



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ**

**ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ :  
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΤΟΥ ANDERSON  
CENTRIFUGAL PUMPS :  
EXPERIMENTAL VERIFICATION OF "ANDERSON" EQUATION**

**Φοιτητής : ΠΑΠΟΥΤΣΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

**Υπεύθυνος Παπαντώνης Ε. Δημήτριος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.**

**Ε.Μ.Π., ΑΘΗΝΑ 2010**

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|          |       |
|----------|-------|
| Περίληψη | σελ.6 |
| Abstract | pg.9  |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΕ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

|                                      |        |
|--------------------------------------|--------|
| 1.1 Τι είναι οι φυγόκεντρες αντλίες  | σελ.12 |
| 1.2 Βασικά μεγέθη                    | σελ.13 |
| 1.3 Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας | σελ.14 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ, ΟΡΓΑΝΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

|  |        |
|--|--------|
| 2.1 Γενική περιγραφή της εγκατάστασης                | σελ.19 |
| 2.2 Σχέδιο της εγκατάστασης                          | σελ.20 |
| 2.3 Ορολογία πειράματος και αντιστοίχιση εννοιών     | σελ.20 |
| 2.4 Παρουσίαση οργάνων μέτρησης - τρόπων διακρίβωσης |        |
| 2.4.1 Παράθεση οργάνων                               | σελ.25 |
| 2.4.2 Ακρίβεια οργάνων, στοιχεία κατασκευαστών       | σελ.25 |
| 2.5 Διαδικασίες κατά την εκτέλεση του πειράματος     | σελ.32 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΓΕΘΩΝ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

|  |        |
|--|--------|
| 3.1 Μεγέθη που μετρώνται πειραματικά                                   | σελ.34 |
| 3.2 Μεγέθη που υπολογίζονται βάσει των πειραματικά μετρούμενων μεγεθών | σελ.35 |
| 3.3 Πραγματικά και συμβατικά μεγέθη                                    | σελ.36 |
| 3.4 Μέθοδος υπολογισμού παράγωγων μεγεθών                              | σελ.37 |
| 3.5 Μέτρηση κρίσιμου θετικού ύψους αναρρόφησης $NPSHr$                 | σελ.40 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΧΑΡΑΞΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

|   |        |
|---|--------|
| 4.1 Χάραξη χαρακτηριστικής καμπύλης [Q,TDH]   |        |
| 4.1.1 Χαρακτηριστική καμπύλη δικτύου          | σελ.43 |
| 4.1.2 Χαρακτηριστική καμπύλη αντλίας          | σελ.43 |
| 4.2 Χάραξη χαρακτηριστικής καμπύλης [Q,η]     | σελ.44 |
| 4.3 Χάραξη χαρακτηριστικής καμπύλης [Q,NPSHr] | σελ.45 |
| 4.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων σε πίνακα        | σελ.47 |
| 4.5 Παρουσίαση χαρακτηριστικών καμπυλών       | σελ.47 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΙΔΙΚΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΣΤΡΟΦΩΝ

|  |        |
|--|--------|
| 5.1 Για τον ειδικό αριθμό στροφών $n_q$                        | σελ.48 |
| 5.2 Αλγεβρικός υπολογισμός $n_q$ βάσει εργαστηριακών μετρήσεων | σελ.49 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

|   |        |
|---|--------|
| 6.1 Γενικά για τους βαθμούς απόδοσης                  |        |
| 6.1.1 Υδραυλικός βαθμός απόδοσης $\eta_h$             | σελ.51 |
| 6.1.2 Ογκομετρικός βαθμός απόδοσης $\eta_Q$           | σελ.52 |
| 6.1.3 Μηχανικός βαθμός απόδοσης $\eta_M$              | σελ.54 |
| 6.1.4 Ολικός βαθμός απόδοσης $\eta$                   | σελ.55 |
| 6.2 Αλγεβρικός υπολογισμός υδραυλικού βαθμού απόδοσης | σελ.55 |
| 6.2.1 Εντοπισμός βέλτιστου βαθμού απόδοσης            | σελ.56 |
| 6.2.2 Υπολογισμός μηχανικού βαθμού απόδοσης           | σελ.57 |
| 6.2.3 Εκτίμηση του ογκομετρικού βαθμού απόδοσης       | σελ.63 |
| 6.2.4 Τιμές του υδραυλικού βαθμού απόδοσης            | σελ.64 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ ΣΠΗΛΑΙΩΣΗΣ ΒΑΣΕΙ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΤΟΥ ANDERSON

Υπολογισμός παραμέτρου σπηλαιώσης βάσει της σχέσης του Anderson σελ.65

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ ΣΠΗΛΑΙΩΣΗΣ ΒΑΣΕΙ ΟΡΙΣΜΟΥ

Υπολογισμός παραμέτρου σπηλαιώσης βάσει ορισμού σελ.66

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ ΣΠΗΛΑΙΩΣΗΣ ΒΑΣΕΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

Υπολογισμός παραμέτρου σπηλαιώσης βάσει κατασκευαστικών  
χαρακτηριστικών σελ.68

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

### ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

10.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων συγκεντρωτικά σελ.74

10.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τις τελικές τιμές της παραμέτρου  
σπηλαιώσης σελ.74

10.3 Τελικά συμπεράσματα σελ.76

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Α"

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Β"

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την πολύτιμη βοήθειά τους , χωρίς την οποία δε θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί η παρούσα εργασία, και για το χρόνο που ανιδιοτελώς αφιέρωσαν στο να παρέχουν τις απαραίτητες για την εκπόνησή της πληροφορίες, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον τεχνικό διευθυντή της εταιρίας ΔΡΑΚΟΣ ΠΟΛΕΜΗΣ ΑΕ, Γ. Χαραλαμπίδου , καθώς και τον υπεύθυνο της εγκατάστασης του δοκιμαστήριου , όπου και πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις του πειράματος, Α. Μαυρόγενο.

Επίσης ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή Δ. Παπαντώνη, για τη βοήθεια στη διεκπεραίωσή της.

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία σκοπό έχει την πειραματική επαλήθευση – διερεύνηση της σχέσης του Anderson. Η σχέση του Anderson είναι μια σχέση εμπειρική. Αναφέρεται σε φυγόκεντρες αντλίες και εμπλέκει τρία χαρακτηριστικά μεγέθη τους. Εισαγωγικά δε θα αναλύσουμε το πως αυτά τα μεγέθη προκύπτουν, αξίζει όμως να αναφερθούμε στη φυσική τους σημασία. Η εξίσωση του Anderson είναι η εξής:

$$\sigma_{\kappa\rho} = \frac{3,75 \times 10^{-6}}{\eta_h^2} \times n_q^{4/3} \quad (1.1)$$

$\sigma_{\kappa\rho}$  : παράμετρος σπηλαίωσης. Είναι καθαρός αριθμός και απεικονίζει τη δυνατότητα της αντλίας να λειτουργεί ομαλά, χωρίς σπηλαίωση, ανάλογα με την τιμή της ολικής πίεσης του υγρού στο στόμιο αναρρόφησης. Επιθυμητή η χαμηλότερη τιμή.

$\eta_h$  : υδραυλικός βαθμός απόδοσης. Είναι καθαρός αριθμός, παίρνει τιμές από μηδέν έως ένα. Αποτελεί έναν από τους τρεις επιμέρους βαθμούς απόδοσης των φυγόκεντρων αντλιών, το γινόμενο των οποίων συνιστά τον ολικό βαθμό απόδοσης. Η τιμή που συμμετέχει στη σχέση του Anderson, αναφέρεται στο σημείο λειτουργίας με το βέλτιστο ολικό βαθμό απόδοσης της αντλίας. Είναι επιθυμητή η όσο το δυνατό μεγαλύτερη τιμή του, και

$n_q$  : ειδικός αριθμός στροφών. Είναι καθαρός αριθμός και αποτελεί μέγεθος χαρακτηριστικό της μορφής της πτερωτής της αντλίας.

Η εργασία επιλέχτηκε να δομηθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να παρουσιάζει το θεωρητικό της μέρος όσο το δυνατόν ταυτόχρονα με το πειραματικό, να αποφεύγει τα καθαρά θεωρητικά ή καθαρά πειραματικά μέρη. Με τον τρόπο αυτό γίνεται η κάλυψη του πειράματος χωρίς να χρειάζεται ο αναγνώστης να ανατρέχει στη θεωρία προηγούμενων κεφαλαίων, απλώνεται και κατανοείται καλύτερα η θεωρία αλλά και η ροή της επεξεργασίας των πειραματικών δεδομένων, το πως αυτή η επεξεργασία ικανοποιεί την επίτευξη του στόχου. Η παρουσίαση των δεδομένων βέβαια γίνεται με τη μορφή πινάκων και συγκεντρωτικά ανά κεφάλαιο, έτσι ώστε ο αναγνώστης να έχει τη δυνατότητα της επισκόπησης των πειραματικών δεδομένων αλλά και των παράγωγων μεγεθών, έτσι όπως αυτά προκύπτουν στη ροή της εργασίας.

Έτσι το πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζει τις βασικές έννοιες γύρω από τις φυγόκεντρες αντλίες, και είναι το μόνο αμιγώς θεωρητικό κεφάλαιο. Ουσιαστικά εισάγει τον αναγνώστη στον κόσμο των φυγόκεντρων αντλιών. Παρουσιάζει επιγραμματικά την αξία χρήσης και την ιστορία τους, δίνει τους ορισμούς των βασικών μεγεθών που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της λειτουργίας

τους. Τα μεγέθη αυτά θα χρησιμοποιηθούν και κατά τη διάρκεια της εργασίας. Τέλος, περιγράφει τι είναι οι χαρακτηριστικές καμπύλες των αντλιών, και το τι πληροφορίες μπορεί κανείς να "διαβάσει" σ' αυτές.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια αρκετά αναλυτική παρουσίαση της πειραματικής εγκατάστασης, των οργάνων που θα χρησιμοποιηθούν και των διαδικασιών που θα ακολουθηθούν κατά την εκτέλεση του πειράματος. Στόχος είναι η δημιουργία της βάσης για την κατανόηση της συνέχειας της πειραματικής διαδικασίας από την οποία προκύπτουν τα δεδομένα. Η εγκατάσταση περιγράφεται με τη μορφή τεχνικής έκθεσης αλλά και σχεδιάζεται και φωτογραφίζεται. Τα όργανα μέτρησης περιγράφονται τεχνικά, επίσης αναφέρεται η ακρίβεια του κάθε οργάνου και ο τρόπος με τον οποίο γίνεται ο έλεγχος (διακρίβωση). Δίνονται οι απαραίτητες έννοιες (ορολογία) που χρησιμοποιούνται στα τεχνολογικά πειράματα, και γίνεται η αντιστοίχιση αυτών με τα αντικείμενα, τις συνθήκες και τα φυσικά μεγέθη που εμφανίζονται στο συγκεκριμένο τεχνολογικό πείραμα.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των μεγεθών που μετρώνται κατά την εκτέλεση του πειράματος, παρουσίαση των παράγωγων μεγεθών. Επίσης παρουσιάζεται ο τρόπος λήψης των δεδομένων και η μέθοδος επεξεργασίας τους. Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του πειράματος μετρώνται κάποια μεγέθη, προφανώς μέσω της ανάγνωσης των ενδείξεων κάποιων οργάνων. Δεν είναι όμως η λήψη των δεδομένων τόσο απλή υπόθεση όσο φαίνεται εκ πρώτης όψης. Στο τρίτο κεφάλαιο λοιπόν, φαίνεται ο τρόπος που πρέπει να στηθούν τα όργανα και οι συμβάσεις που ακολουθούνται κατά τη λήψη των μετρήσεων. Τα δεδομένα στη συνέχεια επιδέχονται επεξεργασία, από την οποία προκύπτουν κάποια βασικά παράγωγα μεγέθη, τα οποία με τη σειρά τους θα γίνουν αντικείμενα επεξεργασίας. Η μέθοδος της επεξεργασίας περιγράφεται επίσης στο παρόν κεφάλαιο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η χάραξη των χαρακτηριστικών καμπυλών των αντλιών και η παρουσίαση των δεδομένων και των παράγωγων μεγεθών σε πίνακα. Τα πειραματικά δεδομένα, τα παράγωγα μεγέθη, καθώς και οι χαρακτηριστικές καμπύλες, αναρτώνται στο παράρτημα Α. Η χάραξη, όπως και η εξαγωγή των παράγωγων μεγεθών, απαιτεί τη χρήση μιας συγκεκριμένης μεθοδολογίας. Δεν αρκεί η απλή τοποθέτηση ενός νέφους σημείων, πάνω σε ένα διάγραμμα με τους αντίστοιχους άξονες, με την κατάλληλη βαθμονόμησή τους, και η ένωσή τους με ευθείες γραμμές. Η μεθοδολογία αυτή παρουσιάζεται επίσης στο παρόν κεφάλαιο.

Στο πέμπτο και στο έκτο κεφάλαιο υπολογίζονται τα μεγέθη που εμπλέκονται στη σχέση του Anderson. Αναφερόμαστε στα μεγέθη του δεύτερου μέλους της εξίσωσης, δηλαδή στον ειδικό αριθμό στροφών  $n_q$  και στον υδραυλικό βαθμό απόδοσης  $\eta_H$ . Ο υπολογισμός του ειδικού αριθμού στροφών γίνεται στο πέμπτο και του υδραυλικού βαθμού απόδοσης στο έκτο κεφάλαιο. Και στα

δύο κεφάλαια εμπεριέχονται, πρώτο η απαραίτητη θεωρητική εμβάθυνση, και δεύτερο ο υπολογισμός των αντίστοιχων μεγεθών. Για τον υπολογισμό χρησιμοποιούμε τα δεδομένα του πειράματος, τα παράγωγα μεγέθη και τις χαρακτηριστικές καμπύλες όπως παρουσιάστηκαν στο τέταρτο κεφάλαιο.

Στο έβδομο, όγδοο και ένατο κεφάλαιο, υπολογίζεται η παράμετρος σπηλαίωσης με τρεις δυνατούς τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι με τη χρήση της σχέσης του Anderson, και παρουσιάζεται στο έβδομο κεφάλαιο. Ο δεύτερος τρόπος είναι με τη χρήση της σχέσης ορισμού της παραμέτρου σπηλαίωσης. Παρουσιάζεται στο όγδοο κεφάλαιο. Ο τρίτος και τελευταίος τρόπος είναι με τη χρήση σχέσης που συσχετίζει την παράμετρο σπηλαίωσης με κατασκευαστικά στοιχεία της αντλίας, όπως η κλίση και η διάμετρος των πτερυγίων της πτερωτής στις διατομές εισόδου και εξόδου, η ταχύτητα του ρευστού στη διατομή εξόδου, η περιφερειακή ταχύτητα της πτερωτής στην διατομή εξόδου κτλ. Παρουσιάζεται στο ένατο κεφάλαιο.

Στο δέκατο κεφάλαιο γίνεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων των προηγούμενων τριών κεφαλαίων και ο σχολιασμός αυτής της σύγκρισης. Ως η πιο αξιόπιστη σχέση για τον υπολογισμό της παραμέτρου σπηλαίωσης μπορεί να θεωρηθεί η σχέση ορισμού. Τα μεγέθη που συμμετέχουν όμως σ' αυτή τη σχέση προκύπτουν από τα πειραματικά δεδομένα, συνοδευόμενα από τα σφάλματά τους. Η σχέση που εμπεριέχει τα κατασκευαστικά στοιχεία της αντλίας είναι η λιγότερο εξαρτώμενη από τα πειραματικά δεδομένα, τα μεγέθη που εμπεριέχει όμως είναι δύσκολο να μετρηθούν και να δοθούν, ακόμη και από τον κατασκευαστή της αντλίας.



## Abstract

This thesis aims to experimental verification and exploring the equation of Anderson. The Anderson equation is empirical. It refers to centrifugal pumps and involves three characteristic parameters. Introductory, we will not analyze how they are derived, but it is worth to mention in their natural meaning. The Anderson equation is as follows:

$$\sigma_{kp} = \frac{3,75 \times 10^{-6}}{\eta_h^2} \times n_q^{4/3} \quad (1.1)$$

$\sigma_{kp}$  : cavitation parameter. A pure number that reflects the ability of the pump to operate smoothly, without cavitation, depending on the value of total pressure of the fluid in the suction bore. Desired the lowest price.

$\eta_h$  : hydraulic efficiency. A pure number, that takes values from zero to one. It is one of three different degrees of efficiency of centrifugal pumps, the product of which is the total efficiency . The value involved in the equation of Anderson, refers to point of operation with the best total efficiency of the pump. It is desirable to achieve the maximum possible value , and

$n_q$  : specific speed. A pure number that is characteristic of the type of the pump's impeller.

The thesis was chosen to be structured in such a way as to show the theoretical part as far as possible along with the experimental , to avoid the purely theoretical or purely experimental parts. In this way the coverage of the experiment takes place so that the reader doesn't need to look back at the theory of previous chapters, it spreads and the reader understands better the theory and the flow of processing of experimental data and how this process meets the objective. The data is certainly in the form of tables and aggregated by chapter, so that the reader be able to review the experimental data and derived quantities , such as those created in the workflow.

So the *first chapter* presents the basic concepts about centrifugal pumps, and is purely theoretical chapter. Essentially introduces the reader to the world of centrifugal pumps. It presents briefly the use value and history , gives the definitions of basic parameters used to describe their operation . These figures will be used during the study. Finally, it describes what are the characteristic curves of pumps, and what information can be read on them.

The *second chapter* is a fairly detailed presentation of the test facility, instrumentation to be used and the procedures to be followed in carrying out the experiment. The aim is to create the basis for understanding the continuity of the experimental process that generates data. The installation is described as technical report but also designed and photographed. The instrumentation is described technically, also indicates the accuracy of any gauge and how is the error checking (calibration). The necessary concepts used in technological experiments (terminology) are given, and they are

matched with the respective parameters, conditions and the physical quantities that appear in a technological experiment.

The *third chapter* is the presentation of the parameters measured in the performance of the experiment, presentation of derivative quantities. It also explains how data collection is achieved and presents the processing method. During the course of the experiment, we obtain measurements of some parameters, probably through reading some gauge's indications. However, data collection is not as simple road as it seems at first sight. At the third chapter, therefore, it seems the way we set up the measuring devices and the conventions followed in the obtaining of measurements. The data then is being processed. Through this procession, we obtain as a result the collection of some basic derivative quantities, which in turn will be processed. The method of data process is also described in this section.

In the *fourth chapter* takes place the drawing of the characteristic curves of pumps and presentation of data and derived quantities in table. The experimental data, the derived quantities and the characteristic curves, are all displayed in Annex "A". The drawing of the characteristic curves, also the export of the derived quantities, requires the use of a specific methodology. It is not enough just to put a cloud of points on a graph with their respective axes, with the proper calibration, and then connect them with straight lines. The methodology we use is also presented in this chapter.

In the *fifth* and *sixth chapter* the parameters involved in the equation of Anderson are calculated. We refer to the variables of the second member of the equation, that the specific speed  $n_q$  and the hydraulic efficiency  $\eta_h$ . The calculation of the specific speed takes place in the fifth, and the calculation of the hydraulic efficiency, in the sixth chapter. In both paragraphs, first the necessary theoretical depth, and second the calculation of respective quantities, are contained. We use, for the calculation, the data of the experiment, the derivative quantities and the characteristic curves as presented in Chapter Four.

In the *seventh, eighth and ninth chapter*, we calculate the cavitation parameter in three possible ways. The first way is by using the equation of Anderson, it's presented to the Seventh Chapter. The second way is by using the definition equation of the cavitation parameter. It is presented in chapter eight. The third and final way is to use an equation that relates the cavitation parameter with components of the pump, as the inclination and the diameter of the impeller blade in input and output cross-sections of the impeller, the velocity of the fluid in the output cross-section, the peripheral speed of the impeller in the output cross-section etc. It is presented to the ninth chapter.

The *tenth chapter* is to compare the results of the previous three chapters and the commentary of this comparison. As the most reliable equation for calculating the cavitation parameter can be

considered the defining equation . However, the parameters involved in this equation derived from experimental data, are carrying their errors. The equation includes the components of the pump is less dependent on the experimental data, however the variables inherent in it, are difficult to be measured, and are not known, even from the manufacturer of the pump.

## 1. Εισαγωγή

### 1.1 Τι είναι οι φυγόκεντρες αντλίες (εισαγωγική παράγραφος)

Οι αντλίες για την άντληση του νερού επινοήθηκαν πριν από τις κινητήριες μηχανές. Τα βασικά εξαρτήματα των αντλιών αυτών ήταν δοχεία, τα οποία βυθιζόταν μέσα στο νερό και μετά ανυψωνόταν με τη βοήθεια απλών μηχανών. Από την κινητήρια δύναμη του ανθρώπου, του ζώου ή του ανέμου, περάσαμε σταδιακά στην κινητήρια δύναμη της ατμομηχανής, του κινητήρα εσωτερικής καύσης, τέλος του αεριοστρόβιλου και του ηλεκτροκινητήρα, που δώσανε τη δυνατότητα για μεγάλες ταχύτητες περιστροφής και σταθερή ροπή, δώσανε ώθηση στην εξέλιξη των φυγόκεντρικών αντλιών και την εκτόπιση των παλινδρομικών, εκτός από τις περιπτώσεις όπου επιζητείται υψηλή πίεση και μικρή παροχή.

Αντλίες ονομάζονται τα μηχανικά μέσα με τα οποία είναι δυνατό να μεταφερθεί μια ποσότητα υγρού υψηλότερα ή από ένα χώρο χαμηλής πίεσεως σε άλλο υψηλής πίεσεως. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου οι αντλίες χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά υγρών από υψηλότερη στάθμη σε χαμηλότερη, όταν ο σωλήνας μεταφοράς είναι μεγάλου μήκους ή όταν η υδραυλική αντίσταση μέσα στο σωλήνα είναι πολύ μεγάλη. Οι αντλίες τοποθετούνται πάντοτε μεταξύ των σημείων παραλαβής και αποστολής του υγρού και η μεταφορά του οφείλεται στη δημιουργία διαφοράς πίεσεως στις δύο πλευρές του κινούμενου στοιχείου της αντλίας (έμβολο ή περιστρεφόμενος δρομέας).

Οι αντλίες διαιρούνται σε δυο βασικές κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς του υγρού από το σωλήνα αναρροφήσεως στο σωλήνα καταθλίψεως:

α) αντλίες μετατοπίσεως ή αντλίες στατικού τύπου

Κατά τη λειτουργία τους μετατοπίζουν θετικά το υγρό και η παροχή τους δεν επηρεάζεται σημαντικά από την αντίσταση που παρουσιάζεται κατά την κίνηση του υγρού μέσα στους σωλήνες μεταφοράς.

β) αντλίες δυναμικές ή αντλίες κινητικού τύπου.

Κατά τη λειτουργία τους μεταβάλλουν την κινητική κατάσταση του υγρού, με αποτέλεσμα τη μεταβολή της κινητικής του ενέργειας σε στατική πίεση και αντίστροφα. Η παροχή τους επηρεάζεται σημαντικά από την αντίσταση που παρουσιάζεται κατά την κίνηση του υγρού μέσα στους σωλήνες μεταφοράς και από άλλα χαρακτηριστικά της ροής του υγρού. Υπάρχουν δύο τύποι δυναμικών αντλιών: 1) Φυγόκεντρικές αντλίες ή εργοστροβιλομηχανές 2) Στροβιλαντλίες. Η

διαφορά μεταξύ τους είναι ότι οι πρώτες προορίζονται μόνο για την απόδοση ενέργειας στο ρευστό, ενώ οι δεύτερες είναι ικανές και για την λήψη ενέργειας από το ρευστό.

## 1.2 Βασικά μεγέθη

Τα βασικά μεγέθη που περιγράφουν τις υδραυλικές αποδόσεις μιας αντλίας είναι τα εξής:

### Παροχή αντλίας (Q):

Η διακινούμενη παροχή εργαζόμενου μέσου ( στη δική μας εφαρμογή καθαρό νερό σε θερμοκρασία περιβάλλοντος). Θα εκφράζεται πάντα σε  $m^3/h$ .

### Ολικό ύψος αντλίας (TDH = Total Dynamic Head):

Η διαφορά της ολικής πίεσης του νερού, από το στόμιο αναρρόφησης της αντλίας στο στόμιο κατάθλιψης, εκφρασμένη σε μέτρα στήλης ύδατος (mΣΥ).

### Ταχύτητα περιστροφής (N)

Είναι η ταχύτητα με την οποία περιστρέφεται ο άξονας της αντλίας , άρα και η πτερωτή. Εκφράζονται πάντα σε rpm.

### Απορροφώμενη ισχύς (Ραπ)

Η ισχύς που παραλαμβάνεται από τον άξονα της αντλίας από τον κινητήρα ( στην εφαρμογή μας ηλεκτροκινητήρα) , μέσω της στρεπτικής ροπής.

### Ωφέλιμη ισχύς (Ρωφ)

Η ισχύς που μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια και περνάει στο εργαζόμενο μέσο.

### Ολικός βαθμός απόδοσης (η)

Το πηλίκο της ωφέλιμης προς την απορροφώμενη ισχύ. Ισούται με το γινόμενο των επιμέρους βαθμών απόδοσης  $\eta = \eta_h \times \eta_Q \times \eta_m$  (υδραυλικός , ογκομετρικός και μηχανικός).

### Κρίσιμο ύψος σπηλαίωσης.(NPSHr = Net Possitive Suction Head required)

Χαρακτηριστική τιμή πίεσης, η οποία απεικονίζει τη δυνατότητα της αντλίας να δουλεύει χωρίς σπηλαίωση.

Κάποιοι ορισμοί που αφορούν την αντλία και το δίκτυο άντλησης, τους οποίους θα συναντήσουμε στη συνέχεια της εργασίας:

### Σωλήνωση αναρρόφησης :

Είναι το τμήμα της σωλήνωσης, από το σημείο παραλαβής του υγρού μέχρι την είσοδό του στην αντλία.

### Σωλήνωση καταθλίψεως :

Είναι το τμήμα της σωλήνωσης , από το σημείο εξόδου του υγρού από την αντλία, μέχρι το σημείο αποστολής του.

### Σωληνογραμμή :

Είναι το σύνολο των σωληνώσεων μέσα από τους οποίους ρέει το υγρό.

### Αντλητικό σύστημα:

Είναι η διάταξη των σωληνώσεων αναρροφήσεως, της ανλίας, της σωλήνωσης καταθλίψεως και του κινητήρα.

### Αντλητικό συγκρότημα :

Είναι το συγκροτημένο σύνολο της ανλίας και του κινητήρα, εδρασμένα και συζευγμένα με κάποιο τρόπο.

## 1.3 Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας.

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας παρουσιάζουν τα υδραυλικά χαρακτηριστικά και την απορροφώμενη ισχύ της αντλίας σε συγκεκριμένη ταχύτητα περιστροφής, είναι ξεχωριστές για κάθε τύπο αντλίας και δίνονται από τον κατασκευαστή. Ονομάζονται "χαρακτηριστικές", επειδή χαρακτηρίζουν την αντλία παρουσιάζοντας τα βασικά υδραυλικά της χαρακτηριστικά, με άλλα λόγια αποτελούν κομμάτι της ταυτότητας της αντλίας, μαζί με τα υλικά κατασκευής της και άλλα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά. Αποτελούν ένα από τα κύρια εργαλεία για την επιλογή της κατάλληλης αντλίας, για την εκάστοτε εφαρμογή, είτε γνωρίζουμε το επιθυμητό σημείο λειτουργίας, είτε γνωρίζουμε την χαρακτηριστική καμπύλη του δικτύου. Οι χαρακτηριστικές καμπύλες χαράσσονται καταρχάς κατά τη σχεδίαση της αντλίας, μετά την κατασκευή της αντλίας επαληθεύονται με τα Type Test, και κατόπιν δημοσιεύονται. Περιγράφουν τη μεταβολή των βασικών υδραυλικών χαρακτηριστικών μεγεθών της αντλίας. Οποιαδήποτε άλλα μεγέθη προκύπτουν από αυτά. Με αυτή την έννοια οι χαρακτηριστικές καμπύλες είναι τρεις :

Παροχή(Q) – Ολικό Ύψος (TDH),

Παροχή(Q) – ολικός βαθμός απόδοσης ( $\eta$ ),

Παροχή(Q) – Κρίσιμο θετικό ύψος αναρρόφησης (NPSHr) .

Συνήθως στις χαρακτηριστικές καμπύλες συμπεριλαμβάνεται και η καμπύλη

Παροχή(Q) – Απορροφώμενη Ισχύς (Ραπ),

η οποία όμως είναι παράγωγη καμπύλη και προκύπτει από τις καμπύλες [Q, TDH] και [Q,η].

Συνήθως στις χαρακτηριστικές καμπύλες περιλαμβάνεται και η καμπύλη Παροχής(Q) – Αποροφώμενη Ισχύς (Ρ<sub>απ</sub>), για λόγους ευκολίας στην επιλογή του κατάλληλου (ανάλογης ισχύος) κινητήρα. Η Αποροφώμενη Ισχύς ωστόσο αποτελεί παράγωγο μέγεθος, προκύπτει από την παροχή, το ολικό ύψος, τον ολικό βαθμό απόδοσης της αντλίας και το ειδικό βάρος του διακινούμενου υγρού. Η παροχή (Q) συνήθως εκφράζεται σε m<sup>3</sup>/h ή σε l/sec ή σε l/min., το ολικό ύψος (TDH) και το κρίσιμο θετικό ύψος αναρρόφησης (NPSHr) σε mΣΥ όταν πρόκειται για νερό, αλλιώς σε bar.

Δεν υπάρχει άλλος τρόπος επαλήθευσης των χαρακτηριστικών καμπυλών εκτός από την πειραματική λήψη μετρήσεων. Ακολουθεί παράδειγμα δημοσιευμένων χαρακτηριστικών καμπυλών αντλίας (σχ. 1.1)

Βλέπουμε πως φαίνεται πρώτα η κύρια καμπύλη της αντλίας. Δεν είναι άλλη από την καμπύλη που στο σχήμα ονομάζεται [Q,H], και είναι η χαρακτηριστική καμπύλη Παροχής – Ολικού Ύψους. Χρησιμοποιείται από το μηχανικό που κάνει την επιλογή της αντλίας, χρονικά πριν από τις υπόλοιπες χαρακτηριστικές καμπύλες, εφόσον σε όλες τις μελέτες ηλεκτρομηχανολογικών εφαρμογών, πχ πυρόσβεση, άρδευση, ύδρευση, άντληση υπογείων υδάτων, βιομηχανικές εφαρμογές κτλ, γενικά μετακίνηση υγρών μέσω ανοιχτών ή κλειστών δικτύων, καταρχάς αναφέρεται η απαίτηση σε Παροχή και Ολικό Ύψος της αντλίας.

Ενσωματωμένες στο ίδιο διάγραμμα, φαίνονται και οι χαρακτηριστικές καμπύλες Παροχής – ολικού βαθμού απόδοσης. Στη συγκεκριμένη αντλία, ο ολικός βαθμός απόδοσης παίρνει τιμές από 0,50 έως 0,77. Παρουσιάζει ένα μέγιστο (σημείο βέλτιστου βαθμού απόδοσης ή best efficiency point) για κάθε διάμετρο πτερωτής, περίπου στο μέσο της καμπύλης Παροχής – Ολικού Ύψους. Σημειώνεται πως επιθυμητό είναι η αντλία να επιλέγεται ώστε να δουλεύει στο best efficiency point, για την αποφυγή ακτινικών (καμπτικών) τάσεων στον άξονα της αντλίας.

Στη συνέχεια φαίνεται η χαρακτηριστική καμπύλη Παροχής – Αποροφώμενης Ισχύος, όπως παρουσιάζεται στο σχ.1.1, [Q,P]. Όπως αναφέρθηκε, προκύπτει από τα ανωτέρω μεγέθη, από τον

$$\text{τύπο } P_{\text{απ}} = \frac{Q \times H}{\eta \times \gamma}, \text{ όπου} \quad (1.2)$$

$\gamma = \rho g$  το ειδικό βάρος του υγρού. Για καθαρό νερό  $\gamma = \rho g = 999,7 \times 9,81 = 9807 \text{ kp/m}^3$ . Αν και είναι παράγωγη καμπύλη, και μπορεί να παραλειφθεί χωρίς καμία απώλεια πληροφόρησης για τα

τεχνικά χαρακτηριστικά της αντλίας, συνήθως παρουσιάζεται στις δημοσιευμένες καμπύλες. Αυτό εξυπηρετεί το μηχανικό που κάνει την επιλογή της αντλίας, τον διευκολύνει δίνοντας του μια εικόνα για το μέγεθος της εγκατεστημένης ισχύος που απαιτείται για να λειτουργήσει η αντλία κοντά στο επιλεγμένο σημείο λειτουργίας. Εναλλακτικά μπορεί κανείς για καθαρό νερό σε θερμοκρασία πείπου 20°C να χρησιμοποιήσει τους τύπους:

$$P_{\text{απ}} = \frac{Q \times H}{\eta \times 367}, \text{ όπου} \quad (1.3)$$

$P_{\text{απ}}$  σε kW,  $Q$  σε m<sup>3</sup>/h,  $H$  σε mΣΥ, ή

$$P_{\text{απ}} = \frac{Q \times H}{\eta \times 270}, \text{ όπου} \quad (1.4)$$

$P_{\text{απ}}$  σε HP,  $Q$  σε m<sup>3</sup>/h,  $H$  σε mΣΥ

Τέλος φαίνεται η χαρακτηριστική καμπύλη Παροχής – Κρίσιμου Θετικού Ύψους Αναρρόφησης, όπως παρουσιάζεται στο σχ.1.1, [Q,NPSH]. Αποτελεί καμπύλη που προκύπτει πειραματικά βάσει συνθήκης, όπως περιγράφεται στην §3.5, και μας δείχνει το σημείο έναρξης του φαινομένου της σπηλαίωσης για την κάθε τιμή της Παροχής. Επαναλαμβάνουμε, ότι βάσει συνθήκης, έναρξη σπηλαίωσης θεωρούμε ότι έχουμε για την τιμή εκείνη της Παροχής, όπου το Ολικό Ύψος παρουσιάζει πτώση 3% επί της αναφερόμενης στην χαρακτηριστική καμπύλη [Q,TDH] τιμής.

Πρακτικά χρησιμοποιείται από το μηχανικό για τον υπολογισμό της δυνατότητας της αντλίας για αρνητική αναρρόφηση. Βοηθάει το μηχανικό να σχεδιάσει σωστά το τμήμα αναρρόφησης του δικτύου, από τη δεξαμενή αναρρόφησης ως την αντλία, ώστε οι απώλειες σε αυτό το κομμάτι, εντοπισμένες και γραμμικές, σε συνδυασμό και με άλλους παράγοντες που θα αναφερθούν παρακάτω, να μην ξεπερνούν μία ορισμένη επιτρεπτή τιμή, ώστε να μην δημιουργείται σπηλαίωση. Επίσης να υπολογίσει τη θετική στατική πίεση του υγρού που μπορεί να χρειάζεται στη θέση του στόμιου αναρρόφησης της αντλίας (για υψηλές θερμοκρασίες νερού ή για πτητικά υγρά).

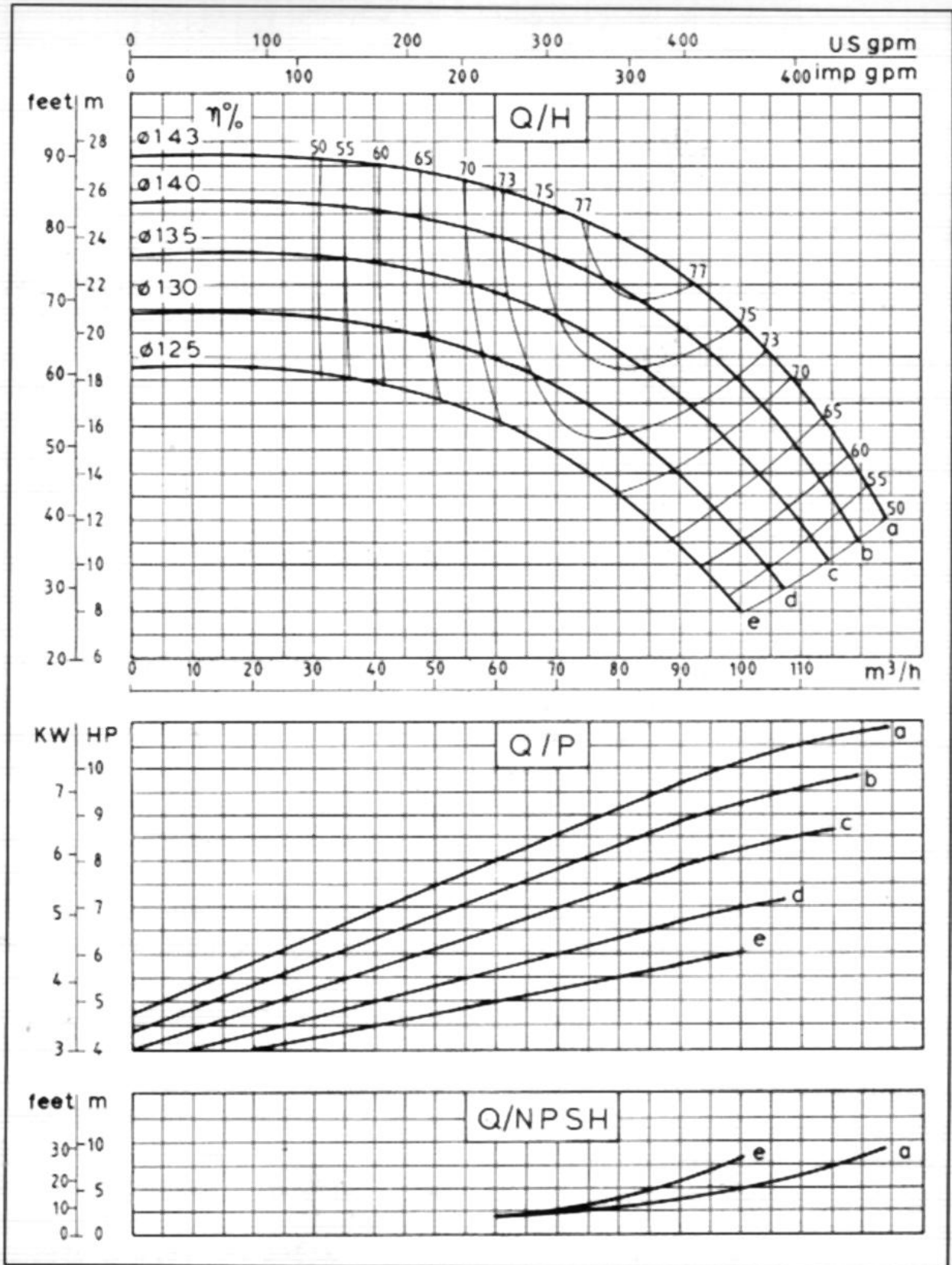
Παρατηρεί κανείς, ότι η καμπύλη [Q,NPSHr], "κόβεται" πληριάζοντας την τιμή NPSH=10mΣΥ. Αυτό γίνεται για τον εξής λόγο: Από αυτό το σημείο και μετά η τιμή του NPSHr γίνεται μεγαλύτερη των 10mΣΥ ή 1bar, πράγμα που σημαίνει πως για φυσική ροή ( ούτε θετική αλλά ούτε αρνητική αναρρόφηση) χρειαζόμαστε θετική πίεση στην αναρρόφηση της αντλίας για να μην παρουσιάζεται σπηλαίωση. Συνέπεια αυτού είναι να "κόβεται" και η χαρακτηριστική καμπύλη Παροχής – Ολικού Ύψους στην ίδια τιμή της Παροχής, πράγμα που εύκολα διαπιστώνεται με



προσεκτική παρατήρηση των χαρακτηριστικών καμπυλών. Οι καμπύλες βέβαια συνεχίζονται και πέρα από αυτή της περιοχή. Εκτός όμως από τη σπηλαίωση, δημιουργούνται και μεγάλες ακτινικές (καμπτικές) δυνάμεις στον άξονα της αντλίας, με συνέπεια την ταχύτερη φθορά της.

Πρέπει πάντα να προσέχουμε κατά την ανάγνωση των χαρακτηριστικών καμπυλών, να διαβάζουμε την καμπύλη  $[Q, NPSHr]$  που αναφέρεται στην αντίστοιχη διάμετρο περωτής. Αν στο σχ1.1 παρατηρήσουμε τις καμπύλες a-e, στο διάγραμμα  $[Q, TDH]$ , θα δούμε ότι η καμπύλη που αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη διάμετρο περωτής βρίσκεται προς τα πάνω. Αν παρατηρήσουμε τις καμπύλες a-e στο διάγραμμα  $[Q, NPSHr]$ , θα δούμε ότι η καμπύλη που αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη διάμετρο περωτής βρίσκεται προς τα κάτω, παρουσιάζει δηλαδή καλύτερη συμπεριφορά ως προς τη σπηλαίωση. Αυτό ισχύει για όλες τις φυγόκεντρες αντλίες.

### LDP & DP-BLOCK 65-125 H / 2900 RPM



σχ.1.1 Χαρακτηριστικές καμπύλες οριζόντιας μονοβάθμιας αντλίας τύπου LDP 65-125H, κατασκευής του εργοστασίου ΔΡΑΚΟΣ ΠΟΛΕΜΗΣ ΑΕ.

## **2. Περιγραφή πειραματικής εγκατάστασης, οργάνων και διαδικασιών.**

### 2.1 Εισαγωγή

#### **Γενική περιγραφή της εγκατάστασης**

Η αντλία τοποθετείται στην εγκατάσταση από την οποία θα πάρουμε τις μετρήσεις. Η αντλία είναι ήδη συζευγμένη με ηλεκτροκινητήρα (Η/Κ) πάνω σε κοινή μεταλλική βάση από δοκούς με σχήμα διατομής Π. Η σύζευξη μεταξύ τους επιτυγχάνεται με ελαστικό σύνδεσμο, ανάλογου μεγέθους, ικανού να μεταδίδει στις ονομαστικές στροφές λειτουργίας, την ονομαστική ισχύ του Η/Κ (μέσω της στρεπτικής ροπής) από τον Η/Κ στην αντλία. Η ισχύς του Η/Κ είναι 10-25% μεγαλύτερη από την μέγιστη αναμενόμενη απορροφώμενη ισχύ της αντλίας στα σημεία δοκιμής, σύμφωνα με τη χαρακτηριστική καμπύλη της. Ο Η/Κ επιλέγεται με μεγαλύτερο ποσοστό ασφάλειας στις μικρότερες τιμές ισχύος. Το ουσιαστικότερο ζήτημα είναι να μην υπερβεί η αναγκαία απορροφώμενη ισχύς της αντλίας την εγκατεστημένη ισχύ του ηλεκτροκινητήρα, σε όλο το εύρος των σημείων λειτουργίας κατά τη δοκιμή.

Χρησιμοποιούνται οι κατάλληλες συστολικές συνδέσεις για τη σύνδεση της αντλίας με τη σωλήνωση της εγκατάστασης (βλ σχέδια παραρτήματος Α).

Στη σωλήνωση αναρρόφησης τοποθετείται κενόμετρο τύπου Bourdon ή στήλη (U tube) υδραργύρου. Στη σωλήνωση κατάθλιψης τοποθετείται μανόμετρο τύπου Bourdon ή στήλη (U tube) υδραργύρου. Πριν το κενόμετρο στη σωλήνωση αναρρόφησης και μετά το μανόμετρο στη σωλήνωση κατάθλιψης τοποθετούνται βάνες για την απομόνωση της αντλίας. Η ροή επιστρέφει στη δεξαμενή αναρρόφησης μέσω σωλήνωσης εφοδιασμένης με παροχόμετρο διαφράγματος (στόμιο συνδεδεμένο με στήλη υδραργύρου σε σχήμα U). Οι θέσεις όλων των οργάνων φαίνονται στα σχέδια του παραρτήματος, Α2 και Α3. Η αναλυτική παρουσίαση και περιγραφή των οργάνων βρίσκεται στην §2.3.

Ο Η/Κ του αντλητικού συγκροτήματος (Α/Σ) είναι συνδεδεμένος στον πίνακα της εγκατάστασης, όπου ένα βατόμετρο παρέχει ένδειξη της αποδιδόμενης ισχύος του.

## 2.2 Σχέδιο της εγκατάστασης

Στο παράρτημα "Α" φαίνεται σχέδιο διάταξης της πειραματικής εγκατάστασης σε Autocad Παρατηρούμε ότι υπάρχουν δύο σχέδια , τα Α3 και Α4. Η διάταξη Α3 (ανοιχτού δικτύου) χρησιμοποιείται για αντλίες μεγάλων παροχών, ενώ η διάταξη Α4 (κλειστού βρόχου) για αντλίες μικρών παροχών.

## 2.3 Ορολογία πειράματος και αντιστοίχιση εννοιών

Για το θέμα της εργασίας, δεν αρκεί η ικανότητά μας να εντοπίσουμε και να μετρήσουμε ικανοποιητικά κάποιες φυσικές μεταβλητές, αλλά οφείλουμε να διευκρινήσουμε και την "ακρίβεια" των μετρήσεων, ώστε αυτές να αποκτήσουν την απαραίτητη αξιοπιστία και να γίνουν αξιοποιήσιμες για περαιτέρω επεξεργασία. Αυτό είναι κάτι που ισχύει γενικότερα, όταν γίνεται ένα πείραμα, αλλά ιδιαίτερα όταν η "ακρίβεια" των αποτελεσμάτων επηρεάζει καταλυτικά το αποτέλεσμα, όπως στη δική μας περίπτωση. Για να προσδιοριστεί η ακρίβεια του αποτελέσματος μιας μέτρησης , ή αντίστροφα το σφάλμα που συνοδεύει το υπόψη αποτέλεσμα, θα πρέπει κατ' αρχάς:

- Να είναι πολύ καλά γνωστός ο τρόπος λειτουργίας των μετρητικών συσκευών, καθώς και τα συστηματικά σφάλματα που υπεισέρχονται στη μέτρηση, λόγω του τρόπου λειτουργίας τους ή/και του τρόπου χρησιμοποιήσεώς τους.
- Να λαμβάνονται όλα τα κατάλληλα μέτρα ώστε να υπολογίζονται ή/και να εκτιμώνται σωστά όλα τα τυχαία σφάλματα που είναι δυνατόν να υπεισέρχονται στις μετρήσεις.

Τα σφάλματα λοιπόν χωρίζονται στα εξής δύο είδη:

- Συστηματικά σφάλματα ή σταθερά σφάλματα : Έχουν ως αποτέλεσμα, επαναλαμβανόμενες μετρήσεις του ίδιου μεγέθους ενός αντικειμένου μετρήσεως κάτω από τις ίδιες συνθήκες, να απέχουν όλες σταθερά από την αληθινή τους τιμή κατά το ίδιο ποσοστό.
- Τυχαία σφάλματα : Οφείλουν την ύπαρξή τους σε τυχαίους παράγοντες, που εμφανίζονται σε μία μέτρηση, και ποικίλουν από μέτρηση σε μέτρηση. Τα τυχαία σφάλματα συνήθως ακολουθούν στατιστικές κατανομές.

Για να είναι μια μέτρηση χρήσιμη, θα πρέπει να είναι αξιόπιστη. Το να διαθέτουμε εσφαλμένες

πληροφορίες είναι πολύ χειρότερο από ότι να μην τις διαθέτουμε καθόλου. Αυτό ισχύει σε υπέρτατο βαθμό όταν τα μετρούμενα μεγέθη του πειράματος θα χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της ακρίβειας μιας εμπειρικής σχέσης, όπως η σχέση του Anderson. Το να μην πάρουμε υπόψη παράγοντες που διαμορφώνουν το αποτέλεσμα, όπως πχ τη θερμοκρασία του νερού κατά τη λήψη της μέτρησης, ή την τραχύτητα (υλικό) των σωληνώσεων του δικτύου αναρροφήσεως και καταθλίψεως, μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα, όπως και ένα άσχημα καλιμπραρισμένο μονόμετρο ή ένα μη διακριβωμένο όργανο ή μία πρόχειρα διαβασμένη ένδειξη. Ας δώσουμε τον ορισμό του σφάλματος:

Σφάλμα είναι η διαφορά μεταξύ της μετρούμενης τιμής ενός μεγέθους από την "αληθινή" του τιμή. Η αληθινή αυτή τιμή δεν είναι σχεδόν ποτέ γνωστή. Για το λόγο αυτό συνήθως συνοδεύεται το αποτέλεσμα με μια εκτίμηση του σφάλματος που ονομάζεται αβεβαιότητα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποιοι βασικοί ορισμοί εννοιών τεχνολογικών πειραμάτων, και γίνεται ο εντοπισμός τους στο δικό μας πείραμα. Αυτή η διαδικασία θα μας βοηθήσει να κατανοήσουμε καλύτερα τη διαδικασία και τους σκοπούς του πειράματος, εν τέλει να κατανοήσουμε, να εντοπίσουμε και να διαχειριστούμε αποτελεσματικότερα τις μεταβλητές που εμπλέκονται, εξαρτημένες, ανεξάρτητες και εξωτερικές :

Αντικείμενο επεξεργασίας: μπορεί να είναι ένα δοκίμιο, ένα άτομο, ένα φυσικό φαινόμενο, μία μέτρηση ή μία ομάδα ομοειδών αντικειμένων, σε σχέση με τα οποία ζητείται να γίνει κάποιου είδους επεξεργασία.

Το Αντικείμενο επεξεργασίας του πειράματος, αποτελεί η εκάστοτε αντλία, που τοποθετείται στην πειραματική διάταξη.

Πληθυσμός είναι το σύνολο όλων των δυνατών αντικειμένων μιας επεξεργασίας είτε αυτά τελικά επεξεργάζονται είτε όχι.

Τον Πληθυσμό του πειράματος, αποτελεί το σύνολο των φυγόκεντρων, μονοβάθμιων ή πολυβάθμιων, οριζόντιων ή κατακόρυφων, αντλιών παραγωγής επιφανείας..

Δείγμα πληθυσμού είναι ένα περιορισμένο πλήθος εκ των στοιχείων του πληθυσμού, τα οποία υφίστανται πράγματι μέτρηση. Ο αριθμός αυτός των στοιχείων του πληθυσμού, που αποτελεί το δείγμα, ονομάζεται μέγεθος δείγματος.

Το Δείγμα πληθυσμού του πειράματος, αποτελούν οι ξεχωριστές αντλίες με τις συγκεκριμένες πτερωτές, οι οποίες στήθηκαν στην πειραματική εγκατάσταση και από τις οποίες μετρήθηκαν τα υδραυλικά χαρακτηριστικά, με τη βοήθεια των οργάνων της εγκατάστασης.

Πιθανοσύνολο ονομάζεται το πλήθος των τιμών που θα προέκυπτε από τη μέτρηση ενός χαρακτηριστικού μεγέθους ενός πληθυσμού.

Στο δικό μας πείραμα ορίζεται το ξεχωριστό πιθανοσύνολο για κάθε ένα μέγεθος για το οποίο γίνεται μέτρηση, πχ πιθανοσύνολο παροχής, στατικής πίεσης στην κατάθλιψη της αντλίας, πίεσης στην αναρρόφηση της αντλίας κτλ.

Δείγμα πιθανοσυνόλου ή απλά δείγμα είναι το πλήθος των τιμών που προκύπτει από τη μέτρηση, ενός χαρακτηριστικού μεγέθους ενός πληθυσμού.

Ορίζεται το ξεχωριστό δείγμα, για κάθε μέγεθος για το οποίο γίνεται μέτρηση. Το κάθε δείγμα αποτελείται από το πλήθος των τιμών που προκύψανε. Έτσι αναφερόμαστε σε δείγμα παροχής για την τάδε ή την δείνα αντλία, δείγμα απορροφώμενης ισχύος, δείγμα στατικής πίεσης στην αναρρόφηση ή στην κατάθλιψη της αντλίας κτλ.

Συστηματικές μεταβολές λέγονται όσες προκαλούνται από αιτίες ή επιδράσεις γνωστές, για τις οποίες είναι γνωστή και είναι δυνατόν να προβλεφθεί ποσοτικά η και να αποφευχθεί η αντίστοιχη μεταβολή της τιμής του μεγέθους.

Τυχαίες μεταβολές θεωρούνται όσες δεν είναι συστηματικές, μπορεί δε να οφείλονται:

- σε αιτίες άγνωστες που δεν υποπτευόμαστε καν ότι μπορεί να έχουν επίδραση στο εξεταζόμενο μέγεθος.
- σε αιτίες τόσο πολύπλοκες ώστε να είναι αδύνατον να μελετηθεί η επίδρασή τους,
- σε αιτίες γνωστές μεν, αλλά επιδρώσες κατά μικρά και ακανόνιστα χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια μιας μετρήσεως.

Μεταβλητή είναι κάθε μέγεθος που υποβάλλεται σε μεταβολή. Σε μια μέτρηση διακρίνουμε ανεξάρτητες, εξαρτημένες και εξωτερικές μεταβλητές.

Ανεξάρτητη μεταβλητή είναι μεταβλητή που μπορούμε να μεταβάλλουμε κατά βούληση κατά τη διάρκεια της μετρήσεως.

Οι *Ανεξάρτητες μεταβλητές* του πειράματος είναι:

- ο συντελεστής εντοπισμένων απωλειών της βάνας κατάθλιψης της εγκατάστασης.
- ο συντελεστής εντοπισμένων απωλειών της βάνας αναρρόφησης της εγκατάστασης.

Μεταβάλλονται με το στραγγαλισμό ή το άνοιγμα των βανών.

- Οι γραμμικές απώλειες του δικτύου, και συγκεκριμένα ο όρος τους  $\frac{L}{D}$ . Μεταβάλλονται με την τοποθέτηση διαφορετικών διαμέτρων, μηκών, ή υλικών σωλήνων. (Αποτελούν και εξαρτημένη μεταβλητή, βλ. παρακάτω)
- Οι περαιτέρω συντελεστές εντοπισμένων απωλειών του δικτύου. Μεταβάλλονται ανάλογα με τα υδραυλικά εξαρτήματα που χρησιμοποιούμε στο στήσιμο της κάθε μέτρησης.
- Η θερμοκρασία του νερού στη δεξαμενή αναρρόφησης – κατάθλιψης.

Εξαρτημένη μεταβλητή είναι κάθε μεταβλητή που μεταβάλλεται συνεπεία μεταβολής της ανεξάρτητης μεταβλητής.

Οι *εξαρτημένες μεταβλητές* του πειράματος είναι:

- η πραγματική Παροχή της εκάστοτε αντλίας (αντικείμενο επεξεργασίας). Εξαρτάται από την χαρακτηριστική καμπύλη του δικτύου, την οποία μεταβάλλουμε μέσω στραγγαλισμού των βανών.
- η Απορροφώμενη Ισχύς. Εξαρτάται από την τιμή της Παροχής, του Ολικού ύψους και του ολικού βαθμού απόδοσης της αντλίας.
- η ολική πίεση στην αναρρόφηση της εκάστοτε αντλίας (θέση κενόμετρου), και τα μεγέθη στα οποία αυτή επιμερίζεται (στατική πίεση και κινητική ενέργεια ανά μονάδα όγκου). Εξαρτάται από το γεωδαιτικό ύψος μεταξύ στάθμης νερού στη δεξαμενή αναρρόφησης και σημείου τοποθέτησης οργάνου και τις συνολικές απώλειες μεταξύ των δύο αυτών θέσεων.
- η ολική πίεση στο στόμιο κατάθλιψης της αντλίας και τα μεγέθη στα οποία αυτή επιμερίζεται (ομοίως). Εξαρτάται από την ολική πίεση στην αναρρόφηση της αντλίας και από τη χαρακτηριστική καμπύλη του δικτύου.
- οι γραμμικές απώλειες στις σωληνώσεις αναρρόφησης και κατάθλιψης του δικτύου, και συγκεκριμένα ο όρος  $\lambda \times \frac{u^2}{2g}$ . Ο όρος  $\lambda$  εξαρτάται από την τραχύτητα των υλικών που χρησιμοποιούνται, τη θερμοκρασία και την ταχύτητα του νερού στη σωλήνωση. Η ταχύτητα του νερού στη σωλήνωση, εξαρτάται από την τιμή της πραγματικής Παροχής της αντλίας και τη διατομή της σωλήνωσης.

- ο ολικός βαθμός απόδοσης ( οι επιμέρους βαθμοί απόδοσης όπως αυτοί αναφέρονται στο ένατο κεφάλαιο. Εξαρτάται από τη χαρακτηριστική καμπύλη του δικτύου.
  - το κρίσιμος θετικό ύψος αναρρόφησης της αντλίας (NPSH<sub>r</sub>). Εξαρτάται επίσης από τη χαρακτηριστική καμπύλη του δικτύου.
- Όλα τα παραπάνω εξαρτημένα μεγέθη εξαρτώνται από τη θερμοκρασία του νερού και από την περιεκτικότητα του νερού σε αέρα.

Εξωτερική μεταβλητή ή και παρασιτική μεταβλητή είναι κάθε μεταβλητή (γνωστή ή άγνωστη) που μεταβαλλόμενη επιρρεάζει μία μέτρηση κατά τυχαίο ή μη ελεγχόμενο τρόπο.

Πειραματικές συνθήκες ενός πλήθους τιμών, θεωρούνται τόσο οι συνθήκες υπό τις οποίες έγιναν οι μετρήσεις, όσο και κάθε τι άλλο το οποίο μπορεί να επέδρασε στο να προκύψουν από τις μετρήσεις του εξεταζόμενου χαρακτηριστικού μεγέθους των στοιχείων του πληθυσμού, οι τιμές του δείγματος και όχι άλλες. Είναι φανερό από τα παραπάνω ότι οι πειραματικές συνθήκες διαμορφώνονται από τις τιμές τόσο των ανεξάρτητων όσο και των εξωτερικών μεταβλητών.

Στη συνέχεια, κατά την περιγραφή του τρόπου λήψης και επεξεργασίας του δείγματος, θα αναφερθούμε αρκετές φορές στους παραπάνω όρους. Για την ώρα, μπορούμε να πούμε ότι γενικά προσπαθούμε να αποφύγουμε τις τυχαίες και να επιτύχουμε μόνο συστηματικές μεταβολές, να διατηρήσουμε αμετάβλητες τις πειραματικές συνθήκες.

Στο σημείο αυτό σκόπιμο είναι να αναφέρουμε ότι τα αποτελέσματα μιας μετρήσεως ή ενός πειράματος χαρακτηρίζονται ως πειραματικά δεδομένα ή απλά δεδομένα (data), όταν αυτά αποτελούν στη συνέχεια δεδομένα μιας μεθόδου επεξεργασίας (στατιστικής ή όχι) προκειμένου να παρουσιασθούν υπό επαγωγικότερη μορφή.

Παρακάτω, στην §3.1, παρουσιάζονται τα μεγέθη που μετρούνται στο πείραμα (τα πειραματικά μας δεδομένα). Στην §3.2 παρουσιάζονται τα μεγέθη που υπολογίζονται βάση των πειραματικών δεδομένων. Στα υπολογιστικά φύλλα φαίνεται η σειρά που ακολουθήθηκε κατά την επεξεργασία των μετρούμενων μεγεθών (δεδομένων), από πάνω προς τα κάτω, ενώ στις §3.4 και §3.5 παρουσιάζεται η μέθοδος υπολογισμού των παράγωγων μεγεθών.



## 2.4 Παρουσίαση οργάνων μέτρησης – τρόπων διακρίβωσης

### 2.4.1 Παράθεση οργάνων

Κατά τη διαδικασία των μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκαν τα εξής όργανα:

Για τη μέτρηση της πραγματικής παροχής ( $Q_v$ ):

- παροχόμετρο διαφράγματος με στήλη υδραργύρου
- ηλεκτρομαγνητικό παροχόμετρο

Για τη μέτρηση της ταχύτητας περιστροφής του άξονα της αντλίας:

- στροφόμετρο χειρός

Για τη μέτρηση της απορροφώμενης ισχύος:

- στρεψιόμετρο ή
- βατόμετρο

Για τη μέτρηση της στατικής πίεσης στη σωλήνωση αναρρόφησης:

- κενόμετρο τύπου Bourdon ή
- στήλη υδραργύρου

Για τη μέτρηση της στατικής πίεσης στη σωλήνωση κατάθλιψης:

- μανόμετρο τύπου Bourdon.

Στη συνέχεια παρατίθενται πληροφορίες σχετικά με την ακρίβεια και τον τρόπο διακρίβωσης των οργάνων.

### 2.4.2. Ακρίβεια οργάνων, στοιχεία κατασκευαστών

#### Παροχόμετρο διαφράγματος

Στις κάτωθι φωτογραφίες (σχ.2.1) απεικονίζονται τα διαφράγματα τριών παροχομέτρων διαφράγματος και μία στήλη υδραργύρου, στην οποία και διαβάζουμε τη μέτρηση.

---

Σχ.2.1: Τα παροχόμετρα διαφράγματος και η στήλη υδραργύρου

Τα διαφράγματα είναι τοποθετημένα στα τρία ζεύγη φλαντζών που φαίνονται στο σχ.2.1, και βρίσκονται στη σωλήνωση κατάθλιψης. Όπως βλέπουμε υπάρχουν τρία μεγέθη, τα οποία είναι κατάλληλα για διαφορετικές ποσότητες παροχής νερού. Επιλέγουμε κάθε φορά το κατάλληλο, βάσει στοιχείων κατασκευαστή.

Ουσιαστικά το όργανο αποτελείται από μία οπή διατομής  $d$ , η οποία είναι μικρότερη από τη διατομή  $D$  της σωλήνωσης κατάθλιψης, και η οποία “κόβει” σε κάποιο σημείο τη σωλήνωση. Ανάντι και κατάντι της οπής είναι συνδεδεμένη στήλη υδραργύρου σε σχήμα U. Η διαφορά στάθμης της στήλης υδραργύρου αντιστοιχεί σε πτώση πίεσης ανάντι με κατάντι της οπής. Όπως σε όλες τις εντοπισμένες απώλειες έτσι και στο διάφραγμα ισχύει η σχέση:

$$H = \zeta Q^2,$$

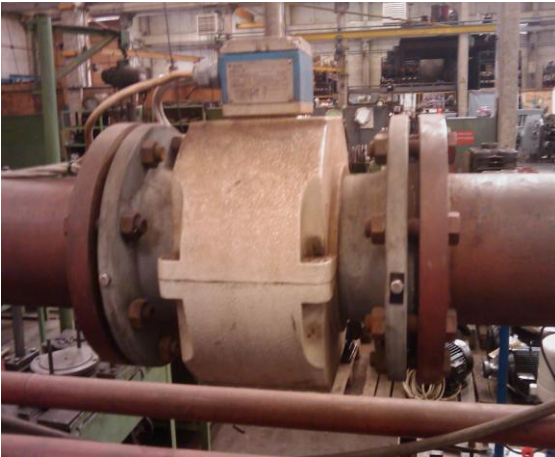
η οποία μπορεί να γραφεί διαφορετικά  $Q = c \times \sqrt{h}$ , όπου  
 $c$  ο συντελεστής του συγκεκριμένου διαφράγματος και  
 $h$  το ύψος της στήλης υδραργύρου σε mm.

Η οπή αποτελεί εντοπισμένη απώλεια, της οποίας το συντελεστή “ $c$ ” γνωρίζουμε επακριβώς. Ο συντελεστής εξαρτάται από το λόγο  $d/D$  και τον αριθμό Reynolds, και λαμβάνεται από πίνακα που δίνει ο κατασκευαστής. Έτσι αναλόγως του εύρους παροχών που θέλουμε να μετρήσουμε χρησιμοποιούμε το ανάλογο διάφραγμα.

Μόνο στην περίπτωση που πρόκειται για πολύ μικρές παροχές (τουλάχιστον  $6\text{m}^3/\text{h}$ ), είναι απαραίτητη η χρήση παροχόμερου διαφράγματος, αλλιώς χρησιμοποιούμε το ηλεκτρομαγνητικό παροχόμετρο. Τα όργανα είναι παλαιά. Το σφάλμα τους εκτιμάται με ασφάλεια στο 2%.

#### Ηλεκτρομαγνητικό παροχόμετρο (κατασκευαστής FISCHER & PORTER)

Το ηλεκτρομαγνητικό παροχόμετρο, χρησιμοποιεί την αρχή του Faraday, για τη δημιουργία τάσης σε κινούμενο αγώγιμο υλικό εντός μαγνητικού πεδίου. Αποτελείται από ένα τμήμα σωλήνωσης συγκεκριμένης διατομής, δύο ηλεκτρόδια μέσα στη σωλήνα, μαγνήτες για τη δημιουργία μαγνητικού πεδίου και άλλα μικροϋλικά. Τροφοδοτείται με τάση δικτύου 380V και το αναλογικό σήμα εισόδου του είναι μία δευτερεύουσα τάση, η οποία δημιουργείται μέσω του φαινομένου Faraday. Ένας μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (ADC Converter), μετατρέπει τη δευτερεύουσα τάση σε ένδειξη παροχής σε οθόνη. Οι μονάδες είναι της επιλογής μας.



Σχ.2.1: Φωτογραφίες συσκευής μέτρησης και οθόνης ηλεκτρομαγνητικού παροχόμετρου.

Στο όργανο παρουσιάζονται δύο σφάλματα. Το πρώτο είναι το σφάλμα που προκαλείται από μη ελεγχόμενες εξωτερικές μεταβλητές, όπως τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, την τάση της ΔΕΗ στην εγκατάσταση. Το δεύτερο είναι το σφάλμα του μετατροπέα ADC. Το πρώτο σφάλμα δεν μπορεί να εκτιμηθεί με ακρίβεια. Είναι στοιχείο στο οποίο δεν αναφέρεται ο κατασκευστής. Ο ίδιος αναφέρεται στα στοιχεία μεν της κανονικής λειτουργίας, δε δίνει όμως την επίπτωση στην μετρούμενη τιμή που επιφέρει η μεταβολή τους. Το σφάλμα του μετατροπέα παρουσιάζεται στο κάτωθι διάγραμμα (σχ2.2), η φωτογραφία του μετατροπέα και της οθόνης του παρουσιάζονται στο σχ.2.1.

**Accuracy**

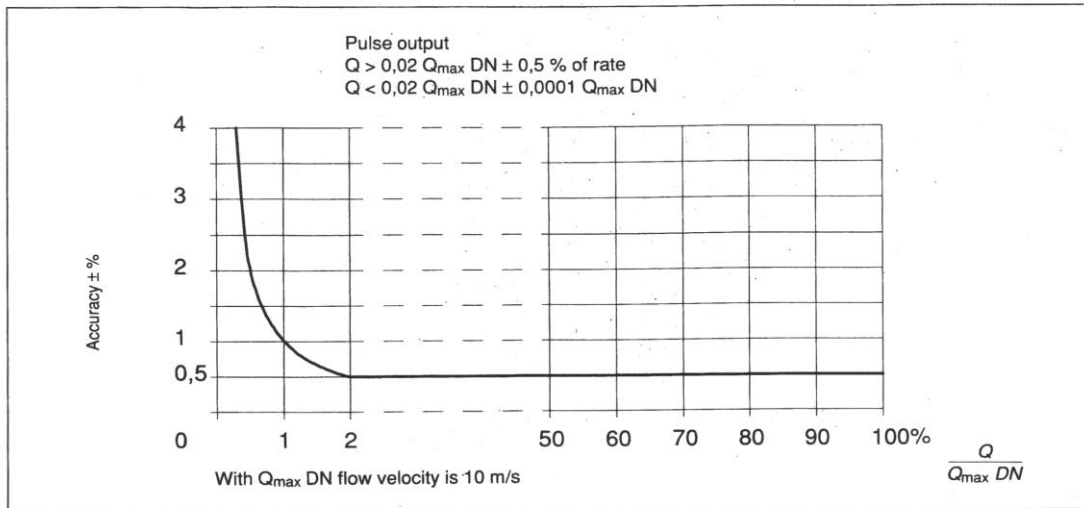


Fig. 15 Accuracy under reference conditions

**Reference conditions acc. to draft standard DIN 19200:**

**Temperature of medium**  
20°C ±2 K

**Ambient temperature**  
20°C ±2 K

**Power supply**  
Rated voltage according to name plate ±1%

**Installation conditions straight pipe length**

Upstream of primary >10 x DN  
Downstream of primary >5 x DN, DN = meter size

**Warm up period**

30 minutes

**Influence of analog output**

As pulse output additional ±0,1% of rate

Σχήμα 2.2: Σφάλμα ADC ηλεκτρομαγνητικού παροχόμετρου και προϋποθέσεις ισχύος ελάχιστου σφάλματος.

Ψηφιακό στροφόμετρο χειρός (κατασκευαστής SHIPMO)

Το στροφόμετρο παρουσιάζεται στην παρακάτω φωτογραφία (σχ2.2)

Σχήμα 2.2 Στροφόμετρο χειρός SHIMPO DT-205B

Η μέτρηση λαμβάνεται ως εξής: Επικολλούμε ανακλαστική ταινία στον άξονα που περιστρέφεται και επιθυμούμε να μετρήσουμε την ταχύτητα περιστροφής του. Η μη ανακλαστική επιφάνεια πρέπει να είναι πάντα μεγαλύτερη από την ανακλαστική. "Ματιάζουμε" κάθετα στον άξονα με το στροφόμετρο, κρατώντας το σε απόσταση 2" με 2 πόδια. Η ένδειξη της ταχύτητας περιστροφής εμφανίζεται στην οθόνη εντός λίγων δευτερολέπτων.

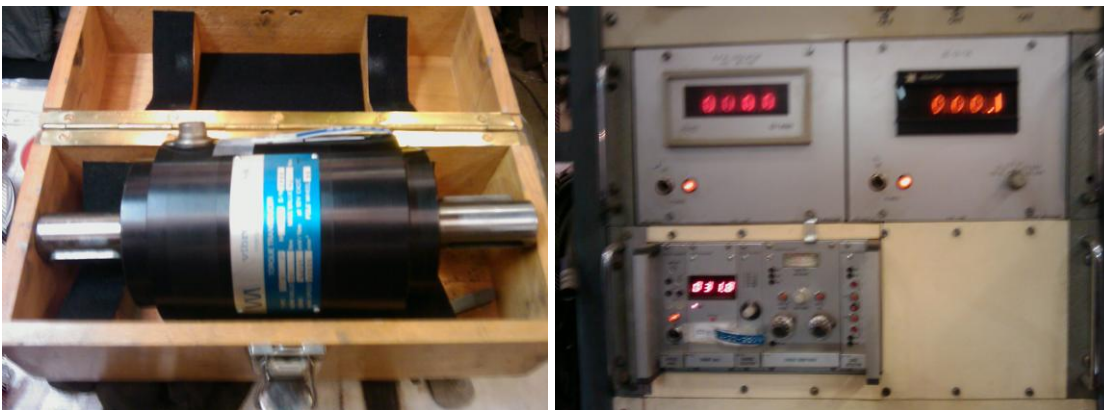
Σύμφωνα με τον κατασκευαστή, το στροφόμετρο έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

Πεδίο μέτρησης : 6 – 30.000rpm

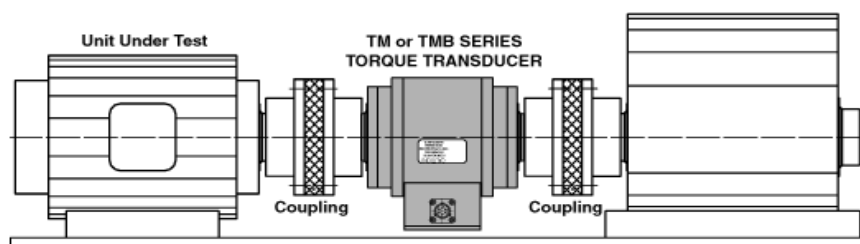
Ακρίβεια : 1rpm – 6 με 5.000rpm  
2rpm – 5.000 με 30.000rpm

### Στρεψιόμετρο (κατασκευαστής VIBRO METER SA)

Το στρεψιόμετρο και η οθόνη του απεικονίζονται στις παρακάτω φωτογραφίες (σχήμα 2.3)



Σχήμα 2.3: Στρεψιόμετρο και οθόνη ενδείξεων.



#### **Suspended (Floating) Installation**

For low-speed applications only.

Uses single-element couplings to create a shorter drive train.

Σχήμα 2.4: Απεικόνιση εγκατάστασης στρεψιόμετρου.

Το στρεψιόμετρο εγκαθίσταται όπως φαίνεται στο ανωτέρω σχήμα 2.4. Τοποθετείται μεταξύ ηλεκτροκινητήρα και αντλίας, στη θέση του ελαστικού συνδέσμου. Τα δύο άκρα άξονα του στρεψιόμετρου διαθέτουν σφήνες, στις οποίες τοποθετούνται τα αντίστοιχα τεμάχια συνδέσμων. Έτσι η μέτρηση της ροπής που λαμβάνεται, αντιστοιχεί στη ροπή στον άξονα, δηλαδή στην απορροφώμενη ροπή της αντλίας.

Τα στρεψιόμετρα που χρησιμοποιούνται στις μετρήσεις δίνουν μία ένδειξη στην οθόνη του

σχήματος 2.3. Η ένδειξη αυτή πολλαπλασιάζεται με ένα αριθμό που δίνει ο κατασκευαστής του οργάνου, ο οποίος αναγράφεται στην πινακίδα του. Π.χ. για το όργανο τύπου TG 2 BP για μικρές ροπές δίνει:

Nom value : 20Nm

Sens : 4,2126

Max speed : 22.000rpm

Max value : 40Nm

Ο πολλαπλασιαστής είναι ο αριθμός 4,2126, και η μέγιστη ροπή που μπορεί να μετρήσει το όργανο τα 40Nm. Η ροπή με τη σειρά της πολλαπλασιάζεται με τη γωνιακή ταχύτητα σε rad/sec, και δίνει το αποτέλεσμα της απορροφώμενης ισχύος της αντλίας.

Κλίμακα μέτρησης :  $0,1 \cdot \text{Nom value} - 2 \cdot \text{Nom value}$ .

Σφάλμα : 0,25-0,5% της πλήρους κλίμακας, στο οποίο πρέπει να προστεθεί η ευαισθησία 0,3% του μετατροπέα του αναλογικού σήματος σε τάση και 0,25% λόγω "θορύβου" του συνδέσμου.

### Βατόμετρο (κατασκευαστής ELCONTROL)

Παρατίθεται φωτογραφία της οθόνης του οργάνου (σχήμα 2.5). Παρατηρούμε πως οι ενδείξεις είναι με τη σειρά : η τάση του δικτύου (380V), η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα, το συνημίτονο και τα Ampere στο τύλιγμα.



Σχήμα 2.5 Οθόνη βατόμετρου.

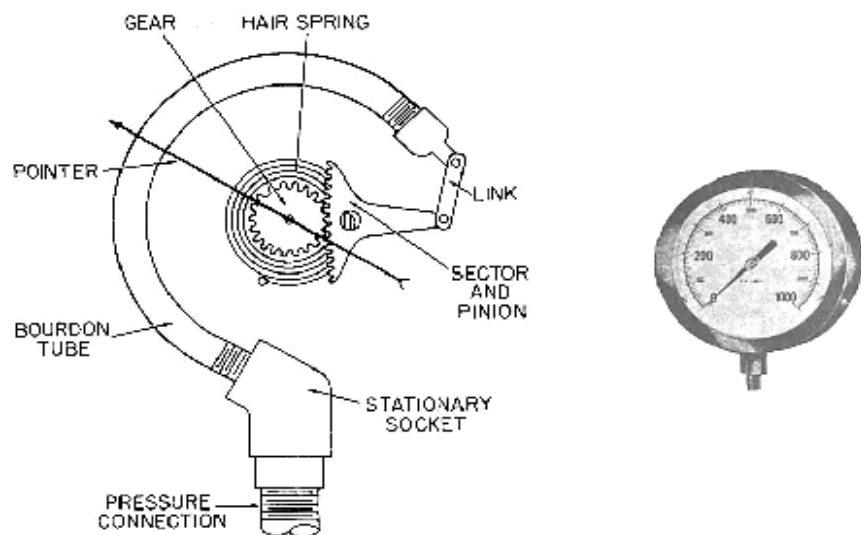
Ελέγχθηκε από την εταιρία ALGOSYSTEMS SA– METROLOGY DIVISION. Μετρήθηκε η

ένδειξη της συσκευής, σε σχέση με την ένδειξη πρότυπης συσκευής σε θερμοκρασία  $23^{\circ}\text{C}\pm 2$ .

Τηρουμένων των απαιτούμενων συνθηκών και διαδικασίας, η απόκλιση της συσκευής βρέθηκε 1%, με μετρήσεις σε κλίμακα έντασης ηλεκτρικού ρεύματος 0-1200Amber.

### Κενόμετρο τύπου Bourdon (κατασκευαστής WIKA).

Το κενόμετρο απεικονίζεται στην κάτωθι φωτογραφία και σχέδιο (σχ.2.4).



Σχ.2.6.Κενόμετρο Bourdon σχηματική διάταξη των μερών του.

Η συσκευή έχει την ίδια αρχή λειτουργίας με το μανόμετρο τύπου Bourdon. Ένα σπειροειδές ελατήριο είναι συνδεδεμένο με ένα ατέρμονα ή ένα γρανάζι. Ο ατέρμονας, όπως φαίνεται στο σχ.2.6, είναι συνδεδεμένος μέσω συνδέσμου με τη στήλη του υγρού που βρίσκεται υπό πίεση ή υποπίεση. Η μετατόπιση του ατέρμονα μεταφράζεται σε ένδειξη του οργάνου, μέσω ενός γραναζιού συνδεδεμένου με τη βελόνα ένδειξης.

Το όργανο είναι class 1.0, σύμφωνα με τον κατασκευαστή. Αυτό σημαίνει πως η ένδειξη του συνοδεύεται από σφάλμα 1% επί της πλήρους κλίμακάς του. Για το κενόμετρο με κλίμακα 1bar, αυτό σημαίνει σφάλμα 0,01bar.

### Μανόμετρο τύπου Bourdon (κατασκευαστής WIKA).

Τα μανόμετρα απεικονίζονται στις κάτωθι φωτογραφίες (σχ.2.7).

Σχήμα2.7: Μανόμετρα τύπου Bourdon.

Η αρχή λειτουργίας τους είναι η ίδια με το κενόμετρο Bourdon. Χρησιμοποιούμε δύο όργανα, ανάλογα με το μανομετρικό που πρόκειται να μετρήσουμε, έτσι ώστε να πετύχουμε τη μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις. Το πρώτο όργανο έχει κλίμακα 160mΣΥ, ενώ το δεύτερο 60mΣΥ. Και τα δύο όργανα είναι class 0.6, δηλαδή η μέτρηση συνοδεύεται από σφάλμα 0.6% επί της κλίμακάς τους.

## 2.5 Διαδικασίες κατά την εκτέλεση του πειράματος

Οι διαδικασίες που ακολουθούνται κατά την εκτέλεση του πειράματος είναι οι εξής:

- ➔ Γεμίζουμε την αντλία και τη σωλήνωση αναρρόφησης με νερό. Αυτό επιτυγχάνεται με αντλία κενού συνδεδεμένη στη σωλήνωση της κατάθλιψης. Στη συνέχεια ανοίγουμε την τάπα εξαέρωσης, περιστρέφουμε με το χέρι τον άξονα της αντλίας για να απεγκλωβιστεί ο αέρας που πιθανώς έχει εγκλωβιστεί στην πτερωτή, και κλείνουμε την τάπα εξαέρωσης.
- ➔ Συνδέουμε το μανόμετρο και το κενόμετρο στη σωλήνωση κατάθλιψης και αναρρόφησης αντίστοιχα
- ➔ Ο αρμόδιος τεχνικός ενημερώνει το προσωπικό και τους παρεβρισκόμενους πως πρόκειται να συνδέσει τον Η/Κ με την παροχή του ρεύματος. Ανάβουμε και σβήνουμε τον Η/Κ στιγμιαία με στόχο να ελέγξουμε τη φορά περιστροφής.
- ➔ Αφού εκκινήσουμε την αντλία με κλειστή τη βάνα κατάθλιψης, την ανοίγουμε μέχρι να επιτύχουμε την επιθυμητή στατική πίεση στο μανόμετρο. Με σεταρισμένη την επιθυμητή πίεση στο μανόμετρο, διαβάζουμε τις ενδείξεις του κενόμετρου, του βατόμετρου (στρεψιόμετρου) και του παροχόμετρου. Τέλος μετρώνται οι στροφές λειτουργίας και αναγράφονται στο φύλλο μετρήσεων όλες οι παραπάνω ενδείξεις.
- ➔ Στη συνέχεια επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για όλα τα σημεία στα οποία θέλουμε να πάρουμε μέτρηση (δηλ. άνοιγμα της βάνας κατάθλιψης μέχρι την επιθυμητή πίεση στο μανόμετρο και διάβασμα ενδείξεων οργάνων).
- ➔ Αφού πάρουμε τις μετρήσεις, αποσυνδέουμε τον Η/Κ από την παροχή ρεύματος (πρώτα ανοίγουμε τελειώς τη βάνα κατάθλιψης, ιδιαίτερα για αντλίες με μεγάλο ολικό ύψος.)
- ➔ Ακολουθώς αποσυνδέουμε το μανόμετρο και το κενόμετρο και αδειάζουμε την αντλία από το νερό.
- ➔ Αποσυνδέουμε την αντλία από τις σωληνώσεις και απομακρύνουμε το Α/Σ.





### 3. Αποτελέσματα μετρήσεων

#### 3.1 Τα μεγέθη που μετρούνται πειραματικά είναι:

Ταχύτητα περιστροφής ( $N$ ). → μέτρηση με στροφόμετρο.

Ισχύς ηλεκτροκινητήρα ( $P_k$ ) → μέτρηση με βατόμετρο.

Το βατόμετρο μετράει τάση, ένταση, συνημίτονο κτλ. και με προγραμματισμένο υπολογισμό δίνει σαν ένδειξη τη θεωρητική ισχύ του ηλεκτροκινητήρα. Αυτή πολλαπλασιασμένη με το βαθμό απόδοσης του ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος δίνεται από τον κατασκευαστή, δίνει την ισχύ στον άξονα του ηλεκτροκινητήρα. Η Ισχύς αυτή, μειωμένη βάσει του ολικού βαθμού απόδοσης της αντλίας, φτάνει στο υγρό σαν ωφέλιμη ισχύς ( $P_{\omega\phi}$ )

Ισχύς στον άξονα της αντλίας (απορροφώμενη ισχύς, από δω και πέρα  $P_{\alpha\pi,\nu}$ ) → μέτρηση με στρεψιόμετρο.

Το στρεψιόμετρο προσαρμόζεται στον άξονα της αντλίας ανάμεσα στον σύνδεσμο και το αξονικό έδρανο (φωλιά των ρουλεμάν). Σε αυτή την περίπτωση μετράει την ισχύ που αποδίδεται από τον άξονα του Η/Κ, μειωμένη κατά τις μηχανικές απώλειες λόγω της μετάδοσης της κίνησης μέσω του ελαστικού συνδέσμου. Οι απώλειες ελαστικού συνδέσμου θεωρούνται αμελητέες, εφόσον ο σύνδεσμος είναι σε καλή κατάσταση και έχει γίνει σωστή ευθυγράμμιση των αξόνων αντλίας – ηλεκτροκινητήρα. Καταλήγοντας, θεωρούμε πως η μέτρηση του στρεψιόμετρου δεν είναι άλλη από την απορροφώμενη Ισχύ της αντλίας ( $P_{\alpha\pi}$ ).

Την πραγματική παροχή διακινούμενου μέσου (νερού) ( $Q_v$ ). → μέτρηση με ηλεκτρομαγνητικό παροχόμετρο ή με διάφραγμα.

Στατική Πίεση στην αναρρόφηση της αντλίας → μέτρηση με κενόμετρο τύπου Bourdon ή με κενόμετρο στήλης υδραργύρου.

Στατική Πίεση στην κατάθλιψη της αντλίας ( $H_m$ ) → μέτρηση με μανόμετρο τύπου Bourdon.

### 3.2 Τα μεγέθη που υπολογίζονται βάσει των πειραματικά μετρούμενων μεγεθών είναι:

Κινητική ενέργεια ανά μονάδα μάζας στην αναρρόφηση της αντλίας.

Κινητική ενέργεια ανά μονάδα μάζας στην κατάθλιψη της αντλίας.

Πτώση πίεσης στις σωληνώσεις αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας λόγω εντοπισμένων και γραμμικών απωλειών.

Συμβατική απορ. Ισχύς ( $P_{ap}$ ) → προκύπτει από την μετρούμενη απορ. Ισχύ με αναγωγή για τις στροφές που θέλουμε να αποτυπωθούν στην καμπύλη. (προεραϊτικά, η καμπύλη μπορεί να μην αναχθεί αλλά να χαραχθεί στις πραγματικές στροφές)

Πραγματικό Ολικό ύψος (Total Dynamic Head {TDH}) →  $TDH = H_m + E_{kin}$ , όλα εκφρασμένα σε mΣΥ, όπου  $H_m$  το μανομετρικό ύψος της αντλίας και  $E_{kin}$  η αύξηση της κινητικής ενέργειας ανά  $kg$  του ρευστού από το στόμιο αναρρόφησης στο στόμιο κατάθλιψης.

Συμβατική παροχή νερού ( $Q$ ) → ομοίως με αναγωγή.

Συμβατικό ολικό ύψος (TDH) → ομοίως με αναγωγή

Ολικός βαθμός απόδοσης( $\eta$ ) → προκύπτει αναλυτικά σε kW:  $\eta = \frac{Q_v \times TDH}{367 \times P_{ap}}$ , όπου (3.1)

$Q_v$  σε  $m^3/h$ ,

TDH σε mΣΥ,

$P_{ap}$  σε kW.

Κανονικό σημείο λειτουργίας ( $Q_k, H_k$ ) → το κανονικό σημείο λειτουργίας (κανονική παροχή και ύψος) προκύπτει από την χαρακτηριστική καμπύλη (παροχής – ολικού ύψους) που σχηματίζεται από τις μετρήσεις. Είναι το σημείο λειτουργίας με το βέλτιστο ολικό βαθμό απόδοσης. Ο βέλτιστος ολικός βαθμός απόδοσης προκύπτει επίσης από την καμπύλη (παροχής – ολικού βαθμού απόδοσης) που σχηματίζεται βάσει υπολογισμών, όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Κρίσιμο ύψος σπηλαίωσης (NPSHr) → Ο τρόπος υπολογισμού του NPSHr αναπτύσσεται στην παράγραφο 3.5.

### 3.3 Πραγματικά και συμβατικά μεγέθη

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για τη χάραξη των καμπυλών και τους περαιτέρω υπολογισμούς δύο ενδεχόμενους τρόπους επεξεργασίας δεδομένων:

(α) Να χρησιμοποιήσουμε τα πραγματικά δεδομένα, τα μετρούμενα δηλαδή μεγέθη που προκύπτουν από το πείραμα και τα όργανα μέτρησης στις πραγματικές στροφές. Αφορά την παροχή, το ολικό ύψος και την ισχύ (Ισχύ κινητήρα ή απορ. Ισχύ).

(β) Να χρησιμοποιήσουμε τα ανηγμένα μεγέθη στις ονομαστικές στροφές. Αυτά προκύπτουν από τα μετρούμενα με αναγωγή από τις πραγματικές στροφές στις ονομαστικές (πχ 2900 ή 1450).

$$\text{Αναγωγή παροχής: } \frac{Q_v}{Q} = \frac{N_v}{N} \quad (3.2)$$

$$\text{Αναγωγή πίεσης: } \frac{H_v}{H} = \left(\frac{N_v}{N}\right)^2 \quad (3.3)$$

$$\text{Αναγωγή ισχύος: } \frac{P_v}{HP} = \left(\frac{N_v}{N}\right)^3 \quad (3.4)$$

Οι τρεις παραπάνω σχέσεις προκύπτουν από τους νόμους ομοιότητας μεταξύ αντλιών, εφαρμοσμένους για ίσες διαμέτρους πτερωτών (λόγο ομοιότητας  $\lambda=1$ ).

Στην περίπτωση (α), τα διάφορα σημεία της χαρακτηριστικής καμπύλης της αντλίας, θα αντιστοιχούν πιθανόν σε διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής. Π.χ. από τα 7 μετρούμενα σημεία λειτουργίας τα 4 θα είναι μετρημένα στις 2990rpm, τα 2 στις 2985rpm, το 1 στις 2980rpm. Αυτή η μέθοδος έχει το μειονέκτημα, ότι στους υπολογισμούς θα υπεισέρχονται κάθε φορά οι διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής.

Στην περίπτωση (β) όλα τα σημεία της χαρακτηριστικής καμπύλης είναι ανηγμένα στην ίδια ταχύτητα περιστροφής, την ονομαστική. Αυτή η μέθοδος έχει τα μειονεκτήματα, πρώτον ότι υπεισέρχονται επιπλέον υπολογισμοί, κουβαλώντας τα σφάλματά τους, και δεύτερον ότι στην χαρακτηριστική καμπύλη δεν απεικονίζονται αυτά τα μεγέθη που αναμένονται στην πραγματική λειτουργία και αφορούν τον χρήστη, αλλά τα ονομαστικά.

### 3.4 Μέθοδος υπολογισμού μεγεθών

Ο τρόπος εγκατάστασης των αντλητικών συγκροτημάτων φαίνεται στο σχήμα 1.

#### Γενικά:

Η γενική μορφή της ενεργειακής εξίσωσης (εξίσωση Bernoulli) έχει ως εξής για ασυμπίεστο ρευστό:

$$E = \frac{c^2}{2} + \frac{p}{\rho} + gz, \text{ όπου} \quad (3.5)$$

$E$  η ενέργεια ανά μονάδα μάζας που δύναται να μετατραπεί σε μηχανική ενέργεια,  
 $c^2/2$  η κινητική ενέργεια ανά μονάδα μάζας του ρευστού,  
 $p/\rho$  η ενέργεια ανά μονάδα μάζας λόγω εντατικής κατάστασης και  
 $gz$  η δυναμική ενέργεια ανά μονάδα μάζας λόγω βαρύτητας

Η ενέργεια που μετατρέπεται σε μηχανική στις αντλίες ασυμπίεστου ρευστού μπορεί να εκφραστεί σε ολική πίεση ( ενέργεια ανά μονάδα όγκου, με μονάδα μέτρησης το pascal [pa] ή το bar, όπου  $1,013\text{bar}=1\text{atm}=10^5\text{pa}$ ,) ή σε ολικό ύψος ( ενέργεια ανά kr, με μονάδα μέτρησης το μέτρο στήλης ύδατος, mΣΥ). Συνήθως χρησιμοποιείται το ολικό ύψος σε mΣΥ όταν πρόκειται για διακινούμενο μέσο το νερό. Η γενική μορφή της εξίσωσης Bernoulli σ' αυτή την περίπτωση γίνεται

$$H_o = \frac{E}{g} = \frac{c^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} + z, \text{ όπου} \quad (3.6)$$

$H_o$  η ενέργεια ανά kr που δύναται να μετατραπεί σε μηχανική ενέργεια εκφρασμένη σε mΣΥ.

Έτσι λοιπόν η ενεργειακή εξίσωση μεταξύ δύο θέσεων {1} και {2} παίρνει τη μορφή:

$$H_o = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} + \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + z_2 - z_1, \text{ όπου} \quad (3.7)$$

$H_o$  η ενέργεια που προσφέρεται ή αφαιρείται από το ρευστό μεταξύ των δύο θέσεων σε mΣΥ.

Τα μεγέθη με δείκτη 2 αναφέρονται στη θέση 2, τα μεγέθη με δείκτη 1 αναφέρονται στη θέση 1.

Αν η παραπάνω σχέση γραφεί για αντλία και η θέση 1 βρίσκεται κάπου στη σωλήνωση

αναρρόφησης της αντλίας, ενώ η θέση 2 βρίσκεται κάπου στη σωλήνωση κατάθλιψης, τότε

$$TDH - \delta h_{tot} = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} - \frac{p_2 - p_1}{\rho g} - z_2 - z_1, \text{ όπου} \quad (3.8)$$

TDH (Total Dynamic Head) το ολικό ύψος της αντλίας, δηλαδή η καθαρή ενέργεια ανά κρ που προσφέρεται στο ρευστό μέσω της πτερωτής, από το στόμιο αναρρόφησης ως το στόμιο κατάθλιψης, και

$\delta h_{tot}$  οι απώλειες στις σωληνώσεις (γραμμικές και εντοπισμένες) από τη θέση 1 στη θέση 2.

Την παραπάνω σχέση θα εφαρμόσουμε για τους υπολογισμούς μας.

#### Συγκεκριμένα:

Εφαρμόζουμε την εξίσωση Bernoulli, μεταξύ κενόμετρου στη σωλήνωση αναρρόφησης (θέση 1) και μανόμετρου στη σωλήνωση κατάθλιψης (θέση 2).

$$TDH = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} - H_m - H_k - z_2 - z_1 - \delta h_{tot}, \text{ όπου} \quad (3.9)$$

$\frac{c_2^2 - c_1^2}{2g}$  η διαφορά κινητικής ενέργειας ανά μονάδα μάζας από το κενόμετρο στο μανόμετρο,

$H_m$  η ένδειξη του μανόμετρου σε mΣΥ

$H_k$  η ένδειξη του κενόμετρου σε mΣΥ. Επειδή η ένδειξη του κενόμετρου είναι αρνητικός αριθμός (υποπίεση) συνοδεύεται με το πρόσημο (-) στους υπολογισμούς,

$z_2$  το γεωδαιτικό ύψος του μανόμετρου με βάση κάποια στάθμη αναφοράς,

$z_1$  το γεωδαιτικό ύψος του κενόμετρου με βάση την ίδια στάθμη αναφοράς,

$\delta h_{tot}$  οι ολικές απώλειες, εντοπισμένες και γραμμικές από το κενόμετρο ως το μανόμετρο.

Στα φύλλα μετρήσεων θα συναντήσουμε την ταχύτητα του νερού στο κενόμετρο και ως  $c_{sv}$  (=ταχύτητα νερού στη σωλήνωση αναρρόφησης) και την ταχύτητα του νερού στο μανόμετρο και ως  $c_{Dv}$  (=ταχύτητα νερού στη σωλήνωση κατάθλιψης).

Εναλλακτικά, η παραπάνω σχέση μπορεί να εφαρμοστεί μεταξύ της επιφάνειας της δεξαμενής

αναρρόφησης (σημείο 1) και του μανόμετρου (σημείο 2). Σ' αυτή την περίπτωση δεν χρειάζεται η τοποθέτηση κενόμετρου. Η εξίσωση Bernoulli γράφεται :

$$TDH = \frac{c_2^2}{2g} + H_m + z_2 - z_1 + \delta h_{tot}, \text{ όπου} \quad (3.10)$$

$\frac{c_2^2}{2g}$  η κινητική ενέργεια ανά μονάδα μάζας στη θέση που είναι τοποθετημένο το μανόμετρο,

$H_m$  η ένδειξη του μανόμετρου σε mΣΥ

$z_2 - z_1$  το γεωδαιτικό ύψος μεταξύ στάθμης δεξαμενής αναρρόφησης και οπής τοποθέτησης μανόμετρου,

$\delta h_{tot}$  οι ολικές απώλειες σε όλη τη διαδρομή του νερού ως την οπή τοποθέτησης του μανόμετρου.

Οι ταχύτητες του νερού υπολογίζονται στους αγωγούς αναρρόφησης και κατάθλιψης, όπου είναι τοποθετημένα το κενόμετρο και το μανόμετρο αντίστοιχα. Σε οποιαδήποτε περίπτωση ισχύει:

$$c = \frac{Q}{A}, \text{ όπου} \quad (3.11)$$

Q η παροχή σε m<sup>3</sup>/sec και

A η διατομή του αγωγού

$$\text{ή } c = \frac{Q \times 4}{3,14 \times D^2 \times 3600}, \text{ όπου} \quad (3.12)$$

Q σε m<sup>3</sup>/h και

D η εσωτερική διάμετρος του αγωγού σε m.

Το μανόμετρο και το κενόμετρο παρέχουν ένδειξη σε bar. Η μετρατροπή σε mΣΥ γίνεται ως εξής:

$$\text{Ισχύει γενικά } H = \frac{p}{\rho g}, \text{ όπου} \quad (3.13)$$

$\gamma = \rho g$  το ειδικό βάρος του υγρού ή για νερό

$$\frac{1 \text{ bar}}{1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/sec}^2} = \frac{0,987 \times 10^5 \text{ pa}}{1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/sec}^2} = 10,06 \text{ mΣΥ} \text{ ή}$$

1bar αντιστοιχεί σε 10,06mΣΥ.

Οι απώλειες  $\delta h_{\text{tot}}$  ισούνται με το άθροισμα εντοπισμένων ( $\delta h_{\text{εντ}}$ ) και γραμμικών ( $\delta h_L$ ) απωλειών. Σε κάθε περίπτωση ισχύει:

$$\delta h_{\text{εντ}} = \sum \zeta_i \times \frac{c^2}{2g} \text{ και} \quad (3.14)$$

$$\delta h_L = \lambda \times \frac{L}{D} \times \frac{c^2}{2g}, \text{ όπου} \quad (3.15)$$

$\zeta$  οι συντελεστές απωλειών για κάθε εντοπισμένη απώλεια (πχ βάνα, αντεπίστροφη βαλβίδα, καμπύλη),

$\lambda$  ο συντελεστής γραμμικών απωλειών, ο οποίος λαμβάνεται από το **διάγραμμα Moody** ( για χαλυβδοσωλήνα  $\approx 0,025$ ),

$L$  το μήκος του αγωγού σε m.

### 3.5 Μέτρηση κρίσιμου ύψους σπηλαίωσης NPSHr :

Όταν στα πτερύγια της πτερωτής αναπτυχθούν θύλακες σπηλαίωσης αλλάζει αμέσως η γεωμετρία της ροής με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά το διάκενο μεταξύ δύο διαδοχικών πτερυγίων από το οποίο διακινείται η παροχή  $Q$ . Άρα για την διακίνηση της ίδιας παροχής όπως σε συνθήκες χωρίς σπηλαίωση, οι ταχύτητες της ροής αυξάνονται σημαντικά στην περιοχή αυτή, το ίδιο και οι υδραυλικές απώλειες, με αποτέλεσμα τη μείωση του ολικού ύψους  $H$  και του ολικού βαθμού απόδοσης, δηλ την πτώση της χαρακτηριστικής  $(H,Q)$  και  $(\eta,Q)$  σε σχέση με αυτές για λειτουργία απαλλαγμένη σπηλαίωσης.

Στην πράξη, ακριβώς η έναρξη της πτώσης του βαθμού απόδοσης σε σχέση με την λειτουργία χωρίς σπηλαίωση, μπορεί να θεωρηθεί ως ένδειξη έναρξης της εμφάνισης σπηλαίωσης. Όμως επειδή το κριτήριο αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως αστηρό, το κριτήριο λειτουργίας με σπηλαίωση καθορίζεται ως το σημείο λειτουργίας στο οποίο η πτώση  $\delta H$  του ολικού ύψους, ως προς αυτό της λειτουργίας χωρίς σπηλαίωση, γίνεται ίση προς 3% για μικρού μεγέθους αντλίες ή 1% για αντλίες μεγάλου μεγέθους. Η τιμή λοιπόν του NPSHr (κρίσιμο ύψος σπηλαίωσης) θα είναι ίση με την τιμή του NPSHav (διαθέσιμο θετικό ύψος) για το σημείο λειτουργίας που ορίζεται συμβατικά ως το σημείο λειτουργίας με σπηλαίωση.

Το NPSHav ορίζεται από τη σχέση:

$$NPSH_{av} = H_{oe} - H_s, \text{ όπου} \quad (3.16)$$



$H_{0e}$  η ολική πίεση στο στόμιο αναρρόφησης της αντλίας και

$H_s$  η τάση ατμοποίησης του νερού στη συγκεκριμένη θερμοκρασία του.

Το  $NPSH_{av}$  καθορίζεται από την εγκατάσταση και εκφράζει τη διαφορά της ολικής πίεσης στη διατομή αναρρόφησης της αντλίας ως προς την πίεση ατμοποίησης του υγρού. Η διαφορά αυτή διατίθεται στην αντλία από την αντλητική εγκατάσταση, και για αυτό το  $NPSH_{av}$  χαρακτηρίζει την εγκατάσταση.

Η σχέση (3.16) μπορεί να γραφεί και ως

$$NPSH_{av} = H_M - H_s - \lambda_1 \frac{w_1^2}{2g} - \lambda_2 \frac{c_1^2}{2g}, \text{ όπου} \quad (3.17)$$

$H_M$  η ελάχιστη πίεση μέσα στην πτερωτή και

$$\lambda_1 \frac{w_1^2}{2g} - \lambda_2 \frac{c_1^2}{2g} \text{ οι απώλειες από το στόμιο αναρρόφησης της αντλίας ως το σημείο M.}$$

Το σημείο M βρίσκεται κοντά στην ακμή πρόσπτωσης των πτερυγίων αλλά δεν ταυτίζεται με αυτή, και είναι το σημείο με την ελάχιστη πίεση μέσα στην αντλία.

Οι αριθμοί " $\lambda_1$ " και " $\lambda_2$ " δεν έχουν καμία σχέση με τον αριθμό " $\lambda$ " της σχέσης Darcy-Weierbach. Ο αριθμός " $\lambda_1$ " είναι ενδεικτικός της σχεδίασης της ακμής πρόσπτωσης των πτερυγίων και του σημείου λειτουργίας, ενώ ο αριθμός " $\lambda_2$ " εξαρτάται από τη σχεδίαση του τμήματος εισόδου της αντλίας και το βαθμό κατεργασίας. Είναι συνεπώς συγκεκριμένοι για κάθε αντλία και σημείο λειτουργίας.

$w_1$  : η σχετική ταχύτητα του ρευστού στη διατομή αναρρόφησης και

$c_1$  : η απόλυτη ταχύτητα του ρευστού στη διατομή αναδόφησης. (βλ. Σχήμα 4.1)

Στην οριακή κατάσταση λειτουργίας ως προς τη σπηλαιώση, η ελάχιστη πίεση εντός της αντλίας ισούται με την πίεση ατμοποίησης του υγρού, το υγρό ατμοποιείται και ξεκινάει συστηματικά το φαινόμενο της σπηλαιώσης ( $H_M=H_s$ ). Από αυτή την τιμή του  $NPSH_{av}$  και μετά (δηλαδή πιο χαμηλές τιμές) η εγκατάσταση δεν διαθέτει την απαραίτητη πίεση στην αναρρόφηση για λειτουργία χωρίς σπηλαιώση και η σπηλαιώση λαμβάνει χώρα συστηματικά. Αυτή η τιμή του  $NPSH_{av}$  ονομάζεται κρίσιμο ύψος σπηλαιώσης  $NPSH_r$  (= Net Positive Suction Head required).

Το  $NPSH_r$  αποτελεί χαρακτηριστικό της αντλίας και εξαρτάται από τη σχεδίαση και κατεργασία της και ιδιαίτερα από την ακμή πρόσπτωσης και το τμήμα εισόδου. Έτσι λοιπόν η καμπύλη ( $Q, NPSH_r$ ) αποτελεί μια από τις χαρακτηριστικές της αντλίας.

Η σχέση (3.16) γράφεται διαφορετικά:

$$NPSH_{av} = H_E - h_e - \zeta_e Q^2 - H_s, \text{ όπου} \quad (3.18)$$

$H_E$  η πίεση στην επιφάνεια της δεξαμενής αναρρόφησης,

$h_e$  το γεωδαιτικό ύψος μεταξύ επιφάνειας δεξαμενής αναρρόφησης και άξονα αντλίας (για οριζόντιες αντλίες) ή μεταξύ επιφάνειας δεξαμενής αναρρόφησης και στομίου αναρρόφησης (για κατακόρυφες αντλίες),

$\zeta_e Q^2$  οι συνολικές απώλειες στη σωλήνωση αναρρόφησης και

$H_s$  η τάση ατμοποίησης του νερού στις συνθήκες του πειράματος.

Έτσι λοιπόν για την κανονική παροχή κάθε φορά, που διατηρείται σταθερή, μειώνεται η τιμή του  $NPSH_{av}$ , μέχρι την επίτευξη του κριτηρίου εμφάνισης σπηλαιώσης, οπότε η τιμή αυτή του  $NPSH_{av}$  θα είναι ίση προς το  $NPSH_r$ .

Η μείωση του  $NPSH_{av}$  για σταθερή παροχή μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους, κάθε ένας από τους οποίους αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη διαδικασία. Όπως φαίνεται από την εξίσωση (3.18) η μείωση του  $NPSH_{av}$  μέχρι να επιτευχθεί το κριτήριο σπηλαιώσης είναι δυνατόν να γίνει:

- α) μειώνοντας την πίεση  $H_E$  της δεξαμενής αναρρόφησης
- β) αυξάνοντας το ύψος αναρρόφησης  $h_e$  και
- γ) αυξάνοντας τις υδραυλικές απώλειες στην αναρρόφηση της αντλίας.

Ο πρώτος τρόπος είναι ο πιο αξιόπιστος αλλά απαιτεί σημαντικό εξοπλισμό. Ο δεύτερος τρόπος δεν απαιτεί ιδιαίτερο εξοπλισμό, είναι όμως επίπονη διαδικασία, χρονοβόρος και μη συνεχής.

Εφαρμόζουμε τον τρίτο τρόπο, που είναι ο πιο απλός στην εφαρμογή του αλλά και ο λιγότερο αξιόπιστος στα αποτελέσματα που προκύπτουν. Αυτό οφείλεται στο ότι η αύξηση των γραμμικών απωλειών με στραγγαλισμό της βάνας αναρρόφησης, συνοδεύεται πάντα από διαταραχή της διανομής της ταχύτητας στην είσοδο της περωτής, γεγονός που έχει ως συνέπεια την ανομοιόμορφη λειτουργία της περωτής και την επιτάχυνση της ανάπτυξης σπηλαιώσης.

## 4 Χάραξη χαρακτηριστικών καμπυλών – Παρουσίαση πειραματικών δεδομένων και παράγωγων μεγεθών.

### 4.1 Χάραξη χαρακτηριστικής καμπύλης [Q,TDH]

Η αντλία μπορεί να δουλέψει σε οποιοδήποτε σημείο της καμπύλης της παροχής – ολικού ύψους [Q,TDH]. Το σημείο λειτουργίας κάθε φορά προκύπτει από τη συνεργασία μιας συγκεκριμένης αντλίας με ένα συγκεκριμένο δίκτυο. Και η αντλία, όπως και το δίκτυο, έχουν τις δικές τους χαρακτηριστικές καμπύλες [Q,TDH].

#### 4.1.1 Χαρακτηριστική καμπύλη δικτύου

Η εξίσωση της χαρακτηριστικής καμπύλης του δικτύου, [Q,TDH], είναι της μορφής

$$TDH = \zeta Q^2 + h_{\gamma\epsilon\omega} \quad (4.1)$$

Στον όρο  $\zeta Q^2$  εμπεριέχονται όλες οι απώλειες (γραμμικές και εντοπισμένες) του δικτύου. Όλες οι απώλειες είναι ανάλογες του τετραγώνου της ταχύτητας του ρευστού στη σωλήνωση [c], σύμφωνα με τις εξισώσεις (3.14) και (3.15). Η παροχή όγκου νερού [Q] είναι ανάλογη της ταχύτητας του ρευστού μέσα στη σωλήνωση [c], σύμφωνα με την εξίσωση (3.11). Ο όρος  $h_{\gamma\epsilon\omega}$  αναφέρεται στο γεωδαιτικό ύψος μεταξύ στάθμης επιφανείας δεξαμενής αναρρόφησης και στάθμης επιφανείας δεξαμενής κατάθλιψης, και μπορεί να είναι θετικός ή αρνητικός. Έχει υπόσταση μόνο για ανοικτό δίκτυο. Σε κλειστό δίκτυο το γεωδαιτικό ύψος ανύψωσης [ $h_{\gamma\epsilon\omega}$ ] ισούται με μηδέν. Από την εξίσωση (3.16) φαίνεται πως η καμπύλη [Q,TDH] του δικτύου, μπορεί να προσεγγιστεί επίσης από πολυώνυμο β' βαθμού της μορφής  $y = ax^2 + b$ .

#### 4.1.2 Χαρακτηριστική καμπύλη αντλίας

Η εξίσωση της χαρακτηριστικής καμπύλης της αντλίας, [Q, TDH], είναι προσεγγιστικά της μορφής

$$TDH = \eta H_u = \eta \frac{u_2 c_{u2}}{2g} \quad (4.2)$$

Σύμφωνα με την εξίσωση Euler, αποδεικνύεται ότι για μηδενική συστροφή στη είσοδο της πτερωτής, το ολικό ύψος προκύπτει:

$$TDH = \frac{\eta_i \eta_h}{g} u_2^2 - \frac{\eta_i \eta_h u_2}{g [\pi D_2 - z s_2] b_2 t g b_2} Q_u \quad (4.3)$$

Η χαρακτηριστική καμπύλη λοιπόν μπορεί να προσεγγιστεί με μια πρώτη ματιά από καμπύλη της μορφής  $y=b - ax$ . Η προσέγγιση αυτή όμως δεν είναι ακριβής, επειδή με τη μεταβολή της παροχής, μεταβάλλονται ο ιδεατός και ο υδραυλικός βαθμός απόδοσης. Μια πιο καλή προσέγγιση γίνεται με πολώνυμο β' βαθμού, της μορφής  $y=b-ax^2$ .

Το σημείο λειτουργίας της αντλίας δεν είναι άλλο από το σημείο τομής των χαρακτηριστικών καμπυλών  $[Q,TDH]$ , τη λύση των δύο εξισώσεων  $TDH=f(Q^2)$  της αντλίας και του δικτύου.

Για τη χάραξη της χαρακτηριστικής καμπύλης λοιπόν, χρησιμοποιούμε τις εργαστηριακές μετρήσεις. Τις περνάμε στο υπολογιστικό φύλλο, και στη συνέχεια χαράσσουμε μέσω του υπολογιστικού φύλλου ένα διάγραμμα διασποράς X-Y. Επιλέγουμε η προσέγγιση της καμπύλης που διέρχεται κοντά από τα επιλεγμένα σημεία στο διάγραμμα  $[Q,TDH]$ , να είναι πολώνυμο β' βαθμού. Με αυτό τον τρόπο προσεγγίζουμε την χαρακτηριστική καμπύλη  $[Q,TDH]$  της αντλίας.

#### 4.2 Χάραξη χαρακτηριστικής καμπύλης $[Q, \eta]$

Η εξίσωση του ολικού βαθμού απόδοσης (β.α.) είναι :  $\eta = \frac{P_{\omega\phi}}{P_{\alpha\pi}} = \eta_m \times \eta_h \times \eta_Q$  (4.4)

Όλοι οι επιμέρους βαθμοί απόδοσης ( μηχανικός , υδραυλικός και ογκομετρικός) περιγράφονται στο κεφάλαιο 6. Εκεί εξηγείται η φυσική τους έννοια και τρόπος υπολογισμού τους. Το κοινό τους στοιχείο είναι ότι αναφέρονται όλοι σε απώλειες ισχύος. Είτε αυτές είναι απώλειες λόγω τριβών μεταξύ ρευστού και μεταλλικών επιφανειών εντός της αντλίας (υδραυλικός και μηχανικός β.α.), είτε λόγω τριβών στα έδρανα και στο στυπιοθλίπτη (μηχανικός β.α.), είτε ισχύς που ξοδεύεται στην ανακυκλοφορία του ρευστού εντός της αντλίας (ογκομετρικός β.α.). Για πιο αναλυτική παρουσίαση μπορούμε να ανατρέξουμε στο έκτο κεφάλαιο.

Όλοι οι β.α. είναι κλάσματα, στα οποία ο αριθμητής αποτελείται από την απορροφώμενη ισχύ μειωμένη κατά τις εν λόγω απώλειες, ο δε παρονομαστής αποτελείται από την απορροφώμενη ισχύ. Έτσι είναι αριθμός πάντα μικρότερος της μονάδας, ή σε ποσοστό επί της εκατό, ποσοστό μικρότερο του 100%. Υπενθυμίζουμε ότι η απορροφώμενη ισχύς (Ρ<sub>απ</sub>) είναι η ισχύς που παραλαμβάνει ο άξονας της αντλίας, έτσι ώστε να αποδοθεί η ωφέλιμη ισχύς (η ισχύς που αντιστοιχεί στην ενέργεια που αξιοποιείται μηχανικά αυξάνοντας την ολική πίεση του ρευστού Ρ<sub>ωφ</sub>) στο ρευστό, και εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής και το σημείο λειτουργίας. Η εγκατεστημένη ισχύς (ισχύς ηλεκτροκινητήρα) πρέπει να είναι πάντα μεγαλύτερη από την απορροφώμενη ισχύ.

Από τους τρεις επιμέρους β.α., ο υδραυλικός είναι ανάλογος του τετραγώνου της πραγματικής παροχής (βλ. διάγραμμα του σχήματος 6.1.), ο μηχανικός είναι περίπου ανάλογος της παροχής, ενώ ο ογκομετρικός είναι ανάλογος της παροχής. Μπορούμε λοιπόν να προσεγγίσουμε ικανοποιητικά για σταθερή ταχύτητα περιστροφής, το διάγραμμα [Q,η], με πολυώνυμο β' βαθμού.

#### 4.3 Χάραξη χαρακτηριστικής καμπύλης [Q, NPSH<sub>r</sub>].

Το κρίσιμο ύψος σπηλαίωσης μετράται εργαστηριακά σύμφωνα με την §3.5. Η καμπύλη [Q, NPSH<sub>r</sub>] αποτελεί μια από τις χαρακτηριστικές καμπύλες της αντλίας. Η σχέση παροχής και κρίσιμου θετικού ύψους αναρόφησης, προκύπτει με τροποποίηση της σχ 3.17, η οποία παρατίθεται:

$$NPSH_{av} = H_M - H_s - \lambda_1 \frac{w_1^2}{2g} - \lambda_2 \frac{c_1^2}{2g} .$$

Όπως αναφέρθηκε στην §3.5, το κρίσιμο ύψος σπηλαίωσης ισούται με το διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος [NPSH<sub>av</sub>], για H<sub>M</sub>=H<sub>s</sub>, δηλαδή για στατική πίεση στο σημείο ελάχιστης πίεσης εντός της αντλίας, ίσης προς την τάση ατμοποίησης του υγρού. Συνεπώς είναι

$$NPSH_r = \lambda_1 \frac{w_1^2}{2g} - \lambda_2 \frac{c_1^2}{2g} \quad (4.5)$$

Η παραπάνω σχέση μπορεί να γραφεί και ως :

$$NPSH_r = \lambda \frac{c_1^2}{2g}, \quad \text{όπου} \quad (4.6)$$

$$\lambda = \lambda_2 \frac{\lambda_1}{\sin^2 \beta_1} \quad (4.7)$$

Ο αριθμός "λ" εξαρτάται από κατασκευαστικά μεγέθη και χαρακτηριστικά της αντλίας και ελαφρώς από το σημείο λειτουργίας της. Η σχετική ταχύτητα  $w_1$ , καθώς και η απόλυτη ταχύτητα  $c_1$ , του ρευστού στην είσοδο της περωτής, είναι μεγέθη σχετικώς ανάλογα με την παροχή  $Q_u$ , που διέρχεται διαμέσου της περωτής, η οποία με τη σειρά της είναι ανάλογη με την παροχή  $Q$  που διέρχεται διαμέσου της αντλίας. Συγκεκριμένα για ακτινικές περωτές η απόλυτη ταχύτητα στην είσοδο της περύγωσης ταυτίζεται με τη μεσημβρινή της συνιστώσα, η οποία με τη σειρά της έχει σχεδόν μόνο ακτινική συνιστώσα (η περιφερειακή συνιστώσα της ισούται με το μηδέν, ενώ η αξονική έχει χαμηλή τιμή), όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1 προηγούμενης παραγράφου. Η παροχή που διέρχεται από την περωτή ισούται με

$$Q_u = c_1 \pi D_1 z s_1 b_1, \text{ όπου}$$

$D_1$  η διάμετρος της περύγωσης στην διατομή εισόδου (όπως φαίνεται στο παράρτημα "Α")

$z$  ο αριθμός των περυγίων,

$s_1$  το πλάτος των περυγίων στην είσοδο της περωτής και

$b_1$  το πλάτος της περωτής (απόσταση πλήμνης από στεφάνη ή διάμετρος εγγεγραμμένου κύκλου) στην διατομή εισόδου (όπως φαίνεται στο παράρτημα "Α")

Η σχετική ταχύτητα στην είσοδο της περωτής ισούται με  $w_1 = c_1 - u_1$ , όπου  $u_1$  η περιφερειακή ταχύτητα στην διατομή εισόδου της περύγωσης (θεωρούμε ότι έχει σταθερή τιμή). Η παραπάνω διαφορά είναι διανυσματική, όπως φαίνεται στο σχήμα 8.1. Τα μέτρα των  $w_1$  και  $c_1$  συνδέονται με τη σχέση  $w_1 = \sin \beta_{1w} \times c_1$ . Η σχέση προκύπτει από το σχήμα 8.1, με τη γωνία  $\beta_{1w}$  της σχετικής ταχύτητας, να ισούται περίπου με τη γωνία  $\beta_1$  των περυγίων. Συνεπώς το μέτρο της σχετικής ταχύτητας,  $w_1$ , είναι ανάλογο του μέτρου της απόλυτης ταχύτητας,  $c_1$ , άρα και της παροχής  $Q$ .

Το κρίσιμο ύψος σπηλαίωσης είναι ανάλογο με τα τετράγωνα των ταχυτήτων  $w_1$  και  $c_1$ , συνεπώς ανάλογο και με το τετράγωνο της παροχής που διέρχεται διαμέσου της περωτής  $Q_u$  και της παροχής που διέρχεται διαμέσου της αντλίας  $Q$ . Ετσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η χαρακτηριστική καμπύλη  $[Q, NPSHr]$  προσεγγίζεται με πολυωνμική εξίσωση β' βαθμού, και μάλιστα της μορφής  $y = ax^2$ .

Κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών μετρήσεων, για τη χάραξη των χαρακτηριστικών καμπυλών [Q,Hκ], ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία: Πάρθηκαν τουλάχιστον δύο με τρεις τιμές του κρίσιμου ύψους σπηλαίωσης για διάφορες τιμές της παροχής Q σύμφωνα με τη διαδικασία που αναλύθηκε στην §3.5. Οι τιμές της παροχής επιλέχθηκαν έτσι ώστε να βρίσκονται σε ικανή μεταξύ τους απόσταση για τη χάραξη της χαρακτηριστικής καμπύλης. Τοποθετήθηκαν τα σημεία στο διάγραμμα [Q,Hκ] και στη συνέχεια χαράχτηκε προσεγγιστικά (προσέγγιση με πολυώνυμο β' βαθμού) με τη βοήθεια του excel η χαρακτηριστική καμπύλη. Με τη βοήθεια αυτών των χαρακτηριστικών καμπυλών, γραφικά, επιλέχτηκε η τιμή του κρίσιμου ύψους σπηλαίωσης, για την τιμή της κανονικής παροχής Qκ.

#### 4.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων σε πίνακα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "B"

#### 4.5 Παρουσίαση χαρακτηριστικών καμπυλών αντλιών

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "B"

Για τον αλγεβρικό υπολογισμό της παραμέτρου σπηλαίωσης μέσω της σχέσης του Anderson

$$\sigma_{κρ} = \frac{3,75 \times 10^{-6}}{\eta_h^2} \times n_q^{4/3}$$
  
( ), θα χρειαστεί πρώτα να υπολογίσουμε αλγεβρικά τα δύο άλλα μεγέθη που εμπλέκονται στη σχέση. Αυτά είναι πρώτο , ο ειδικός αριθμός στροφών (n<sub>Q</sub>) και δεύτερο, ο υδραυλικός βαθμός απόδοσης (η<sub>h</sub>). Στη συνέχεια παρατίθενται οι απαραίτητοι εισαγωγικοί ορισμοί και οι υπολογισμοί.

## 5. Υπολογισμός ειδικού αριθμού στροφών

### 5.1 Γενικά για τον ειδικό αριθμό στροφών

(Παραθέτουμε τον ορισμό του κανονικού σημείου λειτουργίας υδροδυναμικής μηχανής, όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια στην §5.1. Κανονικό σημείο λειτουργίας αντλίας λέγεται το σημείο λειτουργίας με το βέλτιστο ολικό βαθμό απόδοσης.)

Ο ειδικός αριθμός στροφών αποτελεί μία παράμετρο , που δημιουργήθηκε ως ενδεικτική παράμετρος της μορφής της μεσημβρινής τομής της περωτής υδροδυναμικής μηχανής. Το σκεπτικό είναι το εξής: Για μία υδροδυναμική μηχανή με διάμετρο περωτής  $D_2$  και κανονικό σημείο λειτουργίας  $(Q_\kappa, H_\kappa)$  υπό ταχύτητα περιστροφής  $n$ , θα υπάρξει μία υδροδυναμική μηχανή, γεωμετρικά όμοια προς την εξεταζόμενη (δείκτης  $q$ ), διαμέτρου περωτής  $D_{2q}$ , και της οποίας το κανονικό σημείο λειτουργίας θα είναι ίσο με τη μονάδα παροχής και ύψους , δηλ.  $Q_q=1$  ,  $H_q=1$  αντίστοιχα , και η οποία θα στρέφεται υπό ταχύτητα περιστροφής  $n_q$ . Τα κανονικά σημεία λειτουργίας αποτελούν αντίστοιχα σημεία, στα οποία ισχύουν οι σχέσεις ομοιότητας :

$$\left. \begin{aligned} \frac{Q_\kappa}{Q_q} &= \left( \frac{D}{D_q} \right)^3 \times \left( \frac{n}{n_q} \right), \\ \frac{H_\kappa}{H_q} &= \left( \frac{D}{D_q} \right)^2 \times \left( \frac{n}{n_q} \right)^2 \end{aligned} \right\} \text{Σύστημα 2X2 (άγνωστοι: } D_{2q}, n_q) \quad (5.1)$$

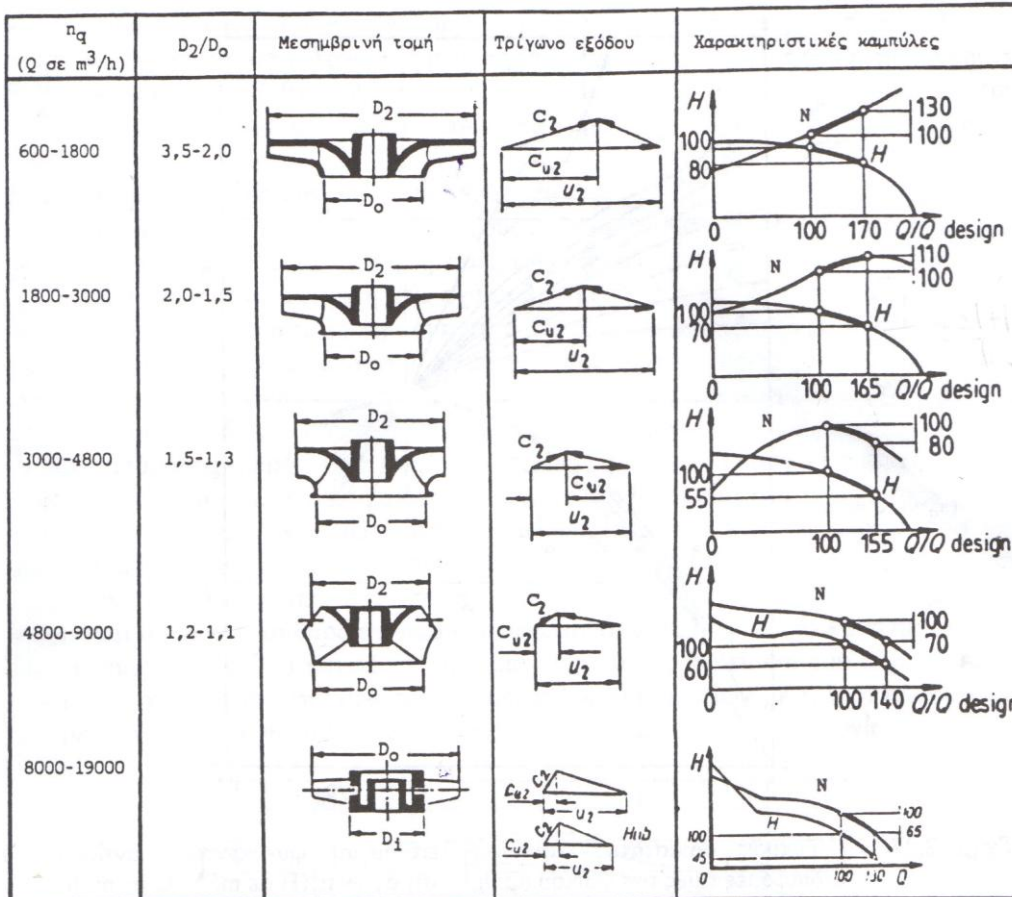
Από την επίλυση του παραπάνω συστήματος για  $Q_\kappa=1, H_\kappa=1$  προκύπτει:

$$n_q = n \times \frac{Q_\kappa^{1/2}}{H_\kappa^{3/4}} \quad (5.2)$$

Η ταχύτητα περιστροφής  $n_q$  της γεωμετρικά όμοιας αντλίας που έχει κανονικό σημείο λειτουργίας  $Q_q=1$  και  $H_q=1$  ονομάζεται ειδικός αριθμός στροφών της αντλίας και εξαρτάται από τα κύρια χαρακτηριστικά της αντλίας στο κανονικό σημείο λειτουργίας της, δηλαδή την κανονική παροχή  $Q_\kappa$ , το κανονικό ύψος  $H_\kappa$  και την ταχύτητα περιστροφής  $n$ . Η παραπάνω σχέση ισχύει για καθαρό νερό στους  $15^\circ\text{C}$ , κινηματικής συνεκτικότητας  $\nu = 1,15 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$ , όπως περίπου ισχύει στο περιβάλλον λήψης των μετρήσεων.



Ο ειδικός αριθμός στροφών σχετίζεται με τη μορφή της μεσημβρινής τομής της περωτής, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (5.1)



Σχήμα 5.1 Ενδεικτικές τιμές της μεσημβρινής τομής περωτής αντλίας για διάφορες τιμές του  $n_q$ .

### 5.2 Αλγεβρικός υπολογισμός βάσει εργαστηριακών μετρήσεων

Έχουμε μετρήσει εργαστηριακά 10 συγκεκριμένες μονοβάθμιες φυγόκεντρες αντλίες, οι οποίες και αποτελούν τη βάση της εργασίας. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάστηκαν αναλυτικά στην §4.4 (παράρτημα "B") με τη μορφή πινάκων και διαγραμμάτων (χαρακτηριστικών καμπυλών). Για να υπολογίσουμε αλγεβρικά τον ειδικό αριθμό στροφών θα χρειαστούμε για την καθεμία αντλία την Παροχή και το Ολικό Ύψος για το κανονικό σημείο λειτουργίας ( Best Efficiency Point). Οι τιμές της Κανονικής Παροχής ( $Q_k$ ) και του Κανονικού Ολικού Ύψους ( $H_k$ ), λαμβάνονται από τις χαρακτηριστικές καμπύλες που χαράχτηκαν βάσει των εργαστηριακών μετρήσεων της §4.4. Το ίδιο και η ταχύτητα περιστροφής  $n$ . Με τη βοήθεια της εξίσωσης 5.2 τέλος, συμπληρώνεται ο Πίνακας του σχήματος 5.2.

|                        |            |           |               |               |               |
|------------------------|------------|-----------|---------------|---------------|---------------|
| A/α                    | 1          | 2         | 3             | 4             | 5             |
| Τύπος αντλίας          | N. 150-400 | N. 32-200 | N. 40-250     | N. 100-200    | LDP-X 250-400 |
| Qκ [m <sup>3</sup> /h] | 380        | 19        | 18            | 230           | 940           |
| Hκ [mΣΥ]               | 53         | 54,2      | 20,5          | 58,8          | 52            |
| n [rpm]                | 1490       | 2959      | 1485          | 2995          | 1487          |
| n <sub>q</sub> [rpm]   | 1479       | 646       | 654           | 2139          | 2354          |
|                        |            |           |               |               |               |
| A/α                    | 6          | 7         | 8             | 9             | 10            |
| Τύπος αντλίας          | N. 125-315 | N. 40-200 | N. 100-250 2f | LDP-X 200-400 | MS100 z=1     |
| Qκ [m <sup>3</sup> /h] | 236        | 15,2      | 295           | 630           | 200           |
| Hκ [mΣΥ]               | 35         | 12,2      | 95            | 53            | 98,6          |
| n [rpm]                | 1484       | 1470      | 2985          | 1491          | 2990          |
| n <sub>q</sub> [rpm]   | 1584       | 878       | 1685          | 1905          | 1351          |

Σχήμα 5.2: Υπολογισμός του ειδικού αριθμού στροφών βάσει εργαστηριακών μετρήσεων.

Παρατηρούμε ότι: Όσο μεγαλύτερο είναι το στόμιο αναρρόφησης της αντλίας (όπου η διάμετρος του στομίου αναρρόφησης της αντλίας είναι ενδεικτική της διαμέτρου  $D_0$  της περωτής, βλ. σχ. 5.1), ή, όσο μικρότερη είναι η μέση τιμή της εξωτερικής διαμέτρου της περωτής  $D_2$ , όσο δηλαδή ο λόγος  $D_2/D_0$  μικραίνει, τόσο ο  $n_q$  μεγαλώνει. Αυτό έρχεται σε πλήρη συμφωνία με τον τρόπο που αντιστοιχίζονται τα ανωτέρω μεγέθη στο σχ. 4.1, και δηλώνει ότι όσο περισσότερο ακτινικής μορφής είναι η μεσημβρινή τομή της περωτής, τόσο ο  $n_q$  μικραίνει, ενώ όσο η μεσημβρινή τομή της περωτής γίνεται αξονικής ροής τόσο ο  $n_q$  μεγαλώνει. Από τις παραπάνω αντλίες, οι α/α 1,2,3,6,7,8,9,10 εντάσσονται στην πρώτη κατηγορία του σχ. 4.1 με  $D_2/D_0 = 3,5 \sim 2$ , ενώ οι α/α 4,5 στην δεύτερη κατηγορία με  $D_2/D_0 = 2 \sim 1,5$ . Περισσότερο ακτινικής μορφής είναι οι περωτές των αντλιών με α/α 2 και 3, ενώ περισσότερο μεικτής ροής η περωτή της αντλίας με α/α 5. Παρατηρούμε πως η αντλία LPD-X 200-400 είναι μεγαλύτερης παροχής και μεσαίου μανομετρικού, ενώ οι N 32-200 και N 40-250 είναι μικρών παροχών και μεσαίου μανομετρικού.

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για τον υπολογισμό της παραμέτρου σπηλαίωσης μέσω της σχέσης του Anderson.

## 6. Υπολογισμός υδραυλικού βαθμού απόδοσης

### 6.1 Γενικά για τους βαθμούς απόδοσης (β.α.)

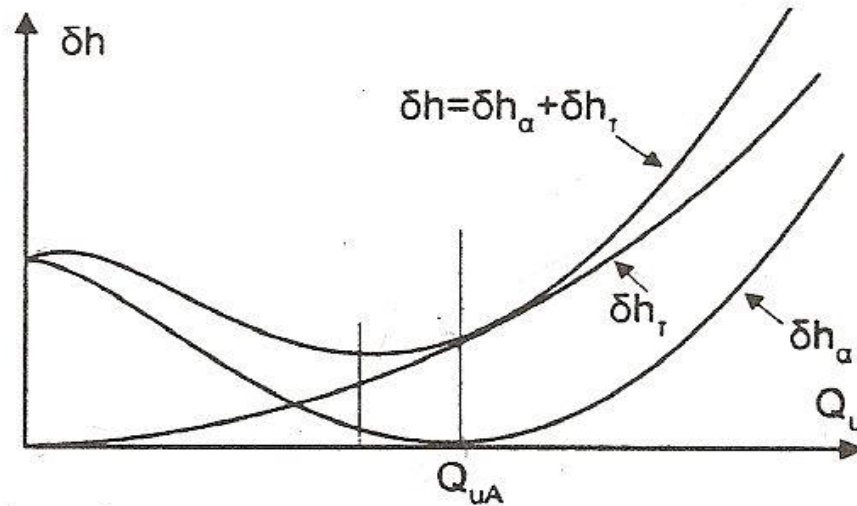
Η ροή του υγρού διά μέσου της αντλίας συνοδεύεται από την ανάπτυξη απωλειών στις οποίες αντιστοιχεί η διαφορά ισχύος ( $P_{ap}-P_{ωφ}$ ), δηλ. της ισχύος  $P_{ap}$  την οποία προσδίδει ο κινητήρας στον άξονα της ανλίας, σε σχέση με την ισχύ  $P_{ωφ}$  που παραλαμβάνει το υγρό. Οι απώλειες αυτές διακρίνονται σε τρεις τύπους, τις υδραυλικές, τις ογκομετρικές και τις μηχανικές, οι οποίες με τη σειρά τους ορίζουν τους αντίστοιχους βαθμούς απόδοσης, τον υδραυλικό, τον ογκομετρικό και το μηχανικό.

#### 6.1.1. Υδραυλικός βαθμός απόδοσης ( $\eta_h$ ):

Το ολικό ύψος της αντλίας TDH, όπως παρουσιάστηκε στην §3.4 εκφράζει την ανά κρ ολική ενέργεια που παραλαμβάνει το υγρό από την είσοδο (S) μέχρι την έξοδο (D) της αντλίας, εκφρασμένη σε μέτρα στήλης του υγρού (στις μετρήσεις μας καθαρό νερό με  $\rho=1000\text{kg/m}^3$ ). Όμως κατά την διαδρομή του υγρού από την διατομή εισόδου μέχρι την διατομή εξόδου αναπτύσσονται υδραυλικές απώλειες  $dh_{fSD}$ , οι οποίες επιμερίζονται σε απώλειες στο τμήμα εισόδου της αντλίας, στο εσωτερικό της περωτής και στο τμήμα εξόδου. Αυτές με τη σειρά τους διακρίνονται σε υδραυλικές απώλειες τριβής ( $dh_\tau$ ) και σε υδραυλικές απώλειες κρούσης ( $dh_a$ ).

Οι υδραυλικές απώλειες τριβής οφείλονται στη συνεκτικότητα του ρευστού και περιγράφονται με τρόπο αντίστοιχο με αυτόν που υπολογίζονται οι υδραυλικές απώλειες σε σωλήνωση, δηλ διακρίνονται στις γραμμικές και εντοπισμένες. Ως υδραυλικές απώλειες κρούσεως χαρακτηρίζονται οι απώλειες αποκόλλησης της ροής, η οποία ενδεχομένως λαμβάνει χώρα στην ακμή πρόσπτωσης των περυγίων της περωτής και δευτερευόντως στην γλωττίδα του σπειροειδούς κελύφους.

Οι υδραυλικές απώλειες κρούσεως παρουσιάζουν μηδενική τιμή για μία τιμή της παροχής η οποία ονομάζεται optimum παροχή της αντλίας ( $Q_A$ ). Για αυτή την τιμή της παροχής, η σχετική ταχύτητα του ρευστού ως προς την περωτή έχει κλίση ίση ακριβώς με την ακμή εισόδου των περυγίων. Σ' αυτή την περίπτωση δεν παρατηρείται αποκόλληση της ροής. Οι υδραυλικές απώλειες τριβής και κρούσεως (συνεπώς και οι συνολικές γραμμικές απώλειες) μεταβάλλονται σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα :



Σχήμα 6.1 Σχηματική μεταβολή των υδραυλικών απωλειών , των υδραυλικων απωλειών τριβής και κρούσεως συναρτήσει της παροχής  $Q_u$  που διέρχεται από την πτερωτή.

Προκύπτει λοιπόν , ότι η καμπύλη των υδραυλικών απωλειών  $\delta h_{fSD}$  συναρτήσει της παροχής της αντλίας παρουσιάζει ένα ελάχιστο για παροχή  $Q$  , μικρότερη πάντοτε από την optimum παροχή  $Q_A$ .

Ο υδραυλικός βαθμός απόδοσης  $\eta_h$  της αντλίας ορίζεται λοιπόν ως ο λόγος:

$$\eta_h = \frac{H}{H_u} = 1 - \frac{\delta h_{fSD}}{H_u}, \text{ όπου} \quad (6.1)$$

$\eta_h$  ο υδραυλικός βαθμός απόδοσης της αντλίας,

$H$  η διαφορά πίεσης μεταξύ στομίου αναρρόφησης και κατάθλιψης της αντλίας,

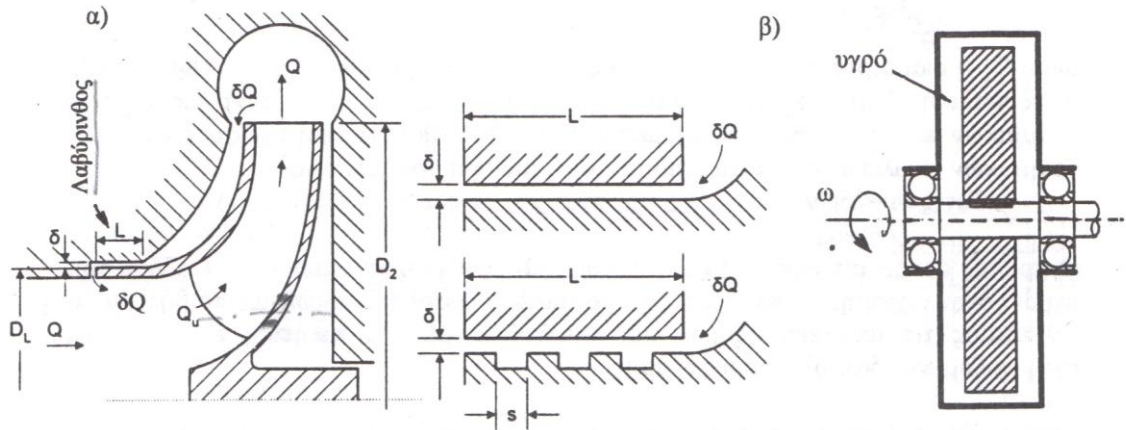
$\delta h_{fSD}$  οι συνολικές υδραυλικές απώλειες εντός της αντλίας και

$H_u$  η διαφορά πίεσης μεταξύ διατομής εισόδου και εξόδου της πτερωτής..

### 6.1.2 Ογκομετρικός βαθμός απόδοσης ( $\eta_Q$ )

Όπως φαίνεται και στο σχ.6.2., η στρεφόμενη πτερωτή περιβάλλεται από το ακίνητο κέλυφος της αντλίας, το οποίο εξασφαλίζει την στεγανότητα της αντλίας με τον εξωτερικό χώρο. Στην διατομή (2) εξόδου της πτερωτής το υγρό εξέρχεται με αυξημένη στατική πίεση σε σχέση με την διατομή εισόδου(1), δηλ  $p_2 > p_1$ . Δεδομένου ότι είναι πάντοτε  $(p_2 - p_1) > 0$ , στο διάκενο μεταξύ της στρεφόμενης πτερωτής (προς την πλευρά της στεφάνης) και του σταθερού κελύφους , αναπτύσσεται ροή που διευθύνεται από τη διατομή (2) προς τη διατομή (1) της χαμηλής ζπίεσης. Η παροχή της ροής αυτής, η οποία συμβολίζεται με  $\delta Q$ , εισέρχεται και πάλι στην πτερωτή και παραλαμβάνει συνεχώς από αυτήν ενέργεια , την οποία καταναλώνει στη συνεχή ανακυκλοφορία

της.



Σχήμα 6.2

α) Ανάπτυξη των ογκομετρικών απωλειών και τυπική διαμόρφωση λαβυρίνθων  
 β) Σχηματοποίηση της ανάπτυξης μηχανικών απωλειών στρεφόμενου δίσκου.

Σύμφωνα με την αρχή της συνέχειας θα είναι:

$$Q_u = Q + \delta Q \quad \text{ή} \quad Q = Q_u - \delta Q, \quad \text{όπου}$$

$Q_u$  η παροχή που διέρχεται από την πτερωτή,

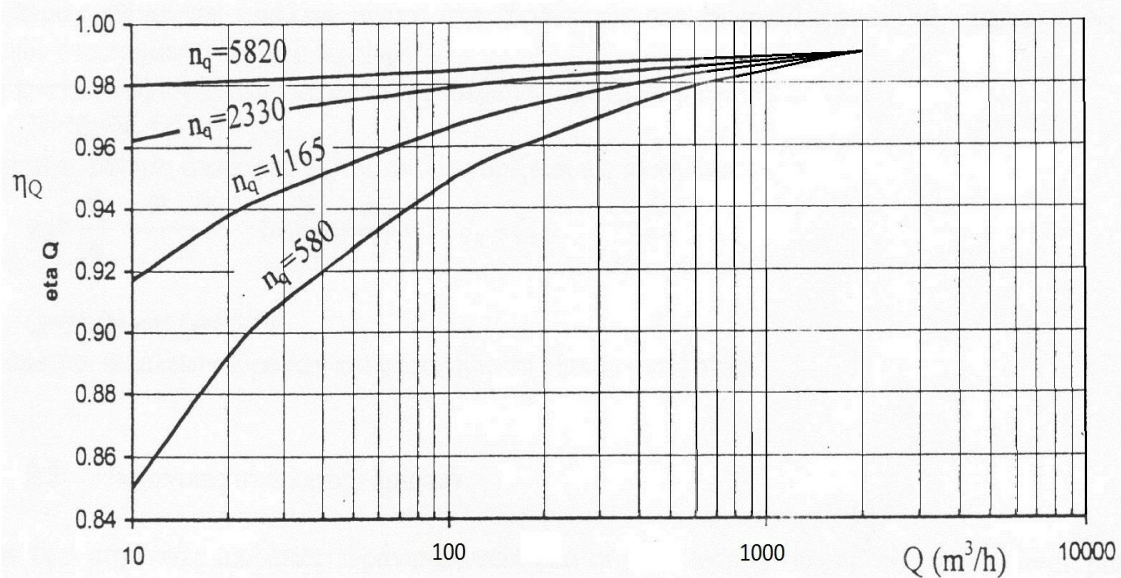
$Q$  η παροχή που διέρχεται από τη αντλία και

$\delta Q$  η παροχή που ανακυκλοφορεί εντός της αντλίας και μέσω της πτερωτής.

Ως ογκομετρικός βαθμός απόδοσης της αντλίας ορίζεται ο λόγος:

$$\eta_Q = \frac{Q}{Q_u} = 1 - \frac{\delta Q}{Q_u} \quad (6.2)$$

Στην πράξη καθορίζεται η επιθυμητή τιμή του ογκομετρικού βαθμού απόδοσης  $\eta_Q$  με βάση τεχνικοοικονομικά κριτήρια (βέλος κάμψης της ατράκτου, κόστος κατεργασίας), λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος και τον τύπο της αντλίας. Ο έλεγχος της ποσότητας ανακυκλοφορίας επιτυγχάνεται μέσω της διαμόρφωσης κατάλληλου λαβυρίνθου, όπως φαίνεται στο σχ.6.2. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη του λαβυρίνθου είναι το διάκενο  $\delta$ , το μήκος του  $L$  (όπως φαίνονται στο σχ.6.2), ενώ μπορεί να έχει και εγκοπές, οι οποίες προκαλούν επιπλέον απώλειες, (περίπου  $1,50c^2/2g$  για κάθε εγκοπή). Όπως αναφέρθηκε, το μέγεθος των χαρακτηριστικών μεγεθών του λαβυρίνθου προκύπτει από τεχνικοοικονομικά κριτήρια. Το διάκενο  $d$  προκύπτει από τη διάμετρο  $D$ , στην οποία καλούμαστε να το κατασκευάσουμε (ανεξάρτητο του  $\eta_Q$  και του  $\eta_q$ ), ενώ το μήκος  $L$  εξαρτάται από τον  $\eta_Q$  και τον  $\eta_q$ . Για την επιλογή του  $\eta_Q$  μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το κατωτέρω διάγραμμα, που παρέχει συνιστώμενες τιμές του σε συνάρτηση με την κανονική παροχή της αντλίας  $Q$  και τον ειδικό αριθμό στροφών  $\eta_q$ .



Σχήμα 6.3: Διάγραμμα συσχέτισης ογκομετρικού βαθμού απόδοσης με παροχή αντλίας και ειδικό αριθμό στροφών αντλίας..

### 6.1.3. Μηχανικός βαθμός απόδοσης ( $\eta_m$ )

Από την μηχανική ισχύ  $P$  που προσδίνεται στην άτρακτο της αντλίας μέσω του κινητήρα, ένα τμήμα της, το οποίο συμβολίζεται με  $P_m$ , δαπανάται για την υπερνίκηση των απωλειών τριβής των στρεφόμενων μερών της αντλίας, ενώ το υπόλοιπο  $P_u$ , η περιφερειακή ισχύς της περωτής, διατίθεται στην περωτή ώστε να το μετατρέψει σε υδραυλική ενέργεια που προσδίδεται στο διακινούμενο υγρό. Άρα  $P_{απ} = P_u + P_m$ .

Η ισχύς των μηχανικών απωλειών διακρίνεται με τη σειρά της σε δύο όρους: την ισχύ  $P_E$  που οφείλεται στις απώλειες τριβής των εδράνων και των στυπιοθλιπτών και την ισχύ  $P_S$  στρεφόμενου δίσκου (βλ σχ. 6.2), που οφείλεται στην τριβή μεταξύ της στρεφόμενης περωτής (στις εξωτερικές επιφάνειες της πλήμνης και της στεφάνης) και του ρευστού που βρίσκεται στα διάκενα αυτά.

Ο μηχανικός βαθμός απόδοσης λοιπόν ορίζεται ως ο λόγος :

$$\eta_m = \frac{P_u}{P_{απ}} = 1 - \frac{P_E}{P_{απ}} - \frac{P_S}{P_{απ}} = 1 - \zeta_E - \zeta_S, \text{ όπου} \quad (6.3)$$

$\zeta_E$  η παράμετρος απωλειών των εδράνων και

$\zeta_S$  η παράμετρος απωλειών στρεφόμενου δίσκου.

#### 6.1.4. Ολικός βαθμός απόδοσης ( $\eta$ )

Ο ολικός βαθμός απόδοσης της αντλίας ορίζεται ως

$$\eta = \frac{P_{\omega\phi}}{P_{\alpha\pi}} = \frac{\gamma H Q}{P_{\alpha\pi}}, \text{ όπου} \quad (6.4)$$

$P_{\omega\phi}$  = η ωφέλιμη ισχύς : ισχύς που προσδίδεται στο υγρό μέσω της πτερωτής,

$P_{\alpha\pi}$  = η απορροφώμενη ισχύς: ισχύς που προσδίδεται στον άξονα της αντλίας από τον κινητήρα,  
 $\gamma$  το ειδικό βάρος του υγρού ( $\gamma = \rho g$ ),

$H$  το πραγματικό ολικό ύψος και

$Q$  η πραγματική παροχή διακινούμενου μέσου διαμέσου της αντλίας.

Λαμβάνοντας υπόψη τις σχέσεις ορισμού των βαθμών απόδοσης υδραυλικού, ογκομετρικού και μηχανικού, θα είναι:

$$P_{\alpha\pi} = \frac{P_u}{\eta_m} = \frac{\gamma H_u Q_u}{\eta_m} = \frac{\gamma H Q}{\eta_m \eta_h \eta_Q} \quad (6.5)$$

$$\text{ή } \eta = \eta_m \times \eta_h \times \eta_Q, \quad (6.6)$$

δηλαδή ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι το γινόμενο των τριών βαθμών απόδοσης, υδραυλικού, ογκομετρικού και μηχανικού.

Το σημείο λειτουργίας της αντλίας με το βέλτιστο ολικό βαθμό απόδοσης (Best Efficiency Point) ονομάζεται κανονικό σημείο λειτουργίας.

## 6.2 Αλγεβρικός υπολογισμός του υδραυλικού βαθμού απόδοσης ( $\eta_h$ )

Ο υδραυλικός β.α. αποτελεί όρο που εμπεριέχεται στην εξίσωση του Anderson. Ο αλγεβρικός υπολογισμός του θα γίνει με τη συνδυαστική χρήση, πρώτο, των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών μετρήσεων για τον ολικό β.α. ξεχωριστά για κάθε αντλία, και δεύτερο, υπολογισμών και εκτιμήσεων του μηχανικού και του ογκομετρικού β.α., όπως θα φανεί παρακάτω.

Ο αλγεβρικός υπολογισμός του θα γίνει βάσει της σχέσης (6.6) :  $\eta = \eta_m \times \eta_h \times \eta_Q$  . ή  $\eta_h = \frac{\eta}{\eta_m \times \eta_Q}$  .

Έτσι λοιπόν στο δεύτερο μέρος της παραπάνω σχέσης έχουμε τρεις μεταβλητές, στις οποίες αν τοποθετήσουμε τη σωστή τιμή, θα έχουμε σαν αποτέλεσμα τη σωστή εκτίμηση του  $\eta_h$ . Οι τιμές των μεγεθών του δεύτερου μέρους προκύπτουν ως εξής:

$\eta$  : Στην εξίσωση συμμετέχει η τιμή του βέλτιστου ολικού βαθμού απόδοσης. Αποτελεί παράγωγο

μέγεθος των πειραματικών δεδομένων. Λαμβάνεται από τους πίνακες του παραρτήματος Α ή γραφικά από τις γραφικές παραστάσεις των χαρακτηριστικών καμπυλών που χαράχτηκαν.

$\eta_m$  : Μηχανικός βαθμός απόδοσης. Υπολογίζεται βάσει της σχέσης ορισμού του

$$(6.3), \eta_m = \frac{P_u}{P_{\alpha\alpha}} = 1 - \frac{P_E}{P_{\alpha\alpha}} - \frac{P_S}{P_{\alpha\alpha}} = 1 - \zeta_E - \zeta_S$$

όπως θα παρουσιαστεί στη συνέχεια, για το σημείο βέλτιστου βαθμού απόδοσης.

$\eta_Q$  : Ογκομετρικός βαθμός απόδοσης. Λαμβάνεται από το διάγραμμα του σχ.6.3, συναρτήσει της κανονικής παροχής και του ειδικού αριθμού στροφών της αντλίας.

### 6.2.1. Εντοπισμός βέλτιστου ολικού βαθμού απόδοσης (best efficiency point)

Ο βέλτιστος ολικός βαθμός απόδοσης εντοπίζεται γραφικά από τις χαρακτηριστικές καμπύλες που χαράχτηκαν, όπως περιγράφηκε στην §4. Οι χαρακτηριστικές καμπύλες παρουσιάζονται στο παράρτημα "Β". Οι τιμές του βέλτιστου ολικού βαθμού απόδοσης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα ταξινομημένες ανά αντλία, μαζί με τις τιμές της κανονικής παροχής και του κανονικού ολικού ύψους (κανονικό σημείο λειτουργίας) :

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΝΟΝΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ |            |           |               |               |               |
|--|------------|-----------|---------------|---------------|---------------|
| A/a                                    | 1          | 2         | 3             | 4             | 5             |
| Τύπος αντλίας                          | N. 150-400 | N. 32-200 | N. 40-250     | N. 100-200    | LDP-X 250-400 |
| Qκ [m <sup>3</sup> /h]                 | 380        | 19        | 18            | 230           | 940           |
| Hκ [mΣΥ]                               | 53         | 54,2      | 20,5          | 58,8          | 52            |
| n [rpm]                                | 1490       | 2959      | 1485          | 2995          | 1487          |
| $\eta$ [ ]                             | 0,85       | 0,46      | 0,46          | 0,72          | 0,83          |
| A/a                                    | 6          | 7         | 8             | 9             | 10            |
| Τύπος αντλίας                          | N. 125-315 | N. 40-200 | N. 100-250 2f | LDP-X 200-400 | MS100 z=1     |
| Qκ [m <sup>3</sup> /h]                 | 236        | 15,2      | 295           | 630           | 200           |
| Hκ [mΣΥ]                               | 35         | 12,2      | 95            | 53            | 98,6          |
| n [rpm]                                | 1484       | 1470      | 2985          | 1491          | 2990          |
| $\eta$ [ ]                             | 0,79       | 0,53      | 0,80          | 0,78          | 0,62          |

Σχήμα 6.4: Τιμές βέλτιστου ολικού βαθμού απόδοσης ταξινομημένες ανά αντλία.

### 6.2.2. Υπολογισμός μηχανικού βαθμού απόδοσης

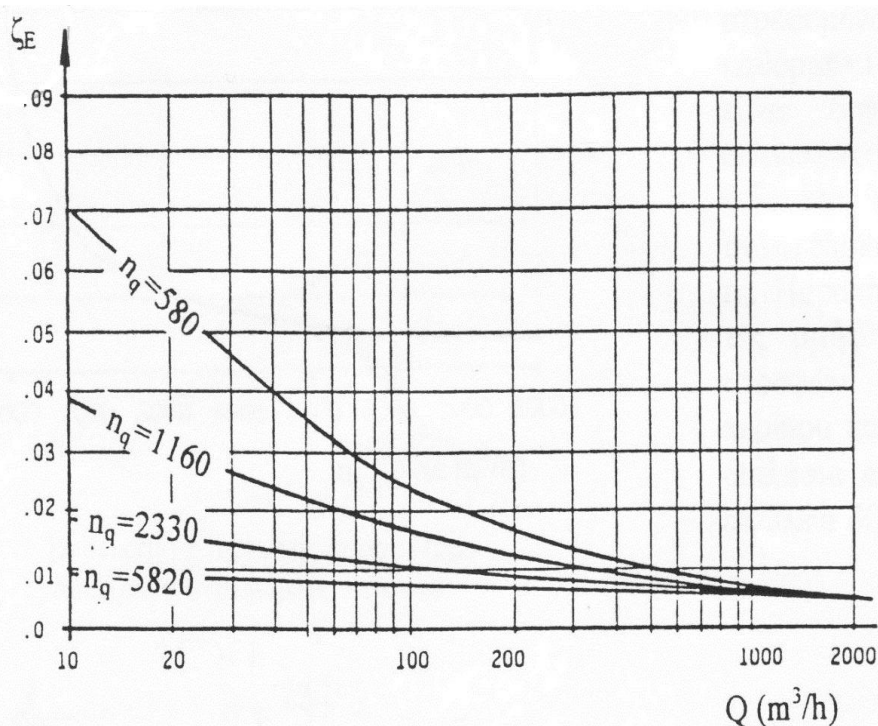


Υπολογίζεται βάσει της σχέσης ορισμού του (6.3),  $\eta_m = \frac{P_u}{P_{\alpha\tau}} = 1 - \frac{P_E}{P_{\alpha\tau}} - \frac{P_S}{P_{\alpha\tau}} = 1 - \zeta_E - \zeta_S$ .

Ξεχωριστά υπολογίζουμε την παράμετρο απωλειών εδράνων  $\zeta_E$  και την παράμετρο απωλειών στρεφόμενου δίσκου  $\zeta_S$ .

$\zeta_E$  : Παράμετρος απωλειών εδράνων:

Με τον όρο μηχανικές απώλειες εδράνων εννοούνται οι μηχανικές απώλειες που απαιτούνται για την περιστροφή της ατράκτου με  $n$  στροφές (rpm), και οι οποίες λαμβάνουν χώρα στα έδρανα της ατράκτου και στον στυπιοθλίπτη ή στα παρεμβύσματα σαλαμάστρας. Αν και η φύση των απωλειών αυτών είναι απόλυτα κατανοητή, υπάρχουν πολύ λίγα διαθέσιμα στοιχεία και μετρήσεις επειδή ακριβώς είναι πολύ μικρές και εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως ο τύπος και ο κατασκευαστής των εδράνων, η λίπανσή τους, ο τύπος των στυπίων, ο βαθμός σύσφιξης του στυπιοθλίπτη, η φόρτιση της ατράκτου κ.α. Από διάφορες μετρήσεις και υπολογισμούς προκύπτει ότι η τιμή του  $\zeta_E$  είναι της τάξης του 1% και ότι για τις πολύ μικρές αντλίες ( $Q < 50 \text{ m}^3/\text{h}$ ) μπορεί να ληφθεί ίση προς 1-3%. Μία ακριβέστερη εκτίμηση της παραμέτρου μπορεί να γίνει από το διάγραμμα το σχήματος 6.5.



Σχήμα 6.5: Διάγραμμα συσχέτισης παραμέτρου απωλειών εδράνων, με την παροχή της αντλίας και τον ειδικό αριθμό στροφών της πτερωτής.

Στον πίνακα του σχήματος 6.6, στη συνέχεια, παρουσιάζονται για τις δέκα αντλίες του πειράματος, οι τιμές της παραμέτρου απωλειών εδράνων, πάλι στις τιμές της κανονικής παροχής και του ειδικού αριθμού στροφών. Όλες οι τιμές αφορούν το κανονικό σημείο λειτουργίας.

| ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ $\zeta_E$ |               |                   |       |           |
|-----------------------|---------------|-------------------|-------|-----------|
|                       | Τύπος αντλίας | Qκ                | $n_q$ | $\zeta_E$ |
| A/a                   |               | m <sup>3</sup> /h |       |           |
| 1                     | N. 150-400    | 380               | 1479  | 0,008     |
| 2                     | N. 32-200     | 19                | 646   | 0,05      |
| 3                     | N. 40-250     | 18                | 654   | 0,05      |
| 4                     | N. 100-200    | 230               | 2139  | 0,01      |
| 5                     | LDP-X 250-400 | 940               | 2354  | 0,01      |
| 6                     | N. 125-315    | 236               | 1584  | 0,01      |
| 7                     | N. 40-200     | 15,2              | 878   | 0,05      |
| 8                     | N. 100-250 2f | 295               | 1685  | 0,01      |
| 9                     | LDP-X 200-400 | 630               | 1905  | 0,006     |
| 10                    | MS100 z=1     | 200               | 1351  | 0,02      |

Σχήμα 6.6 : Υπολογισμός παραμέτρου απωλειών εδράνων

$\zeta_S$ : παράμετρος απωλειών στρεφόμενου δίσκου:

Ως μηχανική απώλεια στρεφόμενου δίσκου ορίζεται η ισχύς  $P_S$  που δαπανάται για την υπερνίκηση της ροπής αντίστασης, η οποία οφείλεται στις περιφερειακές διατμητικές τάσεις  $\tau_\phi$  που αναπτύσσονται στις εξωτερικές επιφάνειες της πτερωτής.

Γενικώς, η ροπή αντίστασης κυλινδρικής επιφάνειας στρεφόμενου δίσκου δίνεται από τη σχέση:

$$M_{ST} = M_S + M_{SE} = \rho \pi \zeta \omega^2 \left[ \frac{D^4}{2} + \frac{D}{5} \right] e \quad , \text{ όπου} \quad (6.7)$$

$M_S$  : η ροπή αντίστασης των εξωτερικών επιφανειών του δίσκου σε [Nm],

$M_{SE}$  : η ροπή αντίστασης των κυλινδρικών επιφανειών του δίσκου σε [Nm],

$\rho$  : η πυκνότητα του διακινούμενου μέσου (νερού στους 20°C) σε [kg/m<sup>3</sup>],

$\zeta$  : συντελεστής αντίστασης μεταξύ διακινούμενου μέσου και επιφανειών πτερωτής, καθαρός αριθμός

$\omega$  : η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της πτερωτής σε [rad/sec] ( $\omega = \frac{2\pi n}{60}$ )

$D$  : η εργαζόμενη διάμετρος σε [m] και

$e$  : το πλάτος των κυλινδρικών επιφανειών (στεφάνης και πλήμνης), στην εξωτερική διάμετρο του δίσκου σε [m].

Η σχέση είναι πλήρης, καθώς περιλαμβάνει τη ροπή αντίστασης και των δύο επιφανειών του δίσκου, καθώς και των εξωτερικών κυλινδρικών επιφανειών. Δεν αναλύουμε στο παρόν κεφάλαιο τον τρόπο που αυτή η σχέση προκύπτει, τη θεωρούμε δεδομένη και κάνουμε την αναγωγή στα μεγέθη που αφορούν την αντλία.

Το μεγέθος " $\rho$ ", είναι κοινό για όλους τους τύπους των αντλιών της μελέτης, αν θεωρήσουμε ότι έχουμε την ίδια περίπου θερμοκρασία του νερού, ίση με 20°C. Σ' αυτή τη θερμοκρασία η πυκνότητα του νερού είναι 999,7kg/m<sup>3</sup>.

Τα μεγέθη " $D$ " και " $e$ ", μεταβάλλονται για την κάθε αντλία, εφόσον αποτελούν κατασκευαστικά χαρακτηριστικά.

Παρατηρούμε ότι η εργαζόμενη διάμετρος " $D$ " δεν είναι η εξωτερική διάμετρος της πτερωτής " $D_2$ ". Στην εμπρόσθια πλευρά (πλευρά αναρρόφησης), η επιφάνεια τριβής εκτείνεται από τη διάμετρο " $D_0$ " ("μάτι" της πτερωτής), ως τη διάμετρο " $D_2$ " (εξωτερική διάμετρο). Στην οπίσθια πλευρά (πλευρά στυπιοθήκης), η επιφάνεια τριβής εκτείνεται από τη διάμετρο " $d$ " ("αφαλός") ως την εξωτερική διάμετρο " $D_2$ ". Για τους συμβολισμούς των διαμέτρων κατατοπιστικά είναι τα σχέδια που βρίσκονται στο παράρτημα "Α".

Συνεπώς θα διαμορφώσουμε την κάτωθι σχέση, βασιζόμενοι τη σχέση (6.7):

$$M_{ST} = \rho \pi \zeta_1 \omega^2 \left[ \frac{D_2}{2} \right]^4 \left[ \frac{D_2}{5} \right] e - \frac{1}{2} \rho \pi \zeta_2 \omega^2 \left[ \frac{D_0}{2} \right]^4 \frac{D_0}{5} - \frac{1}{2} \rho \pi \zeta_3 \omega^2 \left[ \frac{d}{2} \right]^4 \frac{d}{5} \quad \text{ή}$$

$$M_{ST} = \rho \pi \zeta_1 \omega^2 \left[ \frac{D_2}{2} \right]^4 \left[ \frac{D_2}{5} \right] e - \frac{1}{2} \rho \pi \zeta_2 \omega^2 \left[ \frac{D_0}{2} \right]^4 \frac{D_0}{5} \quad (6.8)$$

Στις ροπές αντίστασης που αφορούν τις διαμέτρους " $D_0$ " και " $d$ ", υπάρχει ο παράγοντας  $\frac{1}{2}$ , επειδή αναφέρονται μόνο στη μία πλευρά του δίσκου. Ωστόσο, το γινόμενο που αφορά τη διάμετρο " $d$ ", μπορεί να παραληφθεί χωρίς σημαντική μεταβολή του αποτελέσματος, λόγω της πολύ χαμηλής τιμής των  $\zeta_3$  και  $d$ . Παρατίθενται οι διαμέτροι που χρειάζονται για τον υπολογισμό, καθώς και οι ταχύτητες περιστροφής, όπως μετρήθηκαν πειραματικά, στον πίνακα του σχήματος 6.7. Οι τιμές των διαμέτρων λαμβάνονται από τα κατασκευαστικά σχέδια των πτερωτών.

| ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ |               |     |     |    |      |      |        |
|---|---------------|-----|-----|----|------|------|--------|
| Α/α   | Τύπος αντλίας | D2  | Do  | d  | e    | n    | ω      |
|   |               | mm  | mm  | mm | mm   | RPM  | rad/s  |
| 1   | N. 150-400    | 408 | 179 | 42 | 11   | 1490 | 156,03 |
| 2   | N. 32-200     | 211 | 45  | 16 | 10   | 2959 | 309,87 |
| 3   | N. 40-250     | 265 | 58  | 22 | 10   | 1485 | 155,51 |
| 4   | N. 100-200    | 212 | 143 | 32 | 10   | 2995 | 313,64 |
| 5   | LDP-X 250-400 | 410 | 286 |    | 11   | 1487 | 155,72 |
| 6   | N. 125-315    | 328 | 140 | 42 | 10   | 1484 | 155,40 |
| 7   | N. 40-200     | 211 | 56  | 16 | 9    | 1470 | 153,94 |
| 8   | N. 100-250 2f | 266 | 168 | 32 | 10,5 | 2985 | 312,59 |
| 9   | LDP-X 200-400 | 410 | 286 | 55 | 11   | 1491 | 156,14 |
| 10  | MS100 z=1     | 270 | 137 |    | 9    | 2990 | 313,11 |

Σχήμα 6.7.

Το μέγεθος " $\zeta$ " μεταβάλλεται για την κάθε αντλία και είναι συνάρτηση του περιφερειακού αριθμού Reynolds  $Re_r$ .

Ο συντελεστής αντίστασης " $\zeta$ " προκύπτει από τη σχέση:

$$\zeta = \frac{5}{4\pi} \times 0,0622 Re_r^{-0,2}, \quad (6.9)$$

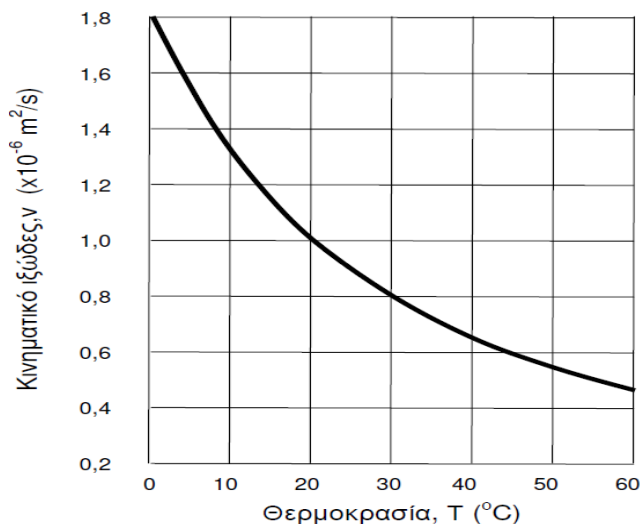
για  $Re_r = \frac{\omega R^2}{\nu} = \frac{\omega D^2}{4\nu} \square 3 \times 10^5$ , δηλ πλήρως τυρβώδη ροή ή

$$\zeta = \frac{5}{4\pi} \times 2,67 Re_r^{-1,2}, \quad (6.10)$$

για  $Re_r \square 1 \times 10^5$ , δηλ στρωτή ροή, όπου

$\nu$  : το κινηματικό ιξώδες του διακινούμενου μέσου (ήτοι νερού στους 20°C).

Το κινηματικό ιξώδες του νερού λαμβάνεται ίσο με  $1,006 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{sec}$ , στους 20°C. Χρειάζεται σ'αυτό το σημείο να υπενθυμίσουμε πως η θερμοκρασία του νερού διατηρείται σταθερή κατά την εκτέλεση του πειράματος. Παρατίθεται στο σχήμα 6.8 ο τρόπος μεταβολής του κινηματικού ιξώδους του νερού συναρτήσει της θερμοκρασίας του. Φαίνεται η σημαντική επιρροή της θερμοκρασίας στην τιμή του.



Σχήμα 6.8: Μεταβολή κινηματικού ιξώδους νερού συναρτήσει της θερμοκρασίας του.

Στον κάτωθι πίνακα (σχήμα 6.9) παρουσιάζονται οι υπολογισμένες τιμές των ζ<sub>1</sub> και ζ<sub>2</sub> για τις αντλίες της μελέτης ξεχωριστά. Οι τιμές αυτές θα συμμετέχουνε στην εξίσωση (6.8), για τον υπολογισμό της ροπής αντίστασης της περωτής.

| ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ζ |               |                      |           |                |                      |           |                |
|---------------|---------------|----------------------|-----------|----------------|----------------------|-----------|----------------|
| A/α           | Τύπος αντλίας | D <sub>2</sub><br>mm | αρ. Re    | ζ <sub>1</sub> | D <sub>0</sub><br>mm | αρ. Re    | ζ <sub>2</sub> |
| 1             | N. 150-400    | 408                  | 6.454.718 | 0,001075       | 179                  | 1.242.404 | 0,001495       |
| 2             | N. 32-200     | 211                  | 3.428.313 | 0,00122        | 45                   | 155.934   | 0,000001       |
| 3             | N. 40-250     | 265                  | 2.713.869 | 0,001279       | 58                   | 130.003   | 0,000001       |
| 4             | N. 100-200    | 212                  | 3.502.992 | 0,001215       | 143                  | 1.593.821 | 0,001423       |
| 5             | LDP-X 250-400 | 410                  | 6.505.030 | 0,001074       | 286                  | 3.165.291 | 0,001240       |
| 6             | N. 125-315    | 328                  | 4.154.820 | 0,001174       | 140                  | 756.939   | 0,001651       |
| 7             | N. 40-200     | 211                  | 1.703.150 | 0,001404       | 56                   | 119.968   | 0,000001       |
| 8             | N. 100-250 2f | 266                  | 5.496.399 | 0,001111       | 168                  | 2.192.469 | 0,001335       |
| 9             | LDP-X 200-400 | 410                  | 6.522.529 | 0,001073       | 286                  | 3.173.806 | 0,001239       |
| 10            | MS100 z=1     | 270                  | 5.672.433 | 0,001104       | 137                  | 1460437   | 0,001448       |

Σχήμα 6.9: Υπολογισμός συντελεστών αντίστασης.

Παρατηρούμε πως για τη διάμετρο D<sub>2</sub> ο αριθμός Reynolds, πληροί πάντα και με ευκολία το κριτήριο μεγέθους της πλήρως τυρβώδους ροής, πράγμα που δεν ισχύει για τη διάμετρο D<sub>0</sub>. Έτσι για τη διάμετρο D<sub>0</sub> στις περωτές 1,4,5,6,8,9,10, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ζ<sub>2</sub>, η εξίσωση (6.9) της πλήρως τυρβώδους ροής, ενώ για τις περωτές 2,3,7, χρησιμοποιείται η εξίσωση (6.10) της στρωτής ροής.

Τώρα πλέον έχουμε όλα τα στοιχεία για να υπολογίσουμε τη ροπή απωλειών (ροπή αντίστασης) στρεφόμενου δίσκου, σύμφωνα με την εξίσωση (6.8). Βάσει λοιπόν των στοιχείων που βρίσκονται συγκεντρωμένα στους πίνακες των σχημάτων 6.7 και 6.8, προκύπτουν οι τιμές της ροπής  $M_{ST}$ . Εν συνεχεία, η παράμετρος απωλειών στρεφόμενου δίσκου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\zeta_{ST} = \frac{P_{ST}}{P_{\alpha\pi}} = \frac{M_{ST}\omega}{P_{\alpha\pi}}, \text{ όπου} \quad (6.10)$$

$P_{ST}$  : η ισχύς απωλειών λόγω της εκφρασμένης ροπής αντίστασης κυλινδρικών επιφανειών,

$P_{\alpha\pi}$  : η απορροφώμενη ισχύς, δηλ η ισχύς που παραλαμβάνεται στον άξονα της αντλίας από τον ηλεκτροκινητήρα.

Η ροπή αντίστασης  $M_{ST}$ , η ισχύς απωλειών  $P_{ST}$  υπολογίζονται όπως περιγράφηκε παραπάνω, η απορροφώμενη ισχύς  $P_{\alpha\pi}$  λαμβάνεται από τους πίνακες μετρήσεων του παραρτήματος "B", τέλος υπολογίζεται η παράμετρος απωλειών στρεφόμενου δίσκου από τη σχέση (6.10). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον κάτωθι πίνακα του σχ.6.10.

| ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ $\zeta_{st}$ |               |          |          |                 |              |
|--------------------------|---------------|----------|----------|-----------------|--------------|
| Α/α                      | Τύπος αντλίας | $M_{st}$ | $P_{st}$ | $P_{\alpha\pi}$ | $\zeta_{st}$ |
|                          |               | N*m      | kW       | kW              |              |
| 1                        | N. 150-400    | 13,06    | 2,037    | 64,6            | 0,032        |
| 2                        | N. 32-200     | 2,38     | 0,737    | 6,05            | 0,122        |
| 3                        | N. 40-250     | 1,89     | 0,293    | 2,18            | 0,135        |
| 4                        | N. 100-200    | 2,32     | 0,727    | 51,6            | 0,014        |
| 5                        | LDP-X 250-400 | 12,30    | 1,916    | 158,55          | 0,012        |
| 6                        | N. 125-315    | 4,83     | 0,751    | 28,5            | 0,026        |
| 7                        | N. 40-200     | 0,66     | 0,102    | 0,95            | 0,107        |
| 8                        | N. 100-250 2f | 6,45     | 2,016    | 95,5            | 0,021        |
| 9                        | LDP-X 200-400 | 12,36    | 1,930    | 116,7           | 0,017        |
| 10                       | MS100 z=1     | 6,98     | 2,184    | 87,17           | 0,025        |

Σχήμα 6.10: Υπολογισμός παραμέτρου απωλειών στρεφόμενου δίσκου.

Εν τέλει παρατίθενται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των παραμέτρων  $\zeta_E$  και  $\zeta_{ST}$ , τέλος τα αποτελέσματα των μηχανικών βαθμών απόδοσης  $\eta_m$ , στον κάτωθι πίνακα του σχήματος 6.11.

| ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ $\eta_m$ |               |              |           |          |
|----------------------|---------------|--------------|-----------|----------|
| A/α                  | Τύπος αντλίας | $\zeta_{st}$ | $\zeta_E$ | $\eta_m$ |

|    |               |       |       |       |
|----|---------------|-------|-------|-------|
| 1  | N. 150-400    | 0,032 | 0,008 | 0,960 |
| 2  | N. 32-200     | 0,122 | 0,05  | 0,828 |
| 3  | N. 40-250     | 0,135 | 0,05  | 0,815 |
| 4  | N. 100-200    | 0,014 | 0,01  | 0,976 |
| 5  | LDP-X 250-400 | 0,012 | 0,01  | 0,978 |
| 6  | N. 125-315    | 0,026 | 0,01  | 0,964 |
| 7  | N. 40-200     | 0,11  | 0,05  | 0,843 |
| 8  | N. 100-250 2f | 0,021 | 0,01  | 0,969 |
| 9  | LDP-X 200-400 | 0,017 | 0,006 | 0,977 |
| 10 | MS100 z=1     | 0,025 | 0,015 | 0,960 |

Σχήμα 6.11 : Υπολογισμός μηχανικού βαθμού απόδοσης

### 6.2.3. Εκτίμηση του ογκομετρικού βαθμού απόδοσης $\eta_Q$ .

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης προκύπτει βάσει τεχνικοοικονομικών κριτηρίων. Επιλέγεται αρχικά λοιπόν η τιμή της παροχής  $\delta Q$ , που θα ανακυκλοφορεί διαμέσου των διακένων του σώματος της αντλίας και της περωτής. Με γνωστές τις ογκομετρικές απώλειες  $\delta Q$  είναι δυνατός ο υπολογισμός του λαβυρίνθου, όπου ανεξάρτητες μεταβλητές είναι το μήκος "l" και το ακτινικό διάκενο "δ".

Οι συνιστώμενες τιμές του ογκομετρικού βαθμού απόδοσης, στις οποίες αναφερθήκαμε, προκύπτουν ενδεικτικά από το διάγραμμα του σχήματος 6.3, συναρτήσεως της κανονικής παροχής (ενδεικτική του μεγέθους της αντλίας) και του ειδικού αριθμού στροφών " $n_q$ " (ενδεικτικός αριθμός της μορφής της περωτής). Οι τιμές που επιλέγονται, για να χρησιμεύσουν στους περαιτέρω υπολογισμούς, παρουσιάζονται στον κατωτέρω πίνακα του σχήματος 6.12.

| ΕΚΤΙΜΗΣΗ $\eta_Q$ |            |           |           |            |               |
|-------------------|------------|-----------|-----------|------------|---------------|
| A/a               | 1          | 2         | 3         | 4          | 5             |
| Τύπος αντλίας     | N. 150-400 | N. 32-200 | N. 40-250 | N. 100-200 | LDP-X 250-400 |

|                        |            |           |               |               |           |
|------------------------|------------|-----------|---------------|---------------|-----------|
| Qκ [m <sup>3</sup> /h] | 380        | 19        | 18            | 230           | 940       |
| n <sub>q</sub> [rpm]   | 1479       | 646       | 654           | 2139          | 2354      |
| η <sub>Q</sub> []      | 0,98       | 0,90      | 0,90          | 0,98          | 0,99      |
| A/α                    | 6          | 7         | 8             | 9             | 10        |
| Τύπος αντλίας          | N. 125-315 | N. 40-200 | N. 100-250 2f | LDP-X 200-400 | MS100 z=1 |
| Qκ [m <sup>3</sup> /h] | 236        | 15,2      | 295           | 630           | 200       |
| n <sub>q</sub> [rpm]   | 1584       | 878       | 1685          | 1905          | 1351      |
| η <sub>Q</sub> []      | 0,98       | 0,90      | 0,98          | 0,985         | 0,98      |

Σχήμα 6.12 : Εκτίμηση του ογκομετρικού βαθμού απόδοσης

6.2.4. Τιμές του υδραυλικού βαθμού απόδοσης η<sub>h</sub>.

Από τη σχέση 6.6 και με τη χρήση των τιμών του βέλτιστου βαθμού απόδοσης, του μηχανικού και του ογκομετρικού βαθμού απόδοσης, όπως υπολογίστηκαν ή εκτιμήθηκαν παραπάνω, προκύπτουν οι τιμές του υδραυλικού βαθμού απόδοσης. Τα τελικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στον κατωτέρω πίνακα (σχήμα 6.13).

| ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ η <sub>h</sub> |               |      |                |                |                |
|----------------------------|---------------|------|----------------|----------------|----------------|
| A/α                        | Τύπος αντλίας | η    | η <sub>m</sub> | η <sub>Q</sub> | η <sub>h</sub> |
| 1                          | N. 150-400    | 0,85 | 0,960          | 0,98           | 0,903          |
| 2                          | N. 32-200     | 0,46 | 0,828          | 0,90           | 0,617          |
| 3                          | N. 40-250     | 0,46 | 0,815          | 0,90           | 0,627          |
| 4                          | N. 100-200    | 0,72 | 0,976          | 0,98           | 0,753          |
| 5                          | LDP-X 250-400 | 0,83 | 0,978          | 0,99           | 0,857          |
| 6                          | N. 125-315    | 0,79 | 0,964          | 0,98           | 0,837          |
| 7                          | N. 40-200     | 0,53 | 0,843          | 0,90           | 0,699          |
| 8                          | N. 100-250 2f | 0,80 | 0,969          | 0,98           | 0,843          |
| 9                          | LDP-X 200-400 | 0,78 | 0,977          | 0,985          | 0,810          |
| 10                         | MS100 z=1     | 0,62 | 0,960          | 0,98           | 0,659          |

Σχήμα 6.13: Υπολογισμός υδραυλικού βαθμού απόδοσης.



## 7. Υπολογισμός παραμέτρου σπηλαίωσης μέσω της σχέσης του Anderson

Η σχέση του Anderson είναι η εξής:

$$\sigma_{\kappa\rho} = \frac{3,75 \times 10^{-6}}{\eta_h^2} \times n_q^{4/3}$$

Δεν είναι άλλη από τη σχέση (1.1), που αναφέρθηκε στην περίληψη. Ο στόχος των υπολογισμών που κάναμε στις δύο παραπάνω παραγράφους, είναι σαφώς η επίλυση της σχέσης (1.1), ως προς την παράμετρο σπηλαίωσης. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μετά την αντικατάσταση των μεγεθών του δεύτερου μέλους της εξίσωσης (1.1). Προκύπτει λοιπόν ο παρακάτω πίνακας του σχήματος 7.1, που περιέχει για την κάθε αντλία, συγκεντρωτικά τις τιμές και των τριών μεγεθών που εμπλέκονται στη σχέση του Anderson.

| ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ $\sigma_{\kappa\rho}$ ΒΑΣΕΙ ΣΧΕΣΗΣ ANDERSON |            |           |               |               |               |
|---|------------|-----------|---------------|---------------|---------------|
| A/α   | 1          | 2         | 3             | 4             | 5             |
| Τύπος αντλίας   | N. 150-400 | N. 32-200 | N. 40-250     | N. 100-200    | LDP-X 250-400 |
| $\eta_h$  | 0,903      | 0,617     | 0,627         | 0,753         | 0,857         |
| $n_q$   | 1479       | 683       | 654           | 2139          | 2354          |
| $\sigma_{\kappa\rho}$                                   | 0,077      | 0,059     | 0,054         | 0,182         | 0,16          |
|   |            |           |               |               |               |
| A/α   | 6          | 7         | 8             | 9             | 10            |
| Τύπος αντλίας   | N. 125-315 | N. 40-200 | N. 100-250 2f | LDP-X 200-400 | MS100 z=1     |
| $\eta_h$  | 0,84       | 0,699     | 0,843         | 0,810         | 0,659         |
| $n_q$   | 1584       | 878       | 1685          | 1905          | 1351          |
| $\sigma_{\kappa\rho}$                                   | 0,099      | 0,065     | 0,106         | 0,14          | 0,129         |

Σχήμα 7.1: Πίνακας υπολογισμού παράμετρου σπηλαίωσης βάσει της σχέσης του Anderson

## 8. Υπολογισμός παραμέτρου σπηλαίωσης βάσει ορισμού.

Για τον ορισμό της παραμέτρου σπηλαίωσης ισχύει η σχέση:

$$\sigma_{κρ} = \frac{H_{κρ}}{H_{κ}} \quad , \quad (8.1)$$

Όπου  $\sigma_{κρ}$  η παράμετρος σπηλαίωσης,

$H_{κρ}$  ή  $NPSH_r$  το κρίσιμο ύψος σπηλαίωσης,

$H_{κ}$  το κανονικό ύψος.

Για να πάρουμε σαν αποτέλεσμα την τιμή της παραμέτρου σπηλαίωσης με τη χρήση της σχέσης ορισμού λοιπόν, χρειαζόμαστε τις τιμές του κρίσιμου ύψους σπηλαίωσης και του κανονικού ολικού ύψους. Θυμίζουμε ότι την τιμή του κανονικού ολικού ύψους χρησιμοποιήσαμε ήδη για τον υπολογισμό της παραμέτρου σπηλαίωσης με τη χρήση της σχέσης του Anderson (για τον ειδικό αριθμό στροφών). Στο κανονικό σημείο λειτουργίας εντοπίσαμε γραφικά το βέλτιστο βαθμό απόδοσης και για το κανονικό σημείο λειτουργίας υπολογίσαμε τον υδραυλικό βαθμό απόδοσης. Σαν γενικός κανόνας, αναφέρεται ότι οι μετρήσεις έγιναν για αντλίες με πλήρη διάμετρο πτερωτής, και τα σημεία λειτουργίας που επεξεργάστηκαν ήταν τα κανονικά σημεία λειτουργίας.

Και τα δύο μεγέθη ( $H_{κρ}$  και  $H_{κ}$ ) προκύπτουν από τις εργαστηριακές μετρήσεις.

Η κανονική παροχή  $Q_{κ}$ , υπολογίζεται γραφικά, όπως και το κανονικό ολικό ύψος  $H_{κ}$ , από τις χαρακτηριστικές καμπύλες  $[Q,TDH]$  κάθε αντλίας. Οι χαρακτηριστικές καμπύλες  $[Q,TDH]$ , προκύπτουν από τις εργαστηριακές μετρήσεις. Η χάραξη της καμπύλης γίνεται με προσέγγιση, με πολυώνυμο β' βαθμού, όπως αναφέρθηκε στην §4.1.2. Από την καμπύλη, γραφικά, επιλέγονται οι τιμές των  $Q_{κ}$  και  $H_{κ}$ . Οι τιμές της κανονικής παροχής και του κανονικού ολικού ύψους, δεν είναι άλλες από τις τιμές της παροχής και του ολικού ύψους της αντλίας, λαμβανόμενες για το βέλτιστο ολικό βαθμό απόδοσης. Επίσης οι τιμές του  $H_{κρ}$  προκύπτουν γραφικά από τις χαρακτηριστικές καμπύλες του παραρτήματοςξ "B", οι οποίες προκύψανε από τα πειραματικά δεδομένα.

Στον παρακάτω πίνακα, του σχήματος 8.1, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την παράμετρο σπηλαίωσης, υπολογισμένα βάσει της σχέσης (8.1).

| ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ ΣΠΗΛΑΙΩΣΗΣ ΒΑΣΕΙ ΟΡΙΣΜΟΥ |            |           |               |               |               |
|---|------------|-----------|---------------|---------------|---------------|
| A/α   | 1          | 2         | 3             | 4             | 5             |
| Τύπος αντλίας                                   | N. 150-400 | N. 32-200 | N. 40-250     | N. 100-200    | LDP-X 250-400 |
| H <sub>κρ</sub> [mΣY]                           | 3,1        | 7,5       | 2,3           | 4,9           | 4,1           |
| H <sub>κ</sub> [mΣY]                            | 53         | 54,2      | 20,5          | 58,8          | 52            |
| σ <sub>κρ</sub> []                              | 0,058      | 0,138     | 0,112         | 0,083         | 0,079         |
| A/α   | 6          | 7         | 8             | 9             | 10            |
| Τύπος αντλίας                                   | N. 125-315 | N. 40-200 | N. 100-250 2f | LDP-X 200-400 | MS100 z=1     |
| H <sub>κρ</sub> [mΣY]                           | 3,55       | 2,5       | 5,6           | 4,2           | 6,6           |
| H <sub>κ</sub> [mΣY]                            | 35         | 12,2      | 95            | 53            | 98,6          |
| σ <sub>κρ</sub> []                              | 0,101      | 0,205     | 0,059         | 0,079         | 0,067         |

Σχήμα 8.1 : Πίνακας αποτελεσμάτων παραμέτρου σπηλαίωσης βάσει ορισμού

## 9. Υπολογισμός παραμέτρου σπηλαίωσης βάσει κατασκευαστικών χαρακτηριστικών.

Ένας τρίτος τρόπος να μετρηθεί η παράμετρος σπηλαίωσης, είναι αλγεβρικά, μέσω της παρακάτω σχέσης, η οποία περιλαμβάνει μεγέθη που χαρακτηρίζουν κατασκευαστικά την πτερωτή, αλλά και μεγέθη που προκύψανε από το πείραμα και την επεξεργασία των δεδομένων.

Αν στη σχέση ορισμού της παραμέτρου σπηλαίωσης (8.1), αντικαταστήσουμε το κρίσιμο ύψος σπηλαίωσης από τη σχέση (4.6) και το κανονικό ολικό ύψος από τη σχέση (4.2), τότε προκύπτει:

$$\sigma_{κρ} = \frac{\frac{\lambda c_1^2}{2g}}{\eta_h \eta_i \frac{1}{g} u_2^2 \left[ 1 - \frac{c_{n2}}{u_2 \tan \beta_2} \right]} \quad \text{ή μετά από πράξεις:}$$

$$\sigma_{κρ} = \frac{\lambda c_1^2}{2\eta_h \eta_i u_2^2 \left[ 1 - \frac{c_{n2}}{u_2 \tan \beta_2} \right]} \quad (9.1)$$

Τα σύμβολα έχουν μεν επεξηγηθεί κατά τη διάρκεια της εργασίας, αλλά παρακάτω αναφερόμαστε ξανά λόγω διευκόλυνσης της ανάγνωσης. Αν παρατηρήσουμε τα σχέδια των πτερωτών στο παράρτημα "Α", θα δούμε ότι έχουν σχεδιαστεί δύο τύπων πτερωτές. Αυτές οι δύο πτερωτές, είναι ενδεικτικές των πτερωτών των αντλιών που συμμετείχαν στο πείραμα. Η βασική τους διαφορά είναι η εξής: Η πρώτη πτερωτή έχει εντελώς ακτινική διατομή εισόδου στην πτερύγωση, ενώ η δεύτερη πτερωτή έχει διατομή εισόδου στη πτερύγωση μεικτής ροής. Αυτό σημαίνει ότι:

στην πρώτη πτερωτή η ταχύτητα  $c_1$  της σχέσης (9.1) έχει μόνο ακτινική συνιστώσα, δηλ  $c_{1r} = c_{m1} = c_{n1}$ , όπου

ο δείκτης "m" αναφέρεται στη μεσημβρινή συνιστώσα, ενώ ο δείκτης "n" στην ακτινική.

Στη δεύτερη πτερωτή η ταχύτητα  $c_1$  έχει και ακτινική και αξονική συνιστώσα, δηλ

$$c_{1r} = c_{m1} = c_{n1} \quad c_{1a}$$

όπου

ο δείκτης "a" αναφέρεται στην αξονική συνιστώσα, όπως φαίνεται στο σχ.Α2 του παραρτήματος "Α".

Οι ταχύτητες θα προκύψουν από τον τύπο που τις συνδέει με την παροχή και την κάθετη διατομή.

Βάσει της σχέσης (3.11) λοιπόν, είναι:

$$c = \frac{Q}{A} \quad \text{ή}$$

$$c_{n1} = \frac{Q}{\pi D_1 - z s_1 b_1} \quad \text{για την πρώτη πτερωτή ή} \quad (9.2)$$

$$c_{m1} = \frac{Q}{\pi D_1 - z s_1 b_1} \quad \text{για τη δεύτερη πτερωτή.} \quad (9.3)$$

### Πτερωτή σχ.Α1

Θα προσπαθήσουμε να αποφύγουμε το να επισέλθουν στοιχεία που προκύπτουν από μετρήσεις, εφόσον μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κατασκευαστικά μεγέθη, λόγω της ιδιαιτερότητας της εργασίας. Έτσι, όσο αφορά την πτερωτή του σχ.Α1, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη σχέση που προκύπτει από τα τρίγωνα ταχυτήτων στην πτερύγωση εισόδου:

$$c_{n1} = u_1 \operatorname{tg} \beta_1,$$

για να απλοποιήσουμε την αρχική σχέση.

Επίσης μπορούμε να αντικαταστήσουμε το λόγο  $u_1/u_2$  που θα προκύψει, από το λόγο  $D_1/D_2$ .

$$\text{Τέλος ισχύει για τη διατομή εξόδου} \quad c_{n2} = \frac{Q}{\pi D_2 - z s_2 b_2}.$$

Αντικαθιστώντας στη σχ.(9.1), προκύπτει:

$$\sigma_{kp} = \frac{\lambda}{2\eta_h \eta_i} \frac{D_1^2}{D_2^2} \frac{\operatorname{tg}^2 \beta_1}{1 - \frac{2Q}{\pi D_2 - z s_2 b_2 \omega D_2 \operatorname{tg} \beta_2}} \quad (9.4)$$

### Πτερωτή σχ.Α2

Για την πτερωτή του σχ.Α2, ισχύει η σχέση (9.3)

$$c_{m1} = \frac{Q}{\pi D_1 - z s_1 b_1}, \quad u_2 = \omega D_2/2 \quad \text{και}$$

$$c_{n2} = \frac{Q}{\pi D_2 - z s_2 b_2}.$$

Εκτελώντας τις πράξεις στη σχ.(9.1), προκύπτει:

$$\sigma_{kp} = \frac{2\lambda Q^2}{\eta_h \eta_i \omega^2 D_2^2 \left[ \pi D_1 - z s_1 b_1 \right]^2 \left[ 1 - \frac{2Q}{\pi D_2 - z s_2 b_2 \omega D_2 \operatorname{tg} \beta_2} \right]} \quad (9.5)$$

Μία σχέση που προκύπτει με τον ίδιο τρόπο από τη σχέση (9.1) για πλήρως ακτινικές περωτές, και είναι απλούστερη ώστε να παρέχει πληροφορίες όσον αφορά την εξάρτηση της παραμέτρου σπηλαίωσης από τα διάφορα κατασκευαστικά μεγέθη, είναι η εξής:

$$\sigma_{\kappa\rho} = \frac{\lambda}{2\eta_h\eta_i} \frac{D_1}{D_2} \frac{c_{n1}}{u_2} \frac{tg\beta_1}{1 - \frac{c_{n2}}{u_2 tg\beta_2}}, \text{ όπου} \quad (9.6)$$

$\lambda$  : καθαρός αριθμός που ερμηνεύεται παρακάτω,

$\eta_h$  : ο υδραυλικός βαθμός απόδοσης της αντλίας,

$\eta_i$  : ο ιδεατός βαθμός απόδοσης της αντλίας,

$D_1$  : η διάμετρος της περύγωσης εισόδου, (βλ. σχέδια των περωτών του παραρτήματος "Α"),

$D_2$  : η εξωτερική διάμετρος της περύγωσης.

$c_{n1}$  : η ακτινική συνιστώσα της απόλυτης ταχύτητας στη διατομή εισόδου της περύγωσης

$c_{n2}$  : το ίδιο στη διατομή εξόδου της περύγωσης

$tg\beta_1$  : η κλίση των περυγίων στη διατομή εισόδου της περύγωσης

$tg\beta_2$  : το ίδιο στη διατομή εξόδου της περύγωσης

$u_2$  (=ωD2/2) περιφερειακή ταχύτητα της περωτής στη διατομή εξόδου της περύγωσης

Οι σχέσεις που θα χρησιμοποιήσουμε για τους υπολογισμούς στην εργασία, είναι οι σχέσεις (9.4) και (9.5). Για αυτές τις σχέσεις, παραθέτουμε παρακάτω, τον τρόπο υπολογισμού, μέτρησης ή εκτίμησης των διάφορων μεγεθών και παραμέτρων.

Στην §3.5 γνωρίσαμε τους αριθμούς " $\lambda_1$ " και " $\lambda_2$ ", στη σχέση (3.17). Δεν αναφέραμε, επειδή δεν είχε νόημα για εκείνο το κεφάλαιο, ότι ενδεικτικές τιμές που αυτοί οι αριθμοί παίρνουν για αντλίες γενικής χρήσης, όπως αυτές του πειράματος, είναι  $\lambda_1 \approx 0,2$  και  $\lambda_2 \approx 1,2$ . Ο αριθμός " $\lambda$ " δίνεται από τη σχέση :

$$\lambda = \lambda_2 \square \frac{\lambda_1}{\sin^2 \beta_1} . \quad (9.7)$$

Έτσι ο αριθμός " $\lambda$ " ισούται περίπου με  $\lambda \approx 10,5$ . (για γωνία  $\beta_1 = 20^\circ$ )

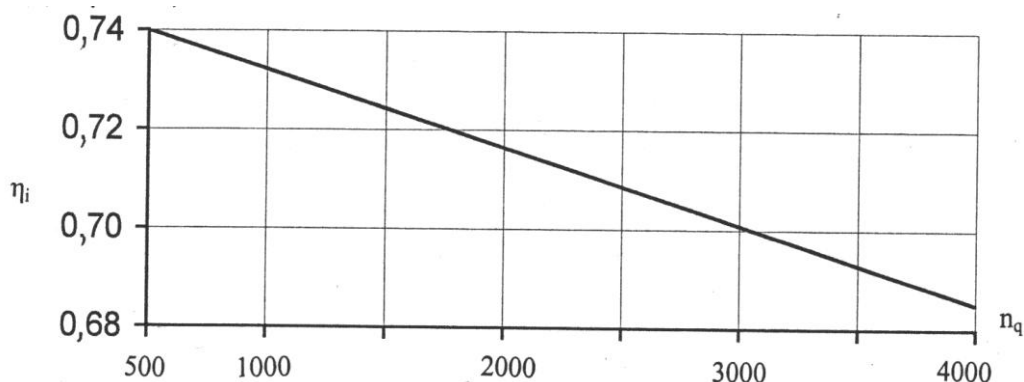
Ο υδραυλικός βαθμός απόδοσης της αντλίας για το κανονικό σημείο λειτουργίας, υπολογίστηκε στην §6.2.4.

Ο ιδεατός βαθμός απόδοσης, μπορεί να ληφθεί από το παρακάτω διάγραμμα (σχ.9.2), εφόσον

ισχύει η προϋπόθεση του πίνακα του πίνακα του σχ.9.1.

|                      |      |       |       |
|----------------------|------|-------|-------|
| Γωνία $\beta_2$      | +30° | ~60°  | ~90°  |
| Πλήθος πτερυγίων "z" | 6÷7  | 10÷12 | 12÷14 |

Σχήμα 9.1: Αριθμός πτερυγίων πτερωτής, ανάλογα με τη γωνία εξόδου της πτερύγωσης



Σχήμα 9.2: Εκτίμηση ιδεατού βαθμού απόδοσης. Ο ειδικός αριθμός στροφών έχει υπολογιστεί για παροχή σε  $m^3/h$  και ολικό ύψος σε  $m\Sigma Y$ .

Η εκτίμηση του ιδεατού βαθμού απόδοσης μαζί με τον ειδικό αριθμό στροφών της κάθες αντλίας παρουσιάζεται στον κάτωθι πίνακα (σχ.9.3). Ταυτόχρονα παρουσιάζονται και άλλες παράμετροι που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια των υπολογισμών.

| ΚΑΝ. ΠΑΡΟΧΗ, ΤΑΧΥΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ |               |         |          |       |          |          |
|--|---------------|---------|----------|-------|----------|----------|
|  | Τύπος αντλίας | $Q_k$   | $\omega$ | $n_q$ | $\eta_i$ | $\eta_h$ |
| A/α  |               | $m^3/h$ | rad/s    | rpm   |          |          |
| 1  | N. 150-400    | 380     | 156,03   | 1479  | 0,725    | 0,903    |
| 2  | N. 32-200     | 20      | 309,87   | 683   | 0,735    | 0,617    |
| 3  | N. 40-250     | 18      | 155,51   | 654   | 0,735    | 0,627    |
| 4  | N. 100-200    | 230     | 313,64   | 2139  | 0,712    | 0,753    |
| 5  | LDP-X 250-400 | 940     | 155,72   | 2354  | 0,710    | 0,857    |
| 6  | N. 125-315    | 236     | 155,40   | 1584  | 0,725    | 0,837    |
| 7  | N. 40-200     | 15,2    | 153,94   | 878   | 0,733    | 0,699    |
| 8  | N. 100-250 2f | 295     | 312,59   | 1685  | 0,721    | 0,843    |
| 9  | LDP-X 200-400 | 630     | 156,14   | 1905  | 0,719    | 0,810    |
| 10   | MS100 z=1     | 200     | 313,11   | 1351  | 0,728    | 0,659    |

Σχήμα 9.3: Παρουσίαση συγκεντρωτικά, της κανονικής παροχής, της γωνιακής ταχύτητας, του ειδικού αριθμού στροφών, του ιδεατού βαθμού απόδοσης και του υδραυλικού βαθμού απόδοσης.

Τα κατασκευαστικά μεγέθη, είτε πάρθηκαν από απευθείας από κατασκευαστικά σχέδια ( $z, D_1, D_2, \beta_1, \beta_2, b_1, b_2$ ), είτε μετρήθηκαν σε αληθινές περωτές με τη χρήση παχύμετρου ( $s_1, s_2$ ).

Στο παράρτημα "Α" φαίνονται δύο ενδεικτικά σχέδια περωτών. Στην πρώτη η είσοδος του νερού γίνεται εντελώς ακτινικά, ενώ στη δεύτερη η ταχύτητα του νερού στη διατομή εισόδου, έχει και αξονική συνιστώσα. Αυτό σημαίνει πως το πλάτος της περύγωσης στη διατομή εισόδου, για τη δεύτερη περωτή, λαμβάνεται ίσο με την απόσταση πλήμνης – στεφάνης, την κάθετη στην ταχύτητα του ρευστού, στο σημείο εισόδου της ροής στην περύγωση. Αυτή η απόσταση ταυτίζεται με τη διάμετρο του εγγεγραμμένου κύκλου στην περωτή (βλ σχήμα περωτής2). Για την πρώτη περωτή είναι επίσης η απόσταση πλήμνης-στεφάνης, μόνο που σ' αυτή την περίπτωση είναι πιο ευδιάκριτη και παράλληλη με την ευθεία που σχηματίζει η ακμή εισόδου της περύγωσης. Στην διατομή εξόδου τα πράγματα είναι πιο απλά, λόγω του ότι η έξοδος του ρευστού γίνεται εντελώς ακτινικά και στις δύο περιπτώσεις. Εκεί το πλάτος  $b_2$  ισούται ακριβώς με την απόσταση πλήμνης-στεφάνης, η οποία δίνεται στα κατασκευαστικά σχέδια. αλλά μπορεί εύκολα να μετρηθεί και με ένα παχύμετρο.

Στα σχέδια του παραρτήματος "Α" φαίνονται τα σημεία απ' τα οποία παίρνονται οι μετρήσεις στην κάθε περωτή, για όλα τα μεγέθη, εκτός απ' τα  $s_1, s_2, \beta_1, \beta_2$ . Οι τιμές όλων των κατασκευαστικών μεγεθών φαίνονται παρακάτω, όπως και οι τιμές των βαθμών απόδοσης που συμμετέχουν στις σχέσεις (9.4) και (9.5).

| ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ |               |     |                |                |                |                |                |                |                |                |
|-------------------------------|---------------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| A/α                           | Τύπος αντλίας | z   | D <sub>1</sub> | D <sub>2</sub> | s <sub>1</sub> | s <sub>2</sub> | β <sub>1</sub> | β <sub>2</sub> | b <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> |
|                               |               | τεμ | mm             | mm             | mm             | mm             | μοίρες         | μοίρες         | mm             | mm             |
| 1                             | N. 150-400    | 6   | 119            | 408            | 5              | 5              | 20             | 30             | 83             | 26             |
| 2                             | N. 32-200     | 7   | 52             | 211            | 3              | 34             | 20             | 30             | 8              | 6              |
| 3                             | N. 40-250     | 7   | 60             | 265            | 4              | 60             | 20             | 30             | 13             | 6              |
| 4                             | N. 100-200    | 5   | 101,5          | 212            | 8              | 9              | 20             | 30             | 59             | 27             |
| 5                             | LDP-X 250-400 | 5   | 200            | 410            | 8,5            | 9              | 20             | 30             | 125            | 58             |
| 6                             | N. 125-315    | 6   | 100            | 328            | 8              | 10             | 20             | 30             | 75             | 22             |
| 7                             | N. 40-200     | 5   | 58             | 211            | 5              | 5              | 20             | 30             | 12             | 5              |
| 8                             | N. 100-250 2f | 6   | 138            | 266            | 8              | 10             | 20             | 30             | 52             | 27             |
| 9                             | LDP-X 200-400 | 5   | 199            | 410            | 8              | 8              | 20             | 30             | 111            | 58             |
| 10                            | MS100 z=1     | 7   | 102            | 270            | 4              | 5              | 20             | 30             | 48             | 20,5           |

Σχήμα 9.4: Παρουσίαση των κατασκευαστικών μεγεθών των αντλιών του πειράματος



Στο σημείο αυτό, και πριν παρουσιάσουμε τα τελικά αποτελέσματα, πρέπει να αναφέρουμε ότι, για την εξαγωγή της τιμής της παραμέτρου σπηλαίωσης χρησιμοποιήθηκαν:

- η σχέση (9.4) για τις πλήρως ακτινικές πτερωτές (της μορφής Α1). Αυτές είναι οι πτερωτές των αντλιών με Α/α 2,3 και 7.
- η σχέση (9.5) για τις υπόλοιπες (της μορφής Α2).

Στη συνέχεια, στον πίνακα του σχήματος 9.5, παρατίθενται τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την παράμετρο σπηλαίωσης, και με τον τρίτο τρόπο υπολογισμού.

| ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ $\sigma_{κρ}$ ΒΑΣΕΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ |               |               |
|---|---------------|---------------|
| A/α   | Τύπος αντλίας | $\sigma_{κρ}$ |
| 1   | N. 150-400    | 0,131         |
| 2   | N. 32-200     | 0,105         |
| 3   | N. 40-250     | 0,093         |
| 4   | N. 100-200    | 0,192         |
| 5   | LDP-X 250-400 | 0,134         |
| 6   | N. 125-315    | 0,182         |
| 7   | N. 40-200     | 0,119         |
| 8   | N. 100-250 2f | 0,100         |
| 9   | LDP-X 200-400 | 0,092         |
| 10  | MS100 z=1     | 0,126         |

Σχήμα 9.5: Υπολογισμός παραμέτρου σπηλαίωσης βάσει κατασκευαστικών χαρακτηριστικών

## 10. Σύγκριση αποτελεσμάτων, σχολιασμός.

### 10.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων συγκεντρωτικά

Πριν ξεκινήσουμε το σχολιασμό των αποτελεσμάτων, είναι χρήσιμο να παραθέσουμε συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την παράμετρο σπηλαίωσης, και για τους τρεις τρόπου υπολογισμού. Η σειρά με την οποία γίνεται η παράθεση, δεν είναι άλλη από αυτή με την οποία έγιναν στις ανωτέρω παραγράφους οι υπολογισμοί. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον κάτωτι πίνακα του σχήματος 10.1.

| $\sigma_{kr}$ |               |                    |         |                             |
|---------------|---------------|--------------------|---------|-----------------------------|
| A/a           | Τύπος αντλίας | ΤΡΟΠΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ |         |                             |
|               |               | Anderson           | Ορισμός | Κατασκευαστ. Χαρακτηριστικά |
| 1             | N. 150-400    | 0,077              | 0,075   | 0,131                       |
| 2             | N. 32-200     | 0,059              | 0,083   | 0,105                       |
| 3             | N. 40-250     | 0,054              | 0,112   | 0,093                       |
| 4             | N. 100-200    | 0,182              | 0,087   | 0,192                       |
| 5             | LDP-X 250-400 | 0,160              | 0,094   | 0,134                       |
| 6             | N. 125-315    | 0,099              | 0,101   | 0,182                       |
| 7             | N. 40-200     | 0,065              | 0,168   | 0,119                       |
| 8             | N. 100-250 2f | 0,106              | 0,059   | 0,100                       |
| 9             | LDP-X 200-400 | 0,135              | 0,085   | 0,092                       |
| 10            | MS100 z=1     | 0,129              | 0,067   | 0,126                       |

*Σχήμα 10.1: Συγκεντρωτική παράθεση υπολογισμών για την παράμετρο σπηλαίωσης.*

### 10.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τις τελικές τιμές της παραμέτρου σπηλαίωσης

#### Επιρροή της μέτρησης με διαφορετικά όργανα στο αποτέλεσμα.

Παρατηρούμε ότι οι διάφορες μετρήσεις έγιναν με διαφορετικά όργανα. Η μέτρηση της παροχής έγινε είτε με παροχόμετρο διαφράγματος, είτε με ηλεκτρομαγνητικό παροχόμετρο. Η μέτρηση της ισχύος έγινε είτε με στρεψιόμετρο είτε με βατόμετρο. Η μέτρηση της πίεσης στην αναρρόφηση είτε με κενόμετρο τύπου Bourdon είτε με στήλη υδραργύρου. Τα διαφορετικά όργανα έχουν επιρροή στο να παρατηρείται διαφορετική ποσότητα απόκλισης μεταξύ των δύο πρώτων τρόπων υπολογισμού, πχ στην αντλία τύπου N.150-400 η απόκλιση είναι 2,7%, ενώ στην αντλία N 100-200

είναι 109%.

#### Επιρροή των σφαλμάτων των οργάνων στο αποτέλεσμα.

Η επιρροή των σφαλμάτων των οργάνων είναι μικρή με τα πιο σύγχρονα (πχ βατόμετρο και ηλεκτρομαγνητικό παροχόμετρο), ενώ μεγαλώνει για τα παλαιότερα όργανα (πχ παροχόμετρο διαφράγματος). Ωστόσο δε θεωρείται ότι επιτελούν σημαντικό ρόλο στις αποκλίσεις της τάξης του 100%. Τα όργανα είναι όλα διακριβωμένα, ισχύει η ακρίβεια των μετρήσεων που δίνει ο κατασκευαστής τους. Προφανώς πρέπει να πάρουμε υπ' όψιν και το σφάλμα ανάγνωσης, το οποίο υποθέτουμε ότι κυμαίνεται στο 2%.

#### Επιρροή της μεταβολής των εξωτερικών μεταβλητών στο αποτέλεσμα.

Οι εξωτερικές μεταβλητές, όπως αυτές αναφέρθηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο, είναι ικανές σε ορισμένες περιπτώσεις να επηρεάσουν σημαντικά το αποτέλεσμα. Πιο σημαντική θεωρείται η επιρροή της θερμοκρασίας του νερού. Επηρεάζει σημαντικά το ιξώδες του, με ότι συνέπειες αυτό έχει στον υπολογισμό του μηχανικού βαθμού απόδοσης, επηρεάζει την τάση ατμοποίησης, καθώς και την πυκνότητά του. Το ηλεκτρομαγνητικό παροχόμετρο επηρεάζεται επίσης από τη θερμοκρασία του νερού. Η περιεκτικότητα του νερού σε αέρια φάση είναι επίσης κάτι που δεν μπορεί να ελεγχθεί, εφόσον δεν υπάρχει στην εγκατάσταση συσκευή ελέγχου της θερμοκρασίας του νερού. Σημειώνουμε ότι η χαμηλή περιεκτικότητα του νερού σε αέρια φάση επιτυγχάνεται με τη θέρμανση και κατόπιν ψύξη του νερού εντός της δεξαμενής αναρρόφησης. Η τάση του δικτύου παροχής ρεύματος επίσης επηρεάζει το αποτέλεσμα, καθώς το ηλεκτρομαγνητικό παροχόμετρο επηρεάζεται σε άγνωστο βαθμό από τη μεταβολή της τάσης του δικτύου. Επίσης το στρεψιόμετρο και το βατόμετρο επηρεάζονται σε μικρότερο βαθμό από την τιμή της τάσης του δικτύου.

#### Επιρροή των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών στο αποτέλεσμα.

Κάποια κατασκευαστικά χαρακτηριστικά, όπως το πλάτος  $b_1$ , επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την τιμή της παραμέτρου σπηλαιώσης. Αυτό το μέγεθος όμως δίνεται από τα κατασκευαστικά σχέδια και δεν είναι δυνατόν να μετρηθεί. Δεν γνωρίζουμε λοιπόν με ακρίβεια την απόκλιση από τα στοιχεία του κατασκευαστή. Επίσης είναι αδύνατο να μετρηθεί η τραχύτητα εντός των περωτών. Επίσης είναι ένα μέγεθος που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το αποτέλεσμα, και εξαρτάται από την

ποιότητα του χυτού και τη μορφή της πτερωτής.

### 10.3 Τελικά συμπεράσματα

Πιο αξιόπιστη μέθοδος υπολογισμού στη συγκεκριμένη μελέτη θεωρείται ο υπολογισμός της παραμέτρου σπηλαίωσης βάσει ορισμού. Είναι η πιο απλή μέθοδος, εμπλέκονται τα λιγότερα και άμεσα μετρήσιμα μεγέθη. Στις υπόλοιπες δύο μεθόδους υπάρχουν τα εξής μειονεκτήματα.

#### – Σχέση Anderson

Προϋποθέτει τον υπολογισμό του υδραυλικού βαθμού απόδοσης της αντλίας και του ειδικού αριθμού στροφών. Αυτό με τη σειρά του οδηγεί σε μια σειρά μετρήσεων, εκτιμήσεων και υπολογισμών, όπου υπεισέρχονται αρχικά σφάλματα στις μετρήσεις (σφάλματα οργάνων και ανάγνωσης), σφάλματα από μεταφορά δεδομένων κτλ. Ιδιαίτερα ο ειδικός αριθμός στροφών συμμετέχει πολλές φορές στους υπολογισμούς. Ένα μεγάλο σφάλμα στον υπολογισμό του, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική απόκλιση στην πορεία. Αυτό βέβαια δε σημαίνει πως η σχέση του Anderson είναι αναξιόπιστη.

#### – Σχέση ορισμού

Δίνει τα κοντινότερα στα αναμενόμενα αποτελέσματα. Οι πλήρως ακτινικές πτερωτές είναι αυτές που έχουν το μικρότερο βαθμό απόδοσης, παρουσιάζουν την πιο απότομη μεταβολή της ροής του υγρού, παρουσιάζουν ευνοϊκότερες συνθήκες για αποκόλληση της ροής.

#### – Σχέση υπολογισμού με κατασκευαστικά χαρακτηριστικά

Εμπεριέχονται πολλά μεγέθη, μερικά με μικρή και μερικά με μεγάλη επιρροή στο αποτέλεσμα. Η λανθασμένη τιμή στην τοποθέτηση ενός μεγέθους είναι δύσκολο να ανιχνευτεί από την επισκόπηση των αποτελεσμάτων. Τα περισσότερα μεγέθη είναι δύσκολο ή αδύνατο να μετρηθούν. Μπορεί να υπάρχουν μεταβολές από πτερωτή σε πτερωτή, πχ στην τραχύτητα των επιφανειών ή στο πλάτος των πτερυγίων στην κατάθλιψη στις τέλειες ακτινικές πτερωτές. Οι πτερωτές που μετρήθηκαν δεν ήταν των αντλιών που μετρήθηκαν, πράγμα που μπορεί να οδήγησε σε αποκλίσεις. Η σχέση είναι λογικό να χρησιμοποιείται για την κατασκευή της βέλτιστης σε μορφή πτερωτής, όσο αφορά τη συμπεριφορά της ως προς τη σπηλαίωση, λόγω του ότι δίνει τις αναλογίες της παραμέτρου σπηλαίωσης με τα διάφορα κατασκευαστικά μεγέθη. Δεν είναι όμως εύχρηστη για τον υπολογισμό της τιμής της παραμέτρου σπηλαίωσης.

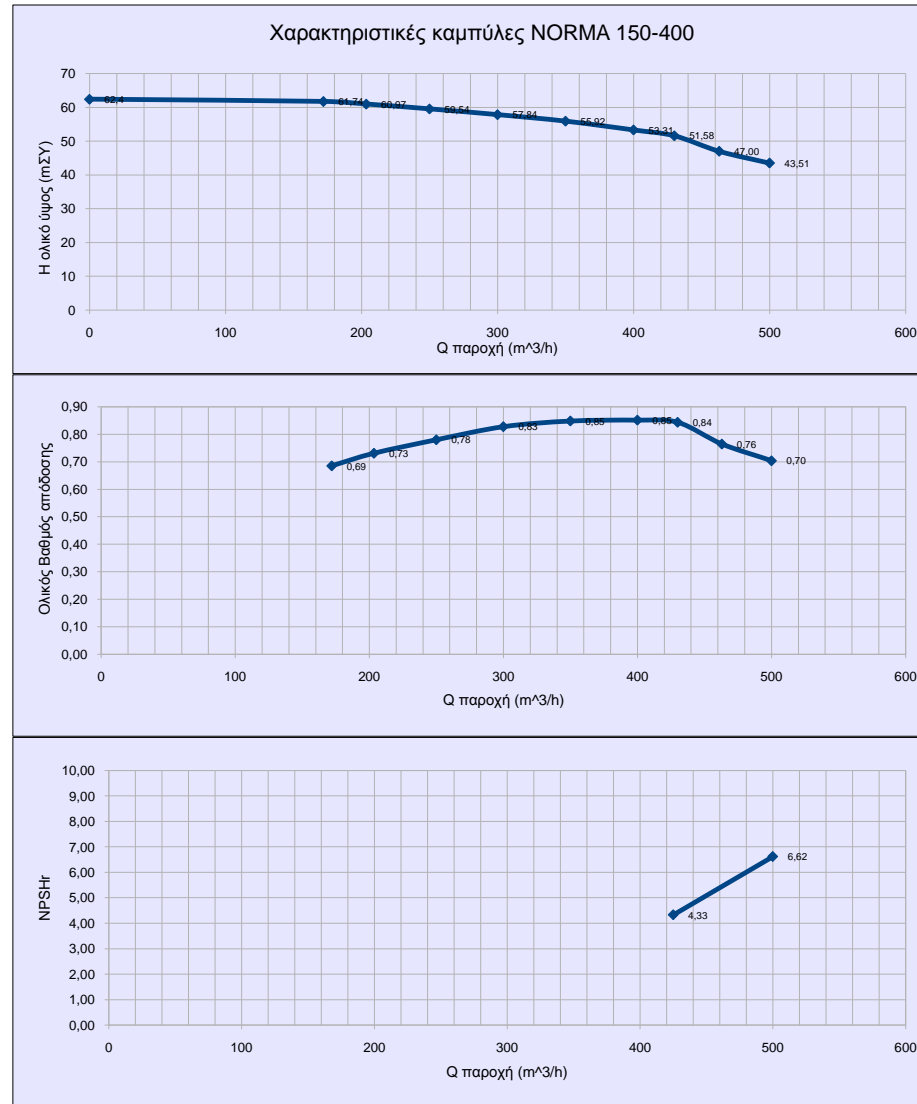
## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών, Σ.Ε. Σιμόπουλου, καθηγητή Ε.Μ.Π., 1989
- Υδροδυναμικές Μηχανές Αντλίες Υδροστροβίλοι, Δημήτριος Ε. Παπαντώνης, καθηγητή Ε.Μ.Π., 2002
- Αντλίες Τύποι Επιλογή Εγκατάσταση Λειτουργία, Κωνσταντίνου Β. Ακριτίδη, Εντεταλμένου Υφηγητή γεωργικής μηχανολογίας, 1979
- Μελέτη και Χάραξη Φυγόκεντρων και Αξονικών Αντλιών, Δημήτριος Ε. Παπαντώνης, καθηγητή Ε.Μ.Π., 2004
- Basic principles for the design of centrifugal pump installations, Sterling BV fluid systems,SIHI, 2003
- Cavitation and Bubble dynamics, Christopher Earls Brennen, Oxford University Press 1995

|                   |                                    |    |       |    |       |         |   |
|-------------------|------------------------------------|----|-------|----|-------|---------|---|
| ΤΥΠΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ     | NORMA 150-400                      | Ds | DN200 | Dd | DN150 | ζ εντοπ | 0 |
| D2                | πλήρης                             |    |       |    |       |         |   |
| Διακινούμενο υγρό | Νερό 20 C<br>1000kg/m <sup>3</sup> |    |       |    |       |         |   |

| Μέγεθος | Συμβολισμός                     | Μον.Μέτρησης           | Όργανο μέτρησης   | 1                                 | 2         | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |       |
|---------|---------------------------------|------------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1       | Ταχύτητα περιστροφής            | Nv                     | rpm               | στροφόμετρο                       |           | 1492  | 1494  | 1494  | 1490  | 1490  | 1489  | 1489  | 1487  | 1486  |
| 2       | Ισχύς ηλεκτροκινητήρα           | Pκ                     | HP                |                                   |           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 3       | Ένδειξη στρεψιόμετρου           |                        |                   | στρεψιόμετρο                      |           | 272,5 | 298   | 335   | 369   | 406   | 441   | 463   | 502   | 546   |
| 4       | Απορωφόμενη Ισχύς               | Ραπ                    | HP                | στρεψιόμετρο                      |           | 57,4  | 62,85 | 70,65 | 77,6  | 85,4  | 92,7  | 97,32 | 105,4 | 114,5 |
| 5       | Μέτρηση ηλεκτρομ.παροχόμετρου   | Qv                     |                   | ηλεκτρομ. Παροχόμ.                | 0         | 172   | 203,5 | 250   | 300   | 350   | 400   | 430   | 463   | 500   |
| 6       | Μέτρηση παροχόμ. Διαφράγματος   | Q                      |                   |                                   |           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 7       | Συντελεστής διαφράγματος        |                        |                   | από πίνακα                        |           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 8       | Πραγματική Παροχή               | Qv                     | m <sup>3</sup> /h | μέτρηση                           | 0         | 172   | 203,5 | 250   | 300   | 350   | 400   | 430   | 463   | 500   |
| 9       | Ταχύτητα νερού στην αναρόφηση   | cSv                    | m/sec             | $(Q/3600)^4/(\pi^4 D_s^2)$        | 0         | 1,52  | 1,80  | 2,21  | 2,65  | 3,10  | 3,54  | 3,80  | 4,10  | 4,42  |
| 10      | Ταχύτητα νερού στην κατάθλιψη   | cDv                    | m/sec             | $(Q/3600)^4/(\pi^4 D_d^2)$        | 0         | 2,71  | 3,20  | 3,93  | 4,72  | 5,50  | 6,29  | 6,76  | 7,28  | 7,86  |
| 11      | Μέτρηση κενόμετρου              | Hκεν                   | mΣΥ               | κενόμετρο                         | 0         | 1,920 | 2,030 | 2,196 | 2,422 | 2,686 | 3,012 | 3,238 | 3,564 | 3,830 |
| 12      | Μέτρηση μανόμετρου              | Hμαν                   | mΣΥ               | μανόμετρο                         | 59,5      | 59    | 58    | 56,2  | 54    | 51,5  | 48,2  | 46    | 40,8  | 36,7  |
| 13      | Διαφορά κινητικής ενέργειας     | $(CDv^2 - cSv^2) / 2g$ | mΣΥ               | υπολογισμός                       | 0         | 0,25  | 0,36  | 0,54  | 0,78  | 1,06  | 1,38  | 1,59  | 1,85  | 2,15  |
| 14      | Γραμμικές Απώλειες              | H <sub>L</sub>         | mΣΥ               | $\lambda * (L/D) * (cSv^2/2g)$    | 0         | 0,04  | 0,05  | 0,07  | 0,11  | 0,15  | 0,19  | 0,22  | 0,26  | 0,30  |
| 15      | Εντοπισμένες Απώλειες           | H <sub>εντ</sub>       | mΣΥ               | $\zeta * (cSv^2/2g)$              | 0         | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 16      | Συνολικές Απώλειες              | H <sub>απ</sub>        | mΣΥ               | H <sub>L</sub> + H <sub>εντ</sub> | 0         | 0,04  | 0,05  | 0,07  | 0,11  | 0,15  | 0,19  | 0,22  | 0,26  | 0,30  |
| 17      | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – μανόμ. | z                      | mΣΥ               |                                   | 2,9       | 0,53  | 0,53  | 0,53  | 0,53  | 0,53  | 0,53  | 0,53  | 0,53  | 0,53  |
| 18      | Πραγματικό Ολικό Ύψος           | TDHv                   | mΣΥ               | υπολογισμός                       | 62,4      | 61,74 | 60,97 | 59,54 | 57,84 | 55,92 | 53,31 | 51,58 | 47,00 | 43,51 |
| 19      | Ολικός βαθμός απόδοσης          | η                      |                   |                                   | #ΔΙΑΙΡ/0! | 0,69  | 0,73  | 0,78  | 0,83  | 0,85  | 0,85  | 0,84  | 0,76  | 0,70  |
| 20      | Κανονική παροχή                 | Qκ                     | m <sup>3</sup> /h | προκύπτει                         |           |       |       |       |       |       | 380   |       |       |       |
| 21      | Κανονικό ύψος                   | Hκ                     | mΣΥ               | προκύπτει                         |           |       |       |       |       |       | 53    |       |       |       |

|        |        |      |
|--------|--------|------|
| Σφάλμα | Παροχή | 2%   |
|        | Πίεση  | 1,5% |
|        | Ισχύς  | 1,5% |



## Μέτρηση NPSHr

|    |                                       | A     |       |                |       |      | B     |       |                |       |      |
|----|---------------------------------------|-------|-------|----------------|-------|------|-------|-------|----------------|-------|------|
|    |                                       | 1486  |       |                |       |      | 1486  |       |                |       |      |
| 1  | Πραγματική Παροχή                     | 500   | 500   | 500            | 500   |      | 425   | 425   | 425            | 425   |      |
| 2  | Ταχύτητα νερού στην αναρρόφηση        | 4,42  | 4,42  | 4,42           | 4,42  |      | 3,76  | 3,76  | 3,76           | 3,76  |      |
| 3  | Ταχύτητα νερού στην κατάθλιψη         | 7,86  | 7,86  | 7,86           | 7,86  |      | 6,68  | 6,68  | 6,68           | 6,68  |      |
| 4  | Μέτρηση κενόμετρου                    | 2,838 | 3,390 | 3,780          | 3,929 |      | 3,502 | 5,310 | 5,660          | 6,010 |      |
| 5  | Μέτρηση μανόμετρου                    | 37,3  | 36,8  | 35,2           | 34,8  |      | 43,9  | 41,9  | 41,5           | 39,9  |      |
| 6  | Διαφορά κινητικής ενέργειας           | 2,15  | 2,15  | 2,15           | 2,15  |      | 1,56  | 1,56  | 1,56           | 1,56  |      |
| 7  | Γραμμικές Απώλειες                    | 0,30  | 0,30  | 0,30           | 0,30  |      | 0,22  | 0,22  | 0,22           | 0,22  |      |
| 8  | Εντοπισμένες Απώλειες                 | 0     | 0     | 0              | 0     |      | 0     | 0     | 0              | 0     |      |
| 9  | Συνολικές Απώλειες                    | 0,25  | 0,25  | 0,25           | 0,25  |      | 0,18  | 0,18  | 0,18           | 0,18  |      |
| 10 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – μανόμ        | 0,53  | 0,53  | 0,53           | 0,53  |      | 0,53  | 0,53  | 0,53           | 0,53  |      |
| 11 | Πραγματικό Ολικό Ύψος                 | 43,07 | 43,12 | 41,91          | 41,66 |      | 49,67 | 49,48 | 49,43          | 48,18 |      |
| 12 | Κινητική ενέργεια στο στ αναρρόφησης  | 1,00  | 1,00  | 1,00           | 1,00  |      | 0,72  | 0,72  | 0,72           | 0,72  |      |
| 13 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – στομίου αναρ | 0     | 0     | 0              | 0     |      | 0     | 0     | 0              | 0     |      |
| 14 | Γραμ. Απώλειες στην αναρρόφηση        | 0,25  | 0,25  | 0,25           | 0,25  |      | 0,18  | 0,18  | 0,18           | 0,18  |      |
|    |                                       | NPSHr | mΣY   | Haμ-Hs-Hk-Haπ+ |       | 6,62 | NPSHr | mΣY   | Haμ-Hs-Hk-Haπ+ |       | 4,33 |

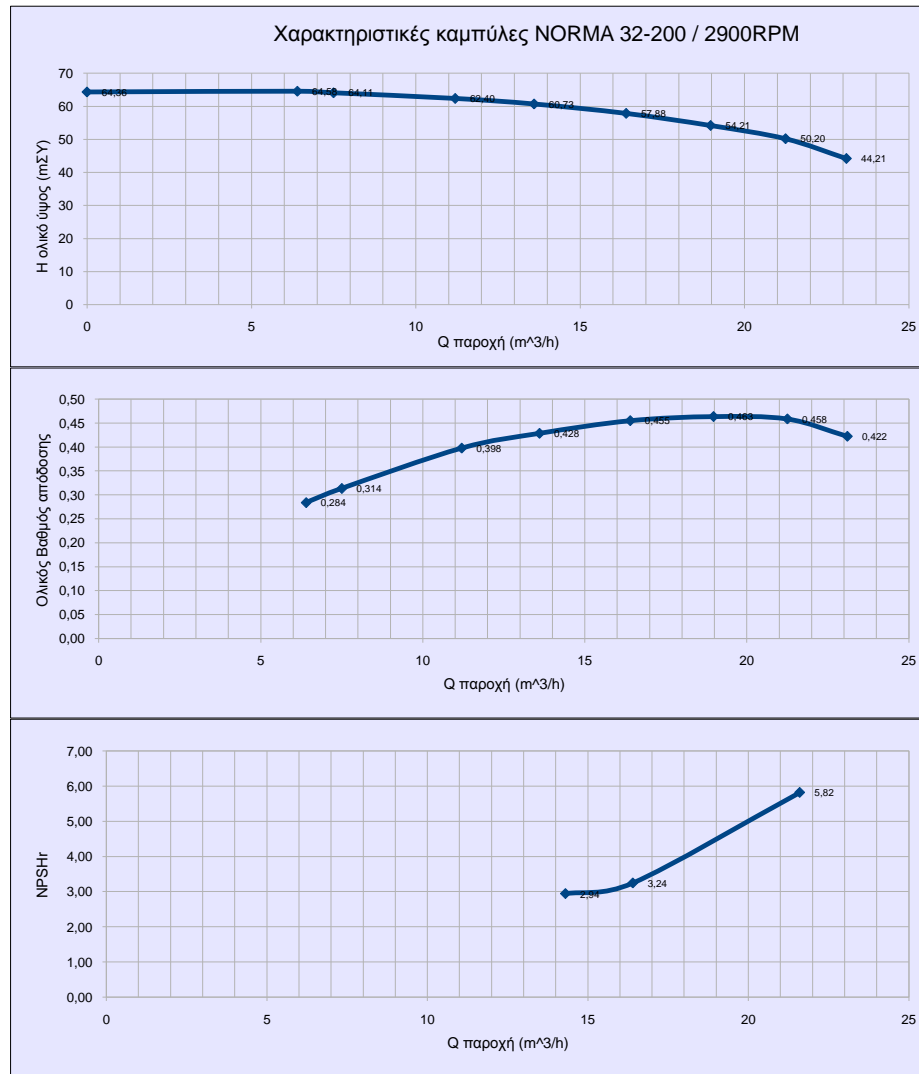
|                         |       |      |      |
|-------------------------|-------|------|------|
| Για χάραξη διάγραμματος | Q     | 425  | 500  |
|                         | NPSHr | 4,33 | 6,62 |



|                   |                                    |    |      |    |      |         |   |
|-------------------|------------------------------------|----|------|----|------|---------|---|
| ΤΥΠΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ     | NORMA 32-200                       | Ds | DN50 | Dd | DN32 | ζ εντοπ | 0 |
| D <sub>2</sub>    | πλήρης                             |    |      |    |      |         |   |
| Διακινούμενο υγρό | Νερό 20 C<br>1000kg/m <sup>3</sup> |    |      |    |      |         |   |

|    | Μέγεθος                        | Συμβολισμός            | Μον.Μέτρη<br>σης  | Όργανο μέτρησης                | 1         | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      |
|----|--------------------------------|------------------------|-------------------|--------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1  | Ταχύτητα περιστροφής           | Nv                     | rpm               | στροφόμετρο                    |           | 2974   | 2971   | 2967   | 2965   | 2965   | 2959   | 2955   | 2955   |
| 2  | Ισχύς ηλεκτροκινητήρα          | Pκ                     | HP                |                                |           |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 3  | Ένδειξη στρεψιόμετρου          |                        |                   | στρεψιόμετρο                   |           | 12,8   | 13,5   | 15,5   | 17     | 18,4   | 19,6   | 20,6   | 21,4   |
| 4  | Απορωφόμενη Ισχύς              | Pαπ                    | HP                | στρεψιόμετρο                   |           | 5,39   | 5,68   | 6,51   | 7,14   | 7,73   | 8,22   | 8,62   | 8,96   |
| 5  | Μέτρηση ηλεκτρομ.παροχόμετρου  | Qv                     |                   | ηλεκτρομ. Παροχόμ.             | 0         | 6,4    | 7,5    | 11,2   | 13,6   | 16,4   | 18,97  | 21,25  | 23,1   |
| 6  | Μέτρηση παροχόμ. Διαφράγματος  | Q                      |                   |                                |           |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 7  | Συντελεστής διαφράγματος       |                        |                   | από πίνακα                     |           |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 8  | Πραγματική Παροχή              | Qv                     | m <sup>3</sup> /h | μέτρηση                        | 0         | 6,4    | 7,5    | 11,2   | 13,6   | 16,4   | 18,97  | 21,25  | 23,1   |
| 9  | Ταχύτητα νερού στην αναρόφηση  | cSv                    | m/sec             | $(Q/3600)^4/(\pi^4 D_s^4)$     | 0         | 0,91   | 1,06   | 1,59   | 1,92   | 2,32   | 2,69   | 3,01   | 3,27   |
| 10 | Ταχύτητα νερού στην κατάβλιψη  | cDv                    | m/sec             | $(Q/3600)^4/(\pi^4 D_d^4)$     | 0         | 2,21   | 2,59   | 3,87   | 4,70   | 5,67   | 6,56   | 7,34   | 7,98   |
| 11 | Μέτρηση κενόμετρου             | Hκεν                   | mΣΥ               | κενόμετρο                      | 0         | -1,016 | -0,976 | -0,772 | -0,678 | -0,596 | -0,271 | -0,190 | -0,136 |
| 12 | Μέτρηση μανόμετρου             | Hμαν                   | mΣΥ               | μανόμετρο                      | 65,5      | 65,5   | 64,9   | 62,6   | 60,5   | 57,1   | 52,6   | 48     | 41,5   |
| 13 | Διαφορά κινητικής ενέργειας    | $(cDv^2 - cSv^2) / 2g$ | mΣΥ               | υπολογισμός                    | 0         | 0,21   | 0,28   | 0,64   | 0,94   | 1,36   | 1,82   | 2,29   | 2,70   |
| 14 | Γραμμικές Απώλειες             | H <sub>L</sub>         | mΣΥ               | $\lambda * (L/D) * (cSv^2/2g)$ | 0         | 0,02   | 0,03   | 0,07   | 0,10   | 0,14   | 0,19   | 0,23   | 0,28   |
| 15 | Εντοπισμένες Απώλειες          | Hεντ                   | mΣΥ               | $\zeta * (cSv^2/2g)$           | 0         | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| 16 | Συνολικές Απώλειες             | Hαπ                    | mΣΥ               | H <sub>L</sub> + Hεντ          | 0         | 0,02   | 0,03   | 0,07   | 0,10   | 0,14   | 0,19   | 0,23   | 0,28   |
| 17 | Γεωδαπικό ύψος κενόμ. – μανόμ. | z                      | mΣΥ               |                                | 1,14      | 0,13   | 0,13   | 0,13   | 0,13   | 0,13   | 0,13   | 0,13   | 0,13   |
| 18 | Πραγματικό Ολικό Ύψος          | TDHv                   | mΣΥ               | υπολογισμός                    | 64,36     | 64,58  | 64,11  | 62,40  | 60,73  | 57,88  | 54,21  | 50,20  | 44,21  |
| 19 | Ολικός βαθμός απόδοσης         | η                      |                   |                                | #ΔΙΑΙΡ/0! | 0,284  | 0,314  | 0,398  | 0,428  | 0,455  | 0,463  | 0,458  | 0,422  |
| 20 | Κανονική παροχή                | Qκ                     | m <sup>3</sup> /h | προκύπτει                      |           |        |        |        |        |        | 20     |        |        |
| 21 | Κανονικό ύψος                  | Hκ                     | mΣΥ               | προκύπτει                      |           |        |        |        |        |        | 52     |        |        |

|        |        |      |
|--------|--------|------|
| Σφάλμα | Παροχή | 2%   |
|        | Πίεση  | 1,5% |
|        | Ισχύς  | 1,5% |



## Μέτρηση NPSHr

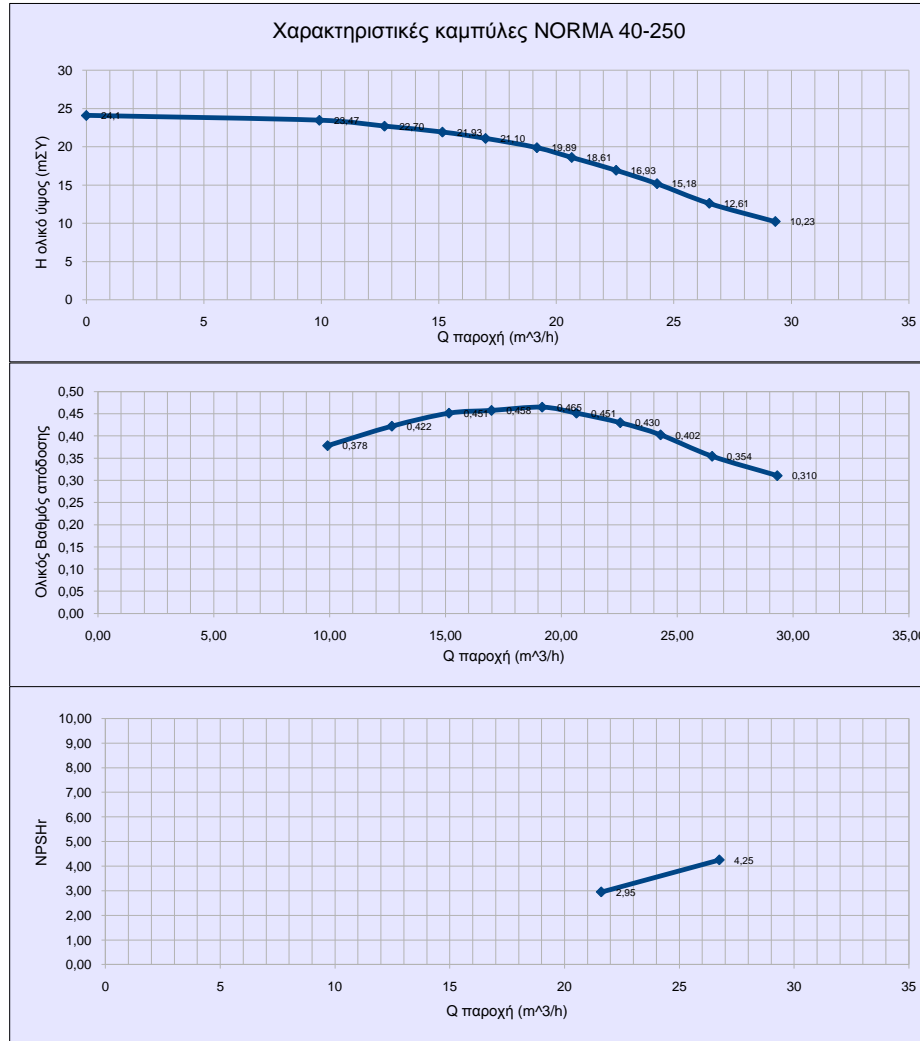
|    |                                       | A     |       |             |      | B     |       |             |      | Γ     |       |             |      |
|----|---------------------------------------|-------|-------|-------------|------|-------|-------|-------------|------|-------|-------|-------------|------|
|    |                                       | 2960  |       |             |      | 2960  |       |             |      | 2960  |       |             |      |
| 1  | Πραγματική Παροχή                     | 21,6  | 21,6  | 21,6        |      | 16,4  | 16,4  | 16,4        |      | 14,3  | 14,3  | 14,3        |      |
| 2  | Ταχύτητα νερού στην αναρόφηση         | 3,06  | 3,06  | 3,06        |      | 2,32  | 2,32  | 2,32        |      | 2,02  | 2,02  | 2,02        |      |
| 3  | Ταχύτητα νερού στην κατάθλιψη         | 7,46  | 7,46  | 7,46        |      | 5,67  | 5,67  | 5,67        |      | 4,94  | 4,94  | 4,94        |      |
| 4  | Μέτρηση κενόμετρου                    | 3,680 | 2,902 | 4,210       |      | 5,160 | 6,480 | 6,690       |      | 7,800 | 7,480 | 6,96        |      |
| 5  | Μέτρηση μανόμετρου                    | 40    | 44    | 44,4        |      | 53    | 50,1  | 49          |      | 49    | 52,4  | 51,8        |      |
| 6  | Διαφορά κινητικής ενέργειας           | 2,36  | 2,36  | 2,36        |      | 1,36  | 1,36  | 1,36        |      | 1,04  | 1,04  | 1,04        |      |
| 7  | Γραμμικές Απώλειες                    | 0,24  | 0,24  | 0,24        |      | 0,14  | 0,14  | 0,14        |      | 0,11  | 0,11  | 0,11        |      |
| 8  | Εντοπισμένες Απώλειες                 | 0     | 0     | 0           |      | 0     | 0     | 0           |      | 0     | 0     | 0           |      |
| 9  | Συνολικές Απώλειες                    | 0,24  | 0,24  | 0,24        |      | 0,14  | 0,14  | 0,14        |      | 0,11  | 0,11  | 0,11        |      |
| 10 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – μανόμ        | 0,88  | 0,88  | 0,88        |      | 0,88  | 0,88  | 0,88        |      | 0,88  | 0,88  | 0,88        |      |
| 11 | Πραγματικό Ολικό Ύψος                 | 44,40 | 47,62 | 49,33       |      | 58,57 | 56,99 | 56,10       |      | 57,12 | 60,20 | 59,08       |      |
| 12 | Κινητική ενέργεια στο στ αναρρόφησης  | 0,48  | 0,48  | 0,48        |      | 0,27  | 0,27  | 0,27        |      | 0,21  | 0,21  | 0,21        |      |
| 13 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – στομίου αναρ | 0     | 0     | 0           |      | 0     | 0     | 0           |      | 0     | 0     | 0           |      |
| 14 | Γραμ. Απώλειες στην αναρρόφηση        | 0,119 | 0,119 | 0,119       |      | 0,017 | 0,017 | 0,017       |      | 0,013 | 0,013 | 0,013       |      |
|    |                                       | NPSHr | mΣY   | -Hs-Hk-Hαπ+ | 5,82 | NPSHr | mΣY   | -Hs-Hk-Hαπ+ | 3,24 | NPSHr | mΣY   | -Hs-Hk-Hαπ+ | 2,94 |

|                         |       |      |      |      |
|-------------------------|-------|------|------|------|
| Για χάραξη διάγραμματος | Q     | 14,3 | 16,4 | 21,6 |
|                         | NPSHr | 2,94 | 3,24 | 5,82 |

|                   |                                    |    |      |    |      |         |   |
|-------------------|------------------------------------|----|------|----|------|---------|---|
| ΤΥΠΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ     | NORMA 40-250                       | Ds | DN65 | Dd | DN40 | ζ εντοπ | 0 |
| Dz                | πλήρης                             |    |      |    |      |         |   |
| Διακινούμενο υγρό | Νερό 20 C<br>1000kg/m <sup>3</sup> |    |      |    |      |         |   |

|    | Μέγεθος                         | Συμβολισμός            | Μον.Μέτρησης      | Όργανο μέτρησης          | 1         | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     |
|----|---------------------------------|------------------------|-------------------|--------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1  | Ταχύτητα περιστροφής            | Nv                     | rpm               | στροφόμετρο              |           | 1490   | 1487   | 1486   | 1486   | 1484   | 1484   | 1485   | 1487   | 1486   | 1485   |
| 2  | Ένδειξη βατόμετρου              | Pκ                     | kW                | βατόμετρο                |           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 3  | Ένδειξη στρεψιόμετρου           |                        | kW                | στρεψιόμετρο             |           | 10,8   | 12     | 12,95  | 13,78  | 14,45  | 15     | 15,63  | 16,1   | 16,6   | 17     |
| 4  | Βαθμός απόδ. Η/Κ                |                        |                   | από κατασκευαστή         |           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 5  | Απορωφόμενη Ισχύς               | Ραπ                    | HP                | υπολογισμός              |           | 2,28   | 2,53   | 2,73   | 2,90   | 3,04   | 3,15   | 3,29   | 3,39   | 3,49   | 3,58   |
| 6  | Μέτρηση ηλεκτρομ.παροχόμετρου   | Qv                     |                   | ηλεκτρομ. Παροχόμ.       |           |        |        |        |        |        |        | 21,9   | 24,1   |        |        |
| 7  | Μέτρηση παροχόμ. Διαφράγματος   | Q                      |                   |                          |           | 960    | 1572   | 183    | 230    | 293    | 340    | 405    | 470    | 560    | 685    |
| 8  | Συντελεστής διαφράγματος        |                        |                   | από πίνακα               |           | 0,32   | 0,32   | 1,12   | 1,12   | 1,12   | 1,12   | 1,12   | 1,12   | 1,12   | 1,12   |
| 9  | Πραγματική Παροχή               | Qv                     | m <sup>3</sup> /h | υπολογισμός              | 0         | 9,91   | 12,69  | 15,15  | 16,99  | 19,17  | 20,65  | 22,54  | 24,28  | 26,50  | 29,31  |
| 10 | Ταχύτητα νερού στην αναρόρηση   | cSv                    | m/sec             | $(Q/3600)^4/(π^2Ds^2)$   | 0         | 0,83   | 1,06   | 1,27   | 1,42   | 1,61   | 1,73   | 1,89   | 2,03   | 2,22   | 2,46   |
| 11 | Ταχύτητα νερού στην κατάθλιψη   | cDv                    | m/sec             | $(Q/3600)^4/(π^2Dd^2)$   | 0         | 2,19   | 2,81   | 3,35   | 3,76   | 4,24   | 4,57   | 4,98   | 5,37   | 5,86   | 6,48   |
| 12 | Μέτρηση κενόμετρου              | Hκεν                   | mΣY               | κενόμετρο                |           | -1,599 | -1,531 | -1,477 | -1,450 | -1,355 | -1,287 | -1,152 | -1,125 | -0,976 | -0,894 |
| 13 | Μέτρηση μανόμετρου              | Hμαν                   | mΣY               | μανόμετρο                | 25,8      | 25     | 24     | 23     | 22     | 20,5   | 19     | 17     | 15     | 12     | 9,15   |
| 14 | Διαφορά κινητικής ενέργειας     | $(cDv^2 - cSv^2) / 2g$ | mΣY               | υπολογισμός              | 0         | 0,21   | 0,34   | 0,49   | 0,62   | 0,78   | 0,91   | 1,08   | 1,26   | 1,50   | 1,83   |
| 15 | Γραμμικές Απώλειες              | Hl                     | mΣY               | $λ * (L/D) * (cSv^2/2g)$ | 0         | 0,04   | 0,06   | 0,08   | 0,10   | 0,13   | 0,15   | 0,18   | 0,21   | 0,25   | 0,31   |
| 16 | Εντοπισμένες Απώλειες           | Hεντ                   | mΣY               | $ζ * (cSv^2/2g)$         | 0         | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| 17 | Συνολικές Απώλειες              | Haπ                    | mΣY               | Hl.+ Hεντ                | 0         | 0,04   | 0,06   | 0,08   | 0,10   | 0,13   | 0,15   | 0,18   | 0,21   | 0,25   | 0,31   |
| 18 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – μανόμ. | z                      | mΣY               |                          | -1,7      | -0,175 | -0,17  | -0,17  | -0,173 | -0,175 | -0,17  | -0,185 | -0,17  | -0,17  | -0,175 |
| 19 | Πραγματικό Ολικό Ύψος           | TDHv                   | mΣY               | υπολογισμός              | 24,1      | 23,47  | 22,70  | 21,93  | 21,10  | 19,89  | 18,61  | 16,93  | 15,18  | 12,61  | 10,23  |
| 20 | Ολικός βαθμός απόδοσης          | η                      |                   |                          | #ΔΙΑΙΡ/0! | 0,378  | 0,422  | 0,451  | 0,458  | 0,465  | 0,451  | 0,430  | 0,402  | 0,354  | 0,310  |
| 21 | Κανονική παροχή                 | Qκ                     | m <sup>3</sup> /h | προκύπτει                |           |        |        |        |        | 18     |        |        |        |        |        |
| 22 | Κανονικό ύψος                   | Hκ                     | mΣY               | προκύπτει                |           |        |        |        |        | 20,5   |        |        |        |        |        |

|        |        |      |
|--------|--------|------|
| Σφάλμα | Παροχή | 2%   |
|        | Πίεση  | 1,5% |
|        | Ισχύς  | 1,5% |



## Μέτρηση NPSHr

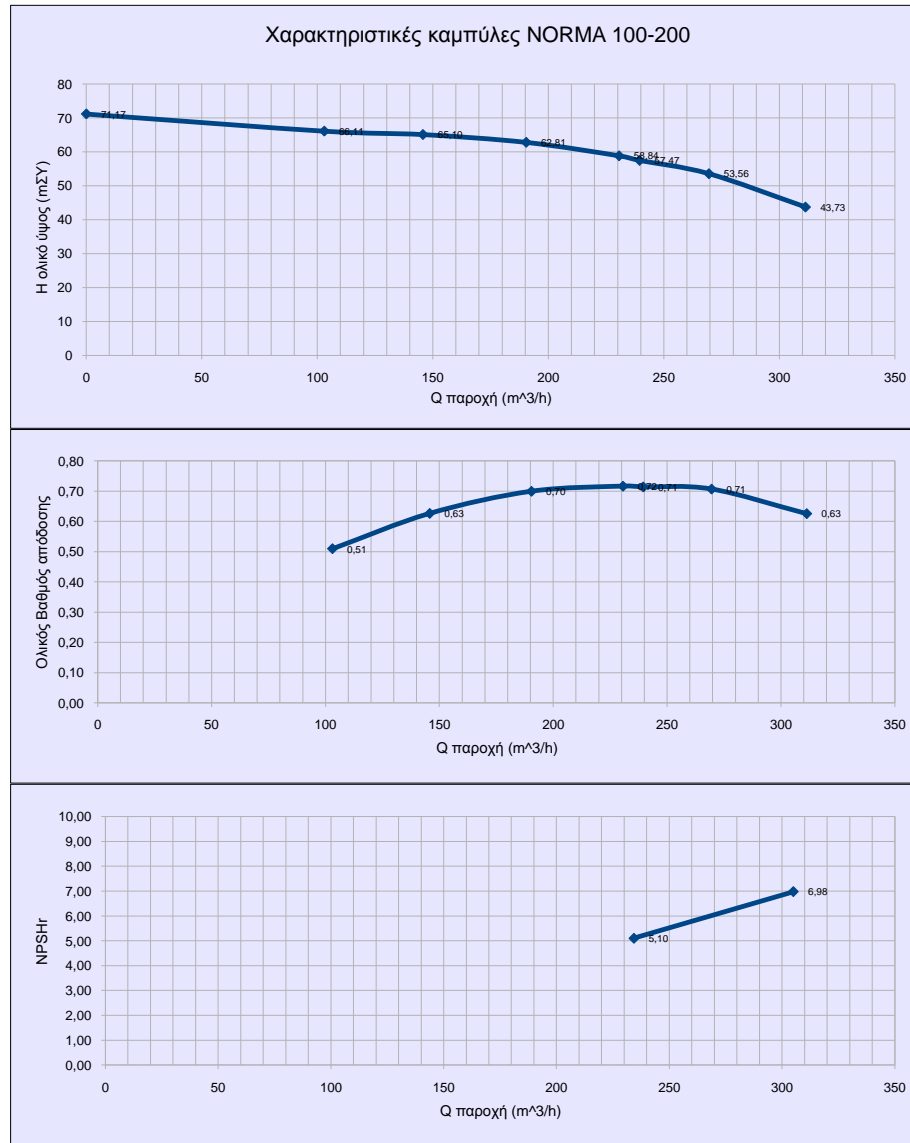
|    |  | A      |       |                       |       | B    |        |       |                       |      |
|----|--|--------|-------|-----------------------|-------|------|--------|-------|-----------------------|------|
|    |  | 1500   |       |                       |       | 1500 |        |       |                       |      |
| 1  | Πραγματική Παροχή                      | 26,74  | 26,74 | 26,74                 | 26,74 |      | 21,6   | 21,6  | 21,6                  |      |
| 2  | Ταχύτητα νερού στην αναρόφηση          | 2,24   | 2,24  | 2,24                  | 2,24  |      | 1,81   | 1,81  | 1,81                  |      |
| 3  | Ταχύτητα νερού στην κατάθλιψη          | 5,91   | 5,91  | 5,91                  | 5,91  |      | 4,78   | 4,78  | 4,78                  |      |
| 4  | Μέτρηση κενόμετρου                     | -1,016 | 3,970 | 5,710                 | 5,78  |      | -1,260 | 6,120 | 7,000                 |      |
| 5  | Μέτρηση μανόμετρου                     | 12     | 6,9   | 4,75                  | 3,96  |      | 18     | 10,8  | 8,35                  |      |
| 6  | Διαφορά κινητικής ενέργειας            | 1,53   | 1,53  | 1,53                  | 1,53  |      | 1,00   | 1,00  | 1,00                  |      |
| 7  | Γραμμικές Απώλειες                     | 0,26   | 0,26  | 0,26                  | 0,26  |      | 0,17   | 0,17  | 0,17                  |      |
| 8  | Εντοπισμένες Απώλειες                  | 0      | 0     | 0                     | 0     |      | 0      | 0     | 0                     |      |
| 9  | Συνολικές Απώλειες                     | 0,26   | 0,26  | 0,26                  | 0,26  |      | 0,17   | 0,17  | 0,17                  |      |
| 10 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – μανόμ         | -0,17  | 0,68  | 0,68                  | 0,68  |      | 0,44   | 0,44  | 0,44                  |      |
| 11 | Πραγματικό Ολικό Ύψος                  | 12,60  | 13,34 | 12,93                 | 12,21 |      | 18,35  | 18,53 | 16,96                 |      |
| 12 | Κινητική ενέργεια στο στ αναρρόφησης   | 0,26   | 0,26  | 0,26                  | 0,26  |      | 0,17   | 0,17  | 0,17                  |      |
| 13 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – στομίου αναρ. | 0      | 0     | 0                     | 0     |      | 0      | 0     | 0                     |      |
| 14 | Γραμ. Απώλειες στην αναρρόφηση         | 0,03   | 0,03  | 0,03                  | 0,03  |      | 0,02   | 0,02  | 0,02                  |      |
|    |  | NPSHr  | μΣΥ   | Haπμ-Hs-Hκ-Haππ+Ekσ-z | 4,25  |      | NPSHr  | μΣΥ   | Haπμ-Hs-Hκ-Haππ+Ekσ-z | 2,95 |

|                         |       |      |       |
|-------------------------|-------|------|-------|
| Για χάραξη διαγράμματος | Q     | 21,6 | 26,74 |
|                         | NPSHr | 2,95 | 4,25  |

|                   |                                    |        |        |    |       |         |   |
|-------------------|------------------------------------|--------|--------|----|-------|---------|---|
| ΤΥΠΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ     | NORMA 100-200                      | Ds     | DN1125 | Dd | DN100 | ζ εντοπ | 0 |
|                   | D2                                 | πλήρης |        |    |       |         |   |
| Διακινούμενο υγρό | Νερό 20 C<br>1000kg/m <sup>3</sup> |        |        |    |       |         |   |

|    | Μέγεθος                         | Συμβολισμός            | Μον. Μέτρησης     | Όργανο μέτρησης                  | 1         | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
|----|---------------------------------|------------------------|-------------------|----------------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1  | Ταχύτητα περιστροφής            | Nv                     | rpm               | στροφόμετρο                      | 3000      | 2998  | 2995  | 2996  | 2995  | 2991  | 2992  | 2990  |
| 2  | Ένδειξη βατόμετρου              | Pκ                     | kW                | βατόμετρο                        |           | 39,8  | 45,1  | 50,9  | 56,4  | 57,4  | 60,8  | 64,8  |
| 3  | Ένδειξη στρεψιόμετρου           |                        |                   |                                  |           |       |       |       |       |       |       |       |
| 4  | Βαθμός απόδ. Η/Κ                |                        |                   |                                  |           | 0,915 | 0,915 | 0,915 | 0,915 | 0,915 | 0,915 | 0,915 |
| 5  | Απορωφόμενη Ισχύς               | Ραπ                    | kW                | στρεψιόμετρο                     | 0         | 36,42 | 41,27 | 46,57 | 51,61 | 52,52 | 55,63 | 59,29 |
| 6  | Μέτρηση ηλεκτρομ. παροχόμετρου  | Qv                     |                   | ηλεκτρομ. Παροχόμ.               | 0         | 103   | 145,7 | 190,4 | 230,6 | 239,5 | 269,5 | 311,3 |
| 7  | Μέτρηση παροχόμ. Διαφράγματος   | Q                      |                   |                                  |           |       |       |       |       |       |       |       |
| 8  | Συντελεστής διαφράγματος        |                        |                   | από πίνακα                       |           |       |       |       |       |       |       |       |
| 9  | Πραγματική Παροχή               | Qv                     | m <sup>3</sup> /h | μέτρηση                          | 0         | 103   | 145,7 | 190,4 | 230,6 | 239,5 | 269,5 | 311,3 |
| 10 | Ταχύτητα νερού στην αναρόφηση   | cSv                    | m/sec             | $(Q/3600)^4 / (\pi^4 D_s^4)$     | 0         | 2,33  | 3,30  | 4,31  | 5,22  | 5,42  | 6,10  | 7,05  |
| 11 | Ταχύτητα νερού στην κατάθλιψη   | cDv                    | m/sec             | $(Q/3600)^4 / (\pi^4 D_d^4)$     | 0         | 3,64  | 5,16  | 6,74  | 8,16  | 8,47  | 9,54  | 11,02 |
| 12 | Μέτρηση κενόμετρου              | Hκεν                   | mΣΥ               | κενόμετρο                        |           | 2,272 | 2,900 | 3,439 | 4,029 | 4,079 | 4,593 | 5,196 |
| 13 | Μέτρηση μανόμετρου              | Hμαν                   | mΣΥ               | μανόμετρο                        | 68,5      | 62,6  | 60,5  | 57    | 51,7  | 50,1  | 45    | 33,5  |
| 14 | Διαφορά κινητικής ενέργειας     | $(CDv^2 - cSv^2) / 2g$ | mΣΥ               | υπολογισμός                      | 0         | 0,40  | 0,80  | 1,37  | 2,00  | 2,16  | 2,74  | 3,65  |
| 15 | Γραμμικές Απώλειες              | H <sub>L</sub>         | mΣΥ               | $\lambda * (L/D) * (cSv^2 / 2g)$ | 0         | 0,07  | 0,13  | 0,23  | 0,34  | 0,36  | 0,46  | 0,62  |
| 16 | Εντοπισμένες Απώλειες           | Hεντ                   | mΣΥ               | $\zeta * (cSv^2 / 2g)$           | 0         | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 17 | Συνολικές Απώλειες              | Hαπ                    | mΣΥ               | H <sub>L</sub> + Hεντ            | 0         | 0,07  | 0,13  | 0,23  | 0,34  | 0,36  | 0,46  | 0,62  |
| 18 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – μανόμ. | z                      | mΣΥ               |                                  | 2,67      | 0,77  | 0,77  | 0,77  | 0,77  | 0,77  | 0,77  | 0,77  |
| 19 | Πραγματικό Ολικό Ύψος           | TDHv                   | mΣΥ               | υπολογισμός                      | 71,17     | 66,11 | 65,10 | 62,81 | 58,84 | 57,47 | 53,56 | 43,73 |
| 20 | Ολικός βαθμός απόδοσης          | η                      |                   |                                  | #ΔΙΑΙΡ/0! | 0,51  | 0,63  | 0,70  | 0,72  | 0,71  | 0,71  | 0,63  |
| 21 | Κανονική παροχή                 | Qκ                     | m <sup>3</sup> /h | προκύπτει                        |           |       |       |       | 230   |       |       |       |
| 22 | Κανονικό ύψος                   | Hκ                     | mΣΥ               | προκύπτει                        |           |       |       |       | 58,8  |       |       |       |

|        |        |      |
|--------|--------|------|
| Σφάλμα | Παροχή | 2%   |
|        | Πίεση  | 1,5% |
|        | Ισχύς  | 1,5% |



0,428571429

8988



## Μέτρηση NPSHr

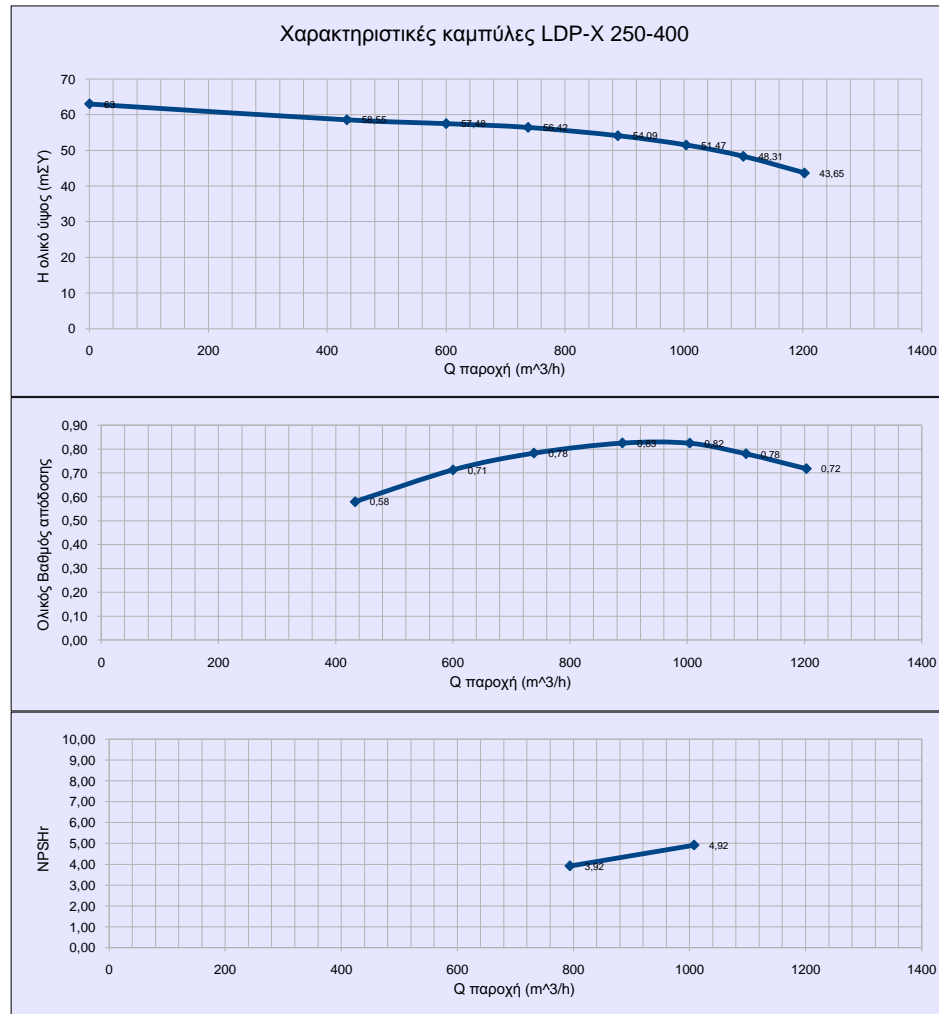
|    |  | A     |       |                      |      | B     |       |                      |      |
|----|--|-------|-------|----------------------|------|-------|-------|----------------------|------|
|    |  | 1500  |       |                      |      | 1500  |       |                      |      |
| 1  | Πραγματική Παροχή                      | 305   | 305   |                      |      | 234,3 | 234,3 |                      |      |
| 2  | Ταχύτητα νερού στην αναρόφηση          | 6,91  | 6,91  |                      |      | 5,31  | 5,31  |                      |      |
| 3  | Ταχύτητα νερού στην κατάθλιψη          | 10,79 | 10,79 |                      |      | 8,29  | 8,29  |                      |      |
| 4  | Μέτρηση κενόμετρου                     | 4,880 | 5,010 |                      |      | 4,630 | 5,988 |                      |      |
| 5  | Μέτρηση μανόμετρου                     | 37,8  | 36,3  |                      |      | 50    | 46,8  |                      |      |
| 6  | Διαφορά κινητικής ενέργειας            | 3,51  | 3,51  |                      |      | 2,07  | 2,07  |                      |      |
| 7  | Γραμμικές Απώλειες                     | 0,59  | 0,59  |                      |      | 0,35  | 0,35  |                      |      |
| 8  | Εντοπισμένες Απώλειες                  | 0     | 0     |                      |      | 0     | 0     |                      |      |
| 9  | Συνολικές Απώλειες                     | 0,59  | 0,59  |                      |      | 0,35  | 0,35  |                      |      |
| 10 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – μανόμ         | 0,77  | 0,77  |                      |      | 0,77  | 0,77  |                      |      |
| 11 | Πραγματικό Ολικό Ύψος                  | 46,47 | 45,10 |                      |      | 57,18 | 55,34 |                      |      |
| 12 | Κινητική ενέργεια στο στ αναρόφησης    | 2,43  | 2,43  |                      |      | 1,44  | 1,44  |                      |      |
| 13 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – στομίου αναρ. | 0     | 0     |                      |      | 0     | 0     |                      |      |
| 14 | Γραμ. Απώλειες στην αναρόφηση          | 0,24  | 0,24  |                      |      | 0,14  | 0,14  |                      |      |
|    |  | NPSHr | μΣΥ   | Haτμ-Hs-Hκ-Hαπ+Ekς-z | 6,98 | NPSHr | μΣΥ   | Haτμ-Hs-Hκ-Hαπ+Ekς-z | 5,10 |

|                         |       |       |      |
|-------------------------|-------|-------|------|
| Για χάραξη διαγράμματος | Q     | 234,3 | 305  |
|                         | NPSHr | 5,10  | 6,98 |

|                   |                                    |    |       |    |       |       |   |  |
|-------------------|------------------------------------|----|-------|----|-------|-------|---|--|
| ΤΥΠΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ     | LDP-X 250-400                      | Ds | DN300 | Dd | DN250 | ζ κων | 0,1   |  |
| D <sub>2</sub>    | πλήρης λιμαρισμένα                 |    |       |    |       |       | Κωνική συστολή στην κατάθλιψη από 10" σε 6" |  |
| Διακινούμενο υγρό | Νερό 20 C<br>1000kg/m <sup>3</sup> |    |       |    |       |       |   |  |

|    | Μέγεθος                         | Συμβολισμός            | Μον.Μέτρησης      | Όργανο μέτρησης                | 1         | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       |
|----|---------------------------------|------------------------|-------------------|--------------------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1  | Ταχύτητα περιστροφής            | Nv                     | rpm               | στροφόμετρο                    |           | 1490    | 1491    | 1490    | 1488    | 1487    | 1482    | 1483    |
| 2  | Ένδειξη βατόμετρου              | Pκ                     | kW                | βατόμετρο                      |           |         |         |         |         |         |         |         |
| 3  | Ένδειξη στρεψιόμετρου           |                        |                   |                                |           | 787     | 870     | 957     | 1050    | 1130    | 1232    | 1322    |
| 4  | Βαθμός απόδ. Η/Κ                |                        |                   | από κατασκευαστή               |           |         |         |         |         |         |         |         |
| 5  | Απορωφόμενη Ισχύς               | Ραπ                    | HP                | στρεψιόμετρο                   |           | 161,948 | 179,147 | 196,930 | 215,777 | 232,061 | 252,158 | 270,761 |
| 6  | Μέτρηση ηλεκτρομ.παροχόμετρου   | Qv                     |                   | ηλεκτρομ. Παροχόμ.             |           | 433     | 600     | 738     | 889     | 1004    | 1100    | 1203    |
| 7  | Μέτρηση παροχόμ. Διαφράγματος   | Q                      |                   |                                |           |         |         |         |         |         |         |         |
| 8  | Συντελεστής διαφράγματος        |                        |                   | από πίνακα                     |           |         |         |         |         |         |         |         |
| 9  | Πραγματική Παροχή               | Qv                     | m <sup>3</sup> /h | μέτρηση                        | 0         | 433     | 600     | 738     | 889     | 1004    | 1100    | 1203    |
| 10 | Ταχύτητα νερού στην αναρόφηση   | cSv                    | m/sec             | $(Q/3600)*4/(\pi*D_s^2)$       | 0         | 1,70    | 2,36    | 2,90    | 3,50    | 3,95    | 4,32    | 4,73    |
| 11 | Ταχύτητα νερού στην κατάθλιψη   | cDv                    | m/sec             | $(Q/3600)*4/(\pi*D_d^2)$       | 0         | 6,81    | 9,44    | 11,61   | 13,98   | 15,79   | 17,30   | 18,92   |
| 12 | Μέτρηση κενόμετρου              | Hκεν                   | mΣY               | κενόμετρο                      |           | 2,673   | 3,138   | 3,655   | 4,305   | 4,830   | 5,320   | 5,840   |
| 13 | Μέτρηση μανόμετρου              | Hμαν                   | mΣY               | μανόμετρο                      | 60        | 52,8    | 49      | 45      | 38,8    | 32,8    | 26,5    | 18,2    |
| 14 | Διαφορά κινητικής ενέργειας     | $(cDv^2 - cSv^2) / 2g$ | mΣY               | υπολογισμός                    | 0         | 2,22    | 4,25    | 6,44    | 9,34    | 11,91   | 14,30   | 17,10   |
| 15 | Γραμμικές Απώλειες              | H <sub>L</sub>         | mΣY               | $\lambda * (L/D) * (cSv^2/2g)$ | 0         | 0,01    | 0,01    | 0,02    | 0,03    | 0,04    | 0,05    | 0,06    |
| 16 | Εντοπισμένες Απώλειες           | Hεντ                   | mΣY               | $\zeta * (cSv^2/2g)$           | 0         | 0,24    | 0,45    | 0,69    | 1,00    | 1,27    | 1,53    | 1,82    |
| 17 | Συνολικές Απώλειες              | Hαπ                    | mΣY               | H <sub>L</sub> + Hεντ          | 0         | 0,24    | 0,47    | 0,71    | 1,03    | 1,31    | 1,57    | 1,88    |
| 18 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – μανόμ. | z                      | mΣY               |                                | 3         | 0,62    | 0,62    | 0,62    | 0,62    | 0,62    | 0,62    | 0,62    |
| 19 | Πραγματικό Ολικό Ύψος           | TDHv                   | mΣY               | υπολογισμός                    | 63        | 58,55   | 57,48   | 56,42   | 54,09   | 51,47   | 48,31   | 43,65   |
| 20 | Ολικός βαθμός απόδοσης          | η                      |                   |                                | #ΔΙΑΙΡ/0! | 0,58    | 0,71    | 0,78    | 0,83    | 0,82    | 0,78    | 0,72    |
| 21 | Κανονική παροχή                 | Qκ                     | m <sup>3</sup> /h | προκύπτει                      |           |         |         |         |         | 940     |         |         |
| 22 | Κανονικό ύψος                   | Hκ                     | mΣY               | προκύπτει                      |           |         |         |         |         | 52      |         |         |

|        |        |      |
|--------|--------|------|
| Σφάλμα | Παροχή | 2%   |
|        | Πίεση  | 1,5% |
|        | Ισχύς  | 1,5% |



## Μέτρηση NPSHr

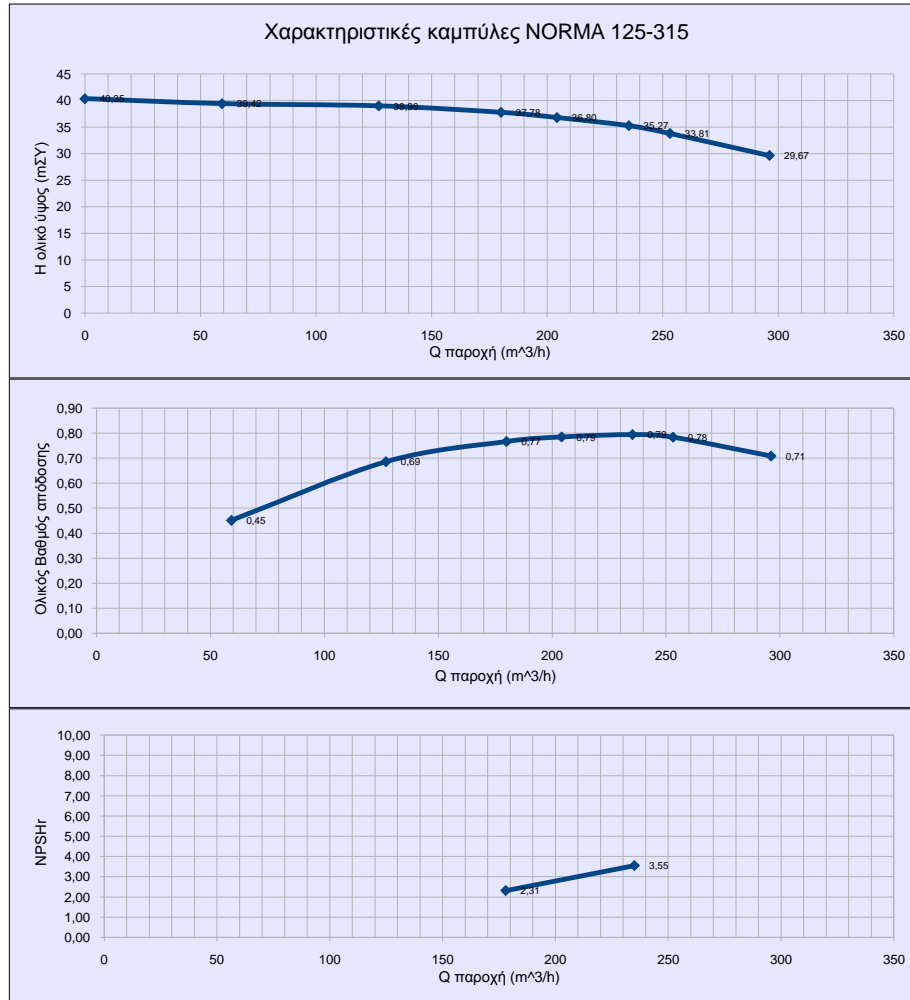
|    |  | A     |       |                           |      | B      |        |                           |      |
|----|--|-------|-------|---------------------------|------|--------|--------|---------------------------|------|
|    |  | 1500  |       |                           |      | 1500   |        |                           |      |
| 1  | Πραγματική Παροχή                      | 1008  | 1008  |                           |      | 794    | 794    | 794                       |      |
| 2  | Ταχύτητα νερού στην αναρόφηση          | 3,96  | 3,96  |                           |      | 3,12   | 3,12   | 3,12                      |      |
| 3  | Ταχύτητα νερού στην κατάθλιψη          | 15,85 | 15,85 |                           |      | 12,49  | 12,49  | 12,49                     |      |
| 4  | Μέτρηση κενόμετρου                     | 4,407 | 5,02  |                           |      | 4,620  | 5,470  | 5,730                     |      |
| 5  | Μέτρηση μανόμετρου                     | 32,3  | 30,1  |                           |      | 41,300 | 39,200 | 38,100                    |      |
| 6  | Διαφορά κινητικής ενέργειας            | 12,01 | 12,01 |                           |      | 7,45   | 7,45   | 7,45                      |      |
| 7  | Γραμμικές Απώλειες                     | 0,04  | 0,04  |                           |      | 0,02   | 0,02   | 0,02                      |      |
| 8  | Εντοπισμένες Απώλειες                  | 1,28  | 1,28  |                           |      | 0,79   | 0,79   | 0,79                      |      |
| 9  | Συνολικές Απώλειες                     | 1,32  | 1,32  |                           |      | 0,82   | 0,82   | 0,82                      |      |
| 10 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – μανόμ         | 0,62  | 0,62  |                           |      | 0,62   | 0,62   | 0,62                      |      |
| 11 | Πραγματικό Ολικό Ύψος                  | 50,66 | 49,07 |                           |      | 54,81  | 53,56  | 52,72                     |      |
| 12 | Κινητική ενέργεια στο στ αναρρόφησης   | 0,80  | 0,80  |                           |      | 0,50   | 0,50   | 0,50                      |      |
| 13 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – στομίου αναρ. | 0,62  | 0,62  |                           |      | 0,62   | 0,62   | 0,62                      |      |
| 14 | Γραμ. Απώλειες στην αναρρόφηση         | 0,04  | 0,04  |                           |      | 0,02   | 0,02   | 0,02                      |      |
|    |  | NPSHr | μΣΥ   | Haπμ-Hs-Hκ-<br>Haππ+Ekσ,z | 4,92 | NPSHr  | μΣΥ    | Haπμ-Hs-Hκ-<br>Haππ+Ekσ,z | 3,92 |

|                         |       |      |      |
|-------------------------|-------|------|------|
| Για χάραξη διαγράμματος | Q     | 794  | 1008 |
|                         | NPSHr | 3,92 | 4,92 |

|                   |                                    |    |       |    |       |       |   |
|-------------------|------------------------------------|----|-------|----|-------|-------|---|
| ΤΥΠΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ     | NORMA 125-315                      | Ds | DN150 | Dd | DN125 | ζ εντ | 0 |
| D <sub>2</sub>    | πλήρης<br>λιμαρισμένα              |    |       |    |       |       |   |
| Διακινούμενο υγρό | Νερό 20 C<br>1000kg/m <sup>3</sup> |    |       |    |       |       |   |

|    | Μέγεθος                         | Συμβολισμός            | Μον.<br>Μέτρησης  | Όργανο μέτρησης                | 1         | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      |
|----|---------------------------------|------------------------|-------------------|--------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1  | Ταχύτητα περιστροφής            | Nv                     | rpm               | στροφόμετρο                    | 1495      | 1492   | 1488   | 1486   | 1485   | 1484   | 1484   | 1480   |
| 2  | Ένδειξη βατόμετρου              | Pκ                     | kW                | βατόμετρο                      |           | 15,4   | 21,5   | 26,4   | 28,5   | 31,1   | 32,5   | 36,9   |
| 3  | Ένδειξη στρεψιόμετρου           |                        |                   |                                |           |        |        |        |        |        |        |        |
| 4  | Βαθμός απόδ. Η/Κ                |                        |                   | από κατασκευαστή               | 0,915     | 0,915  | 0,915  | 0,915  | 0,915  | 0,915  | 0,915  | 0,915  |
| 5  | Απορωφόμενη Ισχύς               | Ραπ                    | kW                | υπολογισμός                    |           | 14,091 | 19,673 | 24,156 | 26,078 | 28,457 | 29,738 | 33,764 |
| 6  | Μέτρηση ηλεκτρομ.παροχόμετρου   | Qv                     |                   | ηλεκτρομ. Παροχόμ.             | 0,0       | 59,3   | 127,1  | 180,0  | 204,2  | 235,3  | 253,1  | 296,1  |
| 7  | Μέτρηση παροχόμ. Διαφράγματος   | Q                      |                   |                                |           |        |        |        |        |        |        |        |
| 8  | Συντελεστής διαφράγματος        |                        |                   | από πίνακα                     |           |        |        |        |        |        |        |        |
| 9  | Πραγματική Παροχή               | Qv                     | m <sup>3</sup> /h | μέτρηση                        | 0         | 59,3   | 127,1  | 180    | 204,2  | 235,3  | 253,1  | 296,1  |
| 10 | Ταχύτητα νερού στην αναρόφηση   | cSv                    | m/sec             | $(Q/3600)^4 / (\pi^2 D_s^2)$   | 0         | 0,93   | 2,00   | 2,83   | 3,21   | 3,70   | 3,98   | 4,66   |
| 11 | Ταχύτητα νερού στην κατάθλιψη   | cDv                    | m/sec             | $(Q/3600)^4 / (\pi^2 D_d^2)$   | 0         | 1,34   | 2,88   | 4,08   | 4,62   | 5,33   | 5,73   | 6,71   |
| 12 | Μέτρηση κενόμετρου              | Hκεν                   | mΣΥ               | κενόμετρο                      |           | 1,130  | 2,108  | 3,037  | 3,614  | 4,167  | 4,370  | 4,660  |
| 13 | Μέτρηση μανόμετρου              | Hμαν                   | mΣΥ               | μανόμετρο                      | 38,6      | 37,5   | 35,9   | 33,5   | 31,8   | 29,5   | 27,7   | 23     |
| 14 | Διαφορά κινητικής ενέργειας     | $(cDv^2 - cSv^2) / 2g$ | mΣΥ               | υπολογισμός                    | 0         | 0,05   | 0,22   | 0,44   | 0,56   | 0,75   | 0,87   | 1,19   |
| 15 | Γραμμικές Απώλειες              | H <sub>L</sub>         | mΣΥ               | $\lambda * (L/D) * (cSv^2/2g)$ | 0         | 0,01   | 0,04   | 0,07   | 0,09   | 0,13   | 0,15   | 0,20   |
| 16 | Εντοπισμένες Απώλειες           | Hεντ                   | mΣΥ               | $\zeta * (cSv^2/2g)$           | 0         | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| 17 | Συνολικές Απώλειες              | Hαπ                    | mΣΥ               | H <sub>L</sub> + Hεντ          | 0         | 0,01   | 0,04   | 0,07   | 0,09   | 0,13   | 0,15   | 0,20   |
| 18 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – μανόμ. | z                      | mΣΥ               |                                | 1,75      | 0,73   | 0,73   | 0,73   | 0,73   | 0,73   | 0,73   | 0,62   |
| 19 | Πραγματικό Ολικό Ύψος           | TDHv                   | mΣΥ               | υπολογισμός                    | 40,35     | 39,42  | 38,99  | 37,78  | 36,80  | 35,27  | 33,81  | 29,67  |
| 20 | Ολικός βαθμός απόδοσης          | η                      |                   |                                | #ΔΙΑΙΡ/Ο! | 0,45   | 0,69   | 0,77   | 0,79   | 0,79   | 0,78   | 0,71   |
| 21 | Κανονική παροχή                 | Qκ                     | m <sup>3</sup> /h | προκύπτει                      |           |        |        |        |        | 236    |        |        |
| 22 | Κανονικό ύψος                   | Hκ                     | mΣΥ               | προκύπτει                      |           |        |        |        |        | 35     |        |        |

|        |        |      |
|--------|--------|------|
| Σφάλμα | Παροχή | 2%   |
|        | Πίεση  | 1,5% |
|        | Ισχύς  | 1,5% |



## Μέτρηση NPSHr

|    |  | A     |       |                     |       | B     |       |                     |       |
|----|--|-------|-------|---------------------|-------|-------|-------|---------------------|-------|
|    |  | 1500  |       |                     |       | 1500  |       |                     |       |
| 1  | Πραγματική Παροχή                      | 235   | 235   | 235                 | 235   | 178   | 178   | 178                 | 178   |
| 2  | Ταχύτητα νερού στην αναρόφηση          | 3,70  | 3,70  | 3,70                | 3,70  | 2,80  | 2,80  | 2,80                | 2,80  |
| 3  | Ταχύτητα νερού στην κατάθλιψη          | 5,32  | 5,32  | 5,32                | 5,32  | 4,03  | 4,03  | 4,03                | 4,03  |
| 4  | Μέτρηση κενόμετρου                     | 4,016 | 4,89  | 6,024               | 6,2   | 4,945 | 5,800 | 6,620               | 7,150 |
| 5  | Μέτρηση μανόμετρου                     | 29,5  | 28,6  | 27,1                | 26,3  | 31,5  | 30,5  | 29,5                | 28,1  |
| 6  | Διαφορά κινητικής ενέργειας            | 0,75  | 0,75  | 0,75                | 0,75  | 0,43  | 0,43  | 0,43                | 0,43  |
| 7  | Γραμμικές Απώλειες                     | 0,13  | 0,13  | 0,13                | 0,13  | 0,07  | 0,07  | 0,07                | 0,07  |
| 8  | Εντοπισμένες Απώλειες                  | 0     | 0     | 0                   | 0     | 0     | 0     | 0                   | 0     |
| 9  | Συνολικές Απώλειες                     | 0,13  | 0,13  | 0,13                | 0,13  | 0,07  | 0,07  | 0,07                | 0,07  |
| 10 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – μανόμ         | 0,73  | 0,73  | 0,73                | 0,73  | 0,73  | 0,73  | 0,73                | 0,73  |
| 11 | Πραγματικό Ολικό Ύψος                  | 35,12 | 35,09 | 34,73               | 34,10 | 37,68 | 37,53 | 37,35               | 36,48 |
| 12 | Κινητική ενέργεια στο στ αναρρόφησης   | 0,70  | 0,70  | 0,70                | 0,70  | 0,40  | 0,40  | 0,40                | 0,40  |
| 13 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – στομίου αναρ. | 0,73  | 0,73  | 0,73                | 0,73  | 0,73  | 0,73  | 0,73                | 0,73  |
| 14 | Γραμ. Απώλειες στην αναρρόφηση         | 0,01  | 0,01  | 0,01                | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0,01                | 0,01  |
|    |  | NPSHr | μΣΥ   | Haμ-Hs-Hκ-Haπ+Ekσ-z | 3,55  | NPSHr | μΣΥ   | Haμ-Hs-Hκ-Haπ+Ekσ-z | 2,31  |

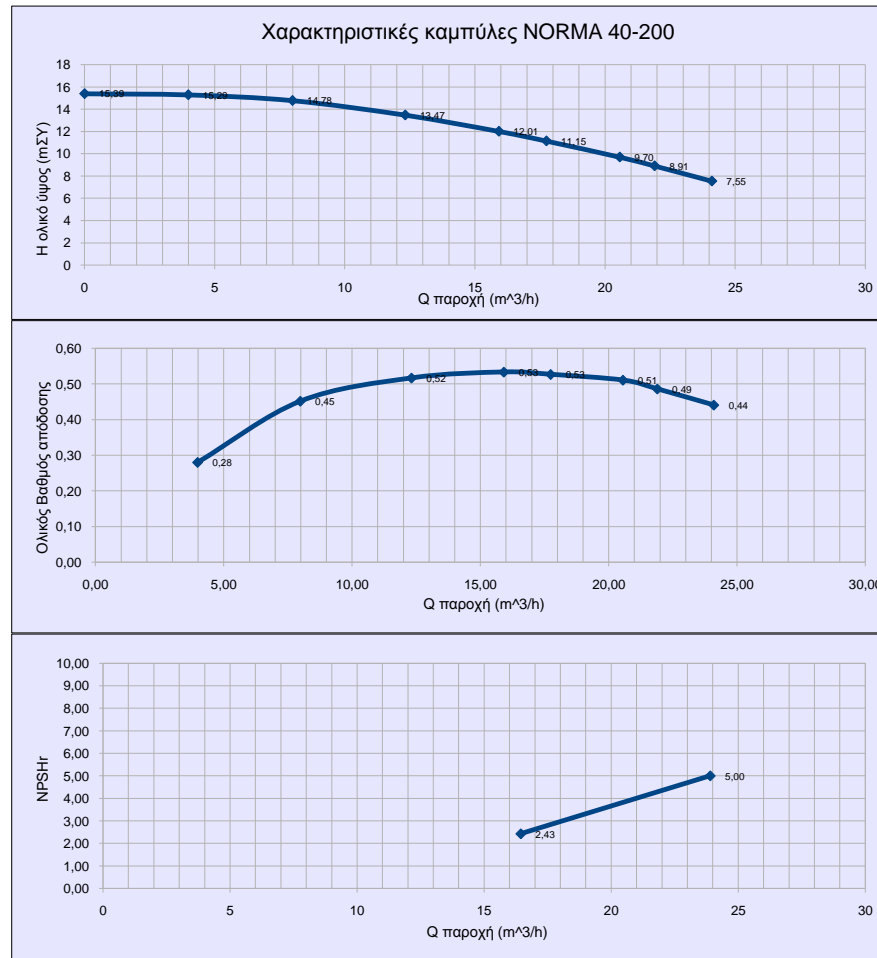
|                         |       |      |      |
|-------------------------|-------|------|------|
| Για χάραξη διαγράμματος | Q     | 178  | 235  |
|                         | NPSHr | 2,31 | 3,55 |

|                   |                                    |    |      |    |      |       |     |
|-------------------|------------------------------------|----|------|----|------|-------|-----|
| ΤΥΠΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ     | NORMA 40-200                       | Ds | DN65 | Dd | DN40 | ζ εντ | 0,5 |
| D <sub>2</sub>    | πλήρης καθάρισμα<br>ρουτίνας       |    |      |    |      |       |     |
| Διακινούμενο υγρό | Νερό 20 C<br>1000kg/m <sup>3</sup> |    |      |    |      |       |     |

|    | Μέγεθος                         | Συμβολισμός            | Μον.<br>Μέτρησης  | Όργανο μέτρησης                   | 1         | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
|----|---------------------------------|------------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1  | Ταχύτητα περιστροφής            | Nv                     | rpm               | στροφόμετρο                       | 1480      | 1480  | 1475  | 1470  | 1470  | 1465  | 1460  | 1460  | 1460  |
| 2  | Ένδειξη βατόμετρου              | Pk                     | kW                | βατόμετρο                         |           |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 3  | Ένδειξη στρεψιόμετρου           |                        |                   | στρεψιόμετρο                      |           | 0,39  | 0,47  | 0,58  | 0,647 | 0,68  | 0,71  | 0,73  | 0,75  |
| 4  | Βαθμός απόδ. Η/Κ                |                        |                   | από κατασκευαστή                  |           |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 5  | Απορωφόμενη Ισχύς               | Ραπ                    | HP                | στρεψιόμετρο                      | 0,000     | 0,806 | 0,968 | 1,190 | 1,328 | 1,391 | 1,447 | 1,488 | 1,529 |
| 6  | Μέτρηση ηλεκτρομ.παροχόμετρου   | Qv                     |                   | ηλεκτρομ. Παροχόμ.                |           |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 7  | Μέτρηση παροχόμ. Διαφράγματος   | Q                      |                   |                                   |           | 155   | 623   | 121   | 202   | 251   | 337   | 21,9  | 24,1  |
| 8  | Συντελεστής διαφράγματος        |                        |                   | από πίνακα                        |           | 0,32  | 0,32  | 1,12  | 1,12  | 1,12  | 1,12  |       |       |
| 9  | Πραγματική Παροχή               | Qv                     | m <sup>3</sup> /h | υπολογισμός                       | 0         | 3,98  | 7,99  | 12,32 | 15,92 | 17,74 | 20,56 | 21,90 | 24,10 |
| 10 | Ταχύτητα νερού στην αναρόφηση   | cSv                    | m/sec             | $(Q/3600)^4/(\pi^4 D_s^2)$        | 0         | 0,33  | 0,67  | 1,03  | 1,33  | 1,49  | 1,72  | 1,83  | 2,02  |
| 11 | Ταχύτητα νερού στην κατάθλιψη   | cDv                    | m/sec             | $(Q/3600)^4/(\pi^4 D_d^2)$        | 0         | 0,88  | 1,77  | 2,72  | 3,52  | 3,92  | 4,55  | 4,84  | 5,33  |
| 12 | Μέτρηση κενόμετρου              | Hκεν                   | mΣΥ               | κενόμετρο                         |           | 1,606 | 1,606 | 1,606 | 1,657 | 1,669 | 1,669 | 1,669 | 1,669 |
| 13 | Μέτρηση μανόμετρου              | Hμαν                   | mΣΥ               | μανόμετρο                         | 13,7      | 13,2  | 12,55 | 11    | 9,2   | 8,15  | 6,4   | 5,45  | 3,8   |
| 14 | Διαφορά κινητικής ενέργειας     | $(cDv^2 - cSv^2) / 2g$ | mΣΥ               | υπολογισμός                       | 0         | 0,03  | 0,14  | 0,32  | 0,54  | 0,67  | 0,90  | 1,02  | 1,24  |
| 15 | Γραμμικές Απώλειες              | H <sub>λ</sub>         | mΣΥ               | $\lambda * (L/D) * (cSv^2/2g)$    | 0         | 0,01  | 0,03  | 0,08  | 0,13  | 0,16  | 0,22  | 0,24  | 0,30  |
| 16 | Εντοπισμένες Απώλειες           | H <sub>εντ</sub>       | mΣΥ               | $\zeta * (cSv^2/2g)$              | 0         | 0,00  | 0,01  | 0,03  | 0,05  | 0,06  | 0,08  | 0,09  | 0,10  |
| 17 | Συνολικές Απώλειες              | H <sub>απ</sub>        | mΣΥ               | H <sub>λ</sub> + H <sub>εντ</sub> | 0         | 0,01  | 0,04  | 0,10  | 0,17  | 0,22  | 0,29  | 0,33  | 0,40  |
| 18 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – μανόμ. | z                      | mΣΥ               |                                   | 1,69      | 0,44  | 0,44  | 0,44  | 0,44  | 0,44  | 0,44  | 0,44  | 0,44  |
| 19 | Πραγματικό Ολικό Ύψος           | TDHv                   | mΣΥ               | υπολογισμός                       | 15,39     | 15,29 | 14,78 | 13,47 | 12,01 | 11,15 | 9,70  | 8,91  | 7,55  |
| 20 | Ολικός βαθμός απόδοσης          | η                      |                   |                                   | #ΔΙΑΙΡ/0! | 0,28  | 0,45  | 0,52  | 0,53  | 0,53  | 0,51  | 0,49  | 0,44  |
| 21 | Κανονική παροχή                 | Q <sub>κ</sub>         | m <sup>3</sup> /h | προκύπτει                         |           |       |       |       | 15,2  |       |       |       |       |
| 22 | Κανονικό ύψος                   | H <sub>κ</sub>         | mΣΥ               | προκύπτει                         |           |       |       |       | 12,2  |       |       |       |       |

|        |        |      |
|--------|--------|------|
| Σφάλμα | Παροχή | 2%   |
|        | Πίεση  | 1,5% |
|        | Ισχύς  | 1,5% |





## Μέτρηση NPSHr

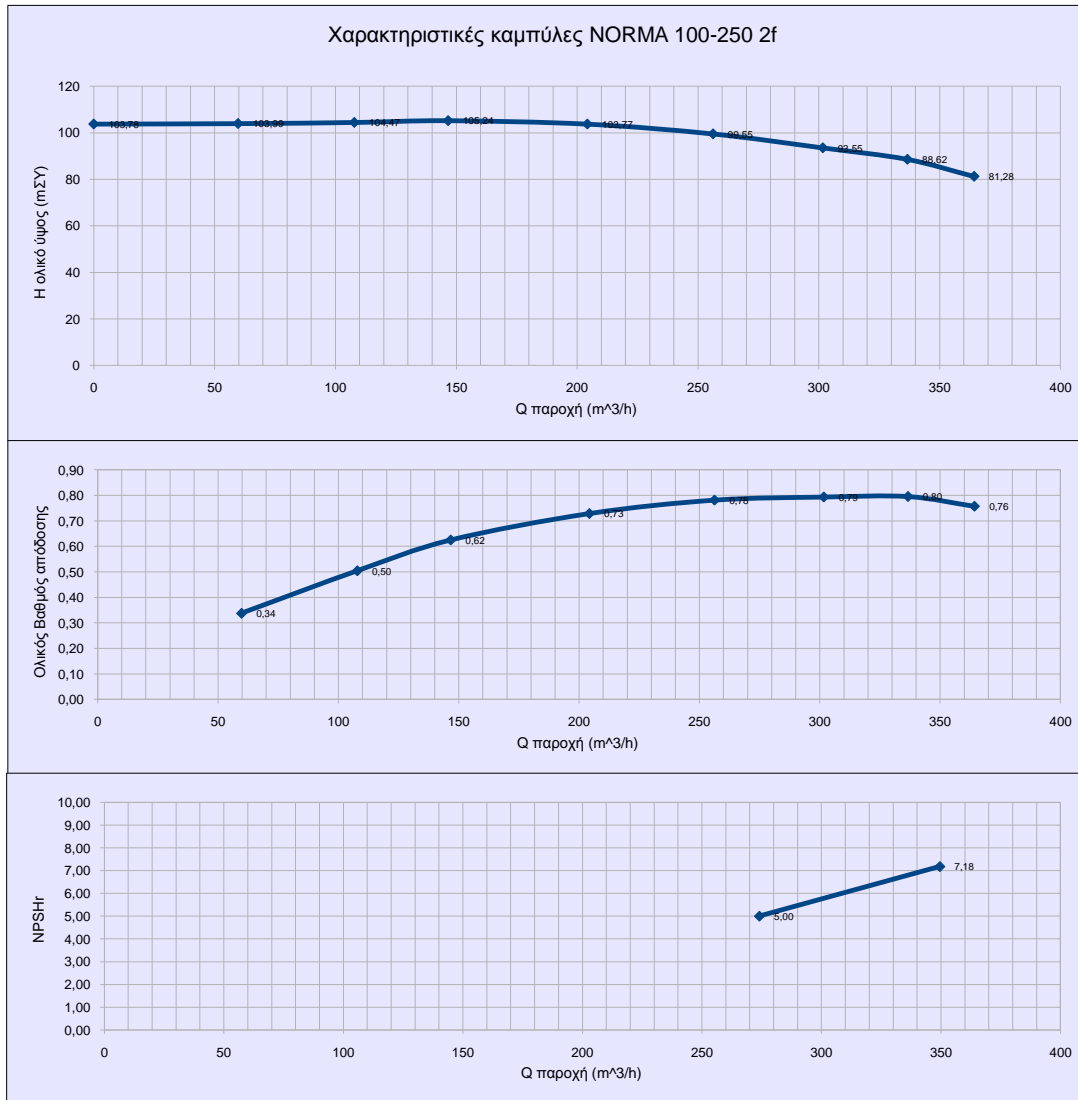
|    |  | A     |       |                      |       |       | B     |       |                      |       |       |
|----|--|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|
|    |  | 1500  |       |                      |       |       | 1500  |       |                      |       |       |
| 1  | Πραγματική Παροχή                      | 23,9  | 23,9  | 23,9                 | 23,9  | 23,9  | 16,44 | 16,44 | 16,44                | 16,44 | 16,44 |
| 2  | Ταχύτητα νερού στην αναρρόφηση         | 2,00  | 2,00  | 2,00                 | 2,00  | 2,00  | 1,38  | 1,38  | 1,38                 | 1,38  | 1,38  |
| 3  | Ταχύτητα νερού στην κατάθλιψη          | 5,29  | 5,29  | 5,29                 | 5,29  | 5,29  | 3,64  | 3,64  | 3,64                 | 3,64  | 3,64  |
| 4  | Μέτρηση κενόμετρου                     | 1,769 | 2,309 | 2,597                | 3,777 | 4,540 | 4,340 | 5,346 | 6,440                | 6,700 | 7,02  |
| 5  | Μέτρηση μανόμετρου                     | 3,8   | 3,45  | 3,2                  | 1,8   | 0,91  | 6,6   | 5,62  | 4,6                  | 4     | 3,58  |
| 6  | Διαφορά κινητικής ενέργειας            | 1,22  | 1,22  | 1,22                 | 1,22  | 1,22  | 0,58  | 0,58  | 0,58                 | 0,58  |       |
| 7  | Γραμμικές Απώλειες                     | 0,29  | 0,29  | 0,29                 | 0,29  | 0,29  | 0,14  | 0,14  | 0,14                 | 0,14  | 0,14  |
| 8  | Εντοπισμένες Απώλειες                  | 0,10  | 0,10  | 0,10                 | 0,10  | 0,10  | 0,05  | 0,05  | 0,05                 | 0,05  | 0,05  |
| 9  | Συνολικές Απώλειες                     | 0,39  | 0,39  | 0,39                 | 0,39  | 0,39  | 0,19  | 0,19  | 0,19                 | 0,19  | 0,19  |
| 10 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – μανόμ         | 0,44  | 0,44  | 0,44                 | 0,44  | 0,44  | 0,44  | 0,44  | 0,44                 | 0,44  | 0,44  |
| 11 | Πραγματικό Ολικό Ύψος                  | 7,62  | 7,81  | 7,85                 | 7,63  | 7,50  | 12,14 | 12,17 | 12,24                | 11,90 | 11,23 |
| 12 | Κινητική ενέργεια στο στ αναρρόφησης   | 0,20  | 0,20  | 0,20                 | 0,20  | 0,20  | 0,10  | 0,10  | 0,10                 | 0,10  | 0,10  |
| 13 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – στομίου αναρ. | 0,44  | 0,44  | 0,44                 | 0,44  | 0,44  | 0,44  | 0,44  | 0,44                 | 0,44  | 0,44  |
| 14 | Γραμ. Απώλειες στην αναρρόφηση         | 0,02  | 0,02  | 0,02                 | 0,02  | 0,02  | 0,01  | 0,01  | 0,01                 | 0,01  | 0,01  |
|    |  | NPSHr | μΣΥ   | Haτμ-Hs-Hκ-Hαπ+Eκs-z |       | 5,00  | NPSHr | μΣΥ   | Haτμ-Hs-Hκ-Hαπ+Eκs-z |       | 2,43  |

|                         |       |       |      |
|-------------------------|-------|-------|------|
| Για χάραξη διαγράμματος | Q     | 16,44 | 23,9 |
|                         | NPSHr | 2,43  | 5,00 |

|                   |                                    |    |       |    |       |       |     |
|-------------------|------------------------------------|----|-------|----|-------|-------|-----|
| ΤΥΠΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ     | NORMA 100-250 2f                   | Ds | DN125 | Dd | DN100 | ζ εντ | 0,5 |
| D <sub>2</sub>    | πλήρης λιμαρισμένη                 |    |       |    |       |       |     |
| Διακινούμενο υγρό | Νερό 20 C<br>1000kg/m <sup>3</sup> |    |       |    |       |       |     |

|    | Μέγεθος                           | Συμβολισμός            | Μον. Μέτρησης     | Όργανο μέτρησης                | 1         | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      |
|----|-----------------------------------|------------------------|-------------------|--------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1  | Ταχύτητα περιστροφής              | Nv                     | rpm               | στροφόμετρο                    | 2990      | 2990   | 2990   | 2990   | 2990   | 2985   | 2985   | 2980   | 2980   |
| 2  | Ένδειξη βατόμετρου                | Pκ                     | kW                | βατόμετρο                      |           |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 3  | Ένδειξη στρεψιόμετρου             |                        |                   | στρεψιόμετρο                   |           | 16,3   | 19,8   | 21,9   | 25,8   | 29     | 31,6   | 33,4   | 34,8   |
| 4  | Βαθμός απόδ. Η/Κ                  |                        |                   | από κατασκευαστή               |           |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 5  | Απορωφόμενη Ισχύς                 | Pαπ                    | HP                | στρεψιόμετρο                   |           | 68,03  | 82,70  | 91,43  | 107,70 | 120,90 | 131,70 | 138,90 | 144,80 |
| 6  | Μέτρηση ηλεκτρομ. παροχόμετρου    | Qv                     |                   | ηλεκτρομ. Παροχόμετ.           | 0,0       | 59,7   | 107,8  | 146,6  | 204,2  | 256,2  | 301,6  | 336,6  | 364,2  |
| 7  | Μέτρηση παροχόμετρου Διαφράγματος | Q                      |                   |                                |           |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 8  | Συντελεστής διαφράγματος          |                        |                   | από πίνακα                     |           |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 9  | Πραγματική Παροχή                 | Qv                     | m <sup>3</sup> /h | μέτρηση                        | 0         | 59,7   | 107,8  | 146,6  | 204,2  | 256,2  | 301,6  | 336,6  | 364,2  |
| 10 | Ταχύτητα νερού στην αναρόφηση     | cSv                    | m/sec             | $(Q/3600)^4/(\pi^2 D_s^2)$     | 0         | 1,35   | 2,44   | 3,32   | 4,62   | 5,80   | 6,83   | 7,62   | 8,25   |
| 11 | Ταχύτητα νερού στην κατάθλιψη     | cDv                    | m/sec             | $(Q/3600)^4/(\pi^2 D_d^2)$     | 0         | 2,11   | 3,81   | 5,19   | 7,23   | 9,07   | 10,67  | 11,91  | 12,89  |
| 12 | Μέτρηση κενόμετρου                | Hκεν                   | mΣΥ               | κενόμετρο                      |           | 1,883  | 2,910  | 2,014  | 2,385  | 3,100  | 3,853  | 4,455  | 5,010  |
| 13 | Μέτρηση μανόμετρου                | Hμαν                   | mΣΥ               | μανόμετρο                      | 102       | 101,5  | 100,5  | 101,3  | 98,3   | 92     | 83,8   | 77     | 68     |
| 14 | Διαφορά κινητικής ενέργειας       | $(cDv^2 - cSv^2) / 2g$ | mΣΥ               | υπολογισμός                    | 0         | 0,13   | 0,44   | 0,81   | 1,57   | 2,47   | 3,43   | 4,27   | 5,00   |
| 15 | Γραμμικές Απώλειες                | H <sub>L</sub>         | mΣΥ               | $\lambda * (L/D) * (cSv^2/2g)$ | 0         | 0,02   | 0,07   | 0,14   | 0,26   | 0,42   | 0,58   | 0,72   | 0,84   |
| 16 | Εντοπισμένες Απώλειες             | Hεντ                   | mΣΥ               | $\zeta * (cSv^2/2g)$           | 0         | 0,05   | 0,15   | 0,28   | 0,55   | 0,86   | 1,19   | 1,48   | 1,73   |
| 17 | Συνολικές Απώλειες                | Hαπ                    | mΣΥ               | H <sub>L</sub> + Hεντ          | 0         | 0,07   | 0,23   | 0,42   | 0,81   | 1,28   | 1,77   | 2,20   | 2,58   |
| 18 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. - μονόμ.   | z                      | mΣΥ               |                                | 1,78      | 0,4    | 0,4    | 0,7    | 0,7    | 0,7    | 0,7    | 0,7    | 0,7    |
| 19 | Πραγματικό Ολικό Ύψος             | TDHv                   | mΣΥ               | υπολογισμός                    | 103,78    | 103,99 | 104,47 | 105,24 | 103,77 | 99,55  | 93,55  | 88,62  | 81,28  |
| 20 | Ολικός βαθμός απόδοσης            | η                      |                   |                                | #ΔΙΑΙΡ/0! | 0,34   | 0,50   | 0,62   | 0,73   | 0,78   | 0,79   | 0,80   | 0,76   |
| 21 | Κανονική παροχή                   | Qκ                     | m <sup>3</sup> /h | προκύπτει                      |           |        |        |        |        |        | 295    |        |        |
| 22 | Κανονικό ύψος                     | Hκ                     | mΣΥ               | προκύπτει                      |           |        |        |        |        |        | 95     |        |        |

|        |        |      |
|--------|--------|------|
| Σφάλμα | Παροχή | 2%   |
|        | Πίεση  | 1,5% |
|        | Ισχύς  | 1,5% |



## Μέτρηση NPSHr

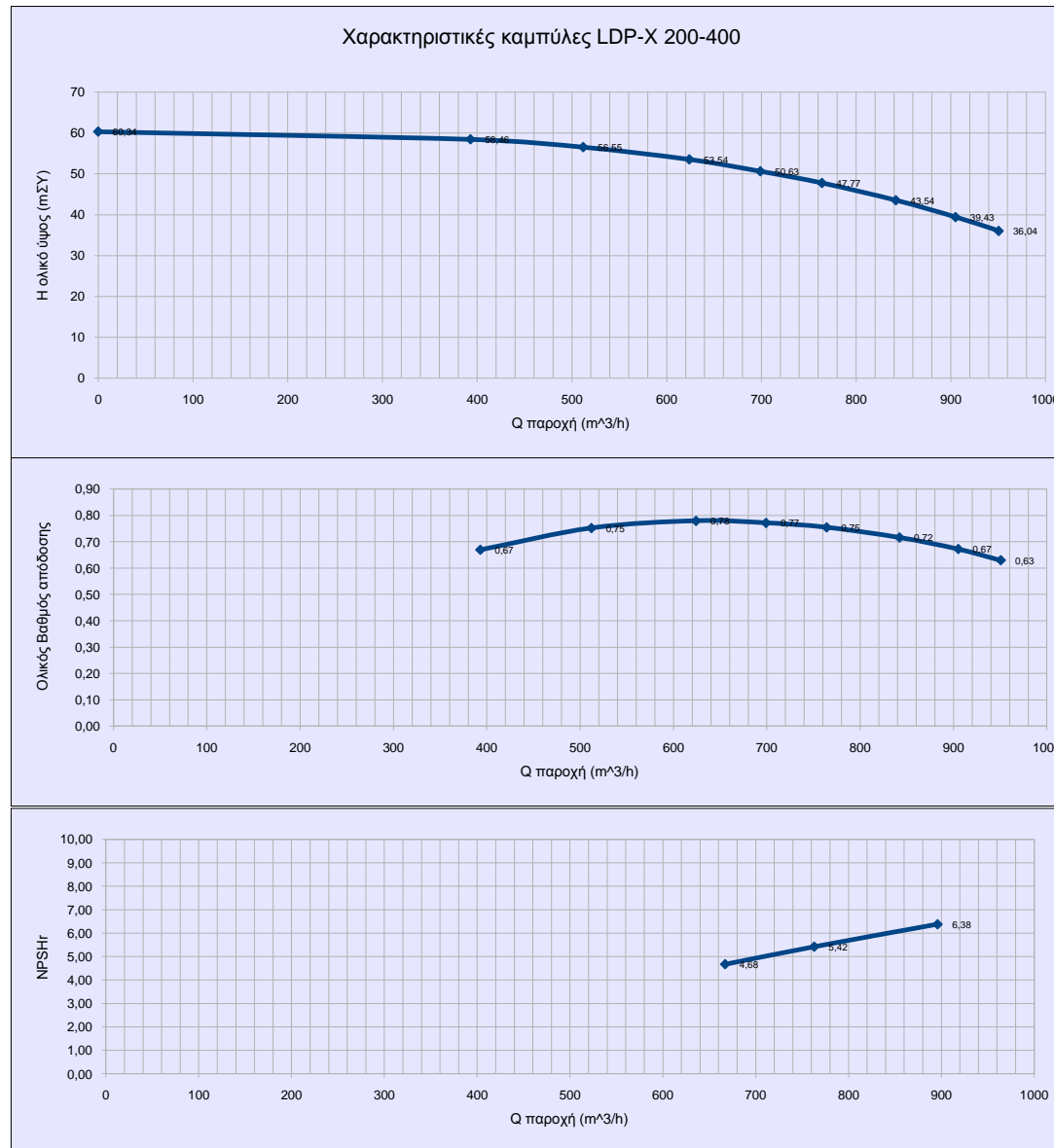
|    |  | A     |       |                          |       |      | B     |       |                          |  |      |
|----|--|-------|-------|--------------------------|-------|------|-------|-------|--------------------------|--|------|
|    |  | 2990  |       |                          |       |      | 2990  |       |                          |  |      |
| 1  | Πραγματική Παροχή                      | 274   | 274   | 274                      | 274   |      | 349,5 | 349,5 |                          |  |      |
| 2  | Ταχύτητα νερού στην αναρόφηση          | 6,21  | 6,21  | 6,21                     | 6,21  |      | 7,92  | 7,92  |                          |  |      |
| 3  | Ταχύτητα νερού στην κατάθλιψη          | 9,70  | 9,70  | 9,70                     | 9,70  |      | 12,37 | 12,37 |                          |  |      |
| 4  | Μέτρηση κενόμετρου                     | 4,78  | 5,65  | 6,124                    | 6,64  |      | 4,71  | 5,62  |                          |  |      |
| 5  | Μέτρηση μανόμετρου                     | 87    | 84,5  | 84                       | 82,3  |      | 72,5  | 69,1  |                          |  |      |
| 6  | Διαφορά κινητικής ενέργειας            | 2,83  | 2,83  | 2,83                     | 2,83  |      | 4,60  | 4,60  |                          |  |      |
| 7  | Γραμμικές Απώλειες                     | 0,48  | 0,48  | 0,48                     | 0,48  |      | 0,78  | 0,78  |                          |  |      |
| 8  | Εντοπισμένες Απώλειες                  | 0,98  | 0,98  | 0,98                     | 0,98  |      | 1,60  | 1,60  |                          |  |      |
| 9  | Συνολικές Απώλειες                     | 1,46  | 1,46  | 1,46                     | 1,46  |      | 2,37  | 2,37  |                          |  |      |
| 10 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – μανόμ         | 0,7   | 0,7   | 0,7                      | 0,7   |      | 0,7   | 0,7   |                          |  |      |
| 11 | Πραγματικό Ολικό Ύψος                  | 96,77 | 95,14 | 95,11                    | 93,93 |      | 84,88 | 82,40 |                          |  |      |
| 12 | Κινητική ενέργεια στο στ αναρρόφησης   | 1,96  | 1,96  | 1,96                     | 1,96  |      | 3,19  | 3,19  |                          |  |      |
| 13 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – στομίου αναρ. | 0     | 0     | 0                        | 0     |      | 0     | 0     |                          |  |      |
| 14 | Γραμ. Απώλειες στην αναρρόφηση         | 0,12  | 0,12  | 0,12                     | 0,12  |      | 0,19  | 0,19  |                          |  |      |
|    |  | NPSHr | μΣΥ   | Haπμ-Hs-Hκ-<br>Haπ+Eκs.z |       | 5,00 | NPSHr | μΣΥ   | Haπμ-Hs-Hκ-<br>Haπ+Eκs.z |  | 7,18 |

|                         |       |      |       |
|-------------------------|-------|------|-------|
| Για χάραξη διαγράμματος | Q     | 274  | 349,5 |
|                         | NPSHr | 5,00 | 7,18  |

|                   |                                    |    |       |    |       |         |       |
|-------------------|------------------------------------|----|-------|----|-------|---------|-------|
| ΤΥΠΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ     | LDP-X 200-400                      | Ds | DN250 | Dd | DN200 | ζ κώνου | 0,035 |
| D <sub>2</sub>    | πλήρης                             |    |       |    |       |         |       |
| Διακινούμενο υγρό | Νερό 20 C<br>1000kg/m <sup>3</sup> |    |       |    |       |         |       |

|    | Μέγεθος                         | Συμβολισμός            | Μον. Μέτρησης     | Όργανο μέτρησης                   | 1         | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      |
|----|---------------------------------|------------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1  | Ταχύτητα περιστροφής            | Nv                     | rpm               | στροφόμετρο                       |           | 1492   | 1492   | 1491   | 1491   | 1489   | 1489   | 1489   | 1489   |
| 2  | Ένδειξη βατόμετρου              | Pκ                     | kW                | βατόμετρο                         |           |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 3  | Ένδειξη στρεψιόμετρου           |                        |                   | στρεψιόμετρο                      |           | 617    | 692    | 771    | 825    | 871    | 922    | 956    | 980    |
| 4  | Βαθμός απόδ. Η/Κ                |                        |                   | από κατασκευαστή                  |           |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 5  | Απορωφόμενη Ισχύς               | Ραπ                    | HP                | στρεψιόμετρο                      |           | 127,14 | 142,59 | 158,76 | 169,88 | 179,11 | 189,60 | 196,59 | 201,53 |
| 6  | Μέτρηση ηλεκτρομ.παροχόμετρου   | Qv                     |                   | ηλεκτρομ. Παροχόμ.                | 0,0       | 393,0  | 512,0  | 624,0  | 699,0  | 764,0  | 842,0  | 905,0  | 950,5  |
| 7  | Μέτρηση παροχόμ. Διαφράγματος   | Q                      |                   |                                   |           |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 8  | Συντελεστής διαφράγματος        |                        |                   | από πίνακα                        |           |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 9  | Πραγματική Παροχή               | Qv                     | m <sup>3</sup> /h | μέτρηση                           | 0         | 393    | 512    | 624    | 699    | 764    | 842    | 905    | 950,5  |
| 10 | Ταχύτητα νερού στην αναρόφηση   | cSv                    | m/sec             | $(Q/3600)^4/(\pi^2 D_s^4)$        | 0         | 2,23   | 2,90   | 3,53   | 3,96   | 4,33   | 4,77   | 5,12   | 5,38   |
| 11 | Ταχύτητα νερού στην κατάθλιψη   | cDv                    | m/sec             | $(Q/3600)^4/(\pi^2 D_d^4)$        | 0         | 6,18   | 8,05   | 9,81   | 10,99  | 12,02  | 13,24  | 14,23  | 14,95  |
| 12 | Μέτρηση κενόμετρου              | Hκεν                   | mΣΥ               | κενόμετρο                         |           | 1,293  | 1,632  | 2,033  | 2,385  | 2,636  | 3,037  | 3,350  | 3,610  |
| 13 | Μέτρηση μανόμετρου              | Hμαν                   | mΣΥ               | μανόμετρο                         | 59,7      | 54,6   | 51     | 46     | 41,5   | 37,2   | 31     | 25,2   | 20,5   |
| 14 | Διαφορά κινητικής ενέργειας     | $(cDv^2 - cSv^2) / 2g$ | mΣΥ               | υπολογισμός                       | 0         | 1,69   | 2,88   | 4,27   | 5,36   | 6,40   | 7,78   | 8,99   | 9,91   |
| 15 | Γραμμικές Απώλειες              | H <sub>L</sub>         | mΣΥ               | $\lambda * (L/D) * (cSv^2/2g)$    | 0         | 0,21   | 0,36   | 0,54   | 0,68   | 0,81   | 0,98   | 1,13   | 1,25   |
| 16 | Εντοπισμένες Απώλειες           | H <sub>εντ</sub>       | mΣΥ               | $\zeta * (cSv^2/2g)$              | 0         | 0,02   | 0,04   | 0,05   | 0,07   | 0,08   | 0,10   | 0,11   | 0,13   |
| 17 | Συνολικές Απώλειες              | H <sub>απ</sub>        | mΣΥ               | H <sub>L</sub> + H <sub>εντ</sub> | 0         | 0,235  | 0,400  | 0,593  | 0,745  | 0,890  | 1,081  | 1,248  | 1,377  |
| 18 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – μανόμ. | z                      | mΣΥ               |                                   | 0,64      | 0,64   | 0,64   | 0,64   | 0,64   | 0,64   | 0,64   | 0,64   | 0,64   |
| 19 | Πραγματικό Ολικό Ύψος           | TDHv                   | mΣΥ               | υπολογισμός                       | 60,34     | 58,46  | 56,55  | 53,54  | 50,63  | 47,77  | 43,54  | 39,43  | 36,04  |
| 20 | Ολικός βαθμός απόδοσης          | η                      |                   |                                   | #ΔΙΑΙΡ/0! | 0,67   | 0,75   | 0,78   | 0,77   | 0,75   | 0,72   | 0,67   | 0,63   |
| 21 | Κανονική παροχή                 | Qκ                     | m <sup>3</sup> /h | προκύπτει                         |           |        |        | 630    |        |        |        |        |        |
| 22 | Κανονικό ύψος                   | Hκ                     | mΣΥ               | προκύπτει                         |           |        |        | 53     |        |        |        |        |        |

|        |        |      |
|--------|--------|------|
| Σφάλμα | Παροχή | 2%   |
|        | Πίεση  | 1,5% |
|        | Ισχύς  | 1,5% |



LDP-X 200-400



## Μέτρηση NPSHr

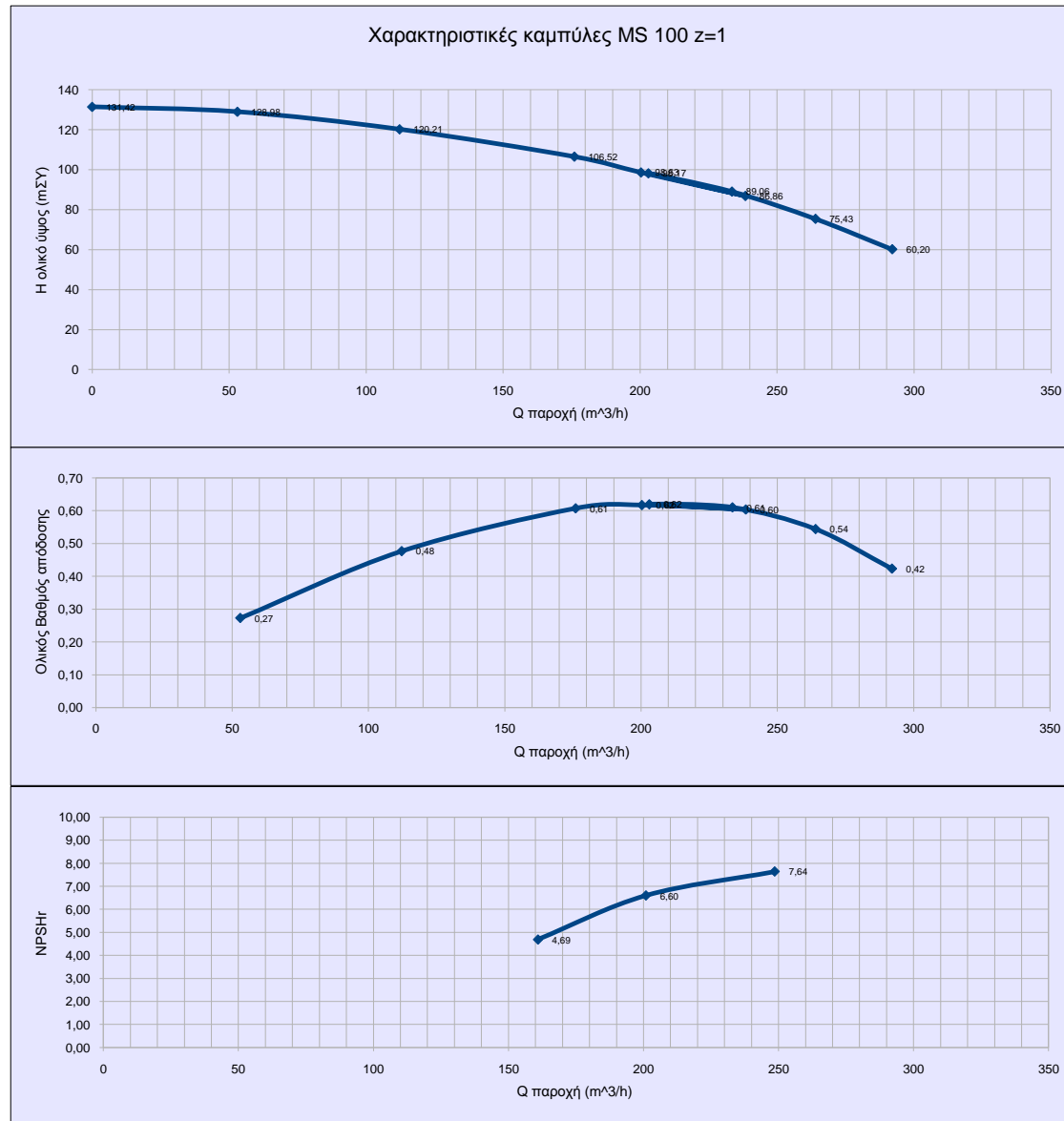
|    |  | A     |       |                     |      | B     |       |                     |      | Γ     |       |                     |      |
|----|--|-------|-------|---------------------|------|-------|-------|---------------------|------|-------|-------|---------------------|------|
|    |  | 1500  |       |                     |      | 1500  |       |                     |      | 1500  |       |                     |      |
| 1  | Πραγματική Παροχή                      | 896   | 896   | 896                 |      | 763   | 763   | 763                 |      | 667   | 667   | 667                 |      |
| 2  | Ταχύτητα νερού στην αναρόφηση          | 5,07  | 5,07  | 5,07                |      | 4,32  | 4,32  | 4,32                |      | 3,78  | 3,78  | 3,78                |      |
| 3  | Ταχύτητα νερού στην κατάθλιψη          | 14,09 | 14,09 | 14,09               |      | 12,00 | 12,00 | 12,00               |      | 10,49 | 10,49 | 10,49               |      |
| 4  | Μέτρηση κενόμετρου                     | 3,14  | 3,94  | 4,69                |      | 4,00  | 5,30  | 5,51                |      | 5,26  | 5,66  | 5,83                |      |
| 5  | Μέτρηση μανόμετρου                     | 26,2  | 25    | 23,5                |      | 35,5  | 33,7  | 32,5                |      | 40    | 39,1  | 37,9                |      |
| 6  | Διαφορά κινητικής ενέργειας            | 8,81  | 8,81  | 8,81                |      | 6,39  | 6,39  | 6,39                |      | 4,88  | 4,88  | 4,88                |      |
| 7  | Γραμμικές Απώλειες                     | 1,11  | 1,11  | 1,11                |      | 0,81  | 0,81  | 0,81                |      | 0,62  | 0,62  | 0,62                |      |
| 8  | Εντοπισμένες Απώλειες                  | 0,11  | 0,11  | 0,11                |      | 0,08  | 0,08  | 0,08                |      | 0,06  | 0,06  | 0,06                |      |
| 9  | Συνολικές Απώλειες                     | 1,22  | 1,22  | 1,22                |      | 0,89  | 0,89  | 0,89                |      | 0,68  | 0,68  | 0,68                |      |
| 10 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – μανόμ         | 0,64  | 0,64  | 0,64                |      | 0,64  | 0,64  | 0,64                |      | 0,64  | 0,64  | 0,64                |      |
| 11 | Πραγματικό Ολικό Ύψος                  | 40,01 | 39,61 | 38,86               |      | 47,42 | 46,92 | 45,93               |      | 51,46 | 50,96 | 49,93               |      |
| 12 | Κινητική ενέργεια στο στ αναρρόφησης   | 1,31  | 1,31  | 1,31                |      | 0,95  | 0,95  | 0,95                |      | 0,73  | 0,73  | 0,73                |      |
| 13 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – στομίου αναρ. | 0     | 0     | 0                   |      | 0     | 0     | 0                   |      | 0     | 0     | 0                   |      |
| 14 | Γραμ. Απώλειες στην αναρρόφηση         | 0,04  | 0,04  | 0,04                |      | 0,03  | 0,03  | 0,03                |      | 0,02  | 0,02  | 0,02                |      |
|    |  | NPSHr | μΣΥ   | Haμ-Hs-Hk-Haπ+EKs-Z | 6,38 | NPSHr | μΣΥ   | Haμ-Hs-Hk-Haπ+EKs-Z | 5,42 | NPSHr | μΣΥ   | Haμ-Hs-Hk-Haπ+EKs-Z | 4,68 |

|                         |       |      |      |      |
|-------------------------|-------|------|------|------|
| Για χάραξη διαγράμματος | Q     | 667  | 763  | 896  |
|                         | NPSHr | 4,68 | 5,42 | 6,38 |

|                   |                                    |    |       |    |       |       |       |
|-------------------|------------------------------------|----|-------|----|-------|-------|-------|
| ΤΥΠΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ     | MS 100 z=1                         | Ds | DN125 | Dd | DN100 | ζ εντ | 0,000 |
| D <sub>2</sub>    | πλήρης                             |    |       |    |       |       |       |
| Διακινούμενο υγρό | Νερό 20 C<br>1000kg/m <sup>3</sup> |    |       |    |       |       |       |

|    | Μέγεθος                         | Συμβολισμός            | Μον. Μέτρησης     | Όργανο μέτρησης                | 1         | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |
|----|---------------------------------|------------------------|-------------------|--------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1  | Ταχύτητα περιστροφής            | Nv                     | rpm               | στροφόμετρο                    |           | 2990   | 2990   | 2990   | 2990   | 2985   | 2985   | 2985   | 2980   | 2980   |
| 2  | Ένδειξη βατόμετρου              | Pκ                     | kW                | βατόμετρο                      |           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 3  | Ένδειξη στρεψιόμετρου           |                        |                   | στρεψιόμετρο                   |           | 22,2   | 25,1   | 27,4   | 28,4   | 30,5   | 28,6   | 30,3   | 32,6   | 37     |
| 4  | Βαθμός απόδ. Η/Κ                |                        |                   | από κατασκευαστή               |           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 5  | Απορωφόμενη Ισχύς               | Ραπ                    | HP                | στρεψιόμετρο                   |           | 92,70  | 104,80 | 114,40 | 118,60 | 127,10 | 119,20 | 126,30 | 135,60 | 153,80 |
| 6  | Μέτρηση ηλεκτρομ. Παροχόμετρου  | Qv                     | m <sup>3</sup> /h | ηλεκτρομ. Παροχόμ.             | 0,0       | 53,0   | 112,2  | 176,0  | 200,3  | 238,4  | 203,0  | 233,5  | 264,0  | 292,0  |
| 7  | Μέτρηση παροχόμ. Διαφράγματος   | Q                      |                   |                                |           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 8  | Συντελεστής διαφράγματος        |                        |                   | από πίνακα                     |           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 9  | Πραγματική Παροχή               | Qv                     | m <sup>3</sup> /h | μέτρηση                        | 0         | 53     | 112,2  | 176    | 200,3  | 238,4  | 203    | 233,5  | 264    | 292    |
| 10 | Ταχύτητα νερού στην αναρόφηση   | cSv                    | m/sec             | $(Q/3600)*4/(\pi*D_s^2)$       | 0         | 1,20   | 2,54   | 3,99   | 4,54   | 5,40   | 4,60   | 5,29   | 5,98   | 6,61   |
| 11 | Ταχύτητα νερού στην κατάθλιψη   | cDv                    | m/sec             | $(Q/3600)*4/(\pi*D_d^2)$       | 0         | 1,88   | 3,97   | 6,23   | 7,09   | 8,44   | 7,18   | 8,26   | 9,34   | 10,33  |
| 12 | Μέτρηση κενόμετρου              | Hκεν                   | mΣΥ               | κενόμετρο                      | 2,21      | 0,680  | 0,680  | 0,680  | 0,680  | 0,680  | 0,680  | 0,680  | 0,680  | 0,680  |
| 13 | Μέτρηση μανόμετρου              | Hμαν                   | mΣΥ               | μανόμετρο                      | 127       | 127,5  | 118,3  | 103,8  | 95,5   | 83     | 95     | 85,3   | 71     | 58,3   |
| 14 | Διαφορά κινητικής ενέργειας     | $(cDv^2 - cSv^2) / 2g$ | mΣΥ               | υπολογισμός                    | 0         | 0,11   | 0,47   | 1,17   | 1,51   | 2,14   | 1,55   | 2,05   | 2,63   |        |
| 15 | Γραμμικές Απώλειες              | H <sub>L</sub>         | mΣΥ               | $\lambda * (L/D) * (cSv^2/2g)$ | 0         | 0,02   | 0,08   | 0,20   | 0,25   | 0,36   | 0,26   | 0,35   | 0,44   | 0,54   |
| 16 | Εντοπισμένες Απώλειες           | Hεντ                   | mΣΥ               | $\zeta * (cSv^2/2g)$           | 0         | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| 17 | Συνολικές Απώλειες              | Hαπ                    | mΣΥ               | H <sub>L</sub> + Hεντ          | 0         | 0,02   | 0,08   | 0,20   | 0,25   | 0,36   | 0,26   | 0,35   | 0,44   | 0,54   |
| 18 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – μανόμ. | z                      | mΣΥ               |                                | 2,21      | 0,68   | 0,68   | 0,68   | 0,68   | 0,68   | 0,68   | 0,68   | 0,68   | 0,68   |
| 19 | Πραγματικό Ολικό Ύψος           | TDHv                   | mΣΥ               | υπολογισμός                    | 131,42    | 128,98 | 120,21 | 106,52 | 98,63  | 86,86  | 98,17  | 89,06  | 75,43  | 60,20  |
| 20 | Ολικός βαθμός απόδοσης          | η                      |                   |                                | #ΔΙΑΙΡ/0! | 0,27   | 0,48   | 0,61   | 0,62   | 0,60   | 0,62   | 0,61   | 0,54   | 0,42   |
| 21 | Κανονική παροχή                 | Qκ                     | m <sup>3</sup> /h | προκύπτει                      |           |        |        |        | 200,3  |        |        |        |        |        |
| 22 | Κανονικό ύψος                   | Hκ                     | mΣΥ               | προκύπτει                      |           |        |        |        | 98,63  |        |        |        |        |        |

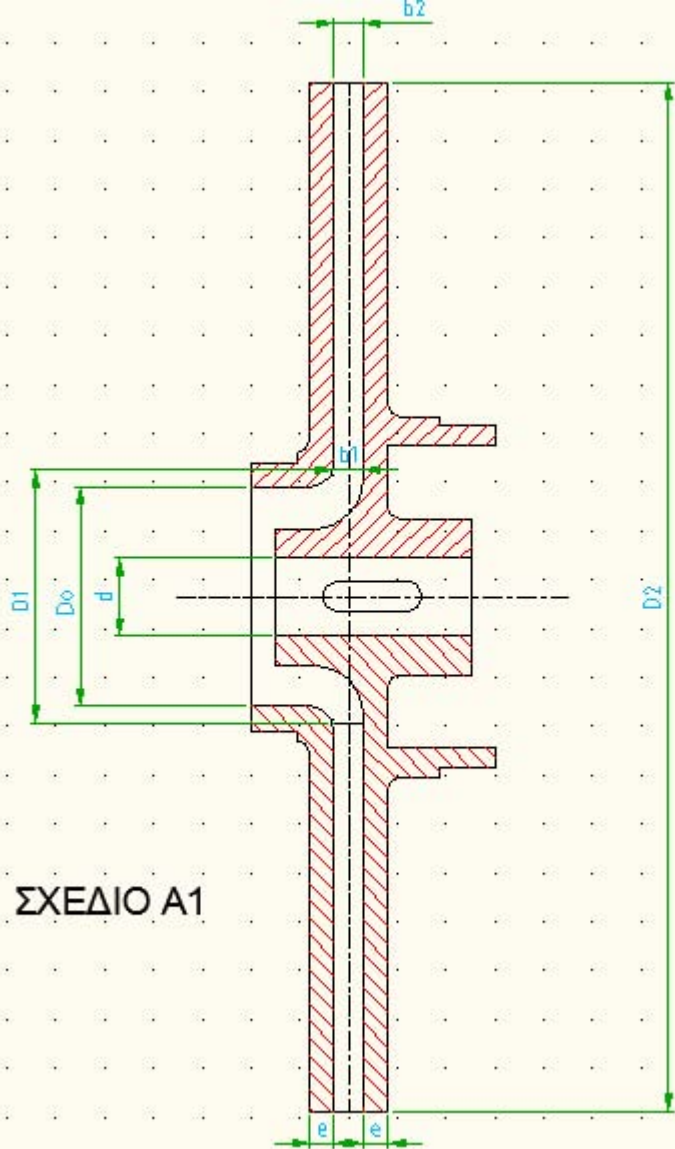
|        |        |      |
|--------|--------|------|
| Σφάλμα | Παροχή | 2%   |
|        | Πίεση  | 1,5% |
|        | Ισχύς  | 1,5% |



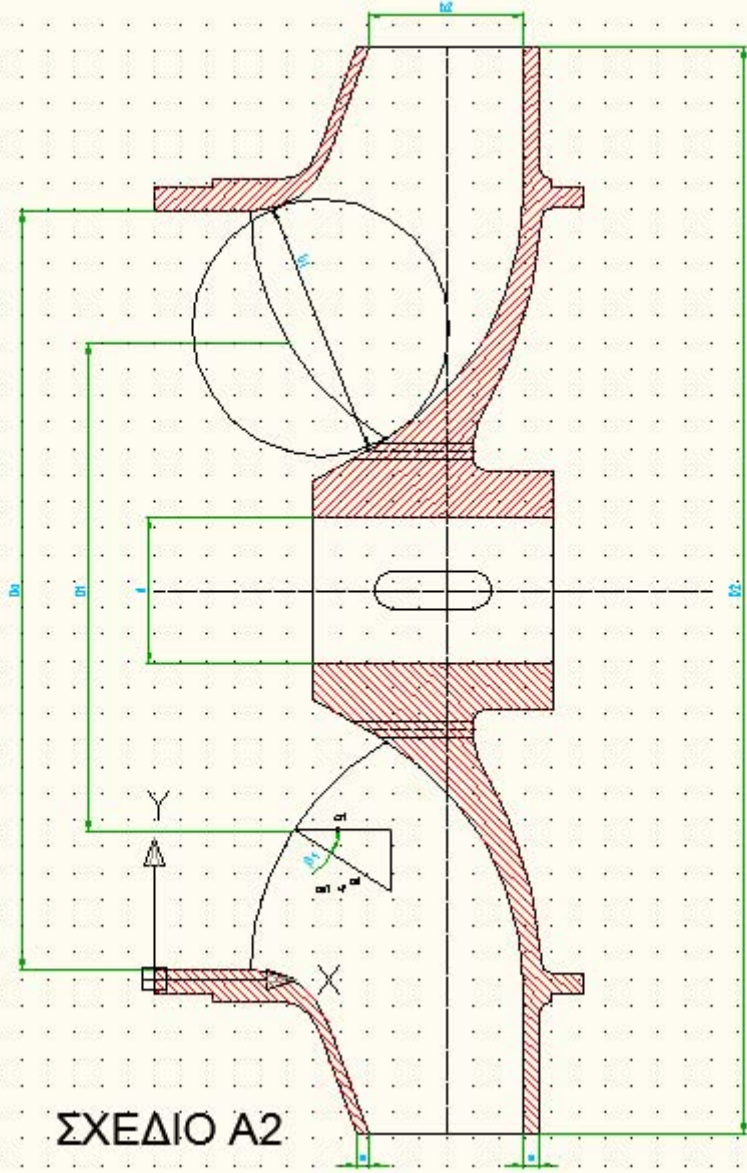
## Μέτρηση NPSHr

|    |  | A     |       |                      |      | B     |       |                      |      | Γ      |        |                      |      |
|----|--|-------|-------|----------------------|------|-------|-------|----------------------|------|--------|--------|----------------------|------|
|    |  | 2980  |       |                      |      | 2990  |       |                      |      | 2990   |        |                      |      |
| 1  | Πραγματική Παροχή                      | 248,6 | 248,6 | 248,6                |      | 200,9 | 200,9 | 200,9                |      | 160,9  | 160,9  |                      |      |
| 2  | Ταχύτητα νερού στην αναρρόφηση         | 5,63  | 5,63  | 5,63                 |      | 4,55  | 4,55  | 4,55                 |      | 3,64   | 3,64   |                      |      |
| 3  | Ταχύτητα νερού στην κατάθλιψη          | 8,80  | 8,80  | 8,80                 |      | 7,11  | 7,11  | 7,11                 |      | 5,69   | 5,69   |                      |      |
| 4  | Μέτρηση κενόμετρου                     | 3,09  | 3,539 | 3,68                 |      | 3,18  | 4,19  | 4,85                 |      | 4,54   | 5,75   |                      |      |
| 5  | Μέτρηση μανόμετρου                     | 80    | 78,3  | 76,7                 |      | 94    | 92    | 89,4                 |      | 103,4  | 98,9   |                      |      |
| 6  | Διαφορά κινητικής ενέργειας            | 2,33  | 2,33  | 2,33                 |      | 1,52  | 1,52  | 1,52                 |      | 0,98   | 0,98   |                      |      |
| 7  | Γραμμικές Απώλειες                     | 0,39  | 0,39  | 0,39                 |      | 0,26  | 0,26  | 0,26                 |      | 0,16   | 0,16   |                      |      |
| 8  | Εντοπισμένες Απώλειες                  | 0     | 0     | 0                    |      | 0     | 0     | 0                    |      | 0      | 0      |                      |      |
| 9  | Συνολικές Απώλειες                     | 0,39  | 0,39  | 0,39                 |      | 0,26  | 0,26  | 0,26                 |      | 0,16   | 0,16   |                      |      |
| 10 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – μανόμ         | 0,68  | 0,68  | 0,68                 |      | 0,68  | 0,68  | 0,68                 |      | 0,68   | 0,68   |                      |      |
| 11 | Πραγματικό Ολικό Ύψος                  | 86,49 | 85,24 | 83,78                |      | 99,63 | 98,65 | 96,71                |      | 109,76 | 106,47 |                      |      |
| 12 | Κινητική ενέργεια στο στ αναρρόφησης   | 1,62  | 1,62  | 1,62                 |      | 1,06  | 1,06  | 1,06                 |      | 0,68   | 0,68   |                      |      |
| 13 | Γεωδαιτικό ύψος κενόμ. – στομίου αναρ. | 0     | 0     | 0                    |      | 0     | 0     | 0                    |      | 0      | 0      |                      |      |
| 14 | Γραμ. Απώλειες στην αναρρόφηση         | 0,10  | 0,10  | 0,10                 |      | 0,06  | 0,06  | 0,06                 |      | 0,04   | 0,04   |                      |      |
|    |  | NPSHr | μΣΥ   | Haπμ-Hs-Hκ-Haπ+Eκs.z | 7,64 | NPSHr | μΣΥ   | Haπμ-Hs-Hκ-Haπ+Eκs.z | 6,60 | NPSHr  | μΣΥ    | Haπμ-Hs-Hκ-Haπ+Eκs.z | 4,69 |

|                         |       |       |       |       |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Για χάραξη διαγράμματος | Q     | 160,9 | 200,9 | 248,6 |
|                         | NPSHr | 4,69  | 6,60  | 7,64  |



ΣΧΕΔΙΟ Α1



ΣΧΕΔΙΟ Α2

