

Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ FLOW BENCH



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΒΑΡΒΑΓΙΑΝΝΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΓΕΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΑΡΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ: ΤΣΙΝΟΠΟΥΛΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΚΡΟΥΣΤΑΛΛΗ ΑΝΘΟΥΛΑ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΔΑ

ΠΑΤΡΑ 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και αναφέρεται στην κατασκευή flow bench (πάγκος ροής). Το flow bench βρίσκει πολλές εφαρμογές στις μέρες μας ιδιαίτερα για τον σχεδιασμό ενός κινητήρα, για τη μέτρηση του ποσοστού αέρα που μπορεί να περάσει από διάφορα εξαρτήματα του κινητήρα (αυλοί εισαγωγής-εξαγωγής, βαλβίδες εισαγωγής-εξαγωγής κ.λ.π.) συσχετιζόμενο με τη διαδικασία συμπίεσης του κινητήρα. Ένα flow bench μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για διάφορους τύπους προβλημάτων της ρευστομηχανικής, ωστόσο το flow bench είναι ένα πολύτιμο διδακτικό εργαλείο της μηχανολογικής κατάρτισης και εκπαίδευσης.

Στην αρχή της Πτυχιακής Εργασίας γίνεται αναφορά στις βασικές αρχές της ρευστομηχανικής. Ακολουθεί το κεφάλαιο με πλήρη ανάλυση για τον τρόπο λειτουργίας του flow bench και τις εφαρμογές του. Στην συνέχεια, παρατίθεται ο τρόπος κατασκευής της συσκευής, τα πειραματικά αποτελέσματα, η οικονομοτεχνική ανάλυση και τα συμπεράσματα.

Ευχαριστούμε θερμά τους Επιβλέποντες Καθηγητές μας κ. Στέφανο Τσινόπουλο, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολογίας και την κα Ανθούλα Κρουστάλλη, Εργαστηριακή Συνεργάτιδα του Τμήματος Μηχανολογίας για την πολύτιμη βοήθειά και καθοδήγηση που μας προσέφεραν για την πραγματοποίηση της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας.

Οι σπουδαστές

Βαρβαγιάννης Βασίλειος

Γερακόπουλος Άρης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αναφέρεται στην κατασκευή της Πειραματικής συσκευής του Flow Bench. Το Flow Bench είναι μια συσκευή η οποία χρησιμοποιείται για την μέτρηση ποσοστού αέρα που περνάει μέσα από διάφορα εξαρτήματα. Με την κατασκευή της πειραματικής συσκευής συμβάλλουμε στην προσπάθεια αναβάθμισης του εργαστηριακού εξοπλισμού της υδραυλικής.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε τρία Κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται πλήρη αναφορά στις βασικές αρχές της ρευστομηχανικής, με κύριο ενδιαφέρον στις εξισώσεις που θα χρησιμοποιηθούν και στους πειραματικούς υπολογισμούς.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο γίνεται πλήρη αναφορά για τρόπο λειτουργίας του Flow Bench, καθώς επίσης τις εφαρμογές του. Κατόπιν παρατίθεται ο τρόπος κατασκευής και τα εργαλεία που χρησιμοποιήσαμε μέχρι την ολοκλήρωση του Flow Bench.

Στο τρίτο Κεφάλαιο γίνονται οι πειραματικοί υπολογισμοί, και παρατίθενται τα αποτελέσματα. Ακολουθεί η οικονομοτεχνική ανάλυση και τα συμπεράσματα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΘΕΜΕΛΙΩΔΗΣ ΝΟΜΟΙ

1.1 Ορισμός πίεσης	5
1.2 Μέθοδοι μέτρησης πίεσης	6
1.3 Αρχή BERNOLLI	9
1.4 Εξίσωση συνέχειας	10
1.5 Φαινόμενο VENTURI	11
1.6 Ορισμός κενού	13
1.7 Ορισμός πυκνότητας	14
1.8 Καταστατική εξίσωση αερίων	15
1.9 Εξισώσεις για τον υπολογισμό της παροχής	16

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ FLOW BENCH

2.1 Εισαγωγή στο FLOW BENCH	18
2.2 Τρόπος λειτουργίας συσκευής FLOW BENCH	19
2.3 Εφαρμογές συσκευής FLOW BENCH	20
2.4 Διάταξη πειραματικής συσκευής	21
2.5 Εξαρτήματα-υλικά-εργαλεία	23
2.6 Διαδικασία κατασκευής συσκευής FLOW BENCH	31
2.7 Προσδιορισμός βαθμίδων-θέσεων	43

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

3.1 Σκοπός του πειράματος	47
3.2 Πειραματική Διαδικασία	47
3.3 Υπολογισμός παροχής για βαλβίδα εξαγωγής	48
3.4 Υπολογισμός παροχής για βαλβίδα εισαγωγής	54
3.5 Οικονομοτεχνική ανάλυση	60

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	61
--------------	----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	62
--------------	----

1. ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΝΟΜΟΙ

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΙΕΣΗΣ

Πίεση (P) είναι η δύναμη ανά μονάδα χώρου που εφαρμόζεται σε μια κατεύθυνση κάθετη προς την επιφάνεια ενός αντικειμένου. Η πίεση του μετρητή είναι η πίεση σε σχέση με την τοπική ατμοσφαιρική πίεση. Ορίζεται από την σχέση :

$$P = \frac{F}{A}$$

Όπου P = πίεση
 F = δύναμη

Για το S.I. η μονάδα μέτρησης της πίεσης είναι το *Pascal (Pa)* που ισούται με ένα Newton ανά τετραγωνικό μέτρο. Η ειδική αυτή ονομασία προστέθηκε το 1971 πριν από αυτή η πίεση στο S.I. εκφραζόταν σε N/m^2 . Αναλυτικά οι υπόλοιπες μονάδες καθώς και οι μετατροπές τους αναφέρονται στον πίνακα 1 που ακολουθεί παρακάτω.

Μονάδες πίεσης						
	pascal (Pa)	μπαρ (Bar)	τεχνική ατμόσφαιρα (at)	ατμόσφαιρα (Atm)	Torr (Torr)	(Psi)
1 Pa	1 N/m ²	10 ⁻⁵	1,0197 × 10 ⁻⁵	9,8692 × 10 ⁻⁶	7,5006 × 10 ⁻³	145,04 × 10 ⁻⁶
1 bar	100.000	106 dyn/ cm ²	1,0197	0,98692	750,06	14,5037744
1 at	98,066.5	0.980665	1 kgf/ cm ²	0,96784	735,56	14,223
1 atm	101.325	1,01325	1,0332	1 atm	760	14,696
1 Torr	133,322	1,3332 × 10 ⁻³	1,3595 × 10 ⁻³	1,3158 × 10 ⁻³	1 Torr ≈ 1 mmHg	19,337 × 10 ⁻³
1 psi	6,894 × 10 ³	68,948 × 10 ⁻³	70,307 × 10 ⁻³	68,046 × 10 ⁻³	51,715	1 lbf/ σε2

Πίνακας 1 :Μετατροπές μονάδων πίεσης

Η ατμόσφαιρα (*atm*) είναι μια καθιερωμένη σταθερά. Ατμοσφαιρική πίεση ή «Βαρομετρική πίεση» ονομάζεται η πίεση που ασκεί η ατμόσφαιρα, με το βάρος της στην επιφάνεια της γής. Στην επιφάνεια της Γης η ατμοσφαιρική πίεση ισούται κατά μέσον όρο με το βάρος στήλης ύδατος ύψους 11 μ. (m) περίπου ή με το βάρος στήλης υδραργύρου ύψους 760 χιλ. (mm).

Η πίεση συνήθως μετράται από την ικανότητά της να μετακινήσει μια στήλη ύδατος σε ένα μανόμετρο. Οι συνηθέστερες επιλογές είναι ο υδράργυρος ή κάποιο μη τοξικό υγρό με ευκολία ανάγνωσης. Λόγω του ότι ο υδράργυρος έχει μεγαλύτερη πυκνότητα χρειάζεται μικρότερη στήλη από αυτή του νερού για την μέτρηση μιας δεδομένης πίεσης.

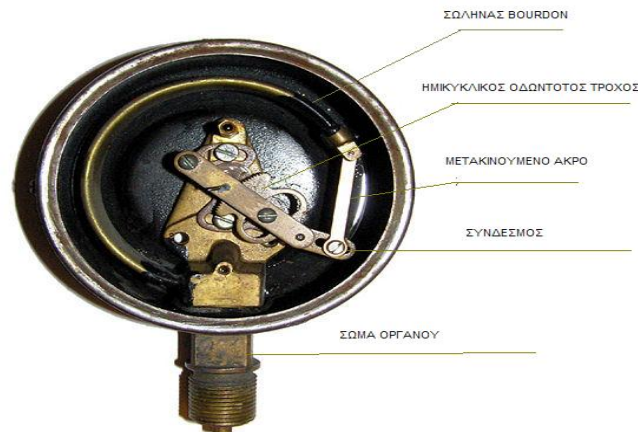
1.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

Πολλές τεχνικές έχουν αναπτυχθεί για την μέτρηση πίεσης και υποπίεσης (κενό). Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση πίεσης ονομάζονται μανόμετρα ενώ για την μέτρηση υποπίεσης κενόμετρα. Το μανόμετρο συνήθως περιορίζεται στη μέτρηση πιέσεων κοντά στην ατμοσφαιρική και ο όρος μανόμετρο παραπέμπει σε όργανα με στήλες ύδατος για υδροστατικές πιέσεις αν και υπάρχουν και άλλοι τύποι μανομέτρων όπως αυτά της γλυκερίνης (Εικ.1) αλλά και τα μανόμετρα Bourdon



Εικόνα 1:Μανόμετρο γλυκερίνης

Το μηχανικό μανόμετρο ή μανόμετρο Bourdon (Εικ.2) είναι η πιο διαδεδομένη συσκευή μέτρησης της πίεσης. Το μετρητικό αυτό όργανο αποτελείται από ένα λεπτό μεταλλικό σωλήνα με πολύ λεπτά τοιχώματα ο οποίος έχει ημικυκλική ή σπειροειδή μορφή. Όταν εφαρμοσθεί σε αυτόν το σωλήνα πίεση προκαλείται η κάμψη του ο σωλήνας λοιπόν έχει την τάση να ευθυγραμμισθεί με αποτέλεσμα το ελεύθερο άκρο του να μετακινείται με την ασκούμενη πίεση. Η κίνηση αυτή του σωλήνα μεταφέρεται μέσω ενός συστήματος μοχλών στη βελόνα η οποία περιστρέφεται σε ένα βαθμονομημένο πίνακα του οποίου τις τιμές και διαβάζουμε.



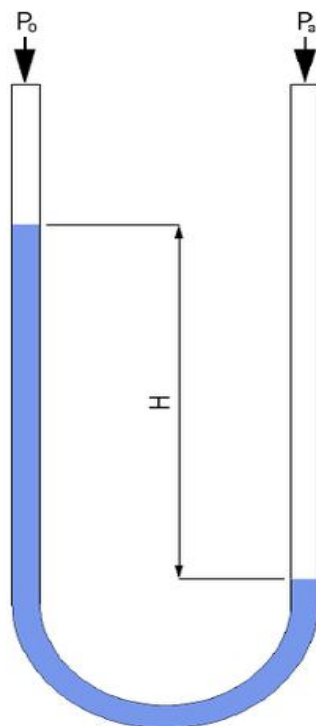
Εικόνα 2:Μανόμετρο Bourdon

Τα κενόμετρα χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της πίεσης στο κενό, το οποίο χωρίζεται σε δυο υποκατηγορίες δηλαδή σε χαμηλό και υψηλό κενό. Οι τύποι κενομέτρων είναι ίδιοι με αυτοί των μανομέτρων με τη διαφορά ότι λειτουργούν αντίστροφα από τα μανόμετρα. (Εικ.3)



Εικόνα 3:Κενόμετρο

Τα μανόμετρα υγρής στήλης αποτελούνται από μια κατακόρυφη στήλη υγρού σε ένα σωλήνα τα άκρα του οποίου είναι εκτεθειμένα σε διαφορετικές πιέσεις. Η στήλη θα αυξηθεί ή θα μειωθεί μέχρι το βάρος του υγρού να εξισορροπηθεί με τη διαφορά της πίεσης των δυο άκρων του σωλήνα. Η απλούστερη μορφή των μανομέτρων αυτών είναι με σωλήνα τύπου U μισογεμάτου με υγρό, η μια πλευρά του είναι συνδεδεμένη με την περιοχή που μας ενδιαφέρει ενώ η άλλη είναι συνδεδεμένη με την περιοχή αναφοράς της πίεσης (συνήθως η ατμοσφαιρική). Η διαφορά στο επίπεδο του υγρού φανερώνει τη διαφορά της πίεσης. Η πίεση που ασκείται από μια στήλη του ρευστού ύψους h και πυκνότητας ρ δίνεται από την εξίσωση υδροστατικής πίεσης, $P = h\rho g$. Ως εκ τούτου, η διαφορά πίεσης μεταξύ της εφαρμοζόμενης πίεσης P_a και η πίεση αναφοράς P_0 σε ένα σωλήνα μανόμετρο U μπορεί να βρεθεί με την επίλυση $P_a - P_0 = h\rho g$. Εάν το υγρό που μετράται είναι πολύ πυκνή, υδροστατική διορθώσεις μπορούν να γίνουν για το ύψος μεταξύ των κινητών τους επιφάνεια του μανόμετρου φέρον ρευστό και τόπος όπου η μέτρηση πίεσης είναι επιθυμητή. (Σχ.1)



Σχήμα 1:Μανόμετρο τύπου U

1.3 ΑΡΧΗ BERNOULLI

Στη ρευστομηχανική, η αρχή του Bernoulli, αναφέρει ότι για μια ανιζώδης ροή η αύξηση της ταχύτητας του ρευστού γίνεται ταυτόχρονα με τη πτώση της πίεσης ή την πτώση του ενεργειακού δυναμικού του ρευστού.

Η αρχή του Bernoulli μπορεί να εφαρμοστεί για διάφορα είδη ροής, με αποτέλεσμα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες μορφές της εξίσωσης Bernoulli για διαφορετικούς τύπους ροής. Η απλή μορφή της εξίσωσης Bernoulli ισχύει για συμπίεστες και ασυμπίεστες ροές που κινούνται με μικρό αριθμό Mach. Περισσότερο προηγμένες μορφές μπορούν σε ορισμένες περιπτώσεις να εφαρμοσθούν σε συμπίεστες ροές για μεγαλύτερο αριθμό Mach. Η αρχή του Bernoulli μπορεί να συναχθεί από την αρχή διατήρησης της ενέργειας. Αυτό δηλώνει ότι σε μια σταθερή ροή το άθροισμα όλων των μορφών της μηχανικής ενέργειας σε ένα ρευστό κατά μήκος ενός ροϊκού νήματος είναι ίδια σε κάθε σημείο του. Αυτό προϋποθέτει ότι το άθροισμα της κινητικής ενέργειας και δυναμικής ενέργειας παραμένει σταθερό. Εάν το ρευστό ρέει σε ένα ανοικτό αγωγό το άθροισμα όλων των μορφών ενέργειας είναι ίσο σε όλα τα σημεία του ροϊκού νήματος επειδή η ενέργεια ανά μονάδα της μάζας είναι ίδια παντού (άθροισμα πίεσης και βαρυτικής δύναμης).

Εξίσωση Bernoulli

Σε στρωτή ροή, κατά μήκος μιας ρευματικής γραμμής, το άθροισμα της πίεσης, της δυναμικής πίεσης και της υψομετρικής πίεσης είναι σταθερό.

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{σταθερό}$$

Για δύο σημεία της ρευματικής γραμμής ισχύει:

:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho u_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho u_2^2 + \rho g h_2$$

p =στατική πίεση

$\frac{1}{2} \rho u^2$ =δυναμική πίεση

$\rho g h$ =υδροστατική πίεση

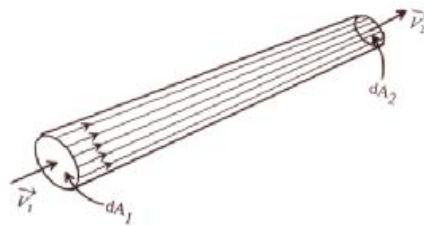
1.4 ΕΞΙΣΩΣΗ ΣΥΝΕΧΕΙΑΣ

Ο Νόμος της συνέχειας της ροής είναι από τους σημαντικότερους νόμους στην Υδροδυναμική. Η σχέση που περιγράφει αυτόν τον νόμο ονομάζεται εξίσωση της συνέχειας της ροής και αναφέρει ότι η παροχή παραμένει σταθερή κατά μήκος μίας φλέβας (ενός σωλήνα), που διαρρέεται από υγρό. Η εξίσωση αυτή είναι άμεση συνέπεια της αρχής διατήρησης της ύλης. Η μαθηματική της έκφραση είναι:

$$A_1 u_1 = A_2 u_2 \quad (1)$$

Όπου A η διατομή του σωλήνα και u η ταχύτητα του ρευστού.

Θεωρούμε μόνιμη ροή σε ένα τμήμα ροϊκού νήματος (Σχ.2). Ο όγκος ελέγχου περιβάλλεται από τα τοιχώματα του ροϊκού νήματος και από τις επιφάνειες των διατομών dA_1 και dA_2 .



Σχήμα 2: Τμήμα ροϊκού νήματος

Επειδή η κάθετη συνιστώσα της ταχύτητας στην επιφάνεια του ροϊκού νήματος είναι μηδενική, το ρευστό εισρέει ή εκρέει στο ροϊκό νήμα μόνο από τα άκρα των δύο διατομών. Επομένως έχουμε το ολοκλήρωμα :

$$\int_s \rho \vec{v} \cdot \vec{n} dA = \rho_1 V_1 dA_1 - \rho_2 V_2 dA_2$$

Άρα η εξίσωση συνέχειας παίρνει την ακόλουθη μορφή

$$\int_U \frac{\partial \rho}{\partial t} dU = \rho_1 V_1 dA_1 - \rho_2 V_2 dA_2$$

Οπότε για σταθερή ροή, $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ η παραπάνω εξίσωση μορφοποιείται:

$$\rho_1 V_1 A_1 - \rho_2 V_2 A_2 = \dot{m}$$

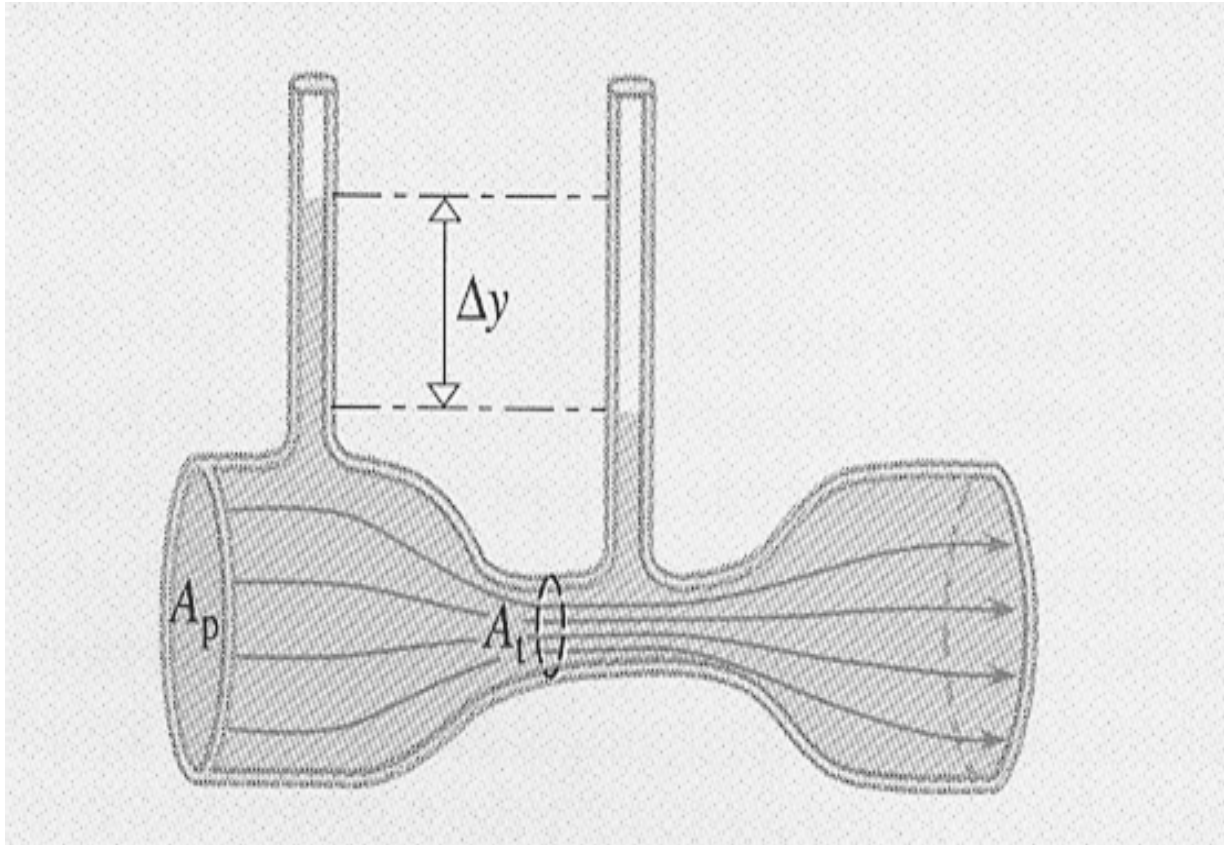
όπου \dot{m} είναι η παροχή μάζας, δηλαδή η μάζα που ρέει στη μονάδα του χρόνου. Αν το ρευστό είναι ασυμπίεστο, $\rho = \text{σταθερό}$, τότε η παραπάνω σχέση παίρνει τη μορφή:

$$A_1 \times u_1 = A_2 \times u_2 = Q \quad (2)$$

όπου Q είναι η παροχή όγκου και A_1, A_2 τα εμβαδά των δύο διατομών.

1.5 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ VENTURI

Το φαινόμενο Venturi έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της πίεσης ενός ρευστού που συνοδεύεται από αύξηση της ταχύτητας του ρευστού όταν αυτό διέρχεται μέσα από ένα συσφιγμένο τμήμα του σωλήνα όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3: Φαινόμενο Venturi

Εξίσωση Συνέχειας: $A_1 u_1 = A_2 u_2$ ($A_1 > A_2$)

Εξίσωση Bernoulli: $p_1 + \frac{1}{2} \rho u_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho u_2^2 + \rho g h_2$

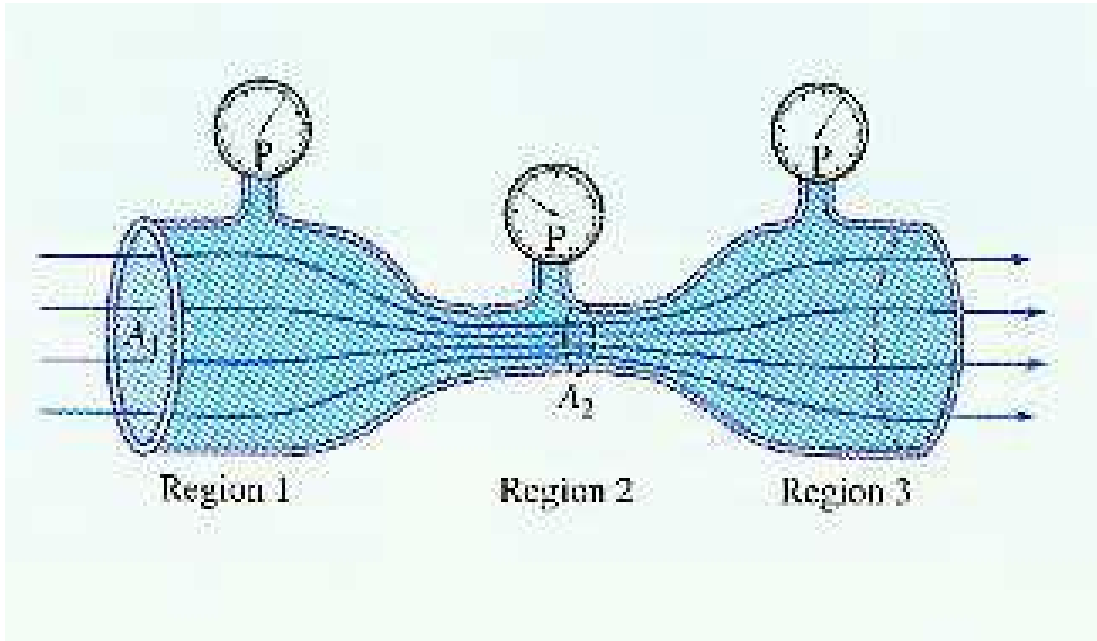
Για $h_1 \cong h_2 \Rightarrow p_1 + \frac{1}{2} \rho u_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho u_2^2$

και αντικαθιστώντας από την εξίσωση συνέχειας:

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho u_2^2 * \frac{(A_1^2 - A_2^2)}{A_1^2}$$

Αφού $A_1 > A_2$ τότε και $p_1 > p_2$.

Όταν το ρευστό εισέρχεται στην περιοχή 3, επιβραδύνεται εξαιτίας της υψηλότερης πίεσης και αποκτά την αρχική του ταχύτητα (της περιοχής 1). Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4. Η μείωση της πίεσης που συνοδεύεται από αύξηση της ταχύτητας του ρευστού ονομάζεται φαινόμενο Venturi από τον Ιταλό ερευνητή που πρώτος το μελέτησε (1791).



Σχήμα 4: Πτώση πίεσης- αύξηση ταχύτητας

1.6 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΕΝΟΥ

Στη μηχανολογία, **κενό** χαρακτηρίζεται οποιαδήποτε περιοχή εντός της οποίας η πίεση ενός αερίου είναι μικρότερη της ατμοσφαιρικής πίεσης. Οι μηχανικοί μετρούν τις διαβαθμίσεις του κενού με τις ίδιες μονάδες πίεσης. Η μονάδα SI για την πίεση είναι το Πασκάλ (*pascal*) (σύντμηση Pa), αλλά στην πράξη το κενό μετριέται σε μονάδες *torr* (Τορρικέλι), που ισούται με 133,3223684 μονάδες Πασκάλ. Συχνά μετριέται επίσης κάνοντας χρήση της βαρομετρικής κλίμακας ή δίνεται σαν ποσοστό της ατμοσφαιρικής πίεσης (μονάδα bar). Επίσης για εμπορικούς σκοπούς, το κενό συχνά μετράται σε χιλιοστόμετρα υδραργύρου (mmHg). Αυτό σημαίνει ότι η πίεση στο κενό όταν προσδιορίζεται σε χιλιοστόμετρα υδραργύρου είναι ίση με τα αναφερόμενα χιλιοστά υδραργύρου αφαιρούμενα από το 759,968. Συνεπώς, μια πίεση 660 mmHg ισοδυναμεί με πίεση (759,968 - 660) = 99,968 mmHg. Εδώ, τα 759,968 mmHg σημαίνουν το τέλειο ή απόλυτο κενό.

Συνηθέστερα ακολουθείται το ακέραιο 760 mmHg = 76 cmHg = 30 inHg = 100% (σε ποσοστό κενού).

Αν η μέτρηση μεγάλων πιέσεων αρχίζει από το τέλειο κενό τότε λέγεται πως εκφράζει **απόλυτη πίεση**. Αν όμως αρχίζει από της ατμοσφαιρικής πίεσης και προς τα άνω τότε λέγεται πως εκφράζει **πραγματική πίεση** (λέγεται και **μανομετρική πίεση**). Η διαφορά μεταξύ των δύο παραπάνω πιέσεων είναι η βαρομετρική πίεση. Επομένως οποιαδήποτε "απόλυτη πίεση" (**ρ**) ισούται προς την αντίστοιχη "πραγματική" (**ρ_u**) συν τη "βαρομετρική" (**B**) λαμβάνοντας τις σχέσεις:

$$\rho = \rho_u + B \quad \text{καθώς και} \quad \rho_u = \rho - B$$

Τέλος παρουσιάζονται στον πίνακα 2 οι διαβαθμίσεις του κενού και οι πιέσεις αυτών.

Διαβάθμιση του κενού	Περιοχή πιέσεων σε (mmHg)
Χαμηλό κενό	760 έως 25
Μέσο κενό	25 έως 10^{-3}
Υψηλό κενό	10^{-3} έως 10^{-6}
Πολύ υψηλό κενό	10^{-6} έως 10^{-9}
Εξαιρετικά υψηλό κενό	10^{-9} ή λιγότερο

Πίνακας 2: Διαβαθμίσεις κενού

1.7 ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ

Η πυκνότητα είναι το φυσικό μέγεθος που αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της ύλης, υπολογίζεται ως ο λόγος της μάζας (m) προς τον όγκο (V). Ο συνήθεις συμβολισμός της είναι το γράμμα ρ και ορίζεται από την σχέση :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Ο όγκος V περιέχει ικανό αριθμό μορίων, ώστε να ισχύει η έννοια της συνέχειας και να είναι δυνατή η περιγραφή της ροής του ρευστού σε όρους συνεχών συναρτήσεων του χώρου και του χρόνου ($\rho = \rho(x,y,z,t)$).

Σε πολλές περιπτώσεις είναι δυνατόν η πυκνότητα των ομογενών ρευστών να θεωρηθεί σταθερή. Ρευστά που συμπεριφέρονται με αυτόν τον τρόπο ονομάζονται ασυμπιεστά. Αντίθετα, τα ομογενή ρευστά με μεταβλητή πυκνότητα καλούνται συμπιεστά.

Μονάδα μέτρησης της πυκνότητας στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων είναι το kg/m^3 . Αρκετά συχνά όμως σαν μονάδα χρησιμοποιείται και το γραμμάριο ανά κυβικό εκατοστό, gr/cm^3 .

Η μεταβολή της πυκνότητας των υγρών σωμάτων είναι μικρή όταν υπάρχει μεγάλη μεταβολή της πίεσης και της θερμοκρασίας για τον λόγο αυτό μπορεί η πυκνότητα να θεωρηθεί πρακτικά σταθερή.

Για τα αέρια σώματα όταν υπάρχει μεταβολή της πίεσης ή και της θερμοκρασίας παρατηρείται και μεταβολή της πυκνότητας δηλαδή το μέγεθος της πυκνότητας στα αέρια σώματα είναι άμεσα εξαρτημένο από τα μεγέθη της πίεσης όσο και της θερμοκρασίας.

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας 3 με χαρακτηριστικές τιμές της πυκνότητας για διάφορες θερμοκρασίες σε ατμοσφαιρική πίεση.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ $T (^{\circ}C)$	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ $\rho (Kg/m^3)$
-40	1.515
-20	1.395
0	1.293
10	1.248
20	1.205
30	1.165
40	1.126
60	1.060
80	1.000
100	0.946
200	0.747

Πίνακας 3: Φυσικές ιδιότητες αέρα σε κανονική ατμοσφαιρική πίεση

1.8 ΚΑΤΑΣΤΑΤΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ ΑΕΡΙΩΝ

Καταστατική εξίσωση αερίου ονομάζεται η εξίσωση που συνδέει την πίεση, τον όγκο και την θερμοκρασία ενός ιδανικού αερίου που βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας.

Από τους νόμους των Μπόιλ-Μαριότ και Νόμος Γκεί-Λουσακ προκύπτει ότι:

$$\frac{PV}{nT} = \text{σταθερό}$$

Η σταθερά της αναλογίας μελετήθηκε από τον Ρενιό και γι' αυτό συμβολίζεται με R .
Οπότε έχουμε :

$$PV/nT = R \quad (1)$$

Με αναδιάταξη των όρων της παραπάνω εξίσωσης, προκύπτει η καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων:

$$pV = nRT \quad (2)$$

Όπου:

p : η πίεση του αερίου.

V : ο όγκος του αερίου.

n : ο αριθμός των γραμμομορίων του αερίου.

R : η παγκόσμια σταθερά των αερίων με τιμή $0.08205(\text{atm}\times\text{lit})$ και στο διεθνές σύστημα μονάδων (S.I) $8.314 \text{ (Joule)/mole} \times \text{deg}$

T : η απόλυτη θερμοκρασία σε βαθμούς Κέλβιν (**273 °C**).

Ο αριθμός των γραμμομορίων του αερίου (n) γνωρίζουμε ότι εκφράζεται από το ηχητικό της μάζας (m) προς το μοριακό βάρος ($M.B.$) δηλαδή :

$$n = \frac{m}{M.B.} \quad (3)$$

Από τις σχέσεις (2) και (3) προκύπτει με αντικατάσταση η παρακάτω σχέση :

$$PV = \frac{m}{M.B.} RT \Leftrightarrow P = \frac{m}{V} \times \frac{R}{M.B.} \times T \quad (4)$$

1.9 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ

Η εξίσωση Bernoulli για συμπιεστά ρευστά περιγράφει τη ροή. Εφαρμόζοντας αυτή την εξίσωση σε οριζόντιο αγωγό έχουμε:

$$P_1 - P_2 = \Delta P = \frac{1}{2} \rho v_1^2 - \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

Από την εξίσωση συνέχειας η ταχύτητα u_2 του λαιμού μπορεί να αντικατασταθεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho v_1^2 \left[\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right]$$

Λύνοντας προς την ταχύτητα u_1 την παραπάνω σχέση και πολλαπλασιάζοντας με τη διατομή A_1 βρίσκουμε την παροχή Q :

$$Q = \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}} \frac{A_1}{\sqrt{\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1}}$$

Γνωρίζοντας από τη θεωρία ότι για τα συμπιεστά ρευστά η τιμή της πυκνότητας (ρ) εξαρτάται από την τιμή της πίεσης και της θερμοκρασίας.

Αντικαθιστώντας στην καταστατική εξίσωση :

$$P = \frac{m}{V} \times \frac{R}{M.B.} \times T$$

Τη σχέση της πυκνότητας :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Προκύπτει η παρακάτω σχέση :

$$P = \rho \times R \times T \quad \square \quad \rho = \frac{P}{R \times T}$$

Όπου $R=0.08205(\text{atm} \times \text{lit})$ και T η θερμοκρασία που εκτελέστηκε το πείραμα σε βαθμούς Kelvin.

Επειδή μικρά ποσά ενέργειας μετατρέπονται σε θερμότητα εντός των ιξωδών στρωμάτων η πραγματική ταχύτητα των ρευστών τείνει να μειωθεί έτσι ένας συντελεστής C εισάγεται για να μετριάσει το ιξώδες των ρευστών.

$$Q = C * \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \frac{A_1}{\sqrt{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}}$$

Ο συντελεστής C εξαρτάται από τον αριθμό Reynolds της ροής, και βρίσκεται συνήθως μεταξύ 0.90 και 0.98 για ομαλές και λείες στενώσεις Venturi.

Ο μαζικός ρυθμός ροής μπορεί να βρεθεί με τον πολλαπλασιασμό της παροχής Q με την πυκνότητα του ρευστού:

$$Q_{mass} = \rho Q$$

Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται οι μετατροπές των μονάδων και των μεγεθών που ακολουθήσαμε για την μέτρηση της παροχής Q σε $\frac{m^3}{s}$

Γνωρίζοντας ότι *Newton* (N), $N = Kg \cdot m/s^2$, δηλαδή 1 *Newton* είναι η δύναμη που απαιτείται για να επιταχυνθεί σώμα μάζας 1Kg κατά $1m/s^2$.

Και πως $1 Pa = N/m^2$ στον τύπο υπολογισμού της παροχής:

$$Q = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \frac{A_1}{\sqrt{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}}$$

Αρχικά μετατρέψαμε την υποπίεση της ένδειξής μας από *mmHg* σε *Pa* βάσει του πίνακα 1 έπειτα μετατρέψαμε τα *Pa* σε N/m^2 και τα N/m^2 σε $\frac{Kg \cdot m}{m^2 \cdot s^2}$

$$\text{άρα } Q = \sqrt{\frac{\frac{Kg \cdot m}{m^2 \cdot s^2}}{\frac{Kg}{m^3}}} \frac{m^2}{\sqrt{\left(\frac{m^2}{m^2}\right)^2 - 1}} \Rightarrow Q = \frac{m^3}{s}$$

Με χρήση όλων των παραπάνω νόμων υπολογίσαμε την παροχή του αέρα στη κεφαλή που εξετάσαμε. Τα αποτελέσματα υπολογίζονται αναλυτικά και παρουσιάζονται στην ενότητα 3.3.

2.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ FLOW BENCH

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ FLOW BENCH

Διάφορες εργοστασιακές συσκευές θα πρέπει να ελεγχθούν σε ένα μηχάνημα flow bench πριν τη παραγωγή τους προς το κοινό.

Για παράδειγμα στη φάση σχεδιασμού ενός κινητήρα χρησιμοποιείται flow bench για τη μέτρηση του ποσοστού αέρα που μπορεί να περάσει από διάφορα εξαρτήματα του κινητήρα (αυλοί εισαγωγής-εξαγωγής, βαλβίδες εισαγωγής-εξαγωγής κ.λ.π.) συσχετιζόμενο με τη διαδικασία συμπίεσης του κινητήρα. Το μέγεθος της συνολικής ιπποδύναμης που μπορεί να παράγει μία μηχανής εσωτερικής καύσης περιορίζεται από το ποσοστό του αέρα που μπορεί να εισαχθεί και να εξαχθεί στο θάλαμο καύσης.

Επιπλέον ένα flow bench μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση οποιουδήποτε εξαρτήματος που συσχετίζεται άμεσα με τη ροή αερίου όπως είναι τα φίλτρα αέρα, καρμπυρατέρ, σύστημα εξάτμισης, βαλβίδες, ενώσεις σωληνών, κ.λ.π.

Ένα flow bench μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για διάφορους τύπους προβλημάτων της ρευστομηχανικής, ωστόσο το flow bench είναι ένα πολύτιμο διδακτικό εργαλείο της μηχανολογικής κατάρτισης και εκπαίδευσης.

Κατασκευαστές αγωνιστικών κυρίως αλλά και εμπορικών κινητήρων συχνά προσπαθούν να αναλύσουν τα κομμάτια ενός κινητήρα για τη βελτιστοποίηση της απόδοσής τους. Από τη διαδικασία εισαγωγής του καυσίμου έως και την εξαγωγή του, τα διάφορα εξαρτήματα του κινητήρα μπορούν να αναλυθούν μέσα από τη χρήση ενός flow bench.

Για παράδειγμα όταν μια κεφαλή εξετάζεται ροϊκά σε ένα flow bench το ποσοστό ανοίγματος της βαλβίδας, η γεωμετρία των αυλών, η διαμόρφωση της βαλβίδας μπορεί να αξιολογηθεί και να επεξεργασθεί για την βελτιστοποίηση της ροής.

Στην αγορά υπάρχουν διάφοροι τύποι flow bench η τιμή των οποίων κυμαίνεται από μερικές χιλιάδες έως αρκετές εκατοντάδες χιλιάδες ευρώ.

Η διακύμανση των τιμών ενός flow bench οφείλεται στην ακρίβεια των οργάνων μέτρησης τα οποία μπορούν να είναι από απλά μανόμετρα τύπου U μέχρι και ηλεκτρομαγνητικά παροχόμετρα.

Τα τελευταίας τεχνολογίας flow bench χρησιμοποιούν ειδικά εξαρτήματα με αισθητήρες σε ειδικά διαμορφωμένους σωλήνες που συνδέονται με ψηφιακά όργανα μέτρησης με δυνατότητα αυτόματης εμφάνισης των αποτελεσμάτων σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η καλύτερα δυνατή ακρίβεια στις μετρήσεις αλλά και η ευκολία ανάγνωσης και επεξεργασίας των τιμών μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή, η παροχή του αέρα γίνεται με κινητήρες κενού που είναι ενσωματωμένοι στη συσκευή και με ειδικό μοχλό επιτυγχάνεται η επιθυμητή παροχή.

Το μέγεθος των διαφόρων εξαρτημάτων που επιλέγηκαν για τη κατασκευή του συγκεκριμένου flow bench ισορροπούν μεταξύ του κόστους κατασκευής αλλά και τον βαθμό αξιοπιστίας των μετρήσεων.

2.2 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ FLOW BENCH

Το flow bench είναι μια συσκευή που παράγει διαφορά πίεσης αέρα σε μια οριοθετημένη διαδρομή. Ο όγκος του αέρα που κινείται από την οριοθετημένη διαδρομή μετράται σε σχέση με τη διαφορά πίεσης σε όλη τη διαδρομή.

Ο τρόπος λειτουργίας της συσκευής είναι σχετικά απλός. Χρησιμοποιούμε μια μηχανή (ηλεκτρική σκούπα, κινητήρες κενού) για την παροχή αέρα στην οριοθετημένη μας διαδρομή με σκοπό τη δημιουργία διαφοράς πίεσης στο εξεταζόμενο εξάρτημα (κεφαλή, αυλοί εισαγωγής-εξαγωγής). Αυτή η διαφορά πίεσης συχνά αναφέρεται και με τον όρο κατάθλιψη ή πίεση δοκιμής και την μετράμε σε *cmHg*. Η πίεση δοκιμής μετράτε κοντά στο εξεταζόμενο κομμάτι και τη χρησιμοποιούμε σαν σημείο αναφοράς. Είναι σημαντικό το να γνωρίζουμε την πίεση δοκιμής καθώς ο όγκος της ροής εξαρτάται από αυτή.

Καθώς ο αέρας κινείται με διαφορά πίεσης διαμέσου του εξεταζόμενου κομματιού μετριέται με τη χρήση μετρητικού οργάνου το οποίο μπορεί να είναι ένα κενόμετρο ή ένας σωλήνας *pitot* ή μανόμετρο τύπου *U* ή ψηφιακό όργανο καταγραφής πίεσης, παροχής και ταχύτητας. Η παροχή του αέρα μετριέται σε m^3/s ή σε l/s και υπολογίζεται από τη διαφορά πίεσης που μετρήθηκε.

Ο τρόπος εξέτασης του εξαρτήματος (κεφαλή) αποτελείται από τα εξής στάδια: αρχικά τοποθετούμε την κεφαλή στην ειδικά προσαρμοσμένη θέση όπου εξασφαλίζουμε την αεροστεγή σύνδεση με το flow bench, στη συνέχεια ανοίγουμε την συσκευή παροχής του αέρα και με ένα ωρολογιακού τύπου μικρόμετρο μετράμε το άνοιγμα των βαλβίδων εισαγωγής-εξαγωγής. Ρυθμίζουμε την πίεση δοκιμής στην επιθυμητή τιμή, η οποία για κεφαλές αυτοκινήτων είναι συνήθως 72 cm στήλης ύδατος ενώ για αυτές των μοτοσυκλετών 26 cm στήλης ύδατος. Τέλος καταγράφουμε τις διάφορες τιμές που πήραμε και υπολογίζουμε την παροχή συναρτήσει του ανοίγματος των βαλβίδων.

2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ FLOW BENCH

Με ένα flow bench έχουμε τη δυνατότητα ελέγχου σχεδόν κάθε εξαρτήματος ενός κινητήρα που έρχεται σε επαφή με τον αέρα.

Η κύρια εφαρμογή του flow bench είναι ο προσδιορισμός του ποσοστού αέρα στους αυλούς εισαγωγής-εξαγωγής μιας κεφαλής. Συχνά μια δοκιμή πριν και μετά από τη διαδικασία λείανσης των αυλών μας αποκαλύπτει που έχουμε την μεγαλύτερη βελτίωση.

Επειδή η ογκομετρική απόδοση ενός κινητήρα είναι ο λόγος μεταξύ του θεωρητικά υπολογιζόμενου εισερχόμενου μίγματος και του πραγματικά εισερχόμενου μίγματος στον κινητήρα, το ποσοστό ογκομετρικής απόδοσης ενός κινητήρα εξαρτάται από διάφορες μικροανωμαλίες που εμποδίζουν την ομαλή ροή του μείγματος και του μικρού χρόνου που είναι διαθέσιμος για να πληρωθεί ο κύλινδρος με καύσιμο μίγμα.

Λειαινώντας τους αυλούς εισαγωγής και μεγαλώνοντας τις έδρες των βαλβίδων εξαφανίζουμε τις όποιες μικροανωμαλίες υπάρχουν εκεί ως υπολείμματα από την φάση της χύτευσης της κεφαλής. Αν στην συνέχεια τοποθετηθεί και ένας εκκεντροφόρος με μεγαλύτερη διάρκεια και βύθισμα από τον εργοστασιακό αποκτάμε αυτόματα μεγαλύτερο χρόνο για την πλήρωση του θαλάμου καύσης με περισσότερο καύσιμο μίγμα.

Κατά την διάρκεια βελτίωσης της κεφαλής γίνονται εργασίες αφαίρεσης όλων των καταλοίπων της χύτευσης, μεγαλώνει η διάμετρος του αυλού της βαλβίδας καθώς και η έδρα της. Στην συνέχεια λειαινούνται όλες οι απότομες γωνίες που εμποδίζουν την ομαλή ροή του μίγματος (εικόνα 4).

Γίνονται τέλος επιπλέον εργασίες με σκοπό την σωστή εφαρμογή της κεφαλής με την πολλαπλή εισαγωγής και εξαγωγής και λειαινούνται και οι αυλοί εξαγωγής.

Όλες οι ανωτέρω εργασίες γίνονται με σκοπό την μέγιστη απόδοση σε συγχρονισμό με τους παλμούς της εισαγωγής. Επιτυγχάνοντας την μέγιστη δυνατή πλήρωση του θαλάμου καύσης έχουμε σαν αποτέλεσμα την μέγιστη απόδοση του κινητήρα.



Εικόνα 4: Διαδικασία λείανσης των αυλών

Άξιο αναφοράς είναι ότι το flow bench είναι ιδανικό για την αξιολόγηση των κεφαλών επειδή έχει τη δυνατότητα να εισάγει τον αέρα από τον αυλό εισαγωγής και να τον εξάγει από τον αυλό εξαγωγής με αποτέλεσμα να αναπαράγει τις κατευθύνσεις της ροής στο εσωτερικό του κινητήρα.

Επιπλέον η ροή διαμέσου των αυλών του κυλίνδρου μπορεί να μετρηθεί για διάφορα ανοίγματα της βαλβίδας. Άλλα εξαρτήματα που μπορούν να ελεγχθούν είναι τα φίλτρα αέρα ολόκληρο το σύστημα εξάτμισης, το intercooler, το σύστημα ψεκασμού (injection), το καρμπυρατέρ κ.λ.π.

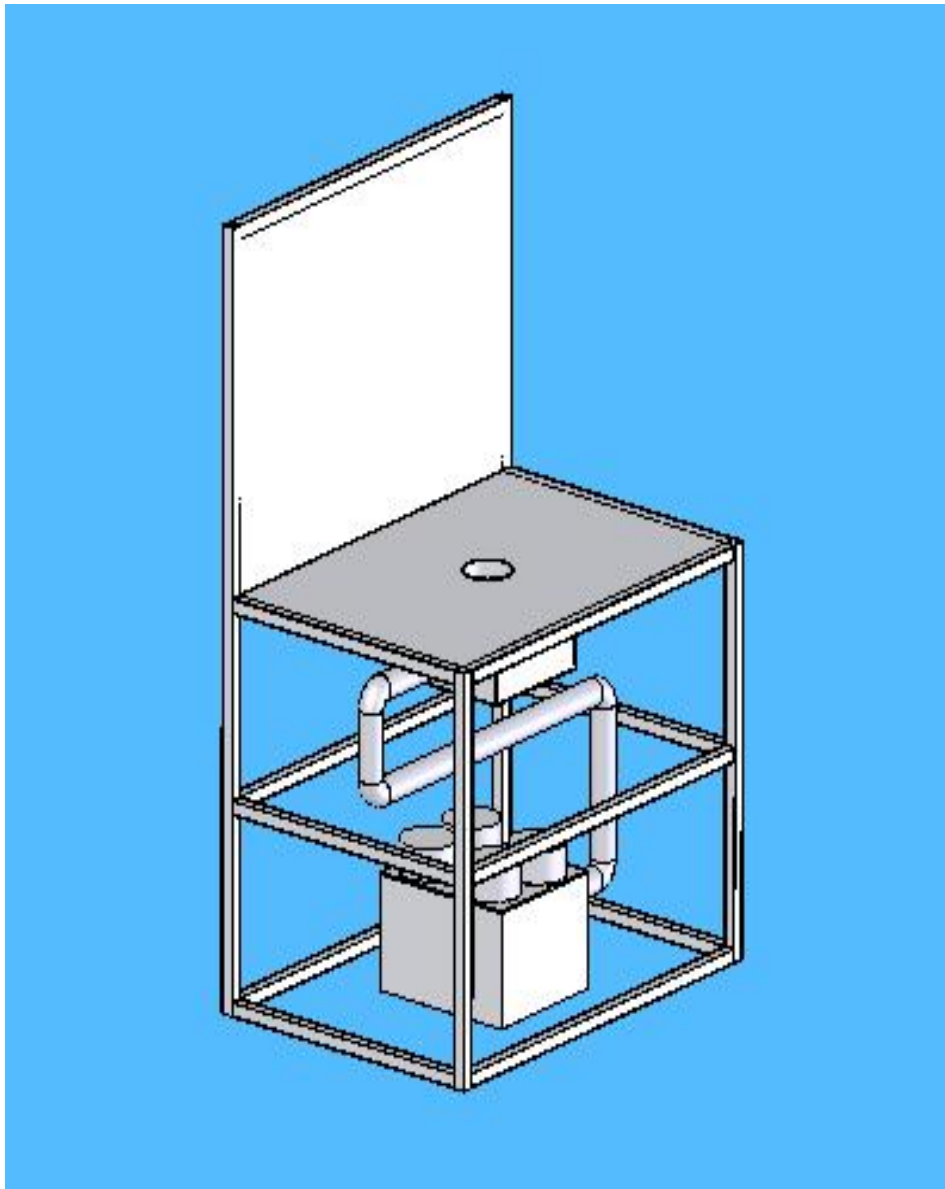
2.4 ΔΙΑΤΑΞΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

Η πειραματική μας συσκευή αποτελείται από μεταλλική βάση πλακωμένη από πάγκο στήριξης των οργάνων. Στο εσωτερικό της έχουν τοποθετηθεί αγωγοί διαφορετικών διατομών από πλαστικό υλικό (PVC). Στην είσοδο και στην αλλαγή της διατομής των αγωγών έχουν τοποθετηθεί κενόμετρα για την μέτρηση της υποπίεσης. Η παροχή του αέρα δίνεται από ηλεκτρική σκούπα συνδεδεμένη στην ελεύθερη άκρη του αγωγού.

Οι πλαστικοί (PVC) σωλήνες συνδέονται μεταξύ τους με γωνίες 90°, καθώς και με συστολές για την ένωση των διαφορετικών διατομών.

Τα κενόμετρα έχουν τοποθετηθεί στο πλαίσιο της συσκευής και συνδέονται με σωλήνα πολυουρεθάνης με τους αγωγούς. Στο πάνω μέρος της συσκευής έχει τοποθετηθεί το προς εξέταση εξάρτημα (κεφαλή κινητήρα). Επίσης με ένα ειδικά προσαρμοσμένο στροφέα καθορίζεται το μήκος ανοίγματος των βαλβίδων.

Το σκαρίφημα της πειραματικής συσκευής (Σχ.5) και των εξαρτημάτων από τα οποία αποτελείται παρατίθεται αναλυτικά παρακάτω, καθώς και η όλη διαδικασία κατασκευής.



Σχήμα 5 : Σκαρίφημα πειραματικής συσκευής

2.5 ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ – ΥΛΙΚΑ – ΕΡΓΑΛΕΙΑ

Τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

1.Κενόμετρα γλυκερίνης Ø63 (Εικ.5) κλίμακας 76 cmHg.

Χρησιμοποιήθηκαν 3 τέτοια κενόμετρα.



Εικόνα 5: κενόμετρο γλυκερίνης

2. Πλαστικοί (PVC) σωλήνες 3 m Ø50 και Ø32(Εικ.6)



Εικόνα 6: πλαστικοί σωλήνες (PVC)

3. Εξαρτήματα σύνδεσης των σωλήνων ,γωνιές και συστολές (Εικ.7-8)



Εικόνα 7: γωνία 90°



Εικόνα 8: συστολές Ø 50-32

4. Στράντζα σιδήρου (Εικ.9) για την κατασκευή της βάσης



Εικόνα 9: Στράντζα σιδήρου

5. Ξύλα νοβοπάν και MDF(Εικ.10,) για πλαίσιο της βάσης



Εικόνα 10: Ξύλα νοβοπάν και MDF

6. Ρόδες για την μεταφορά της συσκευής (Εικ.11)



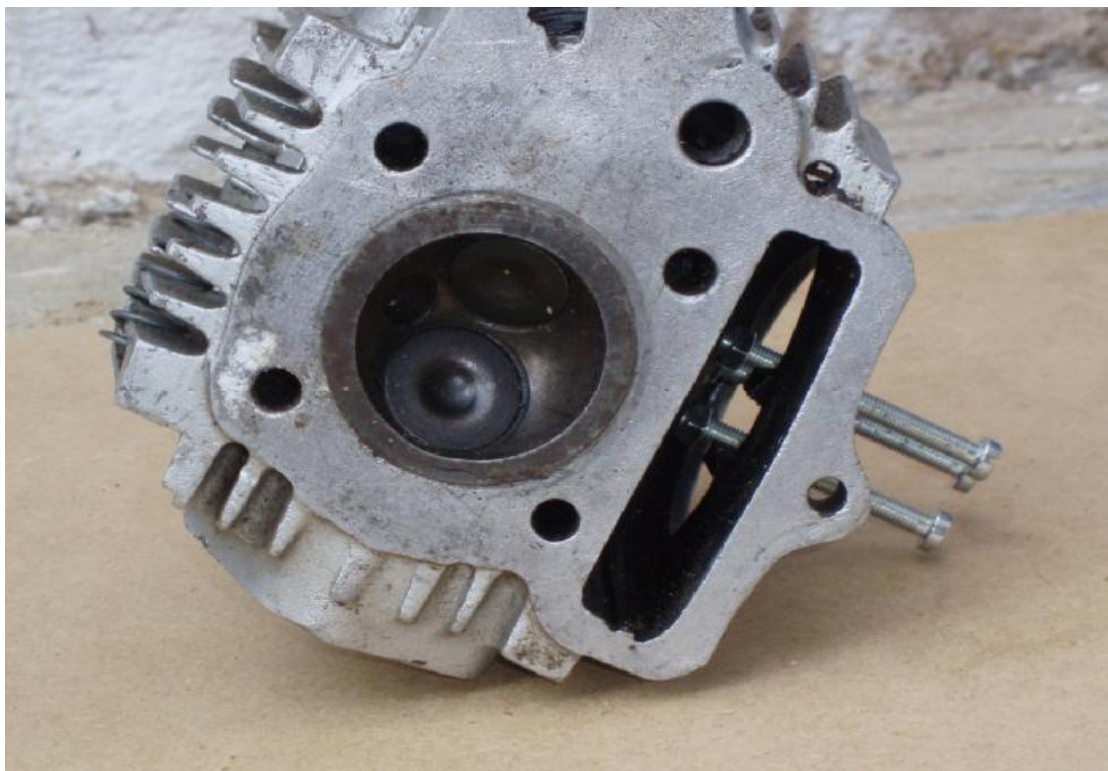
Εικόνα 11: ρόδες

7. Ηλεκτρική σκούπα για την παροχή αέρα(Εικ.12) Ισχύος 1800 Watt



Εικόνα 12: Ηλεκτρική σκούπα

8.Κεφαλή προς εξέταση (Εικ.13) από μοτοσυκλέτα Honda cub 50cc



Εικόνα 13: Κεφαλή προς εξέταση

9. Παχύμετρο για μέτρηση ανοίγματος των βαλβίδων(Εικ.14)



Εικόνα 14: Παχύμετρο (0-150mm) ακρίβειας 0.005mm

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

1. Βίδες για τη συναρμογή της βάσης και τη στήριξη της κεφαλής(Εικ.15)



Εικόνα 15: Βίδες στήριξης-συναρμογής

2. Αέριο(βουτάνιο) για διαστολη των σωλήνων (Εικ.16)



Εικόνα 16: Βουτάνιο

3. Κόλλα σιλικόνης (Εικ.17) για στεγανοποίηση σωλήνων του κενόμετρου



Εικόνα 17:Κόλλα σιλικόνης

4. Σμυριδόπανο (Εικ.18)για λείανση των σωλήνων



Εικόνα 18:Σμυριδόπανο

5. Νέφτι –αστάρι-μπογιά (Εικ.19-20-21)για βαφή της βάσης και του πλαισίου



Εικόνα 19:Νέφτι



Εικόνα 20:Αστάρι



Εικόνα 21:Μπογιά

Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

1.Τροχός (Εικ.22) για λείανση σημείων κόλλησης



Εικόνα 22: Τροχός

2 Ηλεκτρικό δράπανο (Εικ.23) για την πραγματοποίηση των οπών



Εικόνα 23: Ηλεκτρικό δράπανο

3. Πριόνι με λάμα γενικής χρήσης και λίμα για κοπή και λείανση (Εικ.24-25)



Εικόνα 24: Πριόνι



Εικόνα 25: Λίμα

4. Μετρητική ταινία για διαστασιολόγηση (Εικ.26)



Εικόνα 26: Μετρητική ταινία

5. Καμινέτο για τη διαμόρφωση των σωλήνων(Εικ.27)



Εικόνα 27: Καμινέτο

6. Πινέλα βαφής
7. Κατσαβίδι και κλειδιά για σύσφιξη των εξαρτημάτων
8. Τρυπάνια και ποτηροτρύπανο (Εικ. 28) για άνοιγμα οπών



Εικόνα 28: Ποτηροτρύπανο

2.6 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ FLOW BENCH

Αρχικά κατασκευάσαμε τη μεταλλική βάση της πειραματικής μας συσκευής, η οποία αποτελείται από στράντζα σιδήρου. Μετρήσαμε και κόψαμε με τη χρήση του πριονιού 10 κομμάτια μήκους 80 cm και 6 μήκους 40 cm. (Εικ. 29-30-31-32)



Εικόνα 29: Μέτρηση



Εικόνα 30: Κοπή



Εικόνα 31:Κομμάτια 40 cm



Εικόνα 32:Κομμάτια 80 cm

Στη συνέχεια με τη χρήση της λίμας λείαμε τα κομμάτια(Εικ.30) για καλύτερη εφαρμογή κατά την ηλεκτροσυγκόλληση.



Εικόνα 30:Λείανση με λίμα

Έπειτα με τη χρήση γωνίας τοποθετήσαμε τα προς κόλληση κομμάτια (Εικ.31) και τα κολλήσαμε με τη μέθοδο της ηλεκτροσυγκόλλησης (Εικ.32).Για την διεκπεραίωση της διαδικασίας λήφθηκαν όλα τα μέτρα ασφάλειας (όπως η χρήση ειδικής μάσκας)για την προστασία μας.



Εικόνα 31: Γωνία για ευθυγράμμιση



Εικόνα 32: Ηλεκτροσυγκόλληση

Με την ολοκλήρωση της κατασκευής της μεταλλικής βάσης με τη χρήση τροχού λειάναμε στα σημεία που είχαμε συγκολλήσει (Εικ.33)



Εικόνα 33: Λείανση σημείων συγκόλλησης

Μετά τη διαδικασία του τροχίσματος καθαρίσαμε τη μεταλλική βάση με νέφτι (Εικ.34) και ακολούθησε η διαδικασία της βαφής με αστάρι για την πρόληψη της σκουριάς(Εικ.35)



Εικόνα 34: Καθαρισμός με νέφτι



Εικόνα 35: Βαφή με αστάρι

Μόλις τελείωσαν οι παραπάνω διαδικασίες η μεταλλική βάση ήταν έτοιμη (Εικ.36)



Εικόνα 36: Μεταλλική βάση συσκευής

Στη συνέχεια μετρήσαμε και πραγματοποιήσαμε οπές διαμέτρου 4mm (Εικ.37) για την τοποθέτηση των ξύλινων επιφανειών που πλαισιώνουν τη μεταλλική βάση της πειραματικής συσκευής.



Εικόνα 37: Διάνοιξη οπών

Ακολούθησε η τοποθέτηση των τροχών(Εικ.38) και των ξύλινων πλαισίων και η συσκευή είχε την μορφή της εικόνας 39



Εικόνα 38:τροχοί βάσης



Εικόνα 39: Αρχική μορφή

Επόμενη κατεργασία ήταν η διάνοιξη με το ποτηροτρύπανο οπής διαμέτρου 50 mm για την παροχή αέρα στην κεφαλή στο ξύλο τύπου MDF διάστασης 87×46 cm που χρησιμοποιήσαμε σα βάση στήριξης του προς εξέταση αντικειμένου (Εικ.40).



Εικόνα 40:Διάνοιξη οπής με ποτηροτρύπανο

Έπειτα ακολούθησε η διαδικασία της βαφής των ξύλων τύπου νοβοπάν (Εικ.41) και της μεταλλικής βάσης σε κυανό χρώμα.Πραγματοποιήσαμε τις οπές για την ένωση

των ξύλων στη βάση καθώς και τη διάνοιξη οπών διαμέτρου 63mm για την τοποθέτηση των κενομέτρων.Επίσης έγιναν και 3 οπές διαμέτρου 6mm για τα σωληνάκια πολυουρεθάνης που συνδέονται στους σωλήνες και στα κενόμετρα.Οι διαστάσεις των ξύλων είναι: για τα πλαϊνά 80×43 cm και το πίσω ξύλο 150×84 cm



Εικόνα 41: Βαφή ξύλων

Το επόμενο βήμα είναι η διαδικασία κατασκευής του αγωγού παροχής αέρα της πειραματικής μας συσκευής.Ο αγωγός αποτελείται όπως αναφέραμε από πλαστικούς σωλήνες (PVC), οι οποίοι κόπηκαν με τη χρήση του πριονιού (Εικ.42) στις επιθυμητές διαστάσεις έχοντας κόψει τους σωλήνες ακολούθησε η λείανση με σμυριδόπανο και η ευθυγράμμιση τους με τη χρήση λίμας (Εικ.43),για την καλύτερη δυνατή ένωση των σωλήνων αλλά και για την αποφυγή ανεπιθύμητων υπολειμμάτων στον αγωγό.



Εικόνα 42 : Κοπή σωλήνων

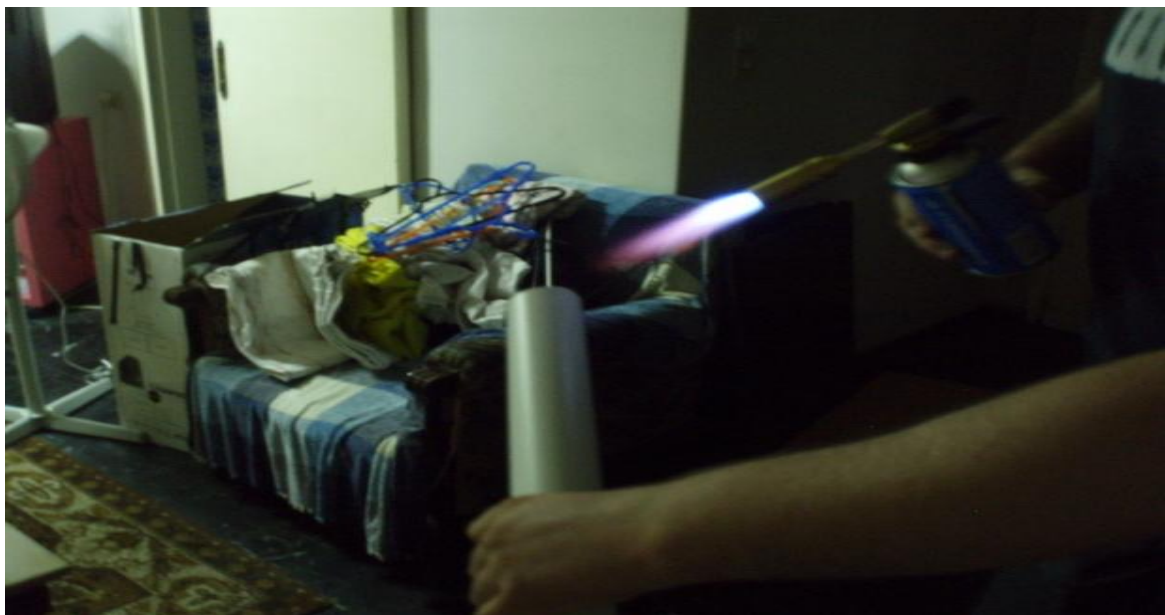


Εικόνα 43:Λείανση με σμυριδόπανο και ευθυγράμμιση με λίκμα

Ακολούθησε η δημιουργία διαστολής (θηλυκή ένωση) σε σωλήνες και γωνίες σύνδεσης με τη χρήση του καμινέτου(Εικ.44).

Η διαδικασία αυτή γίνεται ως εξής: Προσεκτικά δημιουργούμε με τη θερμότητα του καμινέτου ένα λαιμό στον σωλήνα που θέλουμε να κάνουμε την διαστολή και όταν αυτός αρχίσει να μαλακώνει τον περιστρέφουμε ομαλά μέσα στον σωλήνα που θέλουμε να ενωθεί .

Έχοντας πάρει την επιθυμητή μορφή εντός ολίγου αποκτά την θερμοκρασία περιβάλλοντος και έχει πραγματοποιηθεί η διαστολή (Εικ.45)



Εικόνα 44:Χρήση καμινέτου



Εικόνα 45: Διαστολή σωλήνα

Στη συνέχεια ακολούθησε η ένωση των σωληνώσεων ώστε να πάρει την μορφή που θέλαμε. Η ένωση αυτή αποτελείται από :

- 4 τεμάχια σωλήνα $\text{\O}50$ mm
- 1 τεμάχιο σωλήνα $\text{\O}32$ mm
- 5 γωνίες 90°
- 3 συστολές $\text{\O}50\text{-}32$ mm

Η τελική μορφή της διάταξης των σωλήνων πριν τοποθετηθούν στην πειραματική μας συσκευή είναι αυτή που παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα (Εικ. 46)



Εικόνα 46: Διάταξη σωληνώσεων

Επόμενο βήμα είναι η διάνοιξη οπών $\varnothing 6$ mm στη διάταξη στα σημεία τοποθέτησης των σωλήνων πολυουρεθάνης για τα κενόμετρα (Εικ.47)



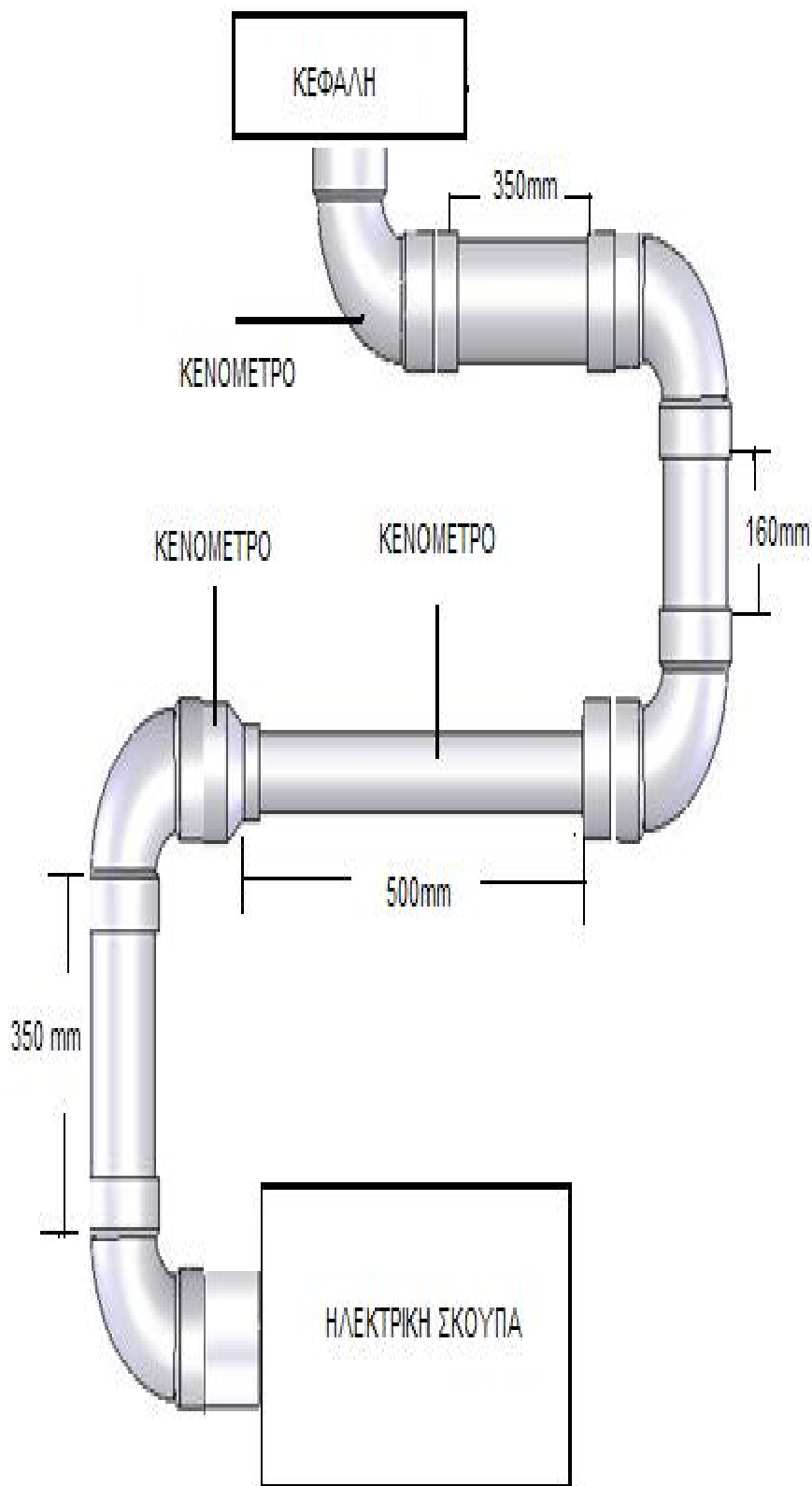
Εικόνα 47: Οπές για σωληνάκια κενομέτρων

Έχοντας ολοκληρώσει και τις οπές στους σωλήνες είμαστε έτοιμη για την τοποθέτησή τους στη βάση της συσκευής.

Έχοντας τοποθετήσει τους σωλήνες με τη κόλλα σιλικόνης στεγανοποιήσαμε περιμετρικά των οπών για την αποφυγή τυχών απωλειών

Παρατίθεται παρακάτω το σκαρίφημα της διάταξης των σωλήνων καθώς και οι διαστάσεις τους.

Το σημείο επιλογής των οπών για τα σωληνάκια των κενομέτρων έγινε για την επίτευξη της διαφοράς πίεσης. Η μια έγινε στο σωλήνα $\varnothing 50$ mm και η άλλη στο σωλήνα $\varnothing 32$ mm. Με τον τρόπο αυτό επιτύχαμε το φαινόμενο Venturi στο οποίο αναφερθήκαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 6: Σκαρίφημα διάταξης σωλήνων

Έχοντας ολοκληρώσει τις παραπάνω διεργασίες σαν τελευταίο στάδιο τοποθετήσαμε τους σωλήνες στη βάση, τους ενώσαμε με τη συσκευή παροχής αέρα, τοποθετήσαμε τα κενόμετρα στις ειδικά διαμορφωμένες οπές, τα συνδέσαμε με τα σωληνάκια πολυουρεθάνης στις οπές των σωλήνων ώστε να έχουμε την δυνατότητα καταγραφής της υποπίεσης.

Τοποθετήσαμε την κεφαλή στην βάση στήριξης και πετύχαμε την αεροστεγότητα της με τη χρήση ειδικά διαμορφωμένου δακτυλίου (φλάντζα) (Εικ.48). Η οπή στη βάση είναι ίδιας διαμέτρου με αυτή της κεφαλής μας.



Εικόνα 48: Δακτύλιος

Έχοντας κάνει όλα τα απαραίτητα που αναφέραμε παραπάνω τοποθετήθηκε πλεξιγκλός στο μπροστινό μέρος της βάσης, έτσι η πειραματική συσκευή flow bench είναι έτοιμη (Εικ.49) για να πραγματοποιήσουμε την καταγραφή των απαραίτητων μετρήσεων μας.



Εικόνα 49: Πειραματική συσκευή flow bench

Στην προς εξέταση κεφαλή ακολουθήσαμε την διαδικασία που συνιστάται από από διακεκριμένους πειραματιστές (How to Build, Modify & Power Tune Cylinder Heads Από τον/την Peter Burgess, David Gollan) η οποία έχει ως εξής: Λόγω του ότι η γεωμετρία της κεφαλής δεν εξασφάλιζε την αεροστεγότητά της επικαλύφθηκε με ειδική πλαστελίνη εμπορίου η οπή της εισαγωγής του καυσίμου. Για την αποφυγή όποιων απωλειών αλλά και την ορθότερη καταγραφή των τιμών πραγματοποιήσαμε περιμετρικά της φλάντζας με λεπτή επικάλυψη κόλλας σιλικόνης.

2.7 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΑΘΜΙΔΩΝ-ΘΕΣΕΩΝ

Για την καλύτερη πραγματοποίηση του πειράματος προκαθορίσαμε διάφορες βαθμίδες για τις βαλβίδες εισαγωγής-εξαγωγής της προς εξέταση κεφαλής. Οι βαθμίδες –θέσεις προσδιορίστηκαν με την μέθοδο που θα αναφέρουμε παρακάτω.

Για τον προσδιορισμό των βαθμίδων ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία :

Με τη βοήθεια του ειδικά διαμορφωμένου ρυθμιστή(Εικ. 50). Καθορίστηκαν 3 προκαθορισμένες θέσεις για την κάθε βαλβίδα (εισαγωγής,εξαγωγής).

Ο ειδικά διαμορφωμένος ρυθμιστής βαθμίδων-θέσεων αποτελούμενος από πύρο M10 και πλαστική χειρολαβή εφαρμόσθηκε μετά την διάνοιξη σπειρώματος με κολαούζο M10.

Είναι τοποθετημένος στον άξονα της κεφαλής και μας δίνει την δυνατότητα περιστρέφοντάς τον να προκαθορίζουμε το άνοιγμα-διαδρομή της βαλβίδας και με τη χρήση του παχύμετρου να μετρήσουμε το άνοιγμα της βαλβίδας

Για σκοπούς που εξυπηρετούν το πείραμά μας καθορίσαμε 3 ανοίγματα – διαδρομές για την βαλβίδα της εισαγωγής και 3 ανοίγματα για την βαλβίδα της εξαγωγής.

Οι διαβαθμίσεις αυτές του μήκους της διαδρομής των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής παρατίθενται παρακάτω

Έχοντας λοιπόν προσμαρμόσει τον ρυθμιστή-στροφέα στον άξονα είμαστε έτοιμοι για τον καθορισμό των βαθμίδων.

Ξεκινήσαμε με την βαλβίδα της εισαγωγής. Περιστρέψαμε τον στροφέα δεξιόστροφα, η βαλβίδα εισαγωγής άνοιξε και με το παχύμετρο μετρήσαμε το άνοιγμα. Το μήκος-άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής είναι 4,03 mm και αυτό καθορίστηκε ως η πρώτη μας βαθμίδα-θέση για την βαλβίδα της εισαγωγής.

Στη συνέχεια περιστρέψαμε δεξιόστροφα τον στροφέα, η βαλβίδα της εισαγωγής κατέβηκε πιο κάτω και με το παχύμετρο μετρήσαμε το νέο άνοιγμα-διαδρομή της βαλβίδας της εισαγωγής. Το μήκος-άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής είναι 5,04 mm και η τιμή αυτή καθορίστηκε ως δεύτερη βαθμίδα-θέση για την βαλβίδα εισαγωγής.

Τέλος για βαθμίδα-θέση 3 περιστρέψαμε τον στροφέα δεξιόστροφα τόσο ώστε η βαλβίδα εισαγωγής να φτάσει στο μεγαλύτερο δυνατό της άνοιγμα. Μετρήσαμε με το παχύμετρο το άνοιγμα-διαδρομή της βαλβίδας εισαγωγής και η μέτρηση μας είναι 6,043 mm. Η τιμή αυτή καθορίστηκε ως βαθμίδα-θέση 3 της βαλβίδας εισαγωγής.

Έχοντας καθορίσει τις 3 βαθμίδες-θέσεις για την βαλβίδα εισαγωγής με την ίδια μέθοδο καθορίσαμε και τις 3 βαθμίδες-θέσεις για την βαλβίδα της εξαγωγής.

Για τον προσδιορισμό της πρώτης βαθμίδας-θέσης της βαλβίδας εξαγωγής περιστρέψαμε δεξιόστροφα τον στροφέα τόσο όσο να αρχίσει να ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής. Μετρήσαμε με το παχύμετρο το άνοιγμα-διαδρομή αυτή. Το μήκος-άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής είναι 4,02 mm. Το μήκος αυτό καθορίστηκε ως βαθμίδα-θέση 4.

Στη συνέχεια περιστρέψαμε δεξιόστροφα τον στροφέα βαλβίδα εξαγωγής κατέβηκε πιο κάτω και κοντά στη μέση της διαδρομής. Με το παχύμετρο μετρήσαμε το νέα άνοιγμα-διαδρομή της βαλβίδας εξαγωγής. Το μήκος-άνοιγμα της βαλβίδας είναι 5,025 mm και η τιμή αυτή καθορίστηκε ως η πέμπτη μας βαθμίδα.

Τέλος για την έκτη βαθμίδα-θέση περιστρέψαμε τον στροφέα τόσο ώστε η βαλβίδα της εξαγωγής να προσεγγίσει τη μέγιστη της διαδρομή. Μετρήσαμε με το παχύμετρο το άνοιγμα-μήκος της βαλβίδας εξαγωγής 7,001 mm. Η τιμή αυτή καθορίστηκε ως η έκτη μας βαθμίδα.

Για την ευκολότερη επεξεργασία των πειραματικών μας μετρήσεων στις προκαθορισμένες μας βαθμίδες, τοποθετήσαμε στο στροφέα τις προκαθορισμένες θέσεις-βαθμίδες ώστε να είναι δυνατό να έχουμε μετρήσεις για το ίδιο κάθε φορά μήκος-άνοιγμα της κάθε βαλβίδας, χωρίς να χρειάζεται κάθε φορά νέα μέτρηση με το παχύμετρο καθώς η κεφαλή θα στρερωθεί και θα είναι δύσκολη και χρονοβόρα η διαδικασία αφαίρεσης της από την συσκευή.

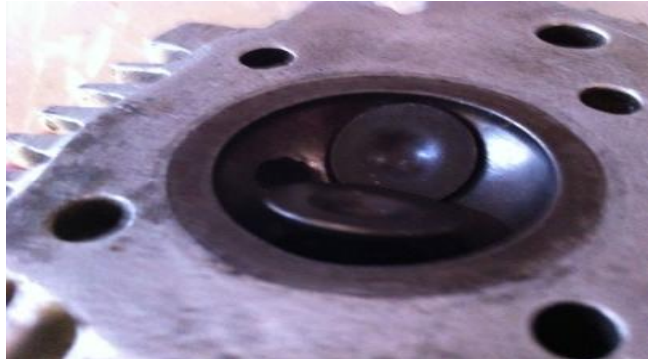
Παρακάτω παρατίθεται συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 4) με τις βαθμίδες-θέσεις και το μήκος αυτών.

ΒΑΘΜΙΔΑ-ΘΕΣΗ	ΑΝΟΙΓΜΑ ΒΑΛΒΙΔΑΣ (mm)
1 (βαλβίδα εισαγωγής)	4,030
2 (βαλβίδα εισαγωγής)	5,040
3 (βαλβίδα εισαγωγής)	6,043
4 (βαλβίδα εξαγωγής)	4,020
5 (βαλβίδα εξαγωγής)	5,025
6 (βαλβίδα εξαγωγής)	7,001

Πίνακας 4 : Πίνακας βαθμίδων-θέσεων

Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι βαθμίδες-θέσεις (Εικόνες 51-56). Φαίνονται τα ανοίγματα των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής για τις βαθμίδες-θέσεις 1 ως 6.

Βαθμίδα-θέση 1 για την βαλβίδα εισαγωγής με διαδρομή-άνοιγμα 4,030 mm



Εικόνα 51:Βαθμίδα-θέση 1

Βαθμίδα-θέση 2 για την βαλβίδα εισαγωγής με διαδρομή-άνοιγμα 5,040 mm



Εικόνα 52:Βαθμίδα-θέση 2

Βαθμίδα-θέση 3 για την βαλβίδα εισαγωγής με διαδρομή-άνοιγμα 6,043 m



Εικόνα 53: Βαθμίδα-θέση 3

Βαθμίδα-θέση 4 για την βαλβίδα εξαγωγής με διαδρομή-άνοιγμα 4,020 mm



Εικόνα 54 : Βαθμίδα-θέση 4

Βαθμίδα-θέση 5 για την βαλβίδα εξαγωγής με διαδρομή-άνοιγμα 5,025



Εικόνα 55 : Βαθμίδα-θέση 5

Βαθμίδα-θέση 6 για την βαλβίδα εξαγωγής με διαδρομή-άνοιγμα 7,001 mm



Εικόνα 56 : Βαθμίδα-θέση 6

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

3.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Σκοπός του πειράματος μας είναι η καταγραφή της παροχής αέρα στην κεφαλή μας για διαφορετικού μήκους ανοίγματος των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής. Η επίτευξη της μέτρησης του μεγέθους που ανοίγουν οι βαλβίδες επιτυγχάνεται με την χρήση των διάφορων βαθμίδων που έχουν καθοριστεί έπειτα από μέτρηση με παχύμετρο για την εκάστοτε θέση-βαθμίδα.

Για κάθε άνοιγμα της εκάστοτε βαλβίδας καταγράφουμε το μέγεθος της υποπίεσης από τα κενόμετρα. Το ένα κενόμετρο χρησιμοποιείται για την καταγραφή της υποπίεσης της δοκιμής ενώ τα άλλα δυο για την καταγραφή της διαφοράς της υποπίεσης για το εκάστοτε άνοιγμα της βαλβίδας. Αφού καταγράψουμε τα αποτελέσματα υπολογίζουμε την παροχή του αέρα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά σε πίνακα και διαγράμματα. Τέλος αναφέροντα τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε μετά την πραγματοποίηση του πειράματος και των υπολογισμών μας.

3.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Έχοντας τοποθετήσει την κεφαλή στην ειδικά διαμορφωμένη οπή ενεργοποιούμε την συσκευή παροχής αέρα. Κάνουμε ένα σύντομο έλεγχο ότι δεν υπάρχουν απώλειες στον αγωγό. Ελέγχουμε την λειτουργία των οργάνων μέτρησης, περιστρέφοντας δεξιόστροφα τον στροφέα σε τυχαία θέση. Εφόσον όλα βαίνουν καλώς είμαστε έτοιμοι για την πραγματοποίηση του πειράματός μας.

Αρχικά περιστρέφουμε τον στροφέα στην προκαθορισμένη βαθμίδα-θέση 1 για την βαλβίδα της εισαγωγής.

Κατόπιν καταγράφουμε στον πίνακα τις τιμές των κενομέτρων $P_{\text{πειρ.}}$, P_1 και P_2 .

Έπειτα περιστρέφουμε δεξιόστροφα τον στροφέα στην βαθμίδα-θέση 2. Κατόπιν καταγράφουμε στον πίνακα τις τιμές των οργάνων μέτρησης για $P_{\text{πειρ.}}$, P_1 και P_2 .

Στη συνέχεια περιστρέφουμε δεξιόστροφα τον στροφέα στη βαθμίδα-θέση 3 και καταγράφουμε στον πίνακα τις τιμές των οργάνων μέτρησης για $P_{\text{πειρ.}}$, P_1 και P_2 .

Συνεχίζουμε περιστρέφοντας δεξιόστροφα τον στροφέα στη βαθμίδα-θέση 4 και καταγράφουμε στον πίνακα τις τιμές των οργάνων μέτρησης για $P_{\text{πειρ.}}$, P_1 και P_2 .

Στη συνέχεια περιστρέφουμε δεξιόστροφα τον στροφέα στη βαθμίδα-θέση 5 και καταγράφουμε στον πίνακα τις τιμές των οργάνων μέτρησης για $P_{\text{πειρ.}}$, P_1 και P_2 .

Ολοκληρώνουμε περιστρέφοντας δεξιόστροφα τον στροφέα στη βαθμίδα-θέση 6 και καταγράφουμε στον πίνακα τις τιμές των οργάνων μέτρησης για $P_{\text{πειρ.}}$, P_1 και P_2 .

Αφού ολοκληρωθεί η καταγραφή των $P_{\text{πειρ.}}$, P_1 και P_2 συμπληρώνουμε τον πίνακα μετρήσεων μας και υπολογίζουμε την παροχή Q (m^3/sec) για την κάθε βαθμίδα-θέση δημιουργούμε το διάγραμμα παροχής συναρτήσε του ανοίγματος της βαλβίδας.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε πως η ανωτέρω διαδικασία για την κάθε βαθμίδα-θέση πραγματοποιήθηκε 5 φορές για να έχουμε μια πιο ολοκληρωμένη άποψη για τα τελικά μας συμπεράσματα.

Όλες οι πράξεις και οι υπολογισμοί παρατίθενται στα κεφάλαια 3.3 και 3.4 καθώς και οι πίνακες με τις τιμές $P_{\text{πειρ.}}$, P_1 και P_2 , για την εκάστοτε βαθμίδα-θέση καθώς και τα σχετικά διαγράμματα παροχής συναρτήσε του ανοίγματος βαλβίδας εισαγωγής και εξαγωγής αντίστοιχα.

3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΓΙΑ ΒΑΛΒΙΔΑ ΕΞΑΓΩΓΗΣ

Για βαθμίδα-θέση 1 με άνοιγμα βαλβίδας 4,03 mm η τιμή της υποπίεσης δοκιμής είναι: 10 cmHg.

Η τιμή της υποπίεσης $P_1 = 11$ cmHg και $P_2 = 17$ cmHg

$$\Delta P = P_2 - P_1$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= 17 \text{ cmHg} - 11 \text{ cmHg} = 6 \text{ cmHg} = 6 \times 1.333,32 \text{ Pa} = 7.999,92 \text{ Pa} = 7.999,92 \frac{\text{Nt}}{\text{m}^2} \\ &= 7.999,92 \frac{\text{Kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\text{m}^2} = 7.999,92 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \text{ s}^2} \end{aligned}$$

$$P_{\text{atm}} = 76 \text{ cmHg} = 76 \times 1.333,32 \text{ Pa} = 101.333,32 \text{ Pa} = 101.333,32 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \text{ s}^2}$$

$$R = 210 \frac{\text{m Nt}}{\text{Kg Kelvin}}$$

$$T = 273 + C^0 = 273 + 27 = 300 \text{ Kelvin}$$

$$\rho = \frac{P_{\text{atm}}}{R \times T} = \frac{101.333,32 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \text{ s}^2}}{210 \frac{\text{m Nt}}{\text{Kg Kelvin}} \times 300 \text{ Kelvin}} = 1,165 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Υπολογίζοντας το εμβαδό διατομής από τη σχέση: $A = \frac{\pi d^2}{4}$ έχουμε

$$A_1 = \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} = 0,001963 \text{ m}^2$$

$$\text{Ομοίως } A_2 = \frac{3,14 \cdot 0,032^2}{4} = 0,000804 \text{ m}^2$$

Υπολογισμός παροχής Q₁

Από εξίσωση συνέχειας έχουμε:

$$Q = A_1 U_1 = A_2 U_2 \Rightarrow U_2 = \frac{A_1}{A_2} U_1$$

Από την εξίσωση Bernoulli έχουμε :

$$P_1 - P_2 = \Delta P = \frac{1}{2} \rho u_1^2 - \frac{1}{2} \rho u_2^2$$

$$\Rightarrow \Delta P = \frac{1}{2} \rho (U_2^2 - U_1^2)$$

$$\Rightarrow \Delta P = \frac{1}{2} \rho \left(\left(\frac{A_1}{A_2} U_1 \right)^2 - U_1^2 \right)$$

$$\Rightarrow \Delta P = \frac{1}{2} \rho U_1^2 \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)$$

$$\Rightarrow U_1 = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)}}$$

Με αντικατάσταση της ταχύτητας U₁ στην εξίσωση συνέχειας Q = A₁U₁ έχουμε:

$$Q = A_1 U_1$$

$$\Rightarrow Q = A_1 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)}}$$

$$\Rightarrow Q = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \frac{A_1}{\sqrt{\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1}}$$

Με αντικατάσταση των τιμών ΔP, ρ, A₁, A₂ προκύπτει η παροχή Q για βαθμίδα-θέση 1 με άνοιγμα βαλβίδας 4,030 mm ως εξής:

$$Q = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \frac{A_1}{\sqrt{\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 7.999,92 \frac{\text{Kg}}{\text{m s}^2}}{1,165 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}} \frac{0,001963 \text{ m}^2}{\sqrt{\left(\frac{0,001963 \text{ m}^2}{0,000804 \text{ m}^2} \right)^2 - 1}} =$$

$$= 117,19 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,000881147 \text{ m}^2 = 0,103263 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$$

$$\text{Άρα } Q_1 = 0,103263 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$$

Για βαθμίδα-θέση 2 με άνοιγμα βαλβίδας 5,04 mm η τιμή της υποπίεσης δοκιμής είναι: $P = 10 \text{ cmHg}$

Η τιμή της υποπίεσης $P_1 = 10,9 \text{ cmHg}$ και $P_2 = 17,3 \text{ cmHg}$

$$\Delta P = P_2 - P_1$$

$$\Delta P = 17,3 \text{ cmHg} - 10,9 \text{ cmHg} = 6,4 \text{ cmHg} = 6,4 \times 1.333,32 \text{ Pa} = 8.533,248 \text{ Pa} = 8.533,248 \frac{\text{Nt}}{\text{m}^2} = 8.533,248 \frac{\text{Kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\text{m}^2} = 8.533,248 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

$$P_{\text{atm}} = 76 \text{ cmHg} = 76 \times 1.333,32 \text{ Pa} = 101.333,32 \text{ Pa} = 101.333,32 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

$$R = 210 \frac{\text{m Nt}}{\text{Kg Kelvin}}$$

$$T = 273 + C^0 = 273 + 27 = 300 \text{ Kelvin}$$

$$\rho = \frac{P_{\text{atm}}}{R \times T} = \frac{101.333,32 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}}{210 \frac{\text{m Nt}}{\text{Kg Kelvin}} \times 300 \text{ Kelvin}} = 1,165 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Υπολογίζοντας το εμβαδό διατομής από τη σχέση: $A = \frac{\pi d^2}{4}$ έχουμε

$$A_1 = \frac{3,14 \times 0,05^2}{4} = 0,001963 \text{ m}^2$$

$$\text{Ομοίως } A_2 = \frac{3,14 \times 0,032^2}{4} = 0,000804 \text{ m}^2$$

Υπολογισμός παροχής Q_2

Από εξίσωση συνέχειας έχουμε:

$$Q = A_1 U_1 = A_2 U_2 \Rightarrow U_2 = \frac{A_1}{A_2} U_1$$

Από την εξίσωση Bernoulli έχουμε :

$$P_1 - P_2 = \Delta P = \frac{1}{2} \rho u_1^2 - \frac{1}{2} \rho u_2^2$$

$$\Rightarrow \Delta P = \frac{1}{2} \rho (U_2^2 - U_1^2)$$

$$\Rightarrow \Delta P = \frac{1}{2} \rho \left(\left(\frac{A_1}{A_2} U_1 \right)^2 - U_1^2 \right)$$

$$\Rightarrow \Delta P = \frac{1}{2} \rho U_1^2 \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)$$

$$\Rightarrow U_1 = \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)}}$$

Με αντικατάσταση της ταχύτητας U_1 στην εξίσωση συνέχειας $Q = A_1 U_1$ έχουμε:

$$Q = A_1 U_1$$

$$\Rightarrow Q = A_1 \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)}}$$

$$\Rightarrow Q = \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}} \frac{A_1}{\sqrt{\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1}}$$

Με αντικατάσταση των τιμών ΔP , ρ , A_1 , A_2 προκύπτει η παροχή Q για βαθμίδα-θέση 2 με άνοιγμα βαλβίδας 5,04 mm ως εξής:

$$Q = \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}} \frac{A_1}{\sqrt{\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 8533,248 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}}{1,165 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} \frac{0,001963 \text{ m}^2}{\sqrt{\left(\frac{0,001963 \text{ m}^2}{0,000204 \text{ m}^2} \right)^2 - 1}} =$$

$$= 121,035 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,000881147 \text{ m}^2 = 0,106649 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Άρα } Q_2 = 0,106649 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Για βαθμίδα-θέση 3 με άνοιγμα βαλβίδας 6,043 mm η τιμή της υποπίεσης δοκιμής είναι: 10 cmHg

Η τιμή της υποπίεσης $P_1 = 11,2 \text{ cmHg}$ και $P_2 = 18 \text{ cmHg}$

$$\Delta P = P_2 - P_1$$

$$\Delta P = 18 \text{ cmHg} - 11,2 \text{ cmHg} = 6,8 \text{ cmHg} = 6,8 \times 1.333,32 \text{ Pa} = 9.066,57 \text{ Pa} = 9.066,57 \frac{\text{Nt}}{\text{m}^2} = 9.066,57 \frac{\text{Kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\text{m}^2} = 9.066,57 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

$$P_{\text{atm}} = 76 \text{ cmHg} = 76 \times 1.333,32 \text{ Pa} = 101.333,32 \text{ Pa} = 101.333,32 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

$$R = 210 \frac{\text{m Nt}}{\text{Kg Kelvin}}$$

$$T = 273 + C^0 = 273 + 27 = 300 \text{ Kelvin}$$

$$\rho = \frac{P_{\text{atm}}}{R \times T} = \frac{101.333,32 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}}{210 \frac{\text{m Nt}}{\text{Kg Kelvin}} \times 300 \text{ Kelvin}} = 1,165 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Υπολογίζοντας το εμβαδό διατομής από τη σχέση: $A = \frac{\pi d^2}{4}$ έχουμε

$$A_1 = \frac{3,14 \times 0,05^2}{4} = 0,001963 \text{ m}^2$$

$$\text{Ομοίως } A_2 = \frac{3,14 \times 0,032^2}{4} = 0,000804 \text{ m}^2$$

Υπολογισμός παροχής Q_3

Από εξίσωση συνέχειας έχουμε:

$$Q = A_1 U_1 = A_2 U_2 \Rightarrow U_2 = \frac{A_1}{A_2} U_1$$

Από την εξίσωση Bernoulli έχουμε :

$$P_1 - P_2 = \Delta P = \frac{1}{2} \rho u_1^2 - \frac{1}{2} \rho u_2^2 \Rightarrow \Delta P = \frac{1}{2} \rho (U_2^2 - U_1^2) \Rightarrow \Delta P = \frac{1}{2} \rho \left(\left(\frac{A_1}{A_2} U_1 \right)^2 - U_1^2 \right)$$

$$\Rightarrow \Delta P = \frac{1}{2} \rho U_1^2 \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)$$

$$\Rightarrow U_1 = \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)}}$$

Με αντικατάσταση της ταχύτητας U_1 στην εξίσωση συνέχειας $Q = A_1 U_1$ έχουμε:

$$Q = A_1 U_1$$

$$\Rightarrow Q = A_1 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)}}$$

$$\Rightarrow Q = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \frac{A_1}{\sqrt{\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1}}$$

Με αντικατάσταση των τιμών ΔP , ρ , A_1 , A_2 προκύπτει η παροχή Q για βαθμίδα-θέση 3 με άνοιγμα βαλβίδας 6,043 mm ως εξής:

$$Q = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \frac{A_1}{\sqrt{\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9066,576 \frac{\text{Kg}}{\text{m.s}^2}}{1,165 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}} \frac{0,001963 \text{ m}^2}{\sqrt{\left(\frac{0,001963 \text{ m}^2}{0,000204 \text{ m}^2} \right)^2 - 1}} =$$

$$= 124,76 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,000881147 \text{ m}^2 = 0,109932 \frac{\text{m}^3}{\text{ssec}}$$

$$\text{Άρα } Q_3 = 0,109932 \frac{\text{m}^3}{\text{ssec}}$$

Στο σημείο αυτό παρατίθεται πίνακας με τις τιμές που υπολογίσθηκαν συναρτήσει του ανοίγματος της βαλβίδας εξαγωγής.

a/a	Βαθμίδα-θέση (mm)	Πίεση δοκιμής (cmHg)	Πίεση 1 P ₁ (cmHg)	Πίεση 2 P ₂ (cmHg)	Διαφορά πίεσης ΔP(cmHg)	Παροχή Q ($\frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$)
1	4,030	10	11	17	6	0,103
2	5,040	10	10,9	17,3	6,4	0,107
3	6,043	10	11,2	18	6,8	0,110

Πίνακας 5 : Αποτελέσματα βαλβίδας εξαγωγής

3.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΓΙΑ ΒΑΛΒΙΔΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ

Για βαθμίδα-θέση 4 με άνοιγμα βαλβίδας 4,020 mm η τιμή της υποπίεσης δοκιμής είναι: $P = 10 \text{ cmHg}$

Η τιμή της υποπίεσης $P_1 = 11,2 \text{ cmHg}$ και $P_2 = 18,3 \text{ cmHg}$

$$\Delta P = P_2 - P_1$$

$$\Delta P = 18,3 \text{ cmHg} - 11,2 \text{ cmHg} = 7,1 \text{ cmHg} = 7,1 \times 1.333,32 \text{ Pa} = 9.466,572 \text{ Pa} = 9466,572 \frac{\text{Nt}}{\text{m}^2} = 9.466,572 \frac{\text{Kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\text{m}^2} = 9466,572 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

$$P_{\text{atm}} = 76 \text{ cmHg} = 76 \times 1.333,32 \text{ Pa} = 101.333,32 \text{ Pa} = 101.333,32 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

$$R = 210 \frac{\text{m} \cdot \text{Nt}}{\text{Kg} \cdot \text{Kelvin}}$$

$$T = 273 + C^0 = 273 + 27 = 300 \text{ Kelvin}$$

$$\rho = \frac{P_{\text{atm}}}{R \times T} = \frac{101.333,32 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}}{210 \frac{\text{m} \cdot \text{Nt}}{\text{Kg} \cdot \text{Kelvin}} \times 300 \text{ Kelvin}} = 1,165 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Υπολογίζοντας το εμβαδό διατομής από τη σχέση: $A = \frac{\pi d^2}{4}$ έχουμε

$$A_1 = \frac{3,14 \times 0,05^2}{4} = 0,001963 \text{ m}^2$$

$$\text{Ομοίως } A_2 = \frac{3,14 \times 0,032^2}{4} = 0,000804 \text{ m}^2$$

Υπολογισμός παροχής Q_4

Από εξίσωση συνέχειας έχουμε:

$$Q = A_1 U_1 = A_2 U_2 \Rightarrow U_2 = \frac{A_1}{A_2} U_1$$

Από την εξίσωση Bernoulli έχουμε :

$$P_1 - P_2 = \Delta P = \frac{1}{2} \rho v_1^2 - \frac{1}{2} \rho v_2^2 \Rightarrow \Delta P = \frac{1}{2} \rho (U_2^2 - U_1^2) \Rightarrow \Delta P = \frac{1}{2} \rho \left(\left(\frac{A_1}{A_2} U_1 \right)^2 - U_1^2 \right)$$

$$\Rightarrow \Delta P = \frac{1}{2} \rho U_1^2 \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right) \Rightarrow U_1 = \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)}}$$

Με αντικατάσταση της ταχύτητας U_1 στην εξίσωση συνέχειας $Q = A_1 U_1$ έχουμε:

$$Q = A_1 U_1$$

$$\Rightarrow Q = A_1 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1\right)}}$$

$$\Rightarrow Q = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \frac{A_2}{\sqrt{\left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1\right)}}$$

Με αντικατάσταση των τιμών ΔP , ρ , A_1 , A_2 προκύπτει η παροχή Q για βαθμίδα-θέση 4 με άνοιγμα βαλβίδας 4,02 mm ως εξής:

$$Q_4 = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \frac{A_2}{\sqrt{\left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1\right)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9466,572 \frac{\text{Kg}}{\text{ms}^2}}{1,165 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}} \frac{0,001963 \text{ m}^2}{\sqrt{\left(\frac{0,001963 \text{ m}^2}{0,00804 \text{ m}^2} \right)^2 - 1}} =$$

$$= 127,48 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,000881147 \text{ m}^2 = 0,11233 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$$

Άρα $Q_4 = 0,11233 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$

Για βαθμίδα-θέση 5 με άνοιγμα βαλβίδας 5,025 mm η τιμή της υποπίεσης δοκιμής είναι: $P = 10 \text{ cmHg}$

Η τιμή της υποπίεσης $P_1 = 11,8 \text{ cmHg}$ και $P_2 = 18,6 \text{ cmHg}$

$$\Delta P = P_2 - P_1$$

$$\Delta P = 18,6 \text{ cmHg} - 11,8 \text{ cmHg} = 6,8 \text{ cmHg} = 6,8 \times 1.333,32 \text{ Pa} = 9066,576 \text{ Pa} =$$

$$9066,576 \frac{\text{Nt}}{\text{m}^2} = 9066,576 \frac{\text{Kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\text{m}^2} = 9066,576 \frac{\text{Kg}}{\text{m s}^2}$$

$$P_{\text{atm}} = 76 \text{ cmHg} = 76 \times 1.333,32 \text{ Pa} = 101.333,32 \text{ Pa} = 101.333,32 \frac{\text{Kg}}{\text{m s}^2}$$

$$R = 210 \frac{\text{m Nt}}{\text{Kg Kelvin}}$$

$$T = 273 + C^0 = 273 + 27 = 300 \text{ Kelvin}$$

$$\rho = \frac{P_{atm}}{R \times T} = \frac{101.333,32 \frac{Kg}{m \cdot s^2}}{210 \frac{m \cdot N}{Kg \cdot Kelvin} \times 300 Kelvin} = 1,165 \frac{Kg}{m^3}$$

Υπολογίζοντας το εμβαδό διατομής από τη σχέση: $A = \frac{\pi d^2}{4}$ έχουμε

$$A_1 = \frac{3,14 \times 0,05^2}{4} = 0,001963 m^2$$

$$\text{Ομοίως } A_2 = \frac{3,14 \times 0,032^2}{4} = 0,000804 m^2$$

Υπολογισμός παροχής Q_5

Από εξίσωση συνέχειας έχουμε:

$$Q = A_1 U_1 = A_2 U_2 \Rightarrow U_2 = \frac{A_1}{A_2} U_1$$

Από την εξίσωση Bernoulli έχουμε :

$$P_1 - P_2 = \Delta P = \frac{1}{2} \rho u_1^2 - \frac{1}{2} \rho u_2^2$$

$$\Rightarrow \Delta P = \frac{1}{2} \rho (U_2^2 - U_1^2)$$

$$\Rightarrow \Delta P = \frac{1}{2} \rho \left(\left(\frac{A_1}{A_2} U_1 \right)^2 - U_1^2 \right)$$

$$\Rightarrow \Delta P = \frac{1}{2} \rho U_1^2 \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)$$

$$\Rightarrow U_1 = \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)}}$$

Με αντικατάσταση της ταχύτητας U_1 στην εξίσωση συνέχειας $Q = A_1 U_1$ έχουμε:

$$Q = A_1 U_1$$

$$\Rightarrow Q = A_1 \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)}}$$

$$\Rightarrow Q = \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}} \frac{A_1}{\sqrt{\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1}}$$

Με αντικατάσταση των τιμών ΔP , ρ , A_1 , A_2 προκύπτει η παροχή Q για βαθμίδα-θέση 5 με άνοιγμα βαλβίδας 5,025 mm ως εξής:

$$Q = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \frac{A_1}{\sqrt{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}} = \sqrt{\frac{2 \times 9066,576 \frac{\text{Kg}}{\text{m s}^2}}{1,165 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}} \frac{0,001963 \text{ m}^2}{\sqrt{\left(\frac{0,001963 \text{ m}^2}{0,000804 \text{ m}^2}\right)^2 - 1}} =$$

$$= 124,76 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,000881147 \text{ m}^2 = 0,109932 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$$

Άρα $Q_5 = 0,109932 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$

Για βαθμίδα-θέση 6 με άνοιγμα βαλβίδας 7,001 mm η τιμή της υποπίεσης δοκιμής είναι: $P = 10 \text{ cmHg}$

Η τιμή της υποπίεσης $P_1 = 12,5 \text{ cmHg}$ και $P_2 = 19 \text{ cmHg}$

$$\Delta P = P_2 - P_1$$

$$\Delta P = 19 \text{ cmHg} - 12,5 \text{ cmHg} = 6,5 \text{ cmHg} = 6,5 \times 1.333,32 \text{ Pa} = 8.666,58 \text{ Pa}$$

$$= 8.666,58 \frac{\text{Nt}}{\text{m}^2} = 8666,58 \frac{\text{Kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\text{m}^2} = 8.666,58 \frac{\text{Kg}}{\text{m s}^2}$$

$$P_{\text{atm}} = 76 \text{ cmHg} = 76 \times 1.333,32 \text{ Pa} = 101.333,32 \text{ Pa} = 101.333,32 \frac{\text{Kg}}{\text{m s}^2}$$

$$R = 210 \frac{\text{m Nt}}{\text{Kg Kelvin}}$$

$$T = 273 + C^0 = 273 + 27 = 300 \text{ Kelvin}$$

$$\rho = \frac{P_{\text{atm}}}{R \times T} = \frac{101.333,32 \frac{\text{Kg}}{\text{m s}^2}}{210 \frac{\text{m Nt}}{\text{Kg Kelvin}} \times 300 \text{ Kelvin}} = 1,165 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Υπολογίζοντας το εμβαδό διατομής από τη σχέση: $A = \frac{\pi d^2}{4}$ έχουμε

$$A_1 = \frac{3,14 \times 0,05^2}{4} = 0,001963 \text{ m}^2$$

$$\text{Ομοίως } A_2 = \frac{3,14 \times 0,032^2}{4} = 0,000804 \text{ m}^2$$

Υπολογισμός παροχής Q₆

Από εξίσωση συνέχειας έχουμε:

$$Q = A_1 U_1 = A_2 U_2 \Rightarrow U_2 = \frac{A_1}{A_2} U_1$$

Από την εξίσωση Bernoulli έχουμε :

$$P_1 - P_2 = \Delta P = \frac{1}{2} \rho u_1^2 - \frac{1}{2} \rho u_2^2$$

$$\Rightarrow \Delta P = \frac{1}{2} \rho (U_2^2 - U_1^2)$$

$$\Rightarrow \Delta P = \frac{1}{2} \rho \left(\left(\frac{A_1}{A_2} U_1 \right)^2 - U_1^2 \right)$$

$$\Rightarrow \Delta P = \frac{1}{2} \rho U_1^2 \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)$$

$$\Rightarrow U_1 = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)}}$$

Με αντικατάσταση της ταχύτητας U₁ στην εξίσωση συνέχειας Q = A₁U₁ έχουμε:

$$Q = A_1 U_1$$

$$\Rightarrow Q = A_1 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)}}$$

$$\Rightarrow Q = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \frac{A_1}{\sqrt{\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1}}$$

Με αντικατάσταση των τιμών ΔP, ρ, A₁, A₂ προκύπτει η παροχή Q για βαθμίδα-θέση 6 με άνοιγμα βαλβίδας 7,001 mm ως εξής:

$$Q = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \frac{A_1}{\sqrt{\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 8666,58 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}}{1,165 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} \frac{0,001963 \text{ m}^2}{\sqrt{\left(\frac{0,001963 \text{ m}^2}{0,00804 \text{ m}^2} \right)^2 - 1}} =$$

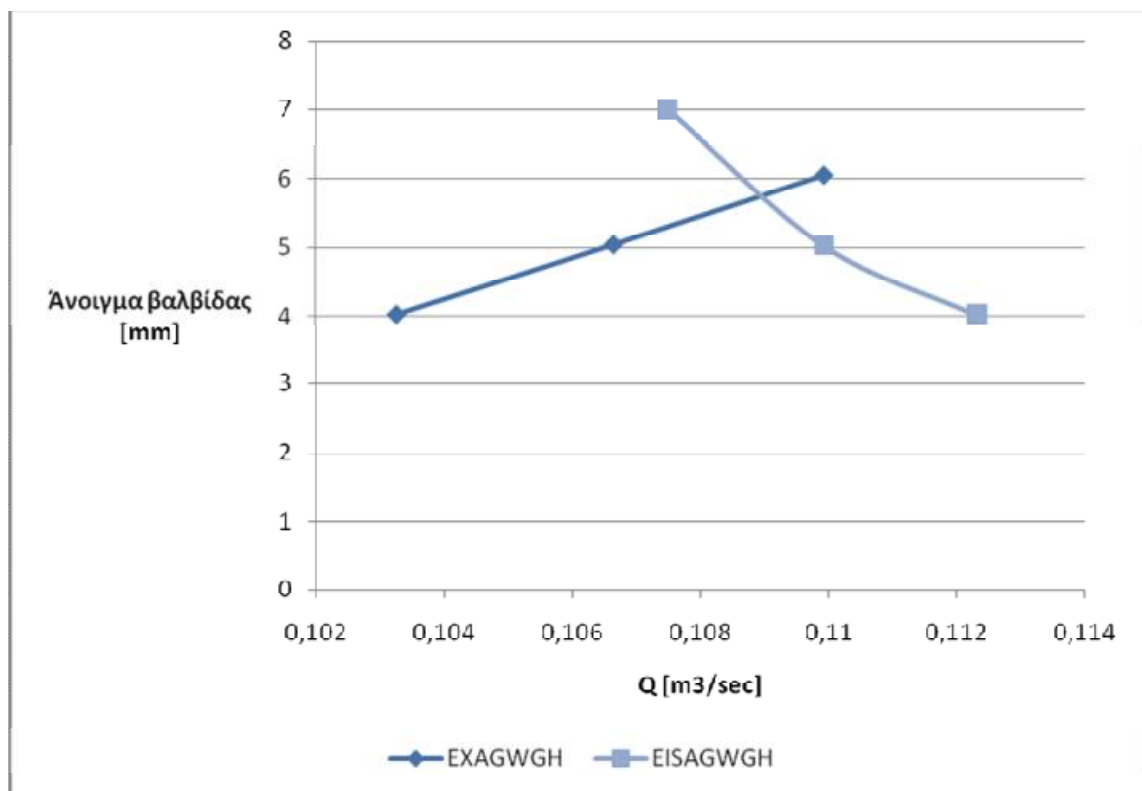
$$= 121,98 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,000881147 \text{ m}^2 = 0,107479 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$$

$$\text{Άρα } Q_6 = 0,107479 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$$

Στο σημείο αυτό παρατίθεται πίνακας με τις τιμές που υπολογίσθηκαν καθώς και το διάγραμμα παροχής συναρτήσεϊ του ανοίγματος της βαλβίδας εισαγωγής και εξαγωγής.

α/α	Βαθμίδα-θέση (mm)	Πίεση δοκιμής (cmHg)	Πίεση 1 P ₁ (cmHg)	Πίεση 2 P ₂ (cmHg)	Διαφορά πίεσης ΔΡ(cmHg)	Παροχή Q (m ³ /s)
4	4,020	10	11,2	18,3	7,1	0,112
5	5,025	10	11,8	18,6	6,8	0,110
6	7,001	10	12,5	19	6,5	0,107

Πίνακας 6 : Αποτελέσματα βαλβίδας εισαγωγής



Διάγραμμα 1 : Άνοιγμα βαλβίδας συναρτήσεϊ παροχής

3.5 ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Τα υλικά και το κόστος τους αναφέρονται στον πίνακα που ακολουθεί

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΟΣΤΟΣ €	ΤΕΜΑΧΙΟ	ΣΥΝΟΛΟ €
ΚΕΦΑΛΗ HONDA GLX 50 cc	50	1	50
ΣΩΛΗΝΑΣ PVC Ø50 3m	4,80	1	4,80
ΣΩΛΗΝΑΣ PVC Ø32 2m	3,60	1	3,60
ΓΩΝΙΕΣ 90 ⁰	1,50	5	7,50
ΣΥΣΤΟΛΕΣ Ø 50-32	1,30	4	5,20
ΚΕΝΟΜΕΤΡΑ ΓΛΥΚΕΡΙΝΗΣ Ø 63	23	3	69
ΣΩΛΗΝΑΚΙΑ PUR	3,50	1	3,50
ΞΥΛΟ ΒΑΣΗΣ MDF	8,25	1	8,25
ΞΥΛΟ ΠΛΑΤΗΣ	4,95	1	4,95
ΞΥΛΑ ΠΛΑΙΝΑ	2,25	2	5,50
ΣΤΡΑΝΤΖΑ ΣΙΔΗΡΟΥ 1m	1.20	5	6.00
ΡΟΔΕΣ ΒΑΣΗΣ	0,50	4	2,00
ΜΠΟΓΙΑ	5,90	1	5,90
ΚΟΛΛΑ ΣΙΛΙΚΟΝΗΣ	1,30	1	1,30
ΑΣΤΑΡΙ	6,20	1	6,20
ΝΕΦΤΙ	1,80	1	1,80
ΠΙΝΕΛΟ	2,50	2	5,00
ΣΜΙΡΥΔΟΠΑΝΟ	0,50	2	1,00
ΠΡΙΟΝΙ	2,80	1	2,80
ΚΑΜΙΝΕΤΟ	36,90	1	36,90
ΠΟΤΗΡΟΤΡΥΠΑΝΟ	12,40	1	12,40
ΗΛ.ΣΚΟΥΠΑ	40,00	1	40,00
ΛΑΜΑΡΙΝΟΒΙΔΕΣΒΙΔΕΣ	2,70	1	2,70
ΒΙΔΕΣ ΕΞΑΓΩΝΕΣ	5,10	1	5,10
ΔΑΚΤΥΛΙΟΣ	1,60	1	1,60
ΓΩΝΙΑΚΟΣ ΤΡΟΧΟΣ (ΜΕΤ.)	25,00	1	25,00
ΚΡΟΥΣΤΙΚΟ ΔΡΑΠΑΝΟ	44,80	1	44,80
ΣΕΤ ΤΡΥΠΑΝΙΑ	8,90	1	8,90
ΛΙΜΑ	2,00	1	2,00
ΠΛΕΞΙΓΚΛΑΣ	3,80	1	3,80

Συνολικό κόστος κατασκευής :**377,50€**

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία είχε σαν στόχο να κατασκευαστεί μια πειραματική συσκευή η οποία θα λάβει χώρα ως πειραματική συσκευή για εργαστηριακή άσκηση της μηχανικής των ρευστών.

Βασικός στόχος ήταν να μπορέσουν οι σπουδαστές να εξικωθούν με τις μονάδες πίεσης, την εξίσωση Bernoulli, την εξίσωση Συνέχειας και γενικότερα τον τρόπο υπολογισμών του ποσοστού αέρα που μπορεί να περάσει μέσα από διάφορα εξαρτήματα.

Το flow bench βέβαια βρίσκει πολλές εφαρμογές στις μέρες μας, ιδιαίτερα στην κατασκευή του κινητήρα.

Τα πειραματικά αποτελέσματα για την βαλβίδα εισαγωγής και για την βαλβίδα εξαγωγής του κινητήρα της συσκευής, έδειξαν ότι καθώς ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής η παροχή μειώνεται, ενώ παράλληλα καθώς η βαλβίδα εξαγωγής αυξάνει, αυξάνει και η παροχή. Το σημείο τομής της γραφικής παράστασης είναι το σημείο όπου οι βαλβίδες έχουν το ίδιο άνοιγμα.

Τέλος, μπορεί να παρατηρήσει κανείς μέσα από την οικονομοτεχνική ανάλυση, ότι η πειραματική συσκευή στοίχισε 377,5€ και πιστεύεται ότι θα χρησιμοποιηθεί και θα καλύψει τους εκπαιδευτικούς στόχους για την οποία κατασκευάστηκε.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ν.Νανούσης, *ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ Ι*, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα 2003
2. ΚΩΣΤΑΣ Δ. ΚΑΒΒΑΘΑΣ ,Ροϊκή εξέλιξη,4ΤΡΟΧΟΙ
3. How to Build, Modify & Power Tune Cylinder Heads Από τον/την Peter Burgess,David Gollan
4. Fluid mechanics Από τον/την Robert Alan Granger,Dover puplication Inc,Mineola NY,1995
5. Design, Construction and Testing of and IC engine Flow-bench. Ryan Eckl, Christopher Johnson, ShawnShields. Mechanical engineering Department. Arkansas Tech University. May 1, 2007
6. Flow-Bench for Mechanical Engineering Labs Wayne Helmer, professor Mechanical Engineering Arkansas Tech University September 15, 2008
7. www.flowperformance.com
8. www.Wikipedia.com