

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Ν. Κυρτάτο τόσο για την ανάθεση όσο και για την επίβλεψη και διόρθωση της διπλωματικής εργασίας και για την παροχή όλων των μέσων που βοήθησαν στην ολοκλήρωση της. Ακόμα, τον κ. Γιώργο Παπαλάμπρου, υπεύθυνο καθηγητής της διπλωματικής, για την οργάνωση της εργασίας και τη συνεργασία σε όλα τα θέματα που προέκυψαν κατά την εκπόνησή της και τον κ. Ν. Αλεξανδράκη , για την παροχή βοήθειας σε όλα τα επίπεδα της εργασίας.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω το τεχνικό προσωπικό του εργαστηρίου, κ. Χρ. Σαρρή και Γ. Τσιλάκη, για την καθημερινή συνεργασία και την προθυμία τους και τους Μ. Ιωάννου, Γ. Δημόπουλο και Μ. Μπέλα για την υποστήριξη και την συνολική βοήθεια τους.

## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	6
2. Προσδιορισμός απαραίτητων παραμέτρων λειτουργίας.....	7
2.1 Ενεργειακό Ισοζύγιο στον θάλαμο καύσης.....	7
2.2 Μεταφορά Θερμότητας σε Μ.Ε.Κ.....	9
2.3 Μεγέθη προς μέτρηση.....	11
3. Πειραματική Διάταξη.....	13
3.1 Μοντέλο Συστήματος δειγματοληψίας.....	13
3.2 Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος.....	14
Αισθητήρες και Μεταδότες.....	15
3.2.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Αισθητήρων.....	16
3.2.2 Επιλογή αισθητηρίων.....	17
3.3 Κάρτα Δειγματοληψίας.....	33
3.3.1 Απαραίτητα Χαρακτηριστικά.....	33
3.3.2 PCI-DAS6402/16.....	36
3.3.3 Έλεγχος χρόνου απόκρισης κάρτας με προσομοίωση.....	37
3.4 Μονάδες Επεξεργασίας Σήματων.....	41
3.4.1 Επεξεργασία εγκατεστημένων σημάτων.....	43
3.4.2 Isolators.....	49
3.5 Παροχή Ρεύματος.....	53
3.6 Καλωδίωση.....	54
3.7 Βαθμονόμηση.....	55
4. Καταγραφή και Παρουσίαση.....	56
5. Υπολογισμοί.....	58
5.1 Θερμικός Ισολογισμός στον MAN D 2866LE.....	58
5.1.1 Ισχύς Καυσίμου.....	60
5.1.2 Παραγόμενη Μηχανική Ισχύς.....	60
5.1.3 Ισχύς Ψύξεως.....	62
5.1.4 Ισχύς Καυσαερίων.....	63
5.1.5 Ισχύς ακτινοβολίας.....	67
5.2 Θερμικός Ισολογισμός στον 6 <sup>ο</sup> κύλινδρο της MAN D 2866LE.....	68
5.2.1 Ενδεικνυόμενη πίεση αισθητηρίου θαλάμου καύσης.....	68
5.2.2 Διάγραμμα πίεσης-όγκου (p-V).....	70
5.2.3 Ισοζύγιο Ενέργειας Θαλάμου Καύσης.....	73
5.2.4 Ενέργεια Καυσίμου.....	73

5.2.5	Ενέργεια αέρα.....	73
5.2.6	Ενέργεια Καυσαερίων .....	74
5.2.7	Συσσωρευτική Τιμή Εκλυόμενης Θερμότητας.....	75
5.2.8	Εργο.....	78
5.3	Αποτελέσματα Ενεργειακών Ισολογισμών .....	78
5.3.1	Ενεργειακός Ισολογισμός Κινητήρα .....	78
5.3.2	Ενεργειακός Ισολογισμός Κινητήρα .....	81
6.	Βιβλιογραφία .....	84
7.	Appendix A .....	85
8.	Appendix B .....	

## Λίστα Εικόνων

Εικόνα 3-1 Βασικό Μοντέλο Συστήματος DAQ.....	13
Εικόνα 3-2. Διάταξη αισθητήριων στην κινητήρα.....	15
Εικόνα 3-3. Θερμόμετρο οιοπνεύματος SIKA.....	17
Εικόνα 3-4. PT100A.....	18
Εικόνα 3-5. Κύκλωμα θερμοζεύγους.....	19
Εικόνα 3-6. Type-K Thermocouple.....	19
Εικόνα 3-7. Wika PT100+BSZ-H+T19.....	20
Εικόνα 3-8 RHEONIK RHM 03 GNT.....	21
Εικόνα 3-9. Στοιχείο μέτρησης παροχής νερού ψύξεως.....	22
Εικόνα 3-10 Μεταδότης ταχύτητας αέρα αποβολής του χώρου H/Z.....	23
Εικόνα 3-11 Μέθοδος λειτουργίας οργάνου μέτρησης ταχύτητας παροχής αέρα στον κινητήρα.....	23
Εικόνα 3-12 Φωτογραφία Διαφράγματος στον αγωγό εισαγωγής ατμ. αέρα στον Κινητήρα.....	24
Εικόνα 3-13 Μεταδότης διαφορικής πίεσης YAMATAKE STD-E1H.....	25
Εικόνα 3-14 Πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο σε μονοκρυσταλλικό υλικό.....	25
Εικόνα 3-15 Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας Kistler 6121A1 μέτρησης πίεσης εντός κυλίνδρου.....	26
Εικόνα 3-16 Φαινόμενο πιεζοηλεκτρικής μεταβολής ηλεκτρικής αντίστασης.....	27
Εικόνα 3-17. Μεταδότης πίεσης αέρα εισαγωγής στον κύλινδρο DRUCK PTX1400.....	27
Εικόνα 3-18 Συνδεσμολογία οργάνου μέτρησης ηλεκτρικής ισχύος H/Z.....	28
Εικόνα 3-19. Μετρητής Ισχύος ηλεκτρικής ισχύος H/Z PowerLogic PM800.....	28
Εικόνα 3-20 Σύστημα μέτρησης στροφαλογωνίας.....	29
Εικόνα 3-21 Angle Encoder AVL-364.....	30
Εικόνα 3-22 AV 3064Z02L Pulse Converter.....	30
Εικόνα 3-23 TDC sensor AVL 428.....	31
Εικόνα 3-24 Σχηματική αναπαράσταση κυκλώματος Πολυπλέκτη-ADC.....	33
Εικόνα 3-25 Σχεδιάγραμμα λειτουργίας για υποθετικό 3-bit A/D Converter.....	35
Εικόνα 3-26 DAQ Board Measurement Computing PCI DAS6402/16.....	36
Εικόνα 3-27 Κλεμοσειρά τερματισμού σημάτων εισερχομένων στην κάρτα περισυλλογής PCI DAS6402/16.....	37
Εικόνα 3-28 Σχέδιο διάταξης προσομοίωσης των σημάτων πιέσεως κυλίνδρου, στροφαλογωνίας και TDC.....	37
Εικόνα 3-29 Τα σήματα προσομοίωσης TDC, CDM και αρμονικό κύμα.....	38
Εικόνα 3-30 Εύρεση φάσης αρμονικού κύματος σε συνθήκες χρονισμού προσομοίωσης στροφαλοφωνίας.....	39
Εικόνα 3-31 Εύρεση φάσης αρμονικού κύματος 10x συχνότητα χρονισμού στροφαλοφωνίας.....	39
Εικόνα 3-32 Κάτοψη χώρου H/Z και χώρου ελέγχου.....	42
Εικόνα 3-33 (Αριστερα)INOR APAQ-LR Transmitter, (Δεξια) Αποδεκτό φορτίο στην είσοδο.....	43
Εικόνα 3-34. Ψηφιακό όργανο GREISINGER GIA 1000NS Ενδειξης.....	44
Εικόνα 3-35 INOR APAQ-LC Transmitter.....	44
Εικόνα 3-36 Rheonik RHE 02 Mass/Flow.....	45
Εικόνα 3-37 Great Lakes 675F Flow Monitor/Totalizer.....	46
Εικόνα 3-38 Ενισχυτής σήματος πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα.....	46
Εικόνα 3-39 Φωτογραφία του AVL 3064Z02 Pulse converter.....	47
Εικόνα 3-40 Διαφορά φάσης Παλμού TRIGGER και σήματος αισθητήριου TDC.....	48
Εικόνα 3-41 Ανάλυση του αρχείου Fluke.....	49
Εικόνα 3-42 Isolator MCR-C-I/U-0-DC.....	49
Εικόνα 3-43 Isolator MCR-C-UI-UI-DCI.....	50
Εικόνα 3-44 Isolator MSC-CPS-I-I44-E.....	51
Εικόνα 3-45 Φωτογραφία Πίνακα C3 με τους μετασηματιστές Ρεύματος.....	53

Εικόνα 3-46. Καλώδια (Αριστερά) LiYCY και (Δεξιά)Belden V 3761 AWM 2092.....	54
Εικόνα 4-1 Γραφικός προγραμματισμός H_Z_DAO.vi.....	57
Εικόνα 4-2 Front Panel του H_Z_DAO.vi.....	57
Εικόνα 5-1 Μέθοδος λειτουργίας οργάνου μέτρησης ταχύτητας παροχής αέρα κινητήρα .....	64
Εικόνα 5-2 Ανάλυση Ογκου κυλίνδρου .....	70
Εικόνα 5-3 Κινηματικός Μηχανισμός Στροφάλου. ....	71

## 1. Εισαγωγή

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία συστήματος δειγματοληψίας παραμέτρων λειτουργίας του Ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους, που βρίσκεται στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Ναυτικής Μηχανολογίας, με στόχο την διεξαγωγή θερμικού ισολογισμού της γεννήτριας σε μόνιμες καταστάσεις λειτουργίας και του ενεργειακού ισοζυγίου του θαλάμου καύσης για έναν κύκλο λειτουργίας.

Η εργασία αυτή διαρθρώνεται σε 3 κεφάλαια.

- Το Κεφάλαιο 2 περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των παραμέτρων που πρέπει να συμπεριλαμβάνει το σύστημα δειγματοληψίας.
- Το Κεφάλαιο 3 περιλαμβάνει την περιγραφή της πειραματικής Διάταξης και του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε
- Το Κεφάλαιο 4 περιλαμβάνει τα αποτελέσματα του Θερμικού Ισολογισμού θαλάμου της γεννήτριας και του Ενεργειακού Ισοζυγίου του θαλάμου καύσης

Η παρούσα εργασία είναι πειραματικού χαρακτήρα και συμπεριλαμβάνει όλα τα όργανα και τις τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν για την δειγματοληψία των απαραίτητων παραμέτρων λειτουργίας της γεννήτριας. Στην συνέχεια παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα από τα προγράμματα που σχεδιάστηκαν για την παρουσίαση και καταγραφή των παραμέτρων της γεννήτριας καθώς και από τον κώδικα που χρησιμοποιείται για την διεξαγωγή των απαραίτητων υπολογισμών προς επίλυση του θερμικού ισοζυγίου.

## 2. Προσδιορισμός απαραίτητων παραμέτρων λειτουργίας

Προκειμένου να γίνει η επιλογή των απαραίτητων παραμέτρων που πρέπει να συμπεριληφθούν στο σύστημα δειγματοληψίας θα πρέπει να μια αναφορά στις θερμοδυναμικές αρχές που διέπουν την λειτουργία μιας εμβολοφόρου Μ.Ε.Κ και τον κύκλο λειτουργίας Diesel. Η αναφορά είναι ενδεικτική και εστιάζει στα ζητούμενα της εργασίας.

### 2.1 Ενεργειακό Ισοζύγιο στον θάλαμο καύσης

Με τις θερμικές μηχανές επιδιώκεται η παραγωγή μηχανικού έργου από την θερμική ενέργεια που παράγεται κατά την καύση από την αποθηκευμένη στα καύσιμα χημική ενέργεια. Στις μηχανές εσωτερικής καύσης τα προϊόντα της καύσης του αέρα με το καύσιμο αποτελούν απευθείας εργαζόμενο μέσο για την παραγωγή της μηχανικής ισχύος. Ο κύλινδρος μιας εμβολοφόρου Μ.Ε.Κ είναι ένα ανοιχτό σύστημα (δηλ. όπου είναι δυνατή η συναλλαγή μάζας με το περιβάλλον δια μέσου του ορίου του). Κατά τις φάσεις εναλλαγής αερίων, υπάρχουν εισερχόμενα και εξερχόμενα ρεύματα και συνεπώς μεταβολή του περιεχομένου του συστήματος ως προς την μάζα και την περιεκτικότητα.

Η Εφαρμογή του Πρώτου Θερμοδυναμικού Νόμου στο σύστημα 'θάλαμος καύσης' ορίζει ότι η μεταβολή της θερμότητας είναι ίση με:

$$\dot{Q} dt = dU + dW - \mu dN \quad (2-1)$$

όπου  $U$  η ενέργεια του συστήματος,  $W$  το έργο και  $N$  το πλήθος των μορίων που εμπεριέχει και  $\mu$  το χημικό δυναμικό του μέσου.

Στον θάλαμο καύσης η δύναμη ( $F$ ), που εφαρμόζεται στο πιστόνι επί την απόσταση που διανύεται ( $x$ ) αποτελεί έργο και εκφράζεται ως αύξηση της πίεσης ( $p$ ) που ασκείται στην επιφάνεια ( $A$ ) του πιστονιού.

$$W = F \times x = (p \times A) \times x.$$

όπου το γινόμενο της επιφάνειας και της απόστασης που διανύει το πιστόνι ορίζει τον όγκο του κυλίνδρου και συνεπώς:

$$\begin{aligned} W &= p \times V \\ dW &= p \times dV \end{aligned} \quad (2-2)$$

Γράφοντας την ενέργεια του αερίου ως  $U=U(T,V)$  και με εντροπία  $S$  από το δεύτερο Θερμοδυναμικό αξίωμα  $TdS = \dot{Q} dt$  προκύπτει από την (2-1) και (2-2).

$$\begin{aligned} U &= U(T, V) \Rightarrow \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T \\ \dot{Q} dt &= TdS = dU + pdV - \mu dN \Rightarrow \\ \dot{Q} dt &= TdS = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + p\right] dV - \mu dN \end{aligned} \quad (2-3)$$

Η (2-1) δηλώνει ότι η μεταφερόμενη θερμότητα  $\dot{Q} dt$  είναι αποτέλεσμα των μεταβολών ενέργειας του αερίου  $dU$ , του έργου  $pdV$  και της χημικής ενέργειας  $\mu dN$  κατά την διάρκεια του κύκλου. Με την παραδοχή ότι ο κύκλος του τετράχρονου κινητήρα επαναλαμβάνεται κάθε δύο περιστροφές του στροφάλου επανερχόμενος απολύτως στην κατάσταση που είχε ξεκινήσει, έχουμε πλήρως αναστρέψιμη αλλαγή καταστάσεως.

Για τον υπολογισμό του έργου σε ένα πλήρη κύκλο, θα υπολογιστεί το κλειστό ολοκλήρωμα στην διάρκεια ενός ολοκληρωμένου κύκλου 4-χρονου κινητήρα της (2-3).

$$\int_0^{4\pi} \dot{Q} dt = \int_0^{4\pi} \left(\frac{\theta U}{\theta T}\right)_V dT + \int_0^{4\pi} [p + \left(\frac{\theta U}{\theta V}\right)_T] dV \quad (2-4)$$

όπου τα κλειστά ολοκληρώματα  $\int_0^{4\pi} \left(\frac{\theta U}{\theta T}\right)_V dT$  ,  $\int_0^{4\pi} \left(\frac{\theta U}{\theta V}\right)_T dV$  συμμετέχουν μόνο στην έκλυση θερμότητας και δεν παράγουν έργο. Βάση της παραδοχής είναι μηδενικά, ενώ και το  $\int_0^{4\pi} \mu dN$  είναι μηδέν αφού αν και μεταβάλλεται, θεωρείται ότι είναι το ίδιο στην αρχή και στο τέλος του κύκλου. Η ενέργεια  $U$  του συστήματος μεταβάλλεται κατά την διάρκεια του κύκλου και αποβάλλεται κατά το μεγαλύτερο μέρος της από τον αγωγό καυσαερίων με τη μορφή θερμότητας. Το μηχανικό έργο παράγεται αποκλειστικά από τον όρο  $p dV$  ( 2-5 ). Σημειώνεται ότι η εξίσωση δεν περιγράφει τις απώλειες θερμότητας πχ. Από τα τοιχώματα του θαλάμου καύσεως ή το διάκενο μεταξύ εμβόλου και χιτωνίου.

$$W = \int_0^{4\pi} p dV \quad (2-5)$$

Για τον υπολογισμό της εκλυόμενης θερμότητας, από την σχέση ( 2-4 ) ο όρος  $\left(\frac{\theta U}{\theta V}\right)_T$  μηδενίζεται καθώς η εσωτερική ενέργεια  $U$  του αερίου εξαρτάται έντονα από την θερμοκρασία και η επίδραση των μεταβολών του όγκου είναι πρακτικά αμελητέες. Έτσι η ( 2-3 ) γίνεται [5]:

$$\dot{Q}_{HR} dt = T dS = \left(\frac{\theta U}{\theta T}\right)_V dT + p dV$$

Με μεταβολή εσωτερικής ενέργειας:

$$dU = m \bar{c}_V dT \Rightarrow \left(\frac{\theta U}{\theta T}\right)_V = m \bar{c}_V$$

όπου  $c_V$  η μέση ειδική θερμοχωρητικότητα για σταθερό όγκο και  $m$  η εγκλωβισμένη μάζα στο θάλαμο καύσης. Με χρήση της καταστατικής εξίσωσης ( $pV=mRT$ ) προκύπτει:

$$T = \frac{pV}{m\bar{R}} \Rightarrow dT = \frac{1}{m\bar{R}} (V dp + p dV)$$

$$\left(\frac{\theta U}{\theta T}\right)_V dT = \frac{\bar{c}_V}{\bar{R}} (V dp + p dV)$$

Η μεταβολή της εκλυόμενης θερμότητας  $\dot{Q}_{HR} dt$  για  $\bar{\kappa}$  το μέσο του πολυτροπικού εκθέτη,  $\bar{R}$  την μέση τιμή της σταθεράς του αερίου  $\frac{\bar{R}}{c_V} = \bar{\kappa} - 1$  υπολογίζεται από τον τύπο ( 2-6 ) [5].

$$\dot{Q}_{HR} dt = \frac{1}{\bar{\kappa} - 1} V dp + \frac{\bar{\kappa}}{\bar{\kappa} - 1} p dV \quad (2-6)$$

Το ενεργειακό ισοζύγιο στον θάλαμο καύσης εκφράζεται ως εξής [5]:

$$m_B u_B(T_B) + m_L u_L(T_L) + m_B H_u = m_{VG} u_{VG}(T_{VG}) + Q_{th} + \int_0^{4\pi} p V$$

όπου

- $m_B u_B(T_B)$ : Η μάζα επί την εσωτερική ενέργεια του καυσίμου.
- $m_L u_L(T_L)$ : Η μάζα επί την εσωτερική ενέργεια του αέρα που εισέρχεται στον θάλαμο καύσης.
- $H_u$  [kJ/kg]: Η κατώτερη θερμογόνος δύναμη του καυσίμου.
- $m_{VG} u_{VG}(T_{VG})$ : Η μάζα επί την εσωτερική ενέργεια των καυσαερίων.
- $Q_{th}$ : Η εκλυόμενη θερμότητα σε ένα κύκλο λειτουργίας.
- $\int_0^{4\pi} p V$ : Το ενδεικνύμενο έργο σε ένα κύκλο λειτουργίας.



Για τον υπολογισμό της εκλυόμενης θερμότητας και του ενδεικνύμενου έργου απαιτείται το διάγραμμα  $p$ - $V$  του πραγματικού κύκλου. Ο κύκλος αυτός μπορεί να καθοριστεί μόνο μέσω της συνεχούς μετρήσεως της πίεσης σε κάθε θέση του εμβόλου  $x$  ή σε κάθε θέση της γωνίας στροφάλου  $\phi$ , από τα οποία και μπορεί να γίνει αναγωγή στον όγκο του κυλίνδρου μέσω του κινηματικού μηχανισμού του στροφάλου.

## 2.2 Μεταφορά Θερμότητας σε Μ.Ε.Κ

Μια ΜΕΚ μπορεί να αναλυθεί σαν ένα ανοιχτό σύστημα που συναλλάσσει θερμότητα και έργο με τον περιβάλλοντα χώρο (την ατμόσφαιρα). Αντιδρώντα (κάυσιμο και αέρας) εισέρχονται στο σύστημα και προϊόντα (καυσαέρια) εξέρχονται με σκοπό την παραγωγή ωφέλιμου έργου.

Το ενδεικνύμενο έργο  $W_i$  στο οποίο έγιναν αναφορές στο προηγούμενο κεφάλαιο δεν αποδίδεται ολόκληρο στην άτρακτο του κινητήρα, διότι μεσολαβούν οι μηχανικές απώλειες, είτε αυτές είναι σχετικές με την λειτουργία των βοηθητικών μηχανημάτων που είναι απαραίτητα για την λειτουργία του κινητήρα είτε πρόκειται για απώλειες ενέργειας τριβών που σχετίζονται με τις τριβές του κύριου κινηματικού μηχανισμού (δηλ., του εμβόλου μετά των ελατηρίων και εδράνων). Οι δεύτερες, που αποτελούν το κύριο μέρος των απωλειών, μετατρέπονται σε θερμική ενέργεια και αυξάνουν την θερμοκρασία του κινητήρα.

Επίσης, η θερμοκρασία του θαλάμου καύσης, και κατ' επέκταση του κινητήρα, αυξάνεται και λόγω της συναλλαγής θερμότητας του εργαζόμενου μέσου μετά των τοιχωμάτων του κυλίνδρου σε κάθε φάση το κύκλου λειτουργίας του κινητήρα. Ιδιαίτερως κατά την αποτόνωση αλλά και κατά την συμπίεση. Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στον κινητήρα θα πρέπει να διατηρούνται σε τέτοια επίπεδα έτσι ώστε να μην επηρεάζεται η λειτουργία και η απόδοση του κινητήρα. Αυτό καθιστά την μεταφορά θερμότητας στις Μ.Ε.Κ αναπόσπαστο κομμάτι του σχεδιασμού και επιβάλλει την εγκατάσταση συστήματος ψύξης που θα αποβάλουν στο περιβάλλον κομμάτι της θερμικής ισχύος που παράγεται.

Οι κύριες μορφές μεταφοράς θερμότητας που εντοπίζονται σε κινητήρα είναι [2]:

- **Αγωγή.** Η θερμότητα μεταφέρεται μέσω της μοριακής κίνησης μέσω των στερεών αλλά και υγρών σε ηρεμία λόγω διαφοράς θερμοκρασίας. Παρατηρείται μέσω της κεφαλή και των τοιχωμάτων του κυλίνδρου με το πιστόνι, μέσω των δαχτυλιδιών του πιστονιού με τα τοιχώματα του κυλίνδρου, μέσω του σώματος της μηχανής τους αγωγούς των καυσαερίων
- **Συναγωγή.** Η θερμότητα μεταφέρεται μέσω των κινούμενων ρευστών ή αερίων και συμπαγών επιφανειών σε σχετική κίνηση. Παρατηρείται μέσω των καυσαερίων του κυλίνδρου και της κυλινδροκεφαλής, βαλβίδων, τοιχωμάτων κυλίνδρου και πιστονιού κατά τις φάσεις εισαγωγής, συμπίεσης, εκτόνωσης και εξαγωγής, μέσω των τοιχωμάτων και της κεφαλής με το ψυκτικό μέσο (είτε είναι υγρό είτε αέριο) και μέσω του πιστονιού και του λιπαντικού (ή άλλου ψυκτικού του πιστονιού). Σημαντική επίσης είναι και μεταφορά μέσω συναγωγής στις βαλβίδες εξαγωγής, στον αγωγό εξαγωγής, και στο σύστημα εξαγωγής κατά την διάρκεια εκπομπής καυσαερίων. Τέλος, θερμότητα μεταφέρεται μέσω συναγωγής από το σώμα της μηχανής στο περιβάλλον.
- **Ακτινοβολία.** Η θερμότητα μεταφέρεται μέσω της εκπομπής και απορρόφησης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Παρατηρείται μέσω των θερμών αερίων της καύσης και της περιοχής που γίνεται η καύση στα τοιχώματα του κυλίνδρου (αν και είναι πολύ μικρή σε σχέση με τις άλλες μορφές που αναλύθηκαν) και μέσω της εξωτερικής θερμής επιφάνειας του κινητήρα και του περιβάλλοντος.

Από την συνολική εισερχόμενη ενέργεια που παράγεται από την καύση του καυσίμου, πέραν του ωφέλιμου έργου και της θερμότητας των καυσαερίων, μέσω του συστήματος ψύξης ενέργεια επίσης μεταφέρεται στο ψυκτικό μέσο αλλά και στον περιβάλλοντα χώρο.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο ο ισολογισμός αναφερόταν σε έναν πλήρη κύκλο λειτουργίας του κινητήρα στο σύστημα *θαλάμου καύσης*. Ο ισολογισμός τώρα θα γίνει στο σύστημα «*κινητήρας*» με  $z$  αριθμό κυλίνδρων ταχύτητα περιστροφής  $n$  σε [rpm]. Ο ισολογισμός θα γίνει σε μονάδες ισχύος καθότι ο ενεργειακός ισολογισμός μιας εμβολοφόρου μηχανής (όπως και κάθε Μ.Ε.Κ) γίνεται πάντα για ορισμένη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας και συνίσταται στην καταγραφή όλων των ποσών ενέργειας (που αντιστοιχούν σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα), τα οποία διέρχονται από τα όρια ενός χώρου ελέγχου που περιβάλλει την μηχανή, οπότε μπορεί να διαμορφωθεί μια εξίσωση της μορφής [4]:

$$\text{Σύνολο Εισερχόμενης Ισχύος} = \text{Σύνολο Εξερχόμενης Ισχύος}$$

Σύνολο Εισερχόμενης Ισχύος:

- Ισχύς Καυσίμου:  $P_B = \dot{Q}_{Bz} = Q_B \times z \times \nu = B \times H_u \times z \times \nu \Rightarrow P_B = \dot{m}_B \times H_u$   
 $Q_B$ : Η θερμότητα που δημιουργείται από το καύσιμο σε ένα κύκλο λειτουργίας στον κύλινδρο.  
 $B$ : Η μάζα καυσίμου που εισέρχεται σε ένα κύκλο λειτουργίας στον κύλινδρο.  
 $\dot{m}_B$ : Παροχή καυσίμου στον κινητήρα.  
 $H_u$ : Κατώτερη Θερμογόνος δύναμη καυσίμου.  
 $\nu$ :  $\nu = \frac{n}{30} \times 4$  για τετράχρονο κινητήρα.
- Ισχύς Αέρα εισόδου:  $P_L = \dot{m}_L \times h_L$  [kW]  
 $\dot{m}_L$ : Παροχή αέρα στον κινητήρα [kg/s].  
 $h_L$ : Ενθαλπία αέρα στην θερμοκρασία εισαγωγής [kJ/kg].
- Ισχύς Ψυκτικού μέσου εισόδου:  $P_{cin} = \dot{m}_{cin} \times h_{cin}$  [kW]  
 $\dot{m}_c$ : Παροχή ψυκτικού μέσου [kg/s].  
 $h_{cin}$ : Ενθαλπία ψυκτικού μέσου στην θερμοκρασία εισαγωγής [kJ/kg].
- Ισχύς Περιβάλλοντος αέρα:  $P_r = \dot{m}_r \times h_r$  [kW]  
 $\dot{m}_r$ : Παροχή αέρα εξαερισμού [kg/s].  
 $h_r$ : Ενθαλπία αέρα εισαγωγής στον χώρο του κινητήρα στην θερμοκρασία εισαγωγής [kJ/kg].

Σύνολο Εξερχόμενης Ισχύος:

- Ωφέλιμη Ισχύς:  $P_{prod} = \dot{W}_e = W_e \times z \times \nu$  [kW]  
 $W_e$ : Το τελικώς αποδιδόμενο στην άτρακτο του κινητήρα πραγματικό (ωφέλιμο) έργο σε ένα κύκλο λειτουργίας.
- Ισχύς Καυσαερίων εξόδου:  $P_a = \dot{m}_a \times h_a$  [kW]  
 $\dot{m}_a$ : Παροχή καυσαερίων ψύξεως [kg/s].  
 $h_a$ : Ενθαλπία καυσαερίων [kJ/kg].
- Ισχύς Ψυκτικού μέσου εξόδου:  $P_{cout} = \dot{m}_{cout} \times h_{cout}$  [kW]  
 $\dot{m}_c$ : Παροχή ψυκτικού μέσου [kg/s].  
 $h_{cout}$ :  $h_{cin}$ : Ενθαλπία ψυκτικού μέσου στην θερμοκρασία εξαγωγής [kJ/kg].
- Ισχύς Περιβάλλοντος αέρα:  $P_r = \dot{m}_A \times h_r$  [kW]  
 $\dot{m}_A$ : Παροχή αέρα εξαερισμού [kg/s].  
 $h_A$ : Ενθαλπία αέρα εισαγωγής στον χώρο του κινητήρα στην θερμοκρασία εισαγωγής [kJ/kg].

Προφανώς στην εισαγωγή και την εξαγωγή έχουμε ίδιες παροχές μάζας ψυκτικού μέσου και αέρα περιβάλλοντος μέσα στον χώρο ελέγχου. Επίσης η μάζα καυσαερίων, βάση της αρχής διατήρησης της μάζας, θα ισούται με το άθροισμα της παροχής αέρα και καυσίμου. Τέλος, οι ενθαλπίες μπορούν να εκφραστούν ως το γινόμενο της ειδικής θερμοχωρητικότητας του εκάστοτε μέσου επί την θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται.

Αφαιρώντας το πρώτο και το δεύτερο μέλος της εξίσωσης καταλήγουμε στην παρακάτω έκφραση του ισοζυγίου:

$$\text{Ισχύς Καυσίμου} = \text{Μηχανική Ισχύς} + \text{Ισχύς Ψύξεως} + \text{Ισχύς Καυσαερίων} + \text{Ισχύς Ακτινοβολίας}$$

- Ισχύς Καυσίμου:  $P_B = \dot{Q}_{Bz} = Q_B \times z \times \nu = B \times H_u \times z \times \nu \Rightarrow P_B = \dot{m}_B \times H_u \quad [\text{kW}]$   
 $\dot{m}_B$ : Παροχή καυσίμου.  
 $H_u$ : Κατώτερη Θερμογόνος δύναμη καυσίμου.  
 $\nu$ :  $\nu = \frac{n}{30} \times 4$  για τετράχρονο κινητήρα.
- Ωφέλιμη Ισχύς:  $P_{prod} = \dot{W}_e = W_e \times z \times \nu \quad [\text{kW}]$   
 $W_e$ : Το τελικώς αποδιδόμενο στην άτρακτο του κινητήρα πραγματικό (ωφέλιμο) έργο.
- Ισχύς Ψύξεως:  $P_c = \dot{m}_w \times \Delta t_w \times C_{pw} \quad [\text{kW}]$   
 $\dot{m}_w$ : Παροχή νερού ψύξεως.  
 $\Delta t_w$ : Διαφορά θερμοκρασίας νερού εισόδου και εξόδου.  
 $C_{pw}$ : Μέση τιμή ειδικής θερμοχωρητικότητας νερού εισόδου και εξόδου.
- Ισχύς Καυσαερίων:  $P_a = \dot{m}_a \times \Delta t_a \times C_{pa} \quad [\text{kW}]$   
 $\dot{m}_a$ : Παροχή καυσαερίων ψύξεως.  
 $\Delta t_a$ : Διαφορά θερμοκρασίας αέρα εισόδου και καυσαερίων εξόδου.  
 $C_{pa}$ : ειδική θερμοχωρητικότητας καυσαερίων.
- Ισχύς Ακτινοβολίας:  $P_r = \dot{m}_A \times \Delta t_L \times C_{pL} \quad [\text{kW}]$   
 $\dot{m}_A$ : Παροχή αέρα εξαερισμού.  
 $\Delta t_L$ : Διαφορά θερμοκρασίας αέρα εξαερισμού εισόδου και εξόδου.  
 $C_{pL}$ : Μέση τιμή ειδικής θερμοχωρητικότητας αέρα.

### 2.3 Μεγέθη προς μέτρηση

Στον Πίνακα 2-1, Πίνακα 2-2 εμπεριέχονται τα μεγέθη που πρέπει να παραλαμβάνουμε σε μόνιμη κατάσταση λειτουργίας από μια Μ.Ε.Κ προκειμένου να υπολογιστεί το ενεργειακό ισοζύγιο στον θάλαμο καύσης αλλά και σε ολόκληρη την μηχανή, με βάση το θεωρητικό υπόβαθρο των προηγούμενων κεφαλαίων.

Τα παρακάτω στοιχεία που συμπεριλαμβάνονται στους πίνακες είναι ενδεικτικά και συνιστούν την πρώτη εκτίμηση των απαραίτητων στοιχείων για την εγκατάσταση διάταξης προς διεξαγωγή ισολογισμού ενέργειας σε Μ.Ε.Κ. Αναλόγως με την εκάστοτε διάταξη για αντίστοιχη μηχανή και ιδιαιτερότητες της εφαρμογής ενδεχομένως να υπάρξουν διαφοροποιήσεις από τα ενδεικτικά.

Τα αναλυτικά στοιχεία της διάταξης όπου και διεκπεραιώθηκε εγκατάσταση και εφαρμογή αναλύονται στο κεφάλαιο 2.

Ισολογισμός Μηχανής		Είδος Ισχύος	Απαραίτητα Μεγέθη	Αισθητήρια
	1	Ισχύς Καυσίμου	$\dot{m}_B$ : Αισθητήρας Παροχής καυσίμου.	Μέτρηση ροής.
			$H_u$ : Υπολογισμός Κατώτερης Θερμογόνου δύναμης καυσίμου.	-
	2	Μηχανική Ισχύς		Μέτρηση Ηλεκτρικής Ισχύος.
	3	Ισχύς ψύξεως	$\dot{m}_w$ : Αισθητήρας Παροχής ψυκτικού μέσου.	Μέτρηση ροής.
			$\Delta_{tw}$ : Αισθητήρες θερμοκρασίας ψυκτικού μέσου εισόδου και εξόδου.	Μέτρηση Θερμοκρασίας.
			$C_{pw}$ : Υπολογισμός ειδικής θερμοχωρητικότητας ψυκτικού μέσου εισόδου και εξόδου.	-
	4	Ισχύς Καυσαερίων	$\dot{m}_a = \dot{m}_L + \dot{m}_B$ Υπολογισμός Παροχή καυσαερίων.	Μέτρηση ροής.
			$\Delta_{ta}$ : Αισθητήρες θερμοκρασίας αέρα εισόδου και καυσαερίων εξόδου.	Μέτρηση Θερμοκρασίας.
			$C_{pa}$ : Υπολογισμός ειδικής θερμοχωρητικότητας καυσαερίων	-
	5	Ισχύς Ακτινοβολίας	$\dot{m}_A$ : Αισθητήρας παροχής αέρα εξαερισμού.	Μέτρηση ροής.
			$\Delta_{tA}$ : Αισθητήρες θερμοκρασίας αέρα εξαερισμού εισόδου και εξόδου.	Μέτρηση Θερμοκρασίας.
			$C_{pA}$ : Υπολογισμός ειδικής θερμοχωρητικότητας αέρα.	-

Πίνακας 2-1. Ενεργειακό Ισοζύγιο Κινητήρα.

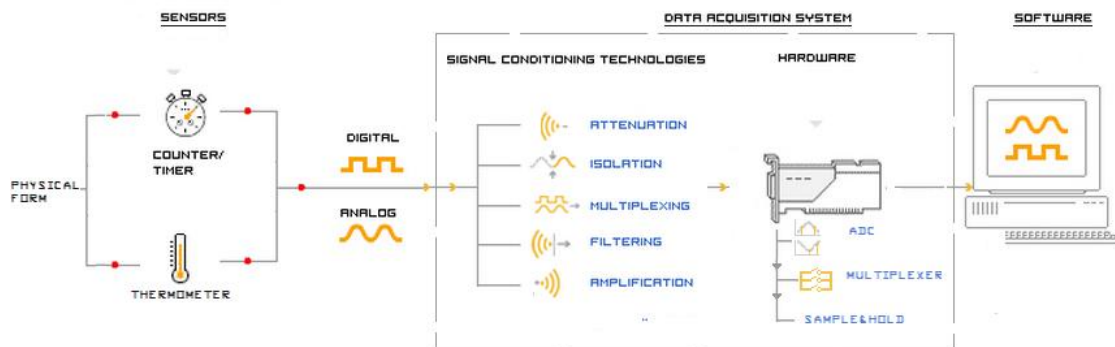
Ισολογισμός Θαλάμου Καύσης	1	Εσωτερική Ενέργεια Αντιδρώντων	$\dot{m}_{in} = \dot{m}_B + \dot{m}_L$ : Αισθητήρες παροχής αέρα εισαγωγής και καυσίμου	([4], Πίνακας 2-1)
			$T_L, T_B$ : Αισθητήρες Θερμοκρασίας αέρα εισαγωγής και καυσίμου.	Μέτρηση Θερμοκρασίας.
			$u_B(T_B), u_L(T_L)$ : Υπολογισμός ειδικής εσωτερικής ενέργειας αέρα εισαγωγής και καυσίμου.	-
	2	Ενέργεια Καύσης	(Υπολογίζεται στο [1], Πίνακας 2-1)	-
	3	Εσωτερική Ενέργεια Προϊόντων	$\dot{m}_{out} = \dot{m}_{in}$ : (Υπολογίζεται στο [4] του Πίνακας 2-1)	-
			$T_{VG}$ : Αισθητήρες Θερμοκρασίας καυσαερίων. (Υπολογίζεται στο [4], Πίνακας 2-1)	-
			$u_{VG}(T_{VG})$ : Υπολογισμός ειδικής εσωτερικής ενέργειας καυσαερίων.	-
	4	Εκλυόμενη Θερμότητα	$\int V dp, \int p dV$ : Αισθητήρας πίεσης μέσα στον θάλαμο καύσης με ταυτόχρονο προσδιορισμό θέσης εμβόλου.	Μέτρηση Πίεσεως. Αισθητήρας γωνίας στροφαλοφόρου άξονα.
			$\bar{k}(T)$ : Υπολογισμός μέσου πολυτροπικού εκθέτη.	-
	5	Ενδεικνύμενο Έργο	$\int p dV$ : Αισθητήρας πίεσης μέσα στον θάλαμο καύσης με ταυτόχρονο προσδιορισμό θέσης εμβόλου. (Υπολογίζεται στο [9] στοιχείο του ιδίου πίνακα) *Επιπλέον χρειάζεται επιπλέον αισθητήρας πίεσης στην εισαγωγή του αέρα στο θάλαμο καύσης για βαθμονόμηση της πίεσης μέσα στον κύλινδρο.	([4], Πίνακας 2-1). *Μέτρηση πίεσης

Πίνακας 2-2 Ενεργειακό Ισοζύγιο Θαλάμου καύσης.

### 3. Πειραματική Διάταξη

#### 3.1 Μοντέλο Συστήματος δειγματοληψίας

Ενα σύστημα περισυλλογής δεδομένων (DAQ), αποτελεί το σύνολο του εξοπλισμού και των εφαρμογών που καθιστούν ένα υπολογιστικό σύστημα ικανό να καταχωρίσει και να επεξεργαστεί φυσικές παραμέτρους. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία εφαρμογών που βασίζονται σε διαφορετικές τεχνολογίες και εξοπλισμό και συνιστούν ένα σύστημα DAQ, οι απαραίτητες λειτουργίες και διαδικασίες σε κάθε περίπτωση περιλαμβάνονται σε ένα βασικό μοντέλο και παρουσιάζονται στην Εικόνα 3-1.



Εικόνα 3-1 Βασικό Μοντέλο Συστήματος DAQ.

Συνήθη φυσικά μεγέθη που πρέπει να μετρηθούν είναι η θερμοκρασία, πίεση, ταχύτητα, μάζα, απόσταση κ.τ.λ. Τα περισσότερα δεν μπορούν να καταχωρηθούν άμεσα σε κάποιο υπολογιστικό σύστημα και πρέπει να μετασχηματιστούν σε κάποια ηλεκτρική παράμετρο με την χρήση **αισθητήρων** (sensors). Η έξοδος των αισθητηρίων υπό την επίδραση του μεγέθους που μετράνε συνήθως έχει την μορφή κάποιας μεταβολής ηλεκτρικής παραμέτρου, όπως το δυναμικό, το φορτίο, την μεταβολή αντίστασης ή της χωρητικότητας πυκνωτή. Το σήμα που παράγεται από τους αισθητήρες (συνήθως αναλογικό) σχεδόν πάντα συνοδεύεται από παρεμβολές και χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία πριν καταχωρηθεί.

Αυτό αναλαμβάνουν να το κάνουν κυκλώματα που επεξεργάζονται και μετασχηματίζουν το σήμα σε διαφορετικής μορφής αναλογικό ή ψηφιακό (παλμό) σήμα. Άλλες φορές γίνεται επί τόπου στους αισθητήρες (μεταδότες) είτε αποτελεί ξεχωριστό κομμάτι του συστήματος δειγματοληψίας. Η **επεξεργασία του σήματος** (signal conditioning) απαραίτητο συστατικό του συστήματος δειγματοληψίας δεδομένων σε κάθε περίπτωση. Σχεδόν ποτέ δεν εξέρχονται από τους αισθητήρες 'τέλεια' σήματα, χωρίς παρεμβολές και θόρυβο με εγγυημένη ηλεκτρική ασφάλεια. Χρειάζονται ένα είδος προετοιμασίας που θα αποβάλει –όσο είναι δυνατόν– τις ανεπιθύμητες συνιστώσες του σήματος. Συνήθεις μετατροπές κατά την επεξεργασία του σήματος όπως η ενίσχυση (amplification) ή εξασθένιση (attenuation), το φιλτράρισμα (filtering) που αφαιρεί από το σήμα θόρυβο και παρεμβολές αυξάνοντας την ακρίβεια (accuracy) και η απομόνωση (isolation) είναι μερικά από τα πιο συνήθη είδη επεξεργασίας παρουσιάζονται στην Εικόνα 3-1.

Τα σήματα που δημιουργούνται είναι δυο ειδών. Το αναλογικό και το ψηφιακό. Το αναλογικό μεταφέρει πληροφορίες με το πλάτος ή και το σχήμα του (την μεταβολή με τον χρόνο). Ο παλμός είναι ουσιαστικά η αναπαράσταση του ψηφιακού δυαδικού σήματος. Έχει δυο καταστάσεις και οι πληροφορίες μεταφέρονται μόνο με την συχνότητα, την διάρκεια ή τον απόλυτο αριθμό των παλμών (το πλάτος του δεν μεταφέρει πληροφορία). Οι περισσότερες φυσικές διαδικασίες τις οποίες θέλουμε να μετρήσουμε είναι εγγενώς αναλογικής φύσης.

Όμως ο υπολογιστής επεξεργάζεται μόνο ψηφιακά δεδομένα και το σήμα πρέπει να ψηφιοποιηθεί πριν καταλήξει στην είσοδο του. Γι' αυτή τη μετατροπή χρησιμοποιούνται οι **A/D μετατροπείς** (Analog-to-Digital converters). Οι μετατροπείς είναι από τα πιο βασικά όργανα του εξοπλισμού και η ταχύτητα και ανάλυση μετατροπής τους είναι από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά όλου του συστήματος δειγματοληψίας. Το πιο πιθανό είναι όλο το σύστημα να έχει έναν A/D μετατροπέα καθώς η δυναμική ενός φυσικού συστήματος τις περισσότερες φορές είναι αρκετά πιο αργή από τις ταχύτητες λειτουργίας μετατροπέων.

Η ολοκλήρωση του παραπάνω συστήματος πραγματοποιείται με την εγκατάσταση κατάλληλου **λογισμικού** που θα παραλαμβάνει τα σήματα και θα τα επεξεργάζεται ώστε να αναπαριστά τα φυσικά μεγέθη των παραμέτρων που παρακολουθούνται.

### 3.2 Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος

Η εφαρμογή του συστήματος δειγματοληψίας έγινε στο Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος ονομαστικής παραγωγής 3-φασικού εναλλασσόμενου ρεύματος, ισχύος 265KVA, τάσης 400V, συχνότητας 50Hz, που παράγεται από υπερπληρωμένο κινητήρα DIESEL της MAN μοντέλο D 2866LE, ονομαστικής ισχύος 230Kw σε 1500 RPM στροφές λειτουργίας και βρίσκεται σε ευθεία σύνδεση με τριφασική γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος, τύπος DKBN 49/300-4KW.

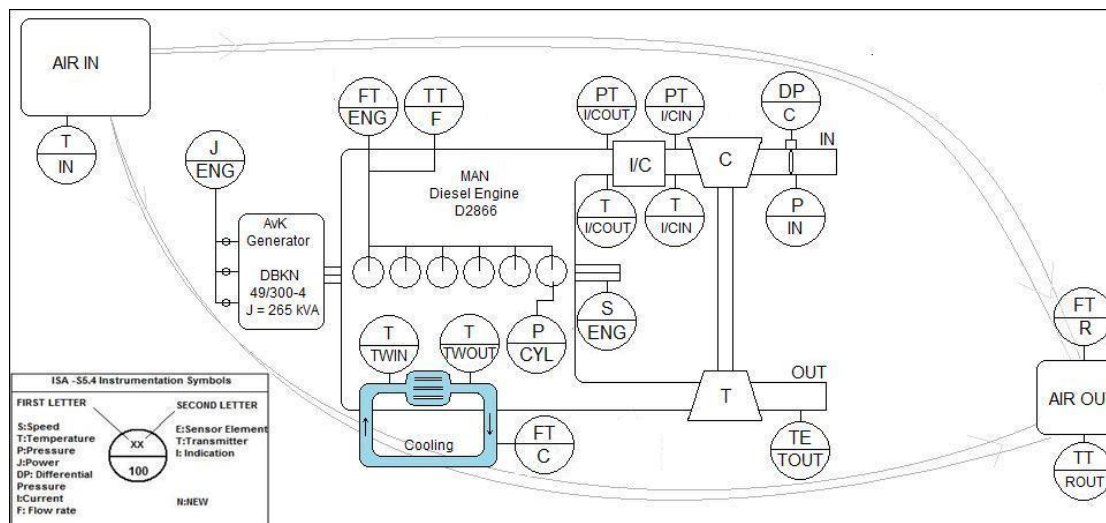
Στο Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος που διατίθεται για χρήση ερευνητική και αλλά εργαστηριακή υπάρχουν ήδη προσαρτημένα αισθητήρια και όργανα για τις απαιτήσεις των πειραμάτων που χρησιμοποιείται. Στη διεξαγωγή της παρούσα εργασίας χρησιμοποιήθηκαν ως έχουν τα υπάρχοντα συστήματα και προστέθηκαν όσα χρειάστηκαν επιπλέον. Στο σύστημα δειγματοληψίας συμπεριλήφθηκαν όλα τα αισθητήρια που προστέθηκαν και όσα από τα υπάρχοντα αισθητήρια είχαν την δυνατότητα εξόδου του αντιστοίχου σήματος του μετρούμενου φυσικού μεγέθους. Στον χωροταξικό σχεδιασμό της εγκατάστασης αισθητηρίων στην Εικόνα 3-2 εμφανίζονται όλα τα αισθητήρια.

Με γνώμονα τις απαιτήσεις όπως παρουσιάστηκαν στους Πίνακες 2-1, Πίνακας 2-2, η διάταξη εξοπλίστηκε με όλα τα απαραίτητα αισθητήρια κατά τον συμβολισμό στον Πίνακα 3-1.

Φυσικό Μέγεθος	Απαραίτητο Αισθητήριο	Συμβολισμός
$\dot{m}_B$ : Παροχή καυσίμου.	Μέτρηση ροής.	FTENG
$T_B$ : Θερμοκρασίας καυσίμου.	Μέτρηση θερμοκρασίας	TF
$P_E$ : Ηλεκτρική Ισχύς	Μέτρηση Ηλεκτρικής Ισχύος.	JENG
$\dot{m}_w$ : Παροχή ψυκτικού μέσου	Μέτρηση ροής.	FTC
$\Delta_{tw}$ : Θερμοκρασίας εισόδου και εξόδου ψυκτικού μέσου.	Μέτρηση Θερμοκρασίας.	TWIN, TWOUT
$\Delta_{ta}$ : Θερμοκρασίας αέρα εισόδου και καυσαερίων εξόδου.	Μέτρηση Θερμοκρασίας.	TCIN, TPOUT
$\dot{m}_L$ : Παροχή ατμοσφαιρικού αέρα εισαγωγής στην γεννήτρια.	Μέτρηση ροής.	P, DP <sup>1</sup>
$T_L$ : Θερμοκρασία αέρα εισαγωγής στον θάλαμο καύσης.	Μέτρηση Θερμοκρασίας.	TI/COUT
$\dot{m}_A$ : Αισθητήρας παροχής αέρα εξαερισμού.	Μέτρηση ροής.	FTR
$\Delta_{tL}$ : Θερμοκρασίας εισόδου και εξόδου αέρα εξαερισμού.	Μέτρηση Θερμοκρασίας.	TRIN, TROUT
$\int V dp, \int p dV$ : Αισθητήρας πίεσης μέσα στον θάλαμο καύσης με ταυτόχρονο προσδιορισμό θέσης εμβόλου.	Μέτρηση Πίεσεως μέσα στον κύλινδρο.	PCYL
	Μέτρηση Πίεσεως αέρα πριν την εισαγωγή στον κύλινδρο	PI/COUT
	Αισθητήρας γωνίας στροφαλοφόρου άξονα.	SENG

Πίνακας 3-1 Συμβολισμός παραμέτρων λειτουργίας της γεννήτριας.

<sup>1</sup> Η μέτρηση παροχής αέρα απαιτεί την μέτρηση της διαφορικής πίεσης και πίεσης εισαγωγής στην διάταξη που έχει εγκατασταθεί στην εισαγωγή του κινητήρα. Θα αναλυθεί στο Κεφ. 3.3



Εικόνα 3-2. Διάταξη αισθητήριων στην κινητήρα.

Στην Εικόνα 3-2 συμπεριλαμβάνονται τα αισθητήρια για την καταγραφή όλων των απαραίτητων φυσικών μεγεθών. Σημειώνεται ότι αντί της μέτρησης θερμοκρασίας του πρωτεύοντος ψυκτικού συστήματος που έχει ο κινητήρας, προτιμήθηκε η καταγραφή του δευτερεύοντος συστήματος. Το δευτερεύον συναλλάσσει θερμότητα με το πρωτεύον στον εναλλάκτη του κινητήρα και διαρρέεται από νερό, συνεπώς είναι πιο ακριβής και εύκολος ο υπολογισμός της θερμοχωρητικότητας και κατ' επέκταση ισχύος ψύξεως.

Επίσης παρατηρούνται οι εξής διαφορές ανάμεσα στα στοιχεία του Πίνακα 3-1 και της διάταξης στην Εικόνα 3-2.

- TICIN, PICIN, STC : Είναι στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της θερμοκρασίας και της πίεσης στην είσοδο του ψυγείου και την ταχύτητα περιστροφής του στροφείου του συμπιεστή. Είναι στοιχεία που είναι χρήσιμα για διαφορετικά πειράματα και δοκιμές στον ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος. Αν και εγκαταστάθηκαν στο σύστημα δειγματοληψίας δεν χρησιμοποιούνται για τον θερμικό ισολογισμό και δεν θα γίνει εκτενής αναφορά.
- TCIN: Η θερμοκρασία εισόδου στον συμπιεστή, δηλαδή η θερμοκρασία ατμοσφαιρικού αέρα του δωματίου εισαγωγής στην γεννήτρια δεν θα μετρηθεί αλλά θα χρησιμοποιηθεί ο μέσος όρος της θερμοκρασίας εισαγωγής και εξαγωγής του αέρα στο δωμάτιο. Μια παραδοχή που δεν επηρεάζει την ακρίβεια του συστήματος καθώς τα χαρακτηριστικά (πυκνότητα και θερμοχωρητικότητα) του αέρα στις θερμοκρασίες δωματίου παρουσιάζουν ασήμαντες διαφορές.

### Αισθητήρες και Μεταδότες

Από τον προσδιορισμό των απαραίτητων φυσικών μεγεθών που πρέπει να συμπεριληφθούν στο σύστημα στο Κεφάλαιο 2 , Πίνακας 2-1 και Πίνακας 2-2, σκιαγραφήθηκε η εικόνα μιας διάταξης αισθητήριων σε μια Μ.Ε.Κ για την καταγραφή των απαραίτητων φυσικών μεγεθών για την επίλυση του ενεργειακού ισοζυγίου του θαλάμου καύσης αλλά και της μηχανής.

Η δειγματοληψία παραμέτρων λειτουργίας συμπεριλαμβάνει την μέτρηση παραμέτρων μιας φυσικής διεργασίας. Οι αισθητήρες είναι το κυρίαρχο στοιχείο που εμπλέκεται στην 'ανάγνωση' φυσικών μεγεθών (όπως θερμοκρασία, δύναμη ή θέση) για ένα σύστημα δειγματοληψίας. Ο σχεδιασμός και συνεπώς η επιλογή και στη συνέχεια η εγκατάσταση των αισθητήριων είναι το πρώτο βήμα στην δημιουργία ενός τέτοιου συστήματος.

### 3.2.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Αισθητήρων

Οι όροι 'αισθητήρες' (sensors) και 'μεταδότες' (transmitters) συνήθως θεωρούνται ταυτόσημοι. Όμως, υπάρχει μια σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Ο αισθητήρας, όπως έχει αναφερθεί ξανά, είναι η συσκευή που μετασχηματίζει τη μεταβολή ενός φυσικού μεγέθους σε μια ηλεκτρική παράμετρο. Ο μεταδότης κάνει και κάτι περισσότερο, επεμβαίνει στο σήμα του αισθητήρα στην περιοχή που βρίσκεται ο αισθητήρας ενισχύοντας, φιλτράροντας, μετατρέποντας και γενικότερα επεξεργάζοντας το. Συνήθως, τα συστήματα περισυλλογής δεδομένων συμπεριλαμβάνουν όργανα και από τους δύο τύπους. Η επεξεργασία του σήματος μειώνει την επιρρέπεια του σε θόρυβο και παρεμβολές, συνεπώς, ιδανικά, κάθε αισθητήρας θα έπρεπε επεξεργάζεται το σήμα στο σημείο της μέτρησης και να το μεταδίδει 'υψηλής ποιότητας' σήματα στον εξοπλισμό περισυλλογής. Αυτό όμως, αν και σε ορισμένες περιπτώσεις αναγκαίο, δεν είναι καθόλου αποδοτικό οικονομικά αλλά και πολύ δύσκολο σχεδιαστικά σε σχέση με ένα κοινό σύστημα επεξεργασίας που συγκεντρώνονται τα σήματα όλης της εφαρμογής πριν την επεξεργασία τους.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των αισθητηρίων είναι τα εξής[1]:

- **Accuracy.** (Ακρίβεια) Εκφράζει την ακρίβεια με την οποία ο αισθητήρας αντιδρά στο μετρούμενο μέγεθος και αναφέρεται στην ολική ακρίβεια του μηχανισμού. Πρέπει να ληφθούν υπόψη τα στοιχεία του κατασκευαστή για πολλά χαρακτηριστικά (bias, gain error, hysteresis, resolution, repeatability diagrams) όμως δεν πρέπει οι όροι να συγχέονται. Ακολουθούν επιμέρους χαρακτηριστικά του αισθητήρα που συμπεριλαμβάνονται όμως στην ακρίβεια.
  - Resolution. (Ανάλυση) Εκφράζει πόση αλλαγή στην είσοδο του συστήματος (αισθητήρα) μπορεί να επιφέρει αλλαγή στην έξοδο.
  - Stability and Repeatability(Σταθερότητα και Επαναληψιμότητα) Η έξοδος στους αισθητήρες τείνει να ολισθαίνει (drift) με την πάροδο του χρόνου. Αστάθειες μπορεί να προκληθούν από αλλαγές στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος λειτουργίας ή άλλους εξωγενείς παράγοντες. Τέτοια φαινόμενα αντιμετωπίζονται με συνήθεις βαθμονομήσεις (calibration) και μηδενισμούς (zeroing) στον αισθητήρα.
  - Linearity. (Γραμμικότητα) Οι περισσότεροι αισθητήρες παρέχουν μια γραμμική έξοδο. (δηλ. η τιμές της εξόδου είναι ανάλογες με τις τιμές του μετρούμενου μεγέθους). Σε αυτές τις περιπτώσεις η καμπύλη απόκριση του αισθητήρα για διάφορες διεγέρσεις χαράσσουν μια ευθεία γραμμή (αισθητήρες όπως τα θερμοζεύγη δεν λειτουργούν έτσι). Τυχόν μη-γραμμικότητες θα πρέπει να διορθωθούν από το λογισμικό. Τα σφάλματα λόγω μη-γραμμικότητας υπολογίζονται και λαμβάνονται υπ' όψη στην ακρίβεια.
- **Dynamic Range.** (Εύρος Λειτουργίας) Εκφράζει την εύρος των τιμών, από την ελάχιστη δυνατή ανιχνεύσιμη τιμή έως την μέγιστη, που προκαλούν μεταβολή στο σήμα εξόδου του αισθητήρα. Σε περιπτώσεις που το εύρος λειτουργίας είναι πολύ μεγαλύτερο ή μικρότερο απ' ότι χρειάζεται δημιουργούνται προβλήματα ακρίβειας ή απορρίπτονται δεδομένα αντίστοιχα.
- **Response Times.** (Χρόνος απόκρισης) Εκφράζει τον χρόνο που χρειάζεται ο αισθητήρας για να αντιδράσει σε μια εφαρμοσμένη διέγερση. Είναι σημαντικό χαρακτηριστικό του αισθητήρα ιδιαίτερος για εφαρμογές με μεγάλες συχνότητες του διεγέρτη.
- **Susceptibility to noise.** (Ευαισθησία/Επιδεκτικότητα στο θόρυβο) Ο θόρυβος αποτελεί ιδιαίτερο πρόβλημα σε αισθητήρες που παράγουν σήματα χαμηλής συχνότητας (πχ θερμοζεύγη). Θόρυβος μπορεί να προστεθεί από κυκλώματα που παρεμβάλλονται του αισθητήρα και του καταχωρητή ή ακόμα και από ηλεκτρονικά κυκλώματα που παρεμβαίνουν. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές φιλτραρίσματος του σήματος και μέσω του λογισμικού αναλόγως την περίπτωση. Πολύ σύνηθες είναι τα Φίλτρα χαμηλών συχνοτήτων (low-pass filters) χρησιμοποιούνται για να αποτρέψουν παρεμβολές που οφείλονται σε υψηλότερες συχνότητες από αυτές των μετρήσιμων σημάτων.



### 3.2.2 Επιλογή αισθητηρίων

#### 3.2.2.1 Μέτρηση θερμοκρασίας

Οι θερμοκρασίες του συστήματος προς μέτρηση είναι οι εξής:

- Πίνακας 2-1,[3] *Ισχύς Ψυκτικού Μέσου:*  
-Θερμοκρασία εισαγωγής και εξαγωγής νερού ψύξεως δευτερεύοντος.
- Πίνακας 2-2,[1] *Εσωτερική Ενέργεια Αντιδρώντων:*  
-Θερμοκρασία αέρα εισαγωγής στον θάλαμο καύσης και καυσίμου:
- Πίνακας 2-1,[5] *Ισχύς ακτινοβολίας:*  
-Θερμοκρασία εισαγωγής και εξαγωγής αέρα στο χώρο του Η/Ζ
- Πίνακας 2-1,[4] *Ισχύς Καυσαερίων* & Πίνακας 2-2,[3] *Εσωτερική Ενέργεια Προϊόντων:*  
-Θερμοκρασία αέρα εισαγωγής στον κινητήρα και καυσαερίων στην έξοδο.

#### Θερμοκρασία ψυκτικού μέσου

Για την μέτρηση της θερμοκρασίας του ψυκτικού μέσου υπάρχουν εγκατεστημένα θερμόμετρα οινόπνευματος SIKA, Εικόνα 3-3, που μετράνε την θερμοκρασία στην είσοδο και την έξοδο του νερού στο δευτερεύον δίκτυο ψύξης του κινητήρα. Τα θερμόμετρα συνοδεύονται από πιστοποιητικό διακρίβωσης και βάση αυτού τα βασικά χαρακτηριστικά τους είναι τα εξής:

- Ανάλυση (Resolution):  $0.1^{\circ}C$
- Ακρίβεια (Resolution):  $\pm 3.09\%$  (στους  $27^{\circ}C$ )
- Εύρος Λειτουργίας (Range):  $0 - 60^{\circ}C$



Εικόνα 3-3. Θερμόμετρο οινόπνευματος SIKA.

### Θερμοκρασία αέρα εισαγωγής στον θάλαμο καύσης

Για την μέτρηση της θερμοκρασίας εισαγωγής αέρα στον θάλαμο καύσης (μετά τον ψύκτη) και αέρα πριν το ψύκτη θα χρησιμοποιηθούν αισθητήρες PT (Platinum Resistance Thermometers). Πρόκειται για αισθητήρες σχετικά χαμηλού κόστους αλλά ιδιαίτερα ικανοποιητικής ακρίβειας. Η λειτουργία τους βασίζεται στο φαινόμενο θερμοηλεκτρικής μεταβολής της αντίστασης, δηλαδή στην μεταβολή της αντίστασης λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας. Τα θερμοστοιχεία αποτελούνται από καθαρά μέταλλα, συνήθως καθαρή πλατίνα (Pt), λόγω της θερμοκρασιακής ευαισθησίας τους και της αντίστασης τους σε οξειδωση. Θερμοστοιχεία πλατίνας κατασκευάζονται από 100Ω ως 1000Ω και καλύπτουν περιοχές από -200° C έως +600° C και θεωρούνται ακριβέστερα από τα θερμοζεύγη, ιδιαίτερα σε χαμηλές θερμοκρασίες έως 400° C. Επίσης σε αντίθεση με τα θερμοζεύγη δεν χρειάζονται ειδική καλωδίωση.

Στον κινητήρα εγκαταστάθηκαν τα PT100A 3W silicon/silicon (αντίστασης  $R_0=100\Omega$  στους 0°C και επένδυση σιλικόνης στην ένωση και στο καλώδιο) με σύνδεση τριών καλωδίων, Εικόνα 3-4 .



Εικόνα 3-4. PT100A.

### Τεχνικά χαρακτηριστικά<sup>2</sup>:

- Διαστάσεις :  $\Phi= 6.0\text{mm}$ ,  $L = 120\text{mm}$ ,  $L_w=1000\text{mm}$ .
- Ακρίβεια (Accuracy): Κατά την προτυποποίηση για θερμοστοιχεία πλατίνας BS1904 (DIN 43760) κατατάσσεται στην Κλάση Β και έτσι προσφέρει ακρίβεια  $\pm 0.3^\circ\text{C}$  στους  $0^\circ\text{C}$  και  $\pm 1.3^\circ\text{C}$  στους  $200^\circ\text{C}$ .
- Εύρος Λειτουργίας (Dynamic Range) :  $0\text{-}200^\circ\text{C}$ .

### Θερμοκρασία Καυσίμου

Για την μέτρηση της θερμοκρασίας καυσίμου εισαγωγής χρησιμοποιείται ήδη στην εγκατάσταση το όργανο μέτρησης ροής καυσίμου RHEONIK MASSFLOW-METER RHM 03 GNT, Εικόνα 3-8, που έχει ένδειξη θερμοκρασίας στην μονάδα RHE 02, Εικόνα 3-36.

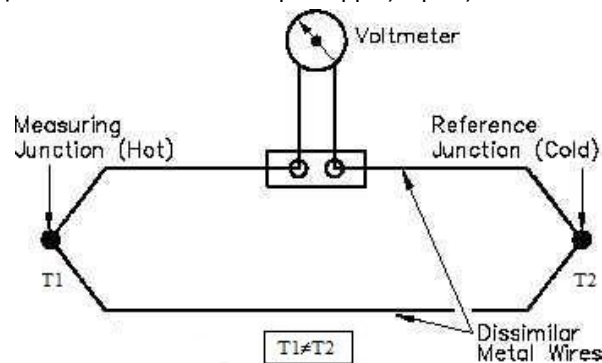
### Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Ανάλυση (Resolution):  $1^\circ\text{C}$
- Εύρος Λειτουργίας (Temperature Range):  $-20^\circ\text{...}120^\circ\text{C}$ .

<sup>2</sup> Τα χαρακτηριστικά Repeatability, Linearity, Hysteresis συμπεριλαμβάνονται στην ακρίβεια (Accuracy).

### Θερμοκρασία εξαγωγής από τον θάλαμο καύσης

Για την μέτρηση της θερμοκρασίας εξόδου καυσαερίων, καθότι αναπτύσσονται μεγαλύτερες θερμοκρασίες των  $400^{\circ}\text{C}$ , θα χρησιμοποιηθούν θερμοζεύγη (Thermocouples). Πρόκειται για σχετικά απλούς αισθητήρες χαμηλού κόστους με τους οποίους εκτελούνται 'αργές' μετρήσεις ικανοποιητικής ακρίβειας με απόκλιση της τάξεως  $2-3^{\circ}\text{C}$  περίπου. Η μέτρηση της θερμοκρασίας βασίζεται στο φαινόμενο Seebeck. Κατά το οποίο αν εφαρμοστεί διαφορά θερμοκρασίας σε δοκίμιο που αποτελείται από την ένωση δύο διαφορετικών μετάλλων (ή αγωγών) θα δημιουργηθεί διαφορά δυναμικού (electromagnetic force –emf-), που ονομάζεται θερμοηλεκτρική ισχύς, η οποία είναι άμεσα συνδεδεμένη με την διαφορά θερμοκρασίας. Όμως η διαφορά θερμοκρασίας δεν προκαλεί ανάλογη διαφορά δυναμικού και απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία, η θερμοηλεκτρική ισχύς που προκαλείται από ένα ζεύγος εξαρτάται από την διαφορά τιμών των συντελεστών Seebeck των δύο υλικών. Στην Εικόνα 3-5 φαίνεται ένα απλό κύκλωμα θερμοζεύγους.



Εικόνα 3-5. Κύκλωμα θερμοζεύγους.

Το θερμοζεύγος εξ' ορισμού μετράει διαφορά θερμοκρασίας και συνεπώς χρειάζεται μια θερμοκρασία αναφοράς που θα πρέπει να είναι γνωστή με ικανοποιητική ακρίβεια. Αντί του σημείου αναφοράς, που δεν προσφέρει μεγάλη αξιοπιστία στις μετρήσεις, γίνεται χρήση ενός κυκλώματος σταθερής τάσης που βρίσκεται συνήθως εντός του ενισχυτή σήματος. Με τον τρόπο αυτό στο ένα άκρο η τάση διατηρείται σταθερή και λειτουργεί ως τάση αναφοράς με ακρίβεια τρεις ή τέσσερις τάξεις μεγέθους μικρότερη από αυτή του θερμοζεύγους.

Στον κινητήρα είναι εγκατεστημένο το Thermocouple type K (chromel-alumel) με σύνδεση δυο καλωδίων που παρουσιάζεται στην Εικόνα 3-6.



Εικόνα 3-6. Type-K Thermocouple.

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

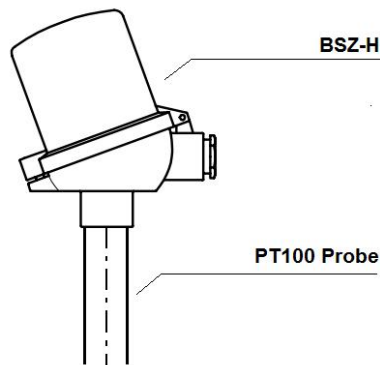
- Διαστάσεις :  $L= 180\text{mm}$ ,  $\Phi=6\text{mm}$ .
- Ακρίβεια (Accuracy) :  $41\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$  (Θερμοζεύγη τύπου K).
- Εύρος Λειτουργίας (Dynamic Range) :  $0-600^{\circ}\text{C}$ .

#### Θερμοκρασία εξαγωγής αέρα στον χώρο του Η/Ζ

Για την μέτρηση των θερμοκρασίας εξόδου στον χώρο του Η/Ζ υπάρχει ήδη εγκατεστημένο αισθητήριο θερμοαντίστασης WIKA PT100 TR48X με κεφαλή BSZ-H και προσαρμογέα για μεταδότη WIKA T19. Συνοδεύεται με πιστοποιητικό Διακρίβωσης (Certificate of Calibration) που υπολογίζει την απόλυτη απόκλιση του οργάνου, Εικόνα 3-7.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του θερμοστοιχείου είναι τα εξής:

- Ανάλυση (Resolution): 0.01° C
- Εύρος Λειτουργίας (Range) : 0-200° C
- Ακρίβεια (Accuracy): 0.24° C (στους 29.84° C από πιστοποιητικό διακρίβωσης)
- Power Supply: 10...30VDC
- Διαστάσεις: L =150mm, Φ=14mm.



Εικόνα 3-7. Wika PT100+BSZ-H+T19.

#### Θερμοκρασία εξαγωγής αέρα στον χώρο του Η/Ζ

Για την μέτρηση θερμοκρασίας εισόδου στον χώρο του Η/Ζ χρησιμοποιείται φορητό θερμόμετρο υδραργύρου στον αεραγωγό εισαγωγής αέρα.

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Εύρος Λειτουργίας: 0...100° C.
- Ανάλυση: 0.1° C.

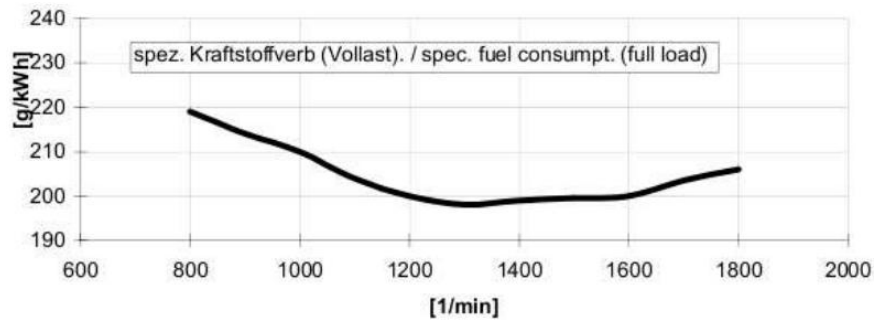
#### **3.2.2.2 Μέτρηση Ροής**

Οι παροχές των διαφόρων μέσων μπορούν να μετρηθούν απευθείας ή να υπολογιστούν εφόσον μετρηθεί η ταχύτητα ροής του εκάστοτε μέσου. Τα μεγέθη που πρέπει να μετρηθούν είναι τα εξής:

- Πίνακας 2-1,[1] *Ισχύς καυσίμου* & Πίνακας 2-2,[4]*Εσωτερική Ενέργεια Αντιδρώντων*: Παροχή καυσίμου.
- Πίνακας 2-1, [3] *Ισχύς ψύξεως*: Παροχή νερού ψύξεως στο δευτερεύον κύκλωμα.
- Πίνακας 2-1, [5] *Ισχύς ακτινοβολίας*: Παροχή αέρα στο χώρο του Η/Ζ.
- Πίνακας 2-1, [4] *Ισχύς καυσαερίων* & Πίνακας 2-2,[4]*Εσωτερική Ενέργεια Προϊόντων*: Παροχή αέρα στον κινητήρα.

#### Παροχή Καυσίμου

Για την μέτρηση της παροχής καυσίμου στον κινητήρα, με βάση το Σχεδιάγραμμα 3-1 και για 1500 rpm στροφές λειτουργίας η ειδική κατανάλωση είναι 200 g/kWh. Η μέγιστη ονομαστική ισχύς του MAN D 2866 LE είναι 230 kW και συνεπώς η μέγιστη κατανάλωση σε αυτή την ταχύτητα λειτουργίας είναι αυτή που δίδεται από την ( 3-1).



Σχεδιάγραμμα 3-1. Ειδική κατανάλωση καυσίμου MAN D-2866LE.

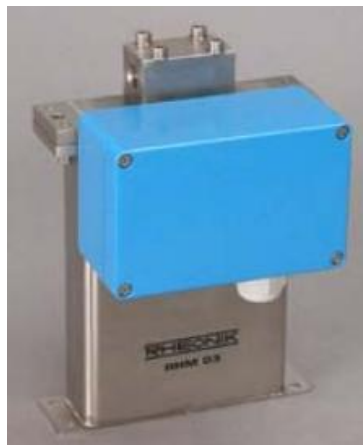
$$\dot{m}_B^{max} = 200 \frac{g}{kWh} * 230kW = 46.000 \frac{g}{h} = 0.76 \frac{kg}{min}$$

(3-1)

Στον κινητήρα εγκαταστάθηκε ο μεταδότης παροχής RHEONIK MASSFLOW-METER RHM 03 GNT, Εικόνα 3-8. Το μετρούμενο σήμα από το όργανο παράγεται από τις περιοδικές δυνάμεις επιταχύνσεως που δημιουργούνται από το ρευστό που διέρχεται από αυτό. Τυχόν εξωτερικές επιταχύνσεις μπορεί να επηρεάσουν την μέτρηση και γι' αυτό το όργανο τοποθετήθηκε εκτός του σώματος της μηχανής, όπου οι δονήσεις είναι ασθενέστερες.

Αν και έχει εύρος λειτουργίας 0.1- 2 Kg/min, προγραμματίστηκε να λειτουργεί με εύρος 0.1 ... 0.99 kg/min για να επιτευχθεί μεγαλύτερη ανάλυση στο σήμα.

Για όργανο αυτό εγκαταστάθηκε και η ηλεκτρονική μονάδα RHEONIK RHE 02, Εικόνα 3-36, επεξεργασίας και παρουσίασης των μετρήσεων, που συνεργάζεται απόλυτα με το όργανο και δέχεται στην είσοδο το σήμα του συνεπώς δεν θα χρειαστεί περαιτέρω επεξεργασία.



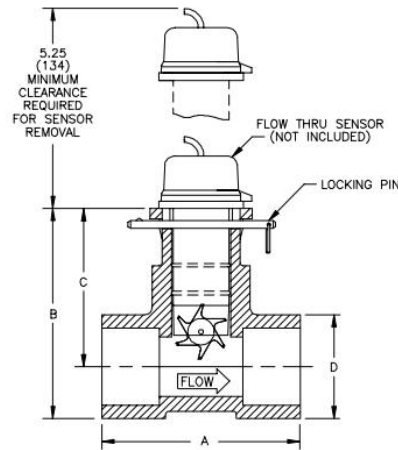
Εικόνα 3-8 RHEONIK RHM 03 GNT

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Ακρίβεια (Accuracy):  $\pm 0.2\%$  of reading.
- Εύρος Λειτουργίας (Measuring Range): 0.1- 0.99 [Kg/min].

### Παροχή νερού ψύξης

Για την μέτρηση της παροχής νερού ψύξης στο δευτερεύον κύκλωμα του κινητήρα είναι εγκατεστημένο το στοιχείο μέτρησης παροχής της GLI με στροφείο, **τύπου Tee-mount**, μοντέλο F1A11A1. Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται για μέτρηση παροχής σε όλα ρευστά χαμηλού ιξώδους και διαθέτει στροφείο 6 λεπίδων που προσφέρει μεγάλη ακρίβεια σε μικρές ταχύτητες ροής.



Εικόνα 3-9. Στοιχείο μέτρησης παροχής νερού ψύξεως.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα είναι τα εξής:

- Εύρος Λειτουργίας (Dynamic Range): 0.3...9 m/s.
- Επαναληψιμότητα (Repeatability):  $\pm 5\%$  της πλήρους κλίμακας (0.3-9ms).
- Ακρίβεια (Accuracy):  $\pm 1\%$  της πλήρους κλίμακας(0.3-9ms).
- Σήμα εξόδου (Output Signal): Pulse signal 0-200Hz.

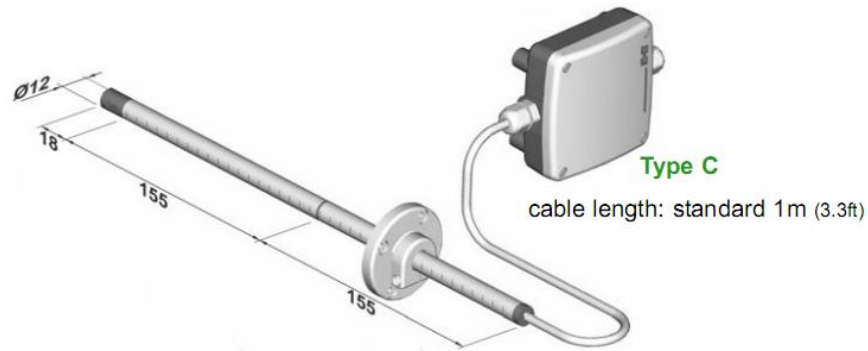
Ο αισθητήρας τοποθετείται σε ένα ειδικό **Tee** από PVC το οποίο έχει τις παρακάτω ανοχές:

- Μέγιστη Θερμοκρασία: 60°C στα 2.75bar.
- Μέγιστη Πίεση: 6.9 bar στους 25°C.

### Παροχή αέρα χώρου H/Z

Για την αποβολή αέρα στην έξοδο του χώρου που βρίσκεται ο κινητήρας είναι εγκατεστημένο στον αεραγωγό εξόδου το όργανο AIR VELOCITY TRANSMITTER EE65, . Ο μεταδότης αυτός έχει σχεδιαστεί για την ακριβή μέτρηση ταχύτητας του αέρα (παροχή μάζας) και συμπεριλαμβάνει ηλεκτρονικό όργανο επεξεργασίας του σήματος.

Η μετρητική μέθοδος βασίζεται στον αρχή του ανεμόμετρου θερμής μεμβράνης (hot film anemometer principle). Βασίζεται στο γεγονός ότι η αντίσταση του ακροφύσιου μέτρησης (probe) θα είναι ανάλογη της θερμοκρασίας της μεμβράνης. Το ηλεκτρικό κύκλωμα που διαθέτει το όργανο δημιουργεί τάση στα άκρα της μεμβράνης τέτοια ώστε να διατηρεί σταθερή την θερμοκρασία που αντιστοιχεί στην ζητούμενη αντίσταση. Όταν υπάρξει ροή στον αεραγωγό έχουμε συναλλαγή θερμότητας με συναγωγή που τείνει να την ψύξει. Στην προσπάθεια να διατηρηθεί η θερμοκρασία της μεμβράνης σταθερή αυξάνεται η αντίσταση, όσο ταχύτερη η ροή τόσο μεγαλύτερη η συναγωγή και η τάση στα άκρα.



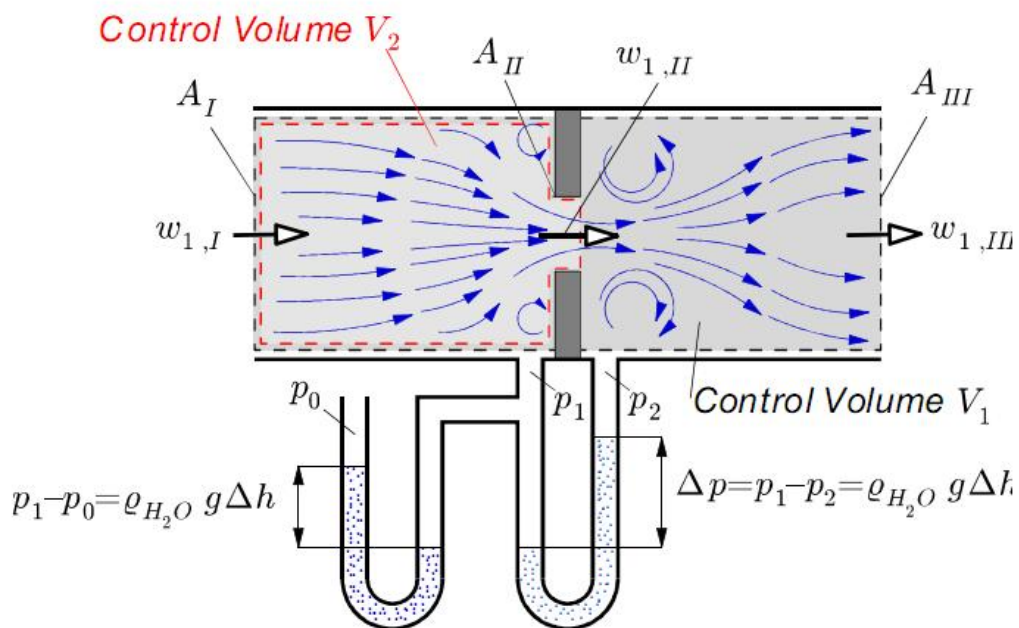
Εικόνα 3-10 Μεταδότης ταχύτητας αέρα αποβολής του χώρου Η/Ζ.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του οργάνου είναι τα εξής:

- Ακρίβεια (Accuracy):  $\pm 0.2 \frac{m}{s}$ , +3% of value
- Εύρος Λειτουργίας (Range): 0-20 ms.
- Σήμα εξόδου: 4-20mA.

Παροχή ατμοσφαιρικού αέρα στον κινητήρα

Για την παροχή ατμοσφαιρικού αέρα στον κινητήρα MAN D 2866LE έχει εγκατασταθεί μια διάταξη η αρχή λειτουργίας της οποίας βασίζεται, όπως και στα περισσότερα συμβατικά όργανα μέτρησης παρεχόμενης μάζας αερίου, στην μέθοδο του διαφράγματος που παρουσιάζεται στην Εικόνα 3-11.



Εικόνα 3-11 Μέθοδος λειτουργίας οργάνου μέτρησης ταχύτητας παροχής αέρα στον κινητήρα.

Η διάταξη έχει σχεδιαστεί βάσει της προτυποποίησης ISO/DIS 5167-1:2003, *Measurement of fluid flow in circular cross-section conduits running full using pressure differential devices* και συνεπώς οι υπολογισμοί θα γίνουν με βάση τις σχέσεις που δίδονται από αυτή.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διάταξης που έχει προσαρμοστεί στην εισαγωγή του κινητήρα και απαιτούνται για τον υπολογισμό της παροχής ατμοσφαιρικού αέρα είναι τα εξής:

$$D_I = D_{III} = 114\text{mm}, \quad A_I = A_{III} = \pi R_I^2 = 0.0102\text{mm}^2$$

$$D_{II} = 74\text{mm}, \quad A_{II} = \pi R_{II}^2 = 0.00453416\text{mm}^2$$

Τα φυσικά μεγέθη, οι τιμές των οποίων απαιτούνται για τον υπολογισμό της παροχής, κατά το πρότυπο είναι τα εξής:

- $\Delta p = p_1 - p_2$  : Διαφορά πίεσης στο μετρητικό διάφραγμα του αγωγού εισαγωγής αέρα στον κινητήρα.
- $p_1$  : Πίεση προ μετρητικού διαφράγματος.
- $p_0$  : Πίεση χώρος Η/Ζ.
- $T_1$  : Θερμοκρασία αέρα στην είσοδο.



Εικόνα 3-12 Φωτογραφία Διαφράγματος στον αγωγό εισαγωγής ατμ. αέρα στον Κινητήρα.

Για την διαφορά πίεσης στο μετρητικό διάφραγμα του αγωγού εισαγωγής αέρα στον κινητήρα χρησιμοποιήθηκε ο μεταδότης διαφορικής πίεσης YAMATAKE STD-E1H, Εικόνα 3-13, με βασικά χαρακτηριστικά τα εξής:

- Ακρίβεια (Accuracy):  $\pm 0.1\%$
- Εύρος Λειτουργίας (Dynamic Range): -10 ... 10 KPa
- Μέγιστη Πίεση: 200 Kgf/cm<sup>2</sup>
- Παροχή Ρεύματος: 220VAC.

Η ταχύτητα  $w_{1,II}$  υπολογίζεται από την ( 3-2 ) και υπό την παραδοχή του αέρα ως ιδανικό αέριο μπορεί εύκολα να υπολογιστεί η πυκνότητα μέσω της καταστατικής εξίσωσης και στη συνέχεια η παροχή του αέρα από την ( 3-3 ) [5].

$$w_{1,II} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_{II}}{A_I}\right)^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p}$$

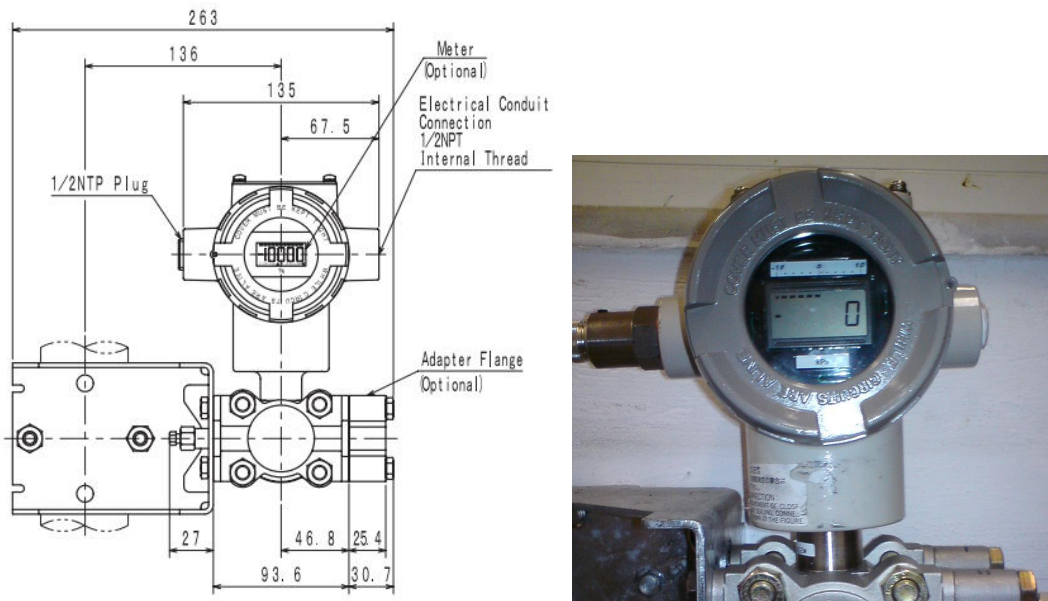
( 3-2 )

$$\dot{m}_{II} = \rho \dot{V}_{II} = \rho w_{1,II} A_{II}$$

( 3-3 )

Ο υπολογισμός της παρεχόμενης μάζας με την μέθοδο αυτή αποδίδει για ατμοσφαιρικό αέρα ικανοποιητικά αποτελέσματα θεωρώντας μηδενικές θερμικές απώλειες. Η απόκλιση για ευθυγραμμισμένη ροή σε χρονικά αμετάβλητες συνθήκες δεν υπερβαίνει συνήθως τις  $\pm 5$  μονάδες (ακριβής υπολογισμός βάσει του προτύπου ISO 5167).





Εικόνα 3-13 Μεταδότης διαφορικής πίεσης YAMATAKE STD-E1H.

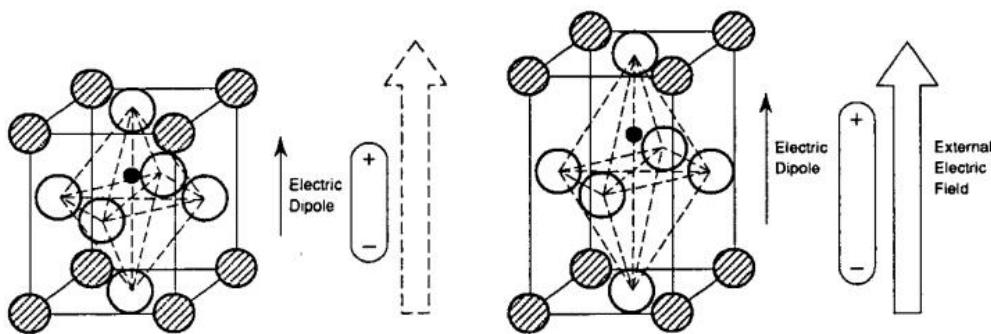
### 3.2.2.3 Μετρήσεις πίεσης

Με βάση τα στοιχεία των Πίνακας 2-1, Πίνακας 2-2 οι πιέσεις προς μέτρηση είναι οι εξής:

- Πίνακας 2-2 [4] *Εκλυόμενη Θερμότητα* & Πίνακας 2-2 [5] *Ενδεικνύμενο Έργο*: Πίεση μέσα στο θάλαμο καύσης.

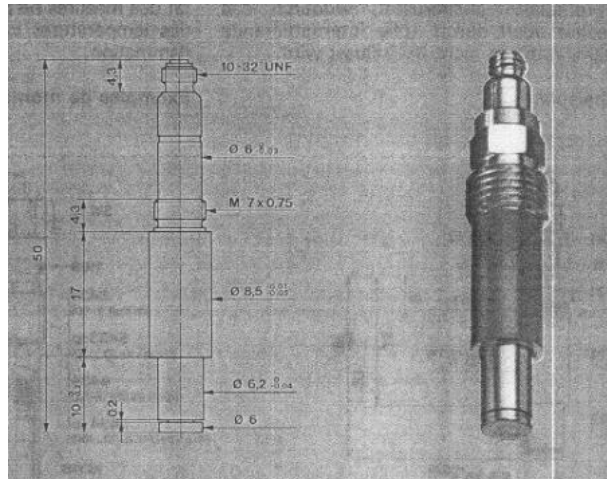
#### Πίεση στο θάλαμο καύσης

Η μέτρηση της στιγμιαίας πίεσης στον θάλαμο καύσης διεξάγεται κυρίως με πιεζοηλεκτρικά αισθητήρια. Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο βασίζεται στην ιδιότητα μονοκρυσταλλικών υλικών, όπως ο χαλαζίας (quartz), να μεταβάλλουν την κατανομή της ενέργειας τους στο υλικό σε ορισμένες προδιαγεγραμμένες διευθύνσεις τους ανάλογα με την μηχανική του φόρτιση και να πολωθούν συγκεκριμένες επιφάνειες τους με αντίστοιχα δυναμικά σχηματίζοντας ηλεκτρικά δίπολα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3-14. Η κατανομή των ηλεκτρικών φορτίων στον μηχανικά φορτισμένο κρύσταλλο παράγει δύο αντίρροπα φορτισμένες ηλεκτρικά επιφάνειες, οι οποίες αποδίδουν το ηλεκτρικό φορτίο τους στους αγωγούς (και αυτοί με σειρά του στο κύκλωμα ενισχυτού) [5].



Εικόνα 3-14 Πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο σε μονοκρυσταλλικό υλικό.

Στον κινητήρα εγκαταστάθηκε στην κεφαλή του  $6^{ου}$  κυλίνδρου του κινητήρα ο Quartz Pressure Transducer Kistler 6121A1, Εικόνα 3-15. Είναι ένας μικροσκοπικός μεταδότης πίεσης με χαλαζία που βρίσκει εφαρμογή σε εμβολοφόρους κινητήρες λόγω της σταθερής του λειτουργίας σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος έως  $350^{\circ}C$  και στιγμιαίες θερμοκρασίας έως  $2500^{\circ}C$  χωρίς να χρειαστούν ψύξη. Πιο συγκεκριμένα, η πιεζοηλεκτρική σταθερά του χαλαζία που χρησιμοποιείται παραμένει αμετάβλητη με διακύμανση  $\pm 3\%$  για εύρος θερμοκρασιών λειτουργία  $20-350^{\circ}C$ .



Εικόνα 3-15 Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας Kistler 6121A1 μέτρησης πίεσης εντός κυλίνδρου.

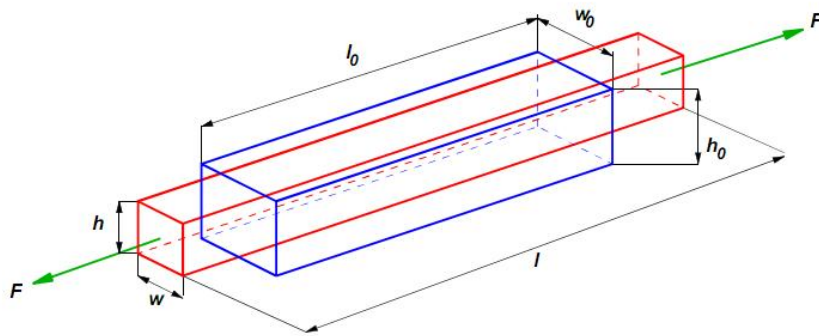
Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

- Εύρος Λειτουργίας (Dynamic range): 0-250bar.
- Μέγιστη πίεση (Overload): 350bar.
- Ευαισθησία (Sensitivity): -14 pC/bar.
- Συχνότητα (Natural Frequency): >55kHz.
- Σφάλμα (Transient Error): <0.02bar.

Το ηλεκτρικό φορτίο που δημιουργείται από τον πιεζοηλεκτρικό αισθητήρα, διέρχεται ενός ενισχυτή και έπειτα καταλήγει στο σύστημα περισυλλογής δεδομένων του Η/Υ. Το ηλεκτρικό φορτίο εκφορτίζεται στον ενισχυτή μέσω ενός κυκλώματος ανάδρασης ενός τελεστικού ενισχυτή. Ενας κατακόρυφος παλμός πίεσης στην μεμβράνη του αισθητήρα προκαλεί φθίνουσα απόκριση της τάσης του ενισχυτή, έτσι το σύστημα 'αισθητήρας-ενισχυτής' ανταποκρίνεται μόνο σε διαφορές πίεσης. Απαιτείται λοιπόν ο προσδιορισμός της απόλυτης τιμής του φυσικού μεγέθους της πίεσης. Ενας επιπλέον αισθητήρας πίεσης στην είσοδο του αέρα στο θάλαμο καύσης θα προσδιορίζει την απόλυτη τιμή της πίεσης. Η μέτρηση αυτή δεν είναι υψηλών απαιτήσεων καθότι οι πιέσεις είναι πολύ μικρότερες, δεν υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις στην ταχύτητα δειγματοληψίας και οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες.

#### Πίεσης αέρα εισαγωγής στον κινητήρα

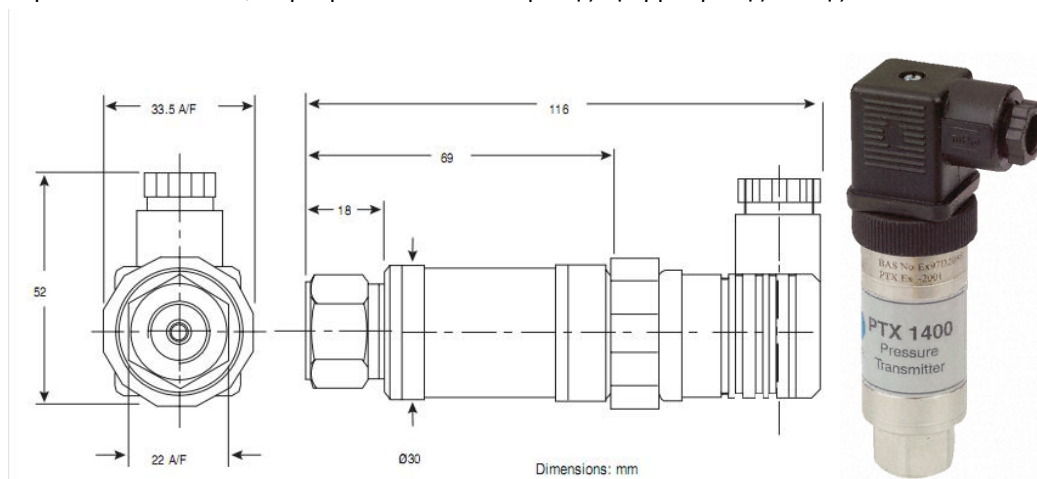
Για την μέτρηση της απόλυτης πίεσης του αέρα στην εισαγωγή του θαλάμου καύσης (έξοδο του Intercooler) και στην έξοδο του Intercooler θα χρησιμοποιηθούν πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες. Πρόκειται για αισθητήρες υψηλής ευαισθησίας και ακρίβειας που η λειτουργία τους βασίζεται στον πιεζοηλεκτρικό μετασχηματισμό μεταβολής ηλεκτρικής αντίστασης κατά την μηχανική παραμόρφωση ενός αγωγού ή ημιαγωγού προκαλείται μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης (πιο συγκεκριμένα η μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται από την αλλαγή μορφής του αγωγού όταν υφίσταται μηχανική καταπόνηση), Εικόνα 3-16.



Εικόνα 3-16 Φαινόμενο πιεζοηλεκτρικής μεταβολής ηλεκτρικής αντίστασης.

Στον αισθητήρα το στοιχείο μέτρησης τοποθετείται με την μια πλευρά να εφάπτεται σε ένα διάφραγμα. Η περιοχή γύρω από το κέντρο του διαφράγματος, όπου είναι προσαρμοσμένο το στοιχείο αίσθησης, παραμορφώνεται αξονο-συμμετρικά (προκαλείται κοίλωμα στην πλευρά της πίεσης) και την μορφή του ακολουθεί το στοιχείο μέτρησης. Η παραμόρφωση του στοιχείου προκαλεί, όπως αναφέρθηκε, μεταβολή της αντίστασης. Στη μια πλευρά του αγωγού λοιπόν ασκείται η πίεση από το μετρούμενο μέσο. Εάν η άλλη πλευρά που έχει πρόσωπο στο εσωτερικό του αισθητήρα βρίσκεται σε κενό τότε ο αισθητήρας μετρά την **απόλυτη** πίεση, εάν στο εσωτερικό βρίσκεται σε ατμοσφαιρική πίεση τότε μετρά την **σχετική**. Τέλος, στο αισθητήριο όταν η παραμόρφωση του στοιχείου επιφέρει μεταβολή της αντίστασης, η καμπύλη μεταφοράς γραμμικοποιείται και το σήμα ενισχύεται ώστε το κύκλωμα να αποδώσει μια γραμμική με την πίεση διαφορά δυναμικού ή ρεύματος στους ακροδέκτες του αισθητηρίου [5].

Στην είσοδο και έξοδο του ψύκτη τοποθετήθηκαν οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες DRUCK PTX1400 Pressure Transmitter, Εικόνα 3-17. Μετασχηματίζουν το σήμα από το διάφραγμα σιλικόνης, με ηλεκτρονικά 2 καλωδίων, σε ρεύμα 4-20mA ανάλογο της εφαρμοσμένης πίεσης.



Εικόνα 3-17. Μεταδότης πίεσης αέρα εισαγωγής στον κύλινδρο DRUCK PTX1400.

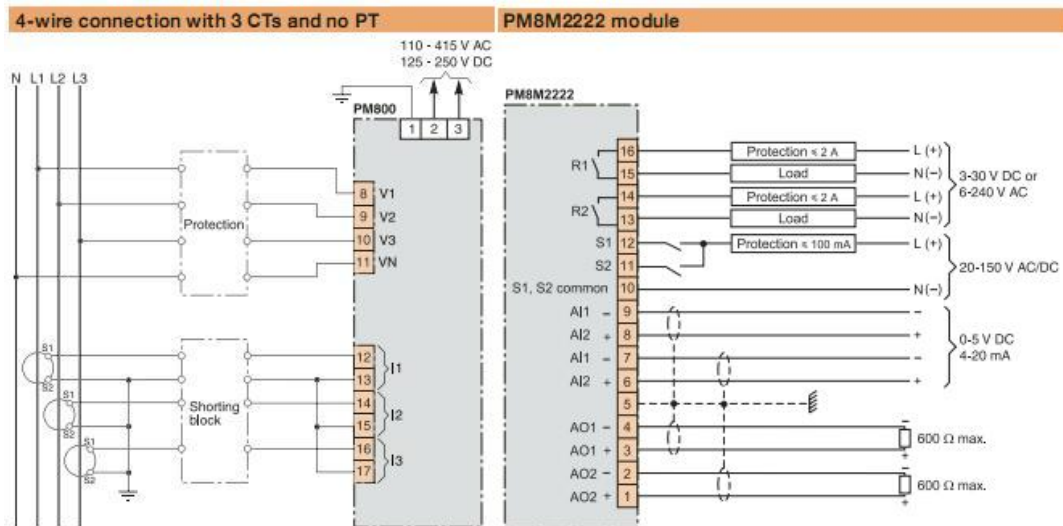
Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

- Ακρίβεια (Accuracy)<sup>3</sup> : 0.15% typical, 0.25% maximum.
- Εύρος Λειτουργίας (Range): 0-6 bar.
- Μεγιστη θερμοκρασία λειτουργίας :  $T_a = 80^\circ \text{C}$ .
- Παροχή (Power Supply): 9...28VDC

<sup>3</sup> Δίνεται σε ποσοστό απόκλισης από την βέλτιστη παρεμβαλλόμενη ευθεία. Συμπεριλαμβάνει φαινόμενα Repeatability, Linearity, Hysteresis.

### 3.2.2.4 Μεταδότης Ηλεκτρικής Ισχύος

Για την μέτρηση ηλεκτρικής ισχύος του Ηλεκτροπαραγωγού Ζεύγους (3-φασικού εναλλασσόμενου ρεύματος, ισχύος 265KVA, τάσης 400V, συχνότητας 50Hz) χρησιμοποιείται το Power Meter Merlin-Gerin Power Logic PM800, Εικόνα 3-19. Το όργανο αυτό έχει δυνατότητες υψηλής απόδοσης για την παρακολούθηση μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης. Αποτελείται από 3 μονάδες. Την μονάδα μέτρησης ηλεκτρικής ισχύος, την οθόνη παρουσίασης μετρήσεων και την μονάδα αναλογικών και ψηφιακών εισόδων εξόδων (I/O module). Το όργανο είναι συνδεδεμένο με τις μπάρες των τριών φάσεων και του ουδέτερου, Εικόνα 3-18.



Εικόνα 3-18 Συνδεσμολογία οργάνου μέτρησης ηλεκτρικής ισχύος Η/Ζ.



Εικόνα 3-19. Μετρητής Ισχύος ηλεκτρικής ισχύος Η/Ζ PowerLogic PM800.

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Ακρίβεια (Accuracy)
  - Current and voltage: 0.1 %.
  - Active energy and power accuracy: 0.5 %.
- Χαρακτηριστικά Τάσεως Εισόδου (Input Voltage Characteristics)
  - Measured voltage 0...600 V AC (direct L-L), 0...347 V AC (direct L-N).
  - F-frequency measurement range: 45 to 67 Hz, 350 to 450 Hz.
- Χαρακτηριστικά Ρεύματος Εισόδου (Input Current Characteristics)
  - Primary Adjustable from 5 A to 32.767 kA
  - Secondary 1 A or 5 A
- Παροχή (Power Supply): 110 to 415  $\pm$ 10 % V AC, 11 VA, 125 to 250  $\pm$ 20 % V DC, 6 W.
- Σήμα Εξοδου (Analog outputs): 4-20 mA.

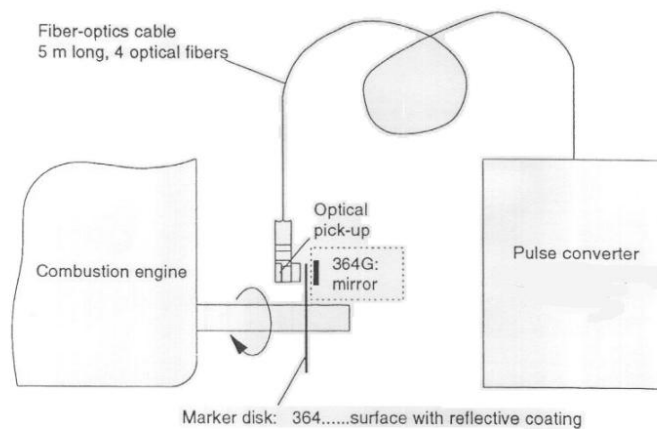
### 3.2.2.5 Μέτρηση γωνίας στροφάλου

Όπως αναλύθηκε στο πρώτο κεφάλαιο η μέτρηση της πίεσης στον θάλαμο καύσης δεν αρκεί για τον υπολογισμό του ισοζυγίου στον θάλαμο καύσης. Η μέτρηση της γωνίας του στροφάλου, Πίνακας 2-2 [4], σε συσχέτιση με την πίεση είναι το ζητούμενο.

Στον κινητήρα εγκαταστάθηκε ο Angle Encoder AVL 364, Εικόνα 3-21. Χρησιμοποιείται για να μετατρέψει την αναλογική τιμή της γωνίας σε ψηφιακό ηλεκτρικό σήμα. Προσφέρει υψηλή ακρίβεια σε υψηλές ταχύτητες και είναι κατάλληλο για εφαρμογές κάτω από δύσκολες συνθήκες λειτουργίας, όπως υψηλές θερμοκρασίες και υψηλά φορτία δονήσεων.

Ο μετρητής της AVL αποτελείται από ένα δίσκο με αντανακλαστική επένδυση μαρκαρισμένο με 720 σημάδια για κάθε μισή μοίρα στην περιφέρεια και ένα επιπλέον σημάδι πιο μέσα στον δίσκο που θα συγχρονιστεί με το ΑΝΣ του 6<sup>ου</sup> κυλίνδρου, έναν οπτικό αισθητήρα τεσσάρων οπτικών ινών που τοποθετούνται έτσι ώστε οι δυο ίνες να 'βλέπουν' τα σημάδια στην περιφέρεια και οι άλλες δυο το σημάδι του ΑΝΣ και τέλος έναν μετατροπέα παλμού (pulse converter) που μεταδίδει το υπέρυθρο φως στα σημάδια γωνίας και ΑΝΣ μέσω των σχετικών οπτικών ινών.

Ο δίσκος (marker Disk) προσαρμόζεται στο ελεύθερο άκρο του στροφαλοφόρου άξονα και ο κωδικοποιητής (angle encoder) σταθεροποιείται στο σώμα της μηχανής. Κατά την λειτουργία της μηχανής το κάθε ζεύγος οπτικών ινών στέλνει μια υπέρυθρη οπτική ακτίνα από την μια ίνα (transmitting optical fiber) και η αντανάκλαση της διεγείρει την άλλη (receiving optical fiber). Ο μετατροπέας παλμού (pulse converter) στέλνει την υπέρυθρη οπτική ακτίνα στις οπτικές ίνες που το προβάλλουν πάνω στο δίσκο και αυτή είτε αντανακλάται από τα σημάδια είτε απορροφάται από το μαύρο μέταλλο που παρεμβάλλεται στα σημάδια του δίσκου. Τα αντανακλώμενα οπτικά σήματα αφού μετασχηματιστούν σε ηλεκτρικό παλμό σήμα, δρομολογούνται στις εξόδους του μετατροπέα (pulse converter). Το σύστημα φαίνεται στην Εικόνα 3-20.

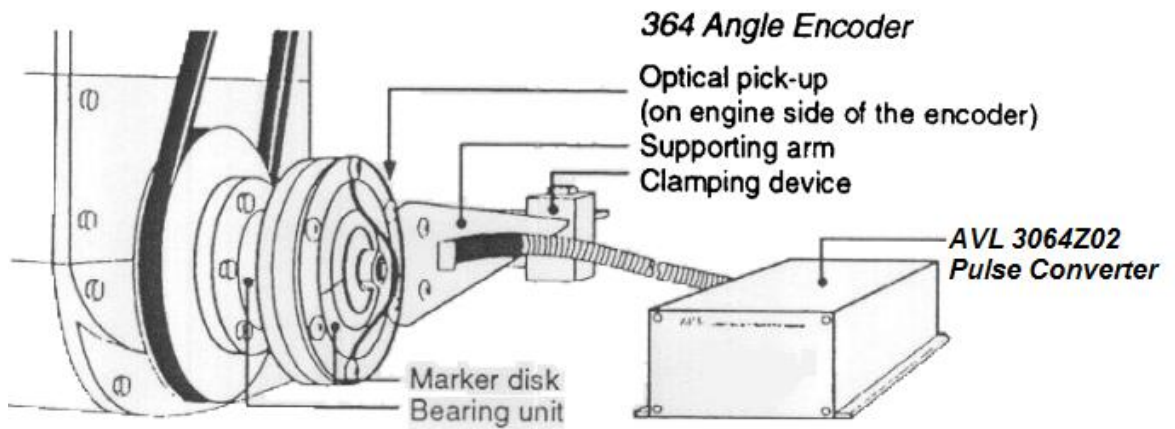


Εικόνα 3-20 Σύστημα μέτρησης στροφαλογωνίας.

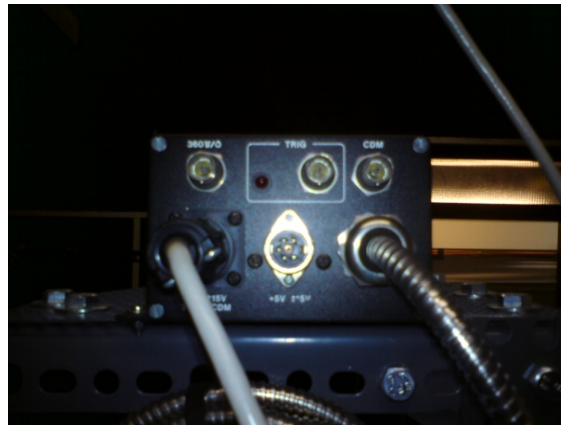
Οι δυνατότητες του οργάνου εξαρτώνται από τις επιμέρους δυνατότητες του οπτικού αισθητήρα και του μετατροπέα παλμού (angle converter), του κωδικοποιητή γωνίας (angle encoder) και την ακρίβεια του δίσκου, τα βασικά χαρακτηριστικά των οποίων είναι τα εξής:

- Οπτικός αισθητήρας (Encoder):
  - Εύρος ταχύτητας: 10-15000 rpm.
  - Ανάλυση: 0.5°.
- Μετατροπέας Παλμών(Pulse Converter):
  - Ακρίβεια σε δυναμική λειτουργία (for pulse converter with encoder):  
 $\Delta\phi < \pm 0.05^\circ \text{ C at } \Delta n = 600 \dots 6000 \text{ rpm.}$
- Δίσκος (Marked Disk):
  - Σφάλμα γωνίας:  $< \pm 0.015^\circ$ .

- Μέγιστη ταχύτητα: 15000 rpm.
- Ακρίβεια: 0.5°μοίρες στροφάλου.



Εικόνα 3-21 Angle Encoder AVL-364.

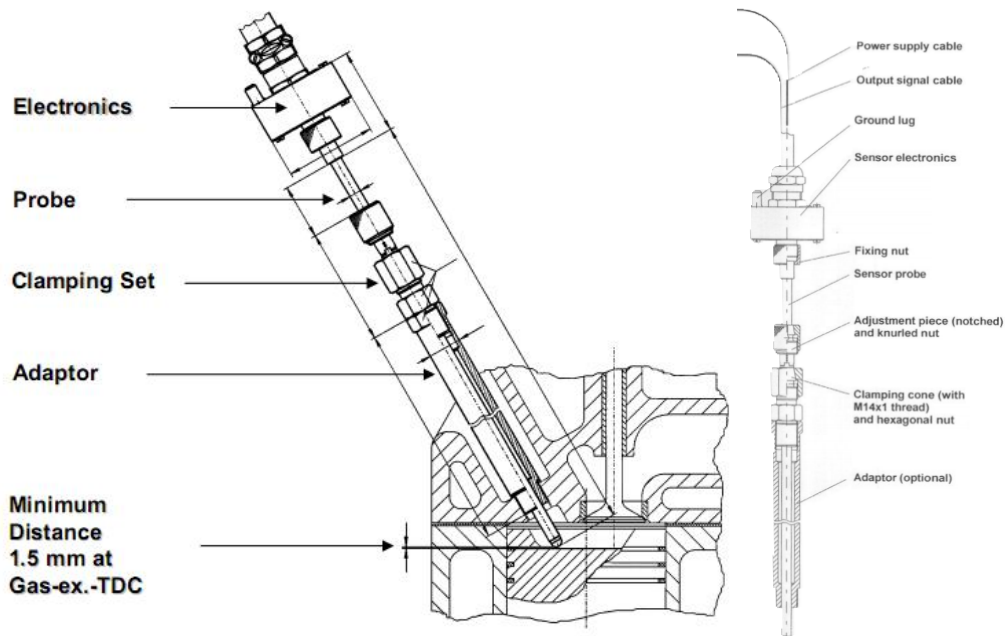


Εικόνα 3-22 AV 3064Z02L Pulse Converter

### 3.2.2.6 Μεταδότης Άνω Νεκρού Σημείου (TDC)

Στην θερμοδυναμική εκτίμηση της καμπύλης πίεσεως που μετράται σε μια εμβολοφόρο Μ.Ε.Κ ο ακριβής προσδιορισμός του άνω νεκρού σημείου είναι πολύ μεγάλης σημασίας και η μέτρηση του κατά την διάρκεια λειτουργίας θα ήταν ασφαλέστερη. Για τον λόγο αυτό θα χρησιμοποιηθεί ένας τέτοιος αισθητήρας παράλληλα με τον μετρητή της στροφαλογωνίας προκειμένου να προσδιορίσουμε την απόκλιση του σήματος 'σκανδαλισμού' από το πραγματικό ΑΝΣ, αν υπάρχει, και να επεμβούμε στο σήμα για να το διορθώσουμε.

Ο αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε γι' αυτή τη διαδικασία είναι ο AVL TDC-Sensor428, Εικόνα 3-23, και περιλαμβάνει το ακροφύσιο του αισθητήρα, ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα και έναν προσαρμογέα. Το ακροφύσιο του αισθητήρα τοποθετείται στον προσαρμογέα, μέσα στον θάλαμο καύσης χωρίς όμως να έρχεται σε επαφή με το πιστόνι του κυλίνδρου. Το ακροφύσιο και το πιστόνι δημιουργούν έναν πυκνωτή, η χωρητικότητα του οποίου εξαρτάται από την απόσταση ανάμεσα τους. Οι μεταβολές της αντίστασης εντοπίζονται από το ηλεκτρονικό κύκλωμα του αισθητήρα (capacitive bridge circuit) και εξέρχεται ως αναλογικό σήμα που ανταποκρίνεται στην ανύψωση του πιστονιού όταν βρίσκεται κοντά στο ΑΝΣ.



Εικόνα 3-23 TDC sensor AVL 428.

Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 3-23, ο μεταδότης έχει ηλεκτρονικό κύκλωμα που εξασφαλίζει την επεξεργασία του σήματος και την μετατροπή του τάση ηλεκτρικού ρεύματος V. Η πληροφορία του οργάνου που είναι χρήσιμη είναι μόνο η μέγιστη τιμή του σήματος σε συσχέτιση με τα σήματα CDM και Trigger από τον Angle Encoder. Επομένως το σήμα δεν θα χρειαστεί επεξεργασία αλλά ούτε και θα συμπεριληφθεί στο σχεδιασμό του συστήματος περισυλλογής αφού θα χρησιμοποιηθεί μόνο μια φορά.

Όλα τα παραπάνω αισθητήρια συμπεριλαμβάνονται στον Πίνακα 3-2.

	MODEL	TYPE	Inst/tion Symbol	Working Range	Output Signal	Καταχώρηση στο αρχείο
					Electrical Parameter Variation	
1	SIKA	Thermometer	TCIN, TCOUT	0...60°C	-	06.20
2	PT100A 3W Silicon/Silicon	Thermometer	TICIN, TICOUT	0...200°C	Resistance	-
4	RHEONIK Massflow-meter RHM 03 GNT	Mass-flow meter (Thermometer)	TF	-20...120°C	-	02.08.002
5	Thermocouple K	Thermometer	TTOUT	-210..760V	EMF: 10-80mV	-
6	PT100 GREISINGER/GIA 1000NS	Thermometer	TROUT	0...50° C	4-20mA	06. 10
7	Θερμόμετρο Υδραργύρου	Thermometer	TRIN	0...100°C	-	-
8	RHEONIK MASSFLOW-METER RHM 03 GNT	Mass-flow meter	FTENG	0.1...0.99 kg/min	4-20mA	02.08.002
9	RHEONIK MASSFLOW-METER RHM 03 GNT	Temperature Meter	TF	-20...120°C	Indication	02.08.002
10	Flow Meter	Mass-flow meter	FTC	0.3...9m/s	0-200 Hz	-
11	AIR VELOCITY TRANSMITTER EE65	Mass-flow meter	FTR	0...20 m/s	4-20mA	06.13
12	YAMATAKE STD-E1H	Differential Pressure Transmitter	DP	-10...10 Kpa	4-20mA	06.36
13	Στήλη νερού	Pressure Meter	PIN	0...1000 mmH2O	-	-
14	Kistler 6121A1	Pressure Meter	PCYL	0...250 bar	Sensitivity -14pC	01.02.001.0 M
15	DRUCK PTX1400 Pressure Transmitter	Pressure Transmitter	PICIN, PICOUT	0...6 bar	4-20mA	02.02.006.0 M
16	AVL 364	Angle Encoder	ANGENC	10-15000 rpm	Pulse signal	04.09.001.1 M
17	AVL TDC-Sensor428	TDC-Sensor	TDC	-	Voltage	02.09.011.1 M
18	Powerlogic	Power Meter	JENG	0...347VAC	4-10mA	

Πίνακας 3-2 Κατάλογος αισθητηρίων του συστήματος περισυλλογής δεδομένων.

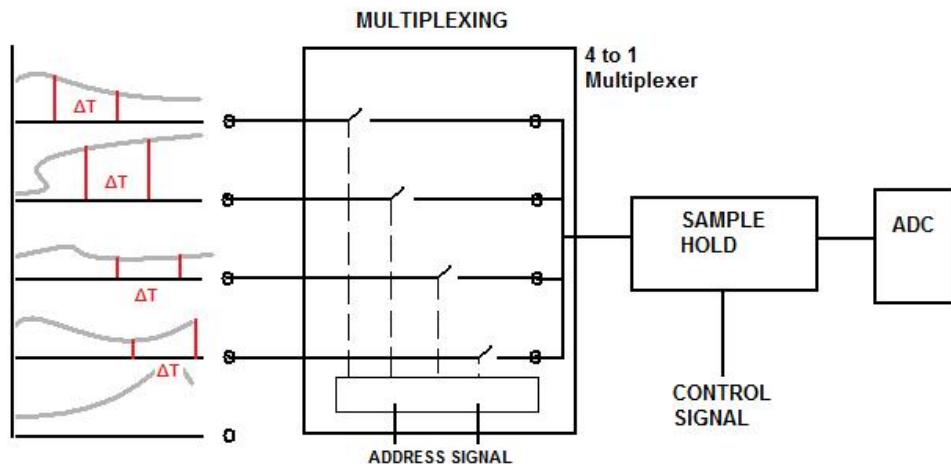


### 3.3 Κάρτα Δειγματοληψίας

#### 3.3.1 Απαραίτητα Χαρακτηριστικά

Τα σήματα που παρήχθησαν από τα αισθητήρια και αναπαριστούν τις μεταβολές των φυσικών παραμέτρων κατά την διάρκεια λειτουργίας του κινητήρα χρειάζονται μια συσκευή που διευκολύνει την σύνδεση αισθητηρίων στον υπολογιστή. Η Κάρτα Δειγματοληψίας Δεδομένων είναι ισχυρή πλατφόρμα που παραλαμβάνει, ψηφιοποιεί (A/D) και καταγράφει ηλεκτρικά σήματα. Οι ρυθμίσεις λειτουργίας της προγραμματίζονται εύκολα μέσω λογισμικού ώστε να ανταποκρίνεται σε όλες τις κρίσιμες καταστάσεις χρονισμού και βρίσκει ιδιαίτερα πρακτική εφαρμογή σε σύστημα πραγματικού χρόνου (real time). Η κάρτα διαθέτει έναν A/D μετατροπέα που παραλαμβάνει όλα τα σήματα και τα ψηφιοποιεί ταυτόχρονα.

Για να χρησιμοποιηθεί όμως ένας μετατροπέας για ταυτόχρονους μετασχηματισμούς πολλών σημάτων ταυτόχρονα περιλαμβάνει ένας **πολυπλέκτης (multiplexer)**. Ένα όργανο που δέχεται ένα μεγάλο αριθμό εισόδων (συνήθως μια δύναμη του 2) ως αναλογικά ή ψηφιακά σήματα και σε κάθε ένα αντιστοιχεί διευθύνσεις εισόδων (address inputs) ως δυαδικό νούμερο που αντιστοιχεί στον διακόπτη (switch) της κάθε εισόδου. Ο πολυπλέκτης έχει μία έξοδο η οποία έχει την τιμή μιας επιλεγμένης εισόδου κάθε φορά. Κατ' αυτών τον τρόπο καθιστά δυνατό μεγάλος αριθμός σημάτων να μοιραστούν μια συσκευή όπως το μετατροπέας ADC. Βασικό χαρακτηριστικό του πολυπλέκτη είναι ο χρόνος ( $\Delta T$ ) που χρειάζεται για να διαβαστούν όλα τα κανάλια εισόδου. Σχηματικά αναπαριστάται στην Εικόνα 3-24.



Εικόνα 3-24 Σχηματική αναπαράσταση κυκλώματος Πολυπλέκτη-ADC.

Στη συνέχεια, κατά την λειτουργία του πολυπλέκτη, ανάμεσα στα διαστήματα που εναλλάσσονται οι διακόπτες στις εισόδους διατηρούνται τα σήματα, όμως στην έξοδο οι τιμές κυμαίνονται ανάμεσα στα διαφορετικά μεγέθη των εισόδων. Αυτές οι διακυμάνσεις μπορεί να προκαλέσουν εσφαλμένες αναγνώσεις από τον A/D μετατροπέα και γι' αυτό χρησιμοποιείται ένα κύκλωμα που συγκρατεί (sample and hold) την τιμή της κάθε εισόδου έως ότου λάβει την τιμή της επόμενης εισόδου από τον πολυπλέκτη.

Τα βασικά κριτήρια επιλογής της οποίας είναι:

- Μέγιστος αριθμός σημάτων που παραλαμβάνει. Πρέπει να είναι σε θέση να δέχεται ταυτόχρονα όλα τα σήματα από τα αισθητήρια που εγκαταστάθηκαν.
- Η δυνατότητα εξωτερικού χρονισμού και σκανδαλισμού. Προκειμένου να συγχρονιστεί η δειγματοληψία πίεσης θαλάμου καύσης με το σήμα στροφαλόγωνιας του στροφάλου.
- Η κάλυψη αναγκών ακρίβειας και ανάλυσης. Πρέπει να υπερκαλύπτει τις ανάγκες ακρίβειας του πιο απαιτητικού απ' όλα τα εισερχόμενα σήματα.

### **Αριθμός σημάτων**

Αν και ο αριθμός ηλεκτρικών σημάτων είναι πλέον δεδομένος, μπορούν να τερματιστούν είτε ως σήματα διπλής καλωδίωσης (διαφοράς δυναμικού) ή μονής καλωδίωσης. Στην πρώτη περίπτωση από την κάρτα μετράται η διαφορά του υψηλού και του χαμηλού δυναμικού από τα δυο καλώδια αντίστοιχα ενώ στην δεύτερη μετράται η διαφορά δυναμικού του σήματος σε συσχέτιση με την γείωση που έχει το κύκλωμα του μετατροπέα (ADC).

Η χρήση μονής καλωδίωσης προφανώς εξασφαλίζει διπλάσιο αριθμό σημάτων που καταλήγουν στην κάρτα DAQ. Όμως έχει συγκριτικά μειονεκτήματα με τα σήματα διαφοράς δυναμικού. Πρώτον, εφόσον τα διαφορικά σήματα δεν μετρώνται σε σχέση με την γείωση, τυχόν μικρές διαφορές στην γείωση του μεταδότη και του αποδέκτη δεν επηρεάζουν το σήμα. Επίσης, η επιρρέπεια στον θόρυβο εξαρτάται από την παρεχόμενη τάση. Υψηλή παρεχόμενη τάση έχει σχετικά μικρή επιρρέπεια στον θόρυβο, καθώς είναι σχετικά μικρότερες οι παρεμβολές και συνεπώς μικρότερη η επιρροή, όμως υψηλή παρεχόμενη τάση επιφέρει και μεγάλη εκπεμπόμενη ακτινοβολία. Για παρεχόμενη τάση λοιπόν  $V_s$  σε τάση μονής καλωδίωσης θα εμφανίζεται εύρος  $V_s - V_{Ground} = V_s - 0 = V_s$  ενώ για διαφορική τάση θα εμφανίζεται εύρος  $V_s - (-V_s) = V_s + V_s = 2V_s$ . Το διαφορικό σήμα εξασφαλίζει καλύτερη ανάλυση με χαμηλές εκπομπές ακτινοβολίας και μικρότερη επιρρέπεια στο θόρυβο.

Επιλέγεται μετάδοση του σήματος με διπλή καλωδίωση. Είναι 9 τα ηλεκτρονικά σήματα που θα τερματιστούν στον υπολογιστή, πίνακας TI/CIN, TI/COUΤ, ΤΤΟΥΤ, FTENG, PCOUT, PCIN, STC, DP, JENG και επομένως οι απαιτούνται τουλάχιστον 18 αναλογικά κανάλια εισόδου.

### **Εξωτερικό χρονισμός και σκανδαλισμός**

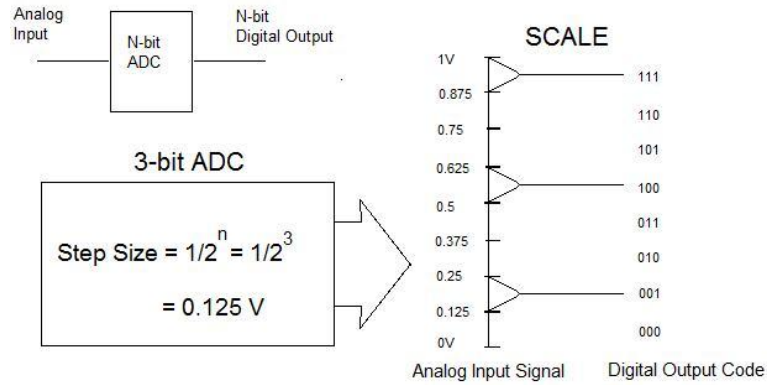
Η κάρτα πρέπει να είναι σε θέση να αρχίζει την παραλαβή οποιουδήποτε σήματος με την διέγερση από το ψηφιακό (παλμό) σήμα σκανδαλισμού (trigger) και να καταχωρεί τις τιμές του σήματος με την ανερχόμενη ή κατερχόμενη ακμή του ψηφιακού (παλμού) σήματος στο φασματικό (CDM).

### **Ακρίβεια και Ανάλυση**

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες της κάρτας DAQ εξαρτώνται κυρίως από τον ADC μετατροπέα που έχει εγκατεστημένο, τα βασικά χαρακτηριστικά του οποίου είναι ο ρυθμός δειγματοληψίας (sampling rate) και η ανάλυση του (resolution).

Η ανάλυση ενός μετατροπέα υποδεικνύει τον αριθμό των διακριτών τιμών που παράγει για δεδομένο εύρος αναλογικών τιμών. Οι τιμές αποθηκεύονται ηλεκτρονικά σε δυαδική μορφή, έτσι η ανάλυση περιγράφεται με bits. Κατά συνέπεια, ο αριθμός των διακριτών τιμών που είναι διαθέσιμος θα είναι μια δύναμη του 2. Για παράδειγμα, ένας ADC ανάλυσης 8bit μπορεί να διαχωρίσει την αναλογική είσοδο σε  $2^8=256$  διαφορετικά επίπεδα. Αυτό είναι η διαδικασία του κβαντισμού (quantization). Επίσης η ανάλυση μπορεί να εκφραστεί σε volt, αν έχει επιλεγθεί ένα συγκεκριμένο εύρος τάσης σημάτων εισόδου, τότε το εύρος αυτό διαιρείται με τον αριθμό επιπέδων που έχει την δυνατότητα να διαχωρίσει ο ADC και βρίσκω την ελάχιστη τιμή τάσης που χρειάζεται στην είσοδο για να προκαλέσει αλλαγή στις διακριτές τιμές εξόδου του ADC.

Στην Εικόνα 3-25 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα για υποθετικό ADC ανάλυσης 3bit με εύρος τάσης εισόδου 0-10V.



Εικόνα 3-25 Σχεδιάγραμμα λειτουργίας για υποθετικό 3-bit A/D Converter .

Το αναλογικό σήμα είναι συνεχές στον χρόνο και για να μετατραπεί σε ψηφιακές τιμές χρειάζεται να καθοριστεί ο ρυθμός με τον οποίο οι ψηφιακές τιμές θα λαμβάνουν τιμές από το αναλογικό σήμα. Ο ρυθμός αυτός λέγεται ρυθμός ή συχνότητα δειγματοληψίας. Απαιτηση από το σύστημα που θα τεθεί σε εφαρμογή είναι να είναι σε θέση να καταγράφει ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο σήμα (εντός καθορισμένου εύρους τιμών) και έπειτα να μπορεί να το αναπαράγει με μια μέθοδο παρεμβολής. Η ακρίβεια περιορίζεται και από τα επίπεδα κβαντισμού. Πάραυτα, θεωρείται (Nyquist-Shannon sampling theorem) ότι είναι αδύνατον να αναπαραχθεί ένα σήμα παρά μόνο εάν η δειγματοληψία έχει συχνότητα διπλάσια της μεγαλύτερης συχνότητας που περιέχεται στο σήμα αυτό. Στην πράξη, για καλύτερη αναπαράσταση απαιτείται συχνότητα δειγματοληψίας 5 ή 10 φορές μεγαλύτερη της συχνότητας του σήματος.

Στο σύστημα DAQ του κινητήρα παραλαμβάνονται σήματα που θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του θερμικού ισολογισμού του κινητήρα και του θαλάμου καύσης. Ο ισολογισμός του κινητήρα γίνεται πάντα σε μόνιμη κατάσταση λειτουργίας και συνεπώς όχι μόνο η δυναμική των φυσικών συστημάτων που παρακολουθούνται είναι αρκετά πιο αργή από τις ταχύτητες λειτουργίας μετατροπών αλλά εκ των πραγμάτων οι μετρήσεις γίνονται εφόσον τα μεγέθη έχουν σταθεροποιηθεί. Ο ισολογισμός του θαλάμου καύσης όμως απαιτεί πιο γρήγορους ρυθμούς δειγματοληψίας καθότι η δειγματοληψία θα γίνεται ενώ ο κινητήρας περιστρέφεται με 1500rpm (25Hz) και απαιτούνται 360 τιμές σε μια περιστροφή. Δηλαδή απαιτείται ρυθμός δειγματοληψίας τουλάχιστον  $360 \cdot 25 = 9 \text{ kHz}$ .

Κατά συνέπεια, 18kHz είναι και η ελάχιστη απαίτηση για δυνατότητα εξωτερικού χρονισμού από την κάρτα DAQ.

### 3.3.2 PCI-DAS6402/16

Στο σύστημα περισυλλογής δεδομένων εγκαταστάθηκε η κάρτα Measurement Computing PCI-DAS6402/16 που παρουσιάζεται στην Εικόνα 3-26, με τα εξής βασικά χαρακτηριστικά:

- A/D converter type: AD97A, successive approximation ADC.
- Sampling Rate: 200kHz.
- Resolution: 16bit (εύρος 0-10V αντιστοιχεί σε ανάλυση  $1.52 \times 10^{-4}V$ ).
- Input Ranges (Bipolar):  $\pm 10V$ ,  $\pm 5V$ ,  $\pm 2.5V$ ,  $\pm 1.25V$ .
- Polarity: Unipolar/Bipolar, software selectable.
- A/D pacing : Internal counter, External source (A/D external pacer), Software polled.
- A/D trigger sources : External Digital (A/D start trigger in and A/D stop trigger in), External analog (analog trigger in).
- A/D triggerin modes: External Digital (Software configurable rising or falling edge), External analog (software configurable for positive negative edge), Pre-/post-Trigger samples.
- A/D conversion time: 5 $\mu$ s
- Calibration: Auto-calibration, calibration factors for each range stored on board in non-volatile RAM
- Absolute Accuracy (Range  $\pm 10V$ ):  $\pm 3.0 \text{ LSB}^4$

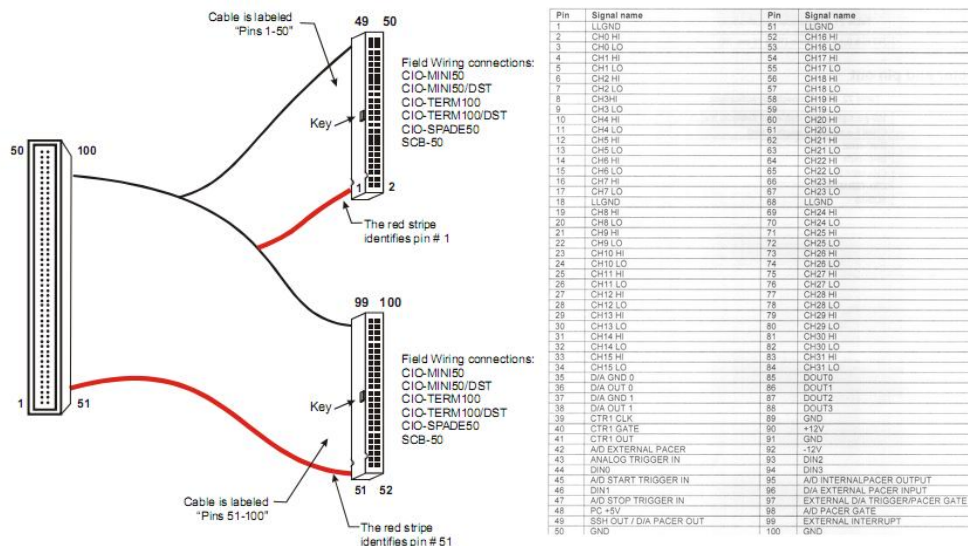


Εικόνα 3-26 DAQ Board Measurement Computing PCI DAS6402/16.

Η κάρτα τοποθετείται σε θύρα PCI του ηλεκτρονικού υπολογιστή που παρέχει ρυθμό συναλλαγής δεδομένων 33MHz και ανάλυση 32bit και εξασφαλίζει την αβίαστη και απροβλημάτιστη συνεργασία με τον υπολογιστή και το λογισμικό.

Η PCI-DAS6402/16 χρησιμοποιεί μια 100pin υποδοχή εξόδου/εισόδου η οποία συνδέθηκε μέσω του C100FF-x 100-pin καλωδίου στην τερματική κλέμα σημάτων ,Εικόνα 3-27.

<sup>4</sup> Least Significant Beat: Αναφέρεται στα τελευταία νούμερα του δυαδικού αριθμού. Άρα  $2^3=8$  επίπεδα, βάση κβαντοποίησης, είναι η ακρίβεια. Για  $\pm 10V$  και 16-bit:  $8 * (10/2^{16} = 15 * 10^{-5}) = 0.0012V$ .



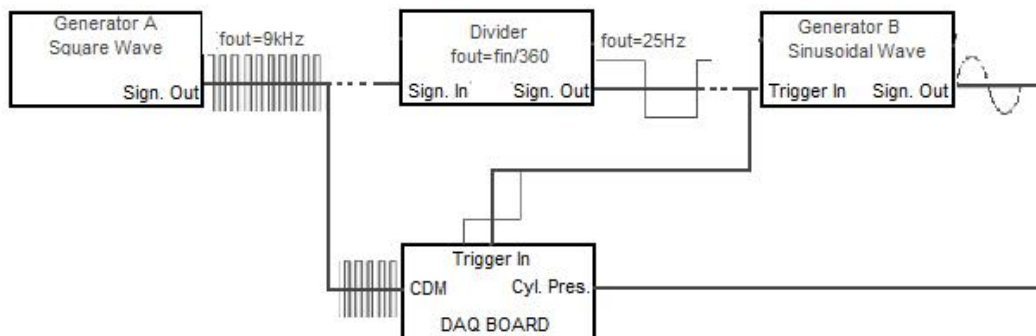
Εικόνα 3-27 Κλεμοσειρά τερματισμού σημάτων εισερχομένων στην κάρτα περισυλλογής PCI DAS6402/16.

### 3.3.3 Έλεγχος χρόνου απόκρισης κάρτας με προσομοίωση

Η κάρτα αν και με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά της έχει δυνατότητες να λειτουργήσει και σε πιο απαιτητικά συστήματα, δεν αναφέρεται πουθενά αν υπάρχουν φαινόμενα υστέρησης ή την ταχύτητα απόκρισης σε εξωτερικό χρονισμό και σκανδαλισμό (Response time). Αυτό μπορεί να προκαλέσει σφάλματα στον υπολογισμό του ΑΝΣ και θα πρέπει να διερευνηθεί. Για τον λόγο αυτό στήθηκε μια διάταξη που προσομοιάζει την λειτουργία του Angle Encoder και το αναλογικό σήμα πίεσεως κυλίνδρου του κινητήρα, για την δοκιμή της κάρτας.

#### 3.3.3.1 Διάταξη

Για τον έλεγχο αυτό χρησιμοποιήθηκε ένα κύκλωμα προσομοίωσης συγχρονισμένου σκανδαλισμού αρμονικού κύματος ακεραίων περιόδων, Εικόνα 3-28.

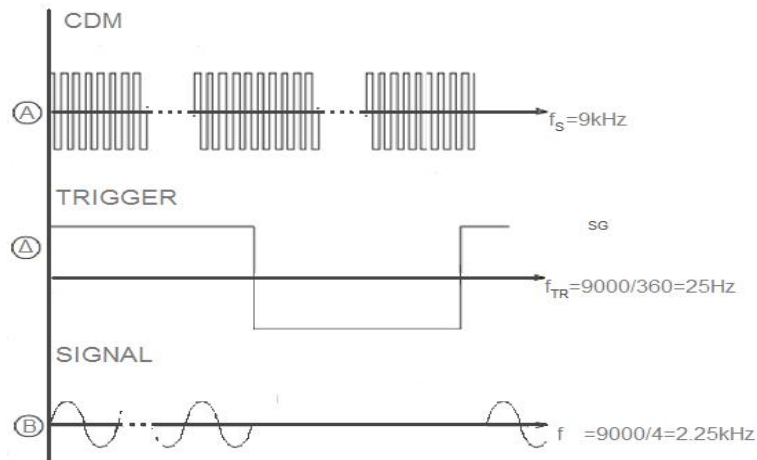


Εικόνα 3-28 Σχέδιο διάταξης προσομοίωσης των σημάτων πίεσεως κυλίνδρου, στροφαλογωνίας και TDC.

Για τις ανάγκες του ελέγχου χρησιμοποιήθηκαν δύο όργανα παραγωγής σημάτων, ενός αρμονικού κύματος και ενός παλμού, και ένας διαιρέτης, που δέχεται στην είσοδο παλμό σταθερής συχνότητας και βγάζει στην έξοδο όμοιο παλμό συχνότητας ρυθμιζόμενης από εξωτερικούς διακόπτες. Σημειώνεται ότι το ένα εκ των δυο οργάνων παραγωγής σημάτων έχει την δυνατότητα να λειτουργεί υπό τον χρονισμό εξωτερικού παλμού.

Το A όργανο παραγωγής παράγει παλμό συχνότητας **A**Hz, προσομοιώνει το σήμα CDM στροφαλογωνίας, και τερματίζεται στην ανάλογη θέση της κλεμοσειράς εισόδων της κάρτας περισυλλογής, 41-42 Εικόνα 3-27. Ο παλμός στην συνέχεια διαιρείται με έναν ρυθμιζόμενο διαιρέτη, όργανο Δ, ώστε προσομοιώνει το σήμα TRIGGER ΑΝΣ που θα τερματιστεί στην ανάλογη θέση της κλεμοσειράς εισόδων της κάρτας περισυλλογής, 43-44 Εικόνα 3-27, αλλά και στην είσοδο εξωτερικού χρονισμού του B οργάνου. Έτσι το B όργανο θα παράγει αρμονικό κύμα συχνότητας **B** Hz, μόνο τα

διαστήματα ανάμεσα στον ανερχόμενο μέχρι τον επόμενο κατερχόμενο παλμό, και το σήμα τερματίζεται στην θέση του σήματος πίεσεως εντός κυλίνδρου της κλεμοσειράς εισόδων της κάρτας. Στην Εικόνα 3-29 παρουσιάζονται τα σήματα όπως προκύπτουν από το παραπάνω κύκλωμα.



Εικόνα 3-29 Τα σήματα προσομοίωσης TDC, CDM και αρμονικό κύμα.

Σκοπός της προσομοίωσης είναι να καταγραφούν τα δεδομένα από την κάρτα περισυλλογής από το σήμα του οργάνου Β με χρονισμό του οργάνου Α και σκανδαλισμό του σήματος από την έξοδο του διαιρέτη και να συγκριθούν με το αρμονικό σήμα ως προς την συχνότητα και την φάση. Κατ' αυτόν τον τρόπο, θα διερευνηθεί η καταλληλότητα της κάρτας για το σύστημα DAQ του πειράματος η ακόμα και τυχόν σφάλματα που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για μεγαλύτερη ακρίβεια.

Οι προσαρμογή του κυκλώματος για προσομοίωση του κινητήρα σε κατάσταση λειτουργίας επιτυγχάνεται με τις εξής τιμές:

Παλμός εξόδου οργάνου Α :  $A = 1500\text{rpm}/60 \cdot 360 = 9 \text{ KHz}$ .

Παλμός εξόδου οργάνου Δ (διαιρέτης):  $\Delta = A/360 = 25 \text{ Hz}$ .

Συχνότητα εξόδου (αρμονικό κύμα) οργάνου Β<sup>5</sup>:  $B = A/4 = 2.25 \text{ KHz}$ .

### 3.3.3.2 Ανάλυση Δεδομένων

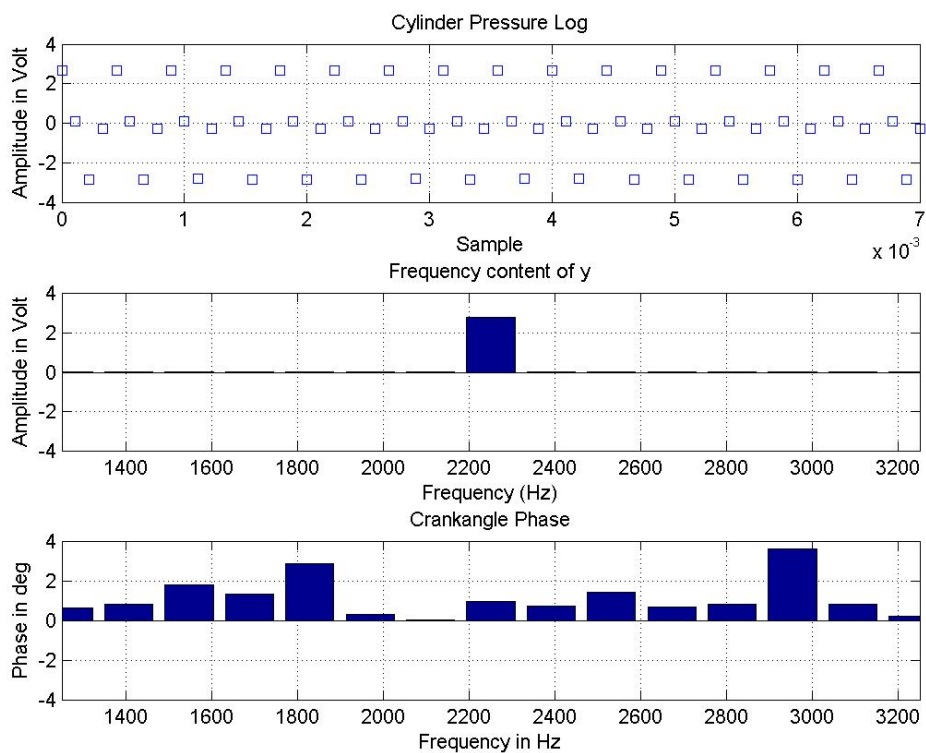
Τα δεδομένα που καταγράφηκαν από το σύστημα DAQ με την διεξαγωγή της παραπάνω διαδικασίας, Εικόνα 3-28, στην συνέχεια επεξεργάστηκαν με αλγόριθμο του προγράμματος MATLAB που σχεδιάστηκε για τον υπολογισμό της κυρίαρχης συχνότητας και της φάσης του καταγεγραμμένου σήματος. Το πρόγραμμα αρχικά κάνει χρήση του αλγορίθμου FFT, που εφαρμόζει διακριτό μετασχηματισμό Fourier στα δεδομένα, (3-4).

$$X_k = \sum_{j=1}^N x_j e^{\frac{-2\pi i}{N}(j-1)(k-1)} \quad (3-4)$$

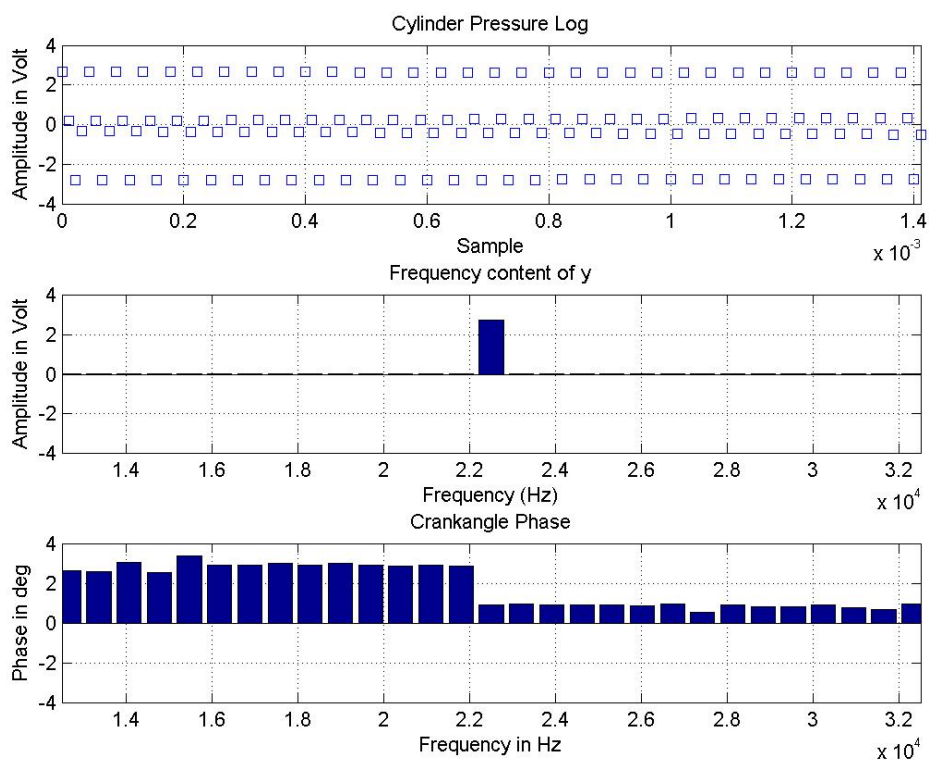
όπου  $x_j$ : Οι τιμές των δεδομένων  $j$  που καταγράφηκαν,  $N$ : Ο συνολικός αριθμός δεδομένων για μια περίοδο του σήματος προσομοίωσης του σκανδαλισμού.

Από τους μιγαδικούς  $X_k = \alpha + \beta j$ , αυτός με τη μεγαλύτερη απόλυτη τιμή  $r = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}$  αποτελεί την κυρίαρχη αρμονική του κύματος με φάση  $\theta = \text{atan}\left(\frac{\alpha}{\beta}\right)$ . Η προσομοίωση επιχειρεί να αποδείξει ότι η κυρίαρχη αρμονική θα είναι η συχνότητα του αρμονικού κύματος που παράγεται από το όργανο Α και η φάση του μηδέν.

<sup>5</sup>Επιλέγεται το  $\frac{1}{4}$  της συχνότητας του CDM προκειμένου να έχω δειγματοληψία ανά  $T/4$  της περιόδου του αρμονικού κύματος.



Εικόνα 3-30 Εύρεση φάσης αρμονικού κύματος σε συνθήκες χρονισμού προσομοίωσης στροφαλοφώνιας.



Εικόνα 3-31 Εύρεση φάσης αρμονικού κύματος 10x συχνότητα χρονισμού στροφαλοφώνιας.

Η προσομοίωση επαναλήφθηκε για συχνότητες περίπου ίδιες<sup>6</sup> των πραγματικών συχνοτήτων σε κατάσταση μόνιμης λειτουργίας του κινητήρα αλλά και για μεγαλύτερες. Τα ενδεικτικά αποτελέσματα για την προσομοίωση, αλλά και για δοκιμή με δεκαπλάσια συχνότητα του CDM, για συχνότητα παλμού TRIGGER=CDM/128 και TRIGGER=CDM/128 αντίστοιχα παρουσιάζονται στην Εικόνα 3-30, Εικόνα 3-31 αντίστοιχα.

Από τις εικόνες, διαπιστώνεται ότι αν και η κυρίαρχη συχνότητα σε κάθε περίπτωση είναι ίδια του σήματος εισόδου, υπάρχει φάση που αντιστοιχεί σε 1<sup>ο</sup> της γωνίας στροφάλου. Αυτό αποδεικνύει ότι η κάρτα PCI-DAS6402/16 αδυνατεί να καταχωρήσει την τιμή της εισόδου του καναλιού πίεσεως του κυλίνδρου που αντιστοιχεί στον ταυτόχρονο παλμό του CDM και του TRIGGER και ξεκινάει την καταγραφή από τον αμέσως επόμενο παλμό του CDM.

Κατά συνέπεια, εφόσον η κάρτα ανταπεξέρχεται ακόμα και σε μεγαλύτερες συχνότητες του CDM χωρίς πρόβλημα και η **καθυστέρηση 1<sup>ο</sup>** στο TRIGGER είναι μόνιμη και δεν διακυμαίνεται, θα ληφθεί υπ' όψη στο λογισμικό επεξεργασίας των σημάτων η καθυστέρηση αυτή και η κάρτα θα χρησιμοποιηθεί στο σύστημα περισυλλογής δεδομένων.

---

<sup>6</sup> Οι συχνότητα του παλμού CDM προσομοιώθηκε με μεγάλη ακρίβεια, όμως η διαίρεση στο όργανο Δ γίνεται με διαιρέτη κάποια δύναμη του δύο (2<sup>η</sup>) και έτσι δεν γίνεται να έχουμε διαιρέτη το 360, όπως συμβαίνει με τον παλμό του TRIGGER.



### 3.4 Μονάδες Επεξεργασίας Σήματων

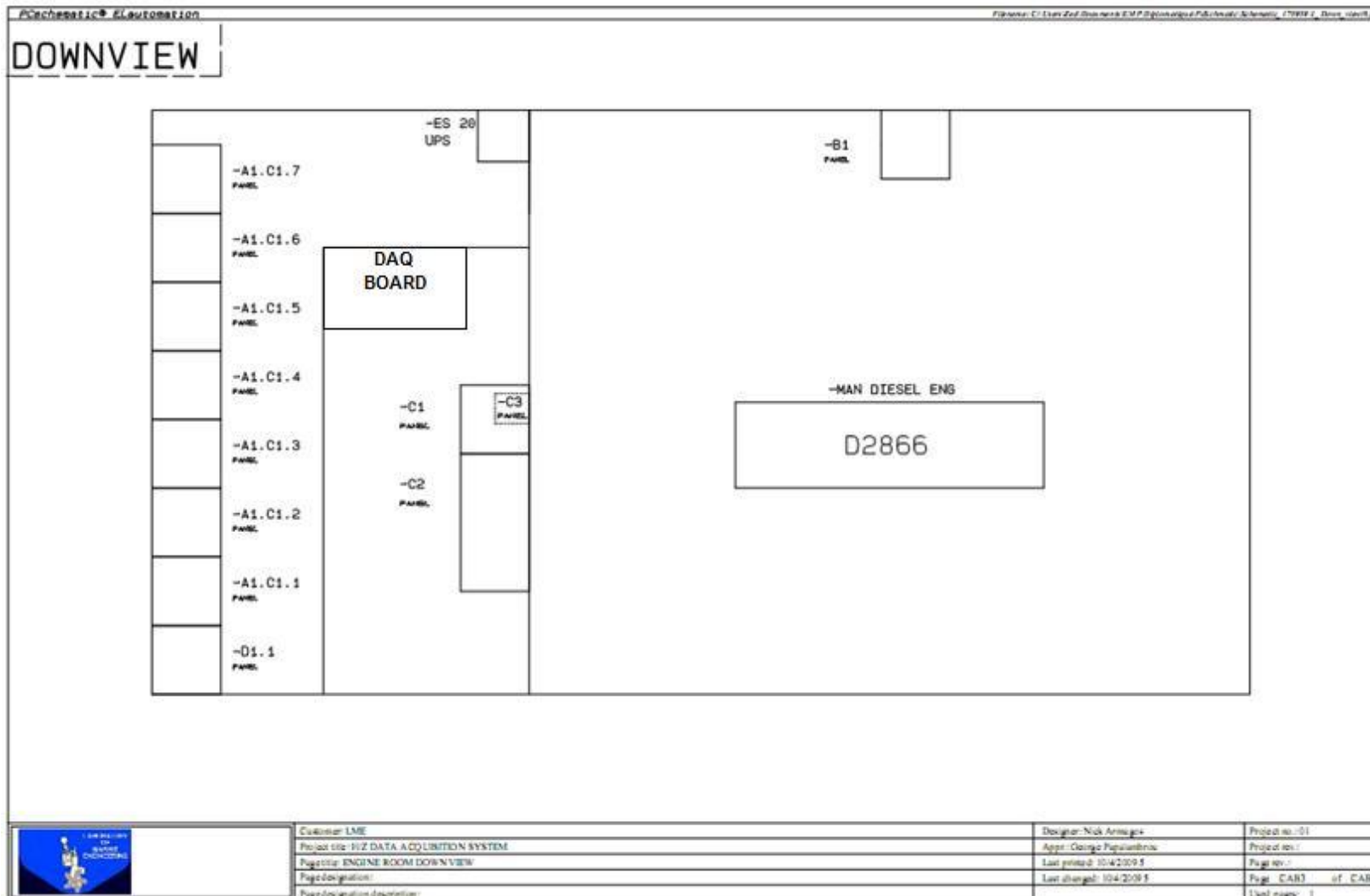
Πρόκειται για τις διεργασίες τροποποίησης ενός αναλογικού σήματος κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιεί τις απαιτήσεις το επόμενου σταδίου για περαιτέρω επεξεργασία. Στην προκείμενη εργασία, πρωταρχικός σκοπός είναι η τροποποίηση του σήματος εξόδου των αισθητήρων στη βέλτιστη μορφή προς μετασχηματισμό σε διακριτού χρόνου ψηφιακά δεδομένα από την κάρτα περισυλλογής δεδομένων PCI-DAS6402/16 . Μερικές από τις πιο βασικές απαιτήσεις στα χαρακτηριστικά του σήματος από την κάρτα είναι οι έξης [1]:

- Το σήμα εισόδου πρέπει να έχει την μορφή κυματομορφής τάσης ηλεκτρικού ρεύματος. Η διαδικασία μετατροπής του σήματος εξόδου του αισθητήρα μπορεί να συνεισφέρει και στην εξασθένιση των παρεμβολών.
- Το δυναμικό εύρος το σήματος εισόδου πρέπει να βρίσκεται πολύ κοντά στο δυναμικό εύρος της κάρτας περισυλλογής δεδομένων (να έχουν την ίδια τάση αναφοράς). Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί βελτιστοποιεί την ανάλυση του ADC και κατ' επέκταση όλου του συστήματος. Αυτή η διαδικασία συνήθως περιλαμβάνει διεργασίες όπως ενίσχυση (amplification) ή και εξασθένιση (attenuation) του σήματος.
- Πρέπει να έχουν απομακρυνθεί οι αχρείαστες συνιστώσες του σήματος. Ο 'θόρυβος' μπορεί να αφαιρεθεί με αναλογικά κυκλώματα πριν την ενίσχυση, αλλά ακόμα και μετά την ψηφιοποίηση του μέσω εφαρμογών λογισμικού.
- Πρέπει να έχει απομονωθεί (isolation) το σήμα του αισθητήρα από την ισχύ παροχής της πηγής.
- Η αντίσταση της πηγής του σήματος εισόδου πρέπει να είναι αρκετά χαμηλή ώστε οι διαφορές στην αντίσταση εισόδου του συστήματος DAQ (της κάρτας) να μην επηρεάζει το σήμα εισόδου.
- Οι συχνότητα του σήματος εισόδου πρέπει να είναι τουλάχιστον μισή από την μέγιστη συχνότητα δειγματοληψίας του ADC<sup>7</sup>. Αυτό το κομμάτι αφορά κυρίως τον σχεδιασμό και την επιλογή του εξοπλισμού καθώς δεν είναι πάντα δόκιμο να παρεμβαίνουμε στις συχνότητες του σήματος. Επίσης, συχνότητες αρκετά μεγαλύτερες αυτών τις εισόδου πρέπει φιλτράρονται και να αφαιρούνται για την αποφυγή φαινομένων όπως aliasing.

Οι διαδικασίες αυτές δεν γίνονται κατ' ανάγκη ξεχωριστά. Υπάρχουν αναλογικά κυκλώματα και εφαρμογές λογισμικού ή και ακόμα μεταδότες αισθητήρων που επεξεργάζονται το σήμα σε διάφορες φάσεις του συστήματος περισυλλογής δεδομένων και εφαρμόζουν μεθόδους όπως αυτές που αναφέρθηκαν. Οι ποικιλία αισθητήρων και των μεθόδων που χρησιμοποιούν για τη μεταβολή των ηλεκτρικών παραμέτρων είναι μεγάλη, και συνεπώς κάθε περίπτωση επιδέχεται και διαφορετική επεξεργασία σήματος.

Στην Εικόνα 3-32 παρουσιάζεται η κάτοψη του χώρου της μηχανής και του χώρου ελέγχου με τους πίνακες που τοποθετήθηκαν για την εγκατάσταση του εξοπλισμού και την οργάνωση των καλωδίων.

<sup>7</sup> Έχει ήδη προσδιοριστεί στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο.



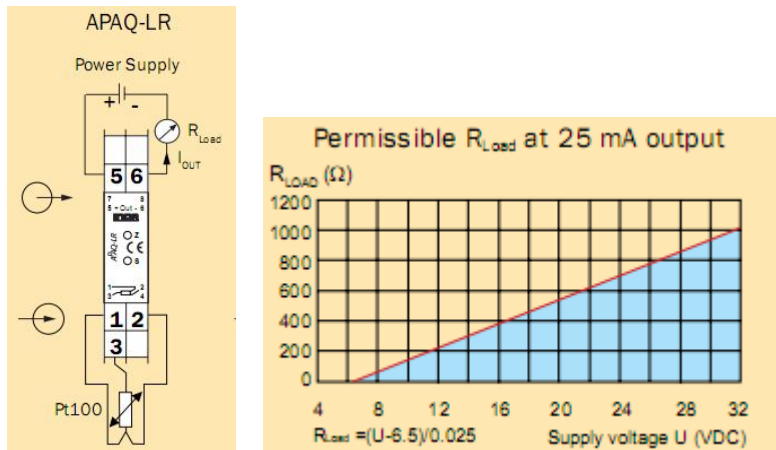
Εικόνα 3-32 Κάτοψη χώρου Η/Ζ και χώρου ελέγχου.

### 3.4.1 Επεξεργασία εγκατεστημένων σημάτων

#### 3.4.1.1 PT100A

Πρόκειται για αισθητήρια που προκαλούν μεταβολή της αντίστασης λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας. Επομένως η ηλεκτρική παράμετρος που μεταβάλλεται είναι αντίσταση και αυτό επιτάσσει την εφαρμογή ενός ρεύματος διέγερσης. Εφόσον διεγείρεται όμως από ρεύμα, στην αντίσταση του PT100 θα συνυπολογιστεί και η αντίσταση του καλωδίου. Αν η αντίσταση του καλωδίου είναι μεγάλη ή ο συντελεστής θερμοηλεκτρικής μεταβολής της αντίστασης του είναι μεγάλος τότε θα προκαλέσει παρεμβολές στο σήμα.

Αυτό το πρόβλημα, στα PT100 τριών καλωδίων (όπως τα PT100A που χρησιμοποιούνται) αντιμετωπίζεται με την παρεμβολή ενός αναλογικού μεταδότη INOR APAQ-LR, Εικόνα 3-33, που τοποθετήθηκε στο Panel -B1, Εικόνα 3-32.



Εικόνα 3-33 (Αριστερα) INOR APAQ-LR Transmitter, (Δεξια) Αποδεκτό φορτίο στην είσοδο

Πρόκειται για μεταδότη, ειδικά σχεδιασμένο που στην είσοδο του δέχεται σήμα από PT100 τριών καλωδίων, αφαιρεί την αντίσταση του καλωδίου και στην έξοδο του βγάζει γραμμικό σήμα θερμοκρασίας 4-20mA. Το εύρος της θερμοκρασίας είναι ρυθμιζόμενο και για τους αισθητήρες πριν και μετά το Intercooler Πίνακας 3-2 [2]TICIN,[3]TICOUT το εύρος ρυθμίζεται από 0-200° C.

Το σήμα αυτό θα οδηγηθεί στην κάρτα περισυλλογής δεδομένων PCI-DAS6402/16.

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Είσοδος (Input):
  - Pt100 ( $\alpha = 0.00385$ ), 3-wire connection: 0-200° C.
  - Sensor current: ~ 1 mA.
  - Max. sensor wire resistance: 15 Ω/wire.
- Εξοδος (Output):
  - Ρεύμα (Current): 4 - 20 mA.
  - Γραμμικότητα (Linearity): Temperature linear.
  - Περιορισμός Ρεύματος (Current limitation): ~ 25 mA.
  - Αποδεκτό Φορτίο (Permissible load): Εικόνα 3-33, 700 Ω @ 24 VDC, 25.
- Παροχή (Power Supply): Supply voltage 6.5 to 32 VDC.

### 3.4.1.2 WIKA PT100

Στο PT100 μέτρησης θερμοκρασίας εξαγωγής αέρα από το δωμάτιο του κινητήρα, Πίνακας 3-2 [6] TROUT, είναι προσαρτημένος στην κεφαλή του αισθητηρίου μεταδότης WIKA T19 και δεν απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία του σήματος (4-10mA). Το σήμα οδηγείται σε ψηφιακό όργανο ένδειξης τεσσάρων ψηφίων GREISINGER GIA 1000NS στο CONTROL PANEL , , και όχι στην κάρτα περισυλλογής δεδομένων. Το όργανο αυτό στην είσοδο παροχής ρεύματος δέχεται 220VAC.

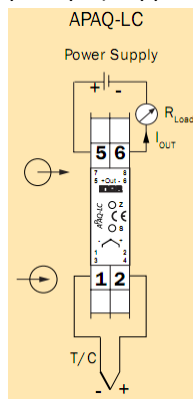


Εικόνα 3-34. Ψηφιακό όργανο GREISINGER GIA 1000NS Ενδειξης.

### 3.4.1.3 Thermocouple

Πρόκειται για αισθητήρια που προκαλούν μεταβολή του δυναμικού (θερμοηλεκτρική ισχύς) λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας και βασίζονται πάνω στο φαινόμενο του Seebeck. Η θερμοηλεκτρική ισχύς κυμαίνεται από -5 - 40μV. Συνεπώς, τα θερμοζεύγη δημιουργούν δικό τους σήμα και δεν χρειάζονται διέγερση. Η έξοδος τους παρουσιάζει μη-γραμμική συμπεριφορά σε σχέση με την μετρούμενη θερμοκρασία, όμως κάθε τύπος έχει την δικιά του μη γραμμική χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας.

Για την επεξεργασία του σήματος αυτού, θα χρησιμοποιηθεί ο μεταδότης INOR APAQ-LC, εικόνα Εικόνα 3-35, που τοποθετήθηκε στο Panel -B, Εικόνα 3-32. Πρόκειται για μεταδότη ειδικά σχεδιασμένο που στην είσοδο του δέχεται σήμα από θερμοζεύγους 5 διαφορετικών τύπων, με εσωτερική αντίσταση 500Ω και στην έξοδο του βγάζει γραμμικό σήμα θερμοκρασίας 4-20mA. Ο μεταδότης ρυθμίστηκε ώστε να συνεργάζεται με τον Thermocouple τύπου K που μετρά την θερμοκρασία καυσαερίων, Πίνακας 3-2 [5], με εύρος θερμοκρασιών 0-600° C.



Εικόνα 3-35 INOR APAQ-LC Transmitter

Το σήμα αυτό θα οδηγηθεί στην κάρτα περισυλλογής δεδομένων PCI-DAS6402/16.

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Είσοδος(Input):
  - Thermocouple: type κ, range:0-600° C.
  - Input impedance: > 5 mΩ.
- Εξοδος (Output):
  - Σήμα (Current): 4 - 20 mA.
  - Γραμμικότητα (Linearity): Voltage linear.
  - Αποδεκτό Φορτίο (Permissible load): Εικόνα 3-33, 700 Ω @ 24 VDC, 25.
- Παροχή (Power Supply): Supply voltage 6.5 to 32 VDC.

#### 3.4.1.4 RHEONIK MASSFLOW-METER RHM 03 GNT

Για την μέτρηση του καυσίμου έχουν εγκατασταθεί τρία όργανα. Ενας μεταδότης RHM 03 GNT που έχει τοποθετηθεί στο δωμάτιο του κινητήρα, μια ηλεκτρονική μονάδα RHE 02, Εικόνα 3-36, επεξεργασίας του σήματος και παρουσίασης των μετρήσεων και ρύθμισης των παραμέτρων λειτουργίας και μία επιπρόσθετη μονάδα εξόδου σημάτων DZ 03 που παρέχει εξόδους αναλογικών σημάτων για όλες τις λειτουργίες και τους υπολογισμούς της ηλεκτρονικής μονάδας. Ολα είναι του ιδίου κατασκευαστή RHEONIK και συνεργάζονται απόλυτα και βρίσκονται στο Panel –C2, στο δωμάτιο ελέγχου, Εικόνα 3-32.



Εικόνα 3-36 Rheonik RHE 02 Mass/Flow.

Τεχνικά χαρακτηριστικά RHE 02, DZ 03

- Εύρος Λειτουργίας (Flow Range): 0.1 ... 0.99 kg/min.
- Σήμα Εξόφου (Analog Output): 4-20mA.
- Παροχή (Power Supply): 220V AC.

Το σήμα αυτό θα οδηγηθεί στην κάρτα περισυλλογής δεδομένων PCI-DAS6402/16.

#### 3.4.1.5 VELOCITY TRANSMITTER EE65

Είναι μεταδότης αποβολής αέρα (μέτρηση ταχύτητας) από τον αεραγωγό του δωματίου του κινητήρα, Πίνακας 3-2 [9] FROUT. Το σήμα που εξέρχεται του μεταδότη δεν χρειάζεται επεξεργασία του σήματος (4...20mA) και καταλήγει σε ψηφιακό όργανο ένδειξης τεσσάρων ψηφίων GREISINGER GIA 1000NS, Εικόνα 3-34, στο panel –C2, στο δωμάτιο ελέγχου, Εικόνα 3-32.

Τεχνικά χαρακτηριστικά

- Working Range: 0...20m/s
- Output Signal: 4...20mA
- Power Supply: 0...24 VAC/DC  $\pm$ 20%

#### 3.4.1.6 GREAT LAKES

Είναι η ηλεκτρονική μονάδα που παραλαμβάνει το σήμα του μετρητή παροχής νερού του δευτερεύοντος, Πίνακας 3-2 [8] FTC. Ο παλμός που από την έξοδο του GLI F1A11A1 εισέρχεται στο GREAT LAKES Monitor 675F Flow Monitor/Totalizer, Εικόνα 3-9, στο Panel –C2, στο δωμάτιο ελέγχου, Εικόνα 3-32.



Εικόνα 3-37 Great Lakes 675F Flow Monitor/Totalizer.

Το όργανο, Εικόνα 3-37, έχει δυο ενδείξεις, αυτή της ροής σε πραγματικό χρόνο και του αθροίσματος της συνολικής παροχής και δέχεται στην είσοδο του το σήμα εξόδου του μετρητή ροής με στροφέιο.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

- Σήμα εισόδου (Input Signal) : GLI αισθητήρα ροής με στροφέιο.
- Ακρίβεια (Accuracy):  $\pm 1\%$  του εύρους λειτουργίας (0.3...9m/s).
- Παροχή Ρεύματος (Power Supply): 220VAC.

#### 3.4.1.7 Kistler 6121A1 Quartz Pressure Transducer

Είναι μεταδότης πίεσης που έχει τοποθετηθεί στον 6<sup>ο</sup> κύλινδρο του MAN D 2866LE, πίνακας Πίνακας 3-2 [12] PCYL. Η λειτουργία του βασίζεται στην ιδιότητα του χαλαζία να δημιουργεί ηλεκτρικό φορτίο ανάλογο της πίεσης που του ασκείται (πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο). Όπως αναφέρθηκε στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο, η ευαισθησία του αισθητηρίου είναι περίπου  $-14\text{pC}/\text{bar}$  και το σήμα που εξέρχεται του μεταδότη πρέπει να επεξεργαστεί καταλλήλως. Θα χρησιμοποιηθεί ένας ενισχυτής φορτίου Kistler charge amplifier Type 500z, Εικόνα 3-38, που μετατρέπει το φορτίο που παράγεται από έναν πιεζοηλεκτρικό μεταδότη σε ανάλογο ηλεκτρικό σήμα. Αφού προσαρμοστεί στον συνδεδεμένο μεταδότη, επιτρέπει την εργασία με καθορισμένες κλίμακες ταξινομημένες  $1,2,5 \times 10^n$  bar ανά Volt. Ο ενισχυτής λειτουργεί σε δυο στάδια, αρχικά μετατρέπει το φορτίο που εφαρμόζεται από τον μεταδότη σε ανάλογη τάση ηλεκτρικού ρεύματος και έπειτα την τάση εξόδου, με έναν ενισχυτή, την μετατρέπει (ενισχύει) στη καθορισμένη κλίμακα.



Εικόνα 3-38 Ενισχυτής σήματος πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα.

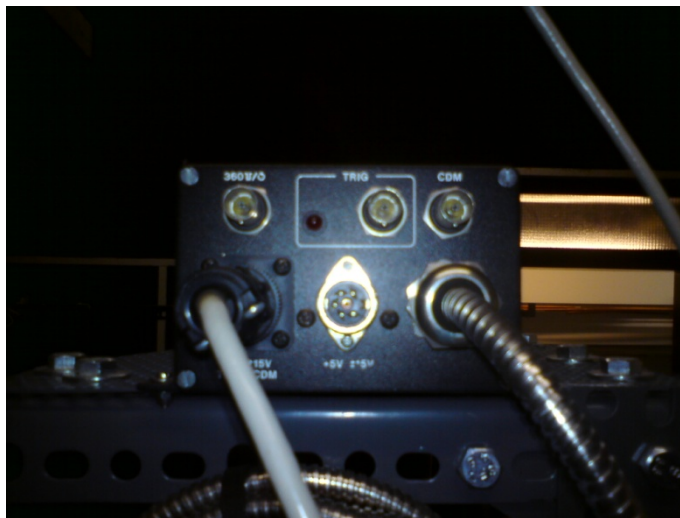
Το σήμα αυτό θα οδηγηθεί στην κάρτα περισυλλογής δεδομένων PCI-DAS6402/16.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

- Εύρος Λειτουργίας (Measuring Range): (12 stages graded 1,2,5 and 1 to 10):  $\pm 10 \dots 500,000.0 \text{ } \mu\text{C}$
- Ευαισθησία Μεταδότη (Transducer sensitivity) 5 decades, adjustable between:  $0.1 \dots 11,000.0 \text{ } \mu\text{C}/\text{bar}$
- Ακρίβεια (Accuracy)
  - of two most sensitive ranges:  $\pm 3\%$
  - of other ranges:  $\pm 1\%$
- Σήμα εξόδου (Output Signal):  $-10 \dots 10\text{V}$
- Παροχή (Supply Voltage):  $220/110 \pm 20\% \text{V}$

#### 3.4.1.8 AVL 364 Angle Encoder

Τα οπτικά σήματα που παράγονται από τις αντανάκλασεις της υπέρυθρης ακτινοβολίας πάνω στον σηματομενόμενο δίσκο και μεταφέρονται στον μεταδότη παλμών AVL 3064Z02 Pulse Converter που βρίσκεται στο πλαίσιο του κινητήρα και μετασχηματίζονται σε ηλεκτρικό παλμό σήμα. Το ένα (CDM) κωδικοποιεί τις μοίρες τις στροφαλογωνίας και το δεύτερο (Trigger) έχει συγχρονιστεί με το άνω νεκρό σημείο. Το εύρος των σημάτων δεν έχει σημασία, αφού η συχνότητα τους και οι ανερχόμενες/κατερχόμενες ακμές φέρουν τις πληροφορίες που θα χρειαστούν. Τα σήματα της εξόδου Angle Marker του κωδικοποιητή δεν χρειάζονται περαιτέρω επεξεργασία πριν τερματιστούν στην PCI-DAS6402/16. Τα σήματα αυτά θα οδηγηθούν στην κάρτα περισυλλογής δεδομένων PCI-DAS6402/16, το σήμα 'σκανδαλισμού' (Trigger) τερματίζει στην κλέμα εισόδου ANALOG TRIGGER IN και το σήμα στροφαλοφωνίας (CDM) στην κλέμα εισόδου A/D EXTERNAL PACER, Εικόνα 3-27.



Εικόνα 3-39 Φωτογραφία του AVL 3064Z02 Pulse converter.

Τεχνικά χαρακτηριστικά μετατροπέα παλμών:

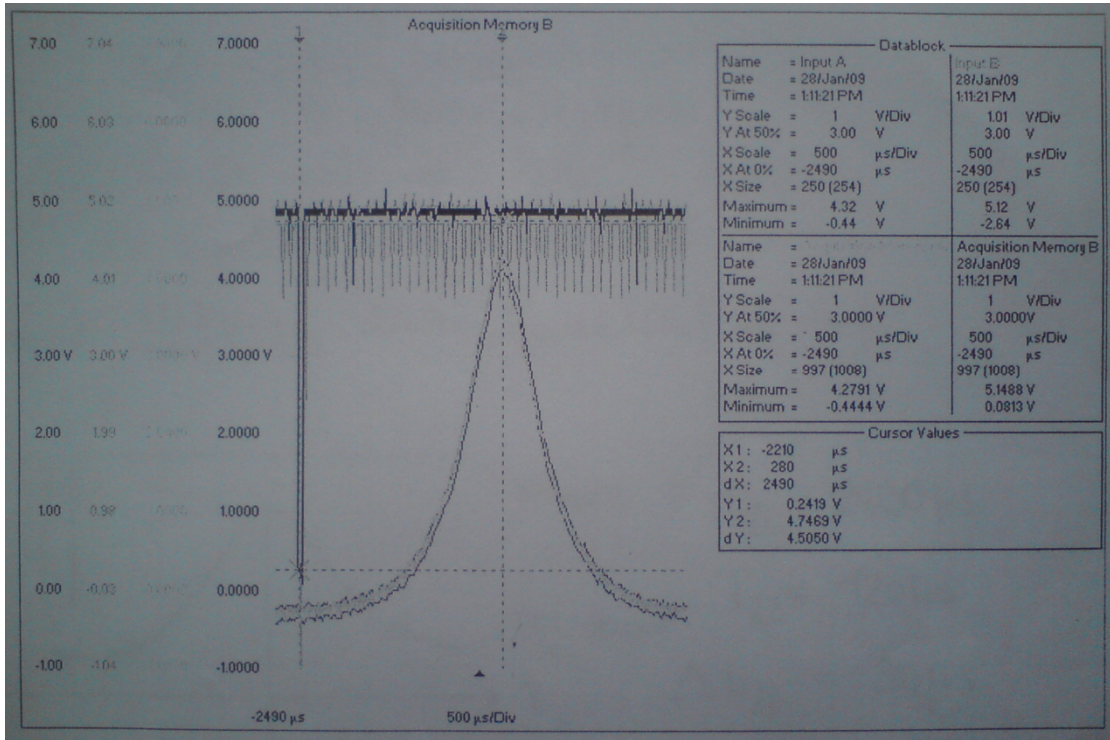
- Ακρίβεια σε δυναμική λειτουργία (for pulse converter with encoder):  
 $\Delta\phi < \pm 0.05^\circ \text{ C at } \Delta n = 600 \dots 6000 \text{rpm}$
- Εξοδος CDM (Angle marker output)  
Connection: pin7 from  $\pm 5\text{V} \pm 15\text{V}$  TRIG CDM socket  
Pulse from: 720 unbalanced square-wave pulse/rev  
Resolution:  $0.5^\circ$  crank angle
- Εξοδος TRIGGER (Trigger Output)  
Connection: pin8 from  $\pm 5\text{V} \pm 15\text{V}$  TRIG CDM socket  
Pulse from: 1 square-wave pulse/rev

Pulse duration: Pulse begins with a negative CDM edge and ends with the next negative CDM edge.

- Παροχή (Power Supply)  
 Connection TRIG CDM socket, pin1 +15V  
 Connection TRIG CDM socket, pin4 -15V  
 Connection TRIG CDM socket, pin2 +5V  
 Connection TRIG CDM socket, pin6 Ground

Προκύπτει όμως το ζήτημα της θέσης του πραγματικού ΑΝΣ σε σχέση με το αντίστοιχο σημάδι στον δίσκο και της επεξεργασίας του σήματος TRIGGER ώστε να συμπίπτουν. Για την επίτευξη αυτού πρέπει να χρησιμοποιηθεί ο αισθητήρας ΑΝΣ.

Με την παράλληλη καταγραφή παλμού από τον AVL 364 Angle encoder, και του αναλογικού σήματος από τον AVL 428 TDC-sensor θα μετρηθεί η διαφορά φάσεως ανάμεσα στον κατερχόμενο παλμό του σήματος TRIGGER και του μέγιστου των τιμών του σήματος ΑΝΣ. Στην Εικόνα 3-40 παρουσιάζεται ταυτόχρονη απεικόνιση των δυο στο πεδίο του χρόνου όπως καταγράφηκε από το ψηφιακό πολύμετρο FLUKE (Αρχείο FlukeView: D2866\_FlukeTDCfine.fvf).



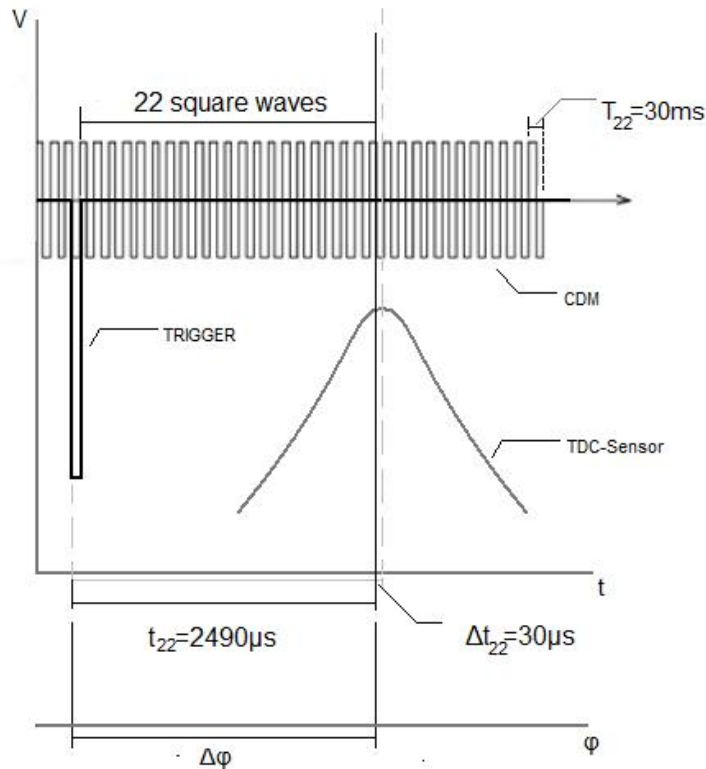
Εικόνα 3-40 Διαφορά φάσης Παλμού TRIGGER και σήματος αισθητηρίου TDC.

Από το αρχείο έχουμε δεδομένα  $t_{22}=2490\mu s$ ,  $T_{22}=120\mu s$ ,  $\Delta t_{22}=30\mu s$ , Εικόνα 3-41. Επομένως:

$$\Delta\varphi = 22deg + \frac{\Delta t_{22}}{T_{22}} \times 1deg = 22deg + \frac{30\mu s}{120\mu s} \times 1deg = 22deg + \frac{1}{4}deg \Rightarrow \Delta\varphi = 22\frac{1}{4}deg$$

και η φάση αυτή θα συμπεριληφθεί στο σήμα της στροφαλοφωνίας στο πρόγραμμα υπολογισμού του θερμικού ισοζυγίου.





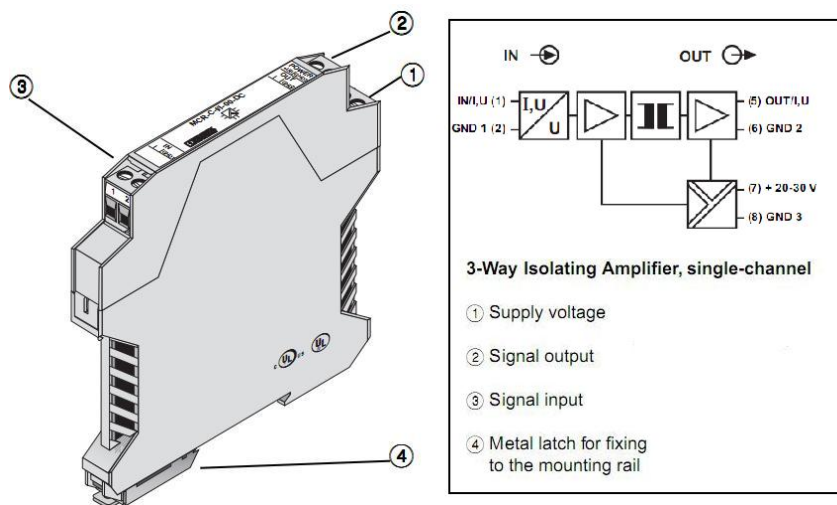
Εικόνα 3-41 Ανάλυση του αρχείου Fluke.

### 3.4.2 Isolators

Στα σήματα, από τα παραπάνω, που θα καταλήξουν στην PCI-DAS6402/16 παρεμβάλλεται ένας απομονωτής (isolator) αναλογικού σήματος. Είναι όργανα της PHEONIX CONTACT και λειτουργούν ως μετατροπέας-ενισχυτής-απομονωτής. Μετατρέπουν το ρεύμα 4-20mA εξόδου σε τάση 0-10V, παρέχει την ισχύ παροχής στο κύκλωμα εισόδου, απομονώνει το σήμα εξόδου από την ισχύ παροχής. Τα όργανα αυτά έχουν τοποθετηθεί στο Panel -C2, Εικόνα 3-32.

#### 3.4.2.1 MCR-C-I/U-0-DC

Για τα σήματα TICIN, TICOUT, ΠΤΟΥΤ, FTENG, JENG χρησιμοποιούνται τα Phoenix Contact μοντέλο MCR-C-I/U-0-DC, Εικόνα 3-42.



Εικόνα 3-42 Isolator MCR-C-I/U-0-DC

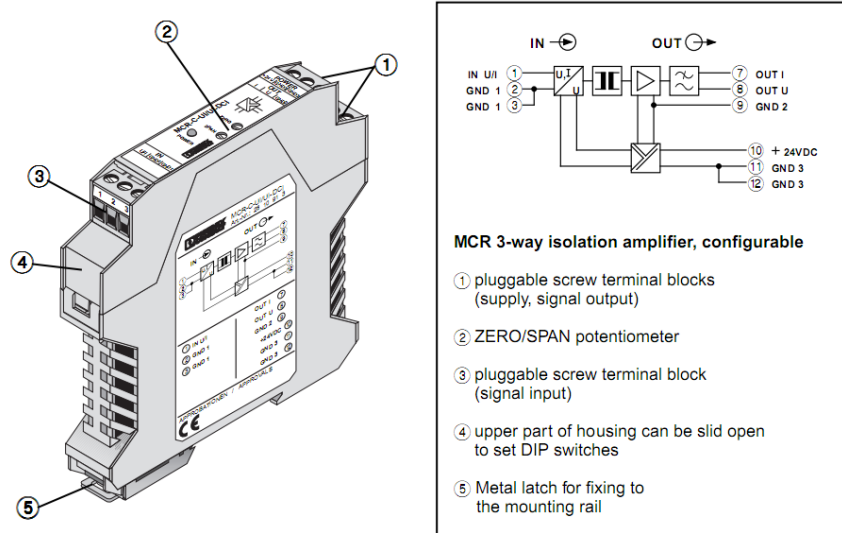
Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά είναι τα εξής:

- Σήμα Εισόδου (Input Signal): 0 ... 20mA.

- Αντίσταση Εισόδου (Input Resistance): 50Ω.
- Σήμα εξόδου (Output Signal): 0 ... 10V.
- Παροχή (Supply Voltage): 20 V DC.
- Γραμμικότητα σε Φορτία (Load Linear (In relation to the end value)): -110 ... 110 %.

### 3.4.2.2 MCR-C-UI-UI-DCI

Για το σήμα DP θα χρησιμοποιηθεί το Phoenix Contact μοντέλο MCR-C-UI-UI-DCI, Εικόνα 3-43.



Εικόνα 3-43 Isolator MCR-C-UI-UI-DCI

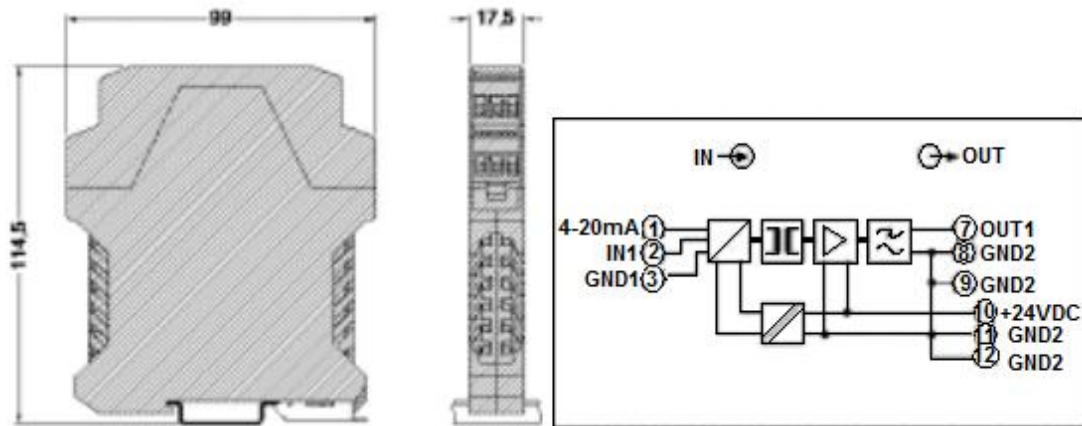
Το MCR διαθέτει διακόπτες (DIP switches) που επιτρέπουν την επέμβαση στους ενισχυτές και απομονωτές (isolator amplifiers) της εισόδου και εξόδου δίνοντας την δυνατότητα για 200 διαφορετικές λειτουργίες. Το όργανο ρυθμίστηκε έτσι ώστε να μετασχηματίζει το ρεύμα 4-20mA της εξόδου του YAMATAKE STD-E1H σε τάση 0-10V.

Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά είναι τα εξής:

- Σήμα Εισόδου (Input Signal): 0 ... 20mA.
- Αντίσταση Εισόδου (Input Resistance): 50Ω (at I input).
- Σήμα Εισόδου (Output Signal): 0 ... 10V.
- Παροχή (Supply Voltage): 18...30 V DC.
- Γραμμικότητα σε φορτία (Load Linear (In relation to the end value)): -110 ... 110 %.

### 3.4.2.3 MCR-CPS-I-I-44-E

Για τα σήματα PICOUT, PICIN θα χρησιμοποιηθούν το Phoenix Contact μοντέλο MCR-CPS-I-I-44-E, Εικόνα 3-44.



Εικόνα 3-44 Isolator MSC-CPS-I-I44-E

Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά είναι τα εξής:

- Σήμα Εισόδου (Input Signal): 4...20mA.
- Σήμα Εξόδου (Output Signal): 4...20mA
- Παροχή (Supply Voltage): 20...30 V DC.
- Σφάλμα Μετάδοσης (Transmission error): <0.1 %.

Το μοντέλο αυτό δεν μετασχηματίζει το σήμα εισόδου σε σήμα τάσης εύρους 0...10V όπως γινόταν με τα προηγούμενα. Αυτό επιτυγχάνεται εύκολα αν παρεμβληθεί στις εξόδους του MCR μια αντίσταση. Επιλέγεται αντίσταση 250Ω και το σήμα στην έξοδο του MCR υπολογίζεται:

$$I = \frac{V}{R} \Rightarrow V = (4 \dots 20) \times 10^{-3} \times 250 = (1 \dots 5)V$$

Χαρακτηριστικά σήματος:

- Εύρος Λειτουργίας (Working Range): 0...6bar.
- Σήμα εξόδου (Output Signal): 1...5V.

Το σύνολο των πληροφοριών (σημάτων) που περισυλλέγονται είναι ηλεκτρικά σήματα που καταλήγουν στην κάρτα περισυλλογής, είτε στα ενδεικτικά ψηφιακά όργανα είτε φυσικά όργανα μέτρησης.

	Signal Symbol	Sensor/Transmitter		Signal After Sensor	Signal Cond/ing Electronic Unit		Signal After Electr. Unit	Isolator		After Isolator	Terminal
		instrument	Supply V.		instrument	Supply V.		instrument	Supply V.		
1	TICIN	PT100A	-	Resistance	INOR,APAO-LR	6.5-32VDC	4-20mA	MCR-C-I/U-0-DC	20-30VDC	2-10V	PCI-DAS6402/16
2	TICOUT	PT100A	-	Resistance	INOR,APAO-LR	6.5-32VDC	4-20mA	MCR-C-I/U-0-DC	20-30VDC	2-10V	
3	TTOUT	Thermocouple K	-	10-80mV	INOR,APAO-LC	6.5-32VDC	4-20mA	MCR-C-I/U-0-DC	20-30VDC	0-10V	
4	PCYL	Kistler,6121A1	-	-14pC/bar	Kistler,5007 Amp.	240 VAC	Adjustable	-	-	-	
5	DP	YAMATAKE,STD-E1H	220 VAC	4-20mA	-	-	4-20mA	MCR-C-UI-UI-DCI	18-30VDC	0-10V	
6	FTENG	RHEONIK,RHM03GNT	220 VAC	Pulse Signal	RHEONIK,RHE02	-	4-20mA	MCR-C-I/U-0-DC	20-30VDC	2-10V	
7	PICIN	DRUCK,PTX1400	9-28 VDC	4-20mA	-	-	4-20mA	MCR-CPS-I-I-44-E	20-30VDC	1-5V	
8	PICOUT	DRUCK,PTX1400	9-28 VDC	4-20mA	-	-	4-20mA	MCR-CPS-I-I-44-E	20-30VDC	1-5V	
9	JENG	Powerlogic,PM800	220 VAC	4-10mA	-	-	4-20mA	MCR-C-I/U-0-DC		0-10V	
10	ANGENC	AVL,Angle Enc. 364	+15V,-15V,+5V	Pulse sign.	-	-	Pulse Signal	-	-	-	
11	TF	RHEONIK,RHM03GNT	220 VAC	-	RHEONIK,RHE02	-	-	-	-	-	CONTROL PANEL INDIC.
12	FTC	GLI F1A11A1	4-20mA	Pulse Sign.	Great Lakes 675F	220 VAC	-	-	-	-	
13	TROUT	PT100	-	4-20mA	GREISINGER,GIA 1000NS	230 VAC	-	-	-	-	
14	FTR	AIR/VELOCITY TRANS/TER EE65	24 VDC	4-20mA	GREISINGER,GIA 1000NS	230 VAC	-	-	-	-	
15	TDC	AVL,TDC-428	-	Voltage	FLUKE	Bat.	-	-	-	-	
16	PIN	Στήλη Νερού.	-	-	-	-	-	-	-	-	PHYSICAL INSTR.
17	TWIN	SIKA	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	TWOUT	SIKA	-	-	-	-	-	-	-	-	
19	TRIN	Mercury Therm/ter	-	-	-	-	-	-	-	-	

Πίνακας 3-3 Σήματα συστήματος έως το τερματικό.

### 3.5 Παροχή Ρεύματος

Οι ανάγκες ρεύματος παροχής όπως προκύπτουν από τον Πίνακα 3-3, για όλο τον εξοπλισμό της εγκατάστασης είναι οι εξής:

- 220 VAC
- 24 VDC
- -15,+15 VDC
- +5VDC

Από το δίκτυο της ΔΕΗ άμεσα τροφοδοτούνται τα όργανα με απαιτήσεις παροχής 220VAC, ενώ οι υπόλοιπες ανάγκες καλύπτονται μέσω μετασχηματιστών που εγκαταστάθηκαν στο Panel –C3, Εικόνα 3-32.

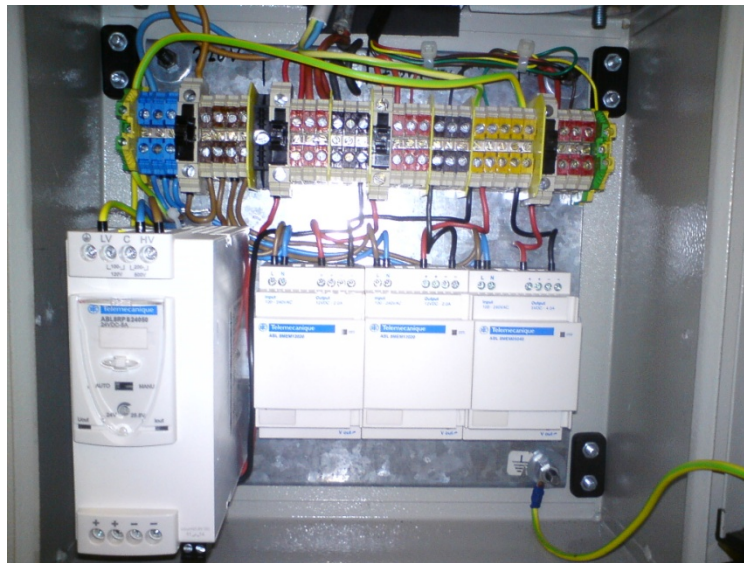
Για τις παροχές -15,+15VDC και +5VDC των αναγκών του AVL Angle Encoder 364, χρησιμοποιήθηκαν μετασχηματιστές της Telemecanique της σειράς ABL -8MEM. Τα μοντέλα με τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά τους είναι τα εξής:

- **8MEM12020:**  $V_{out} = 12V$ ,  $I_{out}=2A$ , διαθέτει ρυθμιστή τάσεως εξόδου και έχει ρυθμιστεί για έξοδο  $V_{out} = 15V$ .
- **8MEM05040:**  $V_{out} = 5V$ ,  $I_{out}=4A$ .

Για την παροχή 24VDC χρησιμοποιήθηκε μετασχηματιστής της Telemecanique

- **ABL -8RP824050:**  $V_{out} = 24V$ ,  $I_{out}=5A$ .

Οι μετασχηματιστές παρουσιάζονται στην Εικόνα 3-45.



Εικόνα 3-45 Φωτογραφία Πίνακα C3 με τους μετασχηματιστές Ρεύματος.

### 3.6 Καλωδίωση

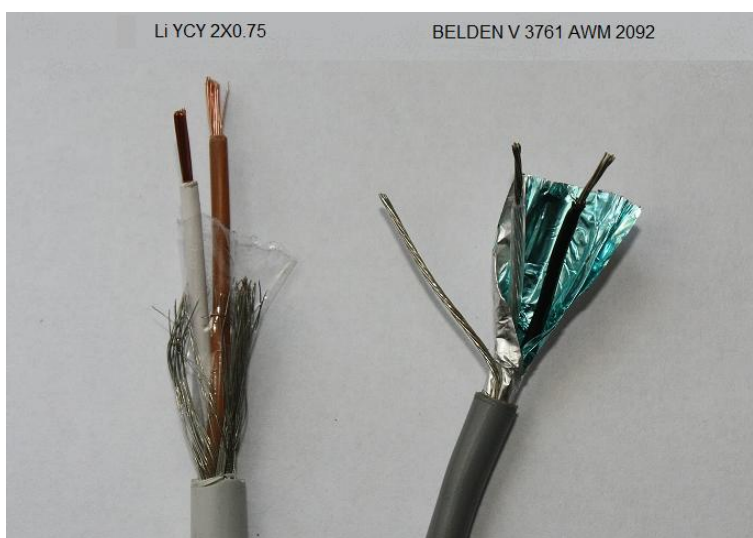
Τα σήματα μεταφέρονται δια μέσω καλωδίων από τα αισθητήρια έως και το δωμάτιο ελέγχου όπου και τερματίζονται στην κάρτα περισυλλογής δεδομένων είτε σε άλλες ηλεκτρονικές μονάδες. Η καλωδίωση που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να διασφαλίζει την προστασία του σήματος από εξωγενείς παράγοντες και την σταθερή συμπεριφορά στις περιβαλλοντικές συνθήκες που αναπτύσσονται.

Για εργονομία και διευκόλυνση της εργασίας, τα καλώδια δρομολογούνται όλα μαζί σε πίνακες-σταθμούς. Ο σχεδιασμός αυτός επιτάσσει την χρήση καλωδίων με μεταλλική επικάλυψη (shield) που θα απορροφά την ακτινοβολία των σημάτων που φέρουν ώστε να μην ακτινοβολούν και επηρεάζουν συγκοινωνούντα σήματα αλλά και για προστασία από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που αναπτύσσεται από άλλα καλώδια σημάτων ή καλώδια τροφοδοσίας ή στον περιβάλλοντα χώρο. Επίσης, επιβάλλεται να περιβάλλονται από πλαστική (μη αγώγιμη) επικάλυψη προς αποφυγής παρεμβολών λόγω επαφής πχ. διαφορετικών καλωδίων.

Τα καλώδια που χρησιμοποιήθηκαν είναι σχεδιασμένα ειδικά για συστήματα μεταφοράς δεδομένων και ελέγχου με χαμηλή χωρητικότητα (capacitance) εξαιρετική προστασία από τα εξωτερικά ηλεκτρικά πεδία για μείωση του θορύβου.

Χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω καλώδια:

- Li YCY 2X0.75 : Ελαστικό καλώδιο, με δυο αγωγούς χάλκινους αγωγούς διαμέτρου 0.75mm, μονωμένους με PVC και προστατευτική επικάλυψη από πλεξούδα χαλκού μέσα σε περίβλημα από PVC.
  - Εύρος Θερμοκρασιών λειτουργίας: -30...+70° C.
  - Μέγιστη Τάση Λειτουργίας (όχι για παροχή ισχύος): 250V.
  - Αμοιβαία Χωρητικότητα: 120nF/Km.
  - Αντίσταση Μόνωσης: 20MΩ/Km.
- BELDEN V 3761 AWM 2092: Ελαστικό καλώδιο, με δύο χάλκινους αγωγούς, μονωμένους με Πολυαιθυλένιο και προστατευτική επικάλυψη από ταινία αλουμινίου μέσα σε περίβλημα PVC.
  - Εύρος Θερμοκρασιών λειτουργίας: -20...+75° C.
  - Μέγιστη Τάση Λειτουργίας (όχι για παροχή ισχύος): 300V.
  - Αμοιβαία Χωρητικότητα: 49pF/Km.
  - Αντίσταση Μόνωσης: 20MΩ/Km.
  - Αντίσταση Μόνωσης: 9.5Ω/1000ft.



Εικόνα 3-46. Καλώδια (Αριστερά) LiYCY και (Δεξιά)Belden V 3761 AWM 2092.

### 3.7 Βαθμονόμηση

Ο Πίνακας 3-3 εμπεριέχει το εύρος διακύμανσης της ηλεκτρικής τάσης για κάθε αισθητήριο και τα εύρη μετρήσεων των φυσικών παραμέτρων που μετρώνται από αυτά. Από αυτά υπολογίζονται οι τιμές της *Αρχικής Τιμής (Offset)* και *Κέρδους (Gain)* που θα χρειαστούν για τον υπολογισμό των φυσικών μεγεθών από το λογισμικό που θα επεξεργάζεται τις ηλεκτρικές τάσεις. Από τον ίδιο πίνακα, παρατηρείται ότι σε όλα τα σήματα που θα καταλήξουν στην κάρτα δειγματοληψίας είναι σε μορφή ρεύματος 4-20mA που στη συνέχεια μετασχηματίζονται μέσω ηλεκτρικού εξοπλισμού (isolators) σε δυναμικό της τάξης μεγέθους που δέχεται η κάρτα. Η ακρίβεια του τελικού σήματος ηλεκτρικής τάσης εξαρτάται από την ακρίβεια του αισθητηρίου αλλά και από τις τυχόν παρεμβολές του κυκλώματος μέχρι το τερματικό της κάρτας δειγματοληψίας.

Για την ακρίβεια των αισθητηρίων, ήδη έχει γίνει αναφορά των τεχνικών χαρακτηριστικών όλων των στοιχείων τις διάταξης είτε από τα τεχνικά φυλλάδια που συνοδεύονται οι μεταδότες είτε από τα πιστοποιητικά διακρίβωσης που εκδίδονται από τον κατασκευαστή. Για τα αισθητήρια θερμοκρασίας (PT100, Thermocouple), που παρεμβλήθηκαν ειδική μεταδότες, χρησιμοποιήθηκε βαθμονομητής θερμοκρασίας σε δύο (ή περισσότερες) θερμοκρασίες με ταυτόχρονη ανάγνωση της ένδειξης της τάσης του σήματος, προκειμένου να υπολογιστεί η γραμμική σχέση των δύο. Για τους ήδη εγκατεστημένους μεταδότες (RHEONIK, YAMATAKE ST3000) που συνοδεύονται από πιστοποιητικά διακρίβωσης, οι ενδείξεις των οργάνων χρησιμοποιούνται για την βαθμονόμηση. Για τους νέους μεταδότες (PowerLogic PM800, PTX1400) που εμπεριέχουν ολοκληρωμένα κυκλώματα επεξεργασίας του σήματος, δεν χρειάζονται βαθμονόμηση και χρησιμοποιούνται οι τιμές από τα τεχνικά φυλλάδια.

Ο έλεγχος για τυχόν παρεμβολές από τα κυκλώματα που συνδέουν τα αισθητήρια με το τερματικό της κάρτας δειγματοληψίας, όπως παρουσιάζεται στα σχέδια του Appendix A, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση των σημάτων με ταυτόχρονη μέτρηση της διαφοράς δυναμικού στους ακροδέκτες που τερματίζουν στην κάρτα.

Συγκεκριμένα, στην θέση του αισθητηρίου (μετά την μονάδα επεξεργασίας του σήματος όπου υπάρχει) ή του μεταδότη τοποθετήθηκε, σε σειρά, ένα ηλεκτρονικό πολύμετρο FLUKE. Το όργανο αυτό στέλνει 4-20mA με βήμα 4mA προσομοιάζοντας έτσι την λειτουργία ενός αισθητήρα σε όλο το εύρος των τιμών του σήματος εξόδου. Ταυτόχρονα με ένα άλλο πολύμετρο μετράται η διαφορά δυναμικού στους ακροδέκτες της εξόδου των μετασχηματιστών PHOENIX CONTACT. Κατ' αυτόν τον τρόπο διευκρινίζονται οι πραγματικές αντιστοιχίες μεταξύ της έντασης του ρεύματος στην έξοδο του μεταδότη και της τάσης του ρεύματος στην έξοδο του απομονωτή και συνεπώς η πραγματικές τιμές *Αρχικής Τιμής* και *Κέρδους*.

## 4. Καταγραφή και Παρουσίαση

Για τον προγραμματισμό της κάρτας, την παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε πραγματικό χρόνο και την καταγραφή των μεγεθών σε αρχεία δεδομένων χρησιμοποιείται το πρόγραμμα H/Z\_DAQ.vi που σχεδιάστηκε σε περιβάλλον LABVIEW.

Labview ονομάζεται ο γραφικός προγραμματισμός που μπορεί να εφαρμοστεί για την δημιουργία προγραμμάτων σε Block diagram (διάγραμμα προγραμματισμού). Το Labview είναι ξεχωριστή γλώσσα προγραμματισμού αφού χρησιμοποιεί εικονίδια για την δημιουργία του προγράμματος τα οποία εκπροσωπούν υποπρογράμματα και τα οποία συνδυάζονται μεταξύ τους με εικονικά καλώδια (virtual wires). Το Labview διαθέτει βιβλιοθήκη με βοηθητικά προγράμματα και υπορουτίνες χρήσιμες για διάφορες εργασίες προγραμματισμού αναλόγως την εφαρμογή. Επίσης διαθέτει εικονικά εργαλεία (tools) ειδικά σχεδιασμένα για έλεγχο του προγράμματος (instrument control). Το διάγραμμα προγραμματισμού παρουσιάζεται στην **εικόνα**.

Τα προγράμματα του Labview ονομάζονται virtual instruments (Vis) επειδή μοιάζουν και λειτουργούν σαν πραγματικά όργανα (instruments). Τα Vis διαθέτουν μια εικονική επιφάνεια με όλα τα controls (όργανα ελέγχου) και τα indicators (όργανα ένδειξης) την οποία μπορούμε να βλέπουμε στην οθόνη του υπολογιστή και την ονομάζεται front panel, ακριβώς επειδή μοιάζει με το panel ενός πραγματικού οργάνου. Τα Vis παίρνουν εντολές από το λογικό διάγραμμα (block diagram) το οποίο αποτελεί το πρόγραμμα, Εικόνα 4-1.

Το πρόγραμμα H/Z\_DAQ.vi ρυθμίζει τις παραμέτρους λειτουργίας της κάρτας, βάσει των οποίων παραλαμβάνει τις τιμές των σημάτων από τα κανάλια της κλεμοσειράς εισόδου της κάρτας περισυλλογής, και στην συνέχεια μετασχηματίζει τα δυναμικά ρεύματος στις τιμές των φυσικών μεγεθών που αντιστοιχούν. Τα μεγέθη έπειτα παρουσιάζονται σε διαγράμματα χρόνου καθώς και σε απόλυτες τιμές με ενδείξεις σε σκαρίφημα της μηχανής τοποθετημένα με βάση την χωροταξική διάταξη των αντιστοιχών αισθητηρίων στον χώρο της μηχανής.

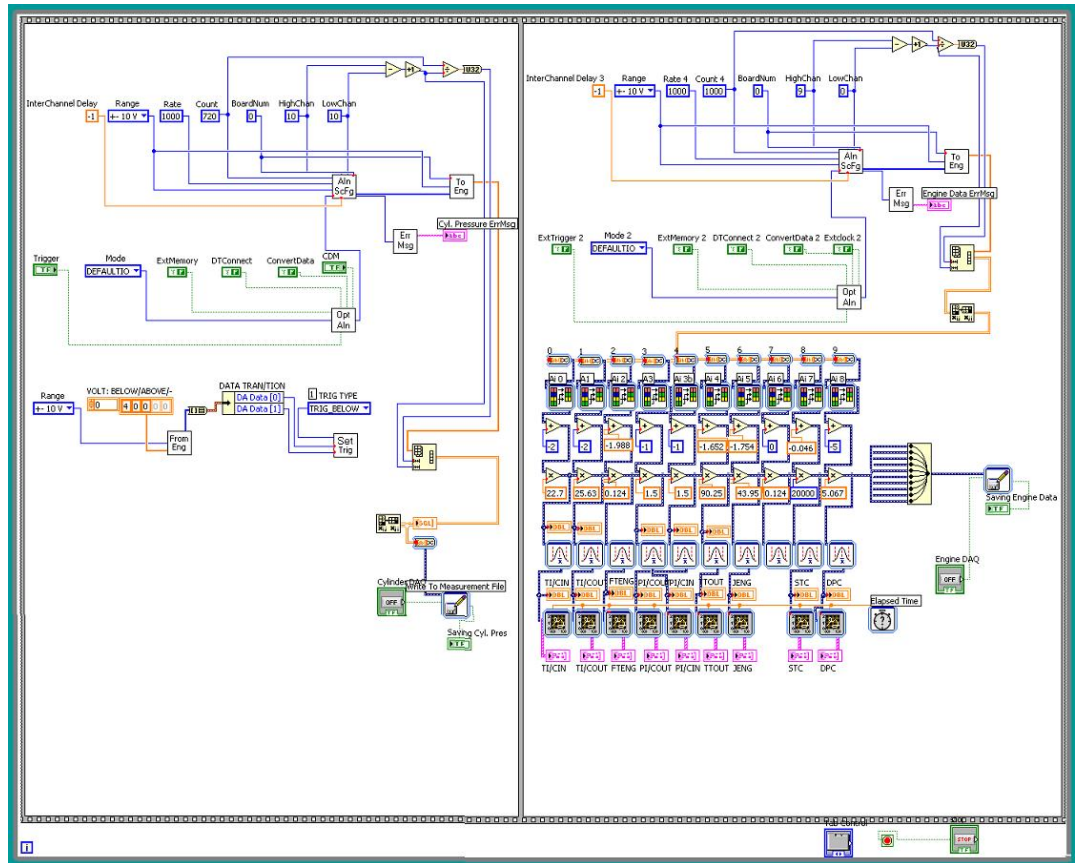
Για όλα τα σήματα ακολουθείται η ίδια διαδικασία εκτός του σήματος πίεσεως εντός του κυλίνδρου. Προκειμένου να επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια και να αποκλειστεί οποιοδήποτε ενδεχόμενο σφάλματος το πρόγραμμα σχεδιάστηκε έτσι ώστε το σήμα αυτό παραλαμβάνεται από την κάρτα απομονωμένο από τα υπόλοιπα, ενόσω διακόπτεται οποιαδήποτε άλλη λειτουργία της κάρτας συσχετίζεται με τα υπόλοιπα σήματα.

Το περιβάλλον του προγράμματος σε κατάσταση λειτουργίας του κινητήρα παρουσιάζεται στην.

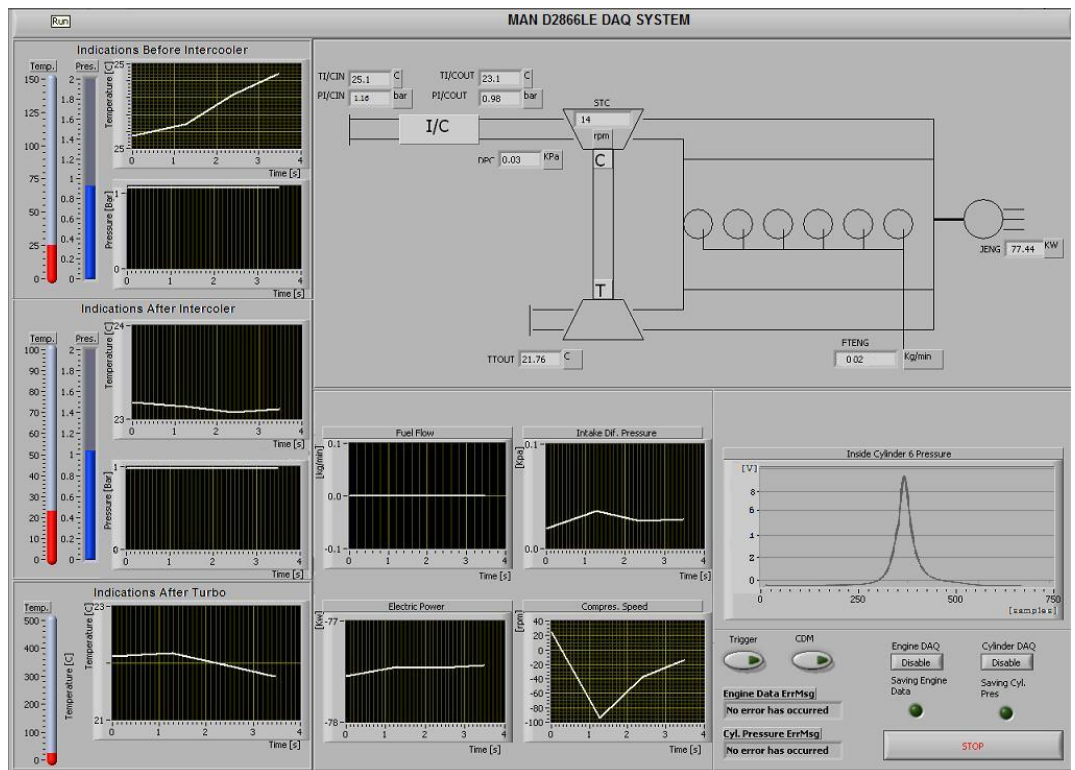
Τα όργανα ελέγχου του προγράμματος είναι τα εξής:

- *Trigger, CDM*: Αφορούν το σήμα της πίεσεως εντός του κυλίνδρου και ενεργοποιούν/απενεργοποιούν τον σκανδαλισμό με τον παλμό που αντιστοιχεί στο ANΣ και συγχρονισμό της καταγραφής και παρουσίασης με τον παλμό που αντιστοιχεί στην στροφαλογωνία. Η λειτουργίες αυτές προστέθηκαν για να αντιμετωπιστεί μια ιδιοτροπία της κάρτας περισυλλογής και πρέπει να ενεργοποιηθούν μόνον ενόσω η μηχανή βρίσκεται σε λειτουργία, ειδάλλως η κάρτα αδρανεύει έως ότου λάβει τους αντίστοιχους παλμούς.
- *Engine DAQ*: Είναι εντολή δημιουργίας αρχείου 'H\_Z\_YY-MM-DD\_HHMM.txt' που θα καταγράφει 1000 τιμές από κάθε μέγεθος, εκτός της πίεσεως κυλίνδρου. Οσο διαρκεί η καταγραφή θα είναι σε λειτουργία η φωτεινή ένδειξη από κάτω.
- *Cylinder DAQ*: Είναι εντολή δημιουργίας αρχείου 'Trig\_Cdm\_YY-MM-DD\_HHMM.txt' με τον σκανδαλισμό του σήματος TRIGGER που θα καταγράφει 720 τιμές της πίεσης εντός του κυλίνδρου με βάση τους παλμούς του CDM για 13 κύκλους του κινητήρα (26 στροφές του στροφάλου). Οσο διαρκεί η καταγραφή θα είναι σε λειτουργία η φωτεινή ένδειξη από κάτω.
- *STOP*: Είναι η επιλογή για τερματισμό του προγράμματος





Εικόνα 4-1 Γραφικός προγραμματισμός Η\_Ζ\_DAO.vi



Εικόνα 4-2 Front Panel του Η\_Ζ\_DAO.ni

## 5. Υπολογισμοί

Στο κεφάλαιο αυτό θα διεξαχθούν δυο ισολογισμοί, αυτός της εμβολοφόρου μηχανής MAN D 2866LE και ο δεύτερος στον 6<sup>ο</sup> κύλινδρο της ίδιας μηχανής. Ο ισολογισμός θα πραγματοποιηθεί σε ορισμένες μόνιμες καταστάσεις λειτουργίας του κινητήρα σε τρία διαφορετικά φορτία λειτουργίας. Τα δεδομένα που απαιτούνται παραλαμβάνονται από το H\_Z\_DAO.ni, σε περιβάλλον *LabView*, που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία των δεδομένων που παραλαμβάνονται αλλά και από ενδείξεις οργάνων που βρίσκονται τόσο στο χώρο του κινητήρα αλλά και στο δωμάτιο ελέγχου.

Η διαδικασία που ακολουθεί είναι η περιγραφή του προγράμματος που σχεδιάστηκε σε περιβάλλον *MATLAB* για τις ανάγκες της εργασίας. Το πρόγραμμα, δέχεται ως είσοδο τις τιμές των παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα που δεν συμπεριλαμβάνονται στο σύστημα δειγματοληψίας και το αρχείο .txt που δημιουργεί το πρόγραμμα *LabView* και συμπεριλαμβάνει όλες τις τιμές των παραμέτρων του συστήματος δειγματοληψίας και σχεδιάζει όλα τα διαγράμματα που παρατίθενται στο κεφάλαιο των υπολογισμών, καθώς και υπολογίζει τον θερμικό ισολογισμό του κινητήρα και το ενεργειακό ισοζύγιο στον θάλαμο καύσης.

### 5.1 Θερμικός Ισολογισμός στον MAN D 2866LE

Στην εξίσωση εισερχόμενων και εξερχόμενων ενεργειών μιας εμβολοφόρου μηχανής υπολογίζεται η δια του καυσίμου θερμική ισχύς, η ωφέλιμη μηχανική ισχύς και οι θερμικές απώλειες μέσω των καυσαερίων, μέσω του συστήματος ψύξεως και τέλος μέσω της ακτινοβολούμενης θερμότητας. Το ισοζύγιο, όπως υπολογίστηκε στο πρώτο κεφάλαιο, είναι το εξής:

$$\text{Σύνολο Εισερχόμενης Ισχύος} = \text{Σύνολο Εξερχόμενης Ισχύος}$$

↓

$$\text{Ισχύς Καυσαερίων} = \text{Μηχανική Ισχύς} + \text{Ισχύς Ψύξεως} + \text{Ισχύς Καυσαερίων} + \text{Ισχύς Ακτινοβολίας}$$

Οι ισχύεις αυτές συμβολίζονται και υπολογίζονται ως εξής:

- Ισχύς Καυσίμου:  $P_B = \dot{m}_B \times H_u$   
 $\dot{m}_B$ : Παροχή καυσίμου.  
 $H_u$ : Κατώτερη Θερμογόνος δύναμη καυσίμου.
- Ισχύς Ψύξεως:  $P_c = \dot{m}_w \times \Delta t_w \times C_{pw}$   
 $\dot{m}_w$ : Παροχή νερού ψύξεως  
 $\Delta t_w$ : Διαφορά θερμοκρασίας νερού εισόδου και εξόδου .  
 $C_{pw}$ : Μέση τιμή ειδικής θερμοχωρητικότητας νερού εισόδου και εξόδου.
- Μηχανική Ισχύς:  $P_{prod} = \frac{P_{el}}{(n_{cor} \times n_{gen})}$   
 $P_{el}$ : Ηλεκτρική Ισχύς που παράγεται από τη γεννήτρια.  
 $n_{cor}$ : Συντελεστής διόρθωσης λόγω φορτίου.  
 $n_{gen}$ : Βαθμός απόδοσης γεννήτριας σε πλήρες φορτίο.
- Ισχύς Καυσαερίων:  $P_a = \dot{m}_a \times \Delta t_a \times C_a$   
 $\dot{m}_a$ : Παροχή καυσαερίων ψύξεως.  
 $\Delta t_a$ : Διαφορά θερμοκρασίας αέρα εισόδου και καυσαερίων εξόδου.  
 $C_{pa}$ : ειδική θερμοχωρητικότητα καυσαερίων.
- Ισχύς Ακτινοβολίας:  $P_r = \dot{m}_L \times \Delta t_L \times C_{pL}$   
 $\dot{m}_L$ : Παροχή αέρα εξαερισμού.  
 $\Delta t_L$ : Διαφορά θερμοκρασίας αέρα εξαερισμού εισόδου και εξόδου .  
 $C_{pL}$ : ειδική θερμοχωρητικότητα αέρα.

Ο Πίνακας 5-1 περιέχει όλα τα μεγέθη που παραλαμβάνονται κατά την διάρκεια λειτουργίας του κινητήρα και χρειάζονται για τον υπολογισμό του θερμικού ισολογισμού για κάθε διαφορετικό φορτίο.

α/α	Μέγεθος	Μονάδα μέτρησης	Θέση ενδεικτ.-μετρητικού οργάνου	Φορτία Λειτουργίας		
				A:100 Kw	B:125 Kw	C:160 Kw
1	Παροχή καυσίμου, όργανο	kg/min	DAQ	0.405	0.507	0.655
2	Θερμοκρασία καυσίμου	°C	Κονσόλα	24	24	24
3	Θερμοκρασία αέρα εισόδου	°C	Χώρο Η/Ζ	27.00	27.00	26.5
4	Θερμοκρασία αέρα εξόδου	°C	Χώρο Η/Ζ	30.50	31.50	32.00
5	Ταχύτητα αέρα στον αγωγό εξαερισμού	m/s	Κονσόλα	8.84	8.80	9.09
6	Θερμοκρασία καυσαερίων	°C	DAQ	330.46	374.85	421.09
7	Διαφορά πίεσης στο μετρ. διαφρ. του αγωγού εις. αέρα στον κινητήρα	kPa	DAQ	3.86	4.66	6.09
8	Πίεση προ διαφράγματος (μετρητικό διαφράγματος)	kPa	Χώρο Η/Ζ	3.61	4.38	5.22
9	Πίεση χώρος Η/Ζ	KPa		100.170		
10	Θερμοκρασία εισόδου (στον κινητήρα) νερού ψύξης	°C	Η/Ζ, σωλήνας εισόδου	42	44.5	46
11	Θερμοκρασία εξόδου (στον κινητήρα) νερού ψύξης	°C	Η/Ζ, σωλήνας εξόδου	49	53.9	57
12	Παροχή νερού ψύξης δευτερεύοντος	l/min	Κονσόλα	166	168	169
13	Περιστροφική ταχύτητα κινητήρα	RPM	Πίνακας Η/Ζ, συχνόμετρο	1500	1500	1500
14	Συντελεστής Ισχύος (cosφ)	-	Χώρο Η/Ζ	0.91	0.95	1
15	Πυκνότητα αέρα	kg/m <sup>3</sup>		1.198	1.198	1.198
16	Βαρομετρική πίεση	Pa		100170	100170	100170
17	Στροφές υπερπληρωτή	RPM	Παλμογράφος	4.45*10 <sup>4</sup>	5.098*10 <sup>4</sup>	5.94*10 <sup>4</sup>
18	Πίεση αέρα στην έξοδο του υπερπληρωτή	bar	DAQ	1.288	1.424	1.636

Πίνακας 5-1 Συγκεντρωτικός πίνακας τιμών παραμέτρων παρακολούθησης του κινητήρα

### 5.1.1 Ισχύς Καυσίμου

Πρόκειται για την συνολική εισερχόμενη ισχύ στην εξίσωση του ισολογισμού. Υπολογίζεται με βάση τον ρυθμό κατανάλωσης καυσίμου επί την κατώτερη θερμογόνο δύναμη του χρησιμοποιούμενου καυσίμου. Ο MAN D 2866LE είναι κινητήρας Diesel και το καύσιμο που χρησιμοποιείται έχει  $H_u = 42.978 \text{Kj/Kg}$ , κατά συνέπεια από τον Πίνακα 5-1 [1] Παροχή καυσίμου συγκεντρώνονται όλα τα στοιχεία για την εκτίμηση της ισχύος σε κάθε φορτίο.

$$P_B = \dot{m}_B \times H_u \quad (5-1)$$

$$A: P_B = \frac{0.405 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}}{60} \times 42.978 = 290.10 \text{ Kw}$$

$$B: P_B = \frac{0.507 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}}{60} \times 42.978 = 363.17 \text{ Kw}$$

$$C: P_B = \frac{0.655 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}}{60} \times 42.978 = 469.10 \text{ Kw}$$

### 5.1.2 Παραγόμενη Μηχανική Ισχύς

Η Μηχανική ισχύς δεν μετράται άμεσα αλλά υπολογίζεται από την ηλεκτρική ισχύ που παραλαμβάνεται, εάν υπολογιστεί ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας σε κάθε φορτίο. Σε πλήρες φορτίο ισχύει η παρακάτω αντιστοιχία.

$$\cos\varphi = 0.8 \rightarrow n_{Gen} = 0.924$$

$$\cos\varphi = 1.0 \rightarrow n_{Gen} = 0.941$$

Από τον Πίνακα 5-1 [24] Συντελεστής Ισχύος υπολογίζονται με χρήση γραμμικής παρεμβολής οι βαθμοί απόδοσης για κάθε φορτίο. Για συντομία, τα φορτία δοκιμών 100,125,160 Kw θα αναφέρονται ως οι καταστάσεις A,B,C αντίστοιχα.

$$A: \cos\varphi = 0.91 \rightarrow n_{Gen} = 0.933$$

$$B: \cos\varphi = 0.95 \rightarrow n_{Gen} = 0.936$$

$$C: \cos\varphi = 1.0 \rightarrow n_{Gen} = 0.941$$

Κανένα από τα φορτία των δοκιμών δεν είναι το πλήρες φορτίο του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους και επομένως είναι αναγκαίο να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις στους συντελεστές που υπολογίστηκαν.

Αρχικά, υπολογίζεται το ποσοστό επί του ονομαστικού φορτίου σε κάθε περίπτωση. Η ονομαστική παραγόμενη μηχανική ισχύς στις 1500 rpm του κινητήρα όπως δίδεται από την καμπύλη επίδοσης στην Σχεδιάγραμμα 5-1 είναι 245 Kw.

$$P_{el} = P_{mech} \times n_{Gen} \quad (5-2)$$

$$A: P_{el} = 245 \times 0.933 = 228.70 \text{ Kw}$$

$$B: P_{el} = 245 \times 0.936 = 229.53 \text{ Kw}$$

$$C: P_{el} = 245 \times 0.941 = 230.58 \text{ Kw}$$

Τα ποσοστά των φορτίων επί του ονομαστικού φορτίου θα υπολογιστούν με βάση τις παραπάνω τιμές. Από το Σχεδιάγραμμα 5-2 στη συνέχεια θα υπολογιστεί ο συντελεστής διόρθωσης  $n_{cor}$ .

$$A: \frac{100}{228.70} = 0.437 \rightarrow n_{cor} = 0.976$$

$$B: \frac{125}{229.53} = 0.545 \rightarrow n_{cor} = 0.984$$

$$C: \frac{160}{230.58} = 0.694 \rightarrow n_{cor} = 0.992$$

Είναι πλέον δυνατό να υπολογιστεί η παραγόμενη μηχανική ισχύς. Η διαφορά της παραγόμενης και της ηλεκτρικής θα είναι ενέργεια που χάνεται και θα συνυπολογιστεί στον ισολογισμό στο κεφάλαιο της ισχύος ακτινοβολίας ( $P_{apG}$ ).

$$P_{prod} = \frac{P_{el}}{(n_{cor} \times n_{Gen})}$$

(5-3)

$$A: P_{prod} = \frac{100}{(0.933 \times 0.976)} = 109.74 \text{ Kw}, \quad P_{apG} = 109.74 - 100 = 9.74 \text{ KW}$$

$$B: P_{prod} = \frac{125}{(0.936 \times 0.984)} = 135.53 \text{ Kw}, \quad P_{apG} = 135.53 - 125 = 10.5 \text{ KW}$$

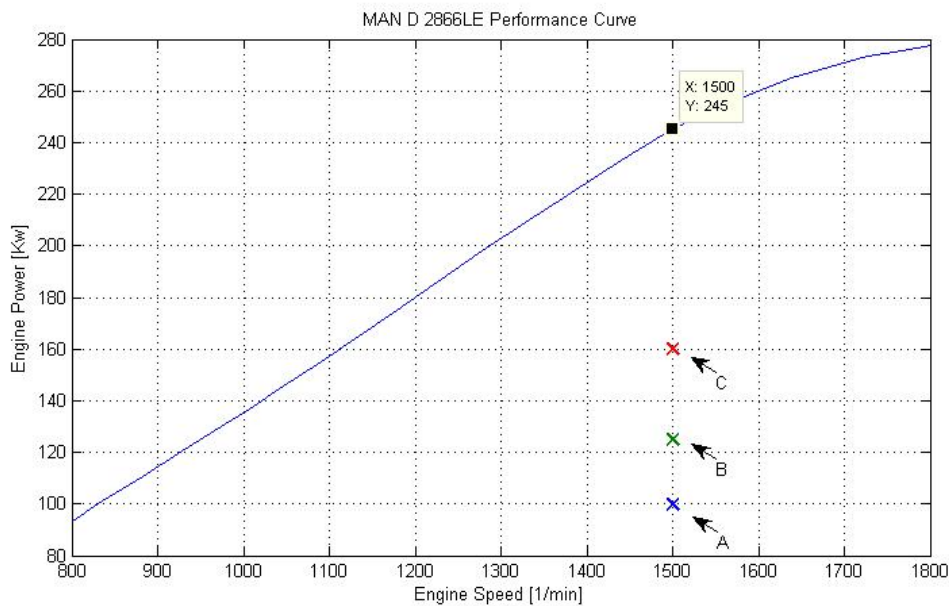
$$C: P_{prod} = \frac{160}{(0.941 \times 0.992)} = 171.38 \text{ Kw}, \quad P_{apG} = 171.38 - 160 = 11.38 \text{ KW}$$

Τέλος, υπολογίζεται το ποσοστό της παραγόμενης ισχύος επί της συνολικής εισερχόμενης ισχύος σε κάθε φορτίο.

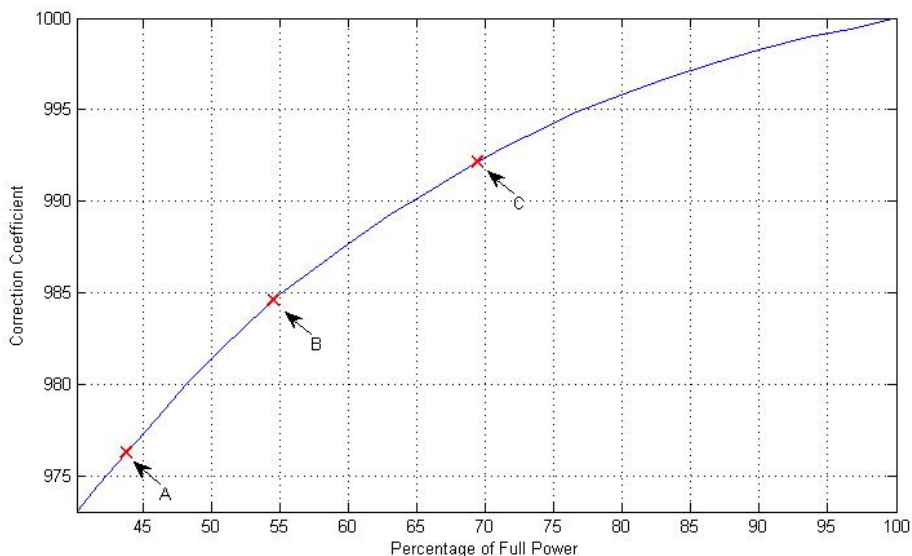
$$A: \frac{P_{prod}}{P_B} = \frac{109.74}{290.10} = 37.83\%$$

$$B: \frac{P_{prod}}{P_B} = \frac{135.53}{363.17} = 37.32\%$$

$$C: \frac{P_{prod}}{P_B} = \frac{171.38}{469.10} = 36.53\%$$



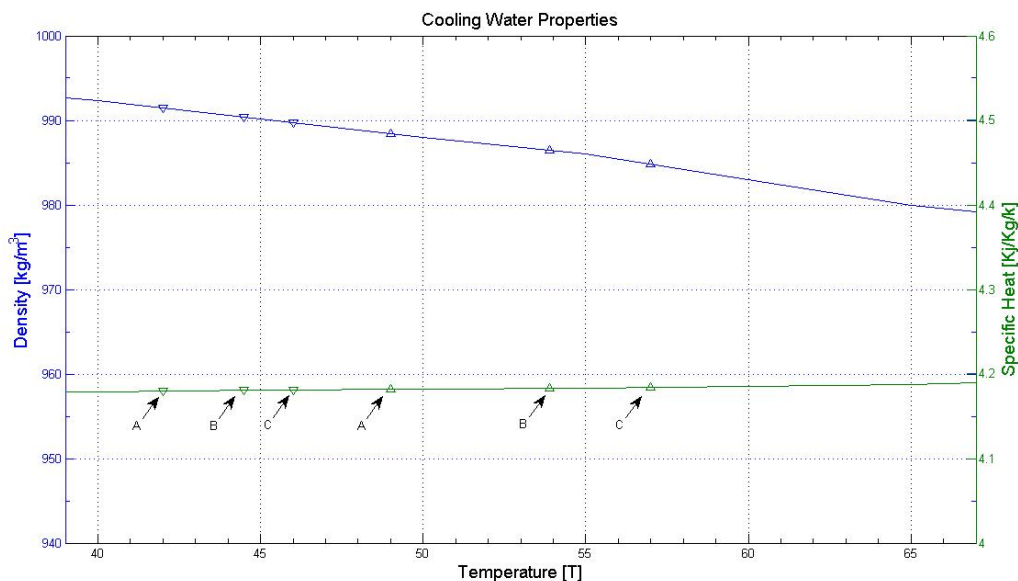
Σχεδιάγραμμα 5-1 Καμπύλη επιδόσεως του κινητήρα MAN D 2866LE.



Σχεδιάγραμμα 5-2 Συντελεστής διορθώσεως λόγω φορτίου για γεννήτριες E.P.

### 5.1.3 Ισχύς Ψύξεως

Η ψυκτική ισχύς υπολογίζεται μέσω του δευτερεύοντος δικτύου κυκλοφορίας του νερού που βρίσκεται στον χώρο του Η/Ζ. Με τα μεγέθη του Πίνακα 5-1, [10] *Θερμοκρασία εισόδου (στον κινητήρα) νερού ψύξης*, [11] *Θερμοκρασία εξόδου (στον κινητήρα) νερού ψύξης*, [12] *Παροχή νερού του δευτερεύοντος*, μπορεί να υπολογιστεί η ισχύς σε κάθε φορτίο, αφού πρώτα υπολογιστούν οι ιδιότητες του ψυκτικού μέσου (νερό) στις εκάστοτε περιπτώσεις.



Σχεδιάγραμμα 5-3 Πυκνότητα και Ειδική Θερμοχωρητικότητα νερού ψύξης σε σχέση με την θερμοκρασία.

Από το Σχεδιάγραμμα 5-3 υπολογίζονται οι τιμές της πυκνότητας και της ειδικής θερμοχωρητικότητας του νερού.

$$A: \left( p_{in} = 988.44 \frac{Kg}{m^3}, p_{out} = 991.46 \frac{Kg}{m^3} \right), \left( Cp_{in} = 4.182 \frac{Kj}{KgK}, Cp_{out} = 4.180 \frac{Kj}{KgK} \right)$$

$$B: \left( p_{in} = 986.44 \frac{Kg}{m^3}, p_{out} = 990.41 \frac{Kg}{m^3} \right), \left( Cp_{in} = 4.183 \frac{Kj}{KgK}, Cp_{out} = 4.181 \frac{Kj}{KgK} \right)$$

$$C: \left( p_{in} = 984.80 \frac{Kg}{m^3}, p_{out} = 989.76 \frac{Kg}{m^3} \right), \left( Cp_{in} = 4.184 \frac{Kj}{KgK}, Cp_{out} = 4.181 \frac{Kj}{KgK} \right)$$

Οι μέσες τιμές των παραπάνω μεγεθών θα αντικατασταθούν στην εξίσωση υπολογισμού της ισχύος,

$$p = \frac{(p_{in} + p_{out})}{2}, Cp = \frac{(Cp_{in} + Cp_{out})}{2}, \Delta T = T_{out} - T_{in}$$

$$A: p = 989.95 \frac{Kg}{m^3}, Cp = 4.181 \frac{Kj}{kgK} \quad \Delta T = 49 - 42 = 7$$

$$B: p = 988.43 \frac{Kg}{m^3}, Cp = 4.182 \frac{Kj}{kgK} \quad \Delta T = 53.9 - 44.5 = 9.4$$

$$C: p = 987.28 \frac{Kg}{m^3}, Cp = 4.183 \frac{Kj}{kgK} \quad \Delta T = 57 - 46 = 11$$

Με βάση τις παραπάνω τιμές μπορεί πλέον να υπολογιστεί η τιμή της ισχύος σε κάθε φορτίο καθώς και το ποσοστό αυτής ως προς την συνολική εισερχόμενη ισχύ.

$$P_c = \dot{m}_w \times \Delta T_w \times Cp_w = (\dot{V}_w \times \rho_w) \times \Delta T_w \times Cp_w \quad (5-4)$$

$$A: P_c \left( 166 \frac{l}{min} \times \frac{10^{-3}}{60} \times 989.95 \frac{Kg}{m^3} \right) \times 7 \times 4.181 = 80.15 Kw$$

$$A: P_c \left( 168 \frac{l}{min} \times \frac{10^{-3}}{60} \times 988.43 \frac{Kg}{m^3} \right) \times 9.4 \times 4.182 = 108.79 Kw$$

$$A: P_c \left( 169 \frac{l}{min} \times \frac{10^{-3}}{60} \times 987.28 \frac{Kg}{m^3} \right) \times 11 \times 4.183 = 127.93 Kw$$

Τέλος, υπολογίζεται το ποσοστό της παραγόμενης ισχύος επί της συνολικής εισερχόμενης ισχύος σε κάθε φορτίο.

$$A: \frac{P_c}{P_B} = \frac{80.15}{290.10} = 27.63\%$$

$$B: \frac{P_c}{P_B} = \frac{108.79}{363.17} = 29.96\%$$

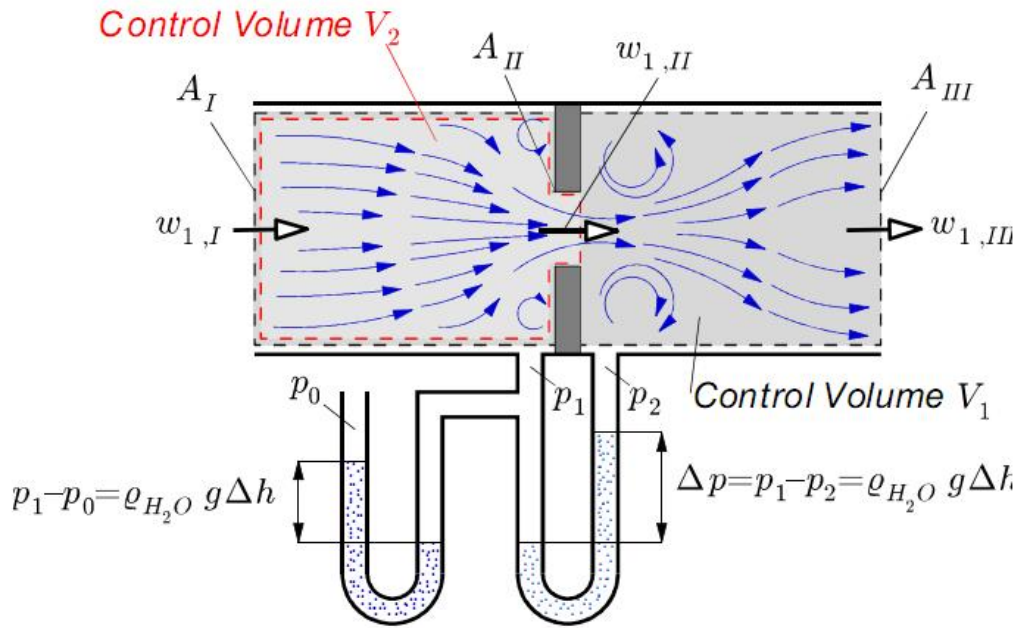
$$B: \frac{P_c}{P_B} = \frac{127.93}{469.10} = 27.27\%$$

#### 5.1.4 Ισχύς Καυσαερίων

Για τον υπολογισμό της ισχύος απαιτείται η εκτίμηση της μάζας των καυσαερίων που εξέρχονται του κινητήρα. Έχοντας λάβει τις τιμές παροχής καυσίμου στον Πίνακα 5-1 [1] Παροχή καυσίμου θα πρέπει να υπολογιστεί η παροχή αέρα στην εισαγωγή προκειμένου να βρεθεί η μάζα καυσαερίων αλλά και ο λόγος αέρα/καυσίμου σε κάθε φορτίο.

##### 5.1.4.1 Υπολογισμός Παροχής αέρα

Στο εισαγωγή του αέρα στον κινητήρα από το ροόμετρο . Με την διάταξη αυτή υπολογίζεται, με την μέθοδο του διαφράγματος, η παρεχόμενη μάζα ατμοσφαιρικού αέρα στον κινητήρα DIESEL από τις τιμές πιέσεων που λαμβάνονται και είναι καταγεγραμμένες στον Πίνακα 5-1 [7] Διαφορά πίεσης στο μετρ. διαφρ. του αγωγού εισ. αέρα στον κινητήρα, [8] Πίεση προ διαφράγματος (μετρητικό διαφράγματος), [9] Πίεση χώρος H/Z (στο σχήμα εμφανίζονται ως Δρ, ρ<sub>1</sub> και ρ<sub>0</sub> αντίστοιχα), [4] Θερμοκρασία εξόδου.



Εικόνα 5-1 Μέθοδος λειτουργίας οργάνου μέτρησης ταχύτητας παροχής αέρα κινητήρα

Οι τύποι για τον υπολογισμό της παροχής μάζας θα χρησιμοποιηθούν όπως δίδονται από το ISO/DIS 5167-1:2003, *Measurement of fluid flow in circular cross-section conduits running full using pressure differential devices*.

Αρχικά γίνεται υπολογισμός της πυκνότητας του αέρα από την καταστατική εξίσωση του ιδανικού αερίου.

$$\text{Μοριακή μάζα αέρα: } M_A = 28.9 \frac{\text{Kg}}{\text{Kmol}}$$

$$\text{Σταθερά ιδανικού αερίου: } R_0 = 8.314 \frac{\text{J}}{\text{KgK}}$$

$$\text{Σταθερά ατμοσφαιρικού αέρα: } R_{air} = \frac{R_0}{M_A} \times 1000 = 287.0 \frac{\text{KJ}}{\text{KgK}}$$

Από τα παραπάνω μεγέθη υπολογίζεται η πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα σε κάθε κατάσταση φόρτισης.

$$\rho_{air} = \frac{(p_0 - p_i)}{R_{air} \times T_i}$$

$$A: \rho_{air} = \frac{(100170 - 3610)}{287.0 \times (31 + 273.15)} = 1.106 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$B: \rho_{air} = \frac{(100170 - 4380)}{287.0 \times (31.5 + 273.15)} = 1.096 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$A: \rho_{air} = \frac{(100170 - 6090)}{287.0 \times (31.7 + 273.15)} = 1.085 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Η ταχύτητα του αέρα στο διάφραγμα με ( 5-5 ) και ο υπολογισμός της παρεχόμενης μάζας αέρα με ( 5-6 ) αέρα υπολογίζονται με βάση το πρότυπο κατά ISO 5167. Οι τιμές των μεγεθών συμβολίζονται με βάση την Εικόνα 5-1.

$$w_{1,II} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_{II}}{A_I}\right)^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p}, \quad \Delta p = (p_I - p_{II})$$

( 5-5 )



$$\dot{m}_{II} = \rho \dot{V}_{II} = \rho w_{1,II} A_{II} \quad (5-6)$$

Λύνοντας ως προς την παρεχόμενη μάζα και προσθέτοντας τους *συντελεστή εκτόνωσης*  $\epsilon$  και *συντελεστή αποφόρτισης*  $C$  με τιμές που δίδονται από πειρατικά και εμπειρικά δεδομένα από το πρότυπο ISO 5167 για να προσαρμοστούν οι τιμές που δίδονται από τους τύπους στις πραγματικές τιμές λόγω μη ασυμπίεστου ρευστού σε διάταξη με διάφραγμα και λόγω του είδους της ροής που αναπτύσσεται στην διάταξη αλλά και των περιορισμών που αυτή εφαρμόζει αντίστοιχα.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διάταξης είναι:

$$D_I = D_{III} = 114 \text{ mm}, \quad A_I = A_{III} = \pi R_I^2 = 0.0102 \text{ mm}^2$$

$$D_{II} = 74 \text{ mm}, \quad A_{II} = \pi R_{II}^2 = 0.00453416 \text{ mm}^2$$

Ο (5-7) τελικά υπολογίζει την παροχή ατμοσφαιρικού αέρα σε κάθε κατάσταση φόρτισης.

$$\dot{m}_{II} = \rho \times A_{II} \times \frac{C}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_{II}}{A_I}\right)^2}} \times \epsilon \times \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p} = 0.45 \times 0.674 \times \sqrt{2 \times \rho \times \Delta p} \quad (5-7)$$

$$A: \dot{m}_{II} = 0.00453416 \times 0.674 \times \sqrt{2 \times 1.106 \times 3.86 \times 1000} = 0.2826 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$B: \dot{m}_{II} = 0.00453416 \times 0.674 \times \sqrt{2 \times 1.096 \times 4.66 \times 1000} = 0.3090 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$C: \dot{m}_{II} = 0.00453416 \times 0.674 \times \sqrt{2 \times 1.085 \times 6.09 \times 1000} = 0.3517 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

Με την παροχή του ατμοσφαιρικού αέρα γνωστή, συνεχίζεται η διαδικασία εύρεσης της ισχύος καυσαερίων με τον υπολογισμό του λόγου αέρα/καυσίμου και την μάζα εκπομπής καυσαερίων.

Η ελάχιστη απαιτούμενη μάζα αέρα για στοιχειομετρική καύση του χρησιμοποιούμενου καυσίμου, Diesel oil με κ.β. περιεκτικότητα  $C = 86.3\%$ ,  $H = 13.64\%$ ,  $S = 0.004\%$ ,  $N = 0.004\%$  υπολογίζεται ως εξής:

$$m_{min} = C\% \times 11.5 + H\% \times 34.2 + S\% \times 4.3 - O\% \times 4.3 = 14.59 \frac{\text{Kg αέρα}}{\text{Kg καυσίμου}}$$

$$\text{Αναλογία αέρα - καυσίμου: } R = \frac{m_g}{m_B}$$

- $A: R = \frac{m_g}{m_B} = \frac{0.2826}{0.00675} = 41.87$
- $B: R = \frac{m_g}{m_B} = \frac{0.3090}{0.00845} = 36.57$
- $C: R = \frac{m_g}{m_B} = \frac{0.3517}{0.01096} = 32.09$

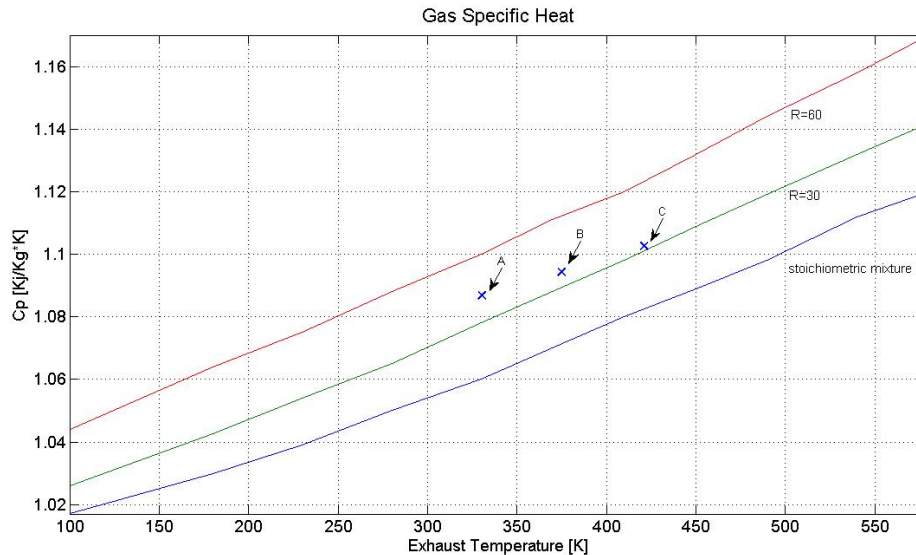
$$\text{Λόγος αέρα - καυσίμου: } \lambda = \frac{m_g}{m_{min} \times m_B} = \frac{R}{m_{min}}$$

- $A: \lambda = \frac{R}{m_{min}} = \frac{41.87}{14.59} = 2.86$
- $B: \lambda = \frac{R}{m_{min}} = \frac{36.57}{14.59} = 2.51$
- $C: \lambda = \frac{R}{m_{min}} = \frac{32.09}{14.59} = 2.20$

$$\text{Μάζα εκπομπής καυσαερίων: } \dot{m}_a = \dot{m}_g + \dot{m}_B$$

- $A: \dot{m}_a = 0.2826 + 0.00675 = 0.2894 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$
- $B: \dot{m}_a = 0.3090 + 0.00845 = 0.3175 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$
- $C: \dot{m}_a = 0.3517 + 0.01096 = 0.3626 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$

Οι θερμοκρασίες αλλά και οι ειδικές θερμοχωρητικότητες στην εισαγωγή και εξαγωγή του κινητήρα δίδονται από τον Πίνακα 5-1 στοιχεία [4] και [6], και από το Σχεδιάγραμμα 5-4 αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι για τις θερμοκρασίες του αέρα εισαγωγής η θερμοχωρητικότητα θεωρείται ίδια και παίρνει την τιμή  $C_p = 1.0050 \text{ KJ}/(\text{KgK})$  αφού η πρακτικά είναι ασήμαντη η διαφορά και δεν επηρεάζει το αποτέλεσμα. Έτσι για κάθε φορτίο συλλέγουμε τα δεδομένα:



Σχεδιάγραμμα 5-4 Θερμοχωρητικότητα καυσαερίων βάσει του λόγου αέρα και της θερμοκρασίας.

$$A: T_{in} = 30.5 \text{ C}, \quad C_{pin} = 1.0050 \frac{\text{Kj}}{\text{KgK}}$$

$$T_{out} = 330.36 \text{ C}, \quad C_{out} = 1.0868 \frac{\text{Kj}}{\text{KgK}}$$

$$B: T_{in} = 31.50 \text{ C}, \quad C_{pin} = 1.0050 \frac{\text{Kj}}{\text{KgK}}$$

$$T_{out} = 374.85 \text{ C}, \quad C_{out} = 1.0942 \frac{\text{Kj}}{\text{KgK}}$$

$$C: T_{in} = 32.00 \text{ C}, \quad C_{pin} = 1.0050 \frac{\text{Kj}}{\text{KgK}}$$

$$T_{out} = 421.09 \text{ C}, \quad C_{out} = 1.1027 \frac{\text{Kj}}{\text{KgK}}$$

Έχοντας βρει όλα τα απαραίτητα δεδομένα, είναι πλέον δυνατό να υπολογιστεί η ισχύς καυσαερίων με την αντικατάσταση στον (5-8) για κάθε φορτίο.

$$P_a = \dot{m}_a \times (T_{out} - T_{in}) \times \left( \frac{C_{pin} + C_{pout}}{2} \right) \quad (5-8)$$

$$A: P_a = 0.2894 \times (330.36 - 30.50) \times \left( \frac{1.0050 + 1.0868}{2} \right) = 90.8662 \text{ Kw}$$

$$B: P_a = 0.2894 \times (374.85 - 31.50) \times \left( \frac{1.0050 + 1.0942}{2} \right) = 114.4042 \text{ Kw}$$

$$C: P_a = 0.2894 \times (421.09 - 32.00) \times \left( \frac{1.0050 + 1.1027}{2} \right) = 148.6021 \text{ Kw}$$

Τέλος, υπολογίζεται το ποσοστό της ισχύος καυσαερίων επί της συνολικής εισερχόμενης ισχύος σε κάθε φορτίο.

$$A: \frac{P_a}{P_B} = \frac{90.8662}{290.10} = 31.32\%$$

$$B: \frac{P_a}{P_B} = \frac{114.4042}{363.17} = 31.50\%$$

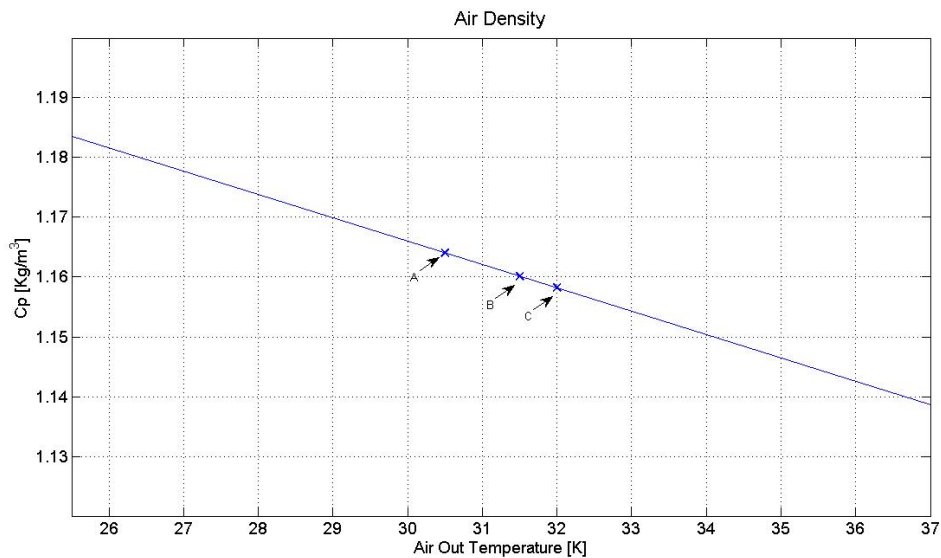
$$C: \frac{P_a}{P_B} = \frac{148.6021}{469.10} = 31.68\%$$

### 5.1.5 Ισχύς ακτινοβολίας

Κατά την διάρκεια λειτουργίας του κινητήρα γίνεται μετάδοση θερμότητας από τα θερμά καυσαέρια που παράγονται από την καύση στα τοιχώματα το θαλάμου καύσης και κατ' επέκταση από τις εξωτερικές επιφάνειες του κινητήρα στον περιβάλλοντα χώρο.

Η θερμότητα που χάνεται μπορεί να μετρηθεί ως την θερμότητα που αποθηκεύεται στον αέρα που διέρχεται του χώρου με δεδομένα τα μεγέθη [3]Θερμοκρασία αέρα εισόδου [4] Θερμοκρασία αέρα εξόδου [4]Ταχύτητα αέρα στον αγωγό εξαερισμού και με βάση τα χαρακτηριστικά μεγέθη του αέρα στις θερμοκρασίες που μετρήθηκε.

Η θερμοχωρητικότητα του αέρα στις θερμοκρασίες που κυμαίνεται ο αέρας στο χώρο του Η/Ζ είναι φαινομενικά ίδια και δεν προκύπτουν αξιοσημείωτες διακυμάνσεις, την πυκνότητα του αέρα την υπολογίζουμε με βάση το Σχεδιάγραμμα 5-5.



Σχεδιάγραμμα 5-5 Πυκνότητα αέρα προς την θερμοκρασία.

Στο κεφάλαιο της παραγόμενης ισχύος υπολογίστηκε ο συντελεστής ισχύος για κάθε φορτίο. Η διαφορά της ηλεκτρικής ισχύος από την παραγόμενη ισχύ είναι απώλειες της γεννήτριας ( $P_{απG}$ ) οι οποίες καταλήγουν σε θερμική ενέργεια που συναλλάσσεται με το περιβάλλον, επομένως διαφορά αυτή θα πρέπει να αφαιρεθεί από την ισχύ ακτινοβολίας, αλλιώς θα συνηυπολογιστεί για δεύτερη φορά στον θερμικό ισολογισμό του κινητήρα.

Επομένως, ο τύπος υπολογισμού της ισχύος ακτινοβολίας είναι ο εξής:

$$P_r = \dot{m}_A \times (T_{out} - T_{in}) \times C_{pL} - P_{απG} \quad (5-9)$$

$$A: P_r = 8.84 \times (30.50 - 26.5) \times 1.0050 - 9.7427 = 10.0907 - 9.7427 = 2.97 Kw$$

$$B: P_r = 8.84 \times (31.50 - 26.5) \times 1.0050 - 10.5288 = 11.0313 - 10.5288 = 5.27 Kw$$

$$C: P_r = 9.02 \times (32.00 - 26.5) \times 1.0050 - 11.3783 = 11.9227 - 11.3783 = 6.58 Kw$$

Τέλος, υπολογίζεται το ποσοστό της ισχύος καυσαερίων επί της συνολικής εισερχόμενης ισχύος σε κάθε φορτίο.

$$A: \frac{P_r}{P_B} = \frac{2.97}{290.10} = 1.0252\%$$

$$B: \frac{P_r}{P_B} = \frac{5.27}{363.17} = 1.4509\%$$

$$C: \frac{P_r}{P_B} = \frac{6.58}{469.10} = 1.4021\%$$

## 5.2 Θερμικός Ισολογισμός στον 6<sup>ο</sup> κύλινδρο της MAN D 2866LE

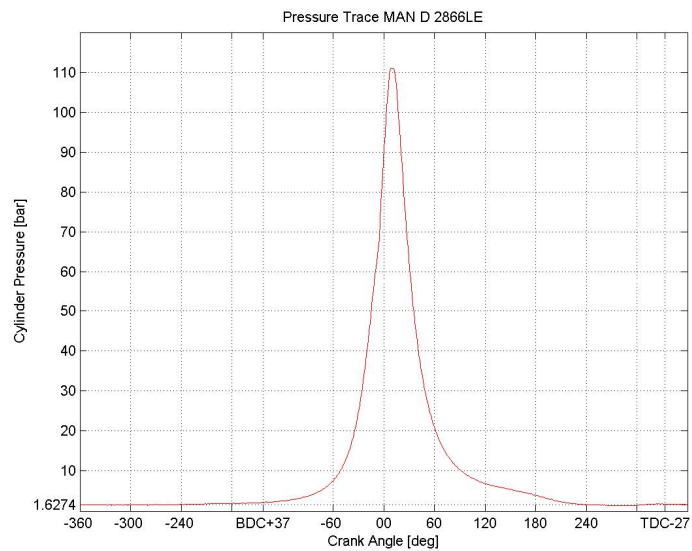
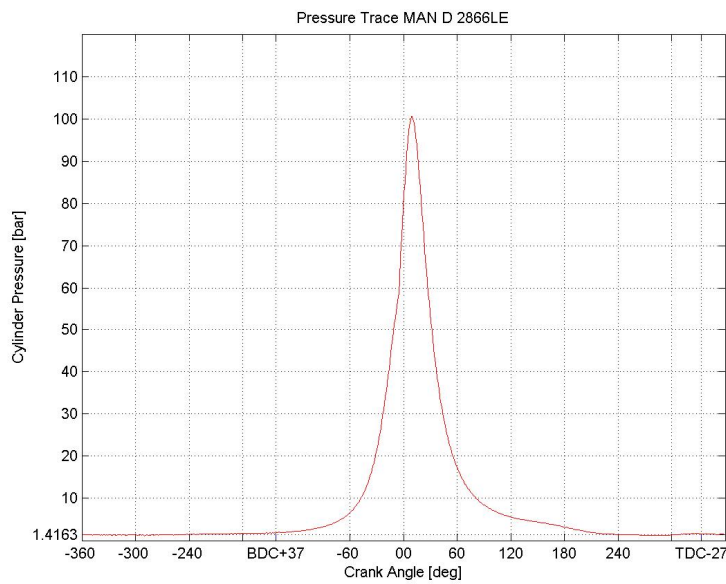
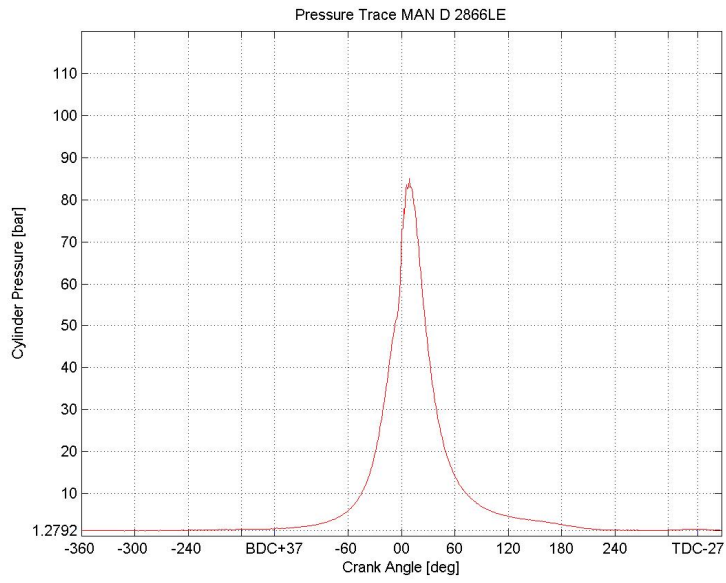
Στον 6<sup>ο</sup> κύλινδρο του κινητήρα Diesel από τον πιεζοηλεκτρικό αισθητήρα πίεσεως, παραλαμβάνουμε το σήμα της πίεσης μέσα από τον θάλαμο καύσης. Το σήμα της πίεσης δεν παραλαμβάνεται στο πεδίο του χρόνου αλλά ο χρονισμός της καταγραφής δεδομένων γίνεται με βάση ένα στροφοσκόπιο που έχει εγκατασταθεί στον σφόνδυλο του ίδιου κινητήρα και δίνει ένα παλμό ανά μια μοίρα περιστροφής του σφονδύλου (κατά συνέπεια 360 παλμούς ανά πλήρη περιστροφή), ενώ ένα επιπλέον στροφοσκόπιο, που δίνει έναν παλμό ανά πλήρη περιστροφή του σφονδύλου, έχει συγχρονιστεί με το άνω νεκρό σημείο (TDC) του κινητήρα και σκανδαλίζει το σύστημα καταγραφής δεδομένων.

Η καταγραφή των δεδομένων έγινε σε τρεις διαφορετικές μόνιμες καταστάσεις λειτουργίας υπό τα φορτία 100, 125 και 160 Kw.

### 5.2.1 Ενδεικνυόμενη πίεση αισθητηρίου θαλάμου καύσης.

Ο αισθητήρας πίεσης που βρίσκεται στην έξοδο του intercooler, οι τιμές του οποίου αναγράφονται στον Πίνακα 5-1 [18] Πίεση αέρα στην έξοδο του υπερπληρωτή, μετρά την πίεση του αέρα εισαγωγής πριν αυτός εισέλθει στον θάλαμο καύσης. Στο τεχνικό φυλλάδιο του κινητήρα MAN D 2866LE αναγράφεται ότι η βαλβίδα εισαγωγής ανοίγει 23° πριν το άνω νεκρό σημείο (23° before TDC) και κλείνει 37 μοίρες μετά το κάτω νεκρό σημείο (37° after BDC), με βάση την πληροφορία αυτή συμπεραίνεται ότι η πίεση στο θάλαμο καύσης στο διάστημα που είναι ανοιχτή η βαλβίδα είναι ίση με την πίεση του αέρα στην έξοδο του intercooler.

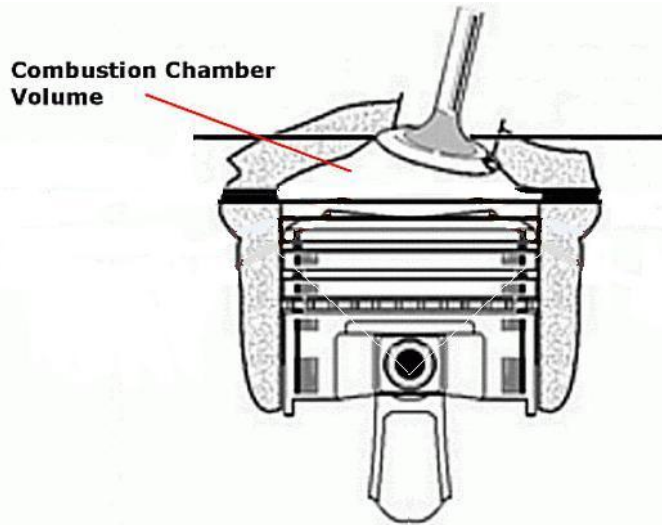
Με την χρήση της παραπάνω μεθόδου χαράσσεται το Σχεδιάγραμμα 5-6 των ενδεικνυόμενων πιέσεων αισθητηρίου θαλάμου καύσης.



Σχεδιάγραμμα 5-6 Ενδεικνύμενη πίεσης στο θάλαμο καύσης για κάθε κατάσταση λειτουργίας.

### 5.2.2 Διάγραμμα πίεσης-όγκου (p-V)

Εφόσον έχει υπολογιστεί η ενδεικνύμενη πίεση με βάση την στροφαλογωνία, έτσι πρέπει να υπολογιστεί και ο όγκος του θαλάμου καύσης προκειμένου να γίνει η από κοινού αναπαράσταση των δυο μεγεθών.



Εικόνα 5-2 Ανάλυση Ογκου κυλίνδρου

Από την Εικόνα 5-2 συμπεραίνεται ότι ο συνολικός όγκος του θαλάμου καύσης αναλύεται σε δυο επιμέρους. Τον όγκο κυλίνδρου (swept volume), που υπολογίζεται από τον τύπο ( 5-10) όγκου κυλίνδρου και τον όγκο στον οποίο συμπιέζεται ο αέρας όταν το έμβολο βρίσκεται στο άνω νεκρό σημείο (clearance volume). Ο συνολικός όγκος (total volume) είναι το άθροισμα αυτών των δύο ενώ είναι προφανές ότι σε κάθε γωνιά ο όγκος συμπίεσης θα προστίθεται στον εκάστοτε όγκο κυλίνδρου.

Στο τεχνικό φυλλάδιο του κινητήρα αναγράφονται οι βασικές διαστάσεις των κυλίνδρων του κινητήρα με τις οποίες και υπολογίζεται ο όγκος κυλίνδρου.

$$\text{Bore} = 128\text{mm}$$

$$\text{Stroke} = 155\text{mm}$$

$$\text{Total Swept Volume} = 11.967 \text{ cm}^3$$

$$\text{Cylinder Swept Volume} = \frac{11.967}{6} = 1.995 \text{ cm}^3 = 0.0020 \text{ m}^3$$

( 5-10)

Στο τεχνικό φυλλάδιο επίσης του κινητήρα αναγράφεται ο λόγος συμπίεσης του κινητήρα και έτσι ο όγκος συμπίεσης υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Compression ratio} = 15$$

$$\text{Compression ratio} = \frac{\text{Total Volume}}{\text{Clearance Volume}} = \frac{\text{Swept Volume} + \text{Clearance Volume}}{\text{Clearance Volume}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{Compression ratio} = \frac{\text{Swept Volume}}{\text{Clearance Volume}} + 1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{Clearance Volume} = \frac{\text{Swept Volume}}{\text{Compression ratio} - 1}$$

$$\text{Clearance Volume} = \frac{0.0020}{15 - 1} = 1.43 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

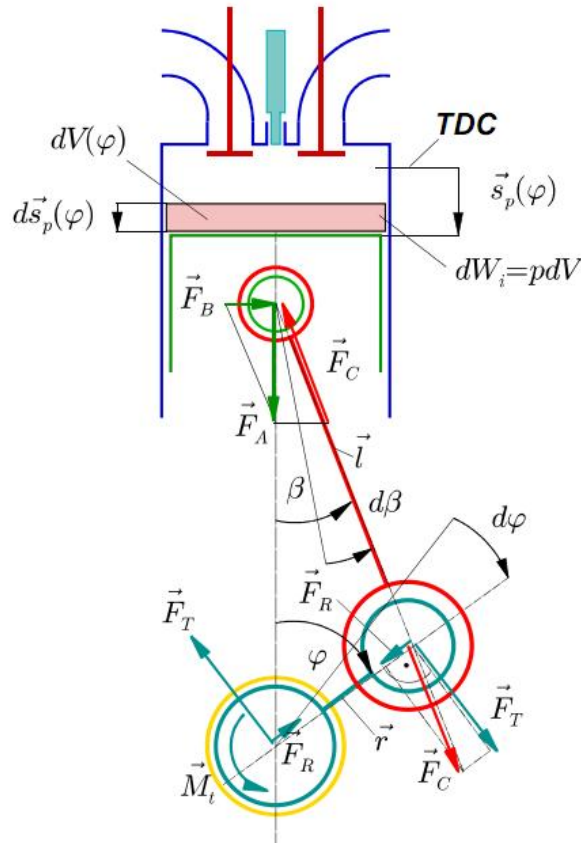
$$\text{Total Volume} = 0.0020 + 1.43 \times 10^{-4} = 0.00214 \text{ m}^3$$

Εχοντας μετρήσει την πίεση στον θάλαμο καύσης, μένει να επιλέξουμε έναν τρόπο για την μέτρηση της μεταβολής του όγκου dV. Ο συνήθης τρόπος είναι να μετασχηματισθεί η μεταβολή του όγκου σε μεταβολή της γωνίας του στροφαλοφόρου dφ από την γεωμετρία του κινηματικού μηχανισμού, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5-3.

Η μεταφορά της παλινδρομικής κίνησης σε κυκλική, που εκτελεί ο κινηματικός μηχανισμός στην Εικόνα 5-3, περιγράφεται από την σχέση μεταξύ της γωνίας  $\phi$  και της διαδρομής  $s_p$  χρησιμοποιώντας τον λόγο:

$$\lambda_c = \frac{|\vec{r}'|}{|\vec{l}|} = 0.309$$

$$\frac{S_p(\phi)}{r} = \frac{\lambda_c + 1}{\lambda_c} - \frac{1}{\lambda_c} \sqrt{1 - \lambda_c \sin^2 \phi} - \cos \phi = f(\phi)$$



Εικόνα 5-3 Κινηματικός Μηχανισμός Στροφάλου.

Ο όγκος του κυλίνδρου και εν συνεχεία η μεταβολή του όγκου, λαμβάνοντας υπ' όψη τα παραπάνω, υπολογίζονται από τους παρακάτω τύπους αντίστοιχα:

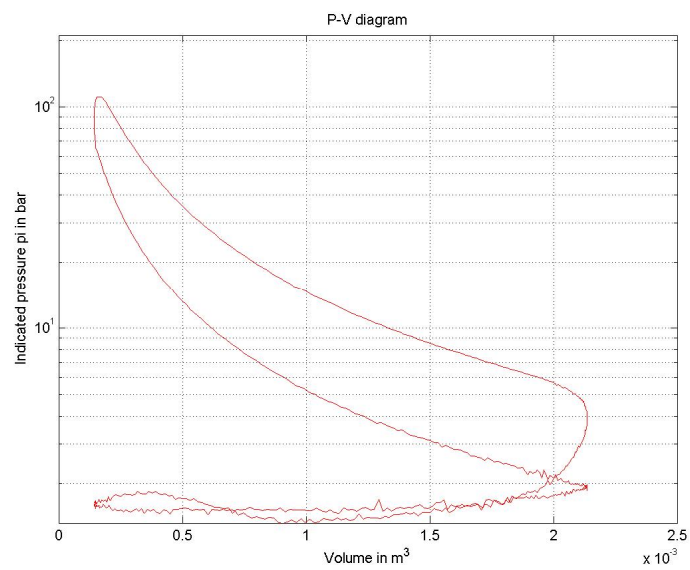
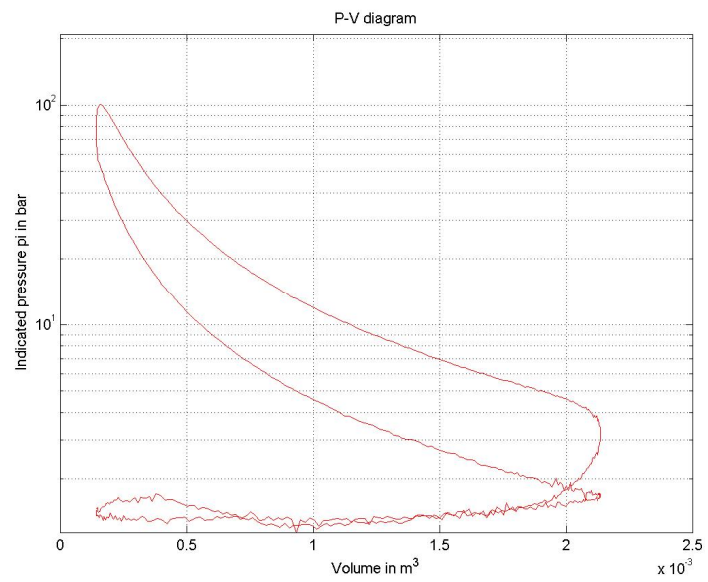
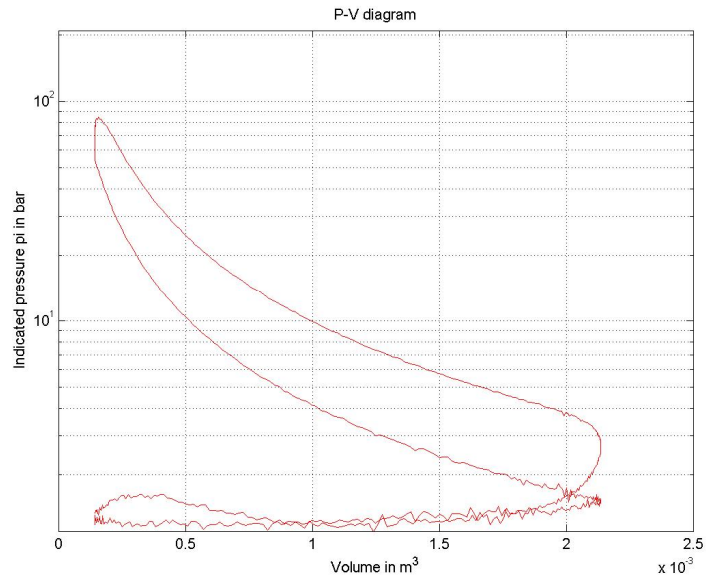
$$V = V_{clearance} + r f(\phi) A_c = V_{clearance} + r f(\phi) \left( \pi \times \frac{bore^2}{4} \right)$$

$$\frac{dV}{d\phi} = r \times A_c \left[ \frac{\lambda_c \sin 2\phi}{2\sqrt{1 - \lambda_c^2 \sin^2 \phi}} + \sin \phi \right] \Rightarrow dV = r \times A_c \times [f_1(\phi)] d\phi$$

(5-11)

Η τιμή της συνάρτησης  $f(\phi)$  πρέπει να υπολογιστεί για κάθε τιμή της γωνίας  $\phi$  σε ένα πλήρη κύκλο του στροφαλοφόρου και να αντιστοιχηθεί με την τιμή της πίεσης για την ίδια γωνία. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται με την χρήση του αλγορίθμου στο πρόγραμμα MATLAB.

Στο Σχεδιάγραμμα 5-6 που δημιουργείται από τον αλγόριθμο γίνεται αναπαράσταση λοιπόν της πίεσης του θαλάμου καύσης ως προς τον όγκο αυτού στις τρεις καταστάσεις λειτουργίας.



Σχεδιάγραμμα 5-7 Πραγματικός Κύκλος λειτουργίας σε κάθε φορτίο. Διάγραμμα p-V.



### 5.2.3 Ισοζύγιο Ενέργειας Θαλάμου Καύσης

Το ισοζύγιο εντός του θαλάμου καύσης συντηρείται από τις ενεργειακές μεταβολές των συστατικών της καύσης. Τα συστατικά του θαλάμου, με τα χημικά δυναμικά, μετασχηματίζονται αυξάνοντας την θερμική ενέργεια και παράγοντας έργο.

Στην εξίσωση εισερχόμενων και εξερχόμενων ενεργειών του θαλάμου καύσης υπολογίζεται η δια της καύσης δημιουργούμενη ισχύς από το μείγμα αέρα-καυσίμου και εξισώνεται με την συσσωρευτική τιμή της εκλυόμενης θερμότητας, το έργο καθώς και την ενέργεια των καυσαερίων που εξέρχονται του συστήματος.

$$\begin{aligned} \text{Σύνολο Εισερχόμενης Ισχύος} &= \text{Σύνολο Εξερχόμενης Ισχύος} \\ &\downarrow \\ &\text{Ενέργεια Καυσίμου} + \text{Ενέργεια Αέρα} \\ &= \\ &\text{Έργο} + \text{Συσσωρευτική Τιμή Εκλυόμενης Θερμότητας} + \text{Ενέργεια Καυσαερίων} \end{aligned}$$

### 5.2.4 Ενέργεια Καυσίμου

Το γινόμενο της μάζας καυσίμου επί την εσωτερική του ενέργεια είναι το ζητούμενο. Τα μεγέθη αυτά είναι ήδη υπολογισμένα, το καύσιμο που χρησιμοποιείται έχει θερμογόνο δύναμη  $H_u=42.98\text{Mj/Kg}$  ενώ η κατανάλωση καυσίμου έχει καταγραφεί και δίνεται στον Πίνακα 5-1 [1] *Παροχή καυσίμου*. Η τιμή βέβαια της παροχής είναι ανά δευτερόλεπτο και πρέπει να γίνει αναγωγή σε ένα πλήρη κύκλο 4-χρονης μηχανής (2 περιστροφές).

*Περίοδος 1 περροστροφής:*

$$T = \frac{60}{n_M} = \frac{60}{1500 \text{ s}^{-1}} = 0.04 \text{ s}$$

*Ισοδύναμος χρόνος κατανάλωσης πλήρους κύκλου:*

$$T_{stroke} = \frac{\text{Cycles} * T}{\text{Cylinders}} = \frac{2 * 0.04}{6} = \frac{1}{75} = 0.1334 \text{ s}$$

*Ενέργεια καυσίμου σε πλήρες κυκλο κινήτηρα :*

$$E_B = \dot{m}_B * T_{stroke} * H_u$$

$$A: E_B = \frac{0.405}{60} * 0.1334 * 42978 = 0.00675 * 0.01334 * 42978 = 3.87 \text{ KJ}$$

$$B: E_B = \frac{0.507}{60} * 0.1334 * 42978 = 0.00845 * 0.01334 * 42978 = 4.84 \text{ KJ}$$

$$C: E_B = \frac{0.655}{60} * 0.1334 * 42978 = 0.01092 * 0.01334 * 42978 = 6.26 \text{ KJ}$$

### 5.2.5 Ενέργεια αέρα

Κατά τον ίδιο τρόπο, το γινόμενο της μάζας του αέρα επί την εσωτερική ενέργεια αέρα είναι το ζητούμενο σε αυτό το κεφάλαιο. Η μάζα του αέρα ανά δευτερόλεπτο έχει υπολογιστεί ως παροχή μάζας αέρα στο κεφάλαιο «Ισχύς Καυσαερίων». Στο ισοζύγιο του θαλάμου καύσης όμως υπολογίζεται μάζα αέρα για ένα κύκλο (δυο περιστροφές στροφάλου) σε κάθε κατάσταση λειτουργίας του πειράματος.

*Μάζα αέρα για ένα κύκλο:*

$$m_L = m_g * 2T$$

$$A: m_L = m_g * 2T = 0.2826 * 0.08 = 0.02261 \text{ Kg}$$

$$B: m_L = m_g * 2T = 0.3090 * 0.08 = 0.02472 \text{ Kg}$$

$$C: m_L = m_g * 2T = 0.3517 * 0.08 = 0.02814 \text{ Kg}$$

Η εσωτερική ενέργεια του αέρα, υπό την παραδοχή ότι αποτελείται κυρίως από Οξυγόνο και Αζωτο, μπορεί να βρεθεί με δυο τρόπους είτε με την άθροιση της εσωτερικής ενέργειας των στοιχείων που τον απαρτίζουν επί της αντίστοιχες επιμέρους μάζες είτε με την μέθοδο εύρεσης εσωτερικής ενέργειας σε διατομικά αέρια.

Με βάση την πρώτη μέθοδο, για αέρα εισαγωγής θερμοκρασίας που δίδεται από τον Πίνακα 5-1 [3] Θερμοκρασία αέρα εισόδου:

$$\text{Εσωτερική Ενέργεια Οξυγόνου: } H_m^{O_2}(300K) = 8.7 \frac{Mj}{kmol}$$

$$\text{Μοριακή Μάζα Οξυγόνου: } M^{O_2} = 32 \frac{Kg}{Kmol}$$

$$\text{Εσωτερική Ενέργεια Αζώτου: } H_m^{N_2}(300K) = H_m^{N_2}(300K) = 8.7 \frac{Mj}{kmol}$$

$$\text{Μοριακή Μάζα Αζώτου: } M^{N_2} = 28 \frac{Kg}{Kmol}$$

Με βάση τα παραπάνω μεγέθη υπολογίζεται η ενέργεια.

$$m_L U_L = m^{O_2} \frac{H_m^{O_2}}{M^{O_2}} + m^{N_2} \frac{H_m^{N_2}}{M^{N_2}} = 8.7 m_L \left( \frac{0.2}{M^{O_2}} + \frac{0.8}{M^{N_2}} \right) = 8.7 \times m_L \left( \frac{0.2 M^{N_2} + 0.8 M^{O_2}}{M^{O_2} \times M^{N_2}} \right)$$

$$A: m_L U_L = 8.7 \times 0.02261 \left( \frac{0.2 \times 28 + 0.8 \times 32}{32 \times 28} \right) = 6.85 \text{ Kj}$$

$$B: m_L U_L = 8.7 \times 0.02472 \left( \frac{0.2 \times 28 + 0.8 \times 32}{32 \times 28} \right) = 7.49 \text{ Kj}$$

$$C: m_L U_L = 8.7 \times 0.02814 \left( \frac{0.2 \times 28 + 0.8 \times 32}{32 \times 28} \right) = 8.52 \text{ Kj}$$

Με βάση την δεύτερη μέθοδο, για αέρα εισαγωγής θερμοκρασίας που δίδεται από τον Πίνακα 5-1 [3] Θερμοκρασία αέρα εισόδου:

$$\text{Εσωτερική Ενέργεια Αέρα: } U_L = z_L R_L T_L$$

$$\text{Για διατομικά αέρια: } z_L = \frac{1}{k_L - 1} = \frac{1}{7/5 - 1} = \frac{5}{2}$$

$$\text{Σταθερά αέρα (για } T = 300k): R_L = 0.33 \frac{Kj}{KgK}$$

$$A: m_L \times U_L = 0.02261 \times \frac{5}{2} \times 0.33 \times 300 = 5.6 \text{ Kj}$$

$$B: m_L \times U_L = 0.02472 \times \frac{5}{2} \times 0.33 \times 300 = 6.12 \text{ Kj}$$

$$C: m_L \times U_L = 0.02814 \times \frac{5}{2} \times 0.33 \times 300 = 6.96 \text{ Kj}$$

Εφόσον διαπιστώνεται διαφορά στα αποτελέσματα των δυο μεθόδων, θα χρησιμοποιήσουμε την μέση τιμή των δυο για μεγαλύτερη ακρίβεια.

$$A: E_L = \frac{5.6 + 6.85}{2} = 6.225 \text{ Kj}$$

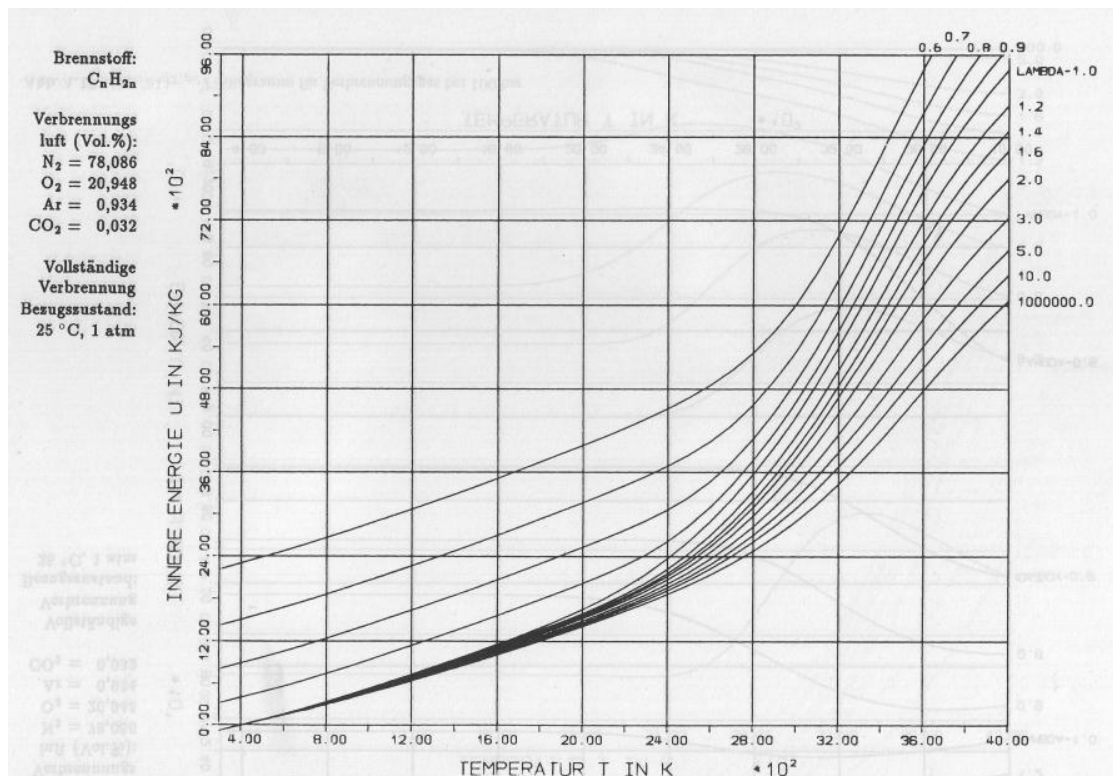
$$B: E_L = \frac{6.12 + 7.49}{2} = 6.485 \text{ Kj}$$

$$C: E_L = \frac{6.96 + 8.52}{2} = 7.74 \text{ Kj}$$

### 5.2.6 Ενέργεια Καυσαερίων

Η μάζα των καυσαερίων σε αυτό το σημείο μπορεί να βρεθεί εύκολα αθροίζοντας τις τιμές της μάζας καυσίμου και της μάζας αέρα σε κάθε κατάσταση λειτουργίας. Η εσωτερική ενέργεια των

καυσαερίων σε συσχέτιση με τον λόγο αέρα-καυσίμου και την θερμοκρασία καυσαερίων εντοπίζεται στο Σχεδιάγραμμα 5-8.



Σχεδιάγραμμα 5-8 Εσωτερική ενέργεια καυσαερίων

Μάζα Καυσαερίων:  $m_{VG} = m_B \times T_{stroke} + m_L$

$$A: m_{VG} = 0.00675 \times 0.01334 + 0.02261 = 8.9 \times 10^{-5} + 0.02261 = 0.0227 \text{ kg}$$

$$B: m_{VG} = 0.00845 \times 0.01334 + 0.02472 = 1.12 \times 10^{-4} + 0.02472 = 0.0248 \text{ kg}$$

$$C: m_{VG} = 0.01092 \times 0.01334 + 0.02814 = 1.46 \times 10^{-4} + 0.02814 = 0.0283 \text{ kg}$$

Ενέργεια Καυσαερίων:  $E_{VG} = m_{VG} \times U_{VG}$

$$A: E_{VG} = 0.0227 \text{ kg} \times 150 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} = 3.4080 \text{ Kj}$$

$$B: E_{VG} = 0.0248 \text{ kg} \times 190 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} = 4.7182 \text{ Kj}$$

$$C: E_{VG} = 0.0283 \text{ kg} \times 220 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} = 6.226 \text{ Kj}$$

### 5.2.7 Συσσωρευτική Τιμή Εκλυόμενης Θερμότητας

Τις χρονικές μεταβολές του ενεργειακού μετασχηματισμού στον θάλαμο καύσης έχουμε στην διάθεσή μας από τα μετρημένα ζεύγη πίεσης-όγκου (p-V) για να υπολογίσουμε τις τιμές της εκλυόμενης θερμότητας. Θα περιοριστούμε στον υπολογισμό έκλυσης θερμότητας χωρίς να συμπεριλάβουμε τις θερμικές απώλειες των τοιχωμάτων του θαλάμου καύσης και τις λοιπές απώλειες. Η μεταβολή της εκλυόμενης θερμότητας συνάγεται από τον τύπο, με  $\bar{\kappa}$  το μέσο του πολυτροπικού εκθέτη,  $\bar{R}$  την μέση τιμή της σταθεράς του αερίου και  $\frac{\bar{\kappa}}{c_v} = \bar{\kappa} - 1$ .

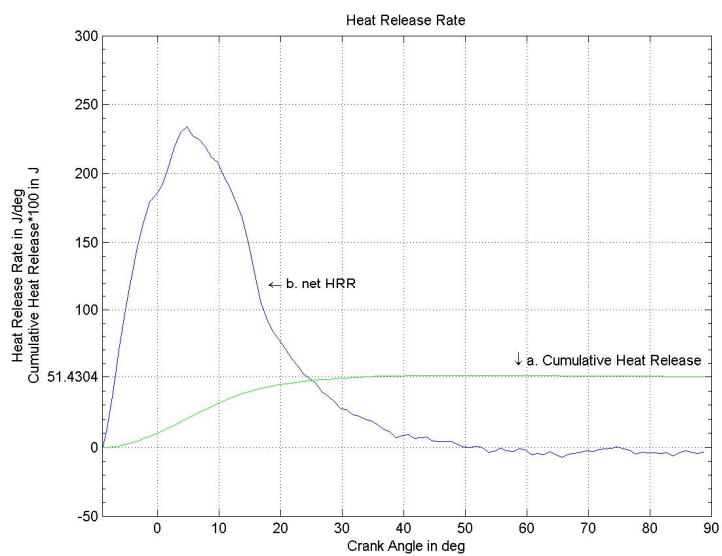
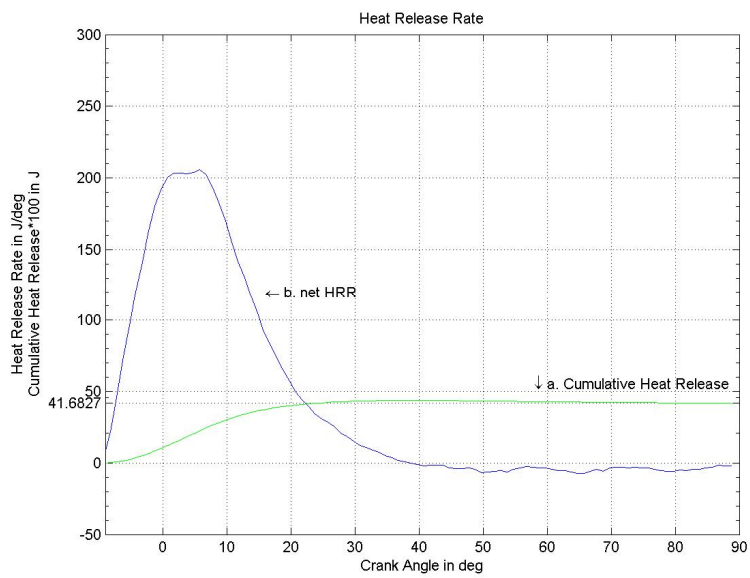
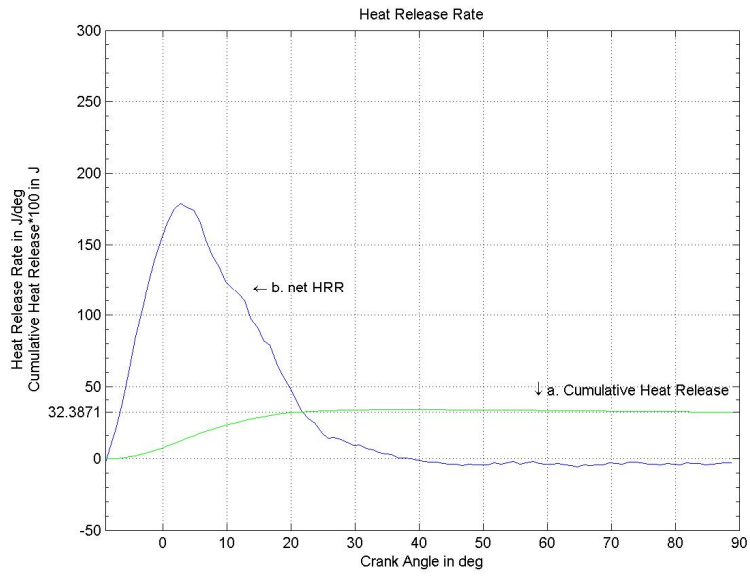
$$Q_{HR} \dot{dt} = \frac{1}{\bar{k}-1} V dp + \frac{\bar{k}}{\bar{k}-1} p dV$$

(5-12)

- Η μέση σταθερά:  $\bar{R}_c = 5.38038 \times 10^{-3} \left( 53.341 - \frac{0.4425}{\lambda} \right) \left[ \frac{Kg}{kJK} \right]$
- $\bar{c}_{pc} = 4.1868(0.0717 + \lambda 10^{-4}) \times (1.8T)^B \left[ \frac{Kg}{kJK} \right]$
- $B = 0.1883 - 2.903 \times 10^{-4} \lambda$
- Η μέση θερμοχωρητικότητα:  $c_{vc} = c_{pc} - R_c$
- $k_c = \frac{c_{pc}}{c_{vc}} = \frac{c_{pc}}{c_{pc} - R_c}$

Επίσης:

1. Η συντεταγμένη του όγκου  $dV$  από την στροφαλογωνία  $\phi$  αντικαθίσταται στον τύπο όπως υπολογίστηκε από τον τύπο (5-11).
2. Η συντεταγμένη της πίεσης  $dp$  αντικαθίσταται στον τύπο από τα ψηφιακά δεδομένα της μέτρησης της πίεσης.
3. Επειδή τα δεδομένα της πίεσης παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις, πράγμα που συχνά οδηγεί σε εσφαλμένες τιμές για την εκλυόμενη θερμότητα από την (5-12), είναι αναγκαίο να παρεμβληθεί πολυώνυμο 3<sup>ου</sup> βαθμού με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων διαμέσου ενός μικρού πλήθους σημείων τις πίεσης (εν προκειμένω 12,9,7 για τις αντίστοιχες δοκιμές) και στο εκάστοτε σημείο ενδιαφέροντος να υπολογιστεί η τιμή της πίεσης σαν τιμή της συνάρτησης του πολυωνύμου παρεμβολής.
4. Ο υπολογισμός της μεταβολής εκλυόμενης θερμότητας θα γίνει με την παραπάνω διαδικασία με την βοήθεια κώδικα MATLAB από τον οποίο και εξάγονται τα σχεδιαγράμματα που αναπαρίστανται η εκλυόμενη θερμότητα σε κάθε λειτουργία του κινητήρα στο πείραμα.



Σχεδιάγραμμα 5-9 Εκλυόμενη θερμότητα, Συσσωρευτική τιμή Εκλυόμενης θερμότητας, εκλυόμενη πίεση.

Από το παραπάνω Σχεδιάγραμμα 5-9 εκτός της μεταβολής της εκλυόμενης θερμότητας, είναι χαραγμένη και η συσσωρευμένη τιμή της. Συνεπώς, οι τιμές για κάθε λειτουργία του κινητήρα στα πλαίσια του πειράματος είναι η εξής:

$$A: Q_{th} = 3238.7j$$

$$A: Q_{th} = 4168.2j$$

$$A: Q_{th} = 5143.0j$$

### 5.2.8 Έργο

Ο υπολογισμός του έργου είναι πλέον εύκολος εφόσον έχει περιγραφεί το κινηματικό μοντέλο και έχει υπολογιστεί η μεταβολή του όγκου ως προς την γωνία του στροφαλοφόρου. Υπολογίζουμε λοιπόν την μέση ενδεικνύμενη πίεση  $p_i$  μετρώντας την στιγμιαία τιμή της πίεσης  $p$  στον θάλαμο καύσης στην γωνία  $\phi$  στον στρόφαλο και ολοκληρώνοντας για ένα κύκλο.

$$W_i = \int_0^{4\pi} p_c(\phi) A_c f_1(\phi) d\phi = p_i V_h$$

Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με την βοήθεια κώδικα MATLAB που υπολογίζει την μεταβολή του όγκου όπως στο κεφάλαιο 'Διάγραμμα πίεσης-όγκου'. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται 720 φορές για κάθε τιμή της πίεσης και αθροίζεται καθ' όλη τη διάρκεια το έργο. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας αυτής είναι τα εξής:

$$A: W_i = \int p_i dV = 1.715 kJ$$

$$B: W_i = \int p_i dV = 2.219 kJ$$

$$C: W_i = \int p_i dV = 2.690 kJ$$

## 5.3 Αποτελέσματα Ενεργειακών Ισολογισμών

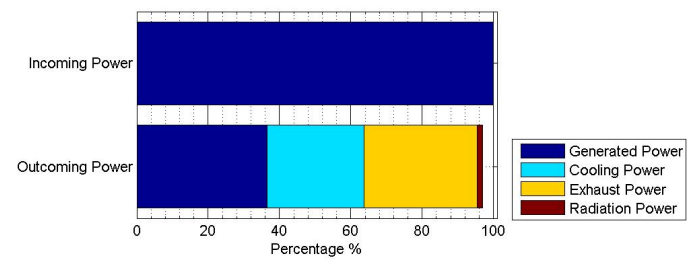
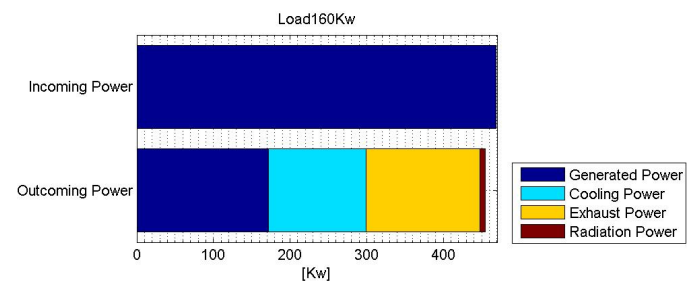
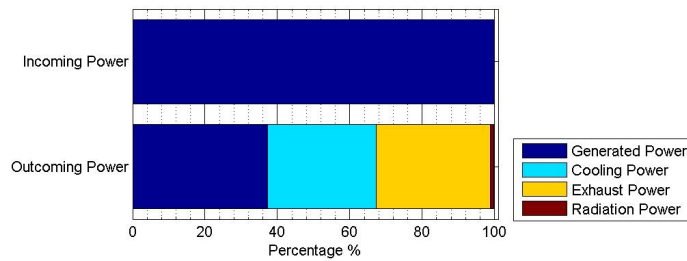
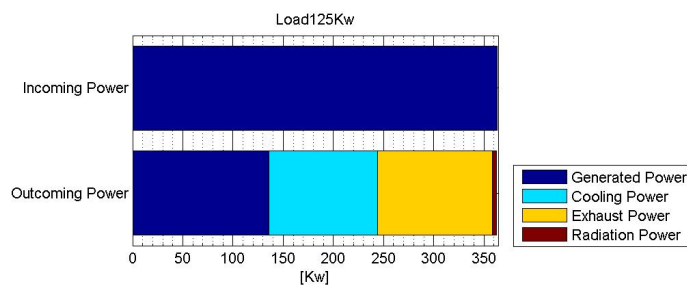
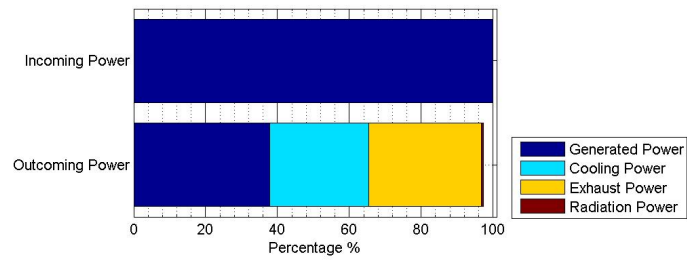
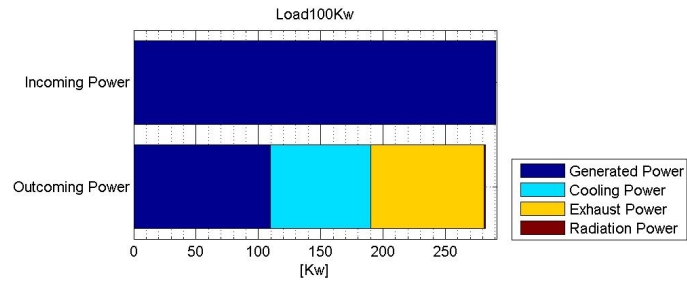
### 5.3.1 Ενεργειακός Ισολογισμός Κινητήρα

Με βάση το ισοζύγιο όπως περιγράφηκε στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο θα εξισωθούν οι εισερχόμενες με τις εξερχόμενες ισχύς προκειμένου να εξετασθεί αν ισχύει η μεταξύ τους ισοτιμία.

Φορτία Λειτουργίας	100 Kw	125 kW	160 kW	100 Kw	125 kW	160 kW
	Μεγέθη [Kw]			Ποσοστά [%]		
Παραγόμενη Ισχύς [P <sub>prod</sub> ]	109.7427	135.5288	171.3783	37.83	37.32	36.53
Ισχύς Ψύξεως [P <sub>c</sub> ]	80.1544	108.7907	127.9394	27.63	29.96	27.27
Ισχύς Καυσαερίων [P <sub>a</sub> ]	90.8662	114.4042	148.6021	31.32	31.50	31.68
Ισχύς Ακτινοβολίας [P <sub>r</sub> ]	1.3754	3.68	6.5771	0.474	1.01	1.40
Σύνολο Εξερχόμενης Ισχύος	283.7375	363.9930	454.4970	0.9781	0.9979	0.9689
Σύνολο Εισερχόμενης Ισχύος [P <sub>B</sub> ]: Ισχύς Καυσίμου	290.0994	363.1731	469.0990	100	100	100
P <sub>B</sub> - (P <sub>prod</sub> +P <sub>c</sub> +P <sub>a</sub> +P <sub>r</sub> )	6.3618	-0.8199	14.6020	0.0219	0.0023	0.0311

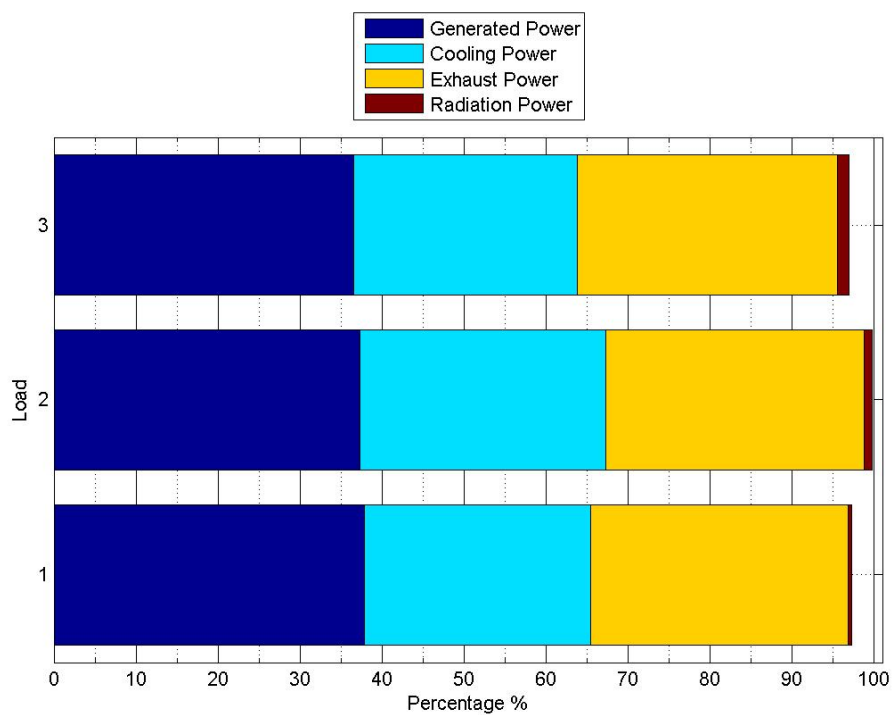
Πίνακας 5-2 Συγκεντρωτικός πίνακας Ισχύων σε κάθε φορτίο

Τα αντίστοιχα διαγράμματα των παραπάνω μεγεθών για κάθε φορτίο ακολουθούν στο Σχεδιάγραμμα 5-10.



Σχεδιάγραμμα 5-10 Θερμικός Ισολογισμός Κινητήρα για κάθε φορτίο

Τέλος παρατίθενται τα ποσοστά των συνιστωσών της εξερχόμενης ισχύος σε κάθε φορτίο στο Σχεδιάγραμμα 5-11 όπου και είναι εμφανής η μεταξύ τους σχέση σαν ποσοστά επί της εισερχόμενης ισχύος.



Σχεδιάγραμμα 5-11 Συγκριτικά Θερμικών Ισολογισμών Κινητήρα για κάθε φορτίο.



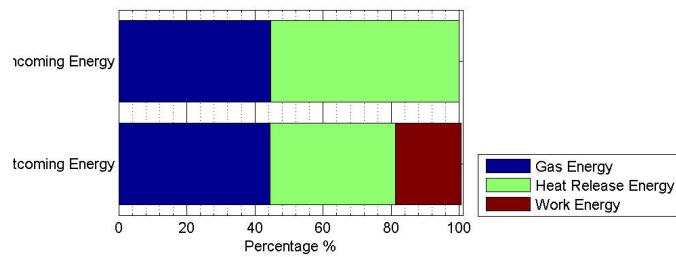
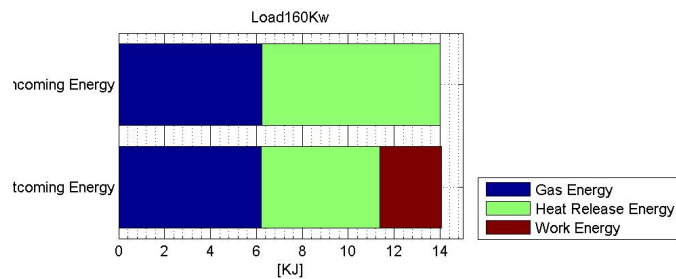
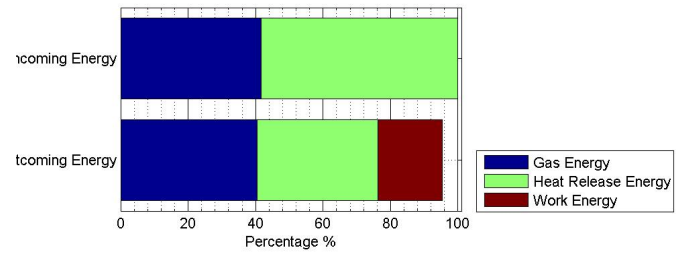
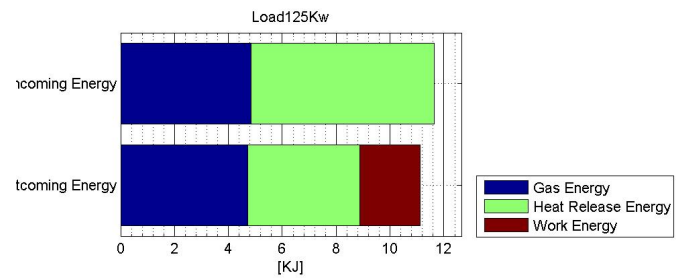
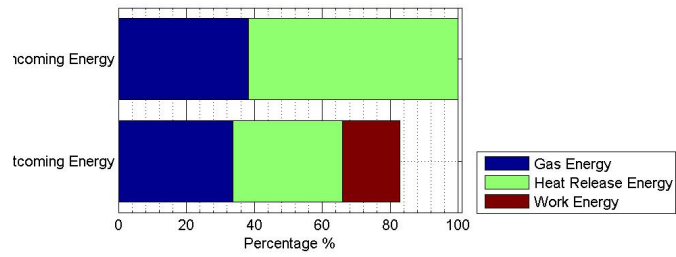
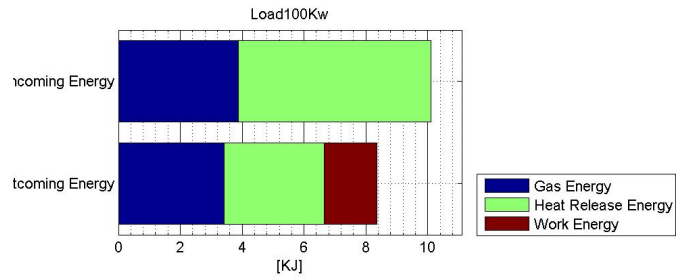
### 5.3.2 Ενεργειακός Ισολογισμός Κινητήρα

Με βάση τον ενεργειακό ισολογισμό όπως περιγράφηκε στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο θα εξισωθούν οι εισερχόμενη με τις εξερχόμενες ισχύς προκειμένου να εξετασθεί αν ισχύει η μεταξύ τους ισοτιμία.

Φορτία Λειτουργίας	100 Kw	125 kW	160 kW	100 Kw	125 kW	160 kW
	Μεγέθη [kJ]			Ποσοστά [%]		
Ενέργεια Καυσίμου [E <sub>B</sub> ]	3.8680	4.8423	6.2547	38.3059	41.5743	44.7090
Ενέργεια Αέρα [E <sub>G</sub> ]	6.2296	6.8051	7.7351	61.6941	58.4257	55.2910
Ενέργεια Καυσαερίων [E <sub>VG</sub> ]	3.4080	4.7182	6.2183	33.7502	40.5089	44.4490
Συσσωρευτική Τιμή Εκλυόμενης Θερμότητας [E <sub>TH</sub> ]	3.2387	4.1683	5.1430	32.0739	35.7872	36.7630
Ενδεικνύμενο Έργο [W <sub>i</sub> ]	1.7150	2.2190	2.6904	16.9838	19.0518	19.231
Σύνολο Εξερχόμενης Ισχύος [E <sub>VG</sub> + E <sub>TH</sub> + W <sub>i</sub> ]	8.3616	11.1055	14.0518	0.8281	0.9535	1.0044
Σύνολο Εισερχόμενης Ισχύος [E <sub>B</sub> + E <sub>G</sub> ]	10.0976	11.6474	13.9897	100	100	100
$ P_B - (P_{prod} + P_c + P_a + P_r) $	1.7360	0.5419	-0.0621	17.19	4.65	0.44

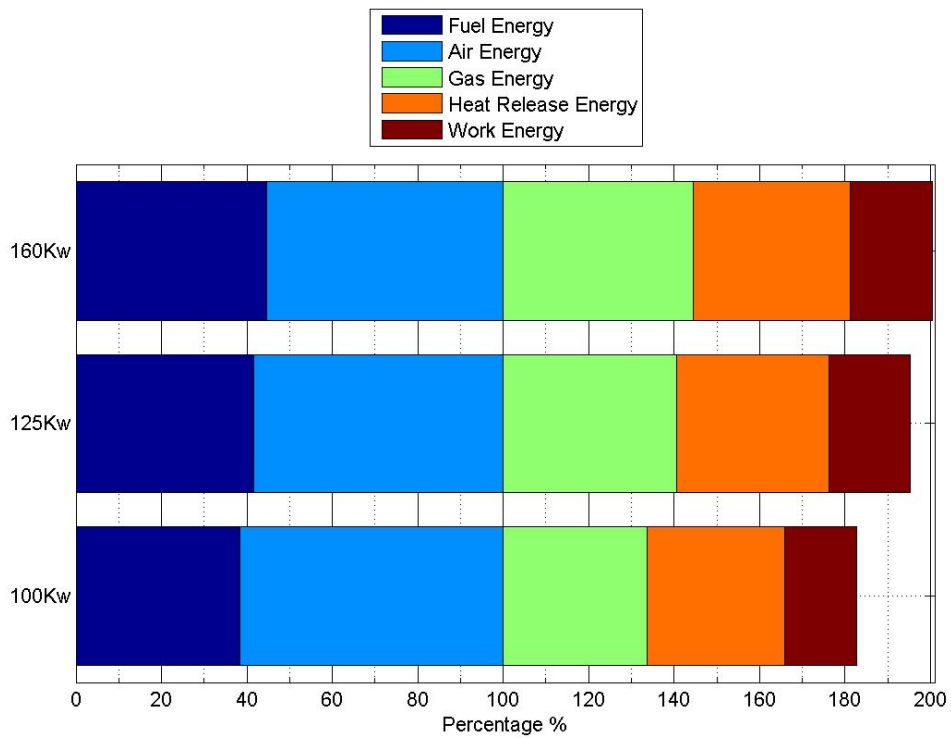
Πίνακας 5-3 Συγκεντρωτικός Πίνακας Ενεργειών του Ισοζυγίου Θαλάμου Καύσης σε κάθε φορτίο.

Οι αναπαραστάσεις των παραπάνω μεγεθών για κάθε φορτίο ακολουθούν στο Σχεδιάγραμμα 5-12.



Σχεδιάγραμμα 5-12 Θερμικό Ισοζύγιο Θαλάμου Καύσης για κάθε φορτίο

Τέλος παρατίθενται τα ποσοστά των συνιστωσών της εξερχόμενης ισχύος σε κάθε φορτίο στο Σχεδιάγραμμα 5-13 όπου και είναι εμφανής η μεταξύ τους σχέση σαν ποσοστά επί της εισερχόμενης ισχύος.



**Σχεδιάγραμμα 5-13 Συγκριτικό Θερμικών Ισοζυγίων Κυλίνδρου για κάθε φορτίο.**

## 6. Βιβλιογραφία

[1] Kevin James, "PC Interfacing and Data Acquisition: Techniques for Measurement, Instrumentation and Control", Newnes, 2000.

[2] John B. Heywood, "Internal Combustion Engine Fundamentals", Mc Graw Hill International Editions, 1998.

[3] P. Theys, "Log Data Acquisition and Quality Control", Editions Technip, 1999.

[4] Κων/νος Δ. Ρακόπουλος, "Αρχές Εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ", Εκδόσεις Φούντας.

[5] Νικόλαος Αλεξανδράκης, "Σημειώσεις Εργαστηρίου Ναυτικής Μηχανολογίας 2: Μέτρηση Ισχύος Κινητήρα Diesel", 2008.

[6] ISO/DIS 5167-1:2003, "Measurement of fluid flow in circular cross-section conduits running full using pressure differential devices", Part 1, General.

[7] ISO/DIS 5167-2:2003, "Measurement of fluid flow in circular cross-section conduits running full using pressure differential devices", Part 2, Orifice plates.

[6] Νικόλαος Αλεξανδράκης, "Σημειώσεις Εργαστηρίου Ναυτικής Μηχανολογίας 1: Μέτρηση φυσικών μεγεθών, Μέτρηση Θερμοκρασίας, Πίεσης, Ροής», 2009.

[7] Howard Austerlitz. "Data Acquisition Techniques Using PC's", Elsevier Science, 2003

[8] Ramón Pallás-Areny, John G. Webster, "Sensors and Signal Conditioning", Wiley, 2000.

## 7. Appendix A

## 8. Appendix B