

# **ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**



## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΙΑΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ  
ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ  
ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ**

**ΒΑΣΙΛΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΣΠΑΧΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ**

**ΤΖΗΜΙΡΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΝΑΚΟΥΔΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ**

**ΒΟΛΟΣ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2021**

---

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

---

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

**Εγκρίθηκε από τα μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:**

Πρώτος εξεταστής      Κανακούδης Βασίλειος, Καθηγητής ΠΘ

Δεύτερος εξεταστής      Κεραμάρης Ευάγγελος, Επ. Καθηγητής ΠΘ

Τρίτος Εξεταστής      Καρακασίδης Θεόδωρος, Καθηγητής ΠΘ

---

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

### Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, που αποτελεί το επιστέγασμα των σπουδών μας, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε από καρδιάς όλους όσους συνέβαλαν στη διαμόρφωση και την ολοκλήρωσή της.

Αρχικά, θα θέλαμε κυρίως να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή μας κ. Κανακούδη Βασίλειο, τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας, για την υποστηρικτική και καθοδηγητική του στάση σ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μας, την εμπιστοσύνη που μας έδειξε και την άψογη συνεργασία μας κατά τη συγγραφή της παρούσας διπλωματικής.

Επιπλέον, ευχαριστούμε τον υποψήφιο διδάκτορα Πατέλη Μενέλαο, βασικό αρωγό στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής, για την ουσιαστική καθοδήγηση που μάς παρείχε πρόθυμα σε όλη τη διάρκεια σχεδιασμού και εφαρμογής του πειράματος, για την αγόγγυστη παραχώρηση του προσωπικού του χώρου και χρόνου, καθώς και για τη συνεχή ενθάρρυνση σε κάθε στάδιο της διπλωματικής μας εργασίας.

Για την εμπιστοσύνη που μάς έδειξε και την αγαστή επικοινωνία, ευχαριστούμε και τον υπεύθυνο του εργαστηρίου κ. Κεραμάρη Βαγγέλη, αφού για όλο το διάστημα που διήρκησε το πείραμα περάσαμε πολλές ώρες στο χώρο του εργαστηρίου, συνεργαζόμενοι άψογα. Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλουμε και στην Πυροσβεστική Υπηρεσία του Δήμου Βόλου για την αρμονική συνεργασία και την καθοριστική συμβολή της στην πετυχημένη ολοκλήρωση του πειράματος πάνω στο οποίο θεμελιώθηκε η διπλωματική μας εργασία.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε και τις οικογένειές μας για την αμέριστη υλική και ηθική στήριξή τους στις σπουδές μας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η βιώσιμη χρήση των υδατικών πόρων και της ενέργειας συνιστά μία πρόκληση για τη λειτουργία ενός δικτύου ύδρευσης. Μία από τις κυριότερες απαιτήσεις είναι η λογική χρήση της ενέργειας λαμβάνοντας υπόψη 1) ότι μια από τις πιο ενεργοβόρες δραστηριότητες σε μία αστική περιοχή είναι ο κύκλος της κατανάλωσης νερού και 2) ότι η πίεση του δικτύου σχετίζεται με τις απώλειες νερού. Η διαχείριση της πλεονάζουσας πίεσης στο δίκτυο ύδρευσης συνδυαστικά με την βελτίωση της ενεργειακής αποτελεσματικότητας είναι σημαντικό στοιχείο της επιχειρησιακής βιωσιμότητας των επιχειρήσεων ύδρευσης. Η διαχείριση της πίεσης σε ένα δίκτυο ύδρευσης γίνεται (και συνδυαστικά) με μια σειρά μεθόδων όπως η δημιουργία ζωνών διαχείρισης πίεσης, η χρήση βαλβίδων μείωσης πίεσης και η χρήση υδροτουρμπίνων με σκοπό την ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια, η χρήση μικρό-υδροτουρμπίνων στα δίκτυα ύδρευσης έχει αποδειχθεί ότι αποτελεί μια βιώσιμη εναλλακτική διαχείρισης δικτύων, συνδυάζοντας την παραγωγή ενέργειας, τον έλεγχο της πίεσης και τα επίπεδα απωλειών. Η παρούσα εργασία εξετάζει τη χρήση υδροτουρμπίνων για την παραγωγή ενέργειας σε ένα δίκτυο νερού. Η εργασία στοχεύει να αξιολογήσει την επίδραση της παροχής και της διαμέτρου των σωλήνων στην παραγωγή ενέργειας από την υδροτουρμπίνα και στην πτώση της πίεσης στα κατάντη. Η μεθοδολογία αποτελείται από 3 στάδια: 1) στήσιμο του πειράματος με κατάλληλη διαμόρφωση ώστε να επιτυγχάνονται αξιόλογες πιέσεις, 2) ανάπτυξη σεναρίων με βάση διάφορες τιμές της παροχής νερού, 3) ανάπτυξη σεναρίων με βάση τη διάμετρο των σωλήνων. Στην πρώτη περίπτωση από τις πειραματικές εφαρμογές, χρησιμοποιήθηκε πλαστική σωλήνα PVC πίεσεως 10 atm, διαμέτρου Φ110 (4''), στη δεύτερη περίπτωση πλαστική σωλήνα PVC πίεσεως 16 atm, διαμέτρου Φ63 (2.5''). Οι μετρήσεις αφορούσαν τέσσερα βασικά σημεία. Την παροχή στο δίκτυο, τις πιέσεις ανάντι και κατάντι της PAT και τις στροφές του μάντα στο δυναμό. Κατά την διάρκεια εκτέλεσης του πειράματος, η πίεση ακολουθεί μια σταθερά αυξητική τάση τόσο στα ανάντι όσο και στα κανάντι, ενώ η διαφορά της πίεσης κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 1,5 bar. Η διαφορά πίεσης αυξάνει σε ακολουθία με την μέγιστη τιμή της παροχής (η μέγιστη παροχή συμπίπτει με τη μεγαλύτερη διαφορά πίεσης), ενώ μετά διατηρείται σταθερή και καταλήγει σε χαμηλότερες τιμές στο τέλος του πειράματος όταν η παροχή βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα. Τα αποτελέσματα του πειράματος παρουσίασαν ότι η διαφορά πίεσης σχετίζεται αναλογικά με τις στροφές τροχαλίας και τις στροφές δυναμικού και κατ' επέκταση με την παραγωγή ενέργειας. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε εξέταση της απόδοσης της υδροτουρμπίνας σε ένα πραγματικό δίκτυο χρησιμοποιώντας το WaterGEM. Η περιοχή μελέτης που επιλέχθηκε είναι το Άργος Ορεστικό στην βορειοδυτική ηπειρωτική Ελλάδα. Εξετάστηκαν 5 διαφορετικά σενάρια: 1) η πόλη χωρίς καμία παρεμβάση, 2) η πόλη με μια τουρμπίνα στον κεντρικό της αγωγό, 3) η πόλη χωρισμένη σε DMAs και τουρμπίνες στις εισόδους κάθε DMA, 4) η πόλη χωρίς DMA και με τουρμπίνες σε διαφορούς αγωγούς του δικτύου, και 5) η πόλη χωρισμένη σε DMAs και βαλβίδες στις εισόδους από κάθε DMA. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στα περισσότερα σενάρια (πλην του 1<sup>ου</sup> και 4<sup>ου</sup>), παρατηρείται μια πτώση στάθμης κάτω από τα αποδεκτά όρια, ως απόρροια των παρεμβάσεων στο δίκτυο. Το αντικείμενο έρευνας και η

---

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

εφαρμογή των πειραμάτων και τα συμπεράσματα έγιναν στα πλαίσια διδακτορικής διατριβής του υπ. Διδάκτορα Πατέλη Μενέλαου και αποτελούν κοινό υλικό μελέτης.

#### **Λέξεις κλειδιά**

Αντλίες φυγόκεντρικές, ΡΑΤ, εργαστηριακά αποτελέσματα, ενεργειακή απόδοση, πτώση πίεσης, προσομοίωμα δικτύου

## ABSTRACT

The sustainable use of water and energy represents a challenge in the function of a water network. One of the main requirements is the rational use of energy considering, 1) that water consumption is one of the most energy-consuming activities in an urban area and 2) also, the dependence of the level of leakage on the pressure.

The management of excess pressure in a water distribution network in conjunction with the improvement of the energy efficiency are critical elements of a water's company sustainability. The pressure management in a water network can be implemented in a couple of ways such as Pressure management zones (PMZs), Pressure Reduction Valves (PRVs) and Pumps acting as Turbines (PATs). The last few years, the use of Pumps operating As Turbines (PATs) has been a viable alternative in order to manage a water network, combining the pressure control and reducing leakage, while generating hydropower.

This thesis examines the use of PATs for hydropower generation in a water network. The overall aim is to evaluate the impact of flow rate and pipe diameter fluctuation on the generated hydropower and the level of pressure downstream of the pump. The methodology consists of three parts: 1) set up of the experiment in order to achieve significant pressure 2) alteration of water flow and 3) alteration of pipe diameter. The proposed methodology was initially implemented in the laboratory. Two separate cases, were examined. In the first one, were used PVC pipes of 110mm diameter and 10atm while in the second case, PVC pipes of 63mm diameter and 16atm. For the experiment, were recorded the pressure upstream and downstream of the PAT and speed of the attached generator.

Over the experiment, the pressure kept increasing both upstream and downstream of the PAT, with the pressure difference ranging between 0,5 and 1,5 bar. The pressure difference increased in line the increase of water flow (the maximum pressure difference coincides with the maximum flow), while it was relatively constant and ended up in lower values towards the end of the experiment when the water flow dropped. The results of the experiment indicate a direct relationship between the στροφές τροχαλίας και τις στροφές δυναμικού και κατ' επέκταση με την παραγωγή ενέργειας.

At the next stage, the same methodology was tested on real case scenario in a real network using the WaterGEM. The selected area for the case study was Argos Orestiko in northwest mainland Greece. Five different scenarios were tested: 1) the simulation was run without any intervention, 2) a PAT was installed in the main pipe that connects the town with the reservoir 3) the town was split into DMAs and a PAT was installed at the edge of it, 4) the town is not divided into DMAs and a number of PATs are installed in the network, 5) the town is split in DMAs as in scenario 3 but now, PRVs are installed instead of PATs. The results showed that in most scenarios (except the 1st and 4th), there is a drop in the level below the acceptable level, as a result of the interventions in the network.

---

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

### **Key words**

Pumps, PAT, laboratory results, energy efficiency, pressure drop, water network simulation



## Περιεχόμενα

Κατάλογος Εικόνων.....	11
Κατάλογος Πινάκων.....	14
Κατάλογος Συντομεύσεων.....	14
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	14
1.1. Λειτουργία δικτύων ύδρευσης.....	15
1.2. Διαχείριση Πίεσης.....	16
1.3. Δημιουργία DMA (District Metered Area).....	20
Κεφάλαιο 2: Αντλίες.....	23
2.1 Εισαγωγή.....	23
2.2 Χαρακτηριστικά λειτουργίας των αντλιών.....	23
2.3 Ταξινόμηση αντλιών.....	24
2.4 Αρχές λειτουργίας των αντλιών.....	26
2.5 Δομή και σχεδιασμός φυγόκεντρων αντλιών.....	28
2.5.1 Το σώμα της αντλίας.....	28
2.5.2 Η πτερωτή.....	30
2.5.3 Δακτύλιοι φθοράς (WearRings).....	30
2.5.4 Άτρακτος.....	31
2.6 Είδη φυγοκεντρικών αντλιών ακτινικής ροής.....	31
2.6.1 Με βάση τον εσωτερικό σχεδιασμό του κελύφους.....	31
2.6.2 Με βάση τον τύπο φτερωτής.....	32
2.6.3 Με βάση τον αριθμό των εισόδων.....	33
2.6.4 Με βάση τον τρόπο που ανοίγει το κέλυφος.....	34
2.6.5 Με βάση τη θέση του άξονα.....	35
2.6.6 Με βάση τον τρόπο σύνδεσης της αντλίας με τον κινητήρα.....	35
2.6.7 Με βάση τον τρόπο εγκατάστασης.....	36
2.6.8 Με βάση το είδος του κινητήρα.....	36
2.6.9 Με βάση τη δυνατότητα αυτόματης αναρόφησης.....	37
2.7 Είδη φυγοκεντρικών αντλιών ακτινικής ροής.....	38
2.7.1 Αντλίες μικτής ροής.....	39
2.7.2 Περιφερικές ή στροβιλαντλίες ή αναγεννητικές αντλίες.....	39
2.7.3 Δυναμικές αντλίες ειδικού τύπου.....	40
2.8 Αντλίες Θετικής Εκτοπίσεως.....	40
2.8.1 Παλινδρομικές αντλίες.....	41
2.8.2 Περιστροφικές αντλίες θετικής εκτοπίσεως.....	41
2.8.3 Αντλίες πιεστικού θαλάμου.....	42

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

2.9 Αντλίες κενού .....	43
2.10 Επιλογή αντλιών .....	43
Κεφάλαιο 3: Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας μέσω υδροτουρμπίνας (PAT) .....	45
3.1 Λειτουργία υδροτουρμπίνας (PAT) .....	45
3.2. Επιλογή βέλτιστης τοποθεσίας τοποθέτησης μικρό-υδροτουρμπίνας.....	47
3.3. Καμπύλες λειτουργίας μικρό-υδροτουρμπίνας .....	48
3.4. Ενέργεια που παράγεται από την PAT .....	49
Κεφάλαιο 4: Πειραματική διαδικασία.....	52
4.1. Παροχή ηλεκτρικής ενέργειας .....	52
4.2. Διάμετρος σωλήνων πειράματος .....	53
4.3. Εγκατάσταση μετρητών .....	54
4.3.1 Μετρητές παροχής.....	54
4.3.2 Μέτρηση της πίεσης .....	55
4.4 Κολλήσεις εξαρτημάτων και συνδέσεις .....	55
4.5 Τροφοδοσία νερού του πειράματος.....	57
4.6 Συναρμολόγηση του πειράματος .....	58
4.7 Σύνδεση με την PAT .....	59
4.7.1 Αγωγός Φ110 .....	59
4.7.2 Αγωγός Φ63 .....	60
4.8 Η αντλία PAT της πειραματικής διάταξης .....	61
4.8.1 Αποσυναρμολόγηση της αντλίας.....	62
4.8.2 Συναρμολόγηση της αντλίας .....	62
4.9 Απομάκρυνση του νερού .....	63
4.10. Εγκατάσταση του δυναμό .....	63
Κεφάλαιο 5: Εκτέλεση του πειράματος και αποτελέσματα.....	65
5.1 Δοκιμαστικός έλεγχος.....	65
5.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	66
5.2.1 Σωλήνες Φ63 (4'') .....	67
5.2.2 Σωλήνες Φ110 (4'') .....	69
5.3 Σχεδιασμός Καμπυλών Λειτουργίας.....	72
Κεφάλαιο 6 Εφαρμογή των πειραματικών δεδομένων σε λογισμικό προσομοίωσης ψηφιακού διδύμου (Watergems) .....	74
6.1 WaterGEM .....	74
6.2 WaterCAD .....	77
Κεφάλαιο 7: Περιοχή μελέτης .....	81
7.1 Γενικά χαρακτηριστικά .....	81

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

7.2 Το δίκτυο ύδρευσης του Άργους Ορεστικού.....	81
Κεφάλαιο 8: Εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες με χρήση του WaterGEMS .....	85
8.1 Ανάπτυξη σεναρίων.....	85
8.2 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων .....	88
Κεφάλαιο 9:Τεχνικό Εγχειρίδιο για Τουρμπίνες.....	95
9.1 Εφαρμογή μοντελοποίησης σε τουρμπίνες .....	95
9.2 Ιδιότητες της τουρμπίνας .....	99
9.3 Παράμετροι της τουρμπίνας.....	100
9.4 Διαμόρφωση Μεταβαλλόμενης Προσομοίωσης .....	102
9.5 Προβολή αποτελεσμάτων.....	105
Κεφάλαιο 10: Σύνοψη και Συμπεράσματα.....	110
10.1. Σύνοψη.....	110
10.2. Πειραματική διάταξη .....	111
10.3 Εφαρμογή σε πραγματικό δίκτυο.....	112
Κεφάλαιο 11: Προτάσεις Περαιτέρω Ανάπτυξης .....	114
Βιβλιογραφία .....	116
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	123
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	126
Ευρωπαϊκή νομοθεσία.....	126
Ελληνική νομοθεσία .....	127
Περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων ΑΠΕ .....	128

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1. Σχηματική εικόνα ενός δικτύου ύδρευσης (27)
Εικόνα 1.2. Μέθοδοι διαχείρισης απωλειών στο δίκτυο ύδρευσης (14)
Εικόνα 1.3. Βαλβίδα μείωσης της πίεσης (PRV)
Εικόνα 1.4. Τμήματα μιας βαλβίδας μείωσης της πίεσης (PRV)
Εικόνα 1.5. Τυπική διάταξη της εισόδου ενός DMA
Εικόνα 1.6. Δημιουργία DMA σε ένα υπάρχον δίκτυο ύδρευσης
Εικόνα 2.1. Σύστημα Αντλία - Μοτέρ (Υδρευσης)
Εικόνα 2.2. Κατηγοριοποίηση αντλιών βάση του τρόπου λειτουργίας
Εικόνα 2.3. Ροή ρευστού σε αντλία ακτινικής, μεικτής και αξονικής ροής
Εικόνα 2.4. Τύποι αντλιών και περιοχές χρήσης τους
Εικόνα 2.5. Φυγόκεντρική αντλία νερού μαζί με το μοτέρ της
Εικόνα 2.6. Αντλία θετικής εκτόπισης
Εικόνα 2.7. Αντλία θετικής εκτόπισης

- Εικόνα 2.8. Μηχανικά τμήματα μιας φυγόκεντρης αντλίας
- Εικόνα 2.9. Το σώμα της αντλίας
- Εικόνα 2.10. Σπειροειδές περίβλημα μιας αντλίας με οριζόντιο άξονα
- Εικόνα 2.11. Πτερωτή αντλίας με οριζόντιο άξονα
- Εικόνα 2.12. Σπειροειδές περίβλημα φυγοκεντρικής αντλίας
- Εικόνα 2.13. Φυγοκεντρική αντλία με πτερύγια διάχυσης
- Εικόνα 2.14. Μονοβάθμια Αντλία In-line
- Εικόνα 2.15. Αντλία Διπλής Αναρρόφησης
- Εικόνα 2.16. Πολυβάθμια Αντλία
- Εικόνα 2.17. Πολυβάθμια (τριβάθμια) αντλία με οριζόντιο άξονα (αριστερά) και σχηματική αναπαράσταση του τρόπου λειτουργίας της (δεξιά)
- Εικόνα 2.18. Αντλίες με κατακόρυφο άξονα. Πρωτοβάθμια (αριστερά) πολυβάθμια (δεξιά)
- Εικόνα 2.19. Αντλία αξονικής ροής
- Εικόνα 2.20. Αντλία μικτής ροής με δύο βαθμίδες
- Εικόνα 2.21. Παλινδρομική αντλία διαφράγματος
- Εικόνα 2.22. Παλινδρομική αντλία θετικής εκτοπίσεως
- Εικόνα 3.1. Λειτουργία κεντρόφυγης αντλίας σε καθεστώς α) αντλίας β) ΡΑΤ
- Εικόνα 3.2. Τμήματα δικτύου ύδρευσης για τη μεταφορά και διανομή νερού
- Εικόνα 3.3. Σχεδιάγραμμα εγκατάστασης μιας ΡΑΤ για παραγωγή ενέργειας σε ένα δίκτυο ύδρευσης
- Εικόνα 4.1. Σχηματική αναπαράσταση τυπικής πειραματικής διάταξης
- Εικόνα 4.2. Θερμομαγνητικός Διακόπτης, Ασφαλειοαποξεύκτης Φορτίου, Επιτηρητής Τάσης
- Εικόνα 4.3. Θερμομαγνητικός Διακόπτης, Ασφαλειοαποξεύκτης Φορτίου, Επιτηρητής Τάσης
- Εικόνα 4.4. Σωλήνα Φ110 - 10 atm, Σωλήνα Φ63 - 16 atm
- Εικόνα 4.5. Παροχόμετρο Φ63
- Εικόνα 4.6. Παροχόμετρο Φ110
- Εικόνα 4.7. Σέλα, βάνα, μανόμετρο
- Εικόνα 4.8. Λαιμός Φλάντζας, Φλάντζα πάνω στο λαιμό της, Σωλήνα Φ75
- Εικόνα 4.9. Πυροσβεστικό όχημα για παροχή νερού
- Εικόνα 4.10. Πειραματική εγκατάσταση
- Εικόνα 5.1. Πίεση ανάντι και κατάντι της ΡΑΤκαι παροχή δικτύου για Φ63
- Εικόνα 5.2. Διαφορά πίεσης ανάτι/κατάντι της ΡΑΤκαι στροφές τροχαλίας για Φ63
- Εικόνα 5.3. Διαφορά πίεσης ανάτι/κατάντι της ΡΑΤκαι στροφές δυναμικού για Φ63
- Εικόνα 5.4. Διαφορά πίεσης ανάτι/κατάντι της ΡΑΤκαι στροφές τροχαλίας για Φ63
- Εικόνα 5.5. Διαφορά πίεσης ανάτι/κατάντι της ΡΑΤκαι στροφές δυναμικού για Φ63
- Εικόνα 5.6. Πίεση ανάντι και κατάντι της ΡΑΤκαι παροχή δικτύου για Φ110
- Εικόνα 5.7. Διαφορά πίεσης ανάτι/κατάντι της ΡΑΤκαι στροφές τροχαλίας για Φ110

Εικόνα 5.8. Διαφορά πίεσης ανάτι/κατάντι της PAT και στροφές δυναμού για Φ110

Εικόνα 5.9. Διαφορά πίεσης ανάτι/κατάντι της PAT και στροφές τροχαλίας για Φ110

Εικόνα 5.10. Διαφορά πίεσης ανάτι/κατάντι της PAT και στροφές δυναμού για Φ110

Εικόνα 6.1. WaterGEMS software tool

Εικόνα 6.2. WaterGEMS software tool και διεύθυνση ροής σε υδραυλικό δίκτυο

Εικόνα 6.3. WaterCAD software tool

Εικόνα 6.4. Ευκολία χρήσης EPANET, WaterCAD & WaterGEMS

Εικόνα 7.1. Τοποθεσία Άργους Ορεστικού

Εικόνα 7.2. Το δίκτυο ύδρευσης του Άργους Ορεστικού

Εικόνα 7.3. Σχεδιασμός δικτύου ύδρευσης

Εικόνα 8.1. Το δίκτυο ύδρευσης του Άργους Ορεστικού

Εικόνα 8.2. Τροποποίηση του δικτύου ύδρευσης του Άργους Ορεστικού για τα 5 σενάρια

Εικόνα 8.3. Ρύθμιση των παραμέτρων της PAT σε περιβάλλον WaterGEM

Εικόνα 8.4. Οι κρίσιμοι κόμβοι του δικτύου

Εικόνα 8.5. Η πίεση στους κρίσιμους κόμβους του δικτύου κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, σενάριο 1

Εικόνα 8.6. Η πίεση στους κρίσιμους κόμβους του δικτύου κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, σενάριο 2

Εικόνα 8.7. Η πίεση στους κρίσιμους κόμβους του δικτύου κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, σενάριο 3

Εικόνα 8.8. Η πίεση στους κρίσιμους κόμβους του δικτύου κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, σενάριο 4

Εικόνα 8.9. Η πίεση στους κρίσιμους κόμβους του δικτύου κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, σενάριο 5

Εικόνα 8.10. Διάγραμμα ζήτησης (α) οικιακής και (β) επαγγελματικής κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου

Εικόνα 8.11. Διάγραμμα μέσης πίεσης όλων των κόμβων για τα 5 σενάρια

Εικόνα 9.1. Λειτουργία της τουρμπίνας στο δίκτυο ύδρευσης

Εικόνα 9.2. Σχηματική μορφή της υδροτουρμπίνας

Εικόνα 9.3. Απεικόνιση της διάταξης της βαλβίδας παράκαμψης

Εικόνα 9.4. Ροή και πιεζομετρικό φορτίο της τουρμπίνας

Εικόνα 9.5. Λειτουργία τουρμπίνας

Εικόνα 9.6. Πιθανή εγκατάσταση του συστήματος

Εικόνα 9.7. Χρόνος μετάβασης από το status ανοικτό στο κλειστό

Εικόνα 9.8. Τοποθέτηση Trottle Control Valve στο δίκτυο

Εικόνα 9.9. Χαρακτηριστικά λειτουργίας της τουρμπίνας

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1. Οι κυριότερες μέθοδοι διαχείρισης πίεσης και τα πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα τους (17, 24, 26, 31, 36)

Πίνακας 4.1. Εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν για τη συνδεσμολογία των σωλήνων

Πίνακας 5.1. Αποτελέσματα πειράματος για διάμετρο σωλήνων Φ63

Πίνακας 5.2. Αποτελέσματα πειράματος για διάμετρο σωλήνων Φ110

Πίνακας 7.1. Ύψη των κόμβων του δικτύου ύδρευσης

Πίνακας 7.2. Αγωγοί, αρχικός και τελικός κόμβος, μήκος και διάμετρος

Πίνακας 8.1. Κρίσιμος κόμβος σε κάθε DMA

Πίνακας 8.2. Μέση πίεση κατά τη περίοδο προσομοίωσης για το δίκτυο και τους κρίσιμους κόμβους

## Κατάλογος Συντομεύσεων

ANNs	Artificial Neural Networks
BEP	Best Efficiency Point
CFD	Computational Fluid Dynamic
PATs	Pumps as Turbines
PMZs	Pressure Management Zones
PRVs	Pressure Reduction Valves
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
WEN	Water-Energy Nexus
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΟΤΑ	Οργανισμός Τοπικής Αυτοδιοίκησης
ΡΑΕ	Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
ΣΗΘΥΑ	Συμπαράγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας Υψηλής Απόδοσης

## Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Τα δίκτυα ύδρευσης έχουν ένα βασικό σκοπό να εξασφαλίσουν την διαθεσιμότητα νερού σε ικανοποιητικά επίπεδα από άποψη ποσότητας, πίεσης και ποιότητας (13).

---

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

Προκειμένου να ικανοποιήσουν αυτή την απαίτηση βασίζονται στην κατανάλωση μιας σημαντικής ποσότητας ενέργειας η οποία είναι συνάρτηση παραγόντων συμπεριλαμβανομένων της τοπογραφίας και της τοπολογίας του δικτύου (10, 24, 29, 50). Οι τομείς του νερού και της ενέργειας είναι στενά συνδεδεμένοι μέσω μια αλληλεξάρτησης και σύνθετης σχέσης αμοιβαίας ανταλλαγής πόρων που στη βιβλιογραφία αναφέρεται ως Water-Energy Nexus (WEN) (10, 18). Το νερό και η ενέργεια αποτελούν κρίσιμους πόρους και η συνδυασμένη διαχείρισή τους παρέχει σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη και στους δύο τομείς (15, 39, 53, 74).

Οι απαιτήσεις ενέργειας που σχετίζονται με την παροχή νερού στα δίκτυα ύδρευσης προκαλούν εκλύσεις αερίων του διοξειδίου του άνθρακα (44). Στο Ηνωμένο Βασίλειο, ο τομέας της ύδρευσης έχει υπολογισθεί ότι αποτελεί τον τέταρτο πιο ενεργοβόρο τομέα, και η συνολική ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που εκλύεται εξαιτίας του είναι συνολικά 5 εκατομμύρια τόνοι. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η συνολική παραγόμενη ενέργεια που σχετίζεται με το νερό κοστίζει περίπου τέσσερα δισεκατομμύρια το χρόνο (76), ενώ η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στον τομέα ύδρευσης είναι περίπου το 3% της συνολικής κατανάλωσης (62).

Τα τελευταία χρόνια έχει διερευνηθεί το ζήτημα της μείωσης της καθαρής καταναλισκόμενης ενέργειας στα δίκτυα ύδρευσης πέρα από τις παραδοσιακές μεθόδους όπως η βέλτιστη επιλογή αντλιών, σωλήνων, η ανίχνευση των διαρροών και η διαχείριση της πίεσης (24). Τα στοιχεία του νερού και της ενέργειας έχουν συνδεθεί στενά με τις απώλειες νερού, οι οποίες επηρεάζονται από την πίεση στο δίκτυο (24, 47). Η διαχείριση της πλεονάζουσας πίεσης στο δίκτυο ύδρευσης συνδυαστικά με την βελτίωση της ενεργειακής αποτελεσματικότητας είναι σημαντικό στοιχείο της επιχειρησιακής του βιωσιμότητας (13, 47).

### 1.1. Λειτουργία δικτύων ύδρευσης

Ένα τυπικό δίκτυο ύδρευσης (Εικόνα 1.1) αποτελείται από υδατοδεξαμενές, αντλίες, βαλβίδες, μια σειρά από συνδεδεμένους σωλήνες, με ορισμένο μήκος, διάμετρο και συντελεστή αντίστασης και κόμβους όπου αυτοί συνδέονται. Κάθε σωλήνας τέμνεται σε ένα κόμβο με γνωστή παροχή όπου το νερό εξέρχεται ή εισέρχεται του δικτύου. Οι αντλίες χρησιμοποιούνται προκειμένου να παρέχουν ικανοποιητική πίεση στους κόμβους του δικτύου.

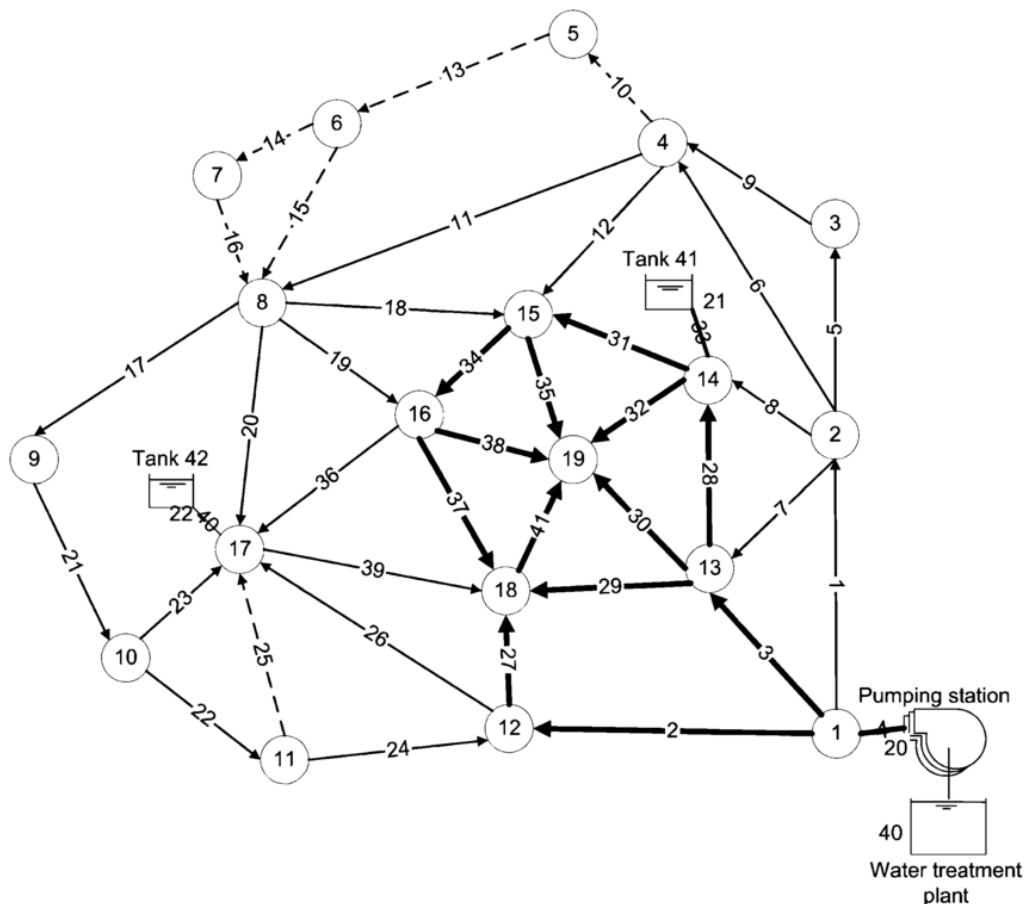
Σύμφωνα με τον Κανονισμό Λειτουργίας του Δικτύου Ύδρευσης, έτσι όπως εγκρίθηκε το 2009 με την απόφαση αρ. Δ16γ/694/7/117/Γ, η Ε.ΥΔ.Α.Π. οφείλει να παρέχει νερό κατάλληλο για πόση, σύμφωνα με τις ισχύουσες στην Ελλάδα προδιαγραφές. Οι αγωγοί του δικτύου ύδρευσης διακρίνονται σε τροφοδοτικούς και αγωγούς διανομή (ΦΕΚ 2009).

Στο σχεδιασμό του δικτύου ύδρευσης, παίζει σημαντικό ρόλο το υδραυλικό μοντέλο για τη ρύθμιση και τη διαχείριση των παραμέτρων του. Οι απώλειες νερού είναι αναπόφευκτες στο δίκτυο ύδρευσης και συνδέονται με την πίεση. Για αυτό, η διαχείριση της πίεσης αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο (μεταξύ μιας σειράς εναλλακτικών) αντιμετώπισης των απωλειών (1, 42, 64).

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις απώλειες σε ένα δίκτυο είναι οι εξής:

- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά, χρόνος χρήσης και υλικό κατασκευής σωλήνων
- Ποιότητα κατασκευής & τοποθέτησης σωλήνων
- Πίεση κατά τη 24ωρη λειτουργία του δικτύου
- Δυνατότητα εντοπισμού και πρόληψης διαρροών
- Στρατηγική αντικατάστασης σωλήνων
- Πυκνότητα και μήκος των κάθετων συνδέσεων στο δίκτυο



Εικόνα 1.1: Σχηματική εικόνα ενός δικτύου ύδρευσης (27)

## 1.2. Διαχείριση Πίεσης

Οι εταιρίες ύδρευσης έχουν παρατηρήσει ότι η μείωση της υπερβολικής πίεσης λειτουργίας του δικτύου δύναται να μειώσει σημαντικά τον αριθμό των διαρροών και θραύσεων που εμφανίζονται σε αυτό, και προωθούν δράσεις διαχείρισής της. Η διαχείριση της πίεσης του δικτύου σε συνδυασμό με το διαχωρισμό του σε DMAs, αποτελούν μέσο μείωσης των διαρροών (55, 70). Οι εφαρμογές μέτρων μείωσης/διαχείρισης της πίεσης, έχουν οδηγήσει στην μείωση των διαρροών και θραύσεων, και των απωλειών από τις υπάρχουσες (6, 40). Επίσης παρατηρήθηκαν μια σειρά από πλεονεκτήματα όπως το μειωμένο κόστος επισκευών

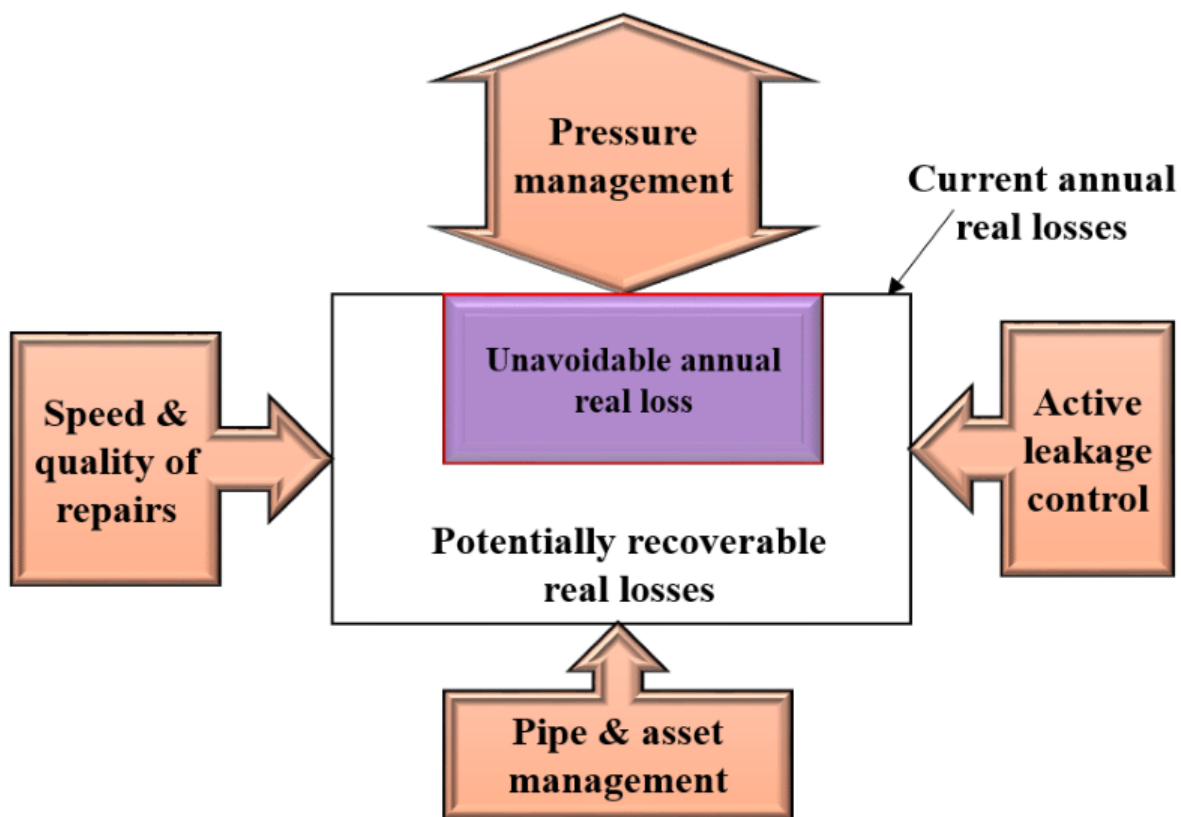


**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

των αστοχιών, καλύτερη διαχείριση της ζήτησης και η προστασία των υφιστάμενων υποδομών.

Η διαχείριση των απωλειών στα δίκτυα ύδρευσης πραγματοποιείται με τους παρακάτω τρόπους (Εικόνα 1.2) (14):

- Ενεργός έλεγχος διαρροών (active leakage control)
- Ταχύτητα και ποιότητα επισκευών σε περίπτωση αστοχίας του δικτύου
- Διαχείριση σωλήνων και εξαρτημάτων/συσκευών του δικτύου
- Διαχείριση Πίεσης



Εικόνα 1.2. Μέθοδοι διαχείρισης απωλειών στο δίκτυο ύδρευσης (14)

Η διαχείριση της πίεσης αποτελεί μία εναλλακτική για τη μείωση των απωλειών και παρουσιάζει μια σειρά πλεονεκτημάτων (32, 71, 72):

- Μείωση των απωλειών του νερού και της συχνότητας των θραύσεων των σωλήνων
- Ικανοποίηση των αναγκών των καταναλωτών (ικανοποίηση απαιτούμενης πίεσης )
- Χαμηλότερος ρυθμός φθοράς των στοιχείων του δικτύου
- Χαμηλότερο κόστος επισκευής του δικτύου λόγω μικρότερης συχνότητας βλαβών

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

Η διαχείριση της πίεσης συμβάλει στη μείωση των πραγματικών απωλειών, αλλά ταυτόχρονα καθίσταται δυσκολότερος ο ενεργός έλεγχος διαρροών (active leakage control), λόγω του μειωμένου θορύβου από τις διαρροές, καθιστώντας δυσκολότερη η ανίχνευση τους με χρήση ακουστικών μέσων από την επιφάνεια του εδάφους (32, 71).

Η διαχείριση της πίεσης σε ένα δίκτυο ύδρευσης γίνεται μια σειρά μεθόδων όπως η δημιουργία ζωνών διαχείρισης πίεσης (Pressure Management Zones-PMZs), η χρήση βαλβίδων μείωσης πίεσης (Pressure Reduction Valves-PRVs) και η χρήση υδροτουρμπίνων (Pumps acting as Turbines) για την ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας.

Οι τρεις κύριοι τύποι βαλβίδων μείωσης πίεσης (Εικόνα 1.3) που χρησιμοποιούνται είναι:



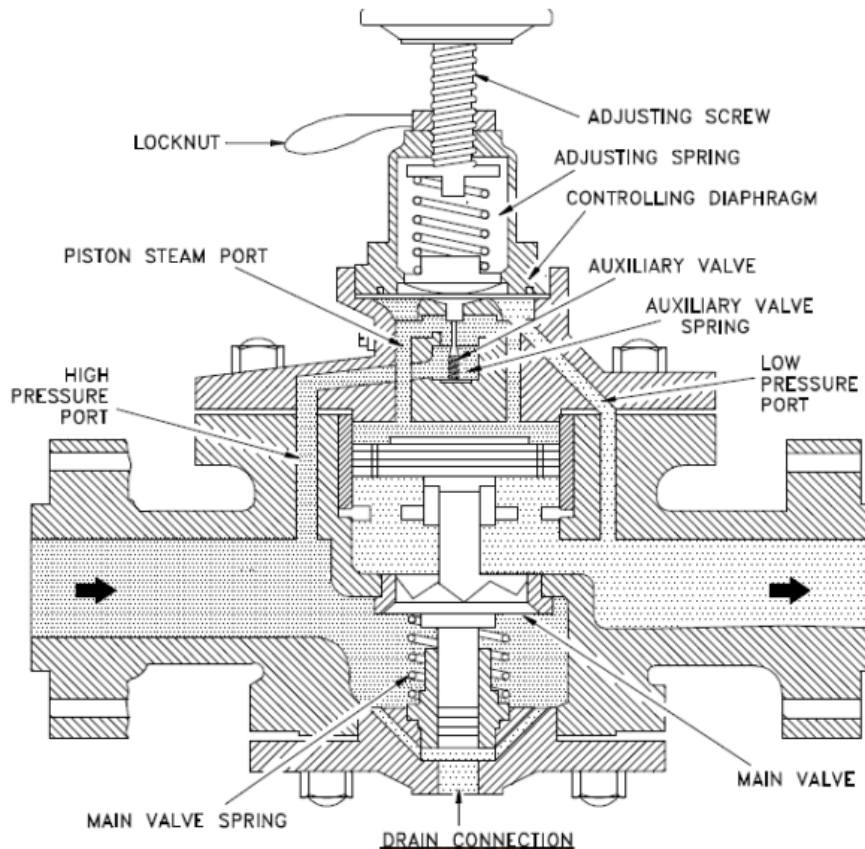
Εικόνα 1.3. Βαλβίδα μείωσης της πίεσης (PRV) (79)

- **Σταθερής ρύθμισης (fixed outlet).** Η η πίεση καθορίζεται στην έξοδο. Συνιστάται σε περιπτώσεις μειωμένης γνώσης του σχεδιασμού και λειτουργίας του δικτύου και σε περίπτωση όπου η ζώνης πίεσης δεν έχει πλήρως απομονωθεί. Το μειονέκτημα είναι δεν υπάρχει αποτελεσματικός έλεγχος όταν η ζήτηση είναι ελάχιστη και αυξημένη η πίεση.
- **Μεταβλητής ρύθμισης χρονοδιαγράμματος (time-modulated).** Η η πίεση στην έξοδο καθορίζεται από το χρήστη και διαφοροποιείται μέσα στη μέρα. Οι βαλβίδες αυτές ενσωματώνουν εξοπλισμό με εσωτερικό χρονόμετρο και συνήθως προτιμούνται σε συνθήκες σταθερής ζήτησης και απωλειών και όταν το κόστος πρέπει να παραμείνει χαμηλό. Ο μεγάλος αριθμός σημείων ρύθμισης έχει ως συνέπεια σημαντική εξοικονόμηση νερού και ορθότερη διαχείριση των υψηλών πιέσεων, αλλά το μειονέκτημα είναι ότι η πίεση κατάντη της PRV έχει σταθερή τιμή που εξαρτάται αποκλειστικά από τον χρόνο.
- **Μεταβλητής ρύθμισης βάσει ζήτησης (flow-modulated).** Η πίεση στην έξοδο καθορίζεται από τη ζήτηση. Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις με μεταβλητές συνθήκες, μεγάλο όγκο απωλειών και απαιτήσεις πυρόσβεσης. Ο μηχανισμός για τον έλεγχο συνδέεται με ένα μετρητή της ζήτησης στην έξοδο όπου μετρείται και η πίεση. Η αλλαγή της πίεσης εξόδου επιτυγχάνεται μεταβάλλοντας τη δύναμη πάνω στο ελατήριο της βαλβίδας.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

Το μειονέκτημα είναι ότι σε περίπτωση θραύσης η PRV θα παρέχει μεγαλύτερη πίεση με αποτέλεσμα να είναι πιο υψηλό το κόστος της μέθοδος.

Η Εικόνα 1.4 παρουσιάζει τα μηχανικά τμήματα από τα οποία αποτελείται μιας βαλβίδα μείωσης πίεσης (PRV).



Εικόνα 1.4. Τμήματα μιας βαλβίδας μείωσης της πίεσης (PRV) (79)

Οι μέθοδοι διαχείρισης της πίεσης έχουν εφαρμοστεί από τις εταιρίες ύδρευσης είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των τριών επικρατέστερων μεθόδων διαχείρισης της πίεσης συνοψίζονται στην Εικόνα 1.4.

Πίνακας 1.1. Οι κυριότερες μέθοδοι διαχείρισης πίεσης και τα πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα τους (17, 24, 26, 31, 36)

Μέθοδος	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Βαλβίδες Μείωσης Πίεσης (Pressure Reducing Valves-PRVs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Χαμηλό κόστος Επένδυσης</li> <li>- Μείωση διαρροών δικτύου</li> <li>- Διαχείριση πίεσης κατάντη</li> <li>- Απλός σχεδιασμός και λειτουργία</li> <li>- Ευκολία στη διαχείριση πίεσης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Δεν είναι ανακτήσιμη η ενέργεια που "διαλύεται"</li> <li>- Ελλειπτική χρήση σε περίπτωση εισαγωγής ενέργειας στο δίκτυο</li> </ul>
Ζώνες Διαχείρισης Πίεσης (PZMs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Καλύτερη διαχείριση ενέργειας που εισάγεται στο δίκτυο</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Υψηλότερο κόστος Επένδυσης λόγω της τοπολογικής απομόνωσης διαφορετικών ζωνών</li> </ul>

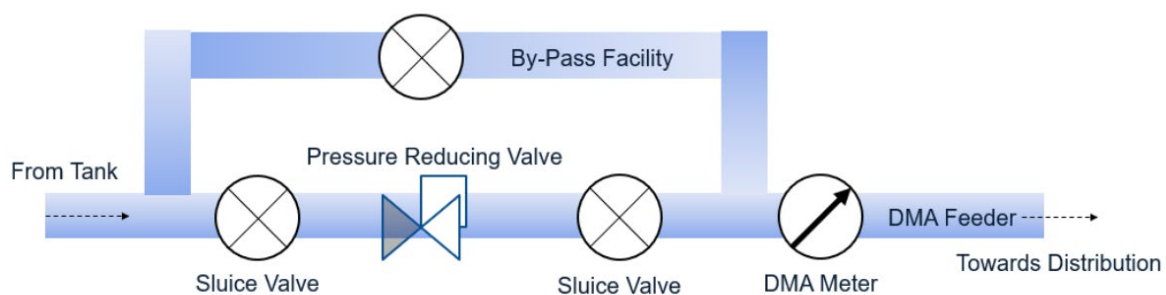
**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

Μέθοδος	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Εξαρτάται από την τοπολογία</li> <li>- Ανάγκη τοποθέτησης και PRV για την ρύθμιση της πλεονάζουσας πίεσης</li> </ul>
Υδροτουρμπίνες (Pumps as Turbines-PATs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ανάκτηση ενέργειας</li> <li>- Μείωση διαρροών δικτύου</li> <li>- Διαχείριση πίεσης κατάντη</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Υψηλότερο κόστος Επένδυσης λόγω της τοπολογικής απομόνωσης διαφορετικών ζωνών</li> <li>- Σύνθετος σχεδιασμός</li> <li>- Ανάγκη τοποθέτησης και PRV για την ρύθμιση της πλεονάζουσας πίεσης</li> </ul>

### 1.3. Δημιουργία DMA (District Metered Area)

Ως DMA ορίζεται μια διακριτή περιοχή ενός δικτύου διανομής νερού στην οποία μπορεί να μετρηθεί το νερό που εισέρχεται και εξέρχεται (Εικόνα 1.5). Συνήθως δημιουργείται με το κλείσιμο των βαλβίδων ώστε να παραμένει ευέλικτο στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις. Το νερό που ρέει μέσα και έξω από το DMA μετριέται στις εισόδους και τις εξόδους και οι ροές αναλύονται περιοδικά προκειμένου να παρακολουθεί το επίπεδο διαρροής (λαμβάνοντας υπόψη και την κατανάλωση σε αυτή την περιοχή). Τα DMA μπορούν κατά κύριο λόγο να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις διαφορετικούς τύπους: DMA με ένα μόνο σημείο εισαγωγής νερού, DMA πολλαπλών σημείων εισαγωγής και επικαλυπτόμενα DMA, όπου η έξοδος του ενός είναι είσοδος του επόμενου (26, 31).

Ο σχεδιασμός των DMA ενός συστήματος διανομής νερού συνεπάγεται τον προσδιορισμό του τρόπου κατανομής των κόμβων του δικτύου μεταξύ των διαφόρων περιοχών με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε DMA να έχει επαρκές μέγεθος, δηλαδή να περιλαμβάνει επαρκή αριθμό χρηστών. Ο προσδιορισμός περιλαμβάνει (α) ποιοι σωλήνες πρέπει να κλείσουν για να οριοθετήσουν τα DMA και πρέπει να παραμείνουν ανοιχτοί με τους μετρητές ροής τοποθετημένους το κατάλληλο σημείο.



Εικόνα 1.5. Τυπική διάταξη της εισόδου ενός DMA (24)

Η δημιουργία DMA μπορεί να αποφέρει σημαντικά οφέλη όρους μείωσης διαρροών και διαχείρισης συστήματος σε πραγματικό χρόνο, από την αλλά δυσχαιραίνει την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητα του ίδιου του συστήματος. Συνήθως υιοθετείται στο σχεδιασμό

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

συστημάτων διανομής νερού, το οποίο βασίζεται στη δημιουργία βρόχου στα δίκτυα ώστε να εξασφαλίσουν υψηλή αξιοπιστία. Αφού έχουν κλείσει ορισμένοι σωλήνες του δικτύου μέσω PRV, για τη δημιουργία DMA, το δίκτυο θα έχει λιγότερη δομή βρόχου, πράγμα που σημαίνει ότι θα είναι η αξιοπιστία του μειωμένη; ταυτόχρονα, περισσότερη ενέργεια θα διασκορπιστεί στο δίκτυο, με αποτέλεσμα πιθανά προβλήματα στην εξασφάλιση της ελάχιστης απαιτούμενης πίεσης στους κόμβους.

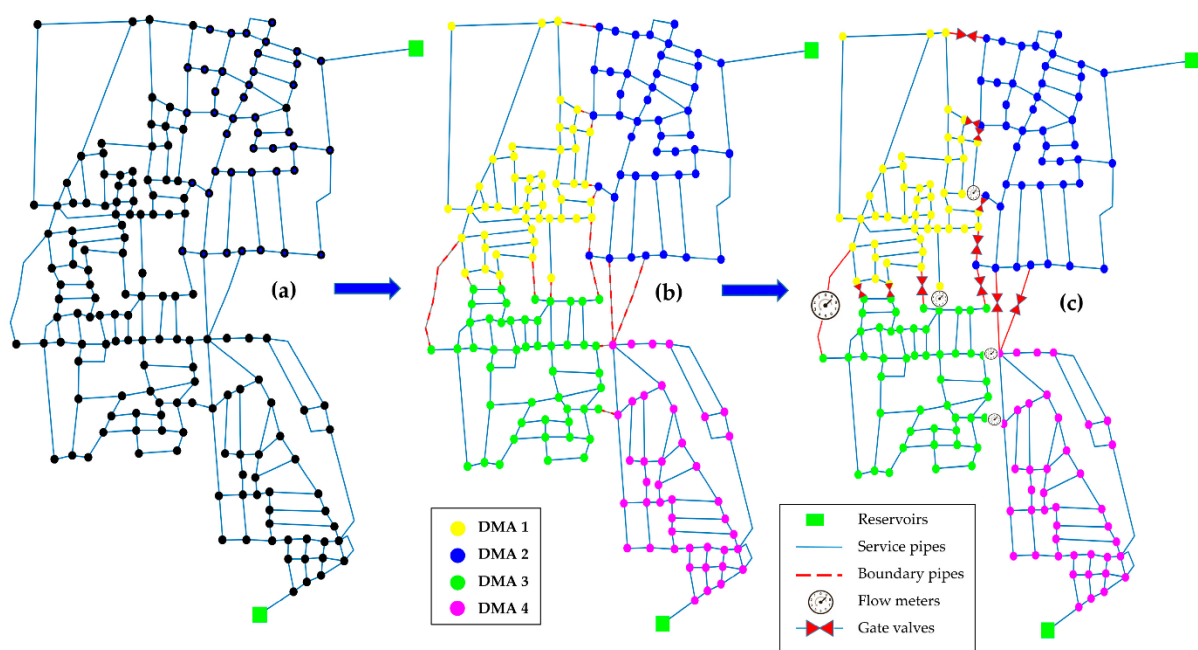
Μια σειρά από παράγοντες λαμβάνονται υπόψη κατά τη δημιουργία ενός DMA σε ένα υπάρχον δίκτυο:

**Αριθμός χρηστών ή συνδέσεων:** Ένα DMA έχει γενικά από 1000 έως 2500 συνδέσεις. Για DMA μεγαλύτερα από αυτό, η εξεύρεση Non-Revenue-Water θα ήταν δύσκολη, ενώ για DMA μικρότερα από αυτό, το κόστος του εξοπλισμού παρακολούθησης και απομόνωσης θα υπερβεί την οικονομική ωφέλεια.

**Ποιότητα νερού:** Η ποιότητα του νερού είναι υπό έλεγχο πριν και μετά τη δημιουργία ενός DMA. Η δημιουργία ενός DMA επιτρέπει να περιορίζεται ο έλεγχος σε συγκεκριμένα τμήματα, συγκριτικά με ένα ανοικτό σύστημα.

**Κόστος εγκατάστασης DMA:** Το κόστος εγκατάστασης DMA εξαρτάται κυρίως από το κόστος απομόνωσης και εξοπλισμού μέτρησης που απαιτείται. Για τον σκοπό απομόνωσης, χρησιμοποιούνται τυπικές βαλβίδες απομόνωσης ενώ για τη μέτρηση χρησιμοποιούνται μετρητές ροής. Τα DMA διαμορφώνονται ώστε να απαιτείται ο ελάχιστος αριθμός βαλβίδων και μετρητών ροής για την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων.

**Τοπογραφία:** Συνιστάται η χρήση φυσιολογικά διαθέσιμων τοπογραφικών χαρακτηριστικών όπως ποτάμια, λίμνες, παραλλαγές εδάφους και ακόμη και κύριοι δρόμοι για να σχηματιστούν DMA, καθώς θα εξασφαλίσουν την ευκολία απομόνωσης.



Εικόνα 1.6. Δημιουργία DMA σε ένα υπάρχον δίκτυο ύδρευσης (24)

---

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

**Απομόνωση και διασύνδεση:** Αν και τα DMAs πρέπει να είναι καλά απομονωμένα μεταξύ τους για ακρίβεια στις μετρήσεις, θα πρέπει επίσης να διασυνδέονται χρησιμοποιώντας βαλβίδες απομόνωσης (αρχικά ρυθμισμένες ως κλειστές με τη δυνατότητα να μπορούν να ανοίξουν ώστε να ανταποκρίνονται σε ορισμένες περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης / διακοπής) έτσι ώστε ένα DMA να μπορεί να τροφοδοτηθεί από άλλο για καλύτερη διανομή.

**Κλίσεις και υψόμετρο:** Στην ιδανική περίπτωση, ένα DMA πρέπει να αποτελείται από ομοιόμορφο έδαφος. Εάν ένα DMA έχει πολλές παραλλαγές εδάφους, θα είναι δύσκολη η παροχή νερού σε όλους τους χρήστες με ομοιόμορφη πίεση.

**Κάλυψη απαιτήσεων:** Οι απαιτήσεις ελάχιστης παροχής και πίεσης για αποτελεσματική αντιμετώπιση μιας πυρκαγιάς πρέπει να ληφθούν υπόψη όταν σχεδιάζεται το DMA.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

## Κεφάλαιο 2: Αντλίες

### 2.1 Εισαγωγή

Αντλία (Εικόνα 2.1) είναι ο μηχανισμός που μετακινεί ρευστά. Πιο συγκεκριμένα, οι αντλίες ανυψώνουν, μεταφέρουν ή συμπιέζουν ρευστά.



Εικόνα 2.1. Σύστημα Αντλία - Μοτέρ (Υδρευσης) (79)

### 2.2 Χαρακτηριστικά λειτουργίας των αντλιών

Τα βασικά χαρακτηριστικά της λειτουργίας μιας αντλίας είναι τα παρακάτω, και παρουσιάζονται εκτενώς στο Παράρτημα Α:

#### Παροχή $Q$

#### Ύψη $H$

- Στατικό ύψος αναρρόφησης ( $H_a$ ):
- Στατικό ύψος κατάθλιψης ( $H_k$ ):
- Στατικό ύψος  $H_\sigma$
- Ύψος Αντιστάσεων  $H_r$
- Ολικό ύψος  $H_o$ :
- Μανομετρικό ύψος  $H_m$

#### Βαθμός Απόδοσης $\eta$ :

- Υδραυλικός Βαθμός απόδοσης  $\eta_h$
- Ογκομετρικός βαθμός απόδοσης  $\eta_v$
- Μηχανικός βαθμός απόδοσης  $\eta_m$

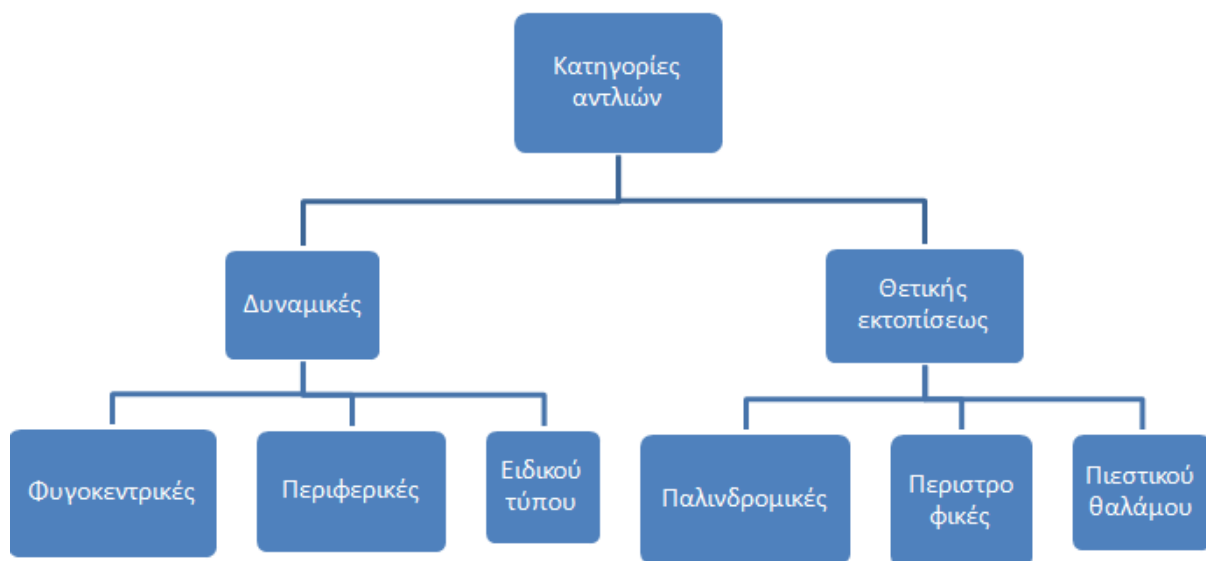
#### Αποδιδόμενη ισχύς αντλίας: Ισχύς κινητήρα

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

### 2.3 Ταξινόμηση αντλιών

Οι αντλίες μπορούν να ταξινομηθούν με κριτήρια όπως η λειτουργία τους, το μανομετρικό ύψος, η ροή του νερού και η αξιοποίηση της ενέργειας.

Βασικός τρόπος κατάταξης των αντλιών είναι η λειτουργία τους, δηλαδή ο μηχανισμός με τον οποίο προσδίδεται η ενέργεια στο υγρό σε (Εικόνα 2.2): Τις δυναμικές αντλίες) και τις αντλίες θετικής εκτοπίσεως. Οι δυναμικές αντλίες διαιρούνται επιπρόσθετα σε φυγόκεντρικές αντλίες, περιφερικές αντλίες και δυναμικές αντλίες ειδικού τύπου ενώ οι αντλίες θετικής εκτοπίσεως περαιτέρω σε παλινδρομικές, περιστροφικές και πιεστικού θαλάμου (5, 61).



Εικόνα 2.2. Κατηγοριοποίηση αντλιών βάση του τρόπου λειτουργίας

Πέρα από το τρόπο λειτουργίας, υπάρχουν και μια σειρά άλλα κριτήρια κατηγοριοποίησης των αντλιών.

Ανάλογα με το μανομετρικό ύψος λειτουργίας οι αντλίες 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 του νερού οι αντλίες διακρίνονται σε:

- ακτινικής ροής
- μεικτής ροής
- αξονικής ροής



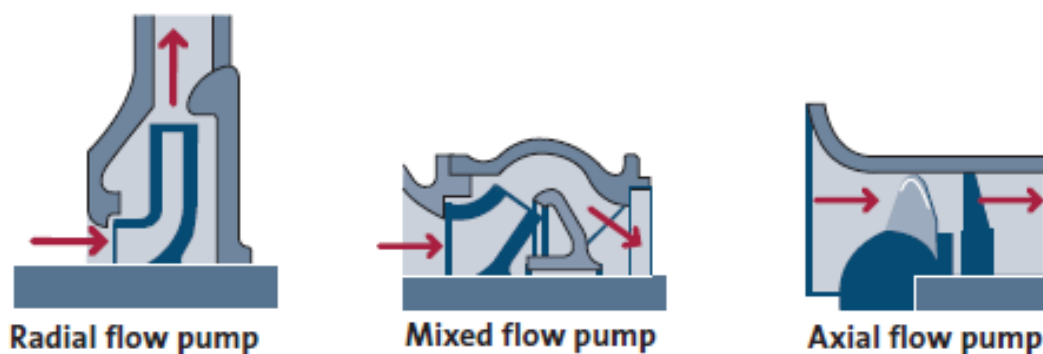
**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

**Ακτινικής ροής:** Το ρευστό κινείται στην διεύθυνση του άξονα και μετά την πτερωτή εξέρχεται στη διεύθυνση της ακτίνας, επειδή το πλάτος των πτερυγίων είναι μικρό ως προς τη διάμετρο.

**Αξονικής ροής:** Το ρευστό κινείται στην διεύθυνση του άξονα και μετά την πτερωτή εξέρχεται ξανά στη ίδια διεύθυνση του άξονα, επειδή το πλάτος των πτερυγίων της πτερωτής είναι μεγάλο ως προς τη διάμετρο.

**Μεικτής ροής:** Ανάμεσα στις αντλίες ακτινικής ροής και τις αξονικής ροής, βρίσκονται οι αντλίες μεικτής ροής.

Στην Εικόνα 2.3 παρουσιάζονται το πως κινείται το ρευστό και η μορφή που έχει η πτερωτή.



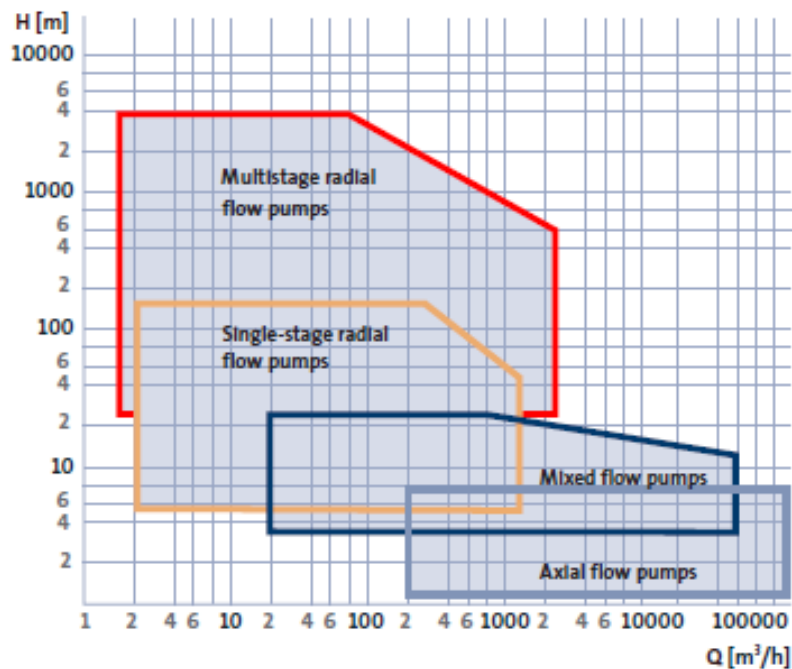
Εικόνα 2.3. Ροή ρευστού σε αντλία ακτινικής, μεικτής και αξονικής ροής (86)

Η απόδοση της φυγόκεντρικής αντλίας, ως συνάρτηση της παροχής, του μανομετρικού και του τρόπου εγκατάστασης είναι παράγοντες διαφοροποίησης φυγόκεντρικών αντλιών. Στην Εικόνα 2.4 απεικονίζονται διάφορα είδη φυγόκεντρικών αντλιών και οι περιοχές χρήσης τους ως συνάρτηση της παροχής και το ολικού ύψους ( $Q$  και  $H$ ).

Με το κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι πολυβάθμιες ακτινικής ροής αντλίες, με πορτοκαλί οι μονοβάθμιες αντλίες ακτινικής ροής, με μπλε οι αντλίες μεικτής ροής και τέλος με γαλάζιο οι αντλίες αξονικής ροής.

Στην Εικόνα 2.4 υπάρχουν περιοχές αλληλοεπικάψυλης από παραπάνω από ένα είδη. Σε κάθε περίπτωση βασιζόμενοι στο σχεδιασμό που προηγείται για το αντλητικό σύστημα, τις ανάγκες και τα οικονομικά κριτήρια γίνεται η επιλογή της πιο κατάλληλης αντλίας.

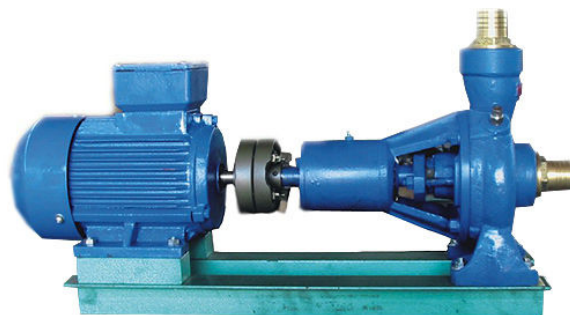
**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.



Εικόνα 2.4. Τύποι αντλιών και περιοχές χρήσης τους (86)

## 2.4 Αρχές λειτουργίας των αντλιών

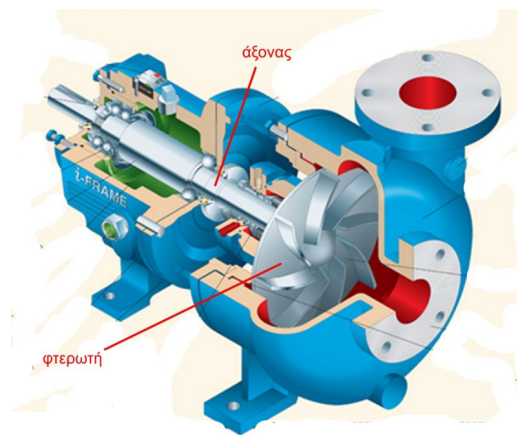
Η λειτουργία των φυγόκεντρικών αντλιών (Εικόνα 2.5) βασίζεται στη φυγόκεντρο δύναμη που παράγεται από έναν περιστρεφόμενο δίσκο πάνω στον οποίο βρίσκεται πτερωτή. Απαρτίζονται από περιστρεφόμενες μονάδες υψηλής ταχύτητας και μεγάλης δυναμικότητας, οι οποίες κινούνται είτε από μηχανές εσωτερικής καύσεως, είτε από ηλεκτρικούς κινητήρες είτε από ατμοστρόβιλους. Η ροή του υγρού στις φυγόκεντρικές αντλίες προκύπτει από τη φυγόκεντρη κινητική ενέργεια η οποία δημιουργείται από τη περιστροφική κίνηση της πτερωτής. Το αναρροφώμενο υγρό φτάνει στη συνέχεια στο άνοιγμα αναρρόφησης και έπειτα περιστρέφεται καθώς οδηγείται από τα πτερύγια.



Εικόνα 2.5. Φυγόκεντρική αντλία νερού μαζί με το μοτέρ της (79)

Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης και περιστροφής της φτερωτής αποτελείται από έναν άξονα ο οποίος περιστρεφόμενος δίνει κίνηση στη φτερωτή, με την οποία είναι συνδεδεμένος.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

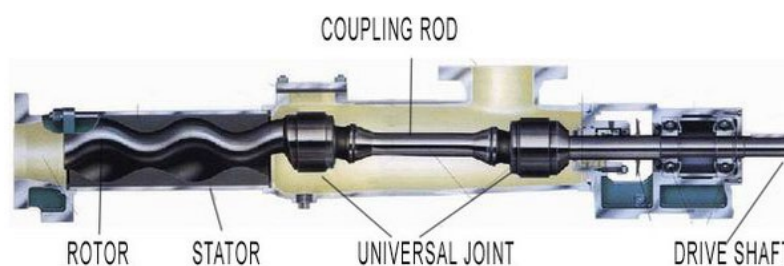


Εικόνα 2.6. Αντλία θετικής εκτόπισης (79)

Ο άξονας της αντλίας είναι ένας συμπαγής μεταλλικός κύλινδρος που εδράζεται σε δύο σημεία. Στις αντλίες με οριζόντιο άξονα τα σημεία αυτά συνήθως βρίσκονται στην πίσω πλευρά της πτερωτής, δηλαδή στο αντίθετο σημείο από την αναρρόφηση. Η έδραση γίνεται σε δύο ένσφαιρους τριβείς (ρουλεμάν) με τις βάσεις τους (κουζινέτα) στους οποίους στηρίζεται ο άξονας της αντλίας. Η αποφυγή φθορών στα ρουλεμάν γίνεται με συνεχή λίπανση κατά τη διάρκεια λειτουργίας της αντλίας. Αυτό επιτυγχάνεται με ένα ελαιοδοχείο από όπου περνά ο άξονας. Οι ένσφαιροι τριβείς κλείνουν τις δύο πλευρές του ελαιοδοχείου και λιπαίνονται συνεχώς. Η στεγανότητα του ελαιοδοχείου εξασφαλίζεται από δύο τσιμούχες που βρίσκονται εξωτερικά των ένσφαιρων τριβέων.

Οι αντλίες θετικής εκτόπισης (Εικόνα 2.7) είναι οι αντλίες στις οποίες, η λειτουργία βασίζεται σε διαδοχική πλήρωση και εκκένωση ενός γεωμετρικού όγκου. Το προς διακίνηση υγρό, από το σωλήνα αναρρόφησης, πληροί το χώρο της αντλίας (ή ένα τμήμα αυτού) και στη συνέχεια εκτοπίζεται με κάποιο τρόπο προς τον σωλήνα κατάθλιψης, κοκ. Ως εκ τούτου η προωθούμενη ποσότητα υγρού σε κάθε περιοδική κίνηση (εμβολιασμό ή περιστροφή) είναι σταθερή και η παροχή των αντλιών δεν επηρεάζεται από την αντίσταση λόγω ροής του υγρού στις σωληνώσεις μεταφοράς, όπως συμβαίνει στις φυγόκεντρικές αντλίες.

Όλες οι αντλίες θετικής εκτόπισης είναι αντλίες αυταναρρόφησης και δεν χρειάζονται πλήρωση κατά την εκκίνηση. Οι αντλίες θετικής εκτόπισης μεταδίδουν ενέργεια στο διακινούμενο υγρό συνήθως με μηχανικό τρόπο (με ένα έμβολο ή διάφραγμα) και σπανιότερα με άλλο ρευστό.



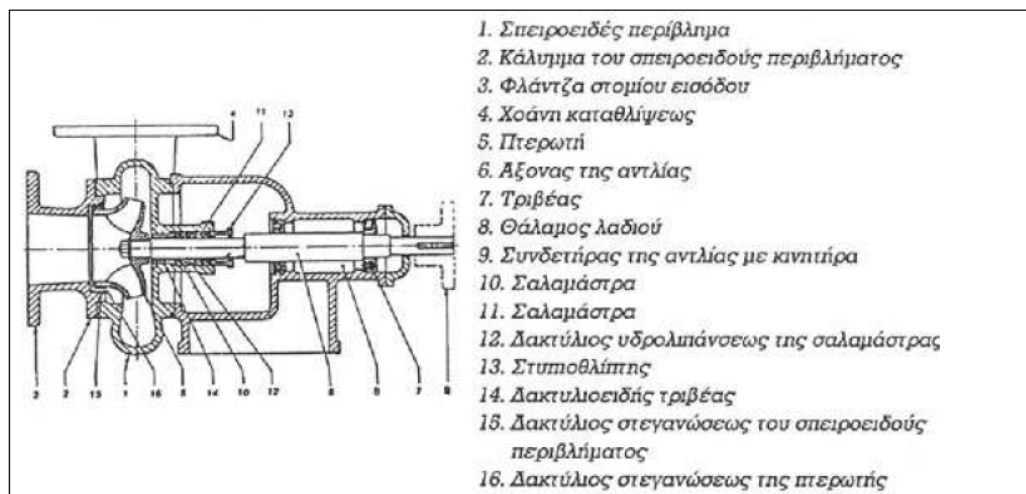
Εικόνα 2.7. Αντλία θετικής εκτόπισης (79)

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

## 2.5 Δομή και σχεδιασμός φυγόκεντρων αντλιών

Οι φυγόκεντρες αντλίες αποτελούνται από:

- Το σώμα
- Το στροφέιο (πτερωτή).
- Ο δακτύλιος φθοράς
- Η άτρακτος



Εικόνα 2.8. Μηχανικά τμήματα μιας φυγόκεντρης αντλίας (86)

### 2.5.1 Το σώμα της αντλίας

**Το σώμα της αντλίας.** Πάνω στο σώμα της αντλίας τοποθετούνται τα άλλα μέρη της αντλίας. Είναι ανθεκτικό στα υγρά που μεταφέρονται και στις θερμοκρασίες λειτουργίας. Διαιρείται, είτε οριζόντια, είτε κάθετα, είτε διαγώνια με μια γωνία. Τα κελύφη που από προκύπτουν από την οριζόντια διαίρεση είναι τα αξονικά διαιρούμενα κελύφη, ενώ αυτά από την κάθετη είναι τα ακτινικά διαιρούμενα.



Εικόνα 2.9. Το σώμα της αντλίας (79)

**Το στροφέιο (πτερωτή).** Η γωνία κλίσης των πτερυγίων στη διατομή εξόδου και ο αριθμός των πτερυγίων χρησιμοποιούνται για να σχεδιαστεί η πτερωτή. Η γωνία κλίσης των πτερυγίων έχει σχέση με την κλίση της ιδεατής αλλά και της πραγματικής χαρακτηριστικής

---

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

H-V. Η μείωση της γωνίας κλίσης των πτερυγίων, αυξάνει την απόλυτη τιμή της κλίσης της πραγματικής χαρακτηριστικής καμπύλης λειτουργίας H-V.

**Οι δακτύλιοι φθοράς.** Η διαμόρφωση τους επιτυγχάνει μια δακτυλιοειδή σχισμή ανάμεσα στο κέλυφος που δεν κινείται και της πτερωτής, ενώ υπάρχει ένα συγκεκριμένο ακτινικό διάκενο με συγκεκριμένο μήκος. Η διαμόρφωσης λαβυρίνθων με τη χρήση των δακτυλίων φθοράς στοχεύει στη διατήρηση των ογκομετρικών απωλειών σε χαμηλή τιμή ώστε η αντίστοιχη τιμή του ογκομετρικού βαθμού απόδοσης να είναι σύμφωνα με τις προδιαγραφές.

**Η άτρακτος της αντλίας.** Η άτρακτος μεταβιβάζει τη ροπή στρέψης από τον κινητήρα στην πτερωτή. Στην περίπτωση μόνιμης λειτουργίας μιας φυγόκεντρικής αντλίας η οποία έχει σταθερή ταχύτητα περιστροφής η ροπή αυτή είναι ίση με τη ροπή αντιστάθμισης που απορρέει από τις μηχανικές απώλειες. Η άτρακτος προσδέεται στην πτερωτή και λαμβάνει και αντιστάσεις «υδραυλικής προέλευσης» που η προέλευσή τους είναι αξονικές και ακτινικές δυνάμεις που δημιουργούνται στις πτερωτές όταν κινείται το ρευστό. Οι συνολικές δυνάμεις και ροπές στην άτρακτο επιβάλλουν ένα στατικό υπολογισμό για το σχεδιασμό της ατράκτου. Εξαιτίας του μεγάλου μήκους της ατράκτου υπολογίζεται και η ελαστικότητά της ώστε να υπάρχει μικρή κλίση και βέλος κάμψης της ατράκτου ώστε να μην μεταβάλλεται η λειτουργικότητα των συνδεόμενων εξαρτημάτων.

### **Τμήμα Εισόδου**

Το τμήμα εισόδου δημιουργεί μια ομοιόμορφη διανομή της ταχύτητας η οποία είναι συμμετρική ως προς τον άξονα επιφάνεια εισόδου της πτερωτής, επιτρέποντας την ομοιόμορφη λειτουργία όλων των πτερυγίων της πτερωτής.

### **Τμήμα Εξόδου**

Το τμήμα εξόδου μιας φυγόκεντρικής αντλίας είναι ένα σημαντικό ποσοστό του όγκου του κελύφους της αντλίας, συλλέγει το ρευστό που έχει αντληθεί και το καθοδηγεί στην εξόδο. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι τμημάτων εξόδου στις φυγόκεντρικές αντλίες: σπειροειδές κέλυφος & διαχύτης.

### **Σπειροειδές κέλυφος.**

Είναι ευρέως διαδεδομένος τύπος κελύφους (Εικόνα 2.10) εξόδου μιας φυγόκεντρικής αντλίας και σχεδιάζεται με δύο μεθόδους. Η πρώτη μέθοδος βασίζεται σε δύο αρχές, αυτή της αρχής της διατήρησης της συστροφής και την αρχή της συνέχειας. Η κλίση της γραμμής ροής του ρευστού που έχει αντληθεί, υπολογίζεται στη διαδρομή εξόδου λαμβάνοντας υπόψη την απόσταση του όγκου ελέγχου του ρευστού από το κέντρο της κυκλικής διατομής εισόδου. Η δεύτερη μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της γεωμετρίας του σπειροειδούς κελύφους είναι αυτή της σταθερής μέσης ταχύτητας και βασίζεται στην αρχή της σταθερής μέσης ταχύτητας της ροής στις διάφορες διατομές. υπολογίζει τη διατομή του σπειροειδούς κελύφους σε συνάρτηση της γωνίας περιστροφής του μονάδας αναφοράς του ρευστού.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.



Εικόνα 2.10. Σπειροειδές περίβλημα μιας αντλίας με οριζόντιο άξονα (79)

### Διαχύτης

Το τμήμα εξόδου είτε έχει τη μορφή διαχύτη, ο οποίος κατασκευάζεται με ή χωρίς πτερύγια. Ο διαχύτης χωρίς πτερύγια παρομοιάζεται με ένα αξονοσυμμετρικό κέλυφος οδήγησης της ροής, ενώ ο διαχύτης με πτερύγια είναι μια ακίνητη ακτινική στεφάνη πτερυγίων με διάταξη γύρω από την πτερωτή.

#### 2.5.2 Η πτερωτή

Ο υπολογισμός της γωνίας κλίσης των πτερυγίων στη διατομή εξόδου και ο καθορισμός του αριθμού των πτερυγίων είναι οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για το σχεδιασμό της πτερωτής.



Εικόνα 2.11. Πτερωτή αντλίας με οριζόντιο άξονα (79)

#### 2.5.3 Δακτύλιοι φθοράς (WearRings)

Η διαμόρφωση των δακτυλίων φθοράς επιτυγχάνει μια δακτυλιοειδή σχισμή ανάμεσα στο κέλυφος που δεν κινείται και της πτερωτής, ενώ υπάρχει ένα συγκεκριμένο ακτινικό διάκενο με συγκεκριμένο μήκος.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγοκεντρικής αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

#### 2.5.4 Άτρακτος

Η άτρακτος μεταβιβάζει τη ροπή στρέψης από τον κινητήρα στην πτερωτή. Στην περίπτωση μόνιμης λειτουργίας μιας φυγοκεντρικής αντλίας η οποία έχει σταθερή ταχύτητα περιστροφής η ροπή αυτή είναι ίση με τη ροπή αντιστάθμισης που απορρέει από τις μηχανικές απώλειες.

### 2.6 Είδη φυγοκεντρικών αντλιών ακτινικής ροής

Οι φυγοκεντρικές αντλίες ακτινικής ροής μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το σχεδιασμό του κελύφους, το σχεδιασμό της φτερωτής, τον αριθμό των εισόδων, των αριθμό των φτερωτών κλπ. Η γνώση των τύπων των αντλιών και των ιδιαίτερων λειτουργικών χαρακτηριστικών του κάθε τύπου είναι απαραίτητη ώστε να γίνει η σωστή επιλογή του πλέον κατάλληλου τύπου για κάθε εφαρμογή. Τα είδη φυγοκεντρικών αντλιών ακτινικής ροής, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, ταξινομούνται ως ακολούθως:

#### 2.6.1 Με βάση τον εσωτερικό σχεδιασμό του κελύφους

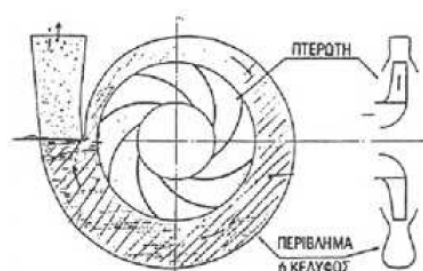
Στόχος της διαμόρφωσης του εσωτερικού του κελύφους είναι να μεταρέπουν την κινητική ενέργεια, που η φτερωτή προσδίδει στο υγρό, σε ενέργια πίεσης με όσο το δυνατόν λιγότερες απώλειες. Οι απώλειες οφείλονται κυρίως στις τριβές και στη δημιουργία δινών στο υγρό που μετατρέπουν μέρος της κινητικής ενέργειας σε θερμότητα. Υπάρχουν τρία είδη κελυφών φυγοκεντρικών αντλιών:

##### α) Απλό κυκλικό κέλυφος (Circular casing)

Είναι ο απλούστερος τύπος φυγοκεντρικής αντλίας. Το κέλυφος σχηματίζει εσωτερικώς ένα απλό δακτυλοειδή χώρο γύρω από τη φτερωτή. Δεν υπάρχουν διατάξεις παρεμπόδισης της δημιουργίας δινών ή ανάκτησης της κινητικής ενέργειας του υγρού και ως εκ τούτου ο βαθμός απόδοσης των αντλιών αυτών είναι χαμηλός. Οι αντλίες αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται πολύ σπάνια.

##### β) Σπειροειδές κέλυφος (Volute pumps)

Είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος (Εικόνα 2.12). Το κέλυφος φέρει εσωτερικώς σπειροειδείς αυλακώσεις που διαμορφώνουν τη συνεχώς διευρυνόμενη διατομή, μέσω της οποίας το υγρό οδηγείται προς την έξοδο. Στη συνεχώς διευρυνόμενη διατομή η κινητική ενέργεια του υγρού μετατρέπεται σταδιακά και αποδοτικώς σε πίεση.

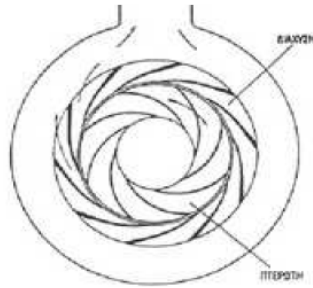


**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

Εικόνα 2.12. Σπειροειδές περίβλημα φυγόκεντρικής αντλίας (86)

### γ) Κέλυφος με πτερύγια διάχυσης (Diffuser pumps)

Στον τύπο αυτό το υγρό όταν εγκαταλείπει τη φτερωτή περνάει μέσα από ένα δακτυερά πτερύγια διάχυσης, τα οποία εξασφαλίζουν σταθερή μείωση της ταχύτητας και αύξηση της πίεσης, ελαχιστοποίηση των απωλειών κρούσης και, συνεπώς, αύξηση του βαθμού απόδοσης που φτάνει το 90%. Οι αντλίες αυτές χρησιμοποιούνται σε πολυβάθμιες αντλίες και για μεγάλες διαφορές πίεσης (Εικόνα 2.13).



Εικόνα 2.13. Φυγόκεντρική αντλία με πτερύγια διάχυσης (86)

### 2.6.2 Με βάση τον τύπο φτερωτής

Η φτερωτή είναι η καρδιά της φυγόκεντρικής αντλίας. Αποτελείται από την πλήμνη (δηλαδή το κυκλικό τμήμα στο κέντρο με το οποίο η φτερωτή σφηνώνεται στον άξονα που περιστρέφεται) και από έναν αριθμό καμπυλωτών πτερυγίων μορφωποιημένων έτσι ώστε, με την περιστροφή, να δημιουργείται μία ομαλή ροή από το κέντρο προς την περιφέρεια. Οι φτερωτές που χρησιμοποιούνται στις φυγόκεντρικές αντλίες μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες ως ακολούθως:

#### α) Ανοιχτή φτερωτή (Open impeller)

Τα πτερύγια εκτείνονται ακτινωτά από την πλήμνη προς τα έξω. Οι ανοιχτές φτερωτές χρησιμοποιούνται για να αντλούνται υγρά με αιωρούμενα στερεά. Σε περιπτώσεις με μεγαλύτερα τεμάχια στερεών η ανοιχτή φτερωτή κατασκευάζεται από εύκαμπτο πολυμερές υλικό, ώστε να κάμπτεται όταν περνούν τα στερεά και να μη «μαγκώνει» και σταματά.

#### β) Ημίκλειστη φτερωτή (Semiclosed impeller)

Στη φτερωτή αυτή η πλήμνη εκτείνεται από τη μία πλευρά των πτερυγίων (ως πλήρης δίσκος) μέχρι την άκρη των πτερυγίων. Απαιτείται το διάκενο μεταξύ των πτερυγίων και της εσωτερικής επιφάνειας του κελύφους να είναι τόσο μικρό για να ελαττώνονται οι διαφυγές του προωθούμενου υγρού και να υπάρχει και αύξηση του βαθμού απόδοσης. Με τη λειτουργία οι φθορές του κελύφους ή/και ης φτερωτής αυξάνουν τα διάκενα αυτά με αποτέλεσμα να μειώνεται ο βαθμός απόδοσης.

#### γ) Κλειστή φτερωτή (Closed impeller)

Στις κλειστές φτερωτές τα πτερύγια περιβάλλονται και από τις δύο πλευρές με πλήρεις δίσκους. Οι αντλίες με κλειστή φτερωτή έχουν μεγάλο βαθμό απόδοσης, και υψηλή πίεση ενώ παράλληλα τείνουν να εμφανίζουν σπανιότερα σπηλαίωση. Το πλεονέκτημα τους είναι



**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

οτι συγκρατούν πάνω στα πτερύγια ανάμεσα στους δύο δίσκους στερεά ή αποθέσεις και για αυτό χρησιμοποιούνται για άντληση καθαρών υγρών.

### 2.6.3 Με βάση τον αριθμό των εισόδων

Με βάση τον αριθμό των εισόδων οι φυγόκεντρικές αντλίες ακτινικής ροής είναι δυνατόν να τροφοδοτούνται από μία ή εισόδους συγχρόνως. Έτσι διακρίνουμε τις αντλίες:

#### Μονοβάθμιες (Single stage)

Οι μονοβάθμιες αντλίες απλής αναρρόφησης χρησιμοποιούνται ευρέως και καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος από τεχνικές εφαρμογές (Εικόνα 2.14).



Εικόνα 2.14. Μονοβάθμια Αντλία In-line(79)

#### Αντλίες διπλής αναρρόφησης

Οι αντλίες διπλής αναρρόφησης (Εικόνα 2.15) κατασκευάζονται με σκοπό τη μείωση του ειδικού αριθμού στροφών, (κυμαίνεται από 2.000 έως 4.000 (V σε m<sup>3</sup>/h)), ώστε η πτερωτή να έχει έξοδο ακτινικής ροής και υψηλό βαθμό απόδοσης της αντλίας είναι υψηλός. Λόγω της ιδιαιτερότητας που παρουσιάζουν όλα τα τμήματα της αντλίας διπλής αναρρόφησης, οι αντλίες διπλής αναρρόφησης κατασκευάζονται μόνο για μεγάλα μεγέθη και είναι συνήθως αντλίες οριζόντιου άξονα.

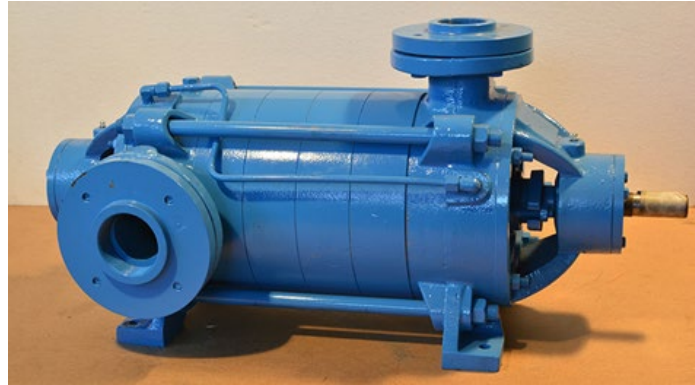


Εικόνα 2.15. Αντλία Διπλής Αναρρόφησης (79)

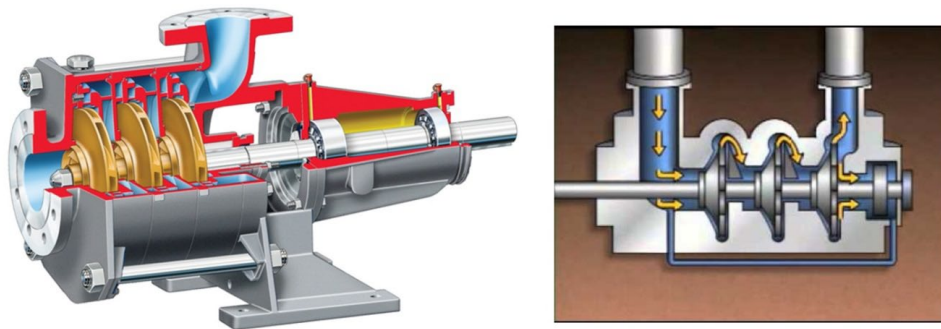
**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγοκεντρικής αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

### Πολυβάθμιες αντλίες

Οι πολυβάθμιες αντλίες (Εικόνες 2.16 και 2.17) χρησιμοποιούνται για να καλύψουν ανάγκες όπου απαιτείται μεγάλο μανομετρικό με σχετικά μικρές παροχές.



Εικόνα 2.16. Πολυβάθμια Αντλία (79)



Εικόνα 2.17. Πολυβάθμια (τριβάθμια) αντλία με οριζόντιο άξονα (αριστερά) και σχηματική αναπαράσταση του τρόπου λειτουργίας της (δεξιά) (79)

#### 2.6.4 Με βάση τον τρόπο που ανοίγει το κέλυφος

Το κέλυφος των φυγοκεντρικών αντλιών αποτελείται από δύο τμήματα, ώστε να είναι δυνατόν να ανοιχτεί για τοποθέτηση της φτερωτής ή την απομάκρυνσή της (για επιθεώρηση, καθαρισμό ή συντήρηση). Τα δύο τμήματα του κελύφους συνδέονται στεγανά μεταξύ τους. Ανάλογα με τον τρόπο που ανοίγει το κέλυφος, διακρίνουμε τις φυγοκεντρικές αντλίες σε:

α) Κατακόρυφου διαχωρισμού (Vertically split). Όταν το επίπεδο σύνδεσης των δύο τμημάτων του κελύφους είναι κάθετο προς τον άξονα της αντλίας (και κατακόρυφο για οριζόντιες αντλίες).

β) Οριζόντιου διαχωρισμού (Horizontally split). Όταν το επίπεδο σύνδεσης των δύο τμημάτων του κελύφους είναι παράλληλο προς τον άξονα της αντλίας (και οριζόντιο για οριζόντιες αντλίες).

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

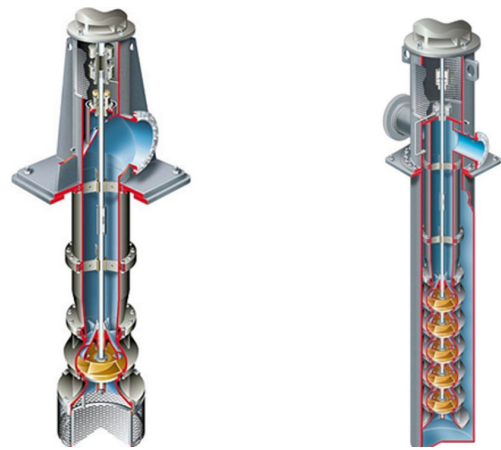
### 2.6.5 Με βάση τη θέση του άξονα

Με βάση τη θέση που έχει ο άξονας όταν η αντλία βρίσκεται εγκατεστημένη στην τελική θέση λειτουργίας της, οι φυγόκεντρικές αντλίες διακρίνονται σε:

α) Οριζόντιες (ο άξονας είναι οριζόντιος)

β) Κατακόρυφες

γ) Κεκλιμένες



Εικόνα 2.18. Αντλίες με κατακόρυφο άξονα. Πρωτοβάθμια (αριστερά) πολυβάθμια (δεξιά) (79)

### 2.6.6 Με βάση τον τρόπο σύνδεσης της αντλίας με τον κινητήρα

Με βάση τον τρόπο που η αντλία συνδέεται με τον κινητήρα ο οποίος περιστρέφει την φτερωτή, οι φυγόκεντρικές αντλίες διακρίνονται σε:

α) Αντλίες σε πλαίσιο (Frame mounted)

Η αντλία και ο κινητήρας είναι εγκατεστημένα σε ευθεία γραμμή πάνω σε βάση και οι άξονές τους συνδέονται με ένα ειδικό σύνδεσμο. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει το πλεονέκτημα της δυνατότητας αποσύνδεσης και απομάκρυνσης του κινητήρα για επισκευή χωρίς να αποσυνδεθούν οι σωληνώσεις ή να μετακινηθεί η αντλία. Απαιτείται πολύ καλή ευθυγράμμιση των αξόνων αντλίας και κινητήρα, αλλιώς κατά τη λειτουργία δημιουργούνται δονήσεις που μπορεί να καταστρέψουν την αντλία ή/και τον κινητήρα. Η κίνηση μεταδίδεται από τον κινητήρα με κατεύθυνση την αντλία είτε απ'ευθείας, μέσω απλού σύνδεσμου, είτε μέσω ενός κιβωτίου με γρανάζια μέσω των οποίων αλλάζει η ταχύτητα περιστροφής.

β) Με ενσωματωμένο κινητήρα (Closed coupled)

Η φτερωτή της αντλίας είναι συνδεδεμένη απ'ευθείας πάνω στον άξονα του κινητήρα. Δεν έχουν το πρόβλημα της ευθυγράμμισης που αναφέρθηκε ανωτέρω, αλλά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την άντληση υγρών μεγάλης θερμοκρασίας λόγω της μεταφοράς θερμότητας με αγωγή μέσω του άξονα στον κινητήρα.

γ) Με μαγνητική μετάδοση της κίνησης (Magnetic drive pump)

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

Ο άξονας που περισρέφει την φτερωτή της αντλίας πρέπει να βγαίνει έξω από το κέλυφος της αντλίας για να συνδέεται με τον κινητήρα από όπου παραλαμβάνει κίνηση. Στο σημείο που ο άξονας περνάει από το σταθερό κέλυφος υπάρχει ειδική διάταξη στεγανότητας (στυλπνότητας), ώστε το υγρό που είναι μέσα στο κέλυφος να μη διαρρέει έξω. Μικρές διαρροές στο σημείο αυτό είναι πολύ συχνές σε βιομηχανικές αντλίες. Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως τέτοιες διαρροές πρέπει οπωσδήποτε να αποφευχθούν. Τέτοιες είναι περιπτώσεις άντλησης τοξικών υγρών, ή πολύ ευφλεκτών υγρών ή υγρών που αυταναφλέγονται στον ατμοσφαιρικό αέρα κλπ. Στις περιπτώσεις αυτές η σύζευξη της φτερωτής με τον κινητήρα γίνεται όχι με μηχανικό αλλά με μαγνητικό τρόπο. Δηλαδή έξω από το κέλυφος της αντλίας και χωρίς να έρχεται σε επαφή με την αντλία περιστρέφεται ένας μαγνήτης, ο οποίος παρασύρει σε περιστροφική κίνηση τη φτερωτή (που μπορεί επίσης να φέρει μαγνήτες). Στις διατάξεις αυτές το κέλυφος της αντλίας είναι τελείως κλειστό και δεν υπάρχει δυνατότητα διαρροής του αντλούμενου νερού.

#### δ) Με μετάδοση κίνησης με ιμάντα.

Οι αντλίες αυτές πολύ σπάνια χρησιμοποιούνται πλέον και συνήθως περιορίζονται στη χημική βιομηχανία.

#### 2.6.7 Με βάση τον τρόπο εγκατάστασης

Με βάση την εγκατάσταση κατά τη λειτουργία, οι φυγόκεντρες αντλίες κατατάσσονται ως ακολούθως:

α) Κοινές αντλίες. Εγκατεστημένες μόνιμα.

β) Βυθισμένες στο υγρό αντλίες. (Submersed pumps). Ολόκληρη η αντλία είναι βυθισμένη στο αντλούμενο υγρό και ο άξονας εκτείνεται εκτός του υγρού όπου υπάρχει ο κινητήρας.

γ) Εγκατεστημένες απ'ευθείας πάνω στη σωληνογραμμή (In line pumps). Οι αντλίες αυτές μαζί με τον κινητήρα τους κρατούνται από τις σωληνώσεις, χωρίς ιδιαίτερη έδραση.

δ) Μικρές φορητές αντλίες.

#### 2.6.8 Με βάση το είδος του κινητήρα

Με βάση το είδος του κινητήρα που περιστρέφει την φτερωτή, οι φυγόκεντρες αντλίες διακρίνονται στα εξής είδη:

α) Ηλεκτροκινητήρες

β) Με κινητήρα εσωτερικής καύσης (βενζίνης & diesel)

γ) Με ατμοστρόβιλο (ως κινητήρια δύναμη χρησιμοποιείται υδρατμός)

δ) Με αεριοστρόβιλο (ως κινητήρια δύναμη χρησιμοποιείται πεπιεσμένος αέρας)

ε) Με υδραυλικό κινητήρα (ως κινητήρια δύναμη χρησιμοποιείται λάδι που ανακυκλοφορεί υπό πίεση)

στ) Χειροκίνητες ή ποδοκίνητες που είναι μικρές εργαστηριακού τύπου αντλίες

### 2.6.9 Με βάση τη δυνατότητα αυτόματης αναρρόφησης

Στο ξεκίνημα της φυγόκεντρικής αντλίας ακτινικής ροής, η αντλία πρέπει να είναι γεμάτη με νερό, ώστε με την περιστροφή της φτερωτής να δημιουργηθεί, λόγω των φυγόκεντρων δυνάμεων, ροή του υγρού προς την περιφέρεια, δημιουργώντας υποπίεση στο κέντρο της φτερωτής και αναρρόφηση υγρού από τον σωλήνα εισόδου ώστε να αρχίσει η άντληση. Επίσης, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας αν μπει από την αναρρόφηση αέρας (ή δημιουργηθούν ατμοί λόγω εξάτμισης του αντλούμενου υγρού) η αντλία θα «ξεπιάσει», δηλαδή θα χαθεί η συνέχεια της ροής του υγρού και θα σταματήσει η άντληση. Στις φυγόκεντρες αντλίες, η σωστή εγκατάσταση απαιτεί την τοποθέτηση στο σωλήνα αναρρόφησης βαλβίδας αντεπιστροφής (check valve). Η βαλβίδα αντεπιστροφής, που τοποθετείται στο ελεύθερο άκρο κατακόρυφου σωλήνα αναρρόφησης ονομάζεται ποδοβαλβίδα (foot valve). Σταματούν την ελεύθερη εκροή του υγρού και στη συνέχεια το άδειασμα του θαλάμου όταν η αντλία είναι σταματημένη. Με τον τρόπο αυτό η αντλία παραμένει γεμάτη με υγρό και η άντληση αρχίζει μόλις τεθεί σε λειτουργία. Με βάση τη δυνατότητα αυτόματης αναρρόφησης, δηλαδή αυτόματου ξεκινήματος της αντλίας χωρίς την ανάγκη πλήρωσης της αντλίας με την προσθήκη υγρού, οι αντλίες διακρίνονται σε αυτόματης αναρρόφησης ή αυταναρρόφησης (self priming) και μη αυτόματης αναρρόφησης (non self priming).

#### α) Αντλίες αυτόματης αναρρόφησης (self priming pumps)

Γενικό χαρακτηριστικό των αντλιών αυτών είναι ότι διατηρούν πάντα στο θάλαμο της αντλίας μια ποσότητα υγρού ακόμα και αν ο σωλήνας της αναρρόφησης αδειάσει τελείως. Μία μέθοδος αναρρόφησης είναι η εξής: Όταν η αντλία τεθεί σε λειτουργία, με την περιστροφή της φτερωτής δημιουργείται αφρός από το υπάρχον υγρό και τον αέρα. Ο αέρας διαχωρίζεται με διάφορες διατάξεις και οδηγείται προς τον σωλήνα κατάθλιψης της αντλίας, ενώ το υγρό ανακυκλοφορεί διαρκώς μέχρις ότου με το κενό που δημιουργείται στο κέντρο της φτερωτής αναρροφηθεί και εκδιωχθεί όλος ο αέρας από το σωλήνα αναρρόφησης της αντλίας και ο θάλαμος της αντλίας γεμίσει με αντλούμενο υγρό, οπότε αρχίζει η κανονική άντληση. Όσο η αναρρόφηση, τόσο και η κατάθλιψη, είναι στο πάνω μέρος της αντλίας. Έτσι, όταν η αντλία σταματήσει, δεν αδειάζει τελείως και υγρό παραμένει στο χώρο της αντλίας. Η εκδίωξη του αέρα είναι ευκολότερη όταν η φτερωτή έχει οπές. Ένας άλλος τύπος, φυγόκεντρικής αντλίας αναρρόφησης έχει ένα σύστημα που χρησιμοποιεί εγχυτήρα (αντλία με ακροφύσιο ή τζιφάρι). Ως κινητήριο υγρό στον εγχυτήρα χρησιμοποιείται το ίδιο το αντλούμενο υγρό που ανακυκλοφορεί με τη φυγόκεντρική αντλία. Με τον εγχυτήρα εκδιώκεται από το σωλήνα αναρρόφησης ο αέρας και δημιουργείται κενό, οπότε ο σωλήνας αναρρόφησης γεμίζει με το αντλούμενο υγρό και αρχίζει κανονικά η άντληση. Αντλίες αυταναρρόφησης είναι επίσης οι αντλίες υγρού δακτυλίου και οι περιφερειακές ή αναγεννητικές αντλίες. Οι αντλίες αυταναρρόφησης για το πρώτο ξεκίνημά τους μετά την εγκατάσταση πρέπει να πληρωθούν με υγρό. Σε όλα τα μετέπειτα ξεκινήματα αρχίζουν την άντληση αυτομάτως μόλις τεθούν σε λειτουργία. Οι αυταναρροφητικές αντλίες έχουν

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

μικρότερο βαθμό απόδοσης από τις αντίστοιχες κοινές φυγόκεντρικές ανλίες, λόγω των απωλειών που δημιουργούν οι διατάξεις αυταναρρόφησης.

### β) Αντλίες μη αυτόματης αναρρόφησης (non self priming pumps)

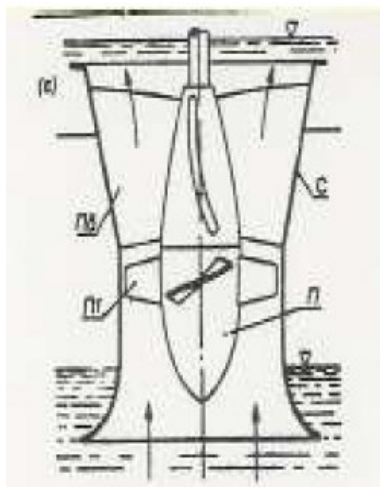
Όταν η φυγόκεντρική αντλία δεν έχει εκ κατασκευής τη δυνατότητα αυτόματης αναρρόφησης, πρέπει ο θάλαμος της αντλίας να πληρωθεί με υγρό, οι τρόποι που επιτυγχάνεται είναι:

- Να τοποθετηθεί η αντλία σε τέτοιο σημείο ώστε να είναι χαμηλότερα από τη στάθμη του υγρού στη δεξαμενή αναρρόφησης. Με τον τρόπο αυτό η αντλία διατηρείται πάντα γεμάτη με το αντλούμενο νερό και δεν έχει πρμα ξεκινήματος.
- Να πληρωθεί η αντλία καθώς και ο σωλήνας αναρρόφησης με το αντλούμενο υγρό από εξωτερική πηγή (π.χ. με ένα χωνί ή σωλήνα που φέρνει υγρό προς σωλήνα αναρρόφησης από κάποιο δίκτυο)
- Δημιουργία στην αντλία κενού (π.χ. με μία εξωτερική αντλία κενού ώστε το υγρό να απορροφηθεί και να γεμίσει το σωλήνα αναρρόφησης και την αντλία).

## 2.7 Είδη φυγόκεντρικών αντλιών ακτινικής ροής

Στις αντλίες αυτές (Εικόνα 2.19) η φτερωτή είναι όπως η προπέλα του πλοίου ή έλικα του ανεμιστήρα και η προώθηση του υγρού γίνεται με την περιστροφή ακριβώς όπως στον ανεμιστήρα, κατά μήκος της διεύθυνσης του άξονα. Τα πτερύγια της φτερωτής μπορεί να είναι σταθερά ή με δυνατότητα μεταβολής της κλίσης τους.

Οι αντλίες με πτερύγια μεταβαλλόμενης κλίσης είναι δύο ειδών, αυτές στις οποίες για τη μεταβολή της κλίσης των πτερυγίων πρέπει να βγει από την αντλία η φτερωτή και αυτές στις οποίες η μεταβολή της κλίσης είναι δυνατή ενώ η αντλία λειτουργεί. Λόγω της ομοιότητας της φτερωτής με έλικα, οι αντλίες αυτές ονομάζονται και ελικοφόρες (propeller pumps).



Εικόνα 2.19. Αντλία αξονικής ροής (86)

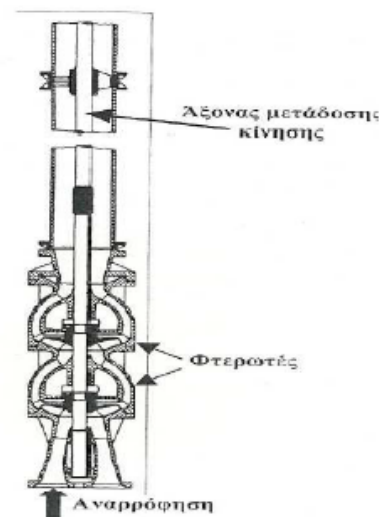
Οι αντλίες αξονικής ροής μπορεί να έχουν μεγάλη παροχή υγρού (μεγαλύτερη από 450 m<sup>3</sup>/h), αλλά αναπτύσσουν μικρή σχετικώς διαφορική πίεση (της τάξης των 15 m στήλης

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

υγρού). Οι αντλίες με μεταβαλλόμενη κλίση πτερυγίων έχουν το πλεονέκτημα ότι με αλλαγή της κλίσης των πτερυγίων μπορεί να αναστραφεί η φορά της ροής χωρίς να αλλάξει η εγκατάσταση της αντλίας.

### 2.7.1 Αντλίες μικτής ροής

Η λειτουργία αυτών των αντλιών είναι ενδιάμεση μεταξύ της φυγόκεντρικής αντλίας και της αντλίας αξονικής ροής. Δηλαδή η αύξηση της πίεσης του υγρού δημιουργείται μερικώς από φυγόκεντρικές δυνάμεις και μερικώς από την ώθηση των πτερυγίων (αξονικές δυνάμεις). Τέτοιες αντλίες κατασκευάζονται για παροχές από 20 m<sup>3</sup>/h και άνω και διαφορικές πιέσεις περίπου 30 m στήλης υγρού. Οι αντλίες μικτής ροής είναι συνήθως κατακόρυφες, πολυβάθμιες και εγκατεστημένες στο κάτω άκρο στήλης που χρησιμεύει και ως σωλήνας κατάθλιψης της αντλίας. Τέτοιες αντλίες χρησιμοποιούνται σε πηγάδια ως υποβρύχιες.



Εικόνα 2.20. Αντλία μικτής ροής με δύο βαθμίδες (86)

### 2.7.2 Περιφερικές ή στροβιλαντλίες ή αναγεννητικές αντλίες

Στις αντλίες αυτές χρησιμοποιείται συγχρόνως μηχανική ώθηση και φυγόκεντρικές δυνάμεις. Η φτερωτή αποτελείται από ένα δίσκο στην περιφέρεια του οποίου υπάρχουν, και από τις δύο πλευρές, ακτινικώς μικρά πτερύγια. Το υγρό εισρέει στην αντλία από την περιφέρεια, παραλαμβάνεται από τα πτερύγια της φτερωτής και μετά φέρεται κυκλικά από την έξοδο, μέσα σε ένα βαθύ δακτυλοειδές αυλάκι, διαγράφοντας σχεδόν ένα πλήρη κύκλο. Στο υγρό που κινείται στο αυλάκι επενεργούν φυγόκεντρικά, αλλά συγχρόνως και ωστικές δυνάμεις λόγω πτερυγίων. Η ανακυκλοφορία του υγρού στον τύπο αυτό διευκολύνεται αντί να παρεμποδίζεται. Με την επανειλημμένη περιφορά του υγρού στο αυλάκι, το υγρό αποκτά μεγάλη κινητική ενέργεια και ως εκ τούτου οι αντλίες του τύπου αυτού αναπτύσσουν μεταξύ αναρρόφησης και κατάθλιψης. Για να επιτευχθούν πολύ υψηλές πιέσεις χρησιμοποιούνται πολυβάθμιες στροβιλαντλίες. Οι στροβιλαντλίες χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται μεγάλη διαφορά πίεσης, αλλά μικρές παροχές συνήθως κάτω από 20 m<sup>3</sup>/h. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για τη διακίνηση υγρού μικρού ιξώδους και υψηλές διαφορές πίεσεως που δεν είναι δυνατόν

να επιτευχθούν με τις φυγόκεντρικές αντλίες. Λόγω των πολύ μικρών διάκενων μεταξύ φτερωτής και κελύφους, η χρήση των στροβιλαντλιών περιορίζεται σε καθαρά υγρά. Οι αντλίες αυτές έχουν το πλεονέκτημα να μην παγιδεύουν αέρα και ξεκινούν χωρίς να απαιτούν πλήρωση και έναρξη αναρρόφησης (priming), λειτουργούν δηλαδή ως αυταναρροφητικές αντλίες.

### 2.7.3 Δυναμικές αντλίες ειδικού τύπου

Οι σημαντικότερες αντλίες σε αυτή την κατηγορία είναι οι εγχυτήρες ή αντλίες με ακροφύσια (τζιφάρια). Στους εγχυτήρες χρησιμοποιούνται πάντα δύο ρευστά: το κινητήριο ρευστό και το αντλούμενο ρευστό. Το κινητήριο και το αντλούμενο ρευστό μπορεί να είναι τα ίδια ή διαφορετικά. Επίσης είναι δυνατόν το κινητήριο ρευστό να είναι υγρό και το αντλούμενο αέριο. Η λειτουργία των εγχυτήρων στηρίζεται στην αρχή μεταφοράς ορμής από το κινητήριο στο αντλούμενο ρευστό. Πρόχειρο παράδειγμα τέτοιας διάταξης είναι οι αντλίες κενού που χρησιμοποιούνται στα χημικά εργαστήρια με κινητήριο ρευστό το νερό της βρύσης. Οι εγχυτήρες δεν έχουν κινούμενα μέρη και ως εκ τούτου δεν απαιτούν καμία συντήρηση. Απαιτούν όμως σημαντικές ποσότητες του κινητηρίου ρευστού σε υψηλή πίεση που συνήθως έχει σημαντικό κόστος. Επίσης έχουν μικρό βαθμό απόδοσης. Εφαρμόζονται στην άντληση αέρα και δημιουργία κενού, για τη μεταφορά αερίων που περιέχουν αιωρούμενα σωματίδια, την υποβοήθηση του ελκυσμού καπνοδόχων, την άντληση υγρών με αιωρήματα, την τροφοδότηση ατμολεβήτων με νερό, κλπ. Τα συνηθέστερα κινητήρια ρευστά στη βιομηχανία είναι ο υδρατμός και ο πεπιεσμένος αέρας.

### 2.8 Αντλίες Θετικής Εκτοπίσεως

Στις αντλίες αυτές η φτερωτή είναι όπως η προπέλα του πλοίου ή έλικα του ανεμιστήρα και η προώθηση του υγρού γίνεται με την περιστροφή ακριβώς όπως στον ανεμιστήρα, κατά τη διεύθυνση του άξονα της φτερωτής. Η δεύτερη μεγάλη κατηγορία αντλιών μετά τις δυναμικές αντλίες είναι οι αντλίες θετικής εκτοπίσεως (Positive displacement pumps). Η λειτουργία τους βασίζεται σε διδοχική πλήρωση και εκκένωση ενός γεωμετρικού όγκου. Το προς διακίνηση υγρό, από το σωλήνα αναρρόφησης, πληροί το χώρο της αντλίας (ή ένα τμήμα αυτού). Στη συνέχεια το υγρό εκτοπίζεται με κάποιο τρόπο προς τον σωλήνα κατάθλιψης, κοκ. Ως εκ τούτου η προωθούμενη ποσότητα υγρού σε κάθε περιοδική κίνηση (εμβολιασμό ή περιστροφή) είναι σταθερή και η παροχή των αντλιών είναι ανεξάρτητη από την αντίσταση λόγω ροής του υγρού στις σωληνώσεις μεταφοράς, όπως συμβαίνει στις φυγόκεντρικές αντλίες. Όλες οι αντλίες θετικής εκτοπίσεως είναι ανλίες αυταναρρόφησης και δεν χρειάζονται πλήρωση κατά την εκκίνηση. Οι αντλίες θετικής εκτοπίσεως μεταδίδουν ενέργεια στο διακινούμενο υγρό συνήθως με μηχανικό τρόπο (με ένα έμβολο ή διάφραγμα) και σπανιότερα με άλλο ρευστό. Χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- Παλινδρομικές αντλίες θετικής εκτοπίσεως
- Περιστροφικές αντλίες θετικής εκτοπίσεως
- Πιεστικού θαλάμου αντλίες θετικής εκτοπίσεως



### 2.8.1 Παλινδρομικές αντλίες

Στις αντλίες αυτές υπάρχει ένα πιστόνι, το οποίο και εκτελεί μια ευθύγραμμη παλινδρομική κίνηση μέσα σε ένα θάλαμο κυλινδρικού συνήθως σχήματος, προκαλώντας τη διαδοχική πλήρωση και εκκένωση του θαλάμου με το αντλούμενο υγρό. Βαλβίδες στην είσοδο (αναρρόφηση) και έξοδο (κατάθλιψη) του θαλάμου ρυθμίζουν τη ροή του υγρού από την αναρρόφηση προς το θάλαμο της αντλίας και από τον θάλαμο προς την κατάθλιψη. Κάθε ανλία έχει τουλάχιστον μία βαλβίδα αναρρόφησης και μία βαλβίδα κατάθλιψης. Σε ανλίες μεγάλης παροχής τοποθετούνται παραλλήλως περισσότερες βαλβίδες όσο στην αναρρόφηση όσο και στην κατάθλιψη. Ο συνολικός βαθμός απόδοσης των παλινδρομικών αντλιών κυμαίνεται από περίπου 50% για μικρές αντλίες και 90% για τις μεγάλες.

Αναλόγως με το είδος του ανητητικού στοιχείου οι παλινδρομικές αντλίες διακρίνονται σε:

- Αντλίες με πιστόνι (Piston pumps). Αναφέρονται ως οι γνωστότερες και οι παλαιότερες ανλίες θατικής εκτοπίσεως. Σε αυτού του είδους των αντλιών το πιστόνι ολισθαίνει στο εσωτερικό του κυλίνδρου της αντλίας και η στεγανότητα μεταξύ πιστονιού και τοιχώματος του κυλίνδρου επιτυγχάνεται με κυκλικά ελατήρια που είναι τοποθετημένα στο πιστόνι και κινούνται μαζί του, όπως στους κυλίνδρους των μηχανών εσωτερικής καύσης.
- Αντλίες με βυθιζόμενο έμβολο (Plunger pumps). Σε αυτές τις ανλίες το έμβολο έχει σημαντικά μικρότερη διάμετρο από τη διάμετρο του κυλίνδρου της αντλίας και βυθίζεται στον κύλινδρο. Εδώ η στεγανότητα επιτυγχάνεται με σταθερό στυπιοθλίτη προσαρμοσμένο στο άκρο του κυλίνδρου της αντλίας, μέσα στον οποίο ολισθαίνει το έμβολο.
- Αντλίες με διάφραγμα (Diaphragm pumps). Το κινήτηριο στέλεχος των αντλιών αυτών είναι ένα εύκαμπτο διάφραγμα. Το πλεονέκτημά τους είναι ότι σε αντίθεση με τα άλλα είδη των παλινδρομικών αντλιών έχουν μικρότερο αριθμό από κινούμενα μέρη.



Εικόνα 2.21. Παλινδρομική αντλία διαφράγματος (86)

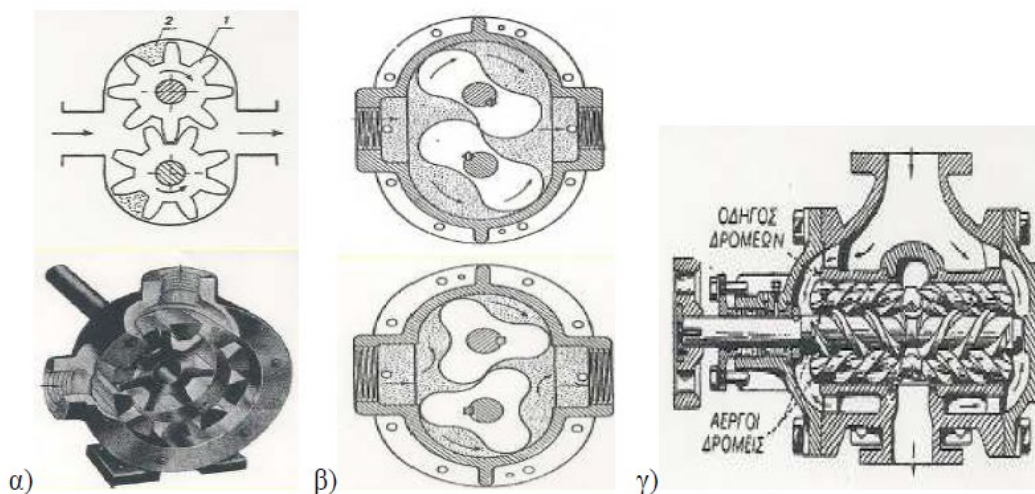
### 2.8.2 Περιστροφικές αντλίες θετικής εκτοπίσεως

Οι περιστροφικές αντλίες αποτελούνται από ένα ή περισσότερα περιστρεφόμενα μέρη και το σταθερό κέλυφος που τα περικλείει. Η προώθηση του διακινούμενου υγρού γίνεται με κυκλική κίνηση. Τα περιστρεφόμενα μέρη, σε αντίθεση με τις φυγόκεντρικές αντλίες,

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

ολισθαίνουν πάνω στο ακίνητο κέλυφος μεταξύ τους, δημιουργώντας στεγανότητα. Λόγω του ότι δεν υπάρχει καλή επαφή μεταξύ των κινητών μερών, οι αντλίες αυτές δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για υγρά που έχουν αιωρούμενα σωματίδια, αλλά μόνο για καθαρά υγρά. Είναι κατάλληλες για άντληση αερίων ή ατμών από ένα χώρο και τη δημιουργία κενού. Τα κυριότερα είδη των περιστροφικών αντλιών θτικής εκτόπισης είναι:

- Γραναζωτές (Gear pumps). Δίνεται κίνηση στον ένα από τους δύο οδοντωτούς τροχούς, ο οποίος παρασύρει σε περιστροφή και τον δεύτερο.
- Με λοβούς (Lobe pumps). Έχουν περίπου την ίδια κατασκευή με τις γραναζωτές αντλίες, αλλά αντί για γρανάζια έχουν δύο περιστρεφόμενους ρότορες.
- Με κοχλίες (Screw pumps). Κατασκευάζονται με ένα ή περισσότερους προωθητικούς κοχλίες. Δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πολύ λεπτόρρευστα (μικρού ιξώδους) υγρά.
- Με ολισθαίνοντα πτερύγια (Vane pumps). Περιλαμβάνουν αντλίες με σύρτες που έχουν οδηγούμενα πτερύγια και αντλίες με εύκαμπτα πτερύγια.
- Με έμβολα (Rotary piston pumps)
- Περισταλτικές (Peristaltic pumps or Flow inducers). Κατάλληλες για σχετικά μικρές παροχές, εργαστηριακού κυρίως τύπου. Έχουν πολύ απλή κατασκευή.



Εικόνα 2.22. Παλινδρομική αντλία θτικής εκτόπισης (86)

Βρίσκονται σε ευρεία εφαρμογή λόγω του ότι το διακινούμενο υγρό βρίσκεται σε επαφή αποκλειστικά με τον ελαστικό σωλήνα, ενώ δεν έχουν βαλβίδες ή άλλα κινούμενα μέρη σε επαφή με το κινούμενο υγρό, και έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την άντληση βιολογικών υγρών ή για τη διακίνηση αιωρημάτων, διαβρωτικών, τοξικών υγρών, κοκ.

### 2.8.3 Αντλίες πιεστικού θαλάμου

Δεν πρόκειται για μηχανήματα άντλησης, αλλά για μηχανήματα εκτόπισης του προς διακίνηση υγρού και προώθησης του με πεπιεσμένο αέρα ή άλλο αέριο. Μια τέτοια διάταξη χρησιμοποιείται για ευρέως για τη διακίνηση οξέων. Αποτελείται από δοχείο ωσειδούς

σχήματος, το οποίο φέρει σωληνώσεις στην είσοδο και έξοδο του προς διακίνηση υγρού και στη σωλήνωση για για την είσοδο του πεπιεσμένου αέρα. Το δοχείο πληρούται με το προς διακίνηση υγρό και στη συνέχεια με την παροχή πεπιεσμένου αέρα εκτοπίζεται μέσω της σωληνώσεως εξόδου. Το πλεονέκτημα του συστήματος είναι ότι δεν έχει καθόλου κινητά μέρη και επιπλέον μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διαβρωτικά υγρά, όπως τα οξέα.

## 2.9 Αντλίες κενού

Οι αντλίες κενού χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση του αέρα, αερίων ή ατμών από ένα χώρο και τη δημιουργία πίεσεως μικρότερης της ατμοσφαιρικής. Οι αντλίες κενού αποτελούν εξαίρεση του γενικού ορισμού της αντλίας, διότι δεν διακινούν υγρά (όπως όλες οι αντλίες), αλλά αντλούν αέρια ή ατμούς (όπως οι συμπιεστές).

Οι αντλίες κενού στηρίζονται στις ίδιες αρχές και χρησιμοποιούν τους ίδιους μηχανισμούς άντλησης, όπως οι αντλίες υγρών. Μπορεί όμως να διαφέρουν σε ορισμένες κατασκευαστικές λεπτομέρειες π.χ. στις κατασκευαστικές ανοχές. Υπάρχουν δύο είδη αντλιών που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία κενού:

- Οι αντλίες υγρού δακτυλίου (Liquid ring pumps)
- Οι αντλίες διαχύσεως (Diffusion pumps)

## 2.10 Επιλογή αντλιών

Η επιλογή της αντλίας γίνεται με βάση δύο κύρια χαρακτηριστικά της, την παροχή και το συνολικό διαφορικό ύψος και στη συνέχεια εξειδικεύεται με βάση τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά, που είναι ο βαθμός απόδοσης, η απαιτούμενη από την αντλία ισχύς, το διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης του συστήματος του συστήματος αναρρόφησης σε σύγκριση με το απαιτούμενο από την αντλία καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης. Έχοντας λάβει υπόψη το σύνολο των παραμέτρων που ορίστηκαν προηγουμένως, μπορεί να πραγματοποιηθεί η διαδικασία επιλογής της αντλίας για κάθε εφαρμογή. Η διαδικασία της επιλογής αποτελείται από εξής βήματα:

1. Σχεδιασμός του συστήματος άντλησης, δηλαδή της αντλίας και των σωληνώσεων
2. Υπολογισμός της απαιτούμενης παροχής της αντλίας
3. Ανάλυση των ιδιοτήτων του αντλούμενου υγρού στις συνθήκες άντλησης
4. Υπολογισμός του απαιτούμενου ολικού ύψους της αντλίας
5. Επιλογή κατηγορίας και τύπου αντλίας

Όσον αφορά την επιλογή της κατηγορίας αντλιών, οι φυγόκεντρικές αντλίες έχουν πολλά πλεονεκτήματα και είναι πάντα προτιμότερες, εφόσον βεβαίως μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις της συγκεκριμένης εφαρμογής. Αυτό που μπορεί να αποκλείσει τις φυγόκεντρικές αντλίες από μια συγκεκριμένη εφαρμογή είναι το ιξώδες και οι ιδιότητες του αντλούμενου υγρού.

Στη συνέχεια, συνοψίζονται οι γενικοί κανόνες σχετικά με την επίδραση των ιδιοτήτων στην επιλογή κατηγορίας άντλησης:

- Στις φυγόκεντρικές αντλίες, αυξανόμενου του ιξώδους του υγρού μειώνεται τόσο το διαφορικό ύψος που μπορεί να αναπτύξει η αντλία, όσο και ο βαθμός απόδοσής της. Γενικώς, για ιξώδες μέχρι  $30 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  η επίδρασή του είναι σχετικά μικρή, από  $30 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  και μέχρι περίπου  $110 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ , παρά τις επιπτώσεις του ιξώδους στο ολικό ύψος και βαθμό απόδοσης, οι φυγόκεντρικές αντλίες είναι προτιμότερες, και, τέλος, από  $110 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  ως  $650 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  είναι συνήθως προτιμότερες οι αντλίες θετικής εκτοπίσεως. Οι παλινδρομικές αντλίες θετικής εκτοπίσεως χρησιμοποιούνται για υγρά με ιξώδη μέχρι περίπου  $1000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . Οι πλέον κατάλληλες αντλίες για την άντληση υγρών με μεγάλο ιξώδες, που μπορεί να υπερβαίνει τις  $100000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ , είναι οι περιστροφικές θετικής εκτοπίσεως.
- Υγρά μεγάλου ιξώδους προκαλούν μεγάλη πτώση πίεσης κατά τη ροή τους και ως εκ τούτου μειώνεται το διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης. Λαμβάνοντας υπόψη ότι είναι αναγκαίο να είναι πάντα μεγαλύτερο από το απαιτούμενο από την αντλία θετικό ύψος αναρρόφησης, αποτελεί σοβαρό περιοριστικό παράγοντα στην επιλογή αντλίας.
- Οι αντλίες θετικής εκτοπίσεως είναι γενικώς περισσότερο ευαίσθητες σε φθορές σε σύγκριση με τις φυγόκεντρικές αντλίες. Φθορά προκαλείται από υγρά μικρής λιπαντικής ικανότητας, διαβρωτικά υγρά και υγρά που περιέχουν αιωρούμενα στερεά.
- Για τα ψευδοπλαστικά υγρά (πχ χυμοί φρούτων και γάλα) με χαμηλό ιξώδες και υψηλές διατμητικές τάσεις που οδηγούν σε μεγάλο ρυθμό άντλησης, συνήθως χρησιμοποιούνται οι φυγόκεντρικές αντλίες.
- Για τα διασταλτικά ή πηγνυόμενα υγρά, όπου το ιξώδες αυξάνεται με την αύξηση των διατμητικών τάσεων και, επομένως, με τον ρυθμό άντλησης, ενδείκνυται η χρήση αντλιών θετικής εκτοπίσεως με μεγάλο θάλαμο άντλησης και χαμηλή συχνότητα κίνησης.

Οι ανωτέρω κανόνες είναι μόνο ενδεικτικοί και κάθε περίπτωση θα πρέπει να ελέγχεται ιδιαιτέρως, εξετάζοντας τα χαρακτηριστικά τόσο του συστήματος άντλησης, όσο και της συγκεκριμένης αντλίας της οποίας ελέγχεται η καταλληλότητα.

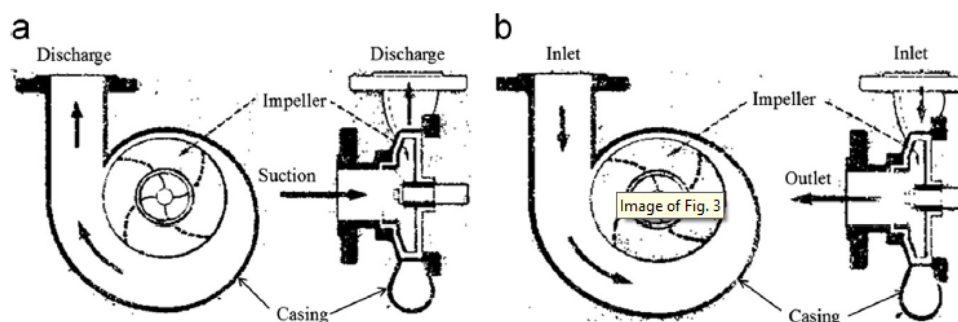
## Κεφάλαιο 3: Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας μέσω υδροτουρμπίνας (PAT)

Η κινητική ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε μηχανική, καθώς περιστρέφονται τροχοί με πτερύγια, οι υδροστρόβιλοι, και η κίνηση αυτή αξιοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτέλεσε περίπου το 16% της παραγόμενης ενέργειας παγκοσμίως για το έτος 2016 (59) και είναι μία από τις κύριες πηγές ενέργειας στη βόρεια Ευρώπη και τον Καναδά (77).

Η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί ένα σχετικά νέο τομέα στις Πρακτικές Βέλτιστης Διαχείρισης των Δικτύων Ύδρευσης (46, 54). Προσδιορίζει μια κατηγορία λειτουργικής προσέγγισης του ελέγχου των διαρροών που εστιάζει στην ανάκτηση της πλεονάζουσας πίεσης (25) παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια (34). Οι βαλβίδες μείωσης της πίεσης (PRVs) παρότι συμβάλλουν στη διαχείριση της πίεσης δεν επιτυγχάνουν επανάκτηση ενέργειας. Η αντικατάσταση/παράλληλη χρήση τους με μικρό-υδροτουρμπίνες αποτελεί μια εφικτή πρακτική ώστε να επιτευχθεί ο έλεγχος της πίεσης παράλληλα με την ανάκτηση ενέργειας, και την ελάχιστη απαιτούμενη πίεση μέσα στο δίκτυο (21, 22, 23).

### 3.1 Λειτουργία υδροτουρμπίνας (PAT)

Οι υδροτουρμπίνες (όπως υποδεικνύει και η συντομογραφία -PATs: Pumps as Turbines) λειτουργούν με τρόπο παρεμφερή με τις αντλίες (Εικόνα 3.1). Η μηχανική συσκευή έχει το ίδιο λειτουργικό τρόπο με την αντλία, αλλά αντί για κατανάλωση ενέργειας προκειμένου να δοθεί ώθηση στο νερό, χρησιμοποιεί τη ροή του νερού για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 3.1. Λειτουργία κεντρόφυγης αντλίας σε καθεστώς α) αντλίας β) PAT (86)

Ο προσδιορισμός της δυνατότητας λειτουργίας αντλιών ως τουρμπίνες προήρθε από χρήστες της βιομηχανίας νερού που εξέτασαν τον αντίκτυπο στα συστήματά τους σε περίπτωση που μια αντλία σταματήσει και στη συνέχεια να τεθεί σε αντίστροφη λειτουργία. Αυτό το σενάριο εξετάστηκε και για να υπολογιστούν τις καμπύλες απόδοσης των στροβίλων των αντλιών όταν λειτουργούν σε αντίστροφη θέση. Διαπιστώθηκε ότι η συμπεριφορά της αντλίας που λειτουργεί ως τουρμπίνα είναι πολύ καλή καθώς η ενεργειακή απόδοση θα μπορούσε να είναι υψηλότερη από την ενεργειακή είσοδο που χρησιμοποιήθηκε για να λειτουργήσει ως αντλία.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

Υδραυλικά, η αντλία σε λειτουργία τουρμπίνας μπορεί να χειριστεί υψηλότερο όγκο νερού από ό,τι σε συμβατική λειτουργία άντλησης. Υπάρχει υψηλότερη ροή μέσα στην αντλία και αυτό σημαίνει ότι η ποσότητα ενέργειας που βγαίνει είναι μεγαλύτερη. Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα είναι ότι όταν βρίσκεται σε αντίστροφη λειτουργία και λειτουργεί ως στρόβιλος, η αντλία λειτουργεί πιο αποτελεσματικά από ό,τι στη συμβατική λειτουργία.

Με την αντλία να λειτουργεί αντίστροφα, η ροπή του άξονα μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους. Όταν συνδέεται με μια γεννήτρια, είναι η συχνότητα του δικτύου που καθορίζει την ταχύτητα. Σε ένα τέτοιο σενάριο για τη δημιουργία συχνότητας 50 Hz, η αντλία καθώς ο στρόβιλος θα πρέπει να λειτουργούν με ρυθμό  $\sim 1515$  rpm. (λίγο υπερβολική ταχύτητα). Η ενσωμάτωση μετατροπέων συχνότητας και κατάλληλων κυκλωμάτων τροφοδοσίας δικτύου μπορεί να δημιουργήσει μεγαλύτερη διακύμανση ταχύτητας χωρίς να αυξήσει πάρα πολύ κόστος. Επομένως, είναι ένας πολύ αποδοτικός τρόπος παραγωγής ενέργειας ακόμη και σε σύγκριση με τις υψηλότερες αποδόσεις μιας συμβατικής τουρμπίνας.

Μια εναλλακτική εφαρμογή είναι η σύνδεση μιας PAT απευθείας σε ένα μηχανοκίνητο μηχάνημα, το οποίο δεν διαθέτει ούτε κινητήρα ή γεννήτρια για να καθορίσει την ταχύτητα. Αυτή η μηχανική λύση για την παροχή ενέργειας έχει παρασχεθεί με επιτυχία από την KSB Aktiengesellschaft σε τοποθεσίες όπου δεν υπάρχει παροχή ηλεκτρικού ρεύματος για τη λειτουργία αντλιών διανομής / μεταφοράς νερού.

Η αποτελεσματική κατάσταση λειτουργίας μπορεί να είναι ελαφρώς διαφορετική από τις τιμές σχεδιασμού, που βασίζονται συχνά σε προσομοιώσεις δικτύου. Απαιτείται μελέτη για την επίδραση αυτών των παραγόντων στο κόστος του κύκλου ζωής μιας αντλίας που χρησιμοποιείται ως τουρμπίνα. Για υπολογισθεί το κόστος συντήρησης PAT, η μεθοδολογία για τον υπολογισμό της αποτελεσματικότητας του PAT λαμβάνει υπόψη τρεις διαφορετικούς παράγοντες (12):

- Η ικανότητα της απόδοσης της PAT όταν υπόκεινται σε υδραυλική ή ηλεκτρική ρύθμιση.
- Η ευελιξία της PAT υπό συνθήκες εργασίας ελαφρώς διαφορετικές από τις τιμές σχεδιασμού.
- Η αξιοπιστία της PAT με βάση τον κύκλο ζωής των εξαρτημάτων.

### **Πλεονεκτήματα**

- Οι υδροτουρμπίνες λειτουργούν παρόμοια με τις συμβατικές αντλίες, και η εγκατάστασή τους δεν απαιτεί σημαντικές τροποποιήσεις για να ενσωματωθούν στο δίκτυο (49).
- Δεν είναι αναγκαίο ειδικά εκπαιδευμένο προσωπικό για να υποστηρίξει και να διατηρήσει τις λειτουργίες των μικρό-υδροτουρμπινών (3).
- Τα κομμάτια των υδροτουρμπινών είναι εύκολο να αγοραστούν από την αγορά (49).

---

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

- Το κόστος αγοράς και εγκατάστασης είναι σχετικά χαμηλό και συγκρίσιμο με τις συμβατικές αντλίες.
- Διατίθενται για ένα ευρύ φάσμα πιεζομετρικών υψών και ροών

#### **Μειονεκτήματα**

- Οι κατασκευαστές των τουρμπίνων δεν παρέχουν λεπτομέρειες για τη λειτουργία τους.
- Δεν υπάρχει συσκευή υδραυλικού ελέγχου και απαιτείται η ενσωμάτωση μιας βαλβίδα ελέγχου για να ξεκινήσει και να σταματήσει η ΡΑΤ, με συνεπακόλουθη αύξηση του κόστους.
- Έχει χαμηλότερη απόδοση σε μερικό φορτίο, δηλαδή κάτω από το Σημείο Μέγιστης Απόδοσης (ΒΕΡ), υπάρχει μια σχετικά γρήγορη πτώση απόδοσης.

Η δυνατότητα λειτουργίας πολλαπλών μονάδων ΡαΤ έχει μεγάλη σημασία για τοποθεσίες όπου η παροχή νερού μπορεί να κυμαίνεται. Σε αντίθεση με τους συμβατικούς στροβίλους, οι ΡαΤ δεν έχουν ρυθμιζόμενα πτερύγια οδήγησης για προσαρμογή στις διακυμάνσεις της παροχής νερού και αυτό αποτελεί μειονέκτημα στη χρήση τους. Χρησιμοποιώντας διάφορες μονάδες διαφορετικού μεγέθους για τη διανομή του συνολικού διαθέσιμου νερού, αυτή η δυσκολία μπορεί να ξεπεραστεί.

Η πιο σημαντική απαίτηση είναι η παρουσία φυσικά παραγόμενης πλεονάζουσας ενέργειας. Η πλειοψηφία των μικρό-υδροτουρμπίνων μέχρι τώρα, έχει εγκατασταθεί σε αγωγούς παροχής νερού, όπου το νερό κινείται σε μεγάλων διαμέτρων αγωγούς από τις φυσικές πηγές ή τις γεωτρήσεις, ξεκινώντας από υψηλά υψόμετρα και καλύπτοντας ενίοτε μεγάλες αποστάσεις (49). Η ενέργεια πρέπει παράγεται κοντά σε σημεία που υπάρχουν ενεργειακές ανάγκες που πρέπει να καλυφθούν, διαφορετικά απαιτείται δίκτυο μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας (49). Οι μικρο-υδροτουρμπίνες παρουσιάζουν σημαντικές δυνατότητες (2, 51) αλλά η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού, η βέλτιστη θέση τους και ο αριθμός τους μέσα στο δίκτυο ύδρευσης καθώς η πρόβλεψη των καμπυλών λειτουργίας είναι ακόμα υπό διερεύνηση (4, 20, 49, 63).

### **3.2. Επιλογή βέλτιστης τοποθεσίας τοποθέτησης μικρό-υδροτουρμπίνας**

Η πολυπλοκότητα του ζητήματος της ακριβούς θέσεως των ΡΑΤ και του αριθμού τους έγκειται και στη τοπολογία του δικτύου. Η τοποθέτηση μιας τουρμπίνας σε ένα κλειστό βρόγχο του δικτύου επηρεάζει τη διανομή της αποφόρτισης ανάμεσα σε κλάδους του δικτύου, όπως και τη διαθέσιμη ισχύ. Επιπρόσθετα, οι εξισώσεις για να μοντελοποιηθεί η κίνηση του υγρού και οι απώλειες του νερού διακρίνονται από μη γραμμικότητα. Η επιλογή της τοποθεσίας είναι ένα σύνθετο πρόβλημα, επειδή περιλαμβάνει συνεχείς μεταβλητές (αποφόρτιση, πίεση) και διακριτές μεταβλητές (παρουσία του τουρμπίνας σε ένα κλάδο). Επίσης, ο αριθμός των μεταβλητών μπορεί να είναι πολύ μεγάλος αναλόγως το μέγεθος του δικτύου και τον τύπο της υδραυλικής προσομοίωσης (σταθερής ή μεταβαλλόμενης).

Οι (35) παρουσίασαν δύο διαφορετικές αντικειμενικές εξισώσεις που μπορούν να επιλεγούν στοχεύοντας στη βελτιστοποίηση είτε της μείωσης της πίεσης είτε στην παραγόμενη ενέργεια, με συνεπακόλουθα διαφοροποιούμενα αποτελέσματα. Στη δεύτερη περίπτωση ενσωματώθηκε ένας παράγοντας-τιμωρία μέσα στην αντικειμενική εξίσωση για να αποφευχθεί το ενδεχόμενο πολύ χαμηλών τιμών της πίεσης. Ένας γενετικός αλγόριθμος χρησιμοποιήθηκε ώστε να επιλεγεί η βέλτιστη τοποθεσία ενός δεδομένου αριθμού τουρμπίνων κάτω από σταθερές συνθήκες, ενώ μια εξωτερική λύση χρησιμοποιήθηκε για να προσομοιώσει την υδραυλική συμπεριφορά του δικτύου. Μία δεύτερη επίλυση τους μοντέλου βελτιστοποίησης χρησιμοποιήθηκε για να καθορισθούν οι βέλτιστες τιμές απώλειας υδραυλικού φορτίου μέσα στις τουρμπίνες κάτω από καθημερινά μεταβαλλόμενες συνθήκες, υποθέτοντας ότι η τοποθεσία είναι γνωστή.

Οι (28) παρουσίασαν μία απλοποιημένη μέθοδο δύο βημάτων όπου πρώτα λύνεται το πρόβλημα της βέλτιστης τοποθεσίας των PRVs και στη συνέχεια κάποιες από τις βαλβίδες αντικαθίστανται από PATs, η μέθοδος αυτή παρουσίασε μία καλή οικονομική βιωσιμότητα.

Οι (16) πραγματοποίησαν ένα δύο-σταδίων βελτιστοποίηση, στο πρώτο βήμα βρέθηκε η βέλτιστη τοποθεσία ενός συγκεκριμένου αριθμού τουρμπίνων ώστε να μεγιστοποιηθεί η παραγωγή ενέργειας κάτω από σταθερές συνθήκες, και τότε οι τουρμπίνες ρυθμίστηκαν με βάση την καθημερινή ζήτηση. Μία μεικτή διακριτή και μη γραμμική λύση χρησιμοποιήθηκε για να βρεθεί η βέλτιστη λύση και οι υδραυλικές εξισώσεις χρησιμοποιήθηκαν ως περιορισμοί (ισότητας) στο πρόβλημα βελτιστοποίησης. Στις δύο παραπάνω μεθόδους, οι τουρμπίνες προσομοιώθηκαν ως απλές απώλειες υδραυλικού φορτίου. Μία μέθοδος προσομοιωμένης ανόπτησης χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της καλύτερης τοποθεσίας ενός δεδομένου αριθμού τουρμπίνων, ώστε να βελτιστοποιηθεί η παραγωγή ενέργειας. Η μέθοδος αυτή υλοποιήθηκε σε πειραματικές συνθήκες, στο δίκτυο ύδρευσης της Λωζάνης. Το μέγεθος της τουρμπίνας σε κάθε κλάδο ορίστηκε, ενώ η παρουσία ή μη των τουρμπίνων ήταν αποτέλεσμα βελτιστοποίησης. Η παραγόμενη ενέργεια υπολογίστηκε με δεδομένη την ετήσια μεταβλητότητα του μηνιαίου μέσου καθημερινού υποδείγματος.

Οι (29) διαφοροποιήθηκαν από τις προηγούμενες μεθόδους παρουσιάζοντας μια ολιστική μέθοδο που περιελάμβανε μια μόνο αντικειμενική εξίσωση (καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης για την τουρμπίνα) για την ταυτόχρονη βελτιστοποίηση τόσο της παραγόμενης ενέργειας όσο και της εξοικονόμησης λόγω μειωμένων απωλειών νερού.

### 3.3. Καμπύλες λειτουργίας μικρό-υδροτουρμπίνας

Μία από τις κύριες προκλήσεις είναι ότι οι κατασκευαστές αντλιών συνήθως δεν παρέχουν τις καμπύλες απόδοσης των αντλιών όταν αυτές λειτουργούν αντίστροφα και ο σχεδιαστής αντιμετωπίζει έλλειψη δεδομένων η οποία συνιστά εμπόδιο στην επιλογή της πιο κατάλληλης. Για αυτό, η καθιέρωση μιας σχέσης η οποία επιτρέπει τη μετάβαση από τα χαρακτηριστικά “αντλίας” σε αυτά της “τουρμπίνας” είναι κρίσιμη (37, 71).

Τα χαρακτηριστικά και η απόδοση των υδροτουρμπινών μπορούν να υπολογισθούν (Carravetta κ.ά. 2012): 1) πειραματικά 2) μέσω υπολογιστικής ρευστομηχανικής 3) μέσω οποιασδήποτε one-dimensional μεθόδου.



Στην βιβλιογραφία έχουν παρουσιασθεί μια σειρά από θεωρητικές και εμπειρικές σχέσεις για τη πρόβλεψη του σημείου με τη βέλτιστη απόδοση (Best Efficiency Point-BEP) (πχ. 22, 75) μιας υδροτουρμπίνας, αλλά μέχρι στιγμής μία συγκεκριμένη διαδικασία υπολογισμού της απόδοσης των υδροτουρμίνων για όλο το εύρος της λειτουργίας τους δεν έχει καθιερωθεί (13, 71). Στην πραγματικότητα, ο πειραματικός υπολογισμός συνήθως απαιτείται για κάθε μία περίπτωση ξεχωριστά. Παρά την ύπαρξη μοντέλων διαθέσιμων στην βιβλιογραφία, η πρόβλεψη των καμπυλών λειτουργίας μιας υδροτουρμπίνας είναι ακόμα υπό εξέταση, εξαιτίας της έλλειψης πληροφοριών από την πλευρά των κατασκευαστών και τα σχετικά περιορισμένα εργαστηριακά πειράματα που έχουν εστιάσει στο συγκεκριμένο θέμα (54).

Οι Barbarelli κ.ά. (2016) παρουσίασαν ένα αριθμητικό κώδικα one-dimensional με σκοπό να εντοπίσουν την γεωμετρία και την απόδοση μιας γενικής υδροτουρμπίνας στη βάση τμημάτων διαβάσεων και τις απώλειες σε κάθε τμήμα της μηχανής.

Οι Tan και Engeda (2016) παρουσίασαν μια περιεκτική σχέση με σκοπό να προβλέψουν την λειτουργία μιας κεντρόφυγης αντλίας ως τουρμπίνας, ενώ στη συνέχεια οι (71) ανέπτυξαν ένα φυσικό μοντέλο προσομοίωσης για να προβλέψουν την απόδοση των καμπυλών των αντλιών όταν αυτές λειτουργούν ως τουρμπίνες και συνέκριναν την αξιοπιστία του μοντέλου προσομοίωσης με εναλλακτικές προσεγγίσεις.

Οι Rossi και Renzi (2018) χρησιμοποίησαν Artificial Neural Networks (ANNs) για να προβλέψουν την απόδοση των υδροτουρμίνων όταν λειτουργούν ως τουρμπίνες βασιζόμενοι στη γνώση των σχεδιαστικών δεδομένων σε καθεστώς λειτουργίας αντλίας.

Οι Yousefi κ.ά. (2019) εξέτασαν την επιρροή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών στην απόδοση των μικρο-υδροτουρμίνων μέσω υπολογιστικής της μηχανικής του ρευστού.

Οι Rossi κ.ά. (2019) χρησιμοποίησαν μια αναλυτική μέθοδος για την επιλογή της μικρο-υδροτουρμπίνας βασιζόμενοι σε δεδομένα της λειτουργίας του δικτύου και για τη πρόβλεψη της απόδοσης κάτω από μεταβλητές συνθήκες λειτουργίας.

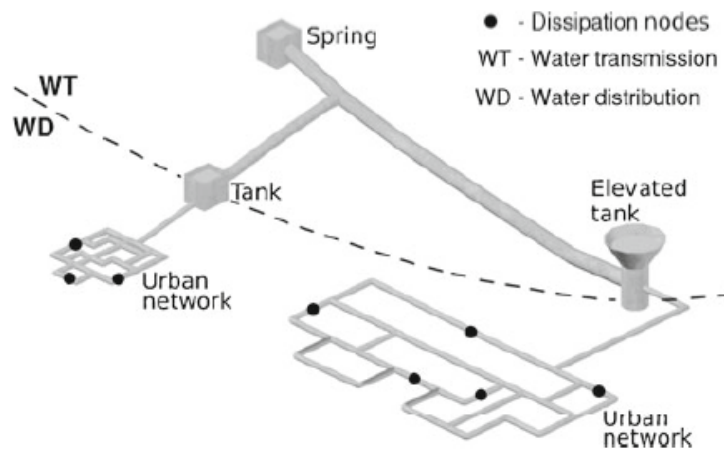
Η πρώτη κατηγορία λύσεων (πειραματικός τρόπος) είναι η πιο αξιόπιστη, αλλά απαιτείται ένας μεγάλος αριθμός πειραμάτων για ένα εύρος διαφορετικών ροών και ταχύτητας περιστροφής της γεννήτριας (11). Η υπολογιστική μηχανική των ρευστών αποτελεί μια έγκυρη εναλλακτική στα πειράματα, αλλά στη βιβλιογραφία υπάρχει διάσταση απόψεων για τη σύγκλιση μεταξύ πειραματικών και αριθμητικών καμπυλών (11, 21, 48, 75). Για τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας με αντλίες έχουν παρουσιασθεί μια σειρά από one-dimensional μέθοδοι για πρόβλεψη της απόδοσης και της επιλογής της κατάλληλης μηχανής (63).

### 3.4. Ενέργεια που παράγεται από την PAT

Η χρήση της τουρμπίνας (PAT) περιλαμβάνει, μεταξύ των άλλων πλεονεκτημάτων, και την παραγωγή ενέργειας. Σε ένα δίκτυο ύδρευσης ενέργεια δύναται να παραχθεί (Εικόνα 9.1) είτε στο τμήμα του δικτύου που κυρίως μεταφέρει νερό (water transmission pipes) όπου τα υδραυλικά χαρακτηριστικά παραμένουν σχετικά σταθερά είτε σε αυτό που κυρίως διανέμι

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

(water distribution pipes) όπου η πτώση της πίεσης και η ροή παρουσιάζουν μεγαλύτερη μεταβλητότητα.

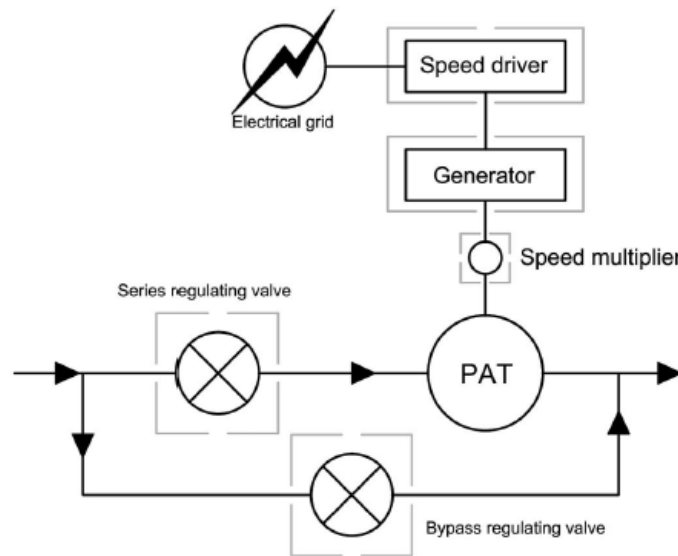


Εικόνα 3.2 Τμήματα δικτύου ύδρευσης για τη μεταφορά και διανομή νερού (11)

Η ακριβής πρόβλεψη της συμπεριφοράς της PAT είναι την συνθηκών λειτουργίας είναι σημαντικές. Η πτώση της στάθμης και το διαθέσιμο φορτίο ποικίλουν σημαντικά σε ένα δίκτυο ύδρευσης και η μοντελοποίηση του συνόλου των καμπυλών λειτουργίας μιας μηχανής που μπορεί να απέχουν σημαντικά από το σημείο βέλτιστης λειτουργίας, και των υδραυλικών συνθηκών είναι σημαντικές για την μελέτη της αλληλεπίδρασης ανάμεσα στο δίκτυο ύδρευσης και εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας.

Οι (12) περιέγραψαν δύο εναλλακτικές για την ενσωμάτωση της PAT, είτε σε ένα υδραυλικό κύκλωμα (hydraulic regulation) με μία σειρά και μία παράλληλη βαλβίδα, είτε ρυθμισμένα μέσω μίας μεταβλητής συχνότητας οδηγό (electrical regulator), ο οποίος τροποποιεί τη συχνότητα εισόδου μιας ασύγχρονης γενήτριας η οποία ρυθμίζει την περιστροφική ταχύτητα. Στη περίπτωση του υδραυλικού κυκλώματος, η σειρά των βαλβίδων χρησιμοποιείται όταν το φορτίο το οποίο υπό εκτόνωση είναι υψηλότερο από την πτώση στάθμης που προκαλείται από την PAT, ενώ η παράκαμψη είναι ανοιχτή όταν η ζήτηση είναι υψηλή. Στη περίπτωση του μεταβλητής συχνότητας οδηγό, η περιστροφική ταχύτητα της PAT τροποποιείται προκειμένου να αλλάξει την χαρακτηριστική καμπύλη και να ταιριάζει με την αποφόρτιση και το φορτίο στο σύστημα.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

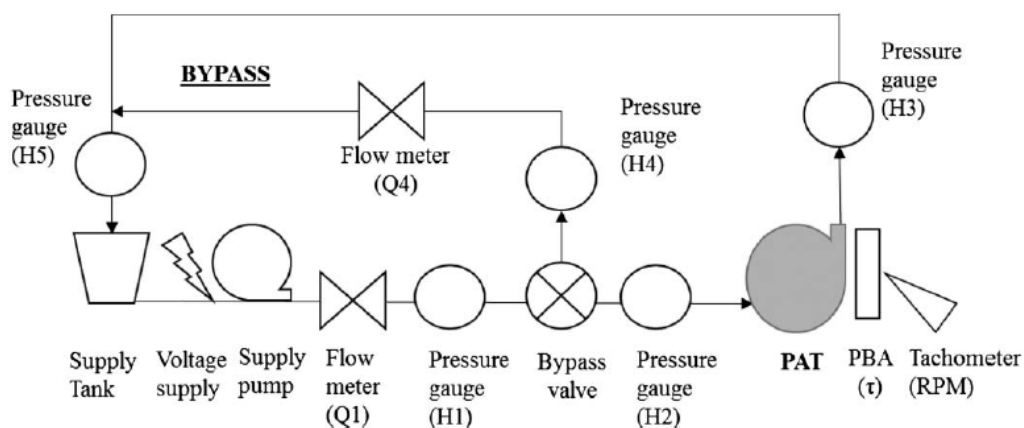


Εικόνα 3.3 Σχεδιάγραμμα εγκατάστασης μιας PAT για παραγωγή ενέργειας σε ένα δίκτυο ύδρευσης (12)

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

## Κεφάλαιο 4: Πειραματική διαδικασία

Η γενική διαμόρφωση μιας πειραματικής διάταξης/υδραυλικού προσομοιώματος δικτύου για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης αντλίας και την επίδραση στην πίεση περιλαμβάνει μετρητές της πίεσης ανάντι και κατάντι της αντλίας PAT για τη μέτρηση των πιέσεων του δικτύου. Επιπρόσθετα μετρητές της ροής στο δίκτυο (και της παροχής), ένας στην αρχή του αγωγού κι ένας στην έξοδο του νερού από την αντλία. Στα κατάντι της αντλίας PAT τοποθετείται μια βαλβίδα ρύθμισης της πίεσης (PRV), ώστε να προσαρμόσει κατάλληλα την πίεση στο νερό μετά την έξοδο του από την αντλία, στην περίπτωση που η πίεση δεν ανταποκρίνεται στις ανάγκες του δικτύου. Το σύστημα προσομοίωσης περιλαμβάνει και δικλείδες απομόνωσης του δικτύου για να διοχετευθεί το νερό προς την επιθυμητή κατεύθυνση κάθε φορά (by-pass). Επιπρόσθετα χρησιμοποιούνται και στο ενδεχόμενο βλάβης κάποιου εξαρτήματος ή θραύσης αγωγού, για την απομόνωση και πάλι του αντίστοιχου μέρους του δικτύου μέχρι την επιδιόρθωση του.



Εικόνα 4.1. Σχηματική αναπαράσταση τυπικής πειραματικής διάταξης (41, 42)

### 4.1. Παροχή ηλεκτρικής ενέργειας

Η τροφοδοσία της όλης εγκατάστασης του χώρου στο οποίο πραγματοποιήθηκε η εκτέλεση του πειράματος γίνεται μέσω ενός κεντρικού τριφασικού πίνακα που καλύπτει τις ευρύτερες ανάγκες του εργαστηρίου.

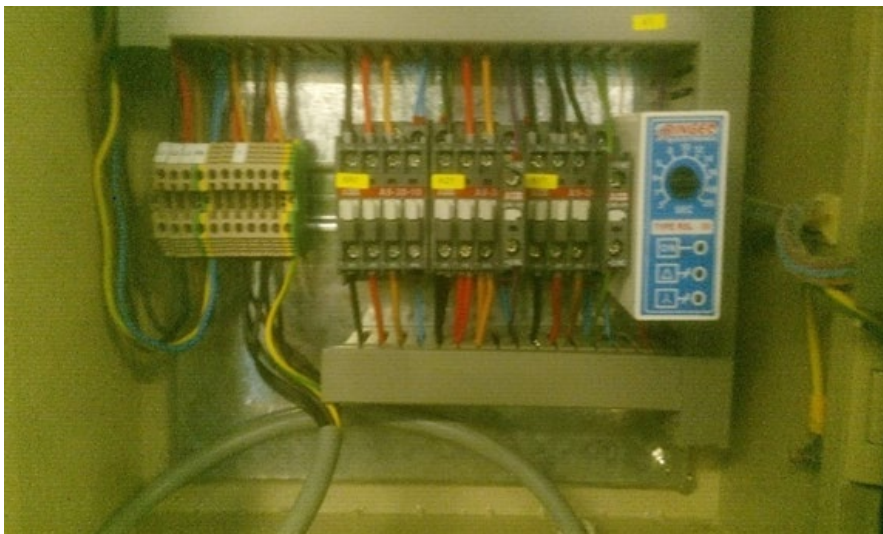
Ο κεντρικός αυτός πίνακας διαχωρίζεται σε μικρότερους που καλύπτουν τις επιμέρους ανάγκες των χώρων. Ο συγκεκριμένος πίνακας του χώρου στον οποίο πραγματοποιήθηκε η πειραματική διαδικασία είναι τριφασικός, με ονομαστικό ρεύμα 16A (Amps) και ονομαστική τάση 400V (Volt). Στο εσωτερικό του ηλεκτρολογικού πίνακα περιλαμβάνονται (αριστερά) ένας Θερμομαγνητικός Διακόπτης για τη ρύθμιση της έντασης του ρεύματος, στη μέση ένας Ασφαλειοαποζεύκτης Φορτίου 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 ειδικά για τα τριφασικά επιβλέπει την ασυμμετρία μεταξύ φάσεων. 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

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

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 περιλαμβάνεται ένα χρονικό, το οποίο είναι ένας αυτόματος διακόπτης αστέρα-τριγώνου που εξασφαλίζει την ομαλή εκκίνηση του κινητήρα.



Εικόνα 4.2. Θερμομαγνητικός Διακόπτης, Ασφαλειοαποξεύκτης Φορτίου, Επιτηρητής Τάσης (α)



Εικόνα 4.3. Θερμομαγνητικός Διακόπτης, Ασφαλειοαποξεύκτης Φορτίου, Επιτηρητής Τάσης (β)

#### 4.2. Διάμετρος σωλήνων πειράματος

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε με δύο διαφορετικές διαμέτρους σωληνώσεων. Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε πλαστική σωλήνα PVC πίεσεως 10 atm, διαμέτρου Φ110 (4''), στη δεύτερη περίπτωση πλαστική σωλήνα PVC πίεσεως 16 atm, διαμέτρου Φ63 (2.5''). Οι PVC σωλήνες επιλέχθηκαν λόγω της εύκολης κατεργασίας τους ενώ παράλληλα ικανοποιούσαν τις απαιτήσεις αντοχής σε πίεση. Άλλα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την συνδεσμολογία είναι: φλάντζες, μούφες, γωνίες, συστολές, σέλες κτλ.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.



Εικόνα 4.4. Σωλήνα Φ110 - 10 atm



Σωλήνα Φ63 - 16 atm

Πίνακας 4.1 Εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν για τη συνδεσμολογία των σωλήνων

Εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν
Μούφες
Γωνίες
Φλάντζες
Μεικτός Σύνδεσμος
Συστολές
Φλάντες
Σέλες

### 4.3. Εγκατάσταση μετρητών

#### 4.3.1 Μετρητές παροχής

Βασική παράμετρος για την πειραματική διάταξη είναι η μέτρηση της παροχής που διοχετεύεται κάθε στιγμή στο δίκτυο. Χρησιμοποιήθηκαν 2 παροχόμετρα, ένα για σύνδεση στο δίκτυο (Φ110) και ένα για το δίκτυο διαμέτρου Φ63. Το παροχόμετρο Φ63 είναι αναλογικό με επιπρόσθετη οθόνη με ψηφιακή ένδειξη, που αναγράφει το ακριβές νούμερο της διερχόμενης παροχής κάθε στιγμή. Το παροχόμετρο Φ110 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, είναι φλατζωτά, δηλαδή συνδέονται με βίδες στο δίκτυο λόγω της ευκολότερης αφαίρεσης και επανατοποθέτησης στο δίκτυο.



Εικόνα 4.5. Παροχόμετρο Φ63



Εικόνα 4.6. Παροχόμετρο Φ110

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

#### 4.3.2 Μέτρηση της πίεσης

Η μέτρηση της πίεσης μέσα στον αγωγό πραγματοποιήθηκε με τη χρήση μανομέτρων. Οι απαιτήσεις για τις πιέσεις δεν ήταν υψηλές, και τα μανόμετρα που χρησιμοποιήθηκαν είναι για μετρήσεις μέχρι έξι (6) bar.

Αρχικά επιλέχθηκε το σημείο εγκατάστασης τους και εκεί τοποθετήθηκε η “βάση” (σέλα) πάνω στην οποία θα συνδεθούν. Στο περίγραμμα της σέλας, ανοίχθηκε η τρύπα με ένα τρυπάνι διαμέτρου 8 χιλιοστών (mm). Μέσω της τρύπας αυτής διέρχεται η στήλη του νερού, η οποία χτυπάει στη βάση του ρολογιού και τροφοδοτεί με την αντίστοιχη ένδειξη. Για καλύτερη στεγανοποίηση του σημείου, ένα μικρό κομμάτι φλατζολάστιχο, πάχους 2-3 mm, τοποθετήθηκε μεταξύ της σέλας και της σωλήνας για την αποφυγή των διαρροών μεταξύ των υλικών και παράλληλα πιο ακριβείς μετρήσεις στο ρολόι. Η σέλα στη συνέχεια κουμπώνει πάνω στη σωλήνα, συνδέοντας το πάνω και το κάτω μέρος της με τα “αυτάκια” της στα πλαϊνά. Για τη σωστή εξαέρωση του δικτύου, μεταξύ της σέλας και του μανομέτρου, τοποθετήθηκε μία βάννα με φορά προς τα πάνω. Πριν τοποθετηθεί το ρολόι, προηγήθηκε ένα άνοιγμα και κλείσιμο της βάννας αυτής. Με το να είναι τοποθετημένη η σέλα σχετικά στο ψηλότερο σημείο του δικτύου, θεωρητικά ο αέρας που υπάρχει στο δίκτυο παραμένει 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.



Εικόνα 4.7. Σέλα, βάννα, μανόμετρο

#### 4.4 Κολλήσεις εξαρτημάτων και συνδέσεις

Κατά τη συναρμολόγηση των σωλήνων, για πιθανή μελλοντική δυνατότητα μετατροπών και μετακινήσεων των επιμέρους εξαρτημάτων, χρησιμοποιήθηκαν περισσότερο, κομμάτια και βιδωτά εξαρτήματα ώστε να αποφευχθούν οι κολλήσεις μεταξύ των υλικών. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν εξαρτήματα όπως οι συστολές στα οποία ήταν αδύνατη η αποφυγή της κόλλησης. Η δημιουργία μικροσκοπικών αυλακώσεων στην επιφάνεια του υλικού, στις οποίες μέσα θα εισέρθει και απλωθεί η κόλλα, έγινε ώστε οι επιφάνειες που θα κολληθούν να εφάπτονται πλήρως και να μην αφήνουν κενά μεταξύ τους. Η κόλλα που χρησιμοποιήθηκε είναι ειδική κόλλα για σωλήνες PVC, ανθεκτική σε υψηλές πιέσεις.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν για τις όποιες συνδέσεις απαιτούνταν.

### Μούφες

Η μούφα είναι σωληνοειδές εξάρτημα που χρησιμοποιείται για την ένωση δύο σωλήνων μεταξύ τους, της οποίας η εσωτερική διάμετρος της μούφας είναι ίση με την εξωτερική διάμετρο των σωλήνων που πρόκειται να συνδεθούν. Οι μούφες μπορεί να είναι είτε κολλητές, 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 χρησιμοποιήθηκαν μόνο κολλητές μούφες.

### Γωνίες

Η γωνία είναι επίσης σωληνοειδές εξάρτημα, με αντίστοιχο ρόλο με της μούφας, που χρησιμοποιείται για την ένωση δύο σωλήνων σε γωνία 90ο μεταξύ τους. Επίσης και η γωνία είναι είτε κολλητή είτε βιδωτή είτε μεικτή, και επιπρόσθετα υπάρχει η δυνατότητα της ένωσης σε γωνία 45ο.

### Φλάντζες

Η αποτελεσματική σύνδεση της φλάντζας στη σωλήνα, απαιτεί και το λαιμό της φλάντζας ή αλλιώς άκρο της φλάντζας. Ο λαιμός έχει τη μορφή της μούφας αλλά το ένα άκρο του είναι πιο φαρδύ για να αντιστέκεται στη φλάντζα. Η σωλήνα μπορεί να συνδεθεί με το λαιμό είτε κολλητά είτε βιδωτά.



Εικόνα 4.8. Λαιμός Φλάντζας



Φλάντζα πάνω στο λαιμό της



Σωλήνα Φ75

Η φλάντζα τοποθετείται έπειτα πάνω από τον λαιμό και τον αγκαλιάζει και έρχεται και συνδέεται. Το παροχόμετρο είναι φλαντζωτό, και χρησιμοποιήθηκαν βίδες την ένωση της φλάντζας του με τη φλάντζα της σωλήνας. 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.



---

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

## Μεικτός Σύνδεσμος

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

## Συστολές

Οι συστολές είναι σύνδεσμοι που χρησιμοποιούνται στη μετάβαση από ένα αγωγό με μια μεγάλη διατομή σε αγωγό με μικρότερη διατομή. Ένας τρόπος είναι να περαστεί η μικρότερη σε διατομή σωλήνα μέσα στη συστολή και η μεγαλύτερη να έρθει να συνδεθεί είτε εξωτερικά της συστολής, είτε με τη χρήση μούφας μεταξύ σωλήνας και συστολής, είτε συνδυασμοί μεταξύ συστολών και μούφες για να επιτευχθεί η επιθυμητή μετατροπή.

## Βάνες

Οι βάνες που χρησιμοποιήθηκαν είναι βάνες σύρτη, δηλαδή χρησιμοποιούν ένα μοχλό που τον περιστρέφει και εσωτερικά κατεβαίνει ο σύρτης και κλείνει σταδιακά το δίκτυο, παράλληλα με βιδωτές, συνεπώς χρησιμοποιήθηκαν μεικτοί σύνδεσμοι για να την ένωση στο δίκτυο.

## 4.5 Τροφοδοσία νερού του πειράματος

Σημαντικό στάδιο του πειράματος είναι η τροφοδοσία προκειμένου να επιτευχθούν πιέσεις οι οποίες θα ικανοποιούν τις απαιτήσεις ενός δικτύου και ταυτόχρονα θα είναι αρκετά υψηλές προκειμένου να λειτουργήσεις αποδοτικά η ΡΑΤ.

Προκειμένου να επιτευχθεί αυτός ο διπλός στόχος, επιλέχθηκε η λύση η τροφοδοσία να γίνει μέσω ενός πυροσβεστικού οχήματος χωρητικότητας 10 κυβικών νερού και δυνατότητες αντλίας μέχρι 16 ατμοσφαιρικές πιέσεις, το οποίο θα συνδεόταν με το δίκτυο. Τα λάστιχα που χρησιμοποιούνται από το πυροσβεστικό όχημα χρησιμοποιήθηκαν για τη σύνδεση στο κάθε δίκτυο. Στην άκρη του λάστιχου βρίσκεται ένας ειδικός σύνδεσμος που χρησιμοποιείται ευρύτερα σε πυροσβεστικούς κρουνούς, ακροδέκτες βενζινοκίνητων αντλιών κ.ά. Ο ακροδέκτης του λάστιχου για την σύνδεση με αυτόν απαιτεί άλλο έναν ίδιο, ίδιας διαμέτρου οι οποίοι κουμπώνουν ο ένας με τον άλλο μιας και οι δύο έχουν από ένα σετ "αυτάκια" που προεξέχουν. 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. Περιμετρικά του στομίου, εκεί που έρχονται οι δύο σύνδεσμοι σε επαφή, υπάρχει λάστιχο στεγανοποίησης για αποφυγή διαρροών. Και τα δύο δίκτυα έχουν σημείο εκκίνησης την φλάντζα αυτή διαμέτρου  $\Phi 110$  (4"). Συνεπώς αρκεί ένας αντάπτορας μόνο, για να δέχεται το κάθε δίκτυο το λάστιχο από το πυροσβεστικό όχημα, το οποίο θα εναλλάσσεται σε κάθε δίκτυο. Η διάμετρος του συνδέσμου είναι  $\Phi 62$  (2.5") οπότε οι μετατροπές πραγματοποιήθηκαν με βάση αυτόν.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.



Εικόνα 4.9. Πυροσβεστικό όχημα για παροχή νερού

Για στεγανοποίηση μεταξύ των εξαρτημάτων, χρησιμοποιήθηκε ειδική ταινία τεφλόν, η οποία τυλίγεται στις βόλτες του ρακόρ, ενώ από την άλλη πλευρά της βάνας τοποθετήθηκε ένας μεικτός σύνδεσμος. Αυτός βιδώνει στη βάνα από τη μία του πλευρά και από την άλλη κολλήθηκε μέσω συστολών στη φλάντζα σύνδεσης. Ο μεικτός σύνδεσμος είναι διαμέτρου  $\Phi 63$  (2.5") οπότε θα χρησιμοποιηθούν μετατροπές για τη μετάβαση στην διάμετρο του λαϊμού της φλάντζας. Αρχικά χρησιμοποιείται μια μούφα  $\Phi 75$  (3") της οποίας η εσωτερική διάμετρος είναι ίση με την εξωτερική του μεικτού συνδέσμου. Έπειτα χρησιμοποιείται μία συστολή  $\Phi 90$  (3.5") /  $\Phi 110$  (4") της οποίας η εσωτερική διάμετρος είναι ίση με την εξωτερική της μούφας  $\Phi 75$  (3"), και επίσης η εξωτερική διάμετρος είναι ίση με την εσωτερική διάμετρο του λαϊμού φλάντζας  $\Phi 110$  (4"). Τα εξαρτήματα αφού δοκιμάστηκαν για καλή εφαρμογή, καθαρίστηκαν, ξύστηκαν και επαλείφθηκαν με διαλυτικό προτού εφαρμοστεί η κόλλα για την ένωση τους.

#### 4.6 Συναρμολόγηση του πειράματος

Πρώτο εξάρτημα της σύνδεσης αποτελεί το παροχόμετρο το οποίο συνδέθηκε φλαντζωτά με τον αγωγό. Στην άκρη της σωλήνας τοποθετήθηκε μια φλάντζα και έπειτα κολλήθηκε ένας λαϊμός φλάντζας για να πατήσει πάνω η φλάντζα. Οπότε τελικά συνδέθηκε το παροχόμετρο με τη φλάντζα. Για καλύτερη σταθεροποίηση του αγωγού και λόγω βάρους των επιμέρους εξαρτημάτων, δέθηκε με τσέρκι.

Στη συνέχεια εγκαταστάθηκε το πρώτο μανόμετρο σε απόσταση τουλάχιστον ένα μέτρο μακριά από άλλο σύνδεσμο ή εξάρτημα μεγαλύτερης ακρίβειας στις μετρήσεις.

Σύμφωνα με τη διάταξη του πειράματος, μετά το μανόμετρο θα ακολουθήσει η ΡΑΤ. Όμως και μετά το μανόμετρο πρέπει να υπάρχει περιθώριο τουλάχιστον ένα μέτρο. Επίσης η αντλία που θα τοποθετηθεί, για να λειτουργήσει ως ΡΑΤ 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 βρίσκεται σε άλλο επίπεδο συγκριτικά με το αρχικό κομμάτι του δικτύου. Οπότε χρησιμοποιήθηκε μια γωνία πάλι για να στρίψει τη ροή του νερού κατακόρυφα προς τα κάτω, προς το στόμιο της αντλίας PAT.

Λαμβάνοντας υπόψη τις ελάχιστες αποστάσεις που απαιτούνται για τις ακριβέστερες μετρήσεις στο μανόμετρο, κόπηκε 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 90ο. Στη μέση ακριβώς της απόστασης, εγκαταστάθηκε η σέλα και πάνω της το μανόμετρο σύμφωνα με τη μέθοδο που αναλύθηκε παραπάνω. Πριν τη γωνία τοποθετήθηκαν φλάντζες ώστε 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. Η τοποθέτηση ενό μονοκόμματου κομματιού αγωγού χωρίς να μεσολαβεί η αντλία έγινε, ώστε εν δυνάμει να συγκριθούν τα χαρακτηριστικά του δικτύου με και χωρίς την PAT.

#### 4.7 Σύνδεση με την PAT

Το πείραμα διενεργήθηκε με δύο διαφορετικής διαμέτρου αγωγούς. Το ένα δίκτυο με αγωγούς διαμέτρου Φ63 (2,5") και το άλλο Φ110 (4") αλλά λόγω οικονομικών κυρίως περιορισμών, υπήρχε η δυνατότητα χρήσης μίας μόνο αντλίας, με διαφορετικές διαμέτρου στόμια απ' ό,τι αυτά των αγωγών. Συνεπώς για να την σύνδεση στο κάθε δίκτυο, απαιτήθηκαν κάποιες προσαρμογές και χρησιμοποιήθηκαν οι συστολές που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

##### 4.7.1 Αγωγός Φ110

Η αντλία έχει στόμιο αναρρόφησης (στην κανονική λειτουργία της) με διάμετρο Φ90 (3,5") και στόμιο κατάθλιψης με διάμετρο Φ75 (3"). Η πρώτη εκτέλεση του πειράματος έγινε 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).

Λόγω των διαφορετικών διατομών, χρησιμοποιήθηκαν συστολές. Αρχικά τοποθετήθηκε μία λαστιχένια φλάντζα πάχους 2-3 mm, πάνω στο στόμιο της αντλίας για στεγανοποίηση. Έπειτα 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"). Στη συνέχεια ακολούθησαν 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"). Για να συνδεθεί ο αγωγός τελικά, θα χρησιμοποιηθεί μια μούφα Φ110(4"). Αυτή καλύπτει ακριβώς την εξωτερική διάμετρο της συστολής και του αγωγού.

Έπειτα μετρήθηκε η απόσταση από το μέσο της μούφας (εσωτερικά), μέχρι το εσωτερικό της γωνίας, μετά την καμπύλη της, εκεί που αρχίζει το ευθύγραμμο τμήμα της κόβοντας το αντίστοιχο κομμάτι σωλήνας και τοποθετώντας το στο εσωτερικό. Αφαιρέθηκαν τότε όλα τα μέρη, καθαρίστηκαν, επαλείφθηκαν με αρκετή κόλλα και τέλος συνδέθηκαν μεταξύ τους.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

Αμέσως μετά ακολούθησε η σύνδεση του στομίου κατάθλιψης της PAT (ή αλλιώς του στομίου αναρρόφησης για την κανονική λειτουργία της αντλίας) το οποίο έχει διάμετρο Φ90 (3.5"). Η διαδικασία είναι παρόμοια με την προαναφερθείσα. Πρώτα ξεκινά μια λαστιχένια φλάντζα (για στεγανότητα) και βιδώνεται απευθείας ο λαιμός της φλάντζας με τη φλάντζα πάνω στην αντλία. Το στόμιο και η φλάντζα είναι διαμέτρου Φ90. Λόγω απουσίας διαθέσιμου σωλήνα με τη κατάλληλη διάμετρο, χρησιμοποιήθηκαν προσαρμογές με τα υπάρχοντα υλικά. Τοποθετήθηκε αρχικά απευθείας μια συστολή Φ90 (3.5") / Φ63 (2.3"), η οποία ταίριαζε 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.

Στη συνέχεια, τα εξαρτήματα αφαιρέθηκαν, πλύθηκαν και κολλήθηκαν όπως προηγουμένως. Το κέλυφος της αντλίας 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 ώστε να τοποθετηθεί ένα μανόμετρο κατάντι της PAT 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.

#### 4.7.2 Αγωγός Φ63

Η διαδικασία προσαρμογής της πειραματικής διάταξης σε αγωγό διαμέτρου Φ63 παρουσιάζει μεγάλες ομοιότητες με τον αγωγό διαμέτρου Φ110 (4"). Το πρώτο πράγμα που συναντά ο αγωγός είναι το παροχόμετρο. Μετρήθηκε η επιθυμητή απόσταση για την τοποθέτηση του και κόπηκε ένα κομμάτι σωλήνα (Φ63). Στην μία άκρη συνδέθηκε με κόλλα μία συστολή Φ63 (2.5") / Φ75 (3") και κατευθείαν πάνω σ αυτή άλλη μία συστολή Φ75 (3") / Φ110 (4"). Για τη συναρμολόγηση με τη φλάντζα Φ110 (4") χρειάστηκε ένα κομμάτι σωλήνα για να συνδεθεί ο λαιμός της φλάντζας. Χρησιμοποιήθηκε 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 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") συνδέθηκε ένας λαιμός φλάντζας. Ήταν ήδη γνωστή η επιθυμητή απόσταση τοποθέτησης του παροχόμετρου, οπότε απλά συνδέεται μία φλάντζα (Φ63) με το λαιμό της στην άκρη της

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

σωλήνας. Το παροχόμετρο με τη φλάντζα ενώνονται με βίδες, παξιμάδια και ροδέλες ενώ μεταξύ φλάντζας και παροχόμετρου μεσολαβεί και μία λαστιχένια φλάντζα για στεγανότητα.

Μετά το παροχόμετρο η διαδικασία είναι ίδια με όπως προηγουμένως. Η φλάντζα με το λαϊμό της κολλούνται σε σωλήνα Φ63 (2.5'') και ακολουθεί ένα μήκος κατ' ελάχιστο τρία μέτρα, διότι απαιτείται να συνδεθεί και μανόμετρο μεταξύ παροχόμετρου και γωνίας. Μετρίεται 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 περιγράφηκε παραπάνω.

### **Σύνδεση με την PAT**

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε και σε αυτή τη περίπτωση περιελάμβανε τη 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 λαϊμό 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, εισέρχεται η σωλήνα Φ63 (2.5'') στο εσωτερικό της συστολής και ενώνεται με κόλλα. Από εκεί και πάνω απλώς μετρίεται η απόσταση μεταξύ συστολής και γωνίας (εσωτερικά της γωνίας) κόβεται η σωλήνα στην επιθυμητή απόσταση και συνδέεται με τη γωνία.

Το στόμιο κατάθλιψης για την PAT έχει διάμετρο Φ90 (3.5''). Σύνδεση πρώτα με φλάντζα Φ90 και το λαϊμό της στην επαφή τους. Εδώ λόγω έλλειψης σωλήνας διαμέτρου Φ90 (3.5'') υποχρεωτικά μεσολάβησε μία κόλληση της συστολής κατευθείαν μέσα στο λαϊμό της φλάντζας. Χρησιμοποιήθηκε συστολή Φ90 (3.5'') / Φ63 (2.5'') της οποίας ταίριαζε η εξωτερική της διάμετρος με την εσωτερική του λαϊμού της φλάντζας, συνεπώς και τα κολλήθηκαν μαζί. Από εκεί έφυγε κατευθείαν σωλήνα διαμέτρου Φ63 σε απόσταση περίπου δύο μέτρων μακριά από την αντλία. Μεταξύ των φλάντζων της αντλίας και των αγωγών στα στόμια αναρρόφησης και κατάθλιψης, μεσολαβούν λαστιχένιες φλάντζες αντίστοιχων διαμέτρων σε κάθε περίπτωση, για τη στεγανοποίηση.

Στη συνέχεια μετρήθηκε από την αντλία μία απόσταση περίπου ενάμισο μέτρο (1,5 μ) και τοποθετήθηκε το μανόμετρο όπως και προηγουμένως.

### **4.8 Η αντλία PAT της πειραματικής διάταξης**

Η αντλία PAT που χρησιμοποιήθηκε είναι μια απλή φυγόκεντρική αντλία κοινού τύπου. Τα βασικά χαρακτηριστικά της είναι: 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. Η κίνηση γίνεται είτε δεξιόστροφα είτε αριστερόστροφα και εσωτερικά έχουμε ορειχάλκινη φτερωτή διαμέτρου 15,9 εκατοστά καθώς και ανοξείδωτος άξονας πάχους 19 χιλιοστά.

#### 4.8.1 Αποσυναρμολόγηση της αντλίας

Πρώτο βήμα για το λύσιμο της αντλίας ήταν η αποσυναρμολόγηση του ακτινικά διαιρούμενου κελύφους της αντλίας από το υπόλοιπο σώμα της ώστε να αποκτηθεί πρόσβαση στην φτερωτή της αντλίας. Η φτερωτή είναι ορειχάλκινη, κλειστού τύπου με εσωτερικά πτερύγια και 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, για να αποτρέψει τις μετατοπίσεις της κατά μήκος του άξονα.

Επόμενο στάδιο ήταν το τμήμα στεγανοποίησης της αντλίας. Μετά το ακτινικά διαιρούμενο κέλυφος 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 είναι βιδωτό με βίδες και παξιμάδια συνδεδεμένο στο υπόλοιπο σώμα της αντλίας. 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 σε κάποιο αντίστοιχο σύστημα κίνησης. 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 αναφρθηκε στην οποία από την μία πλευρά υπάρχει η πτερωτή και από την εξωτερική της πλευρά κάποιος μηχανισμός στεγανοποίησης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε 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.

Ύστερα και από την αφαίρεση της πλάτης του κελύφους με το στυπιοθλίπτη, αφαιρέθηκαν τα καπάκια του ελαιοδοχείου μπροστά και πίσω. Ξεβιδώθηκαν οι βίδες που τα συγκρατούν πάνω στο σώμα της αντλίας και εμφανίζονται τα ρουλεμάν. Στη συνέχεια αφαιρέθηκαν τα έδρανα από το εσωτερικό μαζί με τον άξονα της αντλίας. Τέλος αντικαταστάθηκαν και οι τσιμούχες καθώς ήταν φαγωμένες και τοποθετήθηκαν στα καπάκια του ελαιοδοχείου σε ειδική “πατούρα” (“φωλιές”) και περιμετρικά του άξονα για τη στεγανοποίηση του ελαιοδοχείου.

#### 4.8.2 Συναρμολόγηση της αντλίας

Η συναρμολόγηση ξεκίνησε από τα με τα έδρανα στήριξης (ρουλεμάν) στον άξονα και στο ελαιοδοχείο. Τοποθετήθηκε αρχικά το ένα ρουλεμάν μόνο στον άξονα ώστε να περνάει ο άξονας μέσα στο ελαιοδοχείο από την αντίστοιχη πλευρά και στη συνέχεια από την απέναντι πλευρά, τοποθετήθηκε από έξω και το δεύτερο ρουλεμάν. Με αυτόν τον τρόπο κούμπωσαν εφαρμοστά και τα δύο ρουλεμάν και στον άξονα αλλά και στην υποδοχή του ελαιοδοχείου. Στη συνέχεια βιδώθηκαν οι τσιμούχες μία σε κάθε πλευρά, και μετά βιδώθηκαν τα καπάκια πίσω στη θέση τους. Πρώτα τοποθετήθηκε η πλάτη του κελύφους και βιδώθηκε με υπόλοιπο

σώμα (ελαιοδοχείο) ενώ στη συνέχεια η πτερωτή εγκαταστάθηκε στον άξονα με τη χρήση μιας σφήνας και ειδικής ασφάλειας. Έπειτα συνδέθηκε το κέλυφος, ο χώρος που βρίσκεται η φτερωτή που απορροφάει το νερό από το στόμιο αναρρόφησης και το στέλνει στο στόμιο κατάθλιψης.

Στη συνέχεια, τοποθετήθηκε σαλαμάστρα για στεγανοποίηση στη πλάτη του κελύφους. Στη μέση της, στη φωλιά της δηλαδή, τοποθετήθηκε η σαλαμάστρα και από πάνω της ο στυπιοθλίπτης, που με τη χρήση των δύο παξιμαδιών που τοποθετήθηκαν στις βίδες εσωτερικά, σφίγγεται η σαλαμάστρα και ρυθμίζεται η στεγανότητα. Τέλος, πληρώθηκε το δοχείο με καινούργιο λάδι.

#### 4.9 Απομάκρυνση του νερού

Η τροφοδοσία γίνεται μέσω του πυροσβεστικού οχήματος, το οποίο δεν είναι εφικτό να δίνει και να λαμβάνει ταυτόχρονα νερό (δηλαδή να το ανακυκλώνει). Λόγω του ότι η διαθέσιμη δεξαμενή ήταν μικρής χωρητικότητας, πιο συγκεκριμένα μόνο 0.7 κυβικά, ενώ το πυροσβεστικό όχημα έχει δυνατότητα αποθήκευσης μέχρι και 10 κυβικά, η μόνη λύση ήταν το άδειασμα του δικτύου στην αποχέτευση. Χρησιμοποιήθηκε πράσινο λάστιχο πίεσεως το οποίο συνδέθηκε σε τομές των αγωγών στις απολήξεις του κάθε δικτύου. Παράλληλα εγκαταστάθηκαν και βάνες, 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 σφίχθηκε με τον μαστό με τη χρήση ειδικού κολιέ σύσφιγξης. 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 συνδέθηκε εσωτερικά της μούφας με κόλληση.

#### 4.10. Εγκατάσταση του δυναμό

Η αντλία με το μοτέρ συνδέθηκαν με μία τροχαλία διαμέτρου δέκα εκατοστών. Πάνω στην τροχαλία συνδέθηκε ένας ιμάντας πάχους δέκα χιλιοστών και μήκους ενός μέτρου. Ο ιμάντας συνδέθηκε στο άλλο άκρο του με την ενσωματωμένη τροχαλία του δυναμό, διαμέτρου έξι εκατοστών. Το δυναμό αυτοκινήτου τοποθετήθηκε ακριβώς δίπλα από την ΡΑΤ πάνω σε μία αυτοσχέδια βάση, και τεντώθηκε ο ιμάντας ώστε να επιτευχθεί η περιστροφή του δυναμό. 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. Η αξιολόγηση της απόδοσης έγινε με βάση τον αριθμό των στροφών της αντλίας και του δυναμό αυτοκινήτου σταθερής τάσης που χρησιμοποιήθηκε.

Κατά την εκτέλεση του πειράματος, η δύναμη και η πίεση που ασκεί το νερό στην πτερωτή στο εσωτερικό της αντλίας, προκαλεί την περιστροφή της και κατά συνέπεια περιστρέφει και τον άξονα της αντλίας μαζί.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---



*Εικόνα 4.11. Πειραματική εγκατάσταση*



## Κεφάλαιο 5: Εκτέλεση του πειράματος και αποτελέσματα

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε εργαστηριακές συνθήκες χρησιμοποιώντας ένα πυροσβεστικό όχημα για την παροχή νερού, για δύο διαφορετικές διαμέτρου σωλήνων PVC πίεσεως 10 atm, διαμέτρου Φ110 (4'') στην πρώτη περίπτωση, στη δεύτερη περίπτωση πλαστική σωλήνα PVC πίεσεως 16 atm, διαμέτρου Φ63 (2.5'').

Το δίκτυο κατασκευάστηκε έτσι ώστε το νερό να εισέρχεται από το στόμιο κατάθλιψης της αντλίας (σε συνθήκες 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 και στη συνέχεια 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.

Στον άξονα της αντλίας συνδέθηκε μια τροχαλία η οποία με τη σειρά της συνδέεται μέσω ενός ιμάντα με ένα δυναμό αυτοκινήτου σταθερής τάσης 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. Η αξιολόγηση της απόδοσης έγινε με βάση τον αριθμό των στροφών της αντλίας και του δυναμό αυτοκινήτου σταθερής τάσης που χρησιμοποιήθηκε.

### 5.1 Δοκιμαστικός έλεγχος

Ο πρώτος δοκιμαστικός έλεγχος πραγματοποιήθηκε στο δίκτυο με αγωγούς Φ110 (4''). Η αντλία του πυροσβεστικού οχήματος ξεκίνησε να παρέχει το νερό, το οποίο άρχισε να εισέρχεται στο δίκτυο. Αρχικά η αντλία να δούλεψε στις ελάχιστες δυνατές στροφές που μπορεί να ξεκινήσει να λειτουργεί ο κινητήρας της. Στις ελάχιστες στροφές της, συμπεριλαμβανομένων και των γραμμικών απωλειών μέχρι τη σύνδεση στο δίκτυο, η αντλία απέδιδε στο μανόμετρο ανάντι της ΡΑΤ, πίεση μισό περίπου μπαρ και σταδιακά δοκιμάστηκαν μεγαλύτερες πιέσεις. Πριν τη δοκιμή σε μεγαλύτερες πιέσεις, ρυθμίστηκε κατάλληλα το δίκτυο με το γέμισμα των αγωγών. Το σταδιακό κλείσιμο της βάνας στην απόληξη του δικτύου έδειξε ότι η ροή που εξέρχεται είναι στρωτή και οι αγωγοί πλέον είναι πλήρεις. Ανοίγοντας τότε πλήρως τις βάνες και αυξάνοντας ταυτόχρονα τη παροχή στο δίκτυο μέσω της αντλίας του πυροσβεστικού, αυξήθηκε η ροή στον αγωγό χωρίς να προκληθούν στροβιλισμοί μέσα σε αυτόν. Για την ολοκλήρωση της δοκιμαστικής λειτουργίας εξαερώθηκε το δίκτυο. Επιλέχθηκε το μανόμετρο ανάντι της ΡΑΤ, το οποίο βρίσκεται στο 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 βρισκόταν σε λειτουργία ανοίχθηκε λίγο η βάνα

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

και κλείστηκε γρήγορα. Παρατηρήθηκε ένας πίδακας νερού με το άνοιγμα της βάνας. Με τον τρόπο αυτόν λοιπόν εξαερώθηκε εύκολα το δίκτυο από τον όποιο αέρα είχε μείνει εγκλωβισμένος στο εσωτερικό του.



Εικόνα 5.1.. Διάταξη του πειράματος

Στη συνέχεια αποσυνδέθηκε ο σύνδεσμος που συναρμολογήθηκε για τη σύνδεση του λάστιχου από το πυροσβεστικό, και συνδέθηκε στον αγωγό  $\Phi 63$  (2.5"). 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  $\Phi 110$  (4") και συναρμολογήθηκε στο δίκτυο  $\Phi 63$ . Το νερό άρχισε να εισέρχεται στο δίκτυο και ενώ η αντλία ήταν στις λιγότερες δυνατές στροφές ακόμα, άρχισε η ίδια διαδικασία που ακολουθήθηκε και στο δίκτυο  $\Phi 110$ . 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. Τα αποτελέσματα αντίστοιχα με το δίκτυο  $\Phi 110$ . Παρατηρήθηκε δηλαδή μεγάλη διαφορά στις πιέσεις ανάντι και κατάντι της PAT.

## 5.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε δύο φορές, όλες οι παράμετροι παρέμειναν σταθερές με εξαίρεση τη διάμετρο των αγωγών. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται συγκεντρωτικά σε πίνακες και διαγράμματα τα αποτελέσματα της πειραματικής διάταξης.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

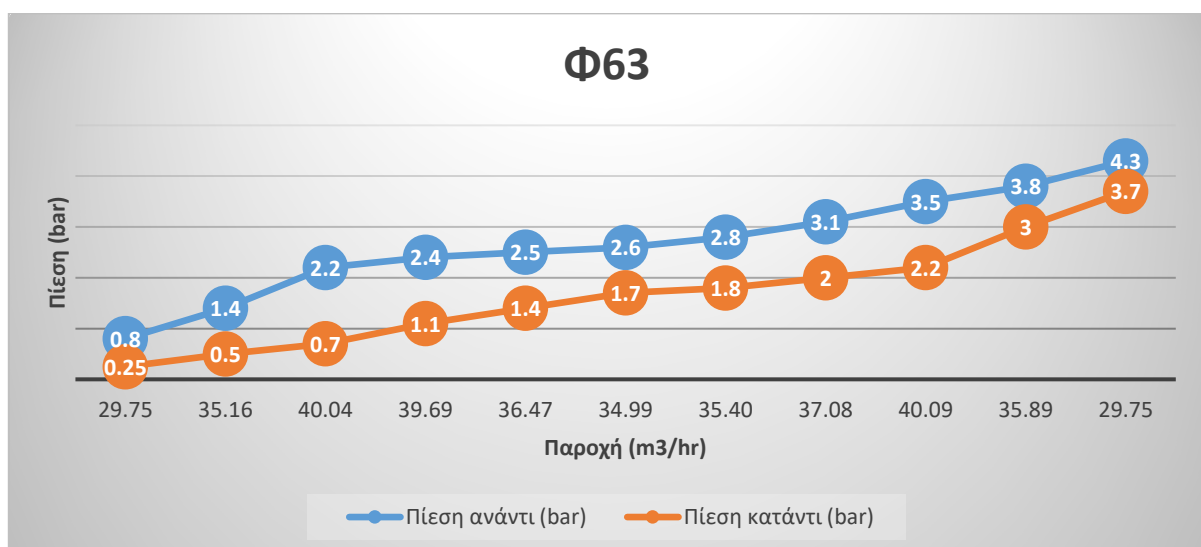
### 5.2.1 Σωλήνες Φ63 (4'')

Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που προέκυψαν από τρέξιμο του πειράματος. Στην 1η στήλη παρουσιάζονται οι τιμές της πίεσης και στη 2η η παροχή του νερού που τροφοδοτεί το δίκτυο. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι πιέσεις ανάντι και κατάντι της ΡΑΤ και οι στροφές της τροχαλίας και του δυναμό που επιτυγχάνονται σε αυτές τι συνθήκες.

Πίνακας 5.1 Αποτελέσματα πειράματος για διάμετρο σωλήνων Φ63

Σωλήνες Φ63						
Πίεση (bar)	Παροχή (sec)	Παροχή (m <sup>3</sup> /h)	Πίεση ανάντι (bar)	Πίεση κατάντι (bar)	Στροφές τροχαλίας (rpm)	Στροφές δυναμού (rpm)
1	12.1	29.75	0.8	0.25	1160	3877
2	10.24	35.16	1.4	0.5	1638	5450
3	8.99	40.04	2.2	0.7	2030	6723
3	9.07	39.69	2.4	1.1	1790	6300
3	9.87	36.47	2.5	1.4	1743	5800
3	10.29	34.99	2.6	1.7	1490	5320
3.5	10.17	35.40	2.8	1.8	1679	5580
4	9.71	37.08	3.1	2	1834	6100
4.5	8.98	40.09	3.5	2.2	1975	6550
4.5	10.03	35.89	3.8	3	1765	5530
4.5	12.1	29.75	4.3	3.7	1230	4130

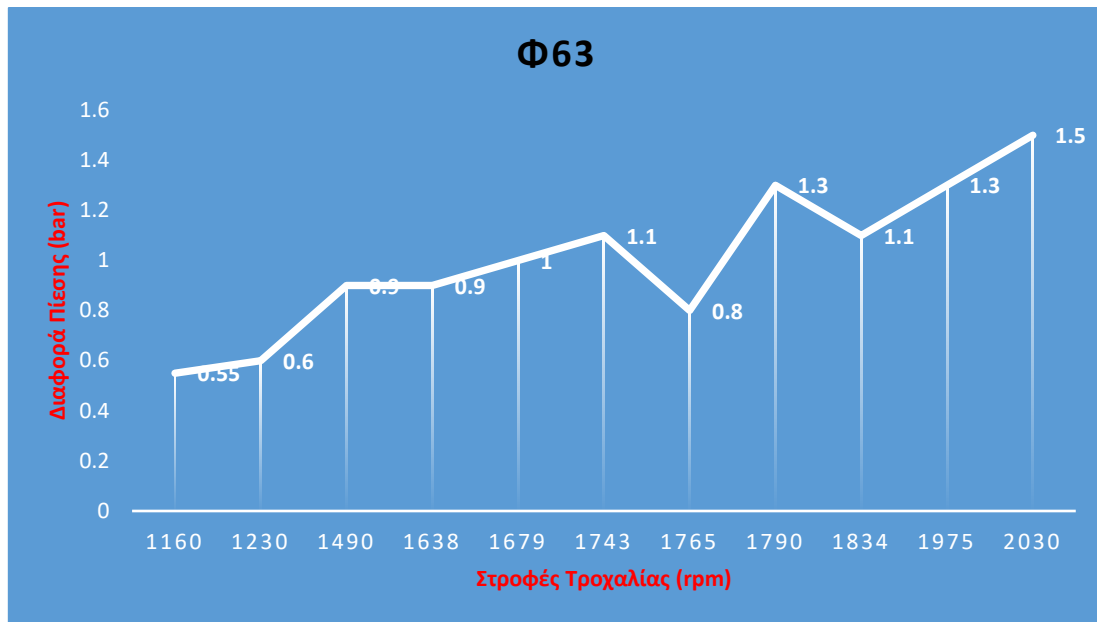
Η Εικόνα 5.1 απεικονίζει την πίεση ανάντι/κατάντι της ΡΑΤ σε συνάρτηση με την παροχή του δικτύου. Η πίεση ακολουθεί μια σταθερά αυξητική τάση τόσο στα ανάντι όσο και στα κανάντι κατά την εκτέλεση του πειράματος, ενώ η διαφορά της πίεσης κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 1,5 bar. Η διαφορά πίεσης αυξάνει σε ακολουθία με την μέγιστη τιμή της παροχής (η μέγιστη παροχή συμπίπτει με τη μεγαλύτερη διαφορά πίεσης), ενώ μετά διατηρείται σταθερή και καταλήγει σε χαμηλότερες τιμές στο τέλος τους πειράματος όταν η παροχή βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα.



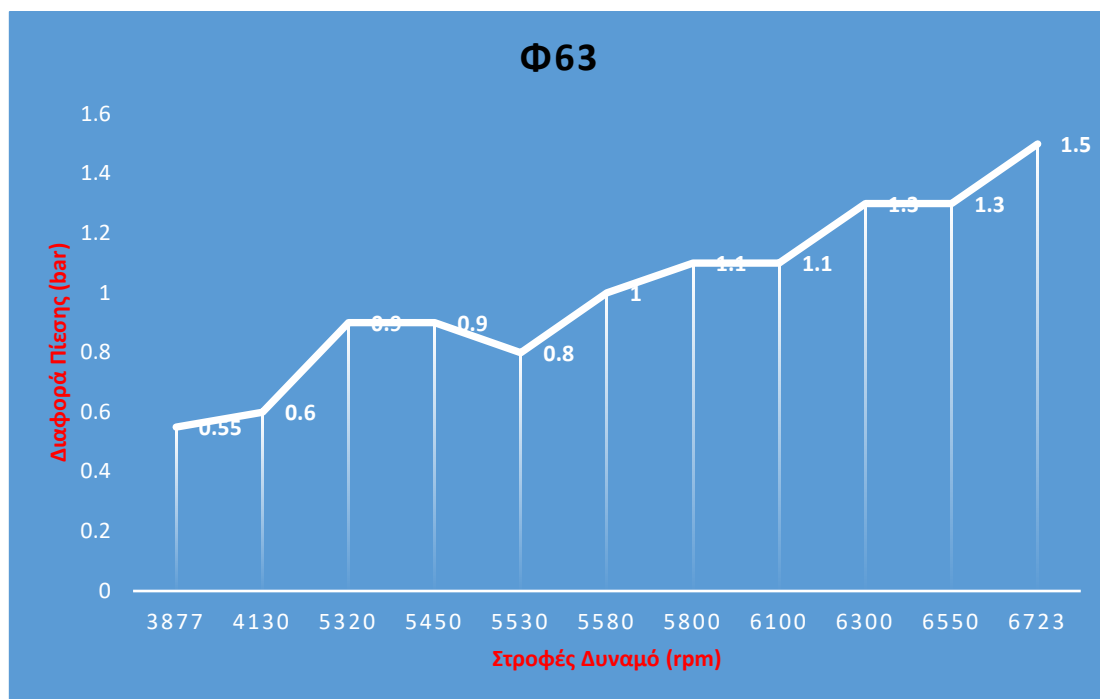
Εικόνα 5.1 Πίεση ανάντι και κατάντι της ΡΑΤ και παροχή δικτύου για Φ63

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

Στη συνέχεια οι τιμές της διαφοράς πίεσης ανάτι/κατάντι της ΡΑΤ και οι στροφές της τροχαλίας και οι στροφές δυναμικού ταξινομήθηκαν για τη δημιουργία των διαγραμμάτων 5.2 και 5.3. Όπως απεικονίζεται και στα δύο διαγράμματα, η διαφορά πίεσης σχετίζεται αναλογικά με τις στροφές τροχαλίας και τις στροφές δυναμικού.



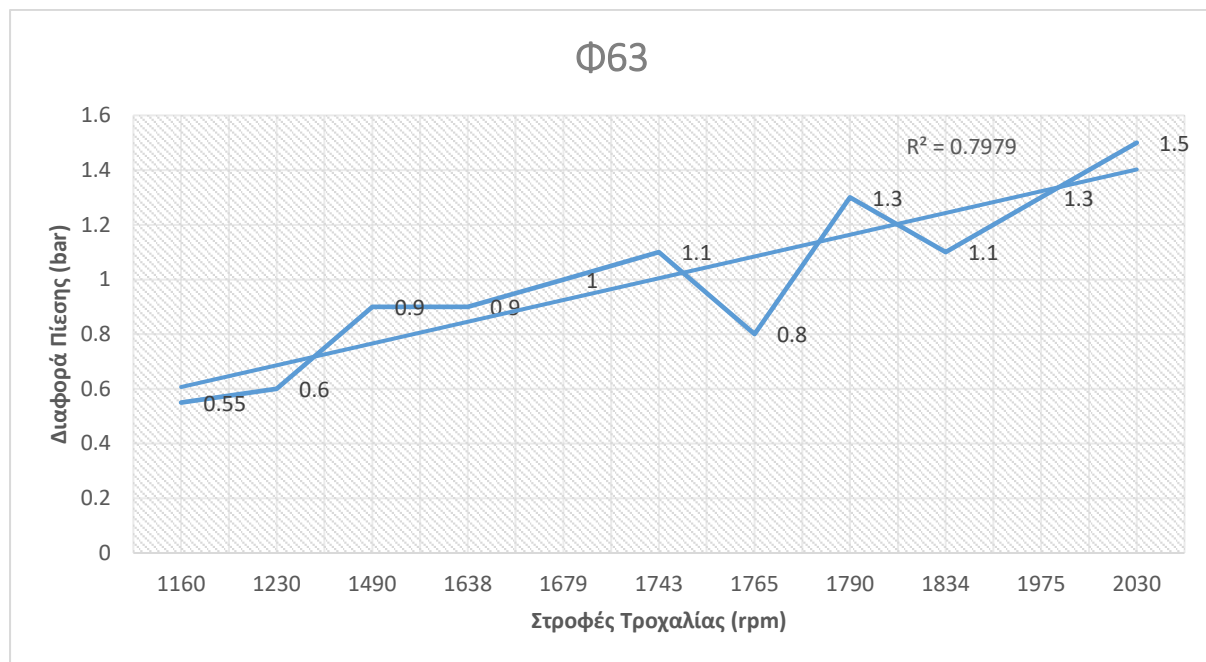
Εικόνα 5.2 Διαφορά πίεσης ανάτι/κατάντι της ΡΑΤ και στροφές τροχαλίας για Φ63



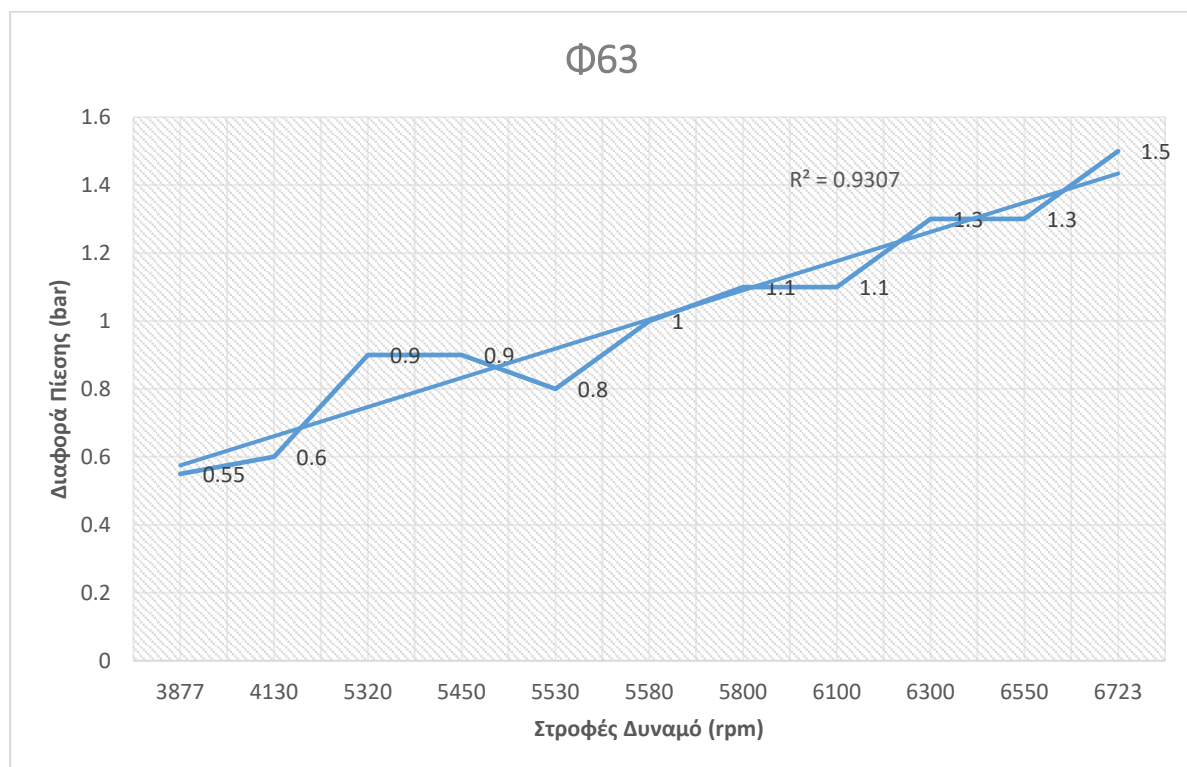
Εικόνα 5.3 Διαφορά πίεσης ανάτι/κατάντι της ΡΑΤ και στροφές δυναμικού για Φ63

Η γραμμή που δείχνει τη γενική τάση των δεδομένων, αναδεικνύει μια έντονη συσχέτιση και στα δύο διαγράμματα, με ιδιαίτερη ακρίβεια για τις στροφές δυναμικού,  $R^2=0.80$  και  $R^2=0.93$  αντίστοιχα.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.



Εικόνα 5.4 Διαφορά πίεσης ανάτι/κατάντι της ΡΑΤ και στροφές τροχαλίας για Φ63



Εικόνα 5.5 Διαφορά πίεσης ανάτι/κατάντι της ΡΑΤ και στροφές δυναμικού για Φ63

### 5.2.2 Σωλήνες Φ110 (4")

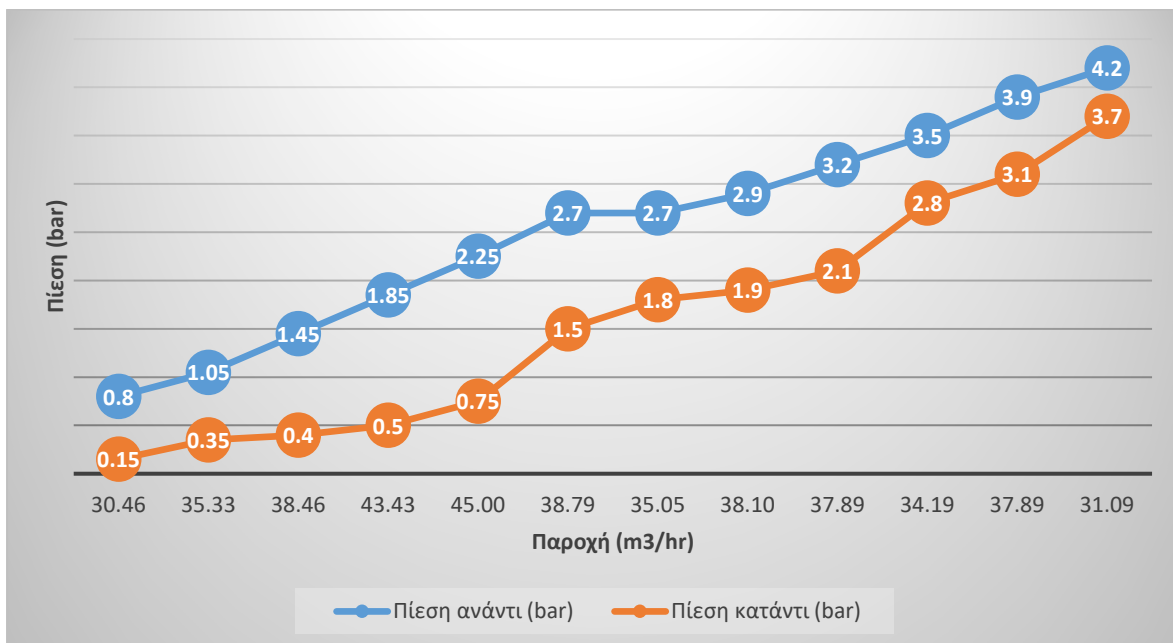
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για διάμετρο σωλήνων Φ110 (Πίνακας 5.2). Η Εικόνα 5.6 απεικονίζει την πίεση ανάντι/κατάντι της ΡΑΤ σε συνάρτηση με την παροχή του δικτύου. Η πίεση ακολουθεί μια σταθερά αυξητική τάση τόσο στα ανάντι όσο και στα κανάντι κατά την εκτέλεση του πειράματος, με τη διαφορά της πίεσης να κυμαίνεται μεταξύ

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

0,5 και 1,5 bar. Η διαφορά πίεσης αυξάνει σε ακολουθία με την παροχή (η μέγιστη παροχή συμπίπτει με τη μεγαλύτερη διαφορά πίεσης), ενώ μετά διατηρείται σταθερή και καταλήγει σε χαμηλότερες τιμές όταν η παροχή βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα.

Πίνακας 5.2 Αποτελέσματα πειράματος για διάμετρο σωλήνων Φ110

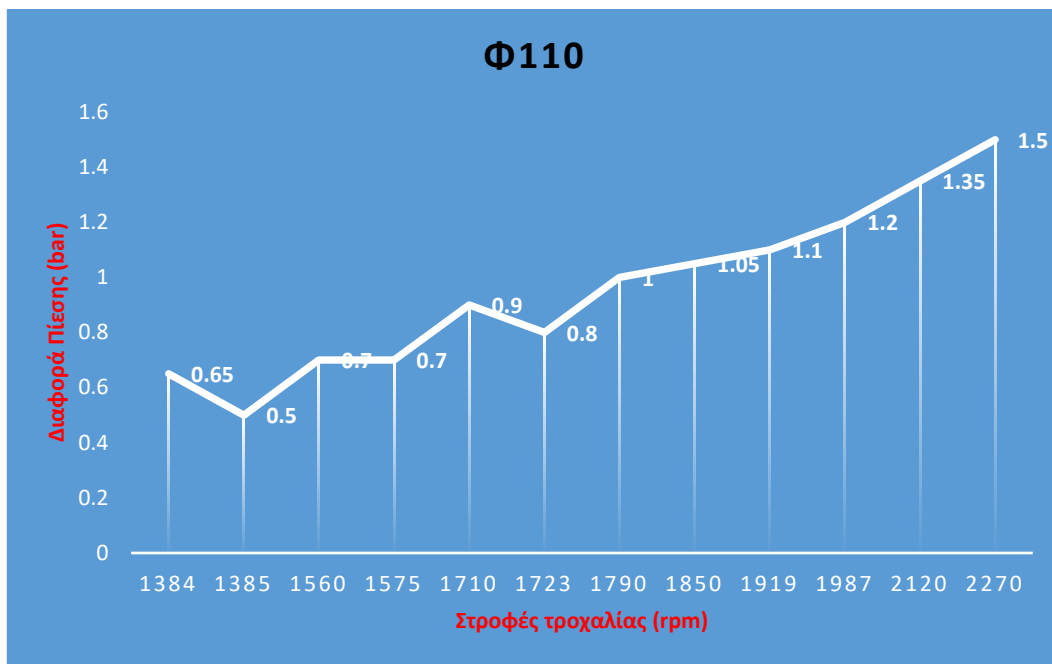
Φ110						
Πίεση (bar)	Παροχή (m <sup>3</sup> /h)	Πίεση ανάντι (bar)	Πίεση κατόντι (bar)	Πίεση εκκένωσης (bar)	Στροφές τροχαλίας (rpm)	Στροφές δυναμού (rpm)
1	30.46	0.8	0.15	0	1384	4666
1.5	35.33	1.05	0.35	0	1575	5240
2	38.46	1.45	0.4	0.1	1850	6130
2.5	43.43	1.85	0.5	0.2	2120	7025
3	45.00	2.25	0.75	0.3	2270	7540
3	38.79	2.7	1.5	1.2	1987	6660
3	35.05	2.7	1.8	2	1710	5700
3.5	38.10	2.9	1.9	2	1790	5960
4	37.89	3.2	2.1	2.1	1919	6380
4	34.19	3.5	2.8	2.8	1560	4300
4.5	37.89	3.9	3.1	3	1723	5730
4.5	31.09	4.2	3.7	3.8	1385	5600



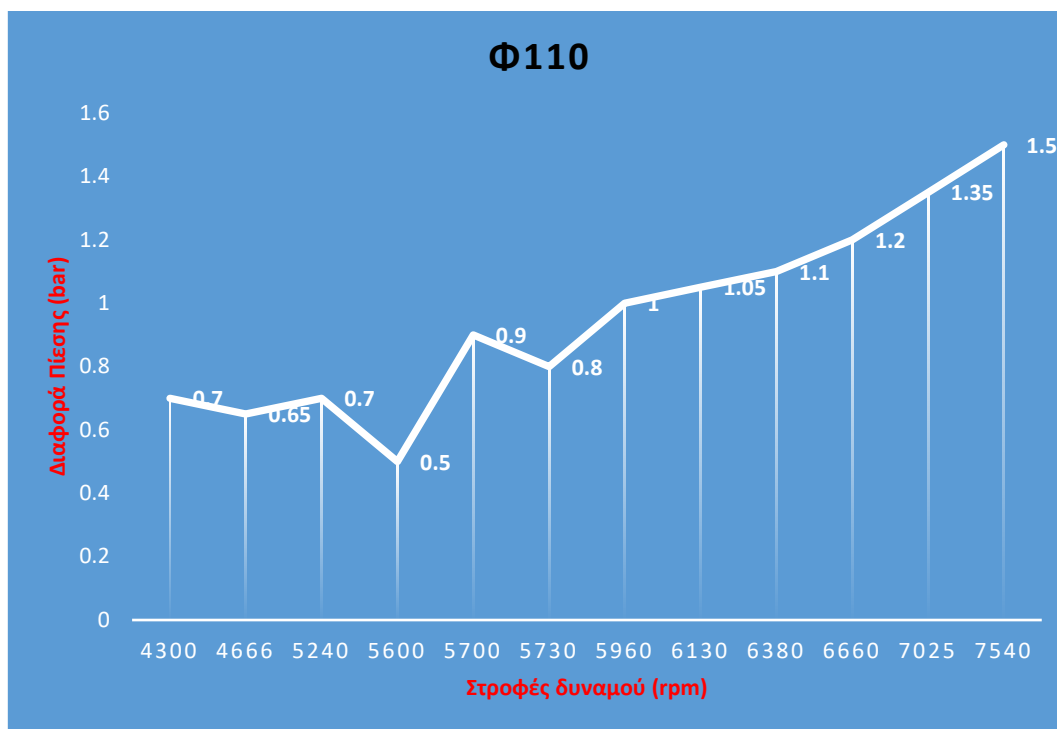
Εικόνα 5.6 Πίεση ανάντι και κατόντι της ΡΑΤ και παροχή δικτύου για Φ110

Στη συνέχεια οι τιμές της διαφοράς πίεσης ανάντι/κατόντι της ΡΑΤ και στροφές τροχαλίας ταξινομήθηκαν για τη δημιουργία των διαγραμμάτων 5.7 και 5.8

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.



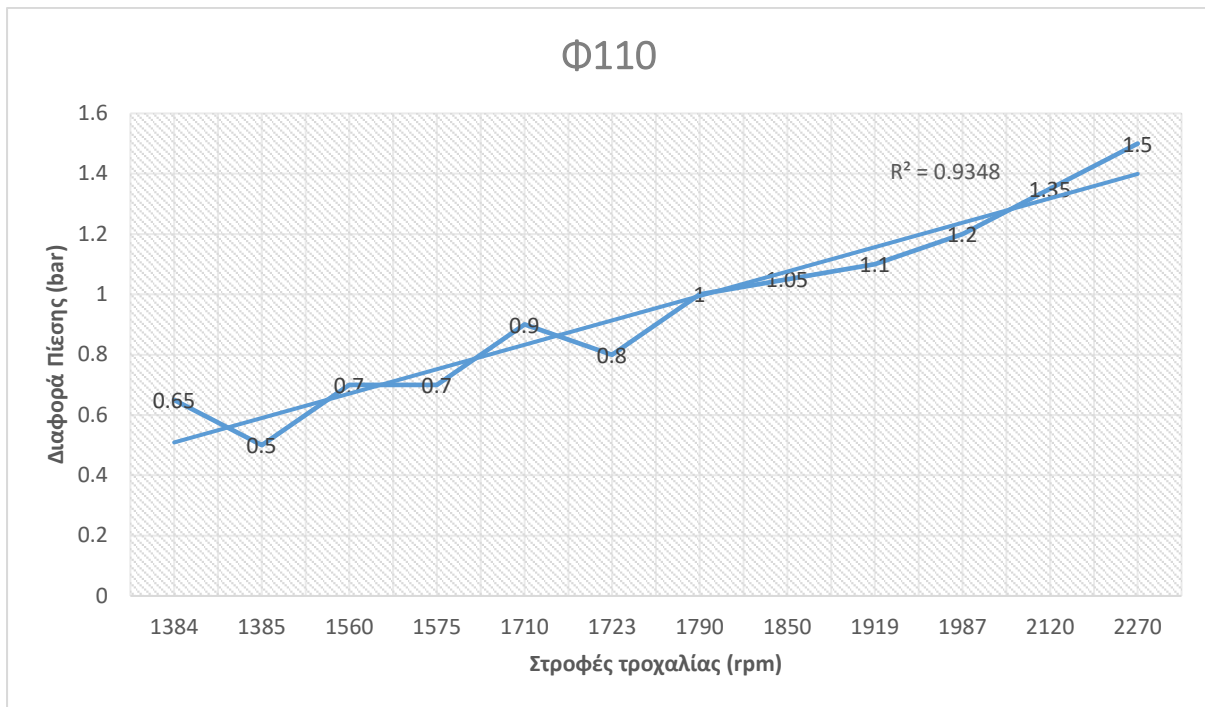
Εικόνα 5.7 Διαφορά πίεσης ανάτι/κατάντι της ΡΑΤ και στροφές τροχαλίας για Φ110



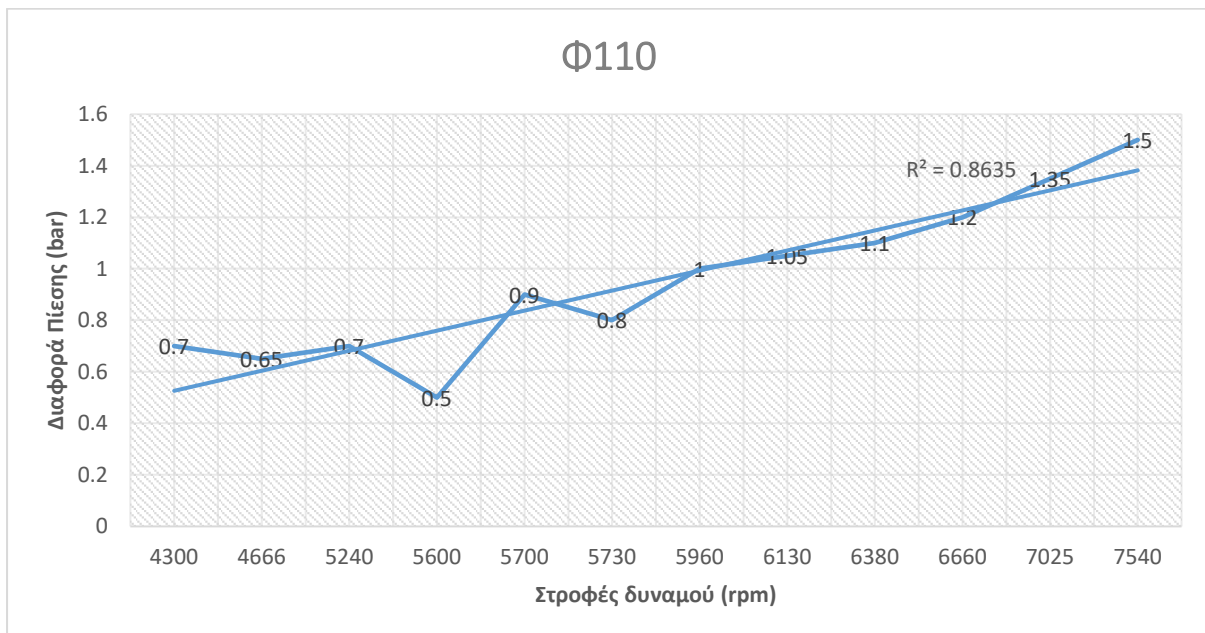
Εικόνα 5.8 Διαφορά πίεσης ανάτι/κατάντι της ΡΑΤ και στροφές δυναμικού για Φ110

Η γραμμή που δείχνει τη γενική τάση των δεδομένων, αναδεικνύει μια έντονη συσχέτιση και στα δύο διαγράμματα, με ιδιαίτερη ακρίβεια για τις στροφές δυναμικού,  $R^2=0.80$  και  $R^2=0.93$  αντίστοιχα.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.



Εικόνα 5.9 Διαφορά πίεσης ανάτι/κατάντι της ΡΑΤ και στροφές τροχαλίας για Φ110



Εικόνα 5.10 Διαφορά πίεσης ανάτι/κατάντι της ΡΑΤ και στροφές δυναμού για Φ110

### 5.3 Σχεδιασμός Καμπυλών Λειτουργίας

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας μιας τουρμπίνας συμβάλλουν στον προσδιορισμό και κατανόηση της συμπεριφοράς, καθώς και της απόδοσης της τουρμπίνας, κάτω από διάφορες συνθήκες λειτουργίας. Οι εξισώσεις πάνω στις οποίες βασίστηκε ο υπολογισμός της ροής και του μανομετρικού υψομέτρου στο σημείο καλύτερης λειτουργίας είναι (15, 67):

$$Q_{tb} = \frac{N_t}{N_p} * \frac{Q_{bp}}{n_{bp}^{0.8}} \quad (\text{Εξίσωση 5.1})$$



**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

$$H_{tb} = \left(\frac{N_t}{N_p}\right)^2 * \frac{H_{bp}}{n_{bp}^{1.2}} n_{tp} = n_{bp} \quad (\text{Εξίσωση 5.2})$$

Όπου:

$Q_{tb}$  = η ροή της τουρμπίνας στο καλύτερο σημείο απόδοσης

$H_{tb}$  = το μανομετρικό ύψος της τουρμπίνας στο καλύτερο σημείο απόδοσης

$Q_{pb}$  = η ροή της αντλίας στο καλύτερο σημείο απόδοσης

$H_{pb}$  = το μανομετρικό ύψος της αντλίας στο καλύτερο σημείο απόδοσης

$N_t$  = η ταχύτητα περιστροφής της τουρμπίνας

$N_p$  = η ταχύτητα της αντλίας

$n_{bp}$  = η απόδοση της αντλίας

Το καλύτερο σημείο απόδοσης της αντλίας (BEP) υπολογίζεται από τις χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας, οι οποίες δείχνουν τη σχέση μεταξύ ροής και μανομετρικού ύψους και συνήθως παρέχονται από τους κατασκευαστές. Στη συγκεκριμένη μελέτη δεν ήταν διαθέσιμες οι καμπύλες λειτουργίας, και προσεγγιστικά θεωρήθηκε ότι το καλύτερο σημείο απόδοσης της αντλίας είναι:  $Q_{pb} = 0,75Q_{max}$ ,  $H_{pb} = 0,75H_{max}$ ,

Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω σχέσεις για την κατασκευή των καμπυλών λειτουργίας (Derakhshankai Nourbakhsh (2008):

$$\frac{H_t}{H_{tb}} = 1.0283 \left(\frac{Q_t}{Q_{tb}}\right)^2 - 0.5468 \left(\frac{Q_t}{Q_{tb}}\right) + 0.5314 \quad (\text{Εξίσωση 5.3})$$

$$\frac{P_t}{P_{tb}} = -0.3092 \left(\frac{Q_t}{Q_{tb}}\right)^3 + 2.1472 \left(\frac{Q_t}{Q_{tb}}\right)^2 - 0.8865 \left(\frac{Q_t}{Q_{tb}}\right) + 0.0452 \quad (\text{Εξίσωση 5.4})$$

Η μηχανική ενέργεια που μπορεί να παραχθεί από την τουρμπίνα (PAT), υπολογίσθηκε ως:

$$P_{tb} = 1000 * H_{tb} * Q_{tb} * g * \rho * n_{tp} \quad (\text{Εξίσωση 5.5})$$

$g$  = η επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$\rho$  = η πυκνότητα του νερού (1000 kg/m<sup>3</sup>)

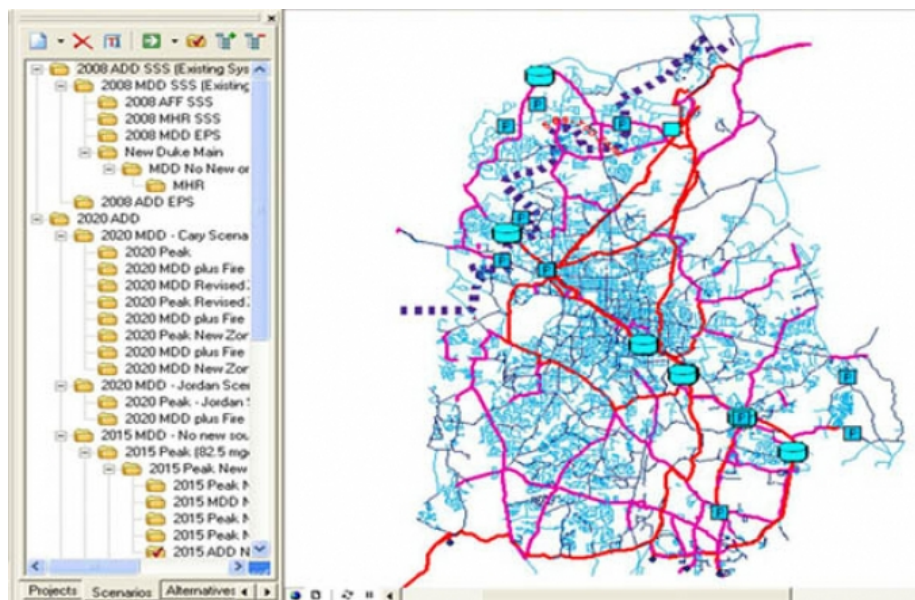
$n_{tp}$  = ο συντελεστής απόδοσης της τουρμπίνας

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

## Κεφάλαιο 6 Εφαρμογή των πειραματικών δεδομένων σε λογισμικό προσομίωσης ψηφιακού διδύμου (Watergems)

### 6.1 WaterGEM

Το WaterGEMS είναι ένα ολοκληρωμένο εργαλείο για λήψη αποφάσεων σε δίκτυα ύδρευσης. Το πρόγραμμα αυτό συνεισφέρει στην κατανόηση της συμπεριφοράς των υποδομών ως ενιαίο σύστημα, στο πως εφαρμόζονται οι επιχειρησιακές στρατηγικές στις συγκεκριμένες υποδομές και πως πρέπει αυτές να αναπτυχθούν. Το λογισμικό WaterGEMS έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε μία σειρά εφαρμογών που σχετίζονται με τα δίκτυα ύδρευσης.



Εικόνα 6.1. WaterGEMS software tool (28)

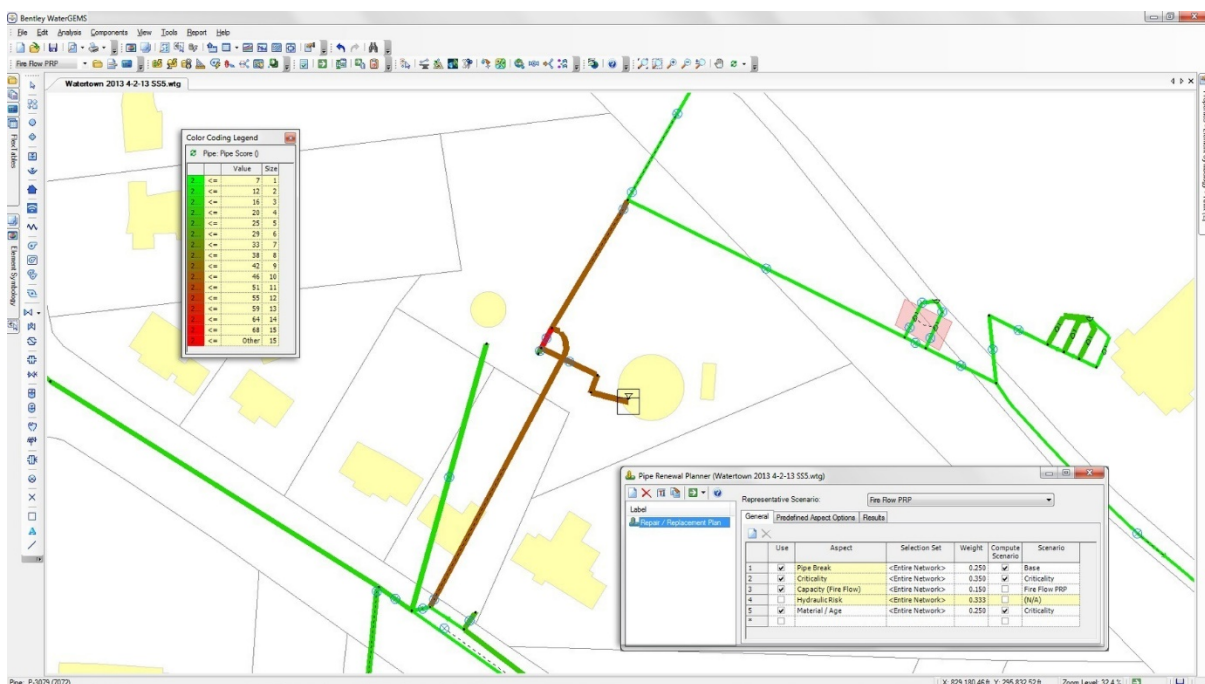
Το OpenFlows WaterGEMS παρέχει μια σειρά από δυνατότητες στο χρήστη:

- **Έξυπνος σχεδιασμός για την αξιοπιστία του συστήματος.** Η ικανότητα των δικτύων ύδρευση να ικανοποιούν τους πελάτες πρέπει να αξιολογείται όποτε αναμένεται επέκταση του δικτύου. Το OpenFlows WaterGEMS μπορεί αποτελεσματικά να αναγνωρίσει προβληματικές περιοχές, να ικανοποιήσει την ανάπτυξη της περιοχής λειτουργίας και να προγραμματίσει βελτιώσεις του συστήματος.
- **Βελτιστοποίηση της λειτουργίας για την αποτελεσματική λειτουργία του δικτύου.** Ο σχεδιασμός ενός σύνθετου υδραυλικού συστήματος μπορεί να δύσκολος. Το OpenFlows WaterGEMS, μοντελοποιεί τις αντλίες με ακρίβεια, βελτιστοποιεί τη λειτουργία τους και προγραμματίζει διακοπές και επανακινήσεις για να ελαχιστοποιήσει την ενόχληση.
- **Αξιόπιστη λήψη αποφάσεων για την ανανέωση των στοιχείων του συστήματος ώστε να εξασφαλίζεται η βιωσιμότητά του.** Η λήψη αποφάσεων για την ανανέωση ή/και την αντικατάσταση τμημάτων των δικτύων ύδρευσης, απαιτεί μια τεράστια

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

πηγή στοιχείων για όλα τα κομμάτια του δικτύου. Το OpenFlows WaterGEMS παρέχει τη δυνατότητα σχεδιασμού του προγράμματος αντικατάστασης, αναλύοντας και συγκρίνοντας ένα μεγάλο εύρος μεταβλητών.

- **Ανάλυση της σημαντικότητας των σωλήνων ύδρευσης και των βαλβίδων.** Το OpenFlows WaterGEMS εντοπίζει τα αδύναμα σημεία του δικτύου διανομής νερού και αξιολογεί την επάρκεια των βαλβίδων απομόνωσης. Επίσης αξιολογεί την ικανότητα να απομονώσει διαφορετικά τμήματα του δικτύου και να συνεχίζει να ικανοποιεί τους πελάτες χρησιμοποιώντας διαφορετικές τοποθεσίες για τις βαλβίδες απομόνωσης. Το WaterCAD/WaterGEMS αυτόματα δημιουργεί τμήματα δικτύου, από τη στιγμή που θα τροφοδοτηθεί με δεδομένα για τις βαλβίδες.



Εικόνα 6.2. WaterGEMS software tool και διεύθυνση ροής σε υδραυλικό δίκτυο (28)

- **Αξιολόγηση της ικανότητας πυρόσβεσης.** Η χρησιμοποίηση ενός υδραυλικού μοντέλου για την αξιολόγηση της ικανότητας πυρόσβεσης είναι ανεπαρκές. Ο σχεδιασμός βελτιώσεων όπως η διαστασιολόγηση και η θέση των σωλήνων, των βαλβίδων, των αντλιών και των υδατοδεξαμενών ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις για την πυρόσβεση επιτυγχάνεται μέσω του OpenFlows WaterGEMS.
- **Ανάπτυξη και διαχείριση υδραυλικών μοντέλων.** Αποτελεσματικό κτίσιμο και διαχείριση του μοντέλου ώστε να καταστεί εύκολη η λήψη αποφάσεων. Δεδομένα από εξωτερικές πηγές μπορούν να εισαχθούν εύκολα μεγιστοποιώντας την αυτοματοποίηση την δημιουργία γεω-χωρικών δεδομένων.
- **Σχεδιασμός δικτύων διανομής νερού.** Χρήση υδραυλικών μοντέλων για να βοηθήσουν τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού ενός σύνθετου δικτύου διανομής νερού και χρήση ενσωματωμένων σεναρίων ώστε να υπάρχει η δυνατότητα σχεδιασμού διαφόρων εναλλακτικών. Ο χρήστης του WaterGEMS μπορεί να

βελτιστοποιήσει το σχεδιασμό του δικτύου κάνοντας χρήση του ενσωματωμένου εργαλείου Darwin Designer.

- **Ανάπτυξη πλάνων για το καθαρισμό του δικτύου (flushing plans).** Βελτιστοποίηση των προγραμμάτων καθαρισμού του δικτύου με πολλά συμβατικά και σε κάθε κατεύθυνση ενσωματωμένα σε ένα μόνο πρόγραμμα. Προγραμματισμός αύξησης της ταχύτητας στις μεγάλες σωλήνες ώστε να αποβληθούν στερεά υπόλοιπα, με κριτήριο αξιολόγησης της επιτυχίας τη μέγιστη ταχύτητα που αναπτύσσεται σε μια οποιαδήποτε σωλήνα.
- **Ανίχνευση απωλειών.** Εξοικονόμηση νερού και αύξηση του κέρδους λόγω της μείωσης των απωλειών. Το WaterGEMS χρησιμοποιεί δεδομένα ροής και πίεσης προκειμένου να εντοπίσει περιοχές για περαιτέρω λεπτομερή έλεγχο με ακουστικά μέσα. Η προσέγγιση αυτή, αποτελεί οδηγό για την αναμενόμενη μείωση των απωλειών νερού λόγω μείωσης της πίεσης και για τον επηρεασμό του επιπέδου ικανοποίησης των πελατών.
- **Διαχείριση ενέργειας.** Το WaterGEMS έχει τη δυνατότητα να μοντελοποιήσει ακριβώς τη λειτουργία των αντλιών, συμπεριλαμβανομένης και πολύπλοκων συνδυασμών λειτουργίας και ταχύτητας των αντλιών, ώστε να γίνει κατανοητή η επίδραση διάφορων στρατηγικών λειτουργίας πάνω στη χρήση ενέργειας. Ο στόχος από τη χρήση του λογισμικού είναι η ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση της ενέργειας που σχετίζεται με το κόστος άντλησης με παράλληλη μεγιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος.
- **Προγραμματισμός ανανέωσης των σωλήνων.** Εντοπισμός των σωλήνων που είναι σε προτεραιότητα για επιδιόρθωση ή αντικατάσταση. Οι σωλήνες κατηγοριοποιούνται βάση πολλών παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων κριτηρίων απόδοσης. Τα πλεονεκτήματα που μπορούν να προκύψουν περιλαμβάνουν βελτιωμένο προγραμματισμό, αυξημένη δυνατότητα διανομής νερού και μέγιστες αποδόσεις στις επενδύσεις κεφαλαίου.
- **Προσομοίωση δικτύων σε πραγματικό χρόνο.** Σύνδεση του υδραυλικού μοντέλου με το σύστημα δεδομένων SCADA (Supervisory control and data acquisition) ώστε οι αρχικές οριακές συνθήκες του μοντέλου να ανανεωνονται αυτόματα με τα πιο πρόσφατα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Η χρήση αυτών των δεδομένων κρατάει το χρήστη ενήμερο για τη κατάσταση του συστήματος και εξασφαλίζει ότι λειτουργεί αποτελεσματικά.

Οι Baek κ.ά. (2008) αξιολόγησαν το σχέδιο έκτασης ανάγκης μιας ιαπωνικής πόλης χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο λογισμικό. Το μοντέλο WaterGEMS χρησιμοποιήθηκε για το σχεδιασμό ενός αποδοτικού πλάνου αντιμετώπισης έκτατων αναγκών και στη συνέχεια καθόριστηκε και για την υπόλοιπη πόλη.

Ο Rao (2011) περιέγραψαν ένα πλαίσιο το οποίο ενσωματώνει την αστική ανάπτυξη και την προσομοίωση του υδραυλικού δικτύου για να ικανοποιήσουν την ανάγκη σχεδιασμού των τοποθεσιών κατανομής της ενέργειας.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

Οι Jiang κ.ά. (2013) ανέπτυξαν ένα δίκτυο ύδρευσης χρησιμοποιώντας το WaterGEMS, και για τη λεπτομερή ανάλυση της λειτουργίας του ενσωμάτωσαν και ένα σύστημα δεδομένων SCADA.

Οι Mehta κ.ά. (2017) χρησιμοποίησαν το WATERGEMS V8i για να αναλύσουν τη λειτουργία του δικτύου ύδρευσης στην πόλη Surat και συγκεκριμένα στην περιοχή Punagam από την σκοπιά της διακύμανσης της πίεσης από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού μέχρι και τους καταναλωτές. Το λογισμικό αυτό χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση της πίεσης σε κάθε κόμβο, ιχνηλατήθηκε η ροή του νερού σε κάθε αγωγό και το ύψος του νερού σε κάθε υδατοδεξαμενή κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Οι Świtnicka κ.ά. (2017) βελτιστοποίησαν το δίκτυο ύδρευσης με τη χρήση του WaterGEMS. Η βελτιστοποίηση του δικτύου περιελάμβανε μια σειρά παραμέτρων: τη μεγιστοποίηση της ταχύτητας της ροής του νερού, τη ρύθμιση του πιεζομετρικού φορτίου, ελαχιστοποίηση του χρόνου παραμονής του νερού μέσα στο δίκτυο και ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας από τις αντλίες.

Οι Sudheer κ.ά. (2020) συνέκριναν τα αποτελέσματα της υδραυλικής προσομοίωσης ενός δικτύου για διαφορετικές μεθόδους κατανομής της ζήτησης χρησιμοποιώντας το WaterGEMS. Ο κύριος σκοπός της εργασίας ήταν ο σχεδιασμός ενός βιώσιμου δικτύου, βασισμένο πάνω σε κατάλληλες μεθόδους για τη πόλη Bodhan (το δίκτυο της πόλης είναι διακοπτόμενης παροχής).

Οι Prakasam και Saravanan (2020) έτρεξαν την προσομοίωση του δικτύου ύδρευσης για την πόλη Ramapuram και συγκεκριμένα για ένα τμήμα της που ανανεώνεται με νέες μεταλλικές σωλήνες με τη χρήση των λογισμικών Loop και WaterGEMS. Το λογισμικό χρησιμοποιήθηκε για την ρύθμιση όλων των παραμέτρων του δικτύου λαμβάνοντας υπόψη και την τοπολογία, τον πληθυσμό, και τη ζήτηση του νερού.

Οι Ramos κ.ά. (2020) παρουσίασαν μια μεθοδολογία και ανάλυση για τη διαφορά των επιπέδων νερού ανάμεσα σε υδατοδεξαμενές και ρεζερβουάρ σε ένα δίκτυο με αντλίας προκειμένου να το μετασχηματίσουν σε μία κατεύθυνση όπου θα χρησιμοποιείται η ενέργεια που παράγεται από υδροτουρμπίνες.

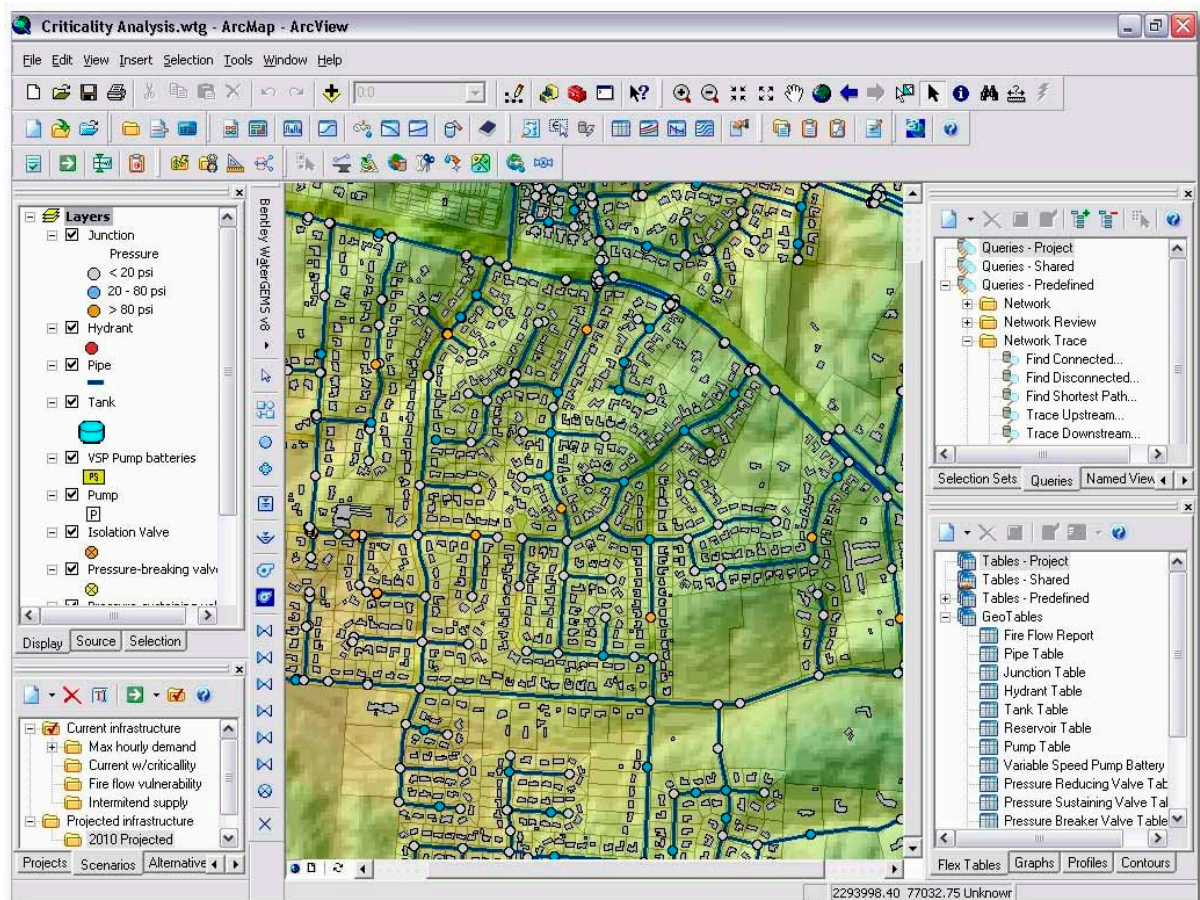
## 6.2 WaterCAD

Το WaterCAD είναι λογισμικό για την επίλυση προβλημάτων ροής και πίεσης στις σωλήνες των δικτύων ύδρευσης με κάποιες βελτιώσεις στις εξής κατηγορίες:

- Διαχείριση σεναρίων
- Ανάλυση της ροής σε περιπτώσεις πυρκαγιάς
- Μεταβλητή ταχύτητα αντλιών
- Καμπύλες λειτουργίας του συστήματος
- Ανάλυση του κόστους κατασκευής
- Ανάλυση του ενεργειακού κόστους

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

- Άθροισμα των μετρήσεων ροής
- Εισαγωγή και εξαγωγή δεδομένων από ένα εύρος πηγών
- Σύνδεση με περιβάλλον CAD
- Εισαγωγή υψομέτρων από το AutoCAD
- Εξαγωγή δεδομένων σε μη σταθερή ροή
- Δυνατότητα του χρήστη να επιλέξει δεδομένα
- Ευέλικτες μονάδες μέτρησης



Εικόνα 6.3. WaterCAD software tool (52)

Το WaterCAD μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε αυτοτελές είτε σε συνδυασμό με το AutoCAD. Το WaterGEM είναι ένα ευρύτερο εργαλείο που ενσωματώνει τις λειτουργίες του WaterCAD και επιπρόσθετα:

- ❖ Δυνατότητα εκτέλεσης του μοντέλου με χρήση του ArcGIS
- ❖ Εισαγωγή χωρικών (GIS) δεδομένων ώστε αυτόματα να αναπτυχθεί το μοντέλο
- ❖ Αυτόματος χωρισμός του δικτύου
- ❖ Δυνατότητα ανάπτυξης μοντελων ζήτησης από δεδομένα (χωρικά κ.ά.)

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

- ❖ Παράμετρος Darwin για τη ρύθμιση του μοντέλου
- ❖ Παράμετρος Darwin για την αυτοματοποιημένη διαστασιολόγηση των σωλήνων και επιδιόρθωσή τους
- ❖ Απόσπαση υψομετρικών δεδομένων από μοντέλα ψηφιακών υψομέτρων

Οι κυριότερες διαφορές ανάμεσα στο WaterGEM και στο WaterCAD είναι:

### 1) Σχεδιασμός της ανανέωσης των σωλήνων

Το συγκεκριμένο εργαλείο ιεραρχεί τις σωλήνες με βάση την απόδοσή τους (χωρητικότητα σωλήνας, ιστορικό αστοχιών, και κρίσιμα τμήμα σωλήνων) και προερατικά πληροφορίες όπως το υλικό, η τοποθεσία, το έτος που τοποθετήθηκαν στο έδαφος) προκειμένου να επιλεγθούν οι πιο κρίσιμες σωλήνες για παρακολούθηση για μετέπειτα αντικατάσταση.

### 2) Σχεδιασμός Darwin

Το WaterGEM επιτρέπει την εισαγωγή περιορισμών, τις διαθέσιμες διαστάσεις των σωλήνων, και τα σχετικά κόστη ώστε να τρέξει αυτόματα η χειροκίνητα το σχεδιασμό. Η μεθοδολογία με τη χρήση γενετικών αλγορίθμων αξιολογεί εκατοντάδες χιλιάδες στρατηγικές σχεδιασμού και επιδιόρθωσης βασιζόμενη σε τρεις στόχους: την ελαχιστοποίηση του κόστους, τη μεγιστοποίηση του οφέλους ή πολλαπλούς στόχους ταυτόχρονα

### 3) Ρύθμιση (Calibration) Darwin

Έρεση των βέλτιστων τιμών για κάθε συνδυασμό των παραμέτρων του συστήματος, όπως η ζήτηση σε κάθε κόμβο και οι επιχειρησιακή κατάσταση των σωλήνων που ταιριάζουν στις απαιτήσεις ενός πραγματικού δικτύου. Η παράμετρος Darwin είναι αποτελεσματική στην πρόβλεψη των πιο πιθανών περιοχών με κρυμμένες διαροές χρησιμοποιώντας μια αποτελεσματική μέθοδο γενετικών αλγορίθμων.

### 4) Προγραμματισμός Darwin

Έρεση της βέλτιστης λειτουργίας των αντλιών είτε για σταθερές είτε μεταβλητές ταχύτητες λειτουργίας τους, βελτιστοποίηση της χρήσης των αντλιών ώστε να μειωθεί η ενέργεια στο σύστημα και να μειωθεί το λειτουργικό κόστος.

### 5) Skelebrator

Το εργαλείο Skelebrator αυτόματα μειώνει τη πολυπλοκότητα του δικτύου και ταυτόχρονα διατηρεί τη συνδεσιμότητα του δικτύου, το υδραυλικό ισοδύναμο, και ενακατανείμει τη ζήτηση με βάση τις επιλεγμένες συγκεκριμενοποιήσεις.

### 6) Συνδεσιμότητα με το σύστημα δεδομένων SCADA

Απευθείας σύνδεση του μοντέλου με το σύστημα δεδομένων SCADA για την ευκολότερη ρύθμιση ενός μεγάλου αριθμού παραμέτρων με βάση τις πραγματικές συνθήκες, εφαρμογή σε πραγματικές καταστάσεις και υπολογισμός της ζήτησης με βάση μετρήσεις της ροής οι οποίες βρίσκονται στο σύστημα SCADA.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

Το WaterGEM μπορεί να αγοραστεί είτε αυτούσιο είτε με δυνατότητα να ενσωματώσει την εφαρμογή AutoCAD. Το WaterCAD δεν έχει τη δυνατότητα να ενσωματώσει την εφαρμογή ArcGIS και τα παραπάνω 6 εργαλεία.

**1. Ease of use**

	EPANET	WaterCAD	WaterGEMS
Model Layout / Data Entry	●	●	●
Graphs	●	●	●
Tabular Reports	●	●	●
Profiles	●	●	●
Contours	●	●	●
Element Symbology	●	●	●
Pressure Zone Manager	●	●	●
Network Navigator	●	●	●
Export to Google Earth	●	●*	●**

\* Available in the MicroStation platform only  
 \*\* Available in MicroStation and ArcGIS platforms

● Available    ● Limited    ● Not Available

Εικόνα 6.4. Ευκολία χρήσης EPANET, WaterCAD & WaterGEMS (52)



**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

## Κεφάλαιο 7: Περιοχή μελέτης

### 7.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Το Άργος Ορεστικό είναι κωμόπολη στην Περιφερειακή Ενότητα Καστοριάς. Ο πληθυσμός του είναι 7.473 κάτοικοι, η έκταση του 212 τετραγωνικά χιλιόμετρα, κτισμένο σε υψόμετρο 600 μ.



Εικόνα 7.1 Τοποθεσία Άργους Ορεστικού

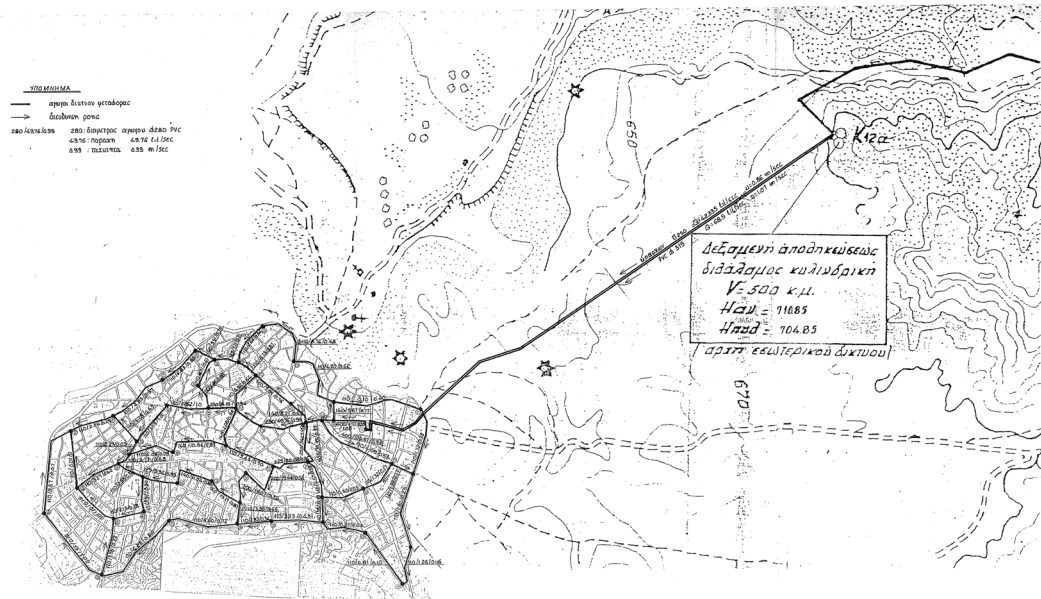
Ο Δήμος Άργους Ορεστικού παρέχει νερό κατάλληλο για πόση σύμφωνα με τις ισχύουσες στην Ελλάδα προδιαγραφές. Με τις αριθ. 189/2011 και 140/2012 αποφάσεις του, καθόρισε τον κανονισμό που αφορά γενικά τους όρους παρακολούθησης ποιότητας πόσιμου ύδατος, λειτουργίας συστημάτων ύδρευσης και λήψης μέτρων για την προστασία της δημόσιας υγείας της περιοχής αρμοδιότητας του Δήμου Άργους Ορεστικού, σύμφωνα με την Εθνική Νομοθεσία σε εναρμόνιση προς την Υ2/οικ. 2600/2001 ΚΥΑ (ΦΕΚ 892Β711-07-2001) για την «ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης» σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83 ΕΚ του συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3ης Νοεμβρίου 1998, όπως διορθώθηκε με την Υ2/3423 πράξη (ΦΕΚ 1082Βΐ 4-08-2001). Όπως τροποποιήθηκε με την ΔΥΓ/Π/οικ.38295 2007 (ΦΕΚ 630Β/26-04-2007) ΚΥΑ.

### 7.2 Το δίκτυο ύδρευσης του Άργους Ορεστικού

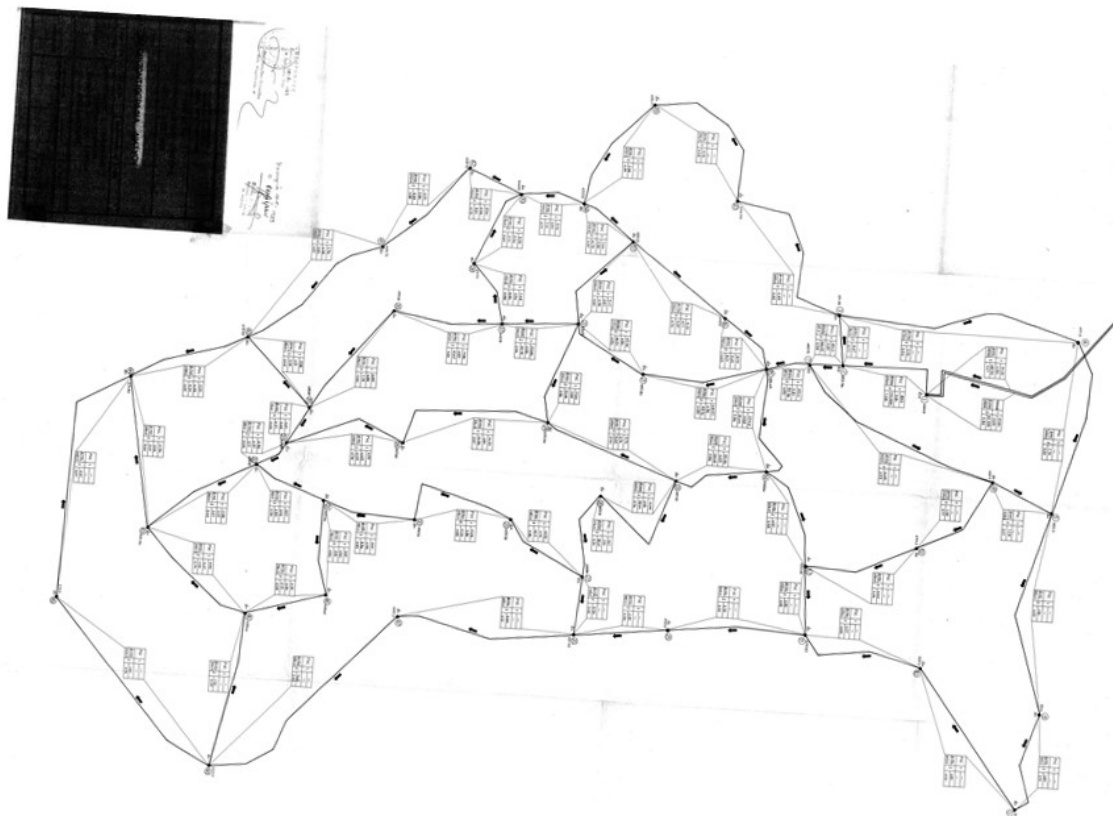
Η ύδρευση του Άργους Ορεστικού (Εικόνα 7.2) περιλαμβάνει ένα ενιαίο δίκτυο μεταφοράς του νερού, το οποίο και καλύπτει τα απαιτούμενα πιεζομετρικά φορτία σε ολόκληρη την περιοχή. Το δίκτυο λειτουργεί «κυκλοφοριακά», με τρόπο δλδ ώστε οι αγωγοί να σχηματίζουν κλειστούς βρόγχους, και κάθε σημείο του δικτύου να τροφοδοτείται με νερό από δύο διευθύνσεις. Ο σχεδιασμός του δικτύου ύδρευσης του Άργους Ορεστικού (Εικόνα 7.3) πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα σχεδίασης WaterCAD, χρησιμοποιώντας ως Background Layer τα σχέδια ύδρευσης της πόλης.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

Το δίκτυο αποτελείται από 1 ρεσερβουάρ και 1 υδατοδεξαμενή, 49 κόμβους, και 69 αγωγούς, των οποίων το συνολικό μήκος τους είναι 19.63 χιλιόμετρα. Η μέση πίεση του δικτύου ύδρευσης είναι 463.33 Kpa, ενώ αντίστοιχα η μέση παροχή είναι  $15.56 \text{ m}^3/\text{hr}$ . Στον Πίνακα 7.1 παρουσιάζονται τα ύψη των κόμβων, ενώ στον Πίνακα 7.2 η λίστα με τους αγωγούς, ο αρχικός και ο τελικός κόμβος καθώς και η διάμετρός τους. Το ύψος κυμαίνεται μεταξύ 628 και 665 μέτρα. Η διάμετρος των αγωγών είναι 110, 150 και 200 mm, ενώ το συνολικό μήκος αγωγών με την ίδια διάμετρο είναι 9.56, 2.63 και 7.44 χιλιόμετρα αντίστοιχα.



Εικόνα 7.2. Το δίκτυο ύδρευσης του Άργους Ορεστικού



Εικόνα 7.3. Σχεδιασμός δικτύου ύδρευσης

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

Πίνακας 7.1. Ύψη των κόμβων του δικτύου ύδρευσης

Κόμβος	Υψόμετρο (m)
J-91	665.09
J-69	660
J-66	647
J-62	645.81
J-61	634.48
J-58	655
J-57	655.25
J-56	650.31
J-55	657.8
J-54	655.63
J-53	629.75
J-52	628.52
J-51	646.5
J-50	653.9
J-49	650.17
J-48	654.5
J-47	651.66
J-45	653.5
J-44	653.15
J-41	659
J-40	660.3
J-39	660
J-38	661
J-37	663
J-36	662
J-33	659.54
J-32	655.58
J-31	659.83
J-30	660
J-29	661.42
J-28	655
J-27	646.56
J-26	655.85
J-25	659.8
J-24	653.1
J-23	657.3
J-22	655.5
J-21	647.6
J-20	637
J-19	639.87
J-18	635.39
J-17	635.85
J-16	635.87
J-15	632.66
J-13	632.5
J-12	635
J-11	645
J-10	631
J-9	631.8

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

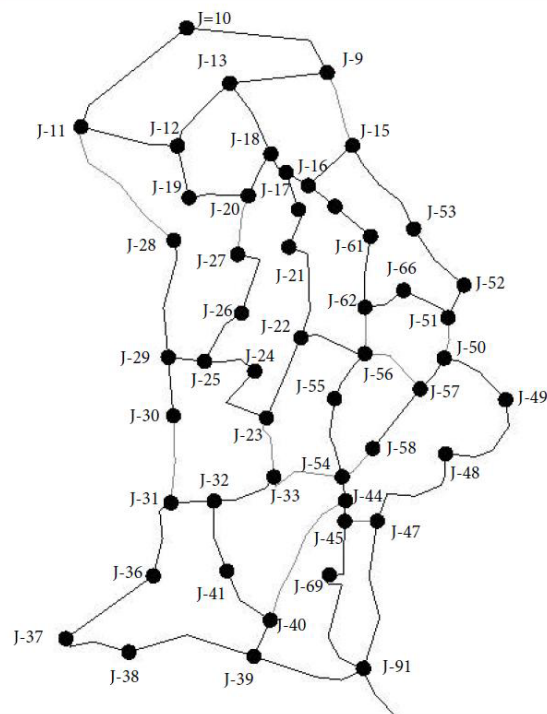
Πίνακας 7.2. Αγωγοί, αρχικός και τελικός κόμβος, μήκος και διάμετρος

Αγωγός	Αρχικός κόμβος	Τελικός κόμβος	Μήκος (m)	Διάμετρος (mm)
P-52	J-51	J-52	104.96	110
P-51	J-50	J-51	120.54	110
P-50	J-49	J-50	223.04	110
P-49	J-48	J-49	303.4	110
P-48	J-47	J-48	343.58	110
P-47	J-45	J-47	94.3	110
P-45	J-44	J-45	59.04	110
P-44	J-40	J-44	421.48	150
P-42	J-41	J-32	213.2	150
P-41	J-40	J-41	197.62	150
P-40	J-39	J-40	115.62	150
P-39	J-38	J-39	381.3	110
P-38	J-37	J-38	203.36	110
P-37	J-36	J-37	314.06	110
P-36	J-31	J-36	233.7	110
P-34	J-33	J-23	184.5	110
P-33	J-32	J-33	197.62	150
P-32	J-31	J-32	125.46	110
P-31	J-30	J-31	254.2	110
P-30	J-29	J-30	172.2	110
P-29	J-29	J-25	106.6	110
P-28	J-28	J-29	348.5	110
P-27	J-11	J-28	450.18	110
P-26	J-27	J-20	175.48	150
P-25	J-26	J-27	232.06	150
P-24	J-25	J-26	181.22	150
P-23	J-24	J-25	159.08	110
P-22	J-23	J-24	250.1	150
P-21	J-22	J-23	254.2	110
P-20	J-21	J-22	305.04	200
P-18	J-20	J-18	139.4	110
P-17	J-19	J-20	173.84	150
P-16	J-12	J-19	154.98	150
P-15	J-18	J-13	240.26	200
P-13	J-16	J-17	75.44	110
P-12	J-15	J-16	173.84	110
P-11	J-9	J-15	225.5	110
P-10	J-13	J-9	286.18	110
P-8	J-12	J-13	242.72	110
P-7	J-11	J-12	287.82	110
P-6	J-10	J-11	429.68	110
P-5	J-9	J-10	468.22	110
P-111	248-A	J-21	116.09	200
P-110	J-17	248-B	113.51	200
P-109	245-B	J-18	30.42	200
P-108	J-17	245-A	42.56	200
P-107	242-B	J-61	135.08	110
P-106	J-16	242-A	98.62	110
P-104	J-91	J-39	350	110
P-103	J-91	J-47	387	110
P-101	J-69	J-91	358.19	200
P-81	T-3	R-1	3000	200
P-74	J-45	J-69	195.16	200
P-70	J-54	J-33	236.16	150
P-69	J-66	J-51	155.8	110
P-68	J-62	J-66	126.28	110
P-66	J-56	J-22	196.8	200
P-65	J-62	J-56	136.12	110
P-64	J-61	J-62	207.46	110
P-62	J-57	J-50	113.98	110
P-60	J-58	J-54	125.46	110
P-59	J-57	J-58	222.22	110
P-58	J-56	J-57	205	110
P-57	J-55	J-56	159.9	200
P-56	J-54	J-55	224.68	200
P-54	J-53	J-15	307.5	110
P-53	J-52	J-53	222.22	110
P-3	J-54	J-44	85.23	150
P-6	J-91	T-3	2453	200

## Κεφάλαιο 8: Εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες με χρήση του WaterGEMS

### 8.1 Ανάπτυξη σεναρίων

Η απόδοση της υδροτουρμπίνας εξετάστηκε σε πραγματικές καταστάσεις στο Άργος Ορεστικό χρησιμοποιώντας το WaterGEM. Εξετάστηκαν 5 διαφορετικά σενάρια λαμβάνοντας κάθε φορά υπόψη την εξασφάλιση ελάχιστης πίεσης ώστε να ανταποκρίνεται σε συνθήκες έκτακτης λειτουργίας –πυρκαγιά- οπότε η απαιτούμενη πίεση είναι συνάρτηση της κατανάλωσης από τους πυροσβεστικούς κρουούς καθώς και τον περιορισμό μέγιστης πίεσης:



Εικόνα 8.1. Το δίκτυο ύδρευσης του Άργος Ορεστικού

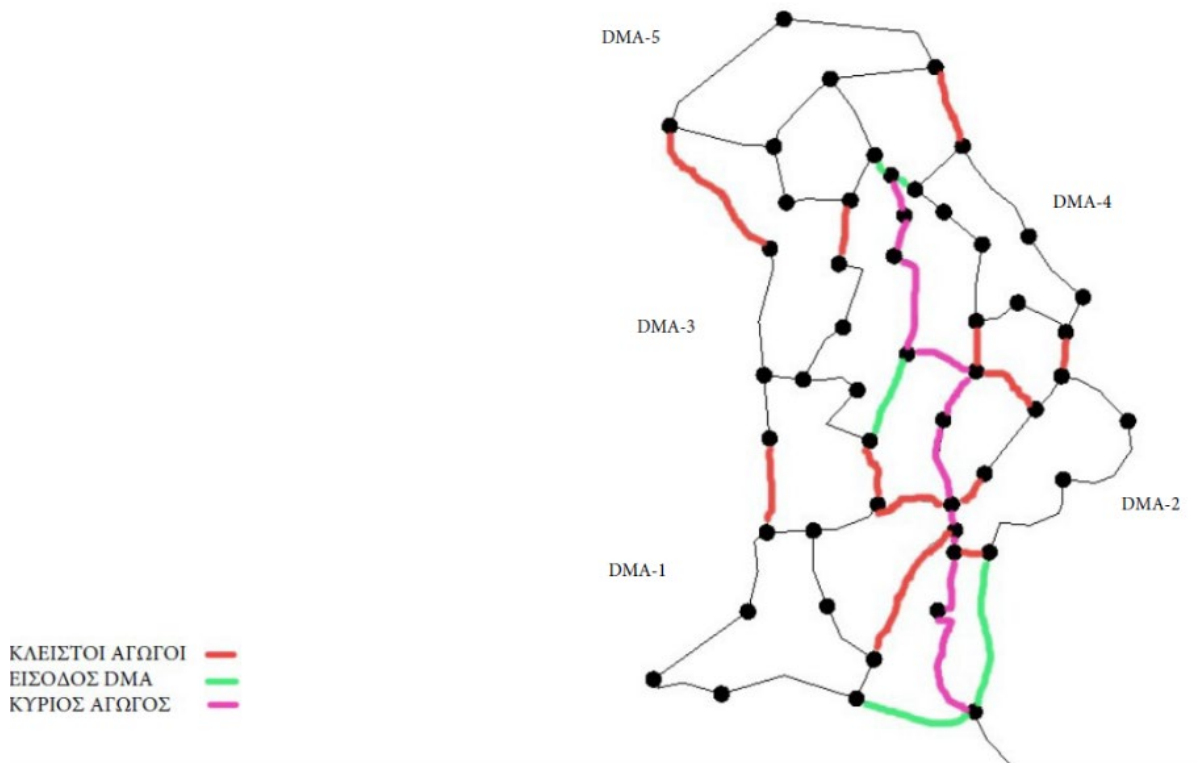
- 1) η πόλη χωρίς καμία παρέμβαση
- 2) η πόλη με μια τουρμπίνα στον κεντρικό της αγωγό
- 3) η πόλη χωρισμένη σε DMAs και τουρμπίνες στις εισόδους καθε DMA
- 4) η πόλη χωρίς DMA και με τουρμπίνες σε διάφορους αγωγούς του δικτύου
- 5) η πόλη χωρισμένη σε DMAs και βαλβίδες στις εισόδους απο καθε DMA.

Τα υδραυλικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση της κατάστασης και την ανάλυση σεναρίων επιτρέποντας την απεικόνιση των αποτελεσμάτων πριν και μετά τις παρεμβάσεις ώστε να εντοπιστούν οι κρίσιμες περιοχές πάνω στο χάρτη σε μικρό χρονικό διάστημα.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

Σε κάθε σενάριο ο χρόνος προσομοίωσης ήταν 48 ώρες. Για κάθε σενάριο, εντοπίστηκε ο κρίσιμος κόμβος. Ως κρίσιμος ως προς την πίεση κόμβος, χαρακτηρίζεται αυτός με την μικρότερη τιμή πίεσης. Στην συνέχεια εξετάστηκαν παράλληλα όλοι οι κρίσιμοι κόμβοι που ανιχνεύθηκαν σε όλα τα σενάρια.

Η Εικόνα 8.2 παρουσιάζει τη σύνοψη των 5 σεναρίων που εξετάστηκαν. Παρουσιάζονται οι τμηματοποιήσεις του δικτύου (DMAs), η θέση στην οποία τοποθετήθηκαν στις εισόδους τους οι τουρμπίνες, οι αγωγοί που έκλεισαν, καθώς και ο κεντρικός αγωγός.



Εικόνα 8.2. Τροποποίηση του δικτύου ύδρευσης του Άργος Ορεστικού για τα 5 σενάρια

Στα σενάρια που χρησιμοποιήθηκαν PATs (δηλαδή στα σενάρια 2, 3 και 4) προηγήθηκε η ρύθμιση των παραμέτρων της στο περιβάλλον του WaterGEM. Στην επόμενη ενότητα παρουσιάζονται οι ρυθμίσεις που πραγματοποιήθηκαν για τα 5 σενάρια.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

The screenshot shows the 'Properties - Turbine - TBN-4 (213)' window. The 'Transient (Physical)' section is highlighted with a red box. The properties are as follows:

Property	Value
ID	213
Label	TBN-4
Notes	
GIS-IDs	<Collection: 0 items>
Hyperlinks	<Collection: 0 items>
Downstream Pipe	P-104(2)
<b>&lt;Geometry&gt;</b>	
X (m)	973,38
Y (m)	3.861,22
<b>Active Topology</b>	
Is Active?	True
<b>Initial Settings</b>	
Status (Initial)	Open
<b>Physical</b>	
Elevation (m)	662,37
Installation Year	0
Zone	<None>
<b>Transient (Operational)</b>	
Time (Delay until \	0,0
Time For Valve To	0,0
Pattern (Gate Oper	Fixed
Operating Case	Instant Load Rejection
<b>Transient (Physical)</b>	
Diameter (Spheric	110,0
Efficiency (%)	90,0
Moment of Inertia (	1,000
Speed (Rotational)	700
Specific Speed	SI=115, US=30
Turbine Curve	<Collection: 4 items>
<b>Transient (Reporting)</b>	
Report Period (Tra	0
<b>Water Quality</b>	
Age (Initial) (hours	0,000
Concentration (Init	0,0
Trace (Initial) (%)	0,0
<b>Results</b>	
Controlled?	False
Flow (m³/h)	17
Headloss (m)	2,89
Hydraulic Grade (f	699,55
Hydraulic Grade (f	696,66
Pressure (From) (f	364
Pressure (To) (kPa	335
Flow (Absolute) (m	17
Alert Level (Ever)	None
Alert Level (Now)	None
Has Calculation M	False
Calculation Messa	<Collection: 0 items>

**Turbine Curve**  
Turbine Curve is only required for a steady run.  
For a transient run, HAMMER uses a 4-quadr...

Εικόνα 8.3. Ρύθμιση των παραμέτρων της PAT σε περιβάλλον WaterGEM

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

### 1° Σενάριο

Η υφιστάμενη κατάσταση προσομοιώθηκε χρησιμοποιώντας το WaterGEM, το status των αγωγών παρέμεινε αμετάβλητο, ενώ δεν τοποθετήθηκαν PRVs ή PATs.

### 2° Σενάριο

Η υφιστάμενη κατάσταση μεταβλήθηκε τοποθετώντας μια υδροτουρμπίνα στον κεντρικό αγωγό της. Τα στοιχεία που μελετήθηκαν ήταν:

- Η διάμετρος
- πίεση κόμβου πριν και μετά την PRV
- μέγιστη-μέση-ελάχιστη ροή
- διαφορά υψόμετρου κόμβων.

### 3° Σενάριο

Η πόλη διαιρέθηκε σε 5 DMAs και τοποθετήθηκαν τουρμπίνες στην είσοδο κάθετος. Για τη δημιουργία κάθε DMA επιλέχθηκε η ύπαρξη μίας μόνο εισόδου, ενώ για τους υπόλοιπους αγωγούς που θα μπορούσαν να λειτουργούν σαν εισοδοί, άλλαξε το status σε κλειστό. Βασικός περιορισμός για την επιλογή των αγωγών που κλείνουν είναι ότι πρώτον, δε συμπεριλαμβάνονται οι καταληκτικοί αγωγοί ώστε να τροφοδοτείται κανονικά το δίκτυο. Ο κύριος στόχος αποτελείται από τη μείωση της μέσης πίεσης σε κάθε DMA, και ταυτόχρονα η πίεση των κόμβων του δικτύου να μην πέφτει καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου προσομοίωσης κάτω από το όριο όπως αυτό ορίζεται από τον κανονισμό.

### 4° Σενάριο

Η πόλη χωρίς τμηματοποίηση σε DMA και με τουρμπίνες σε διαφορους αγωγούς του δικτύου. Σύμφωνα με τους ερευνητές που ασχολήθηκαν με τη μελέτη των αντλιών ως τουρμπίνες, ως πιθανά σημεία τοποθέτησης των PATs, προκειμένου να επιτευχθεί η ανάκτηση ενέργειας και η ρύθμιση της πίεσης του δικτύου, είναι τα σημεία, όπου βρίσκονται οι PRVs στο δίκτυο.

### 5° Σενάριο

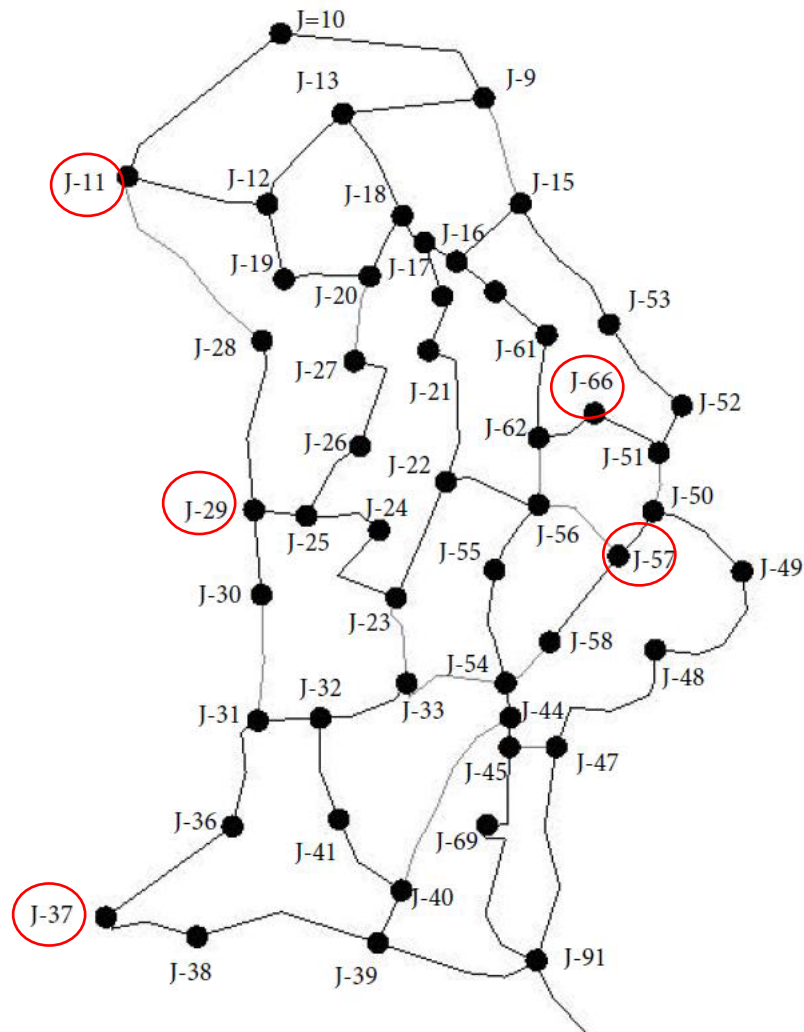
Το επόμενο στάδιο της μελέτης που πραγματοποιήθηκε ήταν η τοποθέτηση βαλβίδων μείωσης πίεσης στα σημεία σύνδεσης των DMAs για την επίτευξη μεγαλύτερης οικονομίας και βελτιστοποίησης του δικτύου. Η πόλη είναι χωρισμένη σε πέντε DMA (όπως και στο 3° σενάριο) και τοποθετούνται PRVs στις εισόδους κάθε DMA (Εικόνα 8.2).

## 8.2 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα πέντε διαφορετικά σενάρια. Συνολικά, έχουμε πέντε κρίσιμους από πλευρά πίεσεως, με έναν να αντιστοιχεί σε κάθε DMA (Εικόνα 8.4 & Πίνακας 8.1)



**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.



Εικόνα 8.4 Οι κρίσιμοι κόμβοι του δικτύου

Πίνακας 8.1 Κρίσιμος κόμβος σε κάθε DMA

Κόμβος	DMA
J-37	DMA 1
J-57	DMA 2
J-29	DMA 3
J-66	DMA 4
J-11	DMA 5

Στον Πίνακα 8.2 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές της πίεσης (Kpa) για τους κρίσιμους κόμβους και για όλο το δίκτυο κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Η μέση πίεση διατηρείται πάνω από 200 Kpa για όλους τους κρίσιμους κόμβους. Η χαμηλότερη μέση τιμή της πίεσης παρατηρείται για όλο το δίκτυο στο σενάριο 2, ενώ οι τιμές στα σενάρια 1, 3, και 4 είναι κοντινές.

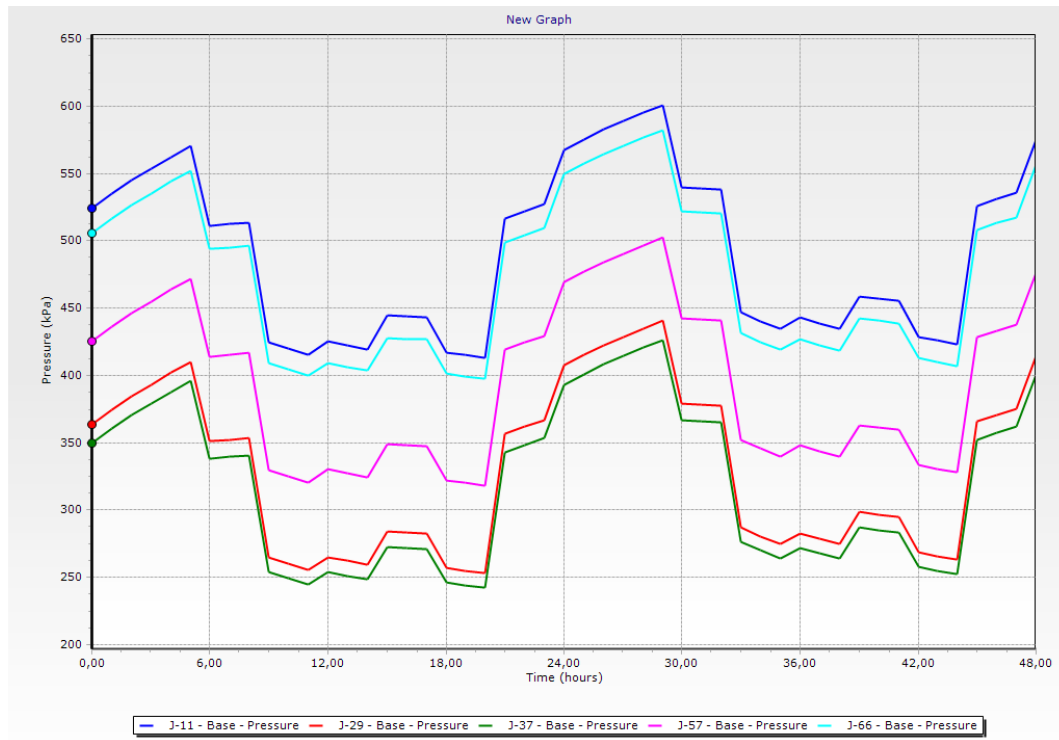
Πίνακας 8.2 Μέση πίεση κατά τη περίοδο προσομοίωσης για το δίκτυο και τους κρίσιμους κόμβους

Σενάριο	1	2	3	4	5
Δίκτυο	463.33	282.03	425.14	447.36	301.85
J-37	318.89	137.65	282.61	301.65	210

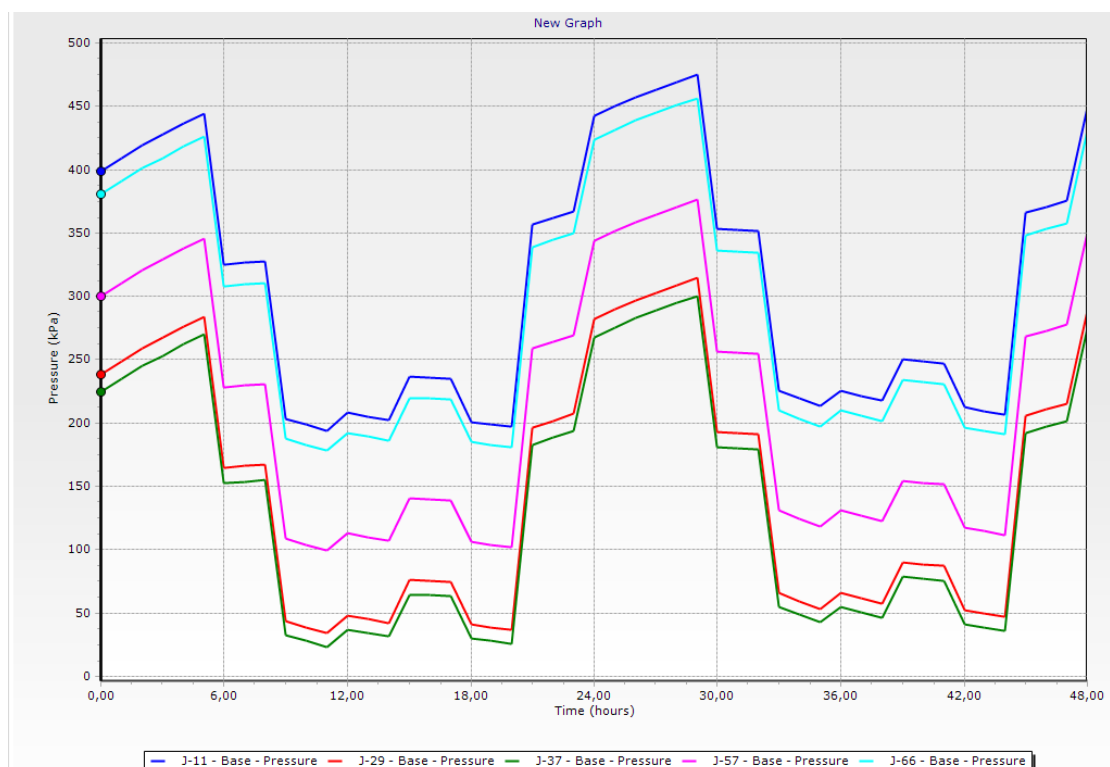
**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

<b>J-57</b>	394.16	213	388.46	380.91	211
<b>J-29</b>	330.5	149.89	254.65	310.02	202.32
<b>J-66</b>	473.64	293.12	429.75	459.04	209.2
<b>J-11</b>	490.66	310.08	417.53	468	207.38

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι πιέσεις για τους κρίσιμους κόμβους κατά τη διάρκεια της 48ωρης προσομοίωσης (Εικόνες 8.5-8.9)

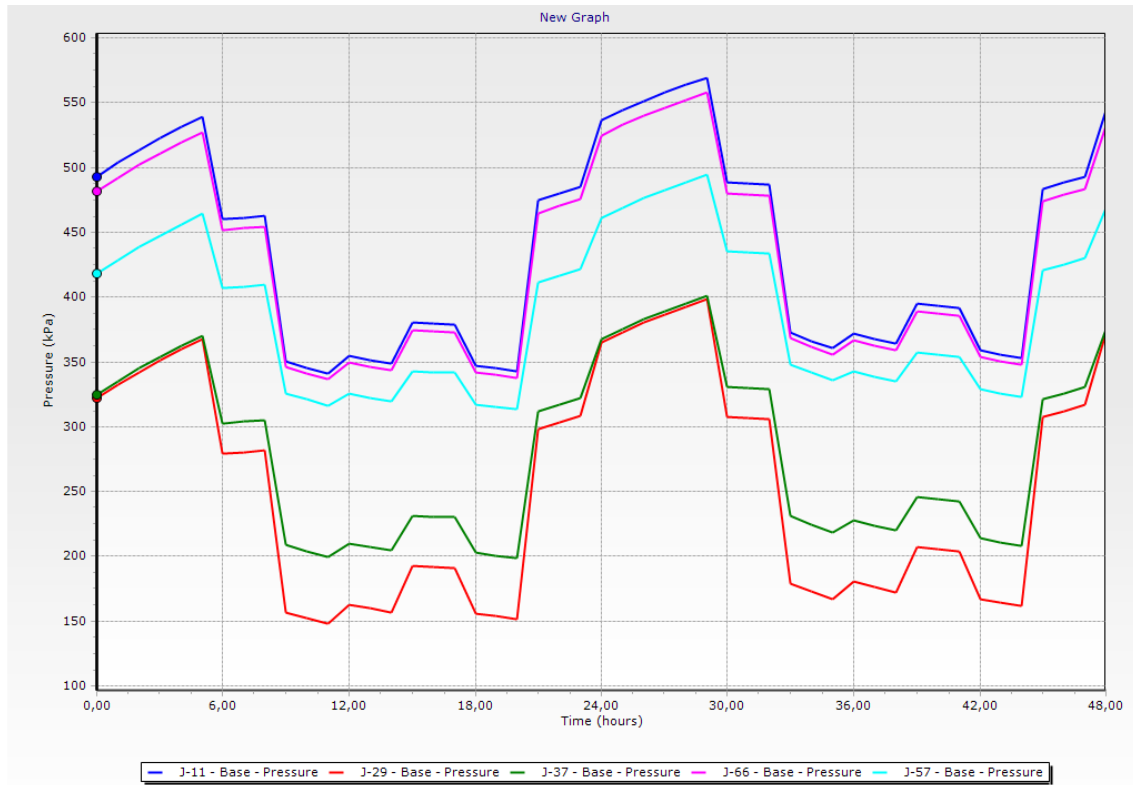


Εικόνα 8.5 Η πίεση στους κρίσιμους κόμβους του δικτύου κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, σενάριο 1

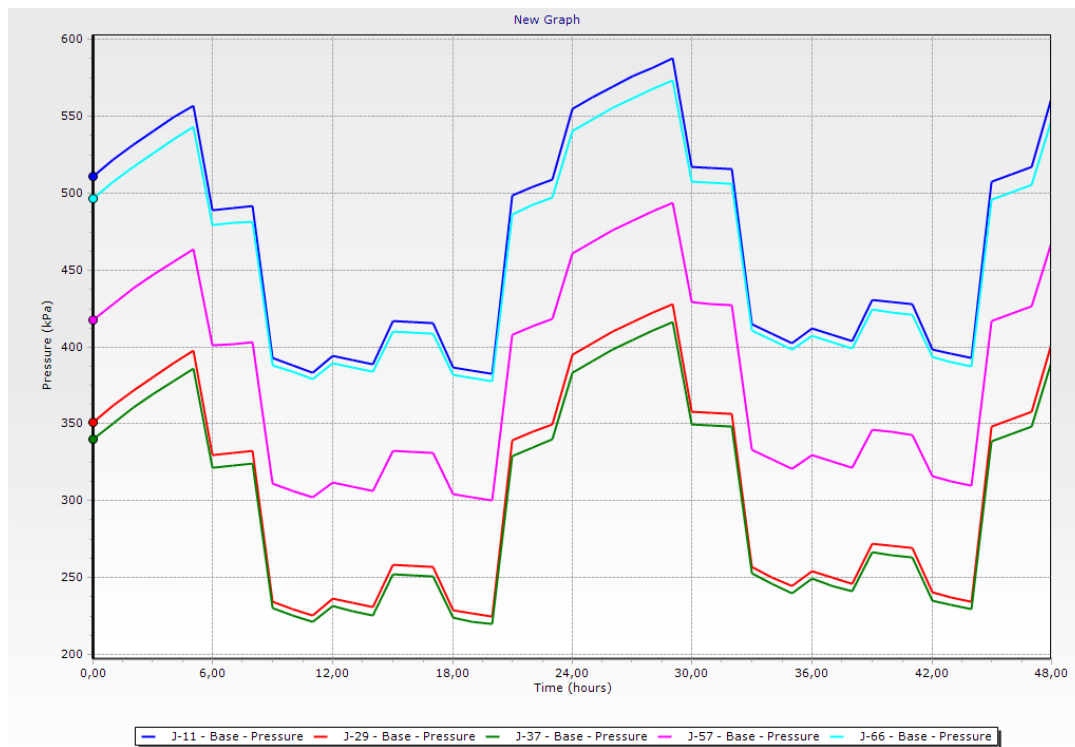


**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

Εικόνα 8.6 Η πίεση στους κρίσιμους κόμβους του δικτύου κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, σενάριο 2

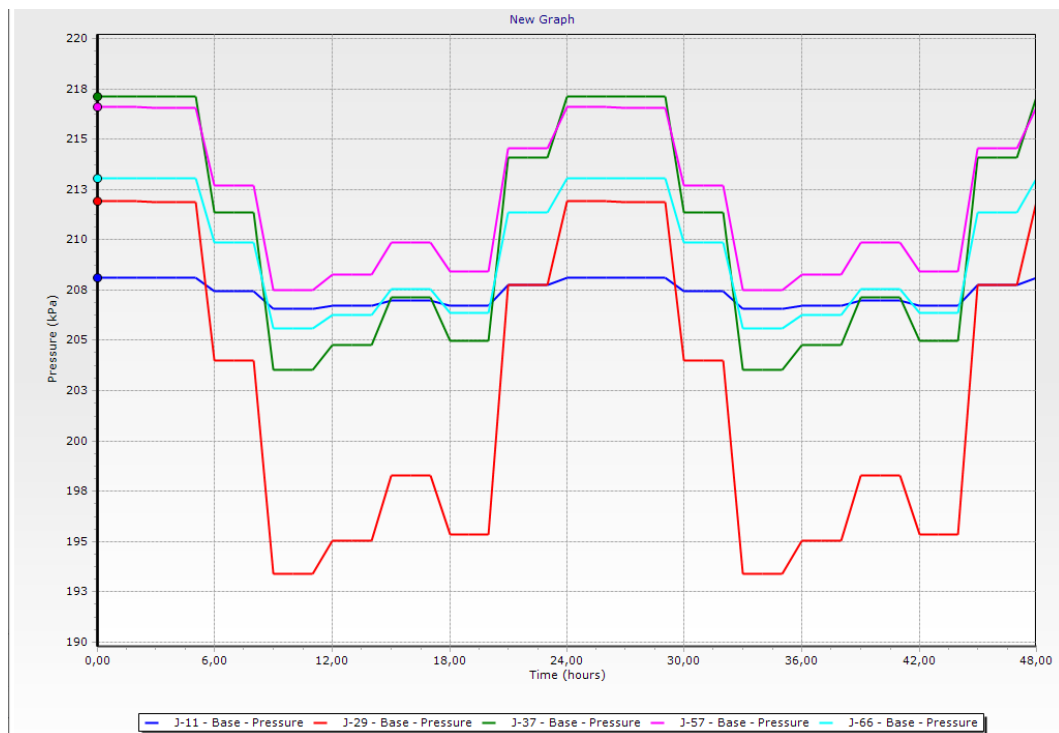


Εικόνα 8.7 Η πίεση στους κρίσιμους κόμβους του δικτύου κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, σενάριο 3



Εικόνα 8.8 Η πίεση στους κρίσιμους κόμβους του δικτύου κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, σενάριο 4

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.



Εικόνα 8.9 Η πίεση στους κρίσιμους κόμβους του δικτύου κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, σενάριο 5

Στο 1<sup>ο</sup> σενάριο, χωρίς καμία παρέμβαση, η πίεση βρίσκεται πάνω από το αποδεκτό όριο (200 kPa) για όλους τους κρίσιμους κόμβους.

Στο 2<sup>ο</sup> σενάριο, παρατηρείται μια σημαντική πτώση κάτω από το όριο για τους κόμβους J29, J37 και J57, ενώ οριακά μη αποδεκτή είναι για τον J66

Στο 3<sup>ο</sup> σενάριο, η πίεση είναι κάτω από το αποδεκτό όριο μόνο για τον κόμβο J29

Στο 4<sup>ο</sup> σενάριο, δεν παρατηρείται πτώση της πίεσης κάτω από το όριο για κανέναν από τους κρίσιμους κόμβους.

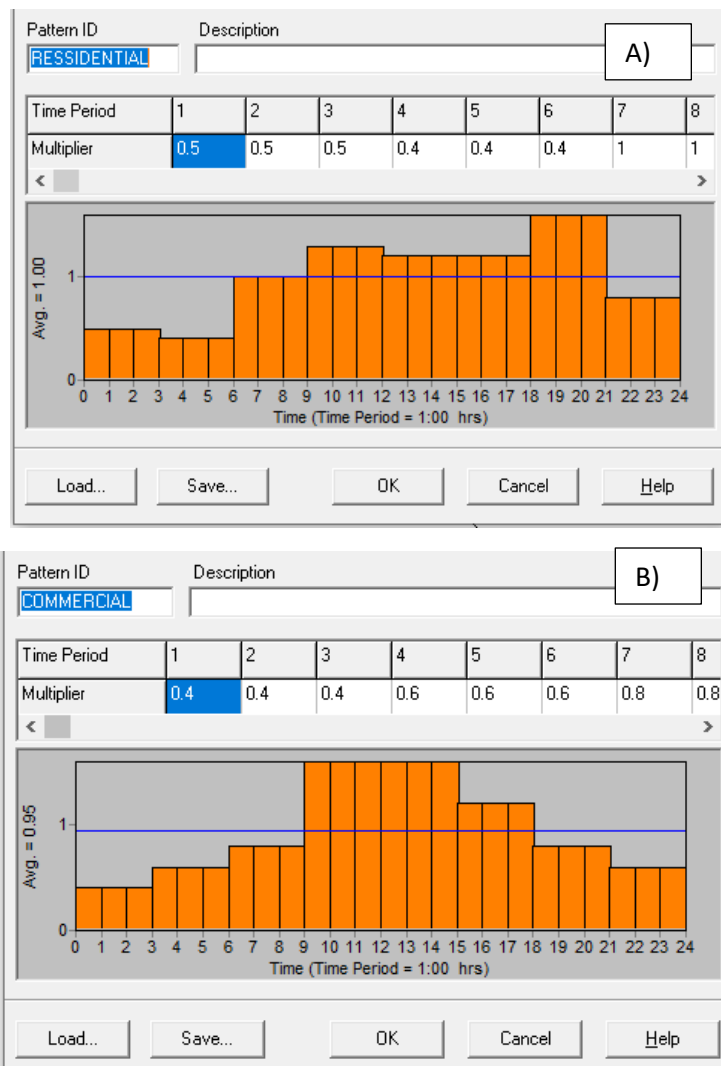
Στο 5<sup>ο</sup> σενάριο, υπάρχει μια οριακή κάτω από το όριο πτώση για τον κόμβο J29 για ένα μικρό χρονικό διάστημα.

Η πτώση της πίεσης σε όλα τα σενάρια συμπίπτει χρονικά με τη μεγιστοποίηση της ζήτησης (Εικόνα 8.10).

Η τάση της πίεσης επαναλαμβάνεται δύο φορές κατά τη διάρκεια της 48ωρης προσομοίωσης με διαφορά, περίπου 24 ώρες (η καμπύλη της ζήτησης παραμένει αμετάβλητη για τις δυο μέρες). Η πίεση σε ένα δίκτυο είναι ελάχιστη όταν η ροή είναι μέγιστη και συμπίπτει με τη μέγιστη ζήτηση, ενώ είναι μέγιστη όταν η ζήτηση είναι ελάχιστη, συνήθως τη νύχτα όταν οι περισσότεροι καταναλωτές κοιμούνται και οι περισσότερες βιομηχανίες δεν λειτουργούν.

Στα σενάρια 2, 3, και 5 συμπίπτει ο κόμβο J29, να βρίσκεται (είτε οριακά είτε σημαντικά) κάτω από το επιτρεπτό όριο. Τα σενάρια 3 και 5 παρουσιάζουν για το συγκεκριμένο κόμβο παρόμοια τάση, η παρέμβαση που έχει γίνει διαφέρει μόνο στην τοποθέτηση PRV έναντι έναντι PAT με όλες τις άλλες παραμέτρους ίδιες.

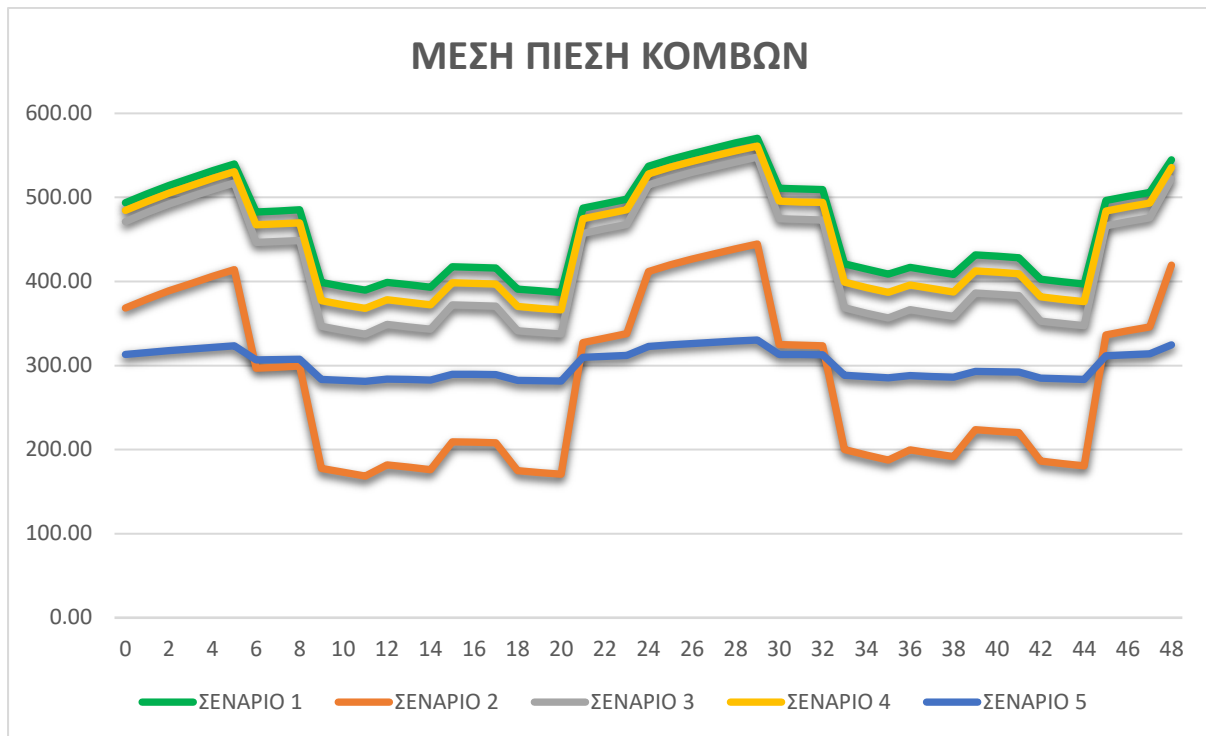
**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.



Εικόνα 8.10 Διάγραμμα ζήτησης (α) οικιακής και (β) επαγγελματικής κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου

Όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.11, η μέση πίεση του δικτύου πέφτει σημαντικά (με εξαίρεση το 5<sup>ο</sup> σενάριο), όταν αυξάνει σημαντικά η ζήτηση. Η μεγαλύτερη πτώση παρουσιάζεται για στο 2<sup>ο</sup> σενάριο, όπου μέη πίεση όλου του δικτύου βρίσκεται κάτω από το επιτρεπόμενο όριο των 200 Κρα.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.



Εικόνα 8.11 Διάγραμμα μέσης πίεσης όλων των κόμβων για τα 5 σενάρια

## Κεφάλαιο 9: Τεχνικό Εγχειρίδιο για Τουρμπίνες

### 9.1 Εφαρμογή μοντελοποίησης σε τουρμπίνες

#### Σύνοψη

Το εγχειρίδιο παρέχει μια περιγραφή της μοντελοποίησης των τουρμπίνων στο πρόγραμμα HAMMER της εταιρίας Bentley, για εφαρμογές στο τομέα της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με τη μοντελοποίηση της ανάκτησης ενέργειας στο WaterCAD ή στο WaterGEMS, παρέχονται στο εγχειρίδιο “Χρήση των εργαλείων ενεργειακού κόστους και διαχείρισης ενέργειας σεναρίων στο WaterGEMS και στο WaterCAD”.

#### Υπόβαθρο

Οι τουρμπίνες χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της πιθανής διαθέσιμης ενέργειας του ρέοντος νερού σε ηλεκτρική ενέργεια. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας (πχ. φράγματα), ή μικρής κλίμακας, (πχ. ανάκτηση ενέργειας στην κατάντη πλευρά ενός λόφου). Δεδομένης της σημασίας των τουρμπίνων σε τέτοιου είδους συστήματα, είναι σημαντικό ο σχεδιαστής να προβλέψει τις μεταβαλλόμενες πιέσεις που ενδέχεται να αναπτυχθούν και να εφαρμόσει μια κατάλληλη στρατηγική ελέγχου της αύξησης για να εξασφαλίσει την ασφαλή και αξιόπιστη λειτουργία του στροβίλου.

Η εφαρμογή HAMMER μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μοντελοποίηση μεταβαλλόμενων προσομοιώσεων όπου περιλαμβάνονται τουρμπίνες καθώς και για την ανάλυση πιθανών προστατευτικών μέτρων με στόχο τον μετριασμό των επιπτώσεων των μεταβαλλόμενων συμβάντων.

#### Τουρμπίνες στην εφαρμογή HAMMER

Οι τουρμπίνες υδροηλεκτρικής ενέργειας βρίσκονται στο κατάντη άκρο ενός αγωγού ώστε να απορροφήσουν την ενέργεια του κινούμενου νερού και να την μετατρέψουν σε ηλεκτρικό ρεύμα. Εννοιολογικά, μία τουρμπίνα είναι το αντίστροφο μιας αντλίας, αλλά πολύ λίγες αντλίες ή τουρμπίνες μπορούν να λειτουργήσουν και με τους δύο τρόπους χωρίς προβλήματα.

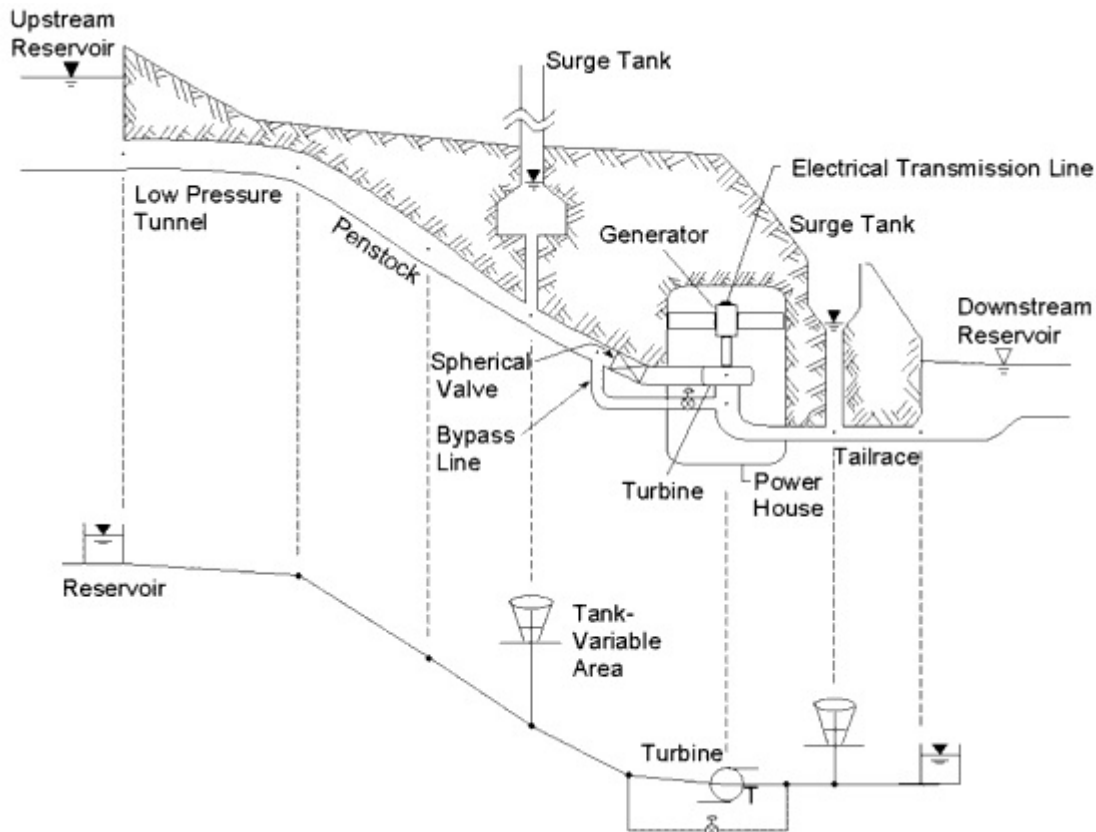
Εάν απορριφθεί το ηλεκτρικό φορτίο που παράγεται από μια τουρμπίνα, μια πύλη-θυρίδα (η οποία είναι ενσωματωμένη στο στοιχείο της τουρμπίνας HAMMER) πρέπει να σταματήσει γρήγορα τη ροή, με αποτέλεσμα τη μεγάλη αύξηση της πίεσης, η οποία μεταφέρεται στη συνέχεια προς τα πάνω.

Σημείωση: Η εφαρμογή HAMMER προς το παρόν δεν υποστηρίζει τη μοντελοποίηση ενός στοιχείου αντλίας-τουρμπίνας.

Ο πρωταρχικός σκοπός των μεταβαλλόμενων προσομοιώσεων με τουρμπίνες είναι να αναζητηθούν τρόποι προστασίας του συστήματος από ταχείες αλλαγές στα ηλεκτρικά και / ή υδραυλικά εξαρτήματα του υδροηλεκτρικού συστήματος. Σε κάθε περίπτωση, οι υδραυλικές μεταβολές προκύπτουν από αλλαγές στις μεταβλητές που ελέγχονται από τον διαχειριστή.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

Το ηλεκτρικό φορτίο ή η ροπή στο σύστημα γεννήτριας της τουρμπίνας διαφοροποιείται ανάλογα με το ηλεκτρικό φορτίο στο δίκτυο διανομής. Σε λειτουργία σταθερής κατάστασης, η ηλεκτρική ροπή και η υδραυλική ροπή βρίσκονται σε δυναμική ισορροπία. Από υδραυλική σκοπιά, η ηλεκτρική ροπή αποτελεί ένα εξωτερικό φορτίο στην τουρμπίνα.



Εικόνα 9.1 Λειτουργία της τουρμπίνας στο δίκτυο ύδρευσης

Η στιγμή της αδράνειας λαμβάνεται υπόψη σε αυτό το σημείο, καθώς μπορεί να επηρεάσει τον ρυθμό με τον οποίο η τουρμπίνα επιταχύνεται ή επιβραδύνεται. Στη συνέχεια αναλύεται ο τρόπος υπολογισμού της ταχύτητας του στροβίλου από τον HAMMER

### Τιμή της αδράνειας σε μια τουρμπίνα. Χρήση $WR^2$ ή $GD^2$ ?

Η ροπή αδράνειας στο HAMMER υπολογίζεται από την εξίσωση  $WR^2$ , όπου το  $W$  είναι το βάρος του στροβίλου και το  $R$  είναι η "ακτίνα περιστροφής" (όχι η ακτίνα του στροφείου).

Η ροπή αδράνειας σχετίζεται με τη ροπή μέσω της ακόλουθης εξίσωσης:

$$I \cdot \frac{d\omega}{dt} = M \quad (\text{Εξίσωση 9.1})$$

όπου:

$I$  η τιμή της αδράνειας (σταθερό μέγεθος)

$\omega$  είναι ο ρυθμός περιστροφής της τουρμπίνας (μετριέται σε ακτίνια ανά δευτερόλεπτο)

$\frac{d\omega}{dt}$  είναι ο ρυθμός μεταβολής ( $\omega$ μέγα) με την πάροδο του χρόνου (ακτίνια ανά δευτερόλεπτο ανά δευτερόλεπτο)



---

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

**M** είναι η καθαρή ροπή που εφαρμόζεται στην τουρμπίνα (δηλαδή, η διαφορά μεταξύ της ροπής από το νερό που περιστρέφει τον στρόβιλο και της ροπής από τη γεννήτρια στην οποία συνδέεται η τουρμπίνα).

Όταν ισχύει η συνθήκη  $M = 0$ , τότε η υδραυλική και ηλεκτρική ροπή είναι ισορροπημένες και η ταχύτητα του στρόβιλου δεν μεταβάλλεται ( $dw / dt = 0$ )

Σε περίπτωση που η ηλεκτρική ροπή πέσει στο μηδέν, (πχ σε περίπτωση λειτουργίας απόρριψης φορτίου), τότε η καθαρή ροπή  $M$  γίνεται μεγαλύτερη από το μηδέν και η τουρμπίνα αρχίζει να επιταχύνει. Η επιτάχυνση θα είναι γρηγορότερη εάν έχει μια μικρή στιγμή αδράνειας και θα επιταχυνθεί λιγότερο γρήγορα εάν έχει μια μεγάλη στιγμή αδράνειας.

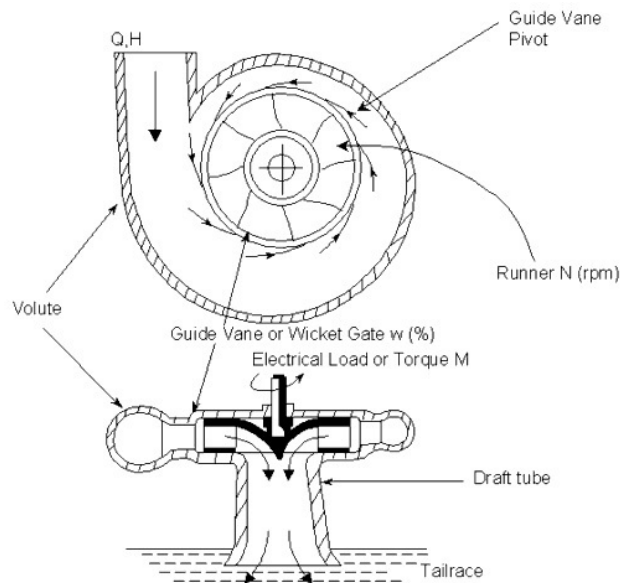
Η ταχύτητα είναι μια άλλη πιθανή μεταβλητή ελέγχου για αριθμητικές προσομοιώσεις. Για τις τουρμπίνες, ωστόσο, ο διαχειριστής διατηρεί την τουρμπίνα σε σύγχρονη ταχύτητα μεταβάλλοντας τη θέση της πύλης-θυρίδας κατά τη μεταβολή του φορτίου. Σε περίπτωση που δεδομένα πεδίου είναι διαθέσιμα, η ταχύτητα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να προσδιοριστεί εάν το μοντέλο προσομοιώνει τη σωστή ροή και τις πιέσεις.

Μόλις γίνουν γνωστές οι χρονικά μεταβαλλόμενες θέσεις της ηλεκτρικής ροπής και πύλης-θυρίδας, το HAMMER επιλύει τη ροή ( $Q$ ), και την ταχύτητα περιστροφής ( $N$ ), σε συνδυασμό με τις χαρακτηριστικές καμπύλες της τουρμπίνας. Η επίλυση αποδίδει τις μεταβαλλόμενες πιέσεις σε περίπτωση απόρριψης φορτίου, αποδοχής φορτίου, τερματισμού έκτακτης ανάγκης, σφάλμα χειριστή ή αστοχία του εξοπλισμού.

Τρόπος υπολογισμού της αλλαγής ταχύτητας. Κατά τη μεταβατική προσομοίωση, οι καμπύλες απόδοσης της τουρμπίνας επεκτείνονται μέσω των σχέσεων ομοιότητας κατά μήκος των καμπυλών σταθερής απόδοσης. Στην πραγματικότητα, με αυτόν τον τρόπο το HAMMER καλύπτει ολόκληρο το εύρος τιμών ταχύτητας, φορτίου, ροής και ισχύος για μια συγκεκριμένη θέση πύλης. Καθώς οι θέσεις πύλης αλλάζουν κατά την απόρριψη φορτίου, πραγματοποιείται παρεμβολή μεταξύ γειτονικών ανοιγμάτων πύλης εισόδου. Για απόρριψη φορτίου, η επιταχυνόμενη ροπή οδηγεί στην αύξηση της ταχύτητας περιστροφής που επιλύεται από τη δυναμική διατήρηση της γωνιακής εξίσωσης ορμής. Ταυτόχρονα, οι υδραυλικές μεταβολές μοντελοποιούνται μέσω της μεθόδου των χαρακτηριστικών. Συνοπτικά, ο κινητήρας συνδυάζει όλες τις προηγούμενες - εκτεταμένες καμπύλες σε όλες τις θέσεις της πύλης, αύξηση ταχύτητας περιστροφής, αύξηση φορτίου κ.ά. - και αντιπροσωπεύει τη μεταβλητή συμπεριφορά της τουρμπίνας.

Σημείωση: Το στοιχείο τουρμπίνας στο HAMMER δεν χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση των στρόβιλων. Οι παροδικές μεταβολές που προκαλούνται από τις τουρμπίνες προσομοιώνονται στο HAMMER χρησιμοποιώντας μια βαλβίδα ελέγχου  $\varsigma$  (TCV) ή ένα στοιχείο εκφόρτισης σε περιβάλλον για να αναπαριστά το ακροφύσιο της τουρμπίνας.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.



Εικόνα 9.2 Σχηματική μορφή της υδροτουρμπίνας

### Διαμόρφωση Draft Tube;

Στην Εικόνα 9.2 παρουσιάζεται ο σωλήνας αμέσως μετά τον στρόβιλο. Η μοντελοποίηση του σωλήνα μπορεί να γίνει με κατεύθυνση σε μια δεξαμενή, μερικές φορές με μια δεξαμενή υπερχειλίσας μεταξύ τους.

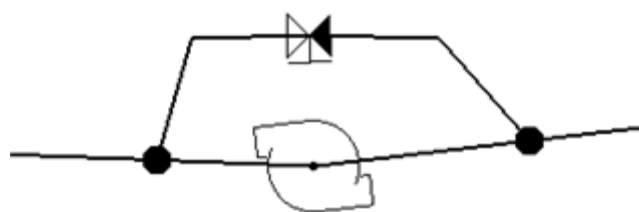
### Διαμόρφωση βαλβίδας παράκαμψης

Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο στρόβιλος μπορεί να έχει μια ενσωματωμένη "σύγχρονη βαλβίδα παράκαμψης" η οποία ανοίγει καθώς οι πύλες-θυρίδες κλείνουν, για να αποτρέψουν την καταστροφή των μεταβαλλόμενων πιέσεων.

Η μοντελοποίηση μπορεί να πραγματοποιηθεί με μια βαλβίδα Throttle Control Valve (TCV). Θα χρειαστεί να γίνει έλεγχος χειροκίνητα για το άνοιγμα και το κλείσιμο της βαλβίδας παράκαμψης χρησιμοποιώντας τους κανόνες λειτουργίας μιας βαλβίδας TCV. Στην Εικόνα 9.3 γίνεται μια απεικόνιση της διάταξης της βαλβίδας παράκαμψης:

Τα χαρακτηριστικά κλεισίματος της βαλβίδας TCV μπορούν να βασίζονται είτε σε συντελεστές headloss είτε σε συντελεστές εκφόρτισης.

Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τη μοντελοποίηση της βαλβίδας TCV, παρέχονται στο εγχειρίδιο "Αναφορά μοντέλου - Κλείσιμο βαλβίδων".



Εικόνα 9.3 Απεικόνιση της διάταξης της βαλβίδας παράκαμψης

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

Σε περίπτωση που χρειαστεί ένα μικρότερο χρονικό βήμα πρέπει να αποφεύγεται η υπερβολική ρύθμιση του μήκους ή της ταχύτητας κύματος των δύο κοντών σωλήνων που γειτνιάζουν με την τουρμπίνα και τη βαλβίδα TCV, εκτός εάν μπορούν να παρακαμφθούν τέτοιες ρυθμίσεις

Αν και η βαλβίδα παράκαμψης δύναται να βοηθήσει στη διατήρηση της κίνησης της στήλης νερού για να αποφευχθούν ζημιές εξαιτίας μεταβαλλόμενων πιέσεων, η ανάλυση στο HAMMER μπορεί να γίνει για επιβεβαίωση. Σε εξέταση του ενδεχόμενο μοντελοποίησης της περίπτωσης της βαλβίδα παράκαμψης που έχει κολλήσει, γίνεται να εκτιμηθεί τι θα συμβεί εάν δεν ανοίγει καθώς οι πύλες –θυρίδες κλείνουν.

## 9.2 Ιδιότητες της τουρμπίνας

**Χρόνος (Καθυστέρηση έως τη λειτουργία της βαλβίδα):** Η χρονική περίοδος που πρέπει να παρέλθει πριν ενεργοποιηθεί η σφαιρική βαλβίδα της τουρμπίνας. Ορίζεται μια μεγάλη τιμή εάν δεν επηρεάζει τη λειτουργία της τουρμπίνας.

**Χρόνος λειτουργίας της βαλβίδα:** Ο χρόνος που απαιτείται για τη λειτουργία της σφαιρικής βαλβίδα. Από προεπιλογή, ορίζεται ίσο με ένα βήμα. Ορίζεται μεγάλη τιμή εάν δεν επηρεάζει τη λειτουργία του στροβίλου.

**Μοτίβο (Ανοίγμα Πύλης):** Δίνεται η δυνατότητα ορισμού του κλεισίματος της πύλης θυρίδας με την πάροδο του χρόνου, μέσω της διαχείρισης των μοτίβων. Αποτελείται από τον πίνακα χρόνου έναντι του σχετικού ανοίγματος της πύλης. Το σχετικό άνοιγμα πύλης είναι το ποσοστιαίο (%) άνοιγμα της πύλης θυρίδας. Σε μια άμεση απόρριψη φορτίου, η πύλη θυρίδα θα αρχίσει να κλείνει στο χρόνο μηδέν (αμέσως μετά την απόρριψη φορτίου), αλλά μπορεί να εισαχθεί μια καθυστέρηση στην έναρξη του κλεισίματος ρυθμίζοντας το σχετικό άνοιγμα πύλης στο 100% στην πρώτη σειρά τον πίνακα (με τον αντίστοιχο χρόνο καθυστέρησης).

**Περίπτωση λειτουργίας:** Επιτρέπει την επιλογή μεταξύ των τεσσάρων πιθανών περιπτώσεων: Στιγμαία απόρριψη φορτίου, απόρριψη φόρτωσης (απαιτείται ροπή/φόρτωση έναντι πίνακα χρόνου), αποδοχή φόρτωσης και παραλλαγή φόρτωσης.

**Απόδοση:** Η απόδοση της τουρμπίνας εκφράζεται ως ποσοστό, το οποίο αποτυπώνεται συνήθως στις καμπύλες που παρέχονται από τον κατασκευαστή. Ένα τυπικό εύρος απόδοσης είναι 85% έως 95%, αλλά είναι δυνατές τιμές εκτός αυτού του εύρους.

**Διάμετρος (σφαιρική βαλβίδα):** Η διάμετρος της σφαιρικής βαλβίδα.

**Στιγμή αδράνειας:** Αυτή η τιμή θα αντιστοιχεί στην τουρμπίνας, τη γεννήτρια και κινούμενο νερό και συνήθως παρέχεται από τον κατασκευαστή. Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, η ροπή αδράνειας στην εφαρμογή HAMMER ορίζεται από την εξίσωση  $WR^2$ , όπου το W είναι το βάρος στην τουρμπίνα και το R είναι η ακτίνα περιστροφής.

**Ταχύτητα (Περιστροφή):** Η περιστροφή των πτερυγίων της τουρμπίνας εκφράζεται ανά μονάδα χρόνου, συνήθως ως περιστροφές ανά λεπτό. Η ισχύς που παράγεται από την τουρμπίνα εξαρτάται από αυτήν την τιμή.

---

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

**Συγκεκριμένη ταχύτητα:** Επιτρέπεται η επιλογή από μια λίστα διαθέσιμων συγκεκριμένων ταχυτήτων, που αντιπροσωπεύουν μια χαρακτηριστική καμπύλη που χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση του υδραυλικού συστήματος τη τουρμπίνας κατά τη μεταβατική προσομοίωση. Περιλαμβάνονται οι ακόλουθες προεπιλεγμένες συγκεκριμένες ταχύτητες: 30, 45 ή 60 (συνήθεις μονάδες στις Η.Π.Α.) και 115, 170 ή 230 (μονάδες μετρικού SI).

**Καμπύλη στροβίλου (turbine curve):** Αυτή η καμπύλη χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της ροής και του φορτίου της τουρμπίνας στον αρχικό υπολογισμό των συνθηκών, που αντιστοιχεί στην πλήρως ανοιχτή θέση της πύλης θυρίδας. Για μια προσωρινή εκτέλεση, η εφαρμογή HAMMER χρησιμοποιεί μια χαρακτηριστική καμπύλη βασισμένη στη συγκεκριμένη ταχύτητα, το ονομαστικό (αρχικό) φορτίο και την ονομαστική (αρχική) ροή.

**Ροή (Ονομαστική):** Δηλώνει τη ροή υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Ισχύει μόνο για την περίπτωση λειτουργίας "Load Acceptance".

**Φορτίο (Βαθμολογημένο):** Δηλώνει την απώλεια κεφαλής μέσω του στροβίλου υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, που αντιστοιχούν στην ονομαστική ροή. Ισχύει μόνο για την περίπτωση λειτουργίας "Load Acceptance".

**Ηλεκτρική καμπύλη ροπής:** Καθορίζει το χρόνο έναντι της εφαρμοζόμενης (ηλεκτρικής) απόκρισης ροπής για την τουρμπίνα. Ισχύει μόνο για την περίπτωση λειτουργίας απόρριψης της φόρτωσης.

### 9.3 Παράμετροι της τουρμπίνας

Αυτή η ενότητα παρέχει πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με τη διαμόρφωση των παραμέτρων στροβίλου της τουρμπίνας. Οι ακριβείς πληροφορίες που θα εισαχθούν θα ποικίλλουν ανάλογα με τον στρόβιλο και την υπόθεση μοντελοποίησης που χρησιμοποιείται.

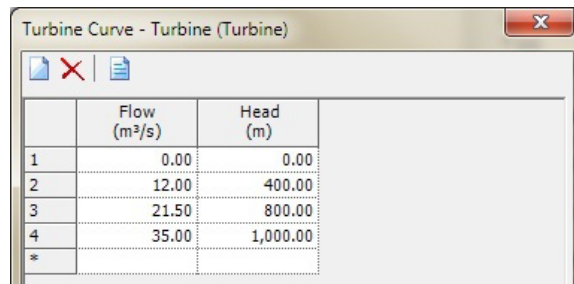
#### Διαμόρφωση αρχικών συνθηκών

Τα πεδία "Περίπτωση λειτουργίας" και "Μοτίβο (άνοιγμα πύλης)" συμβαδίζουν, και είναι η κύρια χρήση μοντελοποίησης για μια τουρμπίνα. Περισσότερες λεπτομέρειες παρέχονται στην επόμενη ενότητα. Υπάρχουν τέσσερις περιπτώσεις λειτουργίας: Φόρτωση απόρριψης, Άμεση απόρριψη φόρτωσης, Αποδοχή φορτίου και Παραλλαγή φόρτωσης. Το μοτίβο δημιουργείται στην ενότητα «Λειτουργικό (παροδικό, στρόβιλος)». Χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με αυτό που αντιπροσωπεύει το σχετικό άνοιγμα πύλης θυρίδας τη στιγμή από την έναρξη της προσομοίωσης.

Το πεδίο ιδιοτήτων "Καμπύλες της Τουρμπίνας" χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της σχέσης μεταξύ ροής και φορτίου κατά τη διάρκεια της ανάλυσης σταθερής κατάστασης που χρησιμοποιείται για τις αρχικές συνθήκες. Σε περίπτωση μοντελοποίησης λειτουργίας "Load Acceptance", εισαγάγεται χειροκίνητα μια ονομαστική ροή και ένα ονομαστικό φορτίο αντί για την καμπύλη της τουρμπίνας. Το πρόγραμμα είναι διαμορφωμένο ώστε να έχει ένα σημείο εκκίνησης για την ανάπτυξη της χαρακτηριστικής καμπύλης (με βάση το σχήμα της καμπύλης που καθορίζεται μέσω της επιλογής συγκεκριμένης ταχύτητας.) Στις άλλες περιπτώσεις μοντελοποίησης, η ροή και το φορτίο που χρησιμοποιούνται προέρχονται από

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

την καμπύλη της τουρμπίνας στις αρχικές συνθήκες. Η επιλογή "Load Acceptance" υποθέτει ότι η αρχική κατάσταση της τουρμπίνας είναι κλειστή, που σημαίνει ότι δεν υπάρχει ονομαστική ροή και αποτελέσματα φορτίου. Αντ' αυτού, το πρόγραμμα χρησιμοποιεί την ονομαστική ροή και το φορτίο που έχουν εισαχθεί στις ιδιότητες.



	Flow (m <sup>3</sup> /s)	Head (m)
1	0.00	0.00
2	12.00	400.00
3	21.50	800.00
4	35.00	1,000.00
*		

Εικόνα 9.4 Ροή και πιεζομετρικό φορτίο της τουρμπίνας

Η αυτή είναι συνήθως το αντίστροφο μιας αντλίας. Δηλαδή, καθώς αυξάνεται η ροή, το φορτίο αυξάνεται. Αυτό συμβαίνει επειδή το φορτίο σε αυτήν την περίπτωση δεν είναι το φορτίο προστιθέμενο, αλλά μάλλον είναι η πτώση του φορτίου κατά μήκος της τουρμπίνας (διαφορά μεταξύ HGL κατάντη και ανάντη) κατά τις αρχικές συνθήκες, η οποία μερικώς θα μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η σχέση ροής και φορτίου ορίζεται στην καμπύλη της τουρμπίνας χρησιμοποιείται μόνο για τον καθορισμό των αρχικών συνθηκών λειτουργίας και δεν χρησιμοποιείται απευθείας κατά τη διάρκεια της μεταβαλλόμενης προσομοίωσης. Η μεταβλλόμενη προσομοίωση χρησιμοποιεί μια ξεχωριστή χαρακτηριστική καμπύλη που βασίζεται στην επιλογή της "Ειδικής ταχύτητας". Η χαρακτηριστική καμπύλη της συγκεκριμένης ταχύτητας καθορίζει το σχήμα των χαρακτηριστικών της τουρμπίνας για κάθε θέση της πύλης θυρίδας (δεδομένου ότι η πύλη wicket θυρίδας ενσωματωμένη στην τουρμπίνα) και εφαρμόζεται αυτό το αδιάστατο σχήμα στο σύνολο της κεφαλής και τη ροή από τις αρχικές συνθήκες (βάσει της καμπύλης της τουρμπίνας) για τον καθορισμό της χαρακτηριστικής καμπύλης που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση του στροβίλου κατά τη διάρκεια της μεταβαλλόμενης προσομοίωσης. Συνοπτικά, τα σημεία στην κατασκευασμένη καμπύλη σχετίζονται με το αρχικό σημείο λειτουργίας (κεφαλή / ροή) που προέρχεται από την καμπύλη τουρμπίνας.

Δεδομένου ότι η απόρριψη φορτίου και οι παραλλαγές των συνθηκών προϋποθέτουν ότι η πύλη θυρίδας κατά την εκίνηση είναι πλήρως ανοιχτή, η καμπύλη της τουρμπίνας που εισάγεται (για τις αρχικές συνθήκες) θα πρέπει να αντιπροσωπεύει τα ονομαστικά χαρακτηριστικά της τουρμπίνας όταν η πύλη είναι στην πλήρως ανοιχτή θέση. Δηλαδή, όταν χρησιμοποιείται για την κατάσταση λειτουργίας απόρριψης φορτίου ή παραλλαγής φορτίου, η εφαρμογή HAMMER βασίζεται στην υπόθεση ότι η τουρμπίνα ξεκινά στην πλήρως ανοιχτή θέση. Αυτή η υπόθεση πρέπει να είναι αποδεκτή για τους σκοπούς μιας μεταβαλλόμενης προσομοίωσης όπου συνήθως παρατηρούνται οι χειρότερες συνθήκες.

Για την περίπτωση αποδοχής φορτίου, η πύλη θεωρείται ότι είναι αρχικά πλήρως κλειστή. Επειδή η ροή είναι μηδέν, πρέπει να εισαχθούν τα πεδία εισόδου φορτίου και ροής αντί για την καμπύλη της τουρμπίνας και θα αντιπροσωπεύουν το ονομαστικό σημείο λειτουργίας της τουρμπίνας όταν η πύλη είναι πλήρως ανοιχτή (καθώς οι πύλες θυρίδες θα ανοίξουν

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

κατά τη διάρκεια της μεταβαλλόμενης προσομοίωσης). Αυτές οι πληροφορίες παρέχονται από τον κατασκευαστή ή υπολογίζονται εκτελώντας τις αρχικές συνθήκες σταθερής κατάστασης σε λειτουργία με την τουρμπίνα ανοιχτή και υπολογισμένα το φορτίο και ροή.

Για την επιλογή μιας συγκεκριμένης ροής και φορτίου για τις αρχικές συνθήκες της τουρμπίνας, υπάρχουν μερικές επιλογές:

1) Εισαγωγή ενός ελάχιστου αριθμού σημείων στην καμπύλη τουρμπίνας, όλα κοντά στο επιθυμητό σημείο λειτουργίας

2) Χρησιμοποίηση της επιλογής "καθορισμός αρχικών συνθηκών". Πρόκειται για μια σπάνια χρησιμοποιούμενη λειτουργία που επιτρέπει το χειροκίνητο καθορισμό των αρχικών συνθηκών. Για τα περισσότερα μοντέλα, αυτή η επιλογή δεν είναι εφικτή.

#### 9.4 Διαμόρφωση Μεταβαλλόμενης Προσομοίωσης

Η συγκεκριμένη ταχύτητα μπορεί να εκτιμηθεί με την ακόλουθη εξίσωση:

$$n_s = n * p^{0.5} / H^{\frac{5}{4}}$$

Στις μονάδες ΗΠΑ η περιστροφή  $n$  είναι σε rpm, η ισχύς  $P$  είναι σε hp και το φορτίο  $H$  είναι σε ft.

Σε μονάδες SI η περιστροφή  $n$  είναι σε rpm(περιστροφες ανα λεπτό), η ισχύς  $P$  είναι σε kW και το  $H$  είναι σε m.

Υπάρχουν τρεις διαθέσιμες διαφορετικές προεπιλεγμένες ειδικές ταχύτητες διαθέσιμες, που λαμβάνονται από το USBR: "SI = 115, US = 30", "SI = 170, US = 45" και "SI = 230, US = 60".

Σε περίπτωση χρησιμοποίησης μιας χαρακτηριστικής καμπύλης που δε βρίσκεται ανάμεσα από τις παραπάνω επιλογές, είναι δυνατό να δημιουργηθεί μια προσαρμοσμένη συγκεκριμένη ταχύτητα (και υποκείμενη χαρακτηριστική καμπύλη). Τα δεδομένα που εισάγονται για την καμπύλη είναι χωρίς μονάδα - αντιπροσωπεύουν το σχήμα της καμπύλης, το οποίο εφαρμόζεται στην αρχική πτώση φορτίου και ροή κατά μήκος της τουρμπίνας για την κατασκευή της καμπύλης χαρακτηριστικών (με μονάδες) που χρησιμοποιήθηκε κατά την προσομοίωση. Οι πληροφορίες ενδέχεται να είναι δύσκολο να εξαχθούν, καθώς πρέπει να εισαχθεί ξεχωριστή καμπύλη για κάθε θέση των ενσωματωμένων πυλών θυρίδων.

Τέλος, το πεδίο "Μεταβαλλόμενη Περίοδος αναφοράς " επιτρέπει στον χρήστη να έχει πρόσβαση στα αποτελέσματα της τουρμπίνας, δηλ τον χρόνο, το ποσοστό ανοίγματος της πύλης, τη ροή, την ταχύτητα και το φορτίο.

Η χαμηλότερη θέση πύλης θυρίδας όπως ορίζεται στις προεπιλεγμένες χαρακτηριστικές καμπύλες για τουρμπίνες είναι σε ποσοστό 20% ανοιχτή. Εξαιτίας αυτού, η εφαρμογή HAMMER δεν θα εμφανίζει πληροφορίες εξόδου όταν η πύλη θυρίδα είναι μεταξύ 0% και 20% ανοιχτή. Εσωτερικά, η εφαρμογή HAMMER παρεμβάλλει γραμμικά τη ροή σε 20% ανοιχτή έως μηδενική ροή (τη στιγμή που οι πύλες θυρίδες είναι 0% ανοιχτές).

## **Διαμόρφωση των Παραμέτρων της Τουρμπίνας**

Όπως στις αντλίες, υπάρχουν συγκεκριμένες καταστάσεις λειτουργίας που μπορούν να μοντελοποιηθούν με μια τουρμπίνα στην εφαρμογή HAMMER. Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή κάθε περίπτωσης.

### **Άμεση απόρριψη φορτίου**

Η άμεση απόρριψη φορτίου είναι παρόμοια με την περίπτωση απόρριψη φορτίου, εκτός από το ότι το ηλεκτρικό φορτίο της τουρμπίνας πέφτει αμέσως στο μηδέν (δηλαδή ο στρόβιλος αποσυνδέεται από τη γεννήτρια).

Απόρριψη φορτίου συμβαίνει όταν το δίκτυο διανομής δεν δέχεται ηλεκτρικό φορτίο από το σύστημα γεννήτριας. Η περίπτωση "Instant Load Rejection Operating" προσομοιώνει αυτή την κατάσταση μειώνοντας την ηλεκτρική ροπή στο μηδέν αμέσως στην αρχή της προσομοίωσης. Αφού το φορτίο απορριφθεί από το πλέγμα, δεν υπάρχει εξωτερικό φορτίο στη μονάδα γεννήτριας και η ταχύτητα του δρομέα αυξάνεται γρήγορα, που ενδέχεται να είναι καταστροφικό εάν δεν ληφθούν άμεσα μέτρα για την επιβράδυνση και τη διακοπή του συστήματος. Για να διατηρηθεί η αύξηση της ταχύτητας εντός ενός αποδεκτού ορίου, οι πύλες θυρίδες (προσομοιωμένες μέσα στο στοιχείο τουρμπίνας) πρέπει να κλείσουν γρήγορα και αυτό μπορεί να οδηγήσει σε υψηλές (ακολουθούμενες από χαμηλές) υδραυλικές μεταβαλλόμενες πιέσεις. Δεδομένου ότι η απόρριψη φορτίου συνήθως οδηγεί στις πιο σοβαρές μεταβαλλόμενες πιέσεις, συνήθως διέπει το σχεδιασμό του εξοπλισμού ελέγχου κύματος.

Χρειάζεται να βρεθεί ισορροπία μεταξύ της αύξησης ταχύτητας και του πίεσης. Οι πύλες θυρίδες πρέπει να κλείνουν σταδιακά για να αποφευχθούν οι καταστροφικές υψηλές πιέσεις, αλλά αρκετά γρήγορα για να αποφευχθεί η επιβλαβής αύξηση της ταχύτητας του στρόβιλου. Σε μια πραγματική τουρμπίνα, ο χειριστής ελέγχει το ρυθμό κλεισίματος της πύλης wicket, ωστόσο ο η επιλογή αυτή δεν έχει μοντελοποιηθεί ρητά στη εφαρμογή HAMMER και ο χρήστης είναι αυτός που ελέγχει το ρυθμό κλεισίματος της πύλης θυρίδας.

Το μοτίβο πύλης θυρίδας πρέπει να ξεκινά από ποσοστό 100% ανοιχτό και να μειώνεται στο 0%. Καθώς οι θέσεις πύλης αλλάζουν κατά την απόρριψη φορτίου, πραγματοποιείται παρεμβολή μεταξύ γειτονικών ανοιγμάτων πύλης εισόδου. Για απόρριψη φορτίου, η επιταχυνόμενη ροπή οδηγεί στην αύξηση της ταχύτητας περιστροφής που αντιμετωπίζεται από τη δυναμική διατήρηση της γωνιακής εξίσωσης ορμής.

### **Φόρτωση απόρριψης**

Η κατάσταση λειτουργίας απόρριψη φορτίου είναι παρόμοια με τη κατάσταση απόρριψη απόρριψη φορτίου, εκτός από το ότι επιτρέπεται να οριστεί ένα μοτίβο ηλεκτρικής ροπής με την πάροδο του χρόνου αντί της υπόθεσης ότι πέφτει στο μηδέν στο πρώτο χρονικό βήμα. Η ταχύτητα του στρόβιλου θα αντιδρά στη συνέχεια ανάλογα με την αδράνεια και τις υδραυλικές συνθήκες και τον ρυθμό κλεισίματος του μοτίβου της πύλης θυρίδας.

---

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

Εάν η ισχύς που παράγεται από το νερό που ρέει μέσω της τουρμπίνας (υδραυλική ροπή) είναι μεγαλύτερη από το ηλεκτρικό φορτίο (ηλεκτρική ροπή), τότε η τουρμπίνα θα επιταχυνθεί. Εάν το ηλεκτρικό φορτίο είναι μεγαλύτερο, η τουρμπίνα θα επιβραδυνθεί.

Η θέση φόρτωσης και πύλης εισάγονται σε διαφορετικούς πίνακες παραμέτρων στην εφαρμογή HAMMER επειδή ενδέχεται να μην χρησιμοποιούν το ίδιο χρονικό διάστημα. Με την περίπτωση λειτουργίας φόρτωσης απόρριψης, η θέση της πύλης θυρίδας (στον κανόνα λειτουργίας) πρέπει να ξεκινά από το 100% και να πέφτει στο 0%. Για να μοντελοποιηθεί μια πύλη θυρίδα που δεν αλλάζει θέση, εισέγεται ένα σημείο 0% στον Κανόνα Λειτουργίας, μετά το τέλος της μεταβαλλόμενης προσομοίωσης.

Η απόρριψη φορτίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μοντελοποίηση μιας τουρμπίνας στη λειτουργία "νησί" (είναι η μόνη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας για ένα μικρό δίκτυο όπως ένα χωριό ή ένα νησί) όπου πρέπει να προσδιοριστεί η μέγιστη αλλαγή ηλεκτρικού φορτίου που μπορεί να επιτευχθεί εντός αποδεκτών πιέσεων. Για παράδειγμα, εάν υπάρχει μια αύξηση της ηλεκτρικής ζήτησης (φορτίο), ίσως χρειαστεί να προσομοιωθεί η αντίδραση της αντλίας σε αυτό - πώς αλλάζει η ταχύτητα.

### **Φόρτωση αποδοχής**

Η αποδοχή πλήρους φορτίου συμβαίνει όταν η μονάδα γεννήτριας τουρμπίνας είναι συνδεδεμένη στο ηλεκτρικό δίκτυο. Οι παροδικές πιέσεις που δημιουργούνται κατά την αποδοχή πλήρους φορτίου μπορεί να είναι σημαντικές, αλλά συνήθως είναι λιγότερο σοβαρές από αυτές που προκύπτουν από την απόρριψη πλήρους φορτίου.

Η εφαρμογή HAMMER υποθέτει ότι η τουρμπίνα λειτουργεί αρχικά με ταχύτητα χωρίς φορτίο (NLS) και δεν παράγει ηλεκτρική ισχύ. Όταν ξεκινά η μεταβαλλόμενη προσομοίωση, η εφαρμογή HAMMER υποθέτει ότι το ηλεκτρικό δίκτυο είναι συνδεδεμένο στον ακροδέκτη εξόδου της γεννήτριας και οι πύλες θυρίδες πρέπει να ανοίγουν όσο το δυνατόν γρηγορότερα για να καλύψουν τη ζήτηση ισχύος, χωρίς να προκαλούν υπερβολική πίεση.

Σε αυτήν την περίπτωση, η εφαρμογή HAMMER υποθέτει ότι ο διαχειριστής της τουρμπίνας είναι «τέλειος». Με άλλα λόγια, η ισχύς που παράγεται ισούται πάντα με το ηλεκτρικό φορτίο. Επομένως, ο χρήστης δεν χρειάζεται να εισαγάγει ηλεκτρικό φορτίο, απλώς μια καμπύλη της θέσης πύλης θυρίδας έναντι του χρόνου, την ονομαστική ροή και το φορτίο της τουρμπίνας. Στην περίπτωση φόρτωσης αποδοχής, η τουρμπίνα λειτουργεί πάντα με την ονομαστική (ή σύγχρονη) ταχύτητά του.

Όταν χρησιμοποιείται η επιλογή "Load Acceptance", πρέπει να εισαχθεί η Ροή και το Φορτίο για την τουρμπίνα. Οι τιμές αυτές χρειάζονται προκειμένου να χρησιμοποιηθεί η χαρακτηριστική καμπύλη για την τουρμπίνα κατά τη διάρκεια της μεταβαλλόμενης προσομοίωσης. Δεδομένου ότι η αρχική ροή είναι μηδέν για αποδοχή φορτίου, χρησιμοποιούνται τα "ονομαστικά" πεδία εισόδου φορτίου και ροής αντί της καμπύλης τουρμπίνας, για να αντιπροσωπεύουν το ονομαστικό σημείο λειτουργίας της τουρμπίνας όταν η πύλη τελικά ανοίγει πλήρως. Αυτές οι πληροφορίες θα πρέπει να είναι διαθέσιμες από τον κατασκευαστή ή υπολογίζονται εκτελώντας τις αρχικές συνθήκες σταθερής κατάστασης που εκτελούνται με τον στρόβιλο ανοιχτό και εφόσον υπολογισθούν το φορτίο



---

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

και η ροή, στη συνέχεια να οριστεί η αρχική κατάσταση της τουρμπίνας και να εισαχθούν αυτές τις τιμές για το ονομαστικό σημείο λειτουργίας.

### **Φόρτωση παραλλαγής**

Μπορεί να προκύψει διακύμανση φορτίου στη μονάδα γεννήτριας στροβίλου λόγω των ημερήσιων αλλαγών στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο διανομής. Κατά τη διάρκεια της διακύμανσης φορτίου, ο διαχειριστής ελέγχει το άνοιγμα της πύλης θυρίδας για να ρυθμίσει τη ροή μέσω του στροβίλου έτσι ώστε η μονάδα να μπορεί να ανταποκριθεί στην ηλεκτρική ζήτηση. Η στήλη νερού αγωγού επιταχύνεται ή επιβραδύνεται, με αποτέλεσμα διακυμάνσεις της πίεσης.

Οι μεταβαλλόμενες πιέσεις που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της γενικής διακύμανσης φορτίου ενδέχεται να μην είναι σημαντικές από την άποψη του υδραυλικού σχεδιασμού, καθώς είναι συχνά χαμηλότερες από την πίεση που δημιουργείται κατά την απόρριψη πλήρους φορτίου ή τον τερματισμό έκτακτης ανάγκης.

Σε σταθερή κατάσταση, το σύστημα γεννήτριας τουρμπίνας λειτουργεί συνήθως με πλήρες φορτίο με τις πύλες θυρίδες 100% ανοιχτές. Η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το σύστημα εξαρτάται από τη ροή μέσω των πυλών θυρίδων. Η μείωση του ηλεκτρικού φορτίου απαιτεί μείωση του ανοίγματος της πύλης wicket για ρύθμιση της ροής.

Το μοτίβο της πύλης θυρίδας πρέπει να ξεκινά από 100% και δεν επιτρέπεται να πέσει κάτω από το 30%.

Σε αυτήν την περίπτωση, όπως και στην περίπτωση λειτουργίας "Load Acceptance", η εφαρμογή HAMMER υποθέτει ότι ο ρυθμιστής της τουρμπίνας είναι «τέλειος». Στην περίπτωση της αλλαγής του φορτίου, η τουρμπίνα θα λειτουργεί πάντα με την ονομαστική (ή σύγχρονη) ταχύτητά της.

### **9.5 Προβολή αποτελεσμάτων**

Τα αποτελέσματα για τις τουρμπίνες μπορούν να προβληθούν χρησιμοποιώντας την επιλογή "Transient Results Viewer". Τα κινούμενα σχέδια προφίλ δείχνουν την αλλαγή της πίεσης και τον υδραυλικό βαθμό κατά μήκος μιας διαδρομής και κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Η καρτέλα Ιστορικό Χρόνου επιτρέπει στο χρήστη να έχει πρόσβαση στα αποτελέσματα για τη ροή, τον υδραυλικό βαθμό, την πίεση, τον όγκο αέρα/ατμού, καθώς και ταχύτητα και δύναμη, σε σημεία του μοντέλου. Οι τοποθεσίες θα πρέπει να προστεθούν ως σημεία αναφοράς για να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα σε σημεία του μοντέλου. Στην καρτέλα "Extended Node Data", παρουσιάζεται ένα γράφημα για ταχύτητα ή άνοιγμα πύλης θυρίδας για την τουρμπίνα.

Εάν συμπεριληφθεί μια τιμή για την "Περίοδος αναφοράς (Μεταβαλλόμενη)", παρουσιάζονται τα επιλεγμένα αποτελέσματα στην "Λεπτομερή Αναφορά Μεταβατικής Ανάλυσης". Αυτά τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν τον χρόνο, το ποσοστό ανοίγματος της πύλης, τη ροή, την ταχύτητα και το φορτίο. Μπορούν να αντιγραφούν σε ένα υπολογιστικό

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

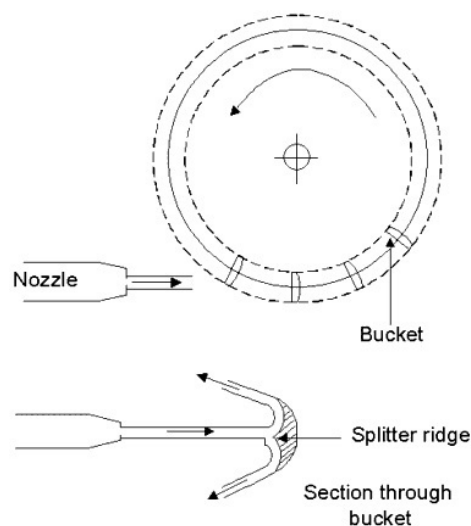
φύλλο Excel είτε να απεικονιστούν γραφικά από την καρτέλα Extended Node Data μέσω της επιλογής Transient Results Viewer.

Οι περισσότερες από τις προεπιλεγμένες χαρακτηριστικές καμπύλες τουρμπίνας (που χρησιμοποιούνται μέσω της επιλεγμένης "ειδικής ταχύτητας") δεν διαθέτουν δεδομένα για το πότε οι πύλες θυρίδες είναι σχεδόν κλειστές. Έτσι, η εφαρμογή HAMMER εκτελεί μια γραμμική παρεμβολή και τα αποτελέσματα εξόδου κειμένου να περικλύονται για θέσεις πύλης θυρίδας κάτω από 20%.

Μια παλμική τουρμπίνα έχει ένα ή περισσότερα σταθερά ακροφύσια μέσω των οποίων η πίεση μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια ως πίδακας υγρού (συνήθως νερού). Το τζετ προσκρούει στις κινούμενες πλάκες του στροβίλου που απορροφά σχεδόν όλη την κινητική ενέργεια του κινούμενου νερού. Στην πράξη, η πιο συνηθισμένη παλμική τουρμπίνα είναι ο τροχός Pelton που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 9.5).

Ο ρότορας του αποτελείται από έναν κυκλικό δίσκο με αρκετούς "κουβάδες (buckets)" ομοιόμορφα σε απόσταση γύρω από την περιφέρεια. Η κορυφογραμμή διαχωριστή στο κέντρο κάθε κάδου διαιρεί το εισερχόμενο τζετ σε δύο ίσα μέρη που ρέουν γύρω από την εσωτερική επιφάνεια του κάδου. Η ροή γεμίζει μερικώς τους κάδους και το νερό παραμένει σε επαφή με τον αέρα σε περιβαλλοντική (ή ατμοσφαιρική) πίεση.

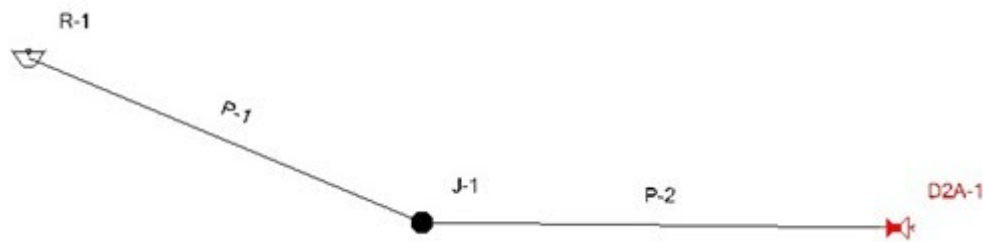
Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το στοιχείο του στροβίλου στο HAMMER δεν χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση των παλμών. Οι παροδικές μεταβολές που προκαλούνται από τους στροβίλους παλμών μπορούν να προσεγγιστούν στο HAMMER χρησιμοποιώντας μια βαλβίδα ελέγχου πεταλούδας (TCV) ή ένα στοιχείο εκφόρτισης σε ατμόσφαιρα για να αντιπροσωπεύσει το ακροφύσιο τουρμπίνας.



Εικόνα 9.5 Λειτουργία τουρμπίνας

Ένα παράδειγμα αυτής της ρύθμισης θα ήταν να προσεγγίσει το κλείσιμο της πύλης στην παλμική τουρμπίνα χρησιμοποιώντας ένα στοιχείο "Εκφόρτιση στην ατμόσφαιρα" (D2A) (Εικόνα 9.6):

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.



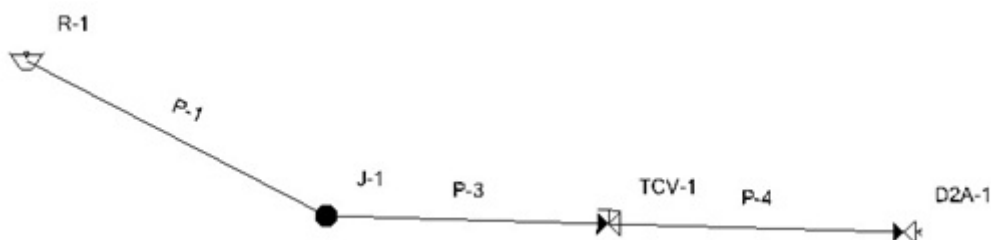
Εικόνα 9.6 Πιθανή εγκατάσταση του συστήματος

Για τη μοντελοποίηση της πύλης του στροβίλου παλμού σε 10 δευτερόλεπτα, πρέπει να ρυθμιστεί το πεδίο ιδιοτήτων D2A "Τύπος εκφόρτισης στοιχείου" στη βαλβίδα με αρχική κατάσταση Open. Τότε θα έχει οριστεί ο χρόνος "Time to Fully Open or Close" σε 10 δευτερόλεπτα (Εικόνα 9.7).

<b>Physical</b>	
Elevation (ft)	150.00
Zone	<None>
<b>Transient (Operational)</b>	
Time to Start Operating (sec)	0.0
Time to Fully Open or Close (sec)	10.0
Pressure Drop (Typical) (ft)	3.00
Flow (Typical) (cfs)	10.000
<b>Transient (Physical)</b>	
Discharge Element Type	Valve
Valve Initial Status	Open
<b>Water Quality</b>	
Age (Initial) (hours)	0.000
Concentration (Initial) (mg/l)	0.0
Is Constituent Source?	False

Εικόνα 9.7 Χρόνος μετάβασης από το status ανοικτό στο κλειστό

Για περισσότερο έλεγχο στο κλείσιμο της βαλβίδας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια βαλβίδα Trottle Control Valve (TCV) (Εικόνα 9.8).



Εικόνα 9.8 Τοποθέτηση Trottle Control Valve στο δίκτυο

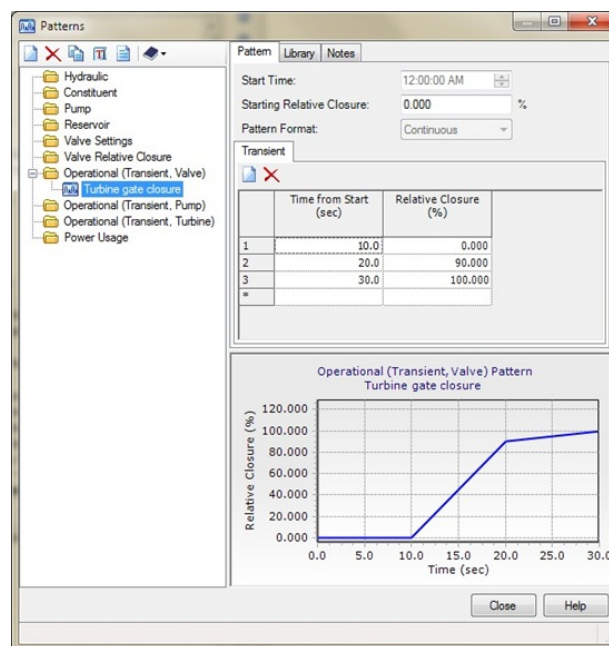
Η βαλβίδα TCV επιτρέπει την εισαγωγή ενός Κανόνα Λειτουργίας που έχει καμπύλη κλεισίματος βαλβίδας (ή κλείσιμο πύλης, για στροβιλοκινητήρα) έναντι του χρόνου. Για παράδειγμα, μπορεί να κλείσει γρήγορα η πύλη μέχρι να ανοίξει το 10% και μετά να κλείσει πιο αργά το υπόλοιπο ποσοστό.

Για μοντελοποίηση μιας κατάστασης τύπου "Acceptance Load" με έναν στρόβιλο Pelton η χρησιμοποίηση μιας βαλβίδας TCV, ενδέχεται να καταλήξει σε ειδοποιήσεις χρήστη αφού υπολογισθεί ότι οι αρχικές συνθήκες που δηλώνουν ότι το στοιχείο Discharge to Atmosphere

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

έχει μια απαίτηση που δεν μπορεί να ικανοποιηθεί. Ο λόγος για αυτό είναι ότι η βαλβίδα TCV θα κλείσει αρχικά και το D2A θα ρυθμιστεί έτσι ώστε το πρόγραμμα να λαμβάνει μια ζήτηση στο στοιχείο. Με τη βαλβίδα κλειστή, δεν υπάρχει τρόπος να ικανοποιηθεί αυτή η ζήτηση. Υπάρχουν αρκετές εναλλακτικές για εξέταση σε αυτή την περίπτωση.

- Αρχικά, μπορεί να αφαιρεθεί η βαλβίδα TCV και να χρησιμοποιηθεί η λειτουργία βαλβίδας στο D2A. Η ρύθμιση αυτή χρησιμοποιεί απλοποιημένα χαρακτηριστικά κλεισίματος, αλλά αυτό μπορεί να είναι κατάλληλη για ορισμένες περιπτώσεις μοντελοποίησης.



Εικόνα 9.9 Χαρακτηριστικά λειτουργίας της τουρμπίνας

- Δεύτερον, για αρχική συνθήκη με τη βαλβίδα TCV κλειστή, η βαλβίδα μπορεί να είναι ανοιχτή. Στη συνέχεια, γίνεται ρύθμιση του μοτίβου της βαλβίδας έτσι ώστε να κλείνει και να παραμένει κλειστή για λίγο. Η χρονική περίοδος εξαρτάται από το χρόνο που χρειάζεται για να φτάσει το σύστημα σε μια νέα ισορροπία και μπορεί να χρειαστεί κάποια δοκιμή και σφάλμα. Μόλις επιτευχθεί μια νέα ισορροπία, η βαλβίδα μπορεί να ανοίξει ξανά. Τα βασικά αποτελέσματα είναι κατά τη διάρκεια και μετά το άνοιγμα της βαλβίδας.

- Τρίτον, μπορείτε να ορίσετε τον τύπο συντελεστή σε "Valve Characteristic Curve" και να ορίσετε την κατάσταση της βαλβίδας σε Active. Για την αρχική θέση της βαλβίδας, ρυθμίστε το να είναι 100% κλειστό. Με αυτήν τη ρύθμιση, θα δείτε μια πολύ μικρή ποσότητα ροής, αλλά δεν θα υπάρχουν μηνύματα σχετικά με την αποσύνδεση του συστήματος.

Τέλος, μπορούν να αγνοηθούν οι ειδοποιήσεις χρήστη. είναι σημαντικό να εξακριβωθεί ότι τα αποτελέσματα των αρχικών συνθηκών (όπως ροή και υδραυλική ποιότητα) είναι σωστά και λογικά. Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα αποκλίνουν από τα αναμενόμενα, μια από τις παραπάνω επιλογές θα πρέπει να εφαρμοστεί εναλλακτικά.

## Παρατηρήσεις για τις αντλίες-τουρμπίνες

---

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

Η εφαρμογή HAMMER προς το παρόν δεν υποστηρίζει τη μοντελοποίηση ενός συμβάντος τερματισμού έκτακτης ανάγκης για ένα στοιχείο αντλίας-στροβίλου (pump-turbine) (όπως συνήθως είναι ενσωματωμένα τα χαρακτηριστικά της πύλης εισόδου) και το στοιχείο του στροβίλου προς το παρόν δεν μπορεί να ξεκινήσει με αντίστροφη ροή / ταχύτητα. Μια επιλογή αντλίας-στροβίλου θα εξεταστεί για μελλοντική κυκλοφορία μέσω μιας βελτιωμένης έκδοσης

Ως λύση, μπορεί να δοκιμαστεί μια ανάλυση ευαισθησίας με τα χαρακτηριστικά της βαλβίδας, χρησιμοποιώντας ένα στοιχείο αντλίας συν τη βαλβίδα TCV για την πύλη θυρίδα. Μπορεί να δοκιμαστεί μια σειρά από διαμορφώσεις που εμπίπτουν στα χαρακτηριστικά του κλεισίματος της πύλης θυρίδας (συντελεστής εκφόρτισης και καμπύλες χαρακτηριστικών βαλβίδων). Αν η σύγκριση ανάμεσα τα συνολικά παροδικά αποτελέσματα για διαφορετικές διαμορφώσεις δείξει ότι δεν διαφέρουν σημαντικά, τότε ίσως να μην χρειάζεται η ακριβής μοντελοποίηση των θυρών της αντλίας-στροβίλου.

## Κεφάλαιο 10: Σύνοψη και Συμπεράσματα

### 10.1. Σύνοψη

Στη διπλωματική εργασία εξετάστηκε η χρήση υδροτουρμπίνων για την παραγωγή ενέργειας σε ένα δίκτυο νερού με στόχο την αξιολόγηση της επίδρασης της παροχής και της διαμέτρου των σωλήνων στην παραγωγή ενέργειας από την υδροτουρμπίνα και στην πτώση της πίεσης στα κατάντη.

Η μεθοδολογία περιελάμβανε τρία στάδια: 1) στήσιμο του πειράματος με κατάλληλη διαμόρφωση ώστε να επιτυγχάνονται σημαντικές πιέσεις, 2) ανάπτυξη σεναρίων με βάση διάφορες τιμές της παροχής νερού, 3) ανάπτυξη σεναρίων με βάση τη διάμετρο των σωλήνων.

Στην πρώτη περίπτωση από τις πειραματικές εφαρμογές, χρησιμοποιήθηκε πλαστική σωλήνα PVC πίεσεως 10 atm, διαμέτρου Φ110 (4''), στη δεύτερη περίπτωση πλαστική σωλήνα PVC πίεσεως 16 atm, διαμέτρου Φ63 (2.5''). Οι μετρήσεις αφορούσαν τέσσερα βασικά σημεία. Την παροχή στο δίκτυο, τις πιέσεις ανάντι και κατάντι της ΡΑΤ και τις στροφές του ιμάντα στο δυναμό.

Κατά την διάρκεια εκτέλεσης του πειράματος, η πίεση ακολουθεί μια σταθερά αυξητική τάση τόσο στα ανάντι όσο και στα κανάντι, ενώ η διαφορά της πίεσης κυμάνθηκε μεταξύ 0,5 και 1,5 bar. Η διαφορά πίεσης αυξήθηκε σε ακολουθία με την μέγιστη τιμή της παροχής, ενώ στη συνέχεια διατηρήθηκε σταθερή και κατέληξε σε χαμηλότερες τιμές στο τέλος τους πειράματος όταν η παροχή ήταν σε χαμηλά επίπεδα.

Τα αποτελέσματα του πειράματος παρουσίασαν ότι η διαφορά πίεσης σχετίζεται αναλογικά με τις στροφές τροχαλίας και τις στροφές δυναμικού και κατ' επέκταση με την παραγωγή ενέργειας.

Στη συνέχεια αξιολογήθηκε η επίδραση διάφορων παρεμβάσεων που περιελάμβαν και χρήση της υδροτουρμπίνας σε ένα πραγματικό δίκτυο χρησιμοποιώντας το WaterGEM. Η περιοχή μελέτης που επιλέχθηκε είναι το Άργος Ορεστικό.

Εξετάστηκαν 5 διαφορετικά σενάρια: 1) η πόλη χωρίς καμία παρεμβάση, 2) η πόλη με μια τουρμπίνα στον κεντρικό της αγωγό, 3) η πόλη χωρισμένη σε DMAs και τουρμπίνες στις εισόδους κάθε DMA, 4) η πόλη χωρίς DMA και με τουρμπίνες σε διαφορους αγωγούς του δικτύου, και 5) η πόλη χωρισμένη σε DMAs και βαλβίδες στις εισόδους απο κάθε DMA.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στα περισσότερα σενάρια (πλην του 1ου και 4ου), παρατηρείται μια πτώση στάθμης κάτω από τα αποδεκτά όρια, ως απόρροια των παρεμβάσεων στο δίκτυο. Η πτώση της πίεσης σε όλα τα εξεταζόμενα σενάρια συμπίπτει χρονικά με τη μεγιστοποίηση της ζήτησης.

## 10.2. Πειραματική διάταξη

Στην πειραματικής διάταξης για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης αντλίας και την επίδραση στην πίεση χρησιμοποιήθηκαν μετρητές της πίεσης ανάντι και κατάντι της αντλίας PAT για τη μέτρηση των πιέσεων του δικτύου. Επιπρόσθετα τοποθετήθηκαν μετρητές της ροής στο δίκτυο (και της παροχής), ένας στην αρχή του αγωγού κι ένας στην έξοδο του νερού από την αντλία. Στα κατάντι της αντλίας PAT τοποθετήθηκε μια βαλβίδα ρύθμισης της πίεσης (PRV), ώστε να προσαρμόσει κατάλληλα την πίεση στο νερό μετά την έξοδο του από την αντλία, στην περίπτωση που η πίεση δεν ανταποκρίνεται στις ανάγκες του δικτύου. Το σύστημα προσομοίωσης περιελάμβανε και δικλείδες απομόνωσης του δικτύου για να διοχετευθεί το νερό προς την επιθυμητή κατεύθυνση κάθε φορά (by-pass) και στο ενδεχόμενο βλάβης κάποιου εξαρτήματος ή θραύσης αγωγού, για την απομόνωση και πάλι του αντίστοιχου μέρους του δικτύου μέχρι την επιδιόρθωση του.

Η τροφοδοσία της όλης εγκατάστασης του χώρου στο οποίο πραγματοποιήθηκε η εκτέλεση του πειράματος έγινε μέσω ενός κεντρικού τριφασικού πίνακα.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε με δύο διαφορετικές διαμέτρους σωληνώσεων, πλαστική σωλήνα PVC πίεσεως 10 atm, διαμέτρου Φ110 (4''), και πλαστική σωλήνα PVC πίεσεως 16 atm, διαμέτρου Φ63 (2.5''). Οι PVC σωλήνες επιλέχθηκαν λόγω της εύκολης κατεργασίας τους ενώ παράλληλα ικανοποιούσαν τις απαιτήσεις αντοχής σε πίεση.

Χρησιμοποιήθηκαν 2 παροχόμετρα, ένα για σύνδεση στο δίκτυο (Φ110) και ένα για το δίκτυο διαμέτρου Φ63. Το παροχόμετρο Φ63 αναλογικό με επιπρόσθετη οθόνη με ψηφιακή ένδειξη, που αναγράφει το ακριβές νούμερο της διερχόμενης παροχής κάθε στιγμή. Το παροχόμετρο Φ110 αναλογικό επίσης, αλλά με συνολικό μετρητή παροχής, δηλαδή πρέπει να υπολογιστεί η παροχή κάθε φορά μετρώντας τη διερχόμενη παροχή σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Η μέτρηση της πίεσης μέσα στον αγωγό πραγματοποιήθηκε με τη χρήση μανομέτρων. Οι απαιτήσεις για τις πιέσεις δεν ήταν υψηλές, και για αυτό τα μανόμετρα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν για μετρήσεις μέχρι έξι (6) bar.

Προκειμένου να επιτευχθούν αξιόλογες πιέσεις, επιλέχθηκε η λύση η τροφοδοσία να γίνει μέσω ενός πυροσβεστικού οχήματος χωρητικότητας 10 κυβικών νερού και δυνατότητας αντλίας μέχρι 16 ατμοσφαιρικές πιέσεις, το οποίο συνδέθηκε με το δίκτυο.

Πρώτο εξάρτημα της σύνδεσης ήταν το παροχόμετρο το οποίο συνδέθηκε φλαντζωτά με τον αγωγό. Στη συνέχεια εγκαταστάθηκε το πρώτο μανόμετρο σε απόσταση τουλάχιστον ένα μέτρο μακριά από άλλο σύνδεσμο ή εξάρτημα μεγαλύτερης ακρίβειας στις μετρήσεις. Στη συνέχεια η PAT τοποθετήθηκε σε άλλο επίπεδο σε σχέση με το αρχικό κομμάτι του δικτύου. Οπότε χρησιμοποιήθηκε μια γωνία πάλι για να στρίψει τη ροή του νερού κατακόρυφα προς τα κάτω, προς το στόμιο της αντλίας PAT. Λαμβάνοντας υπόψη τις ελάχιστες αποστάσεις που απαιτούνται για τις ακριβέστερες μετρήσεις στο μανόμετρο, κόπηκε 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 90ο. Στη μέση ακριβώς της απόστασης, εγκαταστάθηκε η σέλα και πάνω της το μανόμετρο. Η τοποθέτηση ενός μονοκόμματου κομματιού αγωγού

χωρίς να μεσολαβεί η αντλία έγινε, ώστε εν δυνάμει να συγκριθούν τα χαρακτηριστικά του δικτύου με και χωρίς την ΡΑΤ.

Η τροφοδοσία έγινε μέσω του πυροσβεστικού οχήματος, το οποίο δεν είναι εφικτό να ανακυκλώνει το νερό. η μόνη λύση ήταν το άδειασμα του δικτύου στην αποχέτευση. Κατά την εκτέλεση του πειράματος, η δύναμη και η πίεση που άσκησετο νερό στην πτερωτή στο εσωτερικό της αντλίας, προκάλεσε την περιστροφή της και κατά συνέπεια την περιστροφή άξονα της αντλίας μαζί.

Στα δύο σενάρια που αναπτύχθηκαν για σωλήνες Φ63 και Φ100, η πίεση ακολουθεί μια σταθερά αυξητική τάση τόσο στα ανάντι όσο και στα κανάντι κατά την εκτέλεση του πειράματος, ενώ η διαφορά της πίεσης κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 1,5 bar. Η διαφορά πίεσης αυξάνει σε ακολουθία με την μέγιστη τιμή της παροχής (η μέγιστη παροχή συμπίπτει με τη μεγαλύτερη διαφορά πίεσης), ενώ μετά διατηρείται σταθερή και καταλήγει σε χαμηλότερες τιμές στο τέλος του πειράματος όταν η παροχή βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα. η διαφορά πίεσης σχετίζεται αναλογικά με τις στροφές τροχαλίας και τις στροφές δυναμικού.

### 10.3 Εφαρμογή σε πραγματικό δίκτυο

Η απόδοσης της υδροτουρμπίνας εξετάστηκε σε πραγματικές καταστάσεις στο Άργος Ορεστικό χρησιμοποιώντας το WaterGEM. Εξετάστηκαν 5 διαφορετικά σενάρια λαμβάνοντας κάθε φορά υπόψη την εξασφάλιση ελάχιστης πίεσης (ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της κατανάλωσης και σε συνθήκες έκτακτης λειτουργίας –πυρκαγιά- όπου η απαιτούμενη πίεση εξαρτάται και από την κατανάλωση των πυροσβεστικών κρουνών) καθώς και τον περιορισμό μέγιστης πίεσης (απαιτείται για την προστασία των εξαρτημάτων του δικτύου, των υδραυλικών εγκαταστάσεων των κτηρίων):

- 1) η πόλη χωρίς καμία παρέμβαση. Η υφιστάμενη κατάσταση προσομοιώθηκε χρησιμοποιώντας το WaterGEM, το status των αγωγών παρέμεινε αμετάβλητο, ενώ δεν τοποθετήθηκαν PRVs ή PATs.
- 2) η πόλη με μια τουρμπίνα στον κεντρικό της αγωγό. Η υφιστάμενη κατάσταση μεταβλήθηκε τοποθετώντας μια υδροτουρμπίνα στον κεντρικό αγωγό της.
- 3) η πόλη χωρισμένη σε DMAs και τουρμπίνες στις εισόδους καθε DMA. Η πόλη διαιρέθηκε σε 5 DMAs και τοποθετήθηκαν τουρμπίνες στην είσοδο κάθενας. Για τη δημιουργία κάθε DMA επιλέχθηκε η ύπαρξη μίας μόνο εισόδου, ενώ για τους υπόλοιπους αγωγούς που θα μπορούσαν να λειτουργούν σαν εισοδοί, άλλαξε το status σε κλειστό. Βασικός περιορισμός για την επιλογή των αγωγών που κλείνουν είναι ότι πρώτον, δε συμπεριλαμβάνονται οι καταληκτικοί αγωγοί ώστε να τροφοδοτείται κανονικά το δίκτυο.
- 4) η πόλη χωρίς DMA και με τουρμπίνες σε διάφορους αγωγούς του δικτύου. Ως πιθανά σημεία τοποθέτησης των PATs, προκειμένου να επιτευχθεί η ανάκτηση ενέργειας και η ρύθμιση της πίεσης του δικτύου, είναι τα σημεία, όπου βρίσκονται οι PRVs στο δίκτυο.



---

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

5) η πόλη χωρισμένη σε DMAs και βαλβίδες στις εισόδους απο κάθε DMA. Η πόλη είναι χωρισμένη σε πέντε DMA (όπως και στο 3ο σενάριο) και τοποθετούνται PRVs στις εισόδους κάθε DMA για την επίτευξη μεγαλύτερης οικονομίας και βελτιστοποίησης του δικτύου

Σε κάθε σενάριο ο χρόνος προσομοίωσης ήταν 48 ώρες. Για κάθε σενάριο, εντοπίστηκε ο κρίσιμος κόμβος. Ως κρίσιμος ως προς την πίεση κόμβος, χαρακτηρίζεται αυτός με την μικρότερη τιμή πίεσης. Στην συνέχεια εξετάστηκαν παράλληλα όλοι οι κρίσιμοι κόμβοι που ανιχνεύθηκαν σε όλα τα σενάρια.

Στα σενάρια που χρησιμοποιήθηκαν PATs (δηλαδή στα σενάρια 2, 3 και 4) προηγήθηκε η ρύθμιση των παραμέτρων της στο περιβάλλον του WaterGEM.

Στο 1ο σενάριο, χωρίς καμία παρέμβαση, η πίεση βρίσκεται πάνω από το αποδεκτό όριο (200 kra) για όλους τους κρίσιμους κόμβους.

Στο 2ο σενάριο, παρατηρείται μια σημαντική πτώση κάτω από το όριο για τρεις κόμβους

Στο 3ο σενάριο, η πίεση είναι κάτω από το αποδεκτό όριο μόνο για ένα κόμβο

Στο 4ο σενάριο, δεν παρατηρείται πτώση της πίεσης κάτω από το όριο για κανέναν από τους κρίσιμους κόμβους.

Στο 5ο σενάριο, υπάρχει μια οριακή κάτω από το όριο πτώση για ένα κόμβο για ένα μικρό χρονικό διάστημα.

Η μεγαλύτερη πτώση παρουσιάζεται για στο 2ο σενάριο, όπου μέη πίεση όλου του δικτύου βρίσκεται κάτω από το επιτρεπόμενο όριο των 200 Kra.

Η πτώση της πίεσης σε όλα τα σενάρια συμπίπτει χρονικά με τη μεγιστοποίηση της ζήτησης. Η τάση της πίεσης επαναλαμβάνεται δύο φορές κατά τη διάρκεια της 48ωρης προσομοίωσης με διαφορά, περίπου 24 ώρες

## Κεφάλαιο 11: Προτάσεις Περαιτέρω Ανάπτυξης

Το πείραμα υλοποιήθηκε με την τοποθέτηση μιας κοινής αντλίας σε ένα δίκτυο, κατά την ανάποδη φορά λειτουργίας της, ώστε να λειτουργήσει σαν υδροτουρμπίνα για ταυτόχρονο έλεγχο της πίεσης και παραγωγής ενέργειας. Ταυτόχρονα ελέγχθηκαν οι πιέσεις και πως αποδίδει ενεργειακά η υδροτουρμπίνα. Οι μετρήσεις που πάρθηκαν ήταν περιορισμένες, παρόλα αυτά υπήρξαν ικανοποιητικά αποτελέσματα, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα και παρατηρήσεις από την πειραματική διαδικασία.

Μία εναλλακτική που θα μπορούσε να εξετασθεί είναι η χρήση άλλων υλικών για τους σωλήνες. Το δίκτυο μπορεί αποδώσει καλύτερα και θα έχει μεγαλύτερες αντοχές, όταν τα υλικά, εξαρτήματα και αγωγοί που χρησιμοποιούνται είναι μεταλλικά, σε αντίθεση με το πείραμα που χρησιμοποιήθηκαν πλαστικοί σωλήνες πίεσεως (αντοχής μέχρι 10 και 16 ατμοσφαιρών) από PVC υλικό. Οι λόγοι που επιλέχθηκαν ήταν κυρίως οικονομικοί, λόγω της μεγάλης διαφοράς στις τιμές μεταξύ μεταλλικών αγωγών και πλαστικών PVC. Επίσης οι πλαστικοί αγωγοί από PVC παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευκολία στην επεξεργασία τους καθώς και στη συνδεσμολογία υλικών με αποτέλεσμα το ευκολότερο στήσιμο του πειράματος. Αντίθετα, οι μεταλλικοί αγωγοί απαιτούν ειδικό εξοπλισμό για την κατεργασία τους και μεγάλο βαθμό προσοχής κατά τη διαδικασία αυτή και μέτρα ασφαλείας θα πρέπει να τηρούνται αυστηρά.

Μια ακόμα εναλλακτική είναι η αντλία που χρησιμοποιείται. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη αντλιών, που καλύπτουν η κάθε μια διαφορετικές ανάγκες και απαιτήσεις. Διαφορετικές αντλίες έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, πχ διαφορετικές καμπύλες λειτουργίας. Αντίστοιχα λοιπόν, η κάθε μία από αυτές, θα αποδώσει διαφορετικά ως PAT. Κατά την επιλογή μιας διαφορετικής αντλίας για χρήση ως PAT, από τα πιο βασικά στοιχεία είναι η πτερωτή (ή πτερωτές) που απαρτίζουν την αντλία. Μια εναλλακτική προς διερεύνηση θα μπορούσε να 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.

Κατά την εκτέλεση του πειράματος παρατηρήθηκε ότι οι παραμικρές αλλαγές προκαλούν διαφορετικά αποτελέσματα. Εκτός της διαφορετικότητας βέβαια των αποτελεσμάτων, συνιστάται η διερεύνηση άλλων τομέων όπως η ακρίβεια των μετρήσεων, με την τοποθέτηση μετρητών και ελεγκτών δικτύου. Μεγαλύτερα δίκτυα απαιτούν και επιπρόσθετο εξοπλισμό, αγωγούς By-Pass (παρακαμπτήριες οδοί), δικλείδες ασφαλείας, ελέγχου πίεσης, ανεπίστροφες. Η εφαρμογή σεναρίων σε πραγματικές συνθήκες, έδειξε ότι στα περισσότερα σεναρία, παρατηρείται μια πτώση στάθμης κάτω από τα αποδεκτά όρια, ως απόρροια των παρεμβάσεων στο δίκτυο. Σε αυτή την περίπτωση μπορούν να ελεγχθούν διαφορετικά σημεία τοποθέτησης των PAT/PRV, είτε και ένας διαφορετικός τρόπος κατασκευής των DMA.

Μια ακόμα πτυχή που μπορεί να αναπτυχθεί περαιτέρω είναι μια μέθοδος κόστους-ωφέλους από τη λειτουργία της PAT, λαμβάνοντας υπόψη και την τοποθεσία της. Παράγοντες που μπορούν να ληφθούν υπόψη για τον υπολογισμό είναι: η ικανότητα της απόδοσης της PAT

---

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

όταν υπόκεινται σε υδραυλική ή ηλεκτρική ρύθμιση, η ευελιξία της PAT υπό συνθήκες εργασίας ελαφρώς διαφορετικές από τις τιμές σχεδιασμού και η αξιοπιστία της PAT με βάση τον κύκλο ζωής των εξαρτημάτων.

## Βιβλιογραφία

- [1] Adedeji K. B., Hamam Y., Abe B. T., Abu-Mahfouz A. M. (2018). Pressure management strategies for water loss reduction in large-scale water piping networks: A review. In *Advances in Hydroinformatics* (pp. 465-480). Springer, Singapore.
- [2] Agarwal T. (2012). Review of pump as turbine (PAT) for micro-hydropower. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2(11), 163-169.
- [3] Alberizzi J. C., Renzi M., Nigro A., Rossi M. (2018). Study of a Pump-as-Turbine (PaT) speed control for a Water Distribution Network (WDN) in South-Tyrol subjected to high variable water flow rates. *Energy Procedia*, 148, 226-233.
- [4] Alberizzi J. C., Renzi M., Righetti M., Pisaturo G. R., Rossi, M. (2019). Speed and Pressure Controls of Pumps-as-Turbines Installed in Branch of Water-Distribution Network Subjected to Highly Variable Flow Rates. *Energies*, 12(24), 4738.
- [5] Anderson H. H. (1994). *Centrifugal pumps and allied machinery*. Elsevier.
- [6] Babel M. S., Islam M. S., Das Gupta A. (2009). Leakage management in a low-pressure water distribution network of Bangkok. *Water Science and Technology: Water Supply*, 9(2), 141-147.
- [7] Baek C. W., Jun H. D., Kim J. H., Yoo, D. G., Lee K. C. (2008). Evaluation of Emergency Water Supply Plan for Block System of Water Network using WaterGEMS. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 8(6), 15-20.
- [8] Barbarelli S., Amelio, M., & Florio, G. (2016). Predictive model estimating the performances of centrifugal pumps used as turbines. *Energy*, 107, 103-121.
- [9] Buono D., Frosina E., Mazzone A., Cesaro U., Senatore A. (2015). Study of a pump as turbine for a hydraulic urban network using a tridimensional CFD modeling methodology. *Energy Procedia*, 82, 201-208.
- [10] Camilo Rosado L. E., López-Jiménez P. A., Sánchez-Romero F. J., Conejos Fuertes P., Pérez-Sánchez, M. (2020). Applied Strategy to Characterize the Energy Improvement Using PATs in a Water Supply System. *Water*, 12(6), 1818.
- [11] Carravetta A., Del Giudice G., Fecarotta O., Ramos H. M. (2012). Energy production in water distribution networks: A PAT design strategy. *Water resources management*, 26(13), 3947-3959.
- [12] Carravetta A., Del Giudice G., Fecarotta O., Ramos, H. M. (2013). PAT design strategy for energy recovery in water distribution networks by electrical regulation. *Energies*, 6(1), 411-424.
- [13] Carravetta A., Fecarotta O., Sinagra M., Tucciarelli, T. (2014). Cost-benefit analysis for hydropower production in water distribution networks by a pump as turbine. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(6), 04014002.
- [14] Chaudhry M. H. (2007). *Open-channel flow*. Springer Science & Business Media.

- [15] Cherchi C., Badruzzaman M., Oppenheimer J., Bros C. M., Jacangelo J. G. (2015). Energy and water quality management systems for water utility's operations: A review. *Journal of environmental management*, 153, 108-120.
- [16] Corcoran L., McNabola A., Coughlan P. (2016). Optimization of water distribution networks for combined hydropower energy recovery and leakage reduction. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(2), 04015045.
- [17] Creaco E., Walski, T. (2017). Economic analysis of pressure control for leakage and pipe burst reduction. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(12), 04017074.
- [18] Dai J., Wu S., Han G., Weinberg J., Xie X., Wu X., Yang, Q. (2018). Water-energy nexus: A review of methods and tools for macro-assessment. *Applied Energy*, 210, 393-408.
- [19] Dannier A., Del Pizzo A., Giugni M., Fontana N., Marini G., Proto D. (2015, June). Efficiency evaluation of a micro-generation system for energy recovery in water distribution networks. In 2015 international conference on clean electrical power (ICCEP) (pp. 689-694). IEEE.
- [20] Darvini G., Soldini L. (2015). Pressure control for WDS management. A case study. *Procedia Engineering*, 119, 984-993.
- [21] Derakhshan S., Nourbakhsh A. (2008a). Experimental study of characteristic curves of centrifugal pumps working as turbines in different specific speeds. *Experimental thermal and fluid science*, 32(3), 800-807.
- [22] Derakhshan S., Nourbakhsh A. (2008b). Theoretical, numerical and experimental investigation of centrifugal pumps in reverse operation. *Experimental thermal and fluid science*, 32(8), 1620-1627.
- [23] D'Ercole M., Righetti M., Ugarelli R. M., Berardi, L., Bertola P. (2016). An integrated modeling approach to optimize the management of a water distribution system: improving the sustainability while dealing with water loss, energy consumption and environmental impacts. Elsevier.
- [24] De Marchis M., Milici B., Volpe R., Messineo A. (2016). Energy saving in water distribution network through pump as turbine generators: economic and environmental analysis. *Energies*, 9(11), 877.
- [25] De Paola F., Galdiero E., Giugni M. (2016). A jazz-based approach for optimal setting of pressure reducing valves in water distribution networks. *Engineering Optimization*, 48(5), 727-739.
- [26] Di Nardo A., Di Natale M., Giudicianni C., Greco R., Santonastaso G. F. (2017). Weighted spectral clustering for water distribution network partitioning. *Applied network science*, 2(1), 19.
- [27] Farmani R., Butler, D. (2014). Implications of urban form on water distribution systems performance. *Water resources management*, 28(1), 83-97.

- [28] Fecarotta O., Aricò C., Carravetta A., Martino R., Ramos H. M. (2015). Hydropower potential in water distribution networks: Pressure control by PATs. *Water resources management*, 29(3), 699-714.
- [29] Fecarotta O., McNabola, A. (2017). Optimal location of pump as turbines (PATs) in water distribution networks to recover energy and reduce leakage. *Water resources management*, 31(15), 5043-5059.
- [30] Fecarotta O., Ramos H. M., Derakhshan S., Del Giudice G., Carravetta A. (2018). Fine tuning a PAT hydropower plant in a water supply network to improve system effectiveness. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 144(8), 04018038.
- [31] FernándezGarcía I., Mc Nabola A. (2020). Maximizing Hydropower Generation in Gravity Water Distribution Networks: Determining the Optimal Location and Number of Pumps as Turbines. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 146(1), 04019066.
- [32] Fontana N., Giugni M., Portolano D. (2012). Losses reduction and energy production in water-distribution networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 138(3), 237-244.
- [33] Fontana N., Giugni M., Glielmo L., Marini, G. (2016). Real time control of a prototype for pressure regulation and energy production in water distribution networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(7), 04016015.
- [34] Giugni M., Fontana N., Portolano D. (2009, April). Energy saving policy in water distribution networks. *In the Proceedings of the International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'09), Valencia, Spain (Vol. 126)*.
- [35] Giugni M., Fontana N., Ranucci, A. (2014). Optimal location of PRVs and turbines in water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(9), 06014004.
- [36] Gupta A. D., Kulat K. (2018). Leakage reduction in water distribution system using efficient pressure management techniques. Case study: Nagpur, India. *Water Supply*, 18(6), 2015-2027.
- [37] Jain S. V., Patel R. N. (2014). Investigations on pump running in turbine mode: A review of the state-of-the-art. *Renewable and sustainable energy reviews*, 30, 841-868.
- [38] Jiang B., Zhang F., Gao J., Zhao, H. (2013). Building a water distribution network hydraulic model by using WaterGEMS. *In ICPTT 2012: Better Pipeline Infrastructure for a Better Life(pp. 453-461)*.
- [39] Kanakoudis V., Tsitsifli S., Papadopoulou A. (2012). Integrating the carbon and water footprints' costs in the water framework directive 2000/60/EC full water cost recovery concept: Basic principles towards their reliable calculation and socially just allocation. *Water*, 4(1), 45-62.

- [40] Karadirek I. E., Kara S., Yilmaz G., Muhammetoglu A., Muhammetoglu, H. (2012). Implementation of hydraulic modelling for water-loss reduction through pressure management. *Water Resources Management*, 26(9), 2555-2568.
- [41] Lydon T., Coughlan P., McNabola, A. (2017a). Pump-as-turbine: Characterization as an energy recovery device for the water distribution network. *Journal of Hydraulic Engineering*, 143(8), 04017020.
- [42] Lydon T., Coughlan P., McNabola, A. (2017b). Pressure management and energy recovery in water distribution networks: Development of design and selection methodologies using three pump-as-turbine case studies. *Renewable Energy*, 114, 1038-1050.
- [43] Mavi T., Vaidya, D. R. (2018). Study and design of 24/7 water supply distribution system by watergems. *International Journal of Engineering, Science and Mathematics*, 7 (3), 481-486.
- [44] McNabola A., Coughlan P., Williams A. P. (2013). Energy recovery in the water industry: an assessment of the potential of micro-hydropower. *Water and Environment Journal*, 27(3), 435-436.
- [45] Mehta D. J., Yadav V., Waikhom S. I., & Prajapati, K. (2017). Design of optimal water distribution systems using WaterGEMS: A case study of Surat city. Shree Swami Atmanand Saraswati Institute of Technology, Kuala Lumpur, Malaysia.
- [46] Morani, M. C., Carravetta, A., Del Giudice, G., McNabola, A., & Fecarotta, O. (2018). A comparison of energy recovery by PATs against direct variable speed pumping in water distribution networks. *Fluids*, 3(2), 41.
- [47] Muhammetoglu A., Nursen C., Karadirek I. E., Muhammetoglu, H. (2018). Evaluation of performance and environmental benefits of a full-scale pump as turbine system in Antalya water distribution network. *Water Science and Technology: Water Supply*, 18(1), 130-141.
- [48] Nautiyal H., Kumar, A. (2010). Reverse running pumps analytical, experimental and computational study: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), 2059-2067.
- [49] Patelis M., Kanakoudis V., Gonelas K. (2017). Combining pressure management and energy recovery benefits in a water distribution system installing PATs. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 66(7), 520-527.
- [50] Pérez-Sánchez M., Sánchez-Romero F. J., Ramos H. M., López-Jiménez P. A. (2020). Improved Planning of Energy Recovery in Water Systems Using a New Analytic Approach to PAT Performance Curves. *Water*, 12(2), 468.
- [51] Postacchini M., Darvini G., Finizio F., Pelagalli L., Soldini L., Giuseppe E. D. (2020). Hydropower Generation Through Pump as Turbine: Experimental Study and Potential Application to Small-Scale WDN. *Water*, 12(4), 958.
- [52] Prakasam C., Saravanan R. (2020). Comparison of Modules for Water Distribution System Design—A Case Study of Ramapuram Chennai Tamil Nadu. In *Sustainable Civil Engineering Practices* (pp. 197-205). Springer, Singapore.

- [53] Puleo V., Fontanazza C. M., Notaro V., De Marchis M., Freni G., La Loggia, G. (2014). Pumps as turbines (PATs) in water distribution networks affected by intermittent service. *Journal of Hydroinformatics*, 16(2), 259-271.
- [54] Pugliese F., De Paola F., Fontana N., Giugni M., Marini, G. (2016). Experimental characterization of two pumps as turbines for hydropower generation. *Renewable energy*, 99, 180-187.
- [55] Puust R., Kapelan Z., Savic D. A., Koppel T. (2010). A review of methods for leakage management in pipe networks. *Urban Water Journal*, 7(1), 25-45.
- [56] Ramos H. M., Dadfar A., Besharat M., Adeyeye K. (2020). Inline Pumped Storage Hydropower towards Smart and Flexible Energy Recovery in Water Networks. *Water*, 12(8), 2224.
- [57] Rao P. P., Li K. (2011). Simulation of urban water distribution system for distributed power generation. *In the Proceedings of 2011 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition (pp. 1-3). IEEE.*
- [58] Rossi M., Righetti M., Renzi M. (2016). Pump-as-Turbine for energy recovery applications: the case study of an aqueduct. *Energy Procedia*, 101, 1207-1214.
- [59] Rossi M., Renzi, M. (2018). A general methodology for performance prediction of pumps-as-turbines using Artificial Neural Networks. *Renewable Energy*, 128, 265-274.
- [60] Rossi M., Nigro A., Pisaturo G. R., Renzi M. (2019). Technical and economic analysis of Pumps-as-Turbines (PaTs) used in an Italian Water Distribution Network (WDN) for electrical energy production. *Energy Procedia*, 158, 117-122.
- [61] Sanda B., Daniela C. V. (2012). The influence of the inlet angle over the radial impeller geometry design approach with Ansys. *Journal of Engineering Studies and Research*, 18(4), 32.
- [62] Sanders K. T., Webber M. E. (2012). Evaluating the energy consumed for water use in the United States. *Environmental Research Letters*, 7(3), 034034.
- [63] Singh P., Nestmann F. (2010). An optimization routine on a prediction and selection model for the turbine operation of centrifugal pumps. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34(2), 152-164.
- [64] Stefanizzi M., Capurso T., Balacco G., Binetti M., Torresi M., Camporeale S. M. (2019). Pump as turbine for throttling energy recovery in water distribution networks. In *AIP Conference Proceedings (Vol. 2191, No. 1, p. 020142). AIP Publishing LLC.*
- [65] Sudheer C. V., Ramesh M., Ramana, G. V. (2020). Feasible Study for Allocation of Nodal Demands Through WaterGEMS. In *Advances in Geotechnical and Transportation Engineering (pp. 339-352). Springer, Singapore.*



---

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

[66] Świtnicka K., Suchorab P., Kowalska B. (2017). The optimisation of a water distribution system using Bentley WaterGEMS software. In *ITM Web of Conferences* (Vol. 15, p. 03009). EDP Sciences.

[67] Tan X., Engeda A. (2016). Performance of centrifugal pumps running in reverse as turbine: Part II -systematic specific speed and specific diameter based performance prediction. *Renewable energy*, 99, 188-197.

[70] Thornton J., Sturm R., Kunkel G. (2008). *Water loss control*. McGraw Hill Professional.

[71] Venturini, M., Alvisi, S., Simani, S., & Manservigi, L. (2017). Energy production by means of pumps as turbines in water distribution networks. *Energies*, 10(10), 1666.

[72] Vicente D. J., Garrote L., Sánchez R., Santillán D. (2016). Pressure management in water distribution systems: Current status, proposals, and future trends. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(2), 04015061.

[73] Yousefi H., Noorollahi Y., Tahani M., Fahimi R. (2019). Modification of pump as turbine as a soft pressure reduction systems (SPRS) for utilization in municipal water network. *Energy Equipment and Systems*, 7(1), 41-56.

[74] Wilkinson R. C. (2008). Integrating water and energy resource management in the context of climate change. In *The Proceedings of the International Conference on Water Scarcity, Global Changes, and Groundwater Management Responses*. University of California, Irvine, United States.

[75] Yang S. S., Derakhshan S., Kong F. Y. (2012). Theoretical, numerical and experimental prediction of pump as turbine performance. *Renewable Energy*, 48, 507-513.

[76] Zilberman D., Sproul T., Rajagopal D., Sexton S., Hellegers P. (2008). Rising energy prices and the economics of water in agriculture. *Water policy*, 10(S1), 11-21.

[77] Zimny J., Michalak P., Bielik S., Szcotka K. (2013). Directions in development of hydropower in the world, in Europe and Poland in the period 1995–2011. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 117-130.

[78] Βασιλόπουλος Ι. (2017). Διπλωματική Εργασία “ Εκτίμηση δυναμικού ενέργειας του δικτύου ύδρευσης της πόλης της Κοζάνης και εγκατάσταση μικρο-υδροτουρμπίνων για ανάκτηση ενέργειας και ρύθμιση πίεσης”. Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

[78] Βολάνης Ε., Ζαχαριουδάκης Α. (2018). Διπλωματική Εργασία “Πειραματική διάταξη, υδραυλικό προσομοίωμα δικτύου ύδρευσης-ενεργειακή απόδοση αντλίας και επιρροή της λειτουργίας της στις πιέσεις του δικτύου.” Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

[79] Γλούφτσιος Δ., Κότσος Π. Αντλίες: Τύποι, Λειτουργία, Εγκατάσταση, Συντήρηση, Επισκευή, Γραναζωτή αντλία polyrex. Τ.Ε.Ι. Σερρών, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Μηχανολογίας

[80] Θεοφιλόπουλος Γ. (2017). Διπλωματική Εργασία “ Ψηφιοποίηση του εξωτερικού δικτύου ύδρευσης της Κοζάνης, εκτίμηση του ενεργειακού δυναμικού του και ανάδειξη

---

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

πιθανών σημείων εγκατάστασης υδροτουρμπινών για ανάκτηση ενέργειας”. Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

[81] Κανακούδης Β., Τσιτσιφλή Α. (2009) Ερευνητικό έργο: προσδιορισμός των δεικτών λειτουργίας του δικτύου ύδρευσης Δ.Ε.Υ.Α. ΚΩ σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο της IWA.

[82] Κουρμπάσης Ν. (2017). Διπλωματική Εργασία “Βελτιστοποίηση ηλικίας και πίεσης νερού σε δίκτυο ύδρευσης με χρήση γενετικού αλγορίθμου και διαμόρφωση υδραυλικά απομονωμένων υποζωνών (DMAs) – Η περίπτωση της Αιανής”. Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

[83] Ξένου Α. (2017). Διπλωματική Εργασία “Η εξέλιξη του θεσμικού πλαισίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη λειτουργία των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας”. Πανεπιστήμιο Πειραιά.

[84] Πατέλης Μ., Βασιλόπουλος Ι., Κανακούδης Β., Γκονέλας Κ. (2016). Exploiting energy recovery potential in a water distribution network along with reliable pressure management. Στο 13th International Conference on Protection and Restoration of the Environment. Μύκονος, Ελλάδα: Ιούλιος 2016.

[85] Ρωμανός Α. (2017). Διπλωματική Εργασία “Υδραυλική προσομοίωση αστικών δικτύων ύδρευσης και μείωση της ηλικίας του παρεχόμενου νερού με χρήση τεχνικών ρύθμισης πίεσης – Η περίπτωση της Νέας Δημητριάδας Βόλου”. Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

[86] Τσιρίκογλου Θ., Βλαχογιάννης Μ. (2015). Ρευστοδυναμικές Μηχανές. Θεωρητική Προσέγγιση-Εφαρμογές.

[87] Χριστοφορίδη Ε. (2013). Διπλωματική Εργασία “Οικονομοτεχνική αξιολόγηση Συνεισφοράς Υδροηλεκτρικών Σταθμών (ΥΗΣ) Αναστρέψιμης Λειτουργίας στο ΣΗΕ Κρήτης”, Πολυτεχνική Σχολή Κρήτης, Χανιά

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα τμήματα από τα οποία απαρτίζεται μια αντλία, και δίνονται και οι ορισμοί που αφορούν τα βασικά χαρακτηριστικά της λειτουργίας της.

Η λειτουργία μιας αντλίας απαρτίζεται από το τμήμα της αναρρόφησης και από το τμήμα της κατάθλιψης (79, 86):

**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

Τα βασικά χαρακτηριστικά της λειτουργίας μιας αντλίας είναι (79, 86):

**Παροχή Q:** Ο όγκος 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  $H_\sigma$ :  $H_\sigma = H_a + H_k$

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 )

Ολικό ύψος  $H_o$ : Είναι το άθροισμα του στατικού ύψους και του ύψους αντιστάσεων  $H_o = H_\sigma + H_r$

Μανομετρικό ύψος  $H_m$ : Είναι η ολική ενέργεια που προσδίδει η αντλία στο διακινούμενο υγρό. Πρακτικά ισοδυναμεί με την ενέργεια που παράγει η αντλία ανά μονάδα βάρους του υγρού. Το μανομετρικό ύψος αντιστοιχεί στο μέγιστο ύψος ενός κατακόρυφου πίδακα υγρού που μπορεί να δημιουργήσει η αντλία, και μετριέται σε (m). Η επιλογή του μανομετρικού ύψους για τον προσδιορισμό της ενέργειας που παράγει μια αντλία βασίζεται στο γεγονός ότι αυτό δεν επηρεάζεται από το χρησιμοποιούμενο υγρό και συγκεκριμένα, την πυκνότητα του. Έτσι, η ενεργειακή συμπεριφορά της αντλίας εκφρασμένης ως μεταβολή του μανομετρικού ύψους, θα είναι η ίδια για κάθε διακινούμενο υγρό.

**Βαθμός Απόδοσης  $\eta$ :**

Υδραυλικός Βαθμός απόδοσης  $\eta_h$ : είναι ο λόγος του αποδιδόμενου ή ολικού ύψους της αντλίας προς το εσωτερικό ύψος.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

Ογκομετρικός βαθμός απόδοσης  $n_v$ : είναι ο λόγος της πραγματικής παροχής προς την εσωτερική παροχή.

Μηχανικός βαθμός απόδοσης  $n_m$ : είναι ο λόγος της εσωτερικής ισχύος προς την εισερχόμενη ισχύ στον άξονα της αντλίας.

Βαθμός απόδοσης  $n = n_h * n_v * n_m$

**Αποδιδόμενη ισχύς αντλίας: Ισχύς κινητήρα:**

$$P = \rho * g * H_0 * Q P_k = n * P$$

$\rho$  = πυκνότητα ρευστού

$g$  = επιτάχυνση της βαρύτητας

$n$  = ο συνολικός βαθμός απόδοσης της αντλίας

$H_0$  = Ολικό Ύψος

$Q$  = παροχή αντλίας

Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας

Οι κύριες χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας της αντλίας, για μια σταθερή ταχύτητα περιστροφής, είναι η καμπύλη του ολικού ύψους  $H$  συναρτήσει της παροχής  $Q$ , η καμπύλη του βαθμού απόδοσης της αντλίας συναρτήσει της παροχής, η καμπύλη της απορροφούμενης ισχύος συναρτήσει της παροχής καθώς και η καμπύλη της καθαρής θετικής πίεσης αναρρόφησης συναρτήσει της παροχής (79, 86).

Καμπύλη Παροχής - Ύψους (Q-H)

Η καμπύλη Q-H είναι το ύψος το οποίο δύναι η αντλία να προσφέρει για μια συγκεκριμένη παροχή. Η μονάδα μέτρησης του ύψους είναι τα «μέτρα στήλης υγρού» και χρησιμοποιείται λόγω του πλεονέκτηματος ότι είναι ανεξάρτητη του είδους του υγρού. Το ύψος της αντλίας εκφράζει το πόσο ψηλά μπορεί να στείλει η αντλία το υγρό ανεξάρτητα της πυκνότητας. Η σχέση του ύψους και της πίεσης δίνεται από τον εξής τύπο (79, 86):

$$H = \frac{P}{\rho * g}, \text{ Όπου:}$$

$H$  το ύψος (m)

$P$  η πίεση ( $Pa = N/m^2$ )

$\rho$  η πυκνότητα του υγρού ( $kg/m^3$ )

$g$  επιτάχυνση λόγω βαρύτητας ( $m/s^2$ )

Το ύψος το οποίο αποδίδει η αντλία αυξάνεται καθώς μειώνεται η παροχή. Ο ρυθμός μείωσης της παροχής είναι συνάρτηση της κατασκευής της αντλίας.

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

### Καμπύλη βαθμού απόδοσης ( $\eta$ )

*Ο βαθμός απόδοσης χρησιμοποιείται για να ποσοτικοποιήσει τη σχέση μεταξύ της ενέργειας η οποία προσδίδεται στο ρευστό μέσω της αντλίας και της ενέργειας η οποία απορροφά η αντλία από τον κινητήρα (79, 86). Ο βαθμός αυτός δεν είναι ένα σταθερό νούμερο και η διακύμανσή του εξαρτάται από το σημείο λειτουργίας της αντλίας. Το κανονικό σημείο λειτουργίας ή BEP (Best efficiency point) το σημείο εκείνο όπου ο βαθμός απόδοσης μεγιστοποιείται (79, 86).*

*Η επιλογή της αντλίας κοντά στο κανονικό σημείο λειτουργίας, αφού εξασφαλίζει τον μέγιστο βαθμό απόδοσης και ελαχιστοποιούνται ασκούμενες δυνάμεις οι οποίες ασκούνται στην αντλία είναι οι μικρότερες δυνατές, επτυγχάνοντας την πιο οικονομική λειτουργία της αντλίας επειδή το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας η οποία απορροφάται από την αντλία προσδίδεται στο ρευστό αλλά και επειδή όταν η αντλία λειτουργεί κοντά στο κανονικό σημείο λειτουργίας μειώνεται το κόστος συντήρησης (79, 86). Μια αντλία δεν είναι εφικτό να λειτουργεί συνεχώς στο κανονικό σημείο λειτουργίας της γιατί υπάρχουν μεταβλητές ανάγκες όσο αφορά τη παροχή και το ύψος του συστήματος. Ιδανικά επιλέγεται αντλία της οποίας το BEP είναι κοντά στις τιμές παροχής και ύψους που απαιτούνται (79, 86).*

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

### Ευρωπαϊκή νομοθεσία

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) αντιμετωπίζουν τα περιβαλλοντικά προβλήματα και επεκτείνονται στα Ευρωπαϊκά κράτη με νομοθετικά πλαίσια τα οποία προωθούν τη χρήση τους (81, 82).

Αρχικά εισήχθησαν σε ευρωπαϊκό επίπεδο το 1996 με την έκδοση της Πράσινης Βίβλου για την «Ενέργεια και το μέλλον: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας» [COM (96) 576]. Τέθηκαν οι βασικοί προβληματισμοί σχετικά με τις ΑΠΕ. Στόχος ήταν ο διπλασιασμός του ποσοστού συνεισφοράς των ΑΠΕ μέχρι το έτος 2010 γύρω στο 12% της Ευρωπαϊκής αγοράς.

Η εξέλιξη των ΑΠΕ επικαιροποιήθηκε με την Οδηγία 2001/77/ΕΚ *«για την προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από Ανανεώσιμες Πηγές στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας»*.

Η ανάπτυξη των ΑΠΕ ενισχύθηκε σημαντικά από ορισμένα προγράμματα. Αφενός, το πρόγραμμα ALTENER αποτέλεσε ένα εξελισσόμενο πολυετές πλαίσιο για την ευρωπαϊκή χρηματοδότηση μελετών, πληροφόρησης και άλλων μέτρων που στόχευαν στην εφαρμογή των κοινοτικών στόχων και σχεδίων για τις ΑΠΕ και αφετέρου, το πρόγραμμα JOULE – THERMIE για την τεχνολογία της έρευνας.

Το πρόγραμμα ALTENER αποτέλεσε συνέχεια του προγράμματος ALTENER I που ψηφίστηκε με την Απόφαση 93/500/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 13ης Σεπτεμβρίου 1993, και είχε προϋπολογισμό 40 εκατομμύρια ECU και διάρκεια από την 1-1-93 έως την 31-12-97 και του προγράμματος ALTENER II το οποίο ψηφίστηκε με την Απόφαση 98/352/ΕΚ του Συμβουλίου, της 18ης Μαΐου 1998, και είχε προϋπολογισμό 22 εκατομμύρια ECU και διάρκεια από την 1-1-98 έως την 31-12-99.

Το JOULE-THERMIE υλοποιήθηκε στα πλαίσια του 4ου προγράμματος-πλαisiού δράσεων έρευνας, τεχνολογικής ανάπτυξης και επίδειξης και πιο συγκεκριμένα στα πλαίσια του ειδικού προγράμματος έρευνας, τεχνολογικής ανάπτυξης και επίδειξης στον τομέα των μη πυρηνικών μορφών ενέργειας. Το πρόγραμμα JOULE-THERMIE προέκυψε από τη συνένωση δύο ξεχωριστών προγραμμάτων (με την έναρξη του 4ου προγράμματος-πλαisiού): του προγράμματος έρευνας και τεχνολογικής ανάπτυξης JOULE και του προγράμματος επίδειξης THERMIE. Η διάρκεια του προγράμματος ήταν από το 1994 έως το 1998. Το πρόγραμμα κάλυπτε τους τομείς των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, για την ορθολογική χρησιμοποίηση της ενέργειας και των ορυκτών καυσίμων. *Οι γενικοί στόχοι του προγράμματος ήταν η προώθηση της ενεργειακής ασφάλειας, της βιώσιμης ανάπτυξης, των καθαρών και αποδοτικών ενεργειακών τεχνολογιών, της ανταγωνιστικότητας της βιομηχανίας και της κοινωνικής συνοχής.* Στον τομέα των ΑΠΕ ο κύριος στόχος ήταν η βελτίωση της σχέσης κόστους-ανταγωνιστικότητας και η αύξηση της αξιοπιστίας των ΑΠΕ, καθώς και της εμπιστοσύνης των σχετικών φορέων, ενόψει της ενσωμάτωσης -σε σημαντικό επίπεδο- των ΑΠΕ στο σύστημα παροχής ενέργειας. Ένας πρόσθετος στόχος ήταν η ενίσχυση της

---

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

διείσδυσης των ΑΠΕ στην οικονομία και την καθημερινή ζωή της κοινωνίας (Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 1998).

Εκτός από το πρόγραμμα ALTENER και το JOULE-THERMIE, η Επιτροπή υλοποιεί και μία σειρά άλλων χρηματοδοτικών προγραμμάτων στα πλαίσια των οποίων ενισχύεται η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η Κοινοτική Οδηγία 2009/28 σχετικά με τη χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές τροποποιήθηκε τις Οδηγίες 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ και αποτέλεσε μέρος του νομοθετικού πακέτου για την Ενέργεια και την κλιματική αλλαγή περιλαμβάνοντας τα εξής:

- Κανονισμό Νο 443/2009
- Οδηγία 2009/28/ΕΚ
- Οδηγία 2009/29/ΕΚ,
- Οδηγία 2009/30/ΕΚ

Η Οδηγία 28/2009 έθεσε στόχο 20% συμμετοχής των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση μέχρι το 2020 και προβλέφθηκε η αξιοποίηση των ΑΠΕ για όλες τις ενεργειακές χρήσεις.

### Ελληνική νομοθεσία

Τα πρώτα νομοσχέδια για τις ΑΠΕ ψηφίστηκαν στην Ελλάδα, τη δεκαετία του 1980. Ο Ν. 1475/1984 «Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού» ρύθμιζε ζητήματα ΑΠΕ και συγκεκριμένα το θέμα της γεωθερμίας. Στη συνέχεια επεκτάθηκε η ρύθμιση με το Ν. 1559/1985 «Ρύθμιση θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις».

Ο Ν. 1559/85 είναι ο πρώτος νόμος που προβλέπει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εκτός της ΔΕΗ από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Με το Ν. 2773/99 εναρμονίστηκε η ελληνική νομοθεσία με τις διατάξεις της οδηγίας 96/92/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, σχετικά με τους κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Με το Ν. 2773/99 ουσιαστικά απελευθερώνεται η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Οι σημαντικότερες ρυθμίσεις που εισάγει ο νόμος σχετικά με τις ΑΠΕ είναι οι ακόλουθες:

Με το Ν. 2941/2001 αποπλοιήθηκε η αδειοδότηση των έργων ΑΠΕ, ενώ ορίστηκε ότι τα έργα παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ και σύνδεσης χαρακτηρίζονται ως έργα δημόσιας ωφέλειας, ανεξάρτητα από τον φορέα υλοποίησής τους (αρ. 2), δίνοντας τη δυνατότητα αναγκαστικής απαλλοτρίωσης ακινήτων ή σύστασης εμπράγματων δικαιωμάτων, όταν αυτό θεωρείτο αναγκαίο.

Εν συνεχεία η οδηγία 2003/30/ΕΚ εναρμονίστηκε με το νομοθετικό πλαίσιο της Ελλάδας στις 13 Δεκεμβρίου 2005 θέτοντας σε ισχύ τον Ν. 3423/2005 "Εισαγωγή στην Ελληνική αγορά βιοκαυσίμων και λοιπών ανανεώσιμων καυσίμων" όπως τροποποιήθηκε από τον Ν. 2008/3653 (Άρθρο 55).

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

Εν συνεχεία, με το Ν. 3468/2006 «*Συμπαραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας & Θερμότητας (ΣΗΘ)*» ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία η Οδηγία 2001/77/ΕΚ για την παραγωγή Θερμικής και Ηλεκτρικής ή και Μηχανικής Ενέργειας στο πλαίσιο μιας μόνο διαδικασίας. Συμπαραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ). Σύμφωνα με τον Ν 3468/2006 η συμπαραγωγή εξασφαλίζει εξοικονόμηση Πρωτογενούς Ενέργειας τουλάχιστον κατά 10%, σε σχέση με τη Θερμική και Ηλεκτρική Ενέργεια που παράγονται ξεχωριστά. Ο ανωτέρω νόμος επηρεάστηκε από την έκδοση του Ν. 3734/2009 «*Προώθηση της Συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικά με το Υδροηλεκτρικό Έργο Μεσοχώρας κλπ*» ώστε να ενσωματωθεί η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2004/8 στο εθνικό δίκαιο. Στόχος του Ν. 3468/2006 ήταν η συμμετοχή των ΑΠΕ στη συνολική κατανάλωση ηλεκτρισμού κατά 20,1% έως το 2010 και αντίστοιχα 29% έως το 2020 (αρθ. 27).

Ο Ν. 3468/2006 καθόρισε την νομοθεσία των ΑΠΕ σε σχέση με το Ν. 2773/1999 περί απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, ολοκληρώνοντας το κανονιστικό πλαίσιο για την αδειοδότηση των έργων ΑΠΕ, τη σύνδεση των Πελατών και Παραγωγών στο Σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, την τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ κλπ, στοχεύοντας να καταστήσει απλούστερες και να απλοποιήσει αυτές τις διαδικασίες.

Ο Ν 3734/2009 βελτίωσε την αδειοδοτική διαδικασία έργων ΑΠΕ, τις άδειες παραγωγής, εγκατάστασης και λειτουργίας και τη διασφάλιση του καθεστώτος αδειοδότησης μικρών υδροηλεκτρικών έργων (ΜΥΗΕ). Επιπλέον ρύθμισε τη διευκόλυνση σύνδεσης στο σύστημα (ΔΕΣΜΗΕ) σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και ρύθμισε την ορθολογική ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής.

Ο Ν. 4203/2013 «*Ρυθμίσεις θεμάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας*» και ο Ν. 4336/2015 «*Συνταξιοδοτικές διατάξεις – Κύρωση σχεδίου Σύμβασης Οικονομικής Ενίσχυσης από τον Ευρωπαϊκό Μηχανισμό Σταθερότητας και ρυθμίσεις για την υλοποίηση της Συμφωνίας Χρηματοδότησης*», επέκτειναν το νομοθετικό πλαίσιο στη χώρα για τις ΑΠΕ. Ο Ν. 4414/2016 θέσπισε το νέο καθεστώς στήριξης των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης» συμβατό με τη χρηματοδότηση νέων καινοτόμων τεχνολογιών βιώσιμης ανάπτυξης (Πρόγραμμα «*Ορίζοντας 2020*» της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη χρονική περίοδο 2014 – 2020). Με το Ν. 4467/2016 επήλθαν τροποποιήσεις του Ν.4414/2016 σχετικά με θέματα ρυθμίσεων για τη σύναψη Συμβάσεων Λειτουργικής Ενίσχυσης σταθμών Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. και θέματα Αδειών Παραγωγής σταθμών Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α.)

## Περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων ΑΠΕ

Η Οδηγία 2001/77/ΕΚ «*για την προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας*» ενσωματώθηκε στην Ελλάδα με το Ν. 3468/2006. Στο άρθρο 14 δόθηκε ο ορισμός της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ *i) εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση μίας ή περισσότερων μορφών ΑΠΕ, ii) εγκαταστάσεις συμπαραγωγής με χρήση μίας ή περισσότερων μορφών ΑΠΕ και iii) Υβριδικούς Σταθμούς, εφόσον η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από ΑΠΕ.*



---

**Διπλωματική Εργασία:** Πειραματική διάταξη δικτύου ύδρευσης για τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης μιας φυγόκεντρης αντλίας και των επιπτώσεων της λειτουργίας της στο δίκτυο, και εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες.

---

Μεταξύ των κριτηρίων που λαμβάνει υπόψιν η ΡΑΕ για την έκδοση της άδειας, είναι και η δυνατότητα υλοποίησης του έργου σε συμμόρφωση με το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις ΑΠΕ (κριτήριο το οποίο πριν το ν. 3851/2010 εξεταζόταν κατά το στάδιο της περιβαλλοντικής αδειοδότησης), καθώς και με το *Εθνικό Σχέδιο Δράσης για την επίτευξη συμμετοχής της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη σε ποσοστό τουλάχιστον 20%*.

Σε συνέχεια της έκδοσης άδειας παραγωγής, η άδεια εγκατάστασης, απαιτεί:

- Προσφορά Σύνδεσης

- Απόφασης Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων και

- των αναγκαίων αδειών για την απόκτηση του δικαιώματος χρήσης της θέσης εγκατάστασης του έργου (βλ. σχετικά τις παρ. 1 και 2 του άρθρου 12 του ν. 4014/2011 και την Εγκύκλιο υπ' αριθ. πρωτ. οικ. 4709.111/14.12.2011 σύμφωνα με την οποία όπου για την υποβολή αίτησης ή για τη χορήγηση άδειας εγκατάστασης απαιτείται η προηγούμενη χορήγηση Έγκρισης Επέμβασης, η σχετική απαίτηση νοείται ότι εκπληρώνεται εάν έχει εκδοθεί η Απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων μετά τη δημοσίευση του ν. 4014/2011.