

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 03: ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΣΠΗΛΑΙΩΣΗΣ



ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΟΙΤΗΤΩΝ

ΟΝΟΜ/ΜΟ	Α.Μ.

ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ 201_ -201_

1 Σκοπός

Σκοπός της Εργαστηριακής Άσκησης είναι η μελέτη του φαινομένου της σπηλαίωσης που αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα των ρευστοδυναμικών μηχανών.

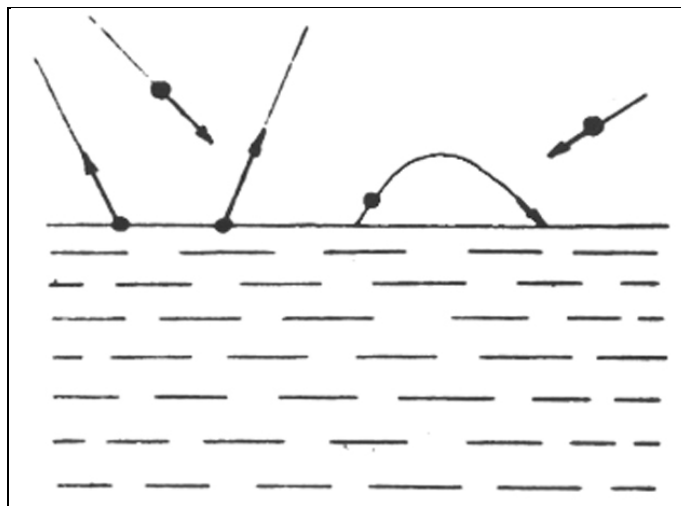
Πιο αναλυτικά αντικείμενο της Εργαστηριακής Άσκησης είναι

1. η σταδιακή ανάλυση του φαινομένου και η μέριμνα που πρέπει να λαμβάνεται ώστε να αποφεύγεται η σπηλαίωση σε δεδομένο υγρό για δεδομένη παροχή,
2. η μελέτη του ρόλου που διαδραματίζει το αποκαλούμενο “απαιτούμενο καθαρό θετικό ύψος ενέργειας” (**Net Positive Suction Head required - NPSH_r**) καθώς και ο τρόπος υπολογισμού του.

2. Θεωρητικό Μέρος.

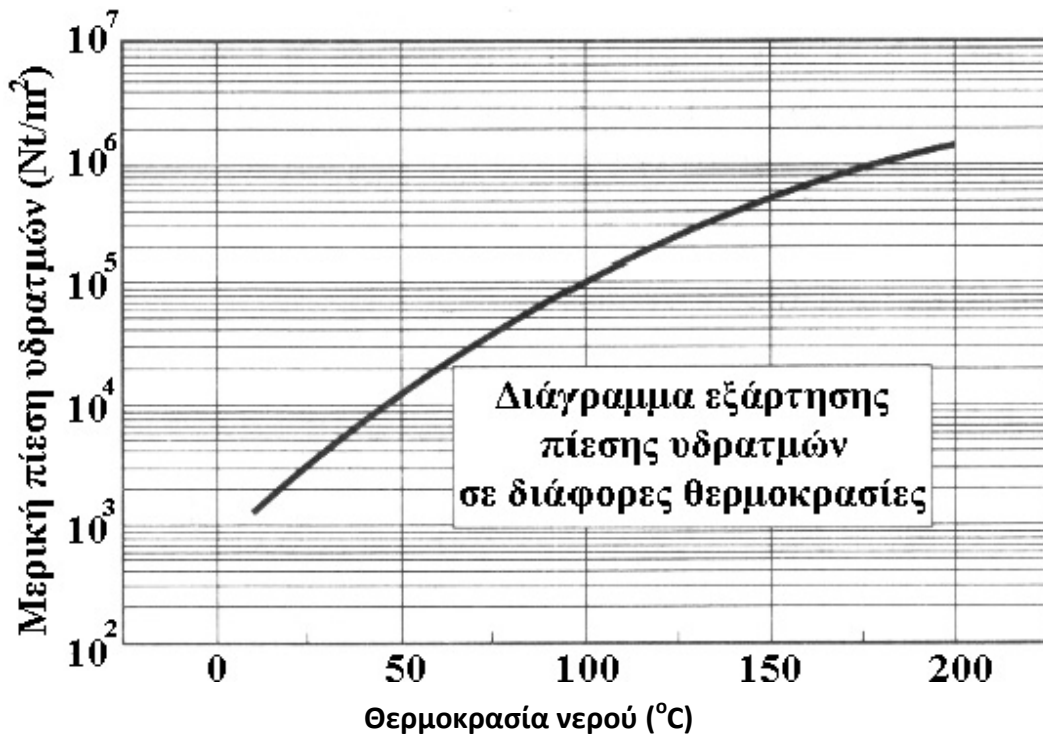
Όταν διέρχεται ένα υγρό με μεγάλες ταχύτητες από μια ρευστοδυναμική μηχανή, είναι δυνατόν (υπό ορισμένες συνθήκες) να σχηματιστούν **φουσαλίδες ατμών** μέσα στην κινούμενη μάζα με δυσμενή επίδραση στην λειτουργία της μηχανής. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως **σπηλαίωση**. Η σπηλαίωση ειδικότερα σε μια υδραντλία αρχίζει να εμφανίζεται όταν «**η απόλυτη στατική πίεση στην αναρρόφησή της γίνει ίση (περίπου) ή μικρότερη από την μέγιστη τάση των υδρατμών**». Τότε **δημιουργούνται φουσαλίδες ατμού**, από το ίδιο το νερό, οι οποίες παρασυρόμενες **σε περιοχές μεγαλύτερης πίεσης συνθλίβονται με κρότο**. Για το λόγο αυτό, το φαινόμενο της σπηλαίωσης σε μια αντλία συνδέεται με κραδασμούς και κρότους. Όταν δε οι φουσαλίδες αυτές συνθλίβονται πάνω στις επιφάνειες της μηχανής προκαλούν διαβρώσεις και καταπονήσεις σε τμήματα του στροφείου.

Τι ονομάζεται όμως **τάση ατμών**;



Σχήμα 1: Κινήσεις μορίων νέφους ατμών που καλύπτει την επιφάνεια του υγρού [4].

Μόρια ενός υγρού τα οποία εγκαταλείπουν την ελεύθερη επιφάνειά του, σχηματίζουν ένα νέφος ατμών το οποίο καλύπτει την επιφάνεια του υγρού. Το νέφος αυτό αυξάνεται ή ελαττώνεται ανάλογα με τη διεύθυνση της ταχύτητας του καθαρού αριθμού των μορίων που διασχίζουν τη διαχωριστική επιφάνεια. Η πίεση του νέφους αυτού καλείται **πίεση ατμών υγρού**.

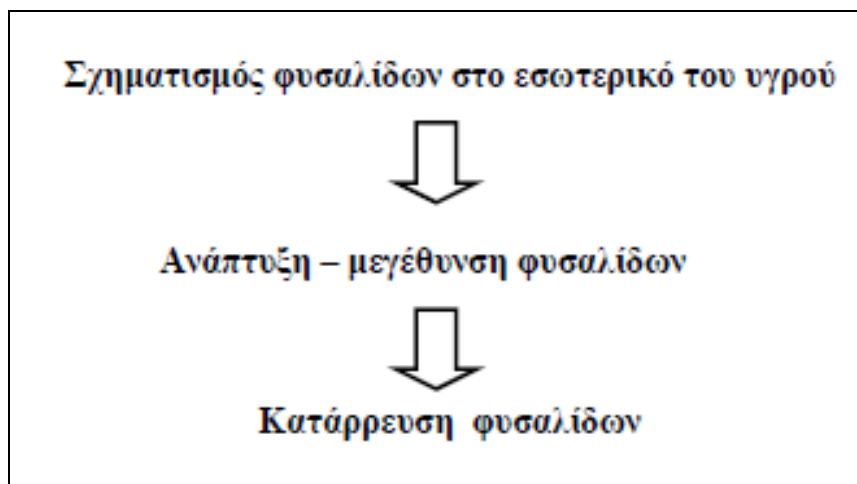


Σχήμα 2: Μεταβολή πίεσης υδρατμών συναρτήσει της θερμοκρασίας του νερού [1].

2.1. Ο μηχανισμός επίδρασης των φυσαλίδων – στάδια της σπηλαιώσης.

Οι φυσαλίδες σχηματίζονται σε περιοχές τμήματος υγρού σε κίνηση, όπου η τοπική πίεση είναι κοντά στα επίπεδα της τάσης ατμών του υγρού. Οι φυσαλίδες σχηματίζονται και καταρρέουν σε σύντομο χρονικό διάστημα, της τάξης των μs. Κατά την διάρκεια της εξέλιξης τους, προκαλούνται τοπικές παροδικές υψηλές πιέσεις και αστάθειες της ροής. Στις αντλίες αυτό οδηγεί σε αύξηση των επιπέδων θορύβου, δονήσεις και βλάβες επιφανειών της αντλίας οι οποίες συνοδεύονται από μεγάλη απώλεια υλικού.

Ο μηχανισμός της σπηλαιώσης σε διαδοχικά βήματα φαίνεται σχηματικά παρακάτω:



Σχήμα 3: Στάδια εξέλιξης της σπηλαιώσης [1].

Αναλυτικότερα, τα στάδια της σπηλαίωσης είναι :

Στάδιο 1: Σχηματισμός Φυσαλίδων στο εσωτερικό του υγρού.

Οι φυσαλίδες σχηματίζονται μέσα στο υγρό όταν αυτό ατμοποιείται δηλ. κατά την αλλαγή φάσης του από υγρό σε ατμό. Διαφορετικά οι φυσαλίδες σχηματίζονται στις περιοχές ενός ρέοντος υγρού, όπου η τοπική πίεση είναι κοντά στα επίπεδα της τάσης ατμού του υγρού.

Στάδιο 2: Ανάπτυξη – Μεγέθυνση Φυσαλίδων.

Αν οι συνθήκες λειτουργίας παραμένουν σταθερές, νέες φυσαλίδες συνεχίζουν να σχηματίζονται και οι παλαιές φυσαλίδες να αυξάνονται σε μέγεθος. Οι φυσαλίδες παρασύρονται από το υγρό καθώς αυτό ρέει από το “μάτι” του στροφείου προς το άκρο εξόδου του κατά μήκος του πτερυγίου, έως το χείλος εκφυγής (vane trailing edge).

Λόγω της περιστροφής του στροφείου, οι φυσαλίδες αποκτούν πολύ υψηλές ταχύτητες και τελικώς φθάνουν σε περιοχές υψηλής πίεσης μέσα στο στροφείο όπου αρχίζουν να καταρρέουν. Ο κύκλος ζωής μιας φυσαλίδας έχει υπολογιστεί ότι είναι της τάξεως των 0,003 δευτερολέπτων.

Στάδιο 3: Κατάρρευση των Φυσαλίδων

Καθώς οι φυσαλίδες ατμού κινούνται κατά μήκος των πτερυγίων του στροφείου, η πίεση γύρω από τις φυσαλίδες αρχίζει να αυξάνεται έως ότου φθάσει σε ένα σημείο όπου η πίεση έξω από τη φυσαλίδα τείνει να γίνει μεγαλύτερη από την πίεση μέσα στη φυσαλίδα. Έτσι, στο σημείο αυτό, όπου η **στατική πίεση τείνει να αυξηθεί πάνω από την πίεση ατμοποίησης** θα πρέπει να υγροποιηθεί ξανά η μάζα του ατμού.

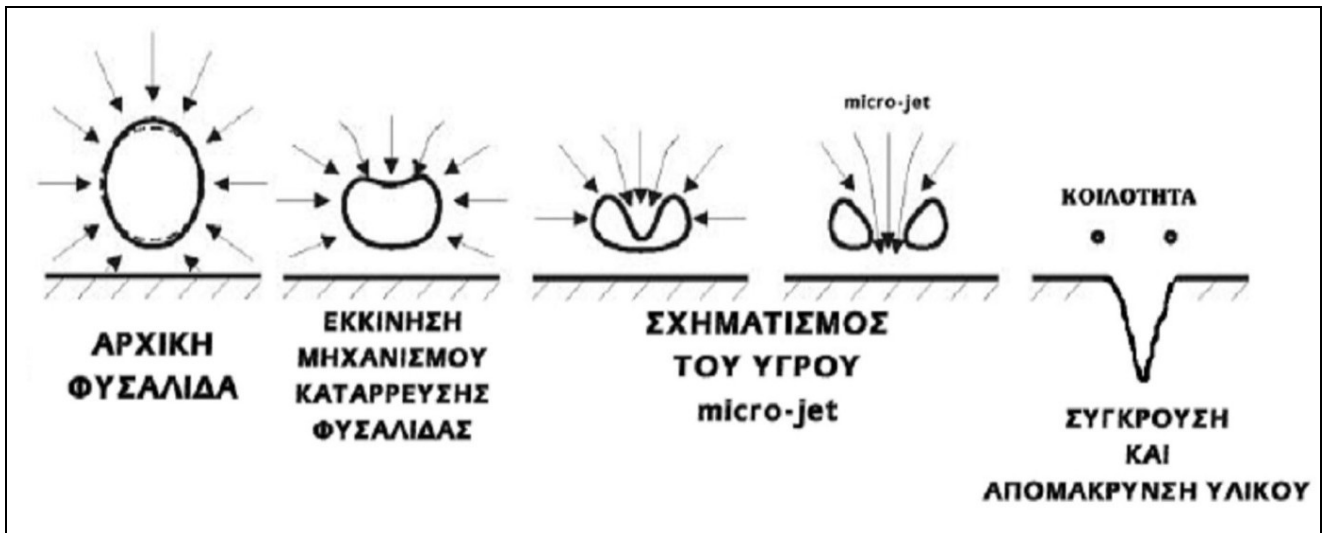
Η μετάβαση από την φάση του ατμού στην υγρή φάση δεν γίνεται στιγμιαία και για αυτό παρατηρείται μια μεταβατική περιοχή στην οποία συνυπάρχουν και οι δυο φάσεις. Η φυσαλίδα στη συνέχεια καταρρέει. Η διαδικασία δεν είναι έκρηξη προς τα έξω αλλά μάλλον μια κατάρρευση-έκρηξη προς το εσωτερικό της. Εκατοντάδες φυσαλίδες καταρρέουν περίπου στο ίδιο σημείο κάθε πτερυγίου του στροφείου.

Λόγω ακριβώς της μεγάλης διαφοράς στην πυκνότητα μεταξύ της υγρής φάσης ρ_V και της φάσης ατμού ρ_A , (για το νερό σε θερμοκρασία μικρότερη των 100°C είναι $\rho_V/\rho_A > 900$), το φαινόμενο της επανυγροποίησης συνοδεύεται τοπικά από σημαντική αύξηση της στατικής πίεσης κρουστικής μορφής. Η αύξηση της κρουστικής μορφής στατικής πίεσης εξηγείται ποιοτικά από το ότι κατά την επανυγροποίηση μιας φυσαλίδας ατμού, ο όγκος υγρού που αντιστοιχεί στην μάζα του ατμού είναι πολύ μικρός. Άρα με την επανυγροποίηση της φυσαλίδας σχηματίζεται ένα κενό που τείνει να καταληφθεί με ορμή από το περιβάλλον υγρό το οποίο επιταχύνεται γρήγορα υπό την μορφή υγρού micro-jet για να γεμίσει το κενό που δημιουργήθηκε. Τότε, το micro-jet διαρρηγνύει τη φυσαλίδα με δύναμη που δρα σαν **σφυρηλάτηση**. Η ταχύτητα του μηδενίζεται όταν ολοκληρωθεί ο όγκος της πρώην φυσαλίδας καταληφθεί από το περιβάλλον υγρό (Σχήμα 4).

Η απότομη αυτή επιβράδυνση των υγρών στοιχείων αντιστοιχεί σύμφωνα με το θεώρημα της ορμής σε υπερβολική τοπική αύξηση της στατικής του πίεσης. Έχουν αναφερθεί πιέσεις κατάρρευσης φυσαλίδων μεγαλύτερες από 1 GPa. Αυτό το τοπικά έντονο φαινόμενο της σφυρηλάτησης, μπορεί να δημιουργήσει κοιλότητες στο στροφείο. Μετά την κατάρρευση της φυσαλίδας, εκπέμπεται ηχητικό κύμα που πηγάζει από το σημείο της κατάρρευσης. Αυτό το ηχητικό κύμα αποτελεί ένδειξη της σπηλαίωσης στην αντλία (Σχήμα 4).

Στάδιο 4: Επαναϋγροποίηση της Φυσαλίδας.

Με την επαναϋγροποίηση της φυσαλίδας σχηματίζεται ένα κενό που τείνει να καταληφθεί με ορμή από το περιβάλλοντα υγρό το οποίο επιταχύνεται γρήγορα υπό την μορφή υγρού micro-jet για να γεμίσει το κενό που δημιουργήθηκε. Τότε, το micro-jet διαρρηγνύει τη φυσαλίδα με δύναμη που δρα σαν σφυρηλάτηση. Η ταχύτητα του μηδενίζεται όταν ολοκληρωθεί ο όγκος της πρώην φυσαλίδας καταληφθεί από το περιβάλλον υγρό. Η απότομη αυτή επιβράδυνση των υγρών στοιχείων αντιστοιχεί σύμφωνα με το θεώρημα της ορμής σε υπερβολική τοπική αύξηση της στατικής του πίεσης .



Σχήμα4: Κατάρρευση φυσαλίδας πάνω σε συμπαγές τοίχωμα. Η εμφάνιση του micro-jet με την κατάρρευση μιας φυσαλίδας [1].

Η αναγνώριση των συμπτωμάτων της σπηλαιώσης, και η σωστή διάγνωση του τύπου της σπηλαιώσης, μπορούν να βοηθήσουν στην αποτροπή μιας σοβαρής αστοχίας των πτερυγίων του στροφέιου μιας ρευστοδυναμικής μηχανής.

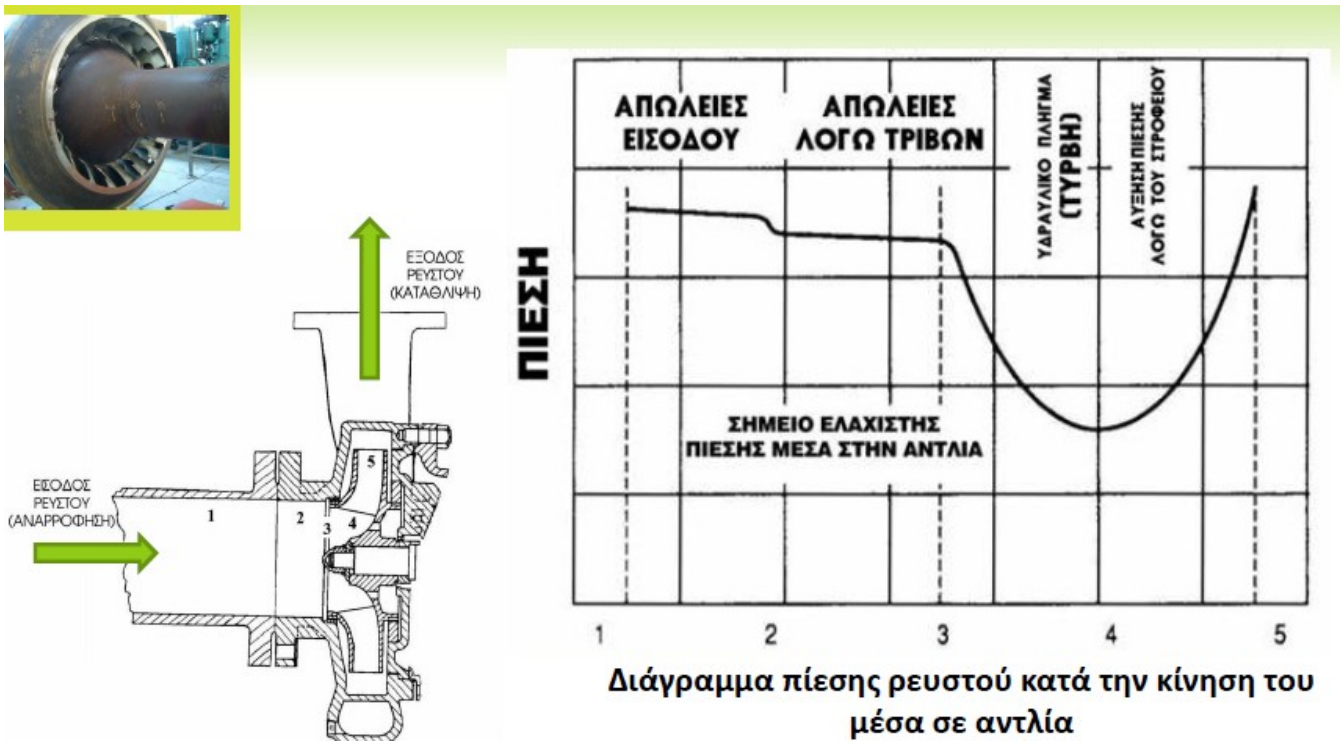
2.2. Πιθανά σημεία εμφάνισης Σπηλαιώσης.

Σε ένα υγρό από την είσοδο του από την φλάντζα της αντλίας, αλλά και καθώς ρέει μέσα σε αυτήν και συναντά το στροφέιο, εμφανίζεται πτώση της πίεσης του. Το ποσοστό της πτώσης πίεσης είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων, της γεωμετρίας του σχεδιασμού, της ταχύτητας περιστροφής, των απωλειών λόγω τριβών αλλά και των υδραυλικών απωλειών (λόγω τύρβης). Εντούτοις, εάν αυτή η πίεση σε κάποιο σημείο μέσα στην αντλία πέσει κάτω από την πίεση ατμών του αντλούμενου υγρού στην δεδομένη θερμοκρασία, θα εμφανιστεί εξάτμιση του υγρού ή αλλιώς το φαινόμενο της σπηλαιώσης.

Η σπηλαιώση εμφανίζεται αρχικά **στην αναρρόφηση της αντλίας** και οφείλεται στην κατασκευή της αντλίας στο σημείο αυτό και κυρίως στην πρώτη αύξηση της ταχύτητας του υγρού με αντίστοιχη μείωση της πίεσης. Για το λόγο αυτό εξετάζεται η διαθέσιμη ενέργεια στην αναρρόφηση της αντλίας για να εκτιμηθεί η πιθανότητα έναρξης της σπηλαιώσης.

Το ελάχιστο μανομετρικό που απαιτείται ώστε να αποφευχθεί η σπηλαιώση σε ένα δεδομένο υγρό σε μια δεδομένη παροχή καλείται «**απαιτούμενο καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης**» ή «**Net Positive Suction Head required**» (**NPSHr**).

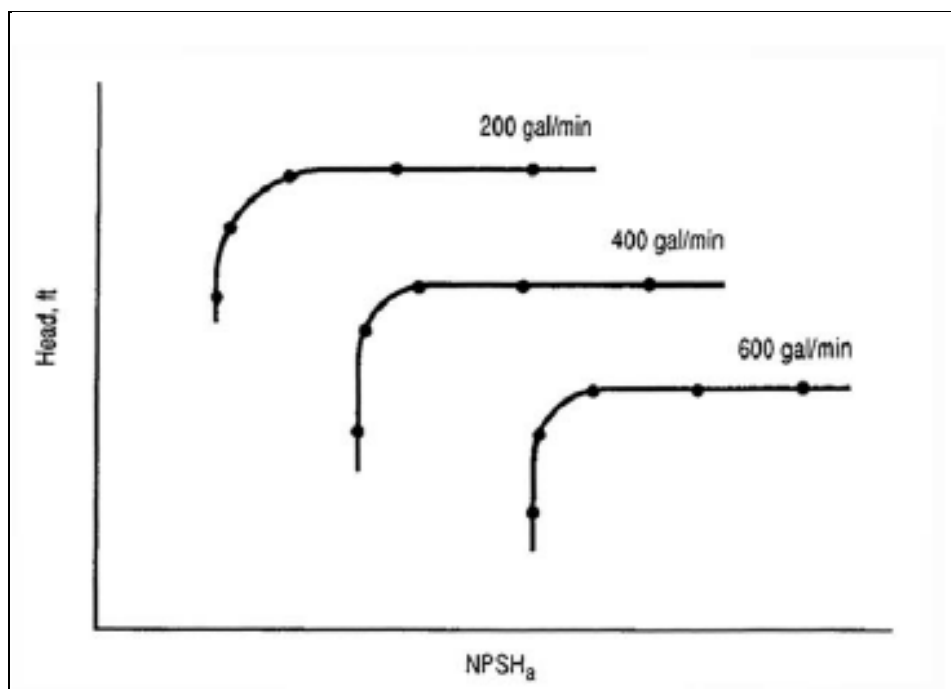
Σε ένα αντλητικό σύστημα, η διάφορα μεταξύ της πραγματικής πίεσης ή του διαθέσιμου μανομετρικού (μετρημένο από την φλάντζα αναρρόφησης της αντλίας) και της πίεσης ατμών του συγκεκριμένου υγρού καλείται «**διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης**» ή «**Net Positive Suction Head available**» (**NPSHa**).



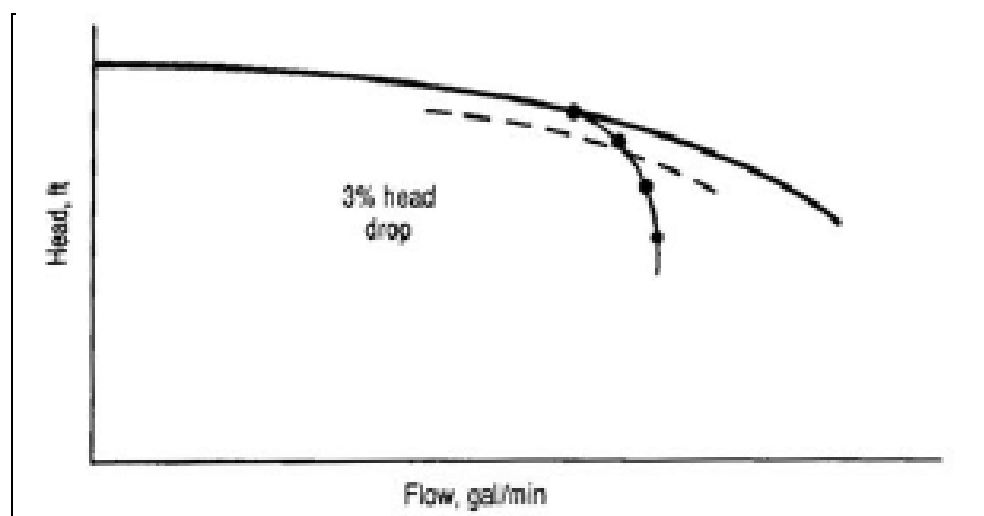
Σχήμα5: Πτώση Πίεσης του υγρού κατά την κίνησή του μέσα στην αντλία [1,2].

Οι κατασκευαστές αντλιών καθορίζουν το NPSHr των διαφόρων τύπων στροφείων διεξάγοντας κάποια test χρησιμοποιώντας ως αντλούμενο υγρό το νερό. Αυτά τα test γίνονται συνήθως μια φορά για κάθε τύπο στροφείου και όχι για κάθε ξεχωριστή αντλία. Ο κύριος σκοπός όλων αυτών των test είναι να καθοριστούν οι απαιτήσεις σε **NPSH**, για διάφορες παροχές για ένα δεδομένο συνδυασμό στροφείου-κελύφους και να σχεδιαστούν καμπύλες του NPSH ως συνάρτηση της παροχής (Σχήμα 6).

Εντούτοις, ανεξαρτήτως της μεθόδου που χρησιμοποιείται, κάθε διαδικασία σκοπεύει στον καθορισμό του **NPSHr** ανιχνεύοντας κάποια πρωτοεμφανιζόμενη δυσλειτουργία της αντλίας και πτώση της απόδοσης της. Κατά τον υπολογισμό του NPSHr σύμφωνα με την χαρακτηριστική καμπύλη της αντλίας, λαμβάνεται υπόψη μια πτώση 3% του μανομετρικού λόγω σπηλαιώσης, μια σύμβαση που έχει καθοριστεί από το **Hydraulic Institute Standards** (Σχήμα 7).

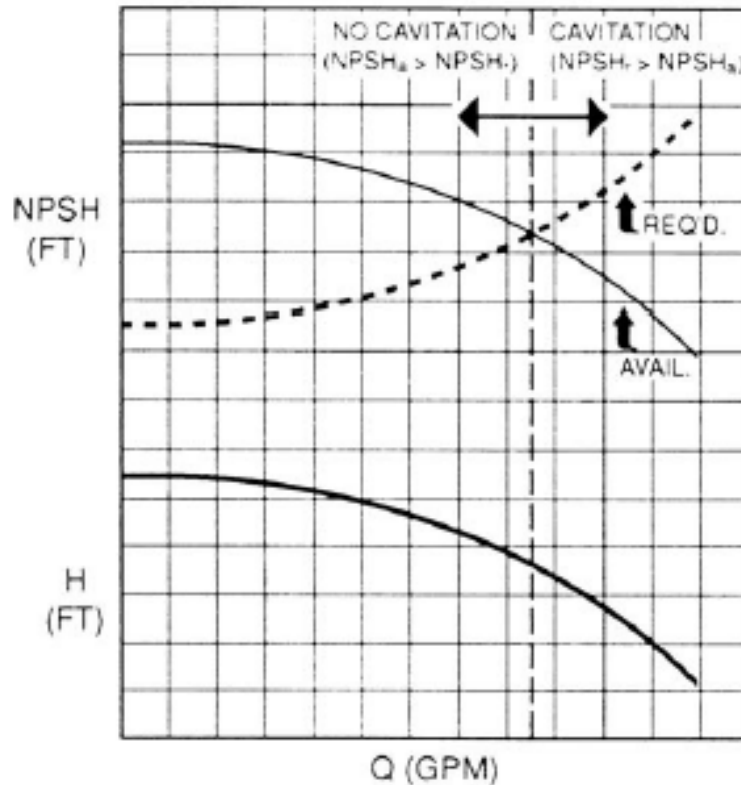


Σχήμα 6: Καμπύλες μανομετρικού συναρτήσεως του NPSH_a για διάφορες παροχές [1].



Σχήμα 7: Χαρακτηριστική Καμπύλη λειτουργίας αντλίας και καμπύλη NPSH_a ως συνάρτηση της παροχής λειτουργίας [1].

Ουσιαστικά το **NPSH_r** θα τείνει να αυξηθεί με την αύξηση της παροχής, (Σχήμα 6) οπότε είναι απαραίτητο ένα γράφημα το οποίο θα περιλαμβάνει τόσο το **NPSH_r** (δίνεται από τον κατασκευαστή) όσο και το **NPSH_a** στις συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας (Σχήμα 8).



Σχήμα 8: Μεταβολή των **NPSH_a** και του **NPSH_r**, ως συνάρτηση της παροχής λειτουργίας [1].

3. Το **NPSH_a** ως κριτήριο της σπηλαίωσης.

Σε μια φυγοκεντρική αντλία οι πλέον πιθανές περιοχές ανάπτυξης της σπηλαίωσης είναι αυτές στις οποίες η στατική πίεση είναι ήδη χαμηλή οπότε με περαιτέρω μείωση της, λόγω υδροδυναμικών φαινομένων επιτάχυνσης της ροής, ενδέχεται αυτή να μειωθεί κάτω από την πίεση ατμοποίησης. Άρα **στην περίπτωση των φυγοκεντρικών αντλιών η πιθανή περιοχή ανάπτυξης της σπηλαίωσης είναι η διατομή εισόδου της πτερωτής.**

Θεωρώντας ότι στη διατομή εισόδου της πτερωτής επικρατεί η χαμηλότερη πίεση P_A θα πρέπει για να αποφευχθεί σπηλαίωση η πίεση αυτή να είναι μεγαλύτερη της πίεσης ατμών του υγρού δηλ. θα πρέπει $P_A > P_S$.

Έτσι ορίζεται μια ελάχιστη τιμή του ύψους αναρρόφησης, **το καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης**, γνωστό και ως **NPSH για την αντλία** με την παρακάτω σχέση:

$$NPSH = \frac{P_0}{\rho g} - \frac{P_S}{\rho g} = H_0 - H_S = (H_{atm} + H_{head}) - H_S \quad (1)$$

Όπου P_0 : η χαμηλότερη απόλυτη πίεση,
 P_s : η πίεση ατμών,
 H_0 : το απόλυτο ύψος,
 H_s : το ύψος υδρατμών,
 H_{atm} : το ύψος ατμοσφαιρικής πίεσης,
 H_{head} : το μανομετρικό ύψος,

Εφαρμόζοντας ενεργειακό ισοζύγιο μεταξύ ελεύθερης επιφάνειας δεξαμενής αναρρόφησης (θέση 1) και αναρρόφησης της αντλίας (θέση – A) και λύνοντας ως προς το διαθέσιμο καθαρό θετικό ύψος

αναρρόφησης $NPSH_a$ προκύπτει:
$$NPSH_a = \frac{P_1 - P_s}{\rho g} - Z_i - \Delta h_f \quad (2)$$

Οι όροι των ταχυτήτων στην αναρρόφηση της δεξαμενής και στην αναρρόφηση της αντλίας θεωρούνται περίπου ίσες και απλοποιούνται [3].

Όπου P_1 : η πίεση στην ελεύθερη επιφάνεια της δεξαμενής,
 P_s : η πίεση ατμών, στην είσοδο της αντλίας
 Z_i : η θετική υψομετρική διαφορά μεταξύ δεξαμενής και εισόδου της αντλίας,
 Δh_f : οι απώλειες τριβών.

Η σχέση (2) δίνει δηλ. το απαιτούμενο μανομετρικό της αντλίας έτσι ώστε το ρευστό να διατηρείται υγρό και να προφυλάσσεται από φαινόμενα σπηλαιώσης ή βρασμού. Η είσοδος – αναρρόφηση της αντλίας είναι το σημείο χαμηλότερης πίεσης όπου θα πρωτοεμφανιστεί σπηλαιώση. Όταν δίνεται το καθαρό θετικό ύψος αναρρόφησης ($NPSH$), από τις καμπύλες λειτουργίας μιας αντλίας θα πρέπει να επιβεβαιώνεται ότι το δεύτερο μέλος της (2) είναι ίσο ή μεγαλύτερο της τιμής του $NPSH_r$, προκειμένου να αποφεύγεται η σπηλαιώση. Δηλ. στη συνέχεια απαιτείται η ικανοποίηση της συνθήκης $NPSH_a \geq NPSH_r$.

Με βάση το $NPSH_r$ μιας αντλίας μπορεί να βρεθεί και το **μέγιστο ύψος αναρρόφησης** $h_{A,max}$ της αντλίας σε μια εγκατάσταση. Δηλαδή, ανάλογα με την εγκατάσταση στην οποία προσαρμόστηκε η αντλία προκύπτει και ένα διαφορετικό μέγιστο ύψος αναρρόφησης $h_{A,max}$ το οποίο εξαρτάται από τις υδραυλικές απώλειες της εγκατάστασης στην αναρρόφηση Δh_{fA} .

$$h_{A,max} = \frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_s}{\rho g} - NPSH_r - \Delta h_{fA} \quad (3)$$

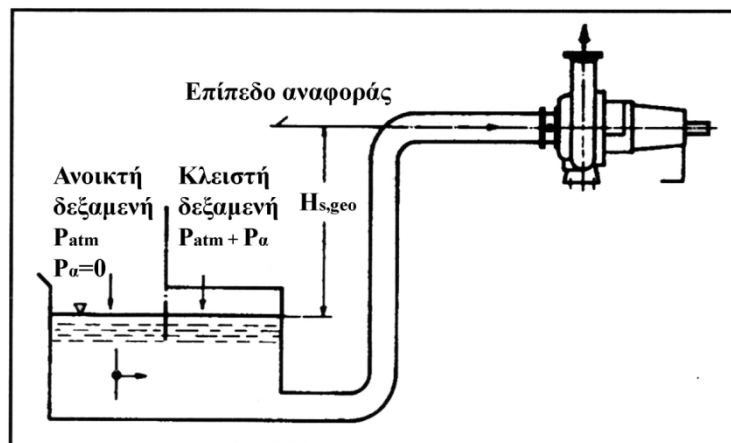
Η παραπάνω περίπτωση μελέτης αναφέρεται σε τοπολογία (Suction Lift). Αντίστοιχα μπορεί να γίνει η μελέτη για τοπολογία του αντλητικού συστήματος (Positive Suction) οπότε και υπολογίζεται ελάχιστο ύψος αναρρόφησης. Οι δύο τοπολογίες αναλύονται στο πλαίσιο της άσκησης που ακολουθεί.

4. Παραδείγματα

4.1 Περίπτωση ανύψωσης στην αναρρόφηση (suction lift):

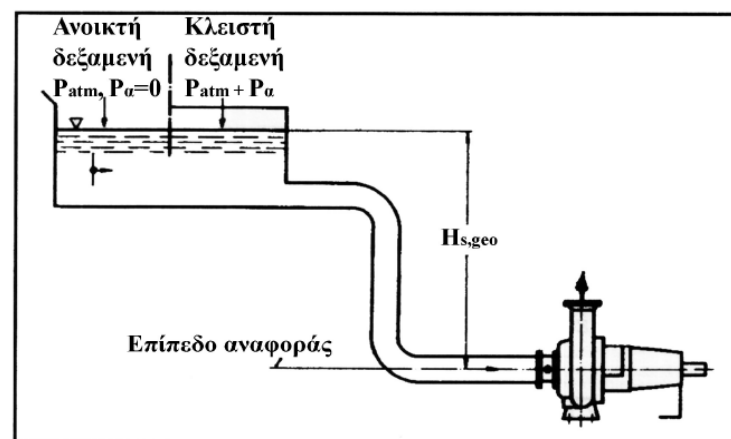
Η αντλία τοποθετείται πάνω από την επιφάνεια του νερού (suction lift). Τότε η γενική εξίσωση που περιγράφει το NPSHa (διαθέσιμο) δίνεται από τη σχέση:

$$NPSH_{\Delta I\Delta\Theta} = \frac{p_{\text{ΜΑΝΟΜΕΤΡΙΚΟ}} + p_{\text{ΑΤΜ}} - p_{\text{ΤΑΣΗ ΑΤΜΩΝ}}}{\rho g} - H_{\text{ΥΨΟΜΕΤΡ}} - \sum H_{\text{ΑΠΩΛΕΙΩΝ}} \quad (4)$$



4.2 Περίπτωση θετικής αναρρόφησης (positive suction lift):

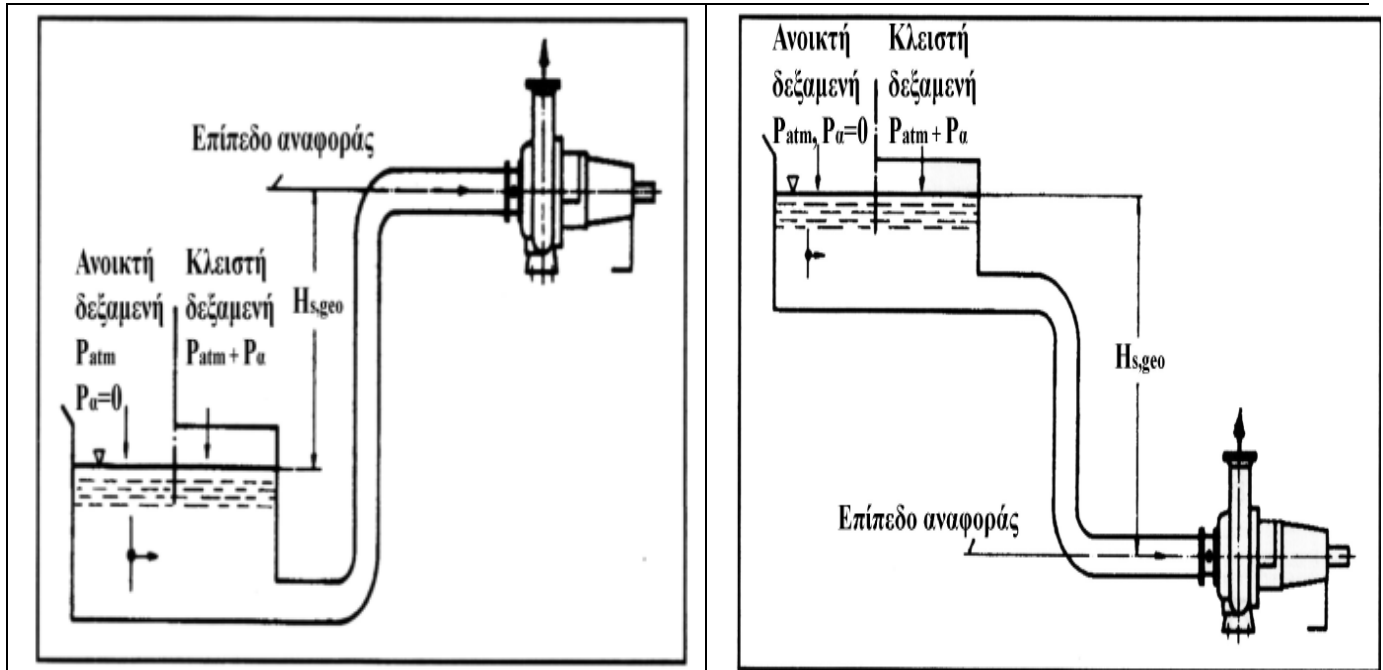
Περίπτωση θετικής αναρρόφησης (positive suction): η αντλία είναι κάτω από την επιφάνεια του υγρού.



$$NPSH_{\Delta I\Delta\Theta} = \frac{p_{\text{ΜΑΝΟΜΕΤΡΙΚΟ}} + p_{\text{ΑΤΜ}} - p_{\text{ΤΑΣΗ ΑΤΜΩΝ}}}{\rho g} + H_{\text{ΥΨΟΜΕΤΡ}} - \sum H_{\text{ΑΠΩΛΕΙΩΝ}} \quad (5)$$

5. ΑΣΚΗΣΗ

5.1 Για τις εγκαταστάσεις των σχημάτων 9α, 9β εφαρμόζοντας την εξίσωση Ενέργειας να αποδείξετε τις μαθηματικές εκφράσεις της ανίσωσης μεταξύ των **NPSH_a** **NPSH_r** και του μέγιστου / ελάχιστου ύψους αναρρόφησης **h_{A,max}** / **h_{A,min}**



Σχήμα 9α: Περίπτωση ανύψωσης στην αναρρόφηση (suction lift) – η αντλία πάνω από την επιφάνεια του υγρού.

Σχήμα 9β: Περίπτωση θετικής αναρρόφησης (positive suction) – η αντλία κάτω από την επιφάνεια του υγρού.

5.2. ΑΣΚΗΣΗ

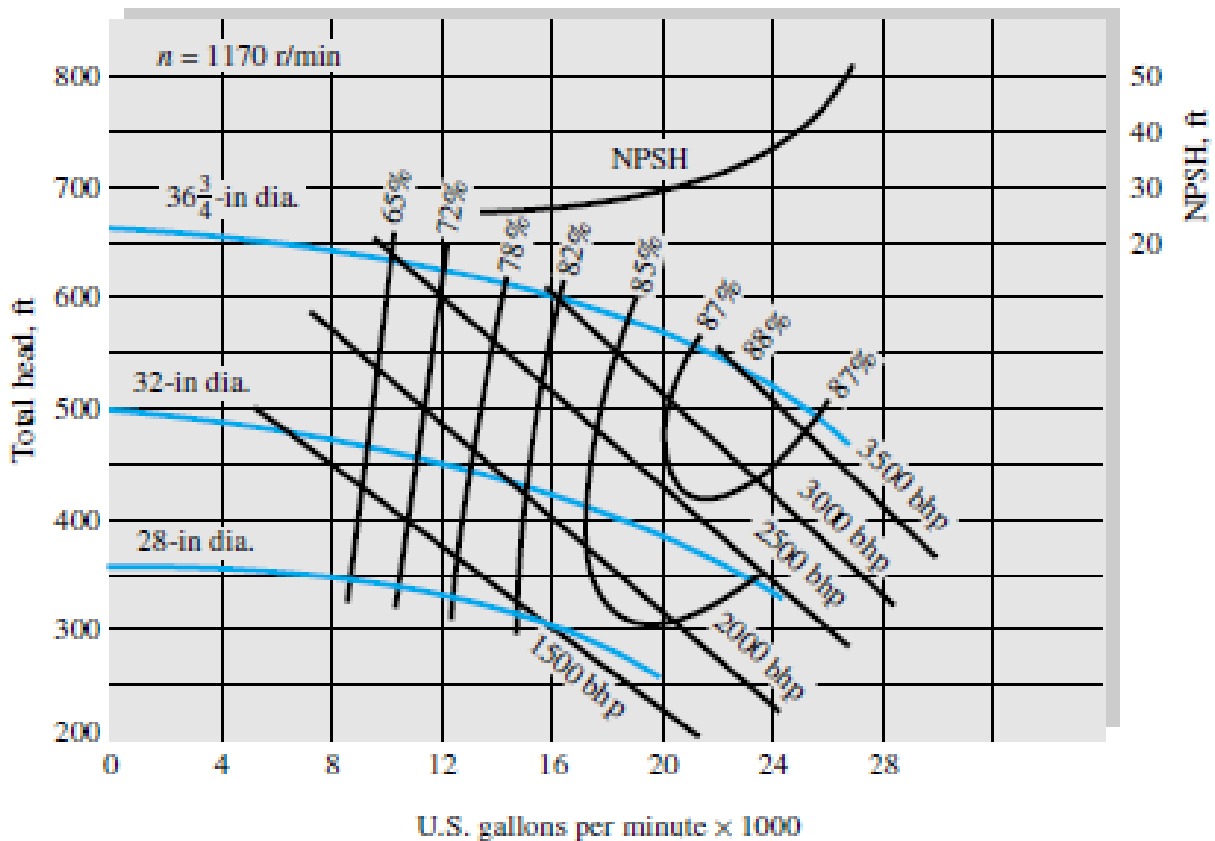
Η αντλία διαμέτρου 32-in σε στροφές $N = 1170 \text{ rpm}$ (βλέπε Διάγραμμα) χρησιμοποιείται για την άντληση νερού παροχής 24000 gal / min , από δεξαμενή της οποίας η ελεύθερη επιφάνεια είναι σε απόλυτη πίεση 14.7 lbf / in^2 . Αν οι απώλειες τριβών από τη δεξαμενή μέχρι την είσοδο της αντλίας είναι $\Delta h_f = (1 + [M]) \text{ ft}$, σε ποιο υψομετρικό σημείο (σε σχέση με την ελεύθερη επιφάνεια νερού της δεξαμενής) θα πρέπει να τοποθετηθεί η είσοδος της καθεμιάς αντλίας προκειμένου να αποφευχθεί πιθανό φαινόμενο σπηλαίωσης του νερού για συνθήκη θερμοκρασίας:

1. 60°F , με τάση ατμών $P_{s1} = 0.26 \text{ lbf / in}^2$, με $\rho g_1 = 62.4 \text{ lbf/ft}^3$
2. 200°F , με τάση ατμών $P_{s2} = 11.52 \text{ lbf / in}^2$, με $\rho g_2 = 60.1 \text{ lbf/ft}^3$

ΥΠΟΔΕΙΞΕΙΣ

[M] = το τελευταίο ψηφίο του Αριθμού Μητρώου σας, π.χ. αν ΑΜ σας = 6543 → [M] = 3

1 ft = 12 in



Βιβλιογραφία

1. Σέμψης Λάμπρος Μεταπτυχιακή Εργασία «Μελέτη του φαινομένου σπηλαίωσης σε φυγοκεντρική αντλία» Ε.Μ.Π, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Ναυτική και Θαλάσσια Τεχνολογία και Επιστήμη ΑΘΗΝΑ 2007,
2. Γιανναδάκης Α. Διαλέξεις μαθημάτων «ΡΕΥΣΤΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ» Πάτρα 2009,
3. White M. Frank, (Univ.of Rhode Island) Fluid Mechanics 4th edition, McGraw-Hill 1991,
4. Γιαννάκης Ι., Κρουστάλλη Α., Σημειώσεις Εργαστηρίου ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ 2009,
5. Ε.Μ.Π., Τμήμα Μηχανολόγων, Τομέας Ρευστών, ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ, Εργαστηριακή Άσκηση στο μάθημα Υδροδυναμικών Μηχανών http://courseware.mech.ntua.gr/ml25036/texts/ergasthriakh_askhsh.pdf
6. Κατσαπρακάκης Α. Δημήτριος Σημειώσεις “Βασικά Μεγέθη Αντλιών” Υδροδυναμικές Μηχανές Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας ΤΕΙ Κρήτης. <http://www.tm.teicrete.gr/Shmeiwseis.aspx>