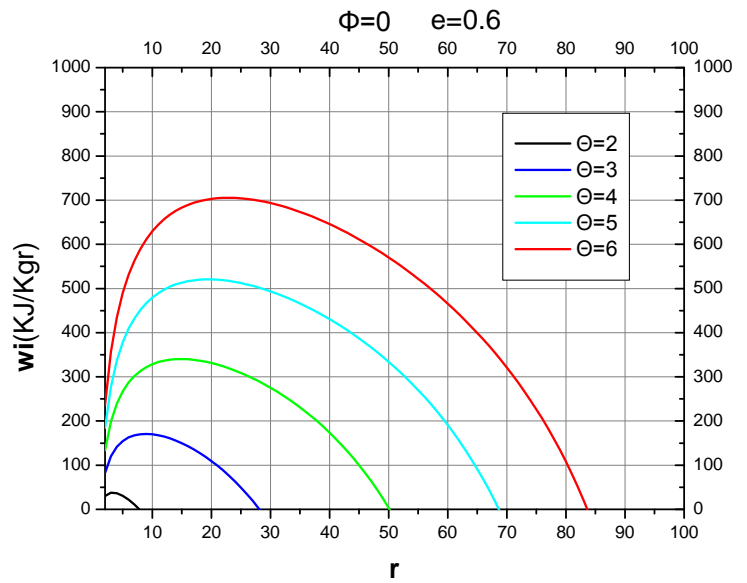
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 39 Βαθμός απόδοσης συναρτήσει λόγου πίεσης χωρίς υγρασία.



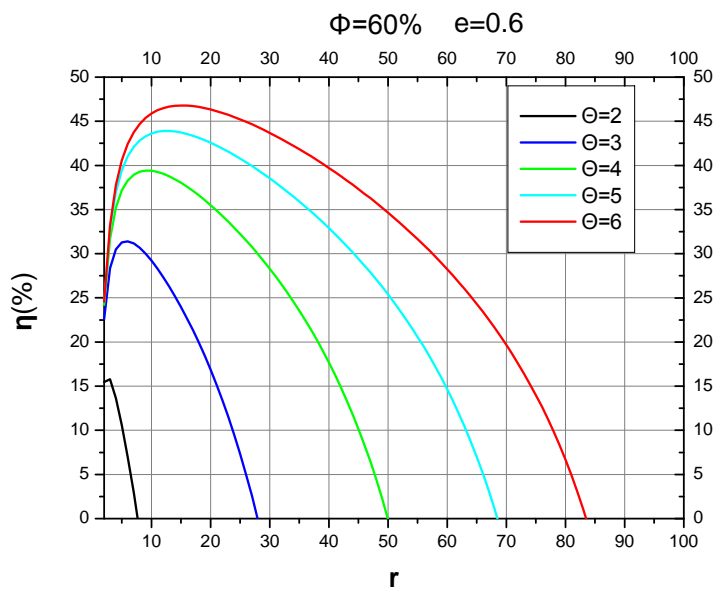
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 40 Βαθμός απόδοσης συναρτήσει λόγου πίεσης χωρίς υγρασία.



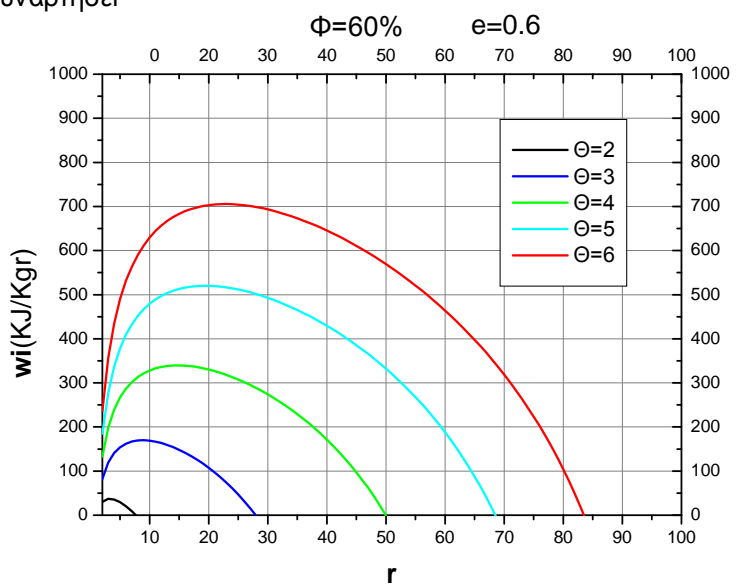
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 41 Ειδική ισχύς συναρτήσει λόγου πίεσης χωρίς υγρασία.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 42 Ειδική ισχύς συναρτήσει λόγου πίεσης χωρίς υγρασία.

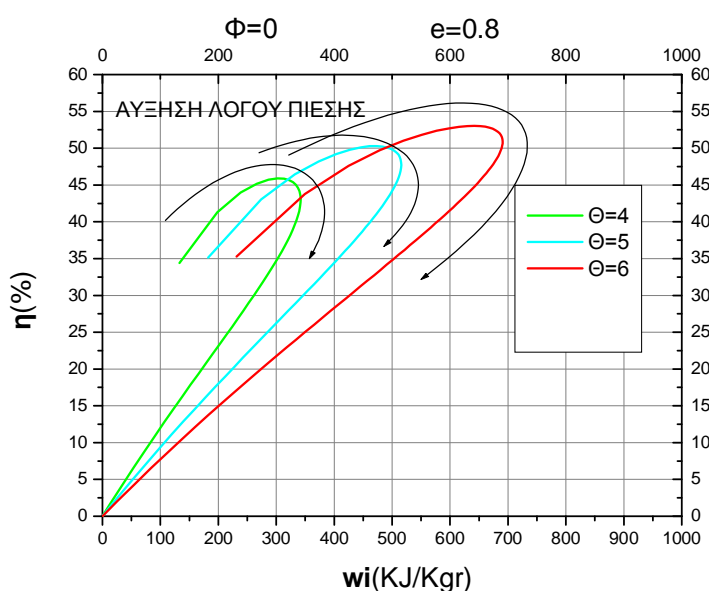


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 43 Βαθμός απόδοσης συναρτήσει λόγου πίεσης με υγρασία.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 44 Ειδική ισχύς συναρτήσει λόγου πίεσης με υγρασία.

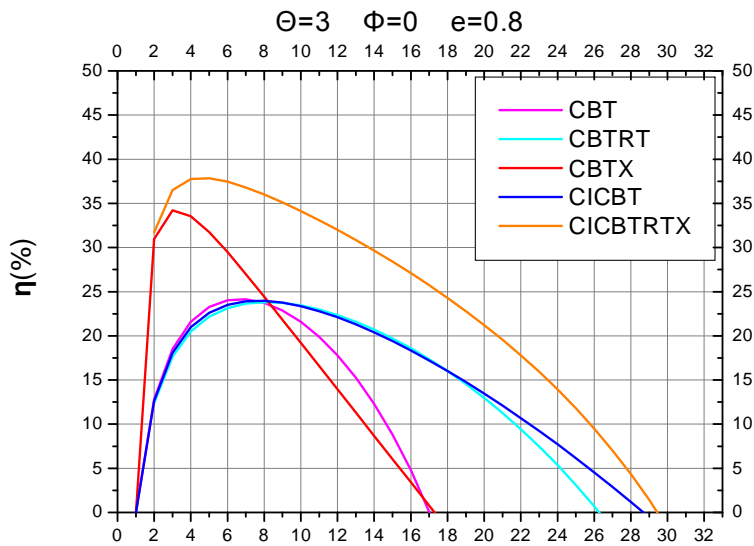
Στην περίπτωση της σύνθετης διάταξης το μειονέκτημα της αναθέρμανσης αντισταθμίζεται από την χρησιμοποίηση του ανακομιστή θερμότητας καθώς και με την ψυκτική διάταξη και έτσι ο κύκλος γίνεται αποδοτικός. Γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση των καυσαερίων σε σχέση με την απλή αναγεννητική διάταξη. Η υγρασία επηρεάζει ελάχιστα την ειδική ισχύ και τον βαθμό απόδοσης. Υπάρχει αύξηση της απόδοσης με την αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας του κύκλου και με τον βαθμό εκμετάλλευσης του εναλλάκτη θερμότητας.



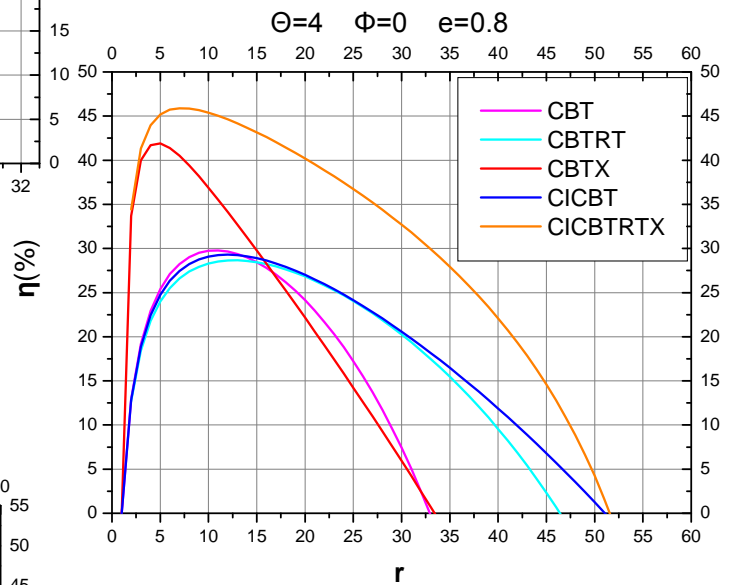
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 45 Βαθμός απόδοσης και ειδική ισχύς.

3.2 Σύγκριση Διατάξεων Αεριοστροβίλου

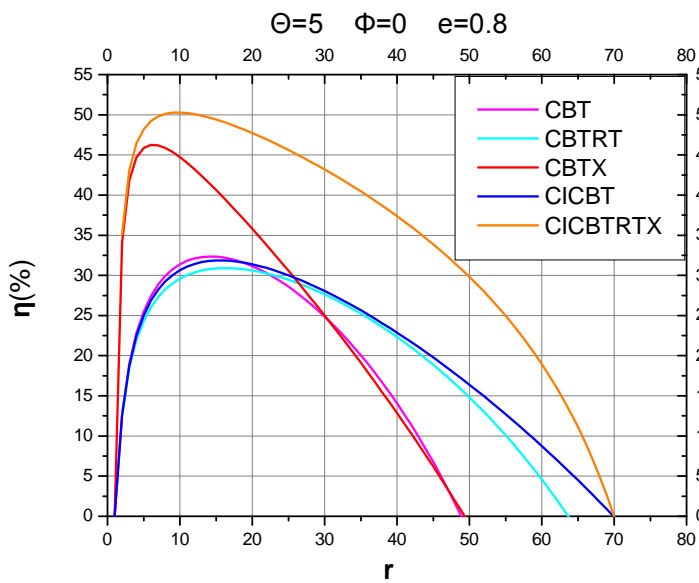
Στην ενότητα αυτή δείχνεται με διαγράμματα η σύγκριση των διαφόρων διατάξεων αεριοστροβίλων σε σχέση με τα ενεργειακά τους χαρακτηριστικά για διάφορους λόγους πίεσης και μέγιστης θερμοκρασίας διάταξης. Έτσι χαράζονται σε κοινά διαγράμματα ο απλός κύκλος, ο κύκλος με αναθέρμανση χωρίς στρόβιλο ισχύος, ο αναγεννητικός κύκλος, ο κύκλος με ενδιάμεση ψύξη καθώς και η σύνθετη διάταξη.



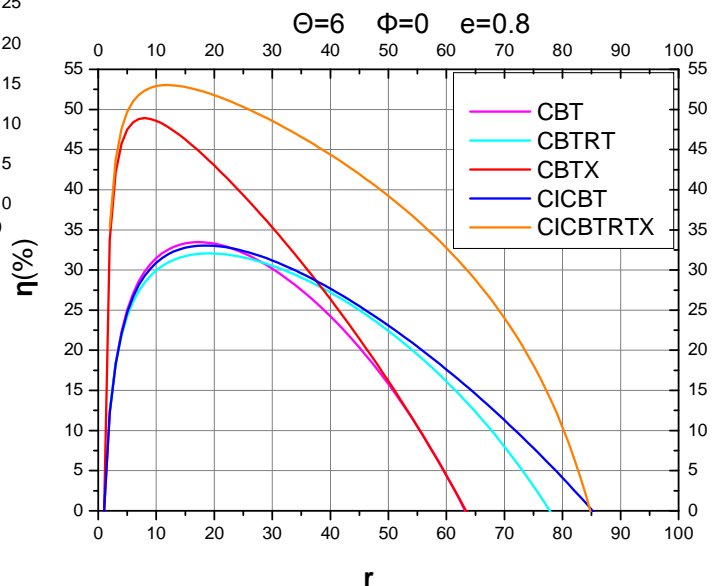
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 46 Βαθμός Απόδοσης
ΣυναρτήσεΙ Λόγου Πίεσης χωρίς υγρασία.



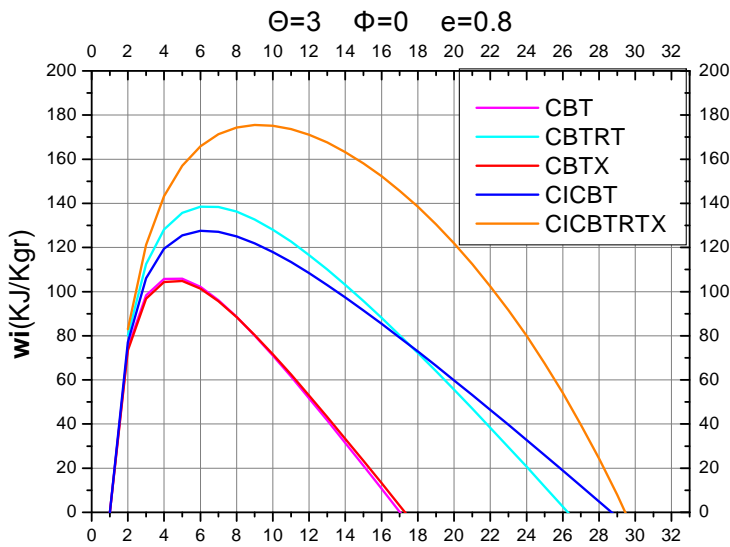
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 47 Βαθμός Απόδοσης
ΣυναρτήσεΙ Λόγου Πίεσης χωρίς υγρασία.



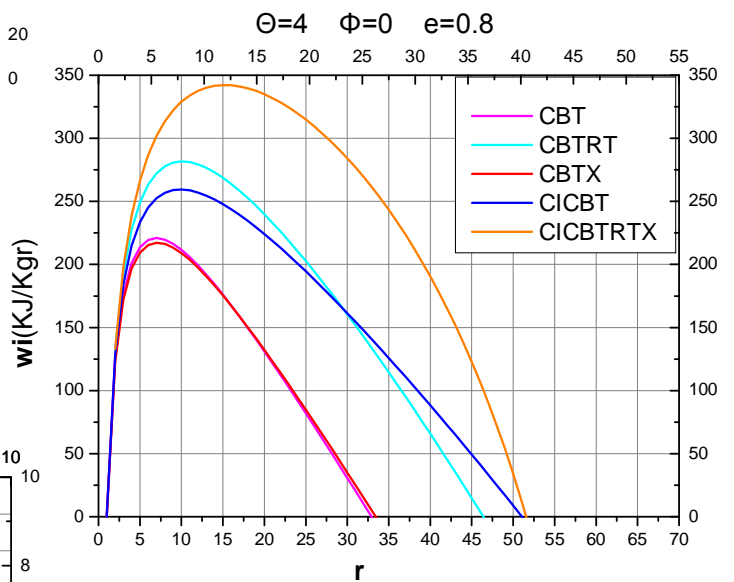
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 48 Βαθμός Απόδοσης
ΣυναρτήσεΙ Λόγου Πίεσης
χωρίς υγρασία.



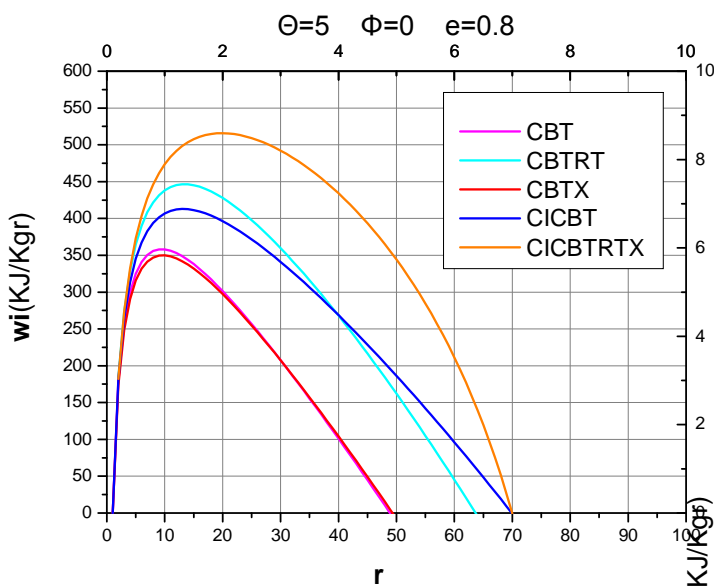
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 49 Βαθμός Απόδοσης ΣυναρτήσεΙ
Λόγου Πίεσης χωρίς υγρασία.



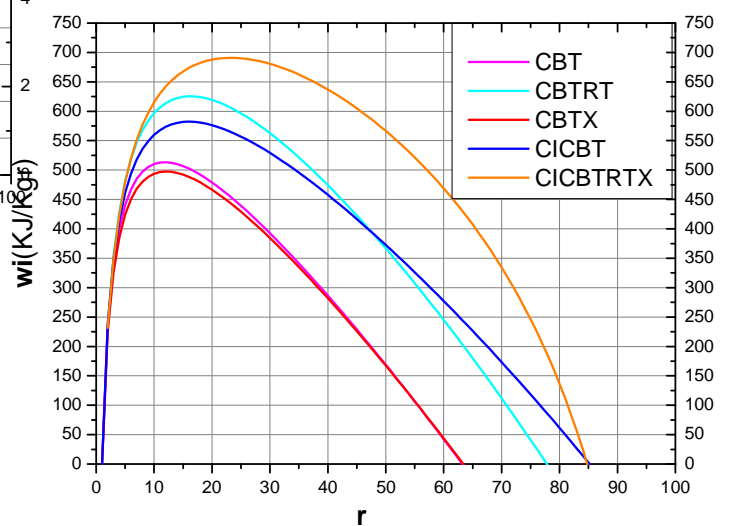
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 50 Ειδική Ισχύς
Συναρτήσει
Λόγου Πίεσης χωρίς υγρασία.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 51 Ειδική Ισχύς Συναρτήσει
Λόγου Πίεσης χωρίς υγρασία.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 52 Ειδική Ισχύς Συναρτήσει
Λόγου Πίεσης χωρίς υγρασία.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 53 Ειδική Ισχύς
Συναρτήσει Λόγου Πίεσης
χωρίς υγρασία.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα διαγράμματα της Ενότητας 3.2 διαφαίνεται ότι οι διατάξεις αεριοστροβίλων παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε ό,τι αφορά τα θερμοδυναμικά τους χαρακτηριστικά. Παρατηρείται ότι υψηλή απόδοση δεν συμβαδίζει και με υψηλή ειδική ισχύ όπως γίνεται με την αναγεννητική διάταξη που παρουσιάζει αρκετά μεγάλη απόδοση με ειδική ισχύ μικρότερη όμως, από την διάταξη με ενδιάμεση ψύξη και από αυτήν με αναθέρμανση. Αντίθετα η αναθέρμανση παρουσιάζει χαμηλό βαθμό απόδοσης. Άλλωστε χρησιμοποιείται και περισσότερο καύσιμο, με ικανοποιητική όμως ειδική ισχύ. Στους χαμηλούς λόγους πίεσης υπερτερεί σε βαθμό απόδοσης η αναγεννητική διάταξη, αφού προθερμαίνει τον αέρα εισαγωγής κι έτσι δεν χρειάζεται μεγάλη συμπίεση προκειμένου να φτάσει στο βέλτιστο σημείο. Στους υψηλούς λόγους πίεσης και από πλευράς ειδικής ισχύος και από βαθμό απόδοσης καλύτερα χαρακτηριστικά έχουν η ενδιάμεση ψύξη και η σύνθετη διάταξη. Στις υψηλές θερμοκρασίες εξόδου από τον θάλαμο καύσης ο απλός αεριοστροβίλος και αυτός με αναθέρμανση αναλογικά έχουν ικανοποιητικές επιδόσεις, ενώ στις χαμηλές από πλευράς απόδοσης η αναγεννητική διάταξη υπερισχύει. Οι κύκλοι χωρίς εναλλάκτη παρουσιάζουν μεγαλύτερη αποδοτικότητα σε μεγαλύτερους λόγους πίεσης, ενώ η σύνθετη διάταξη δίνει καλύτερη ισχύ σε μεγάλες πιέσεις.

Η υγρασία του αέρα εισαγωγής στον συμπιεστή δεν είχε συνέπειες στον βαθμό απόδοσης ή στην ειδική ισχύ. Υπάρχει όμως η περίπτωση βλαβών στα εξαρτήματα του αεριοστροβίλου.

Από την προσθήκη διαφόρων συστημάτων (αναθέρμανση, ενδιάμεση ψύξη, θερμικοί εναλλακτες) στον απλό κύκλο μπορούν να προκύψουν διάφορες διατάξεις και σχηματισμοί. Το κριτήριο πολλές φορές όμως μπορεί να είναι οικονομικό, κατασκευαστικό, λειτουργικότητα ή και χωροταξικό.

5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΣΥΝΕΧΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ

Κατά τη μελέτη που έγινε στις διατάξεις αεριοστροβίλου θα μπορούσαν να εισαχθούν στοιχεία όπως η πτώση πίεσης ανάμεσα στις βαθμίδες των διατάξεων κάτι το οποίο θα είχε επίδραση στον λόγο πίεσης και κατά συνέπεια στον βαθμό απόδοσης και στην ειδική ισχύ. Ένα άλλο στοιχείο το οποίο θα μπορούσε να ληφθεί υπ'όψη είναι η θερμοκρασία εισόδου του συμπιεστή όπου θα επηρέαζε τόσο τον βαθμό απόδοσης όσο και την ειδική ισχύ. Η λειτουργία υπό μερικό φορτίο θα είχε αρνητικές συνέπειες για τον βαθμό απόδοσης και θα φαινόταν καλύτερα το πλεονέκτημα των σύνθετων διατάξεων αφού παρουσιάζουν σταθερό βαθμό απόδοσης στην λειτουργία υπό μερικό φορτίο. Μια άλλη παράμετρος που μπορεί να μεταβληθεί είναι οι ατμοσφαιρικές συνθήκες στις οποίες εργάζεται ένας αεριοστροβίλος. Γενικά είναι δυνατό να μεταβληθούν αρκετές από τις παραδοχές του προβλήματος και να εξαχθούν συμπεράσματα για τις διάφορες διατάξεις αεριοστροβίλου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α (ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ MATLAB)

Υπολογισμός των ειδικών θερμοχωρητικότητων των στοιχείων του καυσαερίου:

C_p CO_2

```
function y=cprco2(T)
if T<=1000
a1=49436.5054;
a2=-626.411601;
a3=5.30172524;
a4=0.002503814;
a5=-0.000000212731;
a6=-0.000000000768999;
a7=0.0000000000002849683;
else
a1=117696.2419;
a2=-1788.791477;
a3=8.29152319;
a4=-0.0000922316;
a5=0.00000000486368;
a6=-0.00000000000189105;
a7=6.33004E-16;
end
r1=8.31451;
MBco2=44.0095;
b=(a1*T^2+a2*T^1+a3+a4*T+a5*T^2+a6*T^3+a7*T^4)*r1;
y=b/MBco2;
end
```

C_p H_2O

```
function y=cph2o(T)
if T<=1000
a1=-39479.6083;
a2=575.573102;
a3=0.931782653;
a4=0.007222713;
a5=-0.00000734256;
a6=0.00000000495504;
a7=-0.00000000000133693;
else
a1=1034972.096;
```

```

a2=-2412.698562;
a3=4.64611078;
a4=0.002291998;
a5=-0.000000683683;
a6=0.000000000942647;
a7=-1.06195E-15;
end
r1=8.31451;
MBh2o=18.01528;
b=(a1*T^2+a2*T^1+a3+a4*T+a5*T^2+a6*T^3+a7*T^4)*r1;
y=b/MBh2o;

```

C_P NO₂

```

function y=cpno2(T)
if T<=1000
a1=-5.642038780E+04;
a2=9.633085720E+02;
a3=-2.434510974E+00 ;
a4=1.927760886E-02;
a5=-1.874559328E-05;
a6=9.145497730E-09;
a7=-1.777647635E-12;
else
a1=7.213001570E+05;
a2=-3.832615200E+03 ;
a3=1.113963285E+01;
a4=-2.238062246E-03 ;
a5=6.547723430E-07;
a6=-7.611335900E-11;
a7=3.328361050E-15 ;
end
r1=8.31451;
MBno2=46.0055;
b=(a1*T^2+a2*T^1+a3+a4*T+a5*T^2+a6*T^3+a7*T^4)*r1;
y=b/MBno2;
end

```

C_P N₂

```

function y=cpn2(T)
if T<=1000
a1=2.2103714970E+04;
a2=-3.8184618200E+02;
a3=6.0827383600;
a4=-8.5309144100E-03;
a5=1.3846461890E-05;
a6=-9.6257936200E-09;
a7=2.5197058090E-12;
else

```

```

a1=587712.406;
a2=-2239.249073;
a3=6.06694922;
a4=-0.000613969;
a5=0.000000149181;
a6=-0.0000000000192311;
a7=-1.06195E-15;
end
r1=8.31451;
MBn2=28.0134;
b=(a1*T^2+a2*T^1+a3+a4*T+a5*T^2+a6*T^3+a7*T^4)*r1;
y=b/MBn2;

```

C_P O₂

```

function y=cpo2(T)
if T<=1000
a1=-3.4255634200E+04;
a2=4.8470009700E+02;
a3=1.1190109610;
a4=4.2938892400E-3;
a5=-6.8363005200E-07;
a6=-2.0233727000E-09;
a7=1.0390400180E-12;
else
a1=-1.0379390220E+06;
a2=2.3448302820E+03;
a3=1.8197320360;
a4=1.2678475820E-03;
a5=-2.1880679880E-07;
a6=2.0537195720E-11;
a7=-8.1934670500E-16;
end

r1=8.31451;
MBo2=31.9988;
b=(a1*T^2+a2*T^1+a3+a4*T+a5*T^2+a6*T^3+a7*T^4)*r1;
y=b/MBo2;

```

C_P SO₂

```

function y=cpso2(T)
if T<=1000
a1=-53108.4214;
a2=909.031167;
a3=-2.356891244;
a4=0.022044499;
a5=-0.0000251078;
a6=0.000000014463;
a7=-0.00000000000336907;

```



```

else
a1=-112764.0116;
a2=-825.226138;
a3=7.61617863;
a4=-0.000199933;
a5=0.0000000565563;
a6=-0.00000000000545432;
a7=2.91829E-16;
end
R=8.31451;
MBso2=64.0638;
b=(a1*T^2+a2*T^1+a3+a4*T+a5*T^2+a6*T^3+a7*T^4)*R;
y=b/MBso2;

```

Μοριακές Μάζες του αέρα και του καυσαερίου συναρτήσσει και της υγρασίας.

Αέρας:

```

function y=Mair(fi)
T1=298.16;
pws=10^(28.59051-8.2*log10(T1)+0.0024804*(T1)-
3142.31/(T1));
m=0.622*((fi*pws)/(1-fi*pws));
Mm=1/[(m/18.01528)+(((1-m)*0.231)/31.9988)+(((1-
m)*0.769)/28.0134)];
xh2o=(m/18.01528)*Mm;
xn2=(((1-m)*0.769)/28.0134)*Mm;
xo2=(((1-m)*0.231)/31.9988)*Mm;
y=xh2o*18.01528+xn2*28.0134+xo2*31.9988;

```

Καυσαέριο χωρίς υγρασία στην ατμόσφαιρα συναρτήσσει του λόγου καυσίμου αέρα:

```

function y=Mgas1(f)
c=0.07238;
h=0.06438;
s=0.0000187;
n=0.00000713;
nco2=c;
nh2o=h;
nso2=s;
w=1/[f*(31.9988+3.7619*28.0134)];
K=(c+h+s+n+4.7619*w-0.1046)/1.0000125;
nno2=0.000025*K;
no2=w-0.1046+n-nno2;
nn2=w*3.7619+n-(nno2/2);
A=nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2;
xco2=nco2/(nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2);
xh2o=nh2o/(nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2);

```

```

xo2=no2/(nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2);
xn2=nn2/(nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2);
xno2=nno2/(nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2);
xso2=nso2/(nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2);
y=xco2*44.0095+xh2o*18.01528+xo2*31.9988+xn2*28.0133+
xno2*46.0055+xso2*64.0638;

```

Καυσαέριο με υγρασία στην ατμόσφαιρα συναρτήσει του λόγου καυσίμου αέρα:

```

function y=Mgas2(f)
c=0.07238;
h=0.06438;
s=0.0000187;
n=0.00000713;
T1=298.16;
fi=0.6;
pws=10^(28.59051-8.2*log10(T1)+0.0024804*(T1)-
3142.31/(T1));
m=0.622*((fi*pws)/(1-fi*pws));
Mm=1/[(m/18.01528)+(((1-m)*0.231)/31.9988)+(((1-
m)*0.769)/28.0134)];
x=(m/18.01528)*Mm;
w=1/[f*(31.9988+3.7619*28.0134)];
nco2=c;
nh2o=h+w*x;
nso2=s;
K=(c+h+s+n+w*(4.7619+1.5*x)-0.1061)/1.0000125
nno2=0.000025*K;
no2=w-0.1061+(w*x)/2-nno2;
nn2=w*3.7619+n-(nno2/2);
A=nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2;
xco2=nco2/(nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2);
xh2o=nh2o/(nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2);
xo2=no2/(nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2);
xn2=nn2/(nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2);
xno2=nno2/(nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2)
xso2=nso2/(nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2);
y=xco2*44.0095+xh2o*18.01528+xo2*31.9988+xn2*28.0133+
xno2*46.0055+xso2*64.0638;

```

Υπολογισμός των ειδικών θερμοχωρητικοτήτων του αέρα και του καυσαερίου συναρτήσει του λόγου καυσίμου αέρα, της θερμοκρασίας και της υγρασίας της ατμόσφαιρας:

Αέρας χωρίς υγρασία:

```

function y=cpa(T)
y=0.79*cpn2(T)+0.21*cpo2(T);
end

```

Αέρας με υγρασία 60%:

```

function y=cpa2(T)
T1=298.16;
fi=0.6;
pws=10^(28.59051-8.2*log10(T1)+0.0024804*(T1)-
3142.31/(T1));
m=0.622*((fi*pws)/(1-fi*pws));
Mm=1/[(m/18.01528)+(((1-m)*0.231)/31.9988)+(((1-
m)*0.769)/28.0134)];
xh2o=(m/18.01528)*Mm;
xn2=(((1-m)*0.769)/28.0134)*Mm;
xo2=(((1-m)*0.231)/31.9988)*Mm;
y=xn2*cpn2(T)+xo2*cpo2(T)+xh2o*cph2o(T);

```

Καυσαέριο χωρίς υγρασία:

```

function y=cpgas1(f,T)
c=0.07238;
h=0.06439;
s=0.0000187;
n=0.00000713;
nco2=c;
nh2o=h;
nso2=s;
w=1/[f*(31.9988+3.7619*28.0134)];
K=(c+h+s+n+4.7619*w-0.1046)/1.0000125;
nno2=0.000025*K;
no2=w-0.1046-nno2;
nn2=w*3.7619+n-(nno2/2);
xco2=nco2/(nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2);
xh2o=nh2o/(nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2);
xo2=no2/(nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2);
xn2=nn2/(nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2);
xno2=nno2/(nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2);
xso2=nso2/(nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2);
y=xco2*cpc2(T)+xh2o*cph2o(T)+xo2*cpo2(T)+xn2*cpn2(T)+x
no2*cpno2(T)+xso2*cps2(T);

```

Καυσαέριο με υγρασία 60%:

```

function y=cpgas2(f,T)
T1=298.16;
fi=0.6;
pws=10^(28.59051-8.2*log10(T1)+0.0024804*(T1)-
3142.31/(T1));
m=0.622*((fi*pws)/(1-fi*pws));

```

```

Mm=1/[(m/18.01528)+(((1-m)*0.231)/31.9988)+(((1-
m)*0.769)/28.0134)];
x=(m/18.01528)*Mm;
w=1/[f*(31.9988+3.7619*28.0134)];
c=0.07238;
h=0.06438;
s=0.0000187;
n=0.00000714;
nco2=c;
nh2o=h+w*x;
nso2=s;
K=(c+h+s+n+w*(4.7619+1.5*x)-0.1061)/1.0000125
nno2=0.000025*K;
no2=w-0.1061+(w*x)/2-nno2;
nn2=w*3.7619+n-(nno2/2);
xco2=nco2/(nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2);
xh2o=nh2o/(nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2);
xo2=no2/(nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2);
xn2=nn2/(nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2);
xno2=nno2/(nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2);
xso2=nso2/(nco2+nh2o+no2+nn2+nso2+nno2);
y=xco2*cpc2(T)+xh2o*cph2o(T)+xo2*cpo2(T)+xn2*cpn2(T)+x
no2*cpno2(T)+xso2*cpso2(T);

```

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΚΥΚΛΩΝ

Τα προγράμματα που ακολουθούν υπολογίζουν τον βαθμό απόδοσης και την ειδική ισχύ συναρτήσεως του λόγου πίεσης και της μέγιστης θερμοκρασίας του κύκλου (αναφέρονται με 0 % υγρασία της ατμόσφαιρας).

CBT

```

function [wi,n]=cbt(Tmax , r )
nc=0.91-((r-1)/300);
nt=0.9-((r-1)/250);
nm=0.98;
T1=298;
T2b=T1;
cp=cpa2(T1);
g=cp/(cp-(8.314/Mair(0)));
T2=T1*(1+(1/nc)*(r^(g-1)/g)-1);
cp12=cpa2((T1+T2)/2);

```

```

while abs(T2b-T2)>1e-1
cp12=cpa2((T1+T2)/2)
g=cp12/(cp12-(8.314/Mair(0)));
T2b=T2;
T2=T1*(1+(1/nc)*(r^(g-1)/g)-1);
end
T2;
cp12;
g;
wc=(cp12/nc)*T1*(r^(g-1)/g)-1);
cp2=cpa2((T1+T2)/2);
cp3=cpa2((Tmax+T1)/2);
f1=[cp3*(Tmax-T1)-cp2*(T2-T1)]/[42640-cp3*(Tmax-T1)];
cp13=cpgas2(f1,(Tmax+T1)/2);
f2=[cp13*(Tmax-T1)-cp2*(T2-T1)]/[42640-cp13*(Tmax-T1)];
while abs(f2-f1)>1E-04
cp13=cpgas2(f2,(Tmax+T1)/2);
f1=[cp13*(Tmax-T1)-cp2*(T2-T1)]/[42640-cp13*(Tmax-T1)];
cp13=cpgas2(f1,(Tmax+T1)/2);
f2=[cp13*(Tmax-T1)-cp2*(T2-T1)]/[42640-cp13*(Tmax-T1)];
end
f2;
cp13;
Rg=8.314/Mgas2(f2);
T4b=Tmax;
cp34=cpgas2(f2,Tmax);
g=cp34/(cp34-Rg);
T4=Tmax*(1-nt*(1-r^(g-1)/(-g)));
cp34=cpgas2(f2,(Tmax+T4)/2);
while abs(T4b-T4)>1e-1
cp34=cpgas2(f2,(Tmax+T4)/2);
g=cp34/(cp34-Rg);
T4b=T4;
T4=Tmax*(1-nt*(1-r^(g-1)/(-g)));
end
T4;
cp34;
g;
wt=(1+f2)*cp34*nt*Tmax*(1-r^(g-1)/(-g))
wi=nm*(wt-wc);
n=wi/(f2*42640)

```

CBTRT

```

function [wi,n]=cbtrt(Tmax , r )
nc=0.91-((r-1)/300);
nt=0.9-((r-1)/250);
nm=0.98;
T1=298;

```

```

T2b=T1;
cp=cpa2(T1);
R=8.314/(Mair(0));
g=cp/(cp-R);
T2=T1*(1+(1/nc)*(r^((g-1)/g)-1));
cp12=cpa2((T1+T2)/2);
while abs(T2b-T2)>1e-1
cp12=cpa2((T1+T2)/2);
g=cp12/(cp12-R);
T2b=T2;
T2=T1*(1+(1/nc)*(r^((g-1)/g)-1));
end
T2;
cp12;
g=cp12/(cp12-R);
wc=(cp12/nc)*T1*(r^((g-1)/g)-1);
cp2=cpa2((T1+T2)/2);
cp3=cpa2((Tmax+T1)/2);
f1=[cp3*(Tmax-T1)-cp2*(T2-T1)]/[42640-cp3*(Tmax-T1)];
cp13=cpgas2(f1,(Tmax+T1)/2);
f2=[cp13*(Tmax-T1)-cp2*(T2-T1)]/[42640-cp13*(Tmax-T1)];
while abs(f2-f1)>1e-04
cp13=cpgas2(f2,(Tmax+T1)/2);
f1=[cp13*(Tmax-T1)-cp2*(T2-T1)]/[42640-cp13*(Tmax-T1)];
cp13=cpgas2(f1,(Tmax+T1)/2);
f2=[cp13*(Tmax-T1)-cp2*(T2-T1)]/[42640-cp13*(Tmax-T1)];
end
f2;
cp13;
T4b=Tmax;
cp4=cpgas2(f1,Tmax);
g=cp4/(cp4-(8.314/Mgas2(f1)));
r34=sqrt(r);
T4=Tmax*(1-nt*(1-r34^((g-1)/(-g))));
cp34=cpgas2(f2,(Tmax+T4)/2);
while abs(Tmax-T4b)>1e-1
cp34=cpgas2(f2,(Tmax+T4)/2);
g=cp34/(cp34-(8.314/Mgas1(f2)));
T4b=T4;
T4=Tmax*(1-nt*(1-r34^((g-1)/(-g))));
end
T4;
cp34;
g=cp34/(cp34-(8.314/Mgas2(f2)));
wt1=(1+f2)*cp34*(Tmax-T4)
A=cp34*(Tmax-T4)*0.98
cp2=cpgas2(f2,(T4+T1)/2);
cp3=cpgas2(f2,(Tmax+T1)/2);
f3=[cp3*(Tmax-T1)-cp2*(T4-T1)]/[42640-cp3*(Tmax-T1)];
cp15=cpgas2(f3,(Tmax+T1)/2);

```

```

f4=[cp15*(Tmax-T1)-cp2*(T4-T1)]/[42640-cp15*(Tmax-T1)];
while abs(f4-f3)>1e-09
cp15=cpgas2(f4,(Tmax+T1)/2);
f3=[cp15*(Tmax-T1)-cp2*(T4-T1)]/[42640-cp15*(Tmax-T1)];
cp15=cpgas2(f3,(Tmax+T1)/2);
f4=[cp15*(Tmax-T1)-cp2*(T4-T1)]/[42640-cp15*(Tmax-T1)];
end
f4;
cp15;
T6b=Tmax;
cp56=cpgas2(f4,Tmax);
g=cp56/(cp56-(8.314/Mgas2(f4)));
r56=sqrt(r);
T6=Tmax*(1-nt*(1-r56^((g-1)/(-g))));
cp56=cpgas2(f4,(Tmax+T6)/2);
while abs(T6b-T6)>1e-1
cp56=cpgas2(f4,(Tmax+T6)/2);
g=cp56/(cp56-(8.314/Mgas2(f4)));
T6b=T6;
T6=Tmax*(1-nt*(1-r56^((g-1)/(-g))));
end
T6;
cp56;
wt2=(1+f2)*(1+f4)*cp56*(Tmax-T6)
f=f4+f2;
wi=(wt1+wt2-wc)*nm;
n=wi/[42640*(f4+f2+f4*f2)]

```

CICBT

```

function [wi,n]=cicbt(Tmax ,r )
nc=0.91-((r-1)/300);
nt=0.9-((r-1)/250);
nm=0.98;
T1=298;
T2b=T1;
cp=cpa2(T1);
Ra=8.314/Mair(0);
g=cp/(cp-Ra);
r12=sqrt(r);
T2=T1*(1+(1/nc)*(r12^((g-1)/g)-1));
cp12=cpa2((T1+T2)/2);
while abs(T2b-T2)>1e-1
cp12=cpa2((T1+T2)/2);
g=cp12/(cp12-Ra);
T2b=T2;
T2=T1*(1+(1/nc)*(r12^((g-1)/g)-1));
end
T2;
cp12;

```

```

g;
wc1=(cp12/nc)*T1*(r12^((g-1)/g)-1);
T3=T1+10;
T4b=T3;
cp=cpa2(T3);
Ra=8.314/Mair(0);
g=cp/(cp-Ra);
r34=sqrt(r);
T4=T3*(1+(1/nc)*(r34^((g-1)/g)-1));
cp34=cpa2((T3+T4)/2);
while abs(T4b-T4)>1e-1
cp34=cpa2((T3+T4)/2);
g=cp34/(cp34-Ra);
T4b=T4;
T4=T3*(1+(1/nc)*(r34^((g-1)/g)-1));
end
T4;
cp34;
g;
wc2=(cp34/nc)*T3*(r34^((g-1)/g)-1);
cp2=cpa2((T1+T4)/2);
cp3=cpa2((Tmax+T1)/2);
f1=[cp3*(Tmax-T1)-cp2*(T4-T1)]/[42640-cp3*(Tmax-T1)];
cp15=cpgas2(f1,(Tmax+T1)/2);
f2=[cp15*(Tmax-T1)-cp2*(T4-T1)]/[42640-cp15*(Tmax-T1)];
while abs(f2-f1)>1E-04
cp15=cpgas2(f2,(Tmax+T1)/2);
f1=[cp15*(Tmax-T1)-cp2*(T4-T1)]/[42640-cp15*(Tmax-T1)];
cp13=cpgas2(f1,(Tmax+T1)/2);
f2=[cp15*(Tmax-T1)-cp2*(T4-T1)]/[42640-cp15*(Tmax-T1)];
end
f2;
cp15;
Rg=8.314/Mgas2(f2);
T6b=Tmax;
cp56=cpgas2(f2,Tmax);
g=cp56/(cp56-Rg);
T6=Tmax*(1-nt*(1-r^((g-1)/(-g))));
cp56=cpgas2(f2,(Tmax+T6)/2);
while abs(T6b-T6)>1e-1
cp56=cpgas2(f2,(Tmax+T6)/2);
g=cp56/(cp56-Rg);
T6b=T6;
T6=Tmax*(1-nt*(1-r^((g-1)/(-g))));
end
T6;
cp56;
g;
wt=(1+f2)*cp56*nt*Tmax*(1-r^((g-1)/(-g)))
wc=(wc1+wc2)

```



```

wi=nm*(wt-(wc1+wc2));
n=wi/(f2*42640);

```

CBTX

```

function [wi,n]=cbtx(Tmax ,r )
nc=0.91-((r-1)/300);
nt=0.9-((r-1)/250);
nm=0.98;
e=0.8;
T1=298;
T2b=T1;
Ra=8.314/Mair(0);
cp=cpa2(T1);
g=cp/(cp-Ra);
T2=T1*(1+(1/nc)*(r^((g-1)/g)-1));
cp12=cpa2((T1+T2)/2);
while abs(T2b-T2)>1e-1
cp12=cpa2((T1+T2)/2);
g=cp12/(cp12-Ra);
T2b=T2;
T2=T1*(1+(1/nc)*(r^((g-1)/g)-1));
end
T2;
cp12;
g;
wc=(cp12/nc)*T1*(r^((g-1)/g)-1);
cp2=cpa2((T1+T2)/2);
cp3=cpa2((Tmax+T1)/2);
f1=[cp3*(Tmax-T1)-cp2*(T2-T1)]/[42640-cp3*(Tmax-T1)];
cp13=cpgas2(f1,(Tmax+T1)/2);
f2=[cp13*(Tmax-T1)-cp2*(T2-T1)]/[42640-cp13*(Tmax-T1)];
while abs(f2-f1)>1E-04
cp13=cpgas2(f2,(Tmax+T1)/2);
f1=[cp13*(Tmax-T1)-cp2*(T2-T1)]/[42640-cp13*(Tmax-T1)];
cp13=cpgas2(f1,(Tmax+T1)/2);
f2=[cp13*(Tmax-T1)-cp2*(T2-T1)]/[42640-cp13*(Tmax-T1)];
end
f2;
cp13;
Rg=8.314/Mgas2(f2);
T4b=Tmax;
cp34=cpgas2(f2,Tmax);

```

```

g=cp34/(cp34-Rg);
T4=Tmax*(1-nt*(1-r^(g-1)/(-g)));
cp34=cpgas2(f2,(Tmax+T4)/2);
while abs(T4b-T4)>1e-1
cp34=cpgas2(f2,(Tmax+T4)/2);
kt=cp34/(cp34-Rg);
T4b=T4;
T4=Tmax*(1-nt*(1-r^(g-1)/(-g)));
end
T4;
cp34;
g;
T5=e*(T4-T2)+T2;
cp2=cpa2((T1+T5)/2);
cp3=cpa2((Tmax+T1)/2);
f3=[cp3*(Tmax-T1)-cp2*(T5-T1)]/[42640-cp3*(Tmax-T1)];
cp13=cpgas2(f3,(Tmax+T1)/2);
f4=[cp13*(Tmax-T1)-cp2*(T5-T1)]/[42640-cp13*(Tmax-T1)];
while abs(f3-f4)>1E-04
cp13=cpgas2(f4,(Tmax+T1)/2);
f3=[cp13*(Tmax-T1)-cp2*(T5-T1)]/[42640-cp13*(Tmax-T1)];
cp13=cpgas2(f3,(Tmax+T1)/2);
f4=[cp13*(Tmax-T1)-cp2*(T5-T1)]/[42640-cp13*(Tmax-T1)];
end
f4;
T6b=Tmax;
Rg=8.314/Mgas2(f4)
cp36=cpgas2(f4,Tmax);
g=cp36/(cp36-Rg);
T6=Tmax*(1-nt*(1-r^(g-1)/(-g)));
cp36=cpgas2(f4,(Tmax+T6)/2);
while abs(T6b-T6)>1e-1
cp36=cpgas2(f4,(Tmax+T6)/2);
g=cp36/(cp36-Rg);
T6b=T6;
T6=Tmax*(1-nt*(1-r^(g-1)/(-g)));
end
T6;
cp36;
g;
wt=(1+f4)*cp36*nt*Tmax*(1-r^(g-1)/(-g))
wi=nm*(wt-wc)
n=wi/(f4*42640)

```

CICBTRTX

```

function [wi,n]=cicbtrtx(Tmax ,r )
nc=0.91-((r-1)/300);
nt=0.9-((r-1)/250);
nm=0.98;

```

```

e=0.8;
T1=298;
T2b=T1;
cp=cpa2(T1);
Ra=8.314/Mair(0);
g=cp/(cp-Ra);
r12=sqrt(r);
T2=T1*(1+(1/nc)*(r12^((g-1)/g)-1));
cp12=cpa2((T1+T2)/2);
while abs(T2b-T2)>1e-1
cp12=cpa2((T1+T2)/2);
g=cp12/(cp12-Ra);
T2b=T2;
T2=T1*(1+(1/nc)*(r12^((g-1)/g)-1));
end
T2;
cp12=cpa2((T1+T2)/2);
g=cp12/(cp12-Ra);
wc1=(cp12/nc)*T1*(r12^((g-1)/g)-1);
T3=T1+10;
T4b=T3;
cp=cpa2(T3);
g=cp/(cp-Ra);
r34=sqrt(r);
T4=T3*(1+(1/nc)*(r34^((g-1)/g)-1));
cp34=cpa2((T3+T4)/2);
while abs(T4b-T4)>1e-1
cp34=cpa2((T3+T4)/2);
g=cp34/(cp34-Ra);
T4b=T4;
T4=T3*(1+(1/nc)*(r34^((g-1)/g)-1));
end
T4;
g;
wc2=(cp34/nc)*T1*(r34^((g-1)/g)-1);
cp2=cpa2((T1+T4)/2);
cp3=cpa2((Tmax+T1)/2);
f1=[cp3*(Tmax-T1)-cp2*(T4-T1)]/[42640-cp3*(Tmax-T1)];
cp16=cpgas2(f1,(Tmax+T1)/2);
f2=[cp16*(Tmax-T1)-cp2*(T4-T1)]/[42640-cp16*(Tmax-T1)];
while abs(f2-f1)>1E-04
cp16=cpgas2(f2,(Tmax+T1)/2);
f1=[cp16*(Tmax-T1)-cp2*(T4-T1)]/[42640-cp16*(Tmax-T1)];
cp16=cpgas2(f1,(Tmax+T1)/2);
f2=[cp16*(Tmax-T1)-cp2*(T4-T1)]/[42640-cp16*(Tmax-T1)];
end
f2;
cp16;
Rg=8.314/Mgas2(f2);
wc=wc1+wc2;

```

```

T7b=Tmax;
cp7=cpgas2(f1,Tmax);
T7=Tmax-(wc/(cp7*(1+f2)*0.98));
cp67=cpgas2(f2,(Tmax+T7)/2);
while abs(T7-T7b)>1e-1
cp67=cpgas2(f2,(Tmax+T7)/2);
T7b=T7;
T7=Tmax-(wc/(cp67*(1+f2)*0.98));
end
T7;
cp67;
r67b=r;
cp7=cpgas2(f2,Tmax);
g=cp7/(cp7-(8.314/Mgas2(f2)));
r67=[(nt*Tmax)/(T7-Tmax+nt*Tmax)]^(g)/(g-1);
g=cp67/(cp67-(8.314/Mgas2(f2)));
while abs(r67b-r67)>1e-02
g=cp67/(cp67-(8.314/Mgas2(f2)));
r67b=r67;
r67=[(nt*Tmax)/(T7-Tmax+nt*Tmax)]^(g)/(g-1);
end
r67
r89=r/r67
cp2=cpgas2(f2,(T7+T1)/2);
cp3=cpgas2(f2,(Tmax+T1)/2);
f3=[cp3*(Tmax-T1)-cp2*(T7-T1)]/[42640-cp3*(Tmax-T1)];
cp18=cpgas2(f3,(Tmax+T1)/2);
f4=[cp18*(Tmax-T1)-cp2*(T7-T1)]/[42640-cp18*(Tmax-T1)];
while abs(f4-f3)>1e-04
cp18=cpgas2(f4,(Tmax+T1)/2);
f3=[cp18*(Tmax-T1)-cp2*(T7-T1)]/[42640-cp18*(Tmax-T1)];
cp18=cpgas2(f3,(Tmax+T1)/2);
f4=[cp18*(Tmax-T1)-cp2*(T7-T1)]/[42640-cp18*(Tmax-T1)];
end
f4;
cp18;
T9b=Tmax;
cp89=cpgas2(f3,Tmax);
g=cp89/(cp89-(8.314/Mgas2(f3)));
T9=Tmax*(1-nt*(1-r89^((g-1)/(-g))));
cp89=cpgas2(f4,(Tmax+T9)/2);
while abs(T9b-T9)>1e-1
cp89=cpgas2(f4,(Tmax+T9)/2);
g=cp89/(cp89-(8.314/Mgas2(f4)));
T9b=T9;
T9=Tmax*(1-nt*(1-r89^((g-1)/(-g))));
end
T9
cp89;
g;

```

```

T5=e*(T9-T4)+T4
cp2=cpa2((T1+T5)/2);
cp3=cpa2((Tmax+T1)/2);
f5=[cp3*(Tmax-T1)-cp2*(T5-T1)]/[42640-cp3*(Tmax-T1)];
cp16=cpgas2(f5,(Tmax+T1)/2);
f6=[cp16*(Tmax-T1)-cp2*(T5-T1)]/[42640-cp16*(Tmax-T1)];
while abs(f5-f6)>1E-04
cp16=cpgas2(f6,(Tmax+T1)/2);
f5=[cp16*(Tmax-T1)-cp2*(T5-T1)]/[42640-cp16*(Tmax-T1)];
cp16=cpgas2(f5,(Tmax+T1)/2);
f6=[cp16*(Tmax-T1)-cp2*(T5-T1)]/[42640-cp16*(Tmax-T1)];
end
f6;
cp16;
Rg=8.314/Mgas2(f6);
wc=wc1+wc2;
T17b=Tmax;
cp7=cpgas2(f5,Tmax);
T17=Tmax-(wc/(cp7*(1+f6)*0.98));
cp67=cpgas2(f2,(Tmax+T17)/2);
while abs(T17-T17b)>1e-1
cp67=cpgas2(f2,(Tmax+T17)/2);
g=cp67/(cp67-(8.314/Mgas2(f6)));
T17b=T17;
T17=Tmax-(wc/(cp67*(1+f6)*0.98));
end
T17;
cp67;
g;
r167b=r;
cp7=cpgas2(f6,Tmax);
g=cp7/(cp7-(8.314/Mgas2(f6)));
r167=[(nt*Tmax)/(T17-Tmax+nt*Tmax)]^(g)/(g-1);
g=cp67/(cp67-(8.314/Mgas2(f6)))
while abs(r167b-r167)>1e-02
g=cp67/(cp67-(8.314/Mgas2(f2)));
r167b=r167;
r167=[(nt*Tmax)/(T17-Tmax+nt*Tmax)]^(g)/(g-1);
end
r167
r189=r/r167;
cp2=cpgas2(f6,(T17+T1)/2);
cp3=cpgas2(f6,(Tmax+T1)/2);
f7=[cp3*(Tmax-T1)-cp2*(T17-T1)]/[42640-cp3*(Tmax-T1)];
cp18=cpgas2(f7,(Tmax+T1)/2);
f8=[cp18*(Tmax-T1)-cp2*(T17-T1)]/[42640-cp18*(Tmax-T1)];
while abs(f8-f7)>1e-04
cp18=cpgas2(f8,(Tmax+T1)/2);
f7=[cp18*(Tmax-T1)-cp2*(T17-T1)]/[42640-cp18*(Tmax-T1)];
cp18=cpgas2(f7,(Tmax+T1)/2);

```

```

f8=[cp18*(Tmax-T1)-cp2*(T17-T1)]/[42640-cp18*(Tmax-T1)];
end
f8;
cp18;
f=f7+f8;
T19b=Tmax;
cp89=cpgas2(f7,Tmax);
g=cp89/(cp89-(8.314/Mgas2(f7)));
T19=Tmax*(1-nt*(1-r189^((g-1)/(-g))));
cp89=cpgas2((f8+f6),(Tmax+T19)/2);
while abs(T19b-T19)>1e-1
cp89=cpgas2((f8+f6),(Tmax+T19)/2);
g=cp89/(cp89-(8.314/Mgas2(f8)));
T19b=T19;
T19=Tmax*(1-nt*(1-r189^((g-1)/(-g))));
end
T19;
cp89;
g;
f=(f6+f8);
wt=(1+f8)*(1+f6)*cp89*(Tmax-T19);
wi=nm*wt;
%n=wi/[cpgas1(f6,(Tmax+T1)/2)*(Tmax-T1)-
cpa((T1+T5)/2)*(T5-T1)+cpgas1(f8,(Tmax+T9)/2)*(Tmax-T9)]
n=wi/((f6+f8+f6*f8)*42640)

```

Απλός αεριοστρόβιλος με χωριστό στρόβιλο ισχύος

```

function [wi,n]=free(Tmax ,r )
nc=0.91-((r-1)/300);
nt=0.9-((r-1)/250);
nm=0.98;
T1=298;
T2b=T1;
cp=cpa2(T1);
g=cp/(cp-(8.314/Mair(0)));
T2=T1*(1+(1/nc)*(r^((g-1)/g)-1));
cp12=cpa2((T1+T2)/2);
while abs(T2b-T2)>1e-1
cp12=cpa2((T1+T2)/2);
g=cp12/(cp12-(8.314/Mair(0)));
T2b=T2;
T2=T1*(1+(1/nc)*(r^((g-1)/g)-1));
end
T2;
cp12;
g;
wc=(cp12/nc)*T1*(r^((g-1)/g)-1);
cp2=cpa2((T1+T2)/2);
cp3=cpa2((Tmax+T1)/2);

```

```

f1=[cp3*(Tmax-T1)-cp2*(T2-T1)]/[42640-cp3*(Tmax-T1)];
cp13=cpgas2(f1,(Tmax+T1)/2);
f2=[cp13*(Tmax-T1)-cp2*(T2-T1)]/[42640-cp13*(Tmax-T1)];
while abs(f2-f1)>1e-04
cp13=cpgas2(f2,(Tmax+T1)/2);
f1=[cp13*(Tmax-T1)-cp2*(T2-T1)]/[42640-cp13*(Tmax-T1)];
cp13=cpgas2(f1,(Tmax+T1)/2);
f2=[cp13*(Tmax-T1)-cp2*(T2-T1)]/[42640-cp13*(Tmax-T1)];
end
f2;
cp13;
T4b=Tmax;
cp4=cpgas2(f1,Tmax);
T4=(cp4*Tmax-wc)/cp4;
cp34=cpgas2(f2,(Tmax+T4)/2);
while abs(Tmax-T4b)>1e-1
cp34=cpgas2(f2,(Tmax+T4)/2);
T4b=T4;
T4=(cp34*Tmax-wc)/cp34;
end
T4;
cp34;
g=cp34/(cp34-(8.314/Mgas2(f2)));
r34=[(nt*Tmax)/(T4-Tmax+nt*Tmax)]^(g/(g-1))
r45=r/r34
T5b=T4;
cp=cpgas2(f1,Tmax);
g=cp/(cp-(8.314/Mgas2(f2)));
T5=T4*(1-nt*(1-r45^(g-1)/(-g)));
cp45=cpgas2(f2,(T4+T5)/2);
while abs(T5b-T5)>1e-1
cp45=cpgas2(f2,(T4+T5)/2);
g=cp45/(cp45-(8.314/Mgas2(f2)));
T5b=T5;
T5=T4*(1-nt*(1-r45^(g-1)/(-g)));
end
T5;
cp45;
g;
wi=nm*(1+f2)*cp45*(T4-T5);
n=wi/(42640*f2);

```

Απλός αεριοστρόβιλος με χωριστό στρόβιλο ισχύος και αναθέρμανση

```

function [wi,n]=freert(Tmax ,r )
nc=0.91-((r-1)/300);
nt=0.9-((r-1)/250);
nm=0.98;
T1=298;

```

```

T2b=T1;
cp=cpa2(T1);
g=cp/(cp-(8.314/Mair(0)));
T2=T1*(1+(1/nc)*(r^(g-1)/g)-1);
cp12=cpa2((T1+T2)/2);
while abs(T2b-T2)>1e-1
cp12=cpa2((T1+T2)/2);
g=cp12/(cp12-(8.314/Mair(0)));
T2b=T2;
T2=T1*(1+(1/nc)*(r^(g-1)/g)-1);
end
T2;
cp12;
g;
wc=(cp12/nc)*T1*(r^(g-1)/g)-1);
cp2=cpa2((T1+T2)/2);
cp3=cpa2((Tmax+T1)/2);
f1=[cp3*(Tmax-T1)-cp2*(T2-T1)]/[42640-cp3*(Tmax-T1)];
cp13=cpgas2(f1,(Tmax+T1)/2);
f2=[cp13*(Tmax-T1)-cp2*(T2-T1)]/[42640-cp13*(Tmax-T1)];
while abs(f2-f1)>1e-04
cp13=cpgas2(f2,(Tmax+T1)/2);
f1=[cp13*(Tmax-T1)-cp2*(T2-T1)]/[42640-cp13*(Tmax-T1)];
cp13=cpgas2(f1,(Tmax+T1)/2);
f2=[cp13*(Tmax-T1)-cp2*(T2-T1)]/[42640-cp13*(Tmax-T1)];
end
f2;
cp13;
T4b=Tmax;
cp4=cpgas2(f1,Tmax);
T4=Tmax-(wc/(cp4*(1+f2)*0.98));
cp34=cpgas2(f2,(Tmax+T4)/2);
while abs(Tmax-T4b)>1e-1
cp34=cpgas2(f2,(Tmax+T4)/2);
T4b=T4;
T4=Tmax-(wc/(cp34*(1+f2)*0.98));
end
T4;
cp34;
g=cp34/(cp34-(8.314/Mgas2(f2)));
r34=[(nt*Tmax)/(T4-Tmax+nt*Tmax)]^(g/(g-1));
r56=r/r34;
cp2=cpgas2(f2,(T4+T1)/2);
cp3=cpgas2(f2,(Tmax+T1)/2);
f3=[cp3*(Tmax-T1)-cp2*(T4-T1)]/[42640-cp3*(Tmax-T1)];
cp15=cpgas2(f3,(Tmax+T1)/2);
f4=[cp15*(Tmax-T1)-cp2*(T4-T1)]/[42640-cp15*(Tmax-T1)];
while abs(f4-f3)>1e-04
cp15=cpgas2(f4,(Tmax+T1)/2);
f3=[cp15*(Tmax-T1)-cp2*(T4-T1)]/[42640-cp15*(Tmax-T1)];

```



```

cp15=cpgas2(f3,(Tmax+T1)/2);
f4=[cp15*(Tmax-T1)-cp2*(T4-T1)]/[42640-cp15*(Tmax-T1)];
end
f4;
cp15;
T6b=Tmax;
cp56=cpgas2(f3,Tmax);
g=cp56/(cp56-(8.314/Mgas2(f3)));
T6=Tmax*(1-nt*(1-r56^((g-1)/(-g))));
cp56=cpgas2(f4,(Tmax+T6)/2);
while abs(T6b-T6)>1e-1
cp56=cpgas2(f4,(Tmax+T6)/2);
g=cp56/(cp56-(8.314/Mgas2(f4)));
T6b=T6;
T6=Tmax*(1-nt*(1-r56^((g-1)/(-g))));
end
T6;
cp56;
f=f4+f2;
wi=nm*(1+f4+f2+f2*f4)*cp56*(Tmax-T6);
n=wi/[42640*(f4+f2+f2*f4)]

```

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Saravanamuttoo, Rogers and Cohen "Gas Turbine Theory" 5TH ed.
2. Φραγκόπουλος, Χ. Α. (2002) «Προηγμένα Ναυτικά και Θαλάσσια Ενεργειακά Συστήματα» Δ.Π.Μ.Σ «Ναυτική και Θαλάσσια Τεχνολογία και Επιστήμη'» Ε.Μ.Π.
3. Φραγκόπουλος, Χ. Α. (2005) «Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου Τεύχος Β'» Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π.
4. Γεωργίου, Δ. Π. (2003-2004) «Εισαγωγή στους Θερμοκινητήρες» Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Πατρών.
5. Παπαγεωργίου, Τσίτουρας, Φαμέλης (2003-2004) «Εισαγωγή και Εφαρμογές στο Mathematica & Matlab».
- 6.. McBride, Zehe, and Gordon (2002) "NASA Glenn Coefficients for Calculating Thermodynamic Properties of Individual Species".
7. Καούρης, Ι. (2002) «Ψύξη-κλιματισμός» Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Πατρών.
8. Zhou,Jefferson "The Perfomance of Marine Propulsion Gas Turbines under Variable Atmospheric Conditions" 22nd CIMAC 1998.
9. Korakianitis "Marine gas turbines: cycle-parameter choices and shaft arrangement effects on performance.
10. Τσιρίκογλου, Θ. Ι. «Εφαρμογές Ρευστοδυναμικών Μηχανών και Θερμοδυναμικής» Τμήμα Μηχανολογίας Τ.Ε.Ι Λάρισας.