

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ :**

**ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΗΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ**

**ΡΕΥΣΤΩΝ ΜΕ ΗΘΜΟΥΣ ΜΟΡΦΗΣ ΦΥΣΙΓΓΑΣ**

**Χρήστος Γεωργακόπουλος**

**Επιβλέπων Καθηγητής :**

**Ιωάννης Γεωργουδάκης**

**Οκτώβριος 2001**

## Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α :

<b>1.</b>	<b>Περίληψη.</b>	σελ.3
<b>2.</b>	<b>Εισαγωγή.</b>	σελ.5
<b>3.</b>	<b>Διήθηση - Διαχωρισμός.</b>	σελ.6
<b>4.</b>	<b>Συστήματα Διήθησης.</b>	σελ.8
<b>5.</b>	<b>Συστήματα Διήθησης κατά μέτωπο τροφοδοσίας με ηθμούς μορφής φύσιγγας.</b>	σελ.11
	- Δοχεία Φίλτρων	σελ.12
	- Ηθμοί φύσιγγας	σελ.16
	- Αρχές λειτουργίας διήθησης	σελ.19
	- Ικανότητα συγκράτησης των ηθμών	σελ.24
	- Μορφές ηθμών	σελ.29
	- Υλικά κατασκευής του διηθητικού μέσου	σελ.39
	- Παράγοντες που επιδρούν στην λειτουργία των συστημάτων διήθησης	σελ.44
	- Αυτοκαθαριζόμενα συστήματα διήθησης	σελ.53
<b>6.</b>	<b>Συστήματα Διήθησης εφαπτομενικής τροφοδοσίας.</b>	σελ.62
<b>7.</b>	<b>Συστήματα Διαχωρισμού.</b>	σελ.68
<b>8.</b>	<b>Συστήματα Διαχωρισμού με ηθμούς μορφής φύσιγγας.</b>	σελ.72
	- Συστήματα διαχωρισμού Υγρού/Αερίου	σελ.74
	- Συστήματα διαχωρισμού Υγρού/Υγρού	σελ.81
<b>9.</b>	<b>Επίλογος.</b>	σελ.90
<b>10.</b>	<b>Βιβλιογραφία.</b>	σελ.91

**ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΗΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΡΕΥΣΤΩΝ**  
**ΜΕ ΗΘΜΟΥΣ ΜΟΡΦΗΣ ΦΥΣΙΓΓΑΣ .**  
**( CARTRIDGE FILTERS )**

## **1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

*Τα συστήματα διήθησης και διαχωρισμού με ηθμούς μορφής φύσιγγας αποτελούν αναπόσπαστο μέρος στην παραγωγική διαδικασία των μονάδων σε όλο το φάσμα της βιομηχανίας.*

*Οι ηθμοί μορφής φύσιγγας είναι τα κοινά φίλτρα κυλινδρικής μορφής, τα οποία χρησιμοποιούνται είτε προκειμένου να απομακρύνουν τα στερεά σωματίδια από ρεύματα υγρών ή αερίων (Filtration), είτε διαχωρίζουν από αυτά κάποια υγρή φάση (Separation).*

*Τα συστήματα διήθησης με ηθμούς μορφής φύσιγγας χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που η επιβάρυνση σε στερεά είναι σε χαμηλά επίπεδα και έχουν μεγάλη ικανότητα συγκράτησης (Microfiltration).*

*Είναι συστήματα με κατά μέτωπο τροφοδοσία, δηλαδή το προς διήθηση ρευστό αναγκάζεται να περάσει μέσα από την δομή του υλικού κατασκευής των ηθμών, στο οποίο συγκρατούνται τα στερεά μικροσωματίδια (Κλασσική Διήθηση).*

*Ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες της κάθε εφαρμογής, επιλέγεται η χρησιμοποίηση ηθμών που χρησιμοποιούν το πάχος (βάθος) του υλικού κατασκευής τους, ή ηθμών που είναι κατασκευασμένοι έτσι ώστε να σταματούν τα σωματίδια κυρίως στην εξωτερική τους επιφάνεια.*

*Διάφορα είδη υλικών κατασκευής των ηθμών έχουν εξελιχθεί, έτσι ώστε αυτοί να ανταποκρίνονται και να είναι συμβατοί στις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής.*

*Παράγοντες που επηρεάζουν την λειτουργία ενός συστήματος διήθησης με ηθμούς μορφής φύσιγγας, είναι η πίεση λειτουργίας, η θερμοκρασία λειτουργίας, η παροχή του ρευστού, το ιξώδες του, καθώς και η περιεκτικότητα και η φύση των προς απομάκρυνση στερεών σωματιδίων.*

*Συστήματα διήθησης με διαφορετική αρχή λειτουργίας από την κλασσική διήθηση, είναι και αυτά της εραπτομενικής τροφοδοσίας, στα οποία το υγρό ρέει παράλληλα σε μια ημιπερατή μεμβράνη, η οποία επιτρέπει επιλεκτικά τη διέλευση κάποιων ουσιών. Αυτά τα συστήματα έχουν πολύ υψηλή ικανότητα συγκράτησης (σε μοριακό επίπεδο) και παραδείγματά τους είναι τα συστήματα της Υπερδιήθησης και της Αντίστροφης Ωσμωσης.*

Τα συστήματα διαχωρισμού (Separation Systems) με φύσιγγες είναι ανάλογα των συστημάτων κλασσικής διήθησης και χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των ελεύθερων (μη διαλυμένων) μικροσταγονιδίων που συμπαρασύρονται στην ροή ενός ρευστού.

Ανάλογα αν το ρευστό είναι αέριο ή υγρό, έχουμε τα συστήματα διαχωρισμού Υγρού/Αερίου και τα συστήματα διαχωρισμού Υγρού/Υγρού.

Στα συστήματα υγρού/αερίου, τα μικροσταγονίδια που συμπαρασύρονται μαζί με το αέριο, συσπειρώνονται σε μεγάλες σταγόνες κατά την διέλευσή τους μέσα από την πυκνή δομή του υλικού κατασκευής της φύσιγγας. Κατόπιν απομακρύνονται από την ροή με την βοήθεια της βαρύτητας.

Κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα του διαχωρισμού, είναι η περιεκτικότητα του αερίου σε μικροσταγονίδια, η ταχύτητα ροής του μέσα από τις φύσιγγες, η ικανότητα αποστράγγισης υγρών του υλικού κατασκευής της φύσιγγας, και η θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος.

Όμοια είναι και η λειτουργία των συστημάτων διαχωρισμού υγρού/υγρού. Τα μικροσταγονίδια της προς απομάκρυνσης υγρής φάσης ενώνονται σε μεγάλες σταγόνες οι οποίες κατόπιν απομακρύνονται είτε με την βοήθεια της βαρύτητας είτε με την χρησιμοποίηση ειδικών φυσίγγων.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον διαχωρισμό υγρού/υγρού, είναι οι δυνάμεις συνοχής μεταξύ των ομοειδών μορίων των αναμειγμένων φάσεων, τα σχετικά τους ειδικά βάρη, και η θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος.

## **2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.**

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια παρουσίαση της λειτουργίας των συστημάτων διήθησης και διαχωρισμού με ηθμούς μορφής φύσιγγας.

Επεξηγούνται οι όροι "διήθηση" και "διαχωρισμός" και παραθέτονται κάποια βασικά παραδείγματα εφαρμογών στην βιομηχανία.

Περιγράφεται τι είναι ένας ηθμός μορφής φύσιγγας, και οι αρχές λειτουργίας του.

Γίνεται αναφορά στην ικανότητα συγκράτησης των ηθμών, και επεξηγούμε τον διαχωρισμό ηθμών ονομαστικής και απόλυτης συγκράτησης.

Τέλος, επεξηγούμε πώς ένα λειτουργεί σύστημα κλασσικής διήθησης, τις μορφές που μπορεί να έχουν οι ηθμοί, από τι υλικά κατασκευάζονται και τέλος, τους παράγοντες που επιδρούν στην λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος.

Μικρότερης έκτασης αναφορά γίνεται και στα συστήματα εφαπτομενικής διήθησης όπως Υπερδιήθηση και Αντίστροφη Ωσμωση.

Στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται αναφορά στα συστήματα διαχωρισμού υγρού/αερίου και υγρού/υγρού.

Και εδώ αναφέρονται τα είδη τους, περιγράφεται η λειτουργία τους και σημειώνονται οι παράγοντες που την επηρεάζουν.

### 3. ΔΙΗΘΗΣΗ - ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ.

Η Διήθηση και ο Διαχωρισμός Ρευστών, είναι διεργασίες με ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην Βιομηχανία. Συμβάλλουν στην ομαλή λειτουργία των παραγωγικών διαδικασιών, καθώς εξασφαλίζουν την απαιτούμενη καθαρότητα των διαφόρων ρευστών είτε αυτά συμμετέχουν σε ενδιάμεσα στάδια παραγωγής, ή αποτελούν το τελικό προϊόν.

α. Ως διήθηση (φιλτράρισμα) ορίζουμε την διαδικασία απομάκρυνσης στερεών σωματιδίων από κάποιο ρευστό - υγρό ή αέριο, υποβάλλοντάς το να περάσει μέσα από κάποιο διαπερατό υλικό μέσο. Διαπερατό ονομάζεται το υλικό που στην δομή κατασκευής του έχει αλληλοσυνδεόμενους πόρους ή οπές, μέσω των οποίων είναι δυνατή η διέλευση του ρευστού.

Συστήματα διήθησης λειτουργούν σε όλες σχεδόν τις βιομηχανικές εφαρμογές. Είναι απαραίτητα τόσο ώστε να διασφαλίζεται η ποιότητα ενός προϊόντος, όσο και για να προστατεύονται από φθορές τμήματα ακριβού μηχανολογικού εξοπλισμού, διατηρώντας έτσι ομαλή την λειτουργία του.

Παραδείγματα εφαρμογών διήθησης είναι :

- η μικροβιοκρατής διήθηση ενέσιμων διαλυμάτων στην φαρμακοβιομηχανία,
- η μικροβιοκρατής διήθηση νερού στις βιομηχανίες εμφιαλώσεως,
- η διαύγαση ή σταθεροποίηση κρασιού, μπύρας και άλλων ποτών,
- η διήθηση νερού ή ελαίου ψύξης διαφόρων συστημάτων παραγωγής,
- η διήθηση πετρελαίου στα διυλιστήρια, τόσο πριν την κατεργασία αποθείωσής του προκειμένου να προστατευθεί ο καταλύτης, όσο και πριν από την τελική διάθεσή του προς κατανάλωση,
- συγκράτηση μικροσωματιδίων ή μικροοργανισμών σε ρεύματα αερίων,
- ανάκτηση σκόνης καταλύτη σε απαέρια διεργασιών στα διυλιστήρια και στις χημικές βιομηχανίες.

β. Ανάλογα των συστημάτων διήθησης, είναι και τα συστήματα διαχωρισμού είτε υγρής φάσης από την αέρια, είτε δύο διαφορετικών μη αναμίξιμων υγρών φάσεων.

Τα συστήματα διαχωρισμού χρησιμοποιούνται επίσης ευρέως στην Βιομηχανία, αφού και αυτά είναι απαραίτητα για την διασφάλιση της τελικής ποιότητας των προϊόντων και την προστασία του μηχανολογικού εξοπλισμού.

Παραδείγματα εφαρμογών διαχωρισμού είναι :

- προκατεργασία αερίου ρεύματος προς μικροβιοκρατή διήθηση (απομάκρυνση υγρών),
- απομάκρυνση μικροσταγονιδίων νερού και λαδιού από αέριο ρεύμα προερχόμενο από συμπιεστή,
- απομάκρυνση υγρών υδρογονανθράκων από ρεύμα αέριων υδρογονανθράκων πριν από διεργασία για την αφαίρεση του υδρόθειου (Amine units),
- αφαίρεση νερού από το προς κατανάλωση πετρέλαιο, ώστε αυτό να τηρεί τις απαιτούμενες προδιαγραφές,
- διαχωρισμός καυστικού νατρίου από βενζίνη, για την προστασία των δικτύων και του εξοπλισμού του διυλιστηρίου από διάβρωση.
- διαχωρισμός λαδιού από υγρή ή αέρια αμμωνία στην χημική βιομηχανία.

Οι πολλές εφαρμογές της διήθησης και του διαχωρισμού, έχουν συμβάλει στην εξέλιξη διαφόρων ειδών συστημάτων, καθ' ένα εκ των οποίων ανταποκρίνεται στις ιδιαιτερότητες της κάθε εφαρμογής.

Η συγκράτηση των στερεών μικροσωματιδίων όσο και ο διαχωρισμός των δύο διαφορετικών φάσεων στα συστήματα αυτά, γίνεται με μηχανικό τρόπο.

#### 4. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΗΘΗΣΗΣ.

Τα συστήματα διήθησης, χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύτατο φάσμα εφαρμογών, και αναλόγως αυτών επιλέγεται και το κατάλληλο.

Βασικό κριτήριο επιλογής του κατάλληλου συστήματος διήθησης, είναι η περιεκτικότητα σε στερεά σωματίδια του προς διήθηση ρευστού, και το μέγεθος των σωματιδίων που επιθυμούμε να απομακρύνουμε.

Η περιεκτικότητα σε στερεά υπολογίζεται σε mgr / ltr ( χιλιοστόγραμμα στερεών ανά λίτρο προς διήθηση) ή mgr / kgr ( χιλιοστόγραμμα στερεών ανά κιλό προς διήθηση).

Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη έκφραση αυτής της περιεκτικότητας είναι τα ppm ( parts per milion ) όγκου (v) ή βάρους (w), όπου :

$$1 \text{ ppmv} = 1 \text{ mgr} / \text{ltr} \quad \text{ή} \quad 1 \text{ ppmw} = 1 \text{ mgr} / \text{kg}$$

Η περιεκτικότητα εκφράζεται ακόμη και σε επί τοις % κατά βάρος ή όγκο, με την παρακάτω αντιστοιχία : Περιεκτικότητα 1 % = 10.000 ppm

Το μέγεθος των στερεών σωματιδίων υπολογίζεται σε μικρόμετρα ( $\mu\text{m}$ ) ή αλλιώς χιλιοστά του χιλιοστού.

Ενδεικτικά, το μικρότερο σημαδάκι από μύτη μολυβιού που μπορεί να δει το γυμνό ανθρώπινο μάτι έχει διάμετρο γύρω στα 40  $\mu\text{m}$ , ενώ η διάμετρος της ανθρώπινης τρίχας είναι γύρω στα 70  $\mu\text{m}$ .

- Στην περίπτωση που η περιεκτικότητα σε σωματίδια κατέχει ένα σημαντικό ποσοστό του συνολικού ρευστού ( 1 % και άνω ) και το μέγεθος των σωματιδίων που επιθυμούμε να απομακρύνουμε είναι αρκετά μεγάλο (της τάξεως των χιλιοστών), δεν κρίνεται πρακτικό να χρησιμοποιηθεί σύστημα διήθησης με την κλασσική έννοια, δηλαδή να περάσει το ρευστό μέσα από κάποιο διηθητικό μέσο, γιατί σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα αυτό θα βουλώσει και έτσι η λειτουργία του θα είναι μη ομαλή και δαπανηρή.

Εξαιρέση σε αυτήν την περίπτωση, αποτελούν τα φίλτρα άμμου, στα οποία χρησιμοποιείται σαν διηθητικό μέσο η άμμος.



Παραδείγματα συστημάτων καθαρισμού ρευστών σε αυτές τις πολύ επιβαρημένες περιπτώσεις, είναι :

– Δεξαμενές καθίζησης:

Το επιβαρημένο με στερεά υγρό αφήνεται να ηρεμήσει μέσα σε δεξαμενή, έτσι ώστε τα βαριά αιωρούμενα σωματίδια λόγω της βαρύτητας να πέσουν στον πυθμένα με την μορφή ιζήματος.

– Καθίζηση και διαχωρισμός με φυγοκέντρωση:

Τα μεγάλα σε μέγεθος και βάρος στερεά διαχωρίζονται με την εφαρμογή της φυγοκέντρου δυνάμεως στο ρευστό. (Κυκλώνες, Φυγοκεντρικοί διαχωριστές, κτλ.)

– Ηλεκτρομαγνητικά φίλτρα:

Όταν η φύση των στερεών σωματιδίων είναι τέτοια που να επηρεάζονται από ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις (πχ: σκουριές), ο διαχωρισμός τους μπορεί να γίνει περνώντας το επιβαρημένο ρευστό από κάποιον ισχυρό ηλεκτρομαγνήτη.

– Συστήματα περιστρεφόμενου τύμπανου υποπίεσης:

Ένα τύμπανο με υποπίεση στο εσωτερικό του περιστρέφεται μέσα στο επιβαρημένο υγρό, έλκοντας στην επιφάνειά του τα σωματίδια που με την βοήθεια ενός μάντα απομακρύνονται.

• Όταν η περιεκτικότητα των στερεών σωματιδίων στα προς καθαρισμό ρευστά είναι της τάξεως του 0,01 % και το μέγεθος αυτών είναι 0,5 με 1,0 χιλιοστά, χρησιμοποιούνται συστήματα με διηθητικά υλικά όπως :

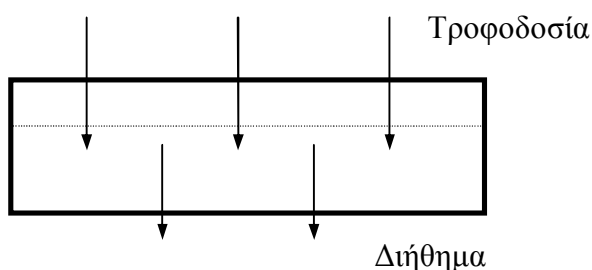
- Ύφασμα (σακόφιλτρα)
- Μεταλλικές σήτες (καλάθια)
- Φίλτρα άμμου

- Φίλτρα επίστρωσης (pre-coat). Στα φίλτρα επίστρωσης, διηθητικά βοηθήματα όπως σωματίδια ή ίνες, εισάγονται στο προς διήθηση υγρό, επικάθονται και καλύπτουν την διηθητική επιφάνεια του συστήματος, δρώντας ως διηθητικό μέσο, με την προϋπόθεση να παρέχουν την απαιτούμενη για την διήθηση διαπερατότητα. Παραδείγματα τέτοιων φίλτρων είναι τα φίλτρα γης διατόμων, περλίτη, άνθρακα, και κυτταρίνης.
  
- Τέλος, στην περίπτωση που η εφαρμογή διήθησης απαιτεί την απομάκρυνση στερεών σωματιδίων κάτω του 0,5 χιλιοστού ( 500 μm ) και η συγκέντρωση αυτών είναι της τάξεως των 0,001% και κάτω, χρησιμοποιούνται συστήματα που εφαρμόζουν ως διηθητικό μέσο :
  - Ηθμούς μορφής φύσιγγας (φίλτρα)
  - Φίλτρα χαρτιού (πρέσες, ρολά, κτλ.)
  - Ύφασμα (σακόφιλτρα)

## 5. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΗΘΗΣΗΣ ΚΑΤΑ ΜΕΤΩΠΟ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΜΕ ΗΘΜΟΥΣ ΜΟΡΦΗΣ ΦΥΣΙΓΓΑΣ. (Dead End Filtration Systems)

Τα συστήματα διήθησης με κατά μέτωπο τροφοδοσία ή συστήματα κλασικής διήθησης, είναι συστήματα στα οποία το προς διήθηση ρευστό με την εφαρμογή πίεσης αναγκάζεται να περάσει κάθετα μέσα από ένα διαπερατό υλικό, στην επιφάνεια και στην εσωτερική δομή του οποίου συγκρατούνται τα στερεά σωματίδια που επιθυμούμε να απομακρύνουμε.

Ο τρόπος λειτουργίας των συστημάτων διήθησης με κατά μέτωπο τροφοδοσία εικονίζεται σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα :



Γίνεται αντιληπτό ότι τα παραπάνω συστήματα διήθησης βρίσκουν εφαρμογή σε περιπτώσεις στις οποίες τα προς απομάκρυνση στερεά σωματίδια, βρίσκονται σε ελεύθερη μορφή και αιωρούμενα μέσα στο ρευστό.

Στα συστήματα κλασικής διήθησης, ανήκουν και τα συστήματα διήθησης που χρησιμοποιούν ηθμούς μορφής φύσιγγας.

Οι ηθμοί μορφής φύσιγγας είναι τα γνωστά φίλτρα κυλινδρικής μορφής, τα οποία αποτελούν και την πιο διαδεδομένη μέθοδο κλασικής διήθησης.

Όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα συστήματα διήθησης με ηθμούς μορφής φύσιγγας, συστήνονται για εφαρμογές καθαρισμού ρευστών στα οποία τα προς απομάκρυνση αιωρούμενα στερεά σωματίδια είναι ελεύθερα (αδιάλυτα) μέσα στο ρευστό, η συγκέντρωσή τους δεν ξεπερνάει το 0,001% , και το μέγεθός τους ποικίλλει από τα πιο μικρά, με διάμετρο γύρω στα 0.1  $\mu\text{m}$ , έως τα μεγαλύτερα με διαστάσεις γύρω στα 200  $\mu\text{m}$ .

Ειδικότερα, όταν πρόκειται για ηθμούς με ικανότητα συγκράτησης κάτω του 1  $\mu\text{m}$  έως και 0,1  $\mu\text{m}$  , μιλάμε για Μικροδιήθηση (Microfiltration).

Ένα σύστημα διήθησης με ηθμούς μορφής φύσιγγας, αποτελείται από δύο βασικά μέρη :

1. Το δοχείο μέσα στο οποίο εφαρμόζει ο ηθμός,
2. Τον ηθμό που πραγματοποιεί την επιθυμητή διήθηση.

#### ΔΟΧΕΙΑ ΦΙΛΤΡΩΝ ( Filter Vessels ) :

Τα δοχεία των φίλτρων είναι κατασκευές κατάλληλα διαμορφωμένες για να δέχονται στο εσωτερικό τους τον ηθμό ή τους ηθμούς που πραγματοποιούν την επιθυμητή διήθηση, και διαφέρουν μεταξύ τους ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής.

Έχουν την μορφή πιεστικών δοχείων (κυλινδρικά με στρογγυλεμένες άκρες), με σωληνώσεις εισαγωγής του ρευστού, εξαγωγής, εξαερισμού και αποστράγγισης, τα μεγέθη των οποίων εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της εφαρμογής.

Τα υλικά κατασκευής των δοχείων των φίλτρων μπορεί να είναι χυτοχάλυβας, ανοξείδωτος χάλυβας, αλουμίνιο, ή ακόμη και πλαστικό (πολυπροπυλένιο, τεφλόν,...), σε κάθε περίπτωση ανάλογα με το είδος του ρευστού και την πίεση λειτουργίας του φίλτρου.

Ειδικότερα στα δοχεία από ανοξείδωτο χάλυβα, υπάρχουν και διαφοροποιήσεις στην κατεργασία της επιφάνειάς τους, ανάλογα με την εφαρμογή.

Για τις πολύ απαιτητικές εφαρμογές, όπως η μικροβιοκρατής διήθηση νερού ή ενέσιμων διαλυμάτων (συγκράτηση μικροοργανισμών μεγέθους 0,2 μm), τα δοχεία πρέπει να είναι από ανοξείδωτο χάλυβα, και η κατεργασία τόσο της εξωτερικής όσο και τις εσωτερικής επιφάνειας τους επιβάλλεται να είναι σε επίπεδο καθρέφτη (0,4 Ra - Mirror Polished), προκειμένου να διασφαλίζεται η υγιεινή κατάσταση του συστήματος.

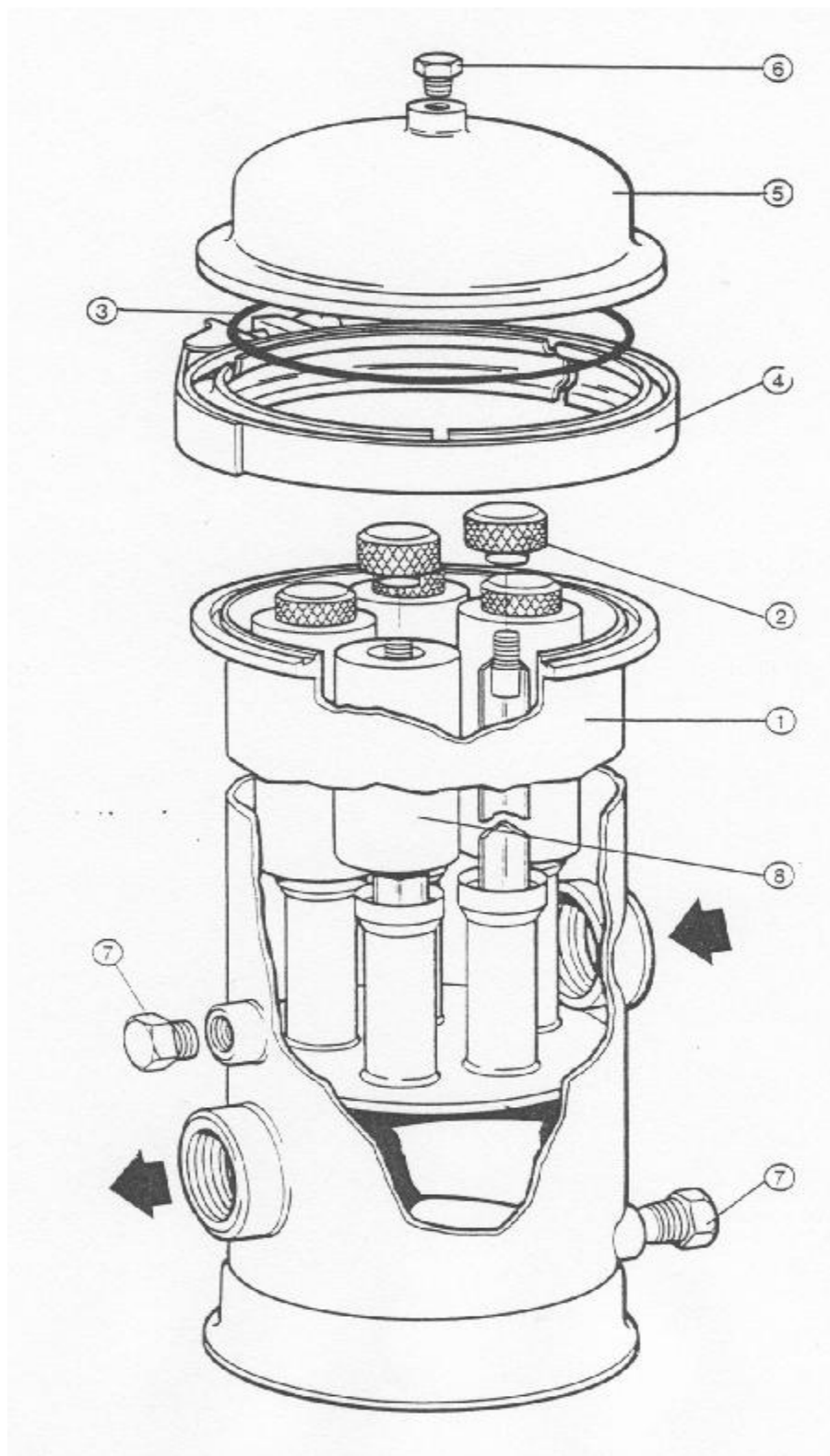
Σε εφαρμογές μικρότερων απαιτήσεων (συγκράτηση μικροσωματιδίων 5 ή 10 μm σε μη κρίσιμα για την ανθρώπινη υγεία ρευστά), η κατεργασία της επιφάνειας των δοχείων μπορεί να είναι της μορφής "ματ" (satin finished).

Ποικίλουν επίσης και τα μεγέθη των δοχείων, ανάλογα με την παροχή των ρευστών προς διήθηση. Έχουμε π.χ. δοχεία μικρών διαστάσεων - 300 χλστ. μήκος / 100 χλστ. διάμετρο - που δέχονται έναν ηθμό μήκους 10" (254 χλστ) για μικρές παροχές γύρω στα 50 λίτρα/λεπτό, και δοχεία μεγάλων διαστάσεων - 2,5 μέτρα μήκος / 1 μέτρο διάμετρο - που δέχονται 50 ή 60 ηθμούς μήκους 1 μέτρου έκαστος, για πολύ μεγάλες παροχές, π.χ. 200 m<sup>3</sup>/hr.

Στο εσωτερικό τους, τα δοχεία χωρίζονται σε δύο τμήματα που επικοινωνούν μεταξύ τους μόνο μέσω του διηθητικού υλικού (ηθμοί μορφής φύσιγγας).

Στο πρώτο τμήμα όπου είναι και η είσοδος του φίλτρου, περιλαμβάνονται οι ηθμοί στερεωμένοι με ειδικούς συνδέσμους πάνω σε μια πλάκα η οποία διαχωρίζει τα δυο τμήματα (tubesheet).

Στην άλλη μεριά αυτής της πλάκας, βρίσκεται το δεύτερο τμήμα του δοχείου, πολύ μικρότερο σε μέγεθος από το προηγούμενο, όπου βρίσκεται η έξοδος του φίλτρου.



⌘ Τοίχωμα δοχείου  
 ⓓ Βιδωτό καπάκι στεγανοποίησης  
 Ⓢ Παρέμβυσμα στεγανοποίησης  
 Ⓠ Ασφαλιστικός δακτύλιος

⊗ Καπάκι  
 ⊕ Εξαεριστικό  
 ∅ Αποστραγγιστικά  
 ∩ Φύσιγγες ηθμών

Κατά την λειτουργία του φίλτρου, το προς διήθηση ρευστό διοχετεύεται από την είσοδο στο δοχείο. Αφού αυτό πληρώσει τον θάλαμο με τους ηθμούς, λόγω της εφαρμοζόμενης πίεσης αναγκάζεται να τους διαπεράσει και μέσω των ειδικών συνδέσμων της πλάκας στήριξης, να περάσει στο δεύτερο τμήμα του δοχείου προς την έξοδο, όντας πλέον διηθημένο.

Έτσι, με το πέρασμα του επιβαρημένου ρευστού από το ένα τμήμα του δοχείου στο άλλο, συγκρατούνται τα στερεά σωματίδια στο διηθητικό υλικό των ηθμών.

Πλην ελαχίστων περιπτώσεων, η ροή διαμέσου των ηθμών γίνεται με φορά από έξω προς τα μέσα.



### ΗΘΜΟΙ ΜΟΡΦΗΣ ΦΥΣΙΓΓΑΣ ( Filter Cartridges ) :

Όπως είδαμε και παραπάνω στην σύντομη περιγραφή της λειτουργίας ενός συστήματος διήθησης, το μέσο το οποίο επιτυγχάνει την συγκράτηση των ανεπιθύμητων στερεών σωματιδίων και τον καθαρισμό του ρευστού, είναι οι ηθμοί ( φίλτρα ).

Αυτοί είναι κατά κανόνα κυλινδρικής μορφής (φύσιγγες) και συναντώνται σε ποικίλες διαστάσεις, είδη και υλικά κατασκευής, αναλόγως της εφαρμογής για την οποία προορίζονται.





Οι ηθμοί αποτελούνται από 3 μέρη :

- α) τα άκρα στερέωσης,
- β) το διηθητικό υλικό, και
- γ) το εσωτερικό πλέγμα στήριξης.

α) Άκρα στερέωσης ( End Caps ).

Είναι μέρη των ειδικών μηχανισμών στεγανοποίησης των ηθμών μέσα στο δοχείο, προκειμένου να εξασφαλιστεί η 100 % ροή του ρευστού μέσα από τον ηθμό, χωρίς να υπάρχουν διαρροές αφιльтраρίστου υγρού ή αέριου μετά το φίλτρο.

Υπάρχουν διάφοροι μηχανισμοί στεγανοποίησης, με αντίστοιχα διαφοροποιημένα άκρα στερέωσης για κάθε έναν από αυτούς.

Υπάρχουν οι ηθμοί οι οποίοι είναι και με τις δύο άκρες τους (βάσεις κυλίνδρου) ανοικτές ( Double Open Ended ), και οι ηθμοί στους οποίους υπάρχει άνοιγμα μόνο στην μία τους άκρη ( Single Open Ended ).

Στην πρώτη περίπτωση (D.O.E.), ο ηθμός εφαρμόζει πάνω από έναν άξονα στήριξης διαμέτρου μικρότερης της εσωτερικής διαμέτρου του κυλίνδρου του ηθμού.

Ο άξονας αυτός είναι κοίλος, έτσι ώστε το καθαρό ρευστό να περνάει μέσα από αυτόν στο άλλο τμήμα του δοχείου προς την έξοδο του φίλτρου. Η μία άκρη του στερεώνεται πάνω στην πλάκα του δοχείου (tubesheet) και η άλλη είναι ανοικτή προκειμένου να περάσει από πάνω ο ηθμός.

Κατόπιν ο ηθμός στεγανοποιείται βιδώνοντας στην ελεύθερη άκρη του άξονα ένα ειδικό καπάκι, ασφαλιζοντάς τον. Έτσι, οι δύο άκρες του ηθμού στεγανοποιούνται, με την βοήθεια ειδικών ελαστικών δακτυλίων (φλάντζες) που εφαρμόζουν ανάμεσα στα άκρα στερέωσης του ηθμού, την υποδοχή του άξονα και το βιδωτό καπάκι.

Στις πιο απλές περιπτώσεις, ο ηθμός δεν έχει κανένα ιδιαίτερα διαμορφωμένο άκρο στερέωσης με δακτυλίους, και στεγανοποιείται με δύο ειδικές αιχμηρές στρογγυλές λάμες που βρίσκονται η μία στην υποδοχή του άξονα και η άλλη στο βιδωτό καπάκι, και εισχωρούν μέσα στο διηθητικό υλικό όταν σφίξουμε το καπάκι.

Σε απαιτητικές εφαρμογές διήθησης στις οποίες πρέπει να εξασφαλίζεται η απόλυτη στεγανότητα, χρησιμοποιούνται ηθμοί οι οποίοι είναι ανοικτοί μόνο στο ένα άκρο τους ( S.O.E. ).

Σε αυτήν την περίπτωση, το άκρο στερέωσης του ηθμού έχει μια ειδική διαμόρφωση με πτερύγια ( συνήθως 2 ή 3 τον αριθμό ), τα οποία εφαρμόζουν μέσα σε εσοχές στην πλάκα στήριξης των ηθμών του δοχείου, και με την περιστροφή του ηθμού "κουμπώνουν", ασφαλίζοντάς τον πάνω σε αυτήν ( Bayonet Lock ).

Η στεγανοποίηση επιτυγχάνεται με την χρησιμοποίηση 1 ή 2 ειδικών ελαστικών δακτυλίων που βρίσκονται τοποθετημένοι πάνω στο άκρο στερέωσης του ηθμού.

Μια παραλλαγή του παραπάνω τρόπου στερέωσης είναι το άκρο του ηθμού να έχει τα ελαστικά στεγανοποίησης χωρίς όμως τα πτερύγια, και να εφαρμόζει σφηνωτός μέσα στην ειδική εσοχή της πλάκας στερέωσης. Σε μερικές περιπτώσεις, ελατήρια πιέζουν τον ηθμό στην μεριά του κλειστού άκρου του, προκειμένου να εξασφαλιστεί η καλή στεγανότητα.

Ένας άλλος, λιγότερο διαδεδομένος τρόπος στήριξης και στεγανοποίησης των ηθμών, είναι με την μέθοδο του κοχλίου. Τα άκρα ( ή άκρο ) του ηθμού είναι διαμορφωμένα με εξωτερικό σπείρωμα, και έτσι βιδώνουν στεγανά πάνω στην πλάκα στερέωσης που διαθέτει τα αντίστοιχα εσωτερικά σπειρώματα

Τα υλικά κατασκευής των άκρων στερέωσης των ηθμών διαφέρουν ανάλογα με την επιθυμητή χημική συμβατότητα με το ρευστό και την θερμοκρασία διήθησης. Είναι κυρίως πλαστικά : πολυπροπυλένιο, νάιλον, πολυεστέρας, ή τεφλόν, Σε εφαρμογές πολύ υψηλών θερμοκρασιών χρησιμοποιούνται μεταλλικοί ηθμοί με άκρα στερέωσης από ανοξείδωτο χάλυβα.

β) Διηθητικό Υλικό ( Filter Medium ).

Είναι το κύριο μέρος του ηθμού, με το οποίο πραγματοποιείται η διήθηση. Είναι υλικό με κάποιο πορώδες το οποίο επιτρέπει την διέλευση του ρευστού, συγκρατεί όμως στην δομή του τα προς απομάκρυνση στερεά σωματίδια.

Στους καλής ποιότητας ηθμούς είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τα άκρα στερέωσης, συνήθως με την μέθοδο της θερμοκόλλησης.

Θα αναπτυχθεί με λεπτομέρεια στην συνέχεια.

γ) Εσωτερικό πλέγμα στήριξης ( Core ).

Είναι ένα κυλινδρικό πλαστικό ή μεταλλικό πλέγμα, γύρω από το οποίο τυλίγεται και στερεώνεται το διηθητικό υλικό.

Τα υλικά κατασκευής αυτών των πλεγμάτων, είναι ανάλογα των υλικών κατασκευής των άκρων στερέωσης των ηθμών.

Σε ορισμένες περιπτώσεις ηθμών, ανάλογο πλέγμα καλύπτει και την εξωτερική επιφάνεια τους.

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ.

Τα αιωρούμενα στερεά σωματίδια διαχωρίζονται από τα ρευστά με την βοήθεια τριών μηχανισμών συγκράτησης, οι οποίοι αποτελούν και τις βασικές αρχές λειτουργίας της διήθησης.

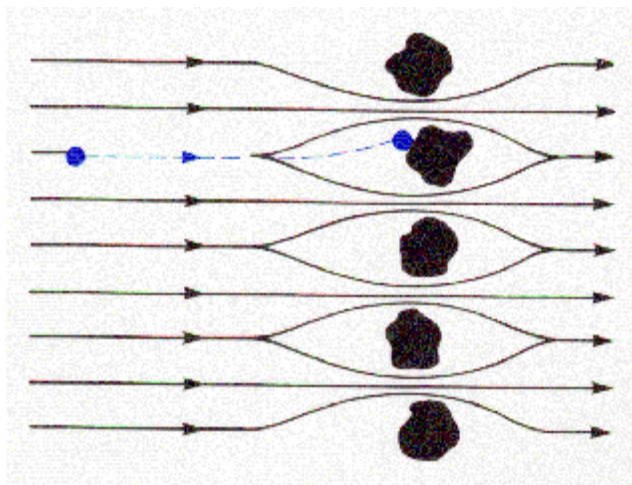
Οι μηχανισμοί αυτοί είναι : η πρόσκρουση λόγω αδράνειας, η συγκράτηση λόγω διάχυσης και η απ' ευθείας συγκράτηση.

## 1. Πρόσκρουση λόγω αδράνειας ( Inertial Impaction ).

Τα στερεά σωματίδια που βρίσκονται μέσα σε κάποιο ρευστό, έχουν μια συγκεκριμένη ορμή λόγω της μάζας και της ταχύτητάς τους, άρα παρουσιάζουν και μια αδράνεια κατά την κίνησή τους.

Καθώς το ρευστό μαζί με τα συμπαρασυρόμενα σωματίδια εισχωρεί στο διηθητικό μέσο, η ροή του χωρίζεται σε πολλά μικρότερα ρεύματα, που τείνουν προς τα σημεία εκείνα που παρουσιάζουν την μικρότερη αντίσταση, και έτσι παρεκκλίνουν της αρχικής κατεύθυνσής τους, γύρω από τις ίνες του υλικού και προς τα ανοίγματα ανάμεσα σε αυτές.

Τα σωματίδια, λόγω της αδράνειάς τους τείνουν να διατηρήσουν την αρχική τους κατεύθυνση, με αποτέλεσμα να προσκρούουν πάνω στις ίνες του υλικού και να συγκρατούνται εκεί.



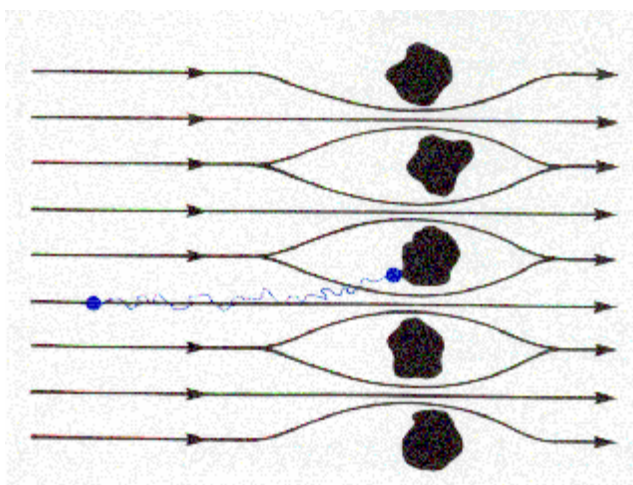
Ο συγκεκριμένος μηχανισμός επιδρά περισσότερο στα μεγαλύτερου μεγέθους σωματίδια, παρά στα μικρότερα, λόγω της μεγαλύτερης αδράνειάς τους.

Στην πράξη και ιδιαίτερα στα υγρά με υψηλή πυκνότητα, λόγω της πολύς μικρής διαφορικής πυκνότητας, ο παραπάνω μηχανισμός δεν είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός και παίζει ένα σχετικά μικρό ρόλο στην συγκράτηση των σωματιδίων από το διηθητικό υλικό.

## 2. Συγκράτηση λόγω διάχυσης ( Diffusional Interception ).

Ο συγκεκριμένος μηχανισμός συγκράτησης αφορά στα σωματίδια πολύ μικρών διαστάσεων, στα σωματίδια δηλαδή με πολύ μικρή μάζα.

Σε αυτήν την περίπτωση, τα στερεά σωματίδια έρχονται σε συνεχείς συγκρούσεις με τα μόρια του ρευστού. Αποτέλεσμα αυτών των συγκρούσεων είναι τα μικροσωματίδια να εκτελούν τυχαίες κινήσεις γύρω από τις ρευματικές γραμμές, χωρίς να τις ακολουθούν απόλυτα.



Αυτές οι κινήσεις - που μπορούν να παρατηρηθούν και με το μικροσκόπιο - ονομάζονται "Κινήσεις Μπράουν" (Brownian Motions).

Οι κινήσεις Μπράουν, τις οποίες εκτελούν τα μικρότερα σε μέγεθος σωματίδια, δεν ακολουθούν την ροή του ρευστού και έτσι αυξάνουν κατά πολύ την πιθανότητα τα σωματίδια αυτά να συγκρουστούν με τις ίνες ή τα τοιχώματα του διηθητικού υλικού και έτσι να συγκρατηθούν εκεί.

Όπως και με τον παραπάνω μηχανισμό της πρόσκρουσης λόγω αδράνειας, η συγκράτηση λόγω διάχυσης παίζει μικρό ρόλο στην διήθηση των υγρών, αφού λόγω της πυκνότητάς τους οι κινήσεις Μπράουν σε αυτά είναι αμελητέες.

Όσον αφορά στα αέρια όμως, ο συγκεκριμένος μηχανισμός είναι πολύ αποτελεσματικός και βοηθά τους ηθμούς να συγκρατούν και σωματίδια πολύ μικρότερα του μεγέθους των πόρων του διηθητικού υλικού τους.

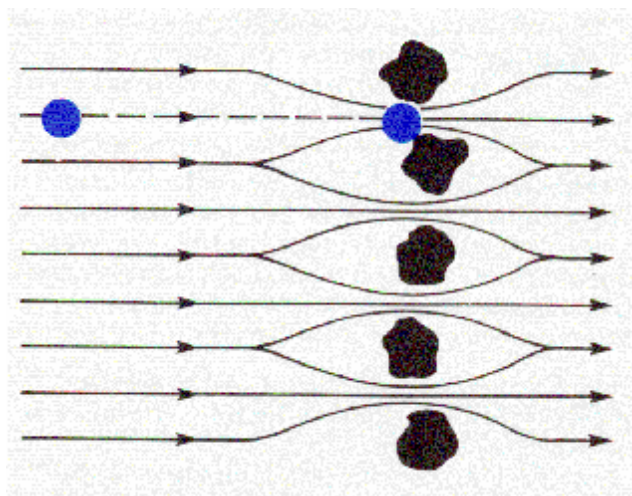
### 3. Απ' ευθείας συγκράτηση ( Direct Interception ).

Οι δύο προηγούμενοι μηχανισμοί συγκράτησης, είναι ουσιαστικά μηχανισμοί προσρόφησης με επίδραση στα σωματίδια διαστάσεων μικρότερων των ανοιγμάτων (πόρων) του διηθητικού μέσου.

Ενώ αυτοί δεν είναι τόσο αποτελεσματικοί στα υγρά όσο στα αέρια, ο τρίτος μηχανισμός της απ' ευθείας συγκράτησης είναι εξ' ίσου αποτελεσματικός και στα δύο. Πρακτικά, είναι ο μηχανισμός στον οποίον βασιζόμαστε προκειμένου να διαχωρίσουμε τα αιωρούμενα στερεά σωματίδια από τα υγρά.

Το διηθητικό υλικό του κάθε ηθμού, αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό ινών, οι οποίες σχηματίζουν κάποιο είδος πλέγματος με καθορισμένα ανοίγματα (πόρους), μέσα στα οποία εισχωρεί το ρευστό και διαπερνά το φίλτρο.

Εάν τα σωματίδια στο υγρό είναι μεγαλύτερα από τα ανοίγματα ή τους πόρους που σχηματίζουν οι ίνες, αυτά θα συγκρατηθούν και θα αφαιρεθούν από το υγρό, σαν συνέπεια της κατ' ευθείαν ή άμεσης συγκράτησής τους στις οπές του διηθητικού υλικού.

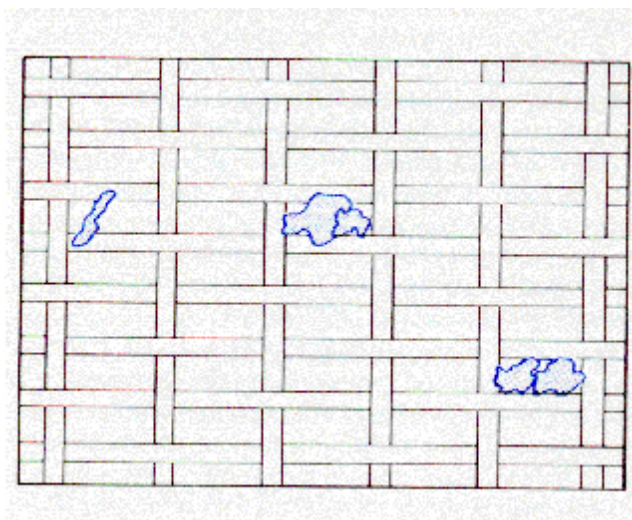


Εκτός από τους παραπάνω τρεις βασικούς μηχανισμούς, υπάρχουν αρκετοί ακόμα παράγοντες οι οποίοι βοηθούν στην συγκράτηση σωματιδίων, ακόμη και αν αυτά έχουν διαστάσεις μικρότερες από τους πόρους του διηθητικού υλικού.

- Τα περισσότερα των στερεών σωματιδίων στην πραγματικότητα, ακόμη και αν φαίνονται πολύ μικρά από κάποια οπτική γωνία, δεν είναι σφαιρικά αλλά έχουν ακανόνιστο σχήμα, με κάποιες από τις διαστάσεις τους να είναι υπερμεγέθεις σε σχέση με τις άλλες. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα ενός σωματιδίου σχήματος βελόνας. Ένα τέτοιο σωματίδιο θα διαπεράσει εύκολα τα ανοίγματα στο διηθητικό υλικό έχοντας έναν συγκεκριμένο προσανατολισμό, στην περίπτωση όμως που αυτό προσπέσει στο άνοιγμα με την μεγάλη του διάσταση, τότε θα "γεφυρώσει" το άνοιγμα και θα συγκρατηθεί στο σημείο αυτό ( Bridging Effect ).

- Το παραπάνω φαινόμενο μπορεί να συμβεί και όταν δύο μικρού μεγέθους σωματίδια πέσουν συγχρόνως πάνω στο ίδιο άνοιγμα.

- Στην περίπτωση που κάποιο σωματίδιο έχει συγκρατηθεί σε έναν πόρο, αυτό το άνοιγμα έχει κλειστεί μερικώς, με αποτέλεσμα να έχει μικρύνει και να μπορεί να συγκρατήσει ακόμη μικρότερου μεγέθους σωματίδια.



- Συγκεκριμένες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των επιφανειών των ανοιγμάτων και των σωματιδίων, μπορούν να προκαλέσουν την συγκράτηση ενός μικρού σε μέγεθος σωματιδίου. Για παράδειγμα, ένα σωματίδιο πολύ μικρότερο από έναν πόρο, είναι δυνατόν να συγκρατηθεί σε αυτόν προσκολλώντας πάνω στην εσωτερική επιφάνειά του, εάν αυτή έχει αντίθετη ηλεκτροστατική φόρτιση από το ίδιο. Το ίδιο αποτέλεσμα μπορεί να συμβεί και εάν οι φορτίσεις των δυο επιφανειών δεν είναι αντίθετες, αλλά η μία να είναι πολύ πιο φορτισμένη από την άλλη.

Άλλες δυνάμεις πέραν των ηλεκτροστατικών που μπορούν να επιδράσουν - όλες μαζί ή και η καθεμία ξεχωριστά - για να συγκρατήσουν κάποιο σωματίδιο πάνω στα τοιχώματα του διηθητικού μέσου, είναι οι δυνάμεις Van der Waal, καθώς και δυνάμεις ηλεκτροκινητικής φύσεως.

#### ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΗΘΜΩΝ ( Removal Ratings ).

Η ικανότητα συγκράτησης που έχει ένας ηθμός, προσδιορίζεται βάσει του μεγέθους των μικρότερων σε μέγεθος στερεών σωματιδίων που μπορεί να συγκρατήσει.

Για παράδειγμα, όταν κάποιος κατασκευαστής χαρακτηρίζει κάποιο φίλτρο συγκράτησης 10  $\mu\text{m}$ , αυτό σημαίνει ότι το συγκεκριμένο φίλτρο έχει την ικανότητα να απομακρύνει από το ρευστό σωματίδια μεγέθους 10  $\mu\text{m}$  και άνω.

Είναι όμως το συγκεκριμένο φίλτρο ικανό να απομακρύνει το σύνολο των σωματιδίων με μέγεθος 10  $\mu\text{m}$  ;

Είμαστε σίγουροι ότι αποκλείει την διέλευση σωματιδίων με διαστάσεις μεγαλύτερες από τα 10  $\mu\text{m}$  ;

Και τέλος, είναι η ικανότητα συγκράτησής του σταθερή και αμετάβλητη, ανεξάρτητα από πιθανές διακυμάνσεις στις συνθήκες λειτουργίας του ;



Όλα τα παραπάνω ερωτήματα είναι δύσκολο να απαντηθούν, καθώς μεταξύ των εκατοντάδων κατασκευαστών, δεν έχει θεσπιστεί κάποιος κοινός τρόπος έκφρασης της ικανότητας συγκράτησης των ηθμών.

Ο τρόπος και η ποιότητα της κατασκευής ενός ηθμού είναι οι παράγοντες που καθορίζουν την αξιοπιστία του, και που πρέπει να πληρούν τις παρακάτω προϋποθέσεις :

1. Η κατασκευή του ηθμού να είναι τέτοια ώστε η διηθητική επιφάνεια να περιέχει τον μεγαλύτερο δυνατό αριθμό ανοιγμάτων (μεγάλο πορώδες). Οι ηθμοί με μεγάλο πορώδες εξασφαλίζουν υψηλές παροχές, μικρή αντίσταση στην ροή και μεγάλη ικανότητα συγκράτησης. Τα παραπάνω εγγυώνται μεγάλη διάρκεια ζωής του ηθμού, χαμηλό κόστος διήθησης και την δυνατότητα χρησιμοποίησης ηθμών μικρότερων διαστάσεων.
2. Σταθερή δομή των πόρων (Fixed Pore Structure). Κατά την διάρκεια της διήθησης οι ηθμοί καταπονούνται από τις αυξανόμενες διαφορικές πιέσεις και συχνά από απότομες μεταβολές της πίεσης. Η σταθερή δομή των πόρων εξασφαλίζει την αποφυγή της αύξησης των διαστάσεων ή της παραμόρφωσης των πόρων, γεγονός που θα προκαλούσε την απελευθέρωση μικροσωματιδίων ή μικροοργανισμών που έχουν ήδη κατακρατηθεί από τον ηθμό, προσδίδοντας του σταθερή ποιότητα διήθησης σε όλη την διάρκεια της ζωής λειτουργίας του.
3. Καθορισμένο μέγεθος πόρων. Οι υψηλής ποιότητας ηθμοί πρέπει να χαρακτηρίζονται από αυστηρά καθορισμένη κατανομή του μεγέθους των πόρων τους. Η κατανομή αυτή πρέπει να είναι ομοιόμορφη, αποκλείοντας την ύπαρξη πόρων μεγαλύτερων των προκαθορισμένων. Η τυχόν ύπαρξη τέτοιων πόρων, προκαλεί εκτροπή της ροής προς αυτούς αφού το ρευστό τείνει να ακολουθήσει την διαδρομή με την μικρότερη αντίσταση, και επιτρέπουν έτσι την διέλευση μεγαλύτερων σωματιδίων από τα επιτρεπόμενα ( Channeling ).
4. Ακεραιότητα της δομής των υλικών. Τα υλικά κατασκευής των ηθμών δεν πρέπει να απελευθερώνουν σωματίδια και ίνες που επιμολύνουν το διήθημα (Media Migration). Θα πρέπει να έχουν μεγάλη μηχανική αντοχή, άριστη χημική συμβατότητα και

κατασκευή που να εξασφαλίζει την ακεραιότητα της δομής τους σε όλη την διάρκεια της λειτουργίας τους.

Οι δύο πιο διαδομένες ανάμεσα στους κατασκευαστές συστημάτων διήθησης μέθοδοι έκφρασης της ικανότητας συγκράτησης των ηθμών, είναι αυτές που χαρακτηρίζουν τους ηθμούς ως :

- α) Ονομαστικής συγκράτησης (Nominal Rated filters) , και
- β) Απόλυτης συγκράτησης (Absolute Rated filters).

#### Ονομαστική συγκράτηση :

Πολλοί κατασκευαστές ηθμών εκφράζουν την ικανότητα συγκράτησης των ηθμών τους με κάποια ποσοστιαία τιμή (Ονομαστική συγκράτηση). Σύμφωνα με τον Εθνικό Οργανισμό Ενέργειας των ΗΠΑ ( National Fluid Power Association ), η συγκεκριμένη πρακτική ορίζεται ως :

*" Μία αυθαίρετα καθοριζόμενη από τον κατασκευαστή του φίλτρου τιμή συγκράτησης σε  $\mu\text{m}$ , βασισμένη στην ποσοστιαία και κατά βάρος αποκοπή μικροσωματιδίων ενός συγκεκριμένου μεγέθους ή μεγαλύτερων. Σπανίως καθορίζεται με ακρίβεια και δεν είναι σταθερή και επαναλήψιμη."*

Αυτό σημαίνει ότι ένας ηθμός ονομαστικής συγκράτησης π.χ. 10  $\mu\text{m}$ , όταν θα φιλτράρει κάποιο ελεγχόμενα επιμολυσμένο διάλυμα με σωματίδια μεγέθους μόνο 10  $\mu\text{m}$ , θα συγκρατήσει π.χ. το 98 % του συνολικού βάρους αυτών των σωματιδίων.

Αυτή η κατά βάρος έκφραση της συγκράτησης, δεν εξασφαλίζει ότι σωματίδια με μέγεθος μεγαλύτερο των 10  $\mu\text{m}$  δεν μπορούν να διαπεράσουν τον συγκεκριμένο ηθμό, μια που στην πράξη, τα υγρά προς διήθηση ποτέ δεν περιέχουν σωματίδια ενός μόνο καθορισμένου μεγέθους.

Ακόμη, τα φίλτρα ονομαστικής συγκράτησης δεν έχουν καθορισμένα χαρακτηριστικά, τα οποία διαφέρουν από κατασκευαστή σε κατασκευαστή, ή ακόμα και από προϊόν σε προϊόν του ίδιου κατασκευαστή. Αυτό σημαίνει ότι η ικανότητά τους σε συγκράτηση μεταβάλλεται με :

- Την μεταβολή της παροχής (αυξομειώσεις στην πίεση).
- Την μεταβολή της διαφορικής πίεσης ( βαθμιαίο φράξιμο) του φίλτρου.
- Την μεταβολή της συγκέντρωσης των μικροσωματιδίων στο προς διήθηση υγρό ή αέριο.

Τέλος, τις περισσότερες φορές τα ίδια επιμολύνουν το ρευστό λόγω της σαθρής κατασκευής τους που καταρρέει.

#### Απόλυτη συγκράτηση :

Ο Εθνικός Οργανισμός Ενέργειας των ΗΠΑ (NFPA) ορίζει την τιμή της απόλυτης συγκράτησης ενός φίλτρου ως :

*" Την διάμετρο του μεγαλύτερου σφαιρικού στερεού σωματιδίου που θα διαπεράσει τον ηθμό κάτω από ορισμένες συνθήκες λειτουργίας. Είναι μια ένδειξη του μεγαλύτερου ανοίγματος του ηθμού."*

Η πιστοποίηση των ηθμών απόλυτης συγκράτησης γίνεται με την καταμέτρηση του αριθμού και του μεγέθους των σωματιδίων μετά τον ηθμό, με την βοήθεια ειδικών ηλεκτρονικών συσκευών (Partical Counters).

Τα αποτελέσματα μιας τέτοιας καταμέτρησης, εάν συγκριθούν με μια αντίστοιχη καταμέτρηση των σωματιδίων στο ρευστό πριν από τον ηθμό, μας δίνουν το επονομαζόμενο μέγεθος Βήτα (Beta Value), η οποία είναι μια χρήσιμη μορφή έκφρασης της ικανότητας συγκράτησης ενός ηθμού.

Η διαδικασία αυτή αναπτύχθηκε από το Oklahoma State University και είναι γνωστή ως "OSU F2 Filter Performance Test".

Πιο συγκεκριμένα, το Beta Value ορίζεται ως :

$$\beta = \frac{\text{Αριθμός σωματιδίων συγκεκριμένου μεγέθους ή μεγαλύτερων πριν το φίλτρο}}{\text{Αριθμός σωματιδίων συγκεκριμένου μεγέθους ή μεγαλύτερων μετά το φίλτρο}}$$

Έτσι, βάσει του τύπου :

$$\% \text{ Ικανότητα συγκράτησης} = \frac{\beta - 1 \times 100}{\beta}$$

η τιμή του  $\beta = 100$ , αντιστοιχεί σε μια 99 % συγκράτηση των σωματιδίων κάποιου ορισμένου μεγέθους, ενώ η τιμή  $\beta = 5.000$  αντιστοιχεί σε 99,98 % συγκράτηση.

Για τιμές του  $\beta \geq 5.000$ , ικανοποιείται το κριτήριο ορισμού κάποιου ηθμού ως απόλυτου σε συγκράτηση.

Οι ηθμοί απόλυτης συγκράτησης πληρούν όλες τις προϋποθέσεις μιας αξιόπιστης διήθησης που εξετάστηκαν παραπάνω, δηλαδή :

- Έχουν σταθερή κατανομή αριθμού και μεγέθους πόρων σε όλη την διηθητική τους επιφάνεια.
- Εμφανίζουν σταθερή συμπεριφορά καθ' όλη την διάρκεια λειτουργίας τους, λόγω της σταθερής κατασκευής των πόρων τους. Αυτό σημαίνει ότι η ικανότητά τους σε συγκράτηση δεν μεταβάλλεται με : Την μεταβολή της παροχής (αυξομειώσεις στην πίεση), την μεταβολή της διαφορικής πίεσης (βαθμιαίο φράξιμο) του φίλτρου ή την μεταβολή της συγκέντρωσης των μικροσωματιδίων στο προς διήθηση υγρό ή αέριο.
- Δεν επιμολύνουν τα ίδια το προς διήθηση υγρό ή αέριο.

Τα πρώτα πειράματα προκειμένου να επιτευχθεί μια τέτοια αξιόπιστη μέθοδος έκφρασης της ικανότητας συγκράτησης ενός ηθμού, καθώς και ο όρος "Απόλυτη Συγκράτηση" ("Absolute Rating") εδραιώθηκαν στα μέσα τις δεκαετίας του '50 από τον Dr. David Pall, ιδρυτή του πρωτοπόρου κατασκευαστή ηθμών Οίκου : Pall Corporation.

Με βάση τα παραπάνω είναι εμφανές ότι μεταξύ ηθμών απόλυτης και ονομαστικής συγκράτησης υπάρχει εντελώς διαφορετική φιλοσοφία κατασκευής και λειτουργίας (αποκοπή κατά απόλυτο μέγεθος ρύπου έναντι ποσοστιαίας αποκοπής κατά βάρος μικροσωματιδίων).

Έχει επίσης αποδειχθεί μετά από εκτεταμένες έρευνες του τμήματος Έρευνας και Υποστήριξης (Scientific & Laboratory Services) του Οίκου PALL, ότι είναι αδύνατη η άμεση συσχέτιση των αποτελεσμάτων απόλυτων ηθμών δεδομένης συγκράτησης με τα αποτελέσματα των ονομαστικής συγκράτησης ηθμών της ίδιας συγκράτησης, λόγω της σύγκρισης εντελώς ανόμοιων μεγεθών.

Δηλαδή, τα χαρακτηριστικά διηθήματος ηθμού ονομαστικής συγκράτησης π.χ. 5 μm, μπορεί να αντιστοιχούν σε χαρακτηριστικά διηθήματος ηθμού απόλυτης συγκράτησης 20 ή 40 μm (οι τιμές είναι ενδεικτικές).

### ΜΟΡΦΕΣ ΗΘΜΩΝ.

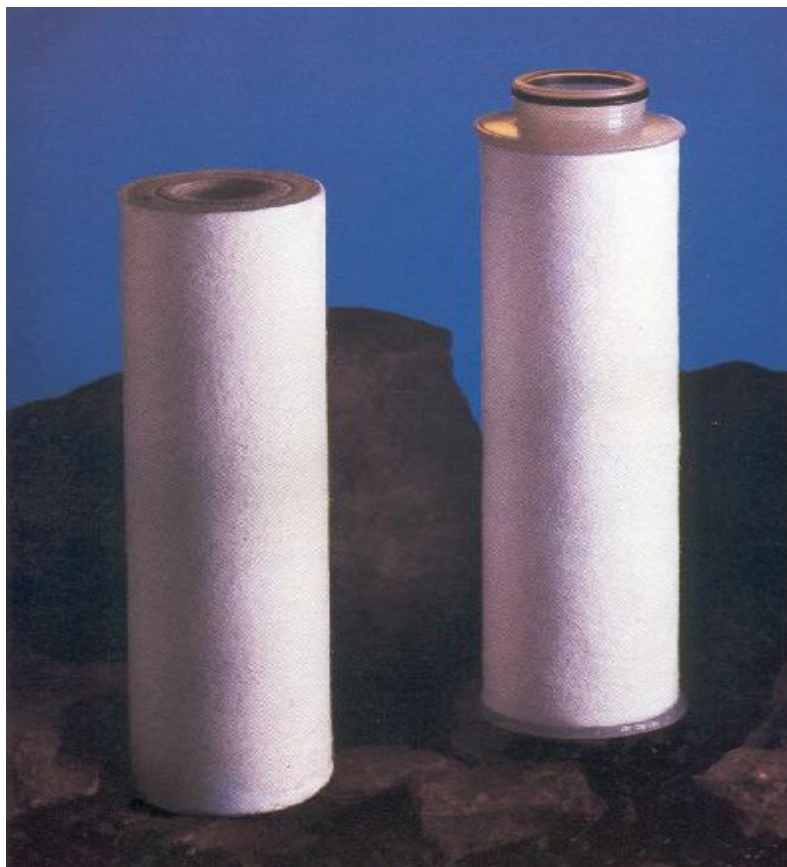
Οι ηθμοί μορφής φύσιγγας χωρίζονται ανάλογα με την μορφή του διηθητικού τους υλικού, σε :

1. Ηθμούς Βάθους ( Depth Filters )
2. Ηθμούς Επιφάνειας ή Μεμβράνης ( Surface or Membrane Filters ).

### Ηθμοί Βάθους.

Οι ηθμοί βάθους είναι εκείνοι οι οποίοι συγκρατούν τα στερεά σωματίδια εκμεταλλευόμενοι το βάθος (πάχος) του διηθητικού τους υλικού, το οποίο είναι της τάξεως των 20 χλστ περίπου.

Το υλικό κατασκευής του διηθητικού μέσου είναι κατάλληλα διαμορφωμένο ώστε οι ίνες που το αποτελούν να είναι έτσι μπλεγμένες μεταξύ τους που να δημιουργούν ένα πλέγμα κάποιου πάχους και με μια κατανομή πόρων, μέσα από το οποίο αναγκάζεται να περάσει το προς διήθηση ρευστό.



Σε αυτήν την περίπτωση, διακρίνουμε δύο διαφορετικούς τρόπους στην κατασκευή και λειτουργία τους, σε αντιστοιχία με την ονομαστική και απόλυτη συγκράτηση που εξετάσαμε παραπάνω.

α) Ηθμοί βάθους μη σταθερού πόρου (Non-Fixed Random Pore Depth Media ).

Οι ηθμοί βάθους μη σταθερού πόρου βασίζονται κυρίως στους μηχανισμούς προσρόφησης για την συγκράτηση των σωματιδίων, δηλαδή την πρόσκρουση λόγω αδράνειας, την συγκράτηση λόγω διάχυσης, και τις άλλες δυνάμεις - ηλεκτροστατικής φύσεως και μη - που επιδρούν μεταξύ των σωματιδίων, και της επιφάνειας των πόρων στο εσωτερικό της δομής τους.

Ο μηχανισμός της απευθείας συγκράτησης από το μέγεθος των πόρων είναι σε αυτά τα φίλτρα δευτερεύουσας σημασίας, αφού έχουν μη ελεγχόμενη κατανομή πόρων και κατασκευή τέτοια, που να μην εξασφαλίζει σταθερή διάσταση πόρου ανεξάρτητα από τις συνθήκες λειτουργίας.

Έτσι, σωματίδια που έχουν συγκρατηθεί, είναι πιθανόν να απελευθερωθούν καθώς οι διαστάσεις των πόρων μεγαλώνουν με την αύξηση της διαφορικής πίεσης. Σε αυτήν την περίπτωση βέβαια, μιλάμε για ηθμούς ονομαστικής συγκράτησης.

Τα φίλτρα γενικότερα, έχουν μια ικανότητα συγκράτησης σωματιδίων που είναι πιο μικρά από το μέγεθος των πόρων τους λόγω των μηχανισμών προσρόφησης.

Σε συνθήκες απότομων αυξήσεων της πίεσης όμως, οι δυνάμεις που ασκούνται στα σωματίδια από το ρευστό είναι μεγαλύτερες από αυτές που τα συγκρατούν στο διηθητικό μέσο. Έτσι, αυτά τα μικρά σωματίδια είναι πολύ εύκολο να απελευθερωθούν από το φίλτρο.

Τα διηθητικά υλικά βάρους, εμπεριέχουν πολλούς δαιδαλώδεις διαδρόμους μέσα από τους οποίους περνάει το ρευστό. Όπως είναι φυσικό να συμβεί, τα περάσματα με τις μικρότερες διαστάσεις βουλώνουν πρώτα, έτσι ώστε όλο και μεγαλύτερη ροή κατευθύνεται προς τα περάσματα με μεγαλύτερες διαστάσεις.

Εάν η δομή στο εσωτερικό αυτών των ηθμών δεν είναι ακέραιη, η αύξηση της πίεσης σε αυτά τα περάσματα μπορεί να προκαλέσει την διεύρυνσή τους, γεγονός που επηρεάζει ουσιαστικά την απόδοση του φίλτρου.

Το γεγονός της απελευθέρωσης σωματιδίων από ένα φίλτρο με την αύξηση της πίεσης ή της ροής, εκτός του ότι μειώνει δραστικά την αποτελεσματικότητά του, μπορεί να δώσει και πλασματικές εντυπώσεις σχετικά με την ζωή λειτουργίας του.

Όταν κάποιος ηθμός απελευθερώνει ένα σημαντικό μέρος των σωματιδίων που έχει συγκρατήσει ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ο χρόνος της ζωής λειτουργίας του μέχρι να βουλώσει θα εμφανίζεται να είναι μεγάλος - παράγοντας καθοριστικός στην αξιολόγηση ενός φίλτρου - στην πραγματικότητα όμως, το φίλτρο αυτό δεν θα εκπληρώνει τον σκοπό για τον οποίο έχει τοποθετηθεί στην συγκεκριμένη εφαρμογή.

β) Ηθμοί βάθους σταθερού πόρου ( Fixed Random Pore Depth Media ).

Οι ηθμοί βάθους σταθερού πόρου βασίζονται κυρίως στον μηχανισμό της απευθείας συγκράτησης από το μέγεθος του πόρου. Το διηθητικό υλικό τους είναι έτσι φτιαγμένο ώστε οι ίνες που το αποτελούν να είναι στέρεα συνδεδεμένες μεταξύ τους, σχηματίζοντας πόρους και περάσματα με σταθερές και αμετάβλητες διαστάσεις, ανεξάρτητα από τυχόν μεταβολές - μέσα στα προκαθορισμένα όρια - των συνθηκών λειτουργίας τους.

Σε αυτήν την περίπτωση μιλάμε για ηθμούς απόλυτης συγκράτησης, με ελεγχόμενο μέγεθος και κατανομή πόρων.

Και εδώ οι μηχανισμοί προσρόφησης που βοηθούν στην συγκράτηση μικρότερων των πόρων σωματιδίων έχουν εφαρμογή βελτιώνοντας την απόδοση του φίλτρου, δεν είναι αυτοί όμως που καθορίζουν την τιμή συγκράτησης του ηθμού, όπως στην περίπτωση των ηθμών ονομαστικής συγκράτησης.

Πιθανές αυξομειώσεις στην πίεση ή την ροή, μπορούν να αποκολλήσουν και στους απόλυτους ηθμούς αυτά τα μικρά σωματίδια, αλλά λόγω του πάχους του υλικού και της σταθερής δομής των πόρων του, αυτά θα είναι δυσκολότερο να διαφύγουν από τον ηθμό.

Εξ' άλλου, τα σωματίδια που μπορεί να απελευθερωθούν τελικά, θα έχουν διαστάσεις πολύ μικρότερες από αυτά για τα οποία τοποθετήθηκε το φίλτρο.

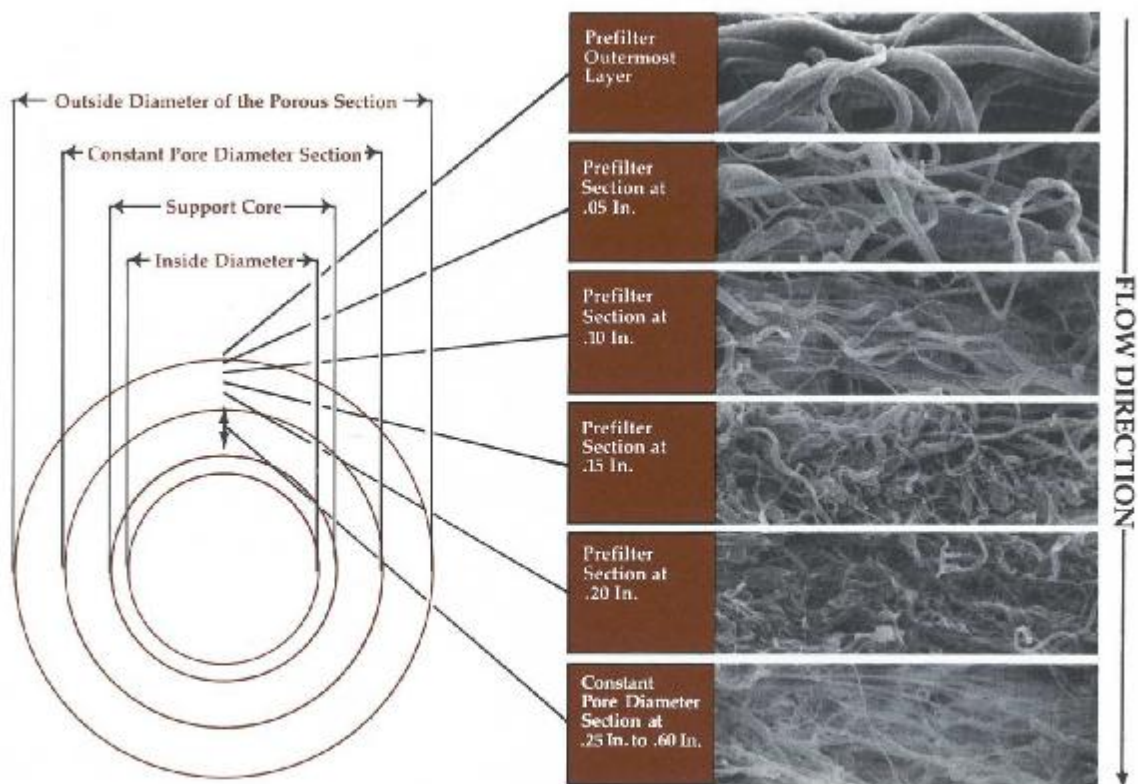
Πρακτική συγκεκριμένων κατασκευαστών ηθμών βάθους, είναι να διαμορφώνουν την διατομή του ηθμού με τρόπο τέτοιο που από έξω προς τα μέσα οι πόροι του υλικού να φθίνουν σε μέγεθος (Graded Pore Structure).



Οι μεγαλύτεροι πόροι της εξωτερικής επιφάνειας του ηθμού σταματούν τα μεγαλύτερα σωματίδια, και προχωρώντας προς το εσωτερικό του υλικού, η αποτελεσματικότητα του φιλτραρίσματος μεγαλώνει, ως το τελικό επίπεδο διήθησης που καθορίζεται από το μέγεθος των πόρων οι οποίοι χαρακτηρίζουν και την ικανότητα συγκράτησης του ηθμού.

Δηλαδή, ένας ηθμός απόλυτης συγκράτησης 5  $\mu\text{m}$ , συγκρατεί αρχικά σωματίδια 120  $\mu\text{m}$ , και σταδιακά όσο το ρευστό εισχωρεί στο εσωτερικό του συγκρατεί σωματίδια 70 , 40, 20, 10  $\mu\text{m}$ , μέχρι το τελικό τμήμα της δομής του που αποτελείται από πόρους με ελεγχόμενη διάσταση 5  $\mu\text{m}$ , όπου εκεί επιτυγχάνεται και το επιθυμητό επίπεδο της διήθησης.

Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται ένα εσωτερικό προφιλτράρισμα που έχει σαν αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται όλο το βάθος του υλικού, και να αυξάνεται κατά πολύ ο χρόνος ζωής του ηθμού.



Pore diameter variation in a typical PROFILE element. Scanning electron micrographs at 300x. (Note that in the profiled pore section the variation is continuous—not stepwise.)



## Ηθμοί Επιφάνειας ( Μεμβράνης ) .

Οι ηθμοί επιφάνειας ή μεμβράνης είναι ηθμοί στους οποίους το διηθητικό υλικό έχει την μορφή μεμβράνης πολύ μικρού πάχους.

Στην επιφάνεια αυτής της μεμβράνης βρίσκονται τα ανοίγματα (πόροι) οι οποίοι συγκρατούν τα στερεά σωματίδια που επιθυμούμε να απομακρύνουμε από το ρευστό.

Με τον απόλυτο ορισμό του όρου, ένας ηθμός επιφάνειας ή μεμβράνης, είναι αυτός στον οποίο όλοι οι πόροι του βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο (επιφάνεια), στηρίζοντας έτσι την αποτελεσματικότητά τους, αποκλειστικά στον μηχανισμό της απευθείας συγκράτησης από το μέγεθος του πόρου.

Καταλαβαίνουμε ότι πρακτικά αυτό το κριτήριο είναι πολύ δύσκολο να τηρηθεί, αφού κάθε διηθητική επιφάνεια με μορφή μεμβράνης, έχει κάποιο βάθος που συμβάλλει στην συγκράτηση σωματιδίων, ακόμη και αν αυτό είναι της τάξεως των μικρομέτρων.

Οι μοναδικοί που μπορούν να χαρακτηριστούν ως ηθμοί επιφάνειας σύμφωνα με τα παραπάνω, είναι αυτοί που το διηθητικό τους υλικό είναι ή κάποιο συρμάτινο πλέγμα (σήτα), ή κάποιας μορφής ύφασμα, ή ένα είδος μεμβράνης ενός συγκεκριμένου κατασκευαστή, η οποία έχει πάρα πολύ μικρό πάχος και πάνω της έχουν ανοιχτεί οπές με την μέθοδο του βομβαρδισμού νετρονίων.

Στην πράξη όμως, οι εφαρμογές των παραπάνω ηθμών είναι πολύ περιορισμένες σε σχέση με αυτές των ηθμών που το διηθητικό μέσο τους είναι μεμβράνη αποτελούμενη από ίνες ή κάποιο πορώδες υλικό, έχοντας έτσι κάποιο βάθος.

Καταχρηστικά λοιπόν, όλοι οι ηθμοί αυτής της μορφής χαρακτηρίζονται ως ηθμοί επιφάνειας ή μεμβράνης, προκειμένου να τους κατατάσσουμε με μεγαλύτερη ευκολία, δεδομένου ότι ακόμα δεν έχει θεσπιστεί κάποιος βασικός κανόνας κοινά αποδεκτός από όλους τους κατασκευαστές ηθμών.

Οι ηθμοί μεμβράνης, έχουν την ικανότητα να σταματάνε όλα τα σωματίδια των οποίων το μέγεθος είναι μεγαλύτερο από το μέγεθος του μεγαλύτερου πόρου τους, υπό την προϋπόθεση βέβαια ότι η δομή τους είναι σταθερή και ακέραιη (απόλυτη συγκράτηση).

Σωματίδια μικρότερα του μεγέθους του μεγαλύτερου πόρου, είναι δυνατόν να συγκρατηθούν βάση του μηχανισμού του "γεφυρώματος" που αναφέρθηκε προηγουμένως, χωρίς όμως αυτό να αποτελεί εγγύηση ότι σε κάποια δεδομένη στιγμή αυτά δεν θα απελευθερωθούν.

Ένας άλλος μηχανισμός που βρίσκει εφαρμογή κυρίως στους ηθμούς μεμβράνης και βελτιώνει την ικανότητα συγκράτησής τους, λειτουργεί βασιζόμενος στο στρώμα που σχηματίζουν γύρω από την εξωτερική επιφάνεια του ηθμού τα σωματίδια που ήδη έχουν συγκρατηθεί, το οποίο ενεργεί και το ίδιο σαν φίλτρο (Filter Cake). Η αποτελεσματικότητα αυτού του μηχανισμού συγκράτησης εξαρτάται από το μέγεθος και την φύση των σωματιδίων που συγκρατούνται σε κάθε εφαρμογή. Καταλαβαίνουμε ότι ο μηχανισμός αυτός δεν εφαρμόζεται με το ξεκίνημα της λειτουργίας του καθαρού ηθμού, αλλά μετά από κάποιο χρόνο, που τα συγκρατημένα σωματίδια έχουν σχηματίσει κάποιο στρώμα γύρω από αυτόν.

Το κυριότερο χαρακτηριστικό των ηθμών επιφάνειας ή μεμβράνης, το οποίο και τους καθιστά αναγνωρίσιμους σε σχέση με τους ηθμούς βάθους, είναι ο τρόπος που η διηθητική μεμβράνη τους διπλώνεται σε πτυχές γύρω από τον εσωτερικό πυρήνα στήριξης του ηθμού (core).

Βάση του χαρακτηριστικού τους αυτού, οι ηθμοί μεμβράνης ονομάζονται και "πτυχωτοί" ( Pleated cartridges ).

Αυτό το κατασκευαστικό χαρακτηριστικό, δίνει την δυνατότητα της συγκέντρωσης μιας μεγάλης ποσότητας διηθητικής επιφάνειας σε έναν ηθμό μικρών διαστάσεων, καθιστώντας τον έτσι ικανό για την διήθηση ρευστών με μεγάλη ταχύτητα ροής.

Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται οικονομία, αφού δεδομένες μεγάλες παροχές μπορούν να αντιμετωπιστούν από μικρά συστήματα με ελαττωμένο αριθμό πτυχωτών ηθμών, σε σχέση με τους ηθμούς βάθους.



Υπάρχουν διάφορα κριτήρια, τα οποία σε συνδυασμό μεταξύ τους, μας καθοδηγούν στην ορθή επιλογή του κατάλληλου τύπου ηθμού (βάθους ή μεμβράνης) σε κάθε εφαρμογή διήθησης.

Βασικό κριτήριο είναι η περιεκτικότητα του ρευστού σε στερεά σωματίδια. Εάν αυτή είναι σε υψηλά επίπεδα, συνιστάται η χρησιμοποίηση ηθμών βάθους οι οποίοι λόγω του δεδομένου πάχους του διηθητικού υλικού τους, έχουν την δυνατότητα συσσώρευσης μεγάλου αριθμού σωματιδίων, καθιστώντας τους έτσι πιο πρακτική και οικονομική λύση.

Επίσης, οι ηθμοί βάθους συνιστώνται στην περίπτωση που το εύρος της κατανομής του μεγέθους των σωματιδίων που υπάρχουν στο υγρό είναι μεγάλο, και καλούμαστε να απομακρύνουμε πολλά σωματίδια διαφορετικών μεγεθών.

Τέλος, οι ηθμοί βάθους προτείνονται στην περίπτωση που το προς διήθηση ρευστό περιέχει μαλακά σωματίδια, τα οποία δεν έχουν σταθερό σχήμα (Gels). Τέτοια σωματίδια αλλάζουν μορφή καθώς οι δυνάμεις από την διαφορική πίεση κατά την διήθηση ασκούνται επάνω τους, με αποτέλεσμα να είναι εύκολο να περάσουν μέσα από τις οπές του διηθητικού μέσου. Ένας ηθμός βάθους λοιπόν, με την δαιδαλώδη και μεγάλη σε πάχος δομή του, είναι πολύ πιο αποτελεσματικός σε αυτή την περίπτωση από κάποιον με αντίστοιχη συγκράτηση ηθμό μεμβράνης.

Στην περίπτωση που η επιβάρυνση αποτελείται από σωματίδια ενός συγκεκριμένου μεγέθους, τότε ένας ηθμός μεμβράνης με μέγεθος πόρου μικρότερο ή ίδιο με των σωματιδίων, είναι η επιλογή μας.

Λόγω της κατασκευής τους, οι ηθμοί βάθους δεν είναι δυνατόν να κατέβουν πάρα πολύ σε απόλυτες τιμές συγκράτησης. Η καλύτερη απόλυτη συγκράτηση που μπορεί να επιτευχθεί σε έναν ηθμό βάθους - στα υγρά - είναι αυτή του 0,5  $\mu\text{m}$ .

Από την άλλη μεριά, οι ηθμοί μεμβράνης μπορεί να είναι πολύ πιο αποτελεσματικοί στην συγκράτηση σωματιδίων μικρών μεγεθών. Έτσι, στους ηθμούς μεμβράνης, η καλύτερη απόλυτη συγκράτηση που μπορεί να επιτευχθεί - στα υγρά - είναι αυτή του 0,1  $\mu\text{m}$ .

Οι παραπάνω συγκρατήσεις και στις δύο κατηγορίες ηθμών, βελτιώνονται κατά πολύ όταν πρόκειται για διήθηση αερίων, στην οποία όπως είδαμε παραπάνω, επιδρούν κατά πολύ οι μηχανισμοί συγκράτησης προσρόφησης λόγω των κινήσεων Μπράουν των σωματιδίων μέσα στο αέριο. Π.χ. η απόλυτη συγκράτηση ενός ηθμού μεμβράνης στα αέρια μπορεί να φθάσει και τα 0,003  $\mu\text{m}$ .

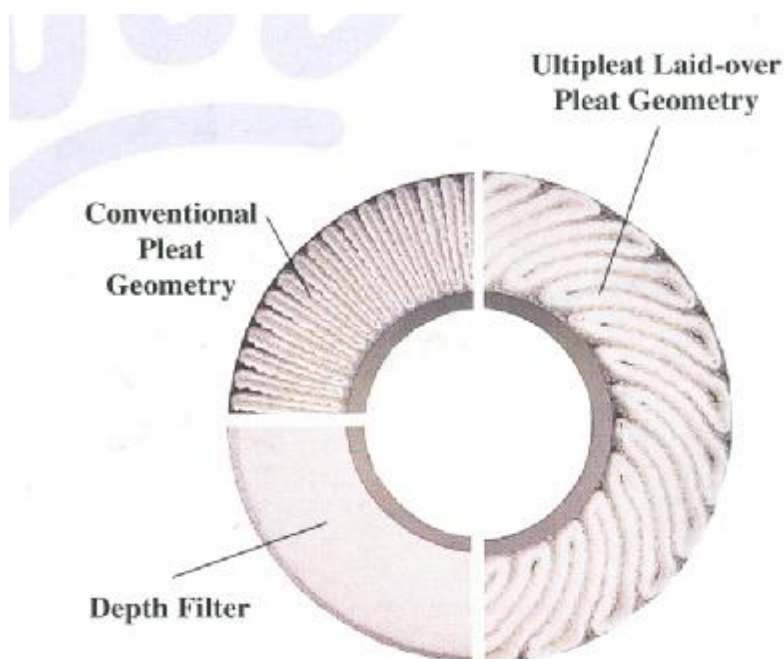
Η πτυχωτή κατασκευή των ηθμών μεμβράνης τους προσδίδει μεγάλη διηθητική επιφάνεια, και τους καθιστά έτσι ικανούς για διήθηση μεγάλων παροχών, ή ρευστών με μεγάλο ιξώδες, δύο παράγοντες που επιδρούν άμεσα - όπως θα δούμε παρακάτω - στην αύξηση της διαφορικής πίεσης στον ηθμό.

Η αντοχή τους στις υψηλές θερμοκρασίες και η χημική τους συμβατότητα με το προς διήθηση υγρό, είναι παράγοντες που παίζουν κύριο ρόλο στην επιλογή μεταξύ ηθμών βάθους και μεμβράνης.

Οι ηθμοί μεμβράνης - λόγω κατασκευής - έχουν στις περισσότερες των περιπτώσεων μεγαλύτερες αντοχές από τους ηθμούς βάθους, ακόμη και αν είναι και οι δύο κατασκευασμένοι από το ίδιο υλικό.

Τέλος, το κόστος αγοράς είναι ένας καθοριστικός παράγοντας επιλογής του τύπου των φίλτρων. Οι ηθμοί μεμβράνης είναι σημαντικά ακριβότεροι των αντίστοιχων βάθους, και έτσι γενικά δεν χρησιμοποιούνται σε απλές και μη κρίσιμες εφαρμογές.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι διατομές των ηθμών βάθους (Depth) και των ηθμών μεμβράνης (Pleated), καθώς και ένας καινούργιος τύπος ηθμού, που συνδυάζει τα χαρακτηριστικά και των δύο (Ultipleat).



## ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΔΙΗΘΗΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του διηθητικού μέσου των ηθμών είναι πολλά, και επιλέγονται βάσει της μηχανικής τους αντοχής, της χημικής τους συμβατότητας, της αποτελεσματικότητας και του κόστους.

Το εύρος τους ξεκινάει από υλικά φθηνά χωρίς μεγάλη ικανότητα συγκράτησης σωματιδίων, όπως το χαρτί ή το ύφασμα, και φθάνει σε πλαστικά πολυμερή με ανώτερες μηχανικές ιδιότητες και ικανότητες συγκράτησης, όπως το τεφλόν ή ακόμα και ο ανοξείδωτος χάλυβας.

Πολύ διαδεδομένοι λόγω του πολύ μικρού κόστους τους, είναι οι ηθμοί από βαμβακερό νήμα (Cotton Bobine). Το βαμβακερό νήμα είναι τυλιγμένο γύρω από το εσωτερικό πλέγμα στήριξης του ηθμού με τρόπο τέτοιο που να δημιουργεί κάποιο στρώμα, στο εσωτερικό του οποίου συγκρατούνται τα στερεά σωματίδια. Αυτού του είδους οι ηθμοί είναι ονομαστικής συγκράτησης και παρουσιάζουν έντονα το φαινόμενο της απελευθέρωσης σωματιδίων με την αύξηση της διαφορικής πίεσης, καθώς και μειωμένο χρόνο λειτουργίας.

Άλλα διαδεδομένα υλικά κατασκευής του διηθητικού μέσου των ηθμών είναι η κυτταρίνη (Cellulose) και τα υαλονήματα (Glass Fibre).

Η κυτταρίνη - είδος υδατάνθρακα που περιέχεται στο ξύλο, εκ του οποίου παράγεται το χαρτί - έχει την μορφή μακρομορίων μεγάλου μήκους, τα οποία συγκρατούνται μεταξύ τους, με την βοήθεια κάποιων εποξικών ή φαινολικών ρητινών. Ανάλογα με τον κατασκευαστή, μπορούν να είναι ηθμοί βάθους ή ηθμοί μεμβράνης. Εφαρμογές ηθμών κυτταρίνης περιλαμβάνουν την διήθηση νερού, αλκοολών, εστέρων, ακετόνης, γλυκόλης, αμμωνίας, φυσικού αερίου, κ.α.

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση των ηθμών από βαμβακερό νήμα, η κυτταρίνη τείνει να ξεπεραστεί σαν διηθητικό υλικό παλιάς τεχνολογίας.



Τα υαλονήματα είναι υλικό με καλή χημική συμβατότητα και ικανό για την κατασκευή διηθητικού υλικού με μεγάλη ικανότητα συγκράτησης. Χρησιμοποιείται ως επί των πλείστων στην κατασκευή ηθμών μεμβράνης. Οι ηθμοί από Glass Fibres καλύπτουν τις παραπάνω γενικές βιομηχανικές εφαρμογές των ηθμών κυτταρίνης, και επίσης παρουσιάζουν πολύ καλή συμπεριφορά σε εφαρμογές των βιομηχανιών Φαρμάκων και Τροφίμων & Ποτών.

Ένα υλικό κατασκευής διηθητικού μέσου το οποίο είναι πολύ διαδεδομένο και παρουσιάζει πάρα πολύ ικανοποιητική χημική συμβατότητα και μηχανική αντοχή σε πολλές εφαρμογές, είναι το πολυπροπυλένιο (PP). Χρησιμοποιείται σε πάρα πολλές εφαρμογές από όλο το φάσμα της βιομηχανίας. Το πολυπροπυλένιο δεν συνιστάται σε θερμοκρασίες λειτουργίας του φίλτρου άνω των 80 °C.

Στην περίπτωση ηθμών βάθους, συνεχόμενες ίνες πολυπροπυλενίου προερχόμενες από εξώθηση (Extrusion), τυλίγονται γύρω από το πλέγμα στήριξης, σχηματίζοντας έτσι το διηθητικό μέσο.

Σε περιπτώσεις κατασκευαστών ηθμών απόλυτης συγκράτησης, οι ίνες αυτές είναι στέρεα συνδεδεμένες με θερμοκόλληση στα σημεία που ακουμπούν μεταξύ τους, σχηματίζοντας έτσι ένα διηθητικό υλικό με σταθερούς πόρους, υψηλής ικανότητας συγκράτησης.

Αυτοί οι ηθμοί βάθους είναι έτσι κατασκευασμένοι - όπως είδαμε και προηγούμενα - ώστε οι πόροι του υλικού να φθίνουν σε μέγεθος προς το εσωτερικό της διατομής του, προκειμένου να επιτυγχάνεται ένα προοδευτικό προφιλτράρισμα. Μια επιπλέον εξέλιξη σε αυτήν την κατασκευή, είναι η ελάττωση αντίστοιχα και της διαμέτρου των ινών του πολυπροπυλενίου, έτσι ώστε να διατηρείται σταθερή και σε χαμηλά επίπεδα η εσωτερική πυκνότητα του ηθμού.

Με αυτόν τον τρόπο υπάρχει μεγάλος χώρος εναπόθεσης σωματιδίων στο εσωτερικό του ηθμού, αυξάνοντας έτσι την ζωή λειτουργίας του μέχρι και 7 φορές.

Κάτι αντίστοιχο μπορεί να επιτευχθεί και σε ηθμούς μεμβράνης, στην περίπτωση των οποίων, το διηθητικό μέσο πολυπροπυλενίου έχει μορφή μεμβράνης μικρού πάχους που όμως διατηρεί - κατά το δυνατόν - τα χαρακτηριστικά των ηθμών βάθους.

Ανάλογοι κατασκευαστικά είναι και οι ηθμοί βάθους ή μεμβράνης, των οποίων το διηθητικό υλικό τους είναι το νάιλον (Nylon). Και εδώ οι εφαρμογές είναι πάρα πολλές, λόγω όμως της μεγάλης μηχανικής αντοχής του υλικού αυτού, χρησιμοποιείται ιδιαίτερα εκεί που η θερμοκρασία λειτουργίας του φίλτρου είναι αρκετά υψηλή μέχρι και 140 °C .

Οι ηθμοί μεμβράνης από νάιλον χρησιμοποιούνται με ιδιαίτερη επιτυχία στην μικροβιοκρατή διήθηση πριν από την εμφιάλωση κόκκινου και λευκού κρασιού (σταθεροποίηση), καθώς και πόσιμου νερού.

Άλλα πλαστικά πολυμερή που χρησιμοποιούνται από τους κατασκευαστές ηθμών, είναι το πολυαιθυλένιο (PET), η πολυαιθερσουλφόνη (PES), καθώς και το τεφλόν (PVDF ή PTFE), το οποίο έχει άριστη συμπεριφορά στην διήθηση του νερού προς εμφιάλωση, και σε εφαρμογές της φαρμακοβιομηχανίας.

Σε εφαρμογές πολύ υψηλών θερμοκρασιών λειτουργίας (π.χ. διήθηση ατμού) ή μεγάλων διαφορικών πιέσεων (π.χ. παραγωγή πολυπροπυλενίου ή PET), χρησιμοποιείται σαν υλικό κατασκευής ο ανοξείδωτος χάλυβας (316 L ή 304 L).

Ηθμοί κατασκευασμένοι από ανοξείδωτο χάλυβα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές με θερμοκρασίες μέχρι τους 800 ή και 900 °C , και διαφορεική πίεση μέχρι τις 100 ατμόσφαιρες (bar).

Οι ανοξείδωτοι ηθμοί μπορούν και αυτοί αναλόγως του τρόπου κατασκευής τους να χωριστούν σε ηθμούς βάθους ή επιφάνειας.

Οι ανοξείδωτοι ηθμοί βάθους κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε ο ηθμός να έχει την μορφή κυλίνδρου, του οποίου η επιφάνεια αποτελείται από ρινίσματα ανοξείδωτου χάλυβα συσσωματωμένα και ενωμένα μεταξύ τους με την μέθοδο της σύμπηξης (Sintering) που συνδυάζει πίεση και θερμοκρασία.

Με κατάλληλο έλεγχο των παραμέτρων της μεθόδου (ιδιαίτερα τον περιορισμό της πίεσης σε πολύ χαμηλά επίπεδα), κάποιοι κατασκευαστές είναι ικανοί να κατασκευάσουν ένα ανοξειδωτο διηθητικό μέσο, του οποίου το εσωτερικό κενό να είναι πολύ μεγάλο - έως και 50 % του συνολικού όγκου του ηθμού.

Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί όπως είδαμε και παραπάνω, αυξάνει κατά πολύ τον αριθμό των σωματιδίων που μπορεί ο ηθμός να συγκρατήσει, δίνοντάς του μεγάλο χρόνο λειτουργίας.

Οι ανοξειδωτοι ηθμοί βάθους μπορούν να φθάσουν μέχρι και τα 5  $\mu\text{m}$  σε απόλυτη συγκράτηση στα υγρά.

Ο ανοξειδωτος χάλυβας μπορεί ακόμη να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή διηθητικού μέσου μορφής επιφάνειας (μεμβράνη).

Σε αυτήν την περίπτωση, συνεχόμενα ανοξειδωτα σύρματα σχηματίζουν κάποια ειδική πλέξη, έχοντας - όταν πρόκειται για απόλυτης συγκράτησης ηθμούς - τα σημεία που ακουμπούν μεταξύ τους στέρεα συνδεδεμένα πάλι με την μέθοδο της σύμπληξης. Και εδώ, η μικρότερη δυνατή διάμετρος της ίνας προσφέρει μεγάλα πλεονεκτήματα διήθησης.

Η επιφάνεια που σχηματίζουν τα ανοξειδωτα σύρματα έχει την δυνατότητα να τυλιχτεί σε πτυχές αυξάνοντας την επιφάνεια και δίνοντάς του την ικανότητα διήθησης παροχών μεγαλύτερων από τους αντίστοιχους ανοξειδωτους ηθμούς βάθους.

Η μικρότερη απόλυτη συγκράτηση που μπορεί να επιτύχει ένας ηθμός κατασκευασμένος από ανοξειδωτα σύρματα, είναι αυτή των 18  $\mu\text{m}$  στα υγρά.

Μικρότερες απόλυτες συγκρατήσεις - μέχρι και 5  $\mu\text{m}$  - είναι δυνατόν να επιτύχουμε, εάν αντί των ανοξειδωτων συρμάτων χρησιμοποιηθούν μικρές ανοξειδωτες ίνες πολύ μικρής διαμέτρου οι οποίες και πάλι με την μέθοδο της σύμπληξης κολλήσουν στα σημεία των ενώσεών τους.

Ο συνδυασμός αυτής της τεχνολογίας των ινών με την τεχνολογία των ανοξειδωτων ρινισμάτων των ηθμών βάθους, είναι δυνατόν να μας δώσει ανοξειδωτους ηθμούς που φθάνουν και τα 2.5 μm σε απόλυτη συγκράτηση.

Οι ανοξειδωτοι ηθμοί δεν είναι αναλώσιμοι, δηλαδή δεν αντικαθίστανται με καινούργιους κάθε φορά που θα βουλώσουν από τα στερεά σωματίδια που έχουν συγκρατήσει. Υπάρχει η δυνατότητα αναγέννησης των ηθμών με ένα απλό ξέπλυμα ή με χημικό τρόπο - ανάλογα με την φύση των σωματιδίων, με αποτέλεσμα ο ηθμός να επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση, έτοιμος να ξαναχρησιμοποιηθεί. Η ζωή κάποιου ανοξειδωτου ηθμού, αναλόγως την εφαρμογή και την χρήση του , συνήθως ξεπερνάει τα 5 χρόνια .

Για εφαρμογές διήθησης αερίων υψηλών θερμοκρασιών - μέχρι και 1000 °C , χρησιμοποιούνται ηθμοί κατασκευασμένοι από κεραμικό υλικό μειγμάτων πυριτίου (Silicon Carbide).

Σε αυτήν την περίπτωση, το πλεονέκτημα της αυξημένης αντοχής τους στην διάβρωση - σε σχέση με τους ανοξειδωτους ηθμούς - σε θερμοκρασίες άνω των 650 °C , αντισταθμίζεται από το γεγονός ότι είναι πολύ εύθραυστα, με συνέπεια να υπάρχουν αρκετές απώλειες κατά τον καθαρισμό τους ή και κατά την διάρκεια της λειτουργίας τους.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΝΟΣ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ.

Όπως αναφέραμε παραπάνω, τα βασικά μέρη ενός συστήματος διήθησης, είναι το δοχείο υποδοχής των ηθμών και οι ίδιοι οι ηθμοί.

Συμπληρωματικά - πλην όμως απαραίτητα - μέρη ενός συστήματος διήθησης, είναι επίσης μια αντλία και κάποιο διαφορικό μανόμετρο.

Η αντλία είναι απαραίτητη προκειμένου το προς διήθηση ρευστό να οδηγηθεί στους ηθμούς και να εφαρμόσει την αναγκαία πίεση που θα το κάνει να υπερνικήσει την αντίσταση που προβάλλουν στην ροή οι μικροί πόροι του ηθμού, και να περάσει μέσα από αυτόν.

Το διαφορικό μανόμετρο μας δείχνει την διαφορά της πίεσης του ρευστού πριν και μετά τους ηθμούς. Αυτή η μανομετρική ένδειξη είναι το κριτήριο του κατά πόσον οι ηθμοί που χρησιμοποιούμε χρειάζονται αντικατάσταση ή όχι. Εξαρτάται από την δυναμικότητα της αντλίας και την μηχανική αντοχή των ηθμών.

Η τιμή της διαφορικής πίεσης μέχρι την οποία μπορεί να λειτουργεί κάποιος ηθμός, καθορίζεται από τον κατασκευαστή του, και είναι εκείνη μέχρι την οποία το διηθητικό υλικό αντέχει χωρίς να καταστραφεί η δομή του, σε μια δεδομένη θερμοκρασία.

Προκειμένου να επιλέξουμε τον κατάλληλο ηθμό για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη τους παρακάτω παράγοντες :

- Μέγεθος, σχήμα και σκληρότητα των προς απομάκρυνση σωματιδίων,
- Ποσότητα αυτών των σωματιδίων,
- Φύση του προς διήθηση ρευστού,
- Παροχή ( ταχύτητα ροής ) του προς διήθηση ρευστού,
- Κατά πόσον αυτή η ροή είναι σταθερή,
- Πίεση λειτουργίας του συστήματος και κατά πόσον αυτή είναι σταθερή,
- Διαθέσιμη πίεση στο δίκτυο,
- Χημική συμβατότητα του διηθητικού υλικού με το ρευστό,

- Θερμοκρασία του ρευστού,
- Φυσικές και χημικές ιδιότητες του ρευστού,
- Διαθέσιμος χώρος συλλογής των σωματιδίων από το διηθητικό μέσο,
- Επιθυμητός βαθμός διήθησης.

Παρακάτω θα αναλύσουμε τον ρόλο που παίζουν οι σημαντικότεροι από τους παράγοντες αυτούς, σε μια επιτυχημένη επιλογή ηθμών.

#### 1. Φύση του προς διήθηση ρευστού.

Τα υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένα το διηθητικό μέσο, το εσωτερικό πλέγμα στήριξης και τα άκρα στερέωσης του ηθμού, καθώς και το δοχείο του φίλτρου, πρέπει να έχουν χημική συμβατότητα με το προς διήθηση ρευστό.

Μερικά υγρά - όπως η χλωρίνη - μπορούν να διαβρώσουν τον εσωτερικό πυρήνα στήριξης ενός ηθμού καθώς και το ίδιο το δοχείο, εάν αυτά είναι ανοξειδωτά. Τα διαβρωμένα μέταλλα θα απελευθερώνουν κομμάτια από το ίδιο το υλικό τους, τα οποία θα επιμολύνουν το διηθημένο ρευστό.

Σε αυτήν την περίπτωση απαιτείται όλο το σύστημα διήθησης να αποτελείται από πλαστικά υλικά (πχ. πολυπροπυλένιο).

Σε άλλη περίπτωση π.χ. διήθησης νάφθας ή πετρελαίου σε κάποιο διωλιστήριο, η χρησιμοποίηση ηθμών από πολυπροπυλένιο δεν ενδείκνυται αφού αυτό δεν είναι χημικά συμβατό και φθείρεται πολύ γρήγορα, με αποτέλεσμα η ικανότητα συγκράτησής του να μην είναι ικανοποιητική. Εδώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς πρόβλημα ηθμοί κατασκευασμένοι από νάιλον.

Βλέπουμε λοιπόν ότι είναι βασικό να γνωρίζουμε κατά πόσον το προς διήθηση ρευστό είναι όξινο, αλκαλικό, υδατικό, ελαιώδες, κ.ο.κ.

## 2. Παροχή του προς διήθηση ρευστού.

Η παροχή ενός ρευστού εκφράζει την ταχύτητα της ροής του, και μετριέται συνήθως σε λίτρα ανά λεπτό (lt/min), ή κυβικά μέτρα την ώρα ( $m^3/hr$ ).

Εξαρτάται άμεσα από δύο παραμέτρους, την πίεση (P) και την αντίσταση στην ροή (R), με την μεν πρώτη ανάλογα, ενώ με την δεύτερη αντιστρόφως ανάλογα.

Έτσι, με σταθερή αντίσταση στην ροή, όσο μεγαλώνει η πίεση τόσο αυξάνεται και η παροχή του ρευστού. Το ίδιο συμβαίνει ελαττώνοντας την αντίσταση και διατηρώντας σταθερή την πίεση.

Η πίεση στο προς διήθηση ρευστό που - όπως είδαμε παραπάνω - προέρχεται από κάποια αντλία, εκφράζεται συνήθως σε ατμόσφαιρες (bar), και είναι η "κινητήρια δύναμη" του διηθητικού μηχανισμού.

Το ιξώδες του προς διήθηση ρευστού είναι κάποιος άλλος παράγοντας που επηρεάζει άμεσα την παροχή προς το φίλτρο.

Ως ιξώδες ορίζεται η δυσκολία στην μεταξύ τους κίνηση, των μορίων ενός ρευστού. Είναι δηλαδή κάποια έκφραση της ικανότητας ροής, ή αλλιώς, του πόσο είναι παχύρρευστο αυτό το ρευστό. Το νερό, η νάφθα και οι αλκοόλες έχουν χαμηλό ιξώδες, ενώ υγρά όπως πετρέλαιο, λάδια ή σιρόπια, έχουν υψηλές τιμές.

Το ιξώδες επηρεάζει άμεσα την αντίσταση στην ροή ενός ρευστού. Με σταθερές τις άλλες παραμέτρους διήθησης, διπλασιάζοντας το ιξώδες, διπλασιάζουμε και την αρχική τιμή της αντίστασης ροής. Σαν συνέπεια αυτού, με αυξανόμενο το ιξώδες, απαιτείται και αυξανόμενη πίεση, προκειμένου να διατηρηθεί σταθερή η ροή ενός ρευστού.

Συνήθης μονάδα μέτρησης του ιξώδους είναι το Centipoise (cp). Δεχόμαστε ότι το ιξώδες του νερού στους 20 °C , είναι 1 cp.

### 3. Θερμοκρασία διήθησης.

Η θερμοκρασία στην οποία λειτουργεί ένα φίλτρο, επιδρά άμεσα στο ιξώδες, καθώς επίσης, στον ρυθμό διάβρωσης του δοχείου, αλλά και στην συμβατότητα του διηθητικού υλικού του ηθμού με το ρευστό.

Με την αύξηση της θερμοκρασίας, η τιμή του ιξώδους σε ένα ρευστό ελαττώνεται. Στην περίπτωση που κάποιο ρευστό είναι αρκετά παχύρρευστο, συνιστάται η προθέρμανσή του πριν από την διήθηση, έτσι ώστε η ροή του να γίνει όσο το δυνατόν ευκολότερη.

Η αυξημένη θερμοκρασία κατά την διήθηση επιταχύνει την διάβρωση των μεταλλικών μερών του συστήματος, και αποδυναμώνει τους δακτυλίους στεγανοποίησης τόσο των ηθμών όσο και του ίδιου του δοχείου.

Πολύ συχνά, αναλώσιμοι ηθμοί φτιαγμένοι από ευαίσθητα στην υψηλή θερμοκρασία υλικά κατασκευής, δεν είναι ικανοί να αντεπεξέλθουν τέτοιες συνθήκες διήθησης για μεγάλα χρονικά διαστήματα, για αυτόν τον λόγο σε ανάλογες περιπτώσεις, επιλέγονται ηθμοί ανοξειδώτοι.

### 4. Πτώση πίεσης ( $\Delta p$ ).

Κατά την διήθηση ενός ρευστού, αυτό περνάει μέσα από τις σωληνώσεις, το δοχείο, και τέλος από τους ίδιους τους ηθμούς. Η επαφή του με όλα τα παραπάνω μέρη του συστήματος διήθησης, επιφέρει μια αύξηση της αντίστασης στην ροή του ρευστού με αποτέλεσμα την πτώση της πίεσης μετά το φίλτρο.

Η πτώση της πίεσης που οφείλεται στις σωληνώσεις είναι πολύ μικρή και δεν υπολογίζεται στον σχεδιασμό ενός συστήματος διήθησης.

Κύριο ρόλο παίζει η πτώση πίεσης στο δοχείο του φίλτρου, καθώς και η πτώση πίεσης στους ηθμούς. Με την βοήθεια ενός διαφορικού μανομέτρου, τα άκρα του οποίου συνδέονται πριν και μετά το φίλτρο, είναι δυνατόν να έχουμε την ένδειξη της συνολικής πτώσης πίεσης.



Όσο μικρότεροι είναι οι πόροι ή τα ανοίγματα του διηθητικού μέσου, τόσο μεγαλύτερη είναι και η αντίσταση στην ροή κάποιου ρευστού μέσα από αυτό. Όσο μεγαλύτερη αντίσταση φέρει κάποιος ηθμός στην ροή ενός ρευστού, τόσο μεγαλώνει και η πτώση πίεσης.

Στην περίπτωση που το ρευστό είναι καθαρό και χωρίς σωματιδιακή επιβάρυνση, αυτή η πτώση πίεσης κατά την διέλευσή του από κάποιον ηθμό, θα είναι σταθερή και αμετάβλητη. Στην πράξη όμως, στερεά σωματίδια υπάρχουν πάντοτε σε ένα ρευστό προς διήθηση.

Έτσι, καθώς ο ηθμός σταματάει τα σωματίδια, αυτά συσσωρεύονται στους πόρους και το εσωτερικό του διηθητικού υλικού του, γεμίζοντας και μπλοκάροντας τις διόδους μέσα από τις οποίες διοχετεύεται η ροή του ρευστού.

Κατά την διάρκεια της λειτουργίας του ηθμού, το διηθητικό μέσο συγκρατεί όλο και περισσότερα σωματίδια, με αποτέλεσμα να παρατηρείται μια συνεχής αύξηση της πτώσης πίεσης.

Στον σχεδιασμό ενός συστήματος διήθησης, πρέπει να εξασφαλίζεται μια πίεση λειτουργίας που όχι μόνο θα υπερνικάει την αρχική αντίσταση του φίλτρου - όταν οι ηθμοί είναι καθαροί - αλλά θα εξασφαλίζει και την λειτουργία του καθώς αυτοί θα βουλώνουν.

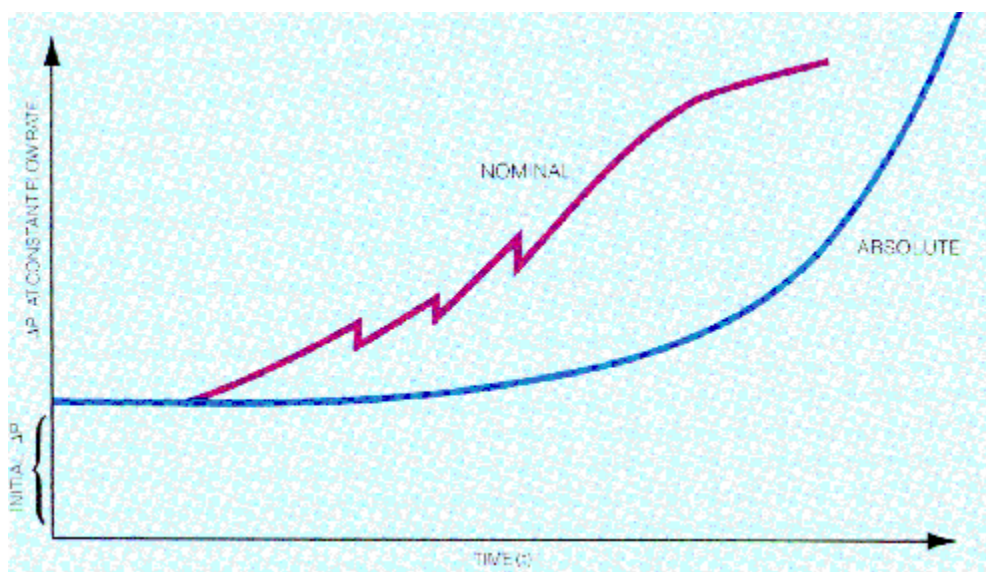
Σε ένα σωστά σχεδιασμένο σύστημα, η ροή του ρευστού μέσα από τους ηθμούς, θα πρέπει να παραμένει σε αποδεκτά επίπεδα καθώς το διηθητικό μέσο τους γεμίζει με όσο το δυνατόν περισσότερα σωματίδια, έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί στο έπακρο η χωρητικότητά του.

Κατά την έναρξη της διαδικασίας της διήθησης, εάν η αρχική πτώση πίεσης είναι μεγάλη σε σχέση με την διαθέσιμη πίεση της χρησιμοποιούμενης αντλίας, η ροή θα πέσει πολύ γρήγορα σε μη αποδεκτά επίπεδα, παρ' όλο που ένα μεγάλο μέρος της χωρητικότητας των ηθμών θα είναι ανεκμετάλλευτο.

Σε αυτή την περίπτωση, μια λύση είναι να αυξήσουμε την δυναμικότητα της αντλίας προκειμένου να ασκεί μεγαλύτερη πίεση, διατηρώντας έτσι την παροχή του ρευστού σε ικανοποιητικά επίπεδα μετά το φίλτρο.

Μια άλλη ορθότερη οικονομοτεχνικά λύση, είναι να αυξήσουμε το μέγεθος του φίλτρου χρησιμοποιώντας μεγαλύτερο αριθμό ηθμών.

Στο παρακάτω σχήμα, μπορούμε να δούμε την απεικόνιση μιας τυπικής συμπεριφοράς της αύξησης της πτώσης πίεσης ενός ηθμού με την πάροδο του χρόνου κατά την λειτουργία του:



Σε ένα σωστά σχεδιασμένο σύστημα, η εσωτερική χωρητικότητα των ηθμών σε σωματίδια, εξαντλείται προτού το  $\Delta p$  φθάσει στο σημείο εκείνο του διαγράμματος, μετά το οποίο αυξάνεται με πολύ γρήγορο ρυθμό.

Η μέγιστη επιτρεπτή πτώση πίεση (maximum allowable  $\Delta p$ ) στην λειτουργία ενός ηθμού, ορίζεται σαν το όριο εκείνο πέραν του οποίου, εάν ασκηθεί επιπρόσθετη πίεση στο σύστημα προκειμένου να διατηρηθεί σταθερή η ροή, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα κατάρρευσης του διηθητικού υλικού με αποτέλεσμα την καταστροφή του ηθμού. Διαφοροποιείται αναλόγως της θερμοκρασίας διήθησης και καθορίζεται από τον κατασκευαστή του ηθμού.

##### 5. Μέγεθος διηθητικής επιφάνειας - Χωρητικότητα διηθητικού μέσου.

Δυο παράγοντες που επιδρούν άμεσα στον χρόνο της ζωής λειτουργίας ενός συστήματος διήθησης, είναι το μέγεθος της διηθητικής επιφάνειας των ηθμών, καθώς και η χωρητικότητα του διηθητικού μέσου.

Η αύξηση του μεγέθους της διηθητικής επιφάνειας των ηθμών, συντελεί στην γεωμετρική αύξηση του χρόνου ζωής τους.

Ας θεωρήσουμε ένα σύστημα διήθησης που περιλαμβάνει έναν ηθμό, ο οποίος αντικαθίσταται κάθε 2 ημέρες καθώς αυξάνεται η διαφορική πίεση. Αν διπλασιάσουμε τον αριθμό των ηθμών, οι δύο ηθμοί πλέον, θα χρειάζονται αντικατάσταση όχι κάθε 4 ημέρες, αλλά κάθε 6 με 8 ημέρες. Ο διπλασιασμός δηλαδή της διηθητικής επιφάνειας, επιφέρει τριπλασιασμό ή και τετραπλασιασμό του χρόνου διήθησης. Αυξάνεται δηλαδή γεωμετρικά ο χρόνος μέσα στον οποίο η πτώση πίεσης φθάνει την τιμή στην οποία απαιτείται αντικατάσταση των ηθμών.

Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, η αύξηση της επιφάνειας διήθησης είναι μια συμφέρουσα και οικονομική λύση σε κάποια εφαρμογή που παρουσιάζει προβλήματα κατά την λειτουργία της.

Στην παραπάνω ιδιότητα στηρίζονται και οι ηθμοί τύπου μεμβράνης, η πτυχωτή κατασκευή των οποίων, εξασφαλίζει την συγκέντρωση μεγάλης επιφάνειας διήθησης σε έναν ηθμό μικρών διαστάσεων.

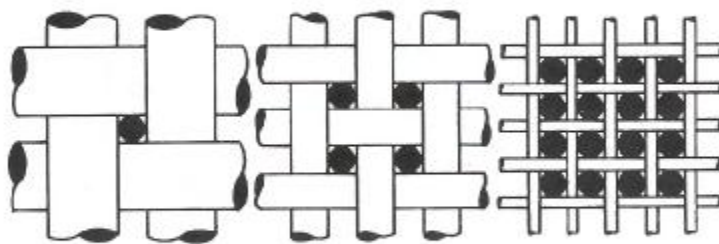


Η χωρητικότητα ενός διηθητικού μέσου, είναι η ικανότητα συσσώρευσης στο εσωτερικό της δομής του, των σωματιδίων που απομακρύνονται από το ρευστό κατά την διήθηση.

Όσο μεγαλύτερος κενός χώρος υπάρχει στο εσωτερικό του διηθητικού μέσου για την συσσώρευση αυτή, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο χρόνος λειτουργίας του ηθμού μέχρις ότου γεμίσουν τα ανοίγματα στην δομή του, και να αυξηθεί έτσι η πτώση πίεσης ως την τιμή στην οποία απαιτείται η αντικατάστασή του.

Η χωρητικότητα ενός ηθμού εξαρτάται από το μέγεθος των ινών του υλικού που απαρτίζει την δομή του. Όσο μικρότερη είναι η διάμετρος αυτών των ινών, τόσο μεγαλύτερη είναι και η χωρητικότητα στο εσωτερικό του διηθητικού υλικού.

Η χωρητικότητα του διηθητικού μέσου καθορίζει την συμπεριφορά των ηθμών τύπου βάρους, αν και έχει - σε περιορισμένη έκταση - εφαρμογή και στους ηθμούς μεμβράνης.



PALL

#### 6. Επιθυμητός βαθμός διήθησης.

Ο ηθμός που επιλέγεται για μια εφαρμογή διήθησης, θα πρέπει να είναι ικανός για την απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων κάποιων προκαθορισμένων διαστάσεων από το ρευστό.

Αναλόγως της εφαρμογής, θα πρέπει να δίνεται προσοχή στο να επιλέγεται κάποιος ηθμός με κατάλληλες διαστάσεις πόρων για την συγκράτηση των σωματιδίων, αλλά και στερεή δομή διηθητικού μέσου ώστε να εξασφαλίζει σταθερή ποιότητα διήθησης.

Τυχόν επιλογή ηθμών με πόρους μικρότερους των επιθυμητών, μπορεί μεν να δίνει καλύτερης ποιότητας διήθημα, καταλήγει όμως σε μια μη αναγκαία σοβαρή οικονομική επιβάρυνση, αφού όσο μικρότεροι είναι οι πόροι ή τα ανοίγματα στο διηθητικό υλικό ενός ηθμού, τόσο γρηγορότερα αυτός βουλώνει και χρειάζεται αντικατάσταση.

## 7. Προδιήθηση (Prefiltration).

Ένας άλλος τρόπος με τον οποίο είναι δυνατόν να επιμηκύνουμε την χρόνο της ζωής λειτουργίας ενός ηθμού, είναι η προδιήθηση.

Τοποθετώντας ένα ή περισσότερα φίλτρα πριν από το τελικό φίλτρο, επιμηκύνουμε τον χρόνο λειτουργίας του, αφού ένας μεγάλος αριθμός σωματιδίων συγκρατείται από τα προφίλτρα, και δεν το επιβαρύνουν.

Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό όταν τα προς απομάκρυνση σωματίδια έχουν διάφορα μεγέθη, και έτσι χρησιμοποιώντας κάποιο προφίλτρο με μεγαλύτερο μέγεθος πόρου απομακρύνουμε αυτά με μεγαλύτερο μέγεθος, ενώ τα σωματίδια με μικρότερο μέγεθος οδηγούνται στο τελικό φίλτρο όπου και συγκρατούνται.

Η φύση και οι ιδιαίτερες συνθήκες λειτουργίας της κάθε εφαρμογής καθορίζουν το εάν η μέθοδος της προφίλτρασης ή η αύξηση της διηθητικής επιφάνειας αποτελεί την καλύτερη λύση, προκειμένου να αυξηθεί ο χρόνος λειτουργίας ενός φίλτρου.

Η εμπειρία πάντως έχει δείξει, ότι με την αύξηση της επιφάνειας έχουμε τις περισσότερες φορές καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά στην διάρκεια λειτουργίας των ηθμών, σε σχέση με την λύση της εγκατάστασης προφίλτρου.

## ΑΥΤΟΚΑΘΑΡΙΖΟΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΗΘΗΣΗΣ.

Πολλές βιομηχανικές διεργασίες ιδιαίτερα στα δυλιστήρια και στην βιομηχανία των χημικών, απαιτούν τον καθαρισμό ρευστών τα οποία έχουν ιδιαίτερα υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά σωματίδια πολύ μικρών διαστάσεων (κάτω των 10 μm).

Σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι αναγκαία η χρησιμοποίηση συστημάτων διήθησης με ηθμούς μορφής φύσιγγας, προκειμένου να απομακρυνθούν τα πολύ μικρά αυτά σωματίδια.

Το πρόβλημα που ανακύπτει σε αυτήν την περίπτωση, προέρχεται από την μεγάλη περιεκτικότητα του ρευστού σε σωματίδια, η οποία μερικές φορές μπορεί να φθάσει και το 2,5 %.

Σε μια τέτοια περίπτωση, ένα συμβατικό σύστημα με ηθμούς, όσο υπερδιαστασιοποιημένο και να είναι, δεν θα μπορέσει να λειτουργήσει ομαλά, αφού το βούλωμα των ηθμών θα είναι συχνότατο, και το κόστος λειτουργίας του - κόστος των αναλώσιμων ηθμών συν το εργατικό κόστος για την συχνή αντικατάστασή τους - θα είναι απαγορευτικό.

Θα μπορούσαμε σαν εναλλακτική λύση να χρησιμοποιήσουμε ανοξειδωτους ηθμούς, οι οποίοι έχουν την δυνατότητα καθαρισμού και επαναλειτουργίας, αποφεύγοντας έτσι το μεγάλο κόστος των αναλώσιμων.

Σε ιδιαίτερα επιβαρημένες εφαρμογές όμως, η πολύ συχνή εξαγωγή των ανοξειδωτων ηθμών από το δοχείο προκειμένου να καθαριστούν, και η χρονοβόρα διαδικασία του καθαρισμού τους, καθιστά την λύση αυτή μη πρακτική. Σε περιπτώσεις μάλιστα που απαιτείται χημικός καθαρισμός των ηθμών με δραστικά χημικά επικίνδυνα για τον άνθρωπο, μια τέτοια λύση είναι εντελώς ανεφάρμοστη.

Για την λύση του παραπάνω προβλήματος διήθησης, έχουν εξελιχθεί ειδικά αυτοκαθαριζόμενα συστήματα, τα οποία δρουν σαν αυτόνομες μονάδες, χωρίς την ανάγκη της συχνής παρέμβασης κάποιου χειριστή.

Σε αυτά τα συστήματα, οι ηθμοί καθαρίζονται αυτόματα μέσα στο δοχείο του φίλτρου, αποφεύγοντας έτσι και το συχνό άνοιγμα του δοχείου, και τον χειροκίνητο καθαρισμό των ηθμών, εξοικονομώντας χρόνο και χρήμα.

Η λειτουργία των συστημάτων αυτών, στηρίζεται στην χρησιμοποίηση του ήδη διηθημένου ρευστού για τον καθαρισμό των ηθμών.

Όταν οι ηθμοί αρχίζουν να βουλώνουν και η πτώση πίεσης ανέβει σε μια προκαθορισμένη τιμή, μια ποσότητα του καθαρού διηθήματος διοχετεύεται προς αυτούς με αντίθετη φορά ροής, και πίεση πολλαπλάσια της πίεσης λειτουργίας.

Το ρευστό περνώντας μέσα από το διηθητικό υλικό με φορά αντίθετη από αυτήν της διήθησης (από τα μέσα προς τα έξω του ηθμού), σπρώχνει τα σωματίδια που έχουν συκρατηθεί στην εξωτερική επιφάνειά του και έτσι τα απομακρύνει από τον ηθμό, καθαρίζοντάς τον.

#### 1. Αυτοκαθαριζόμενα συστήματα διήθησης υγρών με αντιροή.

( Liquid Backwash systems )

Σε ένα αυτοκαθαριζόμενο σύστημα διήθησης υγρών, όταν η διαφορική πίεση φθάσει μια καθορισμένη τιμή, τότε διακόπτεται η παροχή προς το φίλτρο, κλείνει η βάνα της εξόδου, και η ποσότητα του καθαρού υγρού που βρίσκεται στο τμήμα του δοχείου μετά τους ηθμούς, διοχετεύεται προς τα πίσω και περνά μέσα από αυτούς, με αντίθετη φορά.

Οι ηθμοί οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε τέτοιες εφαρμογές, συμπεριφέρονται σαν ηθμοί μεμβράνης, δηλαδή συκρατούν τα σωματίδια στην εξωτερική επιφάνεια του διηθητικού υλικού τους. Σχηματίζεται έτσι ένα στρώμα (Cake), το οποίο δρα επικουρικά στην συγκράτηση των σωματιδίων.

Με την πάροδο του χρόνου κατά την διάρκεια της διήθησης, το πάχος του στρώματος αυτού αυξάνεται, με συνέπεια το υγρό να δυσκολεύεται όλο και περισσότερο να το διαπεράσει, και να αυξάνεται έτσι η διαφορική πίεση του συστήματος.

Σε μια δεδομένη στιγμή διακόπτεται η διήθηση, και το διηθημένο υγρό αναγκάζεται με υψηλή πίεση να περάσει ανάποδα μέσα από τους ηθμούς σπρώχνοντας και διαλύοντας το στρώμα των σωματιδίων που έχει σχηματιστεί στην εξωτερική πλευρά τους.

Τα σωματίδια αυτά μαζί με την ποσότητα του υγρού που χρησιμοποιήθηκε, συγκεντρώνονται στον ειδικά διαμορφωμένο πυθμένα του δοχείου και απομακρύνονται.



Η εντολή του σταματήματος της διήθησης και της αρχής του καθαρισμού των ηθμών, μπορεί να γίνεται με το πάτημα ενός κουμπιού ή και εντελώς αυτοματοποιημένα.

Στα αυτόματα συστήματα - που είναι και τα πιο διαδεδομένα - η διαδικασία του καθαρισμού μπορεί να ξεκινάει ή με την βοήθεια κάποιου χρονοδιακόπτη (π.χ. κάθε 20 ώρες), ή όταν η ένδειξη του διαφορικού μανόμετρου φθάσει σε μια προκαθορισμένη τιμή.

Η όλη διαδικασία ενός τέτοιου συστήματος είναι αρκετά πολύπλοκη και πρέπει να είναι σχεδιασμένη με λεπτομέρεια και ακρίβεια προκειμένου να λειτουργήσει ικανοποιητικά. Κύριο ρόλο στην καλή λειτουργία ενός αυτοκαθαριζόμενου συστήματος διήθησης υγρών, παίζει η ταχύτητα ροής του υγρού που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό των ηθμών.

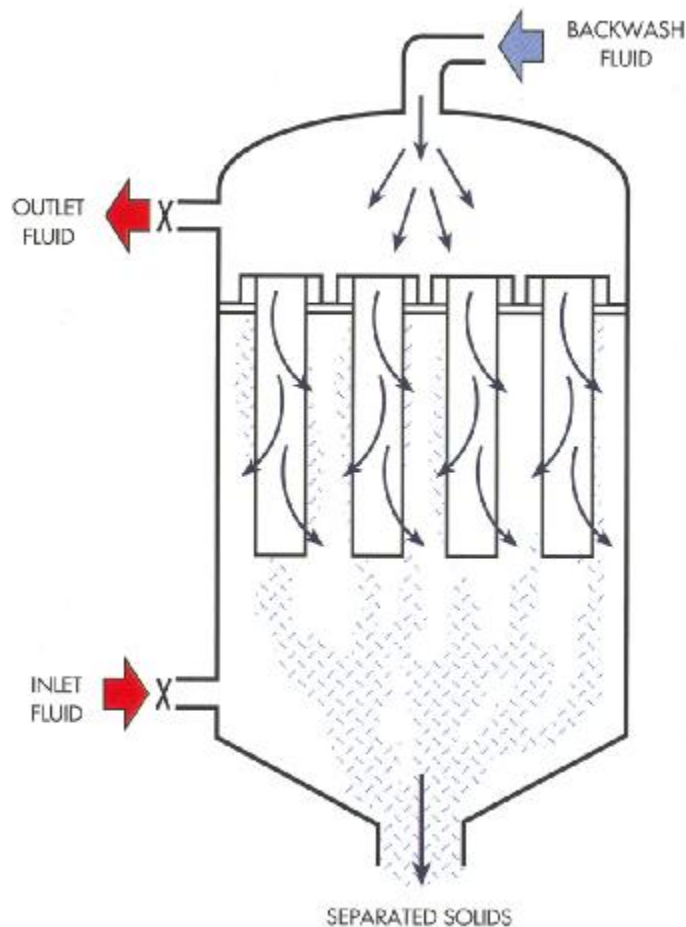
Αυτή η ταχύτητα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη έτσι ώστε να μπορέσει να ασκήσει μεγάλη δύναμη και να διαλύσει το στρώμα των σωματιδίων που έχουν συγκεντρωθεί γύρω από τον ηθμό.

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την χρησιμοποίηση κάποιου αερίου - αέρα ή αζώτου - το οποίο βρίσκεται με μεγάλη πίεση (5 φορές υψηλότερη της πίεσης λειτουργίας) μέσα σε ένα ειδικό βοηθητικό δοχείο.

Οι κατάλληλα συγχρονισμένες ηλεκτροβάνες, κλείνουν την είσοδο και έξοδο του φίλτρου, και επιτρέπουν την είσοδο του αερίου στο πάνω τμήμα του δοχείου.

Αυτό έχοντας μεγάλη πίεση, εκτονώνεται και μέσα σε κλάσματα του δευτερολέπτου, σπρώχνει το διηθημένο υγρό ανάποδα μέσα από τους ηθμούς προς τον πυθμένα του δοχείου.

Εκεί βρίσκεται - την κατάλληλη στιγμή - ανοιχτή η αποστράγγιση, από την οποία απομακρύνονται με την μορφή πηχτής λάσπης, τα στερεά σωματίδια μαζί με το ρευστό.



Η αντίστροφη ροή του υγρού μέσα από τους ηθμούς μπορεί ακόμη να γίνει με την βοήθεια μιας δυνατής αντλίας. Ο τρόπος αυτός όμως δεν είναι πολύ αποτελεσματικός, γιατί είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί έτσι μεγάλη ταχύτητα ροής και ακόμη, απαιτεί μεγάλη κατανάλωση ενέργειας από την αντλία.

Άλλοι παράγοντες που παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην λειτουργία των αυτοκαθαριζόμενων συστημάτων διήθησης, είναι:

- η τιμή της διαφορικής πίεσης στην οποία εκτελείται ο κύκλος καθαρισμού των ηθμών,
- η χρονική διάρκεια των κύκλων καθαρισμού
- η χρονική διάρκεια μεταξύ δύο διαδοχικών καθαρισμών.

Όπως αναφέραμε παραπάνω, τα σωματίδια που απομακρύνονται με μια τέτοια διαδικασία βρίσκονται συγκεντρωμένα γύρω από την εξωτερική επιφάνεια των ηθμών. Πρόθεσή μας είναι να αποφύγουμε όσο το δυνατόν περισσότερο την εισχώρηση των στερεών σωματιδίων στην εσωτερική δομή του διηθητικού υλικού, γιατί εάν συμβεί αυτό, δεν μπορούν να απομακρυνθούν πλέον από τον ηθμό.

Για τον λόγο αυτό, επιδιώκουμε την όχι μεγάλη ανάπτυξη διαφορικής πίεσης, η οποία θα τα βοηθήσει να εισχωρήσουν βαθιά μέσα στον ηθμό. Η διαφορική πίεση στην οποία ξεκινάει ο κύκλος καθαρισμού είναι συνήθως γύρω στην 1 ατμόσφαιρα (1 bar).

Το σύστημα πρέπει επίσης να είναι σχεδιασμένο ώστε ο κύκλος καθαρισμού να είναι μικρός σε διάρκεια (π.χ. 10 με 15 λεπτά της ώρας), έτσι ώστε να μην καθυστερεί η διαδικασία της διήθησης.

Ο χρόνος ανάμεσα σε δύο διαδοχικούς καθαρισμούς πρέπει αντιθέτως να είναι αρκετά μεγάλος, έτσι ώστε να αποφεύγονται τα συχνά σταματήματα στην διήθηση.

Επίσης, καθώς με κάθε κύκλο καθαρισμού των ηθμών χάνεται μαζί με τα σωματίδια, και μια ποσότητα του υγρού προϊόντος ίση με την περιεκτικότητα του δοχείου, όσο λιγότεροι καθαρισμοί γίνονται σε μια ημέρα, τόσο μικρότερες απώλειες προϊόντος υπάρχουν. Ένας ή δύο καθαρισμοί την ημέρα θεωρούνται ικανοποιητικοί, αν και σε κάποιες πολύ επιβαρημένες περιπτώσεις ο αριθμός αυτός αυξάνεται.

Σε εφαρμογές που απαιτείται συνεχής διήθηση ενός υγρού χωρίς να σταματάει η ροή του μετά το φίλτρο, δύο όμοια δοχεία τοποθετούνται συνδεδεμένα παράλληλα, με το ένα να λειτουργεί και το άλλο να βρίσκεται σε αναμονή :



Έτσι, όταν η διαφορική πίεση ανέβει και το φίλτρο που είναι σε λειτουργία χρειάζεται καθαρισμό, η ροή του υγρού οδηγείται στο δεύτερο δοχείο που είναι έτοιμο να αναλάβει την διήθηση, κ.ο.κ.

Το υλικό κατασκευής αυτών των ειδικών καθαριζόμενων ηθμών είναι συνήθως ο ανοξείδωτος χάλυβας, αν και κάποια πολυμερή όπως πολυπροπυλένιο ή πολυαραμίδια χρησιμοποιούνται επίσης στην κατασκευή τους, για εφαρμογές με χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας.

## 2. Αυτοκαθαριζόμενα συστήματα διήθησης αερίων με αντιροή.

( Gas Blowback Systems )

Οι ίδιες βασικές αρχές λειτουργίας που περιγράφηκαν παραπάνω, ισχύουν με κάποιες διαφορές στον σχεδιασμό τους, και στα αυτοκαθαριζόμενα συστήματα διήθησης αερίων.

Και εδώ στηρίζομαστε στην απομάκρυνση του στρώματος των μικροσωματιδίων που έχουν εναποτεθεί στην εξωτερική επιφάνεια των φίλτρων, κατευθύνοντας με φορά αντίθετη της φοράς διήθησης και πίεση πολλαπλάσια της πίεσης λειτουργίας, κάποιο αέριο - συνήθως άζωτο.

Στα αυτοκαθαριζόμενα συστήματα διήθησης αερίων, το πεπιεσμένο αέριο που συντελεί στον καθαρισμό, οδηγείται με ειδικά ακροφύσια σε κάθε ηθμό ξεχωριστά, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη ταχύτητα ροής και ο καλύτερος καθαρισμός τους.

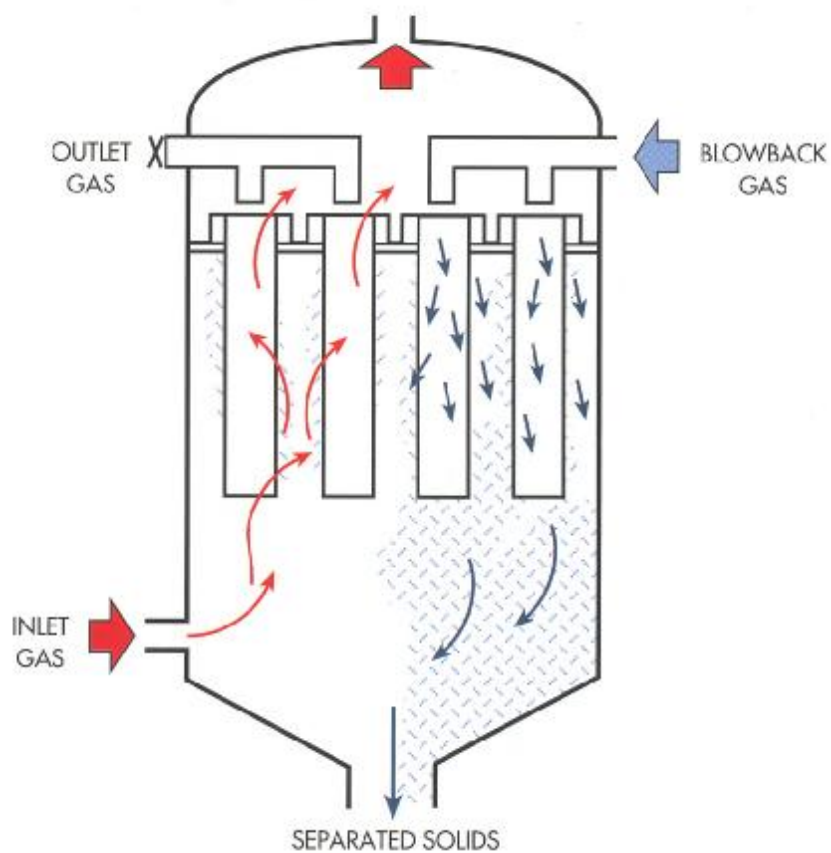
Και εδώ, η λειτουργία των διαφόρων βαλβίδων μπορεί να γίνεται χειροκίνητα ή πλήρως αυτοματοποιημένα, βάση της διαφορικής πίεσης που έχει αναπτυχθεί στους ηθμούς.

Ο χρόνος της εκτόνωσης του αερίου μέσα από τους ηθμούς για τον καθαρισμό τους, διαρκεί από 0,25 έως 1 δευτερόλεπτο.

Τα δοχεία των ηθμών στα αυτοκαθαριζόμενα συστήματα διήθησης αερίων είναι χωρισμένα σε ξεχωριστά τμήματα, καθ' ένα εκ των οποίων περιλαμβάνει ένα μέρος του συνολικού αριθμού των ηθμών.

Αυτός ο σχεδιασμός γίνεται έτσι ώστε στην ίδια χρονική στιγμή, οι ηθμοί που βρίσκονται σε κάποια από τα τμήματα να διηθούν κανονικά, ενώ οι υπόλοιποι να βρίσκονται στην διαδικασία του καθαρισμού.

Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατό σε ορισμένες περιπτώσεις να αποφύγουμε την εγκατάσταση δεύτερου δοχείου σε αναμονή.



Τα υλικά κατασκευής των ηθμών που χρησιμοποιούνται στα αυτοκαθαριζόμενα συστήματα διήθησης αερίων με αντροπή, μπορεί να είναι υαλονήματα (Glass fibre), ανοξείδωτος χάλυβας, ή κεραμικά για πολύ υψηλές θερμοκρασίες.

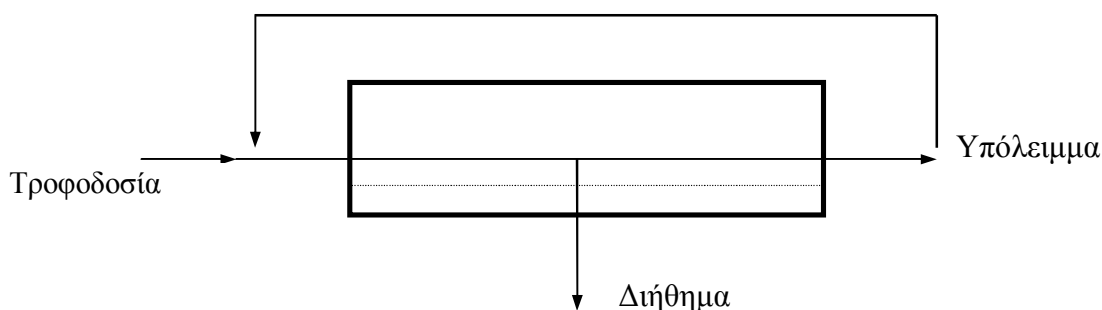
## 6. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΗΘΗΣΗΣ ΥΓΡΩΝ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ.

( Crossflow Filtration Systems )

Στην περίπτωση που η εφαρμογή απαιτεί την απομάκρυνση σωματιδίων πολύ μικρών διαστάσεων (μορίων που είναι διαλυμένα μέσα σε κάποιο υγρό), είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση συστημάτων διήθησης Εφαπτομενικής Τροφοδοσίας.

Σε αυτά τα συστήματα, το προς διήθηση υγρό με την εφαρμογή πίεσης και με δρώσα δύναμη την διαφορά της πίεσης, αναγκάζεται να περάσει εφαπτομενικά (παράλληλα) από μια μεμβράνη.

Ο τρόπος λειτουργίας των συστημάτων εφαπτομενικής διήθησης εικονίζεται σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα:



Η μεμβράνη ορίζεται σαν μια διεπιφάνεια η οποία είναι εκλεκτική στη μεταφορά μάζας των συστατικών ενός μείγματος επιτρέποντας την διέλευση ορισμένων και παρεμποδίζοντας την διέλευση άλλων.

Αυτή η ιδιότητα η οποία αποτελεί και αναγκαία συνθήκη για την λειτουργία της μεμβράνης ονομάζεται ημιπερατότητα.

Η ημιπερατότητα μιας μεμβράνης εξαρτάται από την φυσική δομή και την χημική σύσταση της.

Τα υλικά κατασκευής των μεμβρανών είναι κυρίως η πολυαιθερσουλφόνη, ή η πολυσουλφόνη, αλλά η κυτταρίνη ή το νάιλον είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν επίσης.

Ένας άλλος καθοριστικός παράγοντας εκτός της ημιπερατότητας, είναι και η δρώσα δύναμη η οποία ασκείται στην μεμβράνη.

Οι δύο παραπάνω παράγοντες σε συνδυασμό, καθορίζουν τον κύριο μηχανισμό του διαχωρισμού, και κατά συνέπεια το είδος της πρακτικής εφαρμογής μιας δεδομένης διαδικασίας, με σύστημα μεμβράνης εφαπτομενικής τροφοδοσίας.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογών εφαπτομενικής διήθησης είναι οι μέθοδοι της Υπερδιήθησης, και Αντίστροφης Όσμωσης.

#### Υπερδιήθηση :

Χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής της υπερδιήθησης, είναι ο διαχωρισμός από το νερό, μορίων μεγάλου μοριακού βάρους (π.χ. πρωτεϊνών).

Η ημιπερατότητα των μεμβρανών της υπερδιήθησης οφείλεται στην διαφορά μεγέθους των πόρων της μεμβράνης και των προς απομάκρυνση συστατικών, και λειτουργεί με τον μηχανισμό του "σουρώματος" (Sieving Effect).

Η πορώδης δομή τους είναι τέτοια έτσι ώστε όταν ένα υδατικό διάλυμα υποχρεωθεί να περάσει εφαπτομενικά από αυτές, οι μικρομοριακές ενώσεις, δηλαδή άλατα, ή μικρές οργανικές ενώσεις όπως σάκχαρα, θα τις διαπεράσουν. Αντιθέτως, μόρια μεγάλου μοριακού βάρους όπως πρωτεΐνες και άλλες πολυμερικές ενώσεις θα έχουν την τάση να συγκρατηθούν.

Ο διαχωρισμός επιτελείται στην επιφάνεια των μεμβρανών και όχι στο βάθος τους, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των ηθμών.



Ο διαχωρισμός γίνεται με βάση το μοριακό βάρος του κάθε συστατικού. Το ελάχιστο μοριακό βάρος του συστατικού που μας ενδιαφέρει να διαχωρίσουμε και που συγκρατείται κατά 90 - 95 % (ονομαστική συγκράτηση), χαρακτηρίζει την ικανότητα συγκράτησης της μεμβράνης και είναι γνωστή σαν τιμή αποκοπής (Cut Off Point).

Η μεμβράνη παρεμβάλλεται ανάμεσα σε δύο φάσεις και τις διαχωρίζει.

Η φάση προς την μεριά της τροφοδοσίας ονομάζεται υπόλειμμα και είναι η φάση του συμπυκνώματος η οποία περιέχει ό,τι δεν διαπερνά την μεμβράνη.

Η φάση μετά την μεμβράνη είναι το διήθημα και περιέχει τον διηθημένο υγρό διαλύτη, με τα συστατικά που έχουν διαπεράσει την μεμβράνη.

Το κύριο χαρακτηριστικό των συστημάτων διήθησης εφαπτομενικής τροφοδοσίας, είναι το γεγονός ότι τα συστατικά που συγκρατούνται δεν εναποτίθενται μόνιμα στην επιφάνεια ή το εσωτερικό των μεμβρανών, αλλά συμπαρασύρονται με την ροή του υγρού που ανακυκλοφορεί (υπόλειμμα) πάνω από την επιφάνεια της μεμβράνης.

Με αυτόν τον τρόπο λειτουργίας αποφεύγεται το βούλωμα των πόρων της μεμβράνης υπερδιήθησης και δίνεται έτσι η ικανότητα σε τέτοια συστήματα να λειτουργούν επί μακρά χρονικά διαστήματα σε εφαρμογές υψηλής επιβάρυνσης.

Η μέθοδος της υπερδιήθησης έχει την ικανότητα συγκράτησης συστατικών με μοριακό βάρος (MW) από : 100.000 έως 20.000 , (0,1 - 0,01  $\mu\text{m}$ ).

#### Αντίστροφη Ωσμωση :

Στην Αντίστροφη Ωσμωση, είναι δυνατός ο διαχωρισμός ιόντων στοιχείων που είναι πλήρως διαλυμένα μέσα στο διηθούμενο διαλύτη, με την βοήθεια ημιπερατών μεμβρανών.

Σε αυτήν την περίπτωση, η εκλεκτικότητά των μεμβρανών βασίζεται στις διαφορές της διαλυτότητας των συστατικών στο υλικό των μεμβρανών.

Η αρχή λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος, βασίζεται στο φαινόμενο της Ώσμωσης :

Όταν δύο διαφορετικής περιεκτικότητας διαλύματα διαχωρίζονται από μια ημιπερατή μεμβράνη, τότε παρατηρείται μια ροή του διαλύτη με κατεύθυνση τέτοια, ώστε η μοριακή περιεκτικότητα των δύο αυτών διαλυμάτων να τείνει να εξισωθεί. Έτσι, ο διαλύτης από το αραιότερο διάλυμα περνάει μέσα από την μεμβράνη, προς το πυκνότερο διάλυμα.

Η Ώσμωτική πίεση, είναι η πίεση εκείνη που πρέπει να ασκηθεί σε κάποιο διάλυμα υψηλής περιεκτικότητας, έτσι ώστε να μην συμβεί το φαινόμενο της ώσμωσης, δηλαδή να μην παρατηρηθεί ροή του διαλύτη από το αραιότερο διάλυμα προς το πυκνότερο.

Στην αντίστροφη ώσμωση, με την εφαρμογή πίεσης μεγαλύτερης της οσμωτικής, επιτυγχάνουμε το αντίθετο αποτέλεσμα, δηλαδή διαλύτης από το πεπιεσμένο πυκνότερο διάλυμα, περνάει μέσω της ημιπερατής μεμβράνης στο αραιότερο διάλυμα.

Έτσι επιτυγχάνουμε την μεγαλύτερη αραίωση του διαλύματος χαμηλής περιεκτικότητας, και την παραπάνω συμπύκνωση του διαλύματος υψηλής περιεκτικότητας.

Συχνή εφαρμογή της Αντίστροφης Ώσμωσης είναι ο διαχωρισμός διαλυμένων αλάτων και καθαρού νερού σε άλμη ή νερό θάλασσας.

Σε αυτήν την περίπτωση, με την εφαρμογή υψηλής πίεσης, το νερό από το υψηλό σε περιεκτικότητα αλάτων διάλυμα, περνά διαμέσου της μεμβράνης προς το καθαρό διάλυμα, αφήνοντας πίσω του ένα υψηλό συμπύκνωμα αλάτων και άλλων συστατικών.

Πρέπει να σημειώσουμε εδώ ότι η πίεση που πρέπει να ασκηθεί είναι ιδιαίτερος μεγάλη, αφού στην περίπτωση καθαρισμού της άλμης, η οσμωτική πίεση που πρέπει να υπερνικήσουμε, φθάνει τις 25 ατμόσφαιρες ( bar ).

Η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης έχει την ικανότητα συγκράτησης συστατικών με μοριακό βάρος ( MW ) από 500 έως 50.

Άλλα παραδείγματα συστημάτων διήθησης επαπτομενικής τροφοδοσίας, είναι :

- Νανοδιήθηση :

Παρόμοια μέθοδος με την υπερδιήθηση. Διαφορετικές μεμβράνες με πολύ μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης χρησιμοποιούνται εδώ, (20.000 - 200 MW). Κύρια εφαρμογή της μικροδιήθησης είναι η ψυχρή αποστείρωση.

- Διάλυση :

Στηρίζεται στο φαινόμενο της όσμωσης και την διαφορά της διαλυτότητας των διαφόρων συστατικών σε σχέση με την μεμβράνη (εκλεκτικότητα της ημιπερατής μεμβράνης). Η διαδικασία της διάλυσης χρησιμοποιείται στην μέθοδο τεχνητού νεφρού.

- Ηλεκτροδιάλυση :

Επιλεκτική ροή ιόντων διαμέσου της μεμβράνης, με την βοήθεια ηλεκτροδίων βυθισμένων στα δύο διαλύματα. Ηλεκτροστατικής φύσης διαχωρισμός, χρησιμοποιείται στην παραγωγή άλατος.

Η απόδοση ενός συστήματος διήθησης εφαπτομενικής τροφοδοσίας εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

1. Ροή ( Flux ).

Η ροή ορίζει την ποσότητα του περάσματος στην μονάδα του χρόνου και της επιφάνειας της μεμβράνης. Είναι ευθέως ανάλογη της διαπερατότητας της μεμβράνης και της δρώσας δύναμης. Εκφράζεται σε : λίτρα / ώρα.

2. Συντελεστής συγκράτησης ή απόρριψης ενός συστατικού.

Ο συντελεστής συγκράτησης εκφράζει την σχέση της συγκέντρωσης του συστατικού στο υπόλειμμα και στο διήθημα, και δίδεται σαν εκατοστιαίο ποσοστό:

$$\frac{( \text{Συγκέντρωση στο υπόλειμμα} - \text{Συγκέντρωση στο πέρασμα} )}{( \text{Συγκέντρωση στο υπόλειμμα} )} \times 100 \text{ (\% )}$$

Τόσο η ροή όσο και η συγκράτηση εξαρτώνται από τις συνθήκες λειτουργίας της μεμβράνης :

- Πίεση (Δρώσα δύναμη),
- Ροή τροφοδοσίας (στην περίπτωση ανακυκλοφορίας του υπολείμματος, από την ταχύτητα αυτής της ανακυκλοφορίας)
- Θερμοκρασία λειτουργίας.

Η μεμβράνη είναι συνήθως ένα φιλμ μικρού πάχους, της τάξης του χιλιοστού. Μαζί με το κέλυφος που την περικλείει και την στηρίζει, αποτελεί μια μοναδιαία διάταξη γνωστή ως Module. Μια εγκατάσταση συγκροτείται από πολλές τέτοιες μονάδες στην σειρά ή παράλληλα.

Άλλες παράμετροι απόδοσης εκτός από αυτές που χαρακτηρίζουν την μεμβράνη, για μια ολόκληρη εγκατάσταση, είναι επίσης :

- Βαθμός ανάκτησης (%), που αναφέρεται στη σχέση των όγκων περάσματος και τροφοδοσίας, με χρήση κυρίως στην αντίστροφη όσμωση και στην ανάκτηση νερού.
- Βαθμός ογκομετρικής μείωσης, που είναι η σχέση του τελικώς επιτυγχανομένου όγκου στο υπόλειμμα, σε σχέση με τον αρχικό όγκο τροφοδοσίας.
- Βαθμός συμπύκνωσης ενός συστατικού, που είναι η σχέση της τελικής του συγκέντρωσης στο υπόλειμμα, με την αρχική συγκέντρωση στην τροφοδοσία.

## 7. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ.

Τα συστήματα διαχωρισμού ρευστών είναι συστήματα τα οποία σαν σκοπό έχουν :

α. Τον διαχωρισμό της υγρής φάσης από την αέρια, όταν πρόκειται για ροή αερίου που συμπαρασύρει μικροσταγονίδια υγρών, ή

β. Τον διαχωρισμό δύο αναμειγμένων υγρών φάσεων.

Η κύρια διαφορά στην λειτουργία των συστημάτων διαχωρισμού από τα συστήματα διήθησης, έγκειται στο εξής :

Στις εφαρμογές διήθησης, σκοπός είναι η επίτευξη της καθαρότητας του ρευστού με την αποτροπή της διέλευσης της στερεής μικροσωματιδιακής επιμόλυνσης μετά από το φίλτρο.

Τα συστήματα διαχωρισμού όμως, δεν αποτρέπουν την διέλευση της υγρής φάσης που επιθυμούμε να απομακρύνουμε. Αντίθετα, επιτρέπουν την διέλευσή της και ανάλογα με το είδος του συστήματος και την κατασκευή του, συσπειρώσουν τα μικροσταγονίδια σε μεγάλες σταγόνες, οι οποίες κατόπιν απομακρύνονται από το υγρό ή το αέριο, με την βοήθεια της βαρύτητας.

Ο παραπάνω μηχανισμός είναι η βασική αρχή λειτουργίας των συστημάτων διαχωρισμού με ηθμούς μορφής φύσιγγας, τα οποία ονομάζονται "Συσπειρωτές" (Coalescers).

Βασική προϋπόθεση για την λειτουργία των συστημάτων διαχωρισμού που λειτουργούν με τον μηχανικό τρόπο που περιγράψαμε παραπάνω, είναι το προς απομάκρυνση υγρό να βρίσκεται σε ελεύθερη μορφή μέσα στο ρευστό, μιας και τέτοια συστήματα δεν έχουν την ικανότητα να επέμβουν σε επίπεδο διαλυμένων μορίων και να τα απομακρύνουν.

Για παράδειγμα, ένα coalescer, έχει την ικανότητα να αφαιρέσει το σύνολο των μικροσταγονιδίων νερού ή λαδιού από κάποιο ρεύμα πεπιεσμένου αέρα, όχι όμως και την υγρασία που ενδεχομένως ο αέρας αυτός να συμπαρασύρει με την μορφή υδρατμών.

Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση δύο αναμειγμένων υγρών π.χ. πετρέλαιο και νερό. Ένα coalescer έχει την δυνατότητα διαχωρισμού και απομάκρυνσης μόνο της ποσότητας του νερού που βρίσκεται ελεύθερο σαν μικροσταγονίδια αναμειγμένα στο πετρέλαιο με την μορφή γαλακτώματος, και όχι της ποσότητας του νερού που είναι διαλυμένη μέσα σε αυτό σε μοριακό επίπεδο.

Για εφαρμογές διαχωρισμού υγρών που βρίσκονται διαλυμένα μέσα σε κάποιο ρευστό, προτείνονται συστήματα που έχουν την ικανότητα να επιδρούν χημικά, όπως Ξηραντήρες Αλουμίνας (Silica Gel), Ξηραντήρες Αλατιού (Salt Driers), ή φίλτρα Ενεργού Άνθρακα (Active Carbon).

Εκτός των Coalescers την λειτουργία των οποίων θα αναπτύξουμε στο επόμενο κεφάλαιο, υπάρχουν και διάφορα άλλα συστήματα μηχανικού διαχωρισμού, όπως :

- Δοχεία Διαχωρισμού ( Knock-Out Drums ).

Μέθοδος διαχωρισμού υγρής φάσης συμπαρασυρόμενης στην ροή κάποιου αερίου. Είναι απλοί σχεδιασμοί δοχείων με τέτοια εσωτερική διαμόρφωση, έτσι ώστε κατά τη ροή του αερίου, οι σταγόνες που μεταφέρονται να προσκρούουν σε ειδικά σημεία, να συγκρατούνται εκεί, και κατόπιν να αποστραγγίζονται με την βοήθεια της βαρύτητας από την αποστράγγιση στον πυθμένα του δοχείου.

Χρησιμοποιούνται σαν πρώτη φάση διαχωρισμού σε περιπτώσεις αερίων με πολύ μεγάλη επιβάρυνση. Το ελάχιστο μέγεθος σταγονιδίων που ένα τέτοιο σύστημα είναι ικανό να απομακρύνει είναι τα 300  $\mu\text{m}$ . Δεν έχει αποτελεσματικότητα σε περιπτώσεις αερίων που συμπαρασύρουν σταγονίδια πολύ μικρού μεγέθους (aerosols).

- Αφυγραντήρες ( Demisters ).

Μέθοδος διαχωρισμού υγρής φάσης συμπαρασυρόμενης στην ροή κάποιου αερίου. Το προς καθαρισμό αέριο οδηγείται μέσα από ένα στρώμα από μεταλλικά ή πλαστικά πλέγματα (σήτες), ή μέσα από σειρές από ειδικά διαμορφωμένες λάμες. Τα σταγονίδια προσκρούουν εκεί, ενώνονται σε μεγαλύτερες σταγόνες και αποστραγγίζονται με την

βοήθεια της βαρύτητας. Ο μηχανισμός συγκράτησης που χρησιμοποιείται εδώ, είναι η πρόσκρουση λόγω αδράνειας (Inertial Impaction). Δεν έχουν ικανότητα απομάκρυνσης σταγονιδίων μικρότερων των 10  $\mu\text{m}$ .

- Φυγοκεντρικοί Διαχωριστές ( Cyclonic / Centrifugal Separators ).

Μέθοδος διαχωρισμού υγρής φάσης συμπαρασυρόμενης στην ροή κάποιου αερίου. Στην περίπτωση αυτή, το αέριο οδηγείται μέσα από μια σπειροειδή διάταξη η οποία το υποχρεώνει να στροβιλιστεί. Οι φυγόκεντρες δυνάμεις που επιδρούν στα σταγονίδια είναι αρκετά ισχυρές, έτσι ώστε να τα διαχωρίζουν από το αέριο.

Και αυτή η μέθοδος είναι αποτελεσματική για μεγάλα μεγέθη σταγονιδίων, και δεν χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό σταγονιδίων μικρότερων των 10  $\mu\text{m}$ .

- Δεξαμενές Καθίζησης ( Settling Tanks ).

Μέθοδος διαχωρισμού δύο αναμειγμένων υγρών φάσεων. Τα δύο υγρά αφήνονται να ηρεμήσουν μέσα σε δεξαμενή, έτσι ώστε η φάση με το μεγαλύτερο ειδικό βάρος να διαχωριστεί από την ελαφρύτερη, καθιζάνοντας στον πυθμένα.

Δεν έχει αποτελεσματικότητα σε περιπτώσεις αναμειγμένων υγρών με παρόμοια ειδικά βάρη, και μικρές δυνάμεις συνοχής των μορίων τους τα οποία είναι πολύ σταθερά γαλακτώματα και δεν είναι δυνατόν να διασπαστούν λόγω της βαρύτητας.

- Ηλεκτροστατικοί Διαχωριστές ( Electrostatic Precipitators ).

Μέθοδος διαχωρισμού δύο αναμειγμένων υγρών φάσεων. Τα δυο υγρά διαχωρίζονται ηλεκτροστατικά, με την βοήθεια ηλεκτροδίων και μιας ηλεκτρικής πηγής υψηλής τάσης. Οι διαχωριστές αυτού του τύπου δεν είναι αποτελεσματικοί για αναμειγμένα υγρά με μικρές δυνάμεις συνοχής των μορίων τους.

- Κλίνες Άμμου ( Sand Beds ).

Μέθοδος διαχωρισμού δύο αναμειγμένων υγρών φάσεων. Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου αυτής είναι η ίδια με τους Συσπειρωτές (Coalescers). Τα μικρά σε μέγεθος σταγονίδια προσροφώνται από τους κόκκους της άμμου και σχηματίζουν μεγάλες σταγόνες οι οποίες απομακρύνονται με την βοήθεια της βαρύτητας.

Δεν είναι ικανά για τον διαχωρισμό αναμειγμένων υγρών με μικρές δυνάμεις συνοχής των μορίων τους, και η αποτελεσματικότητά τους επηρεάζεται πολύ από την πυκνότητα στοίβαξης της άμμου.

- Πύργοι Αφύγρανσης με Υποπίεση ή Κενό ( Vacuum Dehydration Towers ).

Μέθοδος διαχωρισμού δύο αναμειγμένων υγρών φάσεων. Τα δυο υγρά διαχωρίζονται με την δημιουργία υποπίεσης (κενού), σε μια στήλη απόσταξης. Το υγρό με το χαμηλότερο σημείο ζέσεως εξατμίζεται πρώτο και ανεβαίνει προς το επάνω μέρος της στήλης όπου και απομακρύνεται.

Είναι μια πολύ αποτελεσματική μέθοδος, με ικανότητα διαχωρισμού ακόμη και κάτω από το όριο της διαλυτότητας των δύο υγρών. Μειονεκτήματα των πύργων κενού είναι η δυσκολία του απόλυτου ελέγχου της διαδικασίας εξάτμισης, και η ευαισθησία του συστήματος σε περιπτώσεις όπου το προς καθαρισμό υγρό, είναι ιδιαίτερα επιβαρυνμένο με την προς απομάκρυνση υγρή φάση.



## **8. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΜΕ ΗΘΜΟΥΣ ΜΟΡΦΗΣ ΦΥΣΙΓΓΑΣ ( ΣΥΣΠΕΙΡΩΤΕΣ / COALESCERS ).**

Τα συστήματα διαχωρισμού με ηθμούς μορφής φύσιγγας είναι συστήματα τα οποία διαχωρίζουν και απομακρύνουν την φάση της υγρής επιμόλυνσης από το προς καθαρισμό ρευστό, χρησιμοποιώντας ηθμούς ειδικής κατασκευής.

Όπως και τα συστήματα διήθησης, οι συσπειρωτές αποτελούνται από δύο βασικά μέρη :

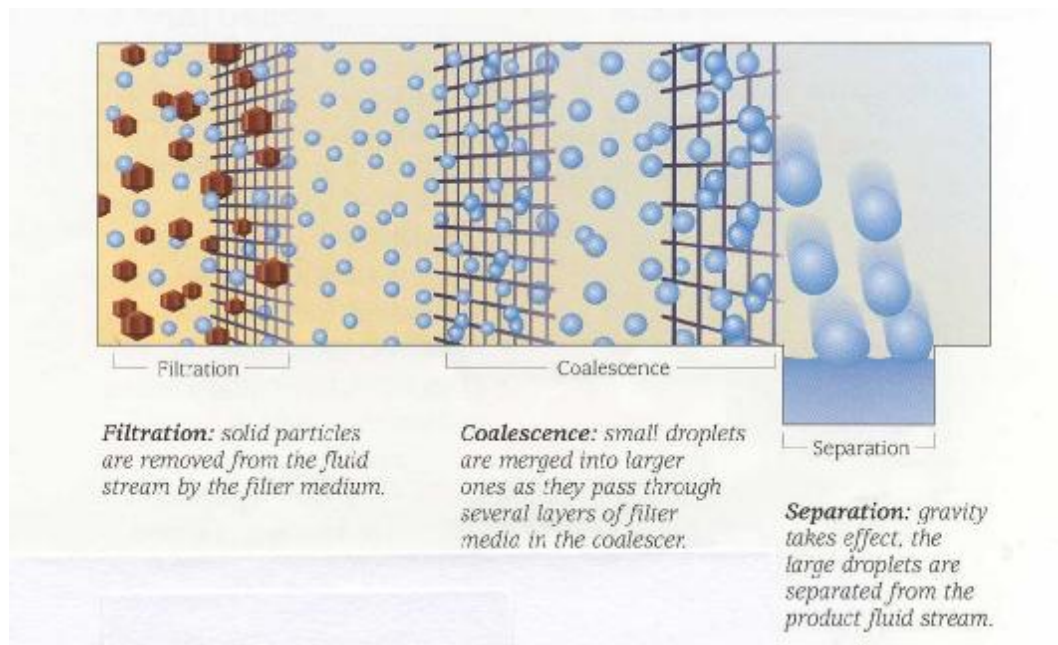
1. Το δοχείο μέσα στο οποίο εφαρμόζει ο ηθμός,
2. Την φύσιγγα coalescer που πραγματοποιεί τον επιθυμητό διαχωρισμό.

Όσον αφορά στα δοχεία, αυτά είναι σε αντιστοιχία με τα δοχεία των συστημάτων διήθησης που έχουμε ήδη παρουσιάσει.

Η λειτουργία των συστημάτων διαχωρισμού με ηθμούς μορφής φύσιγγας όσον αφορά την στερεή μικροσωματιδιακή επιβάρυνση, είναι αντίστοιχη των συστημάτων διήθησης. Οι φύσιγγες των συσπειρωτών (Coalescer Cartridges) έχουν δηλαδή την ικανότητα να συγκρατούν τα στερεά σωματίδια μέσα στην δομή του υλικού τους όπως και οι κοινοί ηθμοί, πράγμα που σε πολλές εφαρμογές είναι χρήσιμο.

Η βασική λειτουργία τους όμως, είναι ο διαχωρισμός και η απομάκρυνση της φάσης της υγρής επιμόλυνσης από κάποιο υγρό ή αέριο και έτσι πολλές φορές ανάλογα με τον κατασκευαστή, σε περιπτώσεις με μεγάλη σωματιδιακή επιβάρυνση προηγείται ένα στάδιο προκατεργασίας του ρευστού από κάποιο προφίλτρο στερεών, έτσι ώστε να παρέχεται προστασία στις φύσιγγες coalescer οι οποίες συνήθως είναι ακριβότερες των ηθμών διήθησης.

Η αρχή λειτουργίας των διαχωριστών - coalescers όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, είναι η συσπείρωση των προς απομάκρυνση μικροσταγονιδίων τα οποία βρίσκονται αναμειγμένα στο ρευστό, σε μεγάλες σταγόνες που σχηματίζουν μια ομοιογενή υγρή φάση η οποία είναι πλέον εύκολο να απομακρυνθεί, τις περισσότερες φορές με την βοήθεια της βαρύτητας .



Στην περίπτωση των φυσίγγων coalescer, για να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα, η ροή γίνεται με την αντίθετη φορά από αυτή στους ηθμούς διήθησης, δηλαδή από το εσωτερικό του ηθμού προς τα έξω.

Στην συνέχεια θα αναπτύξουμε διεξοδικά την λειτουργία των δύο διαφορετικών συστημάτων coalescers που υπάρχουν, τα συστήματα Υγρού-Αερίου και τα συστήματα Υγρού-Υγρού.

### ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΥΓΡΟΥ-ΑΕΡΙΟΥ (Liquid/Gas Coalescers).

Τα συστήματα Liquid/gas coalescer χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές στις οποίες επιθυμούμε να αφαιρέσουμε μικροσταγονίδια κάποιου υγρού τα οποία συμπαρασύρονται στην ροή ενός πεπιεσμένου αερίου.

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι δημιουργίας των aerosols μέσα σε ρεύματα πεπιεσμένων αερίων :

- Όταν τα μικροσταγονίδια συμπαρασύρονται από την ροή του αερίου (Liquid reentrainment).
- Όταν υπάρχει ροή μέσα από βαλβίδες ή άλλου είδους περιορισμένες διατομές (Ψεκάσμος - Atomization).
- Όταν κορεσμένοι ατμοί του υγρού συμπυκνώνονται (Condensation) με την πτώση της θερμοκρασίας του αερίου.

Πρόσφατες μελέτες στην διασπορά του μεγέθους των σταγονιδίων σε ρεύματα φυσικού αερίου, κατέδειξαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Στην πρώτη περίπτωση των συμπαρασυρόμενων aerosols, το μέγεθός τους είναι αρκετά μεγάλο, από 400  $\mu\text{m}$  έως 2 ή 3 χιλιοστά.. Η περιεκτικότητα ενός αερίου όμως σε τέτοιου είδους σταγονίδια είναι σχετικά μικρή, καθώς κατέχουν λιγότερο από το 20% της συνολικής επιβάρυνσης.

Στην περίπτωση του ψεκάσμου το μέγεθος των aerosols είναι μικρότερο, από 10 έως 200  $\mu\text{m}$ , κατέχοντας γύρω λιγότερο από το 30% της συνολικής επιβάρυνσης.

Τέλος, η περίπτωση της συμπύκνωσης του κορεσμένου ατμού είναι αυτή που επιβαρύνει περισσότερο με μικροσταγονίδια το αέριο. Εδώ, το μέγεθος των aerosols κυμαίνεται από 0,1 έως 3  $\mu\text{m}$ , κατέχοντας το 50% περίπου της συνολικής επιβάρυνσης.

Άλλες μελέτες στην διασπορά του μεγέθους συμπαρασυρόμενων σταγονιδίων λαδιού σε αέρια αμέσως μετά από διάφορους τύπους συμπιεστών, έδειξαν ότι το 90% κατά βάρος των μικροσταγονιδίων είναι μεγέθους από 0,1 έως 0,45  $\mu\text{m}$ .

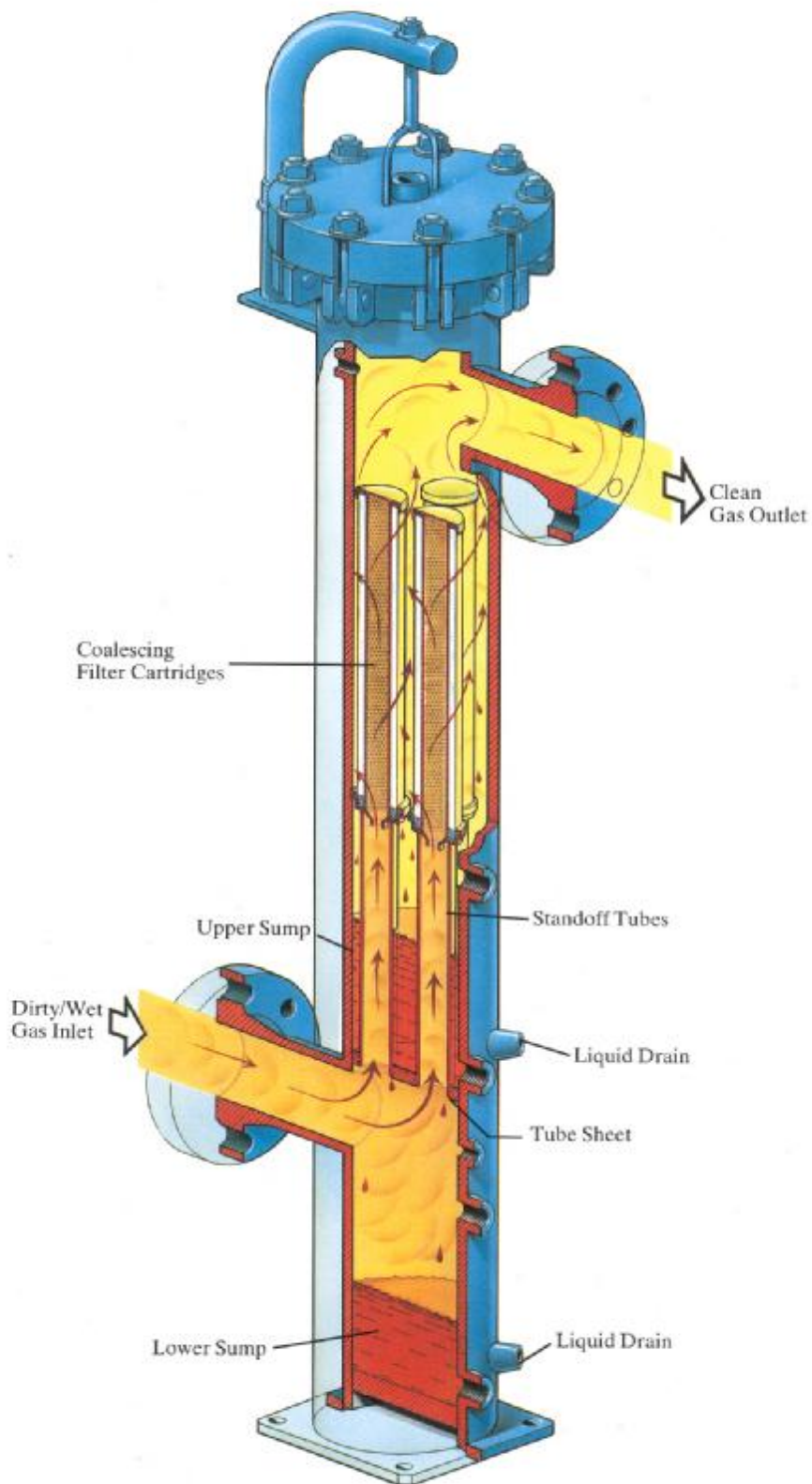
Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα άλλα συστήματα διαχωρισμού υγρού/αερίου δεν είναι ικανά για την απομάκρυνση μικροσταγονιδίων μικρότερων των 10  $\mu\text{m}$ , καταλαβαίνουμε ότι ένα σύστημα Liquid/gas coalescer είναι η καλύτερη λύση για την προστασία μηχανολογικού εξοπλισμού ή την ανάκτηση πολύτιμων υγρών συμπαρασυρόμενα σε ρεύματα αερίων.

Ένα καλής ποιότητας σύστημα, μπορεί να απομακρύνει και τα πολύ μικρά σε μέγεθος σταγονίδια, μέχρι και 0,1  $\mu\text{m}$ . Αυτό το γεγονός, σε συνδυασμό με την αμελητέα περιεκτικότητα σε μικροσταγονίδια στην έξοδό του (0,003 ppmw από 1.000 ppmw αρχική τιμή στην είσοδο), καθιστά τα συστήματα Liquid/gas coalescer την πλέον αποτελεσματική μέθοδο διαχωρισμού υγρού/αερίου.

Η τιμή των 1.000 ppmw βρίσκεται κοντά στο ανώτατο όριο περιεκτικότητας aerosol σε κάποιο αέριο που μπορεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά ένα σύστημα Liquid/gas coalescer. Σε περιπτώσεις υψηλότερης επιβάρυνσης συνιστάται η χρησιμοποίηση κάποιου δοχείου διαχωρισμού πριν από το τελικό coalescer.

Ορισμένοι κατασκευαστές μάλιστα, διαμορφώνουν το τμήμα της εισόδου του δοχείου (πριν από την πλάκα στήριξης με τους ηθμούς coalescer), με τρόπο τέτοιο ώστε αυτό να βοηθά στην απομάκρυνση των μεγαλύτερου μεγέθους σταγονιδίων (> 300  $\mu\text{m}$ ) ή ακόμα και τυχόν εισρέουσα συνεχόμενη υγρή φάση, μέσω της χαμηλότερης βαλβίδας αποστράγγισης.

## The Pall LG Coalescer Assembly



Ο βασικός μηχανισμός συγκράτησης που λειτουργεί σε ένα σύστημα Liquid/gas coalescer και του δίνει την ικανότητα διαχωρισμού σταγονιδίων τόσο μικρού μεγέθους, είναι η συγκράτηση λόγω διάχυσης (κινήσεις Brown στα μόρια των αερίων).

Η κατασκευή των φυσιγγων coalescer αποτελείται από ένα πυκνό πτυχωτό πλέγμα ινών (glass fibres) πολύ μικρής διαμέτρου, το οποίο περιβάλλεται εξωτερικά από ένα δεύτερο στρώμα με σκοπό αποστραγγιστικό.

Τα μικροσταγονίδια που εισέρχονται στην εσωτερική πλευρά της δομής του πλέγματος των ινών της φύσιγγας - καθώς η ροή του αερίου είναι από μέσα προς τα έξω - συγκρατούνται πάνω σε αυτές και ενώνονται μεταξύ τους σε μεγαλύτερου μεγέθους σταγονίδια.

Τα σταγονίδια αυτά, κινούμενα επάνω στις ίνες μαζί με την ροή του αερίου μέσα στον ηθμό, συνεχίζουν να συσπειρώνονται σε όλο και μεγαλύτερα. Έτσι, φθάνοντας στο εξωτερικό του, έχουν γίνει μεγάλες σταγόνες με μεγέθη από 0,5 έως και 2,2 χιλιοστά.

Αυτές οι σταγόνες παρασύρονται προς την βάση της φύσιγγας και έξω από την ροή του αερίου, με την βοήθεια της βαρύτητας (η φύσιγγα έχει πάντοτε κατακόρυφο προσανατολισμό). Το αέριο συνεχίζει - καθαρό από τα μικροσταγονίδια - την πορεία του προς την έξοδο η οποία βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο του δοχείου, ενώ το υγρό που συγκεντρώνεται στην βάση του θαλάμου που περιέχει τις φύσιγγες, απομακρύνεται από μια δεύτερη βαλβίδα αποστράγγισης.

Υπάρχουν κάποια σημεία στην κατασκευή και τον σχεδιασμό των συστημάτων Liquid/gas coalescer, στα οποία κάθε κατασκευαστής οφείλει να δώσει ιδιαίτερη προσοχή προκειμένου ένα τέτοιο σύστημα να λειτουργήσει ικανοποιητικά.

α. Η περιεκτικότητα του αερίου σε μικροσταγονίδια και στερεά σωματίδια :

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, σε ιδιαίτερα βεβαρημένες περιπτώσεις συνιστάται η χρησιμοποίηση κάποιου προφίλτρου ή/και κάποιου πρώτου δοχείου διαχωρισμού.

β. Η ταχύτητα του αερίου μέσα από το υλικό της φύσιγγας coalescer :

Η διαστασιολόγηση του συστήματος πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η ταχύτητα με την οποία διαπερνάει το αέριο την φύσιγγα, να μην είναι τόσο μεγάλη ώστε να διασπάσει τις ήδη σχηματισμένες μεγάλες σταγόνες σε μικρότερες, οι οποίες είναι εύκολο να παρασυρθούν και πάλι από το αέριο ρεύμα.

Για μια σταθερή παροχή αερίου, η ταχύτητα διάμεσου της φύσιγγας μπορεί να ελεγχθεί είτε μεγαλώνοντας το μέγεθος των πόρων της δομής των ινών - πράγμα που δεν συνιστάται γιατί έτσι μειώνεται η αποτελεσματικότητά του, είτε αυξομειώνοντας τον αριθμό των φύσιγγων που χρησιμοποιούνται στην συγκεκριμένη εφαρμογή.

γ. Η ικανότητα αποστράγγισης της φύσιγγας coalescer :

Κατά την διέλευση των σταγονιδίων μέσα από την φύσιγγα, η εφαρμοζόμενη δύναμη από την βαρύτητα σε αυτά, συνεχώς αυξάνεται καθώς μεγαλώνει η μάζα τους. Έτσι, όσο καλύτερα και γρηγορότερα το υλικό της φύσιγγας αφήνει τις σταγόνες να παρασυρθούν από την βαρύτητα προς το κάτω άκρο της, τόσο λιγότερες σταγόνες εμφανίζονται στην εξωτερική επιφάνειά της και ιδιαίτερα στο άνω άκρο της, μέρη στα οποία είναι πολύ πιθανό να παρασυρθούν από το αέριο και να επανέλθουν στην ροή του.

Είναι πολύ σημαντικό λοιπόν το ίδιο το υλικό της φύσιγγας των Liquid/gas coalescers να έχει υψηλή ικανότητα αποστράγγισης. Για αυτόν τον λόγο υπάρχει και το εξωτερικό στρώμα αποστράγγισης, το οποίο έχει την καλύτερη δυνατή απόδοση όταν έχει κατεργασθεί κατάλληλα, έτσι ώστε να είναι υδρόφοβο και ολεόφοβο.

Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται το γρήγορο σούρωμα των σταγόνων στο εσωτερικό του, με αποτέλεσμα τα ανώτερα 2/3 της εξωτερικής επιφάνειας της φύσιγγας να παραμένουν στεγνά, χωρίς τον κίνδυνο του εκ νέου συμπαρασυρμού των σταγονιδίων από το αέριο.

δ. Η ταχύτητα του αερίου αμέσως μετά τις φύσιγγες ( Annular velocity ) :

Σε περίπτωση που η ταχύτητα με την οποία το αέριο αφήνει τις φύσιγγες είναι μεγάλη, υπάρχει κίνδυνος συμπαρασυρμού των σταγόνων που έχουν συγκεντρωθεί στην εξωτερική επιφάνεια τους ξανά μέσα στην ροή του αερίου, πράγμα που σημαίνει ότι το coalescer δεν έχει επιτελέσει τον σκοπό για τον οποίο έχει τοποθετηθεί.

Τρόπος ελέγχου αυτής της παραμέτρου λειτουργίας ενός συστήματος διαχωρισμού υγρού/αερίου, είναι η αυξομείωση του μεγέθους του δοχείου, ή των αποστάσεων μεταξύ των φυσίγγων μέσα σε αυτό.

Σε συνδυασμό με το προηγούμενο χαρακτηριστικό της ικανότητας αποστράγγισης του ηθμού, η annular velocity μπορεί να είναι σε υψηλά επίπεδα χωρίς πρόβλημα στην λειτουργία του coalescer, όταν αυτό έχει υποστεί την υδρόφοβη και ολεόφοβη κατεργασία. Με αυτόν τον τρόπο, μικρότερα σε μέγεθος - και άρα οικονομικότερα συστήματα - είναι ικανά να αντεπεξέλθουν σε εφαρμογές με υψηλές παροχές.

Ένας άλλος βασικός παράγοντας που επηρεάζει την αποτελεσματικότητα του διαχωρισμού ενός συσπειρωτή υγρού/αερίου, είναι η θερμοκρασία λειτουργίας του. Όσο υψηλότερη η θερμοκρασία του αερίου, τόσο αυξάνεται και το σημείο κορεσμού του, δηλαδή η ποσότητα της επιμόλυνσης που μπορεί να διαλυθεί μέσα σε αυτό υπό μορφή ατμού. Έτσι, καθώς ένα coalescer μπορεί να διαχωρίζει μόνο τα αδιάλυτα μικροσταγονίδια, σε υψηλές θερμοκρασίες η ποσότητα του υγρού που παραμένει διαλυμένη στο αέριο είναι υψηλή.

Όταν λοιπόν μετά τον διαχωρισμό η θερμοκρασία του για κάποιο λόγο ελαττωθεί, μειώνεται και το σημείο κορεσμού του, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται εκ νέου ελεύθερα σταγονίδια της φάσης της επιμόλυνσης. Για τον λόγο αυτό, η θερμοκρασία λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος πρέπει πάντοτε να είναι η χαμηλότερη δυνατή.



Η δρώσα δύναμη που χρησιμοποιείται για τον μηχανισμό διαχωρισμού των συστημάτων Liquid/gas coalescer που περιγράφηκε παραπάνω, είναι η πίεση που αναπτύσσεται από την ροή του αερίου μέσα στο υλικό της φύσιγγας. Η αρχική πτώση πίεσης σε ένα σωστά διαστασιολογημένο σύστημα είναι του μεγέθους των 100 ή 200 mbar.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, οι φύσιγγες coalescer εκτός της ιδιότητάς τους να διαχωρίζουν τα συμπαρασυρόμενα από κάποιο αέριο σταγονίδια, δρουν και σαν ηθμοί στερεών σωματιδίων - κάποια από αυτά με μεγάλη ικανότητα συγκράτησης (0,3 μm).

Όσο αυξάνονται τα συσσωρευμένα στερεά σωματίδια μέσα στην δομή του υλικού της φύσιγγας, τόσο αυξάνεται και η πτώση της πίεσης. Συνήθης τιμή  $\Delta p$  στην οποία απαιτείται αντικατάσταση των φύσιγγων με καινούργιους, είναι το 1 bar.

Στις περισσότερες εφαρμογές όμως, η μικροσωματιδιακή επιβάρυνση των αερίων δεν είναι ιδιαίτερα αυξημένη. Έτσι, σπάνια η πτώση πίεσης ανεβαίνει στο 1 bar και για αυτό προτείνεται η αντικατάσταση των φύσιγγων μετά από 12 μήνες λειτουργίας τους, κυρίως λόγω της φυσικής φθοράς του υλικού κατασκευής τους.

Τυπικό παράδειγμα εφαρμογής ενός συστήματος Liquid/gas coalescer είναι η απομάκρυνση λαδιού και νερού από ρεύμα πεπιεσμένου αέρα προερχόμενου από συμπιεστή λιπαινόμενου με λάδι.

Ακόμη, απομακρύνοντας σταγονίδια νερού τα οποία περιέχουν διαλυμένα άλατα όπως χλωριούχο αμμώνιο από ρεύματα υδρογόνου ή αερίων υδρογονανθράκων, προσφέρουμε την κατάλληλη προστασία από διάβρωση, σε τμήματα του μηχανολογικού εξοπλισμού ενός διωλιστηρίου, όπως συμπιεστές και καυστήρες.

Επίσης, απομακρύνοντας την υγρή φάση από διάφορα αέρια, προστατεύουμε και βοηθούμε στην ομαλή λειτουργία άλλων συστημάτων διαχωρισμού τα οποία απομακρύνουν τους υδρατμούς ή άλλα διαλυμένα στο αέριο υγρά, ρίχνοντας το σημείο δρόσου (dew point) σε αυτά.

Τέτοια συστήματα όπως πύργοι γλυκόλης (glycol towers), ξηραντήρες αλουμίνας (silica gel dryers), ή μεμβράνες διαχωρισμού, είναι μεν ικανά να επιδρούν σε μοριακό επίπεδο

και να απομακρύνουν τα διαλυμένα στο αέριο μόρια - πράγμα για το οποίο δεν είναι ικανά τα coalescers - αλλά είναι και ιδιαίτερα ευαίσθητα στην περίπτωση που σημαντικές ποσότητες υγρού σε ελεύθερη μορφή εισέρχονται μέσα σε αυτά μαζί με το αέριο.

Ένα υψηλής αποτελεσματικότητας Liquid/gas coalescer είναι ικανό να απομακρύνει την ελεύθερη φάση του υγρού που συμπαρασύρεται με ένα αέριο, μειώνοντας κατακόρυφα το κόστος συντήρησης τέτοιων ξηραντήρων ή μεμβρανών διαχωρισμού, συντείνοντας στην καλή λειτουργία τους.

### ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΥΓΡΟΥ-ΥΓΡΟΥ (Liquid/Liquid Coalescers).

Τα συστήματα Liquid/liquid coalescer χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές στις οποίες επιθυμούμε να διαχωρίσουμε δύο διαφορετικές φάσεις υγρών οι οποίες βρίσκονται αναμειγμένες μεταξύ τους.

Σε πολλές περιπτώσεις στη χημική βιομηχανία και στα διωλιστήρια, κάποιο βασικό για μια διεργασία υγρό (π.χ. αμμωνία), ή ακόμη και κάποιο τελικό προϊόν (π.χ. πετρέλαιο), περιέχουν σημαντικές ποσότητες μιας υγρής φάσης επιμόλυνσης (π.χ. λάδι ή νερό), οι οποίες πρέπει να απομακρυνθούν προκειμένου να εξασφαλισθεί η ικανοποιητική λειτουργία των μονάδων και να τηρηθούν οι απαιτούμενες προδιαγραφές

Η υγρή επιμόλυνση είναι διασκορπισμένη μέσα στην προς καθαρισμό φάση, με την μορφή μικροσταγονιδίων μεγέθους 0,1 - 10  $\mu\text{m}$ , τα οποία προσδίδουν μια θολούρα στην όψη του υγρού, δημιουργώντας ένα "γαλάκτωμα" (emulsion).

Παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα του διαχωρισμού ενός συστήματος Liquid/liquid coalescer, είναι : Η Διεπιφανειακή Τάση (IFT), το Ιξώδες και το Ειδικό Βάρος των αναμειγμένων υγρών, καθώς και η Θερμοκρασία στην οποία γίνεται ο διαχωρισμός.

### Διεπιφανειακή Τάση (Interfacial Tension - IFT) :

Κυριότερος παράγοντας καθορισμού του μεγέθους των διασκορπισμένων σταγονιδίων της φάσης της επιμόλυνσης μέσα στο υγρό, άρα και του βαθμού της δυσκολίας του διαχωρισμού κάποιου γαλακτώματος, είναι η Διεπιφανειακή Τάση.

Η Διεπιφανειακή Τάση εκφράζει το μέγεθος των ελκτικών δυνάμεων που αναπτύσσονται ανάμεσα στα ομοειδή μόρια των δύο αναμειγμένων υγρών φάσεων.

Καταλαβαίνουμε ότι όσο μικρότερη είναι η τιμή της IFT, τόσο μεγαλύτερη είναι και η διασπορά της επιμόλυνσης με πολύ μικρού μεγέθους σταγονίδια. Σε αυτήν την περίπτωση η σταθερότητα του γαλακτώματος είναι μεγάλη, και ο διαχωρισμός των δύο φάσεων πολύ δύσκολος.

Η Διεπιφανειακή Τάση έρχεται ως αντιστοιχία της Επιφανειακής Τάσεως, η οποία εκφράζει το μέγεθος των ελκτικών δυνάμεων που αναπτύσσονται ανάμεσα στα μόρια ενός υγρού που έρχεται σε επαφή με τον αέρα, και είναι υποδεκαπλάσια αυτής.

Τυπικό μέγεθος μέτρησης της IFT είναι τα dynes / cm.

Γαλακτώματα αναμειγμένων υγρών με τιμές IFT < 10 dynes/cm είναι πολύ σταθερά και μπορούν να διαχωριστούν μόνο με την χρησιμοποίηση συστημάτων Liquid/liquid coalescer.

### Ιξώδες :

Ο μηχανισμός του διαχωρισμού των συσπειρωτών υγρού/υγρού είναι ο ίδιος με αυτόν των συσπειρωτών υγρού/αερίου. Τόσο η κίνηση των μικροσταγονιδίων της φάσης της επιμόλυνσης μέσα στο υγρό, όσο και η συσπείρωσή τους σε μεγαλύτερες σταγόνες, είναι φαινόμενα που επηρεάζονται αρνητικά όταν οι τιμές του ιξώδους του γαλακτώματος είναι μεγάλες.

### Ειδικό Βάρος :

Τα ειδικά βάρη των δύο αναμειγμένων υγρών φάσεων, είναι και αυτά ένας παράγοντας που παίζει ρόλο στην ευκολία με την οποία μπορεί να γίνει ένας διαχωρισμός. Όσο οι τιμές αυτών είναι πιο κοντινές, τόσο η ανάμειξή τους είναι σταθερότερη και ο διαχωρισμός τους δυσκολότερος.

### Θερμοκρασία :

Η θερμοκρασία στην οποία γίνεται ο διαχωρισμός, είναι επίσης καθοριστική για την ποιότητα του διαχωρισμού.

Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία, τόσο ελαττώνεται η τιμή του IFT, μικραίνοντας έτσι το μέγεθος των σταγονιδίων της φάσης της επιμόλυνσης κάνοντας δύσκολο τον διαχωρισμό.

Επιπροσθέτως, υπάρχει πλήρης αντιστοιχία με την επίδραση της υψηλής θερμοκρασίας στα συστήματα υγρού/αερίου. Και εδώ, λόγω της αύξησης του σημείου κορεσμού του υγρού από την φάση της επιμόλυνσης που διαλύεται μέσα σε αυτό, οι υψηλές θερμοκρασίες συντείνουν στην μειωμένη αποτελεσματικότητα διαχωρισμού.

Η λειτουργία των συστημάτων Liquid/liquid coalescer βασίζεται στα τρία παρακάτω στάδια :

- α) Απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων (Filtration).
- β) Συσπείρωση των μικροσταγονιδίων της φάσης της επιμόλυνσης σε μεγαλύτερες σταγόνες (Coalescing).
- γ) Διαχωρισμός της συνεχής φάσης και της φάσης της επιμόλυνσης (Separation).

Ορισμένοι κατασκευαστές συστημάτων διαχωρισμού υγρού/υγρού, χρησιμοποιούν απ'ευθείας τις φύσιγγες των coalescer χωρίς κάποιο προηγούμενο ξεχωριστό στάδιο φιλτραρίσματος των στερεών σωματιδίων.

Μια τέτοια πρακτική δεν συνιστάται για τους εξής λόγους :

Τα στερεά σωματίδια που μπορεί να υπάρχουν σε κάποιο ρεύμα υγρών που θέλουμε να διαχωρίσουμε, συντείνουν στην σταθεροποίηση του γαλακτώματος που οι δυο διαφορετικές φάσεις σχηματίζουν, κάνοντας έτσι δυσκολότερη τη δουλειά του coalescer, μειώνοντας την αποτελεσματικότητά του.

Επιπροσθέτως, χωρίς την ύπαρξη κάποιου προφίλτρου, τα στερεά σωματίδια συγκρατούνται από την δομή των ινών του υλικού κατασκευής των coalescer. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την άνοδο της διαφορικής πίεσης και την ανάγκη συχνής αντικατάστασης των φυσίγγων. Αντίθετα, ο χρόνος ζωής των φυσίγγων ενός υψηλής αποτελεσματικότητας Liquid/liquid coalescer, που προστατεύεται από ένα καλής ποιότητας προφίλτρο, ξεπερνάει τους 12 μήνες και σε ορισμένες περιπτώσεις φθάνει τα 4 ή 5 χρόνια.

Η βασική και ουσιαστική λειτουργία των φυσίγγων coalescer δεν είναι το φιλτράρισμα, αλλά η συσπείρωση των μικρών σταγονιδίων της φάσης της επιμόλυνσης σε μεγαλύτερες σταγόνες.

Τα σταγονίδια εισερχόμενα μαζί με την κύρια φάση του υγρού στην εσωτερική δομή των coalescers - με φορά από το εσωτερικό προς το εξωτερικό της φύσιγγας, συγκρατούνται από το πυκνό πλέγμα των ινών. Παρασυρόμενα από την ροή, μετακινούνται πάνω σε αυτές και καθώς στα σημεία επαφής των ινών συναντάει η μία την άλλη, ενώνονται και δημιουργούν μια μεγαλύτερη σταγόνα, κ.ο.κ. Αυτά τα μικρά σταγονίδια φτάνοντας στην εξωτερική επιφάνεια του ηθμού, έχουν ενωθεί σε μεγάλες σταγόνες που δεν μένει παρά να διαχωριστούν από την άλλη υγρή φάση.

Συνηθέστερο υλικό κατασκευής των φυσίγγων Liquid/liquid coalescer είναι οι ίνες υάλου (glass fibres). Το συγκεκριμένο υλικό όμως δεν είναι η καλύτερη λύση, αφού παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα όσον αφορά στην αποτελεσματικότητα του διαχωρισμού που οι φύσιγγες κατασκευασμένες από αυτό επιτελούν.

Αυτός είναι και ο λόγος που συγκεκριμένος κατασκευαστής, σε συνεργασία με διάφορα διυλιστήρια που αντιμετώπιζαν προβλήματα διαχωρισμού με συμβατικά coalescers, έχει τα τελευταία χρόνια αναπτύξει και πατεντάρει ένα ειδικό πολυμερές υλικό, με κορυφαία αποτελεσματικότητα και χρόνο ζωής.

Οι φύσιγγες των Liquid/liquid coalescers κατασκευασμένες από glass fibres δεν έχουν αποτελεσματικότητα σε σταθερά και δύσκολα διαχωριζόμενα γαλακτώματα με  $IFT < 20$  dynes/cm.

Ακόμη, πολλές φορές τα προς διαχωρισμό υγρά περιέχουν διάφορα χημικά πρόσθετα τα οποία χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν τις ιδιότητές τους στις διάφορες διεργασίες των διυλιστηρίων. Τα μόρια ορισμένων συστατικών (surfactants) αυτών τα προσθέτων, έχουν την ιδιότητα να προσελκύονται από τις ίνες υάλου και να προσκολλούνται επάνω στην επιφάνειά τους.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα μικροσταγονίδια της φάσης της επιμόλυνσης να μην συγκρατούνται στις ίνες και να περνούν μέσα από την φύσιγγα διατηρώντας το μικρό τους μέγεθος και παραμένοντας στο υγρό. Το φαινόμενο αυτό που συσχετίζεται με τις φύσιγγες κατασκευασμένες από glass fibres ονομάζεται "αδρανοποίηση" του coalescer (disarming) και τις καθιστά αναποτελεσματικές μετά από πάροδο σύντομου χρόνου λειτουργίας τους.

Αντίθετα, οι φύσιγγες κατασκευασμένες από τα εξελεγμένα πολυμερή και φθοροπολυμερή (fluoropolymers), είναι πολύ αποτελεσματικές σε εφαρμογές διαχωρισμού υγρών με πολύ χαμηλές τιμές  $IFT$ , έως και 0,5 dynes/cm. Δεν επηρεάζονται από τα πρόσθετα, και διατηρούν σταθερή την αποτελεσματικότητά τους σε όλη την διάρκεια της ζωής λειτουργίας τους, η οποία όπως είδαμε είναι πολύ μεγάλη όταν προστατεύονται από κάποιο προφίλτρο.

Τα επίπεδα περιεκτικότητας της ελεύθερης φάσης επιμόλυνσης μετά αυτά τα υψηλής αποτελεσματικότητας coalescer είναι μικρότερα από 15 ppmv, με αντίστοιχη περιεκτικότητα στην είσοδο έως και 30.000 ppmv.

Το τρίτο και τελικό στάδιο της λειτουργίας ενός Liquid/liquid coalescer είναι η απομάκρυνση των ήδη σχηματισμένων μεγάλων σταγόνων της φάσης της επιμόλυνσης από την κύρια φάση, είτε με την βοήθεια της βαρύτητας ή ειδικών φυσίγγων διαχωρισμού (Separators).

Υπάρχουν δύο διατάξεις των υψηλής αποτελεσματικότητας Liquid/liquid coalescer :

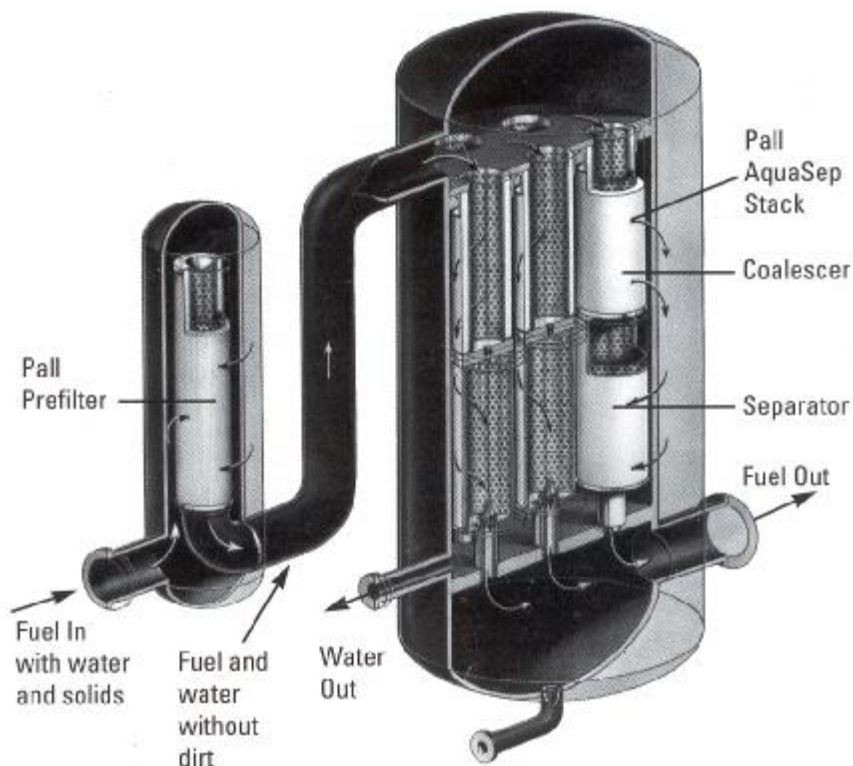
Η κατακόρυφη διάταξη και η οριζόντια διάταξη .

Η κατακόρυφη διάταξη χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που απαιτούν την απομάκρυνση νερού από υγρούς υδρογονάνθρακες, και ο διαχωρισμός γίνεται με την βοήθεια ειδικών διαχωριστών μορφής φύσιγγας που έχουν υποστεί κατάλληλη υδρόφοβη επεξεργασία.

Σε αυτήν την περίπτωση, το δοχείο και οι φύσιγγες τόσο των coalescers όσο και των separators είναι σε κατακόρυφο προσανατολισμό. Κάθε φύσιγγα coalescer και separator είναι ενωμένες αποτελώντας μια ενιαία. Τα coalescer βρίσκονται πάνω από τα separators και ενώ η ροή στα πρώτα γίνεται από μέσα προς τα έξω, στα δεύτερα γίνεται με την αντίθετη φορά, από έξω προς τα μέσα.

Το υγρό εισέρχεται στο δοχείο και οδηγείται στην εσωτερική μεριά των coalescers. Λόγω της πίεσης από την ροή, το υγρό αναγκάζεται να τα διαπεράσει σχηματίζοντας τις μεγάλες σταγόνες του νερού, οι οποίες μαζί με την φάση των υδρογονανθράκων κατευθύνονται προς τα κάτω, στις φύσιγγες των separators.

### Pall AquaSep Liquid/Liquid Coalescer System



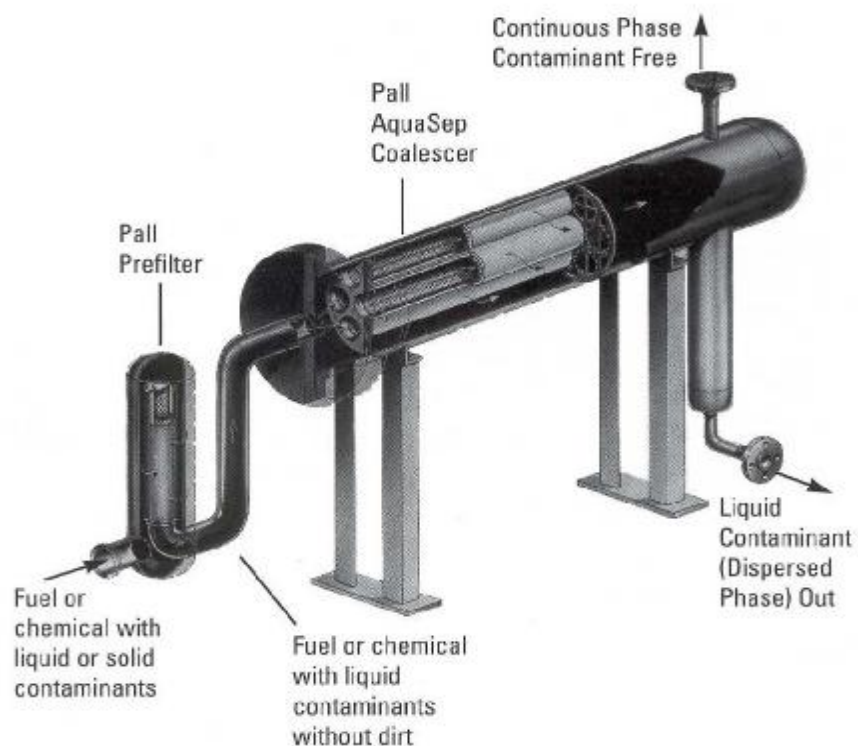
Εκεί, και με ροή από έξω προς τα μέσα, περνάει η φάση των υδρογονανθράκων μέσα από τις φύσιγγες προς την εξαγωγή του δοχείου. Λόγω της υδρόφοβης κατεργασίας των separators, το νερό εμποδίζεται να τους διαπεράσει και να αναμιχθεί και πάλι με τους υδρογονάνθρακες, και έτσι απομακρύνεται από την βαλβίδα αποστράγγισης.

Σε περιπτώσεις εφαρμογών διαχωρισμού υγρών διαφορετικών του νερού και με μικρό IFT, χρησιμοποιούνται τα συστήματα Liquid/liquid coalescer με οριζόντια διάταξη. Εδώ, το δοχείο με τα coalescer έχει οριζόντιο προσανατολισμό και δεν υπάρχουν οι φύσιγγες των separators.

Αυτό συμβαίνει γιατί η μικρή τιμή της διεπιφανειακής τάσης σε αυτές τις περιπτώσεις δημιουργεί ένα πολύ σταθερό γαλάκτωμα. Έτσι, οι ήδη σχηματισμένες μεγάλες σταγόνες, είναι πολύ εύκολο να ξαναδιασπαστούν από την πίεση που τους ασκείται κατά την προσπάθειά τους να περάσουν μέσα από τις φύσιγγες των separators, και να επανέλθουν στο υγρό.



**Pall AquaSep Liquid/Liquid Separation System with Coalescer in a Horizontal Housing**



Αντί των separators, υπάρχει ένας ειδικά διαμορφωμένος χώρος στο δοχείο μετά τις φύσιγγες των coalescer, που δρα σαν δοχείο καθίζησης.

Με την βοήθεια της βαρύτητας οι σταγόνες που έχουν σχηματιστεί κατευθύνονται προς τα πάνω ή κάτω ανάλογα αν το ειδικό βάρος τους είναι μικρότερο ή μεγαλύτερο από το ειδικό βάρος της κύριας φάσης, και τα δύο υγρά απομακρύνονται από δύο διαφορετικές εξόδους του δοχείου.

Τυπική εφαρμογή ενός συστήματος Liquid/liquid coalescer είναι η απομάκρυνση του νερού από την βενζίνη, την κηροζίνη και το πετρέλαιο. Σε αυτήν την περίπτωση οι προδιαγραφές απαιτούν προϊόν "διαυγές και καθαρό" (bright and clear), που μεταφράζεται σε επίπεδα συνολικής περιεκτικότητας νερού (ελεύθερο και διαλυμένο) κάτω των 200 ppm.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η ικανότητα διάλυσης του νερού στο πετρέλαιο στην συνήθη θερμοκρασία των 40 °C είναι γύρω στα 120 ppm, και ότι το επίπεδο της περιεκτικότητας του νερού σε ελεύθερη φάση μετά ένα υψηλής αποτελεσματικότητας coalescer μικρότερο των 15 ppm, καταλαβαίνουμε ότι με το συγκεκριμένο σύστημα διαχωρισμού, οι απαιτούμενες προδιαγραφές τηρούνται εύκολα.

Η ύπαρξη του νερού στα καύσιμα, πέρα από τα όρια των προδιαγραφών, προκαλεί την διάβρωση του μηχανολογικού εξοπλισμού των διυλιστηρίων, καθώς και την διάβρωση και την ανάπτυξη βακτηριδίων στους πυθμένες των δεξαμενών. Ακόμη, τα διάφορα συστατικά που το νερό μπορεί να περιέχει διαλυμένα όπως άλατα ή καυστικό νάτριο προκαλούν ζημιές σε διάφορα μηχανικά μέρη του εξοπλισμού.

Άλλες βασικές εφαρμογές στα διυλιστήρια είναι η απομάκρυνση υγρού NaOH από την βενζίνη, την κηροζίνη και το πετρέλαιο, απομάκρυνση αμίνης από υγροποιημένο μείγμα προπανίου, μεθανίου και βουτανίου (LPG), καθώς και η απομάκρυνση νερού ή οξέων από υδρογονάνθρακες και πετροχημικά.

Κυριότερες εφαρμογές στην χημική βιομηχανία, είναι η απομάκρυνση του λαδιού από νερό και άνυδρη αμμωνία.

Σε όλες τις παραπάνω εφαρμογές, η χρησιμοποίηση του κατάλληλου συστήματος διαχωρισμού Liquid/liquid coalescer, συντείνει στην αποτελεσματικότερη και οικονομικότερη λειτουργία των βιομηχανικών μονάδων.

## 9. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η απομάκρυνση των στερεών μικροσωματιδίων και των μικροσταγονιδίων υγρών επιμολύνσεων, που συμπαρασύρονται από ρευστά τα οποία χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία, είναι αναπόσπαστο μέρος των παραγωγικών διεργασιών.

Σε ένα μεγάλο βαθμό, πολλές βιομηχανικές μονάδες και διεργασίες, είναι τόσο αποδοτικές όσο και τα συστήματα διήθησης και διαχωρισμού που διαθέτουν.

Πολλές φορές, η εφαρμογή αποτελεσματικών συστημάτων διήθησης ή διαχωρισμού είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που συντελούν στην καλή και με μικρό κόστος λειτουργία μιας βιομηχανίας, κάνοντάς την κερδοφόρα και ανταγωνιστική.

Συνειδητοποιώντας αυτήν την σπουδαιότητα, οι κατασκευαστές τέτοιων συστημάτων επενδύουν στους τομείς ανάπτυξης νέων και βελτιωμένων προϊόντων, με αποτέλεσμα τα τελευταία χρόνια να είναι στην διάθεση της βιομηχανίας μερικά πραγματικά πολύ αποτελεσματικά συστήματα.

Καθώς λοιπόν οι ρυθμοί της τεχνολογικής εξέλιξης είναι ραγδαίοι, θα είμαστε σε θέση στο μέλλον να δίνουμε ακόμη αποτελεσματικότερες λύσεις στις όλο και πιο απαιτητικές εφαρμογές διήθησης και διαχωρισμού που εμφανίζονται στην βιομηχανία, βοηθώντας στην καλή λειτουργία της.

**10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .**

1. BASIC PRINCIPLES OF FILTRATION Booklet .  
PALL Process Filtration U.K.
2. FUNDAMENTALS OF FLUID FILTRATION.  
Peter R. Johnston.
3. HANDBOOK OF FILTER MEDIA.  
Derek B. Purchas.
4. RATING DISPOSABLE FILTERS.  
Sean Meenan, PALL Corporation N.Y.  
"METAL FINISHING" Magazine, September 1987.
5. IMPROVE LIQUID/GAS COALESCER PERFORMANCE.  
Thomas Wines, PALL Corporation N.Y.  
"HYDROCARBON PROCESSING" Magazine, January 2000.
6. IMPROVE HAZE REMOVAL FROM FCC GASOLINE.  
Antal Katola, MOL-RT Refinery, Hungary  
Thierry Darde, PALL Europe France  
Thomas Wines, PALL Corporation N.Y.  
"HYDROCARBON PROCESSING" Magazine, August 2001.
7. RECENT DEVELOPMENTS IN LIQUID/GAS SEPARATION  
TECHNOLOGY.  
Robert Brown, PALL Corporation N.Y.  
Thomas Wines, PALL Corporation N.Y.  
Presented at: "LAURANCE REID GAS CONDITIONING CONFERENCE",  
February 1994.

8. SOLVING SEPARATION PROBLEMS.  
David Pink, PALL Europe U.K.
  
9. ADVANCES IN LIQUID/LIQUID COALESCING TECHNOLOGY.  
Art Gardner, PALL Corporation N.Y.  
"TODAY'S REFINERY" Magazine, March 1997.
  
10. IMPROVE SUSPENDED WATER REMOVAL FROM FUELS.  
Robert Brown, PALL Corporation N.Y.  
Thomas Wines, PALL Corporation N.Y.  
"HYDROCARBON PROCESSING" Magazine, December 1993.