

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

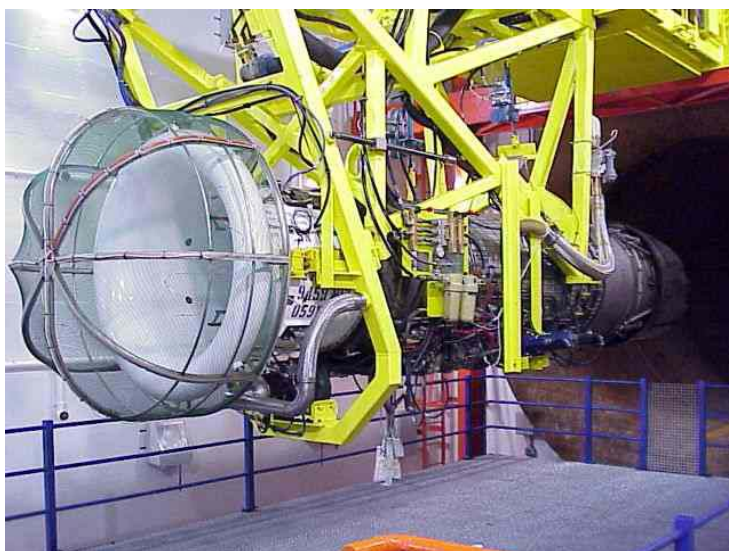
Ευάγγελος Καρέλας, Ιωάννης Τριαντάφυλλος, Γρηγόριος Φρέσκος

Κινητήρες Αεροσκαφών II

ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΗΡΙΑ

2^{ος} Κύκλος

Ειδικότητα Μηχανοσυνθετών Αεροσκαφών



ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ

Ο.Ε.Λ.Β.
ΑΘΗΝΑ 2004

Κινητήρες Αεροσκαφών II

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

Ευάγγελος Καρέλας, Ιωάννης Τριαντάφυλλος, Γρηγόριος Φρέσκοις

Κινητήρες Αεροσκαφών ΙΙ

ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΗΡΙΑ

2^{ος} Κύκλος

Ειδικότητα Μηχανοσυνθετών Αεροσκαφών



ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ

Ο.Ε.Α.Β.
ΑΘΗΝΑ 2004

Με απόφαση της ελληνικής κυβέρνησης τα διδακτικά βιβλία τυπώνονται από τον Οργανισμό Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων και διανέμονται δωρεάν.

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

Ευάγγελος Καρέλας, Ιωάννης Τριαντάφυλλος, Γρηγόριος Φρέσκος

Κινητήρες Αεροσκαφών II

ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΗΡΙΑ

2^{ος} Κύκλος

Ειδικότητα Μηχανοσυνθετών Αεροσκαφών

ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ
Ο.Ε.Δ.Β.

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ

Ευάγγελος Καρέλας, *Αεροναυπηγός Μηχανικός, M. Sc.*
Ιωάννης Τριαντάφυλλος, *Μηχανολόγος Μηχανικός, M. Sc.*
Γρηγόριος Φρέσκος, *Μηχανολόγος Μηχανικός, D.E.A., Ph.D.*

ΚΡΙΤΕΣ – ΑΞΙΟΛΟΓΗΤΕΣ

Ιορδάνης Αντωνιάδης, *Εκπαιδευτικός, Μηχανολόγος Μηχανικός Αεροσκαφών*
Κωνσταντίνος Μαθιουδάκης, *Μηχανολόγος Μηχανικός, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ*
Αντώνιος Μπαλντούκας, *Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός ΕΜΠ- Αν. Καθηγητής ΤΕΙ Χαλκίδας*

Μιχαήλ Στραβοπόδης, *Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π. υπεύθυνος του Π.Ι.*

ΓΛΩΣΣΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ Π.Ι.

Θεοδώρα Καμαρούδη, *φιλόλογος - εκπαιδευτικός, αποσπασμένη στο Π.Ι.*

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ

Ολύμπιος Δαφέρμος

Σύμβουλος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το βιβλίο αυτό απευθύνεται στους σπουδαστές του 2^{ου} κύκλου του μηχανολογικού τομέα των ΤΕΕ της ειδικότητας «Μηχανοσυνθετών Αεροσκαφών» και γράφτηκε για τη διδασκαλία του μαθήματος «Κινητήρες Αεροσκαφών ΙΙ».

Το περιεχόμενο του βιβλίου είναι σύμφωνο με το πλαίσιο του προγράμματος σπουδών, το οποίο προτάθηκε από το Παιδαγωγικό Ινστιτούτο και εγκρίθηκε από το Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων.

Σκοπός του βιβλίου αυτού είναι να αποκτήσουν οι σπουδαστές τις βασικές γνώσεις που απαιτούνται για τη συναρμολόγηση, την επιθεώρηση, την επισκευή και την επανασυναρμολόγηση των κινητήρων και των συστημάτων τους. Ο σκοπός αυτός επιτυγχάνεται με τη μελέτη των θεωρητικών εδαφίων αλλά και με τις κατάλληλες εργαστηριακές ασκήσεις που συνοδεύουν και συμπληρώνουν την ύλη του κάθε κεφαλαίου.

Η ύλη του μαθήματος είναι κατανοητή σε τρία κεφάλαια, τα οποία ανταποκρίνονται στους επιδιωκόμενους στόχους, όπως αυτοί προσδιορίζονται στην αρχή του κάθε κεφαλαίου. Στο τέλος κάθε κεφαλαίου παρατίθενται ανακεφαλαίωση και ερωτήσεις που σκοπό έχουν να βοηθήσουν τους σπουδαστές να κατανοήσουν τη διδακτέα ύλη.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται βασικές αρχές θερμοδυναμικής, απαραίτητες για την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας των αεροπορικών κινητήρων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναπτύσσονται οι διαδικασίες συντήρησης των εμβολοφόρων αεροπορικών κινητήρων. Το κεφάλαιο περιλαμβάνει επίσης τις διαδικασίες επισκευής των εξαρτημάτων και συστημάτων αυτών των κινητήρων. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στους εμβολοφόρους κινητήρες ελικοπτέρων καθώς επίσης και στον υπολογισμό της ισχύος και των επιδόσεων ενός εμβολοφόρου αεροπορικού κινητήρα.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται οι διαδικασίες συντήρησης των αεριοστροβίλων αεροπορικών κινητήρων. Το κεφάλαιο περιλαμβάνει τους τύπους συντήρησης και τις βασικές εργασίες που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια αυτών, τις αρχές λειτουργίας και τη συντήρηση των συστημάτων των αεριοστροβίλων κινητήρων, περιγραφή των βασικών οργάνων ελέγχου και τον υπολογισμό των επιδόσεων των αεριοστροβίλων αεροπορικών κινητήρων.

Σε ειδικό παράρτημα του βιβλίου παρουσιάζεται το βασικό νομοθετικό πλαίσιο που διέπει τους αεροπορικούς κινητήρες.

Οι συγγραφείς του βιβλίου αισθάνονται την υποχρέωση να ευχαριστήσουν το Παιδαγωγικό Ινστιτούτο για την εμπιστοσύνη που τους επέδειξε με την ανάθεση της συγγραφής του βιβλίου αυτού και τους κριτές για τις εύστοχες και εποικοδομητικές παρατηρήσεις τους. Ιδιαίτερος αναγνωρίζεται επίσης η συμβολή της Επιχειρησιακής Μονάδας Συντήρησης Αεροκινητήρων της Ελληνικής Αεροπορικής Βιομηχανίας.

Τέλος, οι συγγραφείς θέλουν να ευχαριστήσουν τις οικογένειές τους για την αμέριστη συμπαράσταση και κατανόηση.

Οι συγγραφείς

Πίνακας Περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΡΧΕΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ.....	7
<i>Διδακτικοί Στόχοι.....</i>	<i>7</i>
<i>1.1 Γενικά.....</i>	<i>7</i>
1.1.1 Ορισμοί θερμοδυναμικών όρων.....	7
1.1.2 Θερμικές Μηχανές.....	9
1.1.3 Βενζινομηχανή – Πετρελαιομηχανή.....	10
1.1.4 Αεριοστρόβιλος.....	11
1.1.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα εμβολοφόρων και αεριοστρόβιλων κινητήρων.....	12
<i>1.2 Θερμοκρασία και θερμότητα.....</i>	<i>13</i>
1.2.1 Θερμοκρασία.....	13
1.2.2 Θερμότητα.....	16
<i>1.3 Μετάδοση θερμότητας.....</i>	<i>17</i>
1.3.1 Μηχανισμοί μετάδοσης θερμότητας.....	17
<i>1.4 Μετατροπή θερμότητας σε έργο.....</i>	<i>23</i>
1.4.1 Ορισμοί.....	23
1.4.2 Πρώτο Θερμοδυναμικό Αξίωμα.....	24
1.4.3 Ενθαλπία – Τεχνικό Έργο.....	25
1.4.4 Ειδική θερμότητα υπό σταθερό όγκο και υπό σταθερή πίεση – Ιδανικά αέρια.....	26
<i>1.5 Κυκλικές μεταβολές καταστάσεων.....</i>	<i>28</i>
1.5.1 Αντιστρεπτές και μη αντιστρεπτές μεταβολές.....	29
1.5.2 Δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα.....	30
1.5.3 Θερμοδυναμικός βαθμός απόδοσης θερμικής μηχανής.....	31
<i>1.6 Υπολογισμός μεταβολής της εντροπίας.....</i>	<i>32</i>
1.6.1 Διαγράμματα εντροπίας θερμοκρασίας.....	33
1.6.2 Διάγραμμα ενθαλπίας - εντροπίας.....	35
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ.....	37
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ.....	40
ΕΡΓΑΣΙΕΣ-ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ.....	42
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ.....	43
<i>Εργαστηριακή άσκηση 1.1: Μέτρηση της τάσης εξόδου ενός θερμοστοιχείου (thermocouple) κάτω από διαφορετικές θερμοκρασίες.....</i>	<i>43</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 1.2: Επίδειξη εφαρμογής εναλλάκτη για τη μεταφορά θερμότητας από ένα ρευστό ψύξης στην ατμόσφαιρα και μέτρηση θερμοκρασιών του ρευστού και του ατμοσφαιρικού αέρα.....</i>	<i>46</i>

Εργαστηριακή άσκηση 1.3: Επίδειξη του μηχανισμού ψύξης των πτερυγίων στροβίλου αεροστρόβιλου κινητήρα με αγωγή από τον παρεχόμενο αέρα ψύξης του συμπιεστή 52

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ
ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥΣ.....56**

<i>Διδακτικοί Στόχοι.....</i>	<i>56</i>
<i>2.1 Όρια λειτουργικής διάρκειας κινητήρων</i>	<i>56</i>
2.1.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη «ζωή» του κινητήρα.....	57
<i>2.2 Επιθεωρήσεις κινητήρων</i>	<i>61</i>
2.2.1 Επιθεώρηση πριν την πτήση.....	61
2.2.2 Επιθεώρηση 50 ωρών.....	63
2.2.3 Επιθεώρηση 100 ωρών και ετήσια επιθεώρηση	64
<i>2.3 Γενική επισκευή εμβολοφόρων κινητήρων.....</i>	<i>71</i>
2.3.1 Διαστήματα και είδη γενικής επισκευής.....	71
2.3.2 Αφαίρεση κινητήρα από αεροσκάφος	74
2.3.3 Καθαρισμός.....	76
2.3.4 Επιθεώρηση (Μη καταστροφικοί έλεγχοι, έλεγχος διαστάσεων).....	79
2.3.5 Συναρμολόγηση	91
2.3.6 Ρυθμίσεις.....	93
<i>2.4 Διερεύνηση βλαβών αεροπορικού κινητήρα και παρελκομένων</i>	<i>94</i>
2.4.1 Μεθοδολογία διερεύνησης	94
2.4.2 Διαδικασίες διερεύνησης βλαβών στα κύρια εξαρτήματα εμβολοφόρων κινητήρων.	100
2.4.3 Οργάνωση αποκατάστασης βλαβών και καταγραφής των στοιχείων και αποτελεσμάτων στα μητρώα του κινητήρα.....	103
<i>2.5 Συντήρηση, ρυθμίσεις και επισκευή εξαρτημάτων και συστημάτων εμβολοφόρου αεροπορικού κινητήρα.....</i>	<i>105</i>
2.5.1 Στροφαλοθάλαμος.....	105
2.5.2 Στροφαλοφόρος άξονας	106
2.5.3 Διωστήρες	106
2.5.4 Κύλινδροι - Βαλβίδες.....	106
2.5.5 Έμβολα.....	109
2.5.6 Σύστημα ανάφλεξης	109
2.5.7 Σύστημα καυσίμου	111
2.5.8 Σύστημα λίπανσης.....	113
2.5.9 Σύστημα ψύξης	115
2.5.10 Σύστημα υπερπλήρωσης	115
2.5.11 Σύστημα εκκίνησης.....	115
2.5.12 Λειτουργικός έλεγχος (δοκιμή) κινητήρα.....	116
<i>2.6 Διαδικασίες αντικατάστασης εμβολοφόρων κινητήρων.....</i>	<i>116</i>

2.6.1	Αίτια αντικατάστασης εμβολοφόρου κινητήρα.....	117
2.6.2	Οργάνωση αφαίρεσης –τοποθέτησης εμβολοφόρου κινητήρα.....	117
2.6.3	Τεχνικά έντυπα αντικατάστασης εμβολοφόρου κινητήρα.....	125
2.7	<i>Εμβολοφόροι κινητήρες ελικοπτέρων.....</i>	<i>126</i>
2.7.1	Μετάδοση κίνησης και τοποθέτηση των εμβολοφόρων κινητήρων ελικοπτέρων	127
2.8	<i>Ισχύς – απόδοση - επιδόσεις εμβολοφόρου αεροπορικού κινητήρα</i>	<i>132</i>
2.8.1	Γενικά.....	132
2.8.2	Είδη ισχύος και διαδικασίες μέτρησης αυτών	133
2.8.3	Είδη απόδοσης και κατανομή ισχύος	136
2.8.4	Καμπύλες απόδοσης εμβολοφόρου κινητήρα	139
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ		142
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ.....		145
ΕΡΓΑΣΙΕΣ-ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ		151
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ		152
<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.1: Εξοικείωση με το χώρο εργασίας του εργαστηρίου, τα μέσα ασφάλειας που διαθέτει και τα μέτρα ασφάλειας που πρέπει να λαμβάνονται κατά τη διάρκεια των εργασιών σε αυτό.</i>		
		<i>152</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.2: Κατεργασία εξαρτημάτων αεροπορικού εμβολοφόρου κινητήρα σε τόρνο και δράπανο.....</i>		
		<i>161</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.3: Κατεργασία εξαρτημάτων αεροπορικού εμβολοφόρου κινητήρα σε φρέζα.....</i>		
		<i>179</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.4: Μετρήσεις φθορών σε εξαρτήματα εμβολοφόρων κινητήρων.</i>		
		<i>189</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.5: Εκπόνηση πλάνων εργασίας.....</i>		
		<i>200</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.6: Ζυγοστάθμιση στροφαλοφόρου άξονα εμβολοφόρου αεροπορικού κινητήρα.....</i>		
		<i>213</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.7: Ειδικός εξοπλισμός συντήρησης εμβολοφόρων αεροπορικών κινητήρων -Μη καταστροφικοί έλεγχοι : FPI</i>		
		<i>221</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.8: Αποσυναρμολόγηση, επιθεώρηση και συναρμολόγηση καρμπυρατέρ.....</i>		
		<i>230</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.9: Αντικατάσταση και συγχρονισμός μανιατό, επιθεώρηση καλωδίωσης ανάφλεξης.....</i>		
		<i>234</i>
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΩΝ		
ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥΣ.....		241
<i>Διδακτικοί Στόχοι.....</i>		<i>241</i>
3.1	Γενικά	241
3.2	Τύποι συντήρησης	243
3.2.1	Συντήρηση επιπέδου γραμμής.....	244
3.2.2	Συντήρηση επιπέδου συνεργείου.....	247

3.2.3	Συντήρηση εργοστασιακού επιπέδου	247
3.3	<i>Επιθεώρηση-συντήρηση, ρύθμιση, διερεύνηση και αποκατάσταση βλαβών σε τμήματα αεριοστρόβιλων κινητήρων</i>	248
3.3.1	Συντήρηση και επισκευές ψυχρού τμήματος.....	249
3.3.2	Συντήρηση και επισκευές θερμού τμήματος	253
3.3.3	Συντήρηση τριβέων και διατάξεων στεγανοποίησης.....	255
3.3.4	Διαδικασίες μη καταστροφικού ελέγχου	257
3.3.5	Διαδικασίες ζυγοστάθμισης συμπιεστού και στροβίλου	258
3.3.6	Έλεγχοι διακένων και ανοχών.....	259
3.4	<i>Λίπανση –Συστήματα λίπανσης</i>	261
3.4.1	Γενικά.....	261
3.4.2	Φυσικές ιδιότητες και τεχνικά χαρακτηριστικά των λιπαντικών.....	263
3.4.3	Προδιαγραφές λιπαντικών αεριοστρόβιλων κινητήρων.....	263
3.4.4	Περιγραφή τυπικού συστήματος λίπανσης αεριοστρόβιλου κινητήρα.....	264
3.4.5	Τύποι συστημάτων λίπανσης αεριοστρόβιλων κινητήρων.....	273
3.4.6	Διατάξεις ενδείξεων πίεσης και θερμοκρασίας	274
3.4.7	Έλεγχοι και διερεύνηση βλαβών συστήματος λίπανσης	275
3.5	<i>Σύστημα Ψύξης</i>	277
3.5.1	Περιφερειακή ψύξη στο εξωτερικό περίβλημα του κινητήρα.....	277
3.5.2	Εσωτερική ψύξη του κινητήρα.....	278
3.5.3	Περιγραφή του συστήματος σε ένα τυπικό αεριοστρόβιλο κινητήρα.....	281
3.6	<i>Σύστημα καυσίμου και καύσιμα</i>	282
3.6.1	Ιδιότητες και είδη καυσίμων	282
3.6.2	Σκοπός συστήματος καυσίμου και είδη συστημάτων.....	286
3.7	<i>Συστήματα εκκίνησης</i>	297
3.7.1	Μέθοδοι εκκίνησης	298
3.8	<i>Συστήματα ανάφλεξης</i>	304
3.8.1	Γενικά.....	304
3.8.2	Πυκνωτικά συστήματα ανάφλεξης.....	306
3.8.3	Αναφλεκτήρες	308
3.8.4	Διαδικασία εκκίνησης αεριοστρόβιλων κινητήρων.....	310
3.8.5	Διαδικασία διερεύνησης και αποκατάστασης βλαβών συστήματος ανάφλεξης... 312	
3.9	<i>Προστασία από παγοποίηση</i>	313
3.9.1	Σύστημα προστασίας από παγοποίηση με αέρα από τον συμπιεστή	314
3.9.2	Ηλεκτρικά συστήματα αποπαγοποίησης	317
3.9.3	Προστασία παγοποίησης καυσίμου.....	317
3.10	<i>Συστήματα πυρόσβεσης</i>	317
3.10.1	Αιτίες πρόκλησης πυρκαγιάς και πρόληψη εκδήλωσής της	318
3.10.2	Σύστημα ανίχνευσης πυρκαγιάς.....	319
3.10.3	Καταστολή	321

3.10.4 Έλεγχοι, συντήρηση και αποκατάσταση βλαβών συστήματος πυρόσβεσης	323	
3.10.5 Ανίχνευση και αποκατάσταση βλαβών συστήματος πυρόσβεσης.....	324	
3.11 Έλεγχοι και όργανα αεριοστρόβιλου κινητήρα	325	
3.11.1 Συγχρονισμός λειτουργίας κινητήρων.....	326	
3.11.2 Περιγραφή και λειτουργία των οργάνων του κινητήρα.....	326	
3.12 Επιδόσεις των κινητήρων αντίδρασης.....	334	
3.12.1 Επιδόσεις στροβιλοαντιδραστήρα	334	
3.12.2 Σχέση ώσης - ισχύος	335	
3.12.3 Προωθητική απόδοση	335	
3.12.4 Ειδική κατανάλωση καυσίμου	336	
3.12.5 Διαφορές επιδόσεων κινητήρων turbojet, turbofan, turboprop.....	337	
3.13 Λειτουργία των κινητήρων αντίδρασης.....	337	
3.13.1 Περιοχές λειτουργίας	338	
3.13.2 Λειτουργία αεριοστρόβιλου κινητήρα.....	340	
3.13.3 Λειτουργία ελικοστροβίλου - αξονοστροβίλου	343	
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	345	
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ.....	351	
ΕΡΓΑΣΙΕΣ-ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	358	
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ	359	
<i>Εργαστηριακή άσκηση 3.1: Συναρμολόγηση και ζυγοστάθμιση ρότορα συμπιεστή.</i>		
<i>Συναρμολόγηση βαθμίδων συμπιεστή.....</i>	<i>359</i>	
<i>Εργαστηριακή άσκηση 3.2: Συναρμολόγηση και ζυγοστάθμιση ρότορα στροβίλου.</i>		
<i>Συναρμολόγηση βαθμίδων στροβίλου.....</i>	<i>385</i>	
<i>Εργαστηριακή άσκηση 3.3: Ειδικός εξοπλισμός συντήρησης αεροπορικών κινητήρων -</i>		
<i>Μη καταστροφικοί έλεγχοι : MPI</i>		<i>404</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 3.4: Επιθεώρηση – επισκευή περιστρεφόμενων πτερυγίων</i>		
<i>συμπιεστή</i>	<i>412</i>	
<i>Εργαστηριακή άσκηση 3.5: Επιθεώρηση – επισκευή θαλάμου καύσης</i>		<i>421</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 3.6: Αποσυναρμολόγηση των κύριων παρελκομένων του</i>		
<i>συστήματος καυσίμου και ελέγχου ενός αξονοστροβίλου κινητήρα. Επιθεώρηση των</i>		
<i>εγχυτήρων καυσίμου.....</i>	<i>429</i>	
<i>Εργαστηριακή άσκηση 3.7: Αποσυναρμολόγηση και επιθεώρηση του συστήματος</i>		
<i>λίπανσης ενός αξονοστροβίλου κινητήρα.....</i>		<i>437</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 3.8: Αποσυναρμολόγηση και επιθεώρηση του συστήματος</i>		
<i>ανάφλεξης ενός αξονοστροβίλου κινητήρα.....</i>		<i>447</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 3.8: Αποσυναρμολόγηση και επιθεώρηση του συστήματος</i>		
<i>ανάφλεξης ενός αξονοστροβίλου κινητήρα.....</i>		<i>447</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 3.9: Εκπόνηση πλάνων εργασίας.....</i>		<i>452</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 3.10: Επίδειξη οργάνων για τον έλεγχο της λειτουργίας</i>		
<i>αεριοστροβίλου κινητήρα.</i>		<i>458</i>

*Εργαστηριακή άσκηση 3.11: Επιθεώρηση και έλεγχος θερμοστοιχείων μέτρησης
θερμοκρασίας καυσαερίων..... 462*

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΑ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΩΝ
ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ.....469**

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΣΚΗΣΕΩΝ.....482**

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....483

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΡΧΕΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

Διδακτικοί Στόχοι

Στο τέλος του πρώτου κεφαλαίου:

- Θα έχετε έρθει σε μία πρώτη επαφή με το αντικείμενο της επιστήμης της θερμοδυναμικής.
- Θα είστε σε θέση να συνδέετε την αρχές της θερμοδυναμικής με τη λειτουργία των αεροπορικών κινητήρων.

1.1 Γενικά

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί μια εισαγωγή στη θερμοδυναμική και ιδιαίτερα σε θέματα που έχουν άμεση σχέση με τις αρχές που διέπουν τη λειτουργία των μηχανών εσωτερικής καύσης. Ειδικότερα αναφέρεται σε θέματα όπως η θερμότητα και θερμοκρασία, ο ορισμός και απόδοση θερμικής μηχανής, η μετάδοση θερμότητας, η μετατροπή θερμότητας σε έργο, οι κυκλικές μεταβολές καταστάσεων, ο πρώτος και δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος και η έννοια της εντροπίας.

Θερμοδυναμική ονομάζουμε τον κλάδο της επιστήμης της φυσικής που ασχολείται με τις σχέσεις μεταξύ των ιδιοτήτων της ύλης και τις έννοιες της θερμότητας και του έργου. Ειδικότερα είναι η επιστήμη που μας βοηθάει να αναλύσουμε και να κατανοήσουμε τις μεταβολές της κατάστασης της ύλης και τις διαδικασίες μέσω των οποίων παράγεται έργο από αυτές τις μεταβολές.

Πριν αναφερθούμε σε βασικές έννοιες της θερμοδυναμικής και στις εφαρμογές τους, είναι απαραίτητο να αναφερθούμε στους ειδικούς όρους που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τα φαινόμενα που διαπραγματεύεται.

Παρ'όλο που η ύλη αυτού του κεφαλαίου δεν φαίνεται να έχει άμεση σχέση με το αντικείμενο της επισκευής και της συντήρησης των αεροπορικών κινητήρων, είναι σημαντικό να δοθούν οι βασικές αρχές στις οποίες στηρίζεται η λειτουργία των αεροπορικών κινητήρων, μια που αυτές αποτελούν την αφετηρία για τη σχεδίαση και συγκρότηση των κινητήρων και των συστημάτων τους.

1.1.1 Ορισμοί θερμοδυναμικών όρων

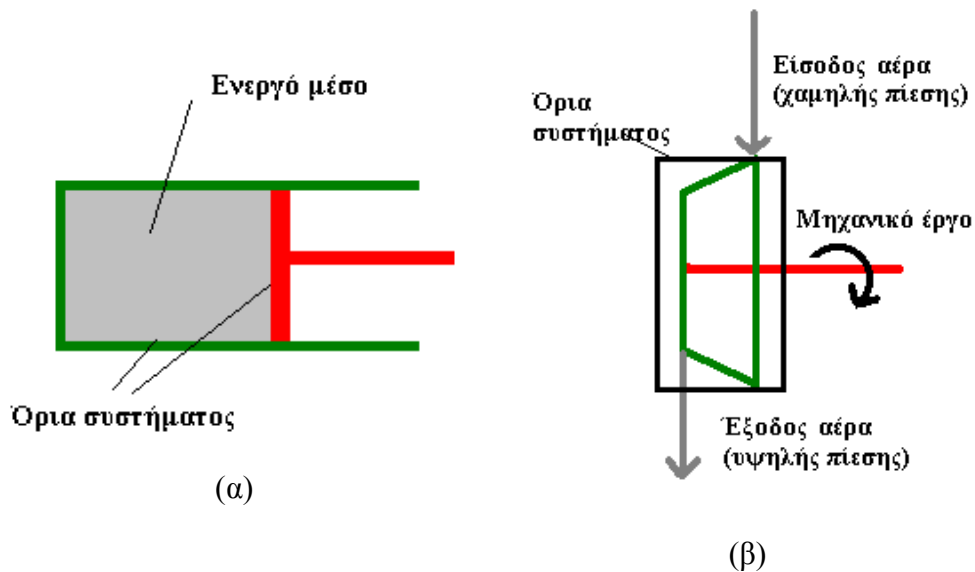
Ενεργό μέσο: είναι η ποσότητα της ύλης πάνω στην οποία εκτελούνται διάφορες διεργασίες, όπως ένα αέριο το οποίο συμπιέζουμε ή ένα υγρό το

οποίο θερμαίνουμε. Στις μηχανές εσωτερικής καύσης για παράδειγμα το ενεργό μέσο είναι το μείγμα αέρα καυσίμου ενώ στην ατμομηχανή, η οποία είναι μηχανή εξωτερικής καύσης (§1.1.2), το ενεργό μέσο είναι το νερό. Το ενεργό μέσο ονομάζεται πολλές φορές και **εργαζόμενο μέσο**.

Θερμοδυναμικό Σύστημα: πρόκειται για τμήμα του σύμπαντος, το οποίο μπορεί να μελετηθεί ξεχωριστά από τον υπόλοιπο περιβάλλοντα κόσμο. Όταν αυτό περιλαμβάνει σταθερή ποσότητα μάζας καλείται **κλειστό σύστημα** (Σχήμα 1.1(α)), ενώ όταν αυτό περικλείεται εντός καθορισμένων ορίων χώρου (όγκου), μέσω των οποίων ρέει μάζα καλείται **ανοικτό σύστημα** (Σχήμα 1.1(β)).

Όρια του συστήματος: οι διαχωριστικές επιφάνειες (νοητές ή πραγματικές) μέσω των οποίων διαχωρίζεται το σύστημα από τον υπόλοιπο κόσμο.

Περιβάλλον: οτιδήποτε βρίσκεται εκτός των ορίων του συστήματος ορίζεται ως περιβάλλον, το οποίο επηρεάζεται άμεσα από μεταβολές που πραγματοποιούνται μέσα στο σύστημα.

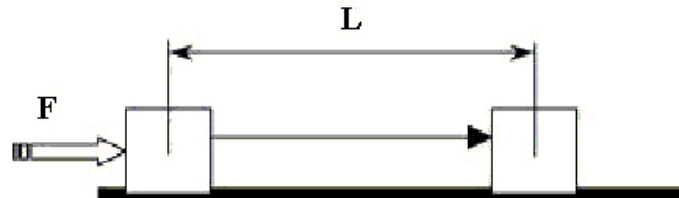


Σχήμα 1.1 Σχηματική παράσταση (α) κλειστού συστήματος (έμβολο-κύλινδρος) και (β) ανοικτού συστήματος (φυγοκεντρικός συμπιεστής)

Έργο λέμε ότι παράγεται όταν μια δύναμη εφαρμοζόμενη σε ένα σώμα το μετατοπίζει κατά μία απόσταση (Σχήμα 1.2).

Το σύστημα μπορεί να ανταλλάσσει με το περιβάλλον **μηχανικό έργο**, το οποίο είναι **θετικό** όταν παράγεται από το σύστημα και **αρνητικό** όταν προσδίδεται σε αυτό.

Οτιδήποτε είναι ικανό να παράγει έργο, λέμε ότι εμπεριέχει **ενέργεια**. Για παράδειγμα το νερό σε ένα φράγμα έχει **κινητική ενέργεια** λόγω της ταχύτητας που έχει πέφτοντας από αυτό. Καθώς προσκρούει στα πτερύγια μιας υδατογεννήτριας τα περιστρέφει παράγοντας έργο. Ενέργεια συνεπώς, ορίζουμε την ικανότητα να παράγουμε έργο.



Σχήμα 1.2 Η δύναμη F κατά τη μετατόπιση του σώματος κατά μία απόσταση L παράγει έργο FxL

Μια σημαντική μορφή ενέργειας είναι η **χημική**, η ενέργεια δηλαδή που εμπεριέχουν καύσιμα όπως το κάρβουνο το πετρέλαιο και το υγραέριο, λόγω της ευκολίας χρήσης τους, ειδικά στα μεταφορικά μέσα. Η **θερμότητα** είναι μια από τις μορφές ενέργειας, η οποία μπορεί για παράδειγμα να είναι το προϊόν της μετατροπής της χημικής ενέργειας (όσον αφορά την παραγωγή της θερμότητας στις Μ.Ε.Κ). Περισσότερα για τη θερμότητα θα δούμε στην παράγραφο 1.2.2 παρακάτω.

Ιδιότητες: οι ιδιότητες μιας ουσίας είναι οποιοδήποτε χαρακτηριστικό μπορούμε να παρατηρήσουμε ή να μετρήσουμε όπως ο όγκος V , η πίεση p και η θερμοκρασία T .

1.1.2 Θερμικές Μηχανές

Για να γίνει πιο κατανοητή η έννοια της θερμικής μηχανής θα ήταν σκόπιμο να αναφερθούμε πρώτα στον ορισμό της μηχανής γενικότερα. Ως **μηχανή** ορίζουμε γενικότερα μια διάταξη μετατροπής ενέργειας. Για παράδειγμα ένας υδρόμυλος μετατρέπει την κινητική ενέργεια του νερού σε κινητική ενέργεια άλλης μορφής, περιστρέφοντας τον άξονα του μύλου, ή μια ανεμογεννήτρια μετατρέπει τη κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω περιστροφής του άξονα της ηλεκτρογεννήτριας (Σχήμα 1.3)

Θερμική μηχανή ορίζουμε τη μηχανή η οποία μετατρέπει τη θερμότητα σε μηχανική ενέργεια. Η θερμότητα μπορεί να προέρχεται από διάφορες πηγές, όπως κάρβουνο, πετρέλαιο, υγραέριο αλλά και από τον ήλιο ή από πυρηνική αντίδραση. Στην περίπτωση της καύσης, η χημική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται σε θερμότητα και στη συνέχεια σε μηχανική ενέργεια:

- μέσω ενός εμβόλου, σε εμβολοφόρο κινητήρα, ή,

- μέσω της περωτής ενός στροβίλου, όπως π.χ. σε αεριοστρόβιλο κινητήρα.

Οι θερμικές μηχανές που χρησιμοποιούν την καύση ως πηγή θερμότητας, διακρίνονται ανάλογα με το αν η καύση και η παραγωγή έργου γίνεται σε ένα ή σε ξεχωριστά συγκροτήματα. Αν η καύση γίνεται σε ένα συγκρότημα, όπως για παράδειγμα σε έναν εμβολοφόρο ή αεριοστρόβιλο κινητήρα, τότε η μηχανή ονομάζεται **μηχανή εσωτερικής καύσης** (Μ.Ε.Κ.).



Σχήμα 1.3 Μετατρέποντας τη δυναμική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική

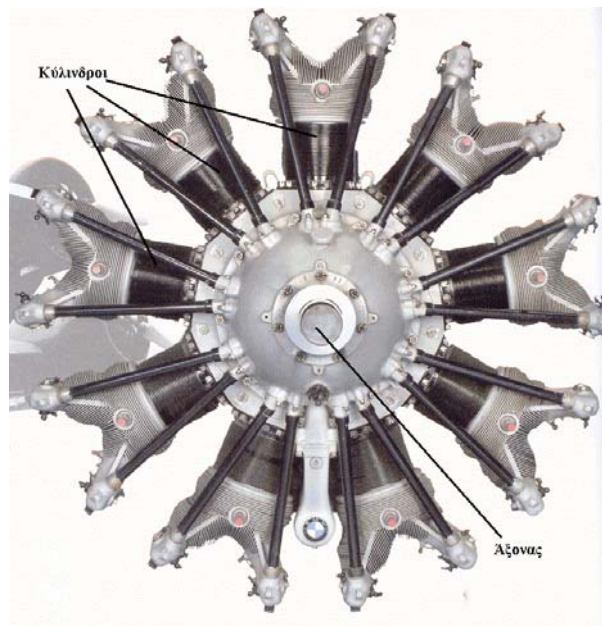
Αν η καύση γίνεται σε ξεχωριστά συγκροτήματα τότε η μηχανή ονομάζεται **μηχανή εξωτερικής καύσης**. Χαρακτηριστικό παράδειγμα μηχανής εξωτερικής καύσης είναι η ατμομηχανή όπου το μείγμα αέρα-καυσίμου καίγεται σε λέβητα και ο παραγόμενος ατμός διοχετεύεται μέσω σωληνώσεων σε έμβολα ή στα πτερύγια ενός στροβίλου μετατρέποντας έτσι την θερμική ενέργεια του ατμού σε μηχανική.

1.1.3 Βενζινομηχανή – Πετρελαιομηχανή

Τα πιο ευρέως διαδεδομένα είδη μηχανών εσωτερικής καύσης είναι η βενζινομηχανή και η πετρελαιομηχανή. Οι αρχές λειτουργίας τους διαφέρουν σημαντικά, αν σχεδιαστικά και λειτουργικά έχουν πολλές ομοιότητες

Η αρχή λειτουργίας της βενζινομηχανής βασίζεται στο κύκλο του Otto, ενώ η αρχή λειτουργίας της πετρελαιομηχανής στον κύκλο του Diesel, όπως είδαμε

αναλυτικά στο βιβλίο, «Κινητήρες Αεροσκαφών Ι». Η μετατροπή της χημικής ενέργειας του καυσίμου σε μηχανική ενέργεια και στα δύο αυτά είδη των θερμικών μηχανών πραγματοποιείται μέσα στους **κύλινδρους** της μηχανής, με την εκτόνωση των καυσαερίων που δημιουργούνται από την καύση του μείγματος αέρα-καυσίμου. Η πίεση των καυσαερίων ωθεί τα **έμβολα** του κινητήρα, η **παλινδρομική κίνηση** των οποίων μετατρέπεται σε **περιστροφική** μέσω των διωστήρων (μπιέλες – connecting rod) όπου και μεταδίδεται στον άξονα του κινητήρα. Στο Σχήμα 1.4 φαίνεται ένας από τους πιο διαδεδομένους τύπους εμβολοφόρων αεροπορικών κινητήρων (**αστεροειδής**).



Σχήμα 1.4 Αστεροειδής τύπος εμβολοφόρου αεροπορικού κινητήρα. Η εκτόνωση των καυσαερίων στον κύλινδρο έχει ως αποτέλεσμα την περιστροφική κίνηση του άξονα

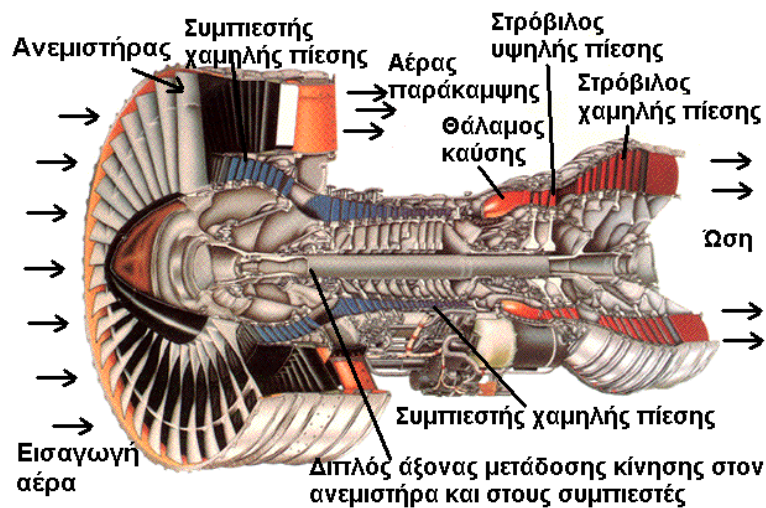
1.1.4 Αεριοστρόβιλος

Ο αεριοστρόβιλος (Σχήμα 1.5) είναι μια θερμική μηχανή¹, η λειτουργία του οποίου βασίζεται στον κύκλο του Brayton όπως είδαμε στο βιβλίο «Κινητήρες Αεροσκαφών Ι». Σε αντίθεση με τους εμβολοφόρους κινητήρες, η ισχύς εδώ παράγεται με συνεχή ρυθμό. Η μετατροπή της χημικής ενέργειας

¹ Οι αεριοστρόβιλοι είναι στη συντριπτική τους πλειοψηφία κινητήρες εσωτερικής καύσης, αν και έχουν υπάρξει προσπάθειες σχεδιασμού αεριοστρόβιλων, όπου η καύση γίνεται σε ξεχωριστό συγκρότημα και χρησιμοποιείται εναλλάκτης για την θέρμανση του εργαζόμενου μέσου.

του καυσίμου σε μηχανική πραγματοποιείται σε πρώτη φάση με τη βοήθεια του θαλάμου καύσης (όπου η χημική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική) και στη συνέχεια με τη βοήθεια του **στροβίλου**, ο οποίος περιστρέφεται όταν προσπίπτουν πάνω στα **πτερύγιά** του τα θερμά καυσαέρια που παράγονται στο **θάλαμο καύσης**. Μέρος (και σε ορισμένες περιπτώσεις το σύνολο) της μηχανικής αυτής ενέργειας είναι απαραίτητη, σε όλους του τύπους των αεριοστροβίλων για την παραγωγή έργου, για την κίνηση του **συμπιεστή** και των παρελκομένων του κινητήρα.

Για τους αεριοστροβίλους, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση κίνησης σε έλικα (turboprop, turboshaft), το υπόλοιπο ποσοστό της μηχανικής ενέργειας χρησιμοποιείται για την περιστροφή του έλικα.



Σχήμα 1.5 Χαρακτηριστικός τύπος αεριοστροβίλου κινητήρα (στροβιλοανεμιστήρας - turbofan) που χρησιμοποιείται σε μεγάλα πολιτικά αεροσκάφη

Υπενθυμίζουμε τις βασικές κατηγορίες των αεριοστροβίλων (οι οποίες έχουν ήδη αναφερθεί και περιγραφεί στο βιβλίο «Κινητήρες Αεροσκαφών Ι»):

- Στροβιλοαντιδραστήρας (turbojet)
- Ελικοφόρος στροβιλοαντιδραστήρας ή ελικοστροβίλος (turboprop)
- Αεριοστροβίλος μηχανικής ισχύος ή αξονοστροβίλος (turboshaft)
- Στροβιλοανεμιστήρας (turbofan)

1.1.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα εμβολοφόρων και αεριοστροβίλων κινητήρων.

Γενικά οι εμβολοφόροι κινητήρες έχουν

- το μειονέκτημα της ύπαρξης κραδασμών κατά την διάρκεια της λειτουργία τους,

ενώ τα πλεονεκτήματά τους είναι

- το χαμηλό λειτουργικό κόστος λόγω χαμηλής κατανάλωσης καυσίμου και φθηνών ανταλλακτικών καθώς και
- ο μικρός χρόνος απόκρισής τους στις μεταβολές του χειριστή (θέση μανέτας).

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά τους κάνουν αναντικατάστατους για χρήση σε μικρά αεροσκάφη γενικής χρήσης.

Τα μειονεκτήματα των αεριοστροβίλων κινητήρων είναι

- η μεγάλη κατανάλωση καυσίμου για την ίδια παρεχόμενη ισχύ με έναν εμβολοφόρο,
- το μεγάλο λειτουργικό κόστος και
- η απαίτηση για εξειδικευμένο εξοπλισμό συντήρησης.

Στα πλεονεκτήματά τους συγκαταλέγονται

- η μεγάλη παρεχόμενη ισχύς για το βάρος τους και
- η δυνατότητα πρόωσης σε ταχύτητες που φθάνουν ή και ξεπερνούν την ταχύτητα του ήχου.

1.2 Θερμοκρασία και θερμότητα

1.2.1 Θερμοκρασία

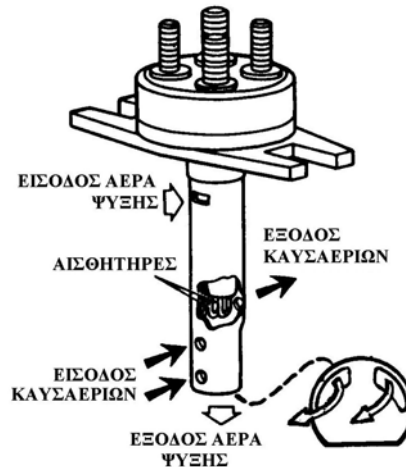
Η θερμοκρασία είναι το φυσικό μέγεθος που προσδιορίζει το μέτρο του ζεστού ή του κρύου σχετικά με κάποια κλίμακα μέτρησης. Μπορούμε να κάνουμε μια εκτίμηση για το αν ένα σώμα είναι πιο ζεστό από ένα άλλο χρησιμοποιώντας τις αισθήσεις μας. Αυτό όμως είναι υποκειμενικό και ανακριβές. Η ακριβής μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται με τη βοήθεια οργάνων, τα οποία ονομάζονται θερμοόμετρα. Είναι φυσικά απαραίτητο να επιλέγεται το κατάλληλο κάθε φορά θερμοόμετρο, ανάλογα με το ύψος της θερμοκρασίας που θέλουμε να μετρήσουμε.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας βασίζεται στην αλλαγή μιας φυσικής ιδιότητας με τη θερμοκρασία. Η μεταφορά θερμότητας μεταξύ δύο σωμάτων που έχουν διαφορετική θερμοκρασία (από το θερμότερο στο ψυχρότερο) και το γεγονός ότι τα δύο σώματα (θερμοόμετρο και σώμα υπό μέτρηση) έρχονται σε θερμική ισορροπία όταν έρθουν σε επαφή μεταξύ τους μετά από κάποιο χρονικό

διάστημα, επιτρέπουν τη μέτρηση της θερμοκρασίας ενός σώματος με χρήση θερμομέτρου..

Υπάρχουν διάφοροι τύποι θερμομέτρων, ανάλογα με τη φυσική ιδιότητα που χρησιμοποιούν, για να ανιχνεύσουν τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Αυτά είναι τα ακόλουθα :

1. Τα κοινά θερμομέτρα που βασίζονται στη διαστολή ενός υγρού όταν θερμαίνεται, και στη συστολή του όταν ψύχεται. Το υγρό αυτό είναι συνήθως υδράργυρος ή αλκοόλη.
2. Τα θερμομέτρα διμεταλλικού ελάσματος που βασίζονται στην ίδια αρχή για διαστολή ενός στερεού.
3. Τα θερμομέτρα αντίστασης τα οποία μετράνε τη μεταβολή της αντίστασης ενός αγωγίμου υλικού όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία του.
4. Τα **θερμοστοιχεία** ή **θερμοζεύγη (thermocouples)**, Σχήμα 1.6, τα οποία μετράνε την τάση που αναπτύσσεται στην επαφή δύο διαφορετικών μετάλλων όταν αυτά θερμαίνονται. Τα θερμοστοιχεία χρησιμοποιούνται σε αεροπορικούς κινητήρες για τη μέτρηση της θερμοκρασίας κατά την έξοδο των καυσαερίων από το στρόβιλο.



Σχήμα 1.6 Χαρακτηριστικός τύπος θερμοστοιχείου που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση θερμοκρασίας εξόδου καυσαερίων σε αεροστρόβιλο κινητήρα

5. Τα **οπτικά πυρόμετρα (optical pyrometers)**, τα οποία χρησιμοποιούνται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και μετράνε την εκπεμπόμενη ακτινοβολία από την πηγή θερμότητας. Αυτά μετράνε τη θερμοκρασία επιφάνειας του μετάλλου και χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας των πτερυγίων στις πρώτες βαθμίδες

στροβίλων. Αποτελούν πρόσφατη σχετικά τεχνολογία, η οποία εξελίσσεται.

Βασική προϋπόθεση για ακριβή μέτρηση είναι η μεταφορά θερμότητας από το σώμα στο θερμοόμετρο να είναι πολύ μικρή.

Κλίμακες μέτρησης θερμοκρασίας

Οι κλίμακες μέτρησης θερμοκρασίας έχουν οριστεί με βάση τις φυσικές ιδιότητες κάποιου υγρού και της μεταβολής της κατάστασής του σε δύο διαφορετικές σταθερές θερμοκρασίες. Η διαφορά των δύο αυτών θερμοκρασιών χωρίζεται σε ίσες υποδιαιρέσεις και αποτελεί την κλίμακα του θερμομέτρου.

Η κλίμακα **Κελσίου** έχει οριστεί με αυτό τον τρόπο από τον Σουηδό αστρονόμο Celsius από τον οποίο πήρε και την ονομασία της, χρησιμοποιώντας τη θερμοκρασία τήξης και βρασμού σε πίεση 760mmHg, του καθαρού νερού. Ορίζοντας τη θερμοκρασία 0 στο σημείο τήξης και 100 στο σημείο βρασμού, βαθμονόμησε την κλίμακα σε 100 ίσες υποδιαιρέσεις. Κάθε υποδιαίρεση αποτελεί και έναν βαθμό Κελσίου και συμβολίζεται 1°C. Η υποδιαίρεση της κλίμακας συνεχίζει και χαμηλότερα του μηδενός για τη μέτρηση θερμοκρασιών μικρότερων του μηδενός.

Η κλίμακα Κελσίου είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη κλίμακα παγκοσμίως με εξαίρεση κάποιων αγγλόφωνων χωρών μεταξύ των οποίων και οι Η.Π.Α. που χρησιμοποιούν την κλίμακα Φαρενάιτ.

Η κλίμακα **Φαρενάιτ** ορίστηκε με παρόμοιο τρόπο από τον Γερμανό φυσικό Daniel Fahrenheit με τη διαφορά ότι η θερμοκρασία τήξης του πάγου ορίστηκε στους 32 βαθμούς Fahrenheit (32°F) και η θερμοκρασία βρασμού νερού στους 212 βαθμούς Fahrenheit (212°F). Το διάστημα μεταξύ των δύο θερμοκρασιών διαιρείται σε 180 ίσες υποδιαιρέσεις ορίζοντας με αυτό τον τρόπο 1 βαθμό Fahrenheit.

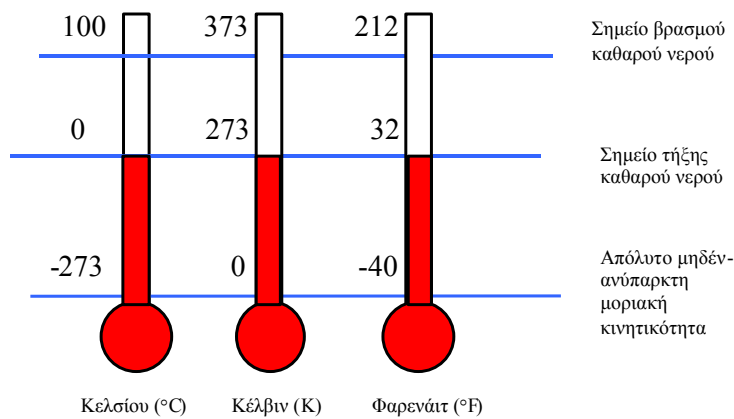
Για την μετατροπή θερμοκρασίας από βαθμούς Κελσίου σε βαθμούς Φαρενάιτ χρησιμοποιούμε την παρακάτω σχέση (βλέπε και Σχήμα 1.7):

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32 \quad (1-1)$$

Ενώ για την μετατροπή θερμοκρασίας από βαθμούς Φαρενάιτ σε βαθμούς Κελσίου λύνουμε την παραπάνω σχέση ως προς T_C και έχουμε την ακόλουθη σχέση:

$$T_C = \frac{5}{9}(T_F - 32) \quad (1-2)$$

Στα μέσα του 19^{ου} αιώνα ο λόρδος Κέλβιν (Kelvin) όρισε την **απόλυτη κλίμακα** μέτρησης θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία στην κλίμακα αυτή μετριέται σε Κέλβιν, **K** (και όχι βαθμούς Κέλβιν °K) προς τιμή του εφευρέτη της κλίμακας, και έχει οριστεί έτσι ώστε ένα Κέλβιν να είναι ακριβώς ίσο με ένα βαθμό Κελσίου. Και αυτή η κλίμακα έχει βασιστεί στις θερμοκρασίες τήξης και βρασμού του καθαρού νερού σε πίεση 760mmHg. Η διαφορά με τις άλλες κλίμακες έγκειται στο ότι το σημείο τήξης του πάγου είναι 273,15K και άρα το σημείο βρασμού του νερού είναι 373,15K.



Σχήμα 1.7 Συγκριτική παρουσίαση των ευρέως χρησιμοποιούμενων κλιμάκων μέτρησης θερμοκρασίας

Η σχέση μεταξύ της κλίμακας Κελσίου και της κλίμακας Κέλβιν είναι η παρακάτω (βλέπε και Σχήμα 1.7):

$$T_K = T_C + 273,15 \quad (1-3)$$

1.2.2 Θερμότητα

Η **θερμότητα** είναι μια μορφή ενέργειας, η οποία ορίζεται ως η ενέργεια που μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο, εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ τους. Η θερμότητα είναι μια από τις πιο χρήσιμες μορφές ενέργειας λόγω της άμεσης σχέσης της με το έργο.

Η διαφορά της θερμότητας με τη θερμοκρασία είναι ότι η θερμότητα είναι μια μορφή ενέργειας, ενώ η θερμοκρασία είναι το μέτρο εκείνο με το οποίο προσδιορίζουμε το ποσό της θερμότητας και αποτελεί ένδειξη της ενεργειακής κατάστασης του σώματος.

Μονάδες θερμότητας

Ως μονάδα για τη μέτρηση της ποσότητας της θερμοκρασίας ορίζεται η θερμίδα ή cal (calorie), δηλαδή η ποσότητα θερμότητας που χρειάζεται ένα γραμμάριο νερό να αυξήσει τη θερμοκρασία του από 14,5 °C σε 15,5 °C. Στην πράξη χρησιμοποιείται το kcal (1kcal =1000cal) λόγω του πολύ μικρού μεγέθους που αντιπροσωπεύει το ένα cal.

Στο αγγλοσαξωνικό σύστημα η αντίστοιχη μονάδα θερμότητας είναι το BTU (British Thermal Unit), η ποσότητα θερμότητας που απαιτείται για να αυξήσει τη θερμοκρασία νερού βάρους μιας λίβρας (1lb ≈ 0.45kg) κατά ένα βαθμό Φαρενάιτ, από τους 63 °F στους 64°F.

Στο διεθνές σύστημα μονάδων (S.I.), η θερμότητα μετριέται σε Joule (J) ή kiloJoule (kJ - η διεθνώς επικρατούσα μονάδα ενέργειας).

Αριθμητική εφαρμογή: Υπολογισμός θερμοκρασίας σε διάφορες κλίμακες.

Η θερμοκρασία βρασμού της αεροπορικής βενζίνης είναι 353,3K. Υπολογίστε τη θερμοκρασία στις κλίμακες Κελσίου και Φαρενάιτ

Λύση:

Από τις σχέσεις (1-3) και (1-1) έχουμε:

Λύνοντας προς T_C την σχέση (1-3) υπολογίζουμε τη θερμοκρασία σε βαθμούς °C:

$$T_C = T_K - 273,15 = 353,3 - 273,15 = 80,15^\circ\text{C}$$

Λύνοντας προς T_C την σχέση (1-1) έχουμε:

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32 = 1,8 * 80,15 + 32 = 176,27^\circ\text{F}$$

1.3 Μετάδοση θερμότητας

1.3.1 Μηχανισμοί μετάδοσης θερμότητας

Η θερμότητα όπως αναφέραμε και στην προηγούμενη παράγραφο είναι η ενέργεια η οποία μεταδίδεται έχοντας ως κινητήρια δύναμη τη διαφορά θερμοκρασίας. Η μετάδοσή της γίνεται με τρεις βασικούς τρόπους, οι οποίοι έχουν να κάνουν με την κατάσταση στην οποία βρίσκεται η ύλη (στερεή ή ρευστή). Το σημαντικό στοιχείο είναι ότι σε όλους τους τρόπους η μετάδοση θερμότητας μεταξύ δύο σωμάτων γίνεται **μόνο αν** υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας και επιπλέον αν και τα δύο σώματα είναι αγωγοί τη θερμότητας. Η φορά της ροής της θερμότητας είναι από το σώμα με την υψηλότερη θερμοκρασία προς το σώμα με τη χαμηλότερη θερμοκρασία.

Οι τρόποι λοιπόν μετάδοσης θερμότητας είναι οι ακόλουθοι:

- (i) Μετάδοση με αγωγή (conduction)
- (ii) Μετάδοση με μεταφορά (convection)
- (iii) Μετάδοση με ακτινοβολία (radiation)

Τέλος υπάρχει και η μικτή μετάδοση, η οποία αποτελεί συνδυασμό των παραπάνω.

1.3.1.1 Μετάδοση με αγωγή

Η διάδοση θερμότητας με αγωγή είναι ο τρόπος μετάδοσης θερμότητας μεταξύ δύο σωμάτων σε επαφή (ή δύο σημείων ενός σώματος), χωρίς να υπάρχει μεταφορά ύλης (Σχήμα 1.8).

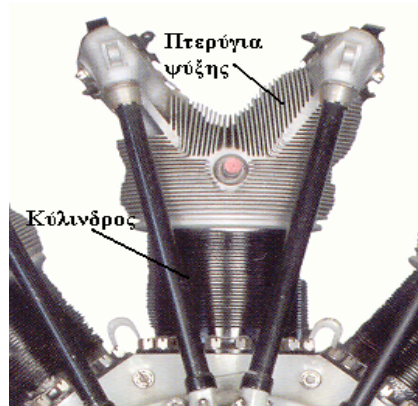
Η μετάδοση με αγωγή είναι χαρακτηριστικός τρόπος μετάδοσης θερμότητας στα στερεά. Η μετάδοση οφείλεται μερικώς στην επαφή των γειτονικών ατόμων τα οποία, ταλαντευόμενα γύρω από τη σχετική τους θέση, μεταδίδουν θερμότητα με τη μορφή κυμάτων στο υπόλοιπο στερεό και μερικώς στη εσωτερική ακτινοβολία. Αν τώρα το στερεό είναι μέταλλο, υπάρχουν επίσης μεγάλοι αριθμοί ελεύθερων ηλεκτρονίων στα άτομα του, τα οποία μπορούν να μετακινηθούν μέσα στο υλικό, από το ένα άτομο στο άλλο συνεισφέροντας στην μεταφορά της θερμότητας.



Σχήμα 1.8 Η θέρμανση της λαβής γίνεται μέσω «αγωγής»

Είναι γεγονός ότι η συμμετοχή των ελεύθερων ηλεκτρονίων παίζει τον πρωταρχικό ρόλο στη μετάδοση θερμότητας στα μέταλλα και επίσης δικαιολογεί τη σχέση μεταξύ ηλεκτρικής και θερμικής αγωγιμότητας. Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα μετάδοσης θερμότητας με αγωγή σε εμβολοφόρο κινητήρα έχουμε στον κύλινδρο καύσης (Σχήμα 1.9). Η θερμότητα που παράγεται κατά τη διάρκεια της καύσης διοχετεύεται μέσω

των τοιχωμάτων του κυλίνδρου από την εσωτερική στην εξωτερική του επιφάνεια¹.



Σχήμα 1.9 Μεταφορά παραγόμενης θερμότητας με αγωγή σε αερόψυκτο κινητήρα. Η θερμότητα περνάει από τον κύλινδρο στο περιβάλλον με τη βοήθεια πτερυγίων ψύξης και του ρεύματος αέρα από τον έλικα.

1.3.1.2 Μετάδοση με μεταφορά

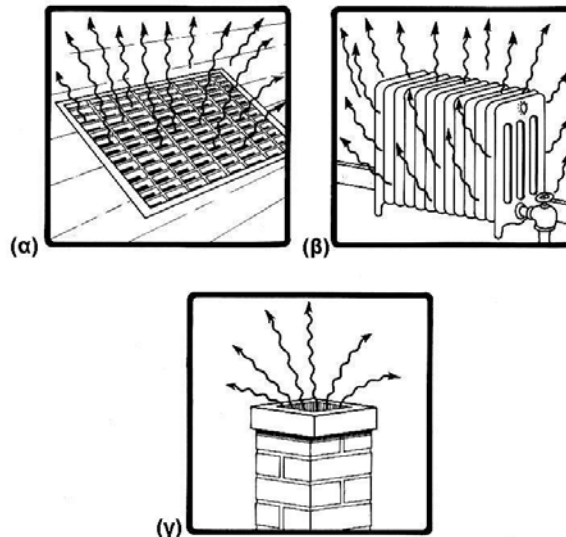
Μεταφορά ονομάζουμε τον τρόπο μετάδοσης της θερμότητας λόγω μετακίνησης της μάζας ενός ρευστού (υγρού ή αερίου) από μια περιοχή του χώρου ή της μάζας του ρευστού, σε μια άλλη.

Η μετάδοση με μεταφορά διακρίνεται σε δύο κατηγορίες:

- (i) Την **εξαναγκασμένη μεταφορά** (Σχήμα 1.10(α)), όπου έχουμε μεταφορά μάζας του ρευστού εξαιτίας της διαφοράς πίεσης που δημιουργεί μια εξωτερική αιτία, όπως για παράδειγμα μια αντλία, π.χ. η αντλία νερού στο σύστημα ψύξης του κινητήρα ενός αυτοκινήτου, ή η παροχή θερμού αέρα για τη θέρμανση μεγάλων χώρων, μέσω αεραγωγών και με τη χρήση ανεμιστήρα.
- (ii) Την **ελεύθερη μεταφορά** (Σχήμα 1.10(β) και (γ)), όπου η μεταφορά μάζας του ρευστού οφείλεται στη διαφορά πυκνότητας των θερμών μαζών, οι οποίες είναι ελαφρότερες από τις ψυχρότερες. Ελεύθερη μεταφορά θερμότητας συναντάμε στα οικιακά συστήματα θέρμανσης όπου ο αέρας σε επαφή με το θερμαντικό σώμα καθώς θερμαίνεται ανέρχεται λόγω μικρότερης

¹ Αν ο κινητήρας είναι αερόψυκτος (air cooled) (όπως η πλειοψηφία των αεροπορικών κινητήρων), η θερμότητα αποβάλλεται στην ατμόσφαιρα με τη βοήθεια πτερυγίων ψύξης (cooling fins) ή ύπαρξη των οποίων αποσκοπεί στην αύξηση της ψυχόμενης επιφάνειας. Πρόκειται για μετάδοση με μεταφορά (βλ. επόμενη παράγραφο).

πυκνότητας (άρα και βάρους), και τη θέση του καταλαμβάνει ψυχρότερος αέρας ο οποίος με τη σειρά του θερμαίνεται από το σώμα. Ο θερμός αέρας μεταδίδει τη θερμότητά του στο χώρο και κατέρχεται καθώς ψύχεται επαναλαμβάνοντας τον κύκλο.



Σχήμα 1.10 Μετάδοση θερμότητας με μεταφορά: (α) Παροχή ζεστού αέρα, (β) Καλοριφέρ, (β) Καμινάδα

Ένα άλλο παράδειγμα μετάδοσης θερμότητας με μεταφορά είναι η περίπτωση υγρόψυκτου (water cooled) κινητήρα, όπου η θερμότητα από τα τοιχώματα των κυλίνδρων διοχετεύεται στο ψυκτικό υγρό κυρίως μέσω μεταφοράς. Το ψυκτικό υγρό με τη σειρά του διοχετεύει την θερμότητα που έχει στην ατμόσφαιρα μέσω ενός εναλλάκτη (heat exchanger) ή κοινώς ψυγείο, τον τρόπο λειτουργίας του οποίου θα μελετήσουμε στην §1.3.1.5. Οι εναλλάκτες ψύξης χρησιμοποιούνται στους αεροπορικούς κινητήρες κυρίως για την ψύξη του ελαίου λίπανσης.

1.3.1.3 Μετάδοση με ακτινοβολία

Η θερμότητα στην περίπτωση μετάδοσης με ακτινοβολία, μεταδίδεται μέσω των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που εκπέμπει ένα σώμα το οποίο έχει μια δεδομένη θερμοκρασία. Κάθε σώμα που βρίσκεται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη του απόλυτου μηδενός εκπέμπει ακτινοβολία, το μήκος κύματος της οποίας είναι αντιστρόφως ανάλογο της θερμοκρασίας.

Τα σώματα που έχουν θερμοκρασία κοντά σε αυτήν του περιβάλλοντος εκπέμπουν στο υπέρυθρο φάσμα, του οποίου το μήκος κύματος είναι μεγαλύτερο από αυτού του ορατού φωτός. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, τα μικρότερα μήκη κύματος κυριαρχούν και σε θερμοκρασίες της τάξης των 800 °C - 900°C ένα σώμα εκπέμπει ακτινοβολία σε ορατό μήκος κύματος

έτσι ώστε να φαίνεται ερυθροπυρωμένο. Σε θερμοκρασίες της τάξης των 3000°C κατά το μέγιστο ποσοστό η ακτινοβολία αποτελείται από ορατό φως, και το σώμα φαίνεται λευκοπυρωμένο (π.χ. το νήμα μιας λάμπας πυρακτώσεως).

Η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία είναι ο μοναδικός από τους τρόπους μετάδοσης που δεν εξαρτάται από την ύπαρξη ενός μέσου για να λειτουργήσει ως αγωγός της θερμότητας. Ένα μέρος της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε ένα σώμα απορροφάται, ενώ ένα άλλο αντανακλάται, αναλόγως του χρώματος που έχει το σώμα. Η θερμική ακτινοβολία μπορεί να διέρχεται και μέσα από το κενό, όπως για παράδειγμα η ηλιακή ακτινοβολία φθάνει από τον ήλιο στη γη.



Σχήμα 1.11 Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία

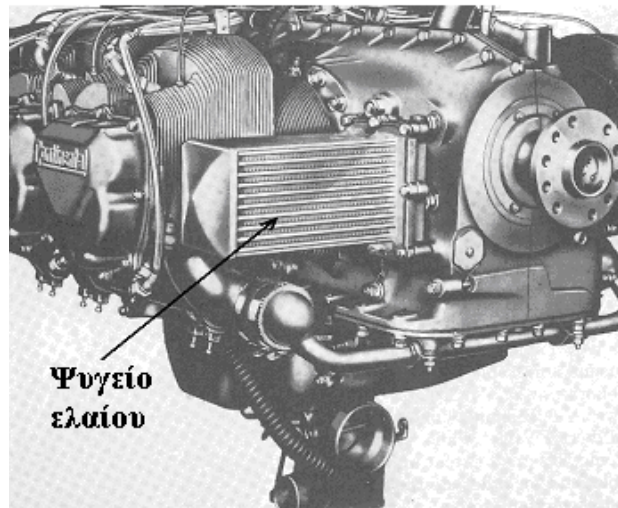
1.3.1.4 Μικτή μετάδοση

Η μεταφορά θερμότητας στην πραγματικότητα σπάνια γίνεται μόνο με έναν από τους παραπάνω τρόπους. Τις περισσότερες φορές παρατηρείται ταυτόχρονα μεταφορά θερμότητας με περισσότερους από ένα τρόπους. Έχοντας σαν δεδομένο ότι ένα θερμό σώμα ακτινοβολεί σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις μεταφοράς θερμότητας θα έχουμε επιπρόσθετα και μεταφορά με ακτινοβολία. Για παράδειγμα, η θερμότητα που μεταδίδει ένα θερμαντικό σώμα οφείλεται στη μεταφορά θερμότητας, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας του θερμού νερού που περιέχει, με τον περιβάλλοντα αέρα. Ένα σημαντικό ποσό θερμότητας όμως μεταδίδεται και με ακτινοβολία, κάτι που μπορούμε να αισθανθούμε σε απόσταση αρκετών εκατοστών μακριά από το σώμα.

1.3.1.5 Εναλλάκτες

Όταν υπάρχει απαίτηση για μεταφορά θερμότητας χωρίς να λαμβάνει μέρος και μεταφορά ύλης, όπως στο παραπάνω παράδειγμα του θερμαντικού σώματος, τότε χρησιμοποιούμε συσκευές που ονομάζονται εναλλάκτες θερμότητας. Ο εναλλάκτης επιτρέπει τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών, χωρίς ανάμιξή τους. Είναι μια συσκευή κατασκευασμένη από

θερμοαγώγιμο υλικό και βασικό χαρακτηριστικό της είναι η μεγάλη επιφάνεια που διαθέτει για τη μεγιστοποίηση της ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ των ρευστών. Η λειτουργία του εναλλάκτη βασίζεται κυρίως στα φαινόμενα της φυσικής ή της εξαναγκασμένης μεταφοράς.



Σχήμα 1.12 Ψυγείο ελαίου αεροπορικού εμβολοφόρου κινητήρα

Γνωστοί τύποι εναλλακτών στην καθημερινή χρήση είναι το θερμαντικό σώμα όπως είδαμε παραπάνω, το ψυγείο του οικιακού καταψύκτη, και το ψυγείο του αυτοκινήτου. Τα δύο πρώτα λειτουργούν με φυσική μεταφορά, ενώ το τελευταίο με εξαναγκασμένη

Οι εναλλάκτες βρίσκουν εφαρμογή σε αεροπορικές εφαρμογές για την ψύξη του ελαίου λίπανσης, Σχήμα 1.12, για τη θέρμανση του καυσίμου, στα συστήματα κλιματισμού κ.ά.

Αριθμητική εφαρμογή: Υπολογισμός του ποσού ροής θερμότητας με αγωγή.

Η θερμότητα που μεταφέρεται με αγωγή μεταξύ δύο σωμάτων ορίζεται από τον τύπο:

$$Q = -kA(dT/L) \quad (1),$$

όπου k : συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας,

A : η επιφάνεια στην οποία πραγματοποιείται η μετάδοση του ποσού της θερμότητας,

dT : η διαφορά της θερμοκρασίας μεταξύ των δύο σωμάτων,

L : το μήκος στο οποίο πραγματοποιείται η μεταφορά της θερμότητας.

Θεωρώντας ότι η ροή θερμότητας (heat flux) ορίζεται από το μέγεθος Q/A , υπολογίστε τη ροή θερμότητας που προκύπτει από μία θερμοκρασιακή διαφορά

50K διαμέσου δύο επιφανειών ενός ελάσματος από χάλυβα ($k=45\text{W/mK}$) πάχους 2 m.

Λύση:

Από τη εξίσωση (1) προκύπτει:

$$Q/A = -k(dT/L) \quad (2).$$

Εισάγοντας τα αριθμητικά δεδομένα στην εξίσωση (2) ισχύει:

$$Q/A = -45 \times (50 / 2) = 1.125 \text{ W/m}^2$$

1.4 Μετατροπή θερμότητας σε έργο

1.4.1 Ορισμοί

Μια από τις επίσης θεμελιώδεις έννοιες της θερμοδυναμικής, είναι αυτή της εσωτερικής ενέργειας λόγω της άμεσης σχέσης της με την παραγωγή έργου. Για να γίνει κατανοητή η έννοια της εσωτερικής ενέργειας, θα αναφερθούμε συνοπτικά στα είδη ενέργειας που μπορεί να έχει ένα σώμα. Αυτά είναι τα παρακάτω:

- Η **δυναμική ενέργεια** είναι η ενέργεια που έχει ένα σώμα λόγω της θέσης του μέσα σε ένα πεδίο (ηλεκτρικό, μαγνητικό ή βαρυτικό) ή λόγω της κατάστασής του. Μία από τις κοινές μορφές δυναμικής ενέργειας είναι αυτή που έχει ένα σώμα λόγω του ύψους στο οποίο βρίσκεται.
- Η **κινητική ενέργεια** είναι η ενέργεια που έχει ένα σώμα δεδομένης μάζας όταν κινείται, όπως π.χ. η ενέργεια που έχει ένα αεροσκάφος λόγω της ταχύτητάς του. Η δυναμική και η κινητική ενέργεια αποτελούν «τμήματα» της **μηχανικής ενέργειας** ενός σώματος. Για παράδειγμα, η δυναμική ενέργεια του νερού στην κορυφή ενός υδατοφράγματος μετατρέπεται αρχικά σε κινητική ενέργεια (λόγω της ταχύτητας που αποκτά κατά την πτώση του) πριν μετατραπεί τελικά σε ηλεκτρική μέσω της γεννήτριας ρεύματος που είναι συνδεδεμένη στον άξονα του υδροστρόβιλου.
- Η **εσωτερική ενέργεια** σε αντίθεση με τα δύο προηγούμενα είδη, έχει να κάνει με το τι συμβαίνει στο εσωτερικό ενός σώματος, δηλαδή στα δομικά στοιχεία που το αποτελούν, όπως τα μόρια και τα άτομα. Τα μόρια ενός σώματος κατέχουν κινητική ενέργεια λόγω των ταλαντώσεων που εκτελούν γύρω από τη θέση τους και δυναμική ενέργεια σαν αποτέλεσμα της έλξης - άπωσης που ασκούν το ένα στο άλλο λόγω των

ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που έχουν. Η εσωτερική ενέργεια αυξάνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του σώματος¹.

Η εσωτερική ενέργεια αποτελεί μία από τις **ιδιότητες της ύλης**, όπως η θερμοκρασία, η πίεση και ο όγκος. Η **κατάσταση** της ύλης καθορίζεται πλήρως αν γνωρίζουμε δύο ιδιότητες.

1.4.2 Πρώτο Θερμοδυναμικό Αξίωμα

Το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα δεν μπορεί να αποδειχθεί, γι'αυτό ονομάζεται και αξίωμα. Η εγκυρότητά του έγκειται στο γεγονός ότι από την εποχή που διατυπώθηκε μέχρι τώρα δεν έχει διαψευστεί, αντιθέτως η εμπειρία το επαληθεύει σε κάθε θερμοδυναμική μεταβολή.

Το αξίωμα εφαρμόζεται τόσο σε κλειστά όσο και σε ανοικτά συστήματα. Στη συνέχεια αναφερόμαστε σε αυτό, όπως εφαρμόζεται σε κλειστά συστήματα. Το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα περιγράφει την αρχή διατήρησης της ενέργειας κατά τις μεταβολές της κατάστασης του συστήματος λόγω συναλλαγής έργου και θερμότητας μεταξύ του περιβάλλοντος και του συστήματος.

Η διατύπωση του πρώτου θερμοδυναμικού αξιώματος οφείλεται στη δουλειά πολλών ερευνητών κατά τη διάρκεια του 19^{ου} αιώνα. Την πιο συστηματική έρευνα στο πεδίο της ενέργειας και του έργου πραγματοποίησε ο James Joule την περίοδο 1840-50, ο οποίος απέδειξε ότι υπάρχει σχέση μεταξύ της εσωτερικής ενέργειας και του έργου και συγκεκριμένα ότι μπορούμε να προσθέσουμε εσωτερική ενέργεια σ' ένα σώμα μέσω μηχανικού έργου.

Το **πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα** για κλειστό σύστημα μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

Η συναλλασσόμενη με ένα κλειστό σύστημα θερμότητα Q είναι ίση με το άθροισμα της μεταβολής της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος ΔU και του έργου που σχετίζεται με τη μεταβολή αυτή W_{12} ². $\Delta U = U_2 - U_1$, είναι η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας πριν (U_1) και μετά (U_2) την προσθήκη θερμότητας στο σύστημα.

Μαθηματικά εκφράζεται από την ακόλουθη σχέση:

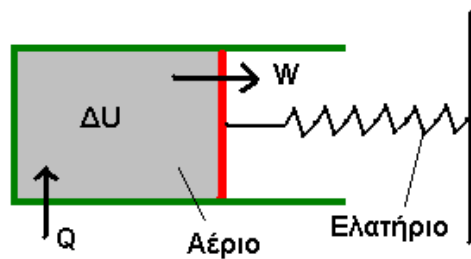
¹ Ορίζεται επίσης η **ειδική εσωτερική ενέργεια** ως η εσωτερική ενέργεια ανά μονάδα μάζας (αντιστοίχως ορίζεται ο ειδικός όγκος)

² Η θερμότητα θεωρείται θετική όταν προσδίδεται στο σύστημα, ενώ το έργο όταν αποδίδεται από αυτό.

$$Q = (U_2 - U_1) + W_{12} \quad (1-4)$$

όπου Q είναι η συναλλασσόμενη θερμότητα, U_2 & U_1 η εσωτερική ενέργεια του εργαζόμενου μέσου στην αρχική (1) και τελική (2) κατάσταση της μεταβολής και W_{12} το προσδιδόμενο ή αποδιδόμενο έργο.

Όταν προσθέτουμε ένα ποσό θερμότητας σε ένα σύστημα και αυτό δεν παράγει έργο τότε η εσωτερική του ενέργεια αυξάνεται. Αντιστρόφως, όταν ένα σύστημα παράγει έργο χωρίς να του προσθέτουμε θερμότητα, τότε η εσωτερική του ενέργεια μειώνεται.



Σχήμα 1.13 Πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα

Για παράδειγμα (Σχήμα 1.13) το καθαρό ποσό θερμότητας (Q) που προσδίδεται στο κλειστό σύστημα του σχήματος, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του αερίου (ΔU) και την παραγωγή έργου (W) το οποίο χρησιμοποιείται για τη μετατόπιση του περιβάλλοντος αέρα και για τη συμπίεση του ελατηρίου.

1.4.3 Ενθαλπία – Τεχνικό Έργο

Η **ειδική ενθαλπία** είναι μια ιδιότητα ενός ρευστού (και της ύλης κατ' επέκταση) και ορίζεται σαν το άθροισμα της **ειδικής εσωτερικής ενέργειας** u , ενός ρευστού, και του γινομένου της **πίεσης** και του **ειδικού όγκου** του, pv ¹.

$$h = u + pv \quad (1-5)$$

Όπου h είναι η ενθαλπία, u η ειδική εσωτερική ενέργεια, p η πίεση και v ο ειδικός όγκος του ρευστού.

Το άθροισμα $u + pv$ συναντάται συχνά στη θερμοδυναμική σε διάφορες μεταβολές.

¹ Πρόκειται για τον όγκο «μίας» μονάδας μάζας του ρευστού. Αντιστοίχα ορίζονται οι λοιπές «ειδικές» ιδιότητες, όπως ειδική ενθαλπία, εσωτερική ενέργεια κλπ.

Καθώς αποτελείται από τις ιδιότητες της ύλης όπως η πίεση, ο όγκος και η εσωτερική ενέργεια, η ενθαλπία αποτελεί επίσης μια ιδιότητα της ύλης. Η αλλαγή της ενθαλπίας μεταξύ δύο καταστάσεων ενός αερίου εξαρτάται μόνο από την αρχική και τελική κατάσταση του αερίου και όχι από τη διαδικασία στην οποία υποβάλλεται το αέριο (το ίδιο ισχύει και για τις υπόλοιπες ιδιότητες της ύλης).

1.4.4 Ειδική θερμότητα υπό σταθερό όγκο και υπό σταθερή πίεση – Ιδανικά αέρια

Αναγκαία συνθήκη για να έχουμε μεταφορά θερμότητας από ένα σώμα σε ένα άλλο όπως είδαμε στην παράγραφο 1.2.1, είναι η ύπαρξη διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ τους (η μεταφορά γίνεται πάντα από το θερμότερο στο ψυχρότερο).

Αν θέλουμε να θερμάνουμε ένα σώμα σε μια δεδομένη θερμοκρασία, για να βρούμε το ποσό της θερμότητας που χρειάζεται, θα πρέπει να γνωρίζουμε τη μάζα του και το υλικό από το οποίο αποτελείται. Εμπειρικά έχει αποδειχθεί ότι διαφορετικά υλικά ίδιας μάζας απαιτούν διαφορετικές ποσότητες θερμότητας για να αυξηθεί η θερμοκρασία τους κατά τον ίδιο βαθμό. Αυτό εκφράζεται με τον ορισμό σταθερών, οι οποίες καλούνται **ειδικές θερμοχωρητικότητες ή ειδικές θερμότητες**.

Έτσι κατά τη διάρκεια της μεταβολής ενός συστήματος μάζας m , με συναλλαγή θερμότητας (Q_{12}) από μία κατάσταση θερμοκρασίας T_1 , σε μία κατάσταση θερμοκρασίας T_2 , η οποία λαμβάνει χώρα υπό σταθερή πίεση (**ισοβαρής μεταβολή**), ορίζεται η **μέση ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση c_p** ως ακολούθως:

$$Q_{12} = c_p m (T_2 - T_1) \quad (1-6)$$

Η **μέση ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση c_p** ορίζεται με τον ίδιο τρόπο για μεταβολές, οι οποίες πραγματοποιούνται υπό σταθερό όγκο (**ισόχωρες μεταβολές**). Η ειδική θερμότητα εκφράζει στην πράξη το ποσό θερμότητας που πρέπει να προσφέρουμε σε ένα σώμα μάζας 1kg για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά 1K.

Όσον αφορά τα αέρια, οι μεταβολές των πραγματικών αερίων, όπως αυτά συναντώνται στη φύση, μελετούνται στη θερμοδυναμική με τη χρήση ενός υποθετικού αερίου το οποίο αντιπροσωπεύει τη συμπεριφορά όλων των πραγματικών αερίων, κάτω από δεδομένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Αυτό συμβαίνει γιατί κάθε αέριο ανταποκρίνεται διαφορετικά στις μεταβολές της πίεσης και της θερμοκρασίας από κάποιο άλλο, οπότε μια σχέση που ισχύει για όλα τα αέρια μας βοηθάει στην ανάλυση των

μεταβολών των αερίων. Αυτή η σχέση ονομάζεται **καταστατική εξίσωση των αερίων** και το παραπάνω υποθετικό αέριο ονομάζεται **ιδανικό αέριο**. Την καταστατική εξίσωση των αερίων αντιπροσωπεύει η ακόλουθη σχέση :

$$pV = n R T \quad (1-7)$$

Όπου:

- p η πίεση,
- V ο όγκος,
- T η θερμοκρασία,
- n είναι ο αριθμός των γραμμομορίων¹ του ιδανικού αερίου, και
- **R η παγκόσμια σταθερά των αερίων²**, ή οποία είναι ανεξάρτητη από το είδος του αερίου.

Για τα ιδανικά αέρια αποδεικνύεται [5] ότι υπάρχει **σχέση μεταξύ των c_p , c_v και R** , η οποία δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$c_p - c_v = R_g \quad (1-8)$$

Στην παραπάνω σχέση **R_g είναι η σταθερά του συγκεκριμένου αερίου**, η οποία προκύπτει διαιρώντας την παγκόσμια σταθερά των αερίων προς το μοριακό βάρος του αερίου.

Αριθμητική εφαρμογή: Υπολογισμός της μεταβολής στην εσωτερική ενέργεια ιδανικού αερίου στις ακόλουθες περιπτώσεις:

A) το αέριο απορροφά θερμότητα $Q = 1.000 \text{ J}$ και παράγεται έργο $W = 300 \text{ J}$.

B) το αέριο απορροφά θερμότητα $Q = 1.500 \text{ J}$ και του προσφέρεται έργο $W = 500 \text{ J}$.

Λύση: Χρησιμοποιούμε την εξίσωση (1-4) στη μορφή .

$$\Delta U = Q - W$$

Τα μεγέθη Q και W εισάγονται με τα πρόσημά τους.

Το ποσό θερμότητας Q είναι αρνητικό όταν προσφέρεται στο σύστημα και αρνητικό όταν αφαιρείται από αυτό.

¹ Γραμμομόριο είναι η μάζα του αερίου, όση το μοριακό του βάρος

² $R=8.314\text{kJoule/kmol-K}$

Το έργο W είναι θετικό όταν παράγεται από το σύστημα και αρνητικό όταν προσφέρεται σε αυτό από το περιβάλλον.

Από την παραπάνω εξίσωση έχουμε λοιπόν:

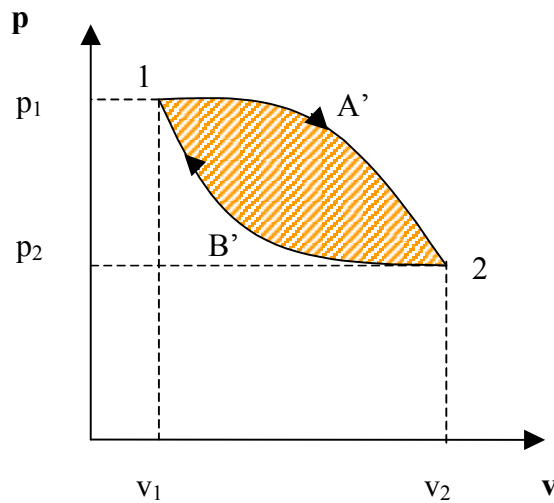
A) $Q = +1.000 \text{ J}$, $W = +300 \text{ J}$ οπότε: $\Delta U = 1.000 - 300 = +700 \text{ J}$

B) $Q = +1.500 \text{ J}$, $W = -500 \text{ J}$ οπότε: $\Delta U = 1.000 - (-500) = +1.500 \text{ J}$

1.5 Κυκλικές μεταβολές καταστάσεων

Ονομάζουμε κυκλική μεταβολή ενός θερμοδυναμικού συστήματος, τη μεταβολή κατά την οποία αυτό εκκινεί από μία κατάσταση, διέρχεται από διαδοχικές καταστάσεις ισορροπίας, για να καταλήξει εκ νέου στην ίδια αρχική κατάσταση. Κατά τη διάρκεια των μεταβολών αυτών γίνεται συναλλαγή θερμότητας και έργου μεταξύ συστήματος και περιβάλλοντος.

Ένα παράδειγμα κυκλικής μεταβολής φαίνεται στο Σχήμα 1.14. Εδώ έχουμε την κυκλική μεταβολή ενός αερίου σε κλειστό θερμοδυναμικό σύστημα το οποίο υπόκειται στις μεταβολές $1A'2$ και $2B'1$, ξεκινώντας και καταλήγοντας στο σημείο 1.



Σχήμα 1.14 Διάγραμμα p-v απλής κυκλικής μεταβολής. Το παραγόμενο έργο ισούται με το εμβαδόν της διαγραμμισμένης επιφάνειας.

Το έργο που συναλλάσσεται σε μια μεταβολή είναι ίσο με το εμβαδόν της επιφάνειας που περικλείεται μεταξύ της καμπύλης της μεταβολής και του οριζώντιου άξονα.

Το έργο που παράγεται κατά τη μεταβολή $1A'2$ ισούται με το εμβαδόν $1A'2 V_2 V_1$. Κατά τη μεταβολή $2B'1$ απορροφάται έργο που είναι ίσο με το εμβαδόν $1B'2 V_2 V_1$. Η διαφορά των εμβαδών των δύο μεταβολών (ή το

εμβαδόν της κλειστής καμπύλης) μας δίνει το έργο που παράγεται κατά τη διάρκεια της κυκλικής μεταβολής. Δηλαδή :

$$W_{1A'2B'1} = W_{1A'2} - W_{2B'1} = W_{1A'2} - W_{1B'2} \quad (1-9)$$

Στη συγκεκριμένη μεταβολή το έργο που παράγεται κατά τη διαδρομή 2B'1 είναι αρνητικό γιατί πρέπει να προσθέσουμε έργο στο αέριο για να αυξήσουμε την πίεσή του, ασκώντας για παράδειγμα μία δύναμη στο έμβολο ενός κυλίνδρου. Στη διαδρομή 1A'2 το παραγόμενο έργο είναι θετικό, γιατί καθώς το αέριο εκτονώνεται μπορεί να παράσχει έργο μετακινώντας ένα βάρος με τη βοήθεια ενός εμβόλου σε κάποιο ύψος.

Σε μια κυκλική μεταβολή όπου στο τέλος της, όπως αναφέραμε παραπάνω το σύστημα επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση, η ολική μεταβολή της εσωτερικής του ενέργειας ισούται με μηδέν, δηλαδή $U_2 - U_1 = 0$. Από τη σχέση (1-4) συμπεραίνουμε ότι :

$$Q = W \quad (1-10)$$

Όπως βλέπουμε λοιπόν, το έργο που συναλλάσσεται σε μια κυκλική μεταβολή είναι ίσο με τη θερμότητα. Έτσι η θερμότητα μετατρέπεται σε έργο. Αυτό μας δείχνει την αρχή λειτουργίας των θερμικών μηχανών με την πραγματοποίηση κυκλικών μεταβολών.

1.5.1 Αντιστρεπτές και μη αντιστρεπτές μεταβολές

Θερμαίνοντας ένα δοχείο νερού, εμβαπτίζοντας σε αυτό μια ηλεκτρική αντίσταση, μετατρέπουμε την ηλεκτρική ενέργεια σε θερμότητα. Τα δύο ποσά ενέργειας είναι ίσα και η αρχή διατήρησης της ενέργειας προφανώς ικανοποιείται. Η εμπειρία όμως δείχνει ότι σε καμία περίπτωση δεν είναι δυνατόν να μετατραπεί μόνη της η θερμική ενέργεια του νερού σε ηλεκτρική και συνεπώς δεν μπορεί να μεταφερθεί θερμότητα, υπό τη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, από το νερό στην ηλεκτρική αντίσταση. Το φαινόμενο πραγματοποιείται προς μία μόνον κατεύθυνση και χαρακτηρίζεται ως **μη αναστρέψιμο**.

Κατά την θερμική επαφή δύο σωμάτων διαφορετικών θερμοκρασιών, των οποίων η κατάσταση δεν αλλάζει φάση¹, η μεταφορά θερμότητας γίνεται από το θερμότερο προς το ψυχρότερο. Η αρχή διατήρησης της ενέργειας ισχύει, μια και το ποσό θερμότητας που αφαιρείται από το θερμότερο προστίθεται στο ψυχρότερο. Η εμπειρία δείχνει ότι η μεταφορά θερμότητας, χωρίς την

¹ Στερεά, υγρή, αέρια φάση

παρουσία τρίτου παράγοντα, μπορεί να γίνει μόνο από το θερμότερο προς το ψυχρότερο σώμα. Πρόκειται και πάλι για φαινόμενο μη αναστρέψιμο.

Ένα τρίτο κλασσικό παράδειγμα εμφάνισης μη αναστρεψιμότητας είναι η ροή ρευστού μέσω αγωγού. Η διατήρηση της ροής επιτυγχάνεται μέσω αντλίας, η οποία καταβάλλει συνεχώς μηχανική ενέργεια, η οποία εκμηδενίζεται λόγω των τριβών μεταξύ των στρωμάτων του ρευστού και κυρίως των τριβών μεταξύ του ρευστού και του αγωγού (απώλειες ενέργειας). Η μηχανική ενέργεια (μέρος ή το σύνολο αυτής) της αντλίας μετατρέπεται σε θερμότητα, η οποία προσδίδεται στο ρευστό και στον αγωγό. Η εμπειρία διδάσκει ότι σε καμία περίπτωση δεν είναι δυνατή η αφ'εαυτής μετατροπή της θερμότητας σε μηχανική ενέργεια, η οποία θα μπορούσε να θέσει σε κίνηση το ρευστό.

Γενικά όλα τα φυσικά φαινόμενα είναι λιγότερο ή περισσότερο μη αναστρέψιμα και μόνο με την εισαγωγή κατάλληλων παραδοχών ή εξιδανικεύσεων, μπορούν να κατασκευασθούν ιδανικά αναστρέψιμα πρότυπα, τα οποία προσομοιάζουν προς τα πραγματικά φαινόμενα. Ένα αναστρέψιμο φαινόμενο είναι η κίνηση του εκκρεμούς, αν βεβαίως αμελήσουμε τις τριβές. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε δυναμική και αντίστροφα.

Η αδυναμία αναστροφής των προαναφερθέντων γεγονότων αποτελεί, όπως τονίστηκε, προϊόν της μακρόχρονης ανθρώπινης πείρας. Δεν αποδεικνύονται με μαθηματικό τρόπο και ούτε προκύπτουν από άλλους θεμελιώδεις νόμους της φυσικής. Η έκφραση αυτής της διαπίστωσης γίνεται μέσω του **Δεύτερου Θερμοδυναμικού Αξιώματος**.

1.5.2 Δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα

Όπως είδαμε στη διατύπωση του πρώτου θερμοδυναμικού αξιώματος δεν μπορούμε να παράγουμε έργο κατά τη διάρκεια ενός θερμοδυναμικού κύκλου χωρίς να προσθέσουμε μια ποσότητα θερμότητας. Αυτή η διατύπωση δεν αποκλείει την κατά 100% μετατροπή της προσφερόμενης θερμότητας σε έργο, και άρα την 100% απόδοση μιας θερμικής μηχανής. Κάτι τέτοιο δεν ισχύει στην πραγματικότητα

Η διατύπωση του δεύτερου θερμοδυναμικού αξιώματος έρχεται να συμπληρώσει και να περιορίσει το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα δηλώνοντας ότι κάποιο ποσό θερμότητας πρέπει πάντα να απορρίπτεται στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια της παραπάνω κυκλικής μεταβολής και συνεπώς δεν μπορούμε να έχουμε μετατροπή της θερμότητας σε έργο κατά 100%.

Μία από τις διατυπώσεις του **Δεύτερου Θερμοδυναμικού Αξιώματος** είναι η ακόλουθη:

Είναι αδύνατο να κατασκευάσουμε ένα σύστημα που θα εκτελεί μια κυκλική μεταβολή παράγοντας έργο ίσο με το ποσό της θερμότητας που του προσδώσαμε.

Συνεπώς η διαφοροποίηση που εισάγει το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα στο πρώτο αξίωμα είναι ότι το παραγόμενο έργο είναι **πάντοτε μικρότερο** της παρεχόμενης θερμότητας. Το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα μαθηματικά γίνεται αντιληπτό από την έννοια της εντροπίας, όπως θα δούμε στην επόμενη παράγραφο.

Επιπλέον, αν θέλουμε να συνδέσουμε άμεσα το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα με τις έννοιες των μη αντιστρεπτών διαδικασιών της προηγούμενης παραγράφου, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον ακόλουθο ορισμό:

Είναι αδύνατη η λειτουργία μιας μηχανής που θα λειτουργεί με βάση κυκλική διαδικασία και η μόνη της εργασία θα είναι η μεταφορά ποσού θερμότητας από ένα ψυχρό σώμα σε ένα θερμότερο.

1.5.3 Θερμοδυναμικός βαθμός απόδοσης θερμικής μηχανής

Η θερμική μηχανή είναι ένα σύστημα το οποίο εκτελεί μια κυκλική μεταβολή, παράγοντας έργο από μια παρεχόμενη ποσότητα θερμότητας. Όσο μεγαλύτερο ποσοστό της προσδιδόμενης στη μηχανή θερμότητας μετατρέπεται σε έργο, τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση της μηχανής. Συνεπώς ο **βαθμός απόδοσης η** μιας θερμικής μηχανής ορίζεται ως ο λόγος του **παραγόμενου έργου W** προς την **προσδιδόμενη θερμότητα Q** :

$$\eta = \frac{W}{Q} \quad (1-11)$$

Η προσδιδόμενη θερμότητα, σε αντίθεση με τη συναλλασσόμενη, περιλαμβάνει και ενέργεια, η οποία δεν μετατρέπεται σε έργο.

Θεωρητικά αν καταφέραμε με κάποιο τρόπο να μετατρέψουμε όλη την ποσότητα της θερμότητας σε έργο, η απόδοση της μηχανής θα έφτανε το 100%. Αλλά κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατόν, όπως είδαμε στη διατύπωση του δεύτερου θερμοδυναμικού αξιώματος. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός βενζινοκινητήρα φτάνει το 30%, ενός νηζελοκινητήρα το 45% ενώ ένας αεριοστρόβιλος μπορεί να φθάσει το 35%. Το υπόλοιπο τμήμα της προσδιδόμενης ενέργειας απορρίπτεται κατά

κύριο λόγο ως θερμότητα στο περιβάλλον, ενώ ένα μικρό ποσοστό αφορά απώλειες τριβών στα μηχανικά μέρη των κινητήρων.

Από πρακτική σκοπιά, οι περιορισμοί στην αύξηση του βαθμού απόδοσης ενός κινητήρα οφείλονται:

α) για τους εμβολοφόρους, στα όρια της μέγιστης θερμοκρασίας και πίεσης λειτουργίας, πάνω από τα οποία έχουμε προανάφλεξη του μείγματος αέρα-καυσίμου και πτώση της απόδοσης του κινητήρα

β) για τους αεριοστροβίλους, στις μέγιστες επιτρεπτές θερμοκρασίες των υπαρχόντων υλικών κατασκευής των πτερυγίων του στροβίλου, και στα μέγιστα όρια πίεσης λειτουργίας των συμπιεστών.

Αριθμητική εφαρμογή: Να υπολογίσετε το παραγόμενο έργο της μεταβολής που παριστάνεται από το διάγραμμα που φαίνεται στο Σχήμα 1.14, αν γνωρίζετε ότι έργο συμπίεσης είναι ίσο με 10 J και το έργο εκτόνωσης ίσο με 20 J.

Λύση: Η μεταβολή που περιγράφεται στο διάγραμμα είναι μία απλή κυκλική μεταβολή. Το παραγόμενο έργο ισούται με το εμβαδόν της διαγραμμισμένης επιφάνειας και δίνεται από την εξίσωση (1-9). Ισχύει:

$W_{1A'2B'1}$: ολικό παραγόμενο έργο.

$W_{2A'1V1V22}$: έργο συμπίεσης.

$W_{1A'2V2V11}$: έργο εκτόνωσης.

Τότε, η εξίσωση (1-9) δίνει:

$$W_{1A'2B'1} = W_{1A'2V2V11} - W_{2A'1V1V22} = 20 - 10 = 10 \text{ J.}$$

1.6 Υπολογισμός μεταβολής της εντροπίας.

Η ποσοτική διατύπωση του πρώτου θερμοδυναμικού αξιώματος βασίζεται στην ύπαρξη της εσωτερικής ενέργειας, μιας ιδιότητας του συστήματος η οποία είναι ίση, όπως έχουμε αναφέρει, με τη διαφορά της παρεχόμενης θερμότητας και του παραγόμενου έργου από το σύστημα.

Όπως προαναφέρθηκε, το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα επιβεβαιώνεται μόνο εμπειρικά, χωρίς θεωρητική απόδειξη. Ποσοτικά μπορεί να διατυπωθεί μέσω της έννοιας της εντροπίας.

Για ένα κλειστό σύστημα που πραγματοποιεί αντιστρεπτή μεταβολή ανταλλάσσοντας ένα πολύ μικρό ποσό θερμότητας ΔQ με το περιβάλλον, η μεταβολή της εντροπίας ΔS ορίζεται ως εξής:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \quad (1-12)$$

Όπου T είναι η θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου. Σημειώνεται ότι η εντροπία αποτελεί ιδιότητα του εργαζόμενου μέσου. Σε αντίθεση με την εσωτερική ενέργεια, ο υπολογισμός της οποίας είναι δυνατός για κάθε μεταβολή (αντιστρεπτή και μη αντιστρεπτή), η μεταβολή της εντροπίας μπορεί να υπολογιστεί μόνο για αντιστρεπτές μεταβολές.

Επίσης, σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, μπορούμε να υπολογίσουμε μόνο μεταβολές τις εντροπίας και όχι απόλυτες τιμές της. Μία εναλλακτική διατύπωση του δεύτερου θερμοδυναμικού αξιώματος αναφέρει ότι η εντροπία ενός θερμικά μονωμένου από το περιβάλλον συστήματος που εκτελεί μια μεταβολή αυξάνεται ή παραμένει σταθερή, αν η μεταβολή είναι αντιστρεπτή.

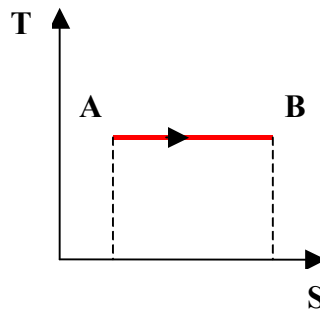
Στην πράξη η εντροπία αντιπροσωπεύει την κατάσταση της αταξίας ενός συστήματος. Αν για παράδειγμα σε μια ποσότητα ύλης, η οποία βρίσκεται σε χαμηλή θερμοκρασία, με μικρή μοριακή δραστηριότητα (δηλαδή μικρή κινητικότητα των μορίων που την αποτελούν) προσθέσουμε μια ποσότητα θερμότητας Q , η δραστηριότητα θα αυξηθεί σημαντικά. Αν το ίδιο ποσό θερμότητας προστεθεί στην ίδια ποσότητα ύλης, όταν αυτή βρίσκεται σε αυξημένη θερμοκρασία, η αύξηση της μοριακής δραστηριότητας θα είναι μικρότερη σχετικά με την πρώτη περίπτωση.

1.6.1 Διαγράμματα εντροπίας θερμοκρασίας

Τα διαγράμματα που απεικονίζουν τις μεταβολές της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με την εντροπία είναι ιδιαίτερα χρήσιμα όταν μελετάμε τα χαρακτηριστικά των θερμοδυναμικών κύκλων των θερμικών μηχανών. Συνεπώς οι μεταβολές των καταστάσεων των θερμικών μηχανών μπορούν να απεικονιστούν και σε διαγράμματα εντροπίας-θερμοκρασίας.

Τα διαγράμματα **εντροπίας - θερμοκρασίας** για τις χαρακτηριστικές μεταβολές των αερίων, δηλαδή ισοθερμοκρασιακή, ισόχωρη, αδιαβατική και ισοβαρή παρουσιάζονται στη συνέχεια.

- **Ισοθερμοκρασιακή μεταβολή**



Σχήμα 1.15 Διάγραμμα T-S ισοθερμοκρασιακής αντιστρεπτής μεταβολής

Για την ισοθερμοκρασιακή αντιστρεπτή μεταβολή ισχύει η ακόλουθη σχέση :

$$\Delta S_{AB} = nR \ln \frac{V_B}{V_A} \quad (1-13)$$

Όπου ΔS_{AB} : η αλλαγή της εντροπίας του αερίου από την κατάσταση A στην κατάσταση B

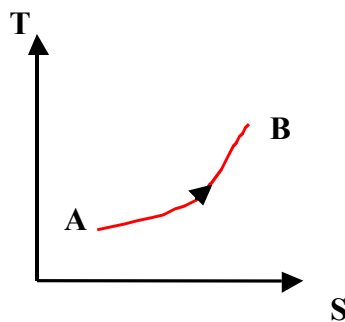
n : ο αριθμός των moles του αερίου που εκτελεί τη μεταβολή

R : η σταθερά της καταστατικής εξίσωσης των αερίων

V_A : ο όγκος του αερίου στην κατάσταση A

V_B : ο όγκος του αερίου στην κατάσταση B

- **Ισόχωρη μεταβολή**

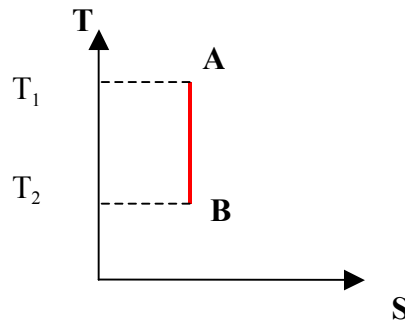


Σχήμα 1.16 Διάγραμμα T-S ισόχωρης αντιστρεπτής μεταβολής

Για την ισόχωρη αντιστρεπτή μεταβολή ισχύει η ακόλουθη σχέση :

$$\Delta S_{AB} = n c_V \ln \frac{T_B}{T_A} \quad (1-14)$$

- **Αδιαβατική μεταβολή**

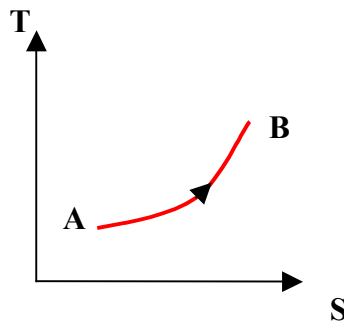


Σχήμα 1.17 Διάγραμμα T-S αδιαβατικής αντιστρεπτής μεταβολής

Για την αδιαβατική αντιστρεπτή μεταβολή είναι εμφανές από το παραπάνω διάγραμμα ότι δεν έχουμε μεταβολή της εντροπίας, οπότε:

$$\Delta S_{AB} = 0 \quad (1-15)$$

- **Ισοβαρής μεταβολή**



Σχήμα 1.18 Διάγραμμα T-S ισοβαρούς αντιστρεπτής μεταβολής

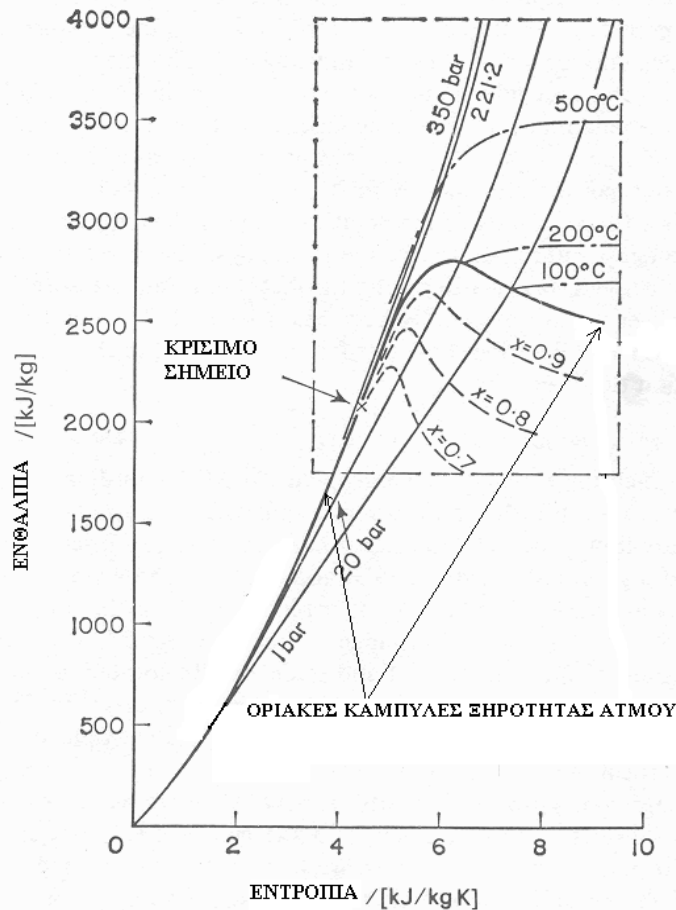
Για την ισοβαρή αντιστρεπτή μεταβολή ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$\Delta S_{AB} = nc_p \ln \frac{T_B}{T_A} \quad (1-16)$$

1.6.2 Διάγραμμα ενθαλπίας - εντροπίας

Το διάγραμμα στο οποίο απεικονίζονται οι μεταβολές της εντροπίας σε σχέση με την ενθαλπία, γνωστά και σαν διαγράμματα Mollier, βρίσκουν εφαρμογή στην ανάλυση της απόδοσης αδιαβατικών μεταβολών όπως αυτές που λαμβάνουν μέρος σε συμπιεστές, διαχύτες και τουρμπίνες, και άρα στην ανάλυση των θερμοδυναμικών κύκλων αεριοστρόβιλων κινητήρων. Για παράδειγμα, το έργο που απαιτείται για να αυξήσει ένας συμπιεστής την πίεση μιας ποσότητας αέρα, είναι ίσο με την αύξηση της ενθαλπίας μεταξύ

της εισαγωγής και της εξαγωγής του συμπιεστή. Συνεπώς αν η θερμοδυναμική κατάσταση του αέρα μπορεί να απεικονιστεί σε ένα διάγραμμα εντροπίας ενθαλπίας, $h-s$, το έργο που απαιτείται για την παραπάνω μεταβολή μπορεί να υπολογιστεί από τη διαφορά αρχικής και τελικής κατάστασης.



Σχήμα 1.19 Διάγραμμα $h-s$ για τον ατμό

Ένα αντιπροσωπευτικό διάγραμμα $h-s$ για τον ατμό [12] παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.19. Σε αυτό εμφανίζονται οι καμπύλες ξηρότητας του ατμού¹ ($x=0.7$, $x=0.8$, κλπ.), οι ισοθερμοκρασιακές ($T=100^\circ\text{C}$, 500°C , κλπ.) και οι ισόθλιπτες ($p=300\text{bar}$, κλπ.). Στο «Κρίσιμο Σημείο» τέμνονται οι καμπύλες της υγρής και της αέριας κατάστασης². Το κρίσιμο σημείο χαρακτηρίζεται από τις αντίστοιχες ιδιότητες (T , p , v , κλπ.) των οποίων οι τιμές αναφέρονται ως «κρίσιμες».

¹ Χαρακτηρίζουν το ποσοστό της υγρασίας που περιέχει ο ατμός.

² Δε μπορεί δηλαδή να διακριθεί η υγρή από την αέρια μορφή.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Η **Θερμοδυναμική** είναι ο κλάδος της επιστήμης της φυσικής που ασχολείται με τις σχέσεις μεταξύ των ιδιοτήτων της ύλης και τις έννοιες της θερμότητας και του έργου.
- **Θερμική μηχανή** ονομάζουμε τη μηχανή που μετατρέπει τη θερμότητα σε μηχανική ενέργεια. Οι μηχανές στις οποίες η θερμότητα προσδίδεται με την καύση κάποιου καυσίμου διακρίνονται σε μηχανές **εσωτερικής** και **εξωτερικής καύσης** και σε **παλινδρομικές** και **περιστροφικές** μηχανές.
- Η **θερμοκρασία** είναι το φυσικό μέγεθος που προσδιορίζει το μέτρο του ζεστού ή του κρύου σχετικά με κάποια κλίμακα μέτρησης.
- Οι ευρέως χρησιμοποιούμενες κλίμακες μέτρησης θερμοκρασίας είναι οι κλίμακες **Κελσίου**, **Κέλβιν** και **Φαρενάιτ**. Οι σχέσεις μεταξύ τους είναι οι ακόλουθες:

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32$$

$$T_C = \frac{5}{9}(T_F - 32)$$

$$T_K = T_C + 273,15$$

- Η **θερμότητα** είναι μια μορφή ενέργειας, η οποία ορίζεται ως η ενέργεια που μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ τους. Οι μονάδες μέτρησης της θερμότητας είναι το kJoule, το kcal και το BTU.
- Η μετάδοση θερμότητας μεταξύ δύο σωμάτων γίνεται **μόνο αν** υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας. Οι τρόποι μετάδοσης θερμότητας είναι:
 - ❖ Μετάδοση με **αγωγή**
 - ❖ Μετάδοση με **μεταφορά** (ελεύθερη και εξαναγκασμένη)
 - ❖ Μετάδοση με **ακτινοβολία**
- **Διατύπωση πρώτου θερμοδυναμικού αξιώματος**

Η συναλλασσόμενη με ένα κλειστό σύστημα θερμότητα Q είναι ίση με το άθροισμα της μεταβολής της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος (U_2-U_1) και του έργου που σχετίζεται με τη μεταβολή αυτή.

$$Q = (U_2 - U_1) + W_{12}$$

- Η **ενθαλπία** ενός αερίου δίνεται από την σχέση:

$$h = u + pv$$

- Η **καταστατική εξίσωση** των αερίων δίδεται από την ακόλουθη σχέση :

$$pV = n R T$$

- Η σχέση μεταξύ των c_p , c_v και R_g η δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$c_p - c_v = R_g$$

Όπου R_g είναι η σταθερά του αερίου, η οποία προκύπτει διαιρώντας την παγκόσμια σταθερά R προς το μοριακό βάρος του αερίου.

- Ο **βαθμός απόδοσης η** μιας **θερμικής μηχανής** δίνεται από το λόγο του αποδιδόμενου από τη μηχανή έργου προς την προσδιδόμενη σε αυτό θερμότητα:

$$\eta = \frac{W}{Q}$$

- Διατύπωση δεύτερου θερμοδυναμικού αξιώματος

Είναι αδύνατο να κατασκευάσουμε ένα σύστημα που θα εκτελεί μια κυκλική μεταβολή παράγοντας έργο ίσο με το ποσό της θερμότητας που του προσδώσαμε.

- Η μεταβολή της εντροπίας ΔS ορίζεται ως εξής:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

- Για την **ισοθερμοκρασιακή αντιστρεπτή** μεταβολή ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$\Delta S_{AB} = nR \ln \frac{V_B}{V_A}$$

- Για την **ισόχωρη αντιστρεπτή** μεταβολή ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$\Delta S_{AB} = nc_v \ln \frac{T_2}{T_1}$$

- Για την **αδιαβατική αντιστρεπτή** μεταβολή ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$\Delta S_{AB} = 0$$

- Για την **ισοβαρή αντιστρεπτή** μεταβολή ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$\Delta S_{AB} = nc_p \ln \frac{T_2}{T_1}$$

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

(1.1 Γενικά)

1. Ποιες από τις ακόλουθες μηχανές θα χαρακτηρίζατε σαν θερμικές μηχανές; Μια ανεμογεννήτρια, έναν αεροπορικό αεριοστρόβιλο, μια υδατογεννήτρια, έναν κινητήρα τύπου Wankel.
2. Ποιο είναι το ενεργό μέσο σε έναν δίχρονο εμβολοφόρο κινητήρα και σε έναν ατμοστρόβιλο;
3. Αναφέρατε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του εμβολοφόρου κινητήρα και του στροβιλοκινητήρα.

(1.2 Θερμοκρασία και θερμότητα)

1. Περιγράψτε τη διαφορά μεταξύ της θερμότητας και της θερμοκρασίας.
2. Αναφέρατε τα κυριότερα είδη θερμομέτρων και τις αρχές λειτουργίας. Ποια από αυτά βρίσκουν εφαρμογή σε αεροπορικούς κινητήρες;

(1.3 Μετάδοση θερμότητας)

1. Περιγράψτε με ποιον ή ποιους τρόπους μεταδίδεται η θερμότητα του ελαίου ψύξης ενός αερόψυκτου εμβολοφόρου κινητήρα από τον κινητήρα στο περιβάλλον.
2. Με ποιον τρόπο μεταδίδεται η θερμότητα που δημιουργείται από την καύση του μείγματος αέρα καυσίμου από το εσωτερικό του κύλινδρου ενός αερόψυκτου εμβολοφόρου κινητήρα στο περιβάλλον;
3. Το καλοκαίρι η ασφαλτος θερμαίνεται κυρίως εξαιτίας:
Α) μετάδοσης θερμότητας με μεταφορά.
Β) από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων.
Γ) μετάδοσης θερμότητας με ακτινοβολία.
4. Αναφέρατε τις εφαρμογές ενός εναλλάκτη σε έναν αερόψυκτο εμβολοφόρο αεροπορικό κινητήρα και σε έναν αεριοστρόβιλο κινητήρα

(1.4 Μετατροπή θερμότητας σε έργο)

1. Με ποιο τρόπο θα μπορούσαμε να παράγουμε έργο από μια μεταβολή ενός συστήματος χωρίς να προσθέσουμε ενέργεια στο σύστημα;

2. Πώς θα χαρακτηρίζατε την ενέργεια που έχουν τα καυσαέρια ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα μετά την έξοδό τους από την εξαγωγή του κινητήρα;
3. Διατυπώστε το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα.
4. Ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι ιδανικό αέριο.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

(1.5 Κυκλικές μεταβολές καταστάσεων)

1. Δώστε παραδείγματα μη αντιστρεπτών μεταβολών.
2. Διατυπώστε το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα. Ποια διαφοροποίηση εισάγει το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα στο πρώτο;
3. Πώς ορίζεται ο θερμοδυναμικός βαθμός απόδοσης μιας μηχανής; Είναι δυνατόν ένας κινητήρας να έχει βαθμό απόδοσης 100%; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

ΕΡΓΑΣΙΕΣ-ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

1. Αναζητείστε πληροφορίες σχετικά με τους τύπους θερμοστοιχείων και τις περιοχές εφαρμογής τους:
 - Υλικά κατασκευής
 - Προδιαγραφές κάθε τύπου θερμοστοιχείου, όπως ακρίβεια μέτρησης, διάρκεια ζωής, κλπ.
 - Περιοχές μετρήσεων κάθε τύπου
 - Σχέση τύπου θερμοστοιχείου – είδους εφαρμογής
2. Επισκεφθείτε ένα από τα εργαστήρια θερμικών μηχανών του Ε.Μ.Π., ή άλλου εκπαιδευτικού ιδρύματος:
 - Αναγνωρίστε τα βασικά εξαρτήματα της / των θερμικών μηχανών που διαθέτει το εργαστήριο
 - Προσέξτε ιδιαίτερα τις πειραματικές διατάξεις
 - Συζητήστε με τους υπεύθυνους του εργαστηρίου μια τυπική διαδικασία πειραματικής μέτρησης
 - Καταγράψτε τα κύρια σημεία της διαδικασίας
3. Αναζητήστε πληροφορίες αναφορικά με τους εναλλάκτες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε αεροπορικές εφαρμογές:
 - Υλικά κατασκευής
 - Τρόπο λειτουργίας
 - Ικανότητα ψύξης

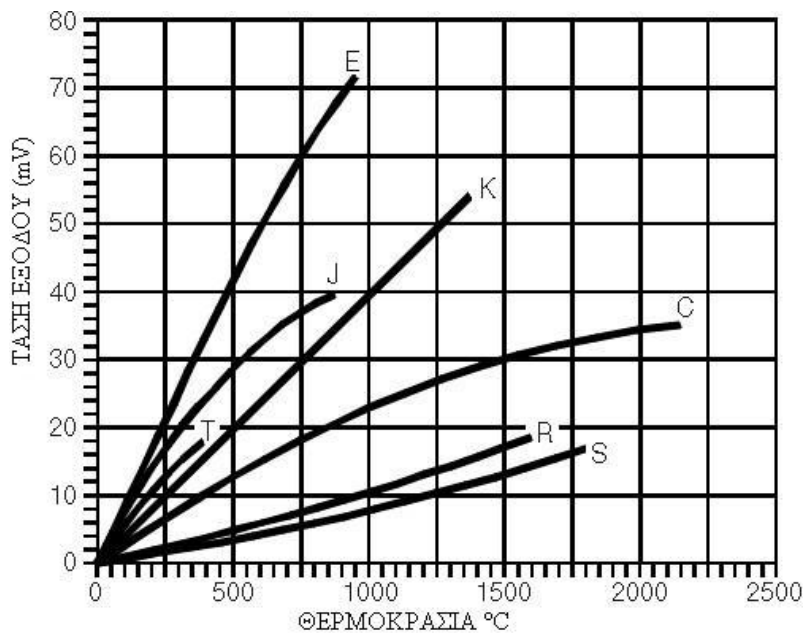
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ

Εργαστηριακή άσκηση 1.1: Μέτρηση της τάσης εξόδου ενός θερμοστοιχείου (thermocouple) κάτω από διαφορετικές θερμοκρασίες.

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την ολοκλήρωση της παρούσας εργαστηριακής άσκησης θα είστε σε θέση:

- Να χειρίζεστε τον εργαστηριακό εξοπλισμό.
- Να μετράτε την τάση εξόδου θερμοστοιχείου σε διαφορετικές θερμοκρασίες (κατασκευή της καμπύλης απόκρισης του θερμοστοιχείου και της καμπύλης θερμοκρασίας- τάσης). Το Σχήμα 1.20 περιέχει ενδεικτικές καμπύλες για θερμοστοιχεία διαφόρων τύπων.



Σχήμα 1.20 Καμπύλες τάσης εξόδου - θερμοκρασίας για θερμοστοιχεία διαφόρων τύπων.

Μέτρα ασφάλειας

Βεβαιωθείτε ότι δεν έχει παρέλθει η ημερομηνία επιθεώρησης για την ασφαλή κατάσταση εξοπλισμού. Η ημερομηνία της τελευταίας και επόμενης

επιθεώρησης αναγράφεται σε ειδικό ταμπελάκι, τοποθετημένο σε εμφανές σημείο των οργάνων.

- Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή, κατά τη διεξαγωγή της άσκησης, λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στον εξοπλισμό. Συνιστάται η χρήση γαντιών.
- Γενικά, ακολουθείστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που αναφέρονται στο Παράρτημα Β.

Απαιτούμενος εξοπλισμός

- Ψηφιακό πολύμετρο
- Ένα θερμοστοιχείο
- Θερμαντήρας νερού με ρυθμιζόμενο θερμοστάτη από 0°C έως 100°C
- Ένα θερμόμετρο
- Ένας γυάλινος δοκιμαστικός σωλήνας με βάση

Πορεία εργασίας

- Τοποθετείστε το θερμοστοιχείο μαζί με το θερμόμετρο στο δοκιμαστικό σωλήνα και ασφαλίστε τα στη βάση του σωλήνα.
- Τοποθετείστε το δοκιμαστικό σωλήνα μέσα στη εξαμενή νερού (ανοικτός θερμαντήρας) και ενώστε τα καλώδια του θερμοστοιχείου με τους ακροδέκτες του πολύμετρου (πιθανή χρήση ενισχυτή ρεύματος για ενίσχυση του σήματος του ΘΣ).
- Ανοίξτε το διακόπτη του θερμαντήρα και ρυθμίστε το θερμοστάτη διαδοχικά στις θερμοκρασίες που αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα. Πριν μετρήσετε την τάση εξόδου του θερμοστοιχείου, να βεβαιωθείτε ότι η ένδειξη έχει σταθεροποιηθεί.

Μέτρηση	Θερμοκρασία (C°)	Τάση (mV)
1	20	
2	35	
3	50	
4	65	
5	80	

- iv. Αφού καταγράψετε την τάση για όλα τα σημεία, φτιάξτε το διάγραμμα θερμοκρασίας-τάσης για το θερμοστοιχείο και υπολογίστε την εξίσωση της καμπύλης του θερμοστοιχείου.

Εργαστηριακή άσκηση 1.2: Επίδειξη εφαρμογής εναλλάκτη για τη μεταφορά θερμότητας από ένα ρευστό ψύξης στην ατμόσφαιρα και μέτρηση θερμοκρασιών του ρευστού και του ατμοσφαιρικού αέρα.

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την ολοκλήρωση της παρούσας εργαστηριακής άσκησης θα είστε σε θέση:

- Να αναλύετε τον τρόπο λειτουργίας ενός εναλλάκτη ψύξης και να καταλαβαίνετε την αναγκαιότητα χρήσης του, στη λειτουργία ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης.
- Να εξηγείτε τον τρόπο λειτουργίας ενός συστήματος ψύξης και την χρησιμότητα των επιμέρους εξαρτημάτων του συστήματος για τη σωστή λειτουργία του.
- Να λαμβάνετε μετρήσεις θερμοκρασιών σε ροές υγρών και αερίων.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Περιγραφή και τρόπος λειτουργίας ενός εναλλάκτη

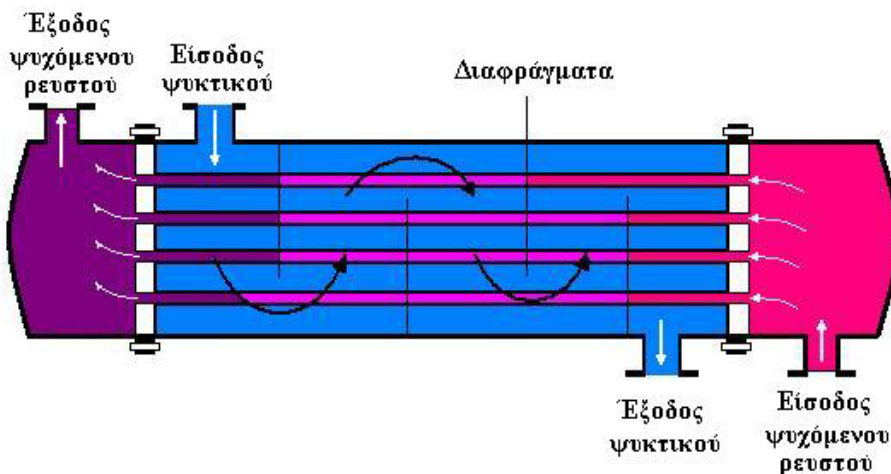
Οι εναλλάκτες είναι συσκευές οι οποίες επιτρέπουν τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ δύο (ή και περισσότερων) ρευστών, χωρίς να επιτρέπουν τη μεταξύ τους επαφή. Η μεταφορά της θερμότητας πραγματοποιείται μέσω του τοιχώματος που διαχωρίζει τα δύο ρευστά.

Η χρήση τους στους κινητήρες εσωτερικής καύσης είναι πρωταρχικής σημασίας, είτε για τη μείωση της θερμοκρασίας των ρευστών που χρησιμοποιούνται για την ψύξη είτε για τη λειτουργία των διαφόρων συστημάτων αυτών των κινητήρων. Η ψύξη των ρευστών αυτών, συνεπάγεται τη διατήρηση των ιδιοτήτων τους, την αύξηση της διάρκειας ζωής τους και συνεπώς την αποδοτική λειτουργία του κινητήρα. Μέσω της ψύξης των ρευστών επιτυγχάνουμε την ψύξη των εξαρτημάτων που αυτά διαβρέχουν αποφεύγοντας την υπερθέρμανση και συνεπώς την καταστροφή τους.

Η μεταφορά θερμότητας από το ένα ρευστό στο άλλο, εξαρτάται από το μέγεθος της επιφάνειας επαφής των δύο ρευστών, δηλαδή το μέγεθος της επιφάνειας του εναλλάκτη και από την θερμοαγωγιμότητα του τοιχώματος του εναλλάκτη. Για αυτό το λόγο για την κατασκευή των εναλλακτών χρησιμοποιούνται υλικά που έχουν μεγάλη θερμική αγωγιμότητα. Επίσης, λόγω της μεγάλης επιφάνειας επαφής που απαιτείται για την μεταφορά

θερμότητας και την απαίτηση για μικρό βάρος στους αεροπορικούς κινητήρες, χρησιμοποιούνται υλικά που είναι ελαφριά. Τα υλικά που καλύπτουν και τις δύο παραπάνω απαιτήσεις είναι κράματα αλουμινίου και χαλκού.

Ο τρόπος που επιτυγχάνουμε την μεταφορά θερμότητας σε έναν εναλλάκτη φαίνεται στο Σχήμα 1.21. Ο συγκεκριμένος εναλλάκτης αποτελείται από ένα κλειστό δοχείο που περιέχει έναν αριθμό σωληνώσεων μέσα από τις οποίες περνάει το ρευστό που θέλουμε να ψύξουμε ενώ από το εξωτερικό τοίχωμα των σωληνώσεων περνάει το ρευστό που ψύχει τις σωληνώσεις. Διακρίνεται η εισαγωγή και εξαγωγή του ρευστού που θέλουμε να ψύξουμε, καθώς και η εισαγωγή και εξαγωγή του ψυκτικού. Το θερμό ρευστό καθώς εισέρχεται στον εναλλάκτη περνάει μέσα από τις σωλήνες, οι οποίες είναι σε επαφή με το ψυκτικό. Η θερμότητα που περιέχει, περνάει με επαφή στα τοιχώματα των σωληνώσεων και στη συνέχεια από τα τοιχώματα πάλι με επαφή στο ψυκτικό. Έτσι επιτυγχάνεται η μεταφορά θερμότητας και παράλληλα μειώνεται η θερμοκρασία του θερμού ρευστού. Τα διαφράγματα που υπάρχουν μέσα στο κλειστό δοχείο έχουν σα σκοπό την ανάδευση του ψυκτικού έτσι ώστε και μεγαλύτερη ποσότητά του να έρχεται σε επαφή με τις σωλήνες και να αυξάνεται με αυτό τον τρόπο η αποτελεσματικότητά του.



Σχήμα 1.21 Σχηματική παράσταση τρόπου λειτουργίας ενός εναλλάκτη

Είδη εναλλακτών

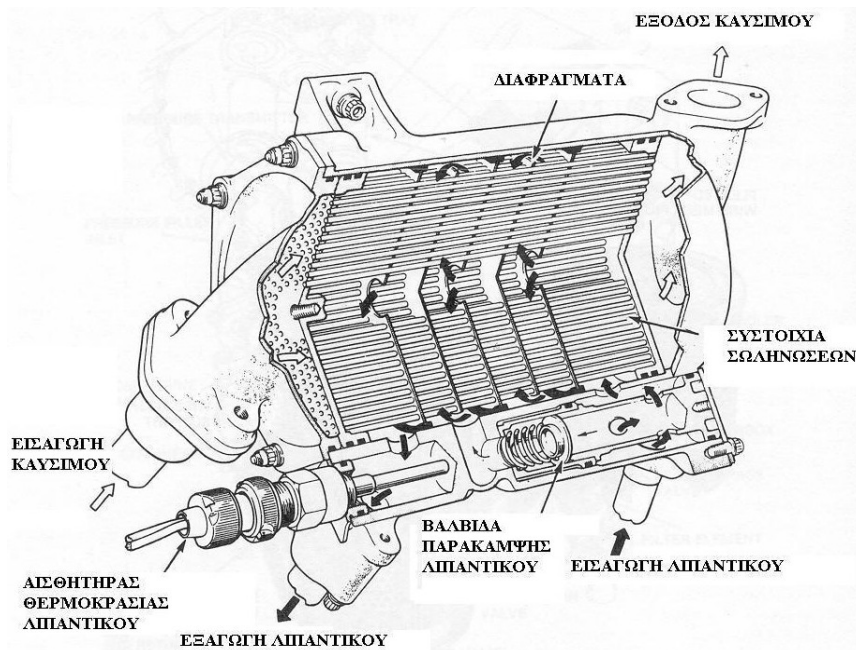
Οι εναλλάκτες που χρησιμοποιούνται στους αεροπορικούς εμβολοφόρους και αεριοστρόβιλους κινητήρες διακρίνονται στα ακόλουθα είδη:

Εναλλάκτες υγρού – υγρού

Αυτοί οι τύποι εναλλακτών χρησιμοποιούνται στους αεριοστρόβιλους κινητήρες για την ψύξη του λιπαντικού ή του υδραυλικού του κινητήρα,

όπου σαν ψυκτικό μέσο χρησιμοποιείται το καύσιμο του κινητήρα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού του τύπου εναλλάκτη συναντάμε σε αεριοστρόβιλους κινητήρες οι οποίοι χρησιμοποιούν ακροφύσιο καυσαερίων μεταβλητής γεωμετρίας ή / και σύστημα αλλαγής της γωνίας προσβολής των περυγίων σε κάποιες βαθμίδες του συμπιεστή. Η λειτουργία αυτών των συστημάτων πραγματοποιείται με τη βοήθεια υδραυλικού συστήματος, η ψύξη του οποίου είναι απαραίτητη. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται εναλλάκτης υδραυλικού-καυσίμου, όπου το καύσιμο έχει το ρόλο του ψυκτικού.

Στο Σχήμα 1.22 εικονίζεται ένας εναλλάκτης καυσίμου λιπαντικού για αεριοστρόβιλο κινητήρα.



Σχήμα 1.22 Εναλλάκτης καυσίμου λιπαντικού για αεριοστρόβιλο κινητήρα

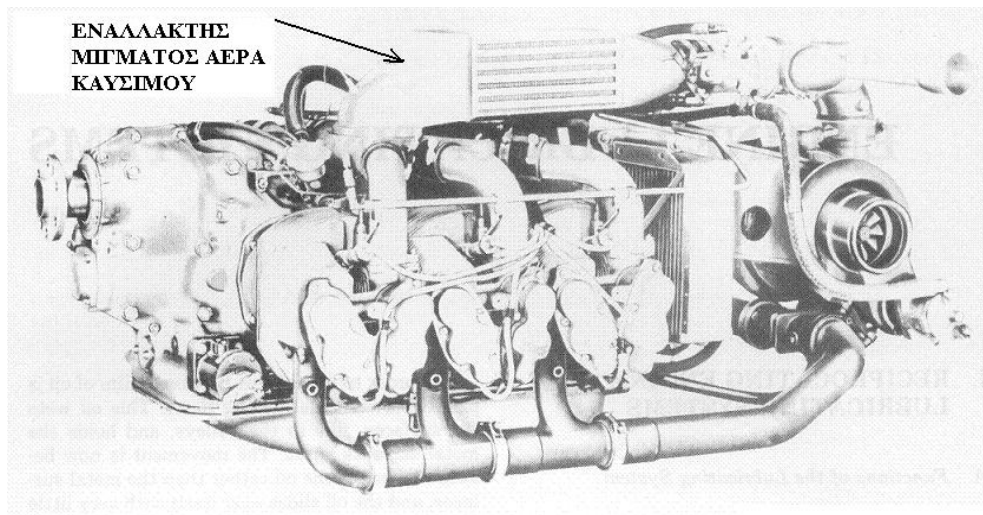
Εναλλάκτες υγρού - αερίου

Οι εναλλάκτες υγρού - αερίου χρησιμοποιούνται για τη ψύξη του λιπαντικού των αερόψυκτων εμβολοφόρων κινητήρων από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Επίσης χρησιμοποιούνται για την ψύξη του λιπαντικού το οποίο χρησιμοποιείται για την λειτουργία σε έλικες μεταβλητού βήματος. Οι εναλλάκτες αυτοί τοποθετούνται στο ρεύμα αέρα του έλικα για την επαρκή ψύξη του λιπαντικού, ακόμη κατά τη λειτουργία του κινητήρα στο έδαφος, οπότε δεν υπάρχει ρεύμα αέρα ψύξης προερχόμενο από την ταχύτητα του σκάφους. Τα εξαρτήματα του κινητήρα που ψύχονται από το λάδι είναι τα πιστόνια, οι βαλβίδες του κυλίνδρου και τα έδρανα .

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ευρέως γνωστού εναλλάκτη υγρού – αερίου είναι αυτό που χρησιμοποιείται στους υγρόψυκτους εμβολοφόρους κινητήρες όπως αυτοί των αυτοκινήτων. Σε αυτό τον τύπο εναλλάκτη η θερμοκρασία που παράγεται από την καύση του καυσίμου μεταφέρεται στο ψυκτικό υγρό και στη συνέχεια αποβάλλεται στην ατμόσφαιρα μέσω του εναλλάκτη.

Εναλλάκτες αερίου- αερίου

Οι εναλλάκτες αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται για την ψύξη ενός αερίου από ένα άλλο. Βρίσκουν εφαρμογή στους εμβολοφόρους κινητήρες που χρησιμοποιούν υπερσυμπιεστή και χρησιμοποιούνται για τη μείωση της θερμοκρασίας του μείγματος αέρα καυσίμου και συνεπώς φαινομένων ατανάφλεξης (intercooler, Σχήμα 1.23).



Σχήμα 1.23 Εναλλάκτης μείγματος αέρα καυσίμου (intercooler) εμβολοφόρου κινητήρα

Απαιτούμενα μέσα

Για την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής απαιτείται ο παρακάτω εξοπλισμός¹:

- Ένας εναλλάκτης ρευστού – αέρα με ενσωματωμένο ανεμιστήρα (για παράδειγμα το ψυγείο νερού ενός κινητήρα αυτοκινήτου)
- Ένα τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος 12V/10A
- Ένας ταχυθερμαντήρας νερού με ενσωματωμένο θερμοστάτη

¹ Η πραγματοποίηση της άσκησης προϋποθέτει ότι ο εξοπλισμός που παρατίθεται θα είναι ήδη μονταρισμένος και τοποθετημένος σε κατάλληλη βάση και θα έχει ελεγχθεί η ασφάλειά του.

- Μα αντλία νερού συστήματος κεντρικής θέρμανσης
- Δύο θερμομέτρα βολβού για τη μέτρηση της θερμοκρασία του ρεύματος αέρα πριν και μετά τον εναλλάκτη
- Δύο θερμομέτρα με υποδοχή για σωλήνα για μέτρηση της θερμοκρασίας του νερού στην είσοδο και την έξοδο του εναλλάκτη
- Ένα πολύπριζο με διακόπτη για παροχή 220V
- Εύκαμπτη σωλήνα κατάλληλη για χρήση σε υψηλές θερμοκρασίες

Μέτρα ασφάλειας

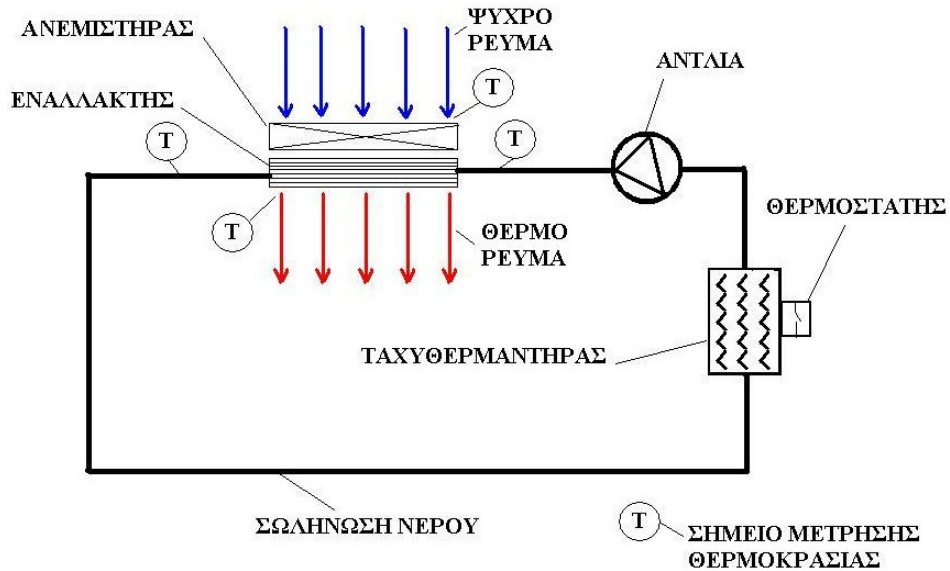
- Κατά τη διάρκεια της άσκησης απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή λόγω των αυξημένων θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στα εξαρτήματα του εξοπλισμού, της ύπαρξης κινουμένων μερών και του ηλεκτρικού ρεύματος στο εξοπλισμό.
- Βεβαιωθείτε ότι δεν έχει παρέλθει η ημερομηνία επιθεώρησης για την ασφαλή κατάσταση του εξοπλισμού. Η ημερομηνία της τελευταίας και επόμενης επιθεώρησης αναγράφεται σε ειδικό ταμπελάκι, που τοποθετημένο σε εμφανές σημείο του εξοπλισμού.
- Φροντίστε να μην υπάρχουν εκτεθειμένα αντικείμενα που μπορεί να παρασυρθούν από το ρεύμα αέρα του ανεμιστήρα του εναλλάκτη και προκαλέσουν τραυματισμό.
- Φροντίστε να είναι προσβάσιμος ένας πυροσβεστήρας πολλαπλού τύπου (ABC).
- Γενικά, ακολουθείστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που αναφέρονται στο Παράρτημα Β.

Πορεία εργασίας

Το Σχήμα 1.24 παρουσιάζει μια τυπική διάταξη του προτεινόμενου εξοπλισμού για την πραγματοποίηση της παρούσας άσκησης.

- Ρυθμίστε τη θερμοκρασία του θερμοστάτη του ταχυθερμαντήρα στους 90°C.
- Ανοίξτε το διακόπτη λειτουργίας της αντλίας νερού του κυκλώματος.
- Ανοίξτε τον διακόπτη παροχής ρεύματος του ταχυθερμαντήρα.
- Αφήστε να λειτουργήσει το σύστημα μέχρι το θερμομέτρο εισόδου του εναλλάκτη να ανέβει στους 80°C.
- Παρατηρείστε τη θερμοκρασία εξόδου νερού του εναλλάκτη πριν την έναρξη λειτουργίας του ανεμιστήρα του.

- Ανοίξτε το διακόπτη του τροφοδοτικού βάζοντας σε λειτουργία τον ανεμιστήρα του εναλλάκτη.



Σχήμα 1.24 Προτεινόμενη διάταξη εξοπλισμού για την Εργαστηριακή άσκηση 1.2: «Επίδειξη εφαρμογής εναλλάκτη»

- Καταγράψτε τη θερμοκρασία εξόδου νερού του εναλλάκτη και συγκρίνετέ τη με τη θερμοκρασία εξόδου του εναλλάκτη έχοντας τον ανεμιστήρα εκτός λειτουργίας.
- Καταγράψτε τις θερμοκρασίες του ρεύματος του αέρα ψύξης πριν και μετά τον εναλλάκτη.

Εργαστηριακή άσκηση 1.3: Επίδειξη του μηχανισμού ψύξης των πτερυγίων στροβίλου αεριοστρόβιλου κινητήρα με αγωγή από τον παρεχόμενο αέρα ψύξης του συμπιεστή

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της παρούσας εργαστηριακής άσκησης θα είστε σε θέση:

- Να αναλύετε τον τρόπο λειτουργίας του μηχανισμού ψύξης με μεταφορά των πτερυγίων του στροβίλου ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα.
- Να προσαρμόζετε θερμομέτρα βολβού σε επιφάνειες και να πραγματοποιείτε μετρήσεις θερμοκρασίας με αυτά.

Εισαγωγικές πληροφορίες

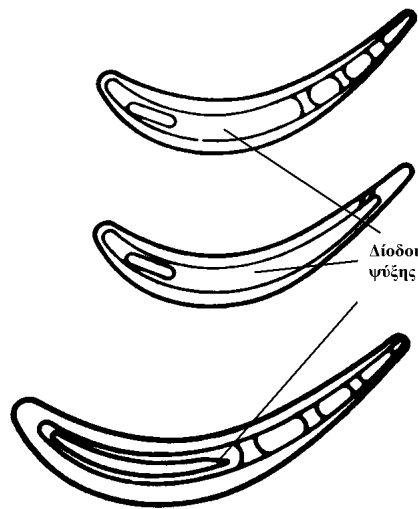
Μια από τις βασικές προϋποθέσεις για τη σωστή και αποδοτική λειτουργία των σύγχρονων αεριοστρόβιλων κινητήρων είναι η ικανοποιητική ψύξη των πτερυγίων του στροβίλου τους. Ένας παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση της λειτουργίας ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα είναι η θερμοκρασία εισαγωγής του στροβίλου του. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία αυτή, τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση του κινητήρα, και άρα λιγότερο το καύσιμο που απαιτείται για την παραγωγή του ίδιου ποσού έργου.

Ο περιορισμός που υπάρχει για την επίτευξη μεγάλου βαθμού απόδοσης σε ένα αεριοστρόβιλο κινητήρα είναι οι μέγιστες θερμοκρασίες στις οποίες μπορούν να λειτουργήσουν τα υλικά που γνωρίζουμε μέχρι σήμερα, χωρίς αυτά να καταστραφούν. Είναι γεγονός ότι τα πτερύγια των πρώτων βαθμίδων του στροβίλου πολλών σύγχρονων αεριοστρόβιλων κινητήρων λειτουργούν σε θερμοκρασίες αρκετών βαθμών (από 950°C έως 1100°C) πάνω από τη θερμοκρασία τήξης τους. Ο τρόπος που το επιτυγχάνουμε αυτό είναι με την ψύξη των πτερυγίων αυτών με αέρα που διοχετεύουμε από το συμπιεστή του κινητήρα. Το μειονέκτημα της χρήσης αέρα ψύξης από το συμπιεστή είναι ότι δημιουργεί μια μικρή απώλεια απόδοσης του κινητήρα η οποία όμως υπερκαλύπτεται από την αύξηση της απόδοσης του κινητήρα λόγω αύξησης της θερμοκρασίας εισαγωγής των καυσαερίων στο στρόβιλο.

Για την ψύξη των πτερυγίων ενός στροβίλου εφαρμόζονται οι ακόλουθες τεχνικές ψύξης:

Ψύξη με μεταφορά

Η μέθοδος ψύξης πτερυγίων με μεταφορά είναι η πρώτη μέθοδος ψύξης που εφαρμόστηκε. Με αυτή την τεχνική διοχετεύεται αέρας από τον συμπιεστή του κινητήρα στη ρίζα των πτερυγίων όπου και διέρχεται μέσω αυτών από κατάλληλα διαμορφωμένη οπή που έχει στο εσωτερικό του (Σχήμα 1.25) και εξέρχεται από το άκρο του. Η θερμότητα μεταδίδεται από τα εσωτερικά τοιχώματα του πτερυγίου στον αέρα ψύξης και στη συνέχεια αποβάλλεται στην ατμόσφαιρα μέσω του ρεύματος καυσαερίων.



Σχήμα 1.25 Διαμόρφωση εσωτερικών διόδων ψύξης πτερυγίων

Ψύξη με προστατευτικό στρώμα αέρα στην επιφάνεια του πτερυγίου

Μια δεύτερη μέθοδος ψύξης πτερυγίων που συναντάμε είναι η ψύξη με τη δημιουργία ενός στρώματος αέρα στην επιφάνεια του πτερυγίου. Η παροχή του αέρα ψύξης στο πτερύγιο πραγματοποιείται με τον ίδιο τρόπο όπως και στη μέθοδο με μεταφορά. Η διαφορά βρίσκεται στο ότι ο αέρας, εκτός από το άκρο του πτερυγίου, διαφεύγει και από κατάλληλα διαμορφωμένες οπές οι οποίες βρίσκονται στο χείλος προσβολής και εκφυγής αλλά και πάνω στην επιφάνεια του πτερυγίου (Σχήμα 1.26). Η ψύξη με αυτή τη μέθοδο πραγματοποιείται μέσω μεταφοράς θερμότητας από το πτερύγιο στον αέρα ψύξης αλλά και με την δημιουργία ενός προστατευτικού στρώματος στην επιφάνεια του πτερυγίου το οποίο δεν επιτρέπει τα καυσαέρια να έρθουν σε επαφή με το πτερύγιο στα σημεία που υπάρχουν οπές αέρα.

Ψύξη με χρήση πορώδους υλικού

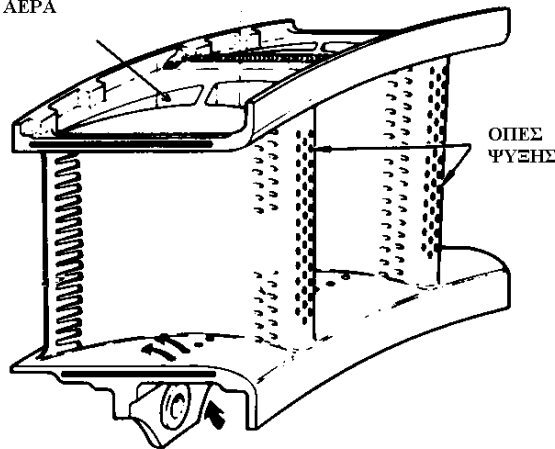
Αυτή η μέθοδος ψύξης χρησιμοποιείται μόνο για την ψύξη σταθερών πτερυγίων τουρμπίνας. Με αυτή τη μέθοδο ο αέρας ψύξης περνάει μέσα από

εσωτερική οπή όπως και στις δύο προηγούμενες μεθόδους με τη διαφορά ότι εξέρχεται στο ρεύμα καυσαερίων μέσα από τους πόρους που έχει το υλικό του περυσίου.

Απαιτούμενα μέσα

- Γραμμή με παροχή πεπιεσμένου αέρα στο εργαστήριο ή φορητός συμπιεστής αέρα με ρυθμιστική βαλβίδα πίεσης
- Ένα φλόγιστρο προπανίου
- Δύο σωλήνες χαλκού διαμέτρου 22mm και μήκους 1m
- Θερμοαγώγιμη αλοιφή
- Δύο θερμομέτρα βολβού με κλίμακα μέτρησης από 0 °C έως 300 °C
- Δύο θερμοζεύγη με κλίμακα μέτρησης θερμοκρασίας από 0 °C έως 300 °C
- Ταινία συγκράτησης αλουμινίου
- Ξύλινη βάση συγκράτησης για τους σωλήνες

ΕΙΣΟΔΟΣ ΑΕΡΑ



Σχήμα 1.26 Διαμόρφωση περυσίου με ψύξη στρώματος αέρα

Μέτρα ασφάλειας

- Κατά τη διάρκεια της άσκησης απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή λόγω των αυξημένων θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στα εξαρτήματα του εξοπλισμού.

Συνίσταται η χρήση προστατευτικών θερμομονωτικών γαντιών.

- Φροντίστε να είναι προσβάσιμος ένας πυροσβεστήρας πολλαπλού τύπου (ABC).

- Γενικά, ακολουθείστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που αναφέρονται στο Παράρτημα Β.

Πορεία εργασίας

- Τοποθετείστε τα θερμομέτρα βολβού πάνω στις σωλήνες στα 2/3 του μήκους τους χρησιμοποιώντας την ταινία συγκράτησης και προσθέστε θερμοαγώγιμη αλοιφή μεταξύ της σωλήνας και του βολβού του θερμομέτρου για καλύτερη μεταφορά θερμότητας.
- Τοποθετείστε τα θερμοζεύγη στο άκρο των σωλήνων μετά από τους βολβούς των θερμομέτρων χωρίς αυτά να έρχονται σε επαφή με τα τοιχώματα τους.
- Τοποθετείστε κατάλληλα τη μια σωλήνα δίπλα από την άλλη χωρίς αυτές να έρχονται σε επαφή πάνω σε κατάλληλα διαμορφωμένη ξύλινη βάση.
- Προσαρμόστε κατάλληλα την σωλήνα παροχής του πεπιεσμένου αέρα σε μια από τις δύο σωλήνες.
- Ρυθμίστε τη ρυθμιστική βαλβίδα της γραμμής του πεπιεσμένου αέρα σε ένδειξη ενός psi και ανοίξτε το διακόπτη παροχής αέρα.
- Θερμάνετε και τις δύο σωλήνες ταυτόχρονα με το φλόγιστρο και καταγράψτε τις θερμοκρασίες των τεσσάρων θερμομέτρων μόλις αυτές σταθεροποιηθούν.
- Επαναλάβετε τη διαδικασία αυξάνοντας την πίεση του αέρα σε βήματα του ενός psi.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥΣ

Διδακτικοί Στόχοι

Στο τέλος του δεύτερου κεφαλαίου θα είστε ικανοί:

- Να αναφέρετε τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν τη «ζωή» του κινητήρα και καθορίζουν την πραγματοποίηση περιοδικών επιθεωρήσεων και γενικών επισκευών.
- Να περιγράψετε τα είδη των κυρίων επιθεωρήσεων των εμβολοφόρων αεροπορικών κινητήρων, καθώς επίσης και τις διαδικασίες που περιλαμβάνονται σε αυτές.
- Να αναλύετε τους τρόπους επιθεώρησης των εξαρτημάτων των κινητήρων και τις αρχές στις οποίες βασίζονται οι κύριες μέθοδοι μη καταστροφικών ελέγχων.
- Να περιγράψετε τις φάσεις μιας διερεύνησης βλάβης σε κινητήρα.
- Να συμπληρώνετε μητρώα κινητήρων.
- Να περιγράψετε τις βασικές διαφορές των εμβολοφόρων κινητήρων ελικοπτέρων από τους εμβολοφόρους κινητήρες αεροσκαφών.
- Να αναφέρετε τις βασικές παραμέτρους, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της επίδοσης των εμβολοφόρων αεροπορικών κινητήρων.

2.1 Όρια λειτουργικής διάρκειας κινητήρων

Οι πρώτες πιστοποιήσεις¹ των τύπων αεροπορικών εμβολοφόρων κινητήρων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα, χρονολογούνται από τις πρώτες μεταπολεμικές δεκαετίες (1940-1960). Ο προδιαγεγραμμένος από τους κατασκευαστές χρόνος λειτουργίας αυτών των κινητήρων **πριν από τη συνιστώμενη γενική επισκευή (Time Between Overhaul – TBO)** δεν ξεπερνούσε τις 500-700 ώρες. Η πρόοδος της τεχνολογίας υλικών, των μεθόδων σχεδίασης, αλλά και των μεθόδων δοκιμής, έχει επιτρέψει τη

¹ Ως πιστοποίηση εννοείται η διαδικασία ελέγχου και αποδοχής από εξουσιοδοτημένο ελεγκτικό οργανισμό του σχεδιασμού και της κατασκευής του κινητήρα.

σταδιακή αύξηση του διαστήματος γενικής επισκευής κατά τα τελευταία 50 χρόνια, σε 1500 έως 2000 ώρες, για τους σύγχρονους αεροπορικούς εμβολοφόρους κινητήρες. Οι χρόνοι αυτοί προτείνονται από τον κατασκευαστή του κινητήρα και υπόκεινται στην έγκριση των διαφόρων φορέων εκδόσεων κανονισμών και διενέργειας ελέγχων (Federal Aviation Administration - FAA, Joint Aviation Authority - JAA, Civil Aviation Authorities – CAA, Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας - ΥΠΑ).

2.1.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη «ζωή» του κινητήρα

Τα όρια γενικής επισκευής, τα οποία συνιστώνται από τους κατασκευαστές προϋποθέτουν σωστή συντήρηση των κινητήρων και λειτουργία αυτών σε «κανονικές» συνθήκες (π.χ. όχι σε περιβάλλον ερήμου, όχι με υπέρβαση των επιτρεπτών στροφών, κλπ.), έτσι ώστε να μειώνονται οι φθορές των κινούμενων μερών, αλλά και να περιορίζεται η καταπόνηση των υλικών, εξαιτίας απότομων θερμοκρασιακών μεταβολών. Η «ζωή» του κινητήρα (το χρονικό δηλαδή διάστημα κατά το οποίο ο κινητήρας μπορεί να λειτουργήσει με ασφαλή και αποδοτικό τρόπο) εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στους βασικότερους από αυτούς.

Συνθήκες λειτουργίας:

Η λειτουργία κοντά σε θάλασσα, ή σε περιβάλλον επιβαρημένο από άμμο ή σκόνη, είναι παραδείγματα συνθηκών λειτουργίας, οι οποίες μπορεί να έχουν αρνητικά αποτελέσματα στην «υγεία» του κινητήρα και να προκαλέσουν την ανάγκη γενικής επισκευής, νωρίτερα από το προδιαγεγραμμένο από τον κατασκευαστή διάστημα.

Τρόπος πτήσης:

Η τεχνική πτήσης που ακολουθεί ο χειριστής επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τη ζωή του κινητήρα. Απότομες μετακινήσεις της μανέτας, απότομοι ελιγμοί, στροφές ή πίεση μείγματος άνω των επιτρεπτών ορίων, υπέρβαση της επιτρεπτής θερμοκρασίας καυσαερίων μπορούν να έχουν ιδιαίτερα αρνητικές συνέπειες στη συμπεριφορά και κατά συνέπεια στην κατάσταση του κινητήρα.

Περιοδική συντήρηση:

Η καλή λειτουργία του κινητήρα κατά το διάστημα μεταξύ γενικών επισκευών, που προδιαγράφει ο κατασκευαστής, προϋποθέτει την τακτική συντήρηση από κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό, σύμφωνα με τις διαδικασίες επιθεώρησης και αντικαταστάσεων του κατασκευαστή.

Συχνότητα πτήσεων:

Η συχνότητα πτήσης αποτελεί επίσης ένα σημαντικό παράγοντα στη «ζωή» του κινητήρα. Κινητήρες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται περιστασιακά και με μεγάλα χρονικά διαστήματα αλλαγής λαδιών, είναι δυνατό να παρουσιάσουν έντονα φαινόμενα διάβρωσης από τη δημιουργία οξέων στο λάδι, τα οποία προσβάλλουν τα εσωτερικά μεταλλικά μέρη του κινητήρα. Αλλαγή λαδιών, σε τακτά χρονικά διαστήματα, είναι ο ενδεικνυόμενος τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος.

Η υγρασία που εμφανίζεται στους κυλίνδρους μπορεί επίσης να προκαλέσει προβλήματα διάβρωσης, όταν ο κινητήρας μένει ανενεργός επί μακρόν. Σύντομες επίγειες εκκινήσεις, είναι πιθανό να επιδεινώσουν το πρόβλημα, μια και το λάδι δεν θα ζεσταθεί αρκετά, με αποτέλεσμα η παγιδευμένη υγρασία να αντιδράσει με το θείο, σχηματίζοντας θειικό οξύ, το οποίο είναι εξαιρετικά διαβρωτικό.

Γενικότερα, κινητήρες που παραμένουν ανενεργοί για μεγάλο χρονικό διάστημα, θα πρέπει να προστατεύονται ψεκάζοντας ειδικό προστατευτικό λάδι (preservation) στα τοιχώματα των κυλίνδρων. Σημειώνεται επίσης, ότι οι κατασκευαστές προδιαγράφουν ένα μέγιστο αριθμό ετών μεταξύ δύο γενικών επισκευών (συνήθως 10-15 έτη), ακόμη και στην περίπτωση που ο κινητήρας δεν έχει συμπληρώσει τις ώρες λειτουργίας πριν τη συνιστώμενη γενική επισκευή (TBO).

2.1.1.1 Βασικοί κανόνες καλής λειτουργίας

Χαμηλή θερμοκρασία εδάφους (<-5°C): Η προθέρμανση του καυσίμου βοηθά στην αποφυγή φθορών κατά το «ζέσταμα» του κινητήρα.

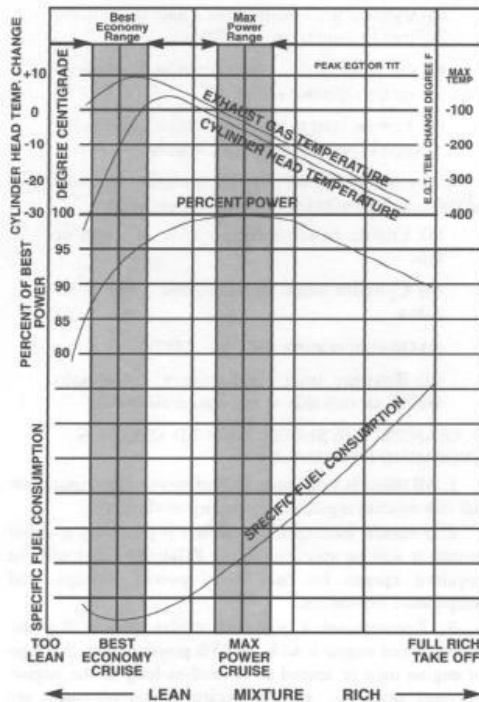
Απότομες επιταχύνσεις: Διατήρηση χαμηλών στροφών για αρκετά λεπτά κατά το «ζέσταμα» και αποφυγή απότομων επιταχύνσεων.

Επιλογή λιπαντικού: Θα πρέπει να χρησιμοποιείται το κατάλληλο λάδι για τις προβλεπόμενες μέσες θερμοκρασίες περιβάλλοντος, ενώ θα πρέπει να παρακολουθείται και η θερμοκρασία λαδιού, για την αποφυγή υπερθέρμανσης κατά την απογείωση.

Θέση μανέτας: Χρήση της ελάχιστης απαιτούμενης κάθε φορά ισχύος.

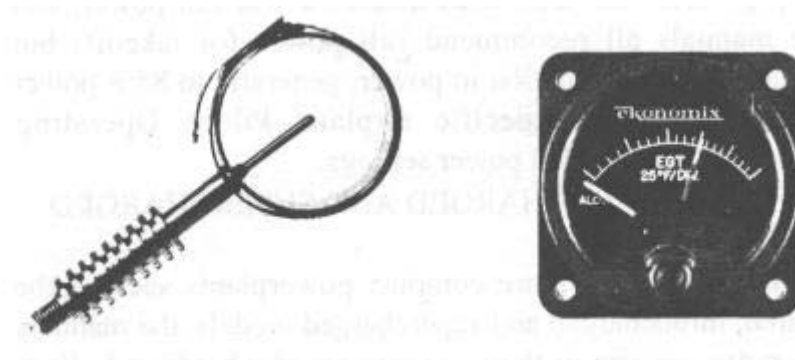
Μείγμα καυσίμου: Λειτουργία με υπερβολικά πλούσιο μείγμα, αφενός αυξάνει το κόστος πτήσης (υψηλότερη κατανάλωση καυσίμου), αφετέρου μπορεί να προκαλέσει φθορές εξαιτίας του αυξημένου μολύβδου. Αντίθετα, φτωχό μείγμα είναι επίσης πιθανόν να προκαλέσει φθορές εξαιτίας υψηλότερων θερμοκρασιών των καυσαερίων. Το Σχήμα 2.1 παρουσιάζει την

επίδραση του λόγου καυσίμου-αέρα στις θερμοκρασίες καυσαερίων και κυλινδροκεφαλής, καθώς επίσης και στην ειδική κατανάλωση καυσίμου.



SPEC. FUEL CONSUMPTION: ΕΙΔ. ΚΑΤΑΝ. ΚΑΥΣΙΜΟΥ
 LEAN MIXTURE: ΦΤΩΧΟ ΜΕΙΓΜΑ
 RICH MIXTURE: ΠΛΟΥΣΙΟ ΜΕΙΓΜΑ
 EXHAUST GAS TEMP.: ΘΕΡΜ. ΕΞΟΔΟΥ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ
 CYLINDER HEAD TEMP.: ΘΕΡΜ. ΚΥΛΙΝΔΡΟΚΕΦΑΛΗΣ
 PERCENT POWER: ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ
 TAKE OFF: ΑΠΟΓΕΙΩΣΗ
 CRUISE: ΕΥΘΕΙΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΠΤΗΣΗ
 BEST ECONOMY: ΠΕΡΙΟΧΗ ΧΑΜΗΛΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ
 MAX POWER: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ
 DEGREE CENTIGRADE: ΒΑΘΜΟΙ ΚΕΛΣΙΟΥ

Σχήμα 2.1 Επίδραση του λόγου καυσίμου-αέρα στη λειτουργία του κινητήρα



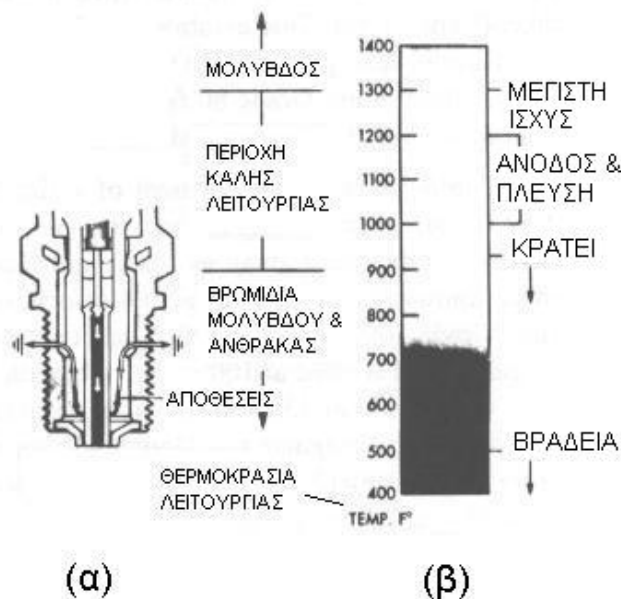
Σχήμα 2.2 Αισθητήρας και όργανο ένδειξης θερμοκρασίας εξόδου καυσαερίων

Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων: Ένα από τα πιο χρήσιμα όργανα του πιλοτηρίου είναι αυτό που δείχνει την θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων (Σχήμα 2.2). Ακολουθώντας τις οδηγίες του κατασκευαστή όσον αφορά τη συνιστώμενη θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων (βλέπε και Σχήμα 2.1), μπορεί ο χειριστής να λειτουργήσει τον κινητήρα στον οικονομικότερο λόγο καυσίμου-αέρα, αποφεύγοντας υπερθερμάνσεις και/ή προανάφλεξη.

Θερμοκρασία κυλινδροκεφαλής: Σε κινητήρες αυξημένης ισχύος το πιλοτήριο διαθέτει όργανο καταγραφής της θερμοκρασίας της κεφαλής των κυλίνδρων. Η θερμοκρασία αυτή παρέχει μία ένδειξη καλής λειτουργίας του μηχανισμού καύσης. Υψηλές θερμοκρασίες κατά την πτήση πρέπει να αναφέρονται στους τεχνικούς συντήρησης για διορθωτικές ενέργειες.

Σπινθηριστές: Αποθέσεις μολύβδου παρατηρούνται στους σπινθηριστές, από τους τύπους των οποίων, μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για τον τρόπο λειτουργίας του κινητήρα. Όπως δείχνεται παραστατικά και στο Σχήμα 2.3, παρατεταμένη λειτουργία του κυλίνδρου σε χαμηλές θερμοκρασίες (και / ή πλούσιο μείγμα σε χαμηλές στροφές) έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό βρωμιδίου του μολύβδου και μαύρου άνθρακα, χρώματος κοκκινωπού καφέ. Αντίθετα, έκλυση υψηλής θερμότητας στον κύλινδρο προκαλεί την απόθεση μολύβδου που παρουσιάζεται ως στίλβωση του σπινθηριστή. Το χρώμα κανονικής λειτουργίας των σπινθηριστών είναι καφέ-γκρι.

Προσγείωση: Η προσγείωση θα πρέπει απαραίτητως να ακολουθείται από λειτουργία σε χαμηλές στροφές για πέντε τουλάχιστον λεπτά, έτσι ώστε να αποφευχθεί απότομη ψύξη του κινητήρα.



Σχήμα 2.3 (α) Εικόνα σπινθηριστή και θέση εναποθέσεων, (β) Είδη αποθέσεων, ανάλογα με τη θερμοκρασία και τις συνθήκες λειτουργίας

2.1.1.2 Εισαγωγή σχεδιαστικών αλλαγών

Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι κάθε τύπος κινητήρα από την ημερομηνία παρουσίασης του πρωτοτύπου, έως την ημερομηνία απόσυρσης και του τελευταίου παραχθέντος αντιτύπου, υπόκειται σε πολλές αλλαγές και έτσι

εξαρτήματα νέας σχεδίασης εισάγονται στον **κατάλογο τεμαχίων του κινητήρα (Engine Parts Catalog)**. Η βελτιωμένη σχεδίαση μπορεί να αφορά αλλαγές γεωμετρίας, υλικών, διαδικασιών καταργασίας υλικών, ή συνδυασμό αυτών, και γίνεται πάντα μετά από έγκριση του κατασκευαστή (τα σχετικά έντυπα εγκρίσεων είναι γνωστά σαν Part Manufacturer Approval – PMA ή Supplemental Type Certificates - STC). Οι συνέπειες των αλλαγών στο διάστημα γενικής επισκευής είναι από τις κυριότερες παραμέτρους, οι οποίες λαμβάνονται υπόψη, για την έγκριση εισαγωγής των νέων εξαρτημάτων. Η τεκμηρίωση της προτεινόμενης αλλαγής περιλαμβάνει μεταξύ άλλων και εκτεταμένες δοκιμές, έτσι ώστε να πιστοποιηθεί η δυνατότητα διατήρησης (ή αύξησης) του διαστήματος μεταξύ γενικών επισκευών.

2.2 Επιθεωρήσεις κινητήρων

Κάθε καινούργιο αεροσκάφος, συνοδεύεται υποχρεωτικά από έγγραφα του κατασκευαστή, τα οποία πιστοποιούν την καλή κατάσταση του σκάφους και τη δυνατότητά του να πραγματοποιεί πτήσεις. Τα έγγραφα αυτά συντάσσονται σύμφωνα με τους κανόνες των διαφόρων οργανισμών πιστοποίησης (FAA, JAA) και βεβαιώνουν, ότι ο οργανισμός έχει εξετάσει εκτενώς το σχεδιασμό του σκάφους, αλλά και τις συνθήκες κατασκευής του και ότι αυτό ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις «**πλοϊμότητας**» (**airworthiness**).

Φυσικά, ο έλεγχος του αεροσκάφους, δε σταματά μετά από την παράδοσή του στον χρήστη. Η διασφάλιση της ασφαλούς λειτουργίας του, απαιτεί την πραγματοποίηση συχνών περιοδικών ελέγχων. Οι έλεγχοι αυτοί καλύπτουν όλα τα συστήματα του αεροσκάφους και φυσικά τον κινητήρα. Οι συνηθέστεροι τύποι επιθεώρησης είναι:

- **Η επιθεώρηση πριν από κάθε πτήση (preflight check)**
- **Η επιθεώρηση μετά από 50 ώρες λειτουργίας**
- **Η επιθεώρηση μετά από 100 ώρες λειτουργίας και η ετήσια επιθεώρηση**

Οποιαδήποτε επιθεώρηση συνοδεύεται από έγγραφα (checklists – καταλόγους ελέγχου) τα οποία συμπληρώνονται και υπογράφονται από τον εξουσιοδοτημένο, για κάθε περίπτωση τεχνικό.

2.2.1 Επιθεώρηση πριν την πτήση

Η επιθεώρηση πριν από κάθε πτήση εμπλέκει, εκτός από τον τεχνικό, και τον χειριστή, και αφορά όλο το αεροσκάφος. Όπως κάθε είδους επιθεώρηση, θα πρέπει να συνοδεύεται από την απαραίτητη κατάσταση ελέγχου, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η αποφυγή παραλείψεων, ιδιαίτερα σε επιθεωρήσεις αυτού

του είδους, οι οποίες λόγω της συχνότητάς τους μπορούν να εξελιχθούν σε επιθεωρήσεις «ρουτίνας».

Όσον αφορά τον κινητήρα, η επιθεώρηση απαιτεί αρχικά την οπτική τουλάχιστον πρόσβαση σε αυτόν, η οποία επιτυγχάνεται με την αφαίρεση, ή ανάρτηση του προστατευτικού αεροδυναμικού καλύμματος (cowl), αφού φυσικά επιβεβαιωθεί ότι ο διακόπτης ανάφλεξης (ignition switch) είναι απενεργοποιημένος και ότι η δικλείδα ισχύος είναι «κλειστή» (θέση “idle cutoff”). Βασικός στόχος αυτής της επιθεώρησης είναι η διαπίστωση τυχόν διαρροών (ελαίου, καυσίμου), ο έλεγχος της κατάστασης των διαφόρων καλωδιώσεων, η αναζήτηση άλλων πιθανών ενδείξεων προβληματικής λειτουργίας του κινητήρα, ή παρελκομένων αυτού.

Μία τυπική διαδοχή ενεργειών κατά την επιθεώρηση πριν την πτήση περιλαμβάνει:

- i) έλεγχο των σωληνώσεων και της στάθμης του λιπαντικού για τυχόν υπερβολική φθορά των σωληνώσεων, έλλειψη λιπαντικού, κλπ.
- ii) έλεγχο των ηλεκτρικών καλωδιώσεων:
 - του μαγιατό (magneto) για ύπαρξη χαλαρών συνδέσεων, φθαρμένων (chafed) καλωδίων, κλπ.,
 - των σπινθηριστών, με ιδιαίτερη προσοχή στη σύνδεση των ακροδεκτών της καλωδίωσης στους σπινθηριστές,
 - της γεννήτριας (generator / alternator) και του ρυθμιστή τάσης (voltage regulator),
- iii) έλεγχο για την ύπαρξη διαρροών καυσίμου και / ή λιπαντικού: η ύπαρξη λιπαντικού ή «λεκέδων» καυσίμου (blue fuel stains) στο κάτω μέρος του προστατευτικού περιβλήματος, είναι ένδειξη για την ύπαρξη διαρροής σε κάποιο σημείο του κινητήρα. Χρειάζεται προσοχή στην επιθεώρηση των διαφόρων σημείων στεγανοποίησης του κινητήρα και ιδιαίτερα σε αυτά γύρω από τους κυλίνδρους. Ανεπαρκής στεγανοποίηση (π.χ. από τις ρωγμές κάποιου στεγανοποιητικού παρεμβύσματος – seal) μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την τοπική υπερθέρμανση του κυλίνδρου και την αλλαγή χρώματος. Οι γραμμές του καυσίμου χρειάζονται επίσης ενδελεχή επιθεώρηση, ιδιαίτερα στα σημεία των ενώσεων,
- iv) έλεγχο του συστήματος εξαγωγής καυσαερίων για κατεστραμμένα παρεμβύσματα (gaskets), κοιλίες και τυχόν διαρροές,
- v) έλεγχο του καυσίμου, μετά από λήψη δείγματος,

- vi) έλεγχο της κατάστασης του φίλτρου αέρα και του αγωγού εισαγωγής για την ύπαρξη «λεκέδων» (fuel dye stains) καυσίμου, οι οποίοι αποτελούν ενδείξεις για την ύπαρξη διαρροής,
- vii) έλεγχο του έλικα για τυχόν εγκοπές (nicks) & ξυσίματα (scratches), ασφάλιση των κοχλιών και των περικοχλίων και έλεγχο της σύνδεσης με τον ρυθμιστή στροφών (governor)

Τα καθήκοντα ενός τεχνικού κινητήρων περιλαμβάνουν και τον έλεγχο του κινητήρα σε λειτουργία (runup). Σε αυτήν την περίπτωση, και μετά την εκκίνηση του κινητήρα, σύμφωνα πάντα με τον αντίστοιχο κατάλογο ενεργειών, πρέπει να ελεγχθεί ότι οι πιέσεις καυσίμου και λιπαντικού είναι αποδεκτές και ότι επιτυγχάνεται ο απαιτούμενος αριθμός στροφών (rpm – στροφές ανά λεπτό) και πίεση πολλαπλής σωλήνωσης εισαγωγής (manifold). Απαιτείται επίσης έλεγχος του μανιατό, της έλικας και της λειτουργίας του αναμεικτήρα καυσίμου – καρμπυρατέρ.

2.2.2 Επιθεώρηση 50 ωρών

Η επιθεώρηση του κινητήρα μετά από 50 ώρες λειτουργίας δεν απαιτείται από τους κανονισμούς της FAA / JAA (FAR, JAR). Παρ'όλα αυτά, αποτελεί σύσταση όλων σχεδόν των κατασκευαστών κινητήρων, οι οποίοι και παρέχουν συνήθως σχετικό κατάλογο ενεργειών. Η 50ωρη επιθεώρηση περιλαμβάνει έλεγχο σε λειτουργία του κινητήρα και όλων των υποσυστημάτων (ανάφλεξης, καυσίμου, λίπανσης κλπ.):

- i) Σύστημα ανάφλεξης: Έλεγχος των καλωδιώσεων (leads) των σπινθηριστών για φθορά (chaffing), με προσοχή στην ύπαρξη διάβρωσης και στιβαρή στήριξη αυτών. Έλεγχος του σπειρώματος των σπινθηριστών για ενδείξεις διαρροών από τον κύλινδρο.
- ii) Συστήματα καυσίμου και εισαγωγής: Έλεγχος των γραμμών καυσίμου για διαρροές και στήριξη. Αφαίρεση και καθαρισμός των σωλήνων εξομάλυνσης της ροής του καυσίμου (fuel inlet strainer). Έλεγχος του μοχλού του συστήματος ελέγχου (mixture control) και της δικλείδας ισχύος (πεταλούδα – throttle) όσον αφορά τα όρια, την ευκολία μετακίνησης και τη στήριξή τους. Λίπανση αυτών, αν είναι απαραίτητο. Έλεγχος της εισαγωγής αέρα για διαρροές, ενδείξεις φθοράς στο φίλτρο αέρα και πιθανά ευρήματα (σκόνη ή άλλα στερεά σωματίδια) τα οποία διαπέρασαν το φίλτρο αέρα. Έλεγχος των εξαεριστικών σωληνώσεων (vent lines) της αντλίας καυσίμου για ενδείξεις διαρροής καυσίμου ή λιπαντικού.

- iii) Σύστημα λίπανσης: Η 50ωρη επιθεώρηση συνοδεύεται συνήθως από αποστράγγιση και αλλαγή του λιπαντικού. Σε κάθε περίπτωση απαιτείται έλεγχος του φίλτρου λαδιού (το οποίο επίσης αντικαθίσταται) ή του διαφράγματος λαδιού (oil screen) για τυχόν υπολείμματα μεταλλικών σωματιδίων και φυσικά των σωληνώσεων λίπανσης για διαρροές ή φθορά.
- iv) Σύστημα εξαγωγής καυσαερίων: Έλεγχος των φλαντζών των αγωγών καυσαερίων στα σημεία ένωσης με τους κυλίνδρους για διαρροές. Κατεργασία τους, αν είναι απαραίτητο, για επανάκτηση της επιπεδότητας. Γενικότερος έλεγχος του συλλέκτη πολλαπλής εξαγωγής (manifold) και του σιγαστήρα (muffler, σιλανσιέ) για άλλες διαρροές.
- v) Σύστημα ψύξης: Έλεγχος του περιβλήματος και των διαχωριστικών ελασμάτων (baffles) για ενδείξεις ρωγμών ή άλλων ζημιών. Μικρές ρωγμές αποκαθίστανται συνήθως με τη διάνοιξη μικρών οπών (stop drill) για την αποφυγή περαιτέρω επέκτασής της.
- vi) Κύλινδροι: Έλεγχος των καλυμμάτων των κιβωτίων πλήκτρων και αντικατάσταση των παρεμβυσμάτων σε περίπτωση διαρροών. Ενδεδειγμένος έλεγχος κάθε κυλίνδρου για υπερθέρμανση, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα καψίματα ή αλλαγή του χρώματος του κυλίνδρου. Διαπίστωση υπερθέρμανσης απαιτεί περαιτέρω επιθεώρηση (π.χ. με ενδοσκόπιο – borescope) ή ακόμη και αφαίρεση του κυλίνδρου.
- vii) Υπερπληρωτής: Έλεγχος των αγωγών παροχής και επιστροφής λιπαντικού για διαρροές ή φθορές και των διαφόρων υποστηριγμάτων (brackets) και θερμοπροστατευτικών κατασκευών για ρωγμές ή άλλες ζημιές. Επιβεβαίωση της ανεμπόδιστης κίνησης της βαλβίδας διαφυγής (waste gate) καθώς επίσης και της καλής λειτουργίας και στεγανοποίησης της δευτερεύουσας διόδου αέρα (alternate air door).

2.2.3 Επιθεώρηση 100 ωρών και ετήσια επιθεώρηση

Σε αντίθεση με την 50ωρη, η ετήσια επιθεώρηση απαιτείται και από τους οργανισμούς ελέγχου της αεροπλοΐας (FAA, JAA), μέσω κανονισμών όπως ο FAR Part 91. Ο ετήσιος έλεγχος πρέπει να διεξάγεται εντός ενός έτους από την ολοκλήρωση του προηγούμενου, ανεξάρτητα από τις ώρες λειτουργίας του αεροσκάφους ή του κινητήρα. Βασική απαίτηση του προαναφερθέντος κανονισμού, είναι η διεξαγωγή της ετήσιας επιθεώρησης αυτοπροσώπως από μηχανικό, ο οποίος κατέχει ειδική εξουσιοδότηση (inspection authorization).

Αναφορές τυχόν ευρημάτων, τα οποία καθιστούν το σκάφος / κινητήρα μη ικανό προς πτήση, κοινοποιούνται γραπτώς στον ιδιοκτήτη, ο οποίος και υποχρεούται να αποκαταστήσει το ελάττωμα, πριν από την επόμενη πτήση.

Η 100ωρη επιθεώρηση περιέχει τους ίδιους ελέγχους με αυτούς της ετήσιας, απαιτείται όμως να επαναλαμβάνεται πριν από τη συμπλήρωση 100 ωρών λειτουργίας από την προηγούμενη¹. Στην περίπτωση της 100ωρης επιθεώρησης, δεν απαιτείται η κατοχή από τον μηχανικό που θα την εκτελέσει, της ειδικής εξουσιοδότησης που προαναφέρθηκε.

2.2.3.1 Κατάλογοι επιθεώρησης (inspection checklists)

Οι οργανισμοί ελέγχου περιγράφουν στους αντίστοιχους κανονισμούς (FAR 43 Appendix D, JAR M), τους κατ'ελάχιστον ελέγχους, οι οποίοι θα πρέπει να πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια μίας 100ωρης ή ετήσιας επιθεώρησης. Συνήθως οι κατασκευαστές των αεροσκαφών παρέχουν τέτοιους καταλόγους, οι οποίοι υπερκαλύπτουν τις απαιτήσεις αυτών των κανονισμών (Σχήμα 2.4), ενώ μπορεί να περιέχουν και αναφορές σε ανακοινώσεις του κατασκευαστή του κινητήρα (οι οποίες συνήθως ονομάζονται Service Bulletins ή Service Information Letters), οι οποίες εισάγουν νέες οδηγίες, που δεν περιέχονται στα εγχειρίδια συντήρησης.

2.2.3.2 Προετοιμασία – Συμπλήρωση Εγγράφων

Η διακίνηση, ο έλεγχος και η σωστή συμπλήρωση των εγγράφων είναι ιδιαίτερης σημασίας σε όλες τις εργασίες επιθεώρησης / συντήρησης ενός αεροπορικού κινητήρα. Έτσι, πέρα από τον έλεγχο των μητρώων, τα οποία συνοδεύουν κάθε κινητήρα, θα πρέπει να υπάρχει διαρκής και επαρκής ενημέρωση του τεχνικού σε θέματα ασφάλειας, όπως έχουν προκύψει από την χρήση του κινητήρα και σε έκτακτες εργασίες συντήρησης σύμφωνα με τις ανακοινώσεις του κατασκευαστή.

Η τοποθέτηση εγκεκριμένων ποιοτικά εξαρτημάτων στον κινητήρα είναι καθήκον του επιθεωρητή, ο οποίος θα πρέπει να επιβεβαιώνει ότι τα διάφορα συστήματα και παρελκόμενα διαθέτουν τις απαραίτητες εγκρίσεις. Τα κομμάτια ΛΟΖ (Λήξη Ορίου Ζωής) θα πρέπει να αποσύρονται, εφόσον φυσικά έχουν καλύψει τις ώρες λειτουργίας τους, σύμφωνα με τα αναγραφόμενα στα μητρώα του κινητήρα.

¹ Είναι δυνατόν να υπάρξει απόκλιση 10 ωρών για τη μεταφορά του σκάφους / κινητήρα στον οργανισμό ο οποίος θα πραγματοποιήσει την επιθεώρηση.

PIPER AIRCRAFT CORPORATION INSPECTION REPORT This Form Meets Requirements of FAR Part 43																				
Make Piper Super Cub		Model PA18 & PA-18A			Serial No.		Registration No.													
Circle Type of Inspection (See Note 1, pg 3) 50 100 500 1000 Annua					Perform all inspections or operations at each of the inspection intervals as indicated by a circle (O)															
DESCRIPTION					Inspector	DESCRIPTION					Inspector									
					50	100	500	1000	Inspector						50	100	500	1000	Inspector	
A. PROPELLER GROUP						ENGINE GROUP CONT.														
1 Inspect spinner & backplate for damage & security											29 Inspect & lubricate fuel selector valve									
2 Inspect blades for nicks and cracks											30 Check vacuum pump, lines & separator									
3 Check spinner mounting brackets for damage & security											31 Overhaul or replace vacuum pump (SEE NOTE 4)									
4 Check propeller mounting bolts and safety (Check torque if safety is broken)											32 Check throttle, carburetor heat & mixture controls for travel & operating condition									
B. ENGINE GROUP						ENGINE GROUP CONT.														
<u>CAUTION: Ground Magneto Primary Circuit Before Working on Engine</u>						33 Inspect exhaust stacks, connections & gaskets (Replace exhaust gaskets as required.)														
1 Remove Engine Cowl											34 Inspect muffler, heat exchanger & baffles									
2 Clean & check cowling for cracks, distortion & loose or missing fasteners											35 Check exhaust stack braces									
3 Drain oil sump (SEE NOTE 6)											36 Check breather tube for obstructions and security									
4 Clean suction oil strainer (Check strainer for foreign particles.)											37 Check crankcase for cracks, leaks & security of seam bolts									
5 Clean pressure oil strainer (Check oil strainer for foreign particles.)											38 Check engine mounts for cracks & loose mountings									
6 Check oil temperature sender unit for leaks and security											39 Check all engine baffles for damage & security									
7 Check oil lines & fittings for leaks, security, chafing, dents and cracks (SEE NOTE 5)											40 Check rubber engine mount bushings for deterioration									
8 Clean & check oil radiator cooling fins for damage											41 Check condition of firewall seals									
9 Remove & flush oil radiator											42 Check condition & tension of generator or alternator drive belt									
10 Fill engine with oil per lubrication chart											43 Check condition of generator or alternator & starter									
11 Clean engine											44 Lubricate all controls									
12 Check condition of spark plugs (Clean & adjust gap as required, adjust per Lycoming Service Instruction)											45 Complete overhaul of engine or replace with factory rebuilt (SEE NOTE 4)									
13 Check ignition harness and insulators (High tension leakage and continuity.)											46 Reinstall engine cowl									
14 Check magneto points for proper clearance (Maintain clearance @ 0.018 +/- 0.006.)											C. CABIN GROUP									
15 Check magneto for oil seal leakage											1 Inspect cabin entrance, doors & windows for damage & operation									
16 Check breaker felts for proper lubrication											2 Check all plexiglas for cracks									
17 Check distributor block for cracks, burned areas or corrosion, and height of contact springs											3 Check upholstery for tears									
18 Check magnetos to engine timing											4 Check seats, seat belts, security brackets & bolts									
19 Overhaul or replace magnetos (SEE NOTE 4, PAGE 3)											5 Check trim operation & adjustment									
20 Check valve clearance at 0.010 on 0-290-D engine only											6 Check rudder pedals									
21 Remove air filter & clean (Refer to owner's handbook.) (Replace as required.)											7 Check control stick, torque tube, pulleys & cables									
22 Drain carburetor and clean inlet line fuel strainer											8 Check flap lever for adjustment & safety									
23 Check condition of carburetor heat air door and box											9 Check controls for ease of operation									
24 Check intake seals and clamps for tightness											10									
25 Remove, drain & clean fuel filter bowl & screen (Drain & clean every 90 days)											11 Check fuse box for burned out fuses									
26 Check condition of flexible fuel and primer lines											12 Check instruments, lines & attachments									
27 Replace flexible fuel lines (SEE NOTE 4)											13 Check gyro operated instruments (Overhaul or replace as needed.)									
28 Check fuel system for leaks											14 Replace filters on gyro horizon & directional gyro									
											15 Clean or replace vacuum regulator filter									
Owner																				

Σχήμα 2.4 Απόσπασμα από έντυπο επιθεώρησης α/φους PIPER. Εμφανίζεται η ομαδοποίηση των επιθεωρήσεων για τον έλικα, τον κινητήρα και το σκάφος. Επισημαίνεται επίσης η απαίτηση ή μη πραγματοποίησης κάθε ελέγχου στις επιθεωρήσεις 50, 100, 500 και 1000 ωρών.

2.2.3.3 Καθαρισμός

Ο καθαρισμός του κινητήρα, για την απομάκρυνση λαδιών, γράσων και κάθε είδους βρωμιάς είναι απαραίτητος, έτσι ώστε, ρωγμές, ή άλλες ζημιές, να μπορέσουν να γίνουν αντιληπτές κατά τη διάρκεια της επιθεώρησης. Συνιστάται η χρήση ειδικών καθαριστικών. Είναι βεβαίως απαραίτητο, να έχει προηγηθεί η προστατευτική επικάλυψη (με τη χρήση συνήθως ταινίας) των ηλεκτρικών εξαρτημάτων και των καλωδιώσεων.

2.2.3.4 Έλεγχος σε λειτουργία

Πριν από την έναρξη της επιθεώρησης απαιτείται ο έλεγχος της καλής λειτουργίας του κινητήρα. Το Σχήμα 2.5 περιέχει έναν τυπικό κατάλογο καταγραφών και ελέγχων, οι οποίοι απαιτούνται κατά τον έλεγχο σε λειτουργία του κινητήρα. Ασυνήθιστοι θόρυβοι, ή υπερβολικοί κραδασμοί θα πρέπει επίσης να σημειώνονται. Μετά το σβήσιμο του κινητήρα γίνεται αποστράγγιση του λιπαντικού και αφαίρεση ενός σπινθηριστή από κάθε κύλινδρο για την πραγματοποίηση της δοκιμής συμπίεσης (compression test).

2.2.3.5 Σύστημα λίπανσης¹

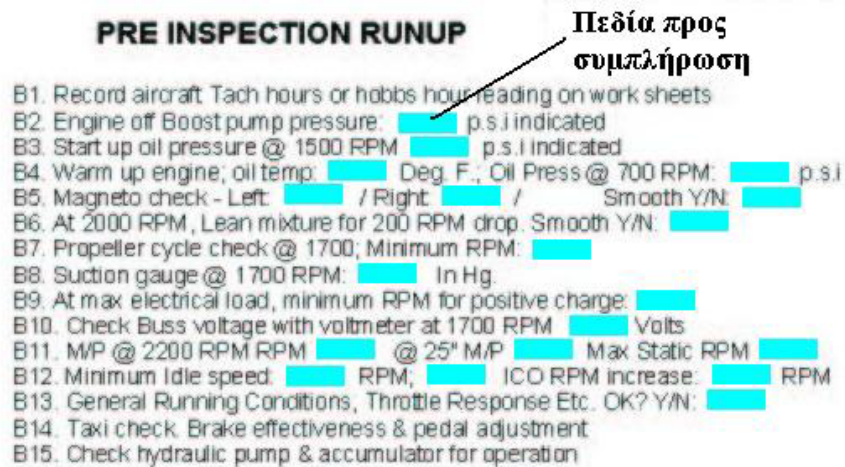
Η αλλαγή και επιθεώρηση του φίλτρου λαδιού είναι απαραίτητη κατά τη διάρκεια της 100ωρης και ετήσιας επιθεώρησης. Θα πρέπει να συνοδεύεται από την καταστροφή, άνοιγμα και επιθεώρηση του φίλτρου για εντοπισμό υπερβολικής συγκέντρωσης μεταλλικών σωματιδίων (Σχήμα 2.6). Χαρακτηριστικές είναι και οι οδηγίες, που περιέχονται σε έγγραφο της Avco Lycoming:

"Πριν από την απόρριψη του φίλτρου, θα πρέπει να γίνεται έλεγχος αφού αφαιρεθεί το εξωτερικό διάτρητο χάρτινο κάλυμμα. Χρησιμοποιώντας κάποιο αιχμηρό μαχαίρι κόψτε τις αναδιπλώσεις κοντά στα μεταλλικά καπάκια. Ανοίξτε το διπλωμένο στοιχείο και εξετάστε τα υλικά που έχουν συγκρατηθεί από αυτό, για πιθανές ενδείξεις υπερβολικής φθοράς του κινητήρα, όπως μεταλλικά ρινίσματα ή κομματάκια των τριβέων. Είναι πιθανόν σε νέους κινητήρες (ή κινητήρες γενικής επισκευής) να εντοπισθούν ίχνη μετάλλων. Αυτά δεν θεωρούνται αξιόλογα ευρήματα και δεν θα πρέπει να συγχέονται με σωματίδια που δημιουργούνται από κρούση, τριβή ή πίεση. Υπερβολική συγκέντρωση μεταλλικών σωματιδίων στο φίλτρο απαιτεί περαιτέρω εξέταση για τον προσδιορισμό της αιτίας.

¹ Τα διάφορα συστήματα έχουν περιγραφεί λεπτομερώς στο βιβλίο «Κινητήρες Αεροσκαφών Ι», όπου και παρατίθεται εκτενής εποπτική κάλυψη.

Είναι επίσης απαραίτητη η επιθεώρηση του διαφράγματος λαδιού, αν υπάρχει.

Μετά την τοποθέτηση νέου φίλτρου, ακολουθεί η επαναπλήρωση του κινητήρα με λιπαντικό και ο έλεγχος όλου του συστήματος λίπανσης για τυχόν διαρροές.



Σχήμα 2.5 Έλεγχος σε λειτουργία



Σχήμα 2.6 Καταστροφικός έλεγχος φίλτρου ελαίου

2.2.3.6 Σύστημα ανάφλεξης

Η εξέταση των χρησιμοποιημένων σπινθηριστών μπορεί να παράσχει σημαντικές πληροφορίες για πιθανά προβλήματα στους κυλίνδρους. Η επιθεώρηση περιλαμβάνει τόσο την κατάσταση του ηλεκτροδίου (firing end), όσο και τα χαρακτηριστικά των εναποθέσεων στον σπινθηριστή. Έτσι, το Σχήμα 2.7(β) δείχνει έναν σπινθηριστή, ο οποίος έχει λειτουργήσει κανονικά, όπως φαίνεται από το καφέ (ή γκρι σε άλλες περιπτώσεις) χρώμα των εναποθέσεων. Αντίθετα, μαύρες εναποθέσεις καρβιδίων (Σχήμα 2.7(β))

αποτελούν ενδείξεις κακής επιλογής σπινθηριστή ή λειτουργίας με υπερβολικά πλούσιο μείγμα.

Σπινθηριστές, των οποίων τα ηλεκτρόδια δεν είναι φθαρμένα, μπορούν να επαναλειτουργήσουν (reconditioned). Η επανατοποθέτηση του σπινθηριστή απαιτεί φυσικά την προηγούμενη δοκιμή καλής λειτουργίας του.

Κατά την τοποθέτηση των σπινθηριστών αντικαθίστανται τα παρεμβύσματα (τσιμούχες). Συνήθης πρακτική είναι η τοποθέτηση των σπινθηριστών σε διαφορετικό κύλινδρο, έτσι ώστε να εξισορροπείται η διαφορετική φθορά (λόγω θέσης) την οποία υφίστανται.



Σχήμα 2.7 (α) "Υγιής" και (β) προβληματικός σπινθηριστής

Τα σπειρώματα των σπινθηριστών, θα πρέπει να είναι καθαρά, έτσι ώστε η αρχική σύσφιγξη να επιτυγχάνεται με το χέρι. Η τελική σύσφιγξη γίνεται βέβαια με ροπόκλειδο, στην τιμή ροπής που προδιαγράφει ο κατασκευαστής. Η τοποθέτηση των καλωδιώσεων θα πρέπει να γίνεται μετά από καλό καθαρισμό των ακροδεκτών.

Απαιτείται, τέλος ο έλεγχος του χρονισμού μανιατό-κινητήρα καθώς επίσης και της καλής γείωσης του μανιατό.

2.2.3.7 Σύστημα καυσίμου

Μετά τον καθαρισμό της αποστράγγισης και των φίλτρων στο καρμπυρατέρ ή στο σύστημα έγχυσης καυσίμου ακολουθεί δοκιμή υπό πίεση, μετά την τοποθέτηση των φίλτρων, με την αντικατάσταση φυσικά των παρεμβυσμάτων. Θα πρέπει επίσης να καθαρισθούν και να λιπανθούν όλοι οι άξονες (controls) σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, με την χρήση εγκεκριμένου λιπαντικού.

Στο σύστημα έγχυσης καυσίμου (fuel injection) απαιτείται ο καθαρισμός και ο έλεγχος όλων των ψεκαστήρων και των αγωγών καυσίμου.

2.2.3.8 Εισαγωγή αέρα

Το φίλτρο αέρα θα πρέπει να καθαρίζεται, ή να αντικαθίσταται, ενώ όλο το σύστημα εισαγωγής αέρα θα πρέπει να ελέγχεται για πιθανές διαρροές. Απαιτείται επίσης ο έλεγχος της βαλβίδας θερμού αέρα και της βαλβίδας ασφαλείας. Θα πρέπει το άνοιγμα των θυρών ασφαλείας (alternate air doors) να πραγματοποιείται ανεμπόδιστα. Ελέγχεται, τέλος, η κατάσταση των εύκαμπτων σωληνώσεων.

2.2.3.9 Σύστημα εξαγωγής καυσαερίων

Σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται η δοκιμή υπό πίεση του συστήματος εξαγωγής καυσαερίων (πιθανές επικίνδυνες διαρροές ακόμη και στην καμπίνα του σκάφους). Ο αγωγός του σιγαστήρα θα πρέπει να ελέγχεται για διαρροές. Η βαλβίδα ελέγχου της ροής θερμού αέρα στην καμπίνα θα πρέπει να λειτουργεί σωστά. Απαιτείται έλεγχος (και πιθανώς αντικατάσταση) των τσιμουχών στις εξαγωγές των καυσαερίων από τους κυλίνδρους, όπως επίσης και της συναρμογής των οργάνων μέτρησης της θερμοκρασίας στους αγωγούς εξόδου των καυσαερίων.

2.2.3.10 Υπερπληρωτής

Η επιθεώρηση πραγματοποιείται σύμφωνα με τις ειδικές οδηγίες του κατασκευαστή. Ελέγχεται το σύστημα εξαγωγής του υπερπληρωτή και η βαλβίδα διαφυγής, το σύστημα εισαγωγής αέρα (βαλβίδες εκτόνωσης, ψύκτες και αισθητήρες πίεσης πολλαπλής εισαγωγής) και το σύστημα λίπανσης.

2.2.3.11 Σύστημα ψύξης

Ελέγχονται τα πτερύγια ψύξης και τα διαχωριστικά ελάσματα (cooling fins & baffles) για ρωγμές ή άλλες ζημιές. Πιθανή επισκευή πτερυγίου με ρωγμές απαιτεί τη σωστή διαμόρφωση της περιοχής (πιθανόν με αφαίρεση υλικού). Θα πρέπει να επιβεβαιώνεται η πλήρης κίνηση των θυρίδων εξαγωγής αέρα ψύξης μεταξύ της ανοικτής και κλειστής θέσης αυτών.

2.2.3.12 Ηλεκτρικό σύστημα

Ελέγχεται η ανάρτηση της γεννήτριας για πιθανές ρωγμές, η ασφαλής λειτουργία του ρυθμιστή τάσης, των ηλεκτρονόμων (ρελέ) και των σωληνοειδών, καθώς επίσης και η κατάσταση των καλωδιώσεων.

2.2.3.13 Παρελκόμενα και συστήματα ελέγχου

Ελέγχονται οι αντλίες αέρα, καυσίμου και λαδιού για ενδείξεις διαρροών, ιδιαίτερα στις ενώσεις, όπου χρησιμοποιούνται στεγανοποιητικά. Οι γραμμές εξαέρωσης και αερισμού (vent & breather) θα πρέπει να είναι τοποθετημένες

με ασφαλή τρόπο. Θα πρέπει να επιβεβαιώνεται η καλή λειτουργία του διαχωριστή λαδιού και όλα τα φίλτρα θα πρέπει να αλλάζονται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Όλοι οι βραχίονες και οι άξονες των συστημάτων ελέγχου θα πρέπει να κινούνται ελεύθερα, ενώ τα όρια της κίνησής τους θα πρέπει να βρίσκονται σε απόλυτη αντιστοιχία με τις ακραίες θέσεις των μοχλών του χειριστηρίου. Η κατάσταση του θερμοπροστατευτικού καλύμματος θα πρέπει να είναι καλή, έτσι ώστε όλες οι γραμμές ελέγχου και οι καλωδιώσεις που διέρχονται από αυτόν, να είναι επαρκώς στεγανοποιημένες και να μη φέρουν ενδείξεις διάβρωσης, ή άλλης ζημίας. Οι αντικρουστικές αναρτήσεις του κινητήρα θα πρέπει να είναι σε καλή κατάσταση, ενώ θα πρέπει να ροπομετρούνται οι κοχλίες σύσφιγξης. Είναι επίσης αναγκαίο να ελέγχεται η κατάσταση της γείωσης, μεταξύ του κινητήρα και του σκάφους, για να μην υπάρχει επιστροφή του ρεύματος εκκίνησης στο σκάφος.

2.2.3.14 Έλικας

Ο έλικας θα πρέπει να υπόκειται σε προσεκτική επιθεώρηση, χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, διαδικασίες μη καταστροφικού ελέγχου, για τον εντοπισμό πιθανών ρωγμών. Η στιβαρή σύνδεση των πτερύγων στη βάση τους και η απουσία διαρροών θα πρέπει να επιβεβαιώνεται. Τέλος, πρέπει να ελέγχονται η ρίζα του έλικα για πιθανές ρωγμές, όπως και ο ρυθμιστής στροφών (governor) για καλή τοποθέτηση και πλήρη κίνηση του μοχλού του.

2.2.3.15 Δοκιμή και μητρώα

Η 100ωρη και η ετήσια δοκιμή ολοκληρώνονται με τον έλεγχο καλής λειτουργίας του κινητήρα. Μετά την επιτυχή διενέργεια της δοκιμής, συμπληρώνονται τα μητρώα συντήρησης και επιθεώρησης του κινητήρα.

Ο τρόπος συμπλήρωσης και το περιεχόμενο των μητρώων, ορίζονται από τους ελεγκτικούς οργανισμούς και εν γένει διαφέρουν αν πρόκειται για μητρώο επιθεώρησης ή συντήρησης.

Σε περίπτωση εκτεταμένης επισκευής, ή τροποποίησης, συμπληρώνεται ειδικό έντυπο (π.χ. FAR FORM 337, JAR FORM ONE) και ενημερώνονται οι αρμόδιες αρχές.

2.3 Γενική επισκευή εμβολοφόρων κινητήρων

2.3.1 Διαστήματα και είδη γενικής επισκευής

Με τον όρο **γενική επισκευή (Overhaul)** εννοείται η πλήρης αποσυναρμολόγηση του κινητήρα και η επιθεώρηση κάθε εξαρτήματος

ξεχωριστά. Η αποσυναρμολόγηση και η επιθεώρηση γίνεται πάντα σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, όπως αυτές δίνονται σε σχετικά τεχνικά εγχειρίδια. Κατά τη γενική επισκευή, ο κατασκευαστής προδιαγράφει την αντικατάσταση ορισμένων εξαρτημάτων, ενώ για τα υπόλοιπα προβλέπεται υποχρεωτικά κάποια μορφή επιθεώρησης:

- οπτική επιθεώρηση, για τον εντοπισμό τυχόν φθορών ή άλλων ζημιών,
- μη καταστροφικός έλεγχος (non-destructive testing) ή κάποια μορφή μηχανικού ελέγχου,
- διαστατική επιθεώρηση.

Περαιτέρω χρήση των εξαρτημάτων επιτρέπεται, εφόσον αυτά ικανοποιούν τα κριτήρια και τα όρια (serviceable limits) των αντίστοιχων εγχειριδίων. Σε πολλές περιπτώσεις, είναι δυνατή η εκ νέου χρήση των εξαρτημάτων μετά από επισκευή, εφόσον αυτά βρίσκονται εντός των επισκευαστικών ορίων (repairable limits) των εγχειριδίων.

Τα διαστήματα γενικής επισκευής προδιαγράφονται από τον κατασκευαστή του κινητήρα σε ειδικά έγγραφα, τα οποία ανανεώνονται περιοδικά, έτσι ώστε να περιλαμβάνουν νέα μοντέλα και πιθανές αλλαγές (ενδεικτικά παρατίθενται σχετικοί κατάλογοι για κινητήρες Lycoming και Teledyne – Πίνακας 2.1 & Πίνακας 2.2, αντίστοιχα).

Αν και η πολιτική συντήρησης, είναι γενικότερα επιλογή του ιδιοκτήτη του σκάφους, οι φορείς ελέγχου απαιτούν την προληπτική συντήρηση, αλλά και γενική επισκευή του κινητήρα, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Σημειώνεται ότι οι αυτές οι προδιαγραφές αφορούν κυρίως τον κινητήρα, ενώ είναι πιθανόν παρελκόμενα (μανιατό, καλωδιώσεις, ρυθμιστές στροφών κ.ά) να απαιτούν διαφορετική πολιτική συντήρησης ή / και αντικατάστασης.

Πρέπει επίσης να γίνει διάκριση μεταξύ «κυρίας» γενικής επισκευής (major overhaul) και γενικής επισκευής προσβάσιμων μερών (top overhaul). Η γενική επισκευή προσβάσιμων μερών αναφέρεται στην επισκευή ή / και καθαρισμό κυλίνδρων και εμβόλων, χωρίς την πλήρη αποσυναρμολόγηση του κινητήρα. Συνιστάται σε περιπτώσεις ζημιών, οι οποίες εντοπίζονται στους κυλίνδρους του κινητήρα.

Σημειώνεται ότι οι οδηγίες των κατασκευαστών αφορούν εν γένει διαστήματα κύριων γενικών επισκευών. Σε πολλές περιπτώσεις, η επιλογή μεταξύ κύριας και γενικής επισκευής, μπορεί να βασίζεται σε οικονομικά κριτήρια, αν και στους νεότερους κινητήρες εφαρμόζεται γενικότερα η