

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ/ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΥΔΡΕΥΣΗΣ - ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΝΤΛΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΣΤΙΣ ΠΙΕΣΕΙΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ**

ΒΟΛΑΝΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

ΖΑΧΑΡΙΟΥΔΑΚΗΣ ΑΓΗΣΙΛΑΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΝΑΚΟΥΔΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΒΟΛΟΣ , ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2018



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ/ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΥΔΡΕΥΣΗΣ - ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΝΤΛΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΣΤΙΣ ΠΙΕΣΕΙΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ**

ΒΟΛΑΝΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

ΖΑΧΑΡΙΟΥΔΑΚΗΣ ΑΓΗΣΙΛΑΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΝΑΚΟΥΔΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΒΟΛΟΣ , ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2018

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού.

©2018 ΒΟΛΑΝΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ, ΖΑΧΑΡΙΟΥΔΑΚΗΣ ΑΓΗΣΙΛΑΟΣ

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος εξεταστής	Δρ. Κανακούδης Βασίλειος (επιβλέπων) Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δεύτερος εξεταστής	Δρ. Κεραμάρης Ευάγγελος Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τρίτος Εξεταστής	Δρ. Καρακασίδης Θεόδωρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους όσους συνέβαλαν, στην επίτευξη αυτής της διπλωματικής εργασίας, ο καθένας με το δικό του τρόπο.

Αρχικά θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα της διπλωματικής αυτής εργασίας και καθηγητή μας κ Κανακούδη Βασίλειο, για τη συνεχή υποστήριξη και άψογη συνεργασία μας όλο αυτό το διάστημα, καθώς και καθ' όλη τη διάρκεια των φοιτητικών μας χρόνων, για την καθοδήγηση και φυσικά εμπιστοσύνη που μας έχει δείξει.

Εννοείται ένα μεγάλο ευχαριστώ στον υποψήφιο διδάκτορα Πατέλη Μενέλαο, για τη συνεχή υποστήριξη, την παραχώρηση του προσωπικού χώρου και χρόνου και όλες αυτές τις πολύτιμες συμβουλές και υποδείξεις χωρίς τις οποίες δεν θα παρουσιάζαμε το ίδιο αποτέλεσμα.

Ευχαριστούμε τον υπεύθυνο του εργαστηρίου κ Βαγγέλη Κεραμάρη για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε όλο αυτό το διάστημα που περνούσαμε τόσες ώρες στο εργαστήριο, για την άψογη συνεργασία και επικοινωνία μας και φυσικά για όλες τις γνώσεις και μαθήματα που μας παρείχε.

Ευχαριστούμε ιδιαίτερα την Πυροσβεστική Υπηρεσία Δήμου Βόλου και όλο της το προσωπικό με το οποίο συνεργαστήκαμε, για την πολύτιμη βοήθεια τους η οποία ήταν και καθοριστική για την επιτυχή ολοκλήρωση του πειράματός μας.

Ευχαριστούμε τη κ Γλυκερία Μπαλαμώτη και τη κ Χρύσα Βούλγαρη που μας παρείχαν πρόσβαση στο εργαστήριο όπως και τους φύλακες της σχολής που βρισκόταν στις εγκαταστάσεις των σχολών.

Ευχαριστούμε όλους τους προμηθευτές για την άψογη συνεργασία όλο αυτό το διάστημα, για την καθοδήγηση και τις προτάσεις για λύσεις των όποιων εμποδίων συναντούσαμε.

Ευχαριστούμε το εργαστήριο Σκυροδέματος για τη συνεργασία και τη βοήθεια καθ' όλη τη διάρκεια εξαγωγής του πειράματος και συγκεκριμένα τον κ Περδικάρη Φίλιππο και το βοηθό του Χάρη

Ευχαριστούμε πολύ όλους τους φίλους μας που μας στήριξαν και μας βοήθησαν όλο αυτόν τον καιρό και ένα παραπάνω όλους αυτούς που περάσανε τόσες ώρες μαζί μας στο εργαστήριο βοηθώντας μας ο καθένας με τον τρόπο του. Φυσικά ένα μεγάλο ευχαριστώ στο συμφοιτητή μας Αθανάσιο Τολιόπουλο, ο οποίος αφιέρωσε πάρα πολλές ώρες μαζί μας στο εργαστήριο στα πρώτα στάδια της δουλειάς μας βοηθώντας μας, και να του ευχηθούμε καλή σταδιοδρομία και πάντα επιτυχίες στη ζωή του.

Τέλος θα θέλαμε να πούμε ένα μεγάλο ευχαριστώ στις οικογένειες μας για την στήριξη τους σε όλα τα στάδια της ζωής μας και για τη συνεχή ενθάρρυνση να προχωρήσουμε παρακάτω και να επιτύχουμε τους στόχους μας.

Περίληψη

Η διπλωματική αυτή εργασία αφορά την εγκατάσταση και λειτουργία μιας απλής συμβατικής αντλίας με τη μορφή μιας PAT (Pump As Turbine). Στα πλαίσια ενός εργαστηριακού πειράματος, θα δημιουργηθεί ένα προσομοίωμα ενός δικτύου ύδρευσης στο οποίο θα τοποθετηθεί μια αντλία με τη μορφή μιας PAT και θα ελέγξουμε την επιρροή της λειτουργίας της στο δίκτυο αυτό. Παράλληλα θα συντρέχει μία ηλεκτρολογική εγκατάσταση η οποία θα μετράει την ενεργειακή απόδοση της αντλίας PAT. Στο κείμενο αρχικά θα αναφερθούμε σε κάποιους βασικούς ορισμούς περί αντλιών, τρόπο λειτουργίας και είδη τους, όπως επίσης αντίστοιχα σε είδη υδροτουρμπίνων, χαρακτηριστικά και εφαρμογές τους. Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τη διάταξη που θα ακολουθήσει το δίκτυο και τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν. Έπειτα θα δούμε τη διαδικασία συναρμολόγησης της όλης εγκατάστασης και φυσικά τη λειτουργία του δικτύου. Θα αναφερθούν διάφορα προβλήματα που παρουσιάστηκαν όπως επίσης και οι μέθοδοι αντιμετώπισης τους. Τέλος θα προτείνουμε σημεία βελτίωσης και περαιτέρω ανάπτυξης της πειραματικής αυτής εγκατάστασης και πιθανές εφαρμογές της.

Λέξεις κλειδιά

Αντλίες φυγοκεντρικές, PAT, υδροτουρμπίνες, εργαστηριακά αποτελέσματα, ενεργειακή απόδοση, πτώση πίεσης, προσομοίωμα δικτύου

Abstract

This diploma thesis deals with the installation and operation of a simple conventional pump in the form of a PAT (Pump As Turbine). In the context of a laboratory experiment, a real size model of a water supply network loop is developed in which a pump is placed in the form of a PAT, to check the influence of its operation on this network. At the same time, an electrical tool was formed and installed to measure the energy efficiency of the PAT. The current Thesis starts with a short overview of some basic definitions regarding pumps, their mode of operation and the available types. The same stands for the hydro-turbine types, where their characteristics and applications are discussed. Then, the layout of the real size model network loop developed is analyzed, along with the materials used. The assembly process of the entire experimental installation is presented along with the operation of the network loop. The various problems faced are described followed by the ways to tackle them. Finally, suggestions regarding the improvement of the entire experiment take place, along with a short discussion regarding its further development and its possible applications.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	6
Abstract	7
Πίνακας Περιεχομένων	8
Πίνακας Εικόνων	10
Πίνακας Πινάκων	13
Πίνακας Διαγραμμάτων	13
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγικές Έννοιες.....	14
1.1 Τι είναι αντλία;.....	15
1.2 Βασικές Έννοιες	16
Κεφάλαιο 2: Τύποι Αντλιών	18
2.1 Αρχή Λειτουργίας	18
2.2 Δομή και σχεδιασμός.....	19
2.2.1 Το σώμα της αντλίας.....	19
2.2.2 Η πτερωτή.....	21
2.2.3 Δακτύλιοι φθοράς (WearRings).....	22
2.2.4 Άτρακτος.....	22
2.3 Τύποι και εφαρμογές.....	24
2.3.1 Μονοβάθμιες αντλίες απλής αναρρόφησης.....	24
2.3.2 Αντλίες διπλής αναρρόφησης	25
2.3.3 Πολυβάθμιες αντλίες.....	25
2.3.4 Ειδικές φυγοκεντρικές αντλίες	26
2.3.5 Αντλίες αξονικής ροής.....	26
2.4 Το φαινόμενο της Σπηλαίωσης	26
2.4.1 Ορισμός της σπηλαίωσης.....	26
2.4.2 Συντελεστής Σπηλαίωσης Thomas[σ].....	27
Κεφάλαιο 3: Ανάκτηση Ενέργειας από Δίκτυα Διανομής Νερού	29
3.1 Μικροτουρμπίνες για ανάκτηση ενέργειας στα δίκτυα διανομής νερού	29
3.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χρήσης αντλιών ως τουρμπίνες	31
3.2.1 Πλεονεκτήματα.....	31
3.2.2 Μειονεκτήματα.....	31
3.3 Παραδείγματα Εφαρμογών των PAT.....	32
3.4 Ρύθμιση πίεσης για την αντιμετώπιση των απωλειών στα δίκτυα διανομής νερού	35
3.4.1 Αντιμετώπιση Πραγματικών Απωλειών	36

3.4.2	Είδη Βαλβίδων Μείωσης Πίεσης	36
3.4.3	Οφέλη από τη διαχείριση της πίεσης	36
3.5	Προσχέδιο στησίματος του πειράματος	37
Κεφάλαιο 4: Στήσιμο του πειράματος		40
4.1	Το εργαστήριο – Γνωριμία με το χώρο	40
4.2	Διαχείριση ηλεκτρικής ενέργειας	40
4.3	Το στήσιμο του πειράματος	42
4.3.1	Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν	44
4.3.2	Μετρητές	45
4.3.3	Κολλήσεις εξαρτημάτων και συνδέσεις	47
4.4	Συναρμολόγηση του πειράματος	51
4.4.1	Αγωγός Φ110	53
4.4.2	Αγωγός Φ63	58
4.5	Η αντλία PAT που χρησιμοποιήθηκε	61
4.5.1	Παρουσίαση της αντλίας	61
4.5.2	Λύσιμο της αντλίας	62
4.5.3	Συναρμολόγηση της αντλίας	65
4.6	Παράλληλο στήσιμο αγωγού Φ63	68
4.6.1	Ο χώρος	68
4.6.2	Συναρμολόγηση του αγωγού Φ63 (2.5'')	69
4.6.3	Επιδιόρθωση της αντλίας	71
4.6.4	Λειτουργία και έλεγχος δικτύου	72
Κεφάλαιο 5: Τρέξιμο του πειράματος και αποτελέσματα		74
5.1	Προετοιμασία του χώρου	74
5.2	Πρώτη δοκιμή και αστοχίες	74
5.3	Δεύτερη δοκιμή – Παρατηρήσεις	75
5.3.1	Αγωγός Φ110 (4'')	75
5.3.2	Παρατηρήσεις – Πρώτα συμπεράσματα	77
5.3.3	Αγωγός Φ63	78
5.4	Έκκληση για βοήθεια στην Πυροσβεστική Υπηρεσία Δήμου Βόλου	80
5.4.1	Αίτημα στην Πυροσβεστική Υπηρεσία	80
5.4.2	Προσαρμογές για σύνδεση του Πυροσβεστικού οχήματος στα δίκτυα μας	80
5.4.3	Απομάκρυνση του νερού	82
5.5	Μέτρηση της απόδοσης της PAT	83

5.5.1 Λειτουργία της ΡΑΤ και μέθοδος μέτρησης της απόδοσης	83
5.5.2 Εγκατάσταση του Δυναμό	84
5.6 Πρώτη δοκιμή με το Πυροσβεστικό Όχημα	86
5.6.1 Πρώτη δοκιμή στο δίκτυο Φ110 (4'')	86
5.6.2 Πρώτη δοκιμή στο δίκτυο Φ63 (2.5'')	87
5.7 Επιδιόρθωση θραύσεων και δεύτερη δοκιμή με το πυροσβεστικό όχημα	88
5.8 Επιδιορθώσεις και τελική δοκιμή	89
5.8.1 Επιδιορθώσεις στα δίκτυα	89
5.8.2 Τελική Δοκιμή με το Πυροσβεστικό Όχημα	90
5.9 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Πειράματος	92
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα – Προτάσεις Περαιτέρω Ανάπτυξης	98
6.1 Συμπεράσματα από τη λειτουργία της αντλίας ως τουρμπίνα (ΡΑΤ)	98
6.2 Προτάσεις χρήσης μιας αντλίας ως τουρμπίνα	98
6.3 Προτάσεις για Βελτιώσεις – Περαιτέρω Διερεύνηση	99
Αντί Επίλογου	103
Βιβλιογραφία	104

Πίνακας Εικόνων

1. Σύστημα Αντλία - Μοτέρ (Υδρευσης)	15
2. Φυγοκεντρική αντλία νερού μαζί με το μοτέρ της	18
3. Αντλία θετικής εκτόπισης	18
4. Σώμα αντλίας	19
5. Ορειχάλκινη πτερωτή ανοικτού τύπου	21
6. Μηχανικός Στυπιοθλίπτης	23
7. Αναλυτικά το σύνολο της αντλίας εσωτερικά	23
8. Μονοβάθμια Αντλία In-line	24
9. Αντλία Διπλής Αναρρόφησης	25
10. Πολυβάθμια Αντλία	25
11. Αντλία Λυμάτων	26
12. Ιδεατό Διάγραμμα Προσομοίωσης της αντλίας ΡΑΤ	37
13. Συνοπτικό Διάγραμμα Διάταξης των μερών	38
14. Τελική Διάταξη του Πειράματος	38
15. Μέσο μέτρησης της ενέργειας που αποδίδεται στην αντλία ΡΑΤ	39
16. Ηλεκτρολογικός Πίνακας Λεπτομέρειες	40
17. Ηλεκτρολογικός Πίνακας Εξωτερικά	40
18. Θερμομαγνητικός Διακόπτης, Ασφαλειοαποζεύκτης Φορτίου, Επιτηρητής Τάσης	41
19. Κλέμες, Ρελέ, Χρονικό Αστέρα-Τριγώνου	41
20. Το υπάρχον πείραμα	42
21. Το κομμάτι που κρατήσαμε: αντλία-μοτέρ-δεξαμενή- σωλήνα-βάνα-γωνία-φλάντζα	43

22. Αντλία - Μοτέρ	43
23. Φλάντζα Λυμένη.....	43
24. Φλάντζα Δεμένη.....	43
25. Σωλήνα Φ110 - 10 atm	44
26. Σωλήνα Φ63 - 16 atm	44
27. Διάφορα εξαρτήματα σωληνώσεων	44
28. Παροχόμετρο Φ63.....	45
29. Παροχόμετρο Φ110.....	45
30. Όλο το σύστημα σέλα, βάνα, μανόμετρο	46
31. Αναλυτικά τα μέρη που συνδέθηκαν	46
32. Η σέλα σε κατακόρυφη προβολή απο πάνω	46
33. Εξαεριστικά - Παράδειγμα.....	47
34. Σέλα και βανάκι.....	47
35. Ταινία στεγανοποίησης - τεφλόν	47
36. Έτοιμο κομμάτι σωλήνας για κόλληση	48
37. Πλήρης επάλειψη της σωλήνας με κόλλα	48
38. Κόλλα για σωλήνες PVC.....	48
39. Μούφα Πιέσεως.....	49
40. Γωνία Πιέσεως.....	49
41. Φλάντζα	49
42. Λαιμός Φλάντζας.....	49
43. Ολοκληρωμένη σύνδεση φλάντζας με σωλήνα και εξάρτημα	50
44. Λαστιχένια φλάντζα.....	50
45. Μεικτός Σύνδεσμος	50
46. Απλή Συστολή.....	50
47. Μούφα Συστολική	50
48. Βάνα συνδεδεμένη με μεικτούς συνδέσμους	51
49. Παροχόμετρο, συνδεδεμένο στον αγωγό.....	51
50. Σωλήνα συνδεδεμένη αριστερά με το παροχόμετρο, δεξιά με γωνία και στη μέση τοποθετημένο το μανόμετρο	52
51. Φλάντζες πριν τη γωνία	52
52. Λαστιχένια φλάντζα για στεγανότητα.....	53
53α. Λαιμός Φλάντζας.....	54
53β. Φλάντζα πάνω στο λαιμό της	54
54. Σωλήνα Φ75	54
54α. Συστολή Φ75(3")/Φ90(3.5").....	54
54β. Συστολή Φ90(3")/Φ110(4").....	54
54γ. Μούφα Φ110(4").....	54
56. Ολοκληρωμένο το σύστημα.....	55
57. Φλάντζα - Συστολές - Μούφα	55
58. Φλάντζα Φ90 (3.4")	55
59. Ολόκληρο το σύστημα κολλημένο	55
60. Αγωγός Επιστροφής στη δεξαμενή	56
61. Γωνίες για επιστροφή στη δεξαμενή.....	56
62. Στηρίγματα του αγωγού στο έδαφος	56

63. Διακλάδωση προς βάνα καθαρισμού και προς τη δεξαμενή	57
64. Το δίκτυο συνδεδεμένο στην PAT και ο αγωγός επιστροφής στη δεξαμενή	57
65. Βάνα με εσωτερικές βόλτες	58
66. Βάνα με σύνδεσμο	58
67. Σύνδεση του αγωγού Φ63 με την αντλία	59
68. Παροχόμετρο σε σύνδεση με τον αγωγό Φ63 (2.5")	59
69. Μανόμετρο στον αγωγό	60
70. Κόλληση γωνίας στην αγωγό Φ63.....	60
71. Σύνδεση του αγωγού Φ63 (2.5") με την PAT	60
72. Ο αγωγός Φ63 (2.5") συνδεδεμένος με την PAT και τον αγωγό επιστροφής	61
73. Η αντλία όπως αγοράστηκε απο το παλιατζίδικο	62
74. Ακτινικά Διαιρούμενο Κέλυφος	62
75. Χώρος κίνησης της πτερωτής στο εσωτερικό	62
76. Πτερωτή κλειστού τύπου στο εσωτερικό	62
77. Σφήνα μεταξύ άξονα και πτερωτής	63
78. Υπόλοιπο σώμα της αντλίας χωρίς το κέλυφος	63
79. Πλάτη του κελύφους πίσω από την πτερωτή	64
80. Στυπιοθλίπτης τοποθετημένος στην πλάτη του κελύφους	64
81. Μπροστινό Καπάκι Ελαιοδοχείου	64
82. Πίσω Καπάκι Ελαιοδοχείου	64
83. Ελαιοδοχείο αντλίας.....	64
84. Ρουλεμάν 6204.....	65
85. Τιμούχα στο εσωτερικό του καπακιού	65
86. Μόνωση κενών με ειδική σιλικόνη	65
87. Φλατζόκολλα που χρησιμοποιήθηκε	66
88. Τοποθέτηση φλατζόκολλας	66
89. Βίδωμα των εξαρτημάτων μεταξύ τους	66
90. Φλατζόχαρτο τοποθετημένο	66
91. Σαλαμάστρα	67
92. Φωλιά υποδοχής σαλαμάστρας.....	67
93. Ολοκληρωμένη η συναρμολόγηση της αντλίας.....	68
94. Προεγκατεστημένο πείραμα ανοιχτού αγωγού.....	69
95. Αντλία-μοτέρ συνδεδεμένα σε δεξαμενή	69
96. Παροχόμετρο με ψηφιακή ένδειξη	69
97. Ένωση PVC σωλήνας με ελαστικό λάστιχο πίεσεως.....	70
98. Τοποθέτηση φλάντζας για σύνδεση με PAT.....	70
99. Το πλήρες δίκτυο αγωγού Φ63(2.5") εγκατεστημένο.....	70
100. Αντλία τύπου in-line	71
101. Το εσωτερικό της αντλίας, η πτερωτή και τα παρελκόμενα εξαρτήματα της.....	71
102. Μηχανικός Στυπιοθλίπτης στα δεξιά	72
103. Πίνακας εκκίνησης μοτέρ αντλίας.....	74
104. Αστοχία Συστολών	75
105. Ο πίνακας εσωτερικά.....	76

106. Η πτερωτή σε κατακόρυφη προβολή από πάνω	76
107. Σύνδεση αγωγού Φ63(2.5") για δοκιμή του δικτύου.....	78
108. Σύνδεση του αγωγού Φ63(2.5") με την PAT.....	79
109 .Αίτημα προς Πυροσβεστική Υπηρεσία	80
110. Ακροδέκτης σύνδεσης	81
111. Ρακόρ με βόλτες	81
112 .Ρακόρ βιδωμένο με το σύνδεσμο	81
113. Σύστημα Βάνα Ρακόρ Σύνδεσμος.....	81
114. Όλα τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν.....	82
115. Σύνδεση αγωγού με λάστιχο που καταλήγει στην αποχέτευση.....	83
116. Τροχαλία εγκατεστημένη στον άξονα της αντλίας.....	84
117. Ντίζα ασφαλισμένη με παξιμάδια	85
118. Δυναμό συνδεδεμένο στη βάση του	85
119. Όλο το σύστημα αντλία τροχαλία δυναμό.....	85
120 .Βανάκι Εξαερισμού του Δικτύου	87
121. Αστοχία κόλλησης και υλικού	88
122. Αντάπτορας σύνδεσης με το λάστιχο του πυροσβεστικού για το δίκτυο Φ63 (2.5")	90
123. Αντάπτορας σύνδεσης με το λάστιχο του πυροσβεστικού για το δίκτυο Φ110 (4")	90
124. Διαρροή στη συστολή μέσα στον αντάπτορα.....	92
125. Πτερωτή ανοιχτού φτερού.....	101

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1.Παρουσίαση αποτελεσμάτων για το δίκτυο Φ110 (4")	93
Πίνακας 2. Παρουσίαση αποτελεσμάτων για το δίκτυο Φ63 (2.5").....	93
Πίνακας 3. Μετατροπή στροφών του ιμάντα σε στροφές για το δυναμό και για τον άξονα της αντλίας για το δίκτυο Φ110 (4").....	95
Πίνακας 4. Μετατροπή των στροφών του ιμάντα σε στροφές του δυναμό και του άξονα της αντλίας για το δίκτυο Φ63 (2.5").....	95

Πίνακας Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1. Αντιστοιχία Πιέσεων Παροχών ανάντι και κατάντι της PAT για το δίκτυο Φ110 (4")	93
Διάγραμμα 2. Αντιστοιχία Πιέσεων Παροχών ανάντι και κατάντι της PAT για το δίκτυο Φ63 (2.5")	94
Διάγραμμα 3.Διαφορά Πίεσης ανάντι και κατάντι της PAT σε συνάρτηση με τις στροφές που προκύπτουν στον άξονα της.....	96
Διάγραμμα 4. Πτώση πίεσης στην PAT και οι αντίστοιχες στροφές του άξονα - δίκτυο Φ110 (4") -	96
Διάγραμμα 5.Πτώση πίεσης στην PAT και οι αντίστοιχες στροφές στον άξονα - δίκτυο Φ63 (2.5") -	97
Διάγραμμα 6. Πιέσεις ανάντι της PAT και οι αντίστοιχες στροφές του άξονα	97

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγικές Έννοιες

Είναι ευρέως γνωστό ότι στην σημερινή εποχή τα αποθέματα νερού στο πλανήτη μας έχουν μειωθεί αισθητά σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια. Το νερό είναι το πιο σημαντικό ανθρώπινο αγαθό και για αυτό το λόγο είναι καθήκον της πολιτείας να διασφαλίσει την ποιότητα και την ποσότητα των αποθεμάτων του κατά την άντληση, αποθήκευση, επεξεργασία και διανομή του. Είναι πολύ σημαντικό το νερό που χρησιμοποιούμε¹ να μην σπαταλάτε αλόγιστα και ένα από τα σημεία που εστιάζεται αυτό είναι οι απώλειες που παρατηρείται στα δίκτυα ύδρευσης λόγω πίεσης, κακού χειρισμού και ανεπάρκειας κατάλληλου εξοπλισμού. Δυστυχώς υπάρχουν περιοχές στην Ελλάδα που παρουσιάζουν απώλειες νερού στα δίκτυα τους έως και 50 % του εισερχόμενου νερού.

Καθώς οι απώλειες σε ένα δίκτυο συνδέονται άμεσα με την πίεση του, έχουν ανακαλυφθεί τεχνικές για την διαχείριση της πίεσης ενός δικτύου όπως τις βαλβίδες πίεσης (PRVs). Αν συνδυάσουμε τα παραπάνω με την συνεχή προσπάθεια του ανθρώπου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έτσι έρχεται στο προσκήνιο η ανάκτηση υδροηλεκτρικής ενέργειας από την περιττή πίεση που υφίσταται σε ορισμένα σημεία ενός δικτύου ύδρευσης. Το παραπάνω μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση μικρό-τουρμπινών στα δίκτυα ύδρευσης, οι οποίες όμως παρουσιάζουν ένα πρόβλημα καθώς λειτουργούν σε περιορισμένο πεδίο παροχών και υψομετρικών πιέσεων.

Γι' αυτό το λόγο ήρθε στο προσκήνιο η ιδέα της εγκατάστασης αντλιών (PATs) σε αντίστροφη λειτουργία για την μείωση της πίεσης και της ανάκτησης ενέργειας. Αυτή η ιδέα έχει φέρει πολλά οφέλη καθώς πρόκειται για εξαρτήματα χαμηλού κόστους και εύκολης εγκατάστασης σε σχέση με τις μικρό-τουρμπίνες.

1.1 Τι είναι αντλία;

Είναι ο μηχανισμός που χρησιμοποιείται για τη μετακίνηση ρευστών (κυρίως υγρών αλλά και αερίων). Πιο συγκεκριμένα, είναι η συσκευή που χρησιμοποιεί Μηχανικό Έργο, για να ανυψώσει, να μεταφέρει ή να συμπιέσει ρευστά. Καταναλώνουν δηλαδή Μηχανικό Έργο, για να μεταβάλλουν τη δυναμική ή την κινητική ενέργεια ενός ρευστού.



1. Σύστημα Αντλία - Μοτέρ (Υδρευσης)

Ιστορικά στοιχεία: Ο αρχαιότερος τύπος αντλίας είναι ο κοχλίας του Αρχιμήδη, που χρησιμοποιήθηκε για το πότισμα των Κρεμαστών Κήπων της Βαβυλώνας τον 7^ο αιώνα π.Χ. και περιγράφηκε αναλυτικότερα από τον Αρχιμήδη τον 3^ο αιώνα π.Χ.

Οι αντλίες συνιστούν ένα από τα πιο ιδιαίτερα ενδιαφέροντα αντικείμενα της μηχανολογίας και αποτελούν την καρδιά ενός μεγάλου τομέα βιομηχανικών αλλά και δημοσίων δικτύων, των δικτύων σωληνώσεων. Υπάρχει ένα μεγάλο φάσμα τύπων αντλιών αρκετά διαφορετικών μεταξύ τους ως προς την αρχή λειτουργίας τη δομή και τις εφαρμογές που καλύπτουν. Αναφέρουμε ενδεικτικά τις φυγοκεντρικές αντλίες, τις παλινδρομικές, τις περιστροφικές, τις αντλίες κενού, αλλά και ειδικές αντλίες όπως ατμού και αερίων. Οι δύο πιο βασικές κατηγορίες ωστόσο είναι οι φυγοκεντρικές αντλίες και οι αντλίες θετικού εκτοπίσματος στις οποίες υπάγονται οι παλινδρομικές και οι περιστροφικές αντλίες. Παρακάτω θα εξετάσουμε το σχεδιασμό και τους διάφορους τύπους των φυγοκεντρικών αντλιών.

Που συναντάμε αντλίες στην καθημερινότητα μας;

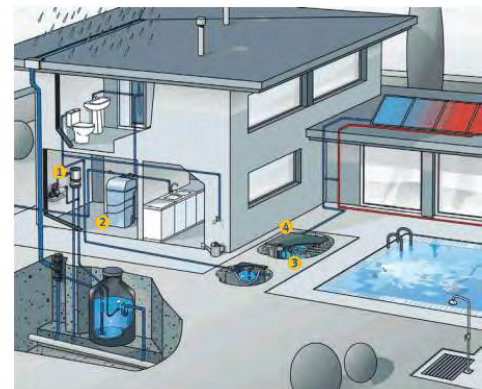
Στο Σπίτι

Ύδρευση: Το σύστημα το οποίο φέρνει το νερό στις βρύσες μας.

Άρδευση: Παρόμοιο σύστημα που φέρνει το νερό στις παροχές άρδευσης

Θέρμανση: Οι κυκλοφορητές που χρησιμοποιούνται για να στείλουν το ζεστό νερό στις βρύσες μας ή στα θερμαντικά σώματα (καλοριφέρ)

Στα συστήματα θέρμανσης ή ψύξης που λειτουργούν με κυκλοφορία αέρα.



2. Διανομή του νερού σε ένα σπίτι μέσω αντλιών

Στο Αυτοκίνητο

Κυκλοφορία καυσίμου: Το σύστημα που αναρροφά από τη δεξαμενή (ντεπόζιτο) το καύσιμο και το κατευθύνει προς τους εγχυτήρες (μπεκ). (Αντλίες Βενζίνης, αντλίες πετρελαίου)

Κυκλοφορία λαδιού: Το σύστημα που κατευθύνει το λάδι της μηχανής στα σημεία λίπανσης. (Αντλία λαδιού)

Κυκλοφορία νερού ψύξης: Το σύστημα που κατευθύνει το νερό για την ψύξη των κυλίνδρων.

1.2 Βασικές Έννοιες

Αναρρόφηση: Το τμήμα του δικτύου από το σημείο που παραλαμβάνει το ρευστό (δεξαμενή) μέχρι την είσοδο της αντλίας (στόμιο αναρρόφησης)

Κατάθλιψη: Το τμήμα του δικτύου από την έξοδο της αντλίας μέχρι το τελικό σημείο προορισμού του ρευστού.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ

Προκειμένου να επιλέξουμε την κατάλληλη αντλία, που θα μας χρησιμεύσει σε μια συγκεκριμένη εργασία, πρέπει να λαμβάνουμε πάντοτε υπ' όψη μας τα παρακάτω χαρακτηριστικά. Πολλές φορές, τα τεχνικά εγχειρίδια των αντλιών, περιλαμβάνουν αυτές τις πληροφορίες, σε μορφή διαγράμματος (συνήθως παροχής-μανομετρικού ύψους)

Παροχή Q: Παροχή της αντλίας, ονομάζουμε τον όγκο του υγρού που αποδίδεται στην κατάθλιψη της αντλίας, στη μονάδα του χρόνου.

Ύψη H:

Στατικό ύψος αναρρόφησης (H_a): Η κατακόρυφη απόσταση από τη στάθμη του υγρού μέχρι το θάλαμο αναρρόφησης

Στατικό ύψος κατάθλιψης (H_k): Η κατακόρυφη απόσταση από το θάλαμο κατάθλιψης μέχρι τη στάθμη του ρευστού στο δοχείο που καταλήγει το ρευστό

Στατικό ύψος H_σ : $H_\sigma = H_a + H_k$

Ύψος Αντιστάσεων H_r : Το σύνολο των αντιστάσεων στη ροή του ρευστού. Εξαρτώνται από το μήκος των σωληνώσεων, τις γωνίες και τις καμπύλες κατά τη διαδρομή, τη παρεμβολή ρυθμιστικών οργάνων (βάνες, διακόπτες κλπ)

Υπάρχουν εσωτερικές αντιστάσεις που οφείλονται στην αντλία και εξωτερικές που οφείλονται στους παραπάνω παράγοντες

Ολικό ύψος H_o : Είναι το άθροισμα του στατικού ύψους και του ύψους αντιστάσεων $H_o = H_\sigma + H_r$
Μανομετρικό ύψος H_μ : Είναι το ολικό ύψος αν αφαιρέσουμε τις αντιστάσεις σωληνώσεων αναρρόφησης και κατάθλιψης.

Βαθμός Απόδοσης η :

Υδραυλικός Βαθμός απόδοσης η_h : Είναι το μέτρο των απωλειών λόγω αντιστάσεων ροής στην αναρρόφηση και στην κατάθλιψη

Διπλωματική εργασία: Πειραματική διάταξη/Υδραυλικό προσομοίωμα δικτύου ύδρευσης – Ενεργειακή απόδοση αντλίας και επιρροή της λειτουργίας της στις πιέσεις του δικτύου

Ογκομετρικός βαθμός απόδοσης n_v : Είναι ο λόγος της πραγματικής προς την θεωρητική παροχή της αντλίας

Μηχανικός βαθμός απόδοσης n_m : Είναι το μέτρο των απωλειών μιας αντλίας λόγω μηχανικών τριβών κατά τη λειτουργία της

Βαθμός απόδοσης $n = n_h * n_v * n_m$

Αποδιδόμενη ισχύς αντλίας: Ισχύς κινητήρα:

$$P = \rho * g * H_o * Q P_k = n * P$$

ρ = πυκνότητα ρευστού

g = επιτάχυνση της βαρύτητας

n = ο συνολικός βαθμός απόδοσης της αντλίας

H_o = Ολικό Ύψος

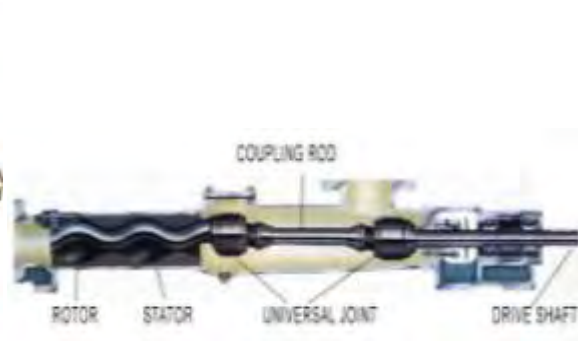
Q = παροχή αντλίας

Κεφάλαιο 2: Τύποι Αντλιών

Οι κυριότεροι/συνηθέστεροι τύποι αντλιών είναι οι φυγοκεντρικές αντλίες και οι αντλίες θετικής εκτόπισης. Οι φυγοκεντρικές μπορεί να είναι αξονικές, ακτινικές ή μικτού τύπου. Επίσης διακρίνονται σε διάφορους τύπους ανάλογα με τον αριθμό των διαδοχικών πτερωτών, τη μέθοδο στεγανοποίησης μεταξύ άξονα και κελύφους, και πολλά άλλα στοιχεία της κατασκευαστικής διαμόρφωσης. Κάποιοι συνηθισμένοι τύποι αντλιών θετικής εκτόπισης είναι: παλινδρομική με έμβολο, περιστροφικής με λοβούς, περιστροφική με γρανάζια.



2. Φυγοκεντρική αντλία νερού μαζί με το μοτέρ της



3. Αντλία θετικής εκτόπισης

2.1 Αρχή Λειτουργίας

Στις λεγόμενες αντλίες θετικής εκτόπισης το ρευστό αναγκάζεται σε κίνηση με απευθείας μηχανική δράση κάποιου μηχανισμού (π.χ. έμβολο), και επιτυγχάνεται σταθερή παροχή όγκου. Στις φυγοκεντρικές αντλίες τα πτερύγια του ρότορα (πτερωτή) μεταβάλλουν το πεδίο ροής προσδίδοντας περιστροφή στο υγρό. Κατόπιν η αυξημένη δυναμική πίεση μετατρέπεται σε στατική πίεση στο στάτορα. Κατάλληλη γεωμετρία/σχεδίαση των πτερυγίων του ρότορα και στάτορα είναι αναγκαία για την επίτευξη αποδεκτής υδροδυναμικής απόδοσης κατά τη λειτουργία της αντλίας, ανάλογα με την περιοχή παροχών και πιέσεων για την οποία προορίζεται. Οι αντλίες δημιουργούν ροή (παροχή) του υγρού και λόγω της αντίστασης ροής δημιουργείται η πίεση. Αναλυτικότερα στοιχεία για την λειτουργία της φυγοκεντρικής αντλίας θα αναφερθούν στην συνέχεια.

Οι φυγοκεντρικές αντλίες χρησιμοποιούν τη φυγόκεντρο δύναμη που δημιουργείται από έναν περιστρεφόμενο δίσκο πάνω στον οποίο υπάρχουν πτερύγια ειδικής μορφής και ο οποίος είναι γνωστός ως στροφέιον ή πτερωτή. Οι φυγοκεντρικές αντλίες αποτελούνται από περιστρεφόμενες μονάδες υψηλής ταχύτητας και μεγάλης δυναμικότητας, οι οποίες κινούνται είτε από μηχανές εσωτερικής καύσεως, είτε από ηλεκτρικούς κινητήρες είτε από ατμοστροβίλους. Η ροή του υγρού στις φυγοκεντρικές αντλίες δημιουργείται από τη φυγόκεντρο κινητική ενέργεια που δημιουργεί η περιστροφική κίνηση του στροφέιου. Το αναρροφώμενο υγρό φτάνει στο άνοιγμα αναρρόφησης και παρασύρεται στην περιστροφή οδηγούμενο από τα πτερύγια. Η περιστροφική κίνηση της πτερωτής προσδίδει περιστροφή στη μάζα του υγρού η οποία οδηγείται από τα πτερύγια μεταδίδοντας φυγόκεντρο δύναμη στο υγρό. Το υγρό υποχρεώνεται να διατρέχει κατά μήκος των πτερυγίων και να πετάγεται έξω από την πτερωτή. Το υγρό μόλις διαφύγει από την πτερωτή συλλέγεται σε έναν εσωτερικό χώρο της αντλίας, ο οποίος έχει σπειροειδή μορφή με συνεχώς αυξανόμενη διατομή και τελικά φεύγει από την έξοδο της αντλίας.

2.2 Δομή και σχεδιασμός

Οι φυγοκεντρικές αντλίες αποτελούνται από ένα μεγάλο πλήθος εξαρτημάτων. Τα βασικότερα μέρη τους είναι τα παρακάτω.

- Το σώμα της αντλίας.
- Το στροφέιο ή πτερωτή.
- Τους δακτυλίους φθοράς
- Την άτρακτο τη αντλίας και τα παρελκόμενα εξαρτήματα.

2.2.1 Το σώμα της αντλίας



4. Σώμα αντλίας

Το σώμα της αντλίας είναι το πλαίσιο πάνω στο οποίο μοντάρονται όλα τα άλλα μέρη της αντλίας. Το σώμα της αντλίας κατασκευάζεται από υλικά ανθεκτικά και στα υγρά που πρόκειται να μεταφερθούν και στις διάφορες θερμοκρασίες λειτουργίας. Το κέλυφος της αντλίας είναι διαιρούμενο, είτε οριζόντια, είτε κάθετα, είτε διαγώνια σε μια γωνία διαφορετική από 90 μοίρες. Τα κελύφη που διαιρούνται οριζόντια λέγονται και αξονικά διαιρούμενα κελύφη, ενώ τα κάθετα διαιρούμενα λέγονται και ακτινικά διαιρούμενα. Οι λαίμοι (nozzles) για τις φλάντζες εισόδου και εξόδου

είναι και οι δύο στο κάτω τμήμα του διαιρούμενου κελύφους. Αναφορικά με το σώμα της αντλίας σημειώνουμε πως υπάρχει και ο σχεδιασμός τύπου βαρελιού (barreltype), που χρησιμοποιούνται κυρίως σε αντλίες πολύ υψηλών πιέσεων. Στο σχεδιασμό αυτό το εσωτερικό του κελύφους προσαρμόζεται στο εξωτερικό του «βαρελιού». Το σώμα έχει ποδαρικά με τα οποία αγκυρώνεται είτε στον εξοπλισμό που βρίσκεται κάτω από αυτό είτε στο έδαφος, πράγμα που αποτελεί και τη συνηθέστερη περίπτωση. Το σώμα της αντλίας με βάση το κριτήριο της λειτουργικότητας μπορεί να χωριστεί σε δύο μέρη το τμήμα εισόδου και το τμήμα εξόδου.

Τμήμα Εισόδου

Η βασική απαίτηση για να επιτυγχάνεται ικανοποιητική λειτουργία στην αναρρόφηση της αντλίας είναι το τμήμα εισόδου να είναι έτσι διαμορφωμένο, ώστε να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη διανομή της ταχύτητας στην συμμετρική ως προς τον άξονα επιφάνεια εισόδου της πτερωτής. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται όλα τα πτερύγια της πτερωτής να λειτουργούν ομοιόμορφα. Ευκολότερος είναι ο σωστός σχεδιασμός του τμήματος εισόδου σε ορισμένους τύπους αντλιών, όπως στις μονοβάθμιες αντλίες με την πτερωτή σε πρόβολο και στις κατακόρυφες αντλίες αξονικής ή μικτής ροής. Σε αυτούς τους τύπους αντλιών το τμήμα εισόδου έχει μορφή, είτε κωνική συγκλίνουσα προς την είσοδο της πτερωτής, είτε κυλινδρική με κυκλική διατομή. Ωστόσο το τμήμα εισόδου δεν μπορεί να έχει κωνική ή κυλινδρική μορφή στις πολυβάθμιες αντλίες και στις αντλίες διπλής αναρρόφησης γιατί σε αυτούς τους τύπους αντλιών η διεύθυνση του ρευστού στη διατομή εισόδου είναι κάθετη προς τον άξονα περιστροφής της πτερωτής. Για να εξαλειφθεί λοιπόν η συστροφή του ρευστού στη διατομή εισόδου, αλλά παράλληλα

και για να αλλάξει η διεύθυνση του ρευστού μετά την είσοδό του στην αντλία σχεδιάστηκε το τμήμα εισόδου με τη μορφή ημισπειροειδούς κελύφους. Σχεδιάζοντας τη διατομή του ημισπειροειδούς αυτού κελύφους υποπολλαπλάσια της διατομής εισόδου επιτυγχάνουμε την επιθυμητή επιταχυνόμενη ροή στο τμήμα εισόδου. Στις αντλίες που έχουν περρωτή διπλής αναρρόφησης το τμήμα εισόδου είναι συμμετρικό και διαμοιράζει τη ροή σε δύο ίσα μέρη με συνέπεια η τροφοδοσία κάθε μιας εισόδου της περρωτής να γίνεται από ένα ημισπειροειδές κέλυφος όπως και στις πολυβάθμιες αντλίες.

Τμήμα Εξόδου

Το τμήμα εξόδου μιας φυγοκεντρικής αντλίας φαίνεται να καταλαμβάνει το μεγαλύτερο όγκο του συνολικού σώματος (κελύφους) της αντλίας και είναι αυτό που συλλέγει το αντληθέν ρευστό και το καθοδηγεί στη διατομή εξόδου της αντλίας. Στην έξοδο της περρωτής (που εντάσσεται στο τμήμα εισόδου) το ρευστό έχει μια αρκετά μεγάλη ταχύτητα που είναι συνάρτηση μιας σειράς παραμέτρων (τύπος περρωτής, μορφή τμήματος εισόδου, πίεση ρευστού στην αναρρόφηση κ.λ.π), η οποία όμως πρέπει να μειωθεί όταν το ρευστό θα φτάσει στην κυκλική διατομή εξόδου μέχρι μια ταχύτητα της τάξεως 4-6 μέτρων το δευτερόλεπτο. Η πτώση της ταχύτητας πρέπει να συνοδευτεί από μια μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε στατική πίεση. Στα κελύφη των φυγοκεντρικών αντλιών συναντώνται δύο βασικοί τύποι τμημάτων εξόδου, το σπειροειδές κέλυφος και ο διαχύτης (diffuser).

• Σπειροειδές κέλυφος.

Είναι ο συχνότερα συναντώμενος τύπος κελύφους εξόδου μιας φυγοκεντρικής αντλίας. Για να σχεδιαστεί το σπειροειδές κέλυφος χρησιμοποιούνται σήμερα δύο μέθοδοι που κάθε μια έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η πρώτη μέθοδος που είναι και η πιο παραδοσιακή και συνήθως χρησιμοποιούμενη βασίζεται σε δύο βασικές αρχές της μηχανικής των ρευστών, την αρχή της διατήρησης της συστροφής και την αρχή της συνέχειας και υπολογίζει την κλίση της γραμμής ροής του αντληθέντος ρευστού στη διαδρομή εξόδου συναρτήσει της απόστασης του όγκου ελέγχου (μονάδα αναφοράς του ρευστού που χρησιμοποιείται για θεωρητικούς υπολογισμούς στη μηχανική των ρευστών) του προωθούμενου ρευστού από το κέντρο της κυκλικής διατομής εισόδου. Από τη εξίσωση που προκύπτει διαπιστώνεται ότι η γραμμή ροής - στον αξονοισομετρικό χώρο που αποτελεί νοητή προέκταση των αξονοισομετρικών επιφανειών των δίσκων της περρωτής – είναι σπειροειδής καμπύλη. Αν οι προεκτάσεις των αξονοισομετρικών επιφανειών είναι επίπεδα κάθετα προς τον άξονα συμμετρίας τότε οι γραμμές ροής είναι λογαριθμικές σπείρες. Η γεωμετρία λοιπόν του κελύφους καλείται να ακολουθήσει τη γραμμή ροής που προέκυψε με βάση τους υπολογισμούς αυτούς, ωστόσο είναι προσεγγιστική για δύο βασικούς λόγους. Κατά πρώτον γιατί οι υπολογισμοί της γραμμής ροής γίνονται με την παραδοχή ιδανικής και όχι συνεκτικής ροής και κατά δεύτερο γιατί για πρακτικούς κατασκευαστικούς λόγους το σπειροειδές κέλυφος ακολουθεί την υπολογισθείσα γεωμετρία της σπειροειδούς καμπύλης μόνο για μια περιστροφή και μετά διαμορφώνεται έτσι ώστε να προσαρμοστεί σταδιακά στην κυκλική διατομή εξόδου. Η δεύτερη μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της γεωμετρίας του σπειροειδούς κελύφους είναι η μέθοδος της σταθερής μέσης ταχύτητας. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην αρχή της σταθερής μέσης ταχύτητας της ροής στις διάφορες διατομές και υπολογίζει τη διατομή του σπειροειδούς κελύφους συναρτήσει της γωνίας περιστροφής του μονάδας αναφοράς του προωθούμενου ρευστού (όγκος ελέγχου όπως αναφέρθηκε παραπάνω). Η αφορμή για τη χρησιμοποίηση αυτή της μεθόδου δόθηκε από τη διαπίστωση ότι υπήρξαν σημαντικές αποκλίσεις στη διανομή της ταχύτητας στο τμήμα εξόδου σε σπειροειδή κελύφη που υπολογίζονταν με τη μέθοδο της διατήρησης της συστροφής. Ολοκληρώνοντας την αναφορά στο σπειροειδές κέλυφος σημειώνουμε ότι μέθοδος της διατήρησης της συστροφής δίνει αντλίες με λίγο μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης, ενώ η

μέθοδος της σταθερής μέσης ταχύτητας δίνει περισσότερο ομοιόμορφη διανομή της στατικής πίεσης στο σπειροειδές κέλυφος.

• **Διαχύτης.**

Το τμήμα εξόδου μπορεί να έχει τη μορφή διαχύτη, ο οποίος μπορεί να είναι κατασκευασμένος με ή χωρίς περύγια. Ο διαχύτης χωρίς περύγια δεν είναι παρά ένα αξονοσυμμετρικό κέλυφος οδήγησης της ροής, εντός του οποίου η περιφερειακή ταχύτητα μεταβάλλεται αντίστροφα ανάλογα προς την ακτίνα ενώ η ακτινική ταχύτητα ικανοποιεί την αρχή της συνέχειας. Δεν αποτελεί καλή λύση γιατί η διαδρομή του ρευστού μέχρι τη φλάντζα εξόδου είναι μεγάλη όπως επίσης και οι αντίστοιχες απώλειες τριβής. Ο διαχύτης με περύγια δεν είναι παρά μια ακίνητη ακτινική στεφάνη πτερυγίων διατεταγμένη γύρω από την περωτή. Τα περύγια της στεφάνης επιτυγχάνουν σε μικρή σχετικά ακτινική απόσταση την επιθυμητή επιβράδυνση της ταχύτητας που έχει το ρευστό στην έξοδο της περωτής. Όταν χρησιμοποιείται σχεδιασμός τύπου διαχύτη με περύγια σε μικρού μεγέθους αντλίες προκύπτουν ιδιαίτερα μεγάλες απώλειες τριβής. Από την άλλη πλευρά σε αντλίες με μικρό ειδικό αριθμό στροφών συχνά μια στεφάνη διαχύτη με περύγια παρεμβάλλεται μεταξύ περωτής και σπειροειδούς κελύφους. Ο διαχύτης στην περίπτωση αυτή επιτυγχάνει μια καταρχήν επιβράδυνση της ροής πριν το ρευστό προχωρήσει στο σπειροειδές κέλυφος και παράλληλα μια μείωση των υδραυλικών απωλειών.

2.2.2 Η περωτή

Για το σχεδιασμό της περωτής δύο είναι τα καθοριστικά σημεία. Το πρώτο είναι ο υπολογισμός της γωνίας κλίσης των πτερυγίων στη διατομή εξόδου της περωτής και το δεύτερο είναι ο καθορισμός του αριθμού των πτερυγίων της περωτής. Αναφορικά με τη γωνία κλίσης των πτερυγίων είναι γνωστό από τη μηχανική των ρευστών ότι αυτή συνδέεται άμεσα με την κλίση της ιδεατής αλλά και πραγματικής χαρακτηριστικής H-V μιας φυγοκεντρικής αντλίας. Σημειώνουμε πως όσο μειώνεται η γωνία κλίσης των πτερυγίων, τόσο αυξάνεται η απόλυτη τιμή της κλίσης της πραγματικής χαρακτηριστικής καμπύλης λειτουργίας H-V. Αυτό ευνοεί την ευστάθεια της λειτουργίας μιας αντλητικής εγκατάστασης με θετικό μανομετρικό. Στις περιπτώσεις αυτές που αποτελούν και τη μεγάλη πλειοψηφία η γωνία κλίσης κυμαίνεται μέσα σε ένα εύρος 17-35 μοιρών και συνήθως επιλέγεται να είναι 20–25 μοίρες. Στις ειδικές περιπτώσεις που δεν είναι απαιτητό ένα θετικό μανομετρικό, όπως στους κυκλοφορητές των κτιριακών δικτύων, δεν τίθεται πρόβλημα ευστάθειας λειτουργίας της συνολικής αντλητικής εγκατάστασης, οπότε η γωνία κλίσης παίρνει μεγαλύτερη τιμή (μέχρι τις 90 μοίρες), δεδομένου άλλωστε ότι με μεγαλύτερη γωνία κλίσης επιτυγχάνεται το επιθυμητό σημείο λειτουργίας με μικρότερες διαστάσεις περωτής αλλά και της αντλίας συνολικά. Το πλήθος των πτερυγίων της περωτής με βάση τη θεωρία των φυγοκεντρικών αντλιών συνδέεται άμεσα με το βαθμό απόδοσης της περωτής και κατ'επέκταση και της αντλίας καθώς όσο περισσότερα είναι τα περύγια τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός απόδοσης. Ωστόσο ο ιδεατός βαθμός απόδοσης της περωτής είναι αντίστροφα ανάλογος με τη γωνία κλίσης των



5. Ορειχάλκινη πτερωτή ανοικτού τύπου

μέσα σε ένα εύρος 17-35 μοιρών και συνήθως επιλέγεται να είναι 20–25 μοίρες. Στις ειδικές περιπτώσεις που δεν είναι απαιτητό ένα θετικό μανομετρικό, όπως στους κυκλοφορητές των κτιριακών δικτύων, δεν τίθεται πρόβλημα ευστάθειας λειτουργίας της συνολικής αντλητικής εγκατάστασης, οπότε η γωνία κλίσης παίρνει μεγαλύτερη τιμή (μέχρι τις 90 μοίρες), δεδομένου άλλωστε ότι με μεγαλύτερη γωνία κλίσης επιτυγχάνεται το επιθυμητό σημείο λειτουργίας με μικρότερες διαστάσεις περωτής αλλά και της αντλίας συνολικά. Το πλήθος των πτερυγίων της περωτής με βάση τη θεωρία των φυγοκεντρικών αντλιών συνδέεται άμεσα με το βαθμό απόδοσης της περωτής και κατ'επέκταση και της αντλίας καθώς όσο περισσότερα είναι τα περύγια τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός απόδοσης. Ωστόσο ο ιδεατός βαθμός απόδοσης της περωτής είναι αντίστροφα ανάλογος με τη γωνία κλίσης των

περυγίων και από αυτόν επίσης εξαρτάται το μέσο πραγματικό τρίγωνο των ταχυτήτων εξόδου. Από την άλλη πλευρά η αύξηση του πλήθους των περυγίων επιφέρει αύξηση των απωλειών τριβής και κατά συνέπεια μείωση του υδραυλικού βαθμού απόδοσης της αντλίας. Έτσι τελικά έχουμε για κάθε περιοχή τιμών της γωνίας κλίσης των περυγίων να υπολογίζεται ένας βέλτιστος αριθμός περυγίων, ώστε να βελτιστοποιείται το γινόμενο $\eta_1 \cdot \eta_2$, όπου η_1 είναι ο ιδεατός βαθμός απόδοσης της περωτής και η_2 ο υδραυλικό βαθμός απόδοσης της αντλίας.

2.2.3 Δακτύλιοι φθοράς (WearRings)

Ένα άλλο δομικό στοιχείο των φυγοκεντρικών αντλιών είναι οι δακτύλιοι φθοράς. Αυτοί έχουν συγκεκριμένη διαμόρφωση ώστε να επιτυγχάνουν μια δακτυλιοειδή σχισμή μεταξύ του ακίνητου κελύφους και της περωτής. Η σχισμή αφήνει ένα συγκεκριμένο κατά περίπτωση ακτινικό διάκενο και έχει ένα επίσης συγκεκριμένο μήκος. Σκοπός της διαμόρφωσης λαβυρίνθων με τη χρήση των δακτυλίων φθοράς είναι η διατήρηση των ογκομετρικών απωλειών στην επιθυμητή χαμηλή τιμή οπότε η αντίστοιχη τιμή του ογκομετρικού βαθμού απόδοσης να έχει την τιμή που προδιαγράφεται. Οι δακτύλιοι φθοράς είναι στις περιπτώσεις αφαιρετοί και μπορούν να αντικατασταθούν όταν έχουν φθαρεί αρκετά με χαμηλό κόστος, πολύ χαμηλότερο φυσικά από αυτό που θα απαιτείτο για την αντικατάσταση, είτε του κελύφους, είτε της περωτής.

2.2.4 Άτρακτος

Η άτρακτος μεταφέρει τη ροπή στρέψης από τον κινητήρα προς την περωτή ή τις περωτές. Σε μια μόνιμη λειτουργία μιας φυγοκεντρικής αντλίας με σταθερή ταχύτητα περιστροφής η ροπή αυτή ισούται με τη ροπή αντιστάθμισης που προκύπτει από τις μηχανικές απώλειες κατά τη λειτουργία. Πάντως καθώς η άτρακτος είναι προσδεσμένη στην περωτή παραλαμβάνει επίσης εκτός από τη μηχανική ροπή αντίστασης και αντιστάσεις «υδραυλικής προέλευσης» που προέρχονται από τις αξονικές και ακτινικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στην/στις περωτές καθώς αυτή/αυτές μετακινούν το ρευστό. Το σύνολο των προβλεπόμενων να εφαρμοστούν στην άτρακτο δυνάμεων και ροπών επιβάλλει καταρχήν ένα στατικό υπολογισμό στη φάση του σχεδιασμού της. Δεδομένου του μεγάλου κατά κανόνα μήκους της άτρακτου πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η ελαστικότητά της. Στόχος μας είναι να έχουμε κατά τη λειτουργία μικρή κλίση και βέλος κάμψης της άτρακτου για να μην επηρεάζεται η λειτουργία του πλήθους των συνδεόμενων με αυτήν εξαρτημάτων. Παράλληλα πρέπει να μελετηθεί η ιδιοσυχνότητα του μηχανικού υποσυστήματος άτρακτος-περωτή ώστε να μην συμπέσει με την ιδιοσυχνότητα του συνολικού στρεφομένου συστήματος και προκληθούν έτσι αυξημένες καταπονήσεις και συνεπώς ανεπιθύμητα μεγάλες παραμορφώσεις στην άτρακτο κατά τη λειτουργία.

Παρελκόμενα Εξαρτήματα

Από κατασκευαστική σκοπιά η άτρακτος πρέπει να διαθέτει τις κατάλληλες ανοχές για να λειτουργεί σωστά ένα πλήθος καθοριστικών για τη λειτουργία της αντλίας παρελκομένων εξαρτημάτων τα κυριότερα των οποίων είναι οι σαλαμάστρες και τα έδρανα στήριξης. Γύρω από τον άξονα των αντλιών τοποθετούμε σαλαμάστρες για να επιτύχουμε στεγανότητα. Το πρόβλημα της στεγανότητας είναι από τα σημαντικότερα για το σχεδιασμό και τη λειτουργία μιας αντλίας. Αντιμετωπίζεται με τη χρήση στυπιοθλιπτών των οποίων σκοπός είναι η εξασφάλιση της στεγανότητας της αντλίας με το εξωτερικό περιβάλλον στο σημείο όπου η άτρακτος διαπερνά το σταθερό κέλυφος της αντλίας. Στην περίπτωση όπου το ύψος της αντλίας είναι σημαντικό οπότε κατά την εκκίνησή της, η στατική πίεση στο σημείο

εξόδου της ατράκτου πέσει κάτω από την ατμοσφαιρική, σκοπός του στυπιοθλίπτη είναι να εμποδίσει την είσοδο του αέρα από το περιβάλλον. Σε αντίθετη περίπτωση η κίνηση της αντλίας γίνεται προβληματική. Διακρίνουμε δύο ειδών στυπιοθλίπτες:

1)Τους συμβατικούς με στυπία (σαλαμάστρα) στους οποίους η στεγανότητα εξασφαλίζεται από τη συμπίεση των στυπίων μέσω του στυπιοθλίπτου.

2)Τους μηχανικούς στους οποίους η στεγανότητα εξασφαλίζεται με την επαφή δύο λείων δίσκων, ενός στρεφόμενου με την άτρακτο και ενός μη στρεφόμενου.



6. Μηχανικός Στυπιοθλίπτης



7. Αναλυτικά το σύνολο της αντλίας εσωτερικά

Έδρανα

Μια άλλη σημαντική παράμετρος στο σχεδιασμό των αντλιών είναι η στήριξη της ατράκτου, η οποία επιτυγχάνεται με τη βοήθεια εδράνων. Σκοπός των εδράνων είναι η στήριξη της ατράκτου τόσο κατά την αξονική όσο και κατά την ακτινική διεύθυνση ώστε να εξασφαλίζεται η λειτουργία της πτερωτής. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει τα έδρανα να μπορούν να παραλάβουν και να μεταφέρουν στο

στερεό σώμα της αντλίας τις αξονικές και ακτινικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στην πτερωτή, στο σημείο μετάδοσης της κίνησης, καθώς και το ίδιο βάρος της ατράκτου. Στη γενική περίπτωση η άτρακτος των αντλιών έχει δύο έδρανα, οπότε οι δυνάμεις που αναπτύσσονται σ' αυτά προκύπτουν από την ισορροπία των εξωτερικών δυνάμεων, σύμφωνα με τη μηχανική του στερεού σώματος. Στις τυποποιημένες αντλίες ή αντλίες γενικής χρήσης χρησιμοποιούνται έδρανα κύλισης (ρουλεμάν), παρά το γεγονός ότι είναι ακριβότερα από τα έδρανα ολίσθησης, διότι έχουν μια σειρά άλλων πλεονεκτημάτων. Βρίσκονται εύκολα στο εμπόριο σε όλα τα μεγέθη και τους τύπους, έχουν 25-50% μικρότερες απώλειες, απαιτούν μικρότερες διαστάσεις και εξασφαλίζουν λειτουργία με μικρότερες ανοχές.

2.3 Τύποι και εφαρμογές

Οι φυγοκεντρικές αντλίες διακρίνονται σε οριζόντιες και κάθετες με βάση το κριτήριο της διεύθυνσης της γραμμής αναρρόφησης, σε ακτινικής και αξονικής ροής με βάση το κριτήριο της κατεύθυνσης της ροής του καταθλιβόμενου ρευστού, σε απλής και διπλής αναρρόφησης με βάση το κριτήριο της μορφής της χρησιμοποιούμενης πτερωτής και σε μονοβάθμιες και πολυβάθμιες με βάση το κριτήριο του αριθμού των στροφείων ή πτερωτών που χρησιμοποιούν. Μολονότι όπως καταδεικνύεται παραπάνω υπάρχει μια μεγάλη γκάμα φυγοκεντρικών αντλιών υπάρχουν κοινά συγκριτικά πλεονεκτήματα όλων των τύπων των φυγοκεντρικών αντλιών σε σχέση με τους άλλους τύπους αντλιών. Αυτά είναι η στρωτή και ομαλή λειτουργία τους (αν τις συγκρίνουμε π.χ με τις παλινδρομικές) αλλά κυρίως η ευκαμψία λειτουργίας τους με την έννοια της δυνατότητας επιλογής του επιθυμητού εύρους λειτουργίας κατά το διάγραμμα Η- V , (η επιλογή αυτή γίνεται με βάση κατασκευαστικές και λειτουργικές παραμέτρους, π.χ διάμετρο στροφείου, ταχύτητα περιστροφής, κ.λ.π). Παράλληλα οι φυγοκεντρικές αντλίες απαιτούν κατά κανόνα μικρό χώρο συγκριτικά με άλλους τύπους αντλιών για το ίδιο μανομετρικό ή παροχή. Οι φυγοκεντρικές αντλίες πάντως έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν τύπους αντλιών με πολύ μεγάλες παροχές που οι άλλοι τύποι αντλιών αδυνατούν να επιτύχουν (με μια εύλογη τεchnοοικονομικά κατασκευή) και για το λόγο αυτό συνήθως προτιμώνται σε γραμμές μεγάλων παροχών. Παρακάτω παρουσιάζονται τα κύρια κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά ορισμένων βασικών τύπων αντλιών καθώς και οι ιδιαίτερες εφαρμογές τους.

2.3.1 Μονοβάθμιες αντλίες απλής αναρρόφησης



8. Μονοβάθμια Αντλία In-line

Οι μονοβάθμιες αντλίες απλής αναρρόφησης έχουν μεγάλη χρήση γιατί καλύπτουν εκτεταμένες τεχνικές εφαρμογές (ύδρευση, άρδευση, κυκλοφορία υγρών σε βιομηχανίες κ.λ.π). Όλοι σχεδόν οι κατασκευαστές αντλιών κατασκευάζουν πλήρεις σειρές τυποποιημένων αντλιών αυτού του τύπου για ταχύτητα περιστροφής 1450 και 2900 RPM, που καλύπτουν την περιοχή παροχών $V = 6,0-500,0 \text{ m}^3/\text{h}$ και ολικών υψών $H = 15-80 \text{ mSY}$. Μια πολύ πρακτική διαμόρφωση των μονοβάθμιων φυγοκεντρικών αντλιών που συνηθίζεται στη χημική βιομηχανία και είναι οι λεγόμενες in-line αντλίες, οι οποίες τοποθετούνται συνήθως με κατακόρυφο τον άξονα. Σ' αυτές η διατομή εισόδου βρίσκεται στην ίδια ευθεία με τη διατομή εξόδου με αποτέλεσμα η αντλία να παρεμβάλλεται στη σωληνογραμμή χωρίς την παρέμβαση καμπυλών. Μια άλλη συνηθισμένη διαμόρφωση των μονοβάθμιων αντλιών που

εφαρμόζεται συνήθως για τη διακίνηση υγρών ή σε δίκτυα θέρμανσης – ψύξης (κυκλοφορητές), είναι αυτή στην οποία ο ηλεκτροκινητήρας προσαρμόζεται με φλάντζα πάνω στο σώμα της αντλίας και έχει κοινή άτρακτο με αυτήν. Αυτές οι αντλίες ονομάζονται mono-block και κατασκευάζονται για παροχές από 10-80 m³/h και μανομετρικά ύψη 8-50 mΣΥ.

2.3.2 Αντλίες διπλής αναρρόφησης

Αναφορικά με το σχεδιασμό των πτερωτών έχουμε τις απλές και τις διπλές πτερωτές καθώς επίσης τις ανοικτές και τις κλειστές πτερωτές. Οι αντλίες απλού στροφείου ή απλής πτερωτής έχουν δύο ανοίγματα, ένα από κάθε πλευρά. Το πρώτο είναι για την εισαγωγή του υγρού, ενώ το δεύτερο χρησιμεύει για την είσοδο του άξονα από τον κινητήρα ή τη μηχανή που μας προσδίδει την κίνηση. Ένα τρίτο ακτινικό άνοιγμα αποτελεί τον αγωγό εξόδου. Εκτός όμως από τις «μονές» πτερωτές υπάρχουν και οι διπλές πτερωτές που είναι συμμετρικές ως προς επίπεδο κάθετο στον



9. Αντλία Διπλής Αναρρόφησης

άξονά τους. Χρησιμοποιούμε αντλίες διπλής αναρρόφησης όταν θέλουμε να αυξήσουμε τη ροή. Στις αντλίες διπλής αναρρόφησης κάθε μια πτερωτή διακινεί το μισό της συνολικής παροχής δηλαδή $V' = V/2$, οπότε ο ειδικός αριθμός στροφών της πτερωτής χαρακτηρίζεται από την παροχή V' . Οι αντλίες διπλής αναρρόφησης κατασκευάζονται με σκοπό τη μείωση του ειδικού αριθμού στροφών (ο οποίος είναι πλέον συνάρτηση του V' αντί του V) ώστε αυτός να έχει τιμές μεταξύ 2.000 και 4.000 (V σε m³/h), οπότε η πτερωτή έχει έξοδο ακτινικής ροής και ο βαθμός απόδοσης της αντλίας είναι υψηλός. Λόγω της ιδιομορφίας όλων των τμημάτων της αντλίας διπλής αναρρόφησης (διαμπερής άτρακτος, τμήμα εισόδου κ.λ.π), οι αντλίες διπλής αναρρόφησης κατασκευάζονται μόνο για μεγάλα μεγέθη και συγκεκριμένα για παροχές $V = 500-8.000$ m³/h και ολικά μανομετρικά ύψη 42-128 mΣΥ. Οι αντλίες διπλής αναρρόφησης είναι συνήθως αντλίες οριζώντιου άξονα.

2.3.3 Πολυβάθμιες αντλίες

Οι αντλίες που κατασκευάζονται με πολλά στροφεία σε σειρά συνιστούν τις πολυβάθμιες αντλίες. Σε αυτούς τους τύπους των φυγοκεντρικών αντλιών η ποσότητα του υγρού που μεταφέρεται από τα στροφεία είναι πάντοτε η ίδια. Η κάθε πτερωτή χρησιμεύει μόνο για να αυξάνει την πίεση. Στην έξοδο



10. Πολυβάθμια Αντλία

της αντλίας το υγρό αποκτά ταχύτητα ίση προς την ταχύτητα που θα είχε αν είχαμε μόνο μια πτερωτή, ενώ η τελική πίεση δίνεται από τη διαφορά πίεσης που επιτυγχάνεται από τη μεμονωμένη λειτουργία της μιας πτερωτής, αν αυτή η τιμή πολλαπλασιαστεί επί τον αριθμό των πτερωτών. Οι πολυβάθμιες αντλίες χρησιμοποιούνται για να καλύψουν ανάγκες όπου απαιτείται μεγάλο μανομετρικό με σχετικά μικρές παροχές. Ο αριθμός των βαθμίδων για δεδομένη

πίεση και παροχή λειτουργίας υπολογίζεται έτσι ώστε ο ειδικός αριθμός στροφών κάθε πτερωτής να είναι της τάξης του 2.500 (V σε m³/h) και με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται υψηλός ολικός βαθμός απόδοσης

2.3.4 Ειδικές φυγοκεντρικές αντλίες

Ο συνηθέστερος τύπος ειδικών αντλιών είναι οι αντλίες λυμάτων και οι αντλίες υγρών – στερεών μιγμάτων (π.χ μίγματα νερού με πέτρες, χώματα ή άλλα στερεά για την υγρή μεταφορά υλικών). Η συγκέντρωση και το είδος των μεταφερόμενων στερεών λαμβάνεται υπόψη στην επιλογή των υλικών των διαφόρων τμημάτων της αντλίας ώστε να αντέχουν ικανοποιητικά στη μηχανική διάβρωση, ενώ για τη σχεδίαση της αντλίας λαμβάνεται υπόψη η μέγιστη διάμετρος του στερεού σώματος που μπορεί να περάσει από την αντλία. Οι αντλίες λυμάτων ή στερεών είναι πάντοτε μονοβάθμιες. Στην περίπτωση οριζόντιου άξονα έχουν την πτερωτή σε πρόβολο, ενώ στην περίπτωση κατακόρυφου άξονα είναι τύπου monoblock με στεγανό υποβρύχιο κινητήρα. Οι αντλίες λυμάτων σχεδιάζονται με αρκετά μεγάλο πλάτος πτερωτής και σπειροειδούς κελύφους, έτσι ώστε αυτά να επιτρέπουν τη διέλευση στερεών σωμάτων μέχρι ενός ορισμένου μεγέθους.



11. Αντλία Λυμάτων

2.3.5 Αντλίες αξονικής ροής

Οι αντλίες αξονικής ροής χρησιμοποιούνται συνήθως στην άντληση νερού. Οι αντλίες αυτές διακινούν υγρά σε κατεύθυνση παράλληλη, προς τον άξονά τους. Το διακινούμενο υγρό στις αντλίες αξονικής ροής κινείται από ένα στροφέιο όμοιο με την προπέλα ενός πλοίου. Τέτοιες αντλίες χρησιμοποιούμε σε συστήματα που έχουν μεγάλη ροή και χαμηλή κατάθλιψη.

2.4 Το φαινόμενο της Σπηλαίωσης

2.4.1 Ορισμός της σπηλαίωσης

Σύμφωνα με το θεώρημα του Bernoulli:

$$H = \frac{u^2}{2} + \frac{p}{\rho} + gz = \text{ίδια σταθερή τιμή}$$

Όπου,

- u η ταχύτητα ροής του υγρού,
- p η πίεση του αγωγού,
- ρ η πυκνότητα του υγρού,
- g η επιτάχυνση της βαρύτητας και
- z η απόσταση.

Είναι φανερό ότι όταν η ταχύτητα ροής u σε κάποια περιοχή λαμβάνει πολύ μεγάλες τιμές, τότε η πίεση p λαμβάνει πολύ μικρές η και ακόμα αρνητικές τιμές. Συνεπώς σε ροές νερού με υψηλές ταχύτητες

εμφανίζονται στιγμιαία απόλυτες πιέσεις χαμηλές, έτσι ώστε τοπικά και στιγμιαία η πίεση να γίνει μικρότερη από την πίεση ατμών, οπότε στιγμιαία μεταπίπτει το νερό από την υγρή φάση στην αέρια, και δημιουργούνται τοπικά μικρές φυσαλίδες. Οι φυσαλίδες αυτές μεταφερόμενες σε περιοχές με μεγαλύτερη πίεση μεταπίπτουν στιγμιαία σε υγρή φάση, απελευθερώνοντας τοπικά κρουστικές πιέσεις (στιγμιαίες πιέσεις) πολύ μεγάλου μεγέθους, που καταστρέφουν τα στερεά όρια της ροής, από οποιαδήποτε υλικό και αν είναι φτιαγμένα (ακόμη και από ατσάλι). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **σπηλαιώση** (cavitation).

Ο πρώτος που ασχολήθηκε με το πρόβλημα της σπηλαιώσης ήταν ο μεγάλος φυσικός **Lord Rayleigh** το 1916, ύστερα από αίτημα του Βρετανικού Ναυτικού να ερευνηθεί τους λόγους καταστροφής των ελίκων (propellers) των πλοίων.

2.4.2 Συντελεστής Σπηλαιώσης Thomas[σ]

Ακριβώς όπως μια αντλία απαιτεί ένα ελάχιστο καθαρό θετικό πιεζομετρικό ύψος εκφόρτισης (*NPSHR*) για να αποφευχθεί η σπηλαιώση, στην αντίστροφη λειτουργία η ίδια απαίτηση (ελάχιστη πίεση κατάντι) ονομάζεται *TREH* (συνολικά απαιτούμενα καυσαέρια). Όπως η σπηλαιώση είναι πιο πιθανό να συμβεί στις εσωτερικές άκρες των λεπίδων της πτερωτής σε λειτουργία αντλίας, το ίδιο φαινόμενο θα συμβεί κατά τη λειτουργία μιας τουρμπίνας με τη διαφορά ότι αυτές οι συνθήκες συμβαίνουν σε πολύ χαμηλότερη πίεση λόγω της αντίστροφης της λειτουργίας.

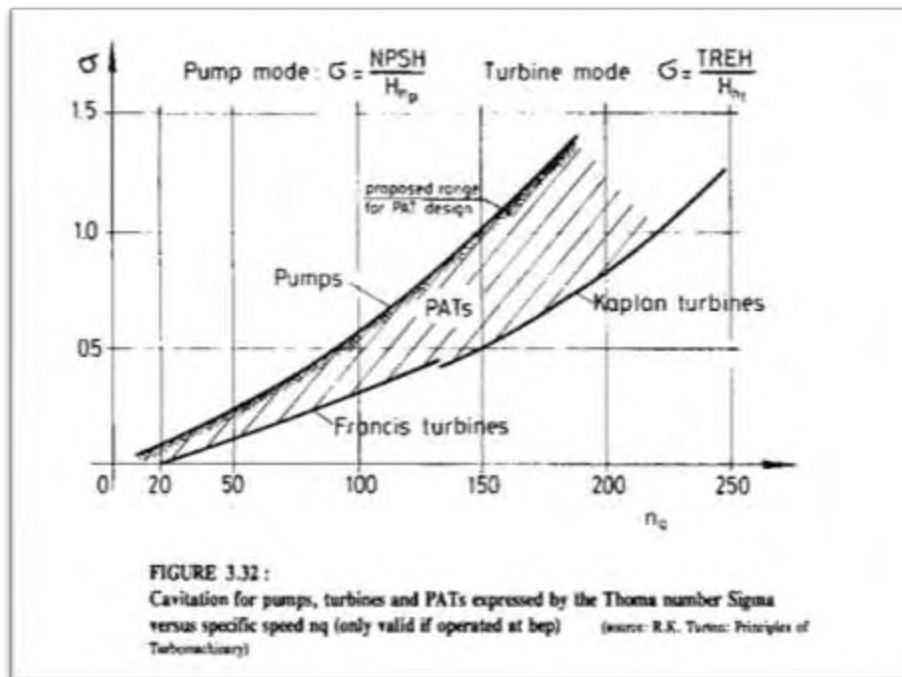
Γενικά, το *TREH* για τις τουρμπίνες είναι περίπου το 50% του ελάχιστου καθαρού θετικού πιεζομετρικού ύψους εκφόρτισης (*NPSHR*) μιας αντλίας με παρόμοιο *n_q* και *H*. Μπορούμε λοιπόν να συμπεράνουμε ότι το *TREH* για τις *PATs* πρέπει να βρίσκεται κάπου μεταξύ των τιμών *NPSHR* για λειτουργία αντλίας και *TREH* για συμβατικές τουρμπίνες, σε παρόμοια ειδική ταχύτητα. Η σπηλαιώση, ανεξάρτητα από την ταχύτητα περιστροφής μπορεί να περιγραφεί από τον συντελεστή *σ* του Thomas, ο οποίος περιγράφεται για τις αντλίες από την παρακάτω εξίσωση:

$$\sigma_P = \frac{NPSHR}{H_{n,P}}$$

και για τις τουρμπίνες από την εξίσωση:

$$\sigma_T = \frac{TREH}{H_{n,T}}$$

Οι μικρές αντλίες τείνουν να σχηματίζουν σπηλαιώση νωρίτερα, οπότε μαζί τους συνιστάται να επιλέγεται το *TREH* τουλάχιστον το ίδιο με το *NPSHR* σε λειτουργία αντλίας (Charallaz, 1992). Σύμφωνα με τον Gülich (2014), το *TREH* για *PATs* είναι συνήθως 35-50% του *NPSHR* της αντλίας. Επίσης, ο Lobanoff (1992) αναφέρει ότι το *TREH* σε λειτουργία τουρμπίνας είναι μικρότερο από το *NPSHR* σε λειτουργία αντλίας για το ίδιο μηχάνημα και τον ίδιο ρυθμό ροής. Ως εκ τούτου, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι με τη χρήση των τιμών *NPSHR* της αντλίας, για το *TREH* σε λειτουργία τουρμπίνας θα πρέπει να παρέχονται επαρκή περιθώρια ασφαλείας.



Κεφάλαιο 3: Ανάκτηση Ενέργειας από Δίκτυα Διανομής Νερού

Σύμφωνα με μελέτες η ενέργεια που χρησιμοποιείται για την άντληση και την επεξεργασία νερού για τους κατοίκους των αστικών περιοχών και τη βιομηχανία αντιπροσωπεύει το 2-3% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας, η οποία θα μπορούσε να μειωθεί κατά τουλάχιστον 25% μέσω οικονομικά αποδοτικών δράσεων. Διεξήχθησαν αρκετές έρευνες για τη διερεύνηση της δυνατότητας ανάκτησης ενέργειας σε δίκτυα διανομής νερού, λαμβάνοντας υπόψη τις εγκαταστάσεις μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού.

3.1 Μικροτουρμπίνες για ανάκτηση ενέργειας στα δίκτυα διανομής νερού

Ως μικρό-τουρμπίνα ορίζεται μια περιστροφική συσκευή, που μετατρέπει την κινητική και δυναμική ενέργεια του νερού σε μηχανική. Η εγκατάσταση μικρό-τουρμπινών στα δίκτυα διανομής νερού προϋποθέτει την χρήση συσκευών που μετατρέπει ένα μέρος της δύναμης του νερού σε μηχανική ενέργεια με σκοπό την εκκίνηση μιας γεννήτριας ηλεκτρισμού ούτως ώστε να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια. Οι μικρό-τουρμπίνες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το μανομετρικό ύψος λειτουργίας, τη ροή του νερού και την ενέργεια που αξιοποιούν.

Ανάλογα με το μανομετρικό ύψος λειτουργίας διακρίνονται σε:

- **τουρμπίνες σε υψηλό μανομετρικό ύψος (250-1800)**
- **τουρμπίνες σε μεσαίο μανομετρικό ύψος (50-250)**
- **τουρμπίνες σε χαμηλό μανομετρικό ύψος (<50)**

Ανάλογα με τη ροή νερού διακρίνονται σε:

- **αξονικής ροής**
- **ακτινικές σε αξονική έξοδο**
- **εσωτερικής ροής**
- **εξωτερικής ροής**

Ανάλογα με την ενέργεια διακρίνονται σε:

- **Στροβίλους παρορμήσεως (impulse turbines)**

Ο στρόβιλος παρορμήσεως χρησιμοποιεί γενικά την ταχύτητα του νερού για να μετακινήσει τον δρομέα και εκφορτίζεται σε ατμοσφαιρική πίεση. Η ροή του νερού χτυπά κάθε κάδο στον δρομέα. Δεν υπάρχει αναρρόφηση στην κάτω πλευρά του στρόβιλου και το νερό ρέει έξω από το κάτω μέρος του περιβλήματος του στρόβιλου μετά το χτύπημα του δρομέα. Ένας στρόβιλος παρορμήσεως είναι γενικά κατάλληλος για εφαρμογές υψηλής κεφαλής, χαμηλής ροής.

Οι στρόβιλοι παρορμήσεως διακρίνονται στις παρακάτω δύο κατηγορίες:

- **Τουρμπίνες Pelton**

Ένας τροχός pelton έχει έναν ή περισσότερους ελεύθερους εκτοξευτήρες που εκκενώνουν νερό σε έναν αερισμένο χώρο και προσκρούουν στους κάδους ενός δρομέα. Δεν απαιτούνται στρόβιλοι σωλήνων για

τον στρόβιλο παρορμήσεως, δεδομένου ότι ο δρομέας πρέπει να βρίσκεται πάνω από το μέγιστο ουρά νερού για να επιτρέψει τη λειτουργία του σε ατμοσφαιρική πίεση.

- **Τουρμπίνες Cross-Flow**

Ένας στρόβιλος διασταυρούμενης ροής(cross-flow) έχει τύμπανο και χρησιμοποιεί ένα επίμηκες, ορθογώνιο τμήμα ακροφυσίου που κατευθύνεται έναντι κυρτών πτερυγίων σε κυλινδρικά διαμορφωμένο δρομέα. Μοιάζει με φυσητήρα "κλουβί σκίουρου". Ο στρόβιλος διασταυρούμενης ροής επιτρέπει στο νερό να ρέει δύο φορές από τα πτερύγια. Το πρώτο πέρασμα είναι όταν το νερό ρέει από το εξωτερικό των λεπίδων προς το εσωτερικό. Το δεύτερο πέρασμα είναι από πίσω προς τα έξω.

- **Τουρμπίνες αντίδρασης (reaction turbines)**

Ένας στρόβιλος αντίδρασης αναπτύσσει ισχύ από τη συνδυασμένη δράση πίεσης και μετακίνησης νερού. Ο δρομέας τοποθετείται απευθείας στο ρεύμα νερού που ρέει πάνω από τις λεπίδες αντί να χτυπά κάθε μεμονωμένα. Οι στρόβιλοι αντίδρασης χρησιμοποιούνται γενικά για τοποθεσίες με χαμηλότερη κεφαλή και υψηλότερες ροές από ό, τι σε σύγκριση με τους στρόβιλους ώθησης. Αυτοί με τη σειρά τους χωρίζονται στις παρακάτω τρεις κατηγορίες:

- **Τουρμπίνες Propeller**

Ένας στρόβιλος propeller έχει γενικά έναν δρομέα με τρία έως έξι πτερύγια στα οποία το νερό έρχεται συνεχώς σε επαφή με όλα τα πτερύγια. Για παράδειγμα μια έλικα βάρκας που τρέχει σε ένα σωλήνα. Μέσω του σωλήνα, η πίεση είναι σταθερή. Αν δεν είναι, ο δρομέας θα ήταν εκτός ισορροπίας. Το βήμα των λεπίδων μπορεί να είναι σταθερό ή ρυθμιζόμενο. Τα κύρια συστατικά εκτός από τον δρομέα είναι μια θήκη κύλισης, πύλες πύλης και ένα σωλήνα βυθίσματος. Μερικές κατηγορίες τουρμπινών propeller είναι οι Bulbturbines, όπου ο στρόβιλος και η γεννήτρια είναι μια σφραγισμένη μονάδα τοποθετημένη απευθείας στο ρεύμα νερού, οι Straflo, στις οποίες η γεννήτρια συνδέεται απευθείας στην περίμετρο του στρόβιλου και οι Kaplan, όπου τόσο τα πτερύγια όσο και οι πύλες πύλης είναι ρυθμιζόμενες, επιτρέποντας ευρύτερο φάσμα λειτουργίας.

- **Τουρμπίνες Francis**

Ένας στρόβιλος Francis έχει έναν δρομέα με σταθερά πτερύγια, συνήθως εννέα ή περισσότερα. Το νερό εισάγεται ακριβώς πάνω από τον δρομέα και όλα γύρω του και στη συνέχεια πέφτει, προκαλώντας την περιστροφή του. Εκτός από τον δρομέα, τα άλλα κύρια συστατικά μέρη είναι η θήκη κύλισης, οι πύλες πύλης και ο σωλήνας βύθισης.

- **Τουρμπίνες Kinetic**

Οι κινητήρες κινητικής ενέργειας (kinetic), που ονομάζονται επίσης ανεμογεννήτριες, παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από την κινητική ενέργεια που υπάρχει στο ρέον νερό και όχι από τη δυναμική ενέργεια από το κεφάλι. Τα συστήματα μπορούν να λειτουργούν σε ποτάμια, ανθρωπογενείς διαύλους, παλιρροϊκά νερά ή ρεύματα ωκεανών. Τα κινητικά συστήματα χρησιμοποιούν τη φυσική οδό της ροής του νερού. Δεν απαιτούν την εκτροπή του νερού μέσω των ανθρωπογενών διαύλων, των κοίλων ποταμών ή των αγωγών, αν και μπορεί να έχουν εφαρμογές σε τέτοιους αγωγούς. Τα κινητικά συστήματα δεν απαιτούν μεγάλα αστικά έργα. Ωστόσο, μπορούν να χρησιμοποιήσουν υπάρχουσες δομές, όπως γέφυρες, χωματόδρομους και κανάλια.

Η μηχανική ισχύς που παράγεται απ' τις τουρμπίνες βρίσκεται από τη σχέση:

$$P_t = \eta_t \gamma_w Q_t H_t$$

Όπου,

- P_t είναι η παραγόμενη ισχύς (W),
- η_t είναι η συνολική απόδοση του στροβίλου,
- γ_w το ειδικό βάρος του νερού (Nm^{-3}),
- Q_t ο ρυθμός ροής (m^3s^{-1}),
- H_t η πραγματική πτώση του πιεζομετρικού ύψους της τουρμπίνας (m).

3.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χρήσης αντλιών ως τουρμπίνες

Τα τελευταία χρόνια η ιδέα της χρήσης των αντλιών (αντί για μικροτουρμπίνες) στα δίκτυα διανομής νερού για ανάκτηση υδροηλεκτρικής ενέργειας τραβάει όλο και περισσότερο το ενδιαφέρον. Αυτό συμβαίνει καθώς οι αντλίες παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις μικροτουρμπίνες.

3.2.1 Πλεονεκτήματα

Ορισμένα από αυτά είναι τα εξής:

- Διατίθενται για ευρύ φάσμα πιεζομετρικών υψών και ροών
- Όλο το σετ της αντλίας και του κινητήρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν τουρμπίνα και γεννήτρια.
- Έχουν χαμηλό κόστος
- Σύντομο χρόνο παράδοσης
- Έχουν εύκολη εγκατάσταση στα δίκτυα
- Είναι πολύ εύκολο να βρεθούν διάφορα ανταλλακτικά.

3.2.2 Μειονεκτήματα

Ασχέτως από τα παραπάνω πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι αντλίες έχουν και ορισμένα μειονεκτήματα σε σχέση με τις μικροτουρμπίνες.

- Δεν υπάρχει συσκευή υδραυλικού ελέγχου.

Γι' αυτό το λόγο πρέπει να ενσωματωθεί μια βαλβίδα ελέγχου για να ξεκινήσει και να σταματήσει η παρ, όποτε θα αυξηθεί και το κόστος.

- Έχει μειωμένη μέγιστη απόδοση

Οι αποδόσεις των αντλιών είναι κατώτερες των τουρμπινών οι οποίες ξεπερνούν το 90 %.

- Έχει χαμηλότερη απόδοση σε μερικό φορτίο.

Ένας συμβατικός σρόβιλος διαθέτει ένα αποτελεσματικό υδραυλικό έλεγχο για να ρυθμίζει το μηχάνημα στη διαθέσιμη ροή ή στην απαιτούμενη έξοδο. Εάν οι PATs λειτουργούν σε ροή διαφορετική από τη ροή σχεδιασμού, δηλαδή κάτω από το Σημείο Μέγιστης Απόδοσης (BEP), υπάρχει μια σχετικά γρήγορη πτώση απόδοσης.

- Δεν παρέχονται πληροφορίες λειτουργίας των αντλιών ως τουρμπίνες από τους κατασκευαστές.
- Είναι αρκετά δύσκολο να προβλέψεις ακριβώς τη λειτουργία τους.

Επομένως, καθίσταται αρκετά δύσκολη η επιλογή της σωστής αντλίας, προκειμένου να λειτουργήσει σαν τουρμπίνα σε συγκεκριμένες συνθήκες.

3.3 Παραδείγματα Εφαρμογών των PAT

Στη συνέχεια ακολουθούν μερικά παραδείγματα εφαρμογών των αντλιών σαν τουρμπίνες μέχρι στιγμής:

- Ο **Maher κ.α. (2003)**, από μια εκτεταμένη ανάλυση σχετικά με την ανάπτυξη βιώσιμων προσεγγίσεων για την ηλεκτροδότηση της υπαίθρου στην Κένυα, επεσήμαναν πως η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας ήταν μία επενδυτική προσέγγιση χαμηλού κόστους για την υλοποίηση έργων πολιτικού μηχανικού, εξασφαλίζοντας επίσης χαμηλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Για την ηλεκτροδότηση περίπου 110 αγροτικών νοικοκυριών εγκαταστάθηκε εργοστάσιο υδροηλεκτρικής ενέργειας, εφαρμόζοντας φυγοκεντρική μηχανή PAT με τροποποιημένη πτερωτή για να εγγυηθεί υψηλή απόδοση. Διαπιστώθηκε ότι η εγκατάσταση PAT αποτελεί την καλύτερη λύση, με χαμηλότερα έξοδα επένδυσης και συντήρησης (ίσα με περίπου 15% για κάθε παραγόμενη kWh) από αυτά που συνδέονται με ηλιακά συστήματα.
- Ο **Chuenhooklin (2006)** διεξήγαγε μια οικονομική ανάλυση για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Ταϊλάνδη χρησιμοποιώντας PATs, για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος για τις εσωτερικές ηλεκτρικές συσκευές, όπως τα ηλεκτρικά φώτα και ορισμένες οικιακές συσκευές. Μια περίοδος οικονομικής ανάκαμψης 6 ετών εκτιμήθηκε ότι αντισταθμίζει την αρχική επένδυση.
- Μια αριθμητική προσέγγιση εφαρμόστηκε από τον **Giugni κ.α. (2009)**. Ανέπτυξαν μια προκαταρκτική οικονομική ανάλυση για την εγκατάσταση PAT στο δίκτυο της Νάπολη αντί για PRVs, τόσο για την ρύθμιση της πίεσης όσο και για την παραγωγή ενέργειας. Παρατηρήθηκαν σημαντικά κέρδη και ελκυστικές περιόδους αποπληρωμής κεφαλαίου, εξασφαλίζοντας βελτιώσεις όσον αφορά τη ρύθμιση της πίεσης, συγκρίσιμες με εκείνες που επιτεύχθηκαν με τη χρήση PRV.
- Όσον αφορά τις μικρές αγροτικές περιοχές, εγκαταστάθηκε PAT στο δίκτυο νερού του χωριού Kinko της Ιαπωνίας για την παραγωγή ηλεκτρισμού για περίπου 100 νοικοκυριά, χρηματοδοτούμενα από τον Οργανισμό Βιομηχανικής Ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών (**UNIDO, 2010**). Δεν πραγματοποιήθηκε συνεχής παρακολούθηση για την εκτίμηση των επιδόσεων, αλλά εκτιμήθηκε συνολική απόδοση PAT, που κυμαίνεται μεταξύ 64% και 80%, για τις εφαρμοζόμενες υδραυλικές λειτουργίες.
- Παρόμοια προσέγγιση εξέτασε και ο **Arriaga (2010)**, η οποία αξιολόγησε την εφαρμογή των PATs για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας στη Λαϊκή Δημοκρατία του Λάος στη Νοτιοανατολική Ασία για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε απομονωμένες κοινότητες με λίγους κατοίκους. Η ενεργοποίησή τους λήφθηκε υπόψη σε περίπτωση ανεπαρκούς ενέργειας που παρέχεται από υδροηλεκτρικής ενέργειας τουρμπίνες. Αναλύθηκαν διάφορες περιπτώσεις τουρμπινών ως λύσεις, η χρήση των PATs όμως θεωρήθηκε ως η πλέον συμφέρουσα προσέγγιση, επειδή είναι σε θέση να παρέχει υπηρεσίες υψηλής ποιότητας, τόσο λόγω περιορισμένου κόστους όσο και μακράς διάρκειας ζωής.

- Ο **Garcia κ.α.(2010)** επαλήθευσαν την εγκατάσταση των PATs στα μεσαίου μεγέθους δίκτυα νερού της Μούρθια και του Έλτσε στην Ισπανία για να πραγματοποιήσει τόσο τη ρύθμιση της πίεσης όσο και την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τους ρυθμούς ροής που κυμαίνονταν μεταξύ 55 l/s-1 και 85 l/s-1. Έγιναν καλές πειραματικές αριθμητικές συσχετίσεις, εφαρμόζοντας αμφότερα τα θεωρητικά μοντέλα των Williams (1994), Fernandez κ.α.(2004) για την ποσοτικοποίηση των λειτουργικών συνθηκών στο BEP και της προσέγγισης Derakhshan και Nourbakhsh (2008) για την εκτίμηση των χαρακτηριστικών καμπυλών των εγκατεστημένων τουρμπινών.
- Ο **Motwani κ.α. (2013)** πραγματοποίησαν ανάλυση κόστους για να συγκρίνουν την εγκατάσταση μηχανής PAT με την εγκατάσταση τουρμπίνας Francis για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας στις αγροτικές περιοχές της Ινδίας. Το ετήσιο κόστος του κύκλου ζωής εκτιμήθηκε και για τις δύο προσεγγίσεις, καθορίζοντας το κόστος για τις PATs περίπου κατά 80% χαμηλότερο από εκείνο που σχετίζεται με τη χρήση των κλασικών τουρμπινών. Οι περίοδοι αποπληρωμής κατέληξαν να είναι μικρότερες στην επιλογή της εγκατάστασης PAT, λόγω του χαμηλότερου κόστους εγκατάστασης και συντήρησης. Συγκρίσιμα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν από τον Loots κ.α. (2014), οι οποίοι ανέλυσαν το δυναμικό υδροηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο του Tshwane της Νότιας Αφρικής, αξιολογώντας το υψηλό δυναμικό του δικτύου σε ΑΕ που συνεπάγεται του υψηλού επιπέδου πίεσης που ασκείται στο δίκτυο. Τόσο οι μικρο-τουρμπίνες όσο και οι μηχανές PAT εξετάστηκαν, με αποτέλεσμα οι τελευταίες να αποτελούν την καταλληλότερη λύση, όσον αφορά τόσο το κόστος επένδυσης και συντήρησης όσο και τις περιόδους απόσβεσης κεφαλαίου.
- Όσο για τον **Giugni κ.α. (2009)**, καθώς και τον **Tricarico κ.α. (2013)** ανέπτυξαν μια αριθμητική διαδικασία βελτιστοποίησης για την ρύθμιση της πίεσης και την ανάκτηση ενέργειας σε ΔΔΝ, αναλύοντας τα συνολικά οικονομικά οφέλη που συσχετίζονται με την εγκατάσταση PAT στους κύριους σωλήνες ενός δικτύου.
- Το ΔΔΝ της χερσονήσου Sorrento της Ιταλίας δοκιμάστηκε χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα EPANET 2.0, επισημαίνοντας τα πλεονεκτήματα που απορρέουν από τη χρήση των PATs αντί των PRVs. Συγκεκριμένα, η ενέργεια που παρήγαγε η PAT ήταν σε θέση να καλύψει το κόστος ενέργειας που χρησιμοποιούσαν τα αντλιοστάσια του συγκεκριμένου δικτύου. Περαιτέρω, ο Jafari κ.α. (2015) εφήυραν μια διαδικασία βελτιστοποίησης για τη βελτιστοποίηση της ρύθμισης της πίεσης στα ΔΔΝ, αναλύοντας τη σκοπιμότητα της υποκατάστασης των PRVs με PATs για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Η πραγματική περίπτωση του δικτύου στο Andishe του Ιράν δοκιμάστηκε για τον καθορισμό της βέλτιστης θέσης μηχανών PATs, εκτιμώντας μια ημερήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας περίπου 7300 kWh, με πιθανά οφέλη (από τις πωλήσεις) περίπου 133000 \$ ετησίως.
- Ο **Puleo κ.α. (2014)** εφάρμοσαν ένα υδραυλικό μοντέλο σταθερής κατάστασης για την αξιολόγηση της εφαρμογής των PATs σε ΔΔΝ, δοκιμάζοντάς το σε μία DMA της πόλης του Παλέρμο. Παίρνοντας υπόψη τις ιδιωτικές δεξαμενές στην εφαρμογή, αναπτύχθηκαν τρία λειτουργικά σενάρια, ως συνάρτηση της θέσης PAT. Η λύση με PAT που έχει εγκατασταθεί κατάντη του κόμβου εισόδου της DMA, σε συνδυασμό με την εγκατάσταση μηχανών PATs σε άλλες σημαντικές συνδέσεις, οδήγησε στην καλύτερη δυνατή διαμόρφωση, ικανή να λειτουργεί με υψηλή ενεργειακή απόδοση.
- Ακολουθώντας την αριθμητική προσέγγιση, ο **Fecarotta κ.α.(2015)** αξιολόγησαν τα οικονομικά οφέλη που συνδέονται με την αντικατάσταση των βαλβίδων ρύθμισης με PAT. Το δίκτυο ελήφθη υπόψη ως περίπτωση μελέτης από τους Jowitt και Xu (1990), σύμφωνα με την λύση του Araujo κ.α. (2006). Η προσέγγιση VOS, που λειτουργεί υπό μεταβλητές υδραυλικές συνθήκες και για την

υλοποίησή της απαιτείται πλήρης σειρά χαρακτηριστικών καμπυλών διαφόρων μοντέλων PAT περιστρεφόμενων με διαφορετικές ταχύτητες (Carravetta κ.α., 2012-2013), εφαρμόστηκε σε έξι σενάρια, σε συνάρτηση με τον αριθμό των σταθμών μείωσης της πίεσης (στους οποίους θα μπορούσε να εγκατασταθεί μία βαλβίδα ή μία PAT). Σημαντικά οφέλη επιτεύχθηκαν μέσω της εγκατάστασης PAT επίσης, για χαμηλής ισχύος και μεταβαλλόμενες υδραυλικές συνθήκες.

- Παρόμοια προσέγγιση ακολούθησε ο **Patelis κ.α. (2016)**, οι οποίοι εκτίμησαν την δυνητική ΑΕ μέσω PAT για το ΔΔΝ της Κοζάνης. Λόγω των σημαντικών γεωδαιτικών διαβαθμίσεων, εντοπίστηκαν στο δίκτυο τρεις διαφορετικές περιοχές πίεσης. Μια προσέγγιση κατάτμησης εξετάστηκε διαιρώντας το δίκτυο σε 24 DMAs μέσω βαλβίδων απομόνωσης. Προβλήθηκαν προσομοιώσεις χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα WaterGems, αναπτύσσοντας τρία διαφορετικά επιχειρησιακά σενάρια: το πρώτο είχε ως προϋπόθεση την τοποθέτηση DMA στο δίκτυο χωρίς εγκατάσταση PRV ή PAT. Το δεύτερο υλοποιήθηκε με την εγκατάσταση μίας PRV στον σωλήνα εισόδου της εξεταζόμενης DMA, ενώ στο τρίτο σενάριο εγκαταστάθηκε μία μηχανή PAT αντί της προηγούμενης PRV. Το τρίτο σενάριο με την εγκατάσταση της PAT, χαρακτηρίστηκε από το υψηλότερο δυναμικό πίεσης και τον μεγαλύτερο όγκο ροής εισόδου. Μία PAT με ίδια διάμετρο και ονομαστική ισχύ $NP = 7,5 \text{ kW}$ λήφθηκε υπ' όψη, ικανή να εξασφαλίσει πίεση κόμβου 20 m σε κάθε σημείο παράδοσης της DMA. Οι συνθήκες σταθερής κατάστασης εξετάστηκαν τόσο για τις PRVs όσο και για τις PATs, επειδή δεν υπήρχαν ημερήσια μοτίβα για προσομοιώσεις. Η εκτίμηση των δαπανών αγοράς, εγκατάστασης και συντήρησης επισήμανε ότι η εγκατάσταση PAT απαιτούσε ακριβότερα επενδυτικά κόστη, ωστόσο, η απόσβεση πραγματοποιούνταν μόλις σε λίγα χρόνια, χάρη στην ετήσια παραγωγή ενέργειας περί των 50000 kWh. Μετά από αξιολόγηση, ο συνολικός όγκος νερού που εισήχθη στις DMAs μέσω της εφαρμογής PRV, μειώθηκε κατά 36,7% σε σχέση με το πρώτο σενάριο, ενώ σημειώθηκε μείωση περίπου 28% μέσω της εφαρμογής της μηχανής PAT. Οι προσομοιώσεις απέδειξαν την αποτελεσματικότητα των PATs τόσο για την ανάκτηση ενέργειας όσο και για την ρύθμιση της πίεσης στα ΔΔΝ. Η ικανότητά τους να ρυθμίζουν την πίεση ήταν χαμηλότερη από εκείνη που παρέχεται από τις PRVs, αλλά εξακολουθεί να επιδέχεται βελτιώσεις μέσω υδραυλικών ή / και ηλεκτρικών ρυθμίσεων.
- Με στόχο την πειραματική δοκιμή της PAT σε πραγματικά δίκτυα διανομής νερού, ο **Karadirek κ.α. (2016)** εγκατέστησαν μια πιλοτική περιοχή μελέτης στην πόλη Αττάλεια της Τουρκίας, προκειμένου να αξιολογήσουν τα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη που σχετίζονται με τη μείωση των φυσικών απωλειών νερού και της συχνότητας έκρηξης των σωλήνων. Επιτεύχθηκαν επίσης εξοικονομήσεις τόσο από τη χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας για την εξόρυξη και την επεξεργασία του νερού όσο και από τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.
- Ο **Rossi κ.α. (2016)** εφάρμοσαν επίσης μια πειραματική προσέγγιση. Δοκίμασαν μία φυγοκεντρική PAT που εγκαταστάθηκε στην πόλη Merano της Ιταλίας. Η ανάλυση απόδοσης και η εκτίμηση της ζήτησης από τους χρήστες επεσήμαναν την δυνατότητα αντικατάστασης των PRV με PATs, που είναι σε θέση να παράγουν περίπου 340 kWh ανά ημέρα λειτουργίας, με μέγιστη ισχύ περίπου 19,2 kW.
- Ο **Marchis κ.α. (2016)** ανέλυσαν την αξιοπιστία της εγκατάστασης PAT στο ΔΔΝ του Misilmeri της Ιταλίας παρουσιάζοντας περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη που επιτεύχθηκαν μέσω της ΑΕ σε μικρές πόλεις. Οι συγγραφείς ανέπτυξαν ένα μαθηματικό μοντέλο για να μεγιστοποιήσουν την εξοικονόμηση ενέργειας στα ΔΔΝ.
- Όσο για τον **Puleo (2014)**, οι ιδιωτικές δεξαμενές, οι οποίες συνήθως εγκαθίστανται σε μεσογειακές πόλεις, εξετάστηκαν στις προσομοιώσεις, με αποτέλεσμα να αποτελούν βασικό παράγοντα για τη

μείωση της πιθανής παραγόμενης ενέργειας. Παρ' όλα αυτά η εφαρμογή PAT ήταν μια οικονομική και ελκυστική προσέγγιση για την ΑΕ, η οποία αποτελεί αξιόπιστη παρέμβαση τόσο για τη μείωση των εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα όσο και για την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας.

- Ο **Lima κ.α. (2017)** πρότεινε μια καινοτόμο μέθοδο επιλογής και τοποθέτησης PAT σε ΔΔΝ, με βάση τη μεγιστοποίηση τόσο της παραγόμενης ενέργειας όσο και της μείωσης του όγκου διαρροής. Εξετάστηκε μια προσέγγιση που προέκυψε από τα τρία κριτήρια αναφοράς του ΔΔΝ από τη βιβλιογραφία, τα οποία καθόρισαν τη λειτουργία της PAT στο BEP κατά τη διάρκεια της μέγιστης περιόδου κατανάλωσης. Η αποτελεσματικότητα της PAT αξιολογήθηκε ως συνάρτηση του τοπικού τιμολογίου ηλεκτρικής ενέργειας.
- Οι **Parra και Krause (2017)** πραγματοποίησαν μια πειραματική εκστρατεία με στόχο το συνδυασμό PRV και PAT σε δύο ΔΔΝ στη Γερμανία. Παρατηρήθηκε μέση παραγωγή ισχύος 5 kW, με μέσες απώλειες νερού και μείωση της πίεσης περίπου 8 l / s και 85 m αντίστοιχα. Τέλος εκτιμήθηκε μια περίοδος αποπληρωμής μεταξύ 8 και 11 ετών.
- Ο **Pugliese κ.α.** δημιούργησαν στο πανεπιστήμιο της Νάπολης μία εξαιρετική προσομοίωση ενός δικτύου ύδρευσης με σύγχρονους κινητήρες και αισθητήρες για μεγαλύτερη ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Αυτοί ασχολήθηκαν με ένα ευρύ φάσμα πειραμάτων τόσο σε οριζόντιου άξονα ενός σταδίου PAT (HASSPAT) όσο και σε κάθετου άξονα PAT ενός (VASSPAT) και πολλαπλών σταδίων (VAMSPAT). Ο ρυθμός ροής κυμάνθηκε από 8-50 l/s και η περιστροφική ταχύτητα από 30 έως 3000 rpm. Για την PAT οριζόντιου άξονα έγιναν 3232 πειράματα και η παραγόμενη ενέργεια κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0.1-16.3 kW με μέγιστη αποδοτικότητα στο BEP 61.3%. Αντίστοιχα, για το ίδιο φάσμα ρυθμού ροής Qt και περιστροφικής ταχύτητας N πραγματοποιήθηκαν 4200 διαφορετικά πειράματα για τις PATs κάθετου άξονα, με την PAT ενός σταδίου να δίνει αποτελέσματα παραγόμενης ενέργειας 0.04-7.40 kW και μέγιστη αποδοτικότητα 65.5% ενώ οι PATs πολλαπλών σταδίων να δίνουν λίγο καλύτερα αποτελέσματα με τη παραγόμενη ενέργεια να κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0.11-13.37 kW και την μέγιστη αποδοτικότητα στο BEP 72.1%.

3.4 Ρύθμιση πίεσης για την αντιμετώπιση των απωλειών στα δίκτυα διανομής νερού

Οι απώλειες νερού σε ένα δίκτυο ύδρευσης οφείλονται σε πολλούς παράγοντες και είναι πολύ σημαντικές καθώς το νερό αποτελεί το σημαντικότερο αγαθό για την ανθρώπινη ύπαρξη. Οι απώλειες χωρίζονται στις πραγματικές και στις φαινόμενες απώλειες. Φαινόμενες απώλειες είναι αυτές που προέρχονται από ανθρώπινες ενέργειες όπως είναι η μη-εξουσιοδοτημένη κατανάλωση καθώς και από σφάλματα μετρητών, ενώ οι πραγματικές απώλειες οφείλονται σε διαρροές και θραύσεις αγωγών και σε υπερχειλίσεις δεξαμενών. Οι συνέπειες της απώλειας νερού από αγωγούς είναι πολύ σημαντικές καθώς αφορούν πολλούς τομείς της κοινωνίας μας όπως είναι το περιβάλλον, η οικονομία αλλά και η δημόσια υγεία. Αυτό συμβαίνει καθώς το νερό αυτό μεταφέρει φερτά υλικά μέσα στους αγωγούς που είναι πολύ επικίνδυνα αν έρθουν σε επαφή με τον άνθρωπο. Επίσης όπως αναφέραμε και παραπάνω το νερό είναι το σημαντικότερο αγαθό για τον άνθρωπο που όλο και μειώνεται αισθητά οπότε καταστρέφεται ένας σημαντικός πόρος του περιβάλλοντος. Οι οικονομικές συνέπειες αφορούν τα χρήματα που χρησιμοποιήθηκαν ώστε να αντληθεί, να επεξεργαστεί και να μεταφερθεί στον καταναλωτή το νερό αυτό.

3.4.1 Αντιμετώπιση Πραγματικών Απωλειών

Για να αντιμετωπισθούν οι πραγματικές απώλειες πρέπει να συμβούν τα παρακάτω:

- Ενεργός Έλεγχος Διαρροών
- Έλεγχος και Διαχείριση της Πίεσης Λειτουργίας του Δικτύου
- Ταχύτητα και Ποιότητα Επισκευών
- Διαχείριση Αγωγών και Συσκευών Δικτύου

Για να πετύχουμε αισθητή μείωση των πραγματικών απωλειών νερού ενός δικτύου δεδομένο είναι ότι θα πρέπει να υπάρξει σωστή διαχείριση της πίεσης λειτουργίας του. Αυτή μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση βαλβίδων μείωσης πίεσης(PressureReductionValves ή αλλιώς PRVs).

3.4.2 Είδη Βαλβίδων Μείωσης Πίεσης

Υπάρχουν τρία είδη PRVs:

- **fixedoutlet (σταθερής ρύθμισης)**

Έχουν ορισμένη πίεση στην έξοδο της βαλβίδας.

- **timemodulated (μεταβλητής ρύθμισης βάση χρονοδιαγράμματος)**

Η πίεση στην έξοδο αυξομειώνεται ανάλογα με την κάθε ώρα της μέρας.

- **flowmodulated (μεταβλητής ρύθμισης βάση ζήτησης)**

Η πίεση στην έξοδο εξαρτάται από την ζήτηση για νερό.

Ο καθορισμός της πίεσης με βάση το χρόνο (timemodulated) χρησιμοποιείται με εξοπλισμό που υπάρχει εσωτερικό χρονόμετρο. Συνήθως χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου υπάρχει σταθερή ζήτηση και απώλειες και όταν το κόστος πρέπει να είναι χαμηλό αλλά με ταυτόχρονη διαχείριση της πίεσης. Οι βαλβίδες μεταβλητής ρύθμισης βάση της ζήτησης χρησιμοποιούνται σε περιοχές με μεταβλητές συνθήκες, μεγάλο όγκο απωλειών και απαιτήσεις πυρόσβεσης. Ο έλεγχος πραγματοποιείται συνδέοντας το μηχανισμό σε ένα μετρητή σε σχέση με τη ζήτηση στην έξοδο όπου και μετριέται η πίεση. Η αλλαγή της πίεσης εξόδου επιτυγχάνεται μεταβάλλοντας τη δύναμη πάνω στο ελατήριο της βαλβίδας. Ο εξοπλισμός ελέγχου συνήθως παρέχεται με έναν καταγραφέα δεδομένων και εξ αποστάσεως επικοινωνία. Το κόστος εγκατάστασης ενός τέτοιου εξοπλισμού είναι υψηλότερο, παρόλα αυτά προτιμάται καθώς εγγυάται πιο έξυπνο έλεγχο αλλά και παροχές πυρκαγιάς.

Τόσο στις βαλβίδες σταθερής ρύθμισης πίεσης όσο και σε αυτές βάσει χρονοδιαγράμματος ο ρυθμιστής στοχεύει στη ρύθμιση πίεσης εξόδου σε μια προδιαγεγραμμένη τιμή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αδυναμία των συγκεκριμένων εξοπλισμών στο να μειώσουν τις διαρροές βάσεις ειδικά όταν η ζήτηση είναι χαμηλή.

3.4.3 Οφέλη από τη διαχείριση της πίεσης

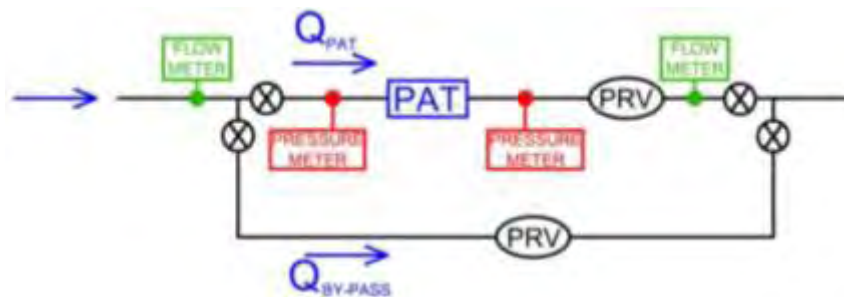
Τα οφέλη από την διαχείριση της πίεσης είναι τα εξής:

- Μειωμένες διαρροές και θραύσεις στους αγωγούς άρα και λιγότερες απώλειες νερού.
- Καλύτερη εξυπηρέτηση των καταναλωτών.
- Μείωση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης των αγωγών (αναβολή ανανέωσης εξοπλισμού).
- Κοινωνικά κόστη (μειωμένη συχνότητα θραύσεων αγωγών και διακοπών της κυκλοφορίας)
- Καλύτερη διαχείριση της ζήτησης (ο καταναλωτής δέχεται όσο νερό χρειάζεται)

Τα οφέλη της διαχείρισης της πίεσης είναι εμφανή σε πολλές πραγματικές εφαρμογές όπου κατάφεραν να μειωθούν οι διαρροές και οι θραύσεις των αγωγών. Οι McKenzie, Mostert, & deJager (2004) στην Khayelitsha της Νότιας Αφρικής, κατέγραψαν μείωση διαρροών περίπου 40% του παρεχόμενου νερού. Στην Χρυσή Ακτή στην Αυστραλία οι διαρροές μειώθηκαν κατά 50%, ενώ επιπρόσθετα οφέλη απέδωσε η μειωμένη συχνότητα αστοχιών των αγωγών κατά 70-90% (Girard&Stewart 2007, Waldron, 2008). Στο δίκτυο ύδρευσης της Λεμεσού στην Κύπρο υπήρξε εξοικονόμηση 38% στον όγκο του χρησιμοποιημένου νερού και 41% μείωση στη συχνότητα των αστοχιών των αγωγών (Charalambous, 2008). Στην Αθήνα, η εγκατάσταση PRVS μεταβλητής ρύθμισης βάσει ζήτησης είχε σαν αποτέλεσμα μείωση της ελάχιστης νυχτερινής παροχής μέχρι και 91lt/sec, ενώ η μέση ημερήσια κατανάλωση μειώθηκε μέχρι και 8,5% (Foufeas & Petroulias, 2013). Εγκατάσταση PRVs μεταβλητής ρύθμισης βάσει χρονοδιαγράμματος (time modulated) κατάφερε μείωση της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης από 2-4,5%.

3.5 Προσχέδιο στησίματος του πειράματος

Προτού ξεκινήσει η διαδικασία στησίματος και συναρμολόγησης του εξοπλισμού στο εργαστήριο, έγινε πρώτα μία μελέτη και συζήτηση του πως θα διεξαχθεί η όλη διαδικασία. Σε μία ιδανική περίπτωση, η εγκατάσταση της PAT προϋποθέτει και κάποιο βασικό εξοπλισμό, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα.



12.Ιδεατό Διάγραμμα Προσομοίωσης της αντλίας PAT

Στον απαραίτητο εξοπλισμό συγκαταλέγονται οι μετρητές της πίεσης που θα χρησιμοποιηθούν ανάντι και κατάντι της αντλίας PAT, για τη μέτρηση των πιέσεων του δικτύου. Επιπρόσθετα θα τοποθετηθούν μετρητές της ροής στο δίκτυο (και της παροχής), ένας στην αρχή του αγωγού κι ένας στην έξοδο του νερού από την αντλία. Ακριβώς μετά την αντλία PAT θα χρησιμοποιηθεί μια βαλβίδα ρύθμισης της πίεσης (PRV), ώστε να προσαρμόσει (ομαλοποιήσει) την πίεση στο νερό μετά την έξοδο του από την αντλία, στην περίπτωση που η πίεση δεν ικανοποιεί τις ανάγκες του δικτύου σε πιέσεις.

Στην περίπτωση που οι πιέσεις πριν την αντλία PAT δεν είναι οι απαιτούμενες για την παραγωγή ενέργειας, απαιτείται ένας αγωγός By-Pass(παρακαμπτήρια οδός) για να μεταφέρεται από εκεί το νερό. Στο αριστερό κομμάτι του δικτύου με βάση το παραπάνω διάγραμμα, τοποθετούνται δικλείδες

απομόνωσης (βάνες) για τον αποκλεισμό του κάθε δικτύου και μεταφορά του νερού ως προς την επιθυμητή κατεύθυνση κάθε φορά. Επιπρόσθετα χρησιμοποιούνται και στο ενδεχόμενο βλάβης κάποιου εξαρτήματος ή θραύσης αγωγού, για την απομόνωση και πάλι του αντίστοιχου μέρους του δικτύου και επιδιόρθωση του. Τέλος, στο δεξιό μέρος του δικτύου, χρησιμοποιούνται βαλβίδες απομόνωσης της ροής του νερού, ή αλλιώς ανεπίστροφες. Ο ρόλος τους είναι απλός, επιτρέπουν τη ροή του νερού προς τη μία κατεύθυνση μόνο, αποτρέποντας το να γυρίσει προς τα πίσω.

Προφανώς όλα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, σαν σύνολο φέρουν μεγάλο κόστος, συνεπώς και η χρήση τους σε μία περιορισμένου κόστους εγκατάσταση, θα παρέμενε μόνο στη θεωρία. Λαμβάνοντας υπόψη λοιπόν όλα τα προαναφερθέντα, έπειτα από συζήτηση και έρευνα σε τοπικά καταστήματα του νομού, η τελική διάταξη που προέκυψε ήταν σημαντικά περιορισμένη σε πλήθος εξαρτημάτων και εξοπλισμού, τα οποία παρουσιάζονται αρχικά συνοπτικά παρακάτω, αλλά και πιο αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια.

Η διάταξη ήταν απλή, αλλά αποτελούμενη από τα πιο βασικά μέρη της παραπάνω δομής. Αρχικά θα χρησιμοποιηθεί μια αντλία που παίρνει κίνηση μέσω ενός μοτέρ, η οποία αντλία θα τροφοδοτεί το δίκτυο που θα κατασκευαστεί, αντλώντας νερό από δεξαμενή χωρητικότητας 0.7 κυβικών. Στη συνέχεια ακολουθεί δικλείδα απομόνωσης για έλεγχο της ροής στο δίκτυο και παρακάτω συναντάται π πρώτος μετρητής, ένα παροχόμετρο, για μέτρηση της παροχής που δίνει η αντλία στο δίκτυο ανά πάσα στιγμή.



13. Συνοπτικό Διάγραμμα Διάταξης των μερών

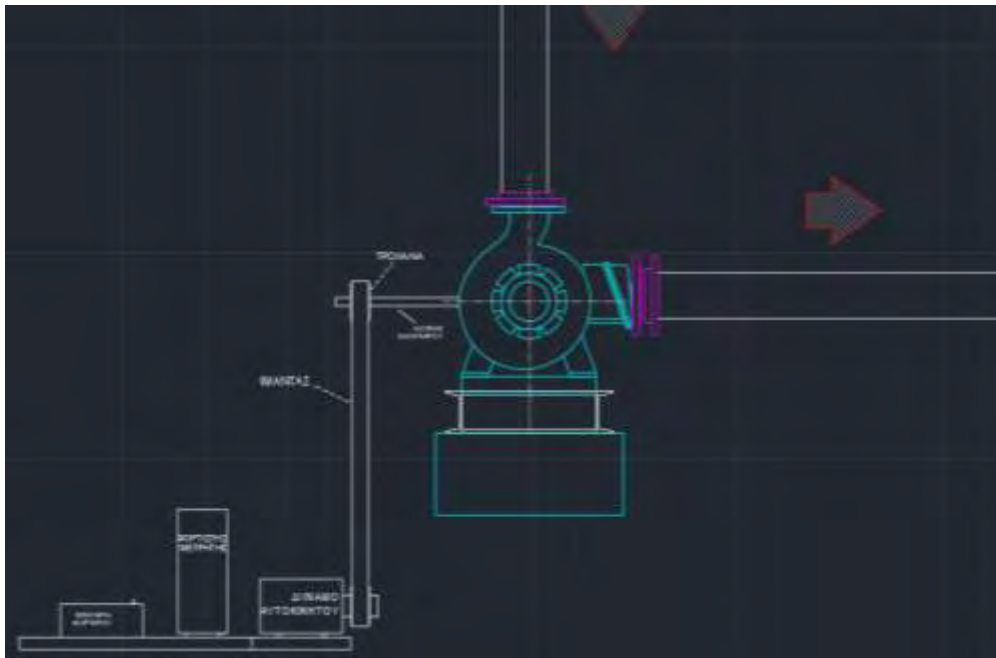
Ακριβώς μετά θα τοποθετηθεί ένα μανόμετρο, για μέτρηση της πίεσης στο δίκτυο ανάντι της αντλίας PAT. Έπειτα ακολουθεί η αντλία PAT, η οποία συγκεκριμένη είναι μια μονοβάθμια φυγοκεντρική αντλία, ακτινικής ροής με κλειστού τύπου πτερωτή. Έπειτα θα τοποθετηθεί ένα ακόμα μανόμετρο για ένδειξη της πίεσης κατάντι της αντλίας PAT και στην έξοδο του αγωγού μία ακόμα δικλείδα απομόνωσης (βάνα) , για έλεγχο της ροής μέσα στον αγωγό. Το νερό θα εξέρχεται μετά την δικλείδα αυτή μέσα στη δεξαμενή για ανακύκλωση του νερού. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η δομή που μόλις αναφέρθηκε.



14. Τελική Διάταξη του Πειράματος

Στην φωτογραφία 15, πέρα της διάταξης της δομής του πειράματος που αναφέρθηκε προηγουμένως, παρατηρείται και κάποιος πρόσθετος εξοπλισμός με λευκή διαγράμμιση, συνδεδεμένο με την αντλία PAT.

Ο εξοπλισμός αυτός θα παρουσιαστεί και στη συνέχεια πιο αναλυτικά, σαν πρώτη γνωριμία όμως, αναφέρεται ότι πρόκειται για εξαρτήματα που θα χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της ενέργειας που αποδίδεται στην αντλία. Η διαδικασία έχει ως εξής: στον άξονα της αντλίας θα τοποθετηθεί μια τροχαλία, η οποία θα συνδέει την περιστροφική κίνηση του άξονα, μέσω ενός ιμάντα, σε ένα δυναμό αυτοκινήτου. Αυτό με τη σειρά του, εφόσον καλυφθεί το ελάχιστο όριο απαιτούμενων στροφών, θα αρχίσει να παράγει ρεύμα. Παράλληλα θα είναι συνδεδεμένα με αυτό, μία μπαταρία φορτηγού την οποία θα φορτίζει το δυναμό, και ένας φορτιστής και μετρητής, μέσω του οποίου θα ελέγχεται η διαδικασία φόρτισης και θα υπολογίζεται έτσι τελικά η αποδιδόμενη ενέργεια. Στη φωτογραφία 16 παρουσιάζεται μια μεγέθυνση του συγκεκριμένου σημείου στην οποία διακρίνεται λίγο καλύτερα ο όλος τρόπος σύνδεσης των επιμέρους μελών μεταξύ τους.



15. Μέσο μέτρησης της ενέργειας που αποδίδεται στην αντλία PAT

Αυτός ήταν τελικά ένας πρώτος τρόπος σκέψης για την προσέγγιση του πειράματος και την έναρξη του στησίματος του. Στην πορεία όμως, όπως διαπιστώνεται και παρακάτω, λόγω διάφορων προκλήσεων και προβλημάτων, προέκυψε η ανάγκη για αλλαγές της αρχικής αυτής διάταξης, της κατάργησης μελών, σύνδεσης άλλων καθώς και άλλων, για τα οποία φυσικά χρησιμοποιήθηκαν άλλες εναλλακτικές μέθοδοι για την αντιμετώπιση τους.

Κεφάλαιο 4: Στήσιμο του πειράματος

4.1 Το εργαστήριο – Γνωριμία με το χώρο

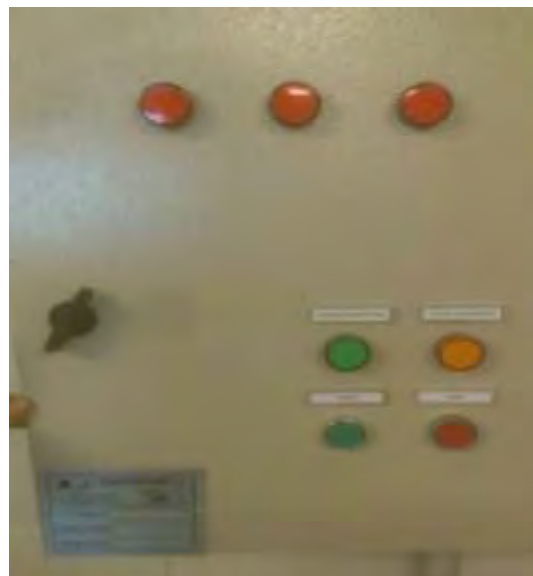
Το πείραμα έλαβε χώρα στις εγκαταστάσεις του εργαστηρίου Υδρομηχανικής και Περιβαλλοντικής Τεχνικής του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Πεδίον του Άρεως. Το εργαστήριο είναι πλήρως εξοπλισμένο με μια πληθώρα εργαλείων και μηχανημάτων για την εξυπηρέτηση των χρηστών του, καλύπτοντας ποικίλους κλάδους μηχανολογικών και ηλεκτρολογικών αναγκών. Με μια πρώτη ματιά, κατά την είσοδο του κανείς στο εργαστήριο θα παρατηρήσει τις υφιστάμενες πειραματικές διατάξεις που εξυπηρετούν ποικίλες ερευνητικές εργασίες.

4.2 Διαχείριση ηλεκτρικής ενέργειας

Η τροφοδοσία της όλης εγκατάστασης γίνεται μέσω ενός κεντρικού τριφασικού πίνακα που καλύπτει τις ανάγκες του εργαστηρίου, του εργαστηρίου Οπλισμένου Σκυροδέματος και τριών αιθουσών επιπλέον του Πανεπιστημίου. Γι' αυτό και ο κεντρικός αυτός πίνακας διαχωρίζεται σε μικρότερους, ένας για κάθε επιμέρους χώρο. Λόγω όμως της ανάγκης διεξαγωγής ποικίλων πειραμάτων στο κάθε εργαστήριο, ο δεύτερος αυτός πίνακας (ο αποκλειστικός του εργαστηρίου, ο οποίος βρίσκεται στον κοινό χώρο μέσα στις εγκαταστάσεις αλλά έξω από το εργαστήριο), συνδέεται με ένα τρίτο επίσης τριφασικό πίνακα εσωτερικά όμως του εργαστηρίου, που παίζει το ρόλο του διακλαδωτή. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για ένα κεντρικό πίνακα για τις ανάγκες εσωτερικά του εργαστηρίου ο οποίος διακλαδώνεται σε μικρότερους που καλύπτουν τις απαιτήσεις σε ρεύμα του κάθε διαφορετικού πειράματος μέσα στο εργαστήριο. Ακολουθώντας λοιπόν όλη την παραπάνω διαδρομή, φτάνουμε σε ένα τελικό πίνακα. Είναι κι αυτός τριφασικός, με ονομαστικό ρεύμα 16A (Amps ή αλλιώς αμπέρ) και ονομαστική τάση 400V (Volt), για να ικανοποιεί τις ανάγκες σε ρεύμα του μοτέρ με το οποίο είναι συνδεδεμένος.



16. Ηλεκτρολογικός Πίνακας Λεπτομέρειες



17. Ηλεκτρολογικός Πίνακας Εξωτερικά

Στο εξωτερικό του υπάρχουν δύο κουμπιά, ένα εκκίνησης και ένα διακοπής λειτουργίας του μοτέρ της αντλίας, όπως επίσης και δύο ενδεικτικές λυχνίες, μια σωστής λειτουργίας και μια σφάλματος, ενώ τέλος από πάνω τους βρίσκονται τρεις λυχνίες ένδειξης λειτουργίας των τριών φάσεων του πίνακα (Συνιστάται μόνο σε εξειδικευμένο προσωπικό και με γνώση στο αντικείμενο, τηρώντας όλα τα απαραίτητα μέτρα προστασίας).

Στο εσωτερικό του τώρα, είναι εγκατεστημένα αποκλειστικά τα απαραίτητα για την τροφοδοσία και τη σωστή και ασφαλή λειτουργία του πίνακα, όπως επίσης και του μοτέρ και της αντλίας που είναι συνδεδεμένα μαζί του. Ξεκινώντας από πάνω αριστερά προς τα δεξιά, είναι τοποθετημένος ένας **Θερμομαγνητικός Διακόπτης** ο οποίος ρυθμίζει την ένταση του ρεύματος, ένας **Ασφαλειοαποζεύκτης Φορτίου** στη μέση ο οποίος είναι ουσιαστικά ασφαλειοθήκη που μπορεί να κάνει απόζευξη τραβώντας τις ασφάλειες από τη λαβή και ένα **Επιτηρητή Τάσης** δεξιά, ο οποίος επιτηρεί να είναι σωστές οι φάσεις, προστατεύει από υπόταση, υπέρταση και συγκεκριμένα για τα τριφασικά επιβλέπει και την ασυμμετρία μεταξύ φάσεων.



18. Θερμομαγνητικός Διακόπτης, Ασφαλειοαποζεύκτης Φορτίου, Επιτηρητής Τάσης



19. Κλέμες, Ρελέ, Χρονικό Αστέρα-Τριγώνου

Στην κάτω σειρά είναι συνδεδεμένη σε σειρά η βασική καλωδίωση. Στα αριστερά είναι οι κλέμες που συνδέονται τα καλώδια, ξεκινώντας με τη σειρά τα L1, L2, L3 είναι οι τρεις φάσεις (γενικό ρεύμα), ακολουθεί η γείωση και έπειτα οι τρεις φάσεις αστέρα και τρεις τρίγωνο. Ακολουθούν τα ρελέ, που λειτουργούν σαν ηλεκτρικοί διακόπτες που ανοίγουν και κλείνουν το ηλεκτρικό κύκλωμα, κάτω από τον έλεγχο ενός άλλου ηλεκτρικού κυκλώματος. Τέλος έχουμε ένα χρονικό, το οποίο είναι ένας αυτόματος διακόπτης αστέρα-τριγώνου που εξασφαλίζει την ομαλή εκκίνηση του κινητήρα. Περισσότερα για τα χαρακτηριστικά του πίνακα και τη λειτουργία του θα συζητηθούν παρακάτω.

4.3 Το στήσιμο του πειράματος

Πρώτο μέλημα ήταν να βρεθεί ο κατάλληλος χώρος στο εργαστήριο για να στηθεί η πειραματική διάταξη. Ύστερα από επικοινωνία με τον αρμόδιο καθηγητή υπεύθυνο του χώρου, παραχωρήθηκε ο χώρος και επιλέχθηκε ένα προ εγκατεστημένο πείραμα του εργαστηρίου, το οποίο ήταν διαθέσιμο για λύσιμο.



20. Το υπάρχον πείραμα

Ο λόγος που επιλέχθηκε το συγκεκριμένο υπάρχον πείραμα, είναι ότι υπήρχε έτοιμο το σύστημα της αντλίας με το μοτέρ, συνδεδεμένο με τριφασικό πίνακα για την τροφοδότηση του. Η αντλία ήταν συνδεδεμένη με δεξαμενή χωρητικότητας 0.7 κυβικά, αρκετής χωρητικότητας δηλαδή για την κάλυψη των αναγκών του δικτύου σε νερό, τη συνεχή τροφοδοσία του και ανακύκλωση του νερού στο δίκτυο.



21. Το κομμάτι που κρατήσαμε: αντλία-μοτέρ-δεξαμενή- σωλήνα-θάνα-γωνία-φλάντζα

Η διαδικασία αποσυναρμολόγησης ήταν απλή. Το κύριο μέρος ήταν μεταλλικό συνδεδεμένο με τις πλαστικές σωλήνες μέσω φλατζών και βιδών. Ξεβιδώθηκαν όλες τις βίδες που το συγκρατούσαν, αφαιρέθηκαν και τα στηρίγματα με τη μεταλλική βάση και το κύριο μέρος απελευθερώθηκε. Τα κύρια μέρη που παρέμειναν μετά την αποσυναρμολόγηση είναι η αντλία με το μοτέρ της, η δεξαμενή, και το κατακόρυφο κομμάτι με τη θάνα, τη σωλήνα και το τελικό άκρο που καταλήγει σε φλάτζα. Αυτό το κομμάτι ήταν και το κύριο κομμάτι τροφοδοσίας του πειράματος και από εκεί και έπειτα θα ξεκινούσε η διάταξη που συζητήθηκε νωρίτερα.



23. Αντλία - Μοτέρ



24. Φλάντζα Λυμένη



22. Φλάντζα Δεμένη

4.3.1 Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε με δύο διαφορετικά πάχη και διαμέτρους σωληνώσεων. Το υπάρχον σύστημα χρησιμοποιούσε πλαστική σωλήνα PVC πίεσεως 10 atm, διαμέτρου Φ110 (4''), συνεπώς το πρώτο δίκτυο ακολούθησε τη διάμετρο αυτή. Επίσης για μεγαλύτερο εύρος αποτελεσμάτων στη μελέτη αυτή, αποφασίστηκε η δημιουργία ενός δεύτερου δικτύου από πλαστική σωλήνα PVC πίεσεως 16 atm, διαμέτρου Φ63 (2.5'').



25. Σωλήνα Φ110 - 10 atm



26. Σωλήνα Φ63 - 16 atm

Ο κύριος λόγος που επιλέχθηκε αυτού του είδους οι σωλήνες ήταν λόγω της εύκολης κατεργασίας τους ενώ παράλληλα ικανοποιούσαν τις όποιες απαιτήσεις αντοχής σε πίεση.



27. Διάφορα εξαρτήματα σωληνώσεων

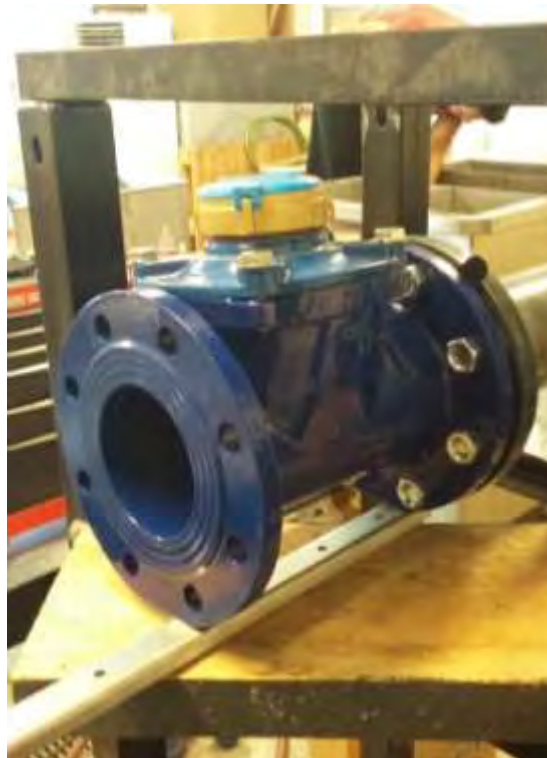
Συνοπτικά κάποια εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την συνδεσμολογία είναι: φλάντζες, μούφες, γωνίες, συστολές, σέλες κτλ.

4.3.2 Μετρητές

Βασική παράμετρος σε μία τέτοια διάταξη είναι η μέτρηση της παροχής που διοχετεύεται κάθε στιγμή στο δίκτυο. Συνεπώς αγοράστηκε ένας μετρητής παροχής ή αλλιώς παροχόμετρο. Στο εργαστήριο μέσα υπήρχε ήδη άλλο πείραμα στημένο με εγκατεστημένο ένα παροχόμετρο για σύνδεση σε δίκτυο διαμέτρου Φ63, οπότε τοποθετήθηκε εκείνο για το δίκτυο διαμέτρου Φ63, και απλώς αγοράστηκε άλλο ένα μεγαλύτερο για σύνδεση στο άλλο δίκτυο (Φ110).



28. Παροχόμετρο Φ63



29. Παροχόμετρο Φ110

Το παροχόμετρο Φ63 είναι αναλογικό με επιπρόσθετη οθόνη με ψηφιακή ένδειξη, που αναγράφει το ακριβές νούμερο της διερχόμενης παροχής κάθε στιγμή. Αντίθετα το παροχόμετρο Φ110 που αγοράστηκε είναι αναλογικό επίσης αλλά με συνολικό μετρητή παροχής, δηλαδή πρέπει να υπολογιστεί η παροχή κάθε φορά μετρώντας τη διερχόμενη παροχή σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Και τα δύο, όπως φαίνεται και στις φωτογραφίες είναι φλατζωτά, δηλαδή συνδέονται με βίδες στο δίκτυο. Η επιλογή αυτή ήταν εσκεμμένη για το λόγο της ευκολότερης αφαίρεσης και επανατοποθέτησης στο δίκτυο, όπως ήταν και τα υπόλοιπα εξαρτήματα.

Μέτρηση της πίεσης

Εκτός της παροχής που διαπερνά το δίκτυο, ακόμα βασικότερο μέλημα είναι η μέτρηση της πίεσης που υπάρχει μέσα στον αγωγό ανά πάσα στιγμή. Η μέτρηση της πίεσης γίνεται εύκολα με τη χρήση μανομέτρων. Οι απαιτήσεις για τις πιέσεις δεν ήταν υψηλές, συνεπώς και τα μανόμετρα που αγοράστηκαν είναι για μετρήσεις μέχρι έξι (6) bar.

Η διαδικασία της τοποθέτησης του είναι απλή. Αρχικά επιλέγεται το σημείο εγκατάστασης τους και εκεί τοποθετείται πρώτα πάνω η “βάση” πάνω στην οποία θα συνδεθούν, η οποία αλλιώς λέγεται σέλα.

Σημειώνεται με ένα μαρκαδόρο το περίγραμμα της σέλας και κατακόρυφα πάνω η τρύπα που θα ανοιχθεί. Η τρύπα δεν απαιτείται να είναι μεγάλη, στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιήθηκε ένα τρυπάνι διαμέτρου 8 χιλιοστών (mm). Μέσω της τρύπας αυτής διέρχεται η στήλη του νερού, η οποία χτυπάει στη βάση του ρολογιού και δίνει την αντίστοιχη ένδειξη.



31. Όλο το σύστημα σέλα, θάνα, μανόμετρο



32. Αναλυτικά τα μέρη που συνδέθηκαν



30. Η σέλα σε κατακόρυφη προβολή από πάνω

Για καλύτερη στεγανοποίηση του σημείου, κόβεται ένα μικρό κομμάτι φλατζολάστιχο, πάχους 2-3 mm, και τοποθετείται μεταξύ της σέλας και της σωλήνας. Έτσι δεν επιτρέπονται διαρροές μεταξύ των υλικών και παράλληλα πιο ακριβείς μετρήσεις στο ρολόι. Η σέλα έπειτα κουμπώνει πάνω στη σωλήνα με την άσκηση λίγης δύναμης, συνδέοντας το πάνω και το κάτω μέρος της με τα “αυτάκια” της στα πλαϊνά.

Ένα από τα πιο βασικά σημεία προσοχής κατά τη λειτουργία ενός δικτύου ύδρευσης, είναι η σωστή εξαέρωση του δικτύου, ώστε να μην υπάρχει αέρας στο δίκτυο. Για να επιτευχθεί αυτό, συνήθως τοποθετείται ένα εξαεριστικό σύστημα στο ψηλότερο σημείο του εκάστοτε δικτύου, από το οποίο φεύγει ο αέρας που είναι εγκλωβισμένος στο δίκτυο.



33. Εξαεριστικά - Παράδειγμα



34. Σέλα και βανάκι

Για λόγους οικονομίας και λόγω έλλειψης επαρκούς χώρου στον αγωγό, χρησιμοποιήθηκε μια διαφορετική μέθοδος για την εξαέρωση του δικτύου. Μεταξύ της σέλας και του μανομέτρου, τοποθετήθηκε ένα βανάκι με φορά προς τα πάνω. Ενώ “τρέχει” λοιπόν το δίκτυο, προτού τοποθετηθεί το ρολόι, προηγείται ένα άνοιγμα και κλείσιμο της βάνας αυτής. Με το να είναι τοποθετημένη η σέλα σχετικά στο ψηλότερο σημείο του δικτύου, θεωρητικά ο αέρας που υπάρχει στο δίκτυο θα πρέπει να είναι εγκλωβισμένος σε εκείνη την περιοχή. Συνεπώς με το άνοιγμα κλείσιμο, θα απεγκλωβιστεί, οπότε έπειτα τοποθετείται το ρολόι για την ένδειξη της πίεσης στο σημείο αυτό. Στο βανάκι, όπως επίσης και σε όλα τα υπόλοιπα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν τα οποία ήταν βιδωτά (με βόλτες), χρησιμοποιήθηκε ειδική ταινία στεγανοποίησης (τεφλόν) , για την αποφυγή διαρροών μεταξύ των επαφών.

4.3.3 Κολλήσεις εξαρτημάτων και συνδέσεις

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο βασικός λόγος που επιλέχθηκαν πλαστικές σωλήνες PVC είναι



35. Ταινία στεγανοποίησης - τεφλόν

λόγω της εύκολης επεξεργασίας τους. Κατά τη συναρμολόγηση έπρεπε να λαμβάνεται συνεχώς υπόψη η μελλοντική δυνατότητα των μετατροπών και μετακινήσεων των επιμέρους εξαρτημάτων. Συνεπώς αποφασίστηκε η χρήση όσο το δυνατόν περισσότερο, κομματιών και εξαρτημάτων βιδωτών και να αποφευχθούν οι κολλήσεις μεταξύ των υλικών. Δυστυχώς όμως υπήρχαν και εξαρτήματα όπως οι συστολές στα οποία ήταν αδύνατη η αποφυγή της κόλλησης. Επίσης για να επιτευχθεί η χρήση βιδωτών εξαρτημάτων, έπρεπε να χρησιμοποιηθούν φλάντζες οι οποίες πάλι εν μέρει απαιτούσαν μια κόλληση.



36. Έτοιμο κομμάτι σωλήνας για κόλληση

Η κόλληση είναι μια εύκολη διαδικασία, αλλά απαιτείται προσοχή και σωστή προετοιμασία των υλικών που πρόκειται να κολληθούν, για να επιτευχθεί μια πιο αποτελεσματική κόλληση. Αρχικά οι επιφάνειες που θα κολληθούν πρέπει να εφάπτονται πλήρως και να μην αφήνουν κενά μεταξύ τους. Αν οι εφάπτόμενες επιφάνειες δεν ταιριάζουν ή αφήνουν κενά, υπάρχει κίνδυνος θραύσης ή αστοχίας της κόλλησης.



37. Κόλλα για σωλήνες PVC



38. Πλήρης επάλειψη της σωλήνας με κόλλα

Έπειτα με μία λίμα ή ακόμα καλύτερα με μια ειδική ξύστρα, ξύνονται οι επιφάνειες που θα κολληθούν ελαφρώς, ώστε να δημιουργηθούν επιφανειακά γδαρσίματα. Σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι η δημιουργία μικροσκοπικών αυλακώσεων στην επιφάνεια του υλικού, στις οποίες μέσα θα εισέρθει και απλωθεί η κόλλα. Μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής για την κόλλα, άρα και καλύτερο κόλλημα. Βέβαια, προτού απλωθεί η κόλλα οι επιφάνειες πρέπει να καθαριστούν με πανί και διαλυτικό υγρό, για την απομάκρυνση των τριμμάτων που δημιουργούνται από το ξύσιμο. Αφού απλωθεί η κόλλα και έρθουν σε επαφή οι επιφάνειες, απαιτείται μια στροφή ελαφρώς μερικά χιλιοστά των επιφανειών μεταξύ τους, να απλωθεί η κόλλα παντού και να πιάσει καλύτερα. Τέλος, αφήνονται οι επιφάνειες αρκετές ώρες σε ηρεμία για να στεγνώσει η κόλλα, προτού συνδεθούν στο δίκτυο. Ιδανικά τοποθετούνται τα κομμάτια κατακόρυφα με κάποιο φορτίο από πάνω να κρατά τις επιφάνειες σταθερές στο σημείο της κόλλησης. Η κόλλα που χρησιμοποιήθηκε είναι ειδική κόλλα για σωλήνες PVC, ανθεκτική σε υψηλές πιέσεις.

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν για τις όποιες συνδέσεις απαιτούνταν.

Μούφες

Η μούφα είναι σωληνοειδές εξάρτημα που χρησιμοποιείται για την ένωση δύο σωλήνων μεταξύ τους. Προφανώς η εσωτερική διάμετρος της μούφας είναι ίση με την εξωτερική διάμετρο των σωλήνων που πρόκειται να συνδεθούν. Οι μούφες μπορεί να είναι είτε κολλητές (όπως στη φωτογραφία), είτε με βόλτες εσωτερικά για να έρθουν να βιδώσουν σωλήνες με βόλτες στο εξωτερικό τους, είτε μεικτές, δηλαδή κολλητές από τη μία πλευρά και βιδωτές από την άλλη. Στο πείραμα αυτό χρησιμοποιήθηκαν μόνο κολλητές μούφες.



39. Μούφα Πιέσεως

Γωνίες

Η γωνία είναι επίσης σωληνοειδές εξάρτημα, με αντίστοιχο ρόλο με της μούφας, με τη διαφορά ότι η γωνία χρησιμοποιείται για την ένωση δύο σωλήνων σε γωνία 90° μεταξύ τους. Επίσης και η γωνία βγαίνει στην αγορά είτε κολλητή είτε βιδωτή είτε μεικτή, και επιπρόσθετα υπάρχει η δυνατότητα της ένωσης σε γωνία 45°.



40. Γωνία Πιέσεως

Φλάντζες

Οι φλάντζες χρησιμοποιούνται για την ένωση εξαρτημάτων με τις σωλήνες, ή και σωλήνες μεταξύ τους σε ειδικές περιπτώσεις όπως φαίνεται παρακάτω. Προκειμένου όμως να συνδεθεί αποτελεσματικά η φλάντζα (δεξιά φωτογραφία) στη σωλήνα, θα χρειαστεί και ένα επιπλέον εξάρτημα. Αυτό θα είναι ο



42. Λαιμός Φλάντζας



41. Φλάντζα

λαιμός της φλάντζας ή αλλιώς άκρο της φλάντζας (αριστερή φωτογραφία). Ο λαιμός έχει τη μορφή της μούφας με τη διαφορά ότι το ένα άκρο του είναι πιο φαρδύ για να αντιστέκεται στη φλάντζα. Η σωλήνα μπορεί να συνδεθεί με το λαιμό είτε κολλητά είτε βιδωτά. Η φλάντζα τοποθετείται έπειτα πάνω από τον λαιμό και τον αγκαλιάζει και έρχεται και συνδέεται όπου θέλουμε. Παρακάτω παρατηρούμε ένα παράδειγμα σύνδεσης μια φλάντζας στη σωλήνα κι έπειτα με ένα παροχόμετρο. Το παροχόμετρο είναι φλαντζωτό, δηλαδή χρησιμοποιήσαμε βίδες για να ενώσουμε τη φλάντζα του με τη φλάντζα της σωλήνας.



43. Ολοκληρωμένη σύνδεση φλάντζας με σωλήνα και εξάρτημα

Μεταξύ τους υπάρχει κομμάτι λάστιχο πάχους περίπου δύο με τρία χιλιοστά, για στεγανοποίηση της ένωσης τους. Η εσωτερική του διάμετρος είναι περίπου ίση με την εσωτερική διάμετρο της σωλήνας και οι τρύπες που έχει είναι για να περνάνε οι βίδες που πιάνουν τις φλάντζες.



44. Λαστιχένια φλάντζα

Μεικτός Σύνδεσμος

Ο μεικτός σύνδεσμος, σύμφωνα και με το όνομα του, είναι ένα εξάρτημα που παρέχει από τη μία πλευρά βόλτες για να βιδωθεί κάποιο βιδωτό εξάρτημα και από την άλλη πλευρά, παίζει το ρόλο της μούφας, έρχεται δηλαδή κάποιο άλλο εξάρτημα να κολληθεί, αλλά κατά κύριο λόγο για να συνδεθεί σωλήνα. Αυτός συνήθως χρησιμοποιείται για να συνδεθεί σε κάποιο κομμάτι της σωλήνας, βάνα βιδωτή ή πυροσβεστικός κρουνός κτλ.



45. Μεικτός Σύνδεσμος

Συστολές

Οι συστολές είναι σύνδεσμοι που βοηθάνε στη μετάβαση από ένα αγωγό με μια μεγάλη διατομή σε αγωγό με μικρότερη διατομή. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι σύνδεσης μιας συστολής στο δίκτυο. Ένας τρόπος είναι να περαστεί η μικρότερη σε διατομή σωλήνα μέσα στη συστολή και η μεγαλύτερη να έρθει να συνδεθεί είτε εξωτερικά της συστολής (να την αγκαλιάσει δηλαδή), είτε με τη χρήση μούφας μεταξύ σωλήνας και συστολής, είτε συνδυασμοί μεταξύ συστολών και μούφες για να επιτευχθεί η επιθυμητή μετατροπή(ιδιαίτερα όταν η διαφορά των διαμέτρων των σωλήνων είναι μεγάλη που τότε θα



46. Απλή Συστολή



47. Μούφα Συστολική

να συνδεθεί είτε εξωτερικά της συστολής (να την αγκαλιάσει δηλαδή), είτε με τη χρήση μούφας μεταξύ σωλήνας και συστολής, είτε συνδυασμοί μεταξύ συστολών και μούφες για να επιτευχθεί η επιθυμητή μετατροπή(ιδιαίτερα όταν η διαφορά των διαμέτρων των σωλήνων είναι μεγάλη που τότε θα

χρειαστούν περισσότερες μετατροπές). Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί κατά την κόλληση αυτών, διότι σε δίκτυα με πιέσεις υψηλές, τείνουν να αστοχούν οι κολλήσεις λόγω μη επαρκούς και σωστής κόλλησης τους.

Βάνες

Οι βάνες είναι εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται σε ένα δίκτυο για τον αποκλεισμό ενός κομματιού από το υπόλοιπο δίκτυο. Οι βάνες που χρησιμοποιήθηκαν είναι βάνες σύρτη, δηλαδή χρησιμοποιούν ένα μοχλό που τον περιστρέφεται και εσωτερικά κατεβαίνει ο σύρτης και κλείνει σταδιακά το δίκτυο. Οι Βάνες που χρησιμοποιήθηκαν είναι βιδωτές, συνεπώς χρησιμοποιήθηκαν μεικτοί σύνδεσμοι για να την ένωση στο δίκτυο.



48. Βάνα συνδεδεμένη με μεικτούς συνδέσμους

4.4 Συναρμολόγηση του πειράματος

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, από τα πιο βασικά μέρη του πειράματος είναι η τροφοδοσία του δικτύου. Αυτή όπως περιεγράφηκε γίνεται μέσω μιας αντλίας που τραβάει νερό από μια δεξαμενή. Μετά την αντλία ακολουθεί μια βάνα, σωλήνα και μετά γωνία για να δημιουργηθεί ο οριζόντιος αγωγός πάνω στον οποίο θα στηθούν τα υπόλοιπα μέρη.



49. Παροχόμετρο, συνδεδεμένο στον αγωγό

Πρώτο εξάρτημα σύνδεσης αποτελεί το παροχόμετρο. Αυτό θα συνδεθεί φλαντζωτά με τον αγωγό, συνεπώς μετρήθηκε η επιθυμητή απόσταση από την γωνία, ώστε έπειτα να κοπεί η αντίστοιχη σε μέτρα σωλήνα. Στην άκρη της σωλήνας τοποθετήθηκε μια φλάντζα και έπειτα κολλήθηκε ένας λαιμός φλάντζας για να πατήσει πάνω η φλάντζα. Οπότε τελικά συνδέθηκε το παροχόμετρο με τη φλάντζα. Για καλύτερη σταθεροποίηση του αγωγού και λόγω βάρους των εξαρτημάτων, δέθηκε με τσέρκι το παροχόμετρο πάνω στο μεταλλικό σκελετό που προϋπήρχε από το προηγούμενο πείραμα.

Στη συνέχεια έπρεπε να εγκατασταθεί το πρώτο μανόμετρο. Για μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις, έπρεπε να τοποθετηθεί τουλάχιστον ένα μέτρο μακριά από άλλο σύνδεσμο ή εξάρτημα.

Προτού τοποθετηθεί το μανόμετρο όμως έπρεπε να προηγηθεί ένα πλάνο του πώς θα προχωρήσει παρακάτω ο αγωγός. Σύμφωνα με τη διάταξη του Κεφαλαίου 3.5, μετά το μανόμετρο θα ακολουθήσει η PAT. Όμως και μετά το μανόμετρο πρέπει να υπάρχει περιθώριο τουλάχιστον ένα μέτρο. Επίσης η αντλία που θα τοποθετηθεί, για να έχει το ρόλο μιας PAT πρέπει να αντιστραφεί η εισροή της με την εκροή της. Η κανονική εκροή της αντλίας αυτής είναι στραμμένη προς τα πάνω κατακόρυφα, η οποία θα γίνει τώρα εισροή. Επομένως η PAT θα πρέπει να τοποθετηθεί σε άλλο επίπεδο σε σχέση με το αρχικό κομμάτι του δικτύου. Οπότε θα χρησιμοποιηθεί μια γωνία πάλι για να στρίψει τη ροή του νερού κατακόρυφα προς τα κάτω, προς το στόμιο της αντλίας PAT.



50. Σωλήνα συνδεδεμένη αριστερά με το παροχόμετρο, δεξιά με γωνία και στη μέση τοποθετημένο το μανόμετρο

Έχοντας υπόψη τις ελάχιστες αποστάσεις που απαιτούνται για τις ακριβέστερες μετρήσεις στο μανόμετρο, κόπηκε λοιπόν μία σωλήνα με μήκος περίπου τρία μέτρα. Στο ένα άκρο της τοποθετήθηκε μια φλάντζα μαζί με το λαιμό της και στο άλλο άκρο κολλήθηκε μια γωνία 90°. Στη μέση ακριβώς της απόστασης, εγκαθίσταται η σέλα και πάνω της το μανόμετρο σύμφωνα με τη μέθοδο που αναλύθηκε παραπάνω.



51. Φλάντζες πριν τη γωνία

Όπως φαίνεται και στη φωτογραφία, τελικά πριν τη γωνία έχουν τοποθετηθεί φλάντζες. Αυτό έγινε εσκεμμένα καθώς έπρεπε αργότερα να αφαιρεθεί το τμήμα από τη γωνία μέχρι και την αντλία, όπως επίσης και από την αντλία και μετά ένα μέτρο απόσταση ένα κομμάτι. Σκοπός ήταν να τοποθετηθεί ένα μονοκόμματο κομμάτι αγωγού χωρίς να μεσολαβεί η αντλία και φανούν και να συγκριθούν τα χαρακτηριστικά του δικτύου με και χωρίς την PAT.

Γενικά παρατηρείται ότι η χρήση φλαντζών διευκολύνει πολύ την επεξεργασία του δικτύου, την προσθαφαίρεση τμημάτων και εξαρτημάτων, συνεπώς αυξάνει και την πληθώρα των πιθανών διερευνήσεων και αποτελεσμάτων που μπορούν να διεξαχθούν από αυτό.

Σύνδεση με την PAT

Όπως ειπώθηκε και νωρίτερα, στόχος είναι η διενέργεια του πειράματος με δύο διαφορετικής διαμέτρου αγωγούς. Το ένα δίκτυο θα έχει αγωγούς διαμέτρου Φ63 (2,5") και το άλλο Φ110 (4"). Μένει τώρα να ελεγχθεί η συμβατότητα με την PAT που θα τοποθετηθεί. Λόγω οικονομικών κυρίως περιορισμών, υπήρχε η δυνατότητα χρήσης μίας μόνο αντλίας, με διαφορετικές διαμέτρου στόμια απ' ό,τι αυτά των αγωγών που θα συνδεθούν. Συνεπώς για να την σύνδεση στο κάθε ένα δίκτυο, θα χρειαστούν οι αντίστοιχες προσαρμογές για το καθένα. Για να λυθεί το πρόβλημα αυτό, χρησιμοποιήθηκαν οι συστολές που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

4.4.1 Αγωγός Φ110

Η αντλία έχει στόμιο αναρρόφησης (στην κανονική λειτουργία της) με διάμετρο Φ90 (3,5") και στόμιο κατάθλιψης με διάμετρο Φ75 (3"). Αρχικά για το δίκτυο με αγωγούς Φ110 (4"). Το τελευταίο κομμάτι που έχει τοποθετηθεί στο δίκτυο είναι μια γωνία, η οποία θα "κατεβάσει" τον αγωγό κατακόρυφα προς τα κάτω για να συνδεθεί στην PAT (στο στόμιο κατάθλιψης της αντλίας, ώστε να επιτευχθεί λειτουργία της αντλίας ως PAT). Αν τώρα ήταν ίδια η διάμετρος του στομίου με τον αγωγό, απλώς θα μετρίοταν η απόσταση, θα τοποθετούνταν μια φλάντζα με το λαιμό της στην επαφή με την αντλία, κόλληση της σωλήνας στη γωνία, και βίδωμα τέλος της φλάντζας με τη φλάντζα της αντλίας. Από στιγμή που οι διάμετροι όμως δεν συμπίπτουν, προκύπτει η ανάγκη χρήσης της λύσης με τις συστολές.

Ξεκινάει ανάποδα η διαδικασία, πρώτα από την πλευρά της αντλίας. Αρχικά τοποθετείται μία λαστιχένια φλάντζα πάχους 2-3 mm, πάνω στο στόμιο της αντλίας για στεγανοποίηση. Έπειτα σειρά έχουν τα εξαρτήματα. Πρώτος έρχεται ο λαιμός της φλάντζας, μετά η φλάντζα και έπειτα ένα κομμάτι σωλήνα περίπου 40 cm μήκος. Όλα τα προηγούμενα ακολουθούν τη διάμετρο του στομίου, δηλαδή Φ75 (3").



52. Λαστιχένια φλάντζα για στεγανότητα

Στη συνέχεια ακολουθούν οι συστολές. Από τη σωλήνα Φ75 (3") συνεχίζει μια συστολή Φ75(3") / Φ90(3.5"). Κατευθείαν πάνω στη συστολή αυτή ταιριάζει μια άλλη συστολή Φ90(3.5") / Φ110(4"). Επομένως τελικά για να συνδεθεί ο αγωγός, θα χρησιμοποιηθεί μια μούφα Φ110(4"). Αυτή καλύπτει ακριβώς την εξωτερική διάμετρο της συστολής και του αγωγού.



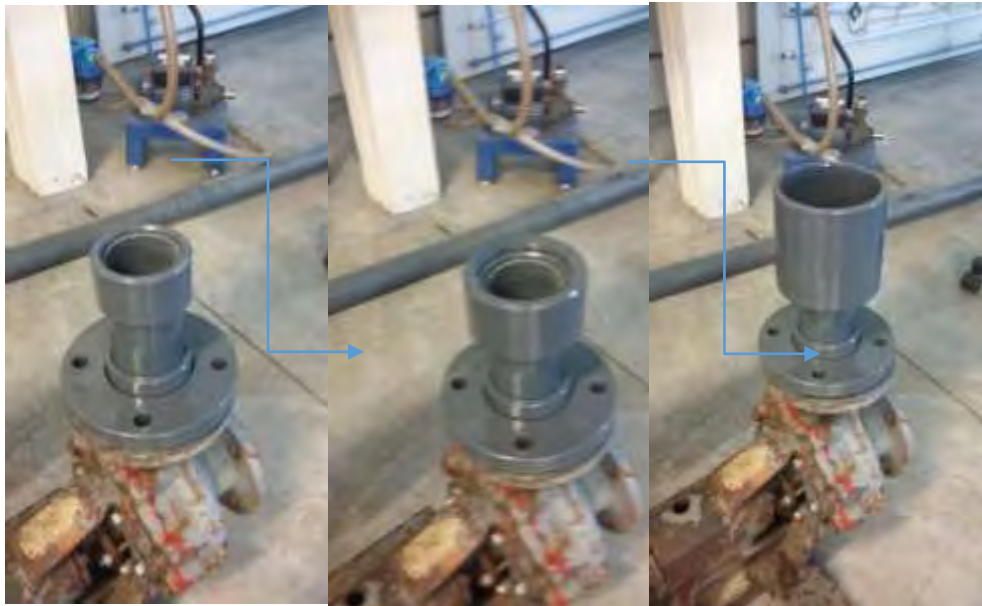
55α. Λαιμός Φλάντζας



53β. Φλάντζα πάνω στο λαιμό της



54. Σωλήνα Φ75



54α. Συστολή Φ75(3'')/Φ90(3.5'') 54β. Συστολή Φ90(3.5'')/Φ110 (4'') 54γ. Μούφα Φ110 (4'')

Έπειτα μετρίεται η απόσταση από το μέσο της μούφας (εσωτερικά), μέχρι το εσωτερικό της γωνίας, μετά την καμπύλη της, εκεί που αρχίζει το ευθύγραμμο τμήμα της. Κόβεται το αντίστοιχο κομμάτι σωλήνας και τοποθετείται στο εσωτερικό. Αφαιρούνται τότε όλα τα μέρη, καθαρίζονται, ξύνονται οι άκρες για τις κολλήσεις, καθαρίζονται καλά με διαλυτικό οι επιφάνειες που θα κολληθούν, επαλείφονται με αρκετή κόλλα και τέλος συνδέονται μεταξύ τους. Συναρμολογείται πλήρως όλο το κομμάτι αμέσως μόλις κολληθούν τα εξαρτήματα μεταξύ τους, ώστε πιθανές ατέλειες σε μετρήσεις, να προσαρμοστούν κατά το στέγνωμα στις επιθυμητές αποστάσεις. Αφήνεται τέλος για ένα εικοσιτετράωρο χωρίς να μετακινηθεί, που να δέσει η κόλληση. Αμέσως μετά ακολουθεί η σύνδεση του στομίου κατάθλιψης της PAT (ή αλλιώς του στομίου αναρρόφησης για την κανονική λειτουργία της αντλίας). Το στόμιο εδώ έχει διάμετρο Φ90 (3.5'').

Η διαδικασία παρόμοια με προηγουμένως. Πρώτα ξεκινά μια λαστιχένια φλάντζα (για στεγανότητα) και βιδώνεται απευθείας ο λαϊμός της φλάντζας με τη φλάντζα πάνω στην αντλία. Το στόμιο και η φλάντζα είναι διαμέτρου Φ90. Όμως στο εργαστήριο δεν υπήρχε εκείνη την χρονική στιγμή σωλήνα ή τουλάχιστον ρετάλι σωλήνας της αντίστοιχης διαμέτρου, οπότε χρησιμοποιήθηκαν προσαρμογές με τα υπάρχοντα υλικά μας. Τοποθετήθηκε αρχικά απευθείας μια συστολή Φ90 (3.5") / Φ63 (2.3"), η οποία ταιρίαζε ακριβώς στη "φωλιά" της φλάντζας και χρησιμοποιήθηκε ρετάλι σωλήνας Φ63 για να συνδεθεί εσωτερικά της συστολής. Κόπηκε ένα κομμάτι σωλήνας Φ63 μικρό, περίπου σαράντα με πενήντα πόντους, και τοποθετήθηκε. Ύστερα ακολουθήθηκε η ίδια ακριβώς διαδικασία με προηγουμένως, δηλαδή τοποθετήθηκε συστολή πρώτα Φ63 (2.5") / Φ90 (3.5"), μετά από πάνω δεύτερη συστολή Φ90 (3.5") / Φ110 (4") και τέλος μία μούφα Φ110 (4") για την ένωση με τη σωλήνα.



56. Ολοκληρωμένο το σύστημα



58. Φλάντζα Φ90 (3.4")



57. Φλάντζα - Συστολές - Μούφα



59. Ολόκληρο το σύστημα κολλημένο

Αφού ταιριάξανε τα εξαρτήματα μεταξύ τους, αφαιρέθηκαν, πλύθηκαν και κολλήθηκαν όπως προηγουμένως. Συναρμολόγηση και τοποθέτηση στο δίκτυο, για να ταιριάξουν σε αυτό και στέγνωμα για τουλάχιστον εικοσιτέσσερις (24) ώρες. Το κέλυφος της αντλίας όπως φαίνεται και στις φωτογραφίες, είναι κάθετα διαιρούμενο ή αλλιώς ακτινικά διαιρούμενο. Συνεπώς η ροή από την

αντλία και μετά θα συνεχιστεί παράλληλα με τον αγωγό που βρίσκεται πριν τη γωνία που κατεβάζει τον αγωγό στην αντλία, με κατεύθυνση αντίθετη προς τη δεξαμενή. Θα ακολουθήσει στην συνέχεια μια διαδρομή περίπου τρία (3) μέτρα μετά την έξοδο από την αντλία και έπειτα θα δημιουργηθεί αγωγός επιστροφής του νερού στη δεξαμενή για ανακύκλωση του στο δίκτυο.

Μετά την έξοδο από την αντλία ο αγωγός θα συνεχίσει να απομακρύνεται για περίπου τρία μέτρα ακόμα. Αυτό γίνεται για την τοποθέτηση ενός μανόμετρου κατάντι της ΡΑΤ ώστε να φανεί τελικά πώς αυτή επηρεάζει την πίεση στο δίκτυο. Όπως αναφέρθηκε, απαιτείται μία απόσταση ασφαλείας πριν και μετά το μανόμετρο τουλάχιστον ενός μέτρου, οπότε και δικαιολογείται η απόσταση των τριών μέτρων, μιας και το μανόμετρο θα μπει στη μέση της απόστασης αυτής.

Μετά τα τρία αυτά μέτρα ακολουθεί γωνία 90°, σωλήνα περίπου ένα μέτρο και γωνία 90° πάλι. Με τον τρόπο αυτό ουσιαστικά δημιουργείται ένας αγωγός επιστροφής, που επιστρέφει το νερό πίσω στη δεξαμενή.

Για τη σταθεροποίηση του αγωγού επιστροφής χρησιμοποιήθηκαν ειδικά πιαστράκια σωληνώσεων. Στο κομμάτι του αγωγού από την αντλία μέχρι την πρώτη γωνία, λόγω υψομετρικής διαφοράς από τον αγωγό επιστροφής, τοποθετήθηκε μια μεγάλη παλέτα βαρέου τύπου, πάνω στην οποία δέθηκε ο αγωγός με τσέρκι.



61. Γωνίες για επιστροφή στη δεξαμενή

60. Αγωγός Επιστροφής στη δεξαμενή

62. Στηρίγματα του αγωγού στο έδαφος

Το τελικό αποτέλεσμα είναι το παρακάτω:



64. Το δίκτυο συνδεδεμένο στην PAT και ο αγωγός επιστροφής στη δεξαμενή



63. Διακλάδωση προς θάνα καθαρισμού και προς τη δεξαμενή

Ο αγωγός επιστροφής καταλήγει στη δεξαμενή. Εκεί προτού ανεβεί πάνω στη δεξαμενή συναντάει ένα διακλαδωτήρα (ΤΑΦ). Ο ρόλος του απλός. Κατακόρυφα προς τα πάνω το δίκτυο καταλήγει στη δεξαμενή. Οριζόντια όμως, μετά το ΤΑΦ υπάρχει μια βάννα. Με το άνοιγμα της επιτρέπεται η ροή του νερού μέσω ενός πράσινου λάστιχου πίεσεως που καταλήγει στην αποχέτευση. Ουσιαστικά πρόκειται για μια βάννα καθαρισμού, με τον τρόπο αυτό δηλαδή αδειάζει το δίκτυο για να καθαρίσει. Κατακόρυφα πάνω προς τη δεξαμενή, συναντάται μια γωνία η οποία συνδέεται με κομμάτι σωλήνας κι έπειτα μία βάννα. Μετά τη βάννα ομοίως πάλι σωλήνα και γωνία που οδηγούν το νερό μέσα στη δεξαμενή. Η βάννα είναι συνδεδεμένη με τη σωλήνα με τη χρήση μεικτών συνδέσμων δεξιά και αριστερά. Στο κομμάτι του αγωγού που καταλήγει στη δεξαμενή, δεν είχε τοποθετηθεί βάννα αρχικά. Κατά τις δοκιμές του δικτύου όμως παρατηρήθηκε ότι ο αγωγός δεν καταφέρνει να γεμίσει πλήρως και δημιουργούταν ένας στροβιλισμός του νερού μέσα στην σωλήνα, κατάσταση η οποία δεν ήταν επιθυμητή. Οπότε χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω λύση για το πρόβλημα. Μετά την αντλία που παροχετεύει το δίκτυο υπάρχει εξ αρχής εγκατεστημένη μια βάννα (έστω Α). Με αυτήν ρυθμίζεται η παροχή και η αρχική πίεση στο δίκτυο. Τοποθετείται λοιπόν άλλη μία βάννα (έστω Β) πριν την απόληξη του αγωγού. Κατά τη λειτουργία του

δικτύου, ενώ είναι ελαφρώς ανοιχτή η πρώτη βάννα (Α), κλείνει αρχικά σταδιακά η βάννα (Β) αφήνοντας μικρό περιθώριο για το νερό. Παραμένει σε σταθερό σημείο ανοιχτή η βάννα Α και αφού η πίεση στο

μανόμετρο αρχίζει να ανεβαίνει, σημαίνει πως γεμίζει ο αγωγός. Μόλις σταθεροποιηθεί η ένδειξη του μανομέτρου συνεπάγεται πως ο αγωγός έχει γεμίσει. Επομένως έπειτα ακολουθεί το άνοιγμα σιγά-σιγά πάλι της βάνας Α για να αυξηθεί η παροχή και η πίεση του δικτύου. Παράλληλα ανοίγει και η βάνα Β, όχι όμως τελείως, αλλά μέχρι το σημείο που διατηρεί τον αγωγό πλήρες, χωρίς κενά και στροβιλισμούς.

Εγκατάσταση της βάνας στην απόληξη του αγωγού

Η εγκατάσταση της βάνας είναι σχετικά εύκολη διαδικασία. Αυτή θα συνδεθεί με τη χρήση μεικτών συνδέσμων. Η βάνα έχει βόλτες εσωτερικά, οπότε έρχεται η μία πλευρά του συνδέσμου να βιδωθεί στη βάνα και η άλλη με μορφή μούφας, να κολληθεί στην σωλήνα.



65. Βάνα με εσωτερικές βόλτες



66. Βάνα με σύνδεσμο

Για καλύτερη στεγανοποίηση μεταξύ βάνας και συνδέσμου, χρησιμοποιήθηκε ειδική ταινία τεφλόν, η οποία τυλίγεται στις βόλτες του συνδέσμου.

4.4.2 Αγωγός Φ63

Μέχρι στιγμής παρουσιάστηκε το στήσιμο του πειράματος όσον αφορά τον αγωγό διαμέτρου Φ110 (4"). Στη συνέχεια θα αναλυθεί η δημιουργία του δικτύου με αγωγούς διαμέτρου Φ63, τις συνδέσεις του αγωγού με την ΡΑΤ καθώς και τον αγωγό επιστροφής στη δεξαμενή. Η διαδικασία είναι σε γενικές γραμμές η ίδια, με μερικές μετατροπές ανά σημεία. Σε αυτό το σημείο σημειώνεται ότι αρχικά το στήσιμο του αγωγού αυτού έγινε πάνω σε άλλο μεταλλικό σκελετό, στη θέση ενός άλλου πειράματος που λύθηκε, απέναντι από τον άλλο αγωγό που δημιουργήθηκε. Τελικά όμως, λόγω τεχνικών προβλημάτων, αποφασίστηκε να στηθεί πάνω στον ίδιο μεταλλικό σκελετό με τον άλλο αγωγό μαζί (θα γίνει αναφορά σε άλλη παράγραφο πιο αναλυτικά για το στήσιμο αυτό και περισσότερες λεπτομέρειες).

Ξεκινάει λοιπόν η διαδικασία με κύριο παράγοντα την τροφοδοσία του δικτύου. Όπως και πριν, η τροφοδοσία θα γίνεται μέσω της εγκατεστημένης αντλίας που είναι συνδεδεμένη στη δεξαμενή. Από πάνω φεύγει ο αγωγός και ακολουθεί μια βάνα (η οποία ελέγχει την παροχή στο δίκτυο) ένα κομμάτι σωλήνα, γωνία, σωλήνα πάλι και φλάντζα με το λαιμό της. Οπότε ουσιαστικά το σημείο αφετηρίας για τον αγωγό Φ63 (2.5") είναι η φλάντζα αυτή. Η διαδικασία θα προχωρήσει πάλι ανάποδα στο σημείο αυτό. Αντί να ξεκινήσει η συναρμολόγηση από την φλάντζα κατευθείαν, θα ξεκινήσει από την άλλη

άκρη της. Το πρώτο πράγμα που συναντά ο αγωγός είναι το παροχόμετρο. Μετριέται στο περίπου η επιθυμητή απόσταση για την τοποθέτηση του και κόβεται ένα κομμάτι σωλήνα(Φ63). Στην μία άκρη συνδέεται με κόλλα μία συστολή Φ63 (2.5") / Φ75 (3") και κατευθείαν πάνω σ αυτή άλλη μία συστολή Φ75 (3") / Φ110 (4").



Επιθυμητό σημείο συνάντησης η φλάντζα Φ110 (4") επομένως θα χρειαστεί κομμάτι σωλήνα για να συνδεθεί ο λαιμός της φλάντζας. Συνεπώς χρησιμοποιείται μια μούφα, στην οποία από τη μία πλευρά συνδέεται με κόλλα ένα μικρό κομμάτι σωλήνα Φ110 (4") περίπου σαράντα (40) εκατοστά μήκος και στην άλλη πλευρά της μούφας συνδέεται

67. Σύνδεση του αγωγού Φ63 με την αντλία

με κόλλα η τελευταία συστολή (η εξωτερική διάμετρος της συστολής είναι ίδια με την εσωτερική διάμετρο της μούφας, οπότε έρχονται και εφαρμόζουν ακριβώς η μία με την άλλη). Στο άλλο άκρο της σωλήνας Φ110 (4") συνδέεται τελικά ένας λαιμός φλάντζας (αφού έχει τοποθετηθεί εσωτερικά η φλάντζα πρώτα) και τα εξαρτήματα είναι έτοιμα να συνδεθούν. Το τελικό αποτέλεσμα φαίνεται στη φωτογραφία 62. Εύκολα παρατηρείται στη φωτογραφία ο αγωγός Φ110 (4") δίπλα στον καινούριο Φ63 (2.5"). Ο μεταλλικός σκελετός που τα στηρίζει είναι κοινός και η μετακίνηση του κάθε αγωγού πάνω σ αυτόν είναι σχετικά εύκολη, καθώς και τα δύο δίκτυα αποτελούνται από πολλά μέρη τα οποία ανεξαρτοποιούνται το ένα από το άλλο. Στη συνέχεια ακολουθεί το παροχόμετρο. Είναι ήδη γνωστή η επιθυμητή απόσταση τοποθέτησης του, οπότε απλά συνδέεται μία φλάντζα (Φ63) με το λαιμό της στην άκρη της σωλήνας. Το παροχόμετρο με τη φλάντζα ενώνονται με βίδες, παξιμάδια και ροδέλες ενώ μεταξύ φλάντζας και παροχόμετρου μεσολαβεί και μία λαστιχένια φλάντζα για στεγανότητα.



68. Παροχόμετρο σε σύνδεση με τον αγωγό Φ63 (2.5")

Μετά το παροχόμετρο η διαδικασία είναι ίδια. Φλάντζα με το λαιμό της κολλούνται σε σωλήνα Φ63 (2.5") και ακολουθεί ένα μήκος κατ' ελάχιστο τρία μέτρα. Αυτό διότι απαιτείται να συνδεθεί και μανόμετρο μεταξύ παροχόμετρου και γωνίας. Μετριέται στο επιθυμητό μήκος (περίπου ίδιο με τον

δίπλα αγωγό Φ110) και κόβεται η σωλήνα. Στο άκρο της συνδέεται μια γωνία με φορά προς τα κάτω. Στη μέση της απόστασης εγκαθίσταται το μανόμετρο με τη διαδικασία που περιεγράφηκε παραπάνω.



70. Κόλληση γωνίας στην αγωγή Φ63



69. Μανόμετρο στον αγωγό

Σύνδεση με την PAT

Εδώ η διαδικασία παρόμοια πάλι με προηγουμένως, δηλαδή χρήση συστολών. Το στόμιο αναρρόφησης για την PAT έχει διάμετρο Φ75 (3'') επομένως θα συνδεθεί με φλάντζα Φ75. Συνδέεται ένα κομμάτι σωλήνα διαμέτρου Φ75 (3'') και μήκους περίπου σαράντα εκατοστά με ένα λαιμό φλάντζας και τοποθετείται και η φλάντζα περιμετρικά του. Έπειτα ακολουθεί μία συστολή Φ75 (3'') / Φ63 (2.5'') η οποία έχει μια εσοχή από την μία πλευρά και έρχεται και εφαρμόζει η σωλήνα Φ75 (3'') (με κόλλα). Από την άλλη πλευρά, απλώς εισέρχεται η σωλήνα Φ63 (2.5'') στο εσωτερικό της συστολής και ενώνεται με κόλλα. Από εκεί και πάνω απλώς μετρείται η απόσταση μεταξύ συστολής και γωνίας (εσωτερικά της γωνίας) κόβεται η σωλήνα στην επιθυμητή απόσταση και συνδέεται με τη γωνία.



71. Σύνδεση του αγωγού Φ63 (2.5'') με την PAT

Το στόμιο κατάθλιψης για την PAT έχει διάμετρο Φ90 (3.5''). Σύνδεση πρώτα με φλάντζα Φ90 και το λαιμό της στην επαφή τους. Εδώ λόγω έλλειψης σωλήνας διαμέτρου Φ90 (3.5'') υποχρεωτικά

μεσολάβησε μία κόλληση της συστολής κατευθείαν μέσα στο λαιμό της φλάντζας. Χρησιμοποιήθηκε συστολή Φ90 (3.5") / Φ63 (2.5") της οποίας ταίριαζε η εξωτερική της διάμετρος με την εσωτερική του λαιμού της φλάντζας, συνεπώς και τα κολλήθηκαν μαζί. Από εκεί έφυγε κατευθείαν σωλήνα διαμέτρου Φ63 σε απόσταση περίπου δύο μέτρων μακριά από την αντλία. Σημειώνεται ότι μεταξύ των φλαντζών της αντλίας και των αγωγών στα στόμια αναρρόφησης και κατάθλιψης, μεσολαβούν λαστιχένιες φλάντζες αντίστοιχων διαμέτρων σε κάθε περίπτωση, για τη στεγανοποίηση.

Επόμενο για τοποθέτηση είναι το μανόμετρο. Μετριέται από την αντλία μία απόσταση περίπου ενάμιση μέτρο (1,5 μ) και τοποθετείται το μανόμετρο όπως και προηγουμένως.

Τέλος έμεινε ο αγωγός επιστροφής στη δεξαμενή. Για εξοικονόμηση υλικών (σωλήνας και δύο γωνιών που δεν υπήρχαν εκείνη τη χρονική στιγμή στο εργαστήριο) η σύνδεση έγινε λίγο διαφορετικά. Υπήρχε διαθέσιμο ένα κομμάτι λάστιχο πράσινο πίεσεως στο εργαστήριο που δεν χρειαζόταν. Για να συνδεθεί στο δίκτυο απλώς δημιουργήθηκε μία μικρή σχισμή στην κάθε άκρη για να τοποθετηθεί εσωτερικά του λάστιχου η σωλήνα. Προτού μπει η σωλήνα μέσα, επαλείφθηκε με κόλλα και έπειτα τοποθετήθηκε περίπου είκοσι εκατοστά μέσα στο λάστιχο από κάθε πλευρά. Τέλος χρησιμοποιήθηκαν ειδικό κολιέδες για τη σύσφιξη των δύο υλικών μεταξύ τους (αντίστοιχοι με αυτούς που τοποθετούνται στα λάστιχα στις βρύσες, απλώς μεγαλύτεροι).



72. Ο αγωγός Φ63 (2.5") συνδεδεμένος με την PAT και τον αγωγό επιστροφής

4.5 Η αντλία PAT που χρησιμοποιήθηκε

4.5.1 Παρουσίαση της αντλίας

Η αντλία που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα είναι μια απλή φυγοκεντρική αντλία κοινού τύπου, κατασκευασμένη από την ελληνική εταιρεία ΚΗΜ. Βασικά χαρακτηριστικά της: Μονοβάθμια, με ελαιοδοχείο για λίπανση των ρουλεμάν και σαλαμάστρα για στεγανοποίηση. Το στόμιο της

αναρρόφησης έχει διάμετρο 3,5'' (Φ90) ενώ το στόμιο της κατάθλιψης έχει διάμετρο 3'' (Φ75). Μέγιστη παροχή τα 96 κυβικά ανά ώρα, μανομετρικό μέχρι 70 μέτρα και ισχύς της αντλίας 15 20 25 και 30 HP στις 2900 στροφές ανά λεπτό. Κίνηση γίνεται είτε δεξιόστροφα είτε αριστερόστροφα και εσωτερικά έχουμε ορειχάλκινη φτερωτή διαμέτρου 15,9 εκατοστά και ανοξείδωτος άξονας πάχους 19 χιλιοστά.



73. Η αντλία όπως αγοράστηκε από το παλιατζίδικο

Η αντλία αγοράστηκε μεταχειρισμένη από παλιατζίδικο και ήταν σε ελαφρώς διαβρωμένη κατάσταση. Λύθηκε πλήρως στο εργαστήριο, πλύθηκε και καθαρίστηκε με χρήση ειδικών χημικών και κατάλληλου εξοπλισμού. Έπειτα ακολούθησε η αγορά και αντικατάσταση παλιών και φθαρμένων μερών. Αγοράστηκαν καινούρια ρουλεμάν SKF 6204 και τσιμούχες, μπροστά και πίσω, όπως επίσης και σαλαμάστρα για τη στεγανοποίηση της. Τοποθετήθηκε καινούριο λάδι ψιλό 10ράκι στο ελαιοδοχείο με καινούρια τάπα καθώς έλειπε η παλιά. Τα σώματα της αντλίας ενώθηκαν μεταξύ τους βιδωτά και ενδιάμεσα χρησιμοποιήθηκε φλατζόχαρτο και φλατζόκολλα για καλύτερη στεγανοποίηση.

Κατά τη πρώτη δοκιμή της ύστερα από την επισκευή, η αντλία συνδέθηκε υπό πολύ χαμηλή πίεση στο δίκτυο. Εκεί έγινε και μια πρώτη ρύθμιση της σαλαμάστρας, σφίγγοντας κατάλληλα και εναλλάξ τα παξιμάδια του συπινοθλίπτη. Μετά την επιτυχή ρύθμιση και λειτουργία της αντλίας, αφαιρέθηκε από το δίκτυο, καθαρίστηκε η βάση της και απομακρύνθηκε η όποια υπολειπόμενη σκουριά υπήρχε. Πλύσιμο, στέγνωμα και βάψιμο με ειδική μπογιά που περιείχε αστάρι για προστασία του μετάλλου μακροπρόθεσμα. Αναλυτικότερα η όλη διαδικασία επισκευής της αντλίας θα παρουσιαστεί αμέσως παρακάτω.

4.5.2 Λύσιμο της αντλίας

Πρώτο βήμα για το λύσιμο της αντλίας είναι η αποσυναρμολόγηση του ακτινικά διαιρούμενου κελύφους της αντλίας από το υπόλοιπο σώμα της. Με τον τρόπο αυτό δίνεται πρόσβαση στο εσωτερικό της και πιο συγκεκριμένα στην φτερωτή της αντλίας.



74. Ακτινικά Διαιρούμενο Κέλυφος



75. Χώρος κίνησης της πτερωτής στο εσωτερικό



76. Πτερωτή κλειστού τύπου στο εσωτερικό

Η πτερωτή είναι ορειχάλκινη, κλειστού τύπου με εσωτερικά πτερύγια. Εδραιώνεται πάνω στον άξονα της αντλίας μέσω μιας σφήνας μεταξύ της πτερωτής και του άξονα, η οποία ουσιαστικά αγκυρώνει την πτερωτή στον άξονα και του δίνει την περιστροφή. Επιπρόσθετα χρησιμοποιείται μια ειδική ασφάλεια στο μέτωπο της πτερωτής στην επαφή της με τον άξονα, ώστε να αποκλείσει τις μετατοπίσεις της κατά μήκος του άξονα. Αφού αφαιρέθηκε η ειδική ασφάλεια, έπειτα βγήκε η πτερωτή από τον άξονα της. Καθαρίστηκε, πλύθηκε και ελέγχθηκε η κατάσταση της. Βρέθηκαν μερικά ίχνη σκουριάς και ελαφρού τύπου διάβρωση σε ορισμένα σημεία. Παρόλα αυτά, η πτερωτή παρέμενε σε λειτουργική κατάσταση, οπότε δεν χρειάστηκε να αντικατασταθεί. Επίσης σε καλή κατάσταση βρισκόταν και η σφήνα της. Η ειδική ασφάλεια που αναφέρθηκε προηγουμένως όμως δεν ήταν σε καλή κατάσταση οπότε και την αντικαταστάθηκε με καινούρια.



77. Σφήνα μεταξύ άξονα και πτερωτής

Επόμενο στάδιο ήταν το τμήμα στεγανοποίησης της αντλίας. Μετά το ακτινικά διαιρούμενο κέλυφος που αναφέρθηκε προηγουμένως ακολουθεί ένας θάλαμος μικρός που αποτελεί ουσιαστικά την πλάτη του κελύφους με μια τρύπα στη μέση από την οποία εξέρχεται ο άξονας της αντλίας. Το κομμάτι αυτό επίσης είναι βιδωτό με βίδες και παξιμάδια συνδεδεμένο στο υπόλοιπο σώμα της αντλίας.



78. Υπόλοιπο σώμα της αντλίας χωρίς το κέλυφος

Ουσιαστικά το νερό εισέρχεται στο κέλυφος της αντλίας από το στόμιο της αναρρόφησης και με την περιστροφική κίνηση της πτερωτής εξέρχεται από το στόμιο της κατάθλιψης. Η πτερωτή κινείται μέσω του άξονα που είναι συνδεδεμένος μέσω κάποιου συστήματος επαφής (κόμπλερ, τροχαλίας, κτλ) σε κάποιο αντίστοιχο σύστημα κίνησης (μοτέρ, γεννήτρια, κτλ). Για να εισέλθει λοιπόν ο άξονας στην πτερωτή και κατά συνέπεια στο κέλυφος της πτερωτής όπου βρίσκεται το υγρό θα χρειαστεί κάποια δίοδος και συνεπώς ένα μέσο στεγανοποίησης για να μη διαρρέει το υγρό. Συνεπώς και χρησιμοποιείται αυτή η “πλάτη” που αναφέρθηκε στην οποία από την μία πλευρά υπάρχει η πτερωτή και από την εξωτερική της πλευρά κάποιος μηχανισμός στεγανοποίησης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιείται σαλαμάστρα (στυπείο) για στεγανοποίηση, η οποία ρυθμίζεται κατάλληλα μέσω ενός στυπιοθλίπτη που έρχεται σε επαφή με τη σαλαμάστρα. Η ρύθμιση του γίνεται μέσω δύο παξιμαδιών που τα σφίγγονται όσο απαιτείται και πιέζουν τον στυπιοθλίπτη και ταυτόχρονα την σαλαμάστρα. Η στεγανοποίηση πρέπει να γίνεται μόνο κατά τη λειτουργία της αντλίας και παρόλο που φαίνεται εύκολη διαδικασία, απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή και συνιστάται μόνο σε εξειδικευμένο προσωπικό (διότι περίσσεια πίεση στη σαλαμάστρα επιφέρει μειωμένες αποδόσεις της πτερωτής και μικρότερη επιφέρει αυξημένες διαρροές και απώλειες πίεσης).



80. Στυπιοθλίπτης τοποθετημένος στην πλάτη του κελύφους



79. Πλάτη του κελύφους πίσω από την πτερωτή

Ύστερα και από την αφαίρεση της πλάτης του κελύφους με το στυπιοθλίπτη, έμεινε το ελαιοδοχείο της αντλίας και στο εσωτερικό του τα έδρανα στήριξης (ρουλεμάν). Για πρόσβαση στα έδρανα στήριξης (ρουλεμάν) απλά αφαιρούνται τα καπάκια του ελαιοδοχείου μπροστά και πίσω. Ξεβιδώνονται οι βίδες που τα συγκρατούν πάνω στο σώμα της αντλίας και εμφανίζονται τα ρουλεμάν. Προτού αφαιρεθούν τα καπάκια ελέγχεται η ύπαρξη εναπομένου λαδιού στο εσωτερικό του δοχείου. Σε περίπτωση που υπάρχει λάδι στο εσωτερικό, εύκολα αφαιρείται ξεβιδώνοντας την ειδική τάπα που υπάρχει στην πίσω πλευρά κάτω από το καπάκι του δοχείου.



83. Ελαιοδοχείο αντλίας



81. Μπροστινό Καπάκι Ελαιοδοχείου



82. Πίσω Καπάκι Ελαιοδοχείου

Με ιδιαίτερη προσοχή έπειτα αφαιρούνται τα έδρανα από το εσωτερικό μαζί με τον άξονα της αντλίας. Μετά από καθάρισμα παρατηρήθηκε μια ρωγμή στο εξωτερικό περίβλημα του ενός εδράνου, συνεπώς και προέκυψε η αντικατάστασή του. Τα καινούρια ρουλεμάν που τοποθετήθηκαν είναι της εταιρείας SKF με κωδικό 6204. Η παραγγελία τους έγινε χωρίς καπάκια για το λόγο ότι είναι επιθυμητό το λάδι από το ελαιοδοχείο να εισέρχεται στο εσωτερικό τους και να τα λιπαίνει (ο οποίος είναι και ο λόγος ύπαρξής του). Επίσης τα ρουλεμάν δεν έρχονται σε επαφή με το νερό οπότε δεν υπάρχει ανησυχία και δεν χρειάζονται και τα καπάκια που προαναφέραμε. Τέλος αντικαταστάθηκαν και οι τσιμούχες καθώς ήταν επίσης φαγωμένες και θα εμφανιζόταν διαρροές με τις παλιές. Αυτές τοποθετούνται στα καπάκια του ελαιοδοχείου σε ειδική “πατούρα” (“φωλιές”) και περιμετρικά του άξονα και χρησιμεύουν για στεγανοποίηση του ελαιοδοχείου.

Στο σημείο αυτό ολοκληρώθηκε το λύσιμο της αντλίας. Έπειτα πλύθηκαν και καθαρίστηκαν με ειδικά χημικά όλα τα παρελκόμενα της αντλίας και αφού έγινε η παραλαβή των υλικών που χρειαζόταν, ακολούθησε η διαδικασία της συναρμολόγησης της. Σε γενικές γραμμές δεν είναι ιδιαίτερα δύσκολη η όλη διαδικασία, απλώς απαιτεί γνώση του αντικειμένου και λίγη εμπειρία στο χώρο, στο τι θα συναντήσει κανείς και πως θα το αντιμετωπίσει. Ευτυχώς υπήρχε συνεργασία και συνεχή επικοινωνία με το αρμόδιο προσωπικό, με την κατάλληλη τεχνογνωσία, που καθοδηγούσε την όλη διαδικασία.

4.5.3 Συναρμολόγηση της αντλίας

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η συναρμολόγηση δεν είναι ιδιαίτερη δύσκολη, προσοχή σε ορισμένα σημεία χρειάζεται και με την κατάλληλη καθοδήγηση όλα ήρθαν στην θέση τους επιτυχώς. Ξεκίνησε λοιπόν η συναρμολόγηση από τα τελευταία κομμάτια που αποσυναρμολογήθηκαν, δηλαδή με τα έδρανα στήριξης (ρουλεμάν) στον άξονα και στο ελαιοδοχείο. Τα έδρανα είναι εφαρμοστά στον άξονα και κουμπώνουν εύκολα πάνω του. Τοποθετείται πρώτα το ένα ρουλεμάν μόνο στον άξονα (το πίσω, από την πλευρά του στυπιοθλίπη) και περνάει ο άξονας μέσα στο ελαιοδοχείο από την αντίστοιχη πλευρά. Με το που προβάλλει ο άξονας από την απέναντι πλευρά, τοποθετείται από έξω και το δεύτερο ρουλεμάν. Με αυτόν τον τρόπο κουμπώνουν εφαρμοστά και τα δύο ρουλεμάν και στον άξονα αλλά και στην υποδοχή του ελαιοδοχείου. Περνάνε έπειτα οι τσιμούχες μία σε κάθε πλευρά και βιδώνονται τα καπάκια πίσω στη θέση τους. Δυστυχώς λόγω παλαιότητας και διάβρωσης στις επαφές, τα καπάκια δεν εφαρμόζουν πλήρως στις υποδοχές τους. Επίσης δεν υπάρχει η δυνατότητα αντικατάστασής τους (λόγω το ότι η εταιρεία κατασκευής της έχει κλείσει) οπότε για να καλυφθούν τα όποια κενά υπάρχουν χρησιμοποιήθηκε ειδική σιλικόνη στεγανοποίησης κατάλληλη για μόνωση υγρών.



84. Ρουλεμάν 6204



85. Τσιμούχα στο εσωτερικό του



86. Μόνωση κενών με ειδική σιλικόνη

Αφού ολοκληρώθηκε το πρώτο κομμάτι, σειρά έχει η πλάτη του κελύφους. Εκεί θα τοποθετηθεί σαλαμάστρα για στεγανοποίηση. Πρώτα όμως τοποθετείται η πλάτη του κελύφους και βιδώνεται με το υπόλοιπο σώμα (ελαιοδοχείο). Μετά ακολουθεί η πτερωτή η οποία εγκαθίσταται στον άξονα με τη χρήση μιας σφήνας και της καινούριας ειδικής ασφάλειας. Έπειτα συνδέεται το κέλυφος, ο χώρος που βρίσκεται η φτερωτή που απορροφάει το νερό από το στόμιο αναρρόφησης και το στέλνει στο στόμιο κατάθλιψης. Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή για τη σωστή στεγανοποίηση του για να την αποφυγή διαρροών και παράλληλα τη διαφύλαξη της σωστής λειτουργίας της αντλίας. Για την ένωση με το υπόλοιπο σώμα θα χρησιμοποιηθεί μια ειδική κόλλα, γνωστή και ως φλατζόκολλα, ιδανική για σύνδεση και ταυτόχρονα μόνωση των μερών μεταξύ τους.



88. Τοποθέτηση φλατζόκολλας



87. Κόλλα σε όλες τις επιφάνειες επαφής



87. Φλατζόκολλα που χρησιμοποιήθηκε

Επιπρόσθετα, απαιτείται και η χρήση ενός ειδικού χαρτιού, ή αλλιώς φλαντζόχαρτο, που επίσης κι αυτό βοηθά στην καλύτερη στεγανοποίηση του κελύφους. Για την τοποθέτηση του, αγοράστηκε ένα κομμάτι από το χαρτί αυτό που να καλύπτει όλο το απαιτούμενο εμβαδόν, και τοποθετείται πάνω στην επιφάνεια του κελύφους (αφού έχουν αφαιρεθεί όλες τις βίδες πρώτα).



89. Σύνδεση του κελύφους με το υπόλοιπο σώμα



89. Βίδωμα των εξαρτημάτων μεταξύ τους



90. Φλατζόχαρτο τοποθετημένο

Στη συνέχεια με τη χρήση ενός ειδικού σφυριού από τεφλόν, χτυπιέται πολύ ελαφρά περιμετρικά του κελύφους. Το υλικό είναι από μόνο του πολύ ευαίσθητο συνεπώς με το ελαφρύ χτύπημα δημιουργείται το επιθυμητό σχήμα. Στην παρακάτω φωτογραφία παρατηρείται στο βάθος δεξιά, το εξωτερικό περίγραμμα του χαρτιού όπως επίσης και το εσωτερικό, που έχουν αφαιρεθεί με τη χρήση της προαναφερθείσας μεθόδου. Τέλος, τοποθετείται λίγη ακόμα κόλλα στο χαρτί πάνω για να έρθει σε επαφή και με την άλλη επιφάνεια και συναρμολογούνται τα κομμάτια μεταξύ τους.

Κατά την ένωση των κομματιών, η περίσσεια κόλλα διαφεύγει από την επαφή τους προς τα έξω. Αυτό είναι επιθυμητό καθώς σημαίνει ότι καλύφθηκαν πλήρως οι επιφάνειες. Μετά το στέγνωμα της απομακρύνεται με ένα μαχαίρι ότι προεξέχει.

Αφού ολοκληρώθηκε η βασική συναρμολόγηση σειρά έχει η στεγανοποίηση. Στη διπλανή εικόνα φαίνεται η πλάτη του κελύφους από την εξωτερική της πλευρά. Στη μέση της, στη φωλιά της δηλαδή, τοποθετείται η σαλαμάστρα και από πάνω της ο στυπιοθλίπτης, που με τη χρήση δύο παξιμαδιών που τοποθετούνται στις εικονιζόμενες βίδες εσωτερικά, σφίγγεται η σαλαμάστρα και ρυθμίζεται η στεγανότητα όσο απαιτείται.



91. Σαλαμάστρα



92. Φωλιά υποδοχής σαλαμάστρας

Τέλος, τοποθετείται καινούριο λάδι, ψιλό, δεκαράκι, μέσα στο ελαιοδοχείο και γεμίζουμε μέχρι την πλήρωση του δοχείου (αφού έχει πρώτα τοποθετηθεί το παξιμάδι μπροστά στο δοχείο που χρησιμοποιείται για το άδειασμα και καθάρισμα του). Επίσης αγοράστηκε καινούρια τάπα για την τρύπα υποδοχής λαδιού, καθώς η παλιά έλειπε.

Παρακάτω είναι ορατό το τελικό αποτέλεσμα της συναρμολόγησης. Το κόμπλερ δεν χρειάζεται για το πείραμα, απλώς τοποθετήθηκε σε πρώτη φάση για την καλύτερη επίβλεψη των στροφών του άξονα κατά τις πρώτες δοκιμές στο δίκτυο.



93. Ολοκληρωμένη η συναρμολόγηση της αντλίας

4.6 Παράλληλο στήσιμο αγωγού Φ63

Το σκεπτικό αρχικά ήταν απλό. Θα στηνόταν σε ένα χώρο του εργαστηρίου ένα δίκτυο με αγωγούς Φ110 (4'') και σε ένα άλλο χώρο ένα άλλο δίκτυο με αγωγούς Φ63 (2.5''). Για λόγους όμως που θα αναλυθούν παρακάτω δεν επιτεύχθηκε η σκέψη αυτή. Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστεί συνοπτικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε, το στήσιμο, η αντλία που τοποθετήθηκε (και η επισκευή της) και τα αποτελέσματα αυτής.

4.6.1 Ο χώρος

Απέναντι από τον χώρο που στήθηκε το δίκτυο με τον αγωγούς Φ110 (4'') υπήρχε εγκατεστημένο το παρακάτω πείραμα. Αυτό είναι ένα πείραμα ανοιχτών αγωγών στο οποίο ελέγχεται η ροή σε ένα ανοιχτό αγωγό, η περίπτωση του θυροφράγματος καθώς επίσης και του υδραυλικού άλματος. Ύστερα από επικοινωνία με τον αρμόδιο υπεύθυνο του εργαστηρίου και του συγκεκριμένου πειράματος, κ Κεραμάρη Βαγγέλη, δόθηκε άδεια για το λύσιμο του και τη μετακίνηση του σε άλλο χώρο του εργαστηρίου προσωρινά, μέχρι τη λήξη του πειράματος.

Η επιλογή του συγκεκριμένου πειράματος προφανώς και δεν είναι τυχαία. Υπάρχουν έτοιμα εγκατεστημένα, δεξαμενή συνδεδεμένη σε αντλία – μοτέρ, και κομμάτι αγωγού Φ63 (2.5''), όπως ακριβώς και ο αγωγός προς εγκατάσταση. Επίσης είναι εγκατεστημένο ένα αναλογικό παροχόμετρο με ψηφιακή ένδειξη (φλατζωτή σύνδεση) για την μέτρηση της παροχής στο δίκτυο. Με λίγα λόγια ήταν η ιδανική επιλογή για σύνδεση του καινούριου δικτύου.



94. Προεγκατεστημένο πείραμα ανοιχτού αγωγού

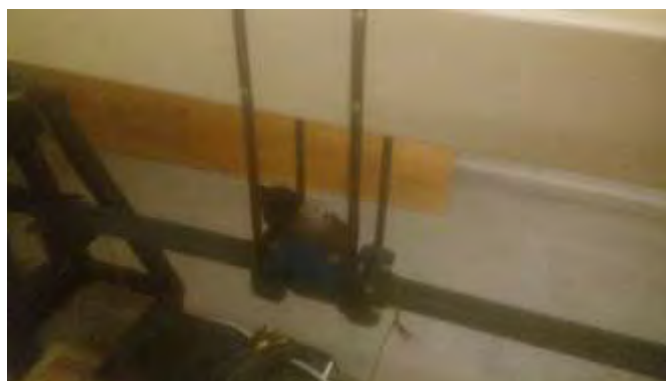
4.6.2 Συναρμολόγηση του αγωγού Φ63 (2.5’')

Το πρώτο κομμάτι είναι έτοιμο. Υπάρχει η δεξαμενή συνδεδεμένη με μία αντλία με μοτέρ, που τραβάει το νερό από τη δεξαμενή και το στέλνει στο δίκτυο, σε αγωγό διαμέτρου Φ63 (2.5’'). Αμέσως μετά την αντλία συναντάται μία βάνα, η οποία χρησιμεύει για έλεγχο της εισερχόμενης παροχής στο δίκτυο. Η βάνα είναι συνδεδεμένη στον αγωγό με τη χρήση μεικτών συνδέσμων εγκατεστημένα με τον τρόπο που αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο.

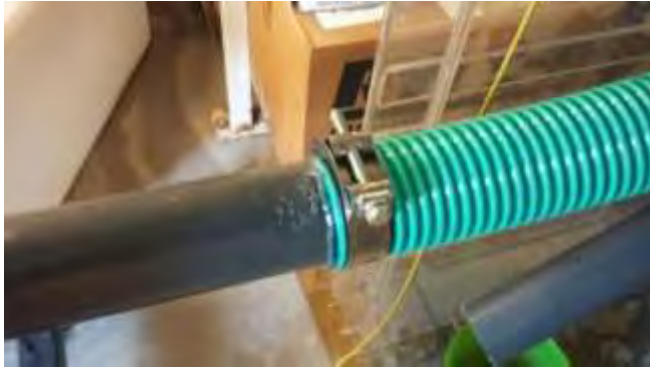


95. Αντλία-μοτέρ συνδεδεμένα σε δεξαμενή

Αμέσως μετά την βάνα, σε μια απόσταση περίπου ενός μέτρου συναντάται το παροχόμετρο. Αυτό είναι συνδεδεμένο στον αγωγό φλαντζωτά, δηλαδή υπάρχουν κολλημένες φλάντζες με τους λαιμούς τους στις δύο άκρες του αγωγού, κι έπειτα ενώνονται με βίδες και παξιμάδια. Μεταξύ των φλαντζών, τοποθετούνται λαστιχένιες φλάντζες για στεγανοποίηση.



96. Παροχόμετρο με ψηφιακή ένδειξη



97. Ένωση PVC σωλήνας με ελαστικό λάστιχο πίεσεως

Λόγω προ υπάρχουσας κατασκευής, ο αγωγός θα συνεχίσει μετά σε ένα παράλληλο επίπεδο με το αρχικό, ακριβώς από πάνω του. Για τη στροφή αυτή του δικτύου θα χρησιμοποιηθεί πράσινο λάστιχο πίεσεως το οποίο ενώνεται με τους αγωγούς πάνω και κάτω με τη χρήση κόλλας σωληνώσεων και επιπρόσθετα ειδικών κολιέδων σύσφιξης.



98. Τοποθέτηση φλάντζας για σύνδεση με PAT

Στην πάνω πλευρά, η μάτιση (η ένωση) με την σωλήνα γίνεται με τον ίδιο τρόπο. Ακολουθεί σωλήνα περίπου δύο μέτρα και έπειτα η σύνδεση με την αντλία PAT. Αντίστοιχα κι εδώ η σύνδεση με την PAT θα γίνει φλαντζωτά. Συνεπώς συνδέεται με κόλλα στην άκρη της σωλήνας ένας λαιμός φλάντζας αφού έχει περάσει πρώτα η φλάντζα στο εσωτερικό της σωλήνας. Η φλάντζα είναι διαμέτρου Φ63 (2.5'') ίδια με της σωλήνας. Συνεπώς δεν είναι εφικτή η επί τόπου σύνδεση με την αντλία PAT που χρησιμοποιήθηκε στο στήσιμο του άλλου αγωγού.

Για μεγαλύτερη ποικιλία στις μετρήσεις και στα αποτελέσματα συνεπώς, αποφασίστηκε η χρησιμοποίηση μιας διαφορετικής αντλίας στο συγκεκριμένο πείραμα. Μαζί με την άλλη αντλία που αγοράστηκε από το παλιατζίδικο, αγοράστηκε και μία ακόμη, διαφορετικού τύπου, με διαμέτρους εισόδου και εξόδου αντίστοιχες με αυτές του αγωγού του δικτύου αυτού, δηλαδή Φ63 (2.5''). Στην επόμενη παράγραφο περιγράφεται συνοπτικά η διαδικασία επισκευής και τοποθέτησης της. Παρακάτω παρουσιάζεται η συναρμολόγηση του δικτύου.



99. Το πλήρες δίκτυο αγωγού Φ63 (2.5'') εγκατεστημένο

Αφού έχει επισκευαστεί η καινούρια αντλία, τοποθετείται στο δίκτυο. Αυτή συνδέεται φλαντζωτά και από τις δύο πλευρές της. Η αντλία είναι αξονικής μορφής, έχει είσοδο και έξοδο στην ίδια διεύθυνση, οπότε διευκολύνει και την εγκατάστασή της. Μετά την αντλία ακολουθεί περίπου δύο μέτρα σωλήνα, μετά γωνία με φορά προς τα κάτω (προς τη δεξαμενή) και έπειτα ένα μέτρο και κάτι περίπου σωλήνα από τη γωνία προς της δεξαμενή για την επιστροφή του νερού. Τέλος τοποθετήθηκαν μανόμετρα με σέλες πριν και μετά την αντλία, σε απόσταση περίπου ένα μέτρο από αυτή. Η εγκατάστασή τους έγινε με τη μέθοδο που παρουσιάστηκε σε προηγούμενη ενότητα. Το τελικό αποτέλεσμα είναι το παρακάτω.

Μία γρήγορη σημείωση, η βάνα που φαίνεται στη φωτογραφία πριν από την αντλία, είχε σκοπό στον έλεγχο της ροής μέσα στην αντλία, αν και τελικά αποδείχθηκε ότι δεν χρειαζόταν στην συγκεκριμένη περίπτωση.

4.6.3 Επιδιόρθωση της αντλίας

Η αντλία που χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο δίκτυο είναι μία μονοβάθμια αντλία απλής αναρρόφησης. Είναι τύπου in-line, έχει δηλαδή διατομή εισόδου στην ίδια ευθεία με τη διατομή εξόδου και τοποθετείται με κατακόρυφο τον άξονα (βλέπε Κεφάλαιο 2.3.1). Στην κάτω πλευρά της αντλίας βρίσκεται ο χώρος της φτερωτής και από πάνω είναι απευθείας συνδεδεμένο το μοτεράκι της. Στη φωτογραφία απουσιάζει το μοτέρ με την περιέλιξη καθώς δεν χρειαζόταν και απαιτούνταν πρόσβαση στον άξονα της, κάτι που δεν επέτρεπε αρχικά το κουβούκλιο που προφύλασσε την περιέλιξη. Το κέλυφος της αντλίας λύθηκε εύκολα, με ξεβίδωμα τεσσάρων βιδών που το συγκρατούσαν με το υπόλοιπο σώμα της. Έπειτα δίνεται πρόσβαση στο εσωτερικό της και στη πτερωτή της. Ένα ένα αφαιρούνταν τα εξαρτήματα στο εσωτερικό της, όπως την ειδική ασφάλεια έναντι οριζόντιας μετατόπισης της πτερωτής, κατά τη διεύθυνση του άξονα, την πτερωτή, τον μηχανικό στυπιοθλίπτη με την ασφάλεια του και την τσιμούχα του



100. Αντλία τύπου in-line



101. Το εσωτερικό της αντλίας, η πτερωτή και τα παρελκόμενα εξαρτήματα της

Όλα τα προαναφερθέντα εξαρτήματα δυστυχώς ήταν είτε διαβρωμένα είτε σπασμένα (εκτός της πτερωτής που ήταν ακόμα σε λειτουργική κατάσταση), συνεπώς και αντικαταστάθηκαν.

Για στεγανοποίηση της αντλίας από το εσωτερικό της, χρησιμοποιείται ένας μηχανικός στυπιοθλίπτης. Αυτός έχει τη μορφή μιας χοντρής ροδέλας στον πάτο (κάρβουνο) συνδεδεμένο με ένα ειδικό ελατήριο με ένα εξόγκωμα στην άκρη του που έρχεται και κουμπώνει σε ένα άλλο δίσκο. Ο στυπιοθλίπτης έρχεται και πατάει σε μια φωλιά στο σώμα της αντλίας. Λόγω αυξημένων τριβών όμως, μεταξύ σώματος αντλίας και στυπιοθλίπτη, χρησιμοποιείται μία άλλη ροδέλα από καρδάμιο, ένα ισχυρό και ανθεκτικό υλικό έναντι τριβών και θερμοκρασιών. Δυστυχώς όμως το συγκεκριμένο υλικό δεν υπήρχε διαθέσιμο στην αγορά τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, οπότε υποχρεωτικά δημιουργήθηκε μια αυτοσχέδια ροδέλα από χοντρό φλαντζολάστιχο. Αφού καθαρίστηκε πλήρως η αντλία, συναρμολογήθηκε και τοποθετήθηκε στο δίκτυο. Για καλύτερη σταθεροποίηση χρησιμοποιήθηκε τσέρκι, το οποίο τυλίχθηκε γύρω από τα στόμια αναρρόφησης και κατάθλιψης της και πάνω στο μεταλλικό σκελετό που στήριζε το όλο πείραμα. Τέλος, αφού ολοκληρώθηκε η εγκατάσταση, σειρά είχε η δοκιμή του δικτύου και ταυτόχρονα ο έλεγχος καλής και σωστής λειτουργίας όλων των παρελκόμενων του.



97.Μηχανικός Στυπιοθλίπτης στα δεξιά

4.6.4 Λειτουργία και έλεγχος δικτύου

Αρχικά πληρώθηκε η δεξαμενή με νερό (στην οποία είχε προηγηθεί σωστή απολύμανση και καθαρισμός με κάμποσο νερό). Το μοτέρ της αντλίας παίρνει μπροστά από ένα διακόπτη On – Off που είναι συνδεδεμένος στον τοίχο δίπλα στο πείραμα, με ανταπόκριση στον εσωτερικό κεντρικό τριφασικό πίνακα του εργαστηρίου. Με το γύρισμα του διακόπτη στο On το μοτέρ παίρνει μπροστά. Η αντλία τραβάει το νερό από τη δεξαμενή και το μεταβιβάζει στο δίκτυο. Η βάννα η πρώτη μετά την αντλία είναι εν μέρη ανοιχτή, για να επιτευχθεί μικρή και ελεγχόμενη ροή στο δίκτυο μέχρι να γεμίσουν οι αγωγοί και το δίκτυο πλήρως. Μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα το νερό επιστρέφει στη δεξαμενή από τον αγωγό επιστροφής (μετά την αντλία), για να ανακυκλωθεί.

Παρατηρούνται αρχικά τους μετρητές. Το παροχόμετρο έδειχνε σταθερή ένδειξη όσο ο σύρτης της βάννας παρέμενε σταθερός, το ίδιο και τα μανόμετρα. Δυστυχώς όμως παρατηρήθηκαν δύο βασικά προβλήματα.

Πρώτο πρόβλημα ήταν η διαρροή νερού από την αντλία. Το νερό περνούσε επιτυχώς μέσα από την αντλία, είχε τη δύναμη να γυρίσει την πτερωτή της και να εξέλθει από την αντλία με όχι ιδιαίτερα μεγάλη πτώση της πίεσης κατάντι της αντλίας σε σχέση με ανάντι της. Παρόλα αυτά όμως δυστυχώς διαμέσου του άξονα και του μηχανικού στυπιοθλίπτη παρατηρήθηκε σημαντική διαρροή νερού.

Αποσυνδέθηκε λοιπόν την αντλία από το δίκτυο και αποσυναρμολογήθηκε για εξέταση του προβλήματος. Η διάγνωση τελικά έδειξε πως το αυτοσχέδιο λάστιχο στη διεπαφή μεταξύ μηχανικού στυπιοθλίπτη και του σώματος της αντλίας δεν ήταν κατάλληλο για το σκοπό αυτό. Ταυτόχρονα όμως παρατηρήθηκε και προχωρημένο στάδιο διάβρωσης στο εσωτερικό της φωλιάς που κάθεται ο στυπιοθλίπτης. Με λίγα λόγια το εσωτερικό της αντλίας δεν ήταν πλέον λειτουργικό, οπότε λόγω του υψηλού κόστους ανακατασκευής και ταυτόχρονα με το ρίσκο δυσλειτουργίας ή μη λειτουργίας της αντλίας μετά την ανακατασκευή της, αποφασίστηκε να μην χρησιμοποιηθεί καθόλου. Συνεπώς, εφόσον υπήρχε μια ήδη λειτουργική αντλία (PAT) αποφασίστηκε η απονομή μετρήσεων μόνο μέσω εκείνης.

Επιδιώχθηκε επίσης η επισκευή δύο ακόμη αντλιών, μία ακτινικής και μία αξονικής ροής, αλλά δυστυχώς ήταν σε πολύ κακή κατάσταση εξ αρχής οπότε και δεν ολοκληρώθηκε επιτυχώς η επισκευή τους.

Πέρα του θέματος της δυσλειτουργίας της αντλίας, παρατηρήθηκε και ένα άλλο επίσης σημαντικό πρόβλημα. Η υπάρχουσα εγκατεστημένη αντλία που τροφοδοτεί το δίκτυο, δεν κατάφερε να αποδώσει υψηλές πιέσεις στο δίκτυο. Οι αποδιδόμενες τιμές για την ακρίβεια ήταν της τάξεως του ενός μπάρ (τα εγκατεστημένα μανόμετρα έδιναν μετρήσεις σε κλίμακα bar = 0.986 atm). Προφανώς και η τιμή αυτή είναι πάρα πολύ μικρή και δεν ικανοποιεί ούτε το κατώτερο επιθυμητό όριο πίεσεως το οποίο είναι δύο (2) ατμόσφαιρες (όσο και η ελάχιστη πίεση σε ένα δίκτυο ύδρευσης για την σωστή λειτουργία του).

Επομένως τελικά, ύστερα από τα παραπάνω, αποφασίστηκε η αποσυναρμολόγηση του δικτύου και η εγκατάσταση του από την αρχή στο μεταλλικό σκελετό του άλλου δικτύου, παράλληλα με εκείνο (η διαδικασία εγκατάστασης αναλύεται σε προηγούμενη ενότητα).

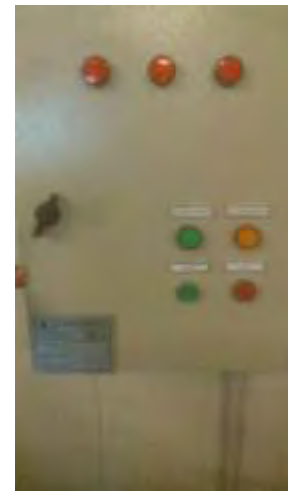
Κεφάλαιο 5: Τρέξιμο του πειράματος και αποτελέσματα

5.1 Προετοιμασία του χώρου

Τα δίκτυα συναρμολογήθηκαν και εγκαταστάθηκαν πάνω στο μεταλλικό σκελετό. Η τροφοδοσία τους γίνεται με τη χρήση αντλίας που τραβάει νερό από δεξαμενή χωρητικότητας 0.7 κυβικών. Η λειτουργία του καθενός θα γίνεται μεμονωμένα, πρώτα το ένα και μετά το άλλο, καθώς υπάρχει μία μόνο αντλία για τροφοδοσία, και επίσης το κάθε δίκτυο είναι ανεξάρτητο από το άλλο. Η διαδικασία θα ξεκινήσει αρχικά με τις δοκιμές στον αγωγό Φ110 (4'') και έπειτα θα συνεχιστεί και στον άλλο.

Πρώτο μέλημα λοιπόν η προετοιμασία του χώρου. Καθαρισμός της γύρω περιοχής, απομάκρυνση όλων των εργαλείων και περιπτών πραγμάτων από το χώρο. Γέμισμα της δεξαμενής με νερό (αφού καθαρίστηκε και απολυμάνθηκε). Έλεγχος συνδέσεων. Έγινε έλεγχος σε όλες τις βίδες που χρησιμοποιήθηκαν, τις κολλήσεις και γενικότερα όλο τον εξοπλισμό. Αφού γίνουν όλοι οι απαραίτητοι αυτοί έλεγχοι, δίνεται η δυνατότητα παροχής ρεύματος στον πίνακα εκκίνησης του μοτέρ της αντλίας.

Η αντλία όπως αναφέρθηκε στην αρχή του τέταρτου (4^{ου}) Κεφαλαίου, παίρνει κίνηση από ένα μοτέρ που είναι συνδεδεμένο σε δικό του αυτόνομο τριφασικό πίνακα, εγκατεστημένο στον τοίχο δίπλα του. Αυτός ο πίνακας με τη σειρά του τροφοδοτείται από ένα κεντρικό τριφασικό πίνακα του εργαστηρίου. Προτού δοθεί κίνηση στο μοτέρ της αντλίας απαιτείται ένας τελευταίος έλεγχος στην περιστροφή του άξονα του μοτέρ. Αφαιρείται το καπάκι που καλύπτει μια εξωτερική πτερωτή που έχει, και απαλά με το χέρι ελέγχεται αν αυτή γυρίζει (ο άξονας του μοτέρ κατά συνέπεια). Παρατηρείται ότι έχει κολλήσει και δεν γυρίζει οπότε δεν θα γύριζε και αν έπαιρνε ρεύμα νωρίτερα (ίσως να προκαλούνταν και ζημιά). Πολύ απλά με ένα σφυρί από τεφλόν, ασκείται ελαφριά πίεση στον άξονα κατά τη διεύθυνση του, ίσα ίσα να δημιουργηθεί μετατόπιση του κατά δύο τρία χιλιοστά. Με έλεγχο πάλι με ελαφρύ άγγιγμα, επιβεβαιώνεται η περιστροφή της πτερωτής και συνεπώς είναι σε θέση να πάρει ρεύμα και να δώσει κίνηση στην αντλία.



103. Πίνακας εκκίνησης μοτέρ αντλίας

Η δεξαμενή έχει γεμίσει πλήρως, ο χώρος έχει καθαριστεί, ό,τι δεν χρειάζεται έχει απομακρυνθεί, οπότε ήρθε η ώρα για την πρώτη δοκιμή. Με το πάτημα του πράσινου κουμπιού με την ένδειξη START το μοτέρ αρχίζει να κινείται.

5.2 Πρώτη δοκιμή και αστοχίες

Με το πάτημα του κουμπιού, το μοτέρ παίρνει μπροστά και η αντλία αρχίζει να τραβάει νερό. Λόγω υπερβολικά γεμισμένης δεξαμενής, ο αέρας που υπάρχει στους αγωγούς κατά την έξοδο του από τον αγωγό επιστροφής στη δεξαμενή, δημιουργεί φυσαλίδες αέρα μέσα στη δεξαμενή. Μέσα σε ελάχιστα δευτερόλεπτα λειτουργίας παρατηρείται η πρώτη μεγάλη διαρροή νερού. Η κόλληση στις συστολές στη σύνδεση στην PAT δεν ήταν σωστή και οι συστολές ξεκόλλησαν. Επί τόπου σταματάει η λειτουργία του μοτέρ και διακόπτεται η παροχή ρεύματος στον πίνακα για λόγους ασφαλείας (εφόσον έτρεξαν νερά στο δάπεδο του εργαστηρίου). Στην φωτογραφία παρακάτω διακρίνεται η αστοχία των συστολών και η διαρροή που προκλήθηκε.



984. Αστοχία Συστολών

Επίσης σημαντική παράβλεψη κατά την πρώτη δοκιμή ήταν και η πλήρως ανοιχτή βάννα. Η βάννα μετά την αντλία πρέπει να είναι μερικώς ανοιχτή, που να μην επιτρέπει σε μεγάλο όγκο νερού να κινείται μέσα στον αγωγό ενώ αυτός είναι άδειος ακόμα. Για το πρώτο λεπτό λειτουργίας λοιπόν, θα πρέπει η βάννα να επιτρέπει σε μικρή ποσότητα νερού να την διαπερνάει, μέχρις ότου να γεμίσει ο αγωγός. Με τον τρόπο αυτό προλαμβάνονται και τυχόν άλλες αστοχίες που μπορεί να προκληθούν σε διάφορα σημεία του δικτύου και κυρίως στα πιο ευαίσθητα όπως αποδείχθηκε, δηλαδή στις συστολές.

Αφαιρείται λοιπόν το κομμάτι που εμφανίστηκε η θραύση για επιδιόρθωση. Αφαιρούνται οι βίδες από τη φλάντζα της αντλίας για να αφαιρεθεί το κάτω κομμάτι του σπασίματος, και οι βίδες από τη φλάντζα που υπάρχει πριν τη γωνία, για να αφαιρεθεί και το υπόλοιπο κομμάτι. Πρώτη δουλειά για την επιδιόρθωση είναι το στέγνωμα των μερών. Αφού απομακρύνθηκε όλη η υγρασία από αυτά, ξύστηκαν καλά οι επιφάνειες και μαζί και η όποια κόλλα είχε απομείνει. Έπειτα καθαρίστηκαν οι επιφάνειες με διαλυτικό και ελέγχθηκαν οι προς κόλληση επιφάνειες, ως προς την πλήρη επαφή χωρίς κενά. Τέλος τοποθετήθηκε πάλι άφθονη κόλλα και κολλήθηκαν μεταξύ τους. Μετά την εφαρμογή της κόλλας εφαρμόστηκε στρίψιμο των επιφανειών μεταξύ τους, επιτυγχάνοντας μια περιστροφή ελάχιστων μοιρών για καλύτερη επαφή και κόλληση των επιφανειών. Το τμήμα αυτό δεν επανατοποθετήθηκε στο δίκτυο λόγω ύπαρξης νερού στους αγωγούς και κατά συνέπεια υγρασίας, η οποία δεν συνεισφέρει στην κόλληση, οπότε και παρέμεινε σε αδράνεια τοποθετημένο κατακόρυφα, για τουλάχιστον 24 ώρες.

5.3 Δεύτερη δοκιμή – Παρατηρήσεις

5.3.1 Αγωγός Φ110 (4'')

Ολοκληρώθηκε η κόλληση και το στέγνωμα. Γέμισμα πάλι της δεξαμενής η οποία είχε αδειάσει, χωρίς να καλυφθεί αυτή τη φορά ο αγωγός εξόδου του νερού. Συναρμολογείται το κομμάτι που είχε αφαιρεθεί για επιδιόρθωση και ελέγχεται το σφίξιμο στις βίδες που χρησιμοποιούνται στις φλάντζες για αποφυγή διαρροών (έχουνε τοποθετηθεί και λαστιχένιες φλάντζες μεταξύ των επαφών των φλαντζών όπως επίσης και στην επαφή της φλάντζας με το στόμιο της αντλίας).

Ελέγχεται επίσης το άνοιγμα της βάννας μετά την αντλία. Για να επιτευχθεί αυτό, πραγματοποιείται ένα πλήρες κλείσιμο της βάννας περιστρέφοντας την και έπειτα ξαναανοίγει ενώ ταυτόχρονα μετριοούνται οι

στροφές που απαιτούνται για το πλήρες άνοιγμα της. Ακολουθεί ένα πλήρες κλείσιμο πάλι και στη συνέχεια ανοίγει κατά το ένα τρίτο των στροφών που απαιτούνταν για να ανοιχτεί πλήρως νωρίτερα. Με τον άνοιγμα αυτό λοιπόν θα τρέξει αρχικά το δίκτυο με την αντλία μέχρι να γεμίσει ο αγωγός και μόνο τότε θα ολοκληρωθεί το άνοιγμα για να επιτευχθεί η πλήρη απόδοση της αντλίας.

Τροφοδοτείται για άλλη μια φορά λοιπόν με ρεύμα ο πίνακας για τη δεύτερη δοκιμή. Ελέγχεται ο άξονας του μοτέρ να γυρνάει άνετα. Πάτημα του κουμπιού START και το μοτέρ παίρνει μπροστά. Η αντλία αρχίζει να τραβάει νερό και να το στέλνει στους αγωγούς του δικτύου. Από τη στιγμή που πατήθηκε το κουμπί έναρξης του μοτέρ από τον πίνακα ξεκινάει μια αντίστροφη μέτρηση από το τέσσερα σαν εκκίνηση. Περίπου στα τέσσερα δευτερόλεπτα, ακούγεται ένας χαρακτηριστικός ήχος από τον πίνακα και παρατηρείται στο μοτέρ μια σταθεροποίηση του ρυθμού λειτουργίας του και η απόκτηση τελικά των μέγιστων στροφών του (λειτουργία χρονικού εκκίνησης του μοτέρ).

Ο χρόνος των τεσσάρων δευτερολέπτων δεν είναι τυχαίος. Μέσα στον πίνακα υπάρχει ένας ελεγκτής φάσεων (κάτω δεξιά το μπλε εξάρτημα) ο οποίος ρυθμίζεται κατά την εγκατάσταση σε τι χρονικό περιθώριο να κάνει τον έλεγχο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν χρειάζεται μεγάλη αναμονή γι' αυτό και είναι ρυθμισμένος στα τέσσερα δευτερόλεπτα. Ο χαρακτηριστικός ήχος που ακούγεται είναι η εναλλαγή από αστέρα σε τρίγωνο των φάσεων του πίνακα μας. Η δομή του πίνακα είναι απλή, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, και αποτελείται από τα απαραίτητα για την σωστή λειτουργία του μοτέρ και της αντλίας έναντι διάφορων καταστάσεων. Πλέον η αντλία δουλεύει κανονικά και επιτυγχάνεται ανακύκλωση του νερού στο δίκτυο. Οι μετρητές δουλεύουν όλοι ικανοποιητικά, δίνοντας ενδείξεις και χωρίς απώλειες ή διαρροές στη συνδεσμολογία τους. Ελέγχονται και οι υπόλοιπες συνδέσεις και αποδεικνύεται ότι δεν υπάρχουν σημάδια διαρροών ή θραύσεων σε κανένα κομμάτι του δικτύου. Αυτό ήταν σχετικά αναμενόμενο, καθώς η βάνα είναι μερικώς ανοιχτή, επιτρέποντας σε περιορισμένη ποσότητα νερού να διέρχεται μέσα στον αγωγό και να ανακυκλώνεται. Η ροή είναι τόσο μικρή που οι πιέσεις είναι υπερβολικά μικρές της τάξεως των 0,4 bar!



99. Ο πίνακας εσωτερικά



1006. Η περρωτή σε κατακόρυφη προβολή από πάνω

Παρόλο που εμφανίζεται περιορισμένη ροή στον αγωγό και πολύ χαμηλές πιέσεις, παρατηρείται η λειτουργία της PAT, η οποία επιτυχώς καταφέρνει και περιστρέφει τον άξονα της. Το νερό εισέρχεται σε αυτήν, χτυπάει την περρωτή από πάνω, το νερό εισέρχεται στο εσωτερικό της μεταξύ των πτερυγίων της, τα οποία τα χτυπάει με δύναμη και καταφέρνει να την περιστρέψει.

Με την περιστροφική της κίνηση, αυτή δίνει ώθηση και κίνηση ταυτόχρονα τον άξονα της αντλίας. Έπειτα διαφεύγει το νερό από το κέντρο της πτερωτής και από εκεί καταλήγει στο στόμιο της αντλίας και τελικά στον αγωγό. Κατά τη λειτουργία της σε αυτό το σημείο, απαιτείται η ρύθμιση της σαλαμάστρας με το στυπιοθλίπτη (η στεγανότητα της δηλαδή). Το αρχικό σφίξιμο κατά την επιδιόρθωση της ήταν παραπάνω από το επιτρεπόμενο και δεν επιτρεπόταν διαρροή του νερού. Συνεπώς απαιτείται ελάττωση της πίεσης μεταξύ στυπιοθλίπτη και σαλαμάστρας, ξεβιδώνοντας τα παξιμάδια σύσφιξης του στυπιοθλίπτη. Κάποια στιγμή παρατηρείται κάποια μικρή διαρροή νερού η οποία όπως αναφέρθηκε είναι και επιθυμητή.

Ουσιαστικά δεν είναι επιθυμητό το σφίξιμο της σαλαμάστρας σε μεγάλο βαθμό, διότι αυξάνεται η πίεση και στην επαφή με τον άξονα και επιβραδύνει την κίνηση του. Επιπρόσθετα η ελάχιστη αυτή διαρροή λιπαίνει και διατηρεί χαμηλές θερμοκρασίες στη σαλαμάστρα. Αντίθετα, μεγάλη διαρροή, έχει αρνητικές συνέπειες στις πιέσεις εσωτερικά του κελύφους.

Αφού επιβεβαιώθηκαν πως όλα λειτουργούν καλά, συνέχεια έχει η πλήρωση του δικτύου. Η αρχική βάνα μετά την αντλία τροφοδοσίας είναι ανοιχτή κατά το ένα τρίτο της και θα παραμείνει στο σημείο αυτό μέχρι να γεμίσει ο αγωγός. Επόμενη για ρύθμιση είναι η βάνα στην απόληξη του αγωγού. Αρχικά τοποθετείται τελείως ανοιχτή. Σιγά σιγά ξεκινάει το κλείσιμο της (με προσοχή μην κλείσει τελείως και αυξηθεί η πίεση στο δίκτυο και προκληθεί καμία θραύση). Παρατηρείται ότι η ροή σιγά σιγά κατά την έξοδο γεμίζει, ελαττώνεται δηλαδή ο στροβιλισμός της ροής μέσα στον αγωγό μαζί και με το κενό στο κέντρο του. Ταυτόχρονα παρατηρείται ότι αυξάνονται οι πιέσεις στο δίκτυο ανάντι και κατόντι της αντλίας. Μετά από λίγο γεμίζει πλήρως ο αγωγός οπότε αρχίζει το άνοιγμα της αρχικής βάνας ώστε να αυξηθεί η παροχή και η πίεση στο δίκτυο. Ταυτόχρονα ανοίγει και η βάνα εξόδου για να μειωθεί η πίεση κατόντι της αντλίας.

5.3.2 Παρατηρήσεις – Πρώτα συμπεράσματα

Τί παρατηρήθηκε; Ενώ υπήρχε σταθερή ροή νερού αρχικά ανάντι της PAT, όσο άλλαζε το άνοιγμα της βάνας εξόδου του νερού επηρεάζονταν κι αντίστοιχα οι πιέσεις κατόντι της PAT. Αρχικά με πλήρως ανοιχτή τη βάνα εξόδου εμφανιζόταν μία διαφορά πίεσης ανάντι και κατόντι της PAT της τάξεως της μία ατμόσφαιρας. Όσο έκλεινε η βάνα για να γεμίζει ο αγωγός, η πίεση κατόντι της PAT αυξανόταν. Συνέχιζε να κλείνει η βάνα και αυξανόταν η πίεση κατόντι, ενώ ανάντι παρέμενε σταθερή. Τελικά έφτασε στο σημείο η πίεση κατόντι να γίνεται ίση με την πίεση ανάντι και να παραμένει εκεί σταθερή. Ταυτόχρονα όμως επηρεαζόταν και κάτι άλλο ιδιαίτερα σημαντικό. Ο αριθμός των στροφών του άξονα της αντλίας ολοένα και μειωνόταν, μέχρι το σημείο που σταθεροποιήθηκε η πίεση πριν και μετά, όπου και ο άξονας τότε σταμάτησε να περιστρέφεται.

Συμπέρασμα: Τελικά δεν ενδιαφέρει τόσο η πίεση μέσα στον αγωγό κατόντι της PAT, αλλά η ροή του νερού να είναι συνεχείς και να μην παρεμποδίζεται. Περισσότερα επί του θέματος θα αναλυθεί παρακάτω, στη παρουσίαση των μετρήσεων.

Παρόλη την καλή λειτουργία του δικτύου όμως, παρατηρήθηκε ένα ιδιαίτερα σημαντικό πρόβλημα που παραλείφθηκε να ελεγχθεί κατά την έναρξη του πειράματος. Η αντλία που τροφοδοτεί το δίκτυο με νερό, έχει χαμηλό μανομετρικό και δεν καταφέρνει να ανεβάσει πιέσεις στον αγωγό. Δυστυχώς η μέγιστη πίεση που επιτεύχθηκε ήταν μόνο 1,5 bar! Προφανώς η ένδειξη αυτή δεν είναι καθόλου ικανοποιητική αφού δεν καλύπτει καν το κατώτατο όριο που απαιτείται, των δύο ατμοσφαιρών. Πιο

αναλυτικά, η αντλία αυτή είναι ικανή να τροφοδοτήσει αγωγό με παροχή 140m³ / ώρα, σε υψόμετρο 16 μέτρων (Μανομετρικό ύψος = 16 μέτρα), τόσο δηλαδή όσο και η ένδειξη του μανομέτρου.

Επομένως εμφανίζεται η ανάγκη εύρεσης άλλου μέσου τροφοδότησης του δικτύου. Μια πρώτη σκέψη ήταν η αντικατάσταση της αντλίας με άλλη υψηλότερου μανομετρικού. Αυτό όμως κατευθείαν συνεπάγεται και την αντικατάσταση του μοτέρ καθώς το συγκεκριμένο ήταν χαμηλής συχνότητας (Hz) κατάλληλο για τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης αντλίας. Ταυτόχρονα συνεπάγεται και καινούρια ηλεκτρολογική σύνδεση και επιπλέον εξαρτήματα για τον πίνακα τροφοδοσίας. Από οικονομικής πλευράς λοιπόν δεν είναι και η καλύτερη λύση.

Μετά από σκέψη και βοήθεια από ένα από τους βοηθούς και επιβλέποντες της εργασίας αυτής, αποφασίστηκε η έκκληση για βοήθεια από την Πυροσβεστική Υπηρεσία του Δήμου Βόλου. Στην επόμενη παράγραφο αναλύεται η διαδικασία επικοινωνίας και εύρεσης λύσης, με την Πυροσβεστική Υπηρεσία.

Πρώτα όμως, έγινε μια επιπρόσθετη δοκιμή λειτουργίας, για το δίκτυο Φ63 (2.5"), για διερεύνηση της καλής λειτουργίας του και εύρεσης πιθανών αστοχιών.

5.3.3 Αγωγός Φ63

Ξεκινάει η διαδικασία με την αποσύνδεση του αγωγού Φ110 (4") από τα δύο κύρια μέρη του δικτύου, πρώτα από την αντλία που τροφοδοτεί με νερό το δίκτυο από τη δεξαμενή, και έπειτα από την αντλία ΡΑΤ. Ο αγωγός Φ63 (2.5") συνδέεται εύκολα στην αντλία τροφοδότησης, μέσω της φλάντζας που υπάρχει μετά την γωνία (στην κατακόρυφο διεύθυνση της αντλίας).



107. Σύνδεση του αγωγού Φ63 (2.5") για δοκιμή του δικτύου

Τοποθετείται επίσης μια λαστιχένια φλάντζα μεταξύ των δύο φλαντζών που ενώθηκαν για καλύτερη στεγανοποίηση. Ο αγωγός και τα παρελκόμενα του στηρίζονται με τσέρκια πάνω στον μεταλλικό

σκελετό, συνεπώς και είναι εύκολη η μετατόπιση τους δεξιά κι αριστερά, ώστε να ευθυγραμμιστούν με την αντλία και τη δεξαμενή.



108. Σύνδεση του αγωγού Φ63(2.5") με την PAT

Επόμενο βήμα η σύνδεση του αγωγού με την αντλία PAT. Οι αντίστοιχες προσαρμογές είναι κολλημένες κι έτοιμες για τοποθέτηση. Εδώ πάλι χρησιμοποιούνται λαστιχένιες φλάντζες για στεγανοποίηση, στις επαφές των φλάντζών με τα στόμια της αντλίας. Αφού ολοκληρωθούν όλες οι συνδέσεις με επιτυχία, προχωράει η δοκιμή του δικτύου. Απομακρύνονται πάλι περιττά εργαλεία, εξοπλισμός και γενικότερα

αντικείμενα, ώστε να καθαριστεί η γύρω περιοχή. Ανοίγει η πρώτη βάνα μετά την αντλία κατά το ένα τρίτο της, και η βάνα στην απόληξη του αγωγού αφήνεται ανοιχτή τελείως. Παίρνει ρεύμα ο πίνακας αφού προηγηθεί ένας τελευταίος έλεγχος στον άξονα του μοτέρ της αντλίας, ώστε να περιστρέφεται ελεύθερα με ελαφρύ άγγιγμα της πτερωτής. Με το πάτημα του πράσινου κουμπιού START στον πίνακα το μοτέρ αρχίζει να παίρνει στροφές. Η αντλία αρχίζει και τραβάει νερό από τη δεξαμενή και το μοιράζει στο δίκτυο. Μετά από λίγα δευτερόλεπτα το νερό αρχίζει να εξέρχεται επιτυχώς από την απόληξη του αγωγού. Ελέγχεται το δίκτυο για τυχόν διαρροές. Όλα δουλεύουν άψογα, το παροχόμετρο δίνει ένδειξη, όπως επίσης και τα μανόμετρα ανάντι και κατάντι της PAT. Ο άξονας της PAT γυρίζει αποδίδοντας ικανοποιητικό αριθμό στροφών περιστροφής αναλογικά με τις πολύ μικρές πιέσεις που υπάρχουν στο δίκτυο. Διαρροές δεν παρουσιάζονται σε κανένα σημείο του δικτύου οπότε προχωράει η διαδικασία στο γέμισμα του αγωγού.

Αρχίζει το κλείσιμο σιγά-σιγά της βάνας στην απόληξη του δικτύου για να γεμίσει ο αγωγός. Αυτή τη φορά δεν κλείνεται πάρα πολύ για το λόγο ότι δεν είναι επιθυμητή η αύξηση της πίεσης κατάντι της PAT ώστε να μη μειωθεί ο αριθμός των στροφών του άξονα της PAT. Στη συνέχεια ανοίγεται όλο και περισσότερο η βάνα που τροφοδοτεί το δίκτυο μέχρι να ανοίξει τελείως και να επιτευχθεί η μέγιστη παροχή και απόδοση σε πίεση που μπορεί να επιφέρει η αντλία. Δυστυχώς, όπως ήταν πλέον αναμενόμενο, οι πιέσεις στον αγωγό είναι κι εδώ χαμηλές, αντίστοιχες με τον άλλο αγωγό. Επομένως θα χρησιμοποιηθεί η λύση που αναφέρθηκε παραπάνω, η έκκληση για βοήθεια από την Πυροσβεστική Υπηρεσία Βόλου.

5.4 Έκκληση για βοήθεια στην Πυροσβεστική Υπηρεσία Δήμου Βόλου

Με τη βοήθεια της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας, ένα πυροσβεστικό όχημα θα ερχόταν στις εγκαταστάσεις της σχολής και πιο συγκεκριμένα στο χώρο του πειράματος, όπου με λάστιχο θα συνδεθεί η αντλία του οχήματος στο δίκτυο για να το τροφοδοτήσει.

5.4.1 Αίτημα στην Πυροσβεστική Υπηρεσία

Η πρώτη προσέγγιση με την υπηρεσία έγινε αυτοπροσώπως στα γραφεία τους στη διεύθυνση Κουμουνδούρου 263 με Γαλλίας. Τους αναλύθηκε συνοπτικά το πείραμα που διεξάγεται, τι πρόβλημα αντιμετωπίστηκαν και πώς θα μπορούσαν αυτοί να εξυπηρετήσουν. Η πρώτη εντύπωση ήταν θετική, παρόλα αυτά απαιτήθηκε το αίτημα να κατατεθεί πρώτα γραπτώς, ώστε να δώσει έγκριση η διοίκηση και ο διοικητής του τμήματος και έπειτα θα επικοινωνούσαν για επιβεβαίωση. Σε σύντομο χρονικό διάστημα, ήρθε απάντηση από το διοικητή, πως είναι διατεθειμένοι να βοηθήσουν, και κανονίστηκε συνάντηση για τη διευκρίνιση περαιτέρω λεπτομερειών σχετικά με το πως θα διεξαχθεί η όλη διαδικασία.

Πραγματοποιήθηκε λοιπόν επίσκεψη στις εγκαταστάσεις της υπηρεσίας όπου έγινε μια πρώτη γνωριμία με το προσωπικό, ξενάγηση στις εγκαταστάσεις τους κι έπειτα παρουσίαση του στόλου των οχημάτων που είχαν, αναφερόμενοι στις δυνατότητες του καθενός και τις χωρητικότητες στις δεξαμενές τους. Υπήρχε η δυνατότητα επιλογής του οχήματος που κάλυπτε τις ανάγκες του πειράματος, έτσι λοιπόν επιλέχθηκε ένα από τα “μεγάλα” σχετικά οχήματα που είχαν, χωρητικότητας μέχρι δέκα (10) κυβικών νερού και δυνατότητες αντλίας, μέχρι 16 ατμοσφαιρικές πιέσεις. Προφανώς το όχημα αυτό ήταν υπεραρκετό για την κάλυψη των αναγκών σε νερό και σε πιέσεις, οπότε υπήρχε μεγάλη ικανοποίηση από την επιλογή αυτή αλλά και από την άψογη συνεργασία με την υπηρεσία.



101 .Αίτημα προς Πυροσβεστική Υπηρεσία

5.4.2 Προσαρμογές για σύνδεση του Πυροσβεστικού οχήματος στα δίκτυα μας

Μετά την πρώτη γνωριμία με την υπηρεσία και το προσωπικό της στις εγκαταστάσεις τους, σειρά είχαν αυτοί να επισκεφτούν το χώρο που διεξάγεται το πείραμα για αυτοψία του χώρου και να διευκρίνιση του τρόπου σύνδεσης του πυροσβεστικού οχήματος με το δίκτυο. Αυτοί μπορούσαν να προμηθεύσουν τα λάστιχα με τα οποία τραβάνε νερό από τη δεξαμενή του οχήματος. Τα ίδια λάστιχα λοιπόν θα χρησιμοποιηθούν για τη σύνδεση στο κάθε δίκτυο. Στην άκρη του λάστιχου βρίσκεται ένας ειδικός σύνδεσμος που χρησιμοποιείται γενικότερα σε πυροσβεστικούς κρουνοί, ακροδέκτες βενζινοκίνητων αντλιών, βυτιών και άλλα πολλά.

Ο ακροδέκτης του λάστιχου λοιπόν είναι αυτός που φαίνεται στη φωτογραφία δίπλα. Για την σύνδεση με αυτόν απαιτείται άλλος ένας ίδιος, ίδιας διαμέτρου. Αυτοί έρχονται και κουμπώνουν ο ένας με τον άλλο πολύ απλά αλλά αποτελεσματικά. Και οι δύο έχουν από ένα σετ "αυτάκια" που προεξέχουν όπως στη φωτογραφία δίπλα. Δίπλα από αυτά υπάρχουν εσοχές, στις οποίες μέσα έρχονται και τοποθετούνται τα αυτάκια του άλλου ακροδέκτη. Μόλις έρθουν σε επαφή οι δύο ακροδέκτες εφαρμόζεται μια μικρή περιστροφή δεξιόστροφα και κλειδώνουν οι ακροδέκτες μεταξύ τους. Όπως φαίνεται και στη φωτογραφία περιμετρικά του στομίου, εκεί που έρχονται οι δύο σύνδεσμοι σε επαφή, υπάρχει λάστιχο στεγανοποίησης για αποφυγή διαρροών. Ο σύνδεσμος αυτός είναι ένας απλός και εύκολος τρόπος σύνδεσης εξαρτημάτων μεταξύ τους, κυρίως λάστιχων σε κρουνοί, βυτία, βενζινοκίνητες αντλίες και αντίστοιχου τύπου γενικότερα εφαρμογές. Πλέον όπως αναλύθηκε θα καταργηθεί η αντλία η προεγκατεστημένη, οπότε και αφαιρείται το κομμάτι από τη βάνα μετά την αντλία μέχρι τη φλάντζα στην οποία θα ενωθεί το λάστιχο. Και τα δύο δίκτυα έχουν σημείο εκκίνησης την φλάντζα αυτή διαμέτρου Φ110 (4"). Συνεπώς αρκεί να δημιουργηθεί ένας αντάπτορας μόνο, για να δέχεται το κάθε δίκτυο το λάστιχο από το πυροσβεστικό όχημα, τον οποίο θα εναλλάσσεται σε κάθε δίκτυο. Η διάμετρος του συνδέσμου είναι Φ62 (2.5") οπότε οι μετατροπές θα πρέπει να γίνουν με βάση αυτόν.



102. Ακροδέκτης σύνδεσης

Ο σύνδεσμος από τη μία πλευρά έρχεται και συνδέεται με άλλον αντίστοιχο σύνδεσμο (ενωμένος με το λάστιχο) και από την άλλη είναι βιδωτός με βόλτες. Για ελεγχόμενη παροχή στο δίκτυο θα προστεθεί και μία βάνα στη σύνδεση με το λάστιχο. Για να γίνει αυτό θα χρησιμοποιηθεί ένα ρακόρ μεταξύ βάνας και συνδέσμου. Αυτό το εξάρτημα δίνει τη δυνατότητα σύνδεσης δύο εξαρτημάτων με θηλυκές βόλτες μεταξύ τους.



111. Ρακόρ με βόλτες



103 .Ρακόρ βιδωμένο με το σύνδεσμο



104. Σύστημα Βάνα Ρακόρ Σύνδεσμος

φλάντζα σύνδεσης. Ο μεικτός σύνδεσμος είναι διαμέτρου Φ63 (2.5") οπότε θα χρησιμοποιηθούν

μετατροπές για τη μετάβαση στην διάμετρο του λαιμού της φλάντζας. Αρχικά χρησιμοποιείται μια μούφα Φ75 (3") της οποίας η εσωτερική διάμετρος είναι ίση με την εξωτερική του μεικτού συνδέσμου. Έπειτα χρησιμοποιείται μία συστολή Φ90(3.5") / Φ110 (4") της οποίας η εσωτερική διάμετρος είναι ίση με την εξωτερική της μούφας Φ75(3"), και επίσης η εξωτερική διάμετρος είναι ίση με την εσωτερική διάμετρο του λαιμού φλάντζας Φ110 (4"). Τα εξαρτήματα αφού δοκιμάστηκαν για καλή εφαρμογή, καθαρίστηκαν, ξύστηκαν και επαλείφθηκαν με διαλυτικό προτού εφαρμοστεί η κόλλα για την ένωση τους. Στην παρακάτω φωτογραφία διακρίνονται όλα τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν στην παραπάνω συναρμολόγηση που περιεγράφηκε.



105. Όλα τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν

5.4.3 Απομάκρυνση του νερού

Πλέον γίνεται κατανοητό ότι δεν είναι εφικτή η ανακύκλωση του νερού στο δίκτυο. Η τροφοδοσία γίνεται μέσω του πυροσβεστικού οχήματος, το οποίο δυστυχώς δεν είναι εφικτό να δίνει και να λαμβάνει ταυτόχρονα νερό (δηλαδή να το ανακυκλώνει). Συνεπώς έπρεπε να βρεθεί ένας τρόπος να απομακρυνθεί. Η δεξαμενή όπως έχει αναφερθεί είναι μικρής χωρητικότητας, πιο συγκεκριμένα μόνο 0.7 κυβικά, ενώ το πυροσβεστικό όχημα έχει δυνατότητα αποθήκευσης μέχρι και δέκα κυβικά. Επομένως τελικά η μόνη λύση ήταν το άδειασμα του δικτύου στην αποχέτευση.

Για να συμβεί αυτό, χρησιμοποιήθηκε πράσινο λάστιχο πίεσεως το οποίο συνδέθηκε σε τομές των αγωγών στις απολήξεις του κάθε δικτύου. Παράλληλα εγκαταστάθηκαν και βάνες που υπήρχαν σε διαθεσιμότητα, στις τομές που έγιναν, έτσι ώστε να ρυθμιστεί κατά την εκκίνηση το γέμισμα των αγωγών. Για τη σύνδεση της βάνας σε κάθε λάστιχο, χρησιμοποιήθηκε ένας ειδικός μαστός, ο οποίος συνδέεται στις θηλυκές βόλτες της βάνας από την μία πλευρά, ενώ από την άλλη έχει μορφή σωλήνας με πιο στενή διάμετρο από το λάστιχο, ώστε να μπορέσει αυτό να συνδεθεί από πάνω του. Το λάστιχο σφίγγεται με τον μαστό με τη χρήση ειδικού κολιέ σύσφιγξης (όπως αυτός στις βρύσες στις αυλές, αλλά μεγαλύτερος). Από την άλλη πλευρά της βάνας χρησιμοποιήθηκαν ρακόρ τα οποία υπήρχαν στο

εργαστήριο μαζί με μεικτό σύνδεσμο ο οποίος αποτελούταν μισός από μούφα και μισός από θηλυκές βόλτες. Τέλος ο αγωγός συνδεόταν εσωτερικά της μούφας με κόλληση όπως έχει περιγραφεί παραπάνω.



115. Σύνδεση αγωγού με λάστιχο που καταλήγει στην αποχέτευση

Το δίκτυο πλέον έχει ολοκληρωθεί, ο σύνδεσμος για την τροφοδοσία από το πυροσβεστικό όχημα είναι έτοιμος, οπότε όλα είναι λειτουργικά χωρίς προβλήματα και διαρροές. Προτού ειδοποιηθεί όμως η πυροσβεστική υπηρεσία να έρθουν μένει ένα τελευταίο και ιδιαίτερα σημαντικό βήμα.

Η αντλία που τοποθετήθηκε και που λειτουργεί ως PAT (Pump As Turbine) είναι μεν λειτουργική, αλλά πρέπει με κάποιο τρόπο να μετρηθούν οι αποδόσεις της. Επομένως πρέπει να βρεθεί κάποια μέθοδος μέτρησης της αποδιδόμενης ενέργειας, η οποία αναλύεται στη συνέχεια.

5.5 Μέτρηση της απόδοσης της PAT

5.5.1 Λειτουργία της PAT και μέθοδος μέτρησης της απόδοσης

Χάρη στη δύναμη και την πίεση που ασκεί το νερό στην περρωτή στο εσωτερικό της αντλίας, αυτή περιστρέφεται και κατά συνέπεια περιστρέφει και τον άξονα της αντλίας μαζί. Είναι η ανάποδη ακριβώς διαδικασία της κανονικής λειτουργίας μιας αντλίας. Μια κοινή αντλία παίρνει την κίνηση της από το μοτέρ της (στην πιο συχνή περίπτωση). Το μοτέρ αρχίζει να περιστρέφεται και μέσω του κόμπλερ που είναι συνδεδεμένη η αντλία με το μοτέρ, μεταφέρεται η περιστροφική κίνηση και στον άξονα της αντλίας. Συνεπώς στη συνέχεια δίνεται κίνηση στην περρωτή, η οποία με τη σειρά της δίνει κίνηση στο υγρό, το οποίο και απορροφάται από το στόμιο αναρρόφησης και διώχνεται από το στόμιο κατάθλιψης (στην κανονική λειτουργία της).

Το δίκτυο κατασκευάστηκε έτσι ώστε το νερό να εισέρχεται από το στόμιο κατάθλιψης της αντλίας (της κανονικής λειτουργίας της) και να εξέρχεται από το στόμιο αναρρόφησης. Χάρη στη γεωμετρία του κελύφους στο εσωτερικό του στομίου κατάθλιψης το νερό οδηγείται προς τη πτερωτή και τη χτυπάει υπό συγκεκριμένη γωνία. Έπειτα χάρη στη γεωμετρία και το σχεδιασμό της συγκεκριμένης πτερωτής, το νερό χτυπάει πάνω της κατακόρυφα και περνάει διαμέσου της. Μόλις περάσει στο εσωτερικό της, το νερό προσκρούει στα πτερύγια που βρίσκονται στο εσωτερικό της, υπό συγκεκριμένη γωνία και κλίση, με αποτέλεσμα να την ωθεί σε κίνηση περιστροφική ως προς τον άξονα της αντλίας. Κατά συνέπεια με την περιστροφή της πτερωτής επιτυγχάνεται και περιστροφή του άξονα. Τελικά όσο μεγαλύτερη η δύναμη με την οποία χτυπάει το νερό στη πτερωτή τόσο πιο γρήγορα περιστρέφεται αυτή και μαζί και ο άξονας της.

Συνδέθηκε στον άξονα της αντλίας μια τροχαλία η οποία συνδέεται μέσω ενός ιμάντα με ένα δυναμό αυτοκινήτου έτσι ώστε να μετρηθεί η ενέργεια που αποδίδεται στον άξονα της αντλίας. Με την περιστροφική κίνηση του άξονα της αντλίας γυρίζει και το δυναμό. Από 800 στροφές το λεπτό και πάνω, το δυναμό αρχίζει και αποδίδει ρεύμα. Θα συνδεθεί επομένως το δυναμό με μία μπαταρία φορτηγού και θα μετρηθεί σε πόση ώρα θα φορτίζει πλήρως η μπαταρία. Μεταξύ δυναμό και μπαταρίας θα μεσολαβεί ένας ειδικός φορτιστής-μετρητής, ο οποίος ελέγχει την τάση που αποδίδεται στην μπαταρία και παράλληλα μας ενημερώνει για την κατάσταση φόρτισης της. Οπότε τελικά με τον τρόπο αυτό θα αποκτηθεί μια εικόνα της ενεργειακής απόδοσης της ΡΑΤ.

5.5.2 Εγκατάσταση του Δυναμό

Πρώτη διερεύνηση θα είναι ο τρόπος σύνδεσης του δυναμό με τον άξονα της αντλίας. Αρχικά αφαιρέθηκε το κόμπλερ (σύνδεσμος που συνδέει την αντλία με το μοτέρ της) από την άκρη του άξονα.

Στη θέση του τοποθετήθηκε μια τροχαλία διαμέτρου δέκα (10) εκατοστών. Πάνω στην τροχαλία συνδέθηκε ένας ιμάντας πάχους δέκα (10) χιλιοστών και μήκους (περίμετρος) ενός (1) μέτρου. Ο ιμάντας συνδέθηκε στο άλλο άκρο του με την ενσωματωμένη τροχαλία του δυναμό, διαμέτρου έξι (6) εκατοστών. Το δυναμό έχει τοποθετηθεί ακριβώς δίπλα από την ΡΑΤ, πάνω σε μια αυτοσχέδια βάση. Για να επιτευχθεί η περιστροφή του δυναμό, απαιτείται



116. Τροχαλία εγκατεστημένη στον άξονα της αντλίας

ο ιμάντας που συνδέει δυναμό και αντλία να είναι καλά τεντωμένος. Προφανώς αν απλώς τοποθετηθεί το δυναμό δίπλα στην αντλία δεν θα καταφέρει να τεντωθεί ο ιμάντας όσο χρειάζεται. Συνεπώς κατασκευάστηκε μια αυτοσχέδια βάση πάνω στην οποία στηρίχθηκε το δυναμό και ταυτόχρονα τεντώθηκε ο ιμάντας.

Στη διπλανή εικόνα παρατηρείται το δυναμό συνδεδεμένο με τον ιμάντα, να βρίσκεται πάνω στη βάση. Παράλληλα με τον ιμάντα παρατηρούνται δύο ντίζες (σαν μεγάλες βίδες με βόλτες) να διαπερνάνε τη βάση του δυναμό και της αντλίας, οι οποίες και χρησιμοποιήθηκαν για να τεντωθεί ο ιμάντας. Μεταξύ των δύο βάσεων έχουν τοποθετηθεί παξιμάδια στις ντίζες.



107. Δυναμό συνδεδεμένο στη βάση του



106. Ντίζα ασφαλισμένη με παξιμάδια

Ο ρόλος τους είναι η σύσφιξη τους ως προς τις βάσεις παράλληλα και έτσι αυτά ουσιαστικά να απομακρύνουν τη μία βάση από την άλλη. Έτσι έχουμε μια σταδιακή απομάκρυνση των βάσεων και ταυτόχρονα ένα ελεγχόμενο τέντωμα του ιμάντα. Τέλος τοποθετήθηκαν παξιμάδια και στα υπόλοιπα σημεία επαφής της κάθε ντίζας με την κάθε βάση, για καλύτερα κρατήματα και σταθερότητα του όλου συστήματος. Επομένως το όλο σύστημα αντλία τροχαλία δυναμό παρουσιάζεται στην παρακάτω φωτογραφία:



119. Όλο το σύστημα αντλία τροχαλία δυναμό

Στη φωτογραφία γίνεται εύκολα αντιληπτό ένα μικρό κομμάτι λευκής αυτοκόλλητης ταινίας. Για να υπάρξει μια ολοκληρωμένη άποψη των στροφών της αντλίας, της τροχαλίας και του δυναμό, αποφασίστηκε να μετρηθούν οι στρόφες του ιμάντα πάνω στο δυναμό. Με τη χρήση ενός στροφόμετρου με δείκτη laser, ο οποίος σημείωνε ένδειξη κάθε φορά που η αυτοκόλλητη ταινία στον ιμάντα διερχόταν μπροστά από το δείκτη του στροφόμετρου, μετρήθηκαν οι στρόφες του ιμάντα κατά τη λειτουργία της αντλίας ως ΡΑΤ. Έπειτα, με χρήση μετατροπών υπολογίστηκαν οι αντίστοιχες στρόφες στο δυναμό, στην τροχαλία και στον άξονα της αντλίας. Δυστυχώς λόγω έλλειψης χρόνου και οικονομικής ανεπάρκειας, δεν βρέθηκε μπαταρία και φορτιστής για να γίνουν οι μετρήσεις όπως είχε οριστεί αρχικά, οπότε αρκεστήκαμε στον αριθμό των στροφών της αντλίας και του δυναμό.

Στη συνέχεια, αφού ολοκληρώθηκε και η εγκατάσταση του δυναμό, ήρθε η ώρα να ειδοποιηθεί η Πυροσβεστική Υπηρεσία και να υλοποιηθεί το πείραμα.

5.6 Πρώτη δοκιμή με το Πυροσβεστικό Όχημα

Όλα είναι έτοιμα και συνδεδεμένα, με την αναμονή για την σύνδεση του πυροσβεστικού οχήματος. Οι βάνες είναι έτοιμες, η πρώτη (της υποδοχής) ανοιχτή κατά το ένα τρίτο της και η τελευταία στην απόληξη του αγωγού τελείως ανοιχτή. Η αντλία (ΡΑΤ) είναι συνδεδεμένη με το δυναμό μέσω της τροχαλίας. Μετά από τηλεφωνική επικοινωνία με τους αρμόδιους της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας, είχε κανονιστεί ημερομηνία για τη διενέργεια του πειράματος. Η υπηρεσία κατέφθασε στις εγκαταστάσεις την προγραμματισμένη ώρα και ξεκίνησε η προετοιμασία για τη σύνδεση.

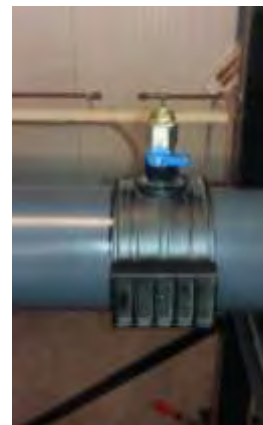
Υπήρχε η δυνατότητα και το πυροσβεστικό όχημα σταθμεύθηκε αρκετά κοντά στο σημείο σύνδεσης με αποτέλεσμα να αποφευχθούν οι μεγάλες αποστάσεις με λάστιχα, δηλαδή υπήρξαν μικρότερες γραμμικές απώλειες στις πιέσεις μεταξύ της αντλίας του οχήματος και του σημείου σύνδεσης. Απλώθηκε ένα λάστιχο μόνο, το οποίο συνδέθηκε στην αναμονή της αντλίας του οχήματος και στην αναμονή του δικτύου.

5.6.1 Πρώτη δοκιμή στο δίκτυο Φ110 (4’')

Πρώτα το πυροσβεστικό συνδέθηκε για δοκιμή στο δίκτυο με αγωγούς Φ110 (4’’). Ξεκίνησε η αντλία του πυροσβεστικού οχήματος και το νερό άρχισε να εισέρχεται στο δίκτυο. Αρχικά ρυθμίστηκε η αντλία να δουλεύει στις ελάχιστες δυνατές στρόφες που μπορεί να πάρει ο κινητήρας της. Στις ελάχιστες λοιπόν στρόφες της, συμπεριλαμβανομένων και των γραμμικών απωλειών μέχρι τη σύνδεση στο δίκτυο, η αντλία απέδιδε στο μανόμετρο ανάντι της ΡΑΤ, πίεση μισό περίπου μπαρ. Κατευθείαν έγινε κατανοητό ότι με τη χρήση του πυροσβεστικού οχήματος θα εξέλθουν αποτελέσματα, οπότε και προχωρήσαμε προς μεγαλύτερες πιέσεις.

Πρώτα όμως, ρυθμίστηκε κατάλληλα το δίκτυο με το γέμισμα των αγωγών. Κλείνοντας λοιπόν σιγά σιγά τη βάνα στην απόληξη του δικτύου γίνεται φανερό ότι η ροή που εξέρχεται είναι στρωτή και οι αγωγοί πλέον είναι πλήρεις. Ανοίγονται τότε οι βάνες πλήρως και ταυτόχρονα αυξάνεται η παροχή στο δίκτυο μέσω της αντλίας του πυροσβεστικού, έτσι ώστε να αυξηθεί η ροή στον αγωγό και να μην προκληθούν στροβιλισμοί μέσα σ αυτόν.

Προτού συνεχιστεί με περισσότερη παροχή και πίεση το δίκτυο γίνεται ένας τελευταίος έλεγχος, εξαερώνοντας το. Η διαδικασία στο συγκεκριμένο δίκτυο, αν και δεν είναι απαραίτητη λόγω του ιδιαίτερα μικρού μήκους του, είναι σχετικά εύκολη. Επιλέχθηκε το μανόμετρο ανάντι της PAT, το οποίο είναι και ουσιαστικά στην ευθεία με το μεγαλύτερο ύψος σε σχέση με το υπόλοιπο δίκτυο. Κλείστηκε το βανάκι που έχει τοποθετηθεί και μεσολαβεί μεταξύ της σέλας στήριξης και του μανόμετρου. Αφαιρέθηκε στη συνέχεια το μανόμετρο και ενώ το δίκτυο είναι σε λειτουργία ανοίχθηκε λίγο η βάννα και κλείστηκε γρήγορα. Παρατηρήθηκε ένας πίδακας νερού με το άνοιγμα της βάννας. Με τον τρόπο αυτόν λοιπόν εξαερώθηκε εύκολα το δίκτυο από τον οποίο αέρα είχε μείνει εγκλωβισμένος στο εσωτερικό του.



108 .Βανάκι Εξαερισμού του Δικτύου

Ο χειριστής της αντλίας του πυροσβεστικού οχήματος είχε ενημερώσει ότι μπορεί να ανεβάζει τις πιέσεις στην αντλία σταδιακά ανά μισή ατμόσφαιρα. Συνεπώς εξάχθηκαν μετρήσεις σταδιακά, για κάθε αύξηση της πίεσης. Προφανώς λόγω των γραμμικών απωλειών, οι προσαυξήσεις στο μανόμετρο ανάντι της PAT δεν ήταν της τάξεως της μισής ατμόσφαιρας, αλλά λίγο λιγότερο.

Οι μετρήσεις αφορούσαν τέσσερα βασικά σημεία. Την παροχή στο δίκτυο, τις πιέσεις ανάντι και κατάντι της PAT και φυσικά τις στροφές του ιμάντα στο δυναμό.

Πρώτη και σημαντική παρατήρηση, ήταν η πολύ μεγάλη πτώση της πίεσης κατάντι της PAT. Επειδή όμως αυτό δεν ήταν ικανοποιητικό ολοένα και αυξανόταν η πίεση στο δίκτυο μέχρι να επιτευχθούν ικανοποιητικές τιμές.

Προτού αυξηθούν σημαντικά οι πιέσεις στο δίκτυο, παρατηρήθηκε μια διαρροή στις συστολές κατάντι τις PAT. Η διαρροή αρχικά ήταν μικρή, με την σταδιακή αύξηση της πίεσης όμως, έγινε εντονότερη. Τελικά η κόλληση στο σημείο αυτό αστόχησε, και η συστολή ξεκόλλησε, προκαλώντας μεγάλη διαρροή στο δίκτυο. Φυσικά διακόπηκε η ροή του νερού και σταμάτησε η αντλία του πυροσβεστικού.

5.6.2 Πρώτη δοκιμή στο δίκτυο Φ63 (2.5’')

Αποσυνδέθηκε ο σύνδεσμος που συναρμολογήθηκε για τη σύνδεση του λάστιχου από το πυροσβεστικό, και συνδέθηκε στον αγωγό που δοκιμάστηκε στη συνέχεια.

Συνδέθηκε το λάστιχο από το πυροσβεστικό στο σύνδεσμο και έγιναν οι τελευταίοι απαραίτητοι έλεγχοι πριν την έναρξη της αντλίας. Ρυθμίστηκαν οι βάνες που έχουν τοποθετηθεί, όπως και προηγουμένως και ελέγχθηκε το σωστό σφίξιμο όλων των παρελκόμενων εξαρτημάτων. Αποσυναρμολογήθηκε η αντλία PAT από το δίκτυο Φ110 (4’’) και συναρμολογήθηκε στο δίκτυο Φ63. Δόθηκε το σήμα και η αντλία του πυροσβεστικού ξεκίνησε να λειτουργεί. Το νερό άρχισε να εισέρχεται στο δίκτυο και όλα σε πρώτη φάση έδειχναν λειτουργικά και χωρίς διαρροές. Ενώ η αντλία ήταν στις λιγότερες δυνατών στροφές ακόμα, άρχισε η ίδια διαδικασία που ακολουθήθηκε και στο δίκτυο Φ110. Πρώτα γεμίστηκαν οι αγωγοί πλήρως, με κατάλληλες διαβαθμίσεις των βανών στο άνοιγμα τους κι έπειτα εξαερώθηκε το δίκτυο, με το ίδιο τρόπο που έγινε και νωρίτερα. Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία αυτή, ήμασταν έπειτα σε θέση να αυξήσουμε τις πιέσεις στο δίκτυο.

Τα αποτελέσματα αντίστοιχα με το δίκτυο Φ110. Παρατηρήθηκε δηλαδή μεγάλη διαφορά στις πιέσεις ανάντι και κατάντι της ΡΑΤ. Ύστερα από λίγη ώρα λειτουργίας του δικτύου έγινε αντιληπτή μια διαρροή σε συστολή, αυτή τη φορά όμως ανάντι της ΡΑΤ. Μέσα σε μερικά δευτερόλεπτα προήλθε και η αστοχία της κόλλησης στη συστολή αυτή και κατ' επέκταση η θραύση του αγωγού στο σημείο αυτό. Απευθείας απενεργοποιήθηκε η αντλία ώστε να διακοπεί η ροή στο δίκτυο.

Δυστυχώς, είχε προκληθεί ζημιά και στα δύο δίκτυα, συνεπώς η πυροσβεστική υπηρεσία δεν χρειαζόταν πλέον. Ελέγχθηκαν οι θραύσεις και οι αστοχίες και οργανώθηκε η επιδιόρθωση τους.

5.7 Επιδιόρθωση θραύσεων και δεύτερη δοκιμή με το πυροσβεστικό όχημα

Και τα δύο δίκτυα λοιπόν αστοχήσανε στις συστολές πριν και μετά την αντλία ΡΑΤ. Ακολούθησε η αποσυναρμολόγηση λοιπόν του κάθε μέρους ξεχωριστά, καθώς και η παρατήρηση και διάγνωση του προβλήματος. Όπως φαίνεται και στη φωτογραφία, δεν αστόχησε απλώς η κόλληση στη συστολή, αλλά και το υλικό της συστολής (φαίνεται να έχει διαβρωθεί). Αυτό συνέβη λόγω λάθους κόλλησης και ύπαρξης κενού μεταξύ του λαιμού της φλάντζας (εξωτερικό κομμάτι) και της συστολής (εσωτερικά του λαιμού). Στην περίπτωση αυτή, το νερό χτυπούσε διαρκώς τη συστολή μέσα στο κενό αυτό, και ουσιαστικά θα την ωθούσε προς τα έξω. Όντως μετά από αρκετή ώρα λειτουργίας του δικτύου, παρατηρήθηκε η πρώτη διαρροή και στη συνέχεια η θραύση. Συνεπώς αποφασίστηκε η αντικατάσταση με καινούρια εξαρτήματα και η επανάληψη της ίδιας μεθόδου συναρμολόγησης, δίνοντας περισσότερη προσοχή αυτή τη φορά στην κόλληση μεταξύ τους. Αφού ολοκληρώθηκαν οι επισκευές στο δίκτυο, υπήρξε επικοινωνία και συνεννόηση με τους αρμόδιους στην Πυροσβεστική Υπηρεσία για την εκ νέου άφιξη της στο χώρο του πειράματος.



1091. Αστοχία κόλλησης και υλικού

Στήθηκε το όχημα, συνδέθηκε στο δίκτυο μας με το λάστιχο τους και ξεκίνησε η αντλία του πυροσβεστικού. Το δίκτυο δούλεψε για άλλη μια φορά κανονικά, χωρίς να παρουσιάζει διαρροές ή άλλα προβλήματα. Η αντλία ΡΑΤ εξήγαγε ικανοποιητικό αριθμό στροφών, αναλογικά με τις πιέσεις και τις παροχές που είχε κάθε φορά το δίκτυο. Αρχικά υπήρξε σύνδεση στο δίκτυο Φ110 (4''), για να παρθούν μετρήσεις και στη συνέχεια θα συνδεόταν στο Φ63. Αυτή τη φορά παρουσιάστηκε διαρροή σε πιο καίριο σημείο. Κατά τη σταδιακή αύξηση της πίεσης παρουσιάστηκε διαρροή στον αντάπτορα που είχε δημιουργηθεί για να συνδεθεί ο σύνδεσμος με το λάστιχο από το πυροσβεστικό όχημα. Μέσα σε μερικά δευτερόλεπτα, όπως ήταν αναμενόμενο, αστόχησε η κόλληση στη συστολή στο εσωτερικό του αντάπτορα και επομένως προήλθε η θραύση του, και φυσικά μεγάλη διαρροή. Επί τόπου διακόπηκε η τροφοδοσία πριν προκληθεί μεγαλύτερη ζημιά. Δυστυχώς είχε κατασκευαστεί ένας μόνο τέτοιος αντάπτορας για τη σύνδεση στα δίκτυα. Συνεπώς δεν υπήρχε η δυνατότητα σύνδεσης και δοκιμής του άλλου δικτύου.

5.8 Επιδιορθώσεις και τελική δοκιμή

5.8.1 Επιδιορθώσεις στα δίκτυα

Μετά από δύο αποτυχημένες προσπάθειες, παρατηρήθηκε ότι το κύριο πρόβλημα ήταν οι συστολές. Οι αστοχίες που εμφανιζόταν κάθε φορά, ήταν όλες πάνω στις συστολές. Επομένως αποφασίστηκε αυτή τη φορά να τρέξει το δίκτυο με όσο το δυνατόν λιγότερες γίνεται.

Οι συστολές που δεν γινόταν να αποφευχθούν σίγουρα ήταν αυτές στην σύνδεση με την ΡΑΤ. Λόγω διαφορετικότητας των διαμέτρων μεταξύ αγωγών και στομιών της αντλίας, η χρήση συστολών στα σημεία αυτά καθίσταται αναγκαία. Από την άλλη πλευρά υπήρξαν κάποιες που γινόταν να αποφευχθούν. Αυτές είναι στους αντάπτορες που θα δημιουργούνταν για τη σύνδεση του λάστιχου του πυροσβεστικού οχήματος. Αυτή τη φορά δημιουργήθηκε ένας για κάθε δίκτυο, έτσι ώστε σε ενδεχόμενο αστοχίας του ενός, να καθίσταται δυνατή η υλοποίηση του άλλου. Η αρχή έγινε με τον σύνδεσμο για το δίκτυο Φ63 (2.5'') που είναι απλή και γρήγορη η συναρμολόγηση του αντάπτορα. Ο προηγούμενος αντάπτορας αστόχησε στη συστολή που υπήρχε μετά τη βάνα. Συνεπώς το κομμάτι από το σύνδεσμο του λάστιχου μέχρι και το μεικτό σύνδεσμο που είναι βιδωμένος στη βάνα είναι ακόμα λειτουργικό. Προφανώς βέβαια ο μεικτός σύνδεσμος στο άκρο του, που συνδεόταν με τη συστολή δεν είναι σε άψογη κατάσταση γι' αυτό και αντικαταστάθηκε με καινούριο. Έπειτα συνδέθηκε ο καινούριος μεικτός σύνδεσμος από τη μία του πλευρά με τη βάνα και από την άλλη με τον αγωγό Φ63(2.5'') του δικτύου μας. Το αποτέλεσμα φαίνεται παρακάτω:



122. Αντάπτορας σύνδεσης με το λάστιχο του πυροσβεστικού για το δίκτυο Φ63(2.5'')

Στη συνέχεια δημιουργήθηκε ο αντίστοιχος αντάπτορας για το δίκτυο Φ110 (4''). Στη συγκεκριμένη κατασκευή χρησιμοποιήθηκαν διάφορα εξαρτήματα που υπήρχαν ήδη στο εργαστήριο, όπως επίσης και ορισμένα επιπρόσθετα που χρειάστηκε να αγοραστούν (ήταν ετοιμοπαράδοτα στην αγορά).

Σαν μέσο σύνδεσης με τον αγωγό αρχικά συνδέθηκε με μια φλάντζα Φ110(4'') και το λαϊμό της. Αμέσως μετά χρειάστηκε να τοποθετηθεί μία βάνα για τον έλεγχο της ροής στο δίκτυο. Στο εργαστήριο υπήρχε μία βάνα μεγάλη (4'') κατάλληλη για την περίπτωση μας, η οποία και χρησιμοποιήθηκε. Επίσης συνδέθηκε με την ίδια μέθοδο με τις υπόλοιπες που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι στιγμής. Η βάνα υπήρχε έτοιμη με προ εγκατεστημένους δύο μεικτούς συνδέσμους πάνω της, ένα σε κάθε μεριά της. Για την σύνδεση με τη φλάντζα και το λαϊμό της, απλώς κόπηκε ένα μικρό κομμάτι σωλήνα, με μήκος τόσο όσο και τα εσωτερικά κενά του λαϊμού της φλάντζας και του μεικτού συνδέσμου (προστέθηκαν και δύο εκατοστά επιπλέον σαν ασφάλεια), και τα κολλήθηκαν μεταξύ τους.

Από την άλλη πλευρά της βάνας χρειάστηκε να συνδεθεί ο ειδικός σύνδεσμος που συνδέει το λάστιχο του πυροσβεστικού. Αυτός είναι διαμέτρου Φ62, συνεπώς χρειάστηκε υποχρεωτικά ένα συστολικό μέσο για την μετάβαση από βάνα 4'' σε σύνδεσμο 2,5''. Ο μεικτός σύνδεσμος από την πλευρά αυτή δεν χρειάστηκε οπότε αφαιρέθηκε. Για τη σύνδεση χρησιμοποιήθηκε ένα ρακόρ συστολικού τύπου, το οποίο από τη μία πλευρά είχε αρσενικές βόλτες με διάμετρο 4'', η οποία συνδέθηκε στη βάνα. Από την άλλη πλευρά είχε ένα σπείρωμα θηλυκό με διάμετρο 2.5''. Συνεπώς προήλθε η αγορά ενός ακόμα ρακόρ 2.5'', με αρσενικό σπείρωμα για τη σύνδεση στις θηλυκές βόλτες του παραπάνω. Τέλος αγοράστηκε άλλος ένας ειδικός σύνδεσμος στον οποίο συνδέθηκε το λάστιχο του πυροσβεστικού. Συνοπτικά το αποτέλεσμα είναι το παρακάτω:



110. Αντάπτορας σύνδεσης με το λάστιχο του πυροσβεστικού για το δίκτυο Φ110 (4'')

5.8.2 Τελική Δοκιμή με το Πυροσβεστικό Όχημα

Αφού ολοκληρώθηκαν οι επιδιορθώσεις, ήρθε η ώρα να καλεστεί για μία ακόμα δοκιμή η Πυροσβεστική Υπηρεσία. Μετά από τηλεφωνική επικοινωνία με τους αρμόδιους της υπηρεσίας, προγραμματίστηκε η ημερομηνία για τη διενέργεια του πειράματος. Δυστυχώς όμως ενημερωθήκαμε κατά την τηλεφωνική επικοινωνία μας, πώς λόγω φόρτου εργασίας κυρίως, αυτή θα ήταν η τελευταία φορά που θα βοηθούσαν στο πείραμα.

Έγιναν πολύ επιμελείς έλεγχοι σε όλο το δίκτυο, για τη σωστή σύνδεση των εξαρτημάτων και την καλή στεγανότητα τους. Κατέφθασε λοιπόν το πυροσβεστικό όχημα στις εγκαταστάσεις, τοποθετήθηκε στη θέση του και απλώθηκαν τα λάστιχα για τη σύνδεση στο δίκτυο μας. Συνδέθηκε το λάστιχο στην αντλία του πυροσβεστικού και στον αντάπτορα που συνδέει τον αγωγό Φ110(4'') και ξεκίνησε να τροφοδοτεί το δίκτυο μας.

Προτού ξεκινήσει η αντλία, ρυθμίστηκαν οι βάνες εισόδου κι εξόδου όπως είχε αναφερθεί και προηγουμένως, γεμίστηκε το δίκτυο και αφαιρέθηκε το πρώτο μανόμετρο ανάντι της ΡΑΤ για την εξαέρωση του δικτύου. Αμέσως μετά, δόθηκε σήμα στον χειριστή της αντλίας και η αντλία ξεκίνησε να τροφοδοτεί το δίκτυο με περισσότερες στροφές. Στην ιδανική περίπτωση που το δίκτυο λειτουργούσε απροβλημάτιστα, είχε τεθεί για λόγους ασφάλειας, σαν μέγιστο όριο πιέσεων τις έξι με επτά ατμόσφαιρες, παρόλο που οι αγωγοί είναι μεγαλύτερης αντοχής σε πιέσεις.

Ενώ η αντλία λειτουργούσε ακόμα στις λιγότερες δυνατές στροφές και προτού γίνουν οι ρυθμίσεις που προαναφέρθηκαν για το γέμισμα των αγωγών και την εξαέρωση, ελέγχθηκε το δίκτυο για πιθανές διαρροές και σωστή λειτουργία. Εφόσον ολοκληρώθηκαν τα παραπάνω, αυξήθηκαν οι πιέσεις στο δίκτυο. Η παροχή στο δίκτυο αυξανόταν σταδιακά σε συνεννόηση με το χειριστή της αντλίας, ο οποίος ανέβαζε από μισό μπαρ κάθε φορά στο δείκτη πίεσης που είχε η αντλία του οχήματος. Το δίκτυο δούλευε απροβλημάτιστα, οπότε σιγά σιγά κατόπιν συνεννόησης αυξάνονταν οι πιέσεις. Λόγω γραμμικών απωλειών από την αντλία μέχρι το μανόμετρο, παρόλο που η ένδειξη του ρολογιού της αντλίας ήταν υψηλή, η ένδειξη του μανομέτρου, ανέβαινε με ιδιαίτερα αργούς ρυθμούς.

Μετά από λίγη ώρα λειτουργίας του δικτύου, κι ενώ η ένδειξη του μανομέτρου είχε φτάσει στα 2.5 bar, παρατηρήθηκε μια πολύ μικρή διαρροή πάλι σε συστολή. Αυτή τη φορά ήταν στη συστολή του αντάπτορα που συνδέθηκε το πυροσβεστικό λάστιχο. Η ένδειξη στο μανόμετρο όμως, ήταν ακόμα χαμηλή, συνεπώς αποφασίστηκε να αυξηθούν κι άλλο οι πιέσεις, παρόλο της αστοχίας και της θραύσης που μπορούσε να προκληθεί στο σημείο αυτό. Απομακρύνθηκε ότι περιττό υπήρχε για να μη βραχεί κατά τη θραύση και δόθηκε σήμα στο χειριστή να αυξήσει κι άλλο την πίεση.

Όπως ήταν αναμενόμενο, μετά από λίγο προήλθε η θραύση του αγωγού στο σημείο αυτό, λόγω αστοχίας της κόλλησης της συστολής. Η μέγιστη πίεση που δόθηκε στο δίκτυο ήταν τρία (3) μπαρ. Από την μία πλευρά υπήρχε μια ικανοποίηση όσον αφορά τις μετρήσεις, διότι η αντίστοιχη πίεση είναι πολύ συνηθισμένη σε δίκτυα ύδρευσης και ταυτόχρονα οι αντίστοιχες στροφές του άξονα ήταν πολύ μεγάλες, που σημαίνει πολύ καλή ενεργειακή απόδοση της αντλίας.



111. Διαρροή στη συστολή μέσα στον αντάπτορα

Φυσικά δεν τελείωσε ακόμα το πείραμα καθώς δεν είχε δοκιμαστεί το δίκτυο $\Phi 63$ (2,5''). Λύθηκε λοιπόν το λάστιχο από το δίκτυο $\Phi 100$ (4'') και συνδέθηκε στο δίκτυο $\Phi 63$ (2.5''). Προτού ξεκινήσει η λειτουργία του δικτύου, καθαρίστηκε ο χώρος από τα εναπομείναντα νερά και συνδέθηκε η αντλία PAT στο δίκτυο. Ρυθμίστηκαν οι βάνες εισόδου κι εξόδου και αφαιρέθηκε το μανόμετρο από τη σέλα ανάντι της PAT. Έπειτα ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία και το πυροσβεστικό τροφοδοτήσε το δίκτυο.

Η διαδικασία ίδια όπως κάθε άλλη φορά, γεμίστηκε το δίκτυο, εξαερώθηκε με τον ίδιο τρόπο και άρχισε μετά να του δίνεται πίεση. Στην αρχή όλα λειτουργούσαν σωστά, υπήρχαν ενδείξεις στους μετρητές και η αντλία PAT απέδιδε ικανοποιητικό αριθμό στροφών.

Σταδιακά αρχίζει και αυξάνεται η πίεση στο δίκτυο. Τα μανόμετρα ανεβάζουν τις ενδείξεις τους και η PAT αυξάνει τις στροφές του άξονα της. Πλέον ήταν δεδομένο ότι κάποια στιγμή θα εμφανιστεί μια διαρροή. Μόλις έφτασε η ένδειξη του μανομέτρου ανάντι της PAT στα δύο (2) μπαρ, άρχισε σιγά σιγά να πετάγεται ένας μικρός πίδακας νερού από μία συστολή πάλι ανάντι της PAT. Όντας έτοιμοι για τη θραύση και το σταμάτημα λειτουργίας του δικτύου, δόθηκε σήμα στο χειριστή της αντλίας να αυξήσει την πίεση για να ληφθούν οι τελευταίες μετρήσεις. Ενώ το μανόμετρο έδειχνε 2.7 μπαρ, προήλθε η αστοχία της συστολής και η θραύση του αγωγού στο σημείο εκείνο. Ο χειριστής σταμάτησε αμέσως τη λειτουργία της αντλίας και το πείραμα έφθασε στο τέλος του.

Μαζεύτηκε το λάστιχο του πυροσβεστικού και καθαρίστηκε το εργαστήριο από τα εναπομείναντα νερά. Σε γενικές γραμμές ήμασταν ικανοποιημένοι από τα αποτελέσματα που λάβαμε και σειρά είχε η μελέτη τους και η διεξαγωγή συμπερασμάτων, τα οποία και παρουσιάζονται παρακάτω.

5.9 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Πειράματος

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο πίνακας με τις μετρήσεις από τη διεξαγωγή του πειράματος, για το κάθε δίκτυο ξεχωριστά. Σ αυτόν αντιστοιχούνται, για τις διάφορες παροχές που τροφοδοτήθηκε το δίκτυο,

οι αντίστοιχες πιέσεις του δικτύου ανάντι και κατάντι της αντλίας, όπως επίσης και οι στροφές του μάντα. Να σημειωθεί ότι οι στροφές που μετρήθηκαν, ήταν οι στροφές του μάντα στο σημείο επαφής με την τροχαλία του δυναμό. Κάνοντας τις κατάλληλες μετατροπές, υπολογίστηκαν έπειτα οι αντίστοιχες στροφές του δυναμό, της τροχαλίας της αντλίας και του άξονα της αντλίας, οι οποίες και παρουσιάζονται σε πίνακα παρακάτω.

Πίνακας 1. Παρουσίαση αποτελεσμάτων για το δίκτυο Φ110 (4")

Δίκτυο Φ110 (4")				
A/A	Παροχή (m ³ / h)	Πίεση Ανάντι (Bar)	Πίεση Κατάντι (Bar)	Στροφές Ιμάντα (rpm)
1	26,5	0,6	0	388
2	29,3	1	0,1	477
3	32,1	1,3	0,15	538
4	33,9	1,6	0,2	597
5	37,9	1,9	0,3	657
6	40,9	2,5	0,4	744
7	45	2,8	0,5	799
8	47,4	3	0,5	843

Πίνακας 2. Παρουσίαση αποτελεσμάτων για το δίκτυο Φ63 (2.5")

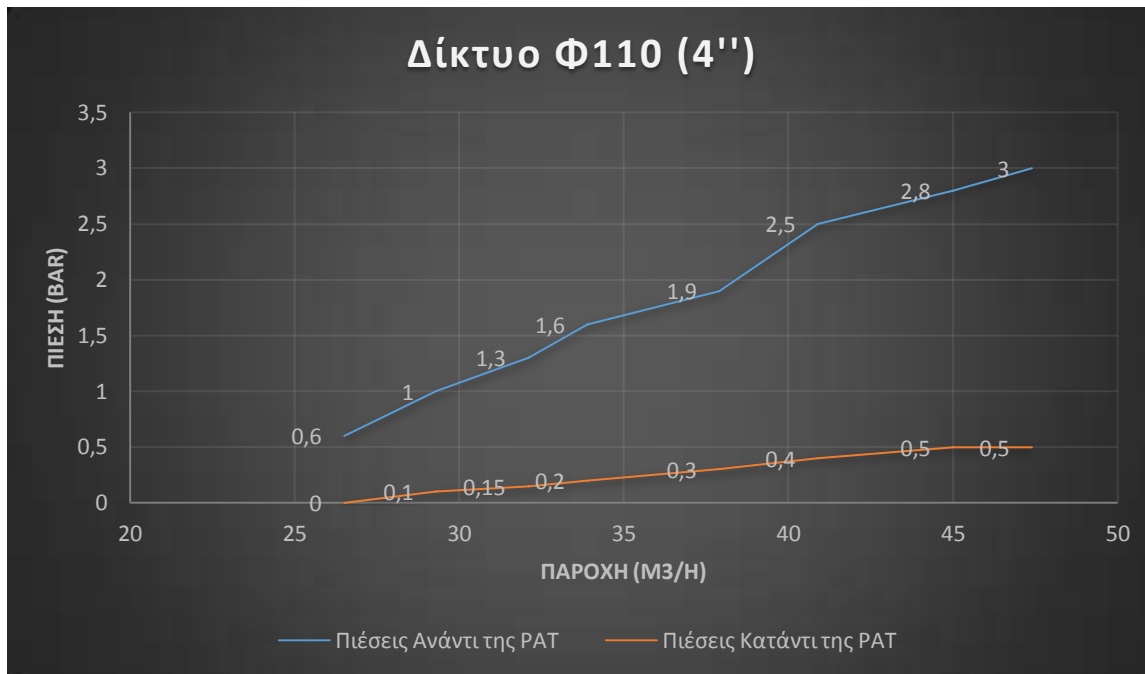
Δίκτυο Φ63 (2.5")				
A/A	Παροχή (m ³ / h)	Πίεση Ανάντι (Bar)	Πίεση Κατάντι (Bar)	Στροφές Ιμάντα (rpm)
1	32	0,5	0	280
2	36	1,6	0,5	550
3	38	2	0,6	616
4	38	2,4	0,6	670
5	44	2,7	0,7	720

Παρατηρείται ότι η διαφορά της πίεσης πριν και μετά την PAT είναι μεγάλη. Η πίεση κατάντι της PAT είναι ιδιαίτερα χαμηλή και παρέμενε σε χαμηλά επίπεδα παρόλο που αυξανόταν σημαντικά η πίεση ανάντι. Τελικά όμως όλη αυτή η ενέργεια δεν χανόταν, αλλά όπως φαίνεται και στους παρακάτω πίνακες, μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια στον άξονα της αντλίας.

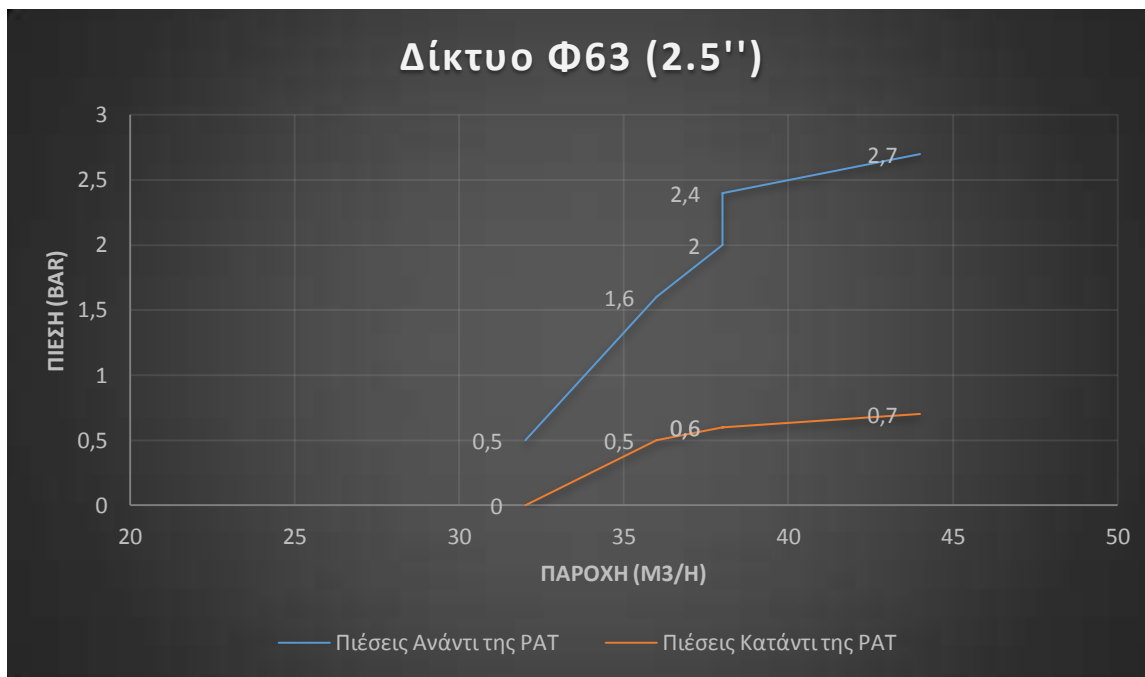
Παρακάτω παρουσιάζονται τα προαναφερθέντα αποτελέσματα με τη μορφή διαγραμμάτων, για κάθε δίκτυο ξεχωριστά, με τις πιέσεις που παρουσιάστηκαν κατά τη διενέργεια του πειράματος και τις αντίστοιχες παροχές τους. Σε κάθε διάγραμμα διακρίνονται για συγκεκριμένη παροχή, τις αντίστοιχες πιέσεις ανάντι της PAT με την μπλε γραμμή και κατάντι της PAT με την πορτοκαλί γραμμή.

Όπως φαίνεται και στους παραπάνω πίνακες, το εύρος των αποτελεσμάτων για το δίκτυο Φ110 (4") είναι σαφώς μεγαλύτερο σε σχέση με το δίκτυο Φ63 (2.5") γι' αυτό και το διάγραμμα του Φ110(4") είναι και πιο αναλυτικό. Παρατηρείται ότι και τα δύο διαγράμματα είναι μονοτονικά αυξανόμενα, δηλαδή όσο αυξάνεται η τιμή κάποιου άξονα, αυξάνεται και η τιμή του άλλου άξονα, χωρίς όμως να υπάρχει απαραίτητα κάποια αναλογία μεταξύ αυτών.

Διάγραμμα 1. Αντιστοιχία Πιέσεων Παροχών ανάντι και κατάντι της PAT για το δίκτυο Φ110 (4")



Διάγραμμα 2. Αντιστοιχία Πιέσεων Παροχών ανάντι και κατάντι της PAT για το δίκτυο Φ63 (2.5'')



Μέσω των διαγραμμάτων υπολογίζεται εύκολα η πτώση της πίεσης που προκύπτει, απλώς αφαιρώντας τις δύο τιμές της πίεσης, ανάντι και κατάντι, για κάθε αντίστοιχη παροχή. Με τη παρουσίαση τελικά των παρακάτω διαγραμμάτων, γίνεται ακόμα πιο αισθητό το μέγεθος της πτώσης της πίεσης στην PAT.

Οι μετρήσεις των στροφών που διεξήχθησαν αφορούν τις στροφές που κάνει ο μάντας με σημείο αναφοράς το δυναμό. Αυτό που μας ενδιαφέρει στην περίπτωση αυτή είναι οι στροφές του άξονα της

αντλίας. Παρακάτω λοιπόν παρουσιάζονται σε πίνακες οι αντίστοιχες στροφές στο δυναμό και στην τροχαλία που είναι συνδεμένη στον άξονα της αντλίας και κατ' επέκταση δηλαδή οι στροφές του ίδιου του άξονα.

Πίνακας 3. Μετατροπή στροφών του μάντα σε στροφές για το δυναμό και για τον άξονα της αντλίας για το δίκτυο Φ110 (4")

Δίκτυο Φ110 (4")			
A/A	Στροφές Ιμάντα (rpm)	Στροφές Δυναμό (rpm)	Στροφές Άξονα (rpm)
1	388	2056	1234
2	477	2528	1517
3	538	2851	1711
4	597	3164	1898
5	657	3482	2089
6	744	3943	2366
7	799	4235	2541
8	843	4468	2681

Πίνακας 4. Μετατροπή των στροφών του μάντα σε στροφές του δυναμό και του άξονα της αντλίας για το δίκτυο Φ63 (2.5")

Δίκτυο Φ63 (2.5")			
A/A	Στροφές Ιμάντα (rpm)	Στροφές Δυναμό (rpm)	Στροφές Άξονα (rpm)
1	280	1484	890
2	550	2915	1749
3	616	3265	1959
4	670	3551	2131
5	720	3816	2289

Παρατηρείται τελικά ότι οι τιμές στο δυναμό και στον άξονα είναι αρκετά ικανοποιητικές. Όπως είναι γνωστό, το δυναμό ενός αυτοκινήτου έχει κάποιο ελάχιστο όριο στροφών για να μπορέσει να αποδώσει ρεύμα. Το όριο αυτό είναι οι 800 στροφές ανά λεπτό. Προφανώς και τα δύο δίκτυα ικανοποιούν την απαίτηση αυτή ακόμα και στις αρχικές πιέσεις έναρξης λειτουργίας του κάθε δικτύου. Επιπρόσθετα παρατηρείται ότι οι στροφές του άξονα της αντλίας είναι επίσης ικανοποιητικές και δεν ξεπερνούν το όριο στροφών λειτουργίας, κατά την κανονική λειτουργία της αντλίας, το οποίο σύμφωνα με τον κατασκευαστή είναι 2900 στροφές ανά λεπτό.

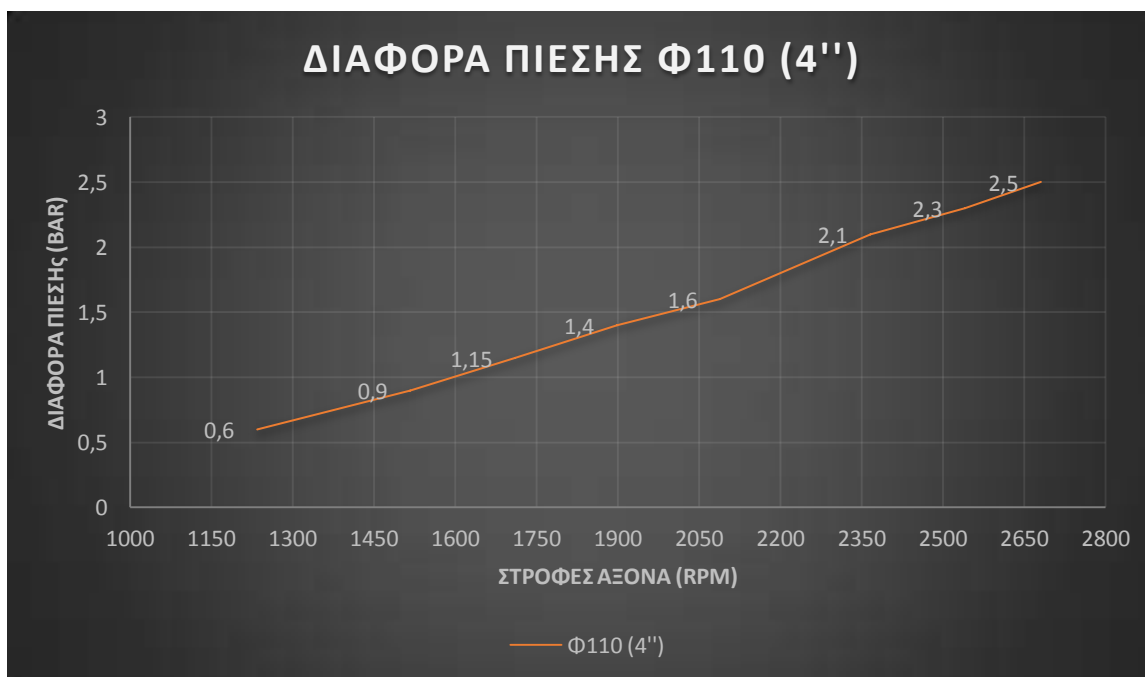
Γενικότερα οι στροφές της αντλίας στην κανονική λειτουργία της κυμαίνονται μεταξύ 1450 και 2900, ανάλογα το μοτέρ στο οποίο είναι συνδεδεμένες. Έπειτα οι αποδόσεις της αντλίας εξαρτώνται από τον αριθμό των στροφών του άξονα. Στην περίπτωση αυτή οι περισσότερες μετρήσεις, όπως φαίνεται και στα παρακάτω διαγράμματα, είχαν τιμές μεταξύ των ορίων αυτών, συνεπώς η αντλία δούλεψε μέσα στα κανονικά όρια λειτουργίας της, χωρίς να υπολειτουργεί λόγω χαμηλής απόδοσης ή να παραλείπει με ρίσκο αστοχίας κάποιου υλικού ή εξαρτήματος της.

Διάγραμμα 3. Διαφορά Πίεσης ανάντι και κατάντι της ΡΑΤ σε συνάρτηση με τις στροφές που προκύπτουν στον άξονα της

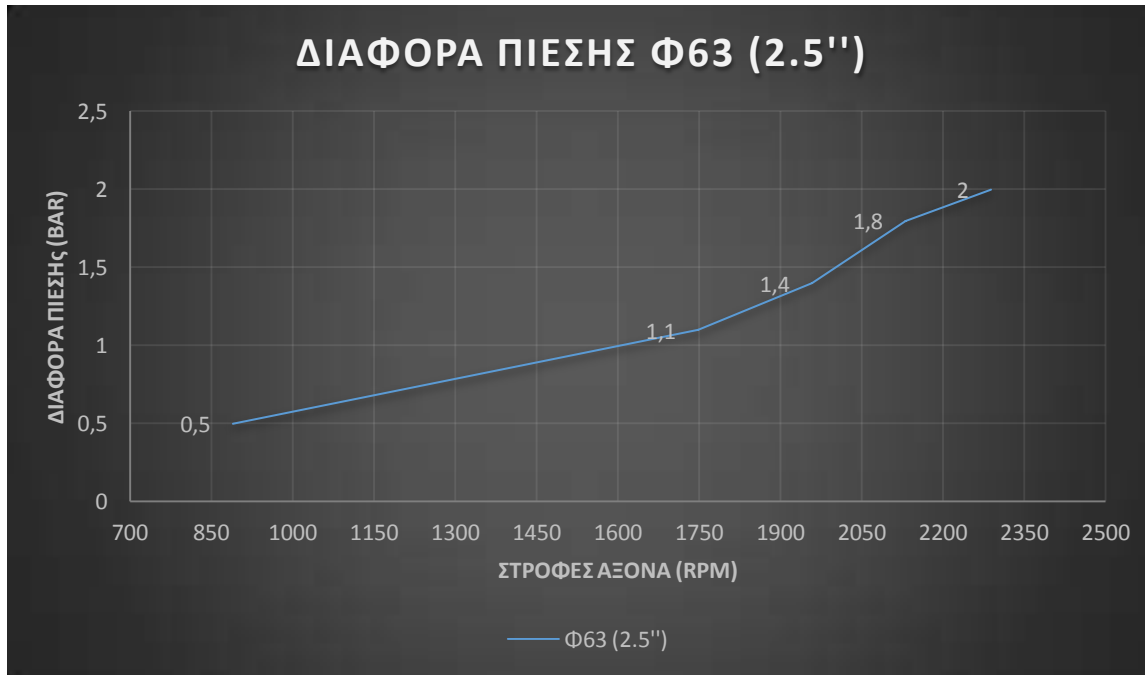


Στη συνέχεια παρουσιάζονται δυο διαγράμματα, ένα για κάθε δίκτυο, στα οποία φαίνεται η πτώση της πίεσης που παρουσιάζεται στην ΡΑΤ, και οι αντίστοιχες στροφές στον άξονα για τις τιμές αυτές.

Διάγραμμα 4. Πτώση πίεσης στην ΡΑΤ και οι αντίστοιχες στροφές του άξονα - δίκτυο Φ110 (4'') -

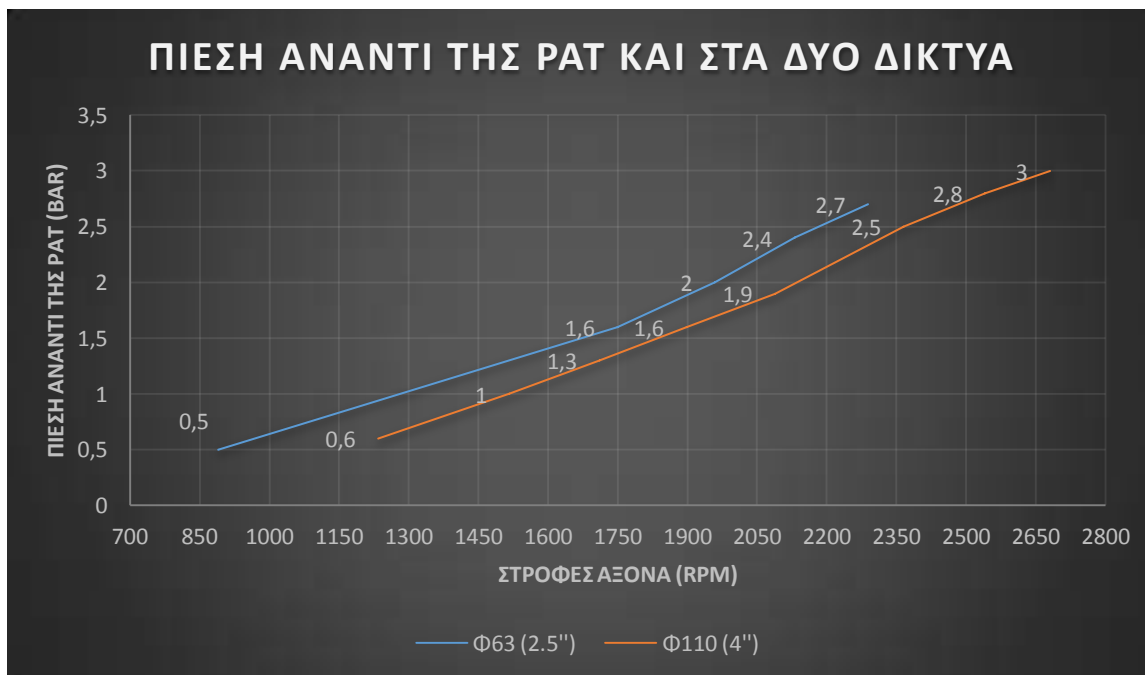


Διάγραμμα 5. Πτώση πίεσης στην ΡΑΤ και οι αντίστοιχες στροφές στον άξονα - δίκτυο Φ63 (2.5'')



Τέλος, παρουσιάζεται ένα διάγραμμα στο οποίο εμφανίζονται οι πιέσεις ανάντι της αντλίας ΡΑΤ, σε συνάρτηση με τις στροφές που προκαλούν στην αντλία.

Διάγραμμα 6. Πιέσεις ανάντι της ΡΑΤ και οι αντίστοιχες στροφές του άξονα



Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα – Προτάσεις Περαιτέρω Ανάπτυξης

Το πείραμα είχε να κάνει ουσιαστικά με την τοποθέτηση μιας κοινής αντλίας σε ένα δίκτυο, κατά την ανάποδη φορά λειτουργίας της, ώστε να λειτουργήσει σαν υδροτουρμπίνα. Ταυτόχρονα ελέγχθηκε πως αυτή επηρεάζει το δίκτυο στις πιέσεις του και τελικά πως αποδίδει ενεργειακά. Οι μετρήσεις που πάρθηκαν δεν ήταν πάρα πολλές, παρόλα αυτά υπήρξαν μερικά ικανοποιητικά αποτελέσματα, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα και παρατηρήσεις από την όλη διαδικασία.

6.1 Συμπεράσματα από τη λειτουργία της αντλίας ως τουρμπίνα (PAT)

Πρώτη παρατήρηση και πιο σημαντική, είναι η μεγάλη πτώση της πίεσης κατάντι της αντλίας (PAT). Ανεξάρτητα από το μέγεθος των πιέσεων ανάντι της αντλίας, συνεχώς οι πιέσεις κατάντι ήταν υπερβολικά μικρές, της τάξεως μικρότερες της μίας (1) ατμοσφαιρας. Βέβαια λόγω αστοχιών στο δίκτυο δεν επιτεύχθηκαν πιέσεις μεγαλύτερες των 3,5 ατμοσφαιρών, ώστε να παρατηρηθεί αν σε μεγαλύτερες πιέσεις, δεν παρουσιαζόταν τόσο μεγάλη πτώση της πίεσης.

Επίσης η μεγάλη πτώση της πίεσης, ταυτίζεται με ενεργειακή απόδοση στην αντλία PAT. Αυτό σημαίνει ότι η πτώση της πίεσης ανάντι και κατάντι της αντλίας ισοδυναμεί με ενέργεια που διαμοιράζεται στα διάφορα μέρη της αντλίας. Όπως παρατηρήθηκε υπάρχει μετατροπή της ενέργειας από δυναμική σε κινητική στον άξονα και στη πτερωτή, χάρη στην περιστροφική κίνηση της πτερωτής. Ταυτόχρονα όμως, λόγω της σύνδεσης του άξονα της αντλίας με το δυναμό μέσω ιμάντα, παρουσιάζονται κάποιες τριβές και αντιστάσεις, οι οποίες θα αυξηθούν περισσότερο, στην περίπτωση που παραχθεί ρεύμα στο δυναμό και αρχίσει αυτό με τη σειρά του να ασκεί ένα είδος αντίστασης στην κίνηση.

Τέλος, εμφανίζονται απώλειες ενέργειας στο εσωτερικό της πτερωτής λόγω της γεωμετρίας και της κατασκευής της. Η πτερωτή είναι κατασκευασμένη έτσι ώστε να απορροφά το νερό από το εσωτερικό της και να εξέρχεται δια μέσω των πτερυγίων της. Με τον τρόπο αυτό συνεργάζονται όλα τα πτερύγια της μαζί, και επιφέρει τη μέγιστη απόδοση της. Στην ανάποδη λειτουργία της όμως, λόγω κατασκευής, το νερό εισέρχεται στα πτερύγια, αλλά σε πολύ περιορισμένο αριθμό αυτών, και όχι σε όλα μαζί την ίδια στιγμή κι έπειτα εξέρχεται από το μέσο της. Εξαιτίας αυτής της κατάστασης, προκαλείται τελικά απώλεια και πτώση πίεσης. Για την αποφυγή του προβλήματος αυτού, θα αναφερθούμε στην επόμενη παράγραφο για πιο κατάλληλα είδη πτερωτών.

6.2 Προτάσεις χρήσης μιας αντλίας ως τουρμπίνα

Σύμφωνα με την πρώτη παρατήρηση της προηγούμενης παραγράφου, παρατηρήσαμε ότι οι πιέσεις μειώνονται δραματικά κατάντι της αντλίας. Μια καλή ιδέα λοιπόν είναι η χρήση τους σε πιεζοθραυστικά φρεάτια.

Το νερό μπορεί να ξεκινάει μια διαδρομή από δεξαμενές για παράδειγμα(είτε γεωτρήσεις κτλ.), μέσω αγωγών και να καταλήγει σε δεξαμενή συλλογής και διαλογής. Η μεταφορά αυτή μπορεί να γίνει μέσω αγωγών πίεσης (με τη χρήση αντλιών) είτε μέσω βαρυτικών δικτύων. Κατά την άφιξη του λοιπόν στη δεξαμενή περισυλλογής, αυτό έχει κάποια πίεση. Συνεπώς χρησιμοποιούνται πιεζοθραυστικά φρεάτια, κάποια ειδικά φρεάτια δηλαδή, που στόχο έχουν τη μείωση της πίεσης και της εναπόθεσης έπειτα του νερού σε δεξαμενές μέσω άλλων αγωγών.

Συνήθως η διαδικασία αυτή γίνεται με τη δημιουργία δύο θαλάμων, του θαλάμου εισόδου και του θαλάμου πιεζόθραυσης. Ο αγωγός διέρχεται μέσα από τον πρώτο και καταλήγει στον δεύτερο. Στον πρώτο θάλαμο τοποθετείται δικλείδα απομόνωσης, δικλείδα ρύθμισης πίεσης και άλλα εξαρτήματα. Στο θάλαμο αυτό λοιπόν θα μπορούσε να τοποθετηθεί μια ΡΑΤ, η οποία θα παίζει δύο ρόλους ταυτόχρονα. Πρώτος και βασικός, την ελάττωση της πίεσης αντί του πιεζοθραυστικού θαλάμου. Επιπρόσθετα θα είναι δυνατή η παραγωγή κάποιας ποσότητας ενέργειας για την κάλυψη μέρους ή όλων των αναγκών των εγκαταστάσεων σε ενέργεια.

Παράλληλα με την αντλία, συνίσταται η δημιουργία ενός αγωγού by-pass, που θα καταλήγει σε πιεζοθραυστικό θάλαμο, ο οποίος θα χρησιμοποιείται προσωρινά, σε περίπτωση βλάβης της ΡΑΤ ή γενικότερης επισκευής μέρους του δικτύου.

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, λόγω της πληθώρας των υπαρχουσών τύπων αντλιών, μπορεί να καλυφθεί κάθε περίπτωση ανάλογα με το είδος της αντλίας και τις αντίστοιχες απαιτήσεις. Το ίδιο ισχύει και για τη λειτουργία τους ως τουρμπίνες. Κάθε τύπος αντλίας, όταν συνδεθεί σαν ΡΑΤ σε κάποιο δίκτυο έχει και τις αντίστοιχες δικές του αποδόσεις. Συνεπώς είναι συνετό να μελετηθεί το κάθε είδος ξεχωριστά και ανάλογα με τις ανάγκες και τις απαιτήσεις σε πτώση πίεσης αλλά και παραγωγή ενέργειας, να επιλεχθεί η πιο κατάλληλη αντλία ανά περίπτωση.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, για μια μονοβάθμια φυγοκεντρική αντλία ακτινικής ροής, η χρήση της είναι συγκεκριμένη. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της (τύπος και γεωμετρικά χαρακτηριστικά πτερωτής, διαστάσεις στομίων αναρρόφησης και κατάθλιψης κτλ.) παρέχει συγκεκριμένες αποδόσεις και τα αποτελέσματα είναι αντίστοιχα με τα δικά μας.

Ουσιαστικά αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε δίκτυα που δεν τροφοδοτούνται από αντλία, δηλαδή σε βαρυτικά δίκτυα, και να παίζουν το ρόλο πιεζοθραυστικών, ακριβώς όπως αναφέραμε παραπάνω. Να μειώνουν την πίεση δηλαδή και να το εκμεταλλευόμαστε παράλληλα.

6.3 Προτάσεις για Βελτιώσεις – Περαιτέρω Διερεύνηση

Καθ' όλη την περίοδο διενέργειας του εργαστηριακού αυτού πειράματος, της οργάνωσης, της συναρμολόγησης και της λειτουργίας του, όπως παρατηρήθηκε παρουσιάστηκαν πολλές δυσκολίες, οι οποίες και ξεπεράστηκαν και εν τέλει βρέθηκαν οικονομικές και μη χρονοβόρες λύσεις. Είναι κατανοητό ότι το εργαστηριακό αυτό πείραμα, έπρεπε να είναι στα πλαίσια μιας διπλωματικής εργασίας, και κατά συνέπεια υπήρξε περιορισμός αρκετά σε θέματα χρόνου και οικονομικής φύσεως.

Σε μία παράλληλη εγκατάσταση όμως ενός τέτοιου πειράματος, στην οποία δεν θα υπάρχουν περιορισμοί ούτε οικονομικοί αλλά ούτε και χρονικοί, υπάρχουν ορισμένα σημεία πάνω στα οποία θεωρούμε αναγκαίες τις τροποποιήσεις και βελτιώσεις τους. Παρακάτω λοιπόν παρουσιάζονται ορισμένα από αυτά, τα οποία θεωρούνται πιο καίρια.

Αντικατάσταση των υλικών του δικτύου.

Το δίκτυο σαφώς και θα αποδώσει καλύτερα και θα έχει μεγαλύτερες αντοχές, όταν τα υλικά, εξαρτήματα και αγωγοί που χρησιμοποιούνται είναι μεταλλικά (και ορειχάλκινα τα εξαρτήματα). Στα δικά μας δίκτυα χρησιμοποιήθηκαν πλαστικοί σωλήνες πίεσεως (αντοχής μέχρι 10 και 16 ατμοσφαιρών) από PVC υλικό. Οι λόγοι ήταν κυρίως οικονομικοί, λόγω της μεγάλης διαφοράς στις

τιμές μεταξύ μεταλλικών αγωγών (και εξαρτημάτων σύνδεσης) και πλαστικών PVC. Επίσης οι πλαστικοί αγωγοί από PVC παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευκολία στην επεξεργασία τους καθώς και στη συνδεσμολογία υλικών. Από την άλλη πλευρά οι μεταλλικοί αγωγοί απαιτούν ειδικό εξοπλισμό για την κατεργασία τους και μεγάλο βαθμό προσοχής κατά τη διαδικασία αυτή. Τα μέτρα ασφαλείας θα πρέπει να τηρούνται αυστηρά και οι τεχνικές επεξεργασίας τους (κόψιμο με τροχούς ή οξυγόνα, κόλληση και σύνδεση μέσω ηλεκτροκόλλησης και ηλεκτροδίων κ.ά.) συνίσταται μόνο σε εξειδικευμένο προσωπικό.

Εκτός από το κόστος και τη δυσκολία επεξεργασίας και σύνδεσης των μεταλλικών υλικών, παρακάτω παρουσιάζονται και τα θετικά στοιχεία που θα προσφέρουν στο δίκτυο. Αρχικά, με κατάλληλη στήριξη, θα προσφέρουν μεγαλύτερη σταθερότητα στο δίκτυο, λόγω αυξημένου βάρους. Φυσικά υποστηρίζουν και πολύ μεγαλύτερες τιμές σε πιέσεις και λόγω τρόπου σύνδεσης τους, μειώνονται οι πιθανότητες αστοχιών και θραύσεων. Το μεγαλύτερο πρόβλημα ήταν οι αστοχίες στις κολλήσεις στις συστολές, συνεπώς και προκαλούνταν θραύση στους αγωγούς. Μέσω των μεταλλικών αγωγών όμως και τις συνδέσεις των εξαρτημάτων μέσω ηλεκτροκόλλησης, οι πιθανότητες θραύσης σε κάποιο σημείο του δικτύου μειώνονται δραματικά.

Τροφοδοσία του δικτύου με μια αντλία υψηλού μανομετρικού .

Όπως φάνηκε στο πείραμα αυτό, αρχικά χρησιμοποιήθηκε μια αντλία που υπήρχε ήδη εγκατεστημένη στο εργαστήριο, η οποία δυστυχώς δεν είχε τη ικανότητα να παρέχει τις απαραίτητες πιέσεις στο δίκτυο. Συνεπώς απαιτήθηκε η επέμβαση της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας για βοήθεια μέσω της αντλίας του Πυροσβεστικού οχήματος. Είναι κατανοητό όμως πως δεν είναι επιθυμητή η εξάρτηση από μια δημόσια υπηρεσία, με καθημερινές υποχρεώσεις και ευθύνες, για τη διενέργεια του πειράματος. Αναμενόμενο λοιπόν ήταν, αφού δέχθηκαν να εξυπηρετήσουν, να το κάνουν σε δικές τους ημερομηνίες και ώρες.

Γίνεται έπειτα κατανοητό, ότι οι δοκιμές και οι μετρήσεις του πειράματος θα είναι περιορισμένες. Συνεπώς η καλύτερη λύση είναι η χρήση μιας δικιάς μας αντλίας, η οποία θα συνδεθεί στο δίκτυο και θα υπάρχει η δυνατότητα πολλών δοκιμών ανεξαρτήτως χρόνου και ποσότητας τους. Φυσικά η αντλία θα πρέπει να έχει υψηλό μανομετρικό, για να διοχετεύει στο δίκτυο υψηλές πιέσεις. Σημαντική σημείωση στο σημείο αυτό ότι μαζί με την αντλία απαιτείται και ένα αντίστοιχο μοτέρ για την παραγωγή κίνησης της και μια ηλεκτρολογική εγκατάσταση (πίνακας έναρξης - κλεισίματος του μοτέρ), η οποία μπορεί να κατασκευαστεί μόνο από εξειδικευμένο προσωπικό.

Χρησιμοποίηση ως PAT μιας αντλίας με πτερωτή με ανοιχτά φτερά.

Ένα από τα βασικότερα μέρη της όλης δομής, είναι φυσικά η αντλία που χρησιμοποιείται. Όπως παρουσιάστηκε στο δεύτερο κεφάλαιο υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη αντλιών, που καλύπτουν η κάθε μια διαφορετικές ανάγκες και απαιτήσεις. Αντίστοιχα λοιπόν, η κάθε μία από αυτές, θα αποδώσει διαφορετικά ως PAT. Επομένως, ένα επιπρόσθετο βήμα, είναι η απόκτηση και διαφορετικού τύπου αντλίας για χρήση ως PAT στο δίκτυο που θα δημιουργηθεί. Κατά την επιλογή καινούριας αντλίας για χρήση ως PAT, από τα πιο βασικά στοιχεία που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι η πτερωτή (ή πτερωτές) που απαρτίζουν την αντλία. Στη δικιά μας περίπτωση, χρησιμοποιήθηκε πτερωτή κλειστού τύπου, με πτερύγια στο εσωτερικό της με ελαφριά κλίση. Μια καλή ιδέα είναι η χρήση πτερωτής ανοιχτού τύπου, με ανοιχτά φτερά δηλαδή, είτε με κλίση είτε χωρίς, με την προϋπόθεση όμως να κλείνουν στην επαφή με τον άξονα και όχι να αφήνουν κενό. Αυτό είναι επιθυμητό, ώστε να εγκλωβίζεται το νερό στο χώρο αυτό και να αυξάνεται η πίεση, και όχι απλώς να τα διαπερνά τα φτερά και να φεύγει. Ένα παράδειγμα τέτοιας φτερωτής παρουσιάζεται παρακάτω.



112. Πτερωτή ανοιχτού φτερού

Στη συγκεκριμένη πτερωτή παρατηρείται ότι τα φτερά δεν έχουν κάποια κλίση. Γενικότερα η κλίση στα φτερά δίνεται για μεγαλύτερα μανομετρικά στο δίκτυο. Χαρακτηριστικός τύπος τέτοιας αντλίας είναι οι πολυβάθμιες αντλίες. Μην μπερδεύεται όμως η κανονική λειτουργία της αντλίας με τη χρήση της ως υδροτουρμπίνα. Οι παραπάνω αντλίες αποτελούνται από παραπάνω από μία πτερωτές, οι οποίες στην κανονική λειτουργία της αντλίας είναι συνεργαζόμενες πτερωτές ώστε να αποδίδουν μεγαλύτερα μανομετρικά.

Χρήση μιας πολυβάθμιας αντλίας ως ΡΑΤ.

Αποτελείται από παραπάνω από μία πτερωτές, οι οποίες στην κανονική λειτουργία της αντλίας είναι συνεργαζόμενες πτερωτές ώστε να αποδίδουν μεγαλύτερα μανομετρικά. Αξίζει να σημειωθεί όμως ότι την περίπτωση της χρήσης μιας πολυβάθμιας αντλίας ως ΡΑΤ, δεν μπορούμε να πούμε ότι θα δούμε τα ίδια αποτελέσματα, καθώς πολύ απλά τώρα το νερό για να εξέλθει τελικά από την αντλία, θα πρέπει να διανύσει μεγαλύτερη απόσταση και να σπρώξει και να δώσει κίνηση σε παραπάνω από μία πτερωτές. Μεγαλύτερες τριβές και μεγαλύτερες απώλειες κατά συνέπεια. Μένει μόνο να μελετηθεί και αυτή η περίπτωση, για να δούμε και σ αυτή τι πτώση πίεσης προκύπτει καθώς και τι αποδόσεις στροφών έχουμε στον άξονα της αντλίας.

Χρήση επιπρόσθετου εξοπλισμού για καλύτερη ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Ήδη παρατηρείται είναι αρκετά τα σημεία που απαιτούν προσοχή και με τις παραμικρές αλλαγές προκύπτουν διαφορετικά αποτελέσματα. Εκτός της διαφορετικότητας βέβαια των αποτελεσμάτων, συνιστάται η επέμβαση και σε άλλους τομείς όπως η ακρίβεια των μετρήσεων, με την τοποθέτηση ψηφιακών ή ακόμα καλύτερα ηλεκτρομαγνητικών μετρητών και ελεγκτών δικτύου. Μεγαλύτερα δίκτυα

απαιτούν και επιπρόσθετο εξοπλισμό, αγωγούς By-Pass (παρακαμπτήριες οδοί), δικλείδες ασφαλείας, ελέγχου πίεσης, ανεπίστροφες, όπως και πολλά ακόμα που συντελούν στην καλύτερη λειτουργία αλλά και έλεγχο των αποτελεσμάτων που θα αποδοθούν. Φυσικά, όλα τα προαναφερθέντα, φέρουν μεγάλα κόστη, γι' αυτό ανάλογα τον προϋπολογισμό της κάθε ομάδας, θα κινηθεί και το πλαίσιο του όλου πειράματος.

Αντί Επίλογου

Κλείνοντας, με λίγα λόγια μπορούμε να πούμε πως είμαστε ικανοποιημένοι με το αποτέλεσμα της όλης διαδικασίας, καθώς παρόλο του μικρού και περιορισμένου προϋπολογισμού μας, καταφέραμε να παράγουμε ικανοποιητικά για εμάς αποτελέσματα. Εξ άλλου, επιπρόσθετος στόχος μας ήταν να θέσουμε και θεμέλια για μια πρώτη γνωριμία του χώρου, των εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού, αλλά και γενικότερα της όλης διαδικασίας στησίματος και λειτουργίας ενός πειράματος, με την υπόλοιπη φοιτητική κοινότητα και πιο συγκεκριμένα με τα μέλη του τμήματος μας, του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Με το πείραμα αυτό, ελπίζουμε να ενθαρρύνουμε και φοιτητές αλλά και προσωπικό, να πάρουν το θάρρος, να τολμήσουν κάτι αντίστοιχο και να προχωρήσουν ακόμα παραπέρα. Είμαστε ευγνώμονες που μας δόθηκε αυτή η ευκαιρία, για όλα αυτά που μάθαμε, τους ανθρώπους που γνωρίσαμε και συνεργαστήκαμε, και τις αναμνήσεις και εμπειρίες που αποκτήσαμε καθ' όλη τη διάρκεια αποπεράτωσης του πειράματος αυτού. Τέλος να ευχαριστήσουμε μια ακόμα φορά όλους όσους συντελέσανε στην προσπάθεια μας αυτή, τον επιβλέποντα της διπλωματικής αυτής εργασίας, καθηγητή κ. Κανακούδη Βασίλειο, για τη συνεχή υποστήριξη και άψογη συνεργασία μας όλο αυτό τον καιρό αλλά και σε όλα τα φοιτητικά μας χρόνια, το βοηθό του, υποψήφιο διδάκτορα κ Πατέλη Μενέλαο, δίχως τη βοήθεια του και τη συνεχή υποστήριξη του σε πολλούς τομείς της δουλειάς μας, η εργασία αυτή δεν θα ερχόταν εύκολα εις πέρας, και φυσικά τους φίλους και τις οικογένειες μας, που μας στήριζαν και μας στηρίζουν κάθε στιγμή και κάθε λεπτό της ζωής μας.

Βιβλιογραφία

- <http://2epal-am.weebly.com/alphanutaulambdaiotaepsilonsigma.html>
- <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CF%84%CE%BB%CE%AF%CE%B1>
- <http://www.metadosi-ischios.gr/article.php?ID=76>
- <http://cyrus.tcdn.teicrete.gr/Portals/23/Shmeioseis/udrodunamiki/2.%20%CE%91%CE%BD%CF%84%CE%BB%CE%AF%CE%B5%CF%82.pdf>
- <https://www.google.gr/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fwww.antlies.gr%2Fwp-content%2Fuploads%2F2011%2F11%2F004.gif&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.antlies.gr%2F%25CF%2587%25CF%2581%25CE%25AE%25CF%2583%25CE%25B5%25CE%25B9%25CF%2582-%25CE%25B1%25CE%25BD%25CF%2584%25CE%25BB%25CE%25B9%25CF%258E%25CE%25BD%2F%25CE%25B1%25CE%25BD%25CF%2584%25CE%25BB%25CE%25AF%25CE%25B5%25CF%2582-%25CE%25BA%25CE%25AE%25CF%2580%25CE%25BF%25CF%2585-%25CE%25BA%25CE%25B1%25CE%25B9-%25CF%2583%25CF%2580%25CE%25B9%25CF%2584%25CE%25B9%25CE%25BF%25CF%258D%2F&docid=Ontrz7xMWnO2iM&tbnid=542E-eMMN962pM%3A&vet=10ahUKEwis4tGKgtTdAhVBCywkHWqzDvIQMwg5KAAwAA..i&w=452&h=374&bih=969&biw=1920&q=%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BB%CE%B9%CE%B5%CF%82%20%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%BF%CF%85%20%CE%B3%CE%B9%CE%B1%20%CF%84%CE%BF%20%CF%83%CF%80%CE%B9%CF%84%CE%B9&ved=0ahUKEwis4tGKgtTdAhVBCywkHWqzDvIQMwg5KAAwAA&iact=mrc&uact=8#h=374&imgdii=542E-eMMN962pM:&vet=10ahUKEwis4tGKgtTdAhVBCywkHWqzDvIQMwg5KAAwAA..i&w=452>
- https://www.google.gr/search?biw=1920&bih=920&tbm=isch&sa=1&ei=RQupW-jwDKK0mgWxtP4BA&q=%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BB%CE%B9%CE%B1+%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%BF%CF%85+%CE%B1%CF%85%CF%84%CE%BF%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%BF&oq=%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BB%CE%B9%CE%B1+%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%BF%CF%85+%CE%B1%CF%85%CF%84%CE%BF%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%BF&gs_l=img.3...41047.44541.0.44716.23.20.0.0.0.0.317.2829.0j1j7j3.11.0....0...1c.1.64.img..12.11.2827...0j35i39k1j0i67k1j0i5i30k1j0i8i30k1j0i24k1.0.XSon_Xd3UKw#imgrc=H9cb90fp-dW7HM:
- https://www.google.gr/search?q=%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BB%CE%AF%CE%B5%CF%82+%CE%B8%CE%B5%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82+%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%8C%CF%80%CE%B9%CF%83%CE%B7%CF%82&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiHmN3fjtTdAhWEFSwKHYLhAMEQ_AUICigB&biw=1920&bih=920#imgdii=gBoYxkH6xPsc3M:&imgrc=0Gp5R77MVZtDeM:
- https://www.google.gr/search?q=%CF%86%CF%85%CE%B3%CE%BF%CE%BA%CE%B5%CE%BD%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%B7+%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BB%CE%B9%CE%B1&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwja0aqmj9TdAhVJICwKHfVKCV8Q_AUICigB&biw=1920&bih=920#imgrc=pCh-n0ZEuuUnFM:
- https://www.google.gr/search?q=%CE%BA%CE%B5%CE%BB%CF%85%CF%86%CE%BF%CF%82+%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BB%CE%B9%CE%B1%CF%82&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiVhLO6kNTdAhWBJSwKHTchA-8Q_AUICigB&biw=1920&bih=920#imgrc=UtkJXCxoFs9gIM:

- https://www.google.gr/search?biw=1920&bih=920&tbm=isch&sa=1&ei=NBupW5qsOYiUsAGGqo7ICA&q=%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82+%CF%83%CF%84%CF%85%CF%80%CE%B9%CE%BF%CE%B8%CE%BB%CE%AF%CF%80%CF%84%CE%B7%CF%82&oq=%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82+%CF%83&gs_l=img.3.0.0j0i24k1l4.56078.60079.0.60906.13.11.2.0.0.0.336.1628.0j6i1j1.8.0....0...1c.1.64.img..3.10.1641...35i39k1j0i5i30k1.0.bzI46d30Z3Y#imgrc=OgEgLSDNwBD78M:
- https://www.google.gr/search?biw=1920&bih=920&tbm=isch&sa=1&ei=WxypW6O-AoSNsAgT3LkCoCg&q=%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BB%CE%B9%CE%B5%CF%82+inline&oq=%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BB%CE%B9%CE%B5%CF%82+inline&gs_l=img.3...20921.27153.0.27278.18.17.1.0.0.0.184.2078.0j13.13.0....0...1c.1.64.img..4.10.1465...0j35i39k1j0i67k1j0i8i30k1j0i24k1.0.zoXUzR9AljE#imgrc=ZvjBPA5yuocSMM:
- <http://www.gr.dpwaterpump.com/water-pump/double-suction-water-pump/large-double-suction-seawater-pump-for-water.html>
- https://www.google.gr/search?q=%CF%80%CE%BF%CE%BB%CF%85%CE%B2%CE%AC%CE%B8%CE%BC%CE%B9%CE%B1+%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BB%CE%AF%CE%B1+%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%BF%CF%8D&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiasov4INTdAhXIKiwKHR6BAZcQ_AUICigB&biw=1920&bih=920#imgrc=r4pZRth4zf7iSM:
- https://www.google.gr/search?q=%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BB%CE%B9%CE%B1+%CE%BB%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CF%89%CE%BD&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjz1sa8ldTdAhVBCiwKHyl4BkkQ_AUICigB&biw=1920&bih=920#imgrc=UaH1V3FiFebBcM
- energy.gov. Types of Hydropower Turbines
- [ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΞΑΝΘΗ](#), Αγγελίδης Π., Αναπλ. Καθηγητής
- [Francesco Pugliese \(2017\), Experimental and Numerical Investigation of pumps As Turbines in Water Distribution Networks, Ph.D Programme in Civil Systems Engineering, Naples Italy.](#)
- [Ολοκληρωμένη Διαχείριση Αστικών Δικτύων Ύδρευσης](#), ΒΑΣΙΛΗΣ ΚΑΝΑΚΟΥΔΗΣ, ΣΤΑΥΡΟΥΛΑ ΤΣΙΤΣΙΦΛΗ, ΑΘΗΝΑ: ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ