



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ  
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΡΕΥΣΤΩΝ &  
ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

Τμήμα  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Σχολή Τεχνολογικών  
Εφαρμογών

**ΤΕΙ ΑΘΗΝΑΣ**

Εργαστηριακές  
Ασκήσεις  
Υδροδυναμικών  
Μηχανών

Άσκηση 6η

**ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΣ  
ΑΝΤΛΙΑ**

**&**

**ΣΠΗΛΑΙΩΣΗ**

*ΑΘΗΝΑ Δεκέμβριος 2011*

## **Γενικά – Σκοπός της άσκησης:**

Εμβολοφόροι αντλίες υπάρχουν διαφόρων τύπων, όπως με ένα κύλινδρο ή με πολλούς κυλίνδρους, με συμπίεση στη μία διαδρομή του εμβόλου ή και στις δύο. Έχουν αρκετά ευρεία χρήση σε τομείς ανάλογους με το τύπο της αντλίας.

Ο τύπος της αντλίας με την οποία θα ασχοληθούμε είναι ενός κυλίνδρου και διπλής ενεργείας. Δηλαδή το έμβολο δημιουργεί συμπίεση και στις δύο κατευθύνσεις της διαδρομής του. Χρησιμοποιείται κυρίως για την άντληση ύδατος για οικιακές ανάγκες.

Ο σκοπός της άσκησης είναι η εξοικείωση με τη χρήση της εμβολοφόρου αντλίας και η μελέτη της λειτουργίας της, δηλαδή η διαπίστωση του πώς μεταβάλλονται τα στοιχεία της αντλίας κάτω από διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας.

## **Περιγραφή της συσκευής:**

Η αντλία της συσκευής είναι εμβολοφόρος ενός κυλίνδρου και διπλής ενεργείας. Μέσω ενός οδοντωτού μάντα κινείται από έναν ηλεκτροκινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος δύο ταχυτήτων.

Ο ηλεκτροκινητήρας είναι εφοδιασμένος με ένα βαθμολογημένο ελατήριο για τη μέτρηση της ροπής στρέψεως που δημιουργεί κατά τη κίνηση της αντλίας καθώς και με ένα στροφόμετρο.

Η αντλία παίρνει νερό από μια δεξαμενή ύδατος μέσω ενός σωλήνος που ελέγχεται από μια βάνα. Το νερό, αφού περάσει από την αντλία, έρχεται στο σωλήνα εξόδου που επίσης ελέγχεται από μια βάνα. Στη συνέχεια περνά από ένα μετρητή παροχής και επιστρέφει στη δεξαμενή. Έτσι, κλείνει το κύκλωμα κυκλοφορίας του νερού.

Υπάρχουν μανόμετρα πίεσεως στην είσοδο και στην έξοδο της αντλίας.

Η αντλία επίσης είναι εφοδιασμένη με ένα κλειστό δοχείο αέρος στην έξοδο. Σκοπός του δοχείου είναι η εξομάλυνση της ροής του νερού.

Τέλος, πάνω στο κάλυμμα του κυλίνδρου μπορεί να συνδεθεί ένα καταγραφικό στο οποίο καταγράφεται η μεταβολή της πίεσεως μέσα στο κύλινδρο. Το καταγραφικό κινείται με τη βοήθεια ενός σχοινού από μια ακίδα που ακολουθεί τη κίνηση του εμβόλου.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μερών της συσκευής, είναι τα εξής:

-Αντλία:

Διάμετρος Κυλίνδρου	44,5 mm
Διάμετρος Διωστήρα Εμβόλου	11,1 mm
Διαδρομή Εμβόλου	41,3 mm
Εκτοπιζόμενος όγκος ανά πλήρη διαδρομή	0,1245 lit/στρ.
Μέγιστη Πίεση Εξόδου	600 kPa
Μέγιστη Παροχή	27 lit/min

-Ηλεκτροκινητήρας (Α.Σ. δύο ταχυτήτων):

Ονομαστική Ισχύς	0,75 KW
Ονομαστικές Ταχύτητες	50Hz - 750/1500 στρ./min 60Hz - 900/1800 στρ./min

-Λόγος Ταχυτήτων κινητήρα-αντλίας:

50Hz – 6:1  
60Hz – 20:3

-Μήκος Βραχίονα Ροπομέτρου:

179mm

-Σταθερά ισχύος ροπομέτρου:

K= 53,35

### Πειραματική διαδικασία:

Αν  $P_1$  και  $P_2$  είναι οι πιέσεις στην είσοδο και την έξοδο της αντλίας και  $Q$  η παροχή κατ'όγκον τότε η ισχύς που παρέχει η αντλία στο νερό  $N_{EΞ}$  είναι:

$$N_{EΞ} = (P_2 - P_1) \cdot Q$$

Επίσης, η ισχύς που εισέρχεται στην αντλία, δηλαδή η ισχύς που παρέχει ο ηλεκτροκινητήρας στην αντλία  $N_{EΙΣ}$  είναι:

$$N_{EΙΣ} = (F \cdot n_k) / K$$

Όπου:

$F$  = Η δύναμη του ελατηρίου του ροπομέτρου και

$n_k$  = Ο αριθμός των στροφών του κινητήρα ανα λεπτό

Ο βαθμός απόσης της αντλίας  $n$  είναι:

$$n = N_{EΞ} / N_{EΙΣ}$$

Η ενδεικτική ισχύς της αντλίας (που προκύπτει από τη μέση πίεση  $P_3$  του καταγραφικού) είναι :

$$N_{EΝΔ} = (P_3 \cdot V \cdot n_A) / 60$$

Όπου:

$V$  = Εκτοπιζόμενος όγκος ανα περιστροφή και

$n_A$  = Αριθμός στροφών (παλινδρομήσεων) της αντλίας ανα λεπτό

Ο Μηχανικός Βαθμός Απόδοσης είναι:

$$n_M = N_{EΝΔ} / N_{EΙΣ}$$

και ο Ογκομετρικός Βαθμός Απόδοσης:

$$n_V = (60 \cdot Q) / (V \cdot n_A)$$

Έχοντας υπ' όψιν τα προηγούμενα θεωρητικά δεδομένα μπορούμε να προχωρήσουμε στις μετρήσεις για την λήψη των χαρακτηριστικών της αντλίας. Οι χαρακτηριστικές αυτές είναι της παροχής της ισχύος, των βαθμών αποδόσεως συναρτήσει της πίεσεως  $P_2 - P_1$  ή της πίεσεως  $P_2 - P_1$ , της ισχύος, των βαθμών απόδοσης συναρτήσει της παροχής.

Πρίν απο την εκκίνηση της αντλίας ελέγχουμε τις βάνες εισόδου και εξόδου ώστε να είναι ανοιχτές. Εκκινούμε τον ηλεκτροκινητήρα στις χαμηλές στροφές και τον αφήνουμε να εργασθεί εκεί για λίγο, ώστε να πάψει να φεύγει αέρας από την αντλία. Στη συνέχεια μπορούμε να τον λειτουργήσουμε στις στροφές που επιθυμούμε.

Για να πάρουμε τις επιθυμητές καμπύλες, θα πρέπει να μετρήσουμε τα στοιχεία της αντλίας σε 10 περίπου σημεία λειτουργίας για κάθε μια από τις δύο ταχύτητες. Τα διάφορα σημεία λειτουργίας προκύπτουν με τη ρύθμιση της βάνας εξόδου και έχοντας τελείως ανοιχτή τη βάνα εισόδου. Σε κάθε σημείο λειτουργίας μετρούμε:

- Τις πιέσεις εισόδου και εξόδου
- Τη ροπή στρέψεως
- Τις στροφές
- Την παροχή

Τέλος, με τη βοήθεια του καταγραφικού που έχει συνδεθεί με την αντλία παίρνουμε και διαγράμματα μεταβολής της πίεσεως μέσα στον κύλινδρο της αντλίας σε μια πλήρη περιστροφή.

Απο τις μετρήσεις αυτές προκύπτουν όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τη χάραξη των χαρακτηριστικών καμπυλών.

Ένας άλλος τρόπος λειτουργίας της αντλίας είναι με τη βάνα της εξόδου πλήρως ανοιχτή και κλείνοντας βαθμιαία τη βάνα της εισόδου έως ότου μηδενιστεί η παροχή. Αυτό γίνεται για τις δύο διαφορετικές στροφές. Με τον τρόπο αυτό λειτουργίας διαπιστώνουμε την ικανότητα της αντλίας να αντιμετωπίζει μειωμένες πιέσεις εισόδου καθώς και την επίδραση της σπηλαίωσης πάνω στην ογκομετρική απόδοση και στον θόρυβο της αντλίας.

## ΣΠΗΛΑΙΩΣΗ:

Το φαινόμενο της σπηλαιώσης παρουσιάζεται σ' εκείνα τα σημεία της ροής ενός υγρού, στα οποία η στατική πίεση πέφτει τόσο χαμηλά ώστε να πλησιάζει την τιμή της τάσης των κεκορεσμένων ατμών του υγρού δια τη συγκεκριμένη θερμοκρασία που έχει το υγρό. Ως γνωστόν, όταν η πίεση ενός υγρού γίνει ίση με τη τάση των κεκορεσμένων ατμών, τότε έχουμε βρασμό του υγρού και δημιουργία φυσαλίδων ατμού μέσα στη μάζα του υγρού.

Όταν λοιπόν οι συνθήκες είναι κατάλληλες ώστε να αρχίσει το φαινόμενο της σπηλαιώσης, τότε παρουσιάζονται τοπικά φυσαλίδες ατμού μέσα στο υγρό και καθώς οι φυσαλίδες αυτές κινούνται προς περιοχές μεγαλύτερης πίεσεως, σκάνε και δημιουργούν τοπικές μεγάλες πιέσεις στις στέρεες επιφάνειες που συναντούν.

Όταν έχουμε ένα δίκτυο ενός υγρού που κινείται με τη βοήθεια μιας αντλίας, τότε το σημείο στο οποίο παρουσιάζεται η χαμηλότερη πίεση είναι η αναρρόφηση της αντλίας. Γι' αυτό η αναρρόφηση της αντλίας είναι το σημείο από το οποίο αρχίζει η σπηλαιώση, όταν οι συνθήκες είναι κατάλληλες. Οι φυσαλίδες του ατμού από την αναρρόφηση κινούνται προς τη περωτή της αντλίας και σκάνε πάνω στα πτερύγια, δημιουργώντας θόρυβο, κραδασμούς, φθορά της αντλίας αλλά και μείωση της απόδοσης.

Η σπηλαιώση, βάσει των ανωτέρω, είναι φαινόμενο επιβλαβές και πρέπει να αποφεύγεται. Πέρα από τις αντλίες, μπορεί να παρουσιαστεί σε υδροστρόβιλους, έλικες πλοίων, φράγματα, βάνες, κ.α.

Είναι προφανές ότι, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του υγρού, τόσο ευκολότερο είναι να παρουσιαστεί το φαινόμενο της σπηλαιώσης. Γι' αυτό σε εγκαταστάσεις διακινήσεως θερμών υγρών (π.χ. ατμοστρόβιλοι, ατμολέβητες, δίκτυα θερμού ύδατος κ.λ.π.) πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα για την αποφυγή της σπηλαιώσης.

Για να προσδιορίζουμε το πόσο επικίνδυνη είναι μια εγκατάσταση αντλίας για τη δημιουργία σπηλαιώσης ένα χρήσιμο μέγεθος είναι το NPSH (Net Positive Suction Head), το οποίο ορίζεται ως:

$$\text{NPSH} = H_S - H_{VP}$$

Όπου:

$H_S$  = Απόλυτη στατική πίεση στην είσοδο της περωτής και

$H_{VP}$  = Πίεση των ατμών του υγρού στη συγκεκριμένη θερμοκρασία που έχει το υγρό στην είσοδο της περωτής

Για την αποφυγή του φαινομένου της σπηλαιώσης, θα πρέπει να σχεδιάζουμε κατάλληλα την εγκατάσταση ώστε να έχουμε μεγάλες τιμές του NPSH και προπάντως μεγαλύτερες του (NPSH)<sub>R</sub> που είναι η τιμή στην οποία αρχίζει να παρουσιάζεται το φαινόμενο.

Για τη δημιουργία του φαινομένου της σπηλαιώσης σε μια από τις αντλίες του εργαστηρίου θα πρέπει, αφού θέσουμε σε λειτουργία την αντλία, να κατεβάσουμε την πίεση στην αναρρόφηση της αντλίας βαθμιαία, ώστε να πλησιάσει την τάση των κεκορεσμένων ατμών του νερού στη θερμοκρασία που έχει εκείνο μέσα στη συσκευή.

Προς το σκοπό αυτό λειτουργούμε την αντλία σε αρκετά υψηλή παροχή (υψηλές στροφές) και βαθμιαία κλείνουμε τη βάνα αναρρόφησης. Όσο περισσότερο κλείνουμε τη βάνα, τόσο μεγαλύτερη είναι η πτώση πίεσης πάνω σ' αυτήν και επομένως τόσο μικρότερη η πίεση στην αναρρόφηση της αντλίας. Έτσι, για κάποια θέση της βάνας θα αρχίσει να παρουσιάζεται το φαινόμενο της σπηλαιώσης. Στο σημείο αυτό, αν μετρηθεί η πίεση και η θερμοκρασία του νερού δύναται να γίνει σύγκριση με τις τιμές της τάσης των κεκορεσμένων ατμών του ύδατος που προκύπτουν από το διάγραμμα Mollier.

Πέρα από το θόρυβο και τυχόν κραδασμούς που μας ειδοποιούν για την έναρξη του φαινομένου της σπηλαιώσης, μπορούμε να έχουμε και οπτική διαπίστωση του φαινομένου με τη βοήθεια ενός σ τ ρ ο β ο σ κ ο π ί ο υ.

#### Σχετικά με το στροβοσκόπιο:

Το στροβοσκόπιο σε γενικές γραμμές είναι ένας λαμπτήρας που αναβοσβήνει σε συχνότητα που ρυθμίζεται κατά βούληση. Συγχρονίζοντας την συχνότητά του στροβοσκοπίου με τις στροφές μια περιστρεφόμενης ή παλινδρομικής μηχανής μπορούμε με την βοήθειά του να μετρήσουμε τις στροφές περιστροφής ή παλινδρομήσεως, να παρατηρήσουμε την μηχανή σε αργή κίνηση ή να παρατηρήσουμε τη μηχανή σε ακινησία.

Στην περίπτωση της σπηλαιώσης, συγχρονίζοντας απόλυτα τη συχνότητα του στροβοσκοπίου με τις στροφές της αντλίας, μπορούμε να παρατηρήσουμε την δημιουργία και ανάπτυξη των φυσσαλίδων ατμού μέσα στη μάζα του ύδατος στην αναρρόφηση της αντλίας.

Σε περιπτώσεις που δεν είναι δυνατή η κατάλληλη διαμόρφωση της εγκατάστασης για την αποφυγή του φαινομένου της σπηλαιώσης, δύνανται να χρησιμοποιηθούν περωτές που έχουν σχεδιαστεί κατάλληλα ώστε να αποφεύγονται οι συνέπειες της σπηλαιώσης.

Έτσι, στις περωτές αυτές, λόγω του κατάλληλου σχήματος των περυγίων και των υψηλών στροφών επιτυγχάνεται η δημιουργία μεγάλων φυσσαλίδων ατμού αντί μεγάλου αριθμού μικρών φυσσαλίδων. Οι μεγάλες αυτές φυσσαλίδες περνούν από τα περύγια και σκάνε πέραν αυτών και έτσι δε προκαλούν ζημιά στη περωτή. Το φαινόμενο αυτό λέγεται υ π ε ρ σ π η λ α ί ω σ η (supercavitation). Χρήση της υπερσπηλαιώσης γίνεται σε έλικες πλοίων υψηλών στροφών και σε ειδικές περιπτώσεις αντλιών.

## ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ