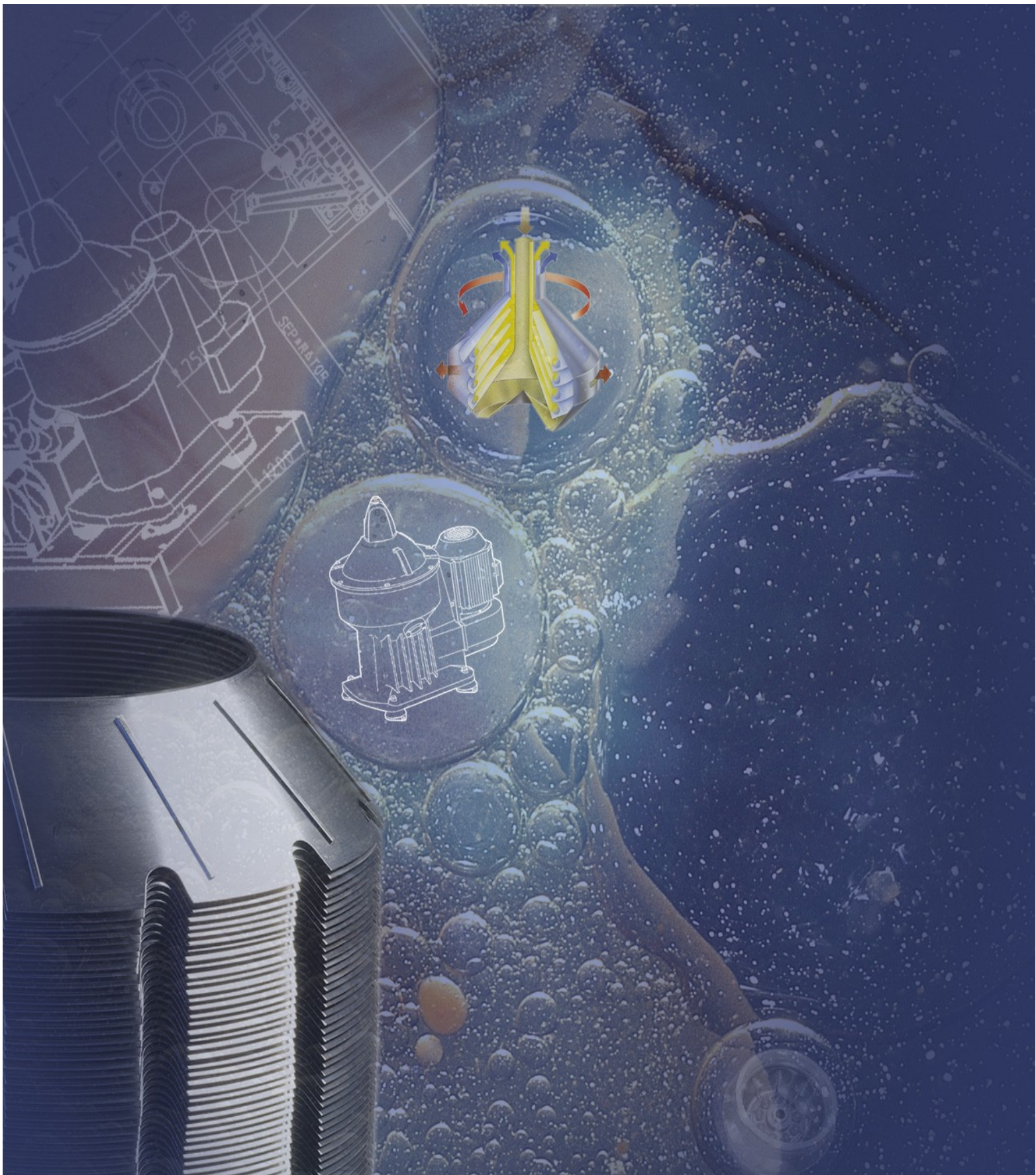


# Βασική Θεωρία του Διαχωρισμού





# Βασική Θεωρία του Διαχωρισμού

Alfa Laval reserves the right to make changes at anytime without prior notice.

Any comments regarding possible errors and omissions or suggestions for improvement of this publication would be gratefully appreciated.

Copies of this publication can be ordered from your local Alfa Laval Company.

**Published by:** Alfa Laval Tumba AB  
Parts & Service  
SE 14780TumbaSweden



# Περιεχόμενα

<b>1</b>	<b>Θεμελιώδεις Αρχές .....</b>	<b>5</b>
1.1	Διαχωρισμός με την Βαρύτητα.....	5
1.2	Στρωτή και Τυρβώδης Ροή .....	6
1.3	Παροχή Ικανότητας.....	7
1.3.1	Ταχύτητα Καθίζησης .....	8
1.4	Παράμετροι στον Νόμο του Stokes.....	9
1.4.1	Μέγεθος Σωματιδίων .....	9
1.4.2	Διαφορά Πυκνότητας .....	9
1.4.3	Ιξώδες .....	9
1.5	Νόμος του Stokes .....	10
1.6	Απόδοση Διαχωρισμού vs Παροχή και Επιφάνεια.....	11
<b>2</b>	<b>Βελτιώνοντας την Απόδοση του Διαχωρισμού .....</b>	<b>13</b>
2.1	Πλάκες .....	13
2.1.1	Γιατί οι Πλάκες παίζουν ρόλο .....	14
2.1.2	Συνοψίζοντας .....	15
2.2	Φυγοκεντρικός Διαχωρισμός .....	16
2.2.1	Επανασχεδιάζοντας την Δεξαμενή .....	17
2.2.2	Από τη Βαρυτική στη Φυγοκεντρική Δύναμη .....	18
2.3	Διαχωριστήρας Υψηλής Ταχύτητας .....	19
2.3.1	Η Στοιβή των Δίσκων .....	19
2.3.2	Η Ροή ανάμεσα στους Δίσκους.....	20
2.3.3	Η Δεξαμενή .....	21
2.3.4	Η Διαιρεμένη Δεξαμενή .....	22
2.3.5	Προσθέτοντας Λάδι στην Διαιρεμένη Δεξαμενή .....	23
2.3.6	Αυξάνοντας την Επάρκεια με τη Φυγόκεντρο Δύναμη .....	26
<b>3</b>	<b>Το Μπολ και οι Εφαρμογές.....</b>	<b>27</b>
3.1	Ο Διαχωριστήρας .....	27
3.2	Βασικές Αρχές Διαχωρισμού .....	28
3.2.1	Καθαριστήρας (Purifier) .....	28
3.2.2	Διαυγαστήρας (Clarifier) .....	29
3.3	Λειτουργικά Προβλήματα .....	30
3.4	Το Μπολ του Καθαριστήρα .....	31
3.5	Το Μπολ του Διαυγαστήρα .....	32
3.6	Παράγοντες που επηρεάζουν την Διεπιφάνεια .....	33
3.6.1	Μετακίνηση του interface προς τα μέσα .....	33

---

3.6.2	<a href="#">Μετακίνηση του interface προς τα έξω .....</a>	<a href="#">34</a>
3.7	<a href="#">Πως να βρούμε τον κατάλληλο Δίσκο Βαρύτητας .....</a>	<a href="#">35</a>
4	<a href="#">Απόδοση Διαχωριστήρα .....</a>	<a href="#">37</a>
4.1	<a href="#">Διαχωριστήρας vs Φίλτρο.....</a>	<a href="#">37</a>
4.2	<a href="#">Τι διαχωρίζουμε και τι όχι .....</a>	<a href="#">38</a>
4.2.1	<a href="#">Συστατικά και ιδιότητες του καυσίμου που δεν επηρεάζονται.</a>	<a href="#">38</a>
4.2.2	<a href="#">Συστατικά του καυσίμου που επηρεάζονται .....</a>	<a href="#">39</a>
4.3	<a href="#">Πρότυπο ISO 8217 .....</a>	<a href="#">40</a>
4.4	<a href="#">Καταλυτικά Σωματίδια (Cat-Fines) .....</a>	<a href="#">41</a>
5	<a href="#">Συνοψίζοντας .....</a>	<a href="#">43</a>
5.1	<a href="#">Βέλτιστη Διεπιφάνεια .....</a>	<a href="#">43</a>
5.2	<a href="#">Θερμοκρασία .....</a>	<a href="#">43</a>
5.3	<a href="#">Νόμος του Stokes .....</a>	<a href="#">44</a>
5.4	<a href="#">Περιορισμοί Συμβατικών Διαχωριστήρων .....</a>	<a href="#">45</a>
5.4.1	<a href="#">Περιορισμοί στη Πυκνότητα .....</a>	<a href="#">45</a>

# 1 Θεμελιώδεις Αρχές

Ο στόχος του μαθήματος είναι η παρουσίαση των βασικών αρχών του διαχωρισμού και η εξήγηση της λειτουργίας του Φυγοκεντρικού Διαχωριστήρα.

Θα ξεκινήσουμε αναλύοντας τις θεμελιώδεις αρχές του διαχωρισμού, που θα μας οδηγήσουν στη διατύπωση του Νόμου του Stokes.

Επιπλέον, θα εξετάσουμε πως μπορούμε να αυξήσουμε την απόδοση του διαχωρισμού.

## 1.1 Διαχωρισμός με τη Βαρύτητα

Ας εξετάσουμε μια δεξαμενή που περιέχει ένα υγρό με σωματίδια π.χ. λάσπη (sludge).

Για ποιον λόγο τα σωματίδια κατακάθονται;

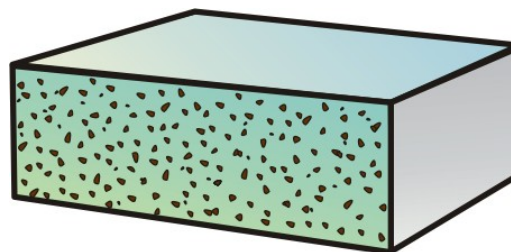
Η καθίζηση (Settling) οφείλεται στη διαφορά πυκνότητας μεταξύ των σωματιδίων και του υγρού. Η πυκνότητα συμβολίζεται με  $\rho$ .

Τα βαρύτερα σωματίδια βυθίζονται στο πάτο της δεξαμενής εξαιτίας της δύναμης της βαρύτητας.

Μπορούμε επίσης να διακρίνουμε δύο σημαντικές παραμέτρους σε αυτή τη διάταξη. Όσο περισσότερος χρόνος περνά, τόσο καλύτερος και ο διαχωρισμός.

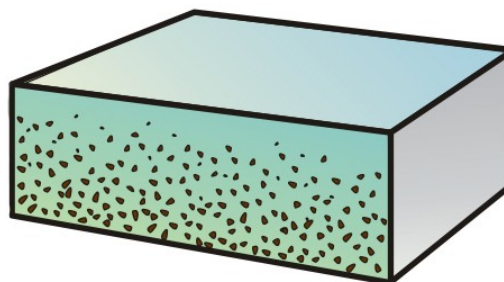
Επιπλέον, μπορούμε να δούμε ότι διαφορετικά σωματίδια κατακάθονται με διαφορετικές ταχύτητες.

Όσο μικρότερα τα σωματίδια, τόσο περισσότερος χρόνος απαιτείται για να βυθιστούν. Αυτό το σημαντικό φαινόμενο είναι μέρος του Νόμου του Stoke, τον οποίο θα αναλύσουμε στη πορεία.



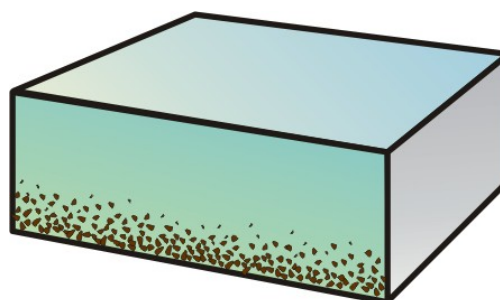
Σχήμα1.1

- Αρχικό σημείο – Υγρό με σωματίδια
- Η πυκνότητα διαφέρει ( $\rho_{\text{σωματιδίων}} > \rho_{\text{υγρού}}$ )



Σχήμα1.2

- Τα βαρύτερα σωματίδια κατακάθονται λόγω της βαρυντικής δύναμης.



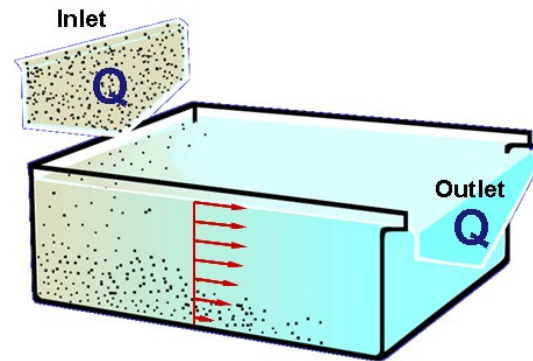
Σχήμα1.3

- Όσο περισσότερος χρόνος περνά, τόσο καλύτερος και ο διαχωρισμός
- Όσο μικρότερα είναι τα σωματίδια, τόσο περισσότερος χρόνος απαιτείται για να κατακαθίσουν στον πυθμένα της δεξαμενής.

## 1.2 Στρωτή και Τυρβώδης Ροή

Εάν αυτή τη φορά, διαμορφώσουμε μια δεξαμενή με στρωτή ροή, τα σωματίδια παραμένουν στον πυθμένα της δεξαμενής. Το μείγμα εισέρχεται από τα αριστερά και βγαίνει από τα δεξιά. Η παροχή συμβολίζεται με  $Q$ .

Γιατί όμως τα σωματίδια ακινητοποιούνται μόλις αγγίζουν τον πυθμένα; Γιατί δε συμπαρασύρονται προς την έξοδο με τη ροή του υγρού; Επιπλέον, τα σωματίδια κατακάθονται πάντα, ανεξάρτητα από τη παροχή ή τη σχεδίαση της δεξαμενής;

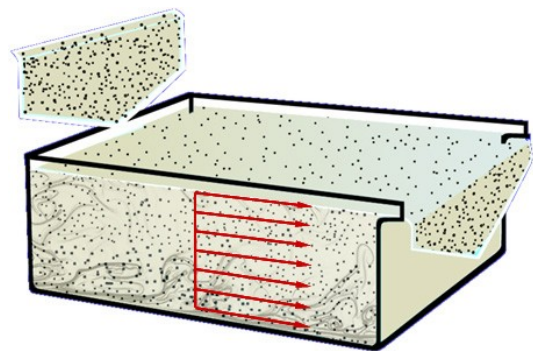


Σχήμα 1.4. Στρωτή Ροή

Η απάντηση σε αυτά τα ερωτήματα είναι απαραίτητη για τη κατανόηση της λειτουργίας του διαχωριστήρα.

Σε κανονικές παροχές, τα σωματίδια θα κατακαθίσουν στο πυθμένα λόγω των διαφορετικών παροχών στον κατακόρυφο άξονα της δεξαμενής. Η ροή αλλάζει ανάλογα πόσο κοντά είμαστε στον πυθμένα.

Τα κόκκινα βέλη υποδεικνύουν τη ταχύτητα του υγρού σε διαφορετικά βάθη. Όσο πλησιάζουμε τον πυθμένα της δεξαμενής, τόσο μειώνεται η ταχύτητα του υγρού. Αυτή είναι η φυσική συμπεριφορά της στρωτής ροής, δηλαδή μιας σχετικά αργής και σταθερής ροής. (Σχήμα 1.4)



Σχήμα 1.5. Τυρβώδης Ροή

Στο Σχήμα 1.5 βλέπουμε μια πολύ μεγαλύτερη παροχή. Όταν η παροχή ξεπεράσει ένα όριο, προκύπτει τυρβώδης ροή. Στη τυρβώδη ροή, το υγρό σαρώνει συνεχώς τα σωματίδια λόγω της σφοδρής κίνησής του.

### Συνοψίζοντας

Ένα από τα πράγματα που πρέπει να κρατήσουμε από όσα είπαμε είναι ότι πρέπει να περιορίσουμε τη παροχή σε έναν διαχωριστήρα συνεχούς ροής ώστε να έχουμε στρωτή ροή. Μόνο η στρωτή ροή θα επιτρέψει στα σωματίδια να κατακαθίσουν στη δεξαμενή.



### 1.3 Παροχή Ικανότητας

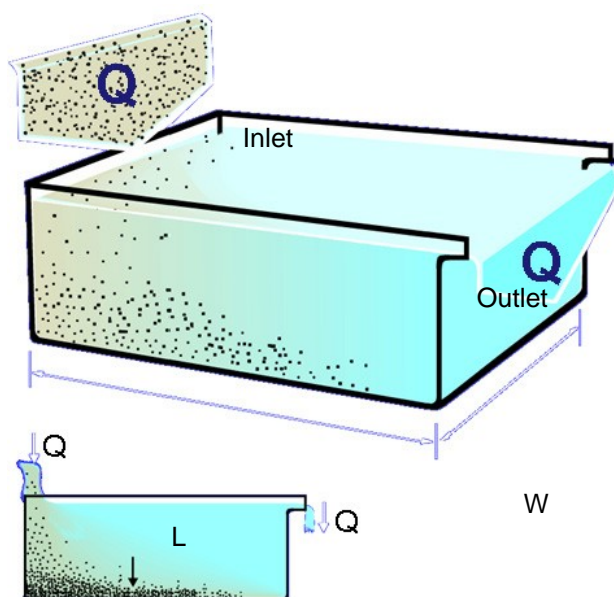
Η ικανότητα διαχωρισμού είναι σημαντική για οποιονδήποτε διαχωριστήρα. Για το παράδειγμα με τη δεξαμενή, θα διαμορφώσουμε έναν τύπο για αυτή.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα συγκεκριμένο κριτήριο καθαρότητας στην έξοδο. Λόγω αυτού, θα υπάρξει ένα όριο παροχής στο οποίο η καθαρότητα αυτή θα μπορεί να επιτευχθεί. Ας ονομάσουμε αυτό το όριο  $Q_c$ , όπου το  $c$  συμβολίζει την ικανότητα (capacity). Μια παροχή υψηλότερη από την  $Q_c$  θα προκαλέσει λιγότερο διαχωρισμό από τον επιθυμητό.

Στη συνέχεια, μπορούμε να διατυπώσουμε την ακόλουθη σχέση για τη παροχή ικανότητας  $Q_c$ .

$$Q_c = v_g \cdot A$$

Η σχέση αυτή δηλώνει ότι η ικανότητα ενός συνεχούς διαχωριστήρα βαρύτητας είναι ανάλογη της ταχύτητας καθίζησης  $v_g$  και της επιφάνειας της δεξαμενής  $A$  (μήκος·πλάτος =  $L \cdot W$ ). Η ταχύτητα καθίζησης είναι η κατακόρυφη ταχύτητα με την οποία ένα σωματίδιο προσεγγίζει τον πυθμένα της δεξαμενής.



$$Q_c = v_g \cdot A$$

- $Q_c$  = Παροχή Ικανότητας ( $m^3/s$ )
- $v_g$  = Ταχύτητα Καθίζησης ( $m/s$ )
- $A$  = Επιφάνεια Καθίζησης ( $m^2$ )

Σχήμα 1.6. Ικανότητα Διαχωρισμού μιας Δεξαμενής Συνεχούς Ροής

### 1.3.1 Ταχύτητα Καθίζησης

Για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε τη σχέση που διατυπώσαμε πριν, θα πρέπει να σταθούμε περισσότερο στη ταχύτητα καθίζησης  $v_g$ .

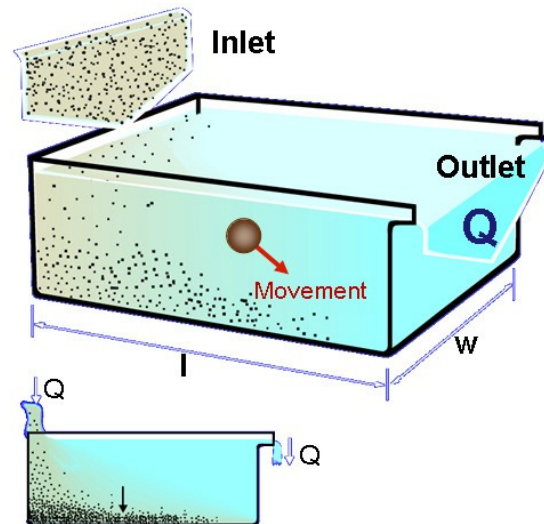
Ας παρατηρήσουμε τη κίνηση ενός σωματιδίου λάσπης (Σχήμα 1.7). Όπως βλέπουμε, το σωματίδιο κινείται διαγώνια. Πρέπει να ξεκαθαρίσουμε πως μόνο η κατακόρυφη συνιστώσα αυτής της κίνησης υπάρχει στον τύπο της  $Q_c$ .

Για να το καταλάβουμε καλύτερα, μπορούμε να δούμε πως η διαγώνια κίνηση οφείλεται σε δύο δυνάμεις που ασκούνται στο σωματίδιο. Η μια πρόκειται για τη βαρυτική δύναμη που κατευθύνει το σωματίδιο προς το κάτω. Η άλλη οφείλεται στη ροή του υγρού, που συμπαρασύρει το σωματίδιο.

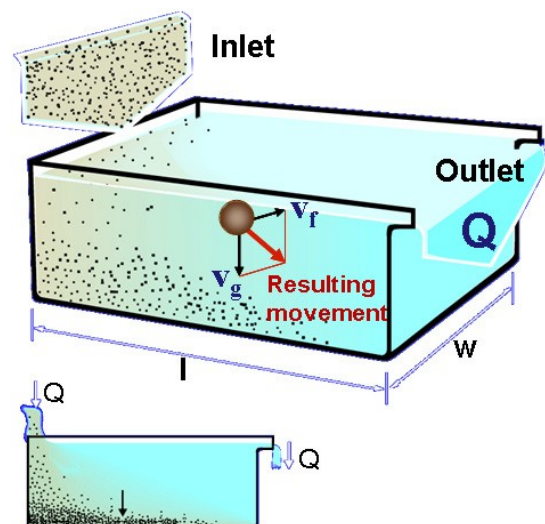
Στο Σχήμα 1.8 βλέπουμε το αποτέλεσμα αυτών των δύο δυνάμεων.

Πρώτα, η βαρυτική δύναμη ωθεί το σωματίδιο προς τον πυθμένα της δεξαμενής. Η ταχύτητα αυτής της κατακόρυφης κίνησης είναι η ταχύτητα καθίζησης  $v_g$  που είδαμε πριν. Εάν δεν υπήρχε άλλη δύναμη, δηλαδή αν δεν υπήρχε ροή στη δεξαμενή, τα σωματίδια θα κινούνταν κατακόρυφα προς τον πυθμένα. Εξαιτίας της ροής, τα σωματίδια θα κινηθούν και προς την κατεύθυνση αυτής. Η ταχύτητα αυτής της κίνησης, συμβολίζεται με  $v_f$ , όπου το  $f$  συμβολίζει τη ροή (flow). Αν υποθετικά δεν υπήρχε βαρύτητα, το σωματίδιο θα κινούταν μόνο προς τη κατεύθυνση αυτή.

Το αποτέλεσμα αυτών των δύο κινήσεων, είναι η διαγώνια κίνηση (κόκκινο βέλος).



Σχήμα 1.7



Σχήμα 1.8

## 1.4 Παράμετροι στον Νόμο του Stokes

Η βαρυτική ταχύτητα καθίζησης  $v_g$  μας δείχνει πόσο γρήγορη είναι η καθίζηση στον διαχωρισμό με τη βαρύτητα. Όμως, η ταχύτητα καθίζησης δεν εξαρτάται μόνο από τη βαρύτητα. Ας δούμε τις παραμέτρους που επηρεάζουν την ταχύτητα καθίζησης, πριν πάμε στην εξίσωση του Νόμου του Stokes.

### 1.4.1 Μέγεθος Σωματιδίων

Έχουμε ήδη αναφέρει πως το μέγεθος των σωματιδίων πράγματι επηρεάζει τη καθίζηση. Όσο μεγαλύτερα είναι τα σωματίδια, τόσο πιο γρήγορα κατακάθονται.

### 1.4.2 Διαφορά Πυκνότητας

Όσο μεγαλύτερη η διαφορά πυκνότητας μεταξύ σωματιδίων και υγρού, τόσο πιο γρήγορα τα σωματίδια κατακάθονται στο υγρό αυτό.

### 1.4.3 Ιξώδες

Το ιξώδες είναι το μέτρο της αντίστασης στη ροή ενός ρευστού. Για παράδειγμα, μπορούμε να αισθανθούμε την αντίσταση στη ροή σε ένα παχύρρευστο υγρό (π.χ. κουβάς με Fuel Oil) όταν το ανακατεύουμε. Το βαρύ πετρέλαιο (Fuel Oil) έχει μεγαλύτερο ιξώδες από το νερό, και αυτό επηρεάζει τη ταχύτητα καθίζησης.

## 1.5 Νόμος του Stokes

Ο Νόμος του Stokes φαίνεται δεξιά. Οι παράμετροι της εξίσωσης είναι:

- $v_g$  Βαρυτική ταχύτητα καθίζησης σε m/s.
- $d$  Διάμετρος σωματιδίων σε m.  
Παρατηρούμε ότι η διάμετρος σωματιδίων επηρεάζει την ταχύτητα καθίζησης στο τετράγωνο. Αυτό σημαίνει ότι ένα σωματίδιο με διπλάσιο μέγεθος θα βυθιστεί 4 φορές ταχύτερα, ένα σωματίδιο με τριπλάσιο μέγεθος θα βυθιστεί 9 φορές ταχύτερα κ.ο.κ.
- $(\rho_p - \rho_l)$  Διαφορά πυκνότητας μεταξύ σωματιδίων και υγρού σε  $\text{kg/m}^3$ .
- $\eta$  Ιξώδες υγρού σε cP (centipoise).  
 $1 \text{ cP} = 0.001 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$
- $g$  Επιτάχυνση της βαρύτητας σε  $\text{m/s}^2$ .  
Σταθερή και ίση με περίπου  $9.81 \text{m/s}^2$  στην επιφάνεια της Γης.

Stoke's law:

$$v_g = \frac{d^2(\rho_p - \rho_l)}{18\eta} g$$

$v_g$  = Βαρυτική Ταχύτητα Καθίζησης (m / s)

$d$  = Διάμετρος Σωματιδίων (m)

$\rho_p$  = Πυκνότητα Σωματιδίων ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho_l$  = Πυκνότητα Υγρού ( $\text{kg/m}^3$ )

$\eta$  = Ιξώδες Υγρού (cP)

$g$  = Επιτάχυνση της Βαρύτητας ( $\text{m/s}^2$ )

### 1.6 Απόδοση Διαχωρισμού vs Παροχή και Επιφάνεια

Ας κλείσουμε αυτό το κεφάλαιο, επιστρέφοντας πίσω στην ικανότητα διαχωρισμού. Μπορούμε να απεικονίσουμε την απόδοση διαχωρισμού ως συνάρτηση της παροχής στη δεξαμενή διαχωρισμού με ένα απλό γράφημα (Σχήμα 1.9)

Όσο μεγαλύτερη η παροχή, τόσο χειρότερος ο διαχωρισμός μεταξύ σωματιδίων και υγρού.

Από πειράματα και δοκιμές με Διαχωριστήρες Υψηλής Ταχύτητας, μπορούμε να συλλέξουμε δεδομένα και να φτιάξουμε γραφήματα όπου η απόδοση διαχωρισμού είναι συνάρτηση του μεγέθους σωματιδίων, της διαφοράς πυκνότητας και του ιξώδους, αντίστοιχα.

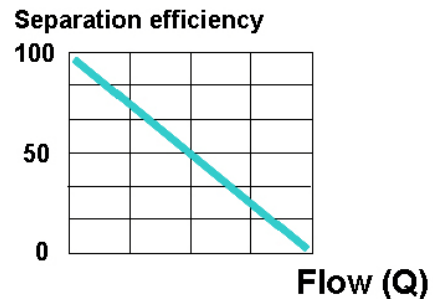
Δε θα τα καλύψουμε σε αυτό το κεφάλαιο, αλλά πρέπει να γνωρίζετε πως αυτές οι σχέσεις είναι ύψιστης σημασίας για να επιλέξετε το σωστό μοντέλο διαχωριστήρα.

Αν παρατηρήσουμε το Σχήμα 1.10, καταλαβαίνουμε πως όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια διαχωρισμού της δεξαμενής, τόσο καλύτερος και ο διαχωρισμός.

**Συνοψίζοντας:**

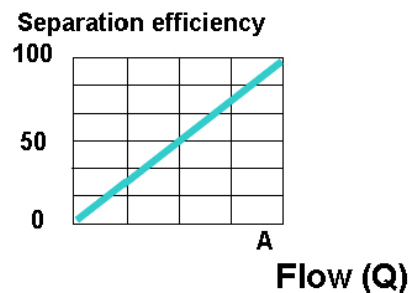
Η απόδοση του διαχωρισμού είναι ανάλογη της επιφάνειας καθίζησης και αντιστρόφως ανάλογη της παροχής.

$$Q_c = v_g \cdot A$$



The capacity flow,  $Q_c$ , is directly proportional to settling area and velocity

Σχήμα 1.9. Απόδοση Διαχωρισμού συναρτήσει της Παροχής



Separation efficiency is proportional to settling area and inversely to Q

Σχήμα 1.10. Απόδοση Διαχωρισμού συναρτήσει της Επιφάνειας Καθίζησης



## 2 Βελτιώνοντας την Απόδοση Διαχωρισμού

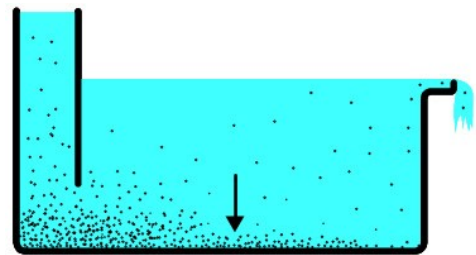
Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε πως η απόδοση διαχωρισμού μπορεί να βελτιωθεί. Αυτό είναι το θεμέλιο για τη κατανόηση της σχεδίασης του Διαχωριστήρα Υψηλής Ταχύτητας.

### 2.1 Πλάκες

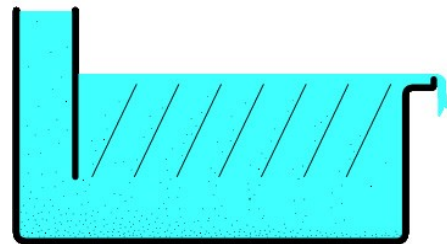
Ας επιστρέψουμε ξανά στην δεξαμενή καθίζησης. Υπάρχει μια απλή, αλλά σημαντική, τροποποίηση στο σχεδιασμό της που βελτιώνει ριζικά την απόδοση διαχωρισμού.

Η τροποποίηση αυτή είναι η προσθήκη πλακών. Οι πλάκες μπορούν να τοποθετηθούν οριζόντια ή με κλίση. Θα εστιάσουμε στη διάταξη με πλάκες υπό κλίση. Το μεγαλύτερο προνόμιο των πλακών είναι ότι ελαττώνουν την απόσταση καθίζησης των σωματιδίων.

Για να το καταλάβουμε καλύτερα, πρέπει να ανατρέξουμε στην ανάλυση της κίνησης των σωματιδίων και της ροής του ρευστού, που κάναμε στην αρχή.



Σχήμα 2.1. Δεξαμενή Συνεχούς Βαρυτικού Διαχωρισμού



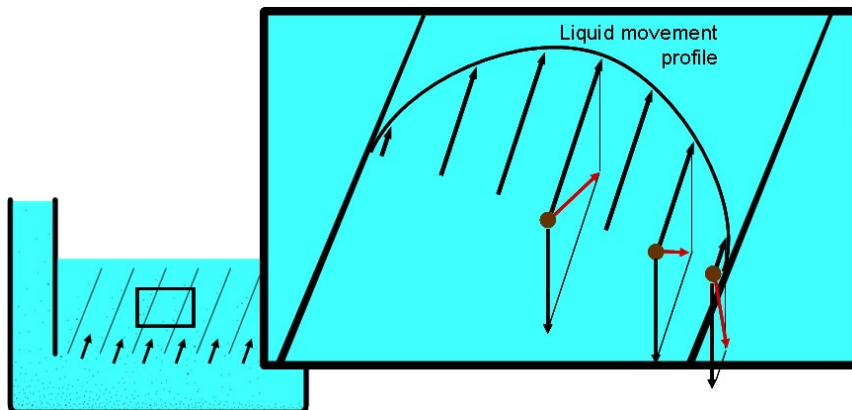
Σχήμα 2.2. Διευρυμένη Επιφάνεια Καθίζησης μέσω πλακών

## 2.1.1 Γιατί οι πλάκες παίζουν ρόλο

Στο **Σχήμα 2.3** εστιάζουμε στη ροή μεταξύ των πλακών για να καταλάβουμε πως βελτιώνουν την απόδοση διαχωρισμού. Η κεντρική ιδέα πίσω από αυτή την σχεδίαση είναι ότι η ροή μεταξύ των πλακών διαφέρει ανάλογα με το πόσο κοντά στις πλάκες περνάει το υγρό.

- Στο σχήμα βλέπουμε πόσο γρήγορα διαφορετικά μέρη του υγρού περνάνε ανάμεσα από τις πλάκες. Μεγαλύτερα βέλη υποδεικνύουν μεγαλύτερη ροή και μικρότερα βέλη υποδεικνύουν μικρότερη ροή. Αυτό το προφίλ ροών είναι αποτέλεσμα της στρωτής ροής.
- Κοντά στις επιφάνειες των πλακών, η ροή μειώνεται, συνεπώς και η ταχύτητα εξαιτίας της ροής του σωματιδίου σχεδόν μηδενίζεται. Ας το αναλύσουμε βήμα βήμα:
- Έχουμε 3 σωματίδια. Η κίνηση του κάθε σωματιδίου (κόκκινο βέλος) είναι αποτέλεσμα των δύο επιμέρους κινήσεων (μαύρα βέλη).

- Τα μαύρα βέλη που δείχνουν πάνω και δεξιά αντιπροσωπεύουν τη ταχύτητα των σωματιδίων εξαιτίας της ροής του υγρού. Παρατηρούμε πως αυτή η ταχύτητα **διαφέρει** για κάθε σωματίδιο.
- Τα μαύρα βέλη που δείχνουν κατακόρυφα προς τα κάτω αντιπροσωπεύουν τη ταχύτητα των σωματιδίων εξαιτίας της βαρύτητας. Αυτή **είναι ίδια** και για τα τρία σωματίδια.
- Το αριστερό σωματίδιο βλέπουμε πως ακολουθεί τη ροή του υγρού, αλλά όχι εντελώς παράλληλα με αυτή.
- Το μεσαίο σωματίδιο κινείται σχεδόν οριζόντια επειδή η ροή του υγρού γύρω του είναι μικρότερη.
- Το δεξί σωματίδιο κοντά στη πλάκα θα κινηθεί προς τα κάτω. Η κίνηση αυτού του σωματιδίου επηρεάζεται σχεδόν μόνο από τη βαρύτητα. Όπως θυμάστε, η ροή του υγρού κοντά στις πλάκες σχεδόν μηδενίζεται. Έτσι, όταν το σωματίδιο τελικά αγγίζει τη πλάκα, κατακυλάει προς τα κάτω, πάνω της.



Σχήμα2.3



## 2.1.2 Συνοψίζοντας

Με τη χρήση πλακών, η απόσταση καθίζησης των σωματιδίων μειώνεται. Πάρτε τον χρόνο σας και κατανοήστε τις κινήσεις του κάθε σωματιδίου.

Κάθε ζεύγος μαύρων βελών αντιπροσωπεύει την εκάστοτε ταχύτητα του σωματιδίου εξαιτίας:

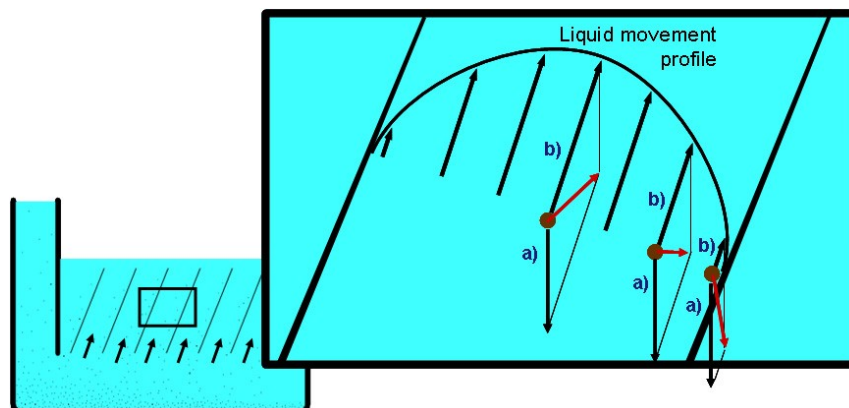
- a της βαρύτητας
- b της ροής του υγρού

Τα κόκκινα βέλη αντιπροσωπεύουν τη κατεύθυνση και τη ταχύτητα που έχουν τα σωματίδια τη συγκεκριμένη στιγμή.

Τα κόκκινα βέλη εξηγούν γιατί τα σωματίδια κινούνται τόσο διαφορετικά ανάλογα με το που βρίσκονται μεταξύ των πλακών. **(Σχήμα 2.4)**

Η ομαλή και απλή μορφή της στρωτής ροής σε αυτό το παράδειγμα ισχύει για σχετικά μικρές παροχές και απλές διατάξεις.

Σε έναν Διαχωριστήρα Υψηλής Ταχύτητας, το προφίλ της στρωτής ροής είναι πιο σύνθετο και επιπλέον μεταβάλλεται στην στοίβα των δίσκων (discstack). Παρ' όλα αυτά, η θεμελιώδης αρχή, που μόλις αναλύσαμε, παραμένει η ίδια.



Σχήμα 2.4

## 2.2 Φυγοκεντρικός Διαχωρισμός

Μέχρι στιγμής, έχουμε δει μια δεξαμενή καθίζησης (Settling Tank) όπου ο διαχωρισμός επηρεάζεται από τη βαρύτητα, δηλαδή με 1g το οποίο όπως είπαμε είναι σταθερό (9.81 m/s<sup>2</sup>).

Για να αυξήσουμε την ταχύτητα διαχωρισμού, μπορούμε να ασκήσουμε μία φυγοκεντρική δύναμη στα σωματίδια περιστρέφοντας το δοχείο. Τα βαριά σωματίδια θα κινηθούν προς την περιφέρεια αντί προς τον πυθμένα (η βαρυτική δύναμη παραμένει παρούσα αλλά είναι ελάχιστη συγκριτικά με την φυγοκεντρική δύναμη που επιτυγχάνουμε σε υψηλές ταχύτητες περιστροφής. Οι Διαχωριστήρες Υψηλής Ταχύτητας δημιουργούν φυγοκεντρικές δυνάμεις της τάξης των 5000 – 15000 g.

Το μέγεθος της φυγοκεντρικής δύναμης εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής και την ακτίνα. Αυτό φαίνεται και στον Νόμο του Stokes όπου το **g** αντικαθίσταται με τον όρο **rω<sup>2</sup>**.

- **Ακτίνα r**  
Στον βαρυτικό διαχωρισμό, η ταχύτητα καθίζησης είναι η ίδια σε όλο τον όγκο του δοχείου. Αντίθετα, στον φυγοκεντρικό διαχωρισμό, η ταχύτητα καθίζησης μεταβάλλεται με την απόσταση από το κέντρο περιστροφής. Όσο πιο μεγάλη είναι η ακτίνα, δηλαδή όσο πιο κοντά είναι το σωματίδιο στην περιφέρεια, τόσο πιο γρήγορα κατακάθεται.

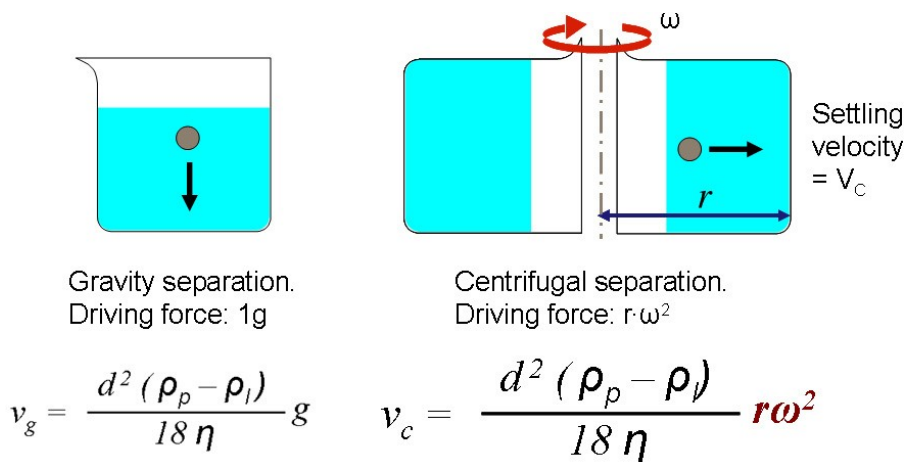
- Ταχύτητα Περιστροφής **ω**  
Μονάδα Μέτρησης 1 rad/s.

Η ταχύτητα περιστροφής παραμένει ίδια τόσο στο κέντρο όσο και στην περιφέρεια.

Παρατηρούμε πως η ταχύτητα περιστροφής επηρεάζει την ταχύτητα καθίζησης στο τετράγωνο. Αυτό σημαίνει ότι αν διπλασιάσουμε την ταχύτητα περιστροφής, τετραπλασιάζεται η ταχύτητα καθίζησης. Αν τριπλασιάσουμε την ταχύτητα περιστροφής, εννεαπλασιάζεται η ταχύτητα καθίζησης κ.ο.κ.

Σε αυτό σημείο αξίζει να αναφέρουμε πως η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται εκθετικά με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής.

Ο όρος **rω<sup>2</sup>** μετριέται σε **m ·  $\frac{rad^2}{s^2}$** . Αφού τα ακτίνια (radian = ακτίνιο, μονάδα μέτρησης την γωνίας στο S.I.) ορίζονται χωρίς διάσταση, η ταχύτητα καθίζησης **v<sub>c</sub>** καταλήγει σε m/s, που όπως περιμέναμε, είναι η μονάδα μέτρησης της ταχύτητας.

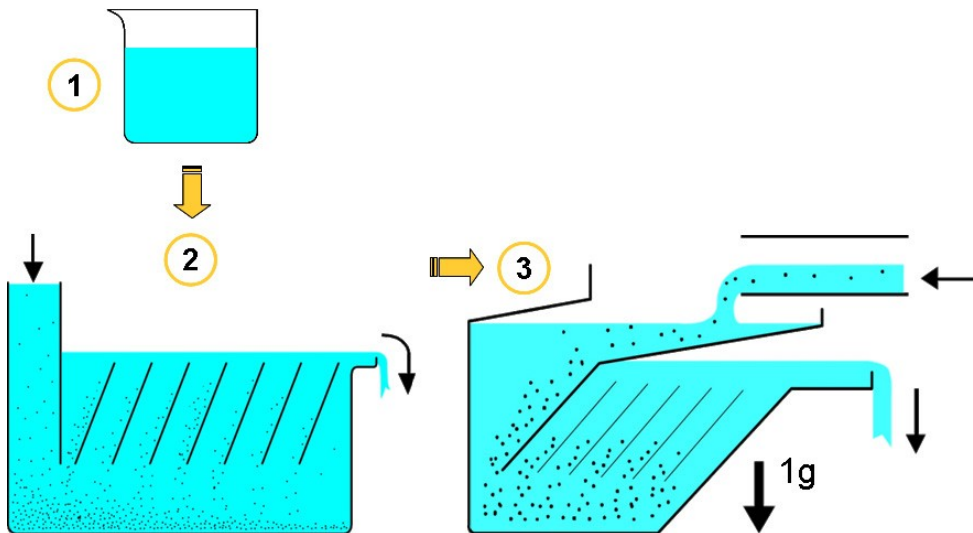


Σχήμα2.5

## 2.2.1 Επανασχεδιάζοντας την Δεξαμενή

Ας δούμε τις τροποποιήσεις που έχουμε κάνει στην δεξαμενή μέχρι στιγμής.

- 1 Ξεκινήσαμε το κεφάλαιο με την πιο απλή δεξαμενή.
- 2 Προσθέτοντας πλάκες, καταφέραμε να βελτιώσουμε τον διαχωρισμό αρκετά.
- 3 Η σχεδίαση στο νούμερο 3 γίνεται με σκοπό την προσέγγιση του τελικού σχεδίου του Διαχωριστήρα Υψηλής Ταχύτητας. Η λειτουργία της δεξαμενής παραμένει ίδια. Υγρό εισάγεται στο πάνω μέρος, ρέει προς την έξοδο και οι πλάκες είναι τοποθετημένες.



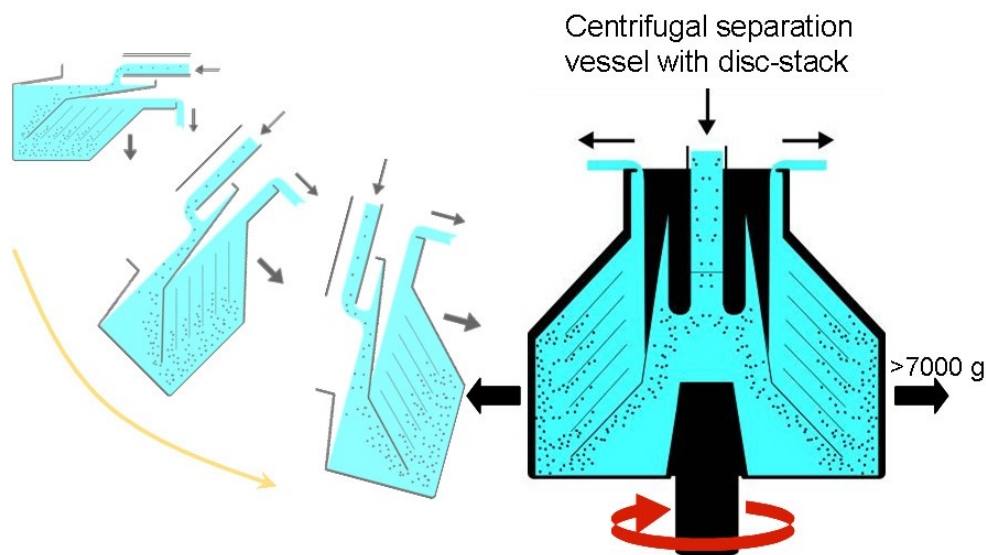
Σχήμα2.6

## 2.2.2 Από τη Βαρυτική στη Φυγοκεντρική Δύναμη

Αν τώρα πάρουμε τη δεξαμενή που φτιάξαμε πριν, την γυρίσουμε  $90^\circ$  και την θέσουμε σε περιστροφή, έχουμε μια πολύ καλή απεικόνιση ενός Φυγοκεντρικού Διαχωριστήρα με Στοιβά Δίσκων (discstack).

Η φυγοκεντρική δύναμη σε έναν Διαχωριστήρα Υψηλής Ταχύτητας είναι της τάξης των 7000 g.

Παρατηρήστε πως τα σωματίδια κινούνται προς το κάτω μέρος των δίσκων, με κατεύθυνση τη περιφέρεια του μπολ. Αυτή η πορεία οφείλεται στη μεγάλη φυγοκεντρική δύναμη με κατεύθυνση προς τα έξω.



Σχήμα 2.7

## 2.3 Διαχωριστήρας Υψηλής Ταχύτητας High Speed Separator (HSS)

### 2.3.1 Η Στοιίβα των Δίσκων

Στο Σχήμα 2.8 φαίνεται λεπτομερώς ένα μπολ διαχωριστήρα.

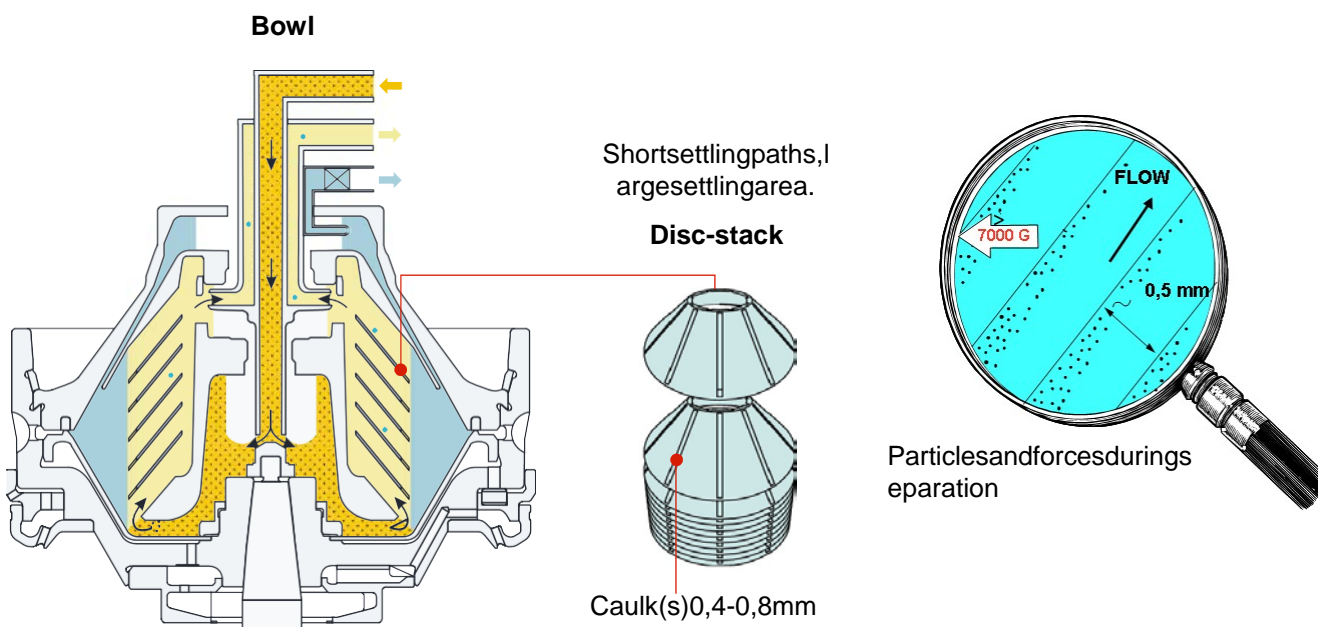
Μέσα στο μπολ, βρίσκουμε την στοιίβα των δίσκων. Οι δίσκοι είναι τοποθετημένοι στο κέντρο και λειτουργούν ακριβώς όπως οι πλάκες που αναλύσαμε πριν.

Ο κάθε δίσκος έχει αποστάτες για να κρατάει τη σωστή απόσταση από τον επόμενο δίσκο.

Η απόσταση ανάμεσα στον κάθε δίσκο είναι μικρή και κυμαίνεται στα 0.4 – 0.8 mm ανάλογα με την εφαρμογή του διαχωριστήρα.

Η στοιίβα των δίσκων είναι ένα από τα πιο σημαντικά μέρη ενός διαχωριστήρα. Είναι το μέρος όπου λαμβάνει χώρα ο διαχωρισμός των στερεών σωματιδίων.

Σε περίπτωση που η στοιίβα των δίσκων λερωθεί ή φράξει με κάποιο τρόπο, η απόδοση του διαχωριστήρα πέφτει δραστικά.



Σχήμα 2.8. Επισκόπηση Στοιίβας Δίσκων

### 2.3.2 Η Ροή ανάμεσα στους Δίσκους

Στο **Σχήμα 2.9** εστιάζουμε στον χώρο μεταξύ δύο δίσκων. Όπως προαναφέραμε, το άνοιγμα αυτό εξαρτάται από το πάχος των αποστατών και κυμαίνεται στα 0.4 – 0.8 mm, ανάλογα με τη χρήση του διαχωριστήρα.

Θα αναλύσουμε τώρα τις δυνάμεις που ασκούνται σε ένα σωματίδιο που περνάει ανάμεσα από δύο δίσκους.

Υπάρχουν δύο δυνάμεις που ασκούνται στο σωματίδιο. Μια φυγοκεντρική (g-force) και μία εξαιτίας της ροής του υγρού. Ας εξετάσουμε πρώτα αυτή της ροής.

Ανάμεσα στους δίσκους έχουμε ένα παραβολικό προφίλ ταχυτήτων, πράγμα που σημαίνει ότι η ταχύτητα ροής είναι υψηλότερη στη μέση και μικρότερη κοντά στους δίσκους.

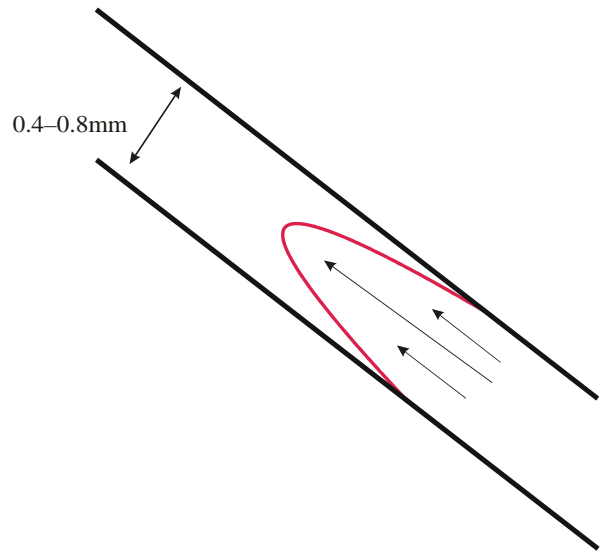
Αυτό είναι το ίδιο φαινόμενο που συμβαίνει σε μια σωλήνα ή σε ένα ποτάμι. Η ροή στη μέση του ποταμού είναι μεγάλη, αλλά κοντά στις όχθες η ροή εκμηδενίζεται, μπορεί ακόμα να είναι και προς την αντίθετη κατεύθυνση. Χρησιμοποιούμε αυτό το φαινόμενο για να μεγιστοποιήσουμε την απόδοση του διαχωρισμού.

Αν φανταστούμε ένα σωματίδιο να μπαίνει στο μπολ και στη συνέχεια στο άνοιγμα μεταξύ δύο δίσκων, αυτό θα βρίσκεται στο κέντρο της ροής εξαιτίας των μεγάλων δυνάμεων από τη ροή του υγρού.

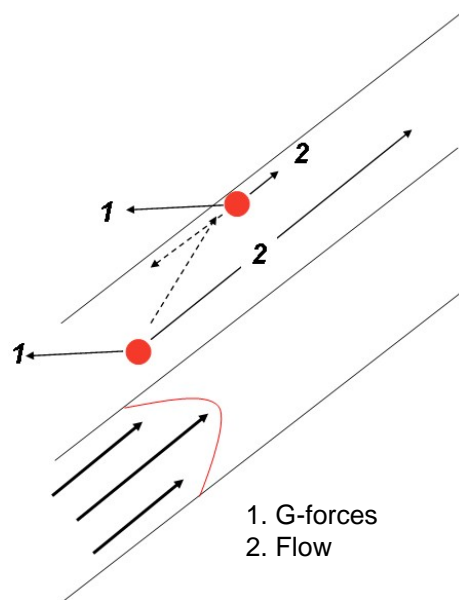
Όσο όμως το σωματίδιο προχωράει, η δύναμη μέσα στο μπολ αρχίζει να το επηρεάζει και έτσι θα μετακινηθεί σε περιοχή μικρότερης ροής. Θυμηθείτε όσα είχαμε πει στο κεφάλαιο με τις πλάκες. Όταν τελικά το σωματίδιο φτάσει κοντά στον δίσκο, οι δυνάμεις από τη ροή του υγρού είναι μικρότερες από τις δυνάμεις g με αποτέλεσμα αυτό να αρχίσει να κινείται αντίθετα στη ροή και προς τη περιφέρεια του μπολ, δηλαδή στον χώρο λάσπης (Sludge Space).

Οι δυνάμεις g είναι μεγαλύτερες στη περιφέρεια από ότι στο κέντρο του μπολ, πράγμα που κάνει πιο εύκολο να πιάσεις σωματίδια που βρίσκονται πιο μακριά από το κέντρο του μπολ.

Συμπέρασμα αυτού του γεγονότος είναι ότι όσο μικρότερη η ροή, τόσο περισσότερα σωματίδια συλλέγονται στον χώρο λάσπης.



Σχήμα2.9. Παραβολικό προφίλ ταχυτήτων. Η ροή μεγιστοποιείται στο κέντρο και εκμηδενίζεται πάνω στους δίσκους.



Σχήμα2.10. Σωματίδια μέσα στους δίσκους

### 2.3.3 Η Δεξαμενή

Έως τώρα εξετάζαμε τον διαχωρισμό σε μία απλή δεξαμενή. Ας πάμε ένα βήμα παραπέρα και ας χρησιμοποιήσουμε έναν διαχωριστήρα για να δούμε τον διαχωρισμό και τη ροή του προϊόντος.

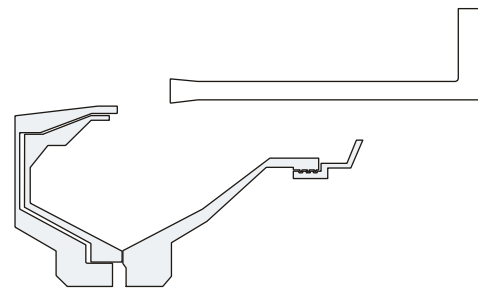
Όπως βλέπουμε στο **Σχήμα 2.11**, ο διαχωριστήρας γυρισμένος 90° μοιάζει με δεξαμενή.

Όταν γεμίσουμε τη δεξαμενή με νερό έχουμε μόνο την μικρή βαρυτική δύναμη να ασκείται στα σωματίδια (**Σχήμα 2.12**).

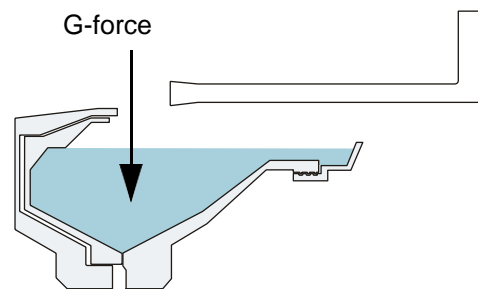
Αν παρατηρήσουμε το σχήμα του μπολ, καταλαβαίνουμε ότι τα σωματίδια έχουν να διανύσουν μεγάλη διαδρομή στο βαθύ κομμάτι και μικρή διαδρομή στο ρηχό κομμάτι. Αυτό σημαίνει ότι τα σωματίδια θα χρειαστούν περισσότερο χρόνο για να κατακαθίσουν στο βαθύ κομμάτι (**Σχήμα 2.13**).

Μπορούμε να διαχωρίσουμε μόνο σωματίδια από ένα υγρό όταν έχουμε έναν διαχωριστήρα με αυτή τη διάταξη (**Σχήμα 2.14**). Πώς μπορούμε όμως να διαχωρίσουμε δύο υγρά και σωματίδια;

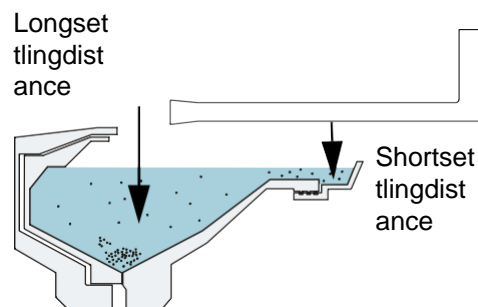
Αν προσθέσουμε άλλο ένα υγρό σε αυτόν τον διαχωριστήρα, το βαρύτερο υγρό, δηλαδή αυτό με τη μεγαλύτερη πυκνότητα, θα βυθιστεί και εν τέλει θα γεμίσει τη δεξαμενή και ξεχειλίσει. Πρέπει να μπορούμε να ελέγχουμε και το ελαφρύ και το βαρύ υγρό όταν έχουμε συνεχή διαχωρισμό, πώς όμως;



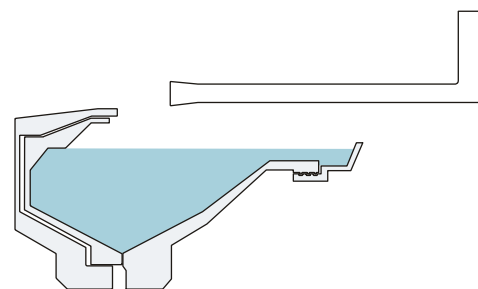
Σχήμα 2.11. Δεξαμενή



Σχήμα 2.12. Δεξαμενή με υγρό



Σχήμα 2.13. Δεξαμενή με υγρό και σωματίδια



Σχήμα 2.14. Διαχωρισμός σωματιδίων και υγρού

### 2.3.4 Η Διαιρεμένη Δεξαμενή

Τοποθετούμε χωρίσματα (Σχήμα 2.15). Αυτά τα χωρίσματα απομονώνουν τα υγρά με διαφορετικές πυκνότητες και έτσι μπορούμε να ελέγχουμε τη ροή εξόδου του διαχωριστήρα.

Με αυτή τη τροποποίηση έχουμε μία βαριά φάση και μια ελαφριά φάση. Χρειαζόμαστε όμως έναν τρόπο να ελέγχουμε την διεπιφάνεια (interface) των δύο υγρών για να ελέγξουμε τη κατάθλιψη του εκάστοτε υγρού από τις αντίστοιχες εξόδους.

Στο Σχήμα 2.16 βλέπουμε ότι το νερό γεμίζει τον διαχωριστήρα μέχρι να φτάσει στην έξοδο της βαριάς φάσης. Σε αυτό το σημείο έχουμε δημιουργήσει τη στεγανοποίηση νερού (Water Seal) και είμαστε σίγουροι ότι δε θα ξεφύγει λάδι στη λάθος έξοδο.

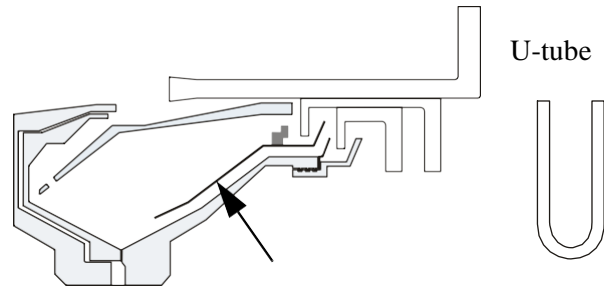
Η διάταξη που έχουμε φτιάξει, λειτουργεί σαν έναν απλό σωλήνα U (U-tube).

Εάν προσθέσουμε κι άλλο νερό στο μπολ (Σχήμα 2.17), το νερό αρχίζει και υπερχειλίζει στην έξοδο της βαριάς φάσης.

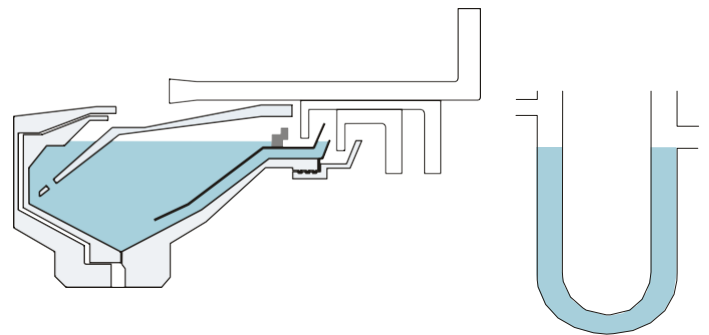
Ακριβώς σαν τον σωλήνα U, παρατηρούμε πως η στάθμη δεν ανεβαίνει. Όλο το επιπρόσθετο νερό απλά ξεχειλίζει στην έξοδο.

Σε αυτό το σημείο μπορούμε να έχουμε συνεχή διαχωρισμό ενός υγρού και σωματιδίων, αλλά ο στόχος παραμένει ο διαχωρισμός δύο υγρών (νερού και λαδιού) και σωματιδίων/

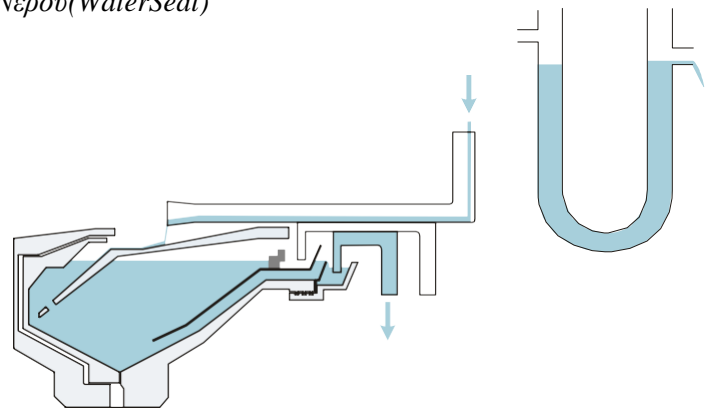
Ας δούμε τι συμβαίνει όταν προσθέσουμε λάδι στον διαχωριστήρα.



Σχήμα 2.15. Τοποθέτηση χωρισμάτων



Σχήμα 2.16. Στεγανοποίηση Νερού (Water Seal)



Σχήμα 2.17. Στεγανοποίηση Νερού. Προσθήκη κι άλλου νερού.



### 2.3.5 Προσθέτοντας Λάδι στην Διαιρεμένη Δεξαμενή

Μόλις προσθέσουμε λάδι στον διαχωριστήρα, ξεκινάμε να διακρίνουμε την διεπιφάνεια (interface) μεταξύ λαδιού και νερού.

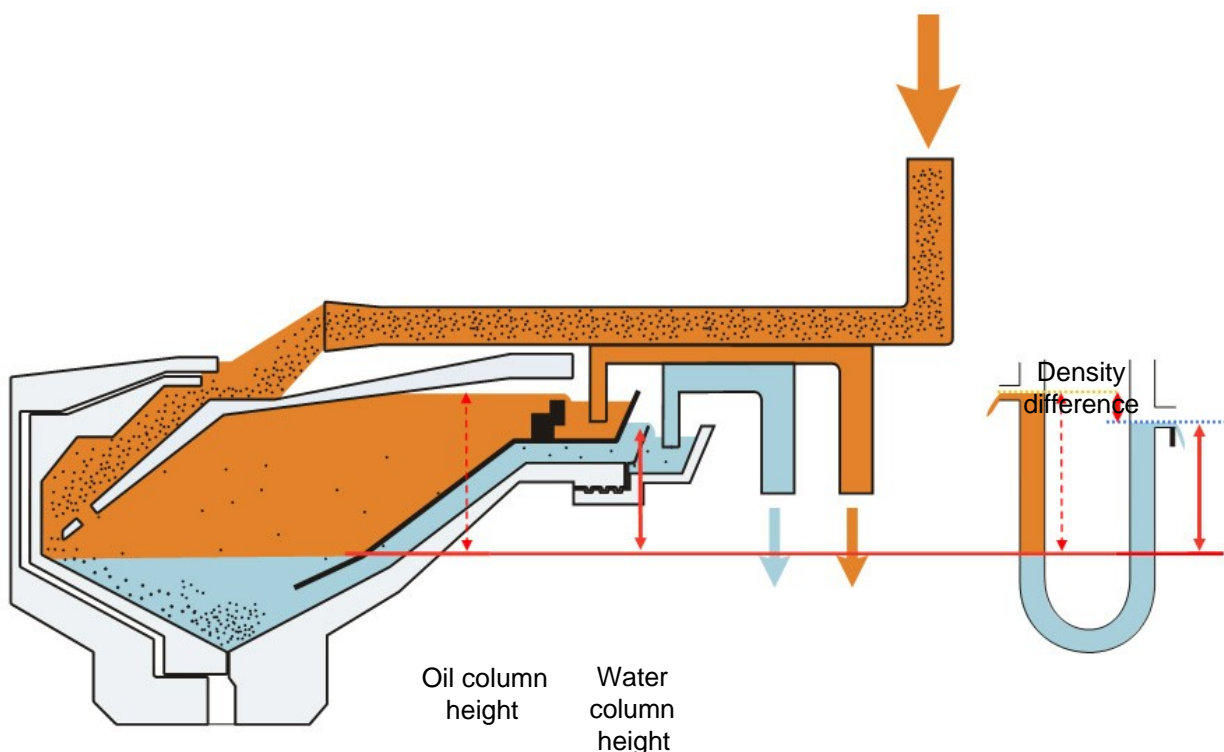
Καθορίζουμε το ύψος στήλης του λαδιού και έχουμε το ίδιο ύψος τόσο στον σωλήνα U όσο και στον διαχωριστήρα.

Ομοίως καθορίζουμε και το ύψος στήλης του νερού.

Η διεπιφάνεια (Interface) είναι αυτό που ελέγχουμε για να ρυθμίσουμε την ελαφριά και τη βαριά φάση στον διαχωριστήρα.

Όταν προσθέσαμε λάδι στον σωλήνα U, αυτόματα αφαιρέθηκε μέρος του νερού στην έξοδο, όμως αφού το λάδι έχει μικρότερη πυκνότητα από το νερό, το λάδι επιπλέει πάνω του.

Η διαφορά μεταξύ ύψους στήλης λαδιού και ύψους στήλης νερού οφείλεται στη διαφορά πυκνότητας. Όσο μεγαλύτερη η διαφορά πυκνότητας των δύο υγρών, τόσο μεγαλύτερη και η διαφορά στα ύψη στήλης τους.

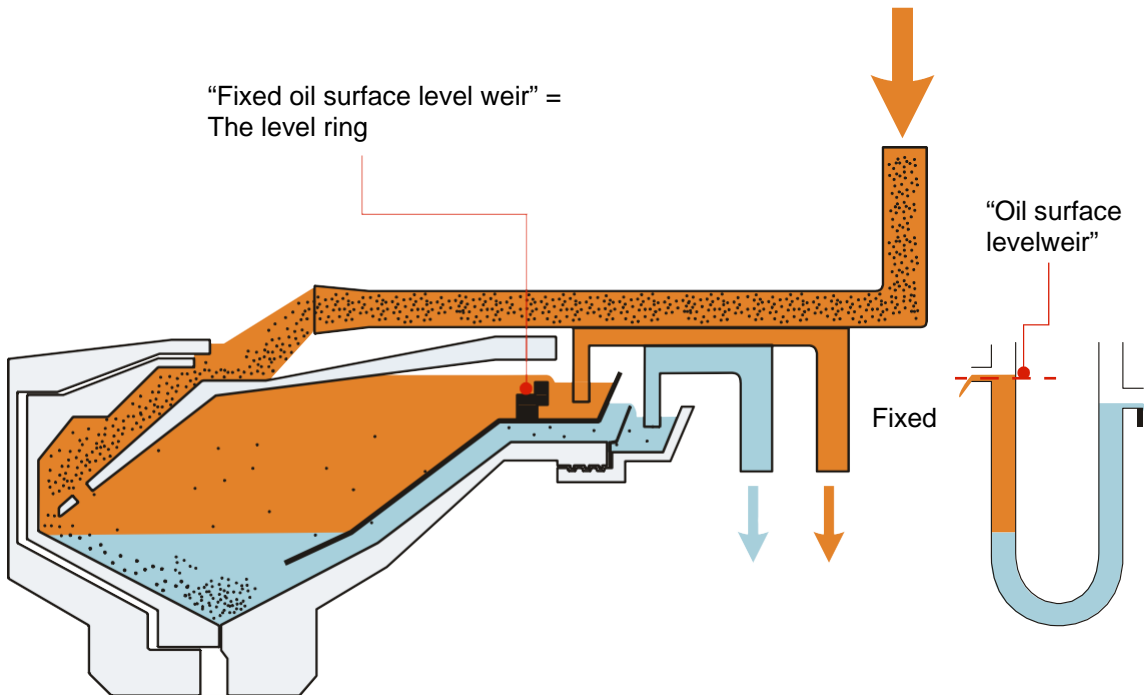


Σχήμα 2.18. Διαχωρισμός Λαδιού/Νερού και σωματιδίων

Είναι εφικτό να αλλάξουμε τη στάθμη εξόδου σε δύο σημεία – στην έξοδο του νερού και στην έξοδο του λαδιού.

Δε μετακινούμε το interface αν μεταβάλλουμε τη στάθμη του λαδιού, μόνο μεγαλώνουμε ή μικραίνουμε το ύψος στήλης λαδιού. Αυτό θα ήταν μια λύση αν το λάδι ήταν ομογενές, είχε δηλαδή σταθερή πυκνότητα. Αυτό όμως δε συμβαίνει στη πραγματικότητα, η πυκνότητα του λαδιού συνέχεια έχει μικρές μεταβολές, με αποτέλεσμα τη μετακίνηση του interface.

Χρειαζόμαστε ένα εργαλείο για να είμαστε βέβαιοι ότι η διεπιφάνεια (το Interface) είναι στη σωστή θέση, δηλαδή ότι το νερό βγαίνει από την έξοδο του νερού και το λάδι βγαίνει από την έξοδο του λαδιού. Αφήνουμε τον «φράχτη» (Weir στο **Σχήμα 2.19**) του λαδιού σταθερό και χρησιμοποιούμε τον «φράχτη» της βαριάς φάσης, δηλαδή του νερού, για να ελέγξουμε το Interface. Αυτός ο ρυθμιζόμενος «φράχτης» ονομάζεται **δίσκος βαρύτητας (Gravity Disk)**.

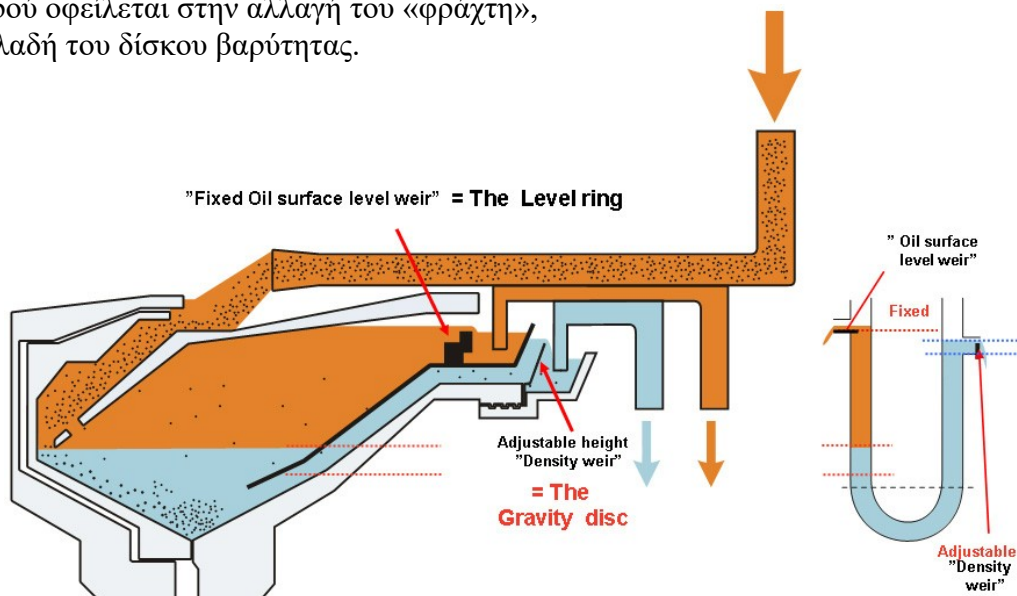


Σχήμα 2.19. Σταθερός «φράχτης» λαδιού. Καθορίζει το ύψος στάθμης του λαδιού. Ονομάζεται Δακτύλιος Στάθμης (Level Ring)

Ρυθμίζουμε τη θέση της διεπιφάνειας, πάνω η κάτω, με το ύψος του «φράχτη» του νερού (στον διαχωριστήρα χρησιμοποιούμε δίσκους βαρύτητας διαφορετικής διαμέτρου) (Σχήμα 2.20). Είναι σημαντικό να ελέγχουμε την διεπιφάνεια. Αν ανέβει πολύ, νερό μπορεί να διαφύγει στην έξοδο του λαδιού, ενώ αν κατέβει πολύ, λάδι θα διαφύγει στην έξοδο του νερού. Το ύψος του «φράχτη» του νερού εξαρτάται από τη πυκνότητα του λαδιού. Το λάδι θα εκτοπίσει περισσότερο νερό όταν έχει μεγάλη πυκνότητα, γι' αυτό το λόγο ανυψώνουμε τον «φράχτη» του νερού για να κρατήσουμε την διεπιφάνεια στην ίδια θέση και να σιγουρευτούμε ότι λάδι δεν διαφεύγει με το νερό. Εάν αυτό συμβεί, έχουμε χάσει τη στεγανοποίηση νερού (Water Seal) και δεν ελέγχουμε τον διαχωρισμό. Εάν η πυκνότητα του λαδιού είναι χαμηλή, έχουμε το αντίθετο αποτέλεσμα. Το λάδι εκτοπίζει λιγότερο νερό και η διεπιφάνεια ανεβαίνει με αποτέλεσμα νερό να διαφεύγει μαζί με το λάδι.

Στο Σχήμα 2.20 εγκαθιστούμε έναν «φράχτη» υψηλότερης πυκνότητας χωρίς να αλλάξουμε τη πυκνότητα του λαδιού. Παρατηρούμε πως η διεπιφάνεια ανεβαίνει. Με την αλλαγή αυτή, η στήλη του νερού ανέβηκε και έτσι εκτοπίζεται περισσότερο λάδι.

Αυτή η αύξηση του ύψους της στήλης του νερού οφείλεται στην αλλαγή του «φράχτη», δηλαδή του δίσκου βαρύτητας.



Σχήμα 2.20. Εγκατάσταση Δίσκου Βαρύτητας Υψηλότερης Πυκνότητας, χωρίς να αλλάζουμε τη πυκνότητα του λαδιού. Ο Δακτύλιος Στάθμης (LevelRing) παραμένει σταθερός (fixed).

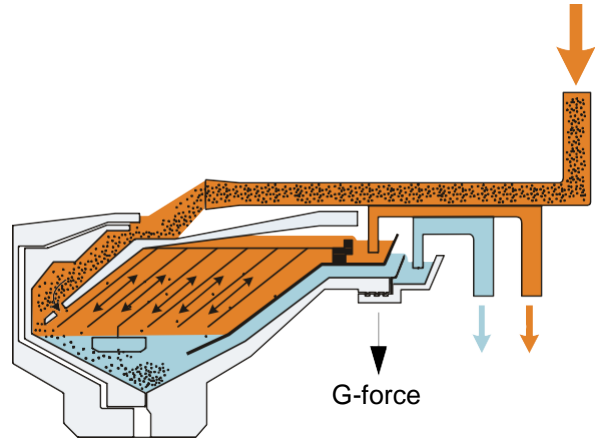
Όταν καθορίσουμε την διεπιφάνεια και η διεργασία τρέχει κανονικά, η παραγωγή μας είναι ακόμα μικρή λόγω του ενός μόνο  $g$  που επηρεάζει τα σωματίδια.

Τί κάνουμε λοιπόν σε αυτή τη περίπτωση;

Αν ανατρέξουμε στην αρχή του κεφαλαίου, μιλήσαμε για την απόδοση διαχωρισμού. Αναφέραμε πως αυξάνοντας την επιφάνεια διαχωρισμού, βελτιώνουμε την απόδοση. Γι' αυτό και προσθέτουμε τις γνωστές πλάκες που αυξάνουν την επιφάνεια καθίζησης, οι οποίες πρόκειται για τους δίσκους στους διαχωριστήρες. (Σχήμα 2.21)

Αυτό βελτιώνει την απόδοση διαχωρισμού, συνεπώς και τη παραγωγή καθαρού προϊόντος, αλλά χρειαζόμαστε περαιτέρω βελτίωση.

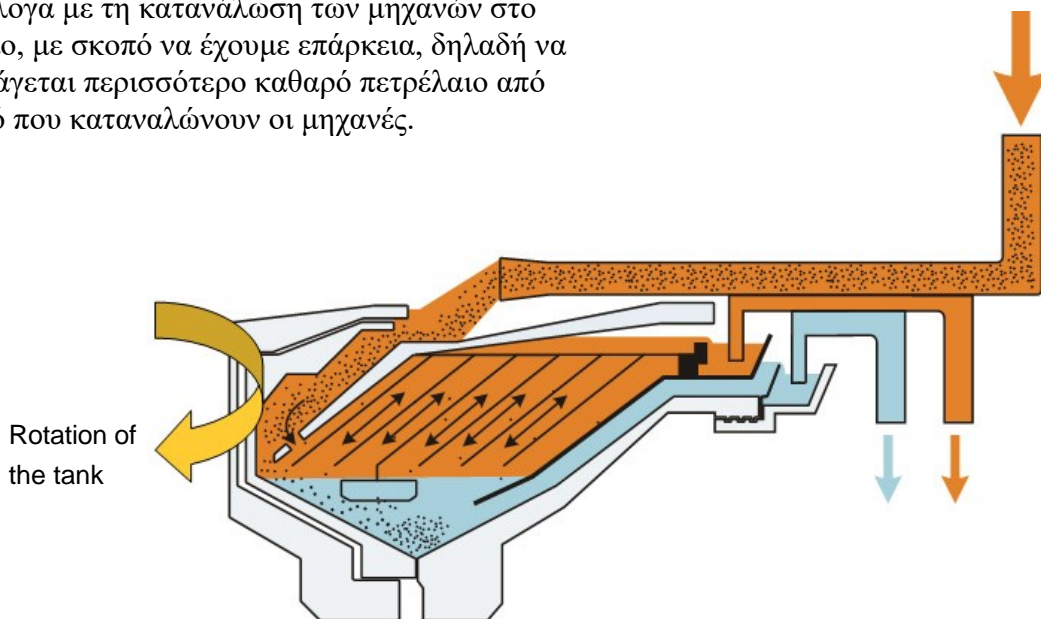
Πώς θα πετύχουμε κάτι τέτοιο;



Σχήμα 2.21. Προσθήκη Στοίβας Δίσκων

### 2.3.6 Αυξάνοντας την Επάρκεια με τη Φυγόκεντρο Δύναμη

Στρέφουμε το δοχείο  $90^\circ$  και το περιστρέφουμε! Με αυτόν τον τρόπο αντικαθιστούμε το  $g$  με  $r\omega^2$  (Θυμηθείτε τον Νόμο του Stokes). Αυτό σημαίνει ότι η δύναμη που ασκείται στα σωματίδια αυξάνεται κατά χιλιάδες. Σε κάποιους από τους διαχωριστήρες μας η δύναμη φτάνει και τα 7000g. Επιλέγουμε τον κατάλληλο διαχωριστήρα, ανάλογα με τη κατανάλωση των μηχανών στο πλοίο, με σκοπό να έχουμε επάρκεια, δηλαδή να παράγεται περισσότερο καθαρό πετρέλαιο από αυτό που καταναλώνουν οι μηχανές.



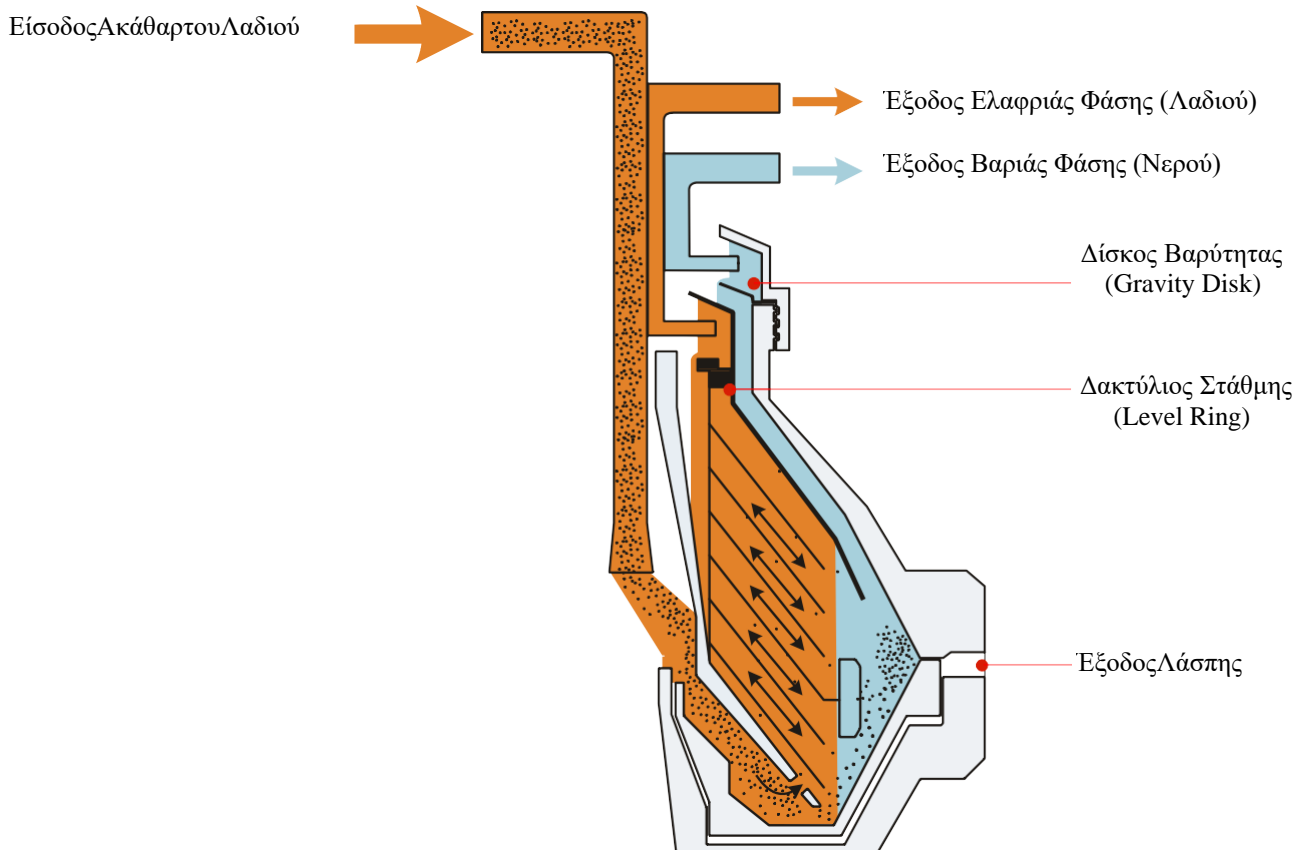
Σχήμα 2.22. Αυξάνοντας την Επάρκεια με τη Φυγόκεντρο Δύναμη

## 3 Το Μπολ και οι Εφαρμογές

Σε αυτή την ενότητα θα μελετήσουμε το μπολ και τα κυριότερα εξαρτήματα του, θα συγκρίνουμε καθαριστήρες με διαυγαστήρες (Purifier / Clarifier) και θα δούμε τους περιορισμούς του συμβατικού διαχωριστήρα. Θα εξετάσουμε επίσης κάποια συχνά προβλήματα του συμβατικού διαχωριστήρα και θα μάθουμε πως να επιλέγουμε τον σωστό δίσκο βαρύτητας.

### 3.1 Ο Διαχωριστήρας

Στο Σχήμα 3.1 βλέπουμε τα βασικά μέρη ενός διαχωριστήρα:



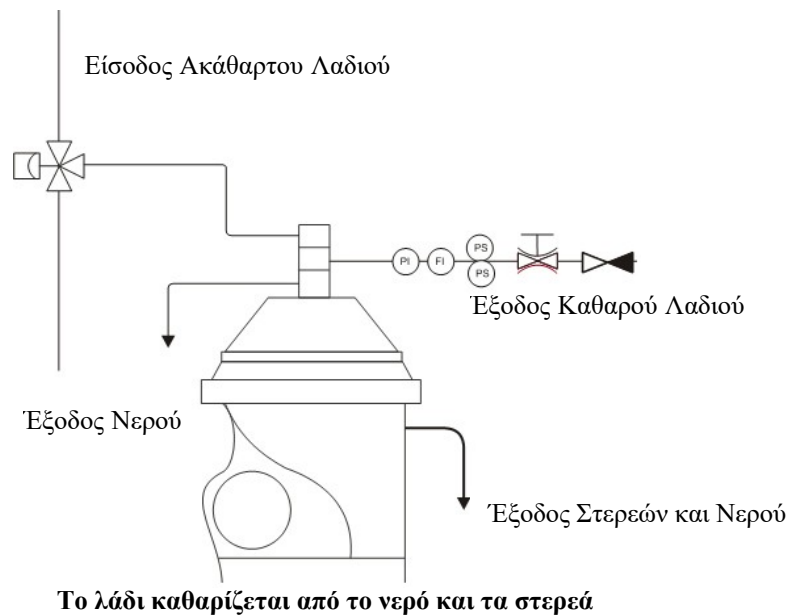
Σχήμα 3.1. Ο Διαχωριστήρας

## 3.2 Βασικές Αρχές Διαχωρισμού

Ας ρίξουμε μια ματιά στον συμβατικό διαχωριστήρα, καθαριστήρα και διαυγαστήρα. Οι συμβατικοί διαχωριστήρες λειτουργούσαν σε σειρά, πρώτα ο καθαριστήρας (purifier) και μετά ο διαυγαστήρας (clarifier).

### 3.2.1 Καθαριστήρας (Purifier)

Ο πρώτος διαχωριστήρας λειτουργούσε ως καθαριστήρας (Σχήμα 3.2). Ακάθαρτο λάδι με νερό εισέρχονται στον διαχωριστήρα και καθαρό λάδι εξέρχεται ως προϊόν. Στην έξοδο του προϊόντος βρίσκουμε επιστόμιο αντίθλιψης (back pressure valve), μανόμετρο και αισθητήρα πίεσης. Το νερό εξέρχεται με την έξοδο του νερού και καταλήγει στη δεξαμενή λάσπης (sludge tank) όπου επίσης καταλήγουν και τα στερεά και το νερό με το μπλοφάρισμα του διαχωριστήρα.



Σχήμα 3.2. Καθαριστήρας

### 3.2.2 Διαυγαστήρας (Clarifier)

Ο δεύτερος διαχωριστήρας λειτουργούσε ως διαυγαστήρας (Σχήμα 3.3). Ο διαυγαστήρας αφαιρεί τα σωματίδια που ξέφυγαν απ' τον καθαριστήρα, λειτουργώντας ταυτόχρονα και ως «δίχτυ ασφαλείας».

Στην έξοδο του προϊόντος, έχουμε την ίδια διαμόρφωση, επιστόμιο αντίθλιψης (back pressure valve), μανόμετρο και αισθητήρα πίεσης.

Υπάρχει μια σημαντική διαφορά συγκριτικά με τον καθαριστήρα. Η έξοδος του νερού είναι κλειστή! Αυτό γίνεται ιαντικαθιστώντας τον δίσκο βαρύτητας με έναν δίσκο διαυγαστήρα (Clarifier Disk), τον δίσκο δηλαδή με τη μικρότερη εσωτερική διάμετρο. Όταν η έξοδος του νερού είναι κλειστή, η ικανότητα του διαχωριστήρα να αφαιρεί νερό περιορίζεται, καθώς το νερό μπορεί να αφαιρεθεί μόνο κατά το μπλοφάρισμα.

Υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί στο τύπο του λαδιού που μπορούν να καθαρίσουν οι διαχωριστήρες. Οι καθαριστήρες έχουν όριο πυκνότητας τα  $991 \text{ kg/m}^3$  και όριο ιξώδους τα 600 cSt. Οι διαυγαστήρες δεν έχουν όριο πυκνότητας λόγω της χρήσης δίσκου διαυγαστήρα, ο οποίος κλείνει την έξοδο του νερού.

Ας δούμε τις εφαρμογές των συμβατικών διαχωριστήρων.

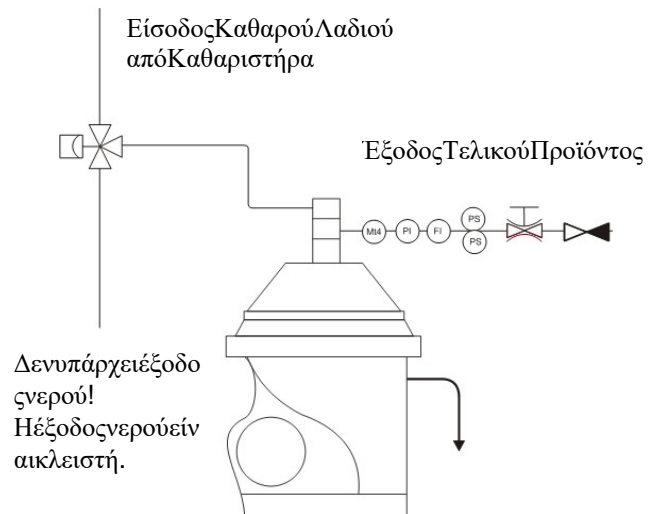
Χρησιμοποιούμε τον καθαριστήρα για:

- Καθαρισμό πετρελαίου
- Καθαρισμό ελαίου λίπανσης
- Καθαρισμό υδραυλικού ελαίου

Χρησιμοποιούμε τον διαυγαστήρα για:

- Λεπτομερή Καθαρισμό πετρελαίου
- Λεπτομερή Καθαρισμό υδραυλικού ελαίου

Όπως μπορείτε να δείτε δε χρησιμοποιούμε τον διαυγαστήρα για έλαια λίπανσης. Και υπάρχει καλός λόγος! Στον διαυγαστήρα λείπει ένα πράγμα το οποίο υπάρχει στον καθαριστήρα – η στεγανοποίηση νερού (Water Seal). Δεν υπάρχει νερό στο μπολ ενός διαυγαστήρα για να διευκολύνει τα μπλοφαρίσματα, κρατώντας τη λάσπη σε υγρή μορφή.



Αφαίρεση Σωματιδίων που ξέφυγαν απ' τον Καθαριστήρα

Σχήμα 3.3. Διαυγαστήρας

### 3.3 Λειτουργικά Προβλήματα

Στα δίκτυα ελαίου λίπανσης δε χρησιμοποιούμε διαυγαστήρα για τον εξής λόγο:

Το έλαιο λίπανσης περιέχει μικρές ποσότητες Θεικού Ασβεστίου που παράγεται κατά την εξουδετέρωση του Θεικού Οξέος, το οποίο αναπόφευκτα δημιουργείται κατά τη λειτουργία της μηχανής. Συγκεκριμένα, το θεικό οξύ δημιουργείται κατά τη καύση του πετρελαίου, καθώς όλα τα πετρέλαια περιέχουν θείο. Η πλειοψηφία των ναυτικών λιπαντικών είναι βασικά ( $\text{pH} > 7$ ) διότι περιέχουν Ανθρακικό Ασβέστιο. Η αντίδραση του ανθρακικού ασβεστίου με το θεικό οξύ παράγει θεικό ασβέστιο, νερό και διοξείδιο του άνθρακα. Ο γύψος είναι μία ένυδρη μορφή του θεικού ασβεστίου,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , και συνήθως υπάρχει νερό στο λάδι.

Ο γύψος θα ξεραθεί λόγω της έλλειψης νερού σε έναν διαυγαστήρα (δεν υπάρχει στεγανοποίηση νερού – Water Seal – καθώς δεν εισάγεται νερό κατά την εκκίνηση) και κατά συνέπεια θα δημιουργήσει ρίσκο μερικής αφαίρεσης λάσπης κατά το μπλοφάρισμα.

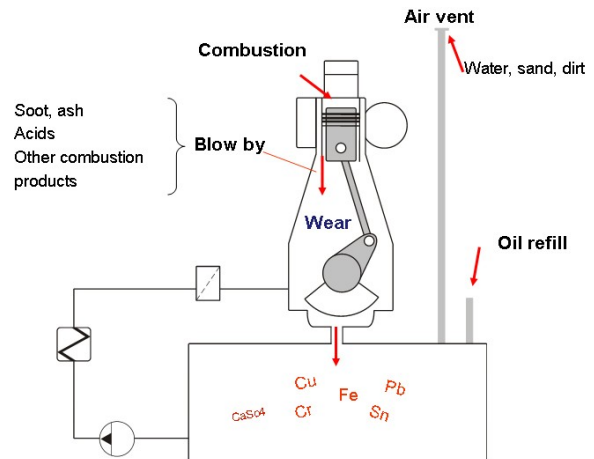
Εάν μόνο μέρος της λάσπης στο μπολ αφαιρεθεί, τότε η εναπομένουσα λάσπη στο μπολ μπορεί να μοιραστεί ανομοιόμορφα, με αποτέλεσμα μια σοβαρή ανισορροπία στο μπολ.

Αυτή η ανισορροπία μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλη ζημιά του διαχωριστήρα και σε τραυματισμό του προσωπικού.

Στους διαχωριστήρες τύπου LOPX και S, οι οποίοι είναι πρακτικά διαυγαστήρες, το ρίσκο εξαλείφεται με την προσθήκη μαλακτικού νερού (Conditioning Water) στο μπολ.

Το μαλακτικό νερό εισέρχεται στο μπολ πριν το άνοιγμα της τρίοδης βαλβίδας τροφοδοσίας λαδιού (3 - Way Oil Feed Valve).

Αυτό το νερό θα δημιουργήσει ένα λεπτό στρώμα στη περιφέρεια του μπολ και όλη η λάσπη που θα αφαιρεθεί από το λάδι θα αναγκαστεί να περάσει μέσα από αυτό το στρώμα, απορροφώντας με αυτόν τον τρόπο νερό, και αποκτώντας μια μαλακή υπόσταση. Έτσι, η λάσπη δε ξεραίνεται και εξαλείφεται το ρίσκο δημιουργίας γύψου και ανομοιόμορφου μπλοφαρίσματος.



Σχήμα 3.4. Πηγές Μόλυνσης Ελαίου Λίπανσης

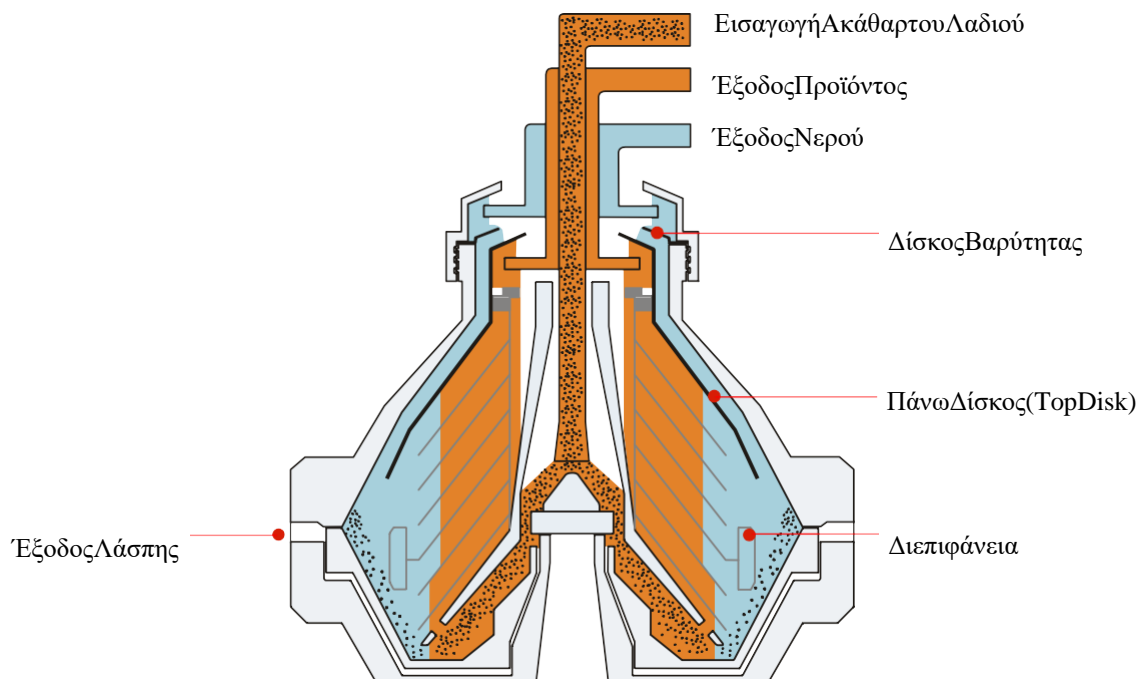


### 3.4 Το Μπολ του Καθαριστήρα

Όταν βλέπουμε το εσωτερικό ενός καθαριστήρα (Σχήμα 3.5) πρέπει να προσέξουμε κάποια πράγματα, τον πάνω δίσκο, το interface και τον δίσκο βαρύτητας. Ο πάνω δίσκος χωρίζει το λάδι από το νερό. Interface είναι το σύνορο μεταξύ λαδιού και νερού. το interface δεν είναι μια ξεκάθαρη γραμμή, καθώς γαλακτοποιημένο λάδι υπάρχει τόσο στη πλευρά του νερού όσο και στη πλευρά του λαδιού. Η μετακίνηση του interface καθορίζει το αποτέλεσμα του διαχωρισμού. Θα εμβαθύνουμε περισσότερο στη πορεία.

Ο δίσκος βαρύτητας είναι αυτός που ελέγχει τη θέση του interface, ανάλογα με τη πυκνότητα, τη θερμοκρασία και τη παροχή του λαδιού. Θα δούμε τα κριτήρια επιλογής δίσκου βαρύτητας στην συνέχεια.

Στο Σχήμα βλέπουμε τη στεγανοποίηση νερού (water seal) μέσα στο μπολ. Συγκεκριμένα, το interface βρίσκεται λίγο πιο μέσα από τον πάνω δίσκο (Top Disc) και το νερό κινείται προς τα έξω και το προς τα πάνω, προς τον δίσκο βαρύτητας. Η συσσώρευση νερού στη περιφέρεια, θα αναγκάσει το interface να εισχωρήσει εξαιτίας της υψηλότερης πυκνότητας του νερού. Αν έχουμε τον κατάλληλο δίσκο βαρύτητας, το interface θα μετακινηθεί ελάχιστα πριν το νερό αρχίσει να βγαίνει από τον δίσκο βαρύτητας και τελικά στην έξοδο νερού.



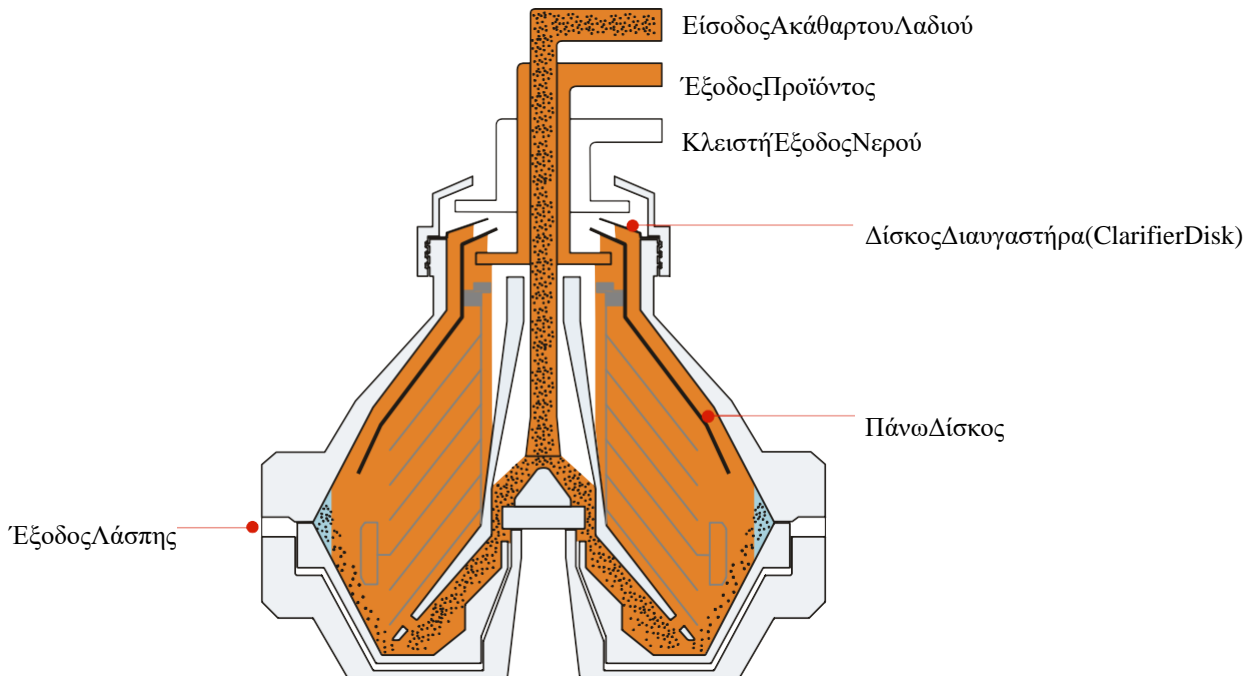
Σχήμα 3.5. Το Μπολ του Καθαριστήρα

### 3.5 Το Μπολ του Διαυγαστήρα

Εάν δούμε το εσωτερικό ενός διαυγαστήρα, βρίσκουμε τα ίδια εξαρτήματα με τον καθαριστήρα (Σχήμα 3.6). Η μόνη εξαίρεση είναι ο δίσκος βαρύτητας, ο οποίος έχει αντικατασταθεί με τον δίσκο διαυγαστήρα (clarifier disk). Αυτό έχει τεράστια επίδραση στην υδραυλική ισορροπία του μπολ. Δεν υπάρχει στεγανοποίηση νερού (water seal) στον διαυγαστήρα και ο λόγος είναι απλός. Αν προσπαθούσαμε να δημιουργήσουμε στεγανοποίηση νερού σε έναν διαυγαστήρα με ένα ψηλό ρυθμιζόμενο «φράγμα» (Βλέπε Κεφάλαιο 2.3.5), το νερό μέσα στο μπολ θα εκτόπιζε όλο το λάδι εξαιτίας της υψηλότερης πυκνότητάς του. Η διεπιφάνεια μετακινείται πολύ προς το εσωτερικό της στοίβας των δίσκων και χάνουμε τον έλεγχο του διαχωρισμού.

Ένας διαυγαστήρας δε μπορεί να αφαιρεί συνεχώς νερό, μόνο να το συσσωρεύει στον χώρο λάσπης και να το αφαιρεί στο μπλοφάρισμα.

Ας δούμε κάποια προβλήματα που μπορούν να προκύψουν σε έναν συμβατικό διαχωριστήρα.



Σχήμα 3.6. Το Μπολ του Διαυγαστήρα

## 3.6 Παράγοντες που επηρεάζουν το Interface

### 3.6.1 Μετακίνηση της Διεπιφάνειας προς τα μέσα

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε έναν λειτουργικό διαχωριστήρα με το interface (τη διεπιφάνεια) στη σωστή θέση. Κάτι συμβαίνει το οποίο διαταράσσει την ισορροπία στο μπολ και η διεπιφάνεια μετακινείται προς τα μέσα (Σχήμα 3.7).

Ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν την διεπιφάνεια είναι η χρήση άλλου πετρελαίου. Πετρέλαιο χαμηλότερης πυκνότητας μετακινεί την διεπιφάνεια προς τα μέσα.

Ένα χαμηλότερο ιξώδες θα έχει το ίδιο αποτέλεσμα. Αυτό θα συμβεί εάν ο δίσκος βαρύτητας επιλεγεί σε λάθος θερμοκρασία. Αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε μείωση του ιξώδους και μετακίνηση της διεπιφάνειας προς τα μέσα.

Μείωση της παροχής στο μπολ θα έχει επίσης το ίδιο αποτέλεσμα. Αυτό γιατί η αντίθλιψη (Back Pressure) στην έξοδο του καθαρού λαδιού θα μειωθεί. Ένας από τους πιο συνήθεις λόγους αυτού του προβλήματος είναι η επιλογή πολύ μικρού δίσκου βαρύτητας! Σε κάποιες ακραίες περιπτώσεις έχουμε βρει εγκατεστημένο τον δίσκο διαυγαστήρα σε καθαριστήρα, μετατρέποντάς τον σε διαυγαστήρα. Το νερό δεν αφαιρούταν και η διεπιφάνεια ήταν σε λάθος θέση. Είχαν μετατρέψει τον διαχωριστήρα σε αντλία!

Τί συμβαίνει όταν η διεπιφάνεια παραείναι μέσα στη στοίβα των δίσκων;

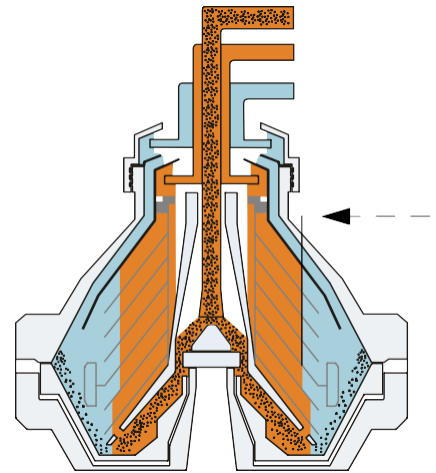
Στους δίσκους έχουμε οπές διανομής που χρησιμοποιούνται για να διανέμουν το λάδι ομοιόμορφα στη στοίβα των δίσκων. Εάν η διεπιφάνεια φτάσει αυτές τις οπές, θα τις φράξει και θα διακόψει την διανομή λαδιού στη στοίβα των δίσκων! Μόνο ένα μικρό μέρος της στοίβας των δίσκων θα είναι ανοιχτό για να περάσει το λάδι. Σε αυτή τη περίπτωση όμως, έχουμε την ίδια παροχή αλλά πολύ μικρότερη επιφάνεια καθίζησης! Η παροχή θα είναι τόσο μεγάλη για αυτή την επιφάνεια που πρακτικά δε θα γίνεται διαχωρισμός! Το λάδι ρέει τόσο γρήγορα που ούτε οι μεγάλες δυνάμεις γδεν είναι αρκετές για να το καθαρίσουν.

Η διεπιφάνεια θα μετακινηθεί προς τα μέσα όταν:

- Ο δίσκος βαρύτητας είναι πολύ μικρός
- Η πυκνότητα του λαδιού μειώνεται
- Το ιξώδες του λαδιού μειώνεται
- Η θερμοκρασία του λαδιού αυξάνεται
- Η παροχή μειώνεται

Αυτό θα προκαλέσει:

- Φράγμα νερού στη στοίβα των δίσκων
- Χαμηλή απόδοση διαχωρισμού



Σχήμα 3.7. Μετακίνηση της Διεπιφάνειας προς τα μέσα

Πως μπορούμε να ανιχνεύσουμε αυτό το πρόβλημα; **Δεν μπορούμε!** Δεν υπάρχει τρόπος να πούμε ότι κάτι πάει λάθος με τον διαχωριστήρα! Δεν υπάρχει alarm ή ένδειξη, μέχρι να είναι πολύ αργά και τα προβλήματα φανούν πια στη μηχανή εξαιτίας της καύσης ακάθαρτου πετρελαίου.

Άρα τί κάνουμε; Ο μόνος τρόπος να το αποφύγουμε είναι να ελέγχουμε τον διαχωριστήρα για να διαπιστώσουμε αν έχουμε τοποθετήσει τον σωστό δίσκο βαρύτητας. Αυτό είναι μια χρονοβόρα και κουραστική διαδικασία αλλά είναι ο μόνος τρόπος να σιγουρευτούμε ότι ο διαχωριστήρας δουλεύει σωστά.

### 3.6.2 Μετακίνηση της Διεπιφάνειας προς τα έξω

Η μετακίνηση της διεπιφάνειας προς τα έξω και η διακοπή της στεγανοποίησης νερού (Water Seal) είναι ακόμα ένα πρόβλημα που μπορεί να συμβεί σε έναν καθαριστήρα (Σχήμα 3.8). Οι λόγοι είναι: Υψηλότερη πυκνότητα, υψηλότερο ιξώδες, χαμηλότερη θερμοκρασία, υψηλότερη παροχή ή επιλογή πολύ μεγάλου δίσκου βαρύτητας.

Υπάρχει ένας ακόμα λόγος για να συμβεί αυτό. Η στοιβα των δίσκων να είναι βρώμικη. Αν η στοιβα των δίσκων είναι βρώμικη, τα κανάλια που οδηγούν το λάδι μικραίνουν, η πίεση έξω από τη στοιβα αυξάνεται και η διεπιφάνεια μετακινείται προς τα έξω (προς την περιφέρεια).

Η κατάσταση όπου η διεπιφάνεια μετακινείται προς τα έξω και ξεπερνάει τον πάνω δίσκο (Top Disk) είναι ενοχλητική αλλά όχι επικίνδυνη. Όταν αυτό συμβαίνει έχουμε alarm και μπορούμε άμεσα να το επιδιορθώσουμε.

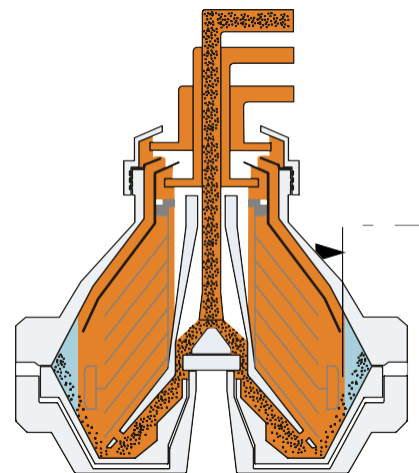
Και δύο περιπτώσεις είναι ενοχλητικές αλλά η πρώτη δεν μας δίνει κάποια ένδειξη ότι συμβαίνει, πράγμα που την καθιστά επικίνδυνη για τη μηχανή! Το συμπέρασμα όλων των παραπάνω είναι ότι ένας συμβατικός διαχωριστήρας με δίσκο βαρύτητας απαιτεί χρόνο για να πετύχουμε τη μέγιστη απόδοση και ο χειριστής πρέπει να είναι καλά εκπαιδευμένος για να το πετύχει. Είναι απαραίτητο να έχουμε τον διαχωριστήρα συνεχώς υπό έλεγχο και να προσέχουμε όταν κάποιες από τις παραμέτρους αλλάζουν π.χ. παραλαβή διαφορετικού καυσίμου, αλλαγή παροχής κλπ.

Το interface μετακινείται προς τα έξω όταν:

- Ο δίσκος βαρύτητας είναι πολύ μεγάλος
- Η πυκνότητα του λαδιού αυξάνεται
- Το ιξώδες του λαδιού αυξάνεται
- Η θερμοκρασία του λαδιού μειώνεται
- Η παροχή αυξάνεται
- Η στοιβα των δίσκων βρωμίζει

Αυτό θα προκαλέσει:

- Διαφυγή λαδιού στην έξοδο νερού και διακοπή της στεγανοποίησης νερού



Σχήμα 3.8. Μετακίνηση της Διεπιφάνειας προς τα έξω

### 3.7 Πως να βρούμε τον κατάλληλο Δίσκο Βαρύτητας

Ο δίσκος βαρύτητας είναι σημαντικός για τη καλή λειτουργία και την υψηλή απόδοση του διαχωριστήρα.

Για να κρατήσουμε την διεπιφάνεια στη σωστή θέση πρέπει να επιλέξουμε τον σωστό δίσκο βαρύτητας. Για να το κάνουμε αυτό πρέπει να ξέρουμε την πυκνότητα, την θερμοκρασία και τη παροχή του λαδιού προς το μπουλ.

Όλοι οι συμβατικοί διαχωριστήρες έχουν ένα πλήρες σετ δίσκων βαρύτητας. Έχουν επίσης ένα ειδικό νομογράφημα για να μας βοηθήσουν να επιλέξουμε τον σωστό δίσκο βαρύτητας (**Σχήμα 3.9**).

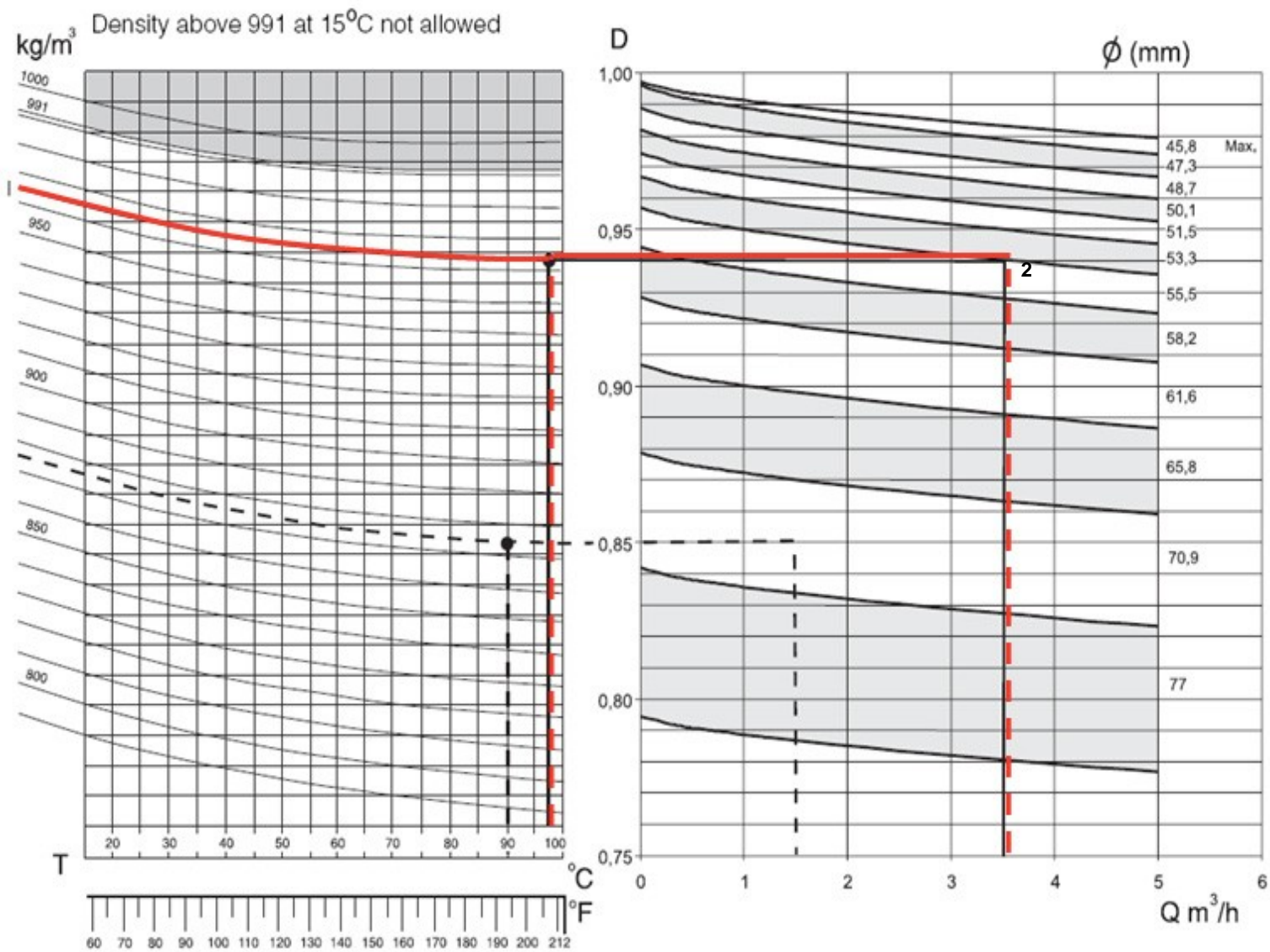
Πρώτα βρίσκουμε τη πυκνότητα του λαδιού. Αυτή αρχικά αναγράφεται στην Απόδειξη Παραλαβής Καυσίμων (Bunker Delivery Note) αλλά μπορεί να διαφέρει από τη πραγματικότητα. Αν υπάρχει χρονικό περιθώριο, αναμένουμε τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης του καυσίμου και χρησιμοποιούμε τη πυκνότητα που αναγράφεται σε αυτά, καθώς αυτή είναι και η αληθινή.

- Εντοπίζουμε την πυκνότητα στο αριστερό μέρος του νομογραφήματος. Ακολουθούμε τη καμπύλη μέχρι την σωστή θερμοκρασία διαχωρισμού, συνήθως 98°C για HFO (Heavy Fuel Oils - Βαριά Πετρέλαια) και 90-95°C για λιπαντικά.
- Από το σημείο που βρήκαμε πριν, τραβάμε μια οριζόντια γραμμή μέχρι την επιθυμητή παροχή, η οποία φαίνεται στο κάτω μέρος του δεξιού διαγράμματος. Καταγράφουμε το νέο σημείο. Παρατηρήστε ότι το δεξί διάγραμμα χωρίζεται σε περιοχές (γκρίζες και άσπρες περιοχές). Το τελικό σημείο βρίσκεται στο σύνορο των περιοχών 53.3 και 55.5 mm. Αυτά τα χιλιοστά είναι η εσωτερική διάμετρος του δίσκου βαρύτητας.

- Για να είμαστε σίγουροι πως η διεπιφάνεια είναι όσο πιο κοντά στην άκρη του πάνω δίσκου (top disk), ξεκινάμε με τον μεγαλύτερο δίσκο. Τοποθετούμε λοιπόν τον δίσκο των 55.5 mm και ξεκινάμε τον διαχωριστήρα.
- Για να μη ψαχνόμαστε στη πορεία, πρέπει οπωσδήποτε η θερμοκρασία και η παροχή λαδιού να είναι πράγματι αυτές που επιλέξαμε και στο διάγραμμα. Αν υπάρχουν μεταβολές σε αυτές τις δύο παραμέτρους, δε θα μπορέσουμε ποτέ να βρούμε τον σωστό δίσκο.
- Εάν όλες οι παράμετροι είναι Ok και η στεγανοποίηση του νερού (waterseal) κρατάει, δοκιμάζουμε τον αμέσως μεγαλύτερο δίσκο. Αυτό το κάνουμε μέχρι η στεγανοποίηση του νερού να σπάσει, το οποίο το καταλαβαίνουμε αν δούμε λάδι στην έξοδο του νερού. Μόλις συμβεί αυτό, πάμε πίσω έναν δίσκο. Αυτός είναι ο βέλτιστος δίσκος βαρύτητας για το συγκεκριμένο λάδι, στη συγκεκριμένη θερμοκρασία, στη συγκεκριμένη παροχή.

Εάν κάποια από αυτές τις παραμέτρους αλλάξει, μπορεί να χρειαστεί να αλλάξουμε δίσκο βαρύτητας ξανά. Καταλαβαίνει κανείς πως η μέγιστη απόδοση αυτού του διαχωριστήρα απαιτεί πολύ χρόνο από τους χειριστές.

Σε πολλές περιπτώσεις, οι μηχανικοί επιλέγουν να τοποθετήσουν μικρό δίσκο βαρύτητας για να αποφύγουν τα alarm, αλλά αυτό μπορεί να μετακινήσει την διεπιφάνεια προς τα μέσα, με ότι αυτό συνεπάγεται (Βλέπε 3.6.1)



Σχήμα 3.9. Νομογράφημα επιλογής κατάλληλου Δίσκου Βαρύτητας

## 4 Απόδοση Διαχωρισμού

Σε αυτή την ενότητα θα συγκρίνουμε διαχωριστήρα με φίλτρο, θα δούμε τι αφαιρούμε από το καύσιμο και τι όχι. Επιπλέον, θα μάθουμε το πρότυπο ISO 8217, τη τυποποίηση των καυσίμων και τα καταλυτικά σωματίδια (cat-fines).

### 4.1 Διαχωριστήρας vs Φίλτρο

Πρώτα, θα συγκρίνουμε την ικανότητα καθαρισμού μεταξύ διαχωριστήρων και φίλτρων.

Βλέπουμε πως σωματίδια μικρότερα των 4 μm αφαιρούνται κατά 65 με 85% στους διαχωριστήρες και 5 με 10% στα φίλτρα.

Κάτι παρόμοιο ισχύει και στον κυριότερο εχθρό των μηχανών στα HFO, τα καταλυτικά σωματίδια (cat-fines). Ομοίως και στον σίδηρο και στο νάτριο.

Συμπεραίνουμε πως ο διαχωριστήρας υπάρχει για τον καθαρισμό και το φίλτρο μόνο για προστασία, εμποδίζοντας π.χ. παξιμάδια και βίδες από το να εισέλθουν στη μηχανή.

Σωματίδια	Αφαίρεση από Διαχωριστήρα (%)	Αφαίρεση από Φίλτρο (%)
Σωματίδια μικρότερα των 4μm	65-85	5-10
Καταλυτικά Σωματίδια	60-90	~ 5
Σίδηρος	40-60	~ 5
Νάτριο	40-50	< 5

## 4.2 Τι διαχωρίζουμε και τι όχι

### 4.2.1 Συστατικά και ιδιότητες του καυσίμου που δεν επηρεάζονται

Υπάρχουν κάποια συστατικά και ιδιότητες του καυσίμου που δεν επηρεάζονται από τον διαχωρισμό. Κάποια επειδή έχουν μικρότερη πυκνότητα από αυτή του λαδιού και κάποια επειδή είναι μέρος του λαδιού. Είναι τα εξής:

- **Πυκνότητα καυσίμου**, ακόμα και αν αφαιρέσουμε κάποια σωματίδια που περιέχονται σε αυτό.
- **Ιξώδες καυσίμου**. Επηρεάζεται μόνο από τη θερμοκρασία (heater).
- **CCAI**, δηλαδή τον Δείκτη Αρωματικότητας (Calculated Carbon Aromaticity Index) ο οποίος είναι μέτρο της «προθυμίας» του καυσίμου να αναφλεγεί στον κύλινδρο.
- **Σημείο ανάφλεξης**. Είναι η θερμοκρασία που ξεκινούν να εξατμίζονται τα ελαφριά και εύφλεκτα αέρια του καυσίμου.
- **Σημείο ροής**. Είναι η ελάχιστη δυνατή θερμοκρασία άντλησης του καυσίμου.
- **Τα υπολείμματα άνθρακα** (MCR Micro Carbon Residue)
- **Θείο, Βανάδιο και Ασφαλτένια**. Αποτελούν μέρος του καυσίμου και είναι αδύνατο να αφαιρεθούν από τον διαχωριστήρα.



## 4.2.2 Συστατικά του καυσίμου που επηρεάζονται

Ο διαχωριστήρας είναι καλός στην αφαίρεση επικινδύνων συστατικών του καυσίμου. Είναι τα εξής:

- **Νερό.** Θαλασσίνο ή γλυκό νερό που προέρχεται από διάφορες πηγές. Σε κάθε περίπτωση, έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από αυτή του καυσίμου, με αποτέλεσμα την εύκολη αφαίρεσή του στον διαχωριστήρα.
- **Νάτριο.** Είναι μέρος του θαλασσινού νερού και αφαιρείται επίσης εύκολα. Κάποιες φορές ωστόσο, αποτελεί μέρος του καυσίμου, καθιστώντας το αδύνατο να αφαιρεθεί.
- **Αλουμίνιο και Πυρίτιο.** Γνωστά και ως καταλυτικά σωματίδια (cat-fines), είναι υπολείμματα της διύλισης του καυσίμου και είναι εξαιρετικά επικίνδυνα για τις μηχανές. Τα καταλυτικά σωματίδια είναι υπερβολικά σκληρά. Σε μία κλίμακα από το 1 έως το 10, με το 10 να είναι το διαμάντι, τα καταλυτικά σωματίδια βρίσκονται στο 8.2. Ευτυχώς, αφαιρούνται εύκολα με τη σωστή ρύθμιση του διαχωριστήρα.
- **Ο Σίδηρος, το Μαγνήσιο, η Στάχτη και το Ασβέστιο** είναι όλα ξένα σώματα που αφαιρούνται εύκολα εξαιτίας της μεγαλύτερης πυκνότητάς τους από το καύσιμο.

### 4.3 Πρότυπο ISO 8217

Μπορούμε να κατηγορήσουμε το πρότυπο ISO 8217, το οποίο χρησιμοποιούμε κατά την αγορά καυσίμων, για τη πλειοψηφία των προβλημάτων σχετικά με τα HFO στα πλοία.

Παρατηρήστε το **Σχήμα 4.1**. Ένας προμηθευτής καυσίμων επιτρέπεται να πουλάει HFO με έως και 0.5% νερό. Αυτό μπορεί να μη φαίνεται τεράστιο πρόβλημα, καθώς το νερό αφαιρείται εύκολα στους διαχωριστήρες. Όμως, αυτό σημαίνει ότι πληρώνετε 500\$+ ανά τόνο νερό (παραλαβή 2000 τόνων HFO αντιστοιχεί σε παραλαβή 10 τόνων νερού με κόστος 5000\$)! Δε γνωρίζετε επίσης αν πρόκειται για θαλασσινό νερό, και τα προβλήματα που αυτό συνεπάγεται (διάβρωση υψηλής θερμοκρασίας – high temp corrosion). Εάν οι διαχωριστήρες δεν λειτουργούν και δεν διατηρούνται σωστά, το νερό παραμένει στο καύσιμο και φτάνει στη μηχανή.

Ένας ακόμα μεγάλος μπελάς είναι η περιεκτικότητα σε Αλουμίνιο και Πυρίτιο. Ένας προμηθευτής επιτρέπεται να πουλάει HFO με έως και 80 ppm καταλυτικά σωματίδια. Οι κατασκευαστές μηχανών απαιτούν μέχρι 15-20 ppm να εισέρχονται στη μηχανή. Οι διαχωριστήρες λοιπόν πρέπει να λειτουργούν σωστά για να φτάνουν τα κριτήρια των κατασκευαστών. Είναι αδύνατο μέχρι σήμερα να υπολογίσουμε το πραγματικό μέγεθος των σωματιδίων με τις αναλύσεις.

Μία ανάλυση καυσίμου θα δείξει μόνο το μέγεθος της μόλυνσης και όχι το μέγεθος των σωματιδίων. Σωματίδια μικρότερα των 4-5 micron δεν είναι τόσο επιβλαβή στη μηχανή λόγω του πάχους του φιλμ του λαδιού.

Αν π.χ. τα σωματίδια ήταν μικρότερα από 4 micron, θα μπορούσαμε να στείλουμε μέχρι και 80 ppm στη μηχανή χωρίς να κάνουμε ζημιά. Ψάχνουμε μία λύση ώστε το μέγεθος των σωματιδίων να είναι το μικρότερο δυνατό στην έξοδο του διαχωριστήρα.

Table 2 — Requirements for marine residual fuels

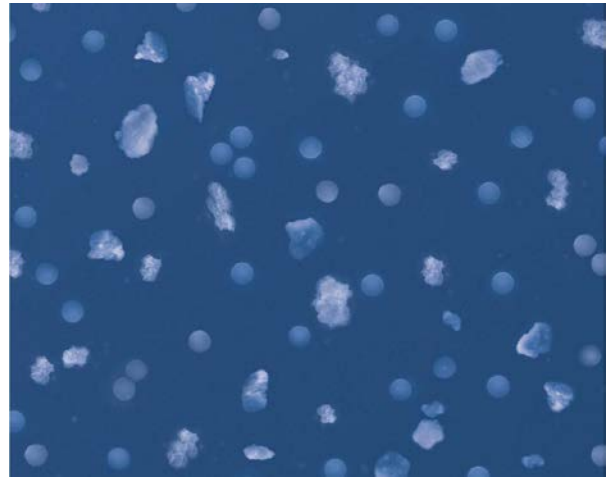
Characteristic	Unit	Limit	Category ISO-F-										Test method reference
			RMA 30	RMB 30	RMD 80	RME 180	RMF 180	RMG 380	RMH 380	RMK 380	RMH 700	RMK 700	
Density at 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	max.	960,0	975,0	980,0	991,0		991,0		1010,0	991,0	1010,0	ISO 3675 or ISO 12185 (see also 7.1)
Kinematic viscosity at 50 °C	mm <sup>2</sup> /s <sup>a</sup>	max.	30,0		80,0	180,0		380,0		700,0			ISO 3104
Flash point	°C	min.	60		60	60		60		60			ISO 2719 (see also 7.2)
Pour point (upper) <sup>b</sup> - winter quality - summer quality	°C	max.	0 6	24 24	30 30	30 30		30 30		30 30			ISO 3016 ISO 3016
Carbon residue	% (m/m)	max.	10		14	15	20	18	22		22		ISO 10370
Ash	% (m/m)	max.	0,10		0,10	0,10	0,15	0,15		0,15			ISO 6245
Water	% (V/V)	max.	0,5		0,5	0,5		0,5		0,5			ISO 3733
Sulfur <sup>c</sup>	% (m/m)	max.	3,50		4,00	4,50		4,50		4,50			ISO 8754 or ISO 14596 (see also 7.3)
Vanadium	mg/kg	max.	150		350	200	500	300	600		600		ISO 14597 or IP 501 or IP 470 (see 7.8)
Total sediment potential	% (m/m)	max.	0,10		0,10	0,10		0,10		0,10			ISO 10307-2 (see 7.6)
Aluminium plus silicon	mg/kg	max.	80		80	80		80		80			ISO 10478 or IP 501 or IP 470 (see 7.9)

Σχήμα 4.1. Πρότυπο ISO 8217

## 4.4 Καταλυτικά Σωματίδια (Cat-Fines)

Στο Σχήμα 4.2 βλέπουμε πραγματικά καταλυτικά και Dynoσωματίδια, σε μεγέθυνση 2000 φορές. Όπως φαίνεται, τα καταλυτικά σωματίδια έχουν διάφορα μεγέθη και σχήματα. Κάποια είναι μεγάλα και εύκολο να αφαιρεθούν, άλλα μικρά και δύσκολο να αφαιρεθούν.

Τα σωματίδια Dyno έχουν ακριβώς το ίδιο μέγεθος, 5 micron, και το ίδιο βάρος. Χρησιμοποιήσαμε αυτά τα σωματίδια σε δοκιμές των διαχωριστήρων. Για περισσότερα, ανατρέξτε στο SPS εγχειρίδιο.



Σχήμα 4.2. Καταλυτικά και Dyno σωματίδια



## 5 Συνοψίζοντας

### 5.1 Βέλτιστη Διεπιφάνεια

Για να πετύχουμε τη βέλτιστη διεπιφάνεια πρέπει:

- Το νερό δε πρέπει ποτέ να μπει μέσα στη στοίβα των δίσκων. Πρέπει να διατηρείται στο άκρο του πάνω δίσκου (topdisk) και έξω από τη στοίβα.
- Χρήση του σωστού δίσκου βαρύτητας.
- Καθαριότητα στη στοίβα των δίσκων.
- Σταθερές παραμέτρους του καυσίμου. Αν αλλάξει η πυκνότητα ή το ιξώδες, πρέπει μάλλον να αλλάξει και ο δίσκος βαρύτητας.
- Σταθερή παροχή. Αν αλλάξει η παροχή, πρέπει μάλλον να αλλάξει και ο δίσκος βαρύτητας.
- Σταθερή θερμοκρασία. Μεταβολές στη θερμοκρασία σημαίνουν μεταβολές στο ιξώδες. Μικρές μεταβολές στη θερμοκρασία, επηρεάζουν έντονα την απόδοση διαχωρισμού.

### 5.2 Θερμοκρασία

Εάν έχουμε ένα HFO380cSt και αλλάξουμε τη θερμοκρασία από 98°C σε 95°C, δε φαίνεται καμιά τρομερή αλλαγή, μόνο 3°C.

Εάν πάμε τώρα στο ιξώδες, αυτή η μεταβολή 3°C, είχε ως αποτέλεσμα το ιξώδες από 26cSt να πάει 29cSt. Κι αυτό δε φαίνεται τρομερό, αλλά πρόκειται για μία αύξηση 10%.

Εάν το ίδιο καύσιμο το πάμε από 98°C στους 90°C, πάλι δεν ακούγεται κάτι φοβερό, αλλά το ιξώδες θα πάει στα 35 cSt. Δηλαδή μιλάμε για αύξηση 30%. Μια τέτοια μεταβολή, επηρεάζει εξαιρετικά τον διαχωρισμό!

## 5.3 Νόμος του Stokes

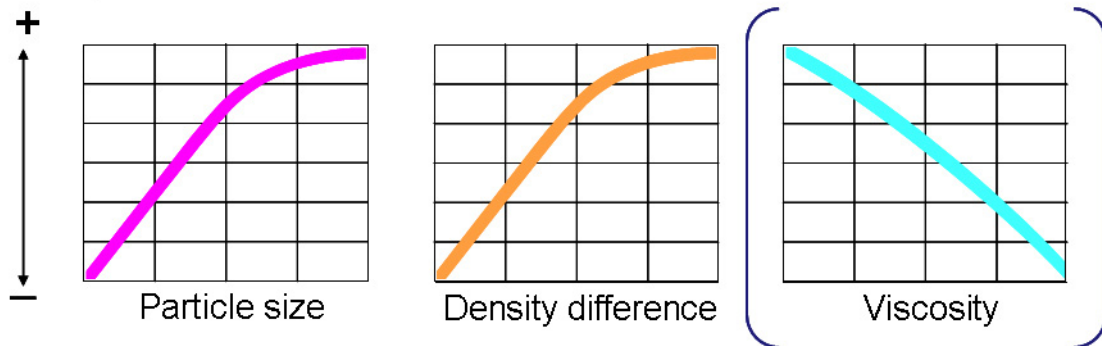
Συνοπτικά ο Νόμος του Stokes λέει:

- Όσο μεγαλύτερα τα σωματίδια, τόσο καλύτερος και ο διαχωρισμός.
- Όσο μεγαλύτερη η διαφορά πυκνότητας μεταξύ υγρού και σωματιδίων, τόσο καλύτερος και ο διαχωρισμός.
- Όσο μεγαλύτερο το ιξώδες του υγρού, τόσο χειρότερος και ο διαχωρισμός.

Stokes'law:

$$v_g = \frac{d^2(\rho_p - \rho_l)}{18\eta} g$$

Separation efficiency



Σχήμα 5.1. Νόμος του Stokes συνοπτικά

## 5.4 Περιορισμοί Συμβατικών Διαχωριστήρων

Υπάρχουν περιορισμοί και μειονεκτήματα με τους συμβατικούς διαχωριστήρες:

- Καθαριστήρας και Διαυγαστήρας (Purifier/Clarifier) σε σειρά. Δύο διαχωριστήρες σε σειρά είναι μια ακριβότερη εγκατάσταση συγκριτικά με τους ALCAP διαχωριστήρες
- Δίσκος Βαρύτητας. Όπως αναλύσαμε παραπάνω, απαιτείται πολύς χρόνος για τη βέλτιστη απόδοση.
- Μέγιστο Ιξώδες 600cSt και Μέγιστη Πυκνότητα 991 kg/m<sup>3</sup>. Καύσιμα με αυτά τα χαρακτηριστικά τείνουν να είναι ακριβότερα.
- Χειροκίνητη ρύθμιση. Κάθε φορά που αλλάζει το ίδιο το καύσιμο ή κάποια παράμετρος του, απαιτείται συνήθως αλλαγή δίσκου βαρύτητας.
- Ανάγκη καταρτισμένου προσωπικού.

### 5.4.1 Περιορισμοί στη Πυκνότητα

Αναφέραμε το όριο των 991 kg/m<sup>3</sup> στη πυκνότητα για τους συμβατικούς διαχωριστήρες, αλλά αυτό αφορά διαχωριστήρες κατασκευασμένους μετά το 1984. Παλαιότεροι διαχωριστήρες έχουν όριο τα 985 kg/m<sup>3</sup> στους 15°C.

Ο λόγος είναι ότι τα διυλιστήρια άλλαξαν αρκετά στα 80s, νέες μέθοδοι εφαρμόστηκαν που επέτρεψαν την αφαίρεση περισσότερων ελαφριών αποσταγμάτων από το HFO, με αποτέλεσμα η πυκνότητά του να ανέβει. Κάναμε κάποιες μετατροπές στο μπολ, επιτρέποντας το όριο των 991 kg/m<sup>3</sup>.

