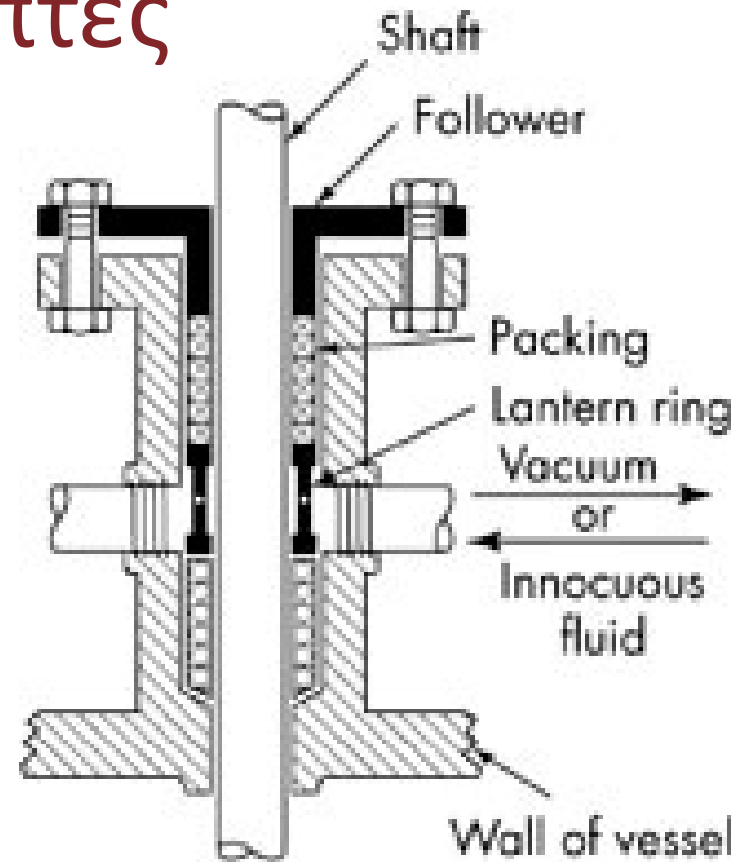
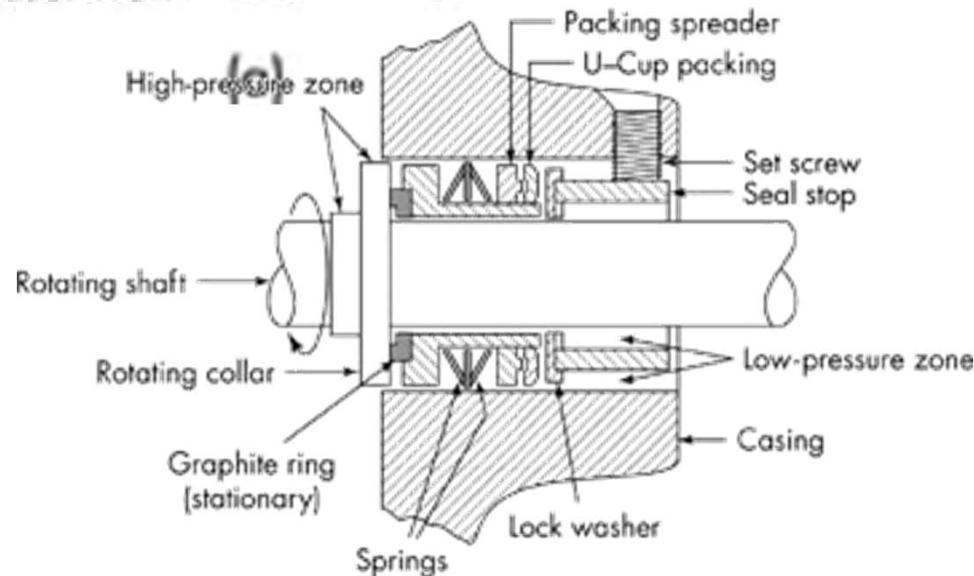
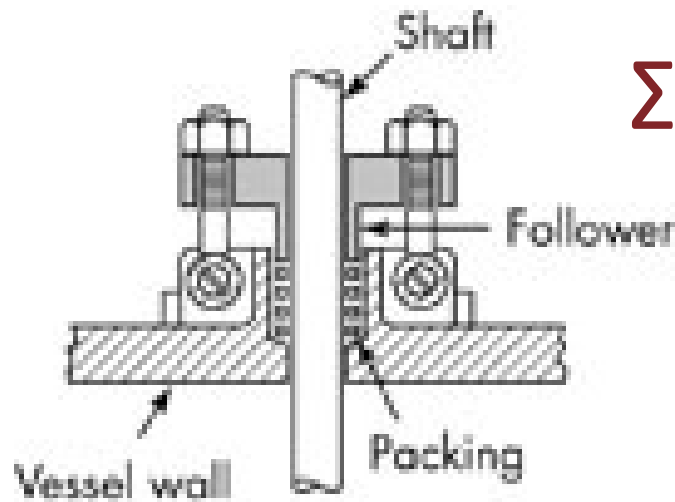


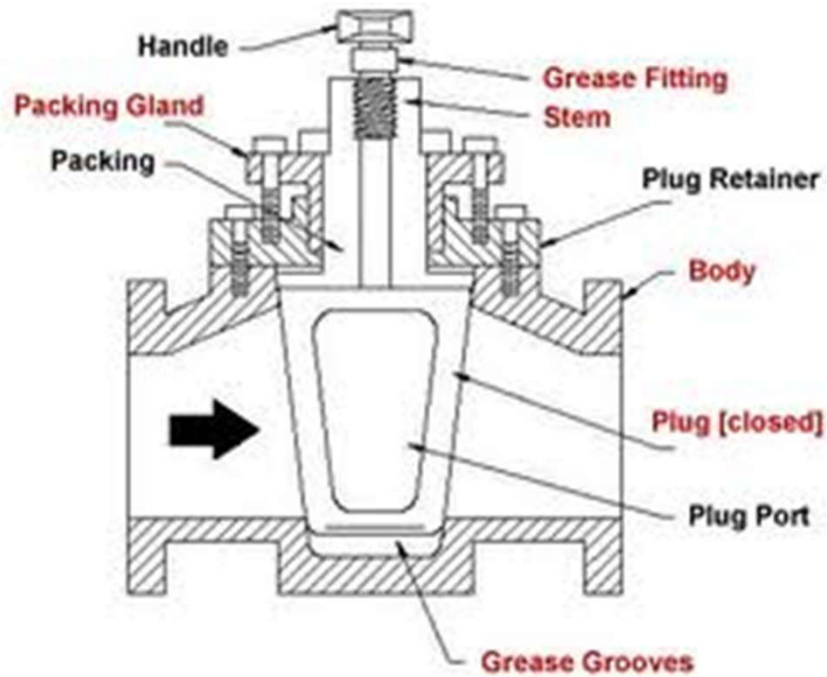
Εξαρτήματα και αντλίες για την μεταφορά και μέτρηση ρευστών

Στυπιοθλίπτες

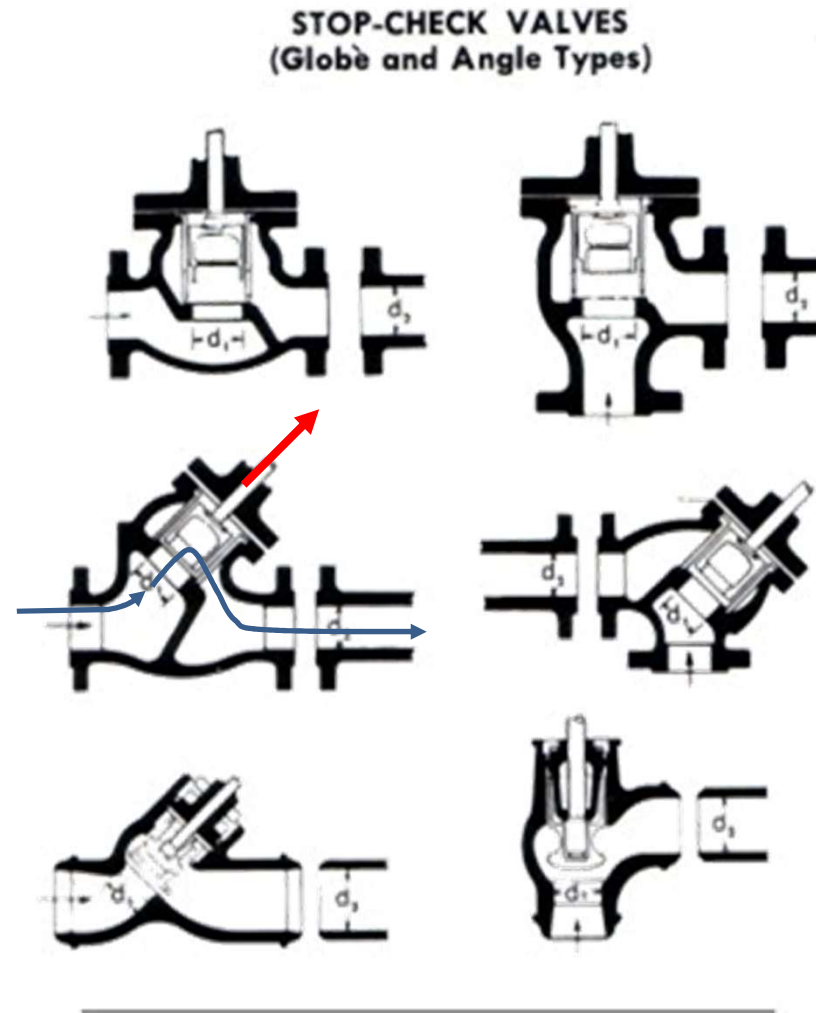
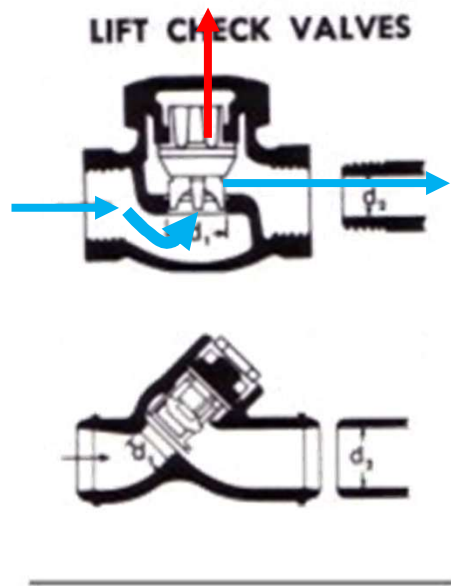


(b)

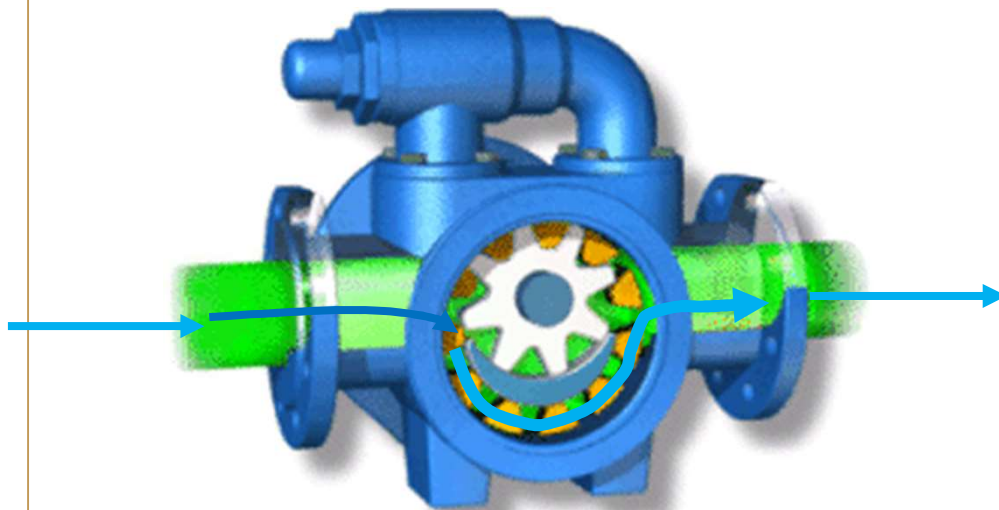
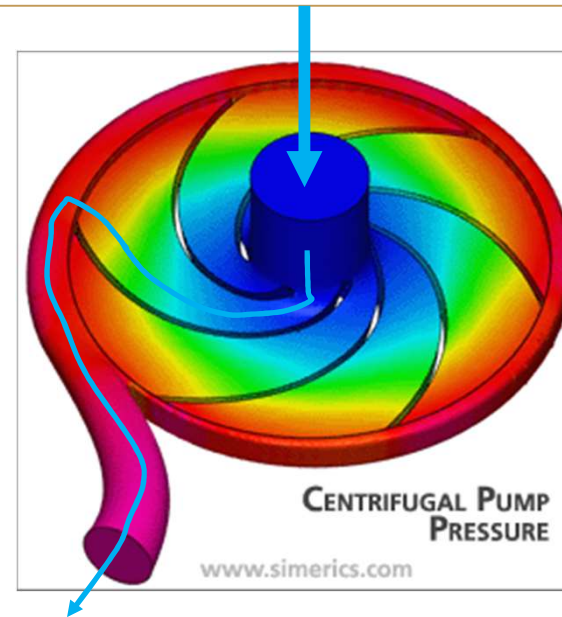
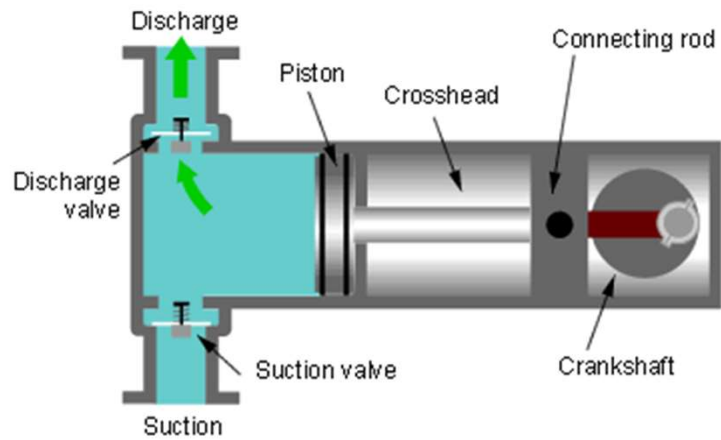
Κρουνοί φραγής (plug cocks) και Βάνες μπίλιας (ball valves)



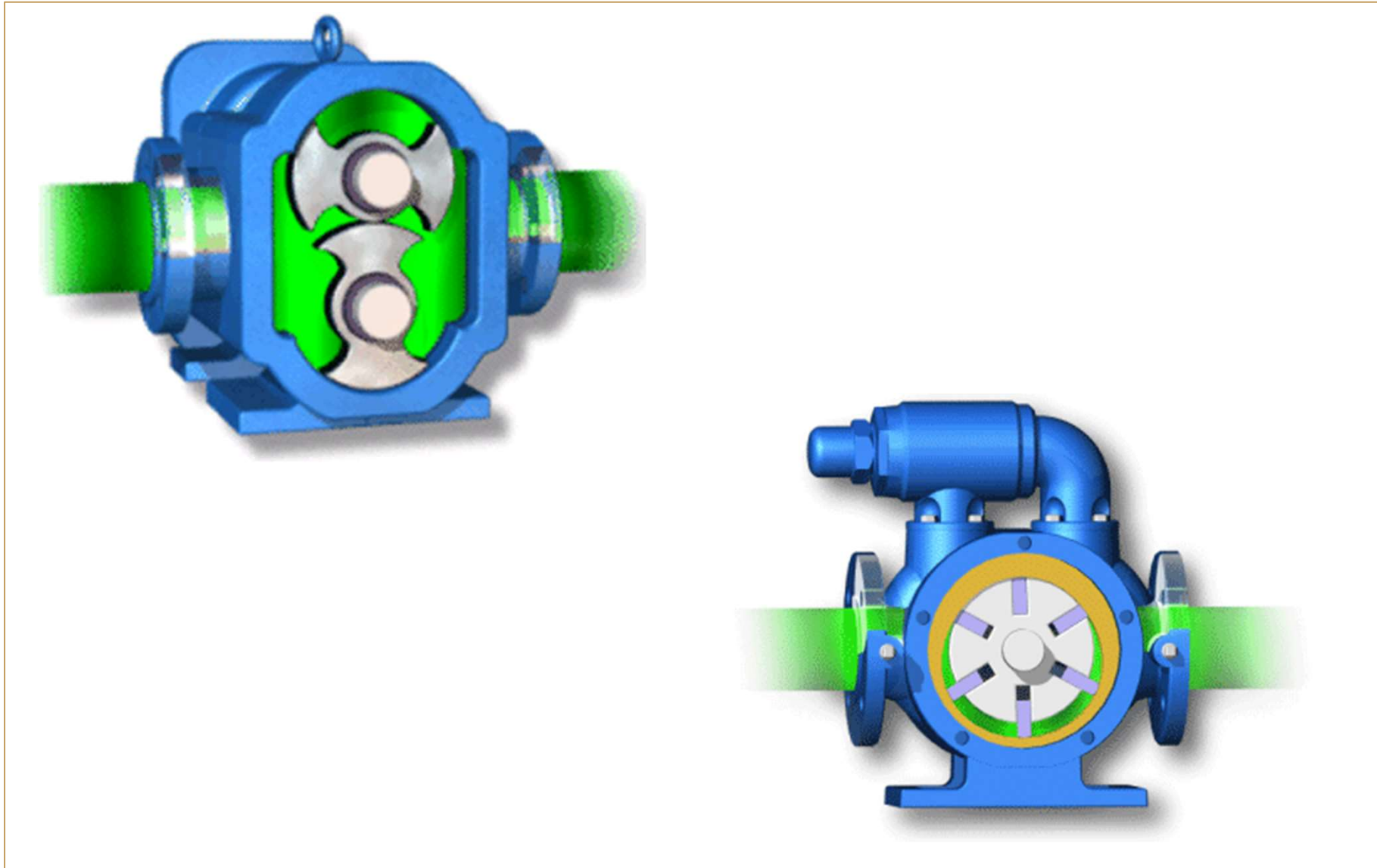
Βάνες Αντεπιστροφής (check valves)



Αντλίες



Αντλίες



Αντλίες

Αντλίες θετικής εκτοπίσεως

- Παλινδρομικές αντλίες (ή εμβολικές αντλίες)
- Αντλίες θετικής εκτοπίσεως
- Αντλίες με οδοντωτούς τροχούς
- Αντλίες περιστρεφόμενου κοχλία
- Αντλίες διαφράγματος
- Δοσιμετρικές αντλίες
- Περισταλτικές αντλίες

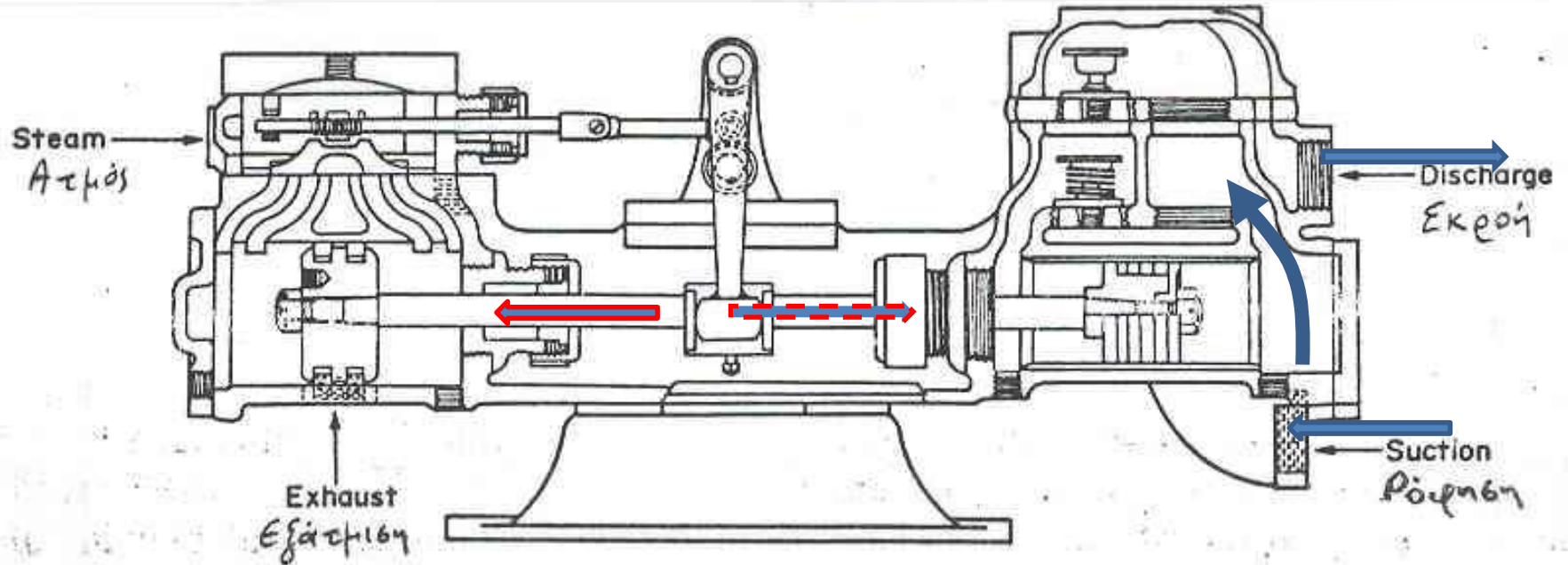
Στροβιλοαντλίες

Φυγοκεντρικές αντλίες

Στροβιλοαντλίες αξονικής ή μικτής ροής

Αντλίες

Παλινδρομική Αντλία



Σχήμα 12.1 Ατμοκίνητη αντλία παλινδρομούντος εμβόλου

Πηγή: Chemical Engineering, Coulson & Richardson, Vol. 1, Second Ed. (Revised)

Κύριες Εφαρμογές: **μικρές ή μέτριες παροχές υπό μεγάλη πίεση**

$Q \leq \sim 5 \text{ m}^3/\text{s}$, $p \leq \sim 5 \text{ MPa}$. Πλεονεκτήματα: Λειτουργεί ικανοποιητικά

σε ευρύ φάσμα συνθηκών. Απλή, αξιόπιστη. **Δεν χρειάζεται γόμωση.**

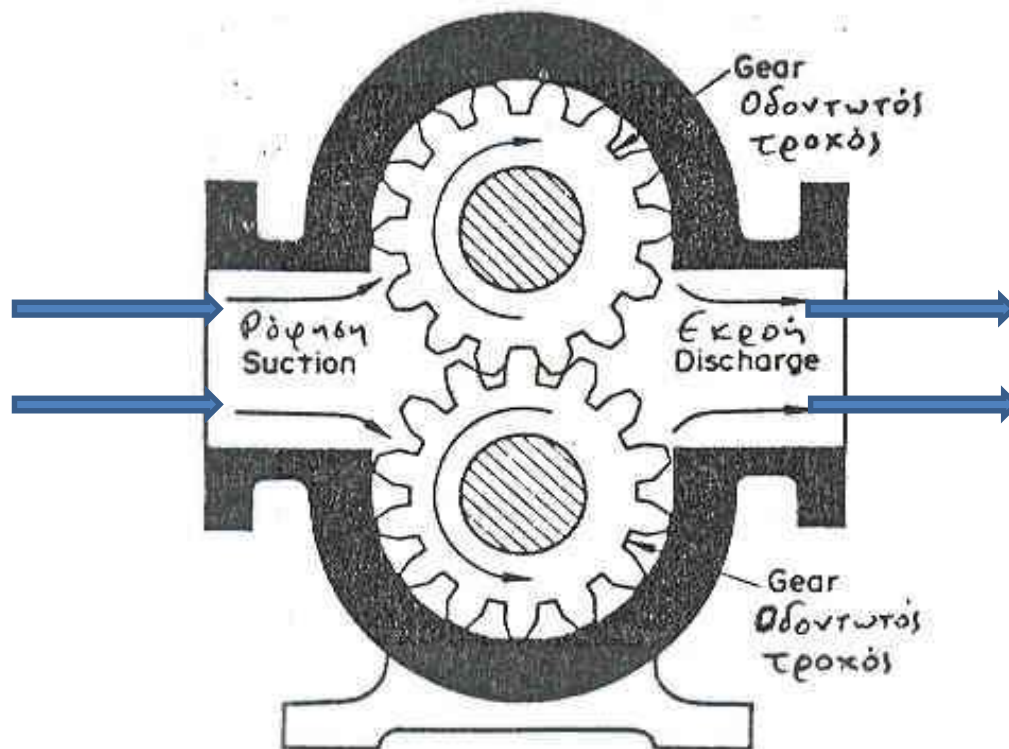
Μειονεκτήματα: Παλλόμενη παροχή.

Αντλίες

Αντλία με Οδοντωτούς Τροχούς

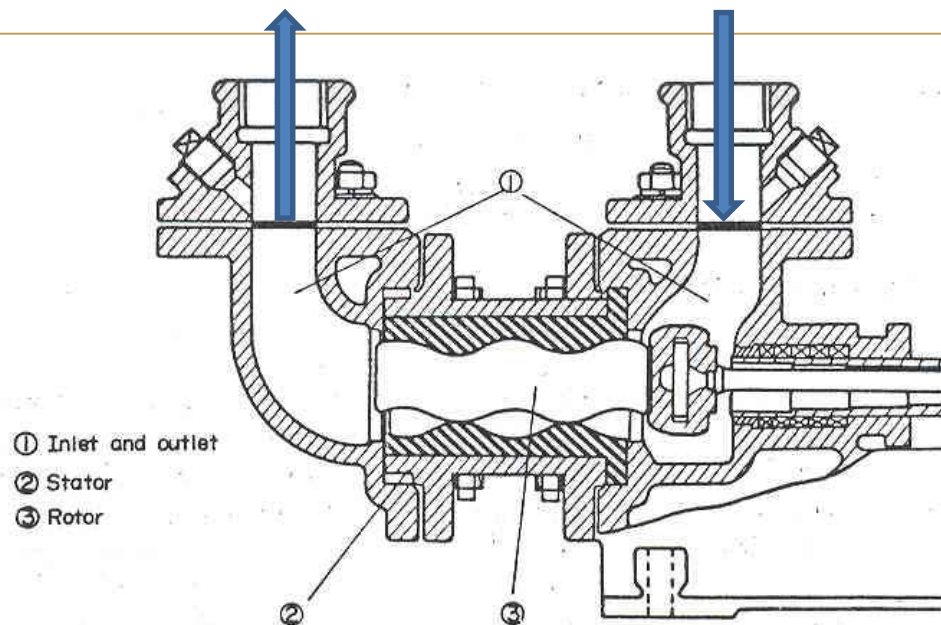
Κύριες εφαρμογές: είναι η **πιο κοινή από τις αντλίες θετικής εκτοπίσεως**, $p \leq \sim 35 \text{MPa}$.

Πλεονεκτήματα: Απλή, αξιόπιστη, δεν χρειάζεται γόμωση, λειτουργεί σε ευρύ φάσμα συνθηκών. **Δίνει σχεδόν σταθερή παροχή και πίεση**. Η παροχή είναι σχεδόν ανεξάρτητη από την πίεση στην έξοδο.



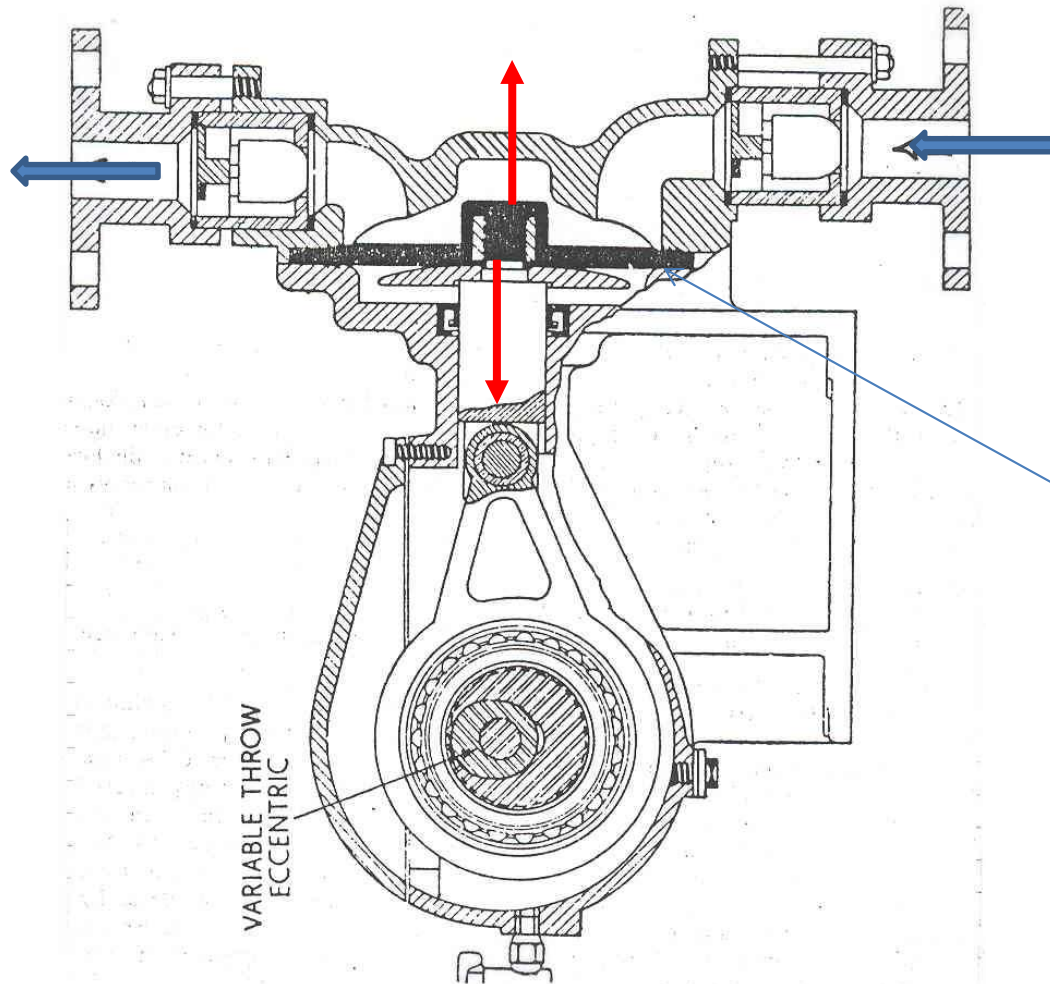
Αντλίες

- **Αντλία Περιστρεφόμενου Κοχλίας**
- Κύριες εφαρμογές: **Διακίνηση πολτών και κρεμών**. Τροφοδοσία αιωρημάτων σε φιλτρόπρεςες.
- **Πλεονεκτήματα:** Απλή, αξιόπιστη, **αθόρυβη**, μπορεί να αναπτύξει μεγάλες πιέσεις (μακρύτερος **κοχλίας** → μεγαλύτερη πίεση), σχεδόν σταθερή παροχή.
- **Μειονεκτήματα:** Μικρές ή μέτριες παροχές. Δεν πρέπει να λειτουργεί ξηρή.



Αντλίες

- Αντλία Διαφράγματος

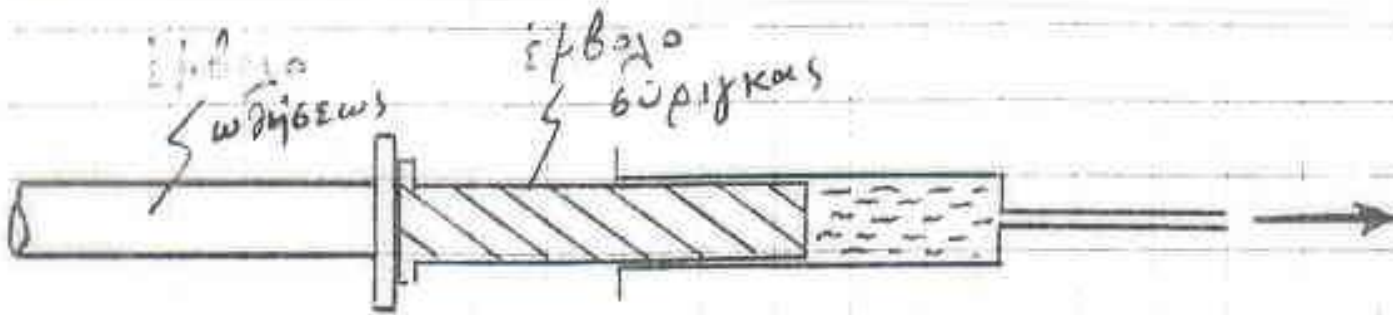


Κύριες εφαρμογές:
**Διαβρωτικά υγρά, ή
αιωρήματα αποξεστικών
στερεών σωματιδίων.** Τα
μόνα κινούμενα μέρη που
έρχονται σε επαφή με το
υγρό (βαλβίδες,
διάφραγμα) είναι από
ειδικά ανθεκτικά υλικά.

Αντλίες

- **Δοσιμετρικές Αντλίες (μικρές παροχές)**

Παραδείγματα: αντλίες οδοντωτών τροχών, παλινδρομικές αντλίες, αντλίες με διάφραγμα, περισταλτικές αντλίες, αντλίες εμβόλου-σύριγγας, κλπ.



Αντλία εμβόλου-σύριγγας (Harvard pump)

Αντλίες

- **Περισταλτικές Αντλίες**

Το υγρό κινείται μέσα σε πλαστικό σωλήνα, προωθούμενο από ένα κινητό στέλεχος που συσφίγγει τελείως το σωλήνα σε δύο σημεία, κινώντας το θύλακα κατά τη φορά της ροής.

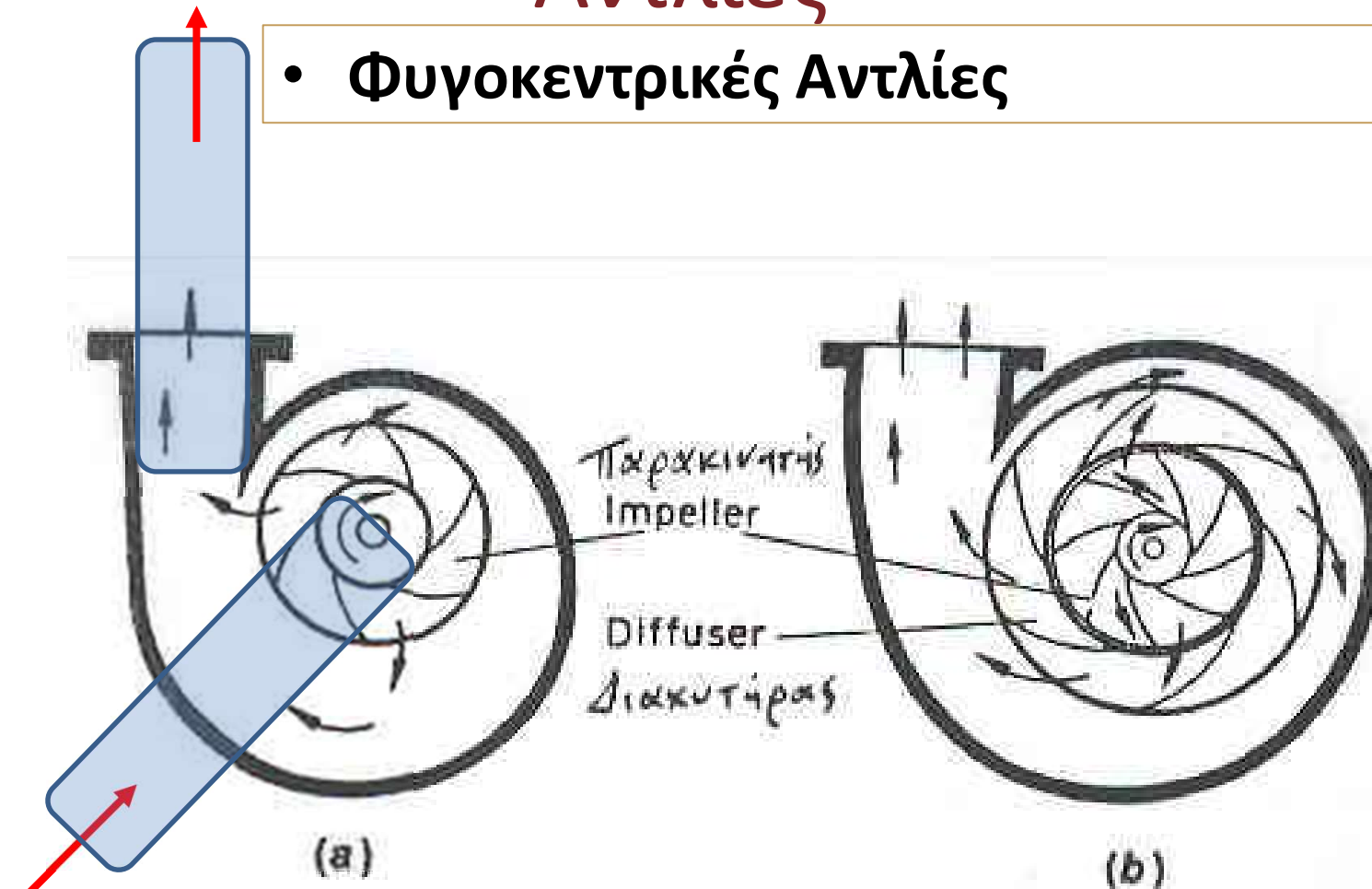
Κύριες εφαρμογές: **Διακίνηση βιολογικών υγρών χωρίς φόβο μόλυνσεως**. Διακίνηση διαβρωτικών υγρών. Μέτρηση και ρύθμιση μικρών παροχών.



**Περισταλτική αντλία
με τρεις κυλιόμενους
κυλίνδρους
συσφίξεως**

Αντλίες

- Φυγοκεντρικές Αντλίες



(α) φυγοκεντρική αντλία ακτινικής ροής (β) φυγοκεντρική αντλία ακτινικής ροής με πτερυγιακούς διαχυτήρες.

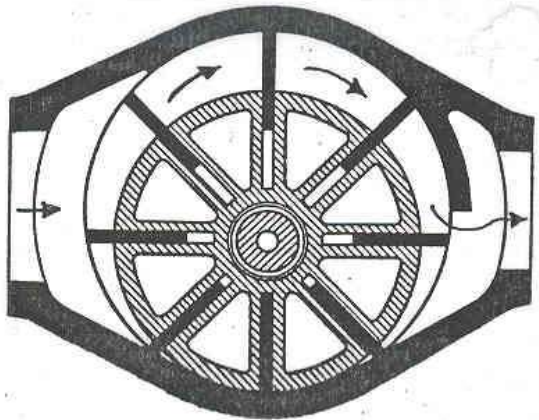
Η είσοδος γίνεται με σωλήνα κάθετα απέξω προς στο κέντρο της αντλίας

Αντλίες: Φυγοκεντρικές Αντλίες

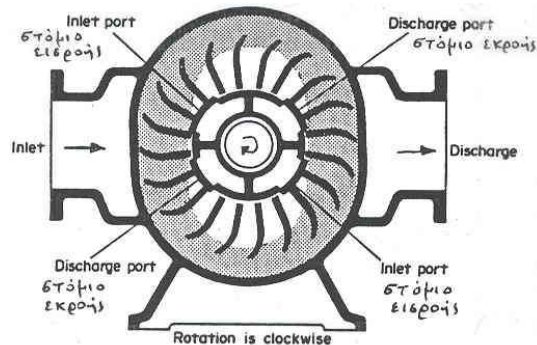
- Κύριες εφαρμογές: Οι φυγοκεντρικές αντλίες είναι **οι πλέον διαδεδομένες αντλίες στις χημικές και πετροχημικές βιομηχανίες**. Είναι κατάλληλες για ποικίλα υγρά, γαλακτώματα, αιωρήματα, άκομη και πολτούς. Λειτουργούν μέσα σε ευρύ φάσμα παραμέτρων και δίνουν άκομη και πολύ μεγάλες παροχές.
- Φυγοκεντρικές αντλίες ενός σταδίου δίνουν αύξηση υδροστατικής κεφαλής της τάξεως των **(30m)**g ($\cong 294 \text{ m}^2/\text{s}^2$). Όμως, **πολυσταδιακές** φυγοκεντρικές αντλίες, όπου η εκροή ενός σταδίου τροφοδοτείται στο επόμενο στάδιο κ.ο.κ., μπορούν να αναπτύξουν **πολύ μεγαλύτερη υδροστατική** κεφαλή.

Αντλίες ΓΙΑ ΑΕΡΙΑ

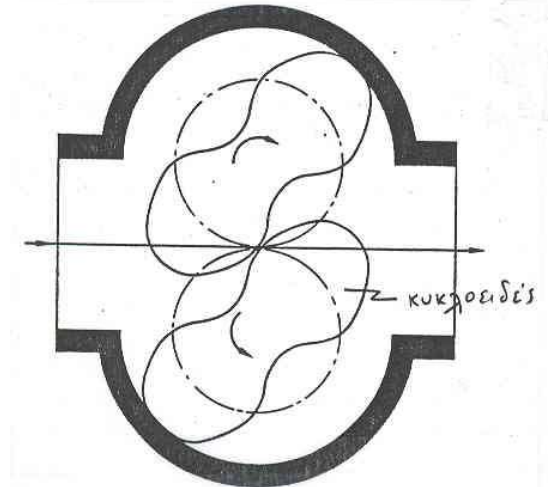
- Αντλίες Υψηλού Λόγου Συμπιέσεως



Αντλία με ολισθαίνοντα πτερύγια. Δεξιόστροφη περιστροφή. Τα πτερύγια παρέχουν στεγανότητα και λίπανση, υφιστάμενα σταδιακή φθορά.



Αντλία με δακτύλιο υγρού. Το υγρό παρέχει στεγανότητα. Τα πτερύγια δεν υφίστανται μεγάλη φθορά. (Αντλία Nash Hytor) Δεξιόστροφη περιστροφή. Το υγρό παρέχεται στην πίεση εξόδου και συμπληρώνεται για να καλύψει απώλειες.



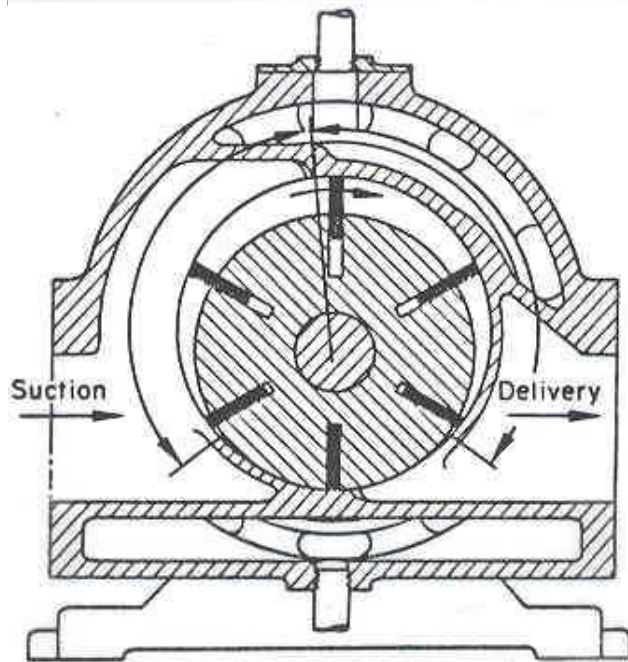
Αντλία εκτοπίσεως με περιστρεφόμενα κυκλοειδή σώματα. (Αντλία του Rootes).

Αντλίες για ΑΕΡΙΑ

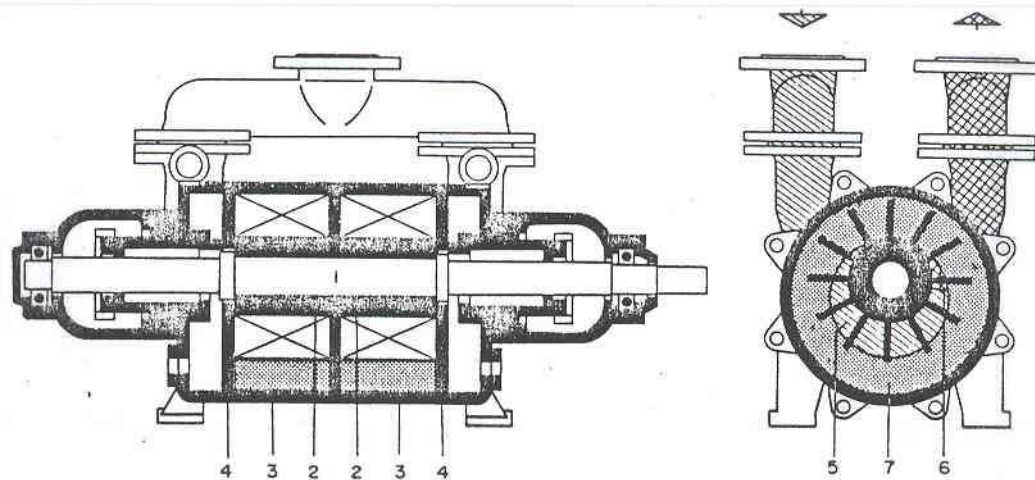
- **Αντλίες Χαμηλού Λόγου Συμπιέσεως**

Κυρίως φυγοκεντρικές αντλίες και ανεμιστήρες αξονικής ή μικτής ροής

Αντλίες **KENOY**



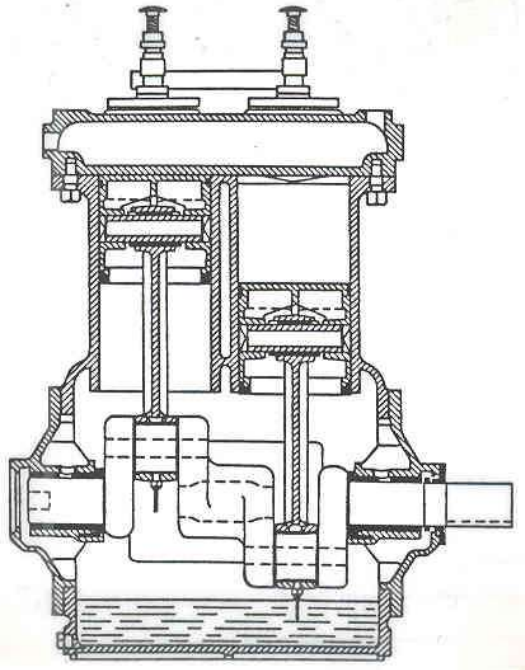
Αντλία κενού, τύπου ολισθαινόντων πτερυγίων



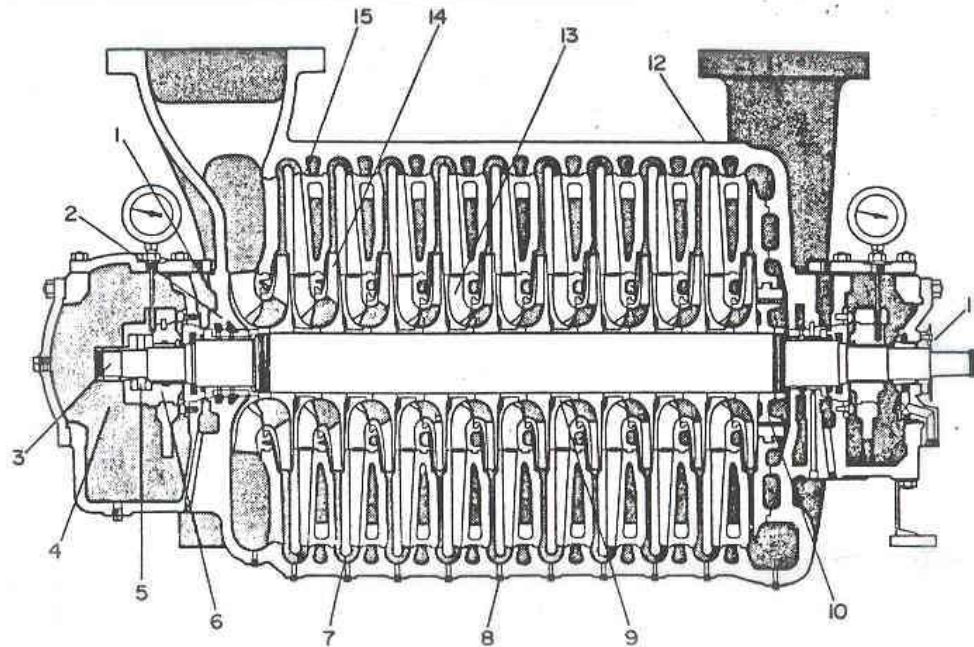
Αντλία κενού, τύπου υγρού δακτυλίου, ενός σταδίου.
1 = άξονας, 2 = παρακινητής, 3 = περίβλημα, 4 = οδηγός, 5 = στόμιο ροφήσεως, 6 = στόμιο εκροής, 7 = δακτύλιος υγρού.

Αντλίες για ΑΕΡΙΑ

- Συμπιεστές

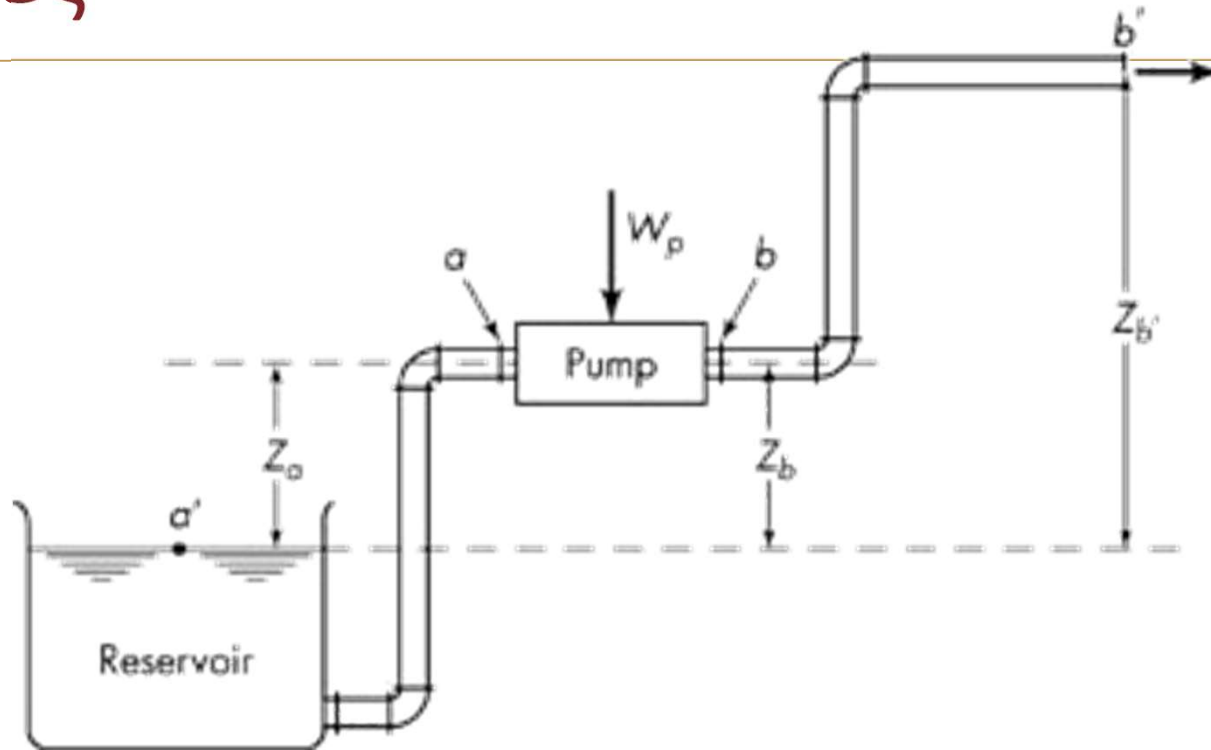


**Παλινδρομικός
συμπιεστής (με έμβολα
και βαλβίδες)**



**Πολυσταδιακός φυγοκεντρικός
συμπιεστής**

Αντλίες



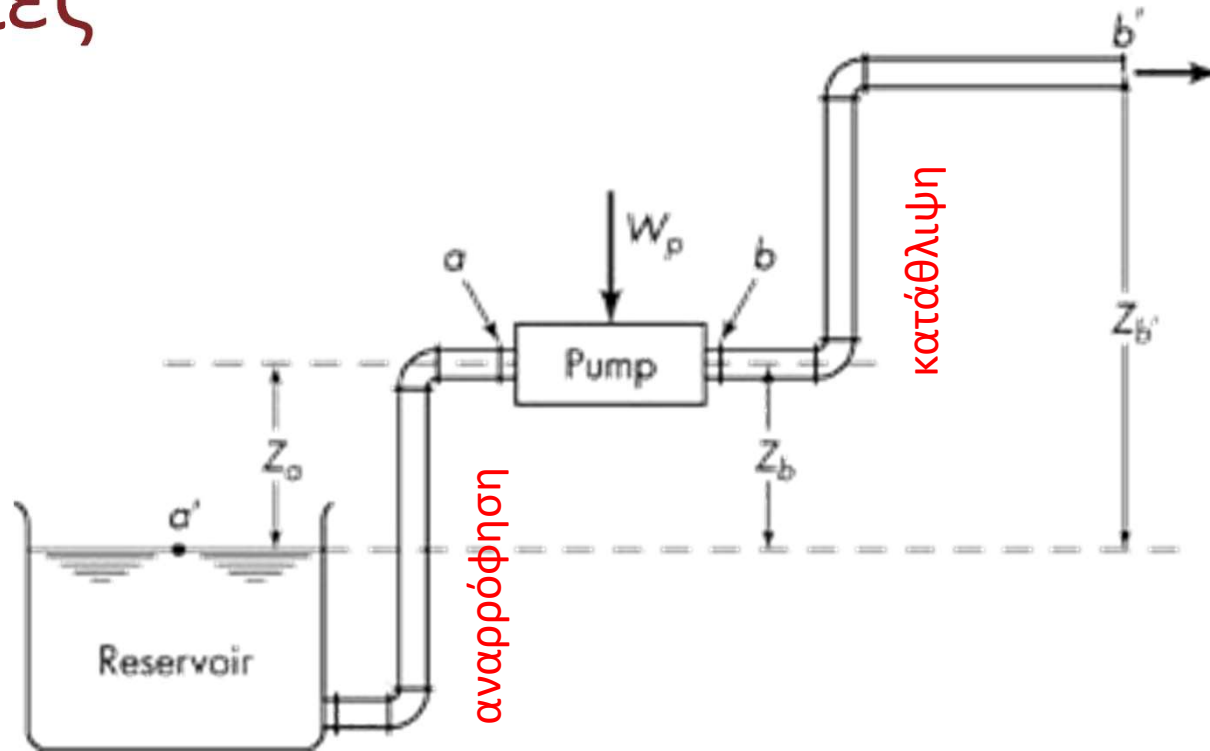
$$\frac{p_a}{\rho} + gZ_a + \frac{\alpha_a \bar{V}_a^2}{2} + \eta \cdot W_p = \frac{p_b}{\rho} + gZ_b + \frac{\alpha_b \bar{V}_b^2}{2} + h_f \Rightarrow$$

$$\eta \cdot W_p = \left(\frac{p_b}{\rho} + gZ_b + \frac{\alpha_b \bar{V}_b^2}{2} \right) - \left(\frac{p_a}{\rho} + gZ_a + \frac{\alpha_a \bar{V}_a^2}{2} \right)$$

$$\frac{p_a}{\rho} + gZ_a + \frac{\alpha_a \bar{V}_a^2}{2} + gH = \frac{p_b}{\rho} + gZ_b + \frac{\alpha_b \bar{V}_b^2}{2} + h_f$$

$h_f=0$, μόνο εδώ!

Αντλίες



$$\frac{p_a}{\rho} + gZ_a + \frac{\alpha_a \bar{V}_a^2}{2} + \eta \cdot W_p = \frac{p_b}{\rho} + gZ_b + \frac{\alpha_b \bar{V}_b^2}{2} + \cancel{h_f} \Rightarrow$$

$$\eta \cdot W'_{\text{ιδανικό}} = \left(\cancel{\frac{p_b}{\rho}} + gZ_b + \cancel{\frac{\alpha_b \bar{V}_b^2}{2}} \right) - \left(\cancel{\frac{p_a}{\rho}} + gZ_a + \cancel{\frac{\alpha_a \bar{V}_a^2}{2}} \right) = g(Z_b - Z_a) = W'_{\text{πραγματικό}}$$

$$\frac{p_a}{\rho} + gZ_a + \frac{\alpha_a \bar{V}_a^2}{2} + gH = \frac{p_b}{\rho} + gZ_b + \frac{\alpha_b \bar{V}_b^2}{2}, \text{ Η σε μέτρα, } gH \text{ ή } W' [=] \text{m}^2/\text{s}^2$$

Αντλίες

- Οι ποσότητες $\frac{p}{\rho} + gZ + \frac{\alpha \bar{V}^2}{2}$ ονομάζονται **ολικές κεφαλές** (αναρρόφησης ή κατάθλιψης αντίστοιχα) και συμβολίζονται με H' $\left[\frac{m^2}{s^2}\right]$

$$W_p = \frac{H'_b - H'_a}{\eta} = \frac{\Delta H'}{\eta} = (gH)/\eta$$

- Διαιρώντας με g προκύπτει:

$$H = \frac{H'}{g} = \frac{p}{\rho g} + Z + \frac{\alpha \bar{V}^2}{2g} = \quad [m^2/s^2]/(m/s^2) [=] m$$

- Ή στο fps: $\frac{Hg_c}{g} = \frac{pg_c}{\rho g} + Z + \frac{\alpha \bar{V}^2}{2g}$
- Στις εξισώσεις αυτές κάθε όρος έχει μονάδες μήκους, m

Αντλίες

- Η ισχύς που παρέχεται στην αντλία από εξωτερική πηγή είναι:

$$P_B = \dot{m} W_p = \frac{\dot{m} \Delta H'}{\eta} = \frac{(\rho Q) \Delta H'}{\eta} \quad (\text{Ισχύς της αντλίας}) = \frac{(\rho Q) (gH)}{\eta} = \frac{(\rho gQ) (H)}{\eta} \quad [100]$$

- Η ισχύς που παρέχεται στο ρευστό είναι (μέρος της ολικής ισχύος):

$$P_f = \dot{m} \Delta H' = Q \rho \Delta H' = (\rho gQ) (H) \quad [200]$$

- Και προφανώς:

$$P_B = \frac{P_f}{\eta} \quad (0 < \eta < 1), \quad \eta: \text{απόδοση αντλίας}$$

Ισοζύγιο Στροφορμής- Ροπή

- **Ανάλυση φυγοκεντρικών αντλιών και άλλων στροβιλοαντλιών**
- Στροβιλομηχανές είναι μηχανές που συνεργάζονται με κινούμενα ρευστά κατευθύνοντας τη ροή με πτερύγια που είναι προσαρτημένα πάνω σε ένα περιστρεφόμενο στέλεχος (πτερωτή). Οι στροβιλομηχανές διακρίνονται σε
- (i) **στροβιλοκινητήρες (turbines), οι οποίοι λαμβάνουν μηχανική ενέργεια από το ρευστό,**
- (ii) **στροβιλοαντλίες, οι οποίες δίνουν μηχανική ενέργεια στο ρευστό.** Στην περίπτωση στροβιλοαντλιών, η πτερωτή καλείται και παρακινητής (impeller), αφού αυτή περιστρεφόμενη παρακινεί το ρευστό.
- Σε αντίθεση με ό,τι συμβαίνει μέσα σε μηχανές θετικής εκτοπίσεως, το ρευστό σε μία στροβιλομηχανή δεν είναι ποτέ περιορισμένο σε έναν κλειστό θύλακα. **Όλες οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ ρευστού και πτερωτής οφείλονται στη δυναμική δράση του ρευστού επί της πτερωτής ή αντιστρόφως.**
- **Οι στροβιλοαντλίες,** με τη σειρά τους μπορούν να διακριθούν στους ακόλουθους τύπους:
 - (i) **στροβιλοαντλίες ακτινικής ροής, ή φυγοκεντρικές αντλίες**
 - (ii) **στροβιλοαντλίες αξονικής ροής**
 - (iii) **στροβιλοαντλίες μικτής (ακτινικής και αξονικής) ροής**

Ισοζύγιο Στροφορμής και Ροπή, $T_{shaft} = W_p / \omega$

$$\left. \frac{dN}{dt} \right)_{\text{συστ}} = \frac{d}{dt} \iiint_{\nabla} \eta \rho dV + \iint_A \eta \rho \mathbf{v} \cdot \hat{\mathbf{n}} dA$$

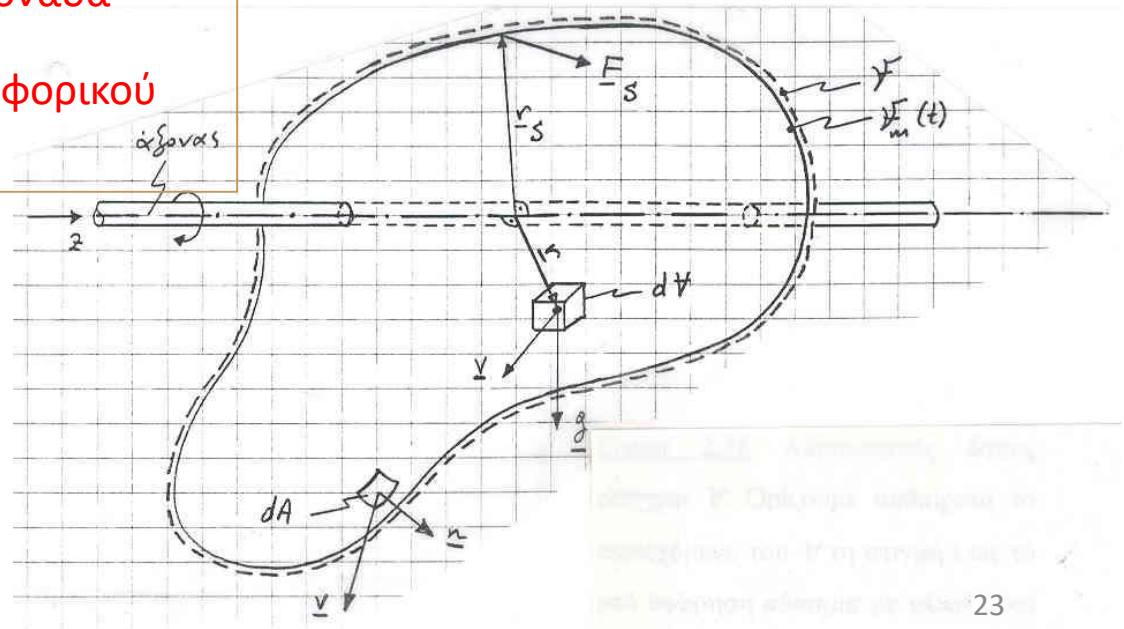
- Ας θεωρήσουμε τώρα έναν αδρανειακό όγκο ελέγχου ∇ , Σχ. 12.16 (βιβλίο ΑΧΠ).
- Ορίζουμε, αυθαίρετα, ως το υπό θεώρηση σύστημα το ρευστό που περιέχεται στον ∇ την αυθαίρετη στιγμή t . Θεωρώντας στροφορές ως προς ένα αυθαίρετο άξονα z έχουμε,
- \mathbf{r} = χωρικό άνυσμα θέσεως
- \mathbf{v} = ταχύτητα ως προς ∇
- $\mathbf{r} \times \mathbf{v}$ = **στροφορμή ανά μονάδα μάζας (= γωνιακή ταχύτητα)**
- $(\mathbf{r} \times \mathbf{v}) \rho dV =$ **στροφορμή του διαφορικού υλικού στοιχείου όγκου dV**

$N = \mathbf{M}$ (μάζα), $\eta = 1$ (M/m), $dM/dt = 0$

$N = \mathbf{J}$ (ορμή, mV), $\eta = \mathbf{V}$,
 $d\mathbf{J}/dt)_{\text{συστ}} = \mathbf{F}_T = \mathbf{F}_B + \mathbf{F}_S$

$N = \mathbf{H}$ (στροφορμή), $\eta = \mathbf{r} \times \mathbf{v}$
 $d\mathbf{H}/dt)_{\text{συστ}} = \mathbf{T}$ (ροπή) = $T_{shaft} + T_B + T_S$

$N = E$ (ενέργεια), $\eta = e$ ($u, \frac{1}{2} \langle v \rangle^2, gh$)
 $dN/dt = (Q' - W')$, 1^{ος} θερμοδ. νόμος



Ισοζύγιο Στροφορμής

$$\mathbf{H}(t) \equiv \iiint_{V_m(t)} (\mathbf{r} \times \mathbf{v}) \rho \, dV = \left\{ \begin{array}{l} \text{στροφορμή του συστήματος} \\ \text{με υλικό όγκο } V_m(t) \end{array} \right\}$$

$$\mathbf{T} = \mathbf{T}_{\text{shaft}} + \iiint_{V_m(t)} \mathbf{r} \times \mathbf{g} \rho \, dV + \mathbf{r}_S \times \mathbf{F}_S \quad \mathbf{T} = \left. \frac{d\mathbf{H}}{dt} \right)_{\text{συστ}}$$

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_B + \mathbf{F}_S$$

όπου

$\mathbf{T}_{\text{shaft}}$ = **ροπή** που ασκείται επάνω στο σύστημα μέσω ενός **εμβόλου** (κατά τον άξονα z)

\mathbf{F}_S = **επιφανειακή δύναμη** που ασκείται σε ένα σημείο της επιφανείας με άνυσμα θέσεως \mathbf{r}_S

$$\iiint_{V_m(t)} \mathbf{r} \times \mathbf{g} \rho \, dV = \text{ροπή που ασκείται στο σύστημα από τη } \mathbf{βαρύτητα} \text{ (ή, πιο γενικά, από σωματικές δυνάμεις)}$$

$$\left. \frac{dN}{dt} \right)_{\text{συστ}} = \frac{d}{dt} \iiint_V \eta \rho \, dV + \iint_A \eta \rho \mathbf{v} \cdot \hat{\mathbf{n}} \, dA \quad N \equiv \iiint_{V_m(t)} \eta \rho \, dV$$

Ισοζύγιο Στροφορμής

$$\left. \frac{d\mathbf{H}}{dt} \right)_{\text{συστ}} = \frac{d}{dt} \iiint_{\mathcal{V}} (\mathbf{r} \times \mathbf{v}) \rho \, d\mathcal{V} + \iint_A (\mathbf{r} \times \mathbf{v}) \rho \mathbf{v} \cdot \hat{\mathbf{n}} \, dA$$

$$\mathbf{T}_{\text{shaft}} + \iiint_{\mathcal{V}} (\mathbf{r} \times \mathbf{g}) \rho \, d\mathcal{V} + \mathbf{r}_s \times \mathbf{F}_s = \frac{d}{dt} \iiint_{\mathcal{V}} (\mathbf{r} \times \mathbf{v}) \rho \, d\mathcal{V} + \iint_A (\mathbf{r} \times \mathbf{v}) \rho \mathbf{v} \cdot \hat{\mathbf{n}} \, dA$$

ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΣΤΡΟΦΟΡΜΗΣ ΓΙΑ ΑΔΡΑΝΕΙΑΚΟ ΟΓΚΟ ΕΛΕΓΧΟΥ

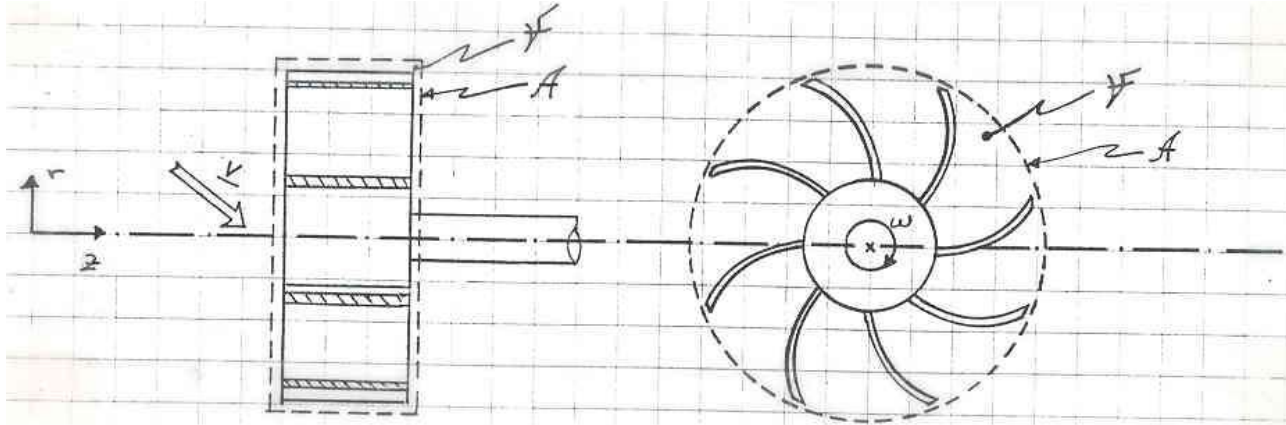
Στην Εξ. (12.6) η ταχύτητα \mathbf{v} μετράται ως προς τον (αδρανειακό) όγκο ελέγχου \mathcal{V} . Η δύναμη \mathbf{F}_s και η ροπή $\mathbf{T}_{\text{shaft}}$ ασκούνται στο περιεχόμενο του όγκου ελέγχου.

Θα κάνουμε τις ακόλουθες υποθέσεις.

1. Μόνιμη λειτουργία
2. Μηδενική ροπή από βαρύτητα, λόγω της εκ κατασκευής συμμετρίας του παρακινητή
3. Η καθαρή επιφανειακή δύναμη \mathbf{F}_s από ιξώδεις τάσεις είναι αμελητέα.

Στροβιλοαντλίες

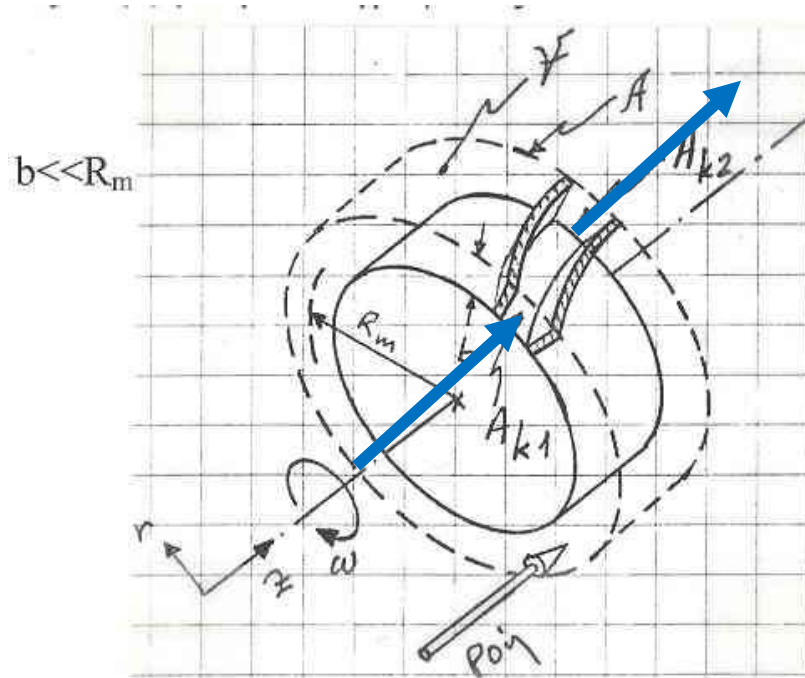
Εφαρμογή του ισοζυγίου στροφορμής σε στροβιλοαντλίες



Τυπικός παρακινητής στροβιλοαντλίας **ακτινικής ροής**

$$\mathbf{T}_{\text{shaft}} = \iint_A (\mathbf{r} \times \mathbf{v}) \rho \mathbf{v} \cdot \hat{\mathbf{n}} dA$$

Στροβιλοαντλίες



Παρακινητής στροβιλοαντλίας **αξονικής ροής**. Απεικονίζονται μόνο δύο πτερύγια για την απλότητα του σχήματος. Υποθέτουμε ότι ο παρακινητής έχει K διαμερίσματα πανομοιότυπα με το απεικονιζόμενο.

$$\mathbf{T}_{\text{shaft}} = \iint_A (\mathbf{r} \times \mathbf{v}) \rho \mathbf{v} \cdot \hat{\mathbf{n}} dA$$

Παρατηρούμε ότι $\mathbf{v} \cdot \hat{\mathbf{n}}$ είναι η συνιστώσα της ροής του ρευστού η κάθετη προς την επιφάνεια ελέγχου A , καθόσον η \mathbf{v} μετράται ως προς ∇ . Αν, τώρα, συμβολίσουμε με \mathbf{v}_π την ταχύτητα του ρευστού ως προς τον περιστρεφόμενο παρακινητή, τότε $\mathbf{v} \cdot \hat{\mathbf{n}} = \mathbf{v}_\pi \cdot \hat{\mathbf{n}}$ καθόσον τα ανύσματα \mathbf{v} και \mathbf{v}_π διαφέρουν μόνο ως προς την εφαπτομενική συνιστώσα (ο παρακινητής δεν κινείται σε σχέση με τον όγκο ελέγχου ∇ προς τη διεύθυνση z).

Στροβιλοαντλίες αξονικής ροής

$$\mathbf{T}_{\text{shaft}} = \sum_{k=1}^K \mathbf{T}_k$$

$$\mathbf{T}_k = \iint_{A_{k1}} (\mathbf{r} \times \mathbf{v}) \rho \mathbf{v}_\pi \cdot \hat{\mathbf{n}} \, dA + \iint_{A_{k2}} (\mathbf{r} \times \mathbf{v}) \rho \mathbf{v}_\pi \cdot \hat{\mathbf{n}} \, dA$$

Σε αυτό το σημείο θα κάνουμε μερικές πρόσθετες υποθέσεις. Συγκεκριμένα

$$b \ll R_m \Rightarrow \mathbf{r}_{k1} = \mathbf{r}_{k2} \cong R_m \hat{\mathbf{e}}_{kr}$$

$$\mathbf{v}_{k1} = \text{σταθ.} \quad \text{επάνω στην } A_{k1},$$

$$\mathbf{v}_{k2} = \text{σταθ.} \quad \text{επάνω στην } A_{k2}$$

$$\mathbf{T}_k = (\mathbf{r}_{k1} \times \mathbf{v}_{k1}) \iint_{A_{k1}} \rho \mathbf{v}_\pi \cdot \hat{\mathbf{n}} \, dA + (\mathbf{r}_{k2} \times \mathbf{v}_{k2}) \iint_{A_{k2}} \rho \mathbf{v}_\pi \cdot \hat{\mathbf{n}} \, dA$$

$$= -\dot{m}_k (\mathbf{r}_{k1} \times \mathbf{v}_{k1}) + \dot{m}_k (\mathbf{r}_{k2} \times \mathbf{v}_{k2}) = \dot{m}_k (\mathbf{r}_{k2} \times \mathbf{v}_{k2} - \mathbf{r}_{k1} \times \mathbf{v}_{k1})$$

$$\stackrel{\dot{m}_k = \frac{\dot{m}}{K}}{\cong} \frac{\dot{m}}{K} R_m (\hat{\mathbf{e}}_{kr} \times \mathbf{v}_{k2} - \hat{\mathbf{e}}_{kr} \times \mathbf{v}_{k1})$$

Στροβιλοαντλίες αξονικής ροής

$$\mathbf{T}_k = T_{kr} \hat{\mathbf{e}}_{kr} + T_{k\theta} \hat{\mathbf{e}}_{k\theta} + T_{kz} \hat{\mathbf{e}}_z$$

$$\mathbf{v}_k = \hat{\mathbf{e}}_{kr} v_{kr} + \hat{\mathbf{e}}_{k\theta} v_{k\theta} + \hat{\mathbf{e}}_z v_{kz}$$

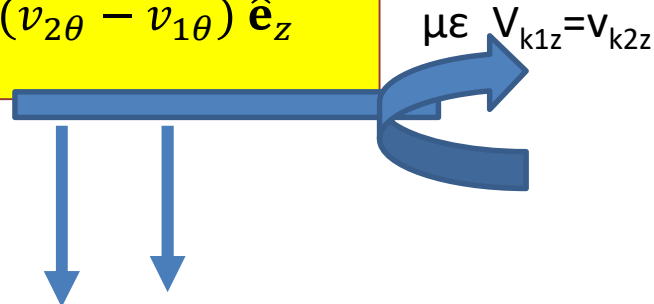
$$\hat{\mathbf{e}}_{kr} \times \mathbf{v}_{k1} = \hat{\mathbf{e}}_{kr} \times (\hat{\mathbf{e}}_{kr} v_{k1r} + \hat{\mathbf{e}}_{k\theta} v_{k1\theta} + \hat{\mathbf{e}}_z v_{k1z})$$

$$= (\hat{\mathbf{e}}_{kr} \times \hat{\mathbf{e}}_{k\theta}) v_{k1\theta} + (\hat{\mathbf{e}}_{kr} \times \hat{\mathbf{e}}_z) v_{k1z} = \hat{\mathbf{e}}_z v_{k1\theta} - \hat{\mathbf{e}}_{k\theta} v_{k1z}$$

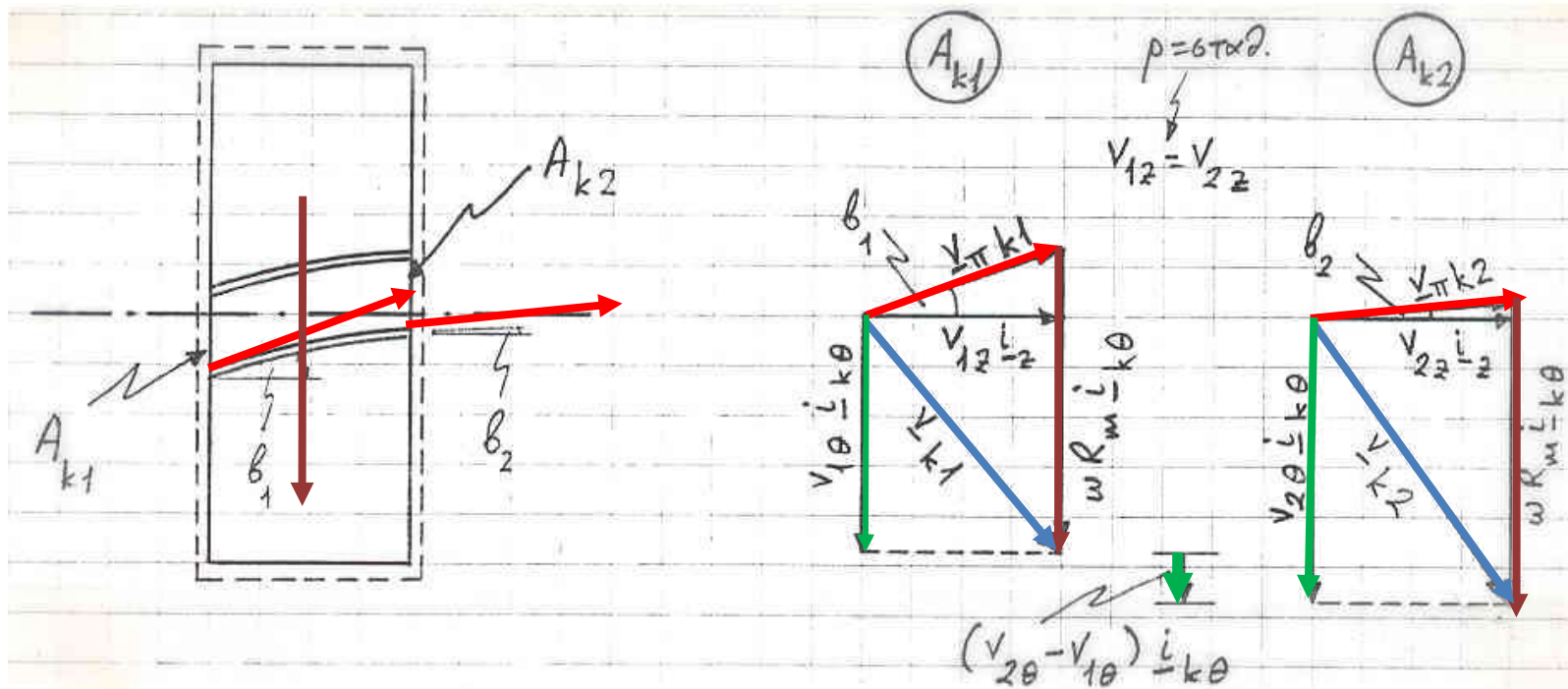
Ομοίως και για $\hat{\mathbf{e}}_{kr} \times \mathbf{v}_{k2} = \hat{\mathbf{e}}_{kr} \times (\hat{\mathbf{e}}_{kr} v_{k2r} + \hat{\mathbf{e}}_{k\theta} v_{k2\theta} + \hat{\mathbf{e}}_z v_{k2z})$

.../ ...// κλπ \rightarrow $= \hat{\mathbf{e}}_z v_{k2\theta} - \hat{\mathbf{e}}_{k\theta} v_{k2z}$

$$\mathbf{T}_{shaft} = T_{shaft} \hat{\mathbf{e}}_z = \dot{m} R_m (v_{2\theta} - v_{1\theta}) \hat{\mathbf{e}}_z$$



Στροβιλοαντλίες αξονικής ροής



$$v_{20} - v_{10} = v_{1z} (\tan \beta_1 - \tan \beta_2) = \frac{Q}{2\pi R_m b} (\tan \beta_1 - \tan \beta_2)$$

$$T_{shaft} = T_{shaft} \hat{e}_z = \dot{m} R_m (v_{20} - v_{10}) \hat{e}_z$$

$$T_{shaft} = \rho \frac{Q^2}{2\pi b} (\tan \beta_1 - \tan \beta_2) \quad , \quad \dot{W}_{i\delta} = T_{shaft} \omega = \rho \frac{\omega Q^2}{2\pi b} (\tan \beta_1 - \tan \beta_2)$$

$$E\acute{x}. 100 \quad H \equiv \frac{\dot{W}_{\pi\rho}}{\dot{m} g} \stackrel{\rho = \sigma \tau a \theta}{\downarrow} \frac{\dot{W}_{i\delta} \eta}{\rho g Q}$$

$$H = \frac{\eta \omega Q}{2\pi b g} (\tan \beta_1 - \tan \beta_2)$$

$$\Delta p = H \rho g = \rho \frac{\eta \omega Q}{2\pi b} (\tan \beta_1 - \tan \beta_2)$$

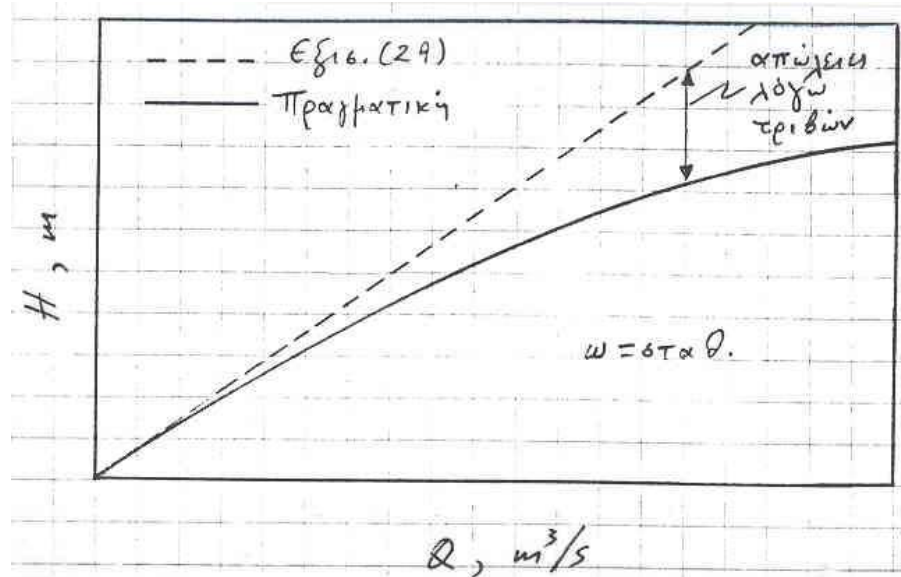
Στροβιλοαντλίες αξονικής ροής

$$H \equiv \frac{\dot{W}_{\pi\rho.}}{\dot{m} g} \stackrel{\rho=\sigma\tau}{\equiv} \frac{\dot{W}_{\iota\delta.\eta}}{\rho g Q}$$

$$H = \frac{\eta\omega Q}{2\pi b g} (\tan\beta_1 - \tan\beta_2)$$

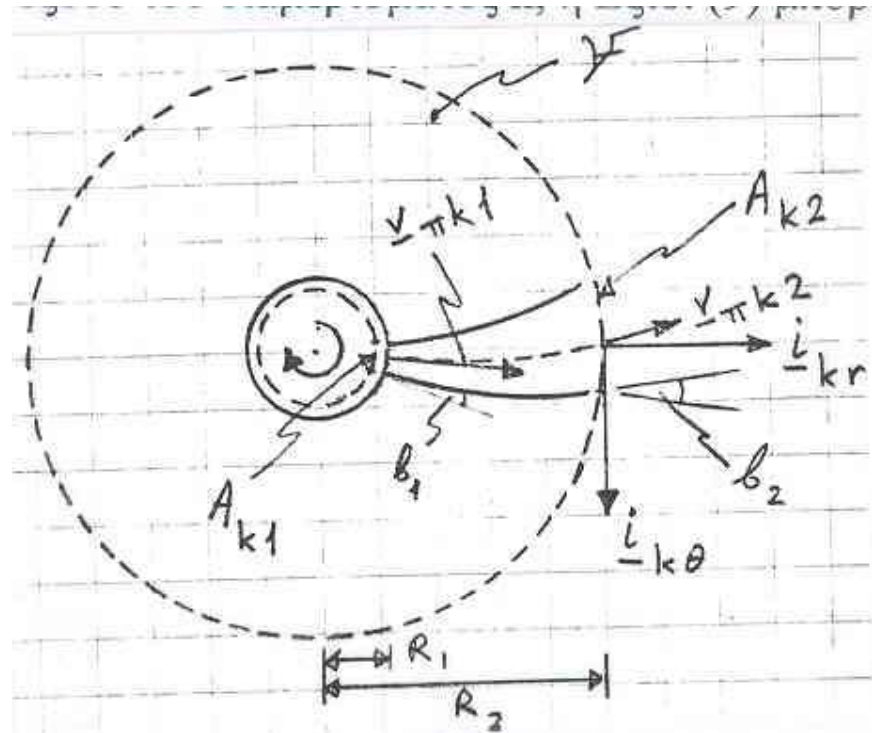
Η αύξηση πίεσεως μεταξύ εισόδου και εξόδου, Δp , δίνεται από την σχέση

$$\Delta p = H\rho g = \rho \frac{\eta\omega Q}{2\pi b} (\tan\beta_1 - \tan\beta_2)$$



Σχήμα 12.20 Χαρακτηριστική καμπύλη στροβιλοαντλίας αξονικής ροής

Στροβιλοαντλίες ακτινικής ροής



Παρακινητής (φτερωτή) στροβιλοαντλίας ακτινικής ροής. Απεικονίζονται μόνο τα δύο γειτονικά πτερύγια που περικλείουν το διαμέρισμα k . Ο παρακινητής έχει K διαμερίσματα πανομοιότυπα με το απεικονιζόμενο. Ο άξονας z είναι κάθετος στη σελίδα και με κατεύθυνση προς αυτή. Μήκος παρακινητή κατά $z = b$.

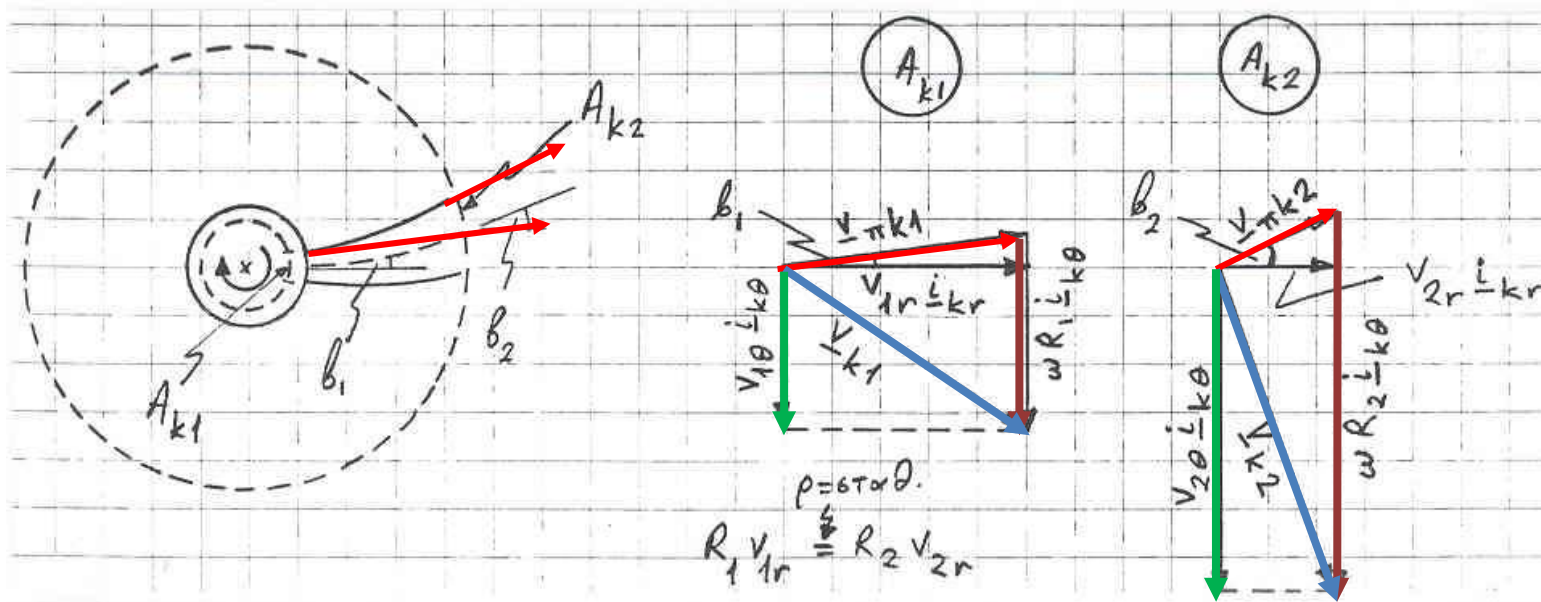
Στροβιλοαντλίες ακτινικής ροής

$$\mathbf{T}_{\text{shaft}} = \sum_{k=1}^K \mathbf{T}_k$$

$$\mathbf{T}_k = \iint_{A_{k1}} (\mathbf{r} \times \mathbf{v}) \rho \mathbf{v}_\pi \cdot \hat{\mathbf{n}} \, dA + \iint_{A_{k2}} (\mathbf{r} \times \mathbf{v}) \rho \mathbf{v}_\pi \cdot \hat{\mathbf{n}} \, dA$$

Εκτός των υποθέσεων 1, 2 και 3 που έχουν ενσωματωθεί στην Εξ. (12.9) θα κάνουμε τις ακόλουθες υποθέσεις

- $\mathbf{v}_{k1} = \text{σταθ. επάνω στην } A_{k1}$, $\mathbf{v}_{k2} = \text{σταθ. επάνω στην } A_{k2}$
- $\mathbf{v}_{\pi k} // \text{ επιφάνεια που χωρίζει το διαμέρισμα } k \text{ στη μέση, Σχ. 12.21}$



Στροβιλοαντλίες ακτινικής ροή

$$T_{\text{shaft}} = T_{\text{shaft}} \hat{e}_z$$

$$T_{\text{shaft}} = \dot{m} (R_2 v_{2\theta} - R_1 v_{1\theta})$$

$$R_1 v_{1r} = R_2 v_{2r} = \frac{\dot{m}}{2\pi b \rho} = \frac{Q}{2\pi b}$$

$$R_2 v_{2\theta} - R_1 v_{1\theta} = \omega (R_2^2 - R_1^2) - R_2 v_{2r} \tan \beta_2 + R_1 v_{1r} \tan \beta_1$$

Εξ. (12.42)

$$= \omega (R_2^2 - R_1^2) - \frac{Q}{2\pi b} (\tan \beta_2 - \tan \beta_1)$$

$$T_{\text{shaft}} = \rho Q \omega (R_2^2 - R_1^2) - \rho \frac{Q^2}{2\pi b} (\tan \beta_2 - \tan \beta_1)$$

$$\dot{W}_{\pi\rho} = T_{\text{shaft}} \omega = \rho Q \omega^2 (R_2^2 - R_1^2) - \rho \frac{Q^2 \omega}{2\pi b} (\tan \beta_2 - \tan \beta_1)$$

Εξ. 100

$$H = \frac{\dot{W}_{\pi\rho}}{\dot{m}g} = \frac{\eta \omega^2}{g} (R_2^2 - R_1^2) - \frac{\eta Q \omega}{2\pi b g} (\tan \beta_2 - \tan \beta_1) \quad \text{Όταν } Q \text{ αυξάνει, } H \text{ μειώνεται}$$

$$\Delta p = \rho g H = \eta \rho \left[\omega^2 (R_2^2 - R_1^2) - \frac{Q \omega}{2\pi b} (\tan \beta_2 - \tan \beta_1) \right]$$

Στροβιλοαντλίες ακτινικής ροή

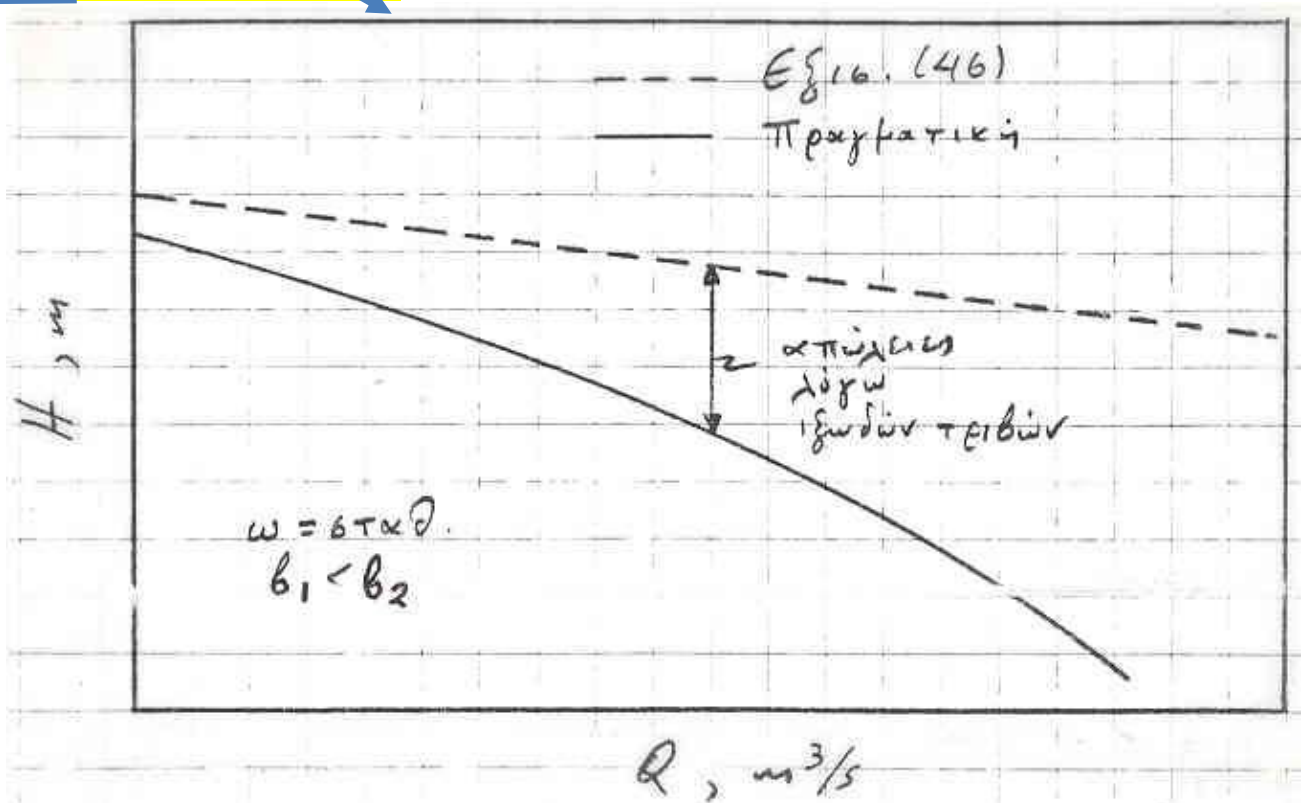
Απλούστερες μορφές των ανωτέρω εξισώσεων λαμβάνονται για $R_1^2 \ll R_2^2$ και $\beta_1=0$, όπως συμβαίνει συνήθως στην πράξη.

$$T_{\text{shaft}} = \rho \left(Q\omega R_2^2 - \frac{Q^2}{2\pi b} \tan \beta_2 \right)$$

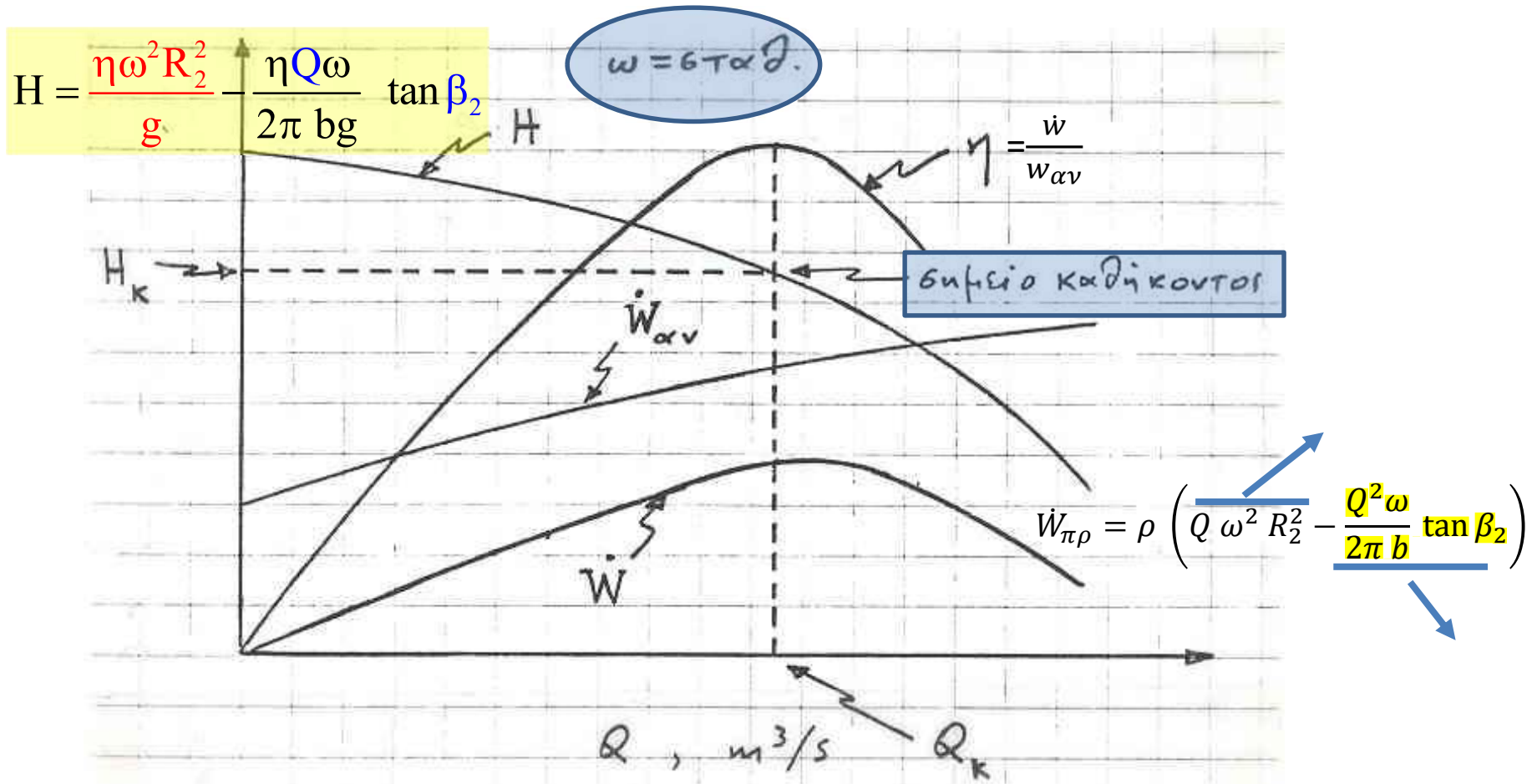
$$\dot{W}_{\pi\rho} = \rho \left(Q \omega^2 R_2^2 - \frac{Q^2 \omega}{2\pi b} \tan \beta_2 \right) = f(Q)$$

$$H = \frac{\eta \omega^2 R_2^2}{g} - \frac{\eta Q \omega}{2\pi b g} \tan \beta_2$$

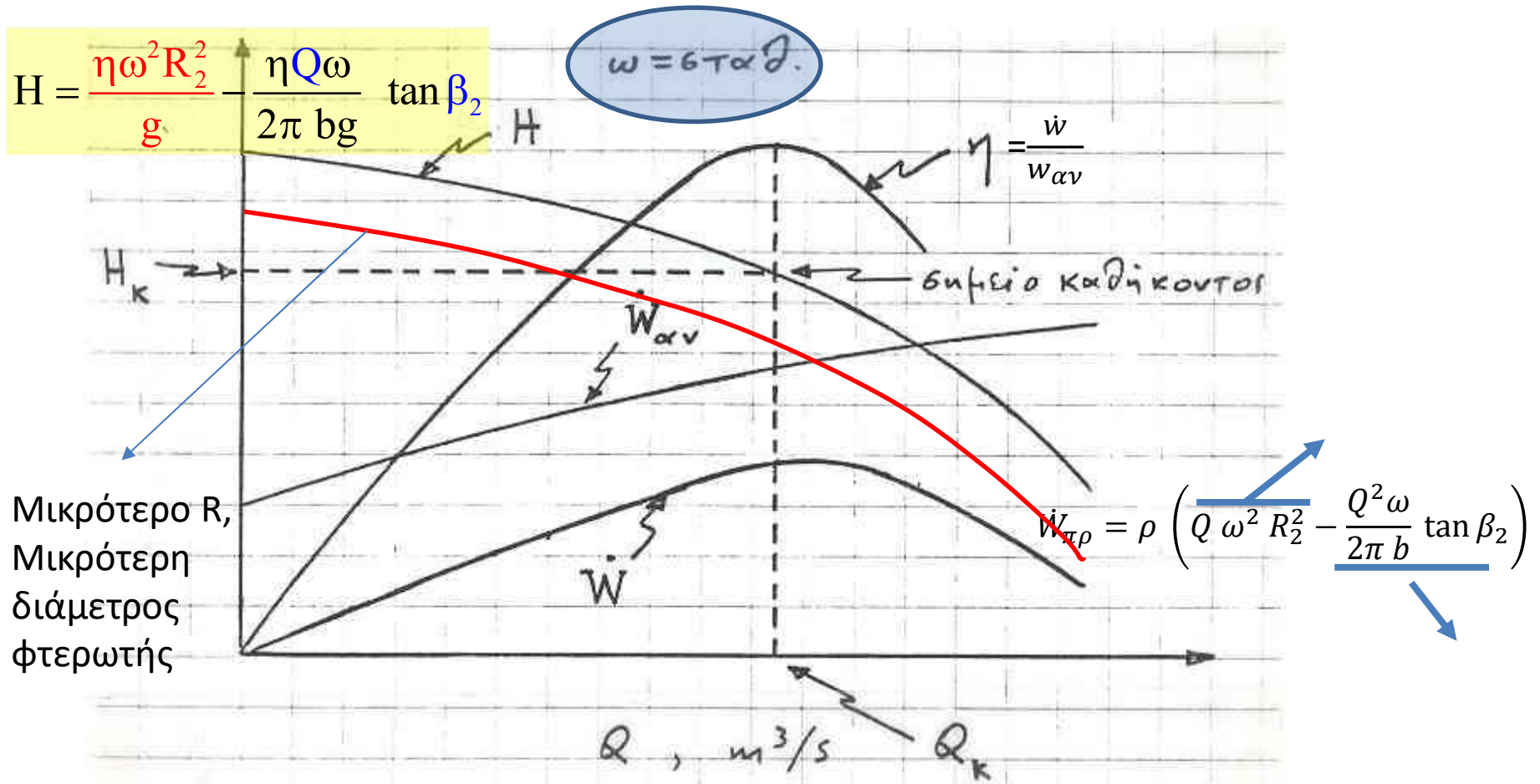
$$\Delta p = \eta \rho \left(\omega^2 R_2^2 - \frac{Q \omega}{2\pi b} \tan \beta_2 \right)$$



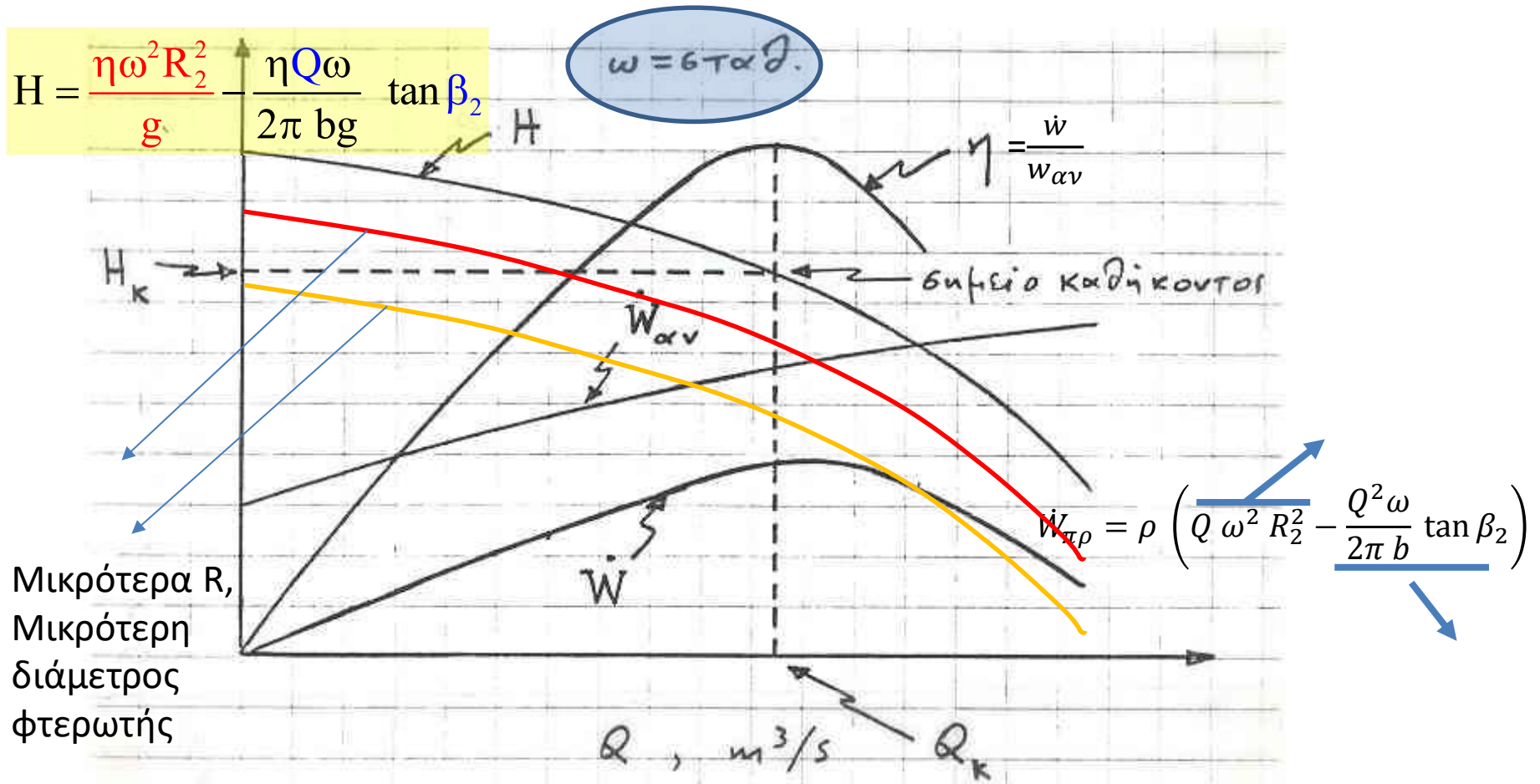
Χαρακτηριστικές καμπύλες φυγοκεντρικών αντλιών



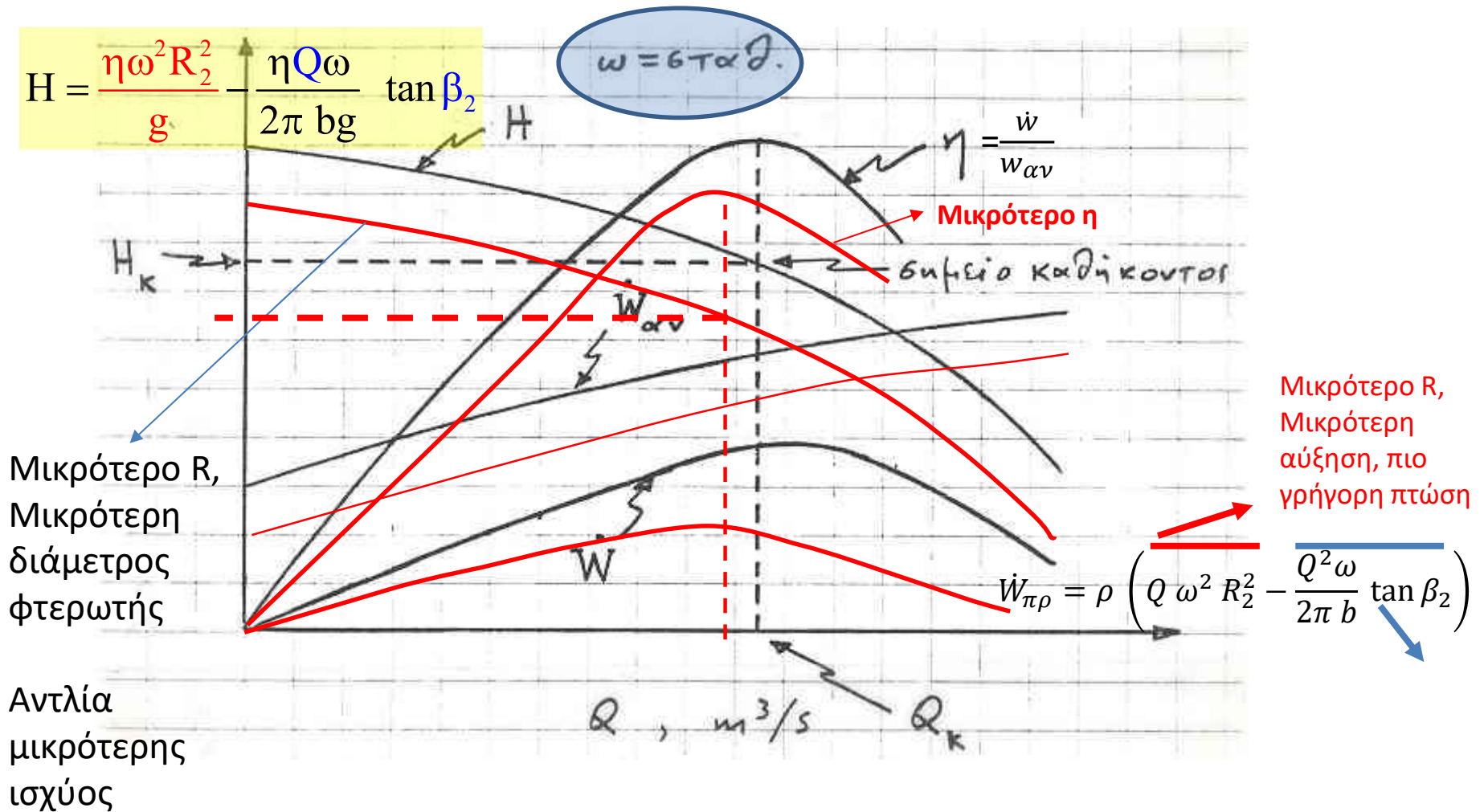
Χαρακτηριστικές καμπύλες φυγοκεντρικών αντλιών



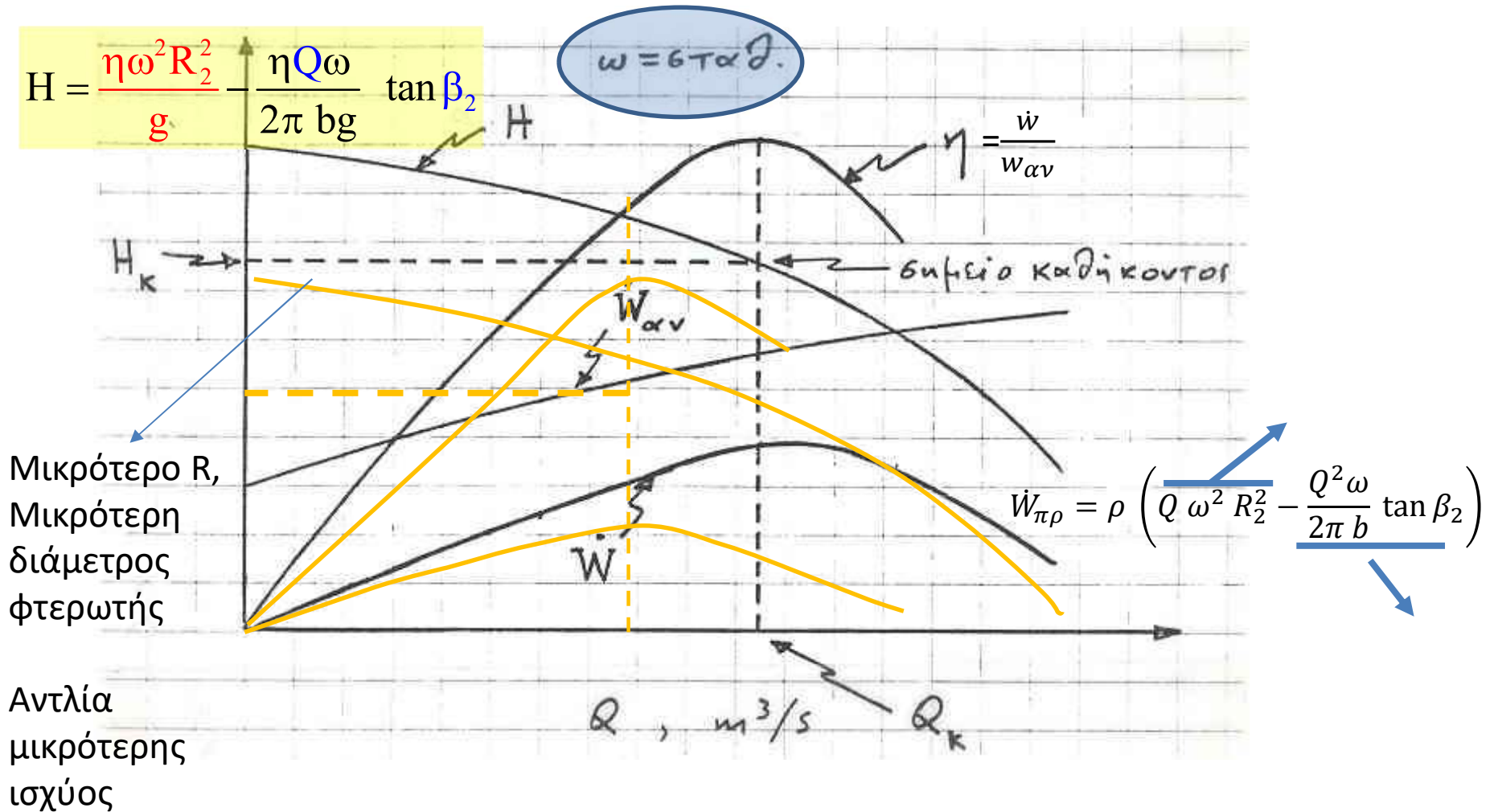
Χαρακτηριστικές καμπύλες φυγοκεντρικών αντλιών



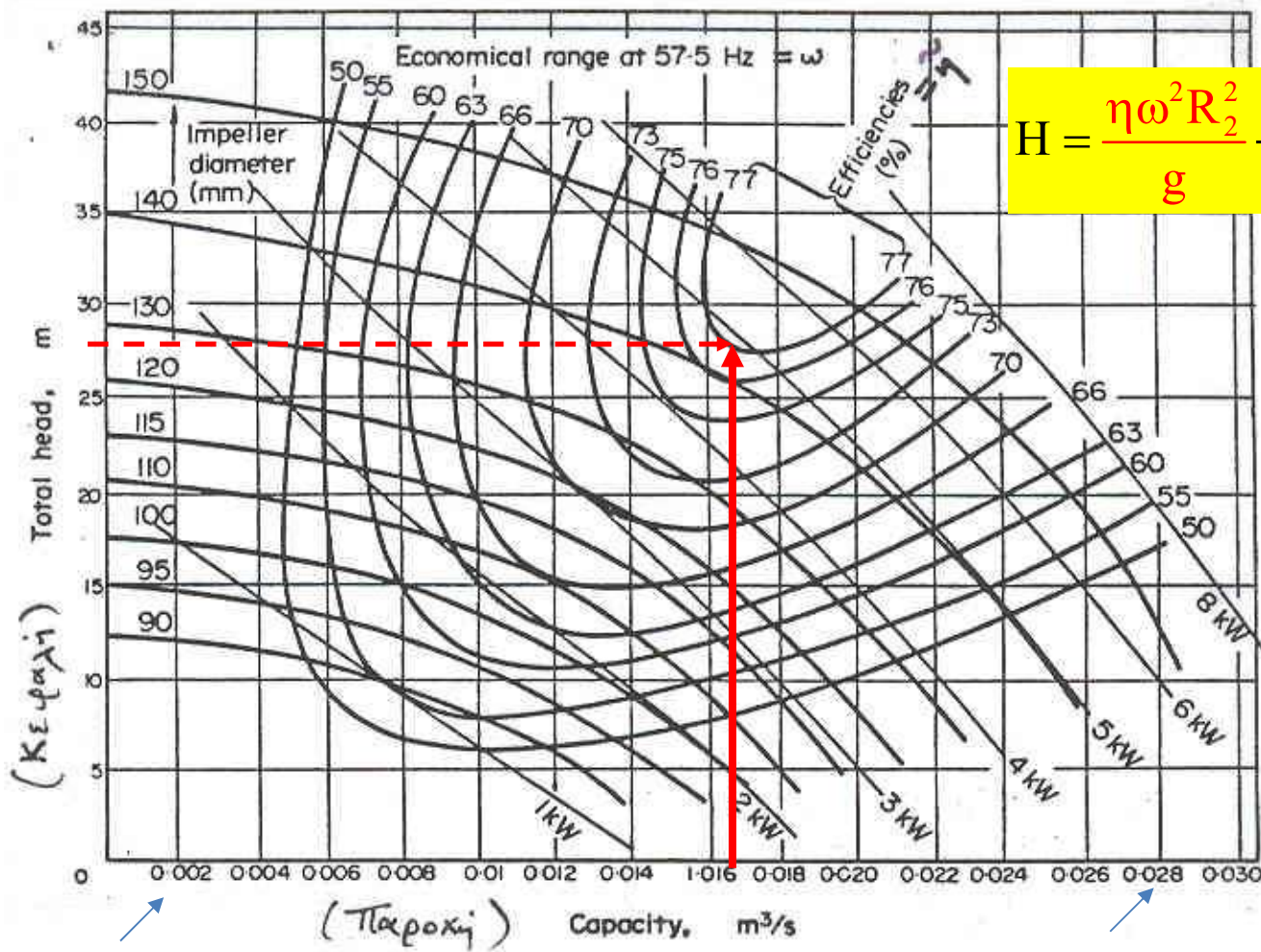
Χαρακτηριστικές καμπύλες φυγοκεντρικών αντλιών



Χαρακτηριστικές καμπύλες φυγοκεντρικών αντλιών



Χαρακτηριστικές καμπύλες φυγοκεντρικών αντλιών

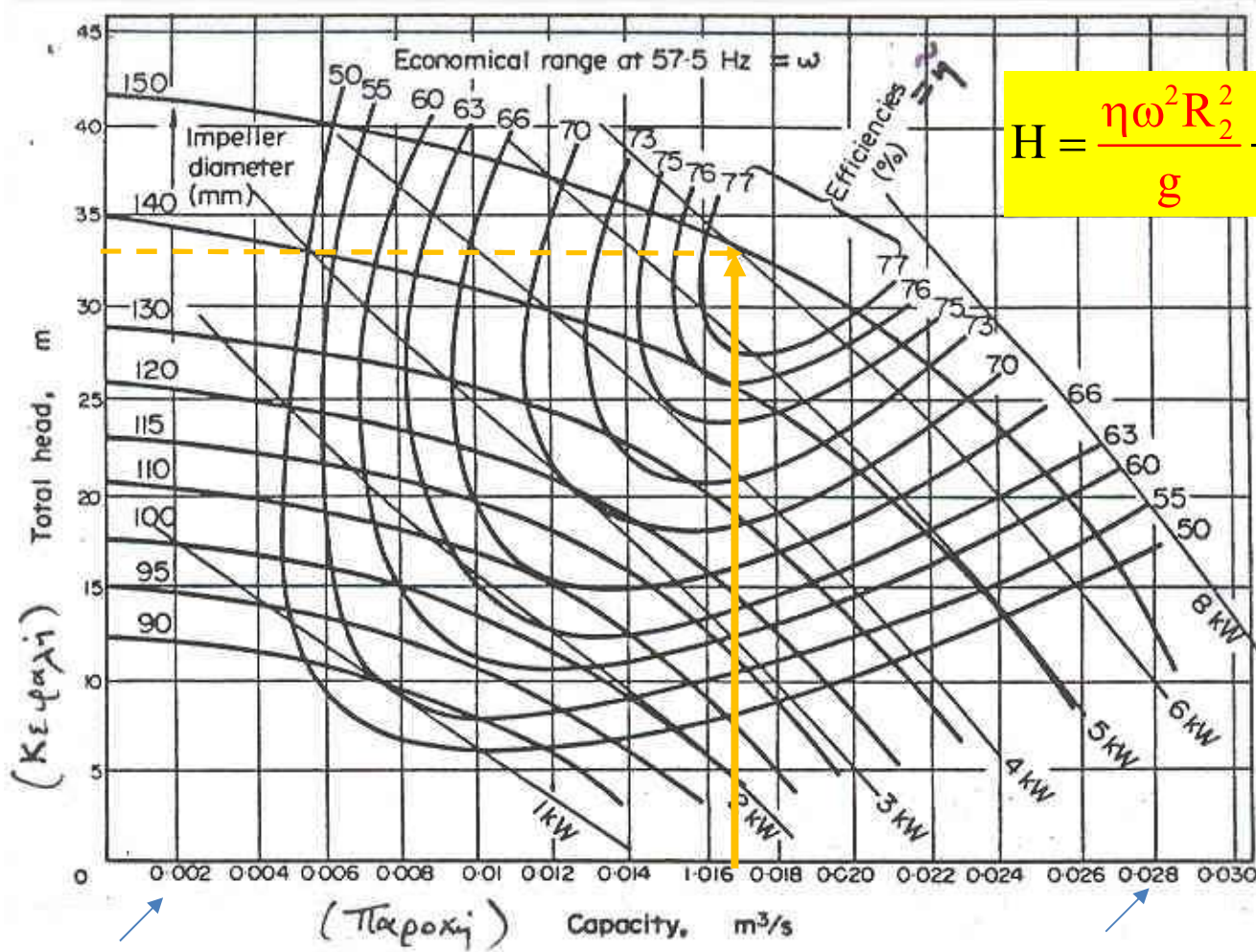


$$H = \frac{\eta \omega^2 R_2^2}{g} - \frac{\eta Q \omega}{2\pi b g} \tan \beta_2$$

0,12 m³/min=7,2m³/hr

1,68 m³/min=100,8 m³/hr

Χαρακτηριστικές καμπύλες φυγοκεντρικών αντλιών

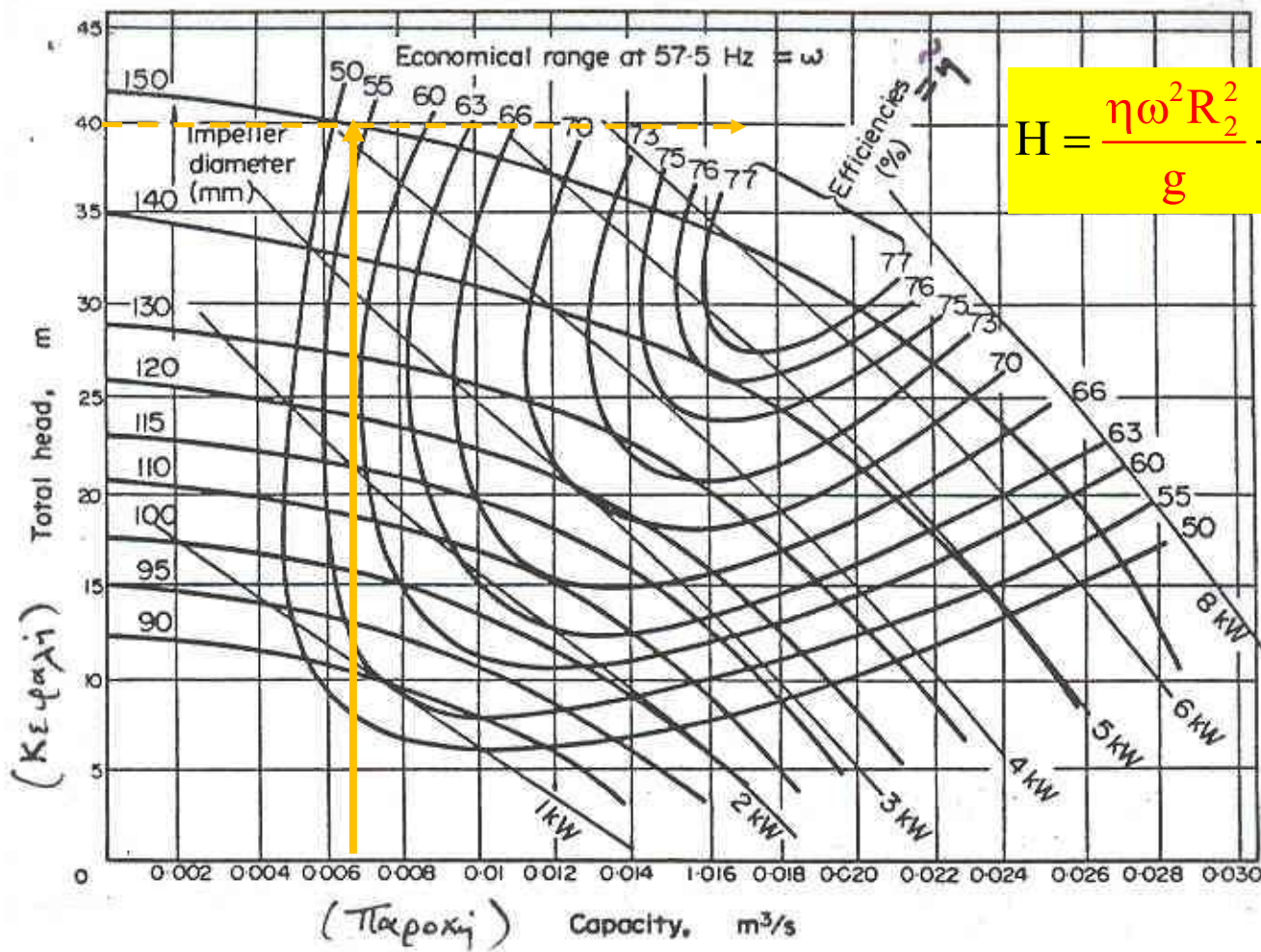


$$H = \frac{\eta \omega^2 R_2^2}{g} - \frac{\eta Q \omega}{2\pi b g} \tan \beta_2$$

0,12 m³/min=7,2m³/hr

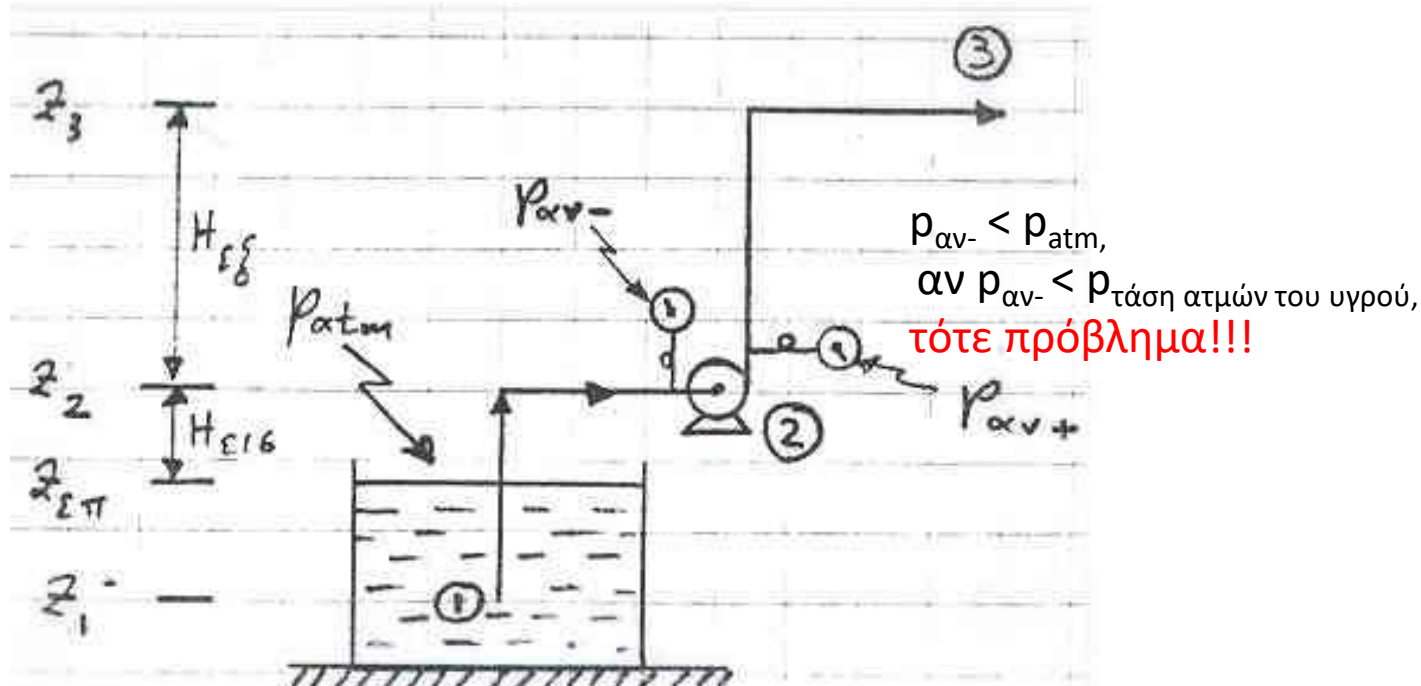
1,68 m³/min=100,8 m³/hr

Χαρακτηριστικές καμπύλες φυγοκεντρικών αντλιών



$$H = \frac{\eta \omega^2 R_2^2}{g} - \frac{\eta Q \omega}{2\pi b g} \tan \beta_2$$

Καθαρή θετική κεφαλή ροφής (ΚΘΚΡ) [Net positive suction head (NPSH)]



- Αν η πίεση στην είσοδο της αντλίας γίνει ίση με ή μικρότερη από την τάση ατμών του υγρού (στη θερμοκρασία της διεργασίας), τότε δημιουργούνται **φουσαλλίδες**, ή και **μεγάλες μάζες ατμών**.
- Το φαινόμενο αυτό συνοδεύεται από χαρακτηριστικό θόρυβο που δημιουργείται από τον αφανισμό (κατάρρευση) των φουσαλλίδων στην **περιοχή υψηλών πιέσεων μέσα στην αντλία**.
- Η δημιουργία φουσαλλίδων (**σηλαιώση**) είναι φθοροποιό φαινόμενο και μπορεί να οδηγήσει σύντομα στην καταστροφή του παρακινητή και άλλων εξαρτημάτων της αντλίας. Η φθορά αυτή προξενείται από τα ισχυρότατα κρουστικά κύματα που συνοδεύουν τον αφανισμό των φουσαλλίδων, καθόσον η διαφορά πίεσης μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού μιας μικρής φουσαλλίδας **μπορεί να φθάσει εκατοντάδες ή χιλιάδες ατμόσφαιρες**.
- Σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να διακοπεί και η διακίνηση του υγρού και να χρειασθεί επαναγόμωση της αντλίας.

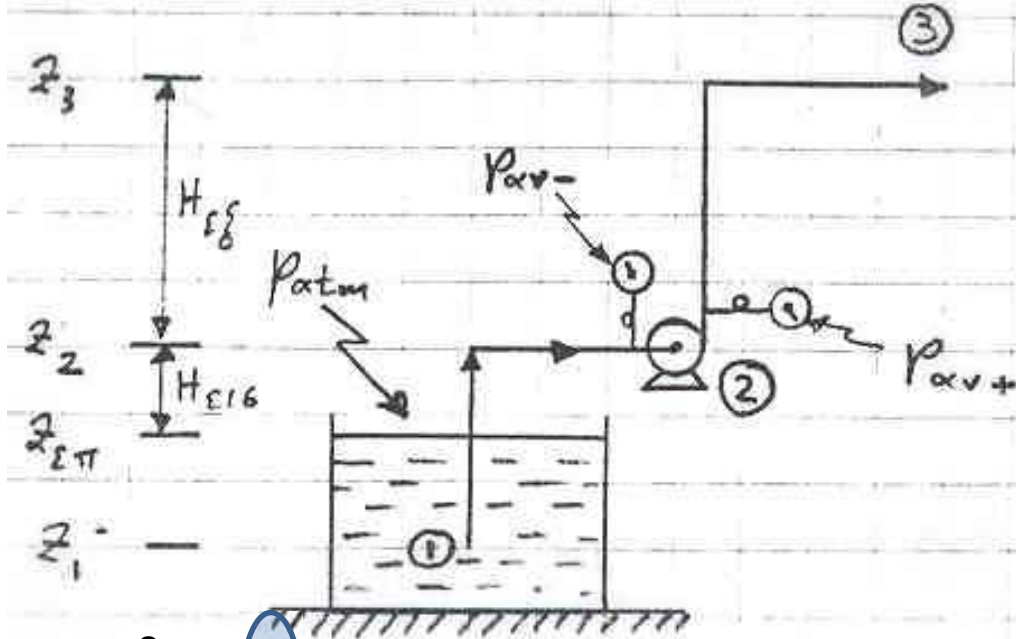
Καθαρή θετική κεφαλή ροφήσεως (ΚΘΚΡ) [Net positive suction head (NPSH)]

- Για να αποφευχθεί η δημιουργία φυσαλίδων οι κατασκευαστές αντλιών προδιαγράφουν μία **ελάχιστη θετική διαφορά πίεσεως μεταξύ της πίεσεως εισόδου στην αντλία p_{av-} και της τάσεως ατμών, p_v .**
- Η διαφορά αυτή εκφράζεται ως ύψος στήλης του υγρού και καλείται **καθαρή θετική κεφαλή ροφήσεως, ΚΘΚΡ** (ή NPSH). **Η ΚΘΚΡ εκφράζεται σε m.** Έτσι, για την ομαλή λειτουργία μιας αντλίας η πίεση στην είσοδο της, p_{av-} , πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση

$$p_{av-} \geq p_v + (ΚΘΚΡ) \rho g$$

Η ανισότητα αυτή επιβάλλει περιορισμούς στη **θέση** στην οποία μπορεί να τοποθετηθεί η **αντλία**.

Καθαρή θετική κεφαλή ροφής (ΚΘΚΡ) [Net positive suction head (NPSH)]



Μια αντλία δεν μπορεί να ροφήσει υγρό από βάθος $H_{\epsilon 16}$ μεγαλύτερο του $(p_{atm} - p_v) / \rho g$

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{1}{2} \alpha_{1-} \langle v_{1-} \rangle^2 + gz_1 = \frac{p_{av-}}{\rho} + \frac{1}{2} \alpha_{2-} \langle v_{2-} \rangle^2 + gz_2 + (h_{ol})_{1-,2-} \quad \text{διαδρομή } z_{1-} \rightarrow z_{2-}$$

$$\frac{p_{atm}}{\rho} + gz_{\epsilon\pi} = \frac{p_1}{\rho} + \frac{1}{2} \alpha_{1-} \langle v_{1-} \rangle^2 + gz_1 \quad \text{ελάχιστες απώλειες στην διαδρομή } z_{\epsilon\pi} \rightarrow z_{1-}$$

Προσθέτοντας τις δύο παραπάνω εξισώσεις

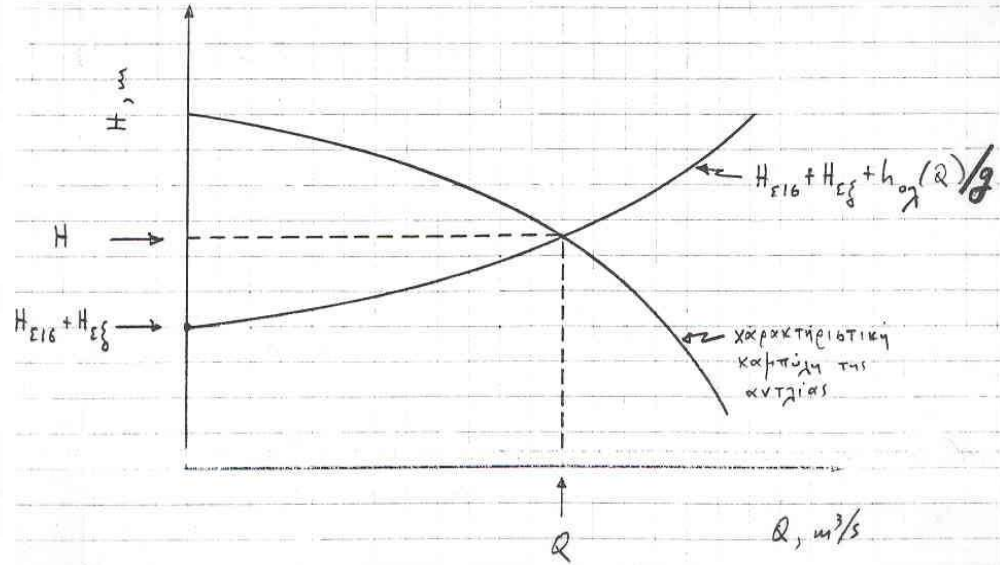
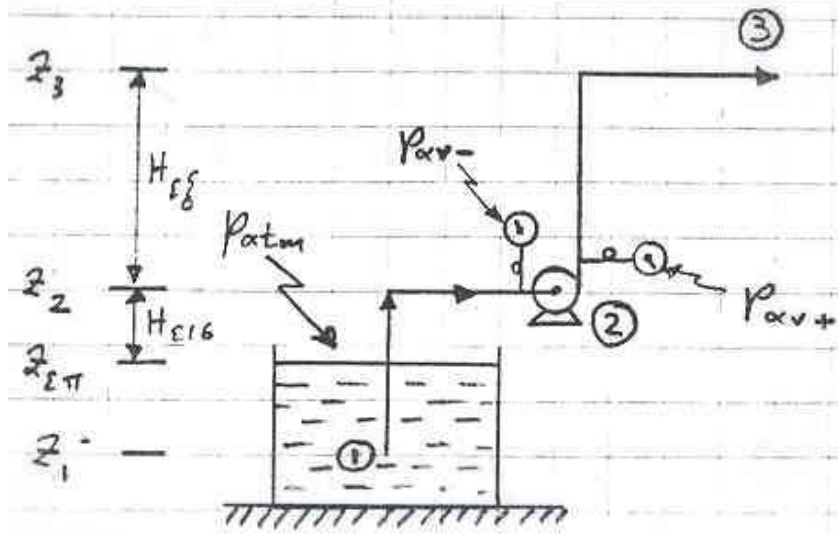
$$\frac{p_{atm}}{\rho} + gz_{\epsilon\pi} = \frac{p_{av-}}{\rho} + \frac{1}{2} \alpha_{2-} \langle v_{2-} \rangle^2 + gz_2 + (h_{ol})_{1-,2-} \quad \left[\begin{array}{l} H_{\epsilon 16} = z_2 - z_{\epsilon\pi} \\ \langle v_{av-} \rangle = \langle v_{2-} \rangle \\ h_{\epsilon 16} = (h_{ol})_{1-,2-} \end{array} \right]$$

$$\frac{p_{av-}}{\rho} = \frac{p_{atm}}{\rho} - gH_{\epsilon 16} - \frac{1}{2} \langle v_{av-} \rangle^2 - h_{\epsilon 16} \quad \left[gH_{\epsilon 16} + \frac{1}{2} \langle v_{av-} \rangle^2 + h_{\epsilon 16} \leq \frac{(p_{atm} - p_v)}{\rho} - g(\text{ΚΘΚΡ}) \right]$$

$$p_{av-} \geq p_v + (\text{ΚΘΚΡ}) \rho g$$

Αν $H_{\epsilon 16}$ αυξηθεί τότε οι όροι $(gH_{\epsilon 16})$ και $h_{\epsilon 16}$ θα αυξηθούν και θα πάψει να ισχύει η ανισότητα

Καθορισμός παροχής σε σύστημα αντλίας-



ΒΑΣΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ

$$\frac{p_{atm}}{\rho} + gz_{\varepsilon\pi} = \frac{p_{3+}}{\rho} + \frac{1}{2} \langle v_{3+} \rangle^2 + gz_3 - gH + h_{ολ}$$

$p_{3+} = p_{atm}$

$$H = (z_3 - z_{\varepsilon\pi}) + \frac{h_{ολ}}{g}$$

$$H(Q) = H_{\varepsilon\iota\sigma} + H_{\varepsilon\xi} + \frac{h_{ολ}(Q)}{g}$$