

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



Διπλωματική εργασία

ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΕΣ ΕΛΑΙΟΥ-ΝΕΡΟΥ:
Αρχές Σχεδιασμού και Εφαρμογή στην Ναυτιλία

Elmazi Enri
Προπτυχιακός Φοιτητής

Μποντόζογλου Βασίλειος
Επιβλέπων, Καθηγητής

Βόλος
2015



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 14475/1
Ημερ. Εισ.: 05-10-2017
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜ
2015
ELM

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού

2015

© 2015 Enri Elmazi

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Στην μνήμη του παππού μου

Sali Elmazi (1933-2012)

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων)	Δρ. Βασίλειος Μποντόζογλου Καθηγητής, Φαινόμενα Μεταφοράς - Συσκευές Φυσικών Διεργασιών Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δεύτερος Εξεταστής	Δρ. Νικόλαος Ανδρίτσος Καθηγητής, Πειραματικά Φαινόμενα Μεταφοράς Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τρίτος Εξεταστής	Δρ. Νικόλαος Πελεκάσης Καθηγητής, Υπολογιστική Ρευστοδυναμική Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητή κ. Βασίλειο Μποντόζογλου, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της διεκπεραίωσης της εργασίας. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητές κκ. Νικόλαο Ανδρίτσο και Νικόλαο Πελεκάση για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους.

Ευχαριστώ τον οικογενειακό φίλο Μηχανολόγο-Ηλεκτρολόγο και Ναυπηγό Μηχανικό, κ. Γεώργιο Καλαφάτη για την πολύτιμη βοήθειά του στην κατανόηση της λειτουργίας των OWS, την παραχώρηση υλικού για τις ναυτιλιακές εφαρμογές και για την παρότρυνση ενασχόλησης με το θέμα. Επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στην φίλη μου Αγάπη Γαλουντζή και την αδερφή μου Matea, για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και την βοήθειά τους στην διόρθωση της έκφρασης.

Πάνω από όλα όμως είμαι ευγνώμων, σε αυτούς που αποτελούν την ζωογόνο δύναμή μου με την οποία ξεπερνάω όλες τις δυσκολίες που μου παρουσιάζονται, στην οικογένειά μου, στους γονείς μου Shkelqim και Mirela Elmazi και στην αδερφή μου Matea, και για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Enri Elmazi

ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΕΣ ΕΛΑΙΟΥ-ΝΕΡΟΥ:

Αρχές Σχεδιασμού και Εφαρμογή στην Ναυτιλία

Enri Elmazi

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, 2015

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Βασίλειος Μποντόζογλου, Καθηγητής, Φαινόμενα
Μεταφοράς-Συσκευές Φυσικών Διεργασιών

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετώνται οι διαχωριστές ελαίου-νερού και συγκεκριμένα οι αρχές σχεδιασμού και η εφαρμογή τους στη ναυτιλία. Η χρήση των διαχωριστών είναι πλέον απαραίτητη σε πολλές εφαρμογές, όπως εξίσου σημαντική είναι και η εφαρμογή τους στα πλοία, καθώς αποτελεί το πιο αποτελεσματικό τρόπο καθαρισμού των ελαιωδών λυμάτων της σεντίνας πριν αυτά απορριφθούν στην θάλασσα.

Για την διεκπεραίωση της εργασίας συλλέχθηκαν δεδομένα από βιβλία και δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά που περιέχουν πειράματα και έρευνες, με σκοπό να αποσαφηνιστεί ο τρόπος λειτουργίας των συσκευών αυτών, με ιδιαίτερη έμφαση στον μηχανικό διαχωρισμό λόγω διαφοράς πυκνότητας των μη αναμίξιμων υγρών. Εξετάστηκε ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιείτε ο μηχανισμός αυτός καθώς και το μεγάλο πρόβλημα που αντιμετωπίζει, τα γαλακτώματα. Πραγματοποιήθηκε η ρευστομηχανική ανάλυση για σφαιρικά σωματίδια βυθισμένα σε ρευστά και μελετήθηκε ο σχεδιασμός των συμβατικών διαχωριστών και των διαχωριστών παραλλήλων πλακών.

Μετά το πέρας της παρούσης διπλωματικής εργασίας, ο αναγνώστης θα είναι σε θέση να κατανοήσει την χρησιμότητα των διαχωριστών ελαίου-νερού, τον τρόπο λειτουργίας και την ανατομία του βαρυτικού μηχανικού διαχωριστή, καθώς και την ευρεία εφαρμογή του στην ναυτιλία.

Περιεχόμενα

<i>Περιεχόμενα εικόνων</i>	<i>x</i>
<i>Περιεχόμενα πινάκων</i>	<i>xii</i>
1 Εισαγωγή	1
1.1 Διαχωρισμός	1
1.1.1 Κατάταξη των διαχωρισμών σε κατηγορίες.....	3
1.1.2 Βασικοί μηχανισμοί φυσικών διαχωρισμών	4
1.2 Διαχωριστές	4
2 Μηχανικοί διαχωρισμοί λόγω διαφοράς πυκνότητας	5
2.1 Παράγοντες που συμβάλουν στον μηχανικό διαχωρισμό	5
2.1.1 Κατακάθιση σωματιδίων	5
2.1.2 Τρόποι κατακάθισης.....	6
2.1.3 Ταχύτητα ελεύθερης κατακάθισης των σωματιδίων- Νόμος του Stokes	8
2.1.4 Διασπορές υγρού-υγρού	10
2.1.5 Αιωρήματα μη αναμίξιμων υγρών και ειδικά προβλήματα: γαλακτώματα	12
2.2 Ενδεικτικές εφαρμογές	22
2.3 Φυγοκέντρωση (τεχνητή βαρύτητα)	25
3 Διαχωριστές ελαίου-νερού στην ναυτιλία	29
3.1 Σκοπός	29
3.2 Η περιοχή της σεντίνας του πλοίου	30
3.3 Κανονισμοί για την επεξεργασία του νερού εκκένωσης	31
3.4 Κατασκευή και λειτουργία	36
3.4.1 Μονάδα διαχωριστή	38
3.4.2 Η μονάδα φίλτρου	40
3.4.3 Μονάδα παρακολούθησης της περιεκτικότητας του πετρελαίου και μονάδα ελέγχου	42
3.5 Διαδικασία λειτουργίας	44

3.6	Παράγοντες που επηρεάζουν τον διαχωρισμό σε έναν OWS	45
3.6.1	Σχεδιαστικοί παράγοντες.....	46
3.6.2	Λειτουργικοί παράγοντες.....	47
3.6.3	Διαχείριση σεντίνας.....	52
3.6.4	Φροντίδα και συντήρηση.....	54
3.6.5	Επάρκεια πληρώματος, ορθή συμπεριφορά και καθαριότητα των χώρων.....	55
4	Ρευστομηχανική ανάλυση.....	56
4.1	Οπισθέλκουσα δύναμη.....	56
4.2	Συντελεστής οπισθέλκουσας δύναμης.....	59
4.2.1	Εξάρτηση του C_D σφαίρας από τον αριθμό Reynolds.....	59
4.2.2	Έρπουσα ροή.....	61
4.3	Κίνηση σωματιδίων διαμέσου ρευστών.....	64
4.3.1	Μονοδιάστατη κίνηση σωματιδίων σε ένα ρευστό.....	65
5	Σχεδιασμός.....	71
5.1	Χαρακτηριστικά του λύματος.....	71
5.2	Η ροή σχεδιασμού.....	72
5.2.1	Ρεύμα εισροής.....	72
5.2.2	Ρεύμα εκροής.....	74
5.3	Συμβατικοί διαχωριστές ελαίου-νερού.....	74
5.3.1	Σχεδιαστικοί υπολογισμοί για API διαχωριστές.....	75
5.3.2	Συντελεστής στροβιλισμών και βραχυκυκλωμάτων, F.....	83
5.3.3	Κατασκευαστικά μέρη.....	84
5.3.4	Απόδοση.....	85
5.4	Αύξηση της απόδοσης των υφιστάμενων εγκαταστάσεων.....	88
5.4.1	Αντιμετώπιση διαδικαστικών προβλημάτων.....	88
5.4.2	Μετατροπή του συμβατικού διαχωριστή σε διαχωριστή παραλλήλων πλακών.....	89
5.5	Διαχωριστές παραλλήλων πλακών.....	91
5.5.1	Σχεδιασμός PPI.....	92

5.5.2	Χαρακτηριστικά λυμάτων για την διαστασιολόγηση του διαχωριστή	93
5.5.3	Επιφάνεια του PPI διαχωριστή.....	93
5.5.4	Βασικά μεγέθη του συστήματος των παραλλήλων πλακών.....	94
5.5.5	Κατασκευαστικές λεπτομέρειες	95
5.5.6	Συντήρηση.....	97
5.5.7	Απόδοση.....	98
6	Συμπεράσματα	100
	Βιβλιογραφία	102
	Παραρτήματα.....	108

Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 2-1: Σχηματική αναπαράσταση των μηχανικών διαχωρισμών ελαίου-νερού και των επιμέρους ρών εντός του διαχωριστή _____	6
Εικόνα 2-2: Απλουστευμένη αναπαράσταση των τριών ζωνών του διαχωριστή ελαίου-νερού __	8
Εικόνα 2-3: Κίνηση ενός μεμονωμένου σταγονιδίου εντός του διαχωριστή. Αναφέρεται στην ζώνη όπου παρατηρείται η έξοδος του από την υδραυλική ροή και ο διαχωρισμός του από το μίγμα. _____	9
Εικόνα 2-4: Συστηματοποίηση των μεγεθών των σταγονιδίων για διάφορες μεθόδους διαχωρισμού. _____	14
Εικόνα 2-5: Διάγραμμα για τον σχηματισμό σταθερού και ασταθούς γαλακτώματος και διασποράς στο θαλασσινό νερό. _____	15
Εικόνα 2-6: Αλλαγές στην πυκνότητα του γαλακτώματος συναρτήσει του χρόνου, στην επιφάνεια θαλασσινού νερού. _____	16
Εικόνα 2-7: Αλλαγές στο ιξώδες του γαλακτώματος για ένα επιλεγμένο έλαιο συναρτήσει του χρόνου, στην επιφάνεια θαλασσινού νερού. _____	17
Εικόνα 2-8: Αλλαγές στην περιεκτικότητα σε νερό συναρτήσει του χρόνου για ένα επιλεγμένο έλαιο για ένα δοσμένο σύνολο περιβαλλοντικών συνθηκών. _____	18
Εικόνα 2-9: Σχηματικό διάγραμμα του μηχανισμού κατάψυξης/ απόψυξης που προκαλείται απογαλακτωματοποίηση για w/o γαλάκτωμα. _____	19
Εικόνα 2-10: Η επίδραση της θερμοκρασίας την ελάττωση την περιεκτικότητας σε νερό (dehydration) δύο γαλακτωμάτων με διαφορετικό έλαιο στις θερμοκρασίες 10 και 50 °C. _____	20
Εικόνα 2-11: Αποτελεσματικότητα επιλεγμένων διασπαστών γαλακτώματος για ένα σταθερό γαλάκτωμα στις θερμοκρασίες 8 και 22 °C. _____	21
Εικόνα 2-12: Συνδυασμός θερμοκρασίας και διασπαστή γαλακτώματος για την αφαίρεση νερού από το γαλάκτωμα του Bunker Oil IF 80 . _____	21
Εικόνα 2-13: Διαχωριστής ελαίου-νερού-αερίου . _____	24
Εικόνα 2-14: Φυγοκεντρικός διαχωρισμός μη αναμίξιμων υγρών. _____	25
Εικόνα 2-15: Υγρό μέσα στο δοχείο της φυγόκεντρης. _____	27
Εικόνα 3-1: Διαχωριστής δύο σταδίων POSEIDON EVO 14ppm. _____	30
Εικόνα 3-2: Τυπικής διάταξη ενός Two Stage OWS στα πλοία. _____	36
Εικόνα 3-3: Διάγραμμα της ροής των υδάτων της σεντίνιας. _____	37
Εικόνα 3-4: Μονάδα διαχωρισμού OWS 2 σταδίων. _____	38

Εικόνα 3-5: Εσωτερική διαμόρφωση της μονάδας διαχωρισμού και διάγραμμα ροής του μίγματος	39
Εικόνα 3-6: Η μονάδα φίλτρου OWS 2 σταδίων	40
Εικόνα 3-7: Εσωτερική διαμόρφωση της μονάδας φίλτρου και διάγραμμα ροής	41
Εικόνα 3-8: Μονάδα παρακολούθησης της περιεκτικότητας του πετρελαίου και μονάδα ελέγχου	42
Εικόνα 3-9: Διάγραμμα της λειτουργίας του συστήματος ελέγχου του νερού εκκένωσης	43
Εικόνα 4-1: Οπισθέλκουσα μορφής και τοιχώματος πάνω σε ένα βυθισμένο σώμα.	57
Εικόνα 4-2: Συντελεστές οπισθέλκουσας για δίσκους, σφαίρες και κυλίνδρους	60
Εικόνα 4-3: Ροή γύρω από σφαίρα για διάφορες τιμές του αριθμού Reynolds.	61
Εικόνα 4-4: Περιοχή Stokes στο διάγραμμα C_d vs Re	62
Εικόνα 4-5: Κίνηση σωματιδίου σε ρευστό υπό την επίδραση της βαρύτητας.	67
Εικόνα 5-1: Συμβατικοί διαχωριστές ελαίου-νερού	75
Εικόνα 5-2: Κάτοψη διαχωριστή ελαίου-νερού 2 διαύλων	78
Εικόνα 5-3: Πλάγια όψη διαχωριστή ελαίου-νερού 2 διαύλων	78
Εικόνα 5-4: Εγκάρσια τομή σε ένα τυχαίο σημείο στο μήκος L του διαχωριστή ελαίου-νερού 2 διαύλων	78
Εικόνα 5-5: Γραφική παράσταση των F vs V_H/V_t	83
Εικόνα 5-6: Τα μέρη ενός συμβατικού διαχωριστή.	84
Εικόνα 5-7: Απόδοση συμβατικού διαχωριστή ελαίου-νερού ως προς την επιφανειακή συσσώρευση.	86
Εικόνα 5-8: Απόδοση συμβατικού διαχωριστή ελαίου-νερού και ενός παραλλήλων πλακών ως προς την περιεκτικότητα σε έλαιο στην είσοδο.	87
Εικόνα 5-9: Σύστημα παραλλήλων πλακών	90
Εικόνα 5-10: Διαχωριστής παραλλήλων πλακών διασταυρούμενης ροής.	96
Εικόνα 5-11: Διαχωριστής παραλλήλων πλακών κατερχόμενης ροής.	97
Εικόνα 5-12: Συνένωση των σταγονιδίων και άνοδός τους στην επιφάνεια	97
Εικόνα 5-13: Απόδοση διαχωριστή ελαίου-νερού παραλλήλων πλακών ως προς την επιφανειακή συσσώρευση.	99

1 Εισαγωγή

Η προσπάθεια του ανθρώπου και της ανθρώπινης κοινωνίας στο σύνολό της για την βελτίωση της ποιότητας αλλά και των συνθηκών ζωής γενικά, έχει συνδυαστεί αναπόσπαστα με την πρόοδο της μηχανικής σε όλους της τους τομείς. Η συγκεκριμένη πρόοδος ήταν ραγδαία μετά την Βιομηχανική Επανάσταση του 18^{ου} αιώνα, γνωρίζοντας την κορύφωσή της στα μέσα του 20^{ου} αιώνα, η οποία συνεχίζεται μέχρι και σήμερα. Η επιστήμη και η τεχνολογία εκμεταλλεύτηκαν όλο το θεωρητικό υπόβαθρο προηγούμενων περιόδων και παράλληλα ανέπτυξαν νέες καινοτόμες ιδέες μέσα από την έρευνα, δημιουργώντας υλικά, μηχανές και συσκευές που συμβάλουν στην επίτευξη ορισμένων στόχων του ανθρώπου.

Ο άνθρωπος από την φύση του όμως δεν είναι τέλειος, με αποτέλεσμα πολλά από τα δημιουργήματά του να μην είναι και εκείνα με την σειρά τους τέλεια, επιφέροντας πολλά προβλήματα στο περιβάλλον (αέριο, χερσαίο και υδάτινο) και κατ' επέκτασιν σε όλα τα έμβια όντα. Το πρόβλημα της ρύπανσης του περιβάλλοντος έχει αναδειχθεί σε μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει η επιστήμη για την βελτίωση των συνθηκών ζωής ολόκληρου του οικοσυστήματος.

Μία πλευρά του προβλήματος της ρύπανσης, η οποία έχει ιδιαίτερη βαρύτητα λόγω του όγκου των παραγόμενων αποβλήτων, είναι η ρύπανση των υδάτων (θαλασσών, μεγάλων λιμνών και ποταμών). Στην προσπάθεια καταπολέμησης της ρύπανσης των υδάτων από τα μολυσμένα νερά που συλλέγονται στην σεντίνα των πλοίων (*bilge water*) ή στις πλατφόρμες άντλησης πετρελαίου, καθώς και σε άλλες εφαρμογές, συμβάλλουν ουσιαστικά οι διαχωριστές ελαίου-νερού (*oil-water separators*) μέσω των διεργασιών του διαχωρισμού (*separation processes*).

1.1 Διαχωρισμός

Η έννοια του διαχωρισμού γίνεται εύκολα κατανοητή, ωστόσο είναι δύσκολο να οριστεί. Γενικά ως διαχωρισμός μπορεί να θεωρηθεί η διεργασία κατά την οποία από ένα μίγμα λαμβάνονται δύο ή περισσότερα προϊόντα διαφορετικής σύστασης. Ο διαχωρισμός διεκπεραιώνεται βασιζόμενος στις διαφορές στις φυσικές και χημικές ιδιότητες του προς διαχωρισμού μίγματος, όπως είναι το μέγεθος, το σχήμα, η μάζα, η πυκνότητα ή η χημική συγγένεια μεταξύ των συστατικών του μίγματος. Συνήθως υπάρχει μόνο φυσική μεταφορά μάζας και όχι χημική τροποποίηση του μίγματος. Παραδείγματα διαχωρισμού είναι: ένα

αέριο το οποίο διαχωρίζεται από ένα μίγμα αερίων, ένα υγρό από ένα μίγμα δύο ή περισσοτέρων υγρών, ένα αέριο από ένα υγρό ή στερεό, ένα στερεό από ένα υγρό κλπ. Χαρακτηριστικό του διαχωρισμού είναι ότι δεν είναι μία αυθόρμητη διεργασία όπως είναι η ανάμιξη των χημικών ειδών, ωστόσο απαιτεί κατανάλωση ενέργειας προκειμένου να επιτευχθεί.

Οι διαχωρισμοί είναι οι πιο συχνά παρατηρούμενες διεργασίες κατά την παραγωγική διαδικασία μιας βιομηχανίας. Οι χρήσεις τους είναι ποικιλόμορφες και περιλαμβάνουν ένα πλατύ φάσμα εφαρμογών, όπως:

- Κλασματική απόσταξη, διαχωρισμός διαλύματος στα συστατικά του
- Απομάκρυνση «βλαβερών» ουσιών (τοπικές, διαβρωτικές, κ.α.)
- Βελτίωση χρώματος ή οσμής (βιομηχανίες τροφίμων)
- Εμπλουτισμός διαλύματος ή μίγματος σε κάποιο από τα συστατικά του (μεταλλουργία, φαρμακοβιομηχανίες, κ.α.)
- Ανάκτηση συστατικού για επαναχρησιμοποίηση (ανάκτηση διαλυτών) κλπ.

Παρόλο που οι διεργασίες διαχωρισμού γνώρισαν μεγάλη άνθηση με την Βιομηχανική Επανάσταση, η ανάπτυξή τους ωστόσο είχε ήδη γίνει από την αρχαιότητα (π.χ. η απόσταξη για την παραγωγή του τσίπουρου) και φτάνει ως τις μέρες μας με υψηλό βαθμό εξέλιξης, νέες ιδέες, εξειδικεύσεις και τάσεις για περαιτέρω βελτιώσεις, απασχολώντας πολλούς επιστημονικούς κλάδους όπως οι Μηχανολόγοι Μηχανικοί, Χημικοί Μηχανικοί, Μεταλλειολόγοι-Μεταλλουργοί Μηχανικοί κ.α. Οι επιστημονικοί και τεχνολογικοί κλάδοι είτε χρησιμοποιούν τις διεργασίες του διαχωρισμού είτε τις εξελίσσουν και τις εξειδικεύουν περαιτέρω, καθώς οι απαιτήσεις για την καθαρότητα των προϊόντων του διαχωρισμού γίνονται μεγαλύτερες.

Από την άλλη μεριά, η ίδια η φύση είναι η πρώτη διδάξασα σε διεργασίες διαχωρισμού. Τόσο τα φυτά όσο και τα ζώα βασίζονται σε τέτοιες διεργασίες για την επιβίωσή τους. Τα φυτά θα διαχωρίσουν και θα απορροφήσουν επιλεκτικά θρεπτικές ουσίες από το έδαφος, για την ανάπτυξή τους. Τα ζωτικά κύτταρα θα απομακρύνουν εκλεκτικά τα προϊόντα καύσης του μεταβολισμού των θρεπτικών ουσιών μέσω της μεμβράνης τους (Γεντεκάκης 2010).

1.1.1 Κατάταξη των διαχωρισμών σε κατηγορίες

Η κατάταξη των διαχωρισμών σε κατηγορίες μπορεί να γίνει με τους παρακάτω τρόπους:

α) Κατάταξη με βάση τον τρόπο λήψης των προϊόντων (δηλαδή τον μηχανισμό της διεργασίας διαχωρισμού):

- Μηχανικοί διαχωρισμοί και
- Φυσικοί διαχωρισμοί

Μηχανικοί ονομάζονται οι διαχωρισμοί, στους οποίους γίνεται χρήση μηχανικής διάταξης, προκειμένου το τροφοδοτούμενο μίγμα να χωριστεί σε προϊόντα, με βάση τις φυσικές ιδιότητες των διαχωριζόμενων συστατικών.

Ενδεικτικά δίνονται παρακάτω οι μηχανικοί διαχωρισμοί που χρησιμοποιούνται για ορισμένες φυσικές ιδιότητες όπως:

- Διαφορετική φάση (διήθηση, φιλτρόπρεσσες, φιλτράρισμα αερίων π.χ. σακκόφιλτρα, κλπ)
- Μέγεθος (κοσκίνισμα)
- Μαγνητικές ιδιότητες (μαγνητικοί διαχωριστήρες)
- Ηλεκτροστατικές ιδιότητες (ηλεκτροστατικά φίλτρα)
- Ειδικό βάρος (φυγοκέντρωση, καθίζηση, επίπλευση) κλπ.

Φυσικοί ονομάζονται οι διαχωρισμοί, που πραγματοποιούνται με μεταφορά μάζας προς σχηματισμό προϊόντων διαφορετικής σύστασης το ένα με το άλλο, αλλά και με το αρχικό μίγμα. Οι βασικότεροι εκ των οποίων είναι:

- Απόσταξη (*Distillation*)
- Απορρόφηση (*Gas Absorption*)
- Υγρή εκχύλιση (*Liquid-Liquid Extraction*)
- Προσρόφηση ή απλά ρόφηση (*Adsorption*)
- Ξήρανση (*Drying*)
- Διαχωρισμός μέσω μεμβρανών (*Membrane-separation*)
- Ρευστοποιημένες κλίνες (*Fluidized beds*)
- Κρυστάλλωση (*Crystallization*)
- Ηλεκτροδιάλυση

- Εξάχνωση (*sublimation*)
- Συμπύκνωση (*condensation*)

β) Κατάταξη με βάση τις φάσεις των συστατικών στο αρχικό μίγμα που πρόκειται να διαχωριστεί:

- Αέριο – Αέριο (Κρυογενική απόσταξη, απορρόφηση, συμπύκνωση)
- Στερεό – Στερεό (Κοσκίνισμα, μαγνητικοί διαχωριστήρες επίπλευση, εξάχνωση)
- Υγρό – Υγρό (Απόσταξη, εκχύλιση)
- Αέριο – Υγρό (Κυκλώνες, συμπύκνωση, ξήρανση αερίων)
- Αέριο – Στερεό (Κυκλώνες, φιλτράρισμα αερίων, ηλεκτρομαγνητικοί διαχωρισμοί)
- Υγρό – Στερεό (Διήθηση, καθίζηση, φυγοκέντριση)

1.1.2 Βασικοί μηχανισμοί φυσικών διαχωρισμών

Οι τεχνικές του διαχωρισμού που έχουν αναπτυχθεί είναι πολλές. Ανάλογα με την βασική θεωρία που τις διέπει μπορούν να καταταχθούν σε πέντε μεγάλες κατηγορίες επιτυγχάνοντας διαχωρισμό:

- με την δημιουργία νέας φάσης
- με την χρήση άλλων φάσεων
- με την χρήση μεμβρανών
- με την προσθήκη στερεών σωματιδίων
- με την χρήση πεδίων (ηλεκτρικού, μαγνητικού, βαρυτικού)

1.2 Διαχωριστές

Οι διαχωριστές είναι μηχανικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη της διαδικασίας του διαχωρισμού, δηλαδή να διαχωρίσουν ένα μίγμα στα συστατικά του. Παραδείγματα διαχωριστών είναι τα σακκόφιλτρα, τα ηλεκτροστατικά φίλτρα, οι κυκλώνες, οι βαρυτικοί διαχωριστές, οι διαχωριστές ελαίου-νερού, οι διαχωριστές πετρελαίου-αερίου κ.α. Οι περισσότεροι από αυτούς λειτουργούν σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης, όπως πολλοί βαρυτικοί διαχωριστές, που έχουν την πάνω επιφάνεια τους ακάλυπτη και εκτεθειμένη στον ατμοσφαιρικό αέρα, ενώ άλλοι όπως οι διαχωριστές πετρελαίου-αερίου-νερού είναι δοχεία που λειτουργούν υπό πίεση.

2 Μηχανικοί διαχωρισμοί λόγω διαφοράς πυκνότητας

Ο διαχωρισμός του ελαίου από το νερό πραγματοποιείται κυρίως λόγω της διαφοράς στην πυκνότητα ανάμεσα στα δυο ρευστά. Για να επιτευχθούν τα επιθυμητά επίπεδα στην καθαρότητα του νερού της εκροής, χρησιμοποιείται σύστημα παραλλήλων πλακών, που συμβάλλει στην συνένωση των σωματιδίων του ελαίου, αλλά και ο φυγόκεντρος διαχωρισμός.

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξεταστούν οι παράγοντες που συμβάλλουν στον μηχανικό διαχωρισμό, καθώς και το μεγάλο πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο διαχωρισμός και απαντά στο όνομα γαλακτώματα. Επίσης θα γίνει μια αναφορά σε ορισμένες ενδεικτικές εφαρμογές του διαχωρισμού καθώς και στον φυγόκεντρο διαχωρισμό.

2.1 Παράγοντες που συμβάλλουν στον μηχανικό διαχωρισμό

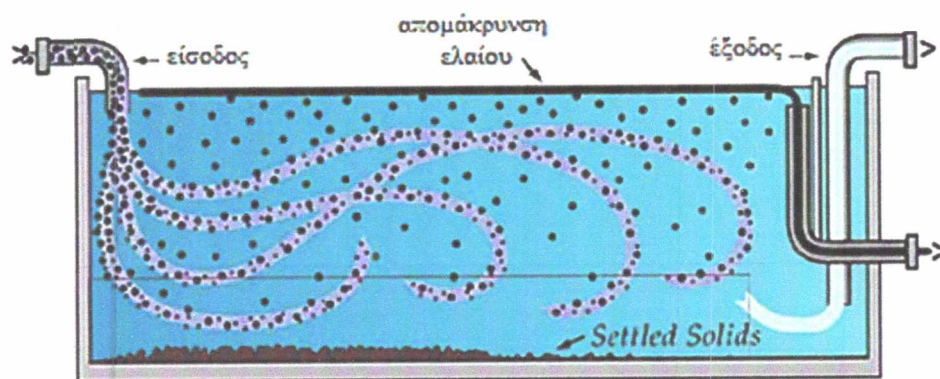
Ανάλογα με τις συνθήκες που θα βρεθεί ένα μίγμα ελαίου-νερού, μπορεί να καθοριστεί η καθίζηση του νερού και της ιλύος και η άνωση του ελαίου, η ταχύτητα κατακάθισης ή άνωσης των σωματιδίων και σταγονιδίων, καθώς και η διάμετρος των σταγονιδίων. Μια παράμετρος που χρήζει ιδιαίτερη προσοχή και μεταχείριση για την συμπεριφορά ενός μίγματος ελαίου-νερού κατά τον διαχωρισμό, είναι ο σχηματισμός γαλακτωμάτων, που είναι ανεπιθύμητα και πρέπει να παρθούν τα κατάλληλα μέτρα για την αποφυγή τους ή για την διάσπασή τους (σε περίπτωση που έχουν ήδη δημιουργηθεί).

2.1.1 Κατακάθιση σωματιδίων

Το φαινόμενο του διαχωρισμού των αιωρούμενων σωματιδίων-σταγονιδίων, που βρίσκονται στην υγρή φάση, λόγω της βαρύτητας, χαρακτηρίζεται ως κατακάθιση (*settling*). Συνήθως η κατακάθιση είναι οφείλεται στην βαρύτητα (*gravity settling*). Με την κατακάθιση επιτυγχάνεται απομάκρυνση στερεών από το ρεύμα του ρευστού ή/και διαχωρισμός δυο υγρών από το ρευστό (μίγμα ενός υγρού που ρέει), λόγω της διαφοράς πυκνότητας. Το υγρό με την μεγαλύτερη πυκνότητα καθιζάνει, ενώ εκείνο με την μικρότερη θα ανέλθει στην επιφάνεια του ρευστού (*floating*). Σε αρκετές περιπτώσεις, για να επιτευχθεί ο καταλληλότερος διαχωρισμός, με βάση την διαφορά στην πυκνότητα και το μέγεθος, τα σταγονίδια αφήνονται σκόπιμα να αιωρούνται. Κάνοντας χρήση ενός μεγάλου δοχείου (διαχωριστή), και εκμεταλλευόμενοι τον παρατεταμένο χρόνο παραμονής στο δοχείο καθώς

και την χαμηλή ταχύτητα ροής του ρευστού, επιτυγχάνεται απομάκρυνση των βαρύτερων σωματιδίων από το ρευστό.

Η διεργασία διαχωρισμού του πετρελαίου από τον νερό γίνεται με βάση την παραπάνω περιγραφή. Το μίγμα ελαίου-νερού που εισέρχεται στον διαχωριστή περιέχει και στερεά σωματίδια. Τα στερεά σωματίδια (λάσπη) έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα από το μίγμα ελαίου-νερού και καθιζάνουν στον πυθμένα του διαχωριστή. Με την χρήση ξέστρων μπορούν να απομακρύνονται από τον διαχωριστή. Στο μίγμα ελαίου-νερού, το πετρέλαιο έχει μικρότερη πυκνότητα από το νερό οπότε θα ανέλθει προς την επιφάνεια του διαχωριστή όπου θα επιπλεύσει και το νερό θα καθιζάνει. Με ειδικές διατάξεις αντλείται το έλαιο από την επιφάνεια και συλλέγεται σε ειδικές δεξαμενές ενώ το καθαρό νερό απορρίπτεται στο περιβάλλον. Η όλη διαδικασία παριστάνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2-1: Σχηματική αναπαράσταση των μηχανικών διαχωρισμών ελαίου-νερού και των επιμέρους ροών εντός του διαχωριστή (Πηγή: <http://www.oil-water-separator.net/separators-coalescing-theory.html>)

2.1.2 Τρόποι κατακάθισης

Η κατακάθιση μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους, που εξαρτώνται από την συγκέντρωση των σωματιδίων και από την τάση που εμφανίζουν για συνένωση. Γενικά, υπάρχει η πιθανότητα η κατακάθιση να συμβαίνει με περισσότερους από ένα τρόπους, η διαδικασία όμως θα χαρακτηρίζεται από τον κυρίαρχο τύπο κατακάθισης και σύμφωνα με αυτόν θα καθοριστούν και τα βασικά χαρακτηριστικά της αντίστοιχης λειτουργίας. Διακρίνονται οι εξής βασικοί τρόποι κατακάθισης:

- Η ελεύθερη κατακάθιση
- Η παρεμποδιζόμενη κατακάθιση
- Η κατακάθιση συσσωματωμάτων
- Η κατακάθιση συμπίεσης

Από τις παραπάνω μεθόδους, οι δύο πρώτες είναι εκείνες που εμφανίζονται κυρίως κατά τον διαχωρισμό του ελαίου από το νερό, και αυτές είναι που θα εξεταστούν.

Ελεύθερη κατακάθιση

Ο απλούστερος τρόπος κατακάθισης είναι η ελεύθερη κατακάθιση, που αναφέρεται στην κατακάθιση μεμονωμένων σωματιδίων και λαμβάνει χώρα σε μια χαμηλή αρχική συγκέντρωση των σωματιδίων μέσα στο υγρό. Στην ελεύθερη κατακάθιση τα σωματίδια κατακάθονται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, αφού δεν αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και δεν εμφανίζουν τάσεις συσσωμάτωσης.

Κατά την τροφοδοσία τα σωματίδια παρουσιάζουν διαφορές στο μέγεθος τους άρα και διαφορετικές ταχύτητες κατακάθισης, οι οποίες θα πρέπει να υπολογιστούν ξεχωριστά για να είναι εφικτός ο προσδιορισμός της συνολικής απομάκρυνσης των σωματιδίων, από ένα συγκεκριμένο διαχωριστή ή για μια συγκεκριμένη παροχή.

Παρεμποδιζόμενη κατακάθιση

Ο τύπος της παρεμποδιζόμενης κατακάθισης είναι αυτός που συναντάται πιο συχνά καθώς έχει και τις περισσότερες εφαρμογές. Παρουσιάζει υψηλή συγκέντρωση σε σχέση με τους υπόλοιπους, η οποία κυμαίνεται από 0.5~1% κ.β. Στην συγκεκριμένη περίπτωση λόγω της υψηλής συγκέντρωσης, τα σωματίδια βρίσκονται πολύ κοντά το ένα με το άλλο, δημιουργώντας αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους και μεταβολές στην ταχύτητα των γειτονικών σωματιδίων, παρεμποδίζοντας την ελεύθερη κατακάθιση. Στην περίπτωση που η απόσταση του ενός σωματιδίου από τα γειτονικά του ή/και από τα τοιχώματα του δοχείου-διαχωριστή είναι 10-20 διαμέτρους, η παρεμπόδιση μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα και τα σωματίδια θεωρείται ότι εκτελούν ελεύθερη κατακάθιση. Κατά την περίπτωση που εμφανίζονται σχετικά μεγάλες συγκεντρώσεις σωματιδίων, προκαλείται μείωση της ταχύτητας κατακάθισης, λόγω των αλληλεπιδράσεων (συγκρούσεων) μεταξύ των σωματιδίων. Δημιουργείται με αυτόν τον τρόπο ένα προσωρινό αιώρημα σωματιδίων, που σε ορισμένες περιπτώσεις κάποια σημεία του (όπου τα σωματίδια είναι πολύ μικρά) εμφανίζουν μία ανοδική τάση, λόγω του ότι παρασύρονται από το ρεύμα του ύδατος που ανεβαίνει προς τα πάνω, όντας ελαφρύτερο από τα στερεά σωματίδια. Έτσι μειώνεται και ο ρυθμός συσσώρευσης των σωματιδίων στον πυθμένα του διαχωριστή.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, ότι η αύξηση της συγκέντρωσης των σωματιδίων, προκαλεί την αύξηση φαινόμενης πυκνότητας, καθώς και του ιξώδους του αιωρήματος. Εν

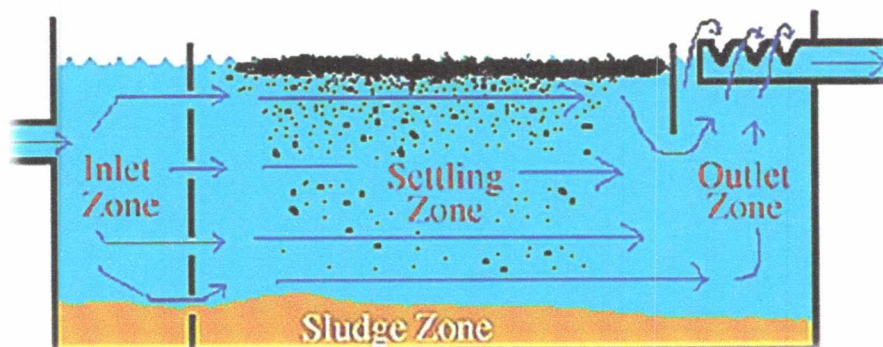
τέλει προκύπτει ότι, η ταχύτητα της παρεμποδιζόμενης κατακάθισης θα είναι μικρότερη από την ελεύθερη ταχύτητα της κίνησης Stokes. Η απόδειξη για την ταχύτητα κατακάθισης κατά την παρεμποδιζόμενη κίνηση, δίνεται στο τέλος της 3^{ης} παραγράφου του 4^{ου} κεφαλαίου όπου μελετάται η κίνηση σωματιδίων μέσω ρευστών.

2.1.3 Ταχύτητα ελεύθερης κατακάθισης των σωματιδίων- Νόμος του Stokes

Γίνεται η υπόθεση ότι ένα σωματίδιο είναι στάσιμο σε σχέση με το ρευστό στο οποίο έχει βυθιστεί και στη συνέχεια κινείται υπό την επίδραση μιας εξωτερικής δύναμης. Η κίνησή του μπορεί να διακριθεί σε δύο διαδοχικά στάδια: το πρώτο στάδιο, είναι μία (ιδιαίτερα) σύντομη περίοδος επιτάχυνσης (συνήθως με διάρκεια λιγότερη από 1 sec), κατά την οποία η ταχύτητα του σωματιδίου αυξάνεται από το μηδέν, μέχρι την τελική της τιμή. Το δεύτερο στάδιο είναι η περίοδος εκείνη κατά την οποία το σωματίδιο κινείται με την τελική του ταχύτητα.

Έστω τώρα, ότι ένα σωματίδιο κινείται ελεύθερα (δηλ. χωρίς την επίδραση άλλων σωματιδίων) με σταθερή (τελική) γραμμική (και σχετική ως προς το ρευστό) ταχύτητα u . Κάτω από τις συνθήκες αυτές στο σωματίδιο δρουν τρεις δυνάμεις: η δύναμη της βαρύτητας, η οπισθέλκουσα δύναμη και η δύναμη της άνωσης (όπως προκύπτει από τον νόμο του Αρχιμήδη).

Στους διαχωριστές ελαίου-νερού εισέρχεται το ρεύμα των αποβλήτων που είναι ένα μίγμα λάσπης και ελαίου με νερό. Με βάση την παραπάνω περιγραφή μπορούμε απλοϊκά να διακρίνουμε 3 ζώνες, όπως παρουσιάζονται και στην εικόνα 2-2. Την ζώνη εισόδου, την ζώνη κατακάθισης της ιλύος και ανύψωσης των σταγονιδίων του ελαίου έξω από την υδραυλική διαδρομή της ροής, και η ζώνη εξόδου του καθαρού ύδατος.



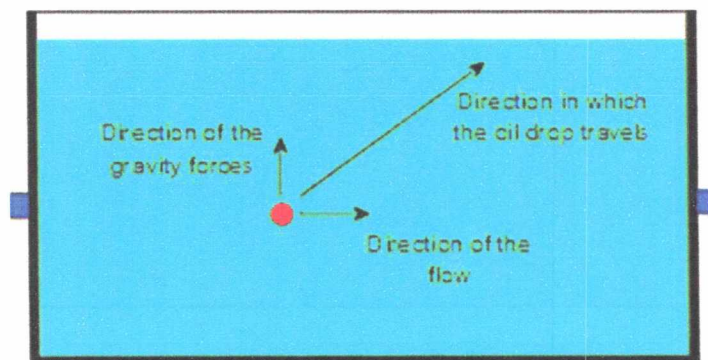
Εικόνα 2-2: Απλουστευμένη αναπαράσταση των τριών ζωνών του διαχωριστή ελαίου-νερού

Η ροή ταχύτητας V_H (οριζόντια ταχύτητα) διαμέσου του διαχωριστή είναι συνάρτηση της παροχής και του μεγέθους του διαχωριστή. Η ταχύτητα τότε συγκρίνεται με την ρυθμό ανύψωσης (V_t) και με το μήκος του διαχωριστή. Εάν η υπολογισμένη προκύπτουσα τροχιά ενός δεδομένου σταγονιδίου (στην περίπτωση πάντα της ελεύθερης ανύψωσης) του επιτρέπει να ανυψωθεί τόσο, ώστε να εξέλθει από την υδραυλική διάμετρο της ροής, τότε το σταγονίδιο αφαιρείται. Το παραπάνω είναι μια εφαρμογή του νόμου του Stokes, της τελικής ταχύτητας ενός σωματιδίου σε ένα υγρό μέσο. Η μαθηματική έκφραση του νόμου του Stokes δίνεται παρακάτω σχέση

$$V_t = \frac{g(\rho_w - \rho_p)D_0^2}{18\mu} \quad 2-1$$

και η λεπτομερής του απόδειξη υπάρχει στη παράγραφο 4.3.

Στο σημείο αυτό πρέπει να διευκρινιστεί, ότι κίνηση του σταγονιδίου κατά την ανύψωσή του για να εξέλθει από την υδραυλική διάμετρο της ροής, δεν είναι απλώς κατακόρυφη σε ένα σημείο, αλλά υπάρχει και οριζόντια μετακίνηση του, λόγω του ότι παρασέρνεται από την οριζόντια ροή του μίγματος, όπως διακρίνεται και στην εικόνα 2-3.



Εικόνα 2-3: Κίνηση ενός μεμονωμένου σταγονιδίου εντός του διαχωριστή. Αναφέρεται στην ζώνη όπου παρατηρείται η έξοδος του από την υδραυλική ροή και ο διαχωρισμός του από το μίγμα. (Πηγή: http://www.suparator.com/volume4_e/gravity-separator.html)

2.1.4 Διασπορές υγρού-υγρού

Η διασπορά μη αναμίξιμων υγρών εφαρμόζεται σε πολλές διεργασίες της χημικής μηχανικής, καθώς αυξάνει την επιφάνεια επαφής μεταξύ δύο υγρών.

Όταν σε ένα δοχείο (διαχωριστή) εισέλθει το ρεύμα των αποβλήτων με τα δύο μη αναμίξιμα υγρά (έλαιο και νερό), τότε όπως έχει ήδη αναφερθεί, το υγρό με την μεγαλύτερη πυκνότητα (νερό) κατεβαίνει στο κάτω μέρος του δοχείου και το δε υγρό με την μικρότερη πυκνότητα (έλαιο) καταλαμβάνει σταδιακά το πάνω μέρος του δοχείου. Η επιφάνεια επαφής μεταξύ των δύο υγρών περιορίζεται μόνο στην μεταξύ τους διεπιφάνεια. Αρχικά θα υπάρχει διασπορά του ενός υγρού (ελαίου) μέσα στο άλλο (νερό), το ένα υγρό δηλ. θα διανεμηθεί μέσα στην μάζα του άλλου υγρού. Η διασπορά θα υπάρξει μέχρι να ανέλθει και η τελευταία σταγόνα ελαίου στην επιφάνεια.

Σε μια διασπορά διακρίνει κανείς την συνεχή και την διεσπαρμένη φάση. Ως συνεχής φάση συνήθως χαρακτηρίζεται εκείνη που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο όγκο του μίγματος των δύο υγρών (στο μίγμα ελαίου-νερού, θεωρείται το νερό).

Γίνεται η υπόθεση ότι υπάρχει μια διασπορά ελαίου σε νερό και τα σταγονίδια του ελαίου είναι σχετικά μεγάλα (έστω 1mm). Αν η διασπορά αφηθεί σε ηρεμία, τότε με την πάροδο του χρόνου οι σταγόνες με την μεγαλύτερη πυκνότητα θα κατακάθονται, θα ενωθούν μεταξύ τους και τελικά τα δυο υγρά θα διαχωριστούν πλήρως και θα διαταχθούν σύμφωνα με την πυκνότητά τους. Με λίγα λόγια θα συμβεί διάσπαση της διασποράς. Οι διασπορές ανάλογα με τον χρόνο που απαιτείται για την διάσπασή τους χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- A. Μόνιμα ή σταθερά γαλακτώματα
- B. Μη μόνιμα γαλακτώματα

Τα γαλακτώματα θα εξεταστούν αναλυτικότερα στην επόμενη παράγραφο.

Χαρακτηριστικά της διεσπαρμένης φάσης. Μέση διάμετρος.

Στις διασπορές υγρού-υγρού ενδιαφέρει κυρίως το μέγεθος των διεσπαρμένων σταγόνων και η επιφάνεια επαφής μεταξύ της συνεχούς και της διεσπαρμένης φάσης. Το μέγεθος των σταγόνων και το εμβαδόν της επιφάνειας επαφής μεταβάλλονται με τις συνθήκες (π.χ. η θέση στο δοχείο) και τον βαθμό ανάδευσης. Για τον προσδιορισμό των παραπάνω μεγεθών είναι απαραίτητο να ορισθούν ορισμένα άλλα μεγέθη, όπως η

συγκράτηση Ψ και η μέση διάμετρος των σταγονιδίων \bar{D}_s . Για διασπορές υγρού-υγρού χρησιμοποιούνται στατιστικοί μέσοι όροι για τον χαρακτηρισμό του συστήματος, αφού αναμένεται κατανομή μεγέθους σταγονιδίων.

Συγκράτηση Ψ , ονομάζεται το κλάσμα όγκου της διεσπαρμένης φάσης μέσα στο σύστημα. Αν ο ολικός όγκος της συνεχούς φάσης είναι V_σ και της διεσπαρμένης V_δ , τότε η συγκράτηση Ψ , δίνεται από τον λόγο:

$$\Psi = \frac{V_\delta}{V_\sigma + V_\delta} \quad 2-2$$

Αν ο συνολικός όγκος των φάσεων της διασποράς ληφθεί ίσος με τη μονάδα ($V_\sigma + V_\delta = 1$), τότε ο όγκος της διεσπαρμένης φάσης είναι, V_δ , είναι εξ' ορισμού αριθμητικά ίσος με τη συγκράτηση Ψ (Παπαϊωάννου, 2002).

Σύμφωνα με τον Παπαϊωάννου (2002), αν υποθεθεί ότι ο αριθμός των σταγόνων στην μονάδα του όγκου διασποράς είναι N , και ακόμη ότι όλες οι σταγόνες είναι σφαιρικές διαμέτρου D_p , τότε για τον όγκο της διεσπαρμένης φάσης ($V_\delta = \Psi$) ισχύει η σχέση

$$\Psi = \frac{\pi N D_p^3}{6} \quad 2-3$$

Η συνολική επιφάνεια των σταγόνων, α , στην μονάδα όγκου διασποράς είναι:

$$\alpha = \pi N D_p^2 \quad 2-4$$

Από τις σχέσεις (2-3) και (2-4) προκύπτει:

$$D_p = \frac{6\Psi}{\alpha} \quad 2-5$$

Στην πραγματικότητα μέσα σε μια διασπορά οι σταγόνες δεν είναι πάντα σφαιρικές και διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το μέγεθος. Για να ληφθεί υπ' όψη η κατανομή μεγέθους των σταγόνων χρησιμοποιείται μια ισοδύναμη μέση διάμετρος \bar{D}_s , με βάση το συνολικό όγκο και την συνολική επιφάνεια της διεσπαρμένης φάσης. Αν το εμβαδόν της διεπιφάνειας και η συγκράτηση μπορούν να μετρηθούν ανεξάρτητα (δηλ. να είναι γνωστές οι τιμές τους), το μέσο μέγεθος των σταγόνων μπορεί να υπολογιστεί με βάση την σχέση:

$$\bar{D}_s = \frac{6\Psi}{\alpha}$$

2-6

Η διάμετρος \bar{D}_s , είναι γνωστή ως η μέση διάμετρος όγκου/επιφάνειας ή αλλιώς μέση διάμετρος Sauter.

2.1.5 Αιωρήματα μη αναμίξιμων υγρών και ειδικά προβλήματα: γαλακτώματα

Προτού εξεταστούν γαλακτώματα, κρίνεται χρήσιμο να δοθούν κάποιιοι ορισμοί οι οποίοι θα συναντηθούν σε όλη την διάρκεια της διπλωματικής εργασίας. Ένα ρεύμα υγρών αποβλήτων μπορεί να περιέχει έλαια σε μία από τρεις μορφές: ελεύθερα έλαια, γαλακτωματοποιημένα έλαια και διαλυμένα έλαια.

- ❖ Το ελεύθερο έλαιο ή απλώς έλαιο (όπως αποκαλείται σε όλη την έκταση της εργασίας), είναι στην μορφή διακριτών σφαιριδίων και έχουν την ικανότητα να μπορούν να ανέλθουν εξαιτίας των δυνάμεων της άνωσης και να σχηματίσουν ένα στρώμα ελαίου στην επιφάνεια του νερού. Υπό κατάλληλες συνθήκες το ελεύθερο έλαιο μπορεί να απομακρυνθεί με διαχωρισμό βαρύτητας. Η αφαίρεση είναι συνάρτηση του χρόνου παραμονής, της θερμοκρασίας, της διαφοράς στην ειδική βαρύτητα και την σταθερότητα του γαλακτώματος. Ορισμένα χονδροειδή ελαιώδη στερεά που έχουν ειδικό βάρος μεγαλύτερο από 1.0 καθιζάνουν στον πυθμένα του διαχωριστή. Τα περισσότερα όμως κλάσματα πετρελαίου και τα συναφή στερεά του ρεύματος λυμάτων των διυλιστηρίων, έχουν ειδικό βάρος μικρότερο από 1.0 οπότε μπορούν να ανέλθουν στην επιφάνεια του νερού.
- ❖ Το διαλυμένο έλαιο, είναι κλάσμα που σχηματίζει ένα πραγματικό μοριακό διάλυμα με το νερό. Το διαλυμένο έλαιο δεν μπορεί να διαχωριστεί με τον μηχανισμό της βαρύτητας. Τα λύματα χρειάζονται περαιτέρω επεξεργασία (για παράδειγμα βιολογική επεξεργασία) αν είναι απαραίτητη η αφαίρεση του διαλυμένου ελαίου.
- ❖ Το γαλακτωματοποιημένο έλαιο, είναι σε μορφή πολύ μικρών σταγονιδίων με διάμετρο μικρότερη των 20 μικρομέτρων (20 micron). Ως επί το πλείστον στο εύρος από 1-10 micron. Αυτά τα σταγονίδια σχηματίζουν ένα σταθερό αιώρημα στο νερό, ως αποτέλεσμα της επικράτησης των διασωματιδιακών δυνάμεων πάνω στις δυνάμεις άνωσης. Η παρουσία των σωματιδίων συμβάλλει επίσης στον σχηματισμό γαλακτώματος. Ανεξάρτητα από τον χρόνο που θα βρεθεί το γαλάκτωμα ελαίου-νερού σε συνθήκες ηρεμίας, δεν πρόκειται να υπάρξει διαχωρισμός του ελαίου από το νερό. Τα γαλακτωματοποιημένα έλαια δεν μπορούν να αφαιρεθούν μόνο με

διαχωρισμό βαρύτητας αλλά χρειάζεται επιπλέον συνένωση και η προσθήκη χημικών ουσιών ή η επίπλευση.

Το λεξικό επιστημονικών και τεχνικών όρων της McGraw-Hill (1974), ορίζουν το γαλάκτωμα ως την σταθερή διασπορά ενός υγρού σε ένα δεύτερο μη αναμίξιμο υγρό (π.χ. έλαιο διασπείρεται σε νερό). Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενη υποενότητα, τα γαλακτώματα χωρίζονται στις παρακάτω δύο κατηγορίες :

a) Μόνιμα ή σταθερά γαλακτώματα

Η διάμετρος των διεσπαρμένων σταγόνων είναι της τάξεως του 1 micron. Για την παρασκευή μόνιμων γαλακτωμάτων, εκτός από την κατάλληλη συσκευή διασποράς (η διασπορά βέβαια μπορεί να γίνει και με φυσικό τρόπο, παραδείγματος χάριν από αναταράξεις που προκαλούνται από κύματα), απαιτείται η προσθήκη κατάλληλων προσθετικών ουσιών (τασιενεργών), οι οποίες αυξάνουν την διεπιφανειακή τάση στα σταγονίδια. Με αυτόν τον τρόπο η διάσπαση αυτών των διασπορών απαιτεί μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ένα προϊόν που βρίσκεται υπό την μορφή γαλακτώματος είναι απαραίτητο να συνοδεύεται από το χρόνο όπου παραμένει στην μορφή αυτή.

b) Μη μόνιμα γαλακτώματα

Αυτές οι διασπορές διασπώνται αρκετά γρήγορα (π.χ. 30 min). Συνήθως η διάμετρος των σταγονιδίων κυμαίνεται στο διάστημα μεταξύ 50-1000 micron (Παπαϊωάννου, 2002).

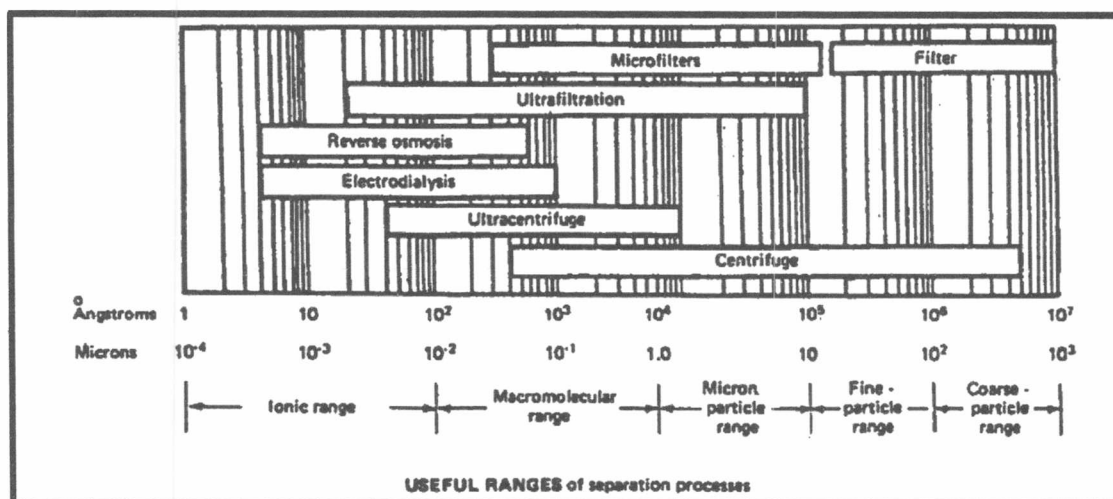
Η γαλακτωματοποίηση αυξάνει σημαντικά το ιξώδες, μειώνοντας την δυναμικότητα και την αποτελεσματικότητα μιας σειράς από συνεργαζόμενους μηχανισμούς που σχετίζονται με το ξάφρισμα, την άντληση και τις λοιπές εργασίες διαχείρισης του γαλακτώματος, που πραγματοποιούνται κατά το διαχωρισμό. Επιπλέον τα βαριά γαλακτωματοποιημένα έλαια θα ελαττώσουν, την ικανότητα για την διαχείριση των αποβλήτων και την διάθεση του ανακτημένου ελαίου.

Σε ένα γαλάκτωμα η συνεχής φάση είναι το έλαιο και ο διαχωρισμός είναι στην ουσία η κατακάθιση των σταγονιδίων του νερού, που έχουν την μεγαλύτερη πυκνότητα. Ωστόσο σε ένα σταθερό γαλάκτωμα τα σταγονίδια του νερού δεν μπορούν να καθίζανουν μόνο από τις δυνάμεις της βαρύτητας. Η διαδικασία της καθίζησης μπορεί να βελτιωθεί με θέρμανση για να μειωθεί το ιξώδες του πετρελαίου, η πυκνότητα του γαλακτώματος και η οπισθέλκουσα δύναμη. Έτσι μπορούν να διασφαλιστούν ικανοποιητικές συνθήκες για

συνένωση και ανάπτυξη μεγαλύτερων σταγονιδίων νερού. Ακόμη όμως και μετά την αφαίρεση του νερού το ιζώδες του γαλακτώματος θα συνεχίσει να μειώνεται και θα πλησιάσει τις τιμές που είχε το καθαρό έλαιο πριν την γαλακτωματοποίηση, οδηγώντας με αυτόν τον τρόπο σε υψηλότερες τελικές ταχύτητες και πιο αποτελεσματικό διαχωρισμό (Nordvik et all, 1996).

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν χημικές ουσίες αντί της θερμότητας ή σε συνδυασμό με την θερμότητα για να επιτευχθεί διάσπαση του γαλακτώματος και κατά συνέπεια να υπάρξει ένας ακόμη πιο αποτελεσματικός διαχωρισμός. Οι χημικές αυτές ουσίες, που ονομάζονται διασπαστές γαλακτώματος (*emulsion breakers*), δρουν ως διαλύτες στην διεπιφανειακή μεμβράνη που περιβάλλει τα σταγονίδια του νερού και μειώνουν την διεπιφανειακή τάση. Έτσι βελτιώνεται η ικανότητα των σταγονιδίων του νερού να συνενωθούν (Nordvik et all, 1996).

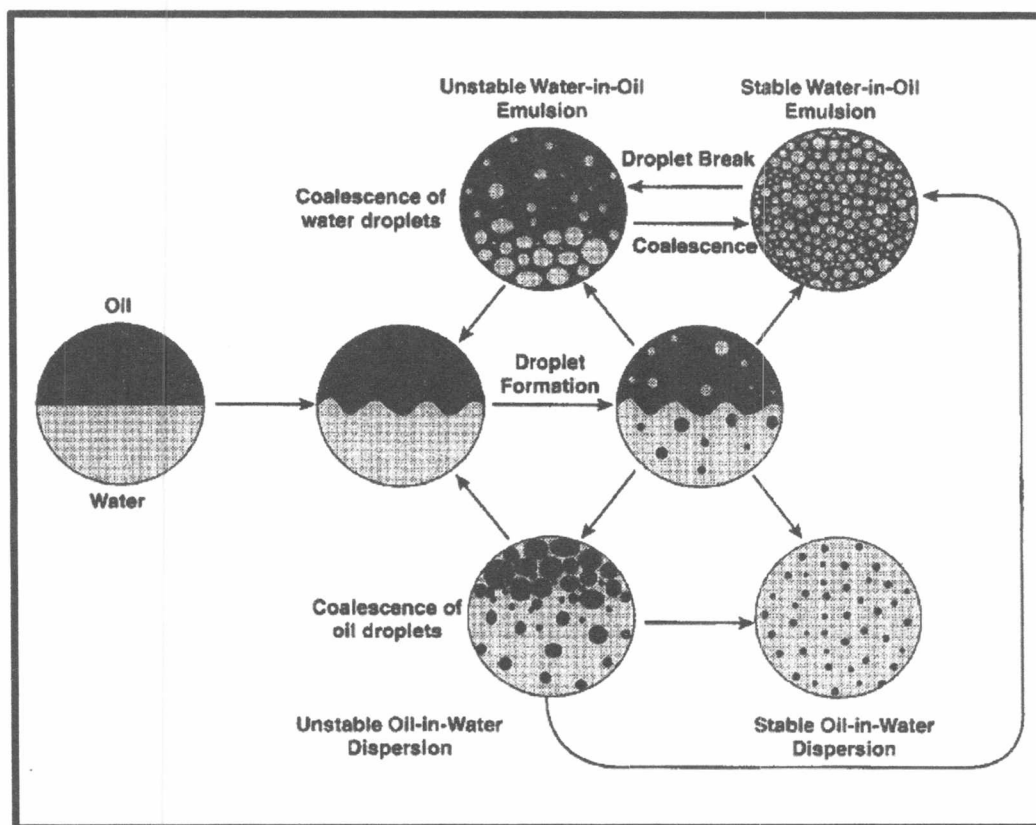
Τα πειραματικά δεδομένα, σχετικά με τα μεγέθη των σταγονιδίων του ελαίου και του γαλακτώματος όταν αυτά εισέρχονται σε έναν διαχωριστή είναι λίγα. Ωστόσο υπάρχει μια γενική κατηγοριοποίηση των μεθόδων διαχωρισμού ανάλογα με τα διάφορα εύρη μεγέθους του σταγονιδίου (Nordvik et all, 1996). Η εικόνα 2-4 που ακολουθεί αποτυπώνει τις μεθόδους αυτές ανάλογα με τα μεγέθη των σταγονιδίων.



Εικόνα 2-4: Συστηματοποίηση των μεγεθών των σταγονιδίων για διάφορες μεθόδους διαχωρισμού (Πηγή: Fleischer, 1984).

Επιδράσεις των Μεταβολών στις Ιδιότητες του Ελαίου στις Τεχνολογίες Διαχωρισμού

Το αργό πετρέλαιο και τα προϊόντα διύλισης αλλάζουν τις φυσικές και χημικές τους ιδιότητες με την πάροδο του χρόνου. Αυτό οφείλεται στην εξάτμιση και στον σχηματισμό γαλακτωμάτων νερού σε έλαιο και διασπορών ελαίου σε νερό (Walker et al., 1993, and Lewis et al., 1994). Στην εικόνα 2-5 απεικονίζεται η διαδικασία γαλακτωματοποίησης και σχηματισμού των σταθερών και ασταθών διασπορών και γαλακτωμάτων στο θαλασσινό νερό.



Εικόνα 2-5: Διάγραμμα για τον σχηματισμό σταθερού και ασταθούς γαλακτώματος και διασποράς στο θαλασσινό νερό (Πηγή: Lewis et al., 1994)

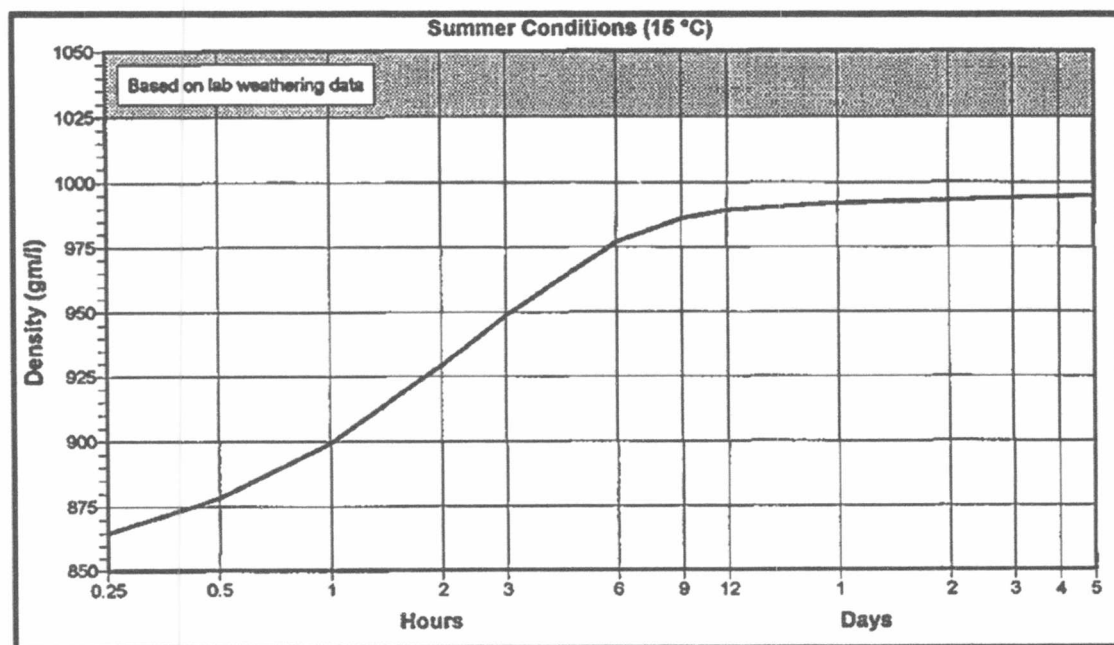
Ενώσεις που υπάρχουν στο έλαιο, όπως οι ρητίνες, τα ασφαλτένια και τα κερώματα, συμβάλλουν στον σχηματισμό σταθερών γαλακτωμάτων (Lewis et al., 1995a, and Bobra, 1992). Επιπλέον η πορφυρίνη νικελίου (*nickel porphyrin*) που βρίσκεται στο θαλασσινό νερό, έχει βρεθεί ότι είναι ένα σταθεροποιητικό συστατικό (Lee, 1995).

Οι αλλαγές στην σταθερότητα του γαλακτώματος και ο βαθμός σταθερότητας είναι σημαντικές για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ενός χημικού παράγοντα

(*chemical agent*) και την επιλογή των μεθόδων επεξεργασίας για την βελτίωση της αποτελεσματικότητας του διαχωρισμού.

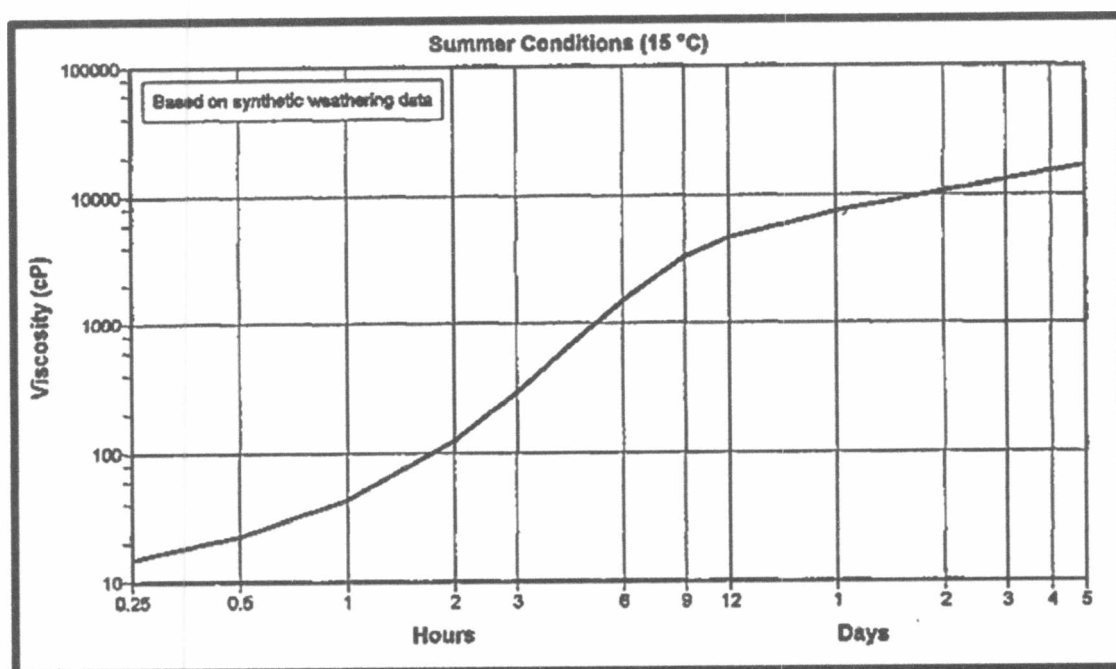
Μια αύξηση στην πυκνότητα του ελαίου και του γαλακτώματος, με την πάροδο του χρόνου θα ελαττώσουν την ικανότητα για άνωση του ελαίου, καθώς θα μειωθεί η διαφορά ανάμεσα στην πυκνότητα του ελαίου και του νερού, και θα δυσχεράνει των διαχωρισμό. Επιπλέον τα ακατέργαστα έλαια και τα προϊόντα διύλισης καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα πυκνοτήτων και όταν αναμειχθούν με το θαλασσινό νερό, η συμπεριφορά τους ποικίλει. Οι προοδευτικές αλλαγές στην πυκνότητα και το ιξώδες του ελαίου και του γαλακτώματος, ο σχηματισμός σταθερών γαλακτωμάτων, η διασπορά του ελαίου καθώς και τα γαλακτωματοποιημένα σταγονίδια του ελαίου, συμβάλουν στο να παρεμποδιστεί α) ο διαχωρισμός των σταγονιδίων του ελαίου και του γαλακτώματος από το νερό και β) ο διαχωρισμός των σταγονιδίων του νερού από το γαλάκτωμα.

Σε εργαστηριακά πειράματα που πραγματοποίησαν οι Strom-Kristiansen et all. (1994 a) δίνουν τις μεταβολές στην πυκνότητα, το ιξώδες και την περιεκτικότητα του νερού με το χρόνο. Η εικόνα 2-6 παρουσιάζει τις μεταβολές στην πυκνότητα ενός γαλακτώματος λόγω της γαλακτωματοποίησης και της εξάτμισης, συναρτήσει του χρόνου.

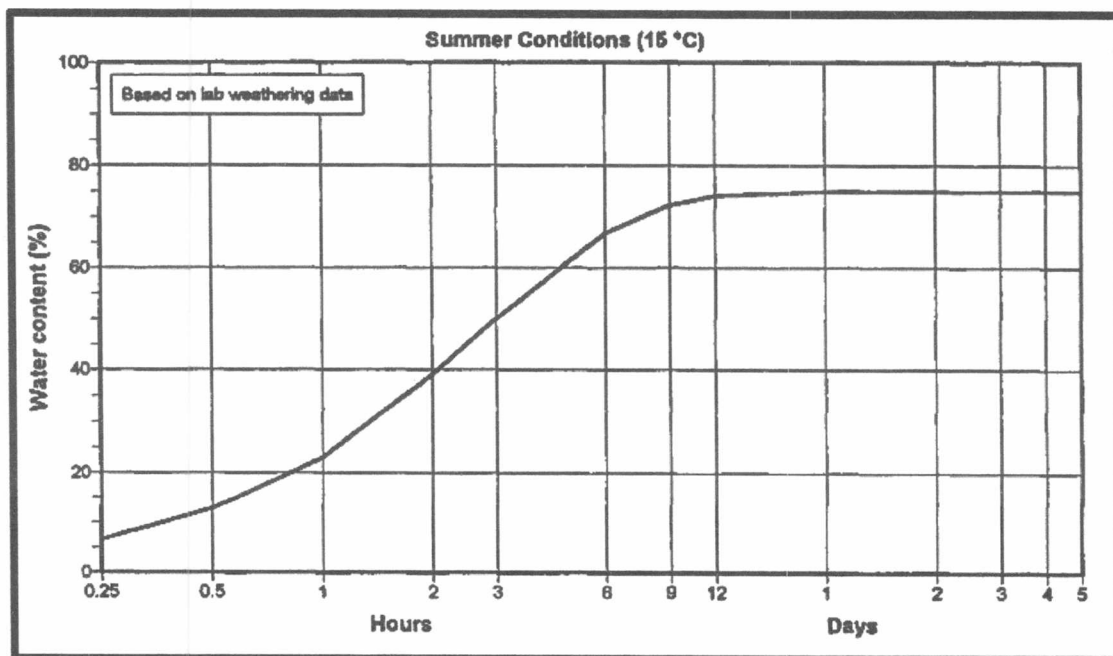


Εικόνα 2-6: Αλλαγές στην πυκνότητα του γαλακτώματος συναρτήσει του χρόνου, στην επιφάνεια θαλασσινού νερού (Πηγή: Strom-Kristiansen et all, 1994 a).

Η εικόνα 2-7 προβλέπει τις αλλαγές στο ιξώδες του γαλακτώματος συναρτήσει του χρόνου για ένα επιλεγμένο αργό πετρέλαιο. Τα γαλακτώματα αργού πετρελαίου μπορούν να φτάσουν την περιεκτικότητά τους σε νερό 60-80%, ενώ τα βαρύτερα προϊόντα διύλισης όπως τα έλαια των πλοίων, σχηματίζουν γαλακτώματα με περιεκτικότητα σε νερό στο εύρος 50-60%. Η εικόνα 2-8 παρουσιάζει τις αλλαγές στην περιεκτικότητα σε νερό συναρτήσει του χρόνου για ένα επιλεγμένο αργό πετρέλαιο κάτω από ένα δοσμένο σύνολο περιβαλλοντικών συνθηκών.



Εικόνα 2-7: Αλλαγές στο ιξώδες του γαλακτώματος για ένα επιλεγμένο έλαιο συναρτήσει του χρόνου, στην επιφάνεια θαλασσινού νερού (Πηγή: Strom-Kristiansen et al, 1994 a).

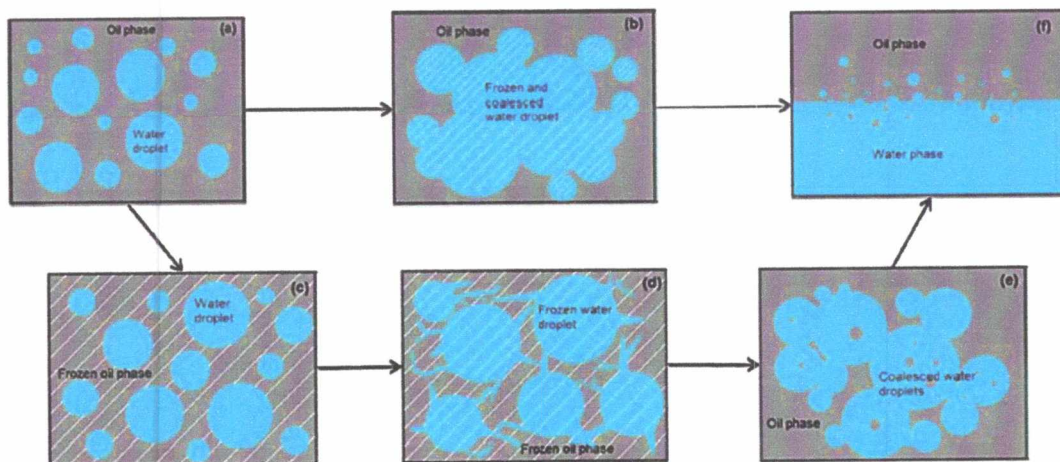


Εικόνα 2-8: Αλλαγές στην περιεκτικότητα σε νερό συναρτήσει του χρόνου για ένα επιλεγμένο έλαιο για ένα δοσμένο σύνολο περιβαλλοντικών συνθηκών (Πηγή: Strom-Kristiansen et all, 1994 a).

Ενίσχυση του διαχωρισμού του γαλακτώματος

Η χρήση διασπαστών γαλακτώματος (*emulsion breakers*) μπροστά από μια αντλία ξαφρίσματος, που είναι συνδεδεμένη σε σειρά με ένα φυγόκεντρο διαχωριστή ή με μια δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης που πραγματοποιεί βαρυτικό διαχωρισμό, και η θέρμανση του ελαίου ή του γαλακτώματος, είναι μέθοδοι που αυξάνουν την αποτελεσματικότητα του διαχωρισμού και την ανάκτηση του πετρελαίου από το μίγμα (Lewis et all., 1995b, Strom-Kristiansen et all, 1994b, and Lode, 1981). Η θέρμανση μειώνει κατά κύριο λόγο το ιξώδες του λαδιού και κατ' επέκταση την συνολική οπισθέλκουσα δύναμη, βοηθώντας την συνένωση και την κατακάθιση λόγω βαρύτητας. Οι διασπαστές γαλακτώματος αποσταθεροποιούν και τελικά μειώνουν την διεπιφανειακή τάση ανάμεσα στα σταγονίδια του νερού και του πετρελαίου, παρέχοντας ιδανικές συνθήκες συνένωσης και αύξηση του μεγέθους των σταγονιδίων του νερού. Αν το ιξώδες και η οπισθέλκουσα δύναμη του ελαίου εξακολουθούν να είναι υπερβολικά υψηλά για να επιτευχθεί ένας αποτελεσματικός διαχωρισμός, τότε απαιτείται ένας συνδυασμός θερμότητας και διασπαστών γαλακτώματος. Η μείωση της περιεκτικότητας σε νερό ενός γαλακτώματος, λόγω θέρμανσης ή χρήσης διασπαστών (γαλακτώματος) και η επακόλουθη μείωση του ιξώδους του γαλακτώματος, μπορεί να βελτιώσει την ικανότητα άντλησης και την παροχή

εξόδου (δηλ. να υπάρχει λιγότερο γαλάκτωμα). Επιπλέον μπορεί να μειώσει, τον χρόνο μεταφοράς και εκκένωσης, τους κινδύνους από τις εργασίες διαχείρισης των αποβλήτων ελαίου και να βελτιώσει την δυνατότητα για πώληση και επαναχρησιμοποίηση του ανακτημένου ελαίου. Άλλες μέθοδοι για να σπάσει το γαλάκτωμα περιλαμβάνουν, αύξηση της περιεκτικότητας σε νερό ενός ασταθούς γαλακτώματος ελαίου-νερού με σκοπό να σχηματιστεί διασπορά ελαίου σε νερό και ψύξη του νερού (εικόνα 2-9) για να διευκολυνθεί ο διαχωρισμός. (Nordvik et all, 1996).



Εικόνα 2-9: Σχηματικό διάγραμμα του μηχανισμού κατάψυξης/ απόψυξης που προκαλείται απογαλακτωματοποίηση για w/o γαλάκτωμα. (α) αρχικό γαλάκτωμα, (β) κατάψυξη σταγονιδίων του νερού, επέκταση και συσσωμάτωση, (γ) κατάψυξη της φάσης του ελαίου για να σχηματιστεί ένα στερεό κλουβί, (δ) κατάψυξη των σταγονιδίων του νερού και επέκταση για να σπάσει το κλουβί, (ε) απόψυξη του γαλακτώματος και συνένωση των σταγονιδίων του νερού, (φ) αποκόλληση λόγω βαρύτητας. (Πηγή: Guangji H. et all, 2013)

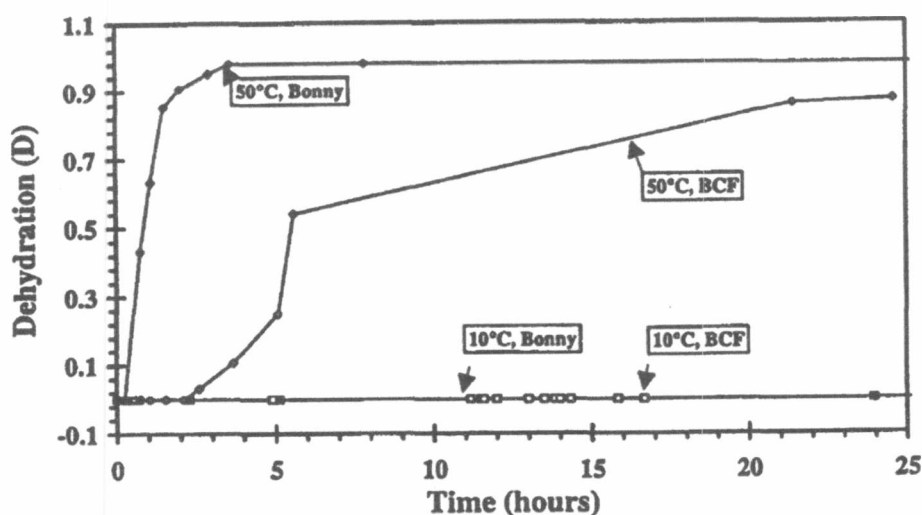
Θέρμανση σε θερμοκρασία περίπου 50° C είναι, σε γενικές γραμμές, επαρκής για να διασπάσει το γαλάκτωμα αργού πετρελαίου με βαρυτική καθίζηση. Αυτό όμως εξαρτάται και από το βαθμό αποσάθρωσης του ελαίου και τις φυσικές και χημικές του ιδιότητες (Nordvik et all, 1996). Η εικόνα 2-10 δίνει τα πειραματικά αποτελέσματα των Strom-Kristiansen et all (1994b), για την επιρροή της θέρμανσης στην μείωση της περιεκτικότητας του γαλακτώματος σε νερό.

Οι παράγοντες γαλακτώματος έχουν μεγάλη εφαρμογή στις επιχειρήσεις αντιμετώπισης των θαλάσσιων πετρελαιοκηλίδων, συμπεριλαμβανομένου της πρόληψης της γαλακτωματοποίησης, την μείωση του όγκου του γαλακτοποιηθέντος πετρελαίου με διαχωρισμό και την ενίσχυση του μηχανισμού διασποράς (SEA, 1995).

Η αποτελεσματικότητα του διαχωρισμού από την χρήση διασπαστών γαλακτώματος εξαρτάται από την σύνθεση και την αποτελεσματικότητα του προϊόντος (εξαιτίας των μεταβολών στις ιδιότητες του ελαίου), τον ρυθμό δΟΣΟΛΟΓΙΑΣ, τις ιδιότητες του ελαίου, την

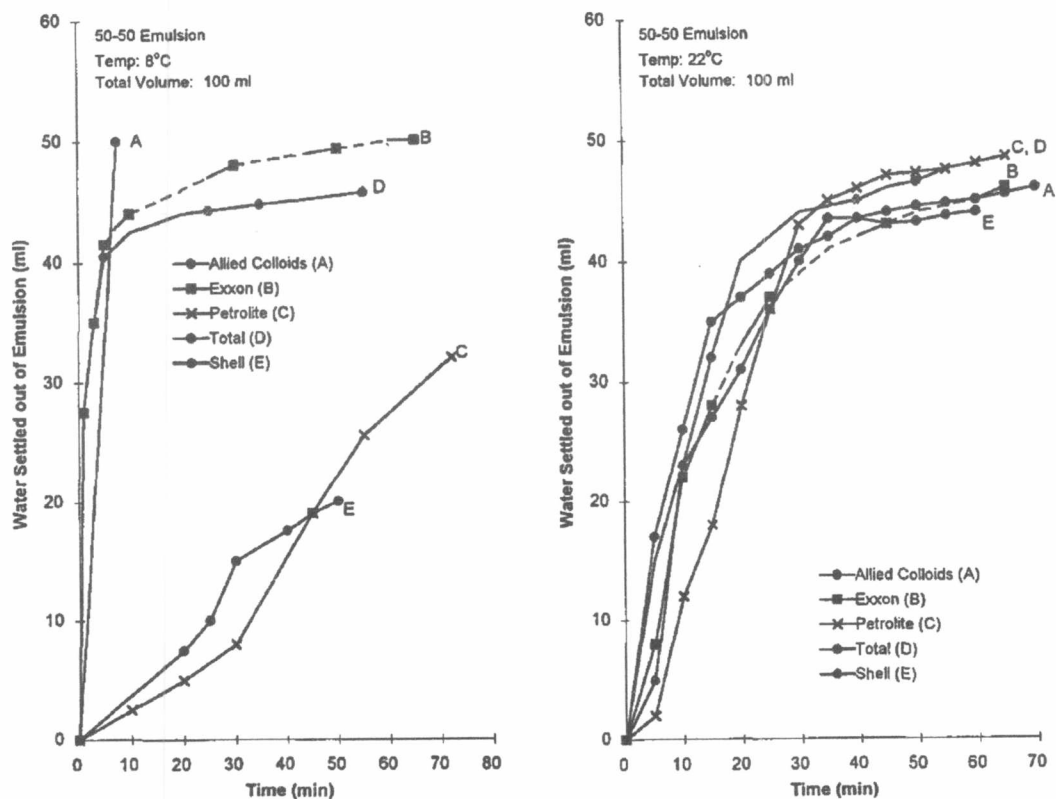
ενέργεια ανάμειξης, την θερμοκρασία και τον χρόνο. Γαλακτώματα που σχηματίζονται από παραφινικά (*paraffinic*) κατάλοιπα αργού πετρελαίου διασπώνται ταχύτερα από τα γαλακτώματα που σχηματίζονται από αργό πετρέλαιο (*crude oils*) με υψηλό ποσοστό ασφαλτενίου (*asphaltene*). Η δοσολογία που απαιτείται για ακατέργαστα έλαια έχει ένα ρυθμό που κυμαίνεται μεταξύ 250-500rpm ανάλογα με τον όγκο του ελαίου, και για προϊόντα διύλισης με υψηλό ιξώδες φτάνουν έως τα 5000rpm (Abbot et al., 1994)

Effect of temperature



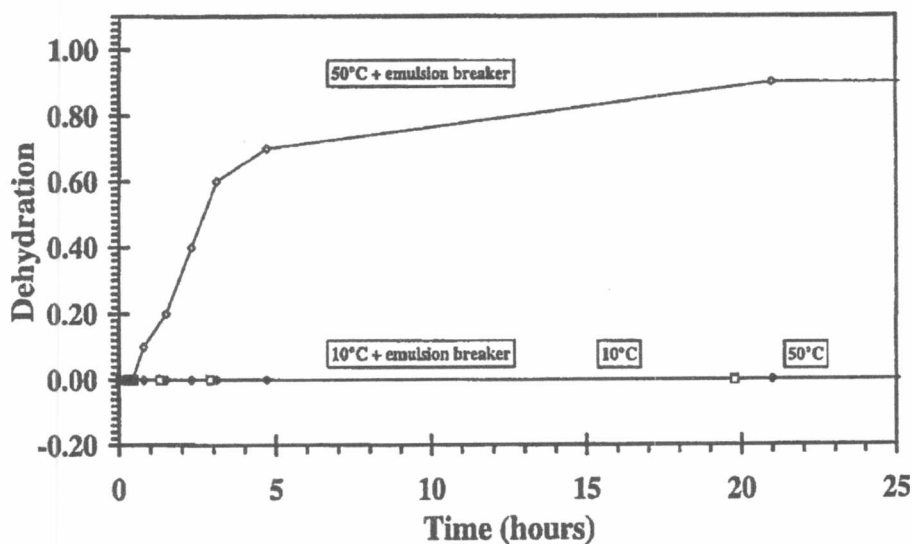
Εικόνα 2-10: Η επίδραση της θερμοκρασίας στην ελάττωση της περιεκτικότητας σε νερό (dehydration) δύο γαλακτωμάτων με διαφορετικό έλαιο στις θερμοκρασίες 10 και 50 °C (Πηγή: Strom-Kristiansen et al., 1994 b).

Ο χρόνος είναι ένας βασικός παράγοντας για τον αποτελεσματικό διαχωρισμό και αφορά τόσο τον χρόνο παραμονής σε έναν διαχωριστή, όσο και τον διαθέσιμο χρόνο για θέρμανση αλλά και τον χρόνο να γίνει η χημική αντίδραση. Για παράδειγμα για ένα VOSS (vessel of opportunity skimming system) ο διαθέσιμος χρόνος για την επεξεργασία και τον διαχωρισμό, από το ξάφρισμα μέχρι τον απόρριψη σε ένα δοχείο, είναι 5-15 λεπτά. Οπότε μέσα σε αυτόν τον χρόνο πρέπει να έχει διασπαστεί το γαλάκτωμα και να έχει αφαιρεθεί το έλαιο. Συγκριτικά με την θέρμανση, οι διασπαστές γαλακτωμάτων δρουν πολύ πιο γρήγορα, έχουν λιγότερο κόστος, μπορούν να εφαρμοστούν σε μια μεγάλη ποικιλία ακατέργαστων ελαίων και μειώνουν την τάση για επανασχηματισμό γαλακτωμάτων (Nordvik et al., 1996). Η εικόνα 2-11 δίνει πειραματικά δεδομένα από την διάσπαση ενός σταθερού γαλακτώματος αργού πετρελαίου (50-50 των 100 ml στις θερμοκρασίες 8 και 22° C) για διάφορους διασπαστές γαλακτώματος (Lode, 1981). Όπως παρατηρείται στην εικόνα 2-11 οι χρόνοι που επιτυγχάνουν είναι κοντά στα 15 λεπτά.



Εικόνα 2-11: Αποτελεσματικότητα επιλεγμένων διασπαστών γαλακτώματος για ένα σταθερό γαλάκτωμα στις θερμοκρασίες 8 και 22 °C (Πηγή: Lode, 1981)

Τα γαλακτωματοποιημένα έλαια των πλοίων (*emulsified bunker oils*) απαιτούν περισσότερο χρόνο για να διασπαστούν συγκριτικά με τα γαλακτώματα αργού πετρελαίου. Ένα συνδυασμός θέρμανσης και διασπαστών ελαίου είναι ιδανικός σε αυτές τις περιπτώσεις εικόνα 2-12.



Εικόνα 2-12: Συνδυασμός θερμοκρασίας και διασπαστή γαλακτώματος για την αφαίρεση νερού από το γαλάκτωμα του Bunker Oil IF 80 (Πηγή: Strom-Kristiansen et al, 1994 b)

2.2 Ενδεικτικές εφαρμογές

Οι διαχωριστές ελαίου-νερού χρησιμοποιούνται σε μια ποικιλία βιομηχανικών εφαρμογών για την απομάκρυνση των ελαίων, γράσων, ελαφρών προϊόντων πετρελαίου και στερεών σωματιδίων καλυμμένων με έλαιο. Στόχος είναι η απομάκρυνση όλων αυτών από το ρεύμα των λυμάτων, πριν την απόρριψή του στο περιβάλλον (στα διάφορα συστήματα αποχέτευσης). Με την διαδικασία αυτή συγκρατούνται οι ουσίες που προκαλούν περιβαλλοντικά προβλήματα και μειώνεται η επιβάρυνση (φόρτος εργασίας) για τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Η χρήση διαχωριστών στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, γίνεται όλο και περισσότερο απαραίτητη σύμφωνα με κανονισμούς και διατάξεις που επιβάλουν πλέον πολλά κράτη, που θεωρούν τους διαχωριστές αναπόσπαστο κομμάτι πολλών διεργασιών διαχείρισης αποβλήτων. Κοινές εφαρμογές των διαχωριστών ελαίου-νερού περιλαμβάνουν την διαχείριση του νερού στα αεροδρόμια, στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, στις εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού με καύσιμα και σε περιοχές που υπάρχει πλύση σε αυτές τις εγκαταστάσεις, όπου νερό και έλαιο στραγγίζονται μαζί στους υπόνομους.

Οι εγκαταστάσεις διαχωρισμού είναι, ανάλογα με την εφαρμογή τους, είτε υπόγειες είτε πάνω από το έδαφος. Παρακάτω αναφέρονται λίγο πιο αναλυτικά κάποιες από αυτές.

- Για την παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου. Οι προσμείξεις που συναντάμε στις σημερινές εργασίες υδραυλικής ρωγμάτωσης/ επαναρροής (*fracking/ flow back*), και το παραγόμενο ρεύμα νερού παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία, αφήνοντας του παραγωγούς και τις εταιρίες εξόρυξης, αντιμέτωπους με ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο ρεύμα από άργιλο, χώμα, μέταλλα και χημικά μαζί με υδρογονάνθρακες. Έτσι η πρωτοβάθμια επεξεργασία αυτών των ποικίλων ρευμάτων των λυμάτων, απαιτεί μια τεχνολογία διαχωρισμού που παρέχει την απομάκρυνση των στερεών πετρωμάτων και την εξαγωγή του πετρελαίου.
- Επεξεργασία των ομβρίων υδάτων. Η διαχείριση και η εξασθένιση των ομβρίων είναι ένα συχνό φαινόμενο τα τελευταία χρόνια, τόσο λόγω των περιβαλλοντικών του οφειλών, όσο και των κανονισμών που έχουν θεσπιστεί και τεθεί σε εφαρμογή από τους εκάστοτε τοπικούς φορείς.

Οι αναπτυγμένες αστικές περιοχές για παράδειγμα, εμποδίζουν τις φυσικές μεθόδους που χρησιμοποιεί το έδαφος για να συλλέξει το νερό της βροχής και να ακολουθήσει το φυσικό του κύκλο (κύκλος νερού). Το νερό, κατά τον κύκλο του, συσσωρεύεται

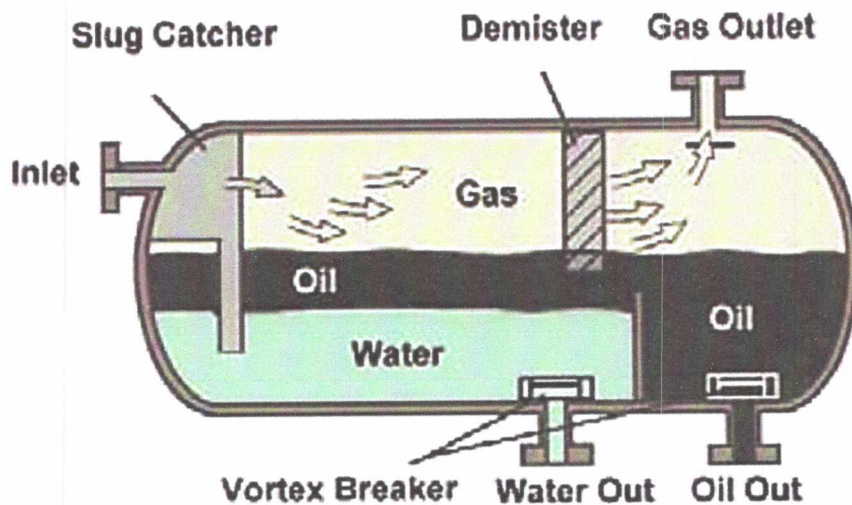
στις χαμηλότερες περιοχές και αποστραγγίζεται αργά στο χώμα, όπου καθαρίζεται με φυσικές μεθόδους και σιγά-σιγά οδηγείται στους υδροφόρους ορίζοντες. Το έδαφος στις αστικές περιοχές είναι επί το πλείστον αδιαπέραστο (μπετόν, ασφαλτος κτλ.) γεγονός που οδηγεί σε μεγάλες ποσότητες απορροής, που συμβάλλουν στην διάβρωση του εδάφους και την κατακάθιση επιβλαβών ιζημάτων και τοξινών σε ποτάμια και μεγάλα υδάτινα συστήματα. Μία άλλη σημαντική πηγή μόλυνσης των υπόγειων υδάτων προέρχεται από την διαρροή δεξαμενών πετρελαίου και βενζίνης που βρίσκονται στα διάφορα σημεία ανεφοδιασμού, στις αποθήκες πετρελαίου και στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Εισάγοντας υδρογονάνθρακες όπως έλαια, βενζίνη και πτητικές οργανικές ενώσεις στους υδροβιότοπους, έχει σαν αποτέλεσμα καταστροφικές συνέπειες στην ποιότητα του νερού στις λίμνες, στα ποτάμια και στα παράκτια ύδατα. Το πετρέλαιο και τα υποπροϊόντα του συγκαταλέγονται στους ρύπους της απορροής και του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, τα οποία είναι γνωστό ότι περιέχουν επιβλαβή συστατικά όπως μέταλλα και πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (*polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs*) και PCB.

Η διαχείριση ομβρίων χρησιμοποιείται για την πρόληψη αυτών των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Για να αποφευχθεί η ανεξέλεγκτη ροή του νερού της βροχής, με αποτέλεσμα να συσσωρευθεί στους υπονόμους και τα ποτάμια, εφαρμόζονται τεχνικές αποθήκευσης με σκοπό να συλλεχθεί το νερό και να υποστεί επεξεργασία. Η επεξεργασία περιλαμβάνει καθαρισμό του νερού για την ολική αφαίρεση των αιωρούμενων στερεών και στην συνέχεια την εκ νέου διάθεση του στο περιβάλλον, ως καθαρό πλέον νερό.

- Εφαρμογές στην ναυτιλία. Οι διαχωριστές ελαίου-νερού βρίσκουν ίσως τις περισσότερες εφαρμογές τους στην ναυτιλία. Αναλυτικά περιγράφονται στο κεφάλαιο 3.
- Γενικά στην βιομηχανία. Η διαχείριση των βιομηχανικών αποβλήτων είναι μια άλλη μεγάλη εφαρμογή στην οποία χρησιμοποιούνται οι διαχωριστές ελαίου-νερού. Ένα παράδειγμα θα ήταν η χύδην αποθήκευση και διαχείριση πετρελαιοειδών, μια βιομηχανική δραστηριότητα που παράγει μεγάλες ποσότητες ελαιώδους λύματος. Ένα άλλο παράδειγμα προέρχεται από την βιομηχανία τροφίμων, καθώς τα υδάτινα λύματα περιέχουν λάδι, λίπη και άλλα αιωρούμενα στερεά που πρέπει να αφαιρεθούν για να μην φράξουν το σύστημα αποχέτευσης.
- Σε στρατιωτικές εφαρμογές. Στις στρατιωτικές εφαρμογές βρίσκουν ευρεία χρήση για τον διαχωρισμό του ελαίου και του γράσου, που υπάρχουν στα λύματα που

προέρχονται από τους χώρους πλύσης και συντήρησης των οχημάτων, τα υπόστεγα των αεροσκαφών και οι χώροι ανεφοδιασμού. Εκτεταμένη εφαρμογή υπάρχει στο ναυτικό, στα πολεμικά πλοία και υποβρύχια.

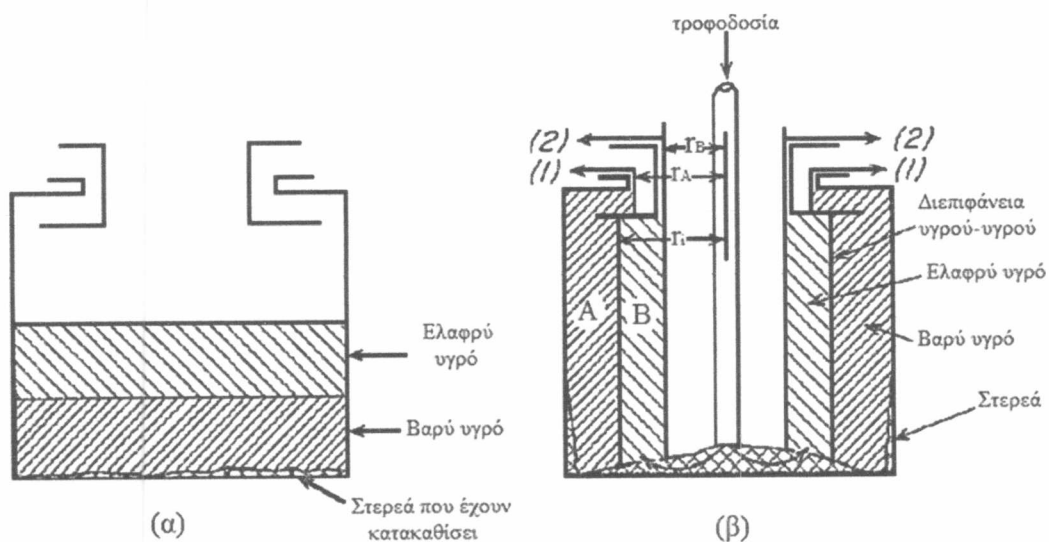
- Στα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα παράγονται λύματα από διαρροές στους στροβίλους, στους εναλλάκτες θερμότητας και από τους μετασχηματιστές.
- Σε υπεράκτιες (*offshore*) εφαρμογές. Οι υπεράκτιες εφαρμογές περιλαμβάνουν διεργασίες εξόρυξης πετρελαίου και φυσικού αερίου. Εδώ συνήθως συναντώνται μεγάλες εγκαταστάσεις στην θάλασσα, οι γνωστές πλατφόρμες. Σε αυτή την περίπτωση είναι πιο συνηθισμένο να χρησιμοποιούνται διαχωριστές ελαίου-νερού-αερίου (εικόνα 2-13). Ο τρόπος λειτουργίας τους μοιάζει πάρα πολύ με αυτόν του ελαίου-νερού. Χαρακτηριστικό τους είναι επίσης οι μεγάλες πιέσεις που επικρατούν στο εσωτερικό τους. Σε περιπτώσεις όμως που υπάρχουν μεγάλες διαρροές (είτε από τις πλατφόρμες είτε από κάποιο πλοίο) και σχηματισμός κηλίδας ευρείας έκτασης χρησιμοποιούνται απλοί διαχωριστές ελαίου-νερού.



Εικόνα 2-13: Διαχωριστής ελαίου-νερού-αερίου (Πηγή: Havard Devold, 2013)

2.3 Φυγοκέντρωση (τεχνητή βαρύτητα)

Όταν η διαφορά των πυκνοτήτων μεταξύ των δυο ρευστών είναι πολύ μικρή, τότε η δύναμη της βαρύτητας είναι πολύ πιθανόν να είναι ανεπαρκής για να πραγματοποιηθεί ο διαχωρισμός των δύο ρευστών σε ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Σε αυτή τη περίπτωση ο διαχωρισμός μπορεί να επιτευχθεί εκμεταλλευόμενος την φυγόκεντρη δύναμη, σε μια φυγόκεντρη συσκευή υγρού-υγρού (εικόνα 2-14). Στο 4^ο κεφάλαιο αποδεικνύεται αναλυτικά η επιρροή της φυγόκεντρης ταχύτητας στην τελική ταχύτητα κατακάθισης. Η συσκευή αυτή αποτελείται από ένα κυλινδρικό, μεταλλικό, ανοιχτό δοχείο, συνήθως τοποθετημένο κατακόρυφα, το οποίο περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα με μεγάλη ταχύτητα. Στο σχήμα 2-14α το δοχείο είναι ακίνητο και περιέχει δυο μη αναμίξιμα υγρά διαφορετικών πυκνοτήτων. Το βαρύτερο υγρό σχηματίζει ένα στρώμα στον πυθμένα του δοχείου κάτω από το στρώμα του ελαφρύτερου υγρού. Αν το δοχείο αρχίζει να περιστρέφεται (σχήμα 2-14β), το βαρύτερο υγρό σχηματίζει ένα στρώμα το οποίο αναφέρεται ως ζώνη Α στο σχήμα και το στρώμα αυτό βρίσκεται ακριβώς δίπλα στο εσωτερικό τοίχωμα του δοχείου. Το ελαφρύτερο υγρό σχηματίζει ένα στρώμα (ζώνη Β) στο εσωτερικό του στρώματος του βαρύτερου υγρού. Τα δύο στρώματα διαχωρίζονται από μία κυλινδρική επιφάνεια ακτίνας r_i . Η διεπιφάνεια αυτή είναι κατακόρυφη, επειδή η δύναμη της βαρύτητας είναι αμελητέα σε σύγκριση με την πολύ μεγαλύτερη φυγόκεντρη δύναμη και ονομάζεται ουδέτερη ζώνη (McCabe et all, 2002).



Εικόνα 2-14: Φυγοκεντρικός διαχωρισμός μη αναμίξιμων υγρών. (α) Ακίνητο δοχείο (β) περιστρεφόμενο δοχείο. Ζώνη Α: διαχωρισμός ελαφρού υγρού με το βαρύ, Ζώνη Β: διαχωρισμός βαριού υγρού από το ελαφρύ. (1) Απόρριψη βαριού υγρού (2) Απόρριψη ελαφριού υγρού (Πηγή: McCabe et all, 2002)

Η τροφοδοσία εισάγεται σε ένα σημείο κοντά στο πυθμένα του δοχείου. Το ελαφρύ υγρό εξέρχεται από το σημείο 2, ενώ το βαρύ υγρό περνά κάτω από ένα δακτύλιο προς τον άξονα περιστροφής και εξέρχεται από το σημείο 1. Για αμελητέα αντίσταση τριβής στην ροή των ρευστών, η θέση της διεπιφάνειας υγρού-υγρού καθορίζεται από την υδροστατική ισορροπία και τις ακτινικές αποστάσεις από τον άξονα των ανοιγμάτων από τα σημεία 1 και 2.

Έστω ότι υπάρχουν δύο υγρά A (βαρύ) και B (ελαφρύ) με πυκνότητες ρ_A και ρ_B αντίστοιχα. Το υγρό A υπερχειλίζει σε ακτίνα r_A και το υγρό B εξέρχεται από το r_B . Για αμελητέα τριβή και με βάση το γεγονός ότι τα δύο υγρά περιστρέφονται μαζί, θα πρέπει η διαφορά πίεσης ανάμεσα στα r_A και r_i να είναι ίση με την διαφορά πίεσης ανάμεσα στο r_i και το r_B . Άρα,

$$P_i - P_A = P_i - P_B \quad 2-7$$

όπου

P_i : η πίεση στην διεπιφάνεια υγρού-υγρού

P_A : η πίεση στην ελεύθερη επιφάνεια του ελαφρύτερου υγρού στο r_B

P_B : η πίεση στην ελεύθερη επιφάνεια του βαρύτερου υγρού στο r_A

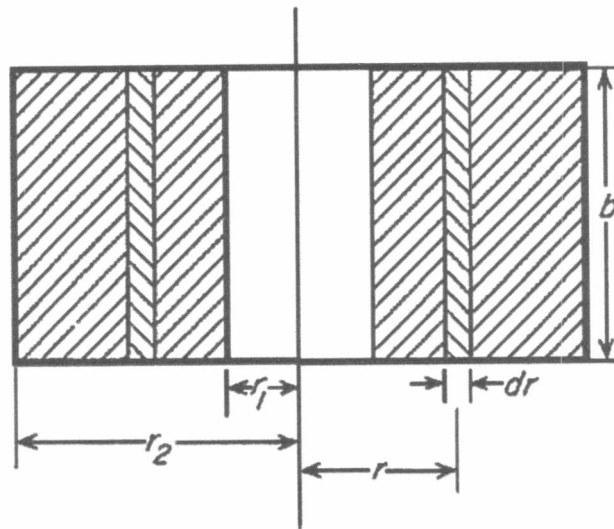
Η πτώση πίεσης σε οποιοδήποτε δακτύλιο ενός περιστρεφόμενου υγρού υπολογίζεται ως εξής. Δίνεται ο δακτύλιος υγρού όπως παρουσιάζεται παρακάτω (εικόνα 2-15) και το στοιχείο όγκου με πάχος d_r και ακτίνα r . Η φυγόκεντρη δύναμη είναι:

$$dF = \omega^2 r dm \quad 2-8$$

όπου:

dm : η μάζα του υγρού στο στοιχείο του όγκου

ω : γωνιακή ταχύτητα



Εικόνα 2-15: Υγρό μέσα στο δοχείο της φυγόκεντρης.

Για ρ η πυκνότητα του υγρού και b το πλάτος του δακτυλίου ισχύει:

$$dm = 2\pi\rho r b dr \quad 2-9$$

και αντικαθιστώντας στην εξίσωση 2-8 την 2-9 προκύπτει:

$$dF = 2\pi\rho b \omega^2 r^2 dr \quad 2-10$$

Η μεταβολή της πίεσης σε όλο το στοιχείο ισοδυναμεί με το πηλίκο της δύναμης που ασκεί το στοιχείο προς την επιφάνεια του δακτυλίου:

$$dp = \frac{dF}{2\pi r b} = \omega^2 \rho r dr \quad 2-11$$

ενώ η πτώση πίεσης σε όλο το δακτύλιο προκύπτει με ολοκλήρωση της παραπάνω σχέσης από r_1 έως r_2 και για σταθερή πυκνότητα:

$$p_2 - p_1 = \int_{r_1}^{r_2} \omega^2 \rho r dr \stackrel{\rho=\text{σταθ.}}{\Rightarrow} p_2 - p_1 = \frac{\omega^2 \rho}{2} (r_2^2 - r_1^2) \quad 2-12$$

Οπότε η 2-7 από την 2-12 δίνει για το κάθε μέλος :

$$p_i - p_A = \frac{\omega^2 \rho_A}{2} (r_i^2 - r_A^2) \quad 2-13$$

$$p_i - p_B = \frac{\omega^2 \rho_B}{2} (r_i^2 - r_B^2) \quad 2-14$$

Εξισώνοντας τις σχέσεις 2-13 και 2-14 και απλοποιώντας προκύπτει

$$\rho_B(r_i^2 - r_B^2) = \rho_A(r_i^2 - r_A^2) \quad 2-15$$

και λύνοντας ως προς r_i

$$r_i = \sqrt{\frac{r_A^2 - (\rho_B/\rho_A)r_B^2}{1 - (\rho_B/\rho_A)}} \quad 2-16$$

Οι McCabe et all (2002) αναφέρουν ότι από την παραπάνω σχέση γίνεται φανερό ότι η ακτίνα r_i επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τον λόγο των πυκνοτήτων, ιδιαίτερα όταν ο λόγος αυτός είναι πολύ κοντά στην μονάδα. Αν οι πυκνότητες των δύο υγρών διαφέρουν ελάχιστα, η ουδέτερη ζώνη ενδέχεται να είναι ασταθής, ακόμη και εάν η ταχύτητα έχει τέτοια τιμή ώστε να ευνοεί τον διαχωρισμό των δύο υγρών. Για να είναι σταθερή η λειτουργία της συσκευής, η διαφορά ανάμεσα στις δύο πυκνότητες ρ_A και ρ_B δεν πρέπει να είναι μικρότερη από το 3% περίπου.

Επίσης από την 2-16 συμπεραίνεται ότι για σταθερή r_B και αν αυξηθεί η r_A , η ουδέτερη ζώνη μετατοπίζεται προς τα τοιχώματα του δοχείου, ενώ εάν μειωθεί η r_A η ζώνη μετατοπίζεται προς τον άξονα. Το αντίθετο συμβαίνει για σταθερό r_A , δηλαδή αν r_A σταθερό και αυξηθεί το r_B η ζώνη πλησιάζει τον άξονα ενώ εάν μειωθεί r_B η ουδέτερη ζώνη μετατοπίζεται προς τα τοιχώματα του δοχείου.

3 Διαχωριστές ελαίου-νερού στην ναυτιλία

Οι διαχωριστές ελαίου-νερού (*oily-water separator, OWS*) χρησιμοποιούνται κυρίως στην ναυτιλία. Τα έλαια των πλοίων αποτελούν μία από τις κυριότερες πηγές μόλυνσης των θαλάσσιων υδάτων. Κατά συνέπεια όλα τα πλοία υποχρεούνται να έχουν εγκατεστημένο έναν OWS και να ελέγχουν την ποιότητα των υδάτων που εκκενώνουν στην θάλασσα.

Κοινό χαρακτηριστικό των περισσότερων διαχωριστών, είναι ότι η βασική αρχή λειτουργίας τους είναι η διαφορά του ειδικού βάρους και πιο συγκεκριμένα της πυκνότητας των προς διαχωρισμό ρευστών. Ο νόμος του Stokes είναι το "απόλυτο εργαλείο" για την περιγραφή της ροής μεταξύ των ρευστών εντός του διαχωριστή.

3.1 Σκοπός

Οι διαχωριστές ελαίου-νερού (OWS), όπως προκύπτει και από το ονομασία τους, είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό του νερού και των διαφόρων ελαίων που συλλέγονται στην σεντίνα (*bilge*) του πλοίου. Η λειτουργία του διαχωριστή ελαίου-νερού είναι να διαχωρίσει την μέγιστη ποσότητα σωματιδίων λαδιού και άλλων μολυσματικών παραγόντων από το νερό, που πρέπει να απορριφθεί στη θάλασσα. Σύμφωνα με διεθνής νομικές διατάξεις για την προστασία του περιβάλλοντος, όλα τα πλοία οφείλουν να έχουν διαχωριστές ελαίου-νερού για τον καθαρισμό του νερού της σεντίνας (*bilge water*) προτού αυτό απορριφθεί στο θαλάσσιο περιβάλλον. Με βάση τον κανονισμό, η περιεκτικότητα σε πετρέλαιο του νερού που εξέρχεται από το OWS θα πρέπει να είναι μικρότερη από 15 ppm.

Το νερό της σεντίνας αποτελεί ένα αναπόφευκτο προϊόν των λειτουργιών του πλοίου. Οι συνηθέστεροι ρύποι του είναι από διαρροές πετρελαίου από κινούμενες μηχανές όπως οι γεννήτριες diesel, οι αεροσυμπιεστές και η κύρια μηχανή πρόωσης. Οι σύγχρονοι OWS έχουν οθόνες ελέγχου, που ελέγχουν την περιεκτικότητας των ρύπων στην έξοδο του διαχωριστήρα, συναγερμούς και διατάξεις οι οποίες κλείνουν αυτόματα, όταν η περιεκτικότητα σε έλαια-ρύπους του νερού που εκκενώνεται στο περιβάλλον ξεπεράσει την επιτρεπόμενη τιμή της.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι OWS στην αγορά και το καθένα έχει τις δικές του ιδιαιτερότητες και τα προβλήματα του. Τα συνηθέστερα είδη των OWS τα οποία είναι διαθέσιμα στην αγορά είναι:

- Μονού Σταδίου OWS (*Single stage OWS*), που είναι παλαιού τύπου
- Δύο Σταδίων OWS (*Two Stage OWS*), που είναι οι συνηθέστεροι και χρησιμοποιούνται στα φορτηγά πλοία (*Cargo ships*).
- Τριών Σταδίων διαχωριστής (*Three stage 1ppm separator*), που χρησιμοποιούνται στα κρουαζιερόπλοια (*Cruise ships*) και στα οχηματαγωγά πλοία (*ferries*).
- Ελαφριού Βάρους 5ppm διαχωριστής (*Light weight 5ppm separators*), που χρησιμοποιούνται στα σκάφη για στρατιωτική περίπολο (*Military Patrol Vessels*)
- Φυγοκεντρικοί OWS (*Centrifugal OWS*)



Εικόνα 3-1: Διαχωριστής δύο σταδίων POSEIDON EVO 14ppm (πηγή: http://epe.gr/?page_id=52)

3.2 Η περιοχή της σεντίνας του πλοίου

Η περιοχή της σεντίνας (*bilge area*) ή απλά σεντίνα (*bilge*) είναι η χαμηλότερη περιοχή ενός πλοίου. Είναι η περιοχή που συλλέγονται όλα τα υγρά από διαρροές στους εσωτερικούς χώρους και τα ανώτερα καταστρώματα ενός πλοίου. Οι πρωτογενής πηγές των διαρροών είναι το κύριο μηχανοστάσιο, οι βοηθητικοί χώροι των μηχανών, τα οποία στεγάζουν το σύστημα πρόωσης του σκάφους και άλλα συστήματα υποβοήθησης (όπως ατμολέβητες, συστήματα καθαρισμού του νερού και έλαια από το σύστημα επεξεργασίας του πετρελαίου) αντίστοιχα. Άλλες πηγές μπορεί να είναι από τους χώρους του πηδαλίου, τα αντλιοστάσια, τα κλιματιστικά και τα συστήματα ψύξης των μηχανών. Τα υγρά-διαρροές

που συλλέγονται από όλους τους προαναφερθέντες χώρους ονομάζονται νερό σεντίνας (*bilge water*) ή νερό με ελαιώδη απόβλητα (*oily waste water*).

Η σύσταση του νερού της σεντίνας ποικίλει από πλοίο σε πλοίο και από ημέρα σε ημέρα ακόμη και για το ίδιο πλοίο. Ορισμένες κατηγορίες αποβλήτων όπως συμπυκνώματα ατμού, προϊόντα εκκένωσης του boiler, το νερό των δεξαμενών, το νερό που παράγεται από συστήματα καθαρισμού, το πόσιμο νερό και υγρά από τα μηχανοστάσια συλλέγονται και αυτά στην σεντίνα. Ωστόσο η σεντίνα δεν περιλαμβάνει μόνο νερό που έχει στραγγιστεί. Το σύστημα πρόωσης και τα βοηθητικά συστήματα χρησιμοποιούν καύσιμα, αιθάλη από την καύση του πετρελαίου, μαζούτ, σκουριά υδραυλικά υγρά, λιπαντικά έλαια, αντιψυκτικά, διαλύτες, χημικά καθαρισμού στην καθημερινή λειτουργία και στην συντήρηση τα οποία είναι επιβλαβή για το περιβάλλον του ωκεανού.

Ο διαχωριστής ελαίου-νερού είναι το κύριο σύστημα μεταφοράς της σεντίνας και προορίζεται για την αφαίρεση σε πολύ μεγάλο ποσοστό αυτών των μολυσματικών παραγόντων πριν από την απόρριψη τους στο θαλάσσιο περιβάλλον.

3.3 Κανονισμοί για την επεξεργασία του νερού εκκένωσης

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (*International Maritime Organization, IMO*) έχει δημοσιεύσει κανονισμούς μέσω της Επιτροπής Προστασίας Θαλασσίου Περιβάλλοντος (*Marine Environment Protection Committee, MEPC*). Από την 1 Ιανουαρίου του 2005 η MEPC έχει προχωρήσει στην έκδοση νέων κανονισμών που οφείλει να τηρεί κάθε σκάφος που θα ναυπηγηθεί μετά από αυτήν την ημερομηνία. Σύμφωνα με τους κανονισμούς, κάθε διαχωριστής ελαίου-νερού που είναι εγκατεστημένος στο πλοίο, θα πρέπει να είναι σε θέση να επιτύχει καθαρισμό του νερού της σεντίνας σε βαθμό τέτοιο ώστε η περιεκτικότητα του νερού της εκκένωσης σε C ή βαριά γαλακτωματοποιημένα έλαια και γενικά οποιουσδήποτε άλλους μολυσματικούς παράγοντες να μην ξεπερνά τα 15ppm. Ο διαχωριστής ελαίου-νερού θα πρέπει να είναι σε θέση να καθαρίσει το νερό από τις προσμίξεις καθώς και από το πετρέλαιο.

Οι κανονισμοί για την εκκένωση των υδάτων από τα πλοία δεν είναι οι ίδιοι για όλα τα πλοία (με βάση το μέγεθός τους) και δεν είναι οι ίδιοι για όλες τις αποστάσεις από την ξηρά. Οι συνθήκες που ισχύουν για τις απορρίψεις των υδάτων της σεντίνας από τα πλοία καθορίζονται με βάση το Παράρτημα I (*Annex I*) της Διεθνούς Συμβάσεως για την Πρόληψη τη Ρύπανσης από τα Πλοία (*International Convention for the Prevention of Pollution From*

Ships) του 1973 όπως τροποποιήθηκε από το Πρωτόκολλο του 1978 (*MARPOL 73/78*). Οι κανονισμοί του *MARPOL 73/78* θα παρουσιαστούν παρακάτω ανάλογα για την κάθε περίπτωση με την μορφή πίνακα βασιζόμενοι στην ομαδοποίηση που έκανε η Ομοσπονδιακή Ναυτιλιακή και Υδρογραφική Υπηρεσία της Γερμανίας (*Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, BSH*).

Πίνακας 1 ΔΕΞΑΜΕΝΟΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ Απόρριψη του πετρελαίου από την περιοχή της δεξαμενής του φορτίου συμπεριλαμβανομένου και του αντλιοστασίου Κανονισμός 34 του Παραρτήματος I MARPOL 73/78	
<p>Σε ειδικές περιοχές ή</p> <p>εκτός των ειδικών περιοχών, αλλά εντός των 50 ναυτικών μιλίων (<i>nm</i>) από την πλησιέστερη ακτή</p>	<p>Κάθε απόρριψη ΑΠΑΓΟΡΕΥΕΤΑΙ</p> <p>με εξαίρεση το καθαρό ή διαχωρισμένο έρμα</p>
<p>Εκτός των ειδικών περιοχών</p> <p>αλλά περισσότερο από 50 ναυτικά μίλια από την πλησιέστερη ακτή</p>	<p>Κάθε απόρριψη ΑΠΑΓΟΡΕΥΕΤΑΙ</p> <p>με εξαίρεση το καθαρό ή διαχωρισμένο έρμα ή εκτός εάν:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. το δεξαμενόπλοιο βρίσκεται σε πορεία και 2. ο στιγμιαίος ρυθμός απόρριψης πετρελαίου δεν υπερβαίνει τα 30 l/nm και 3. η συνολική ποσότητα πετρελαίου που απορρίφθηκε στη θάλασσα δεν υπερβαίνει (για τα δεξαμενόπλοια που παραδόθηκαν σε κυκλοφορία στις ή πριν τις 31 Δεκεμβρίου 1979) το 1/15000 της συνολικής ποσότητας του συγκεκριμένου φορτίου από το οποίο αποτελούσε κατάλοιπο και (για τα δεξαμενόπλοια που παραδόθηκαν σε κυκλοφορία μετά τις 31 Δεκεμβρίου 1979) το 1/30000 της συνολικής ποσότητας του συγκεκριμένου φορτίου από το οποίο αποτελούσε κατάλοιπο και 4. το δεξαμενόπλοιο έχει σε λειτουργία σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου της απόρριψης του πετρελαίου και μια διάταξη δεξαμενής καταλοίπων, όπως απαιτείται από τους κανονισμούς 29 και 31 αντίστοιχα.

Πίνακας 2

ΌΛΑ ΤΑ ΠΛΟΙΑ ΟΛΙΚΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ 400 ΤΟΝΩΝ ΚΑΙ ΑΝΩ

Απόρριψη του πετρελαίου από τους χώρους του μηχανοστασίου

Κανονισμός 15Α και Β του Παραρτήματος Ι ΜΑΡΡΟΛ 73/78

Αναφορικά με την περιοχή της Ανταρκτικής, απαγορεύεται οποιαδήποτε απόρριψη πετρελαίου ή πετρελαιοειδών μιγμάτων στην θάλασσα από οποιοδήποτε πλοίο.

Απόρριψη σε Ειδικές Περιοχές	ΑΠΑΓΟΡΕΥΕΤΑΙ κάθε απόρριψη του πετρελαίου ή των πετρελαιοειδών μιγμάτων εκτός εάν : <ol style="list-style-type: none">1. το πλοίο βρίσκεται σε πορεία και2. η περιεκτικότητα του ρεύματος εκροής χωρίς αραίωση δεν υπερβαίνει τα 15ppm και3. το ελαιώδες μίγμα υφίσταται επεξεργασία μέσω ενός εξοπλισμού φιλτραρίσματος πετρελαίου με βάση τις απαιτήσεις του κανονισμού 14.7 του Παραρτήματος (η περιεκτικότητα σε πετρέλαιο του ρεύματος εκροής δεν υπερβαίνει τα 15ppm και υπάρχουν εγκατεστημένα, διάταξη συναγερμού και αυτόματη διάταξη παύσης για ένδειξη πάνω από 15ppm) και4. το ελαιώδες μίγμα δεν αναμειγνύεται με τα υγρά σεντίνες του αντλιοστασίου ή στην περίπτωση των πετρελαιοφόρων με τα υπολείμματα από το φορτίο του πετρελαίου.
Απόρριψη εκτός των Ειδικών Περιοχών	ΑΠΑΓΟΡΕΥΕΤΑΙ κάθε απόρριψη του πετρελαίου ή των πετρελαιοειδών μιγμάτων εκτός εάν: <ol style="list-style-type: none">1. το πλοίο βρίσκεται σε πορεία και2. η περιεκτικότητα του ρεύματος εκροής χωρίς αραίωση δεν υπερβαίνει τα 15ppm και3. το ελαιώδες μίγμα υφίσταται επεξεργασία μέσω ενός εξοπλισμού φιλτραρίσματος πετρελαίου με βάση τις απαιτήσεις του κανονισμού 14 του Παραρτήματος4. το ελαιώδες μίγμα δεν αναμειγνύεται με τα υγρά σεντίνες του αντλιοστασίου ή στην περίπτωση των πετρελαιοφόρων με τα υπολείμματα από το φορτίο του πετρελαίου.



Πίνακας 3

ΠΛΟΙΑ ΟΛΙΚΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΩ 400 ΤΟΝΩΝ

Απόρριψη του πετρελαίου από τους χώρους του μηχανοστασίου

Κανονισμός 15C του Παραρτήματος I MARPOL 73/78

Αναφορικά με την περιοχή της Ανταρκτικής, απαγορεύεται οποιαδήποτε απόρριψη πετρελαίου ή πετρελαιοειδών μιγμάτων στην θάλασσα από οποιοδήποτε πλοίο.

Στην περίπτωση των πλοίων ολικής χωρητικότητας κάτω των 400 τόνων το πετρέλαιο και όλα τα πετρελαιοειδή μίγματα πρέπει είτε να διατηρούνται επί του σκάφους για μεταγενέστερη απόρριψη σε ειδικές εγκαταστάσεις υποδοχής ή

να απορριφθούν στην θάλασσα σύμφωνα με τις ακόλουθες διατάξεις:

ΑΠΑΓΟΡΕΥΕΤΑΙ κάθε απόρριψη του πετρελαίου ή των πετρελαιοειδών μιγμάτων εκτός εάν:

1. το πλοίο βρίσκεται σε πορεία και
2. το πλοίο διαθέτει σε λειτουργία εξοπλισμό με σχεδιασμό εγκεκριμένο από τις Αρχές που εξασφαλίζει ότι η περιεκτικότητα του ρεύματος εκροής χωρίς αραιώση δεν υπερβαίνει τα 15ppm
3. το ελαιώδες μίγμα δεν αναμειγνύεται με τα υγρά σεντίνες του αντλιοστασίου ή στην περίπτωση των πετρελαιοφόρων με τα υπολείμματα από το φορτίο του πετρελαίου.

Σύμφωνα με το Παράρτημα I της MARPOL ειδικές περιοχές θεωρούνται:

- η Βόρεια Θάλασσα
- η Θάλασσα της Βαλτικής
- η Μεσόγειος Θάλασσα
- η Μαύρη Θάλασσα
- η Ερυθρά Θάλασσα
- οι περιοχές με κόλπους
- ο κόλπος του Άντεν

- η περιοχή της Ανταρκτικής
- μέρος της Αραβικής Θάλασσας
- τα ύδατα της Νότιας Αφρικής

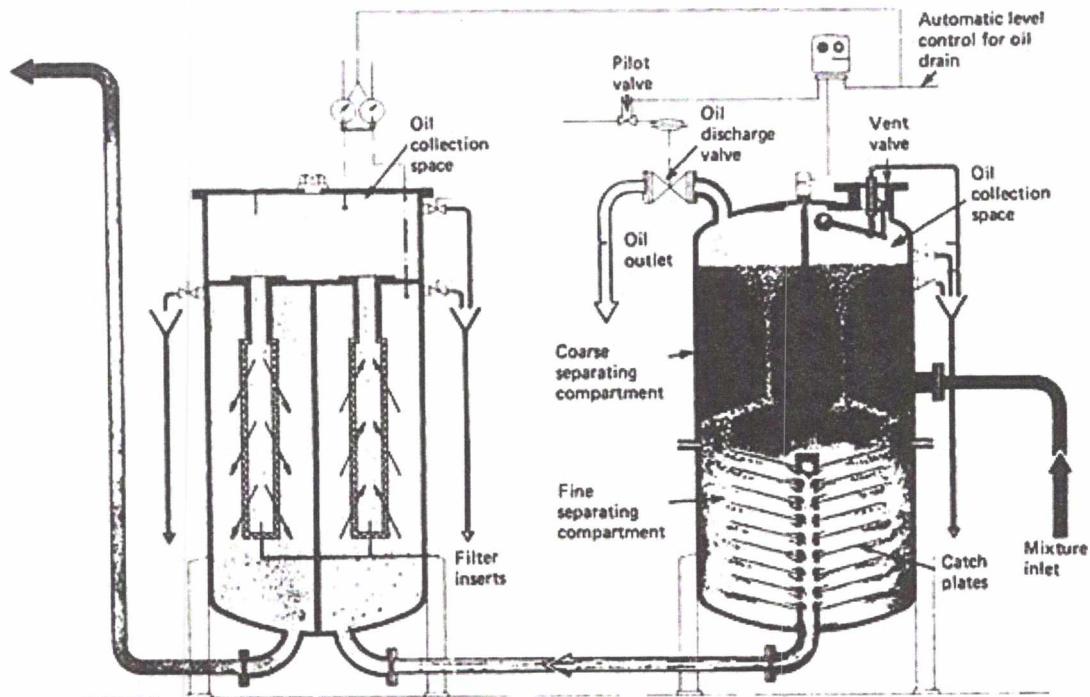
Εκτός των παραπάνω υπάρχουν και γενικές απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούν όλα τα πλεούμενα. Αυτές είναι:

- Τα κατάλοιπα πετρελαίου τα οποία δεν μπορούν να απορριφθούν στη θάλασσα, σύμφωνα με τον παρόντα κανονισμό πρέπει να διατηρούνται επί του σκάφους για μεταγενέστερη απόρριψη στις ειδικές εγκαταστάσεις υποδοχής.
- Καμία απόρριψη στη θάλασσα δεν πρέπει να περιέχει χημικά ή άλλες ουσίες σε ποσότητες ή συγκεντρώσεις που να είναι επιβλαβείς για το θαλάσσιο περιβάλλον ή χημικά ή άλλες ουσίες που χρησιμοποιούνται για την καταστράτηγηση των συνθηκών απόρριψης που καθορίζονται από τον παρόντα κανονισμό.
- Κάθε φορά που παρατηρούνται ορατά ίχνη πετρελαίου επάνω ή κάτω από την επιφάνεια του νερού σε άμεση γειτνίαση με πλοίο ή με τα ίχνη από πέρασμα πλοίου, οι κυβερνήσεις των συμβαλλόμενων μερών της παρούσας σύμβασης, θα πρέπει στο βαθμό που είναι σε θέση να το πράξουν, να ερευνούν εγκαίρως τα γεγονότα και να θέτουν το ζήτημα του κατά πόσον υπήρχε παράβαση των διατάξεων του παρόντος κανονισμού. Η έρευνα θα πρέπει να περιλαμβάνει ειδικότερα, της αέριες και θαλάσσιες συνθήκες, την πορεία και την ταχύτητα του πλοίου, άλλες πιθανές πηγές από ορατά ίχνη στην περιοχή και κάθε άλλο σχετικό έγγραφο καταγραφής της απόρριψης πετρελαίου στην περιοχή.

Οι διατάξεις αυτές παρόλο που είναι διεθνής ωστόσο δεν είναι υιοθετημένες από όλες τις χώρες. Οι ΗΠΑ για παράδειγμα έχουν ως όριο τα 15ppm για απόρριψη εντός 12 nm από την ακτή αλλά για μεγαλύτερες αποστάσεις το όριο είναι 100ppm. Αντίθετα οι Ευρωπαϊκές χώρες και ο Καναδάς έχουν αυστηρότερους κανονισμούς και επιτρέπουν απόρριψη στο υδάτινο περιβάλλον μόνο όταν η περιεκτικότητα σε ρύπους δεν ξεπερνά τα 5ppm.

3.4 Κατασκευή και λειτουργία

Η κατασκευή ενός OWS είναι σχετικά απλή και υπάρχουν πολύ λίγα κινούμενα μέρη στην συσκευή. Η εικόνα 3-2 αναπαριστά την διάταξη ενός OWS στα πλοία. Όπως παρατηρείται υπάρχουν δύο διαμερίσματα διαχωρισμού στο σύστημα. Το πρώτο λειτουργεί ως συσσωρευτής και συσσωρεύει μικρά σωματίδια πετρελαίου και το άλλο διαμέρισμα φιλτράρει περαιτέρω το μίγμα και αφαιρεί τα συσσωματώματα των ελαίων.



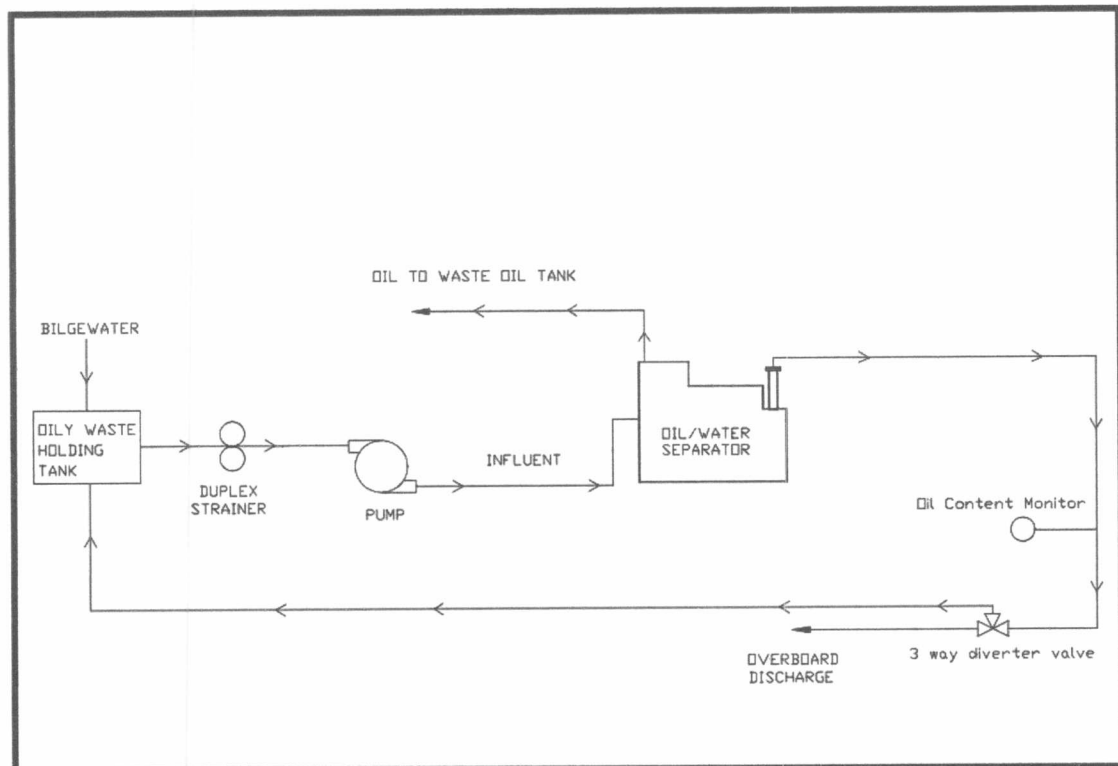
Εικόνα 3-2: Τυπικής διάταξη ενός Two Stage OWS στα πλοία

(πηγή: <http://www.machineryspaces.com/oily-water-separator.html>)

Υπάρχουν πολλές διατάξεις ανιχνευτών τοποθετημένες σε έναν διαχωριστή ελαίου-νερού όπως για παράδειγμα το σύστημα παρακολούθησης των υδάτων, ανιχνευτές στάθμης λαδιού και άλλα. Ορισμένες φορές προκειμένου να διευκολυνθεί ο διαχωρισμός του πετρελαίου, ο διαχωριστής διαπερνάτε από συστοιχίες ατμών.

Η όλη διαδικασία του διαχωρισμού ξεκινάει με την άντληση του νερού της σεντίνας από την αντλία της σεντίνας. Το αντλημένο νερό πηγαίνει αρχικά στο πρώτο διαμέρισμα, όπως παρουσιάζεται και στο παρακάτω διάγραμμα (εικόνα 3-3), προκειμένου να ξεκινήσει η διαδικασία του διαχωρισμού. Τα ύδατα που εξέρχονται από τον διαχωριστή εάν πληρούν

τις προϋποθέσεις απορρίπτονται στην θάλασσα. Σε αντίθετη περίπτωση επιστρέφουν στην σεντίνα, για εκ' νέου διάθεση στον διαχωριστή.



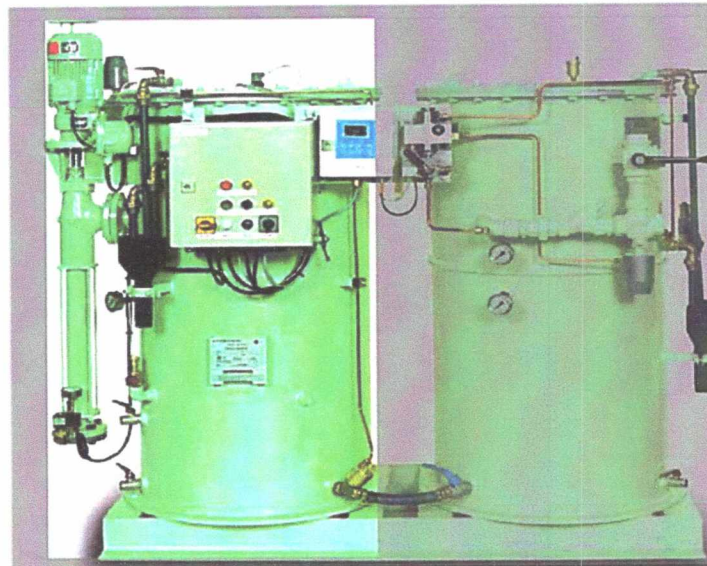
Εικόνα 3-3: Διάγραμμα της ροής των υδάτων της σεντίνας (Πηγή: EPA, 1999)

Ο διαχωριστής αποτελείται κυρίως από τρία τμήματα, ο ρόλος και η λειτουργία των οποίων παρουσιάζεται παρακάτω. Τα τμήματα είναι:

- a) Μονάδα διαχωριστή (*Separator Unit*)
- b) Η μονάδα φίλτρου (*The Filter Unit*)
- c) Μονάδα παρακολούθησης της περιεκτικότητας του πετρελαίου και μονάδα ελέγχου (*Oil Content Monitor, OCM and Control Unit, CU*)

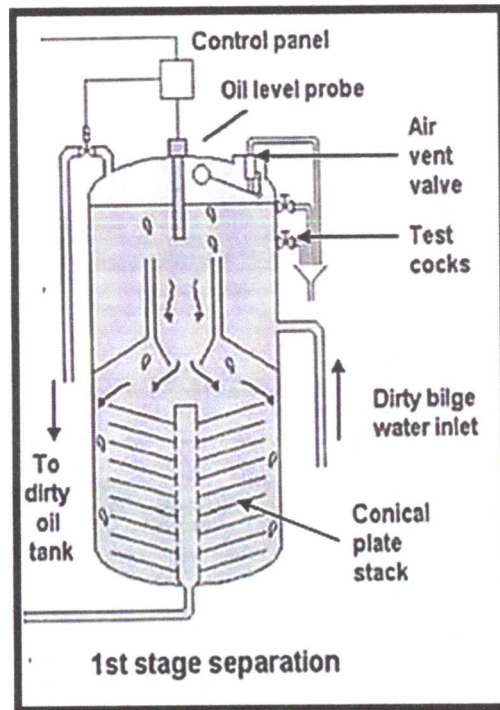
3.4.1 Μονάδα διαχωριστή

Η μονάδα διαχωριστή (εικόνα 3-4) είναι στη ουσία το πρώτο διαμέρισμα, όπου οδηγείται το νερό της σεντίνας, μέσω ενός δικτύου σωληνώσεων στον διαχωριστή, μετά την άντλησή του από την σεντίνα του πλοίου. Η μονάδα αποτελείται από πλάκες στοιβαγμένες σε κωνική διάταξη, που είναι μέσα σε ένα τραχύ διαμέρισμα διαχωρισμού και ένα θάλαμο συλλογής πετρελαίου (εικόνα 3-5).



Εικόνα 3-4: Μονάδα διαχωρισμού OWS 2 σταδίων (Πηγή: Sanguri, 2013)

Εδώ το πετρέλαιο έχει πυκνότητα που είναι μικρότερη από εκείνη του νερού, γεγονός που εξαναγκάζει τα μεγάλα σταγονίδια του ελαίου (συνήθως μεγαλύτερα από 150 μm) να ανέλθουν στο διαμέρισμα συλλογής και το υπόλοιπο μίγμα πετρελαίου-νερού, που περιέχει μικρά σταγονίδια πετρελαίου (συνήθως μικρότερα από 150 μm), κινείται προς τα κάτω στο διαμέρισμα. Το κατερχόμενο μίγμα περνά μέσα από τις πλάκες με αποτέλεσμα πολλά από τα σταγονίδια να συνενωθούν, προς σχηματισμό μεγαλύτερων σταγονιδίων, τα οποία οδεύουν προς το πάνω μέρος της μονάδας.



Εικόνα 3-5: Εσωτερική διαμόρφωση της μονάδας διαχωρισμού και διάγραμμα ροής του μίγματος (πηγή <http://www.slideshare.net/MohammadHanifDewan/marpol-annex-i-and-oily-water-separator>)

Μετά από ένα χρονικό διάστημα περισσότερο πετρέλαιο θα διαχωριστεί και θα συλλεχθεί στο άνω μέρος του θαλάμου. Έτσι, καθώς το πετρέλαιο θα συσσωρευθεί στην κορυφή του πρώτου διαμερίσματος του διαχωριστήρα, ένας ανιχνευτής θα ανιχνεύσει το έλαιο και μέσω του συστήματος ελέγχου ανοίγει μια βαλβίδα που λειτουργεί ηλεκτρικά. Η βαλβίδα επιτρέπει την άντληση του πετρελαίου μέσω μίας αντλίας, οδηγώντας το σε μια δεξαμενή λάσπης (*OWS sludge tank*). Όταν ο ανιχνευτής αρχίσει να αισθάνεται το νερό, δίνει σήμα για να κλείσει η βαλβίδα απόρριψης.

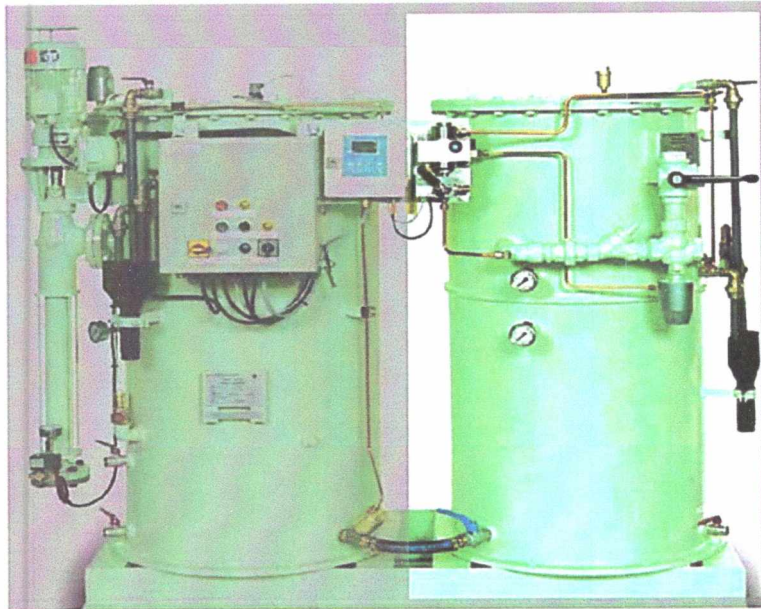
Η περιεκτικότητα σε έλαιο του νερού που υπάρχει πλέον μέσα στην μονάδα διαχωρισμού είναι περίπου 100ppm του πετρελαίου ή και λίγο λιγότερη (εξαιτίας της συνένωσης). Το υπολειπόμενο αυτό μίγμα, με σαφώς μικρότερη περιεκτικότητα σε πετρέλαιο από το αρχικό, οδηγείται από τις εξόδους που βρίσκονται στο κάτω μέρος του πρώτου διαμερίσματος, στο δεύτερο διαμέρισμα που είναι η μονάδα φίλτρου.

Το πρώτο στάδιο βοηθά και στην απομάκρυνση κάποιων φυσικών ακαθαρσιών για να επιτευχθεί καλύτερο φιλτράρισμα σε μεταγενέστερο στάδιο. Η ενσωμάτωση θερμαντήρα σε αυτή τη μονάδα βοηθά στην ομαλή ροή και στον διαχωρισμό του πετρελαίου και νερού.

3.4.2 Η μονάδα φίλτρου

Αυτή είναι μια μονάδα διαχωρισμού (εικόνα 3-6) του οποίου η είσοδος προέρχεται από την εκκένωση της πρώτης μονάδας. Το νερό ρέει από την πρώτη μονάδα στην δεύτερη αφαιρώντας και τα τελευταία ίχνη του πετρελαίου. Η μονάδα αποτελείται από τρία στάδια:

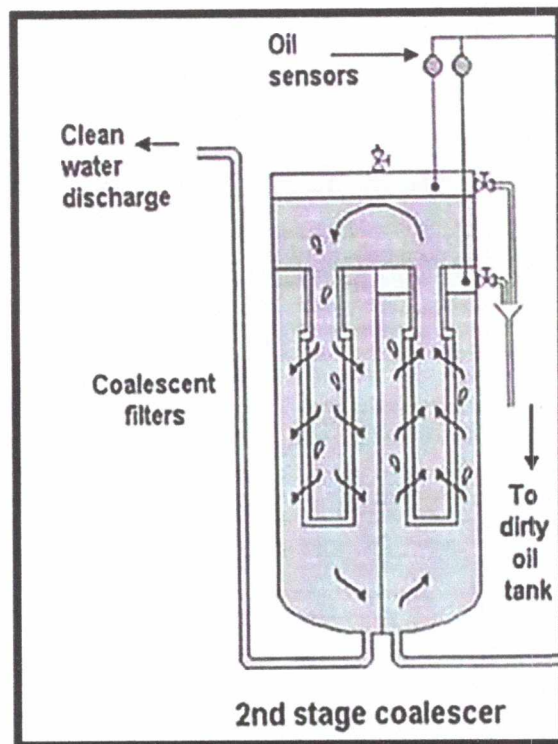
- 1) το στάδιο του φίλτρου (*filter stage*),
- 2) το στάδιο συγχώνευσης-συνένωσης (*coalescence stage*)
- 3) και το θάλαμο συλλογής (*collecting chamber*)



Εικόνα 3-6: Η μονάδα φίλτρου OWS 2 σταδίων (Πηγή: Sanguri, 2013)

Οι ακαθαρσίες και τα σωματίδια διαχωρίζονται από το φίλτρο και εγκαθίστανται στο κάτω μέρος προκειμένου να αφαιρεθούν. Στο δεύτερο στάδιο, η διάταξη συγχώνευσης επάγει την διαδικασία της συνένωσης, κατά την οποία τα σταγονίδια του πετρελαίου ενώνονται για να αυξηθεί το μέγεθος τους, καταρρίπτοντας την επιφανειακή ένταση μεταξύ των σταγονιδίων του ελαίου και του μείγματος. Αυτά τα μεγάλα μόρια του πετρελαίου ανέλθουν πάνω από το μείγμα στον θάλαμο συλλογής προκειμένου να απομακρυνθούν. Στο πάνω τμήμα του δεύτερου διαμερίσματος υπάρχουν αισθητήρες ελαίου οι οποίοι ανιχνεύουν

την αύξηση της περιεκτικότητας του πετρελαίου στο μίγμα. Το πετρέλαιο στην συνέχεια αντλείται και απομακρύνεται(διάγραμμα)

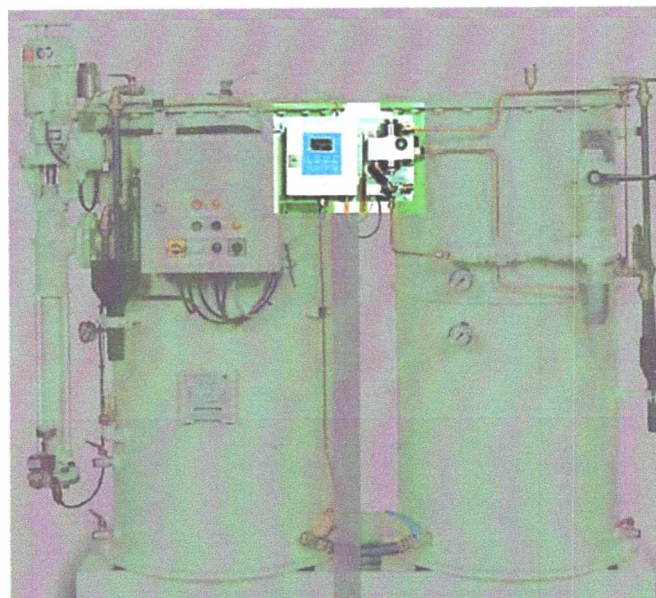


Εικόνα 3-7: Εσωτερική διαμόρφωση της μονάδας φίλτρου και διάγραμμα ροής (πηγή <http://www.slideshare.net/MohammudHanifDewan/marpol-annex-i-and-oily-water-separator>)

Το καθαρό νερό που εξέρχεται από την μονάδα του φίλτρου οδηγείται στην μονάδα παρακολούθησης (*Oil Content Monitor and Control Unit*) για μια τελική ανάλυση. Η έξοδος από αυτή τη μονάδα θα πρέπει να είναι μικρότερη από 15ppm για να τηρεί τα νομικά κριτήρια για την απόρριψη του νερού στην θάλασσα. Εάν η περιεκτικότητα του πετρελαίου στο νερό είναι περισσότερη από 15ppm, τότε σταματά η εκκένωση του νερού στο περιβάλλον και πραγματοποιούνται εργασίες συντήρησης του OWS, όπως ο καθαρισμός του φίλτρου ή πρέπει να γίνει ανανέωση των φίλτρων, ανάλογα με τις απαιτήσεις.

3.4.3 Μονάδα παρακολούθησης της περιεκτικότητας του πετρελαίου και μονάδα ελέγχου

Για να ελεγχθεί η περιεκτικότητα του νερού εκκένωσης σε πετρέλαιο, υπάρχει εγκατεστημένο στον OWS μια μονάδα παρακολούθησης (OCM), που παρέχει συνεχείς μετρήσεις και καταγράφει τις τιμές των rpm του εξαγόμενου νερού. Η μονάδα είναι εφοδιασμένη με συναγερμό και σύστημα αυτόματης παύσης της εκκένωσης του νερού. Αυτή η μονάδα λειτουργεί από κοινού σε δύο μέρη, την παρακολούθηση και τον έλεγχο (εικόνα 3-8).



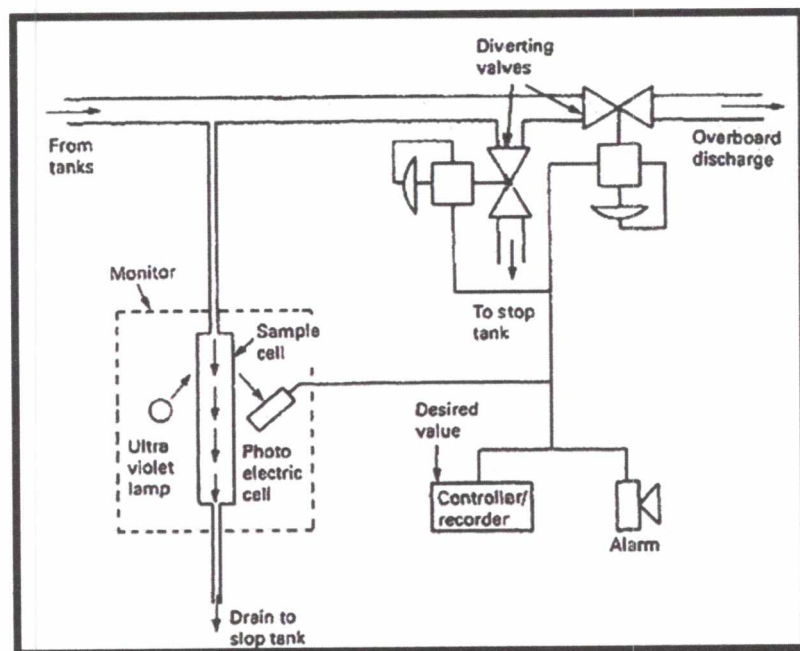
Εικόνα 3-8: Μονάδα παρακολούθησης της περιεκτικότητας του πετρελαίου και μονάδα ελέγχου (Πηγή: Sanguri, 2013)

Τα rpm του πετρελαίου παρακολουθούνται συνεχώς από την OCM και σε περίπτωση που υπερβαίνουν το ανώτερο όριο των 15rpm, σημαίνεται συναγερμός και τροφοδοτούνται τα δεδομένα στην μονάδα ελέγχου. Η μονάδα ελέγχου παρακολουθεί συνεχώς το σήμα εξόδου του OCM και αν προκύπτει συναγερμός, θέτει σε λειτουργία μια ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα 3 δρόμων (*3 way valve*) και δεν θα επιτρέψει στο ελαιώδες νερό να εκκενωθεί στη θάλασσα.

Υπάρχουν συνήθως τρεις ηλεκτροβάνες ελεγχόμενες από τη μονάδα ελέγχου. Αυτά βρίσκονται, μια στο θάλαμο συλλογής πετρελαίου της πρώτης μονάδας, μια στον θάλαμο συλλογής πετρελαίου της δεύτερης μονάδας και μια βαλβίδα 3 δρόμων στην πλευρά εξόδου του προϊόντος εκκένωσης του διαχωριστή. Η είσοδος της βαλβίδας 3 δρόμων είναι από τον σωλήνα εκκένωσης του OWS, όπου η μία έξοδος είναι στην θάλασσα και η δεύτερη έξοδος

είναι στην δεξαμενή λάσπης του OWS. Όταν OCM σημάνει συναγερμό, η βαλβίδα 3 δρόμων απορρίπτει ελαιώδες μίγμα στην δεξαμενή λάσπης (*OWS sludge tank*). Μετά από αυτό εισέρχεται ένα ρεύμα καθαρού νερού, αρχικά στο 2^ο στάδιο και στην συνέχεια οδηγείται στο 1^ο, προκειμένου να ξεπλυθεί και να καθαριστεί ο διαχωριστής και να συνεχίσει ύστερα κανονικά την λειτουργία του.

Ο έλεγχος του προϊόντος εκκένωσης στην θάλασσα μπορεί να γίνει αποσύροντας ένα δείγμα του, το οποίο περνά μέσα από μια κυψέλη δείγματος (*sample cell*). Ένα υπεριώδες φως κατευθύνεται στο δείγμα και ο φθορισμός παρακολουθείται από ένα φωτοηλεκτρικό κύτταρο (*photoelectric cell*). Η μετρούμενη τιμή συγκρίνεται με την μέγιστη επιθυμητή τιμή στον ελεγκτή / καταγραφέα (*controller/recorder*). Σε περίπτωση που εντοπιστεί ένα υπερβολικό επίπεδο μόλυνσης, ένας συναγερμός ενεργοποιείται θέτοντας σε λειτουργία τις βαλβίδες εκτροπής. Η απόρριψη υγρών στη συνέχεια γίνεται στην δεξαμενή λάσπης (εικόνα 3-9)



Εικόνα 3-9: Διάγραμμα της λειτουργίας του συστήματος ελέγχου του νερού εκκένωσης (Πηγή <http://www.machineryspaces.com/oil-in-water-monitor.html>)

3.5 Διαδικασία λειτουργίας

Ένας OWS είναι ένα μηχάνημα υψηλής σημασίας για το πλοίο που το χειρίζεται μόνο ο δεύτερος ή ο επικεφαλής μηχανικός. Ωστόσο, ακόμη και ο επικεφαλής μηχανικός μπορεί να χρειαστεί να το λειτουργεί υπό εποπτεία. Ο OWS μπορεί να λειτουργεί μόνο όταν το πλοίο βρίσκεται εν πλω. Σύμφωνα με την MARPOL, η περιεκτικότητα του πετρελαίου στο νερό εκροής πρέπει να είναι μικρότερη από τα 15ppm και το πλοίο οφείλει να διαθέτει σε λειτουργία ένα σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου καθώς και ένα εξοπλισμό φιλτραρίσματος- διαχωρισμού. Σε περίπτωση που κατά τον έλεγχο δεν πληρούνται αυτές οι προϋποθέσεις το πλοίο ακινητοποιείται και η ναυτιλιακή εταιρία τιμωρείται με βαρύτατα πρόστιμα και μπορεί να φυλακιστεί ο επικεφαλής ή ο δεύτερος μηχανικός. Εξαιτίας του υψηλού κινδύνου η λειτουργία του OWS πρέπει να γίνεται με την μέγιστη δυνατή ακρίβεια, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι κίνδυνοι της θαλάσσιας ρύπανσης.

Τα ακόλουθα βήματα οφείλουν να τηρούνται κατά την λειτουργία ενός OWS.

- Η χειροκίνητη βαλβίδα εκκένωσης πρέπει να παραμένει κλειδωμένη και τα κλειδιά πρέπει να τα κρατά ο επικεφαλής μηχανικός. Πρέπει να ανοιχτεί η βαλβίδα κλειδώματος και η βαλβίδα εκκένωσης στη θάλασσα. Όλες οι άλλες βαλβίδες του συστήματος πρέπει να είναι ανοιχτές.
- Άνοιγμα της βαλβίδας της δεξαμενής της σεντίνας (*bilge tank*) του πλοίου από την οποία το μίγμα νερού-ελαίου θα εκκενωθεί από τον OWS.
- Άνοιγμα αέρα, αν οι βαλβίδες ελέγχου λειτουργούν με αέρα.
- Ενεργοποίηση της τροφοδοσίας του πίνακα ελέγχου και της μονάδας OCM.
- Συμπλήρωση με γλυκό ή θαλασσινό νερό της μονάδα διαχωρισμού και της μονάδα του φίλτρου, μέχρι να βγαίνει νερό από τον εξαερισμό του δεύτερου σταδίου προκειμένου να καθαριστεί και να προετοιμαστεί το σύστημα.
- Εκκίνηση της αντλίας τροφοδοσίας του OWS, η οποία είναι μια αντλία που τροφοδοτεί το μείγμα ελαίου-νερού στον OWS σε στρωτή ροή.
- Παρατήρηση της OCM για την τιμή των ppm και έλεγχος της δεξαμενής της σεντίνας του πλοίου, από όπου ο OWS τροφοδοτείται, και της δεξαμενής λάσπης του OWS.
- Διατήρηση του ελέγχου επί του δείγματος εκροής για καλύτερη σαφήνεια με την βοήθεια της βαλβίδας του δείγματος, που βρίσκεται λίγο πριν βαλβίδα εκροής στη θάλασσα και μετά τη βαλβίδα 3 δρόμων.

- Παρατήρηση της πλευράς του πλοίου όπου γίνεται η εκκένωση.
- Μετά το πέρας της διεργασίας, πρέπει να απενεργοποιηθεί η παροχή ρεύματος και να κλειστεί και να ασφαλιστεί η βαλβίδα εκκένωσης στη θάλασσα. Τα κλειδιά πρέπει να παραδοθούν στον αρχιμηχανικό.
- Καταγραφή των δεδομένων από τον αρχιμηχανικό στο Βιβλίο Καταγραφής Πετρελαίου (*Oil Record Book, ORB*), που υπογράφεται από τον υπεύθυνο λειτουργίας, τον αρχιμηχανικό και το πλοίαρχο.

3.6 Παράγοντες που επηρεάζουν τον διαχωρισμό σε έναν OWS

Οι διαχωριστές ελαίου-νερού είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν κάτω από ιδανικές συνθήκες. Οι συνθήκες όμως που επικρατούν στα πλοία δεν είναι σχεδόν ποτέ ιδανικές καθώς επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες, όπως οι καιρικές συνθήκες, οι εποχές του έτους (είναι γνωστό ότι οι μηχανές λειτουργούν καλύτερα κατά τον χειμώνα καθώς η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι μικρότερη σε σχέση με το καλοκαίρι και οπότε υπάρχει καλύτερη ψύξη), η τακτικότητα της συντήρησης η εμπειρία του πληρώματος κ.α. Επιπλέον για τον OWS υπάρχουν πολλές πηγές ρύπανσης, με το νερό της σεντίνας να είναι μία από τις σημαντικότερες. Υπάρχει επομένως μια ποικιλία παραμέτρων που επηρεάζουν την ικανοποιητική λειτουργία του OWS. Για να επιτευχθεί η εύρυθμη λειτουργία του είναι απαραίτητη η γνώση των εξής παρακάτω παραγόντων:

- Σχεδιαστικοί παράγοντες (*Design Factors*): Εδώ περιλαμβάνονται οι βασικές αρχές λειτουργίας και οι βελτιώσεις που γίνονται για το θαλάσσιο περιβάλλον.
- Λειτουργικοί παράγοντες (*Operational Factors*): Γνώση της λειτουργίας του OWS και των ορθών λειτουργικών διαδικασιών, που είναι γενικές και όχι εξειδικευμένες.
- Διαχείριση σεντίνας (*Bilge Management*): Αποτελεσματική διαχείριση της σεντίνας και των συνθηκών που επικρατούν και πώς αυτές την επηρεάζουν.
- Φροντίδα και συντήρηση (*Care and Maintenance*): Για την ομαλή λειτουργία του OWS απαιτείται συντήρηση και φροντίδα.
- Εξειδικευμένη γνώση του εξοπλισμού (*Equipment Specific Knowledge*): Υπάρχουν πολλές ποικιλίες OWS στην αγορά και το καθένα έχει τις δικές τους ιδιαιτερότητες και τα προβλήματα.
- Επάρκεια πληρώματος και η ορθή συμπεριφορά τους (*Crew Attitude and Aptitude*): Ακόμη και ο καλύτερος εξοπλισμός χρειάζεται ορθή λειτουργία και κατάλληλη εκπαίδευση του προσωπικού για την βέλτιστη απόδοση.

- Καλή καθαριότητα των χώρων (*Good Housekeeping*): Τελευταίο αλλά όχι το πιο ασήμαντο. Η καλή καθαριότητα των χώρων π.χ. στο μηχανοστάσιο μπορεί να ελαττώσει την ποσότητα του ελαιώδους νερού που είναι προς επεξεργασία.

3.6.1 Σχεδιαστικοί παράγοντες

Οι OWS για ναυτιλιακές εφαρμογές έχουν βελτιστοποιηθεί ώστε να είναι μικροί σε μέγεθος και να καταλαμβάνουν μικρή επιφάνεια εξαιτίας των περιορισμών χώρου στα πλοία. Για να βελτιωθεί η διαδικασία του διαχωρισμού, τοποθετούνται στους διαχωριστές πρόσθετα εξαρτήματα.

Ο Νόμος του Stokes, που θα περιγραφεί αναλυτικά στην ενότητα 4 της παρούσης διπλωματικής εργασίας, αναφέρει ότι η τελική ταχύτητα της ανόδου (ή η άνοδος) των σταγονιδίων και επομένως ο ρυθμός του διαχωρισμού, είναι ανάλογος του μεγέθους των σταγονιδίων αλλά και της διαφοράς πυκνότητας μεταξύ του πετρελαίου και του συνεχούς ρευστού (σε αυτήν την περίπτωση το νερό) και αντιστρόφως ανάλογος του ιξώδους του υγρού που το περιβάλλει. Από τον προαναφερθέντα νόμο απορρέουν, για τον OWS, τα εξής παρακάτω:

- Πυκνότητα του πετρελαίου: Τα ελαφριά πετρέλαια μπορούν να διαχωριστούν πιο εύκολα από τα βαριά γιατί έχουν υψηλότερους ρυθμούς άνωσης. Αυτή η πληροφορία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη, για να προσαρμοστεί και να μειωθεί ο ρυθμός ροής, όταν υπάρχουν υποψίες μόλυνσης από βαρύτερο πετρέλαιο.
- Πυκνότητα του συνεχούς ρευστού: Ο ρυθμός ανύψωσης είναι υψηλότερος όταν το συνεχές ρευστό είναι το θαλασσινό νερό αντί του φρέσκου νερού ή συμπυκνωμάτων. Αυτό δίνει το πλεονέκτημα ότι μπορούμε να αδειάζουμε τα συμπυκνώματα σε δεξαμενές αποστράγγισης αντί για την σεντίνα.
- Το ιξώδες του συνεχούς ρευστού: Ο ρυθμός ανύψωσης είναι αντιστρόφως ανάλογος του ιξώδους του συνεχούς υγρού και η απόδοση του OWS είναι καλύτερη όταν το συνεχές υγρό είναι το φρέσκο-καθαρό νερό. Αν και η θεώρηση αυτή έρχεται σε αντίθεση με τα παραπάνω, υπάρχει κάποιος συμβιβασμός μεταξύ τους, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν πρέπει να ληφθούν υπόψη στον αρχικό σχεδιασμό.
- Το μέγεθος των σταγονιδίων: Όσο μεγαλύτερα είναι τα σταγονίδια τόσο καλύτερος είναι ο διαχωρισμός. Οπότε είναι χρήσιμο να υποστηριχθεί-βοηθηθεί ο OWS, για να

αποφευχθούν τα μικρά σταγονίδια, που μπορεί να προκληθούν από μηχανική ανάδευση ή με γαλακτωματοποίηση (*emulsification*).

- Θερμοκρασία: Είναι ένας πάρα πολύ σημαντικός παράγοντας καθώς επηρεάζει την πυκνότητα και το ιξώδες.
 - Σε χαμηλές θερμοκρασίες το ιξώδες του συνεχούς υγρού αυξάνεται με αποτέλεσμα να αυξάνονται και οι ιξώδεις τριβές που αναπτύσσονται μεταξύ του συνεχούς υγρού και των σταγονιδίων του ελαίου, και κατά συνέπεια δυσχεραίνεται ο διαχωρισμός. Ο διαχωρισμός του πετρελαίου είναι αποδοτικότερος, σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες και αυξάνοντας την θερμοκρασία του νερού τις σεντίνες επιτυγχάνεται καλύτερος διαχωρισμός. Επομένως μπορεί να αυξηθεί ο ρυθμός του διαχωρισμού αυξάνοντας την θερμοκρασία του νερού της σεντίνας (μέσα στην δεξαμενή της σεντίνας) ή θερμαίνοντας το εισερχόμενο ρευστό με μια διάταξη από σπείρες ατμού που εγκαθίστανται σε ορισμένους OWS.
 - Σε υψηλές θερμοκρασίες ο σχηματισμός γαλακτωμάτων από μηχανική ανάδευση είναι πιο έντονος από ότι σε χαμηλές θερμοκρασίες. Οπότε δεν θα πρέπει να θερμαίνεται η δεξαμενή της σεντίνας όταν το πλοίο έχει έντονα ταρακουνήματα (π.χ. σε μια τρικυμία) ή όταν υπάρχει η υποψία μηχανικής ανάδευσης.

3.6.2 Λειτουργικοί παράγοντες

Οι ορθές λειτουργικές διαδικασίες και η γνώση των λειτουργιών πρέπει να υφίσταται για όλα τα μηχανήματα και όχι μόνο για κάποιο εξειδικευμένο εξοπλισμό, με σκοπό όλες οι υπάρχουσες μηχανές στα πλοία να λειτουργούν σωστά. Επειδή όμως υπάρχουν διαφόρων ειδών OWS, η εξειδικευμένη γνώση για τον διατιθέμενο εξοπλισμό είναι απαραίτητη για την βέλτιστη δυνατή λειτουργία του. Όμως η γενική αρχή λειτουργίας όλων τους είναι ουσιαστικά η ίδια.

Όπως έχει προαναφερθεί, οι OWS έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν σωστά κάτω από κάποιες ιδανικές συνθήκες και πως στα πλοία δεν υπάρχουν σχεδόν ποτέ ιδανικές συνθήκες. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθοι λειτουργικοί παράγοντες:

- Αποφυγή γαλακτωμάτων: Τα γαλακτώματα σχηματίζονται όταν ελαττώνεται επαρκώς η διεπιφανειακή τάση μεταξύ των δύο υγρών που είναι προς διαχωρισμό, επιτρέποντας τα σταγονίδια του ενός υγρού να διασπαρθούν στο άλλο. Η μηχανική ανάδευση, οι διατμητικές δυνάμεις, οι διαλύτες, τα χημικά, οι επιφανειοδραστικές ή τασιενεργοί ουσίες (*surfactants*) και η παρουσία της σωματιδιακής ύλης μπορεί να μειώσει την διεπιφανειακή τάση και να οδηγήσει στον σχηματισμό των γαλακτωμάτων.
- Αποφυγή χημικών γαλακτωμάτων: Τα χημικά γαλακτώματα σχηματίζονται από την προσθήκη ορισμένων χημικών ουσιών στο νερό. Οι χημικές ουσίες δρουν ως τασιενεργά συγκρατώντας τα σταγονίδια του ελαίου σε γαλακτωματοποιημένη κατάσταση. Ως τασιενεργές ουσίες δρουν τα απορρυπαντικά που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό, οι αλκαλικές χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό του λέβητα και του συστήματος κλιματισμού κ.α.
- Αποφυγή δευτερευουσών διασπορών: Τα μηχανικά γαλακτώματα είναι πρωτεύοντα και δευτερεύοντα. Τα πρωτεύοντα γαλακτώματα είναι μεγάλες σταγόνες ελαίου διεσπαρμένες σε νερό που σε γενικές γραμμές διαχωρίζονται εντός 24ώρου. Τα δευτερεύοντα γαλακτώματα είναι μικρά σταγονίδια ελαίου που προκαλούνται από τυρβώδης συνθήκες, είναι θερμοδυναμικά σταθερά και δεν διαχωρίζονται.
- Αποφυγή αιωρούμενων στερεών: Τα αιωρούμενα στερεά καλύπτονται με έλαια και προκαλούν σταθεροποίηση του γαλακτώματος, με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται ο διαχωρισμός του πετρελαίου από το νερό της σεντίνας. Τα αιωρούμενα στερεά μπορεί να είναι η λάσπη, η αιθάλη του λέβητα και διάφορα κατάλοιπα από τα αντικείμενα που φορτώνονται στο πλοίο και απορροφώνται από τους ανεμιστήρες. Τα στερεά τα οποία ούτε ανέρχονται ούτε καθιζάνουν, είναι δύσκολο να απομακρυνθούν και ταυτόχρονα προκαλούν αύξηση της περιεκτικότητας των ppm στην έξοδο.
- Αποφυγή στροβιλισμών: Με βάση τον σχεδιασμό τους οι OWS, προκειμένου να αποδώσουν το βέλτιστο, απαιτούν συνθήκες στρωτής ροής. Για να αποφευχθεί ο στροβιλισμός είναι θεμιτό να διατηρούνται πλήρως ανοιχτές όλες οι βαλβίδες της γραμμής και να αποφεύγεται η χρήση του OWS σε περιόδους μεγάλων αναταραχών στην θάλασσα. Οι περιστροφικές κινήσεις του πλοίου, η μετασκευή (*retrofitting*) των παλαιών αγωγών και το ανεπαρκές άνοιγμα των βαλβίδων αναρρόφησης της γραμμής του διαχωριστή, μπορεί να οδηγήσει σε τυρβώδη ροή στο εσωτερικό του OWS, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό γαλακτωμάτων και κατά συνέπεια την πτώση

της αποτελεσματικότητας του διαχωριστή. Κάποιες φορές λόγω της τύρβης ορισμένα από τα σταγονίδια του πετρελαίου γίνονται μικρότερα από 8 μm και μπορούν εύκολα να παρασυρθούν από την τυχαία κίνηση των σωματιδίων του νερού. Αυτή η τυχαία κίνηση ονομάζεται κίνηση Μπράουν (*Brownian motion*) και εκμηδενίζει τις δυνάμεις άνωσης, κατά συνέπεια οι σταγόνες αποτυγχάνουν να ανελιχθούν στη επιφάνεια.

- Αποφυγή σωματιδιακής ύλης: Τα μικρά σωματίδια, όπως η σκουριά, η αιθάλη, η μικροβιακή μόλυνση της σεντίνας κ.α. μπορούν να δράσουν επίσης ως γαλακτωματοποιητές. Παρά το γεγονός ότι το μεγαλύτερο μέρος της αιθάλης από το πλύσιμο του λέβητα καθιζάνει στην δεξαμενή της σεντίνας, μικρά σωματίδια αιθάλης (μεγέθους $1\mu\text{m}$ ή και μικρότερα) δίνουν στο νερό της σεντίνας μια μαυριδερή χροιά. Τα σωματίδια αυτά όχι μόνον ξεγελούν τους ανιχνευτές μέτρησης της περιεκτικότητας σε ppm του ρύπου, αλλά μπορούν να λειτουργούν και ως γαλακτωματοποιητικοί παράγοντες .
- Βέλτιστη χρήση των χημικών προϊόντων: Κάποιες φορές είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν ειδικά χημικά προϊόντα, που αναστέλλουν την δημιουργία γαλακτωμάτων (*emulsion breakers*), προκειμένου να διαχωριστεί το έλαιο από το νερό και να παρθεί το ‘καθαρό’ πετρέλαιο. Σε περίπτωση χρήσης τέτοιων χημικών ουσιών, θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα ώστε να χρησιμοποιηθούν σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, για να αποφευχθεί περεταίρω γαλακτωματοποίηση, αφού ορισμένες φορές βάζοντας περισσότερη ποσότητα από την συνιστάμενη μπορεί να επιδεινωθεί το πρόβλημα.
- Περιορισμός διαρροών χημικών προϊόντων: Στο μηχανοστάσιο χρησιμοποιείται μια πληθώρα χημικών προϊόντων για ειδικούς σκοπούς, όπως για την προεργασία του νερού, την αναστολή της διάβρωσης, την αφαίρεση της σκουριάς, τον καθαρισμό, την απολίπανση κ.α. Θα πρέπει λοιπόν να παρθούν τα κατάλληλα μέτρα για την συλλογή και την ορθή διάθεση των χημικών αυτών ουσιών, για να αποτραπεί η μόλυνση της σεντίνας. Επιπλέον, εάν το pH του νερού είναι κάτω από 4 ή πάνω από 10 ευνοεί την χημική γαλακτωματοποίηση.
- Διάθεση απορρυπαντικού: Τα απορρυπαντικά που χρησιμοποιούνται για την καθαριότητα και τα σαπούνια από το πλύσιμο διαφόρων διαφραγμάτων και άλλων παρόμοιων περιοχών, είναι ίδια με αυτά που χρησιμοποιούνται στην ξηρά (στις κατοικίες κτλ.). Αυτά δρουν ως τασιενεργά και προκαλούν γαλάκτωμα του μίγματος ελαίου-νερού. Σε αυτήν την περίπτωση συνιστάται η χρήση απορρυπαντικών

ταχείας διάλυσης ή να απορρίπτεται ξεχωριστά το νερό πλύσης, προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερος διαχωρισμός.

- Αποφυγή παρατεταμένης αποθήκευσης: Η παρατεταμένη αποθήκευση του νερού της σεντίνας προκαλεί μεταβολή στις φυσικές ιδιότητες του ελεύθερου πετρελαίου του μίγματος της σεντίνας. Υπό φυσιολογικές συνθήκες αν αφεθεί το μίγμα ελαίου-νερού (π.χ. για ένα 24ωρο) μέσα στο δοχείο της σεντίνας, τότε επιτυγχάνεται ένας φυσικός διαχωρισμός, λόγω της διαφοράς πυκνότητας των συστατικών του μίγματος και δημιουργείται στην επιφάνεια ένα στρώμα πετρελαίου, που ονομάζεται ελεύθερο πετρέλαιο. Το φαινόμενο αυτό ναί μεν έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να αφαιρεθεί με ευκολία το ελεύθερο πετρέλαιο, αλλά η πολύωρη κατακράτηση του νερού της σεντίνας σε ένα δοχείο μπορεί να προκαλέσει τροποποίηση των ιδιοτήτων του ελευθέρου πετρελαίου λόγω της οξειδωσης και της μικροβιακής δράσης. Σε περίπτωση που συμβεί η προαναφερθείσα τροποποίηση, τότε καθίσταται πιο δύσκολο να αφαιρεθεί το έλαιο.
- Ύπαρξη σωστού φιλτραρίσματος: Σε περίπτωση ύπαρξης μεγάλης ποσότητας στερεών σωματιδίων, επιπλέοντα υλικά κ.α. στο νερό της σεντίνας, θα πρέπει πρώτα αυτά να αφαιρεθούν χρησιμοποιώντας διάφορα πλέγματα-σουρωτήρια για να αποφευχθεί η ρύπανση των μέσων του φίλτρου.
- Συλλογή διαρροών: Πάντα πρέπει να υπάρχει στα υπ' υπόψη ότι ένας OWS δεν είναι μια μηχανή καθαρισμού και δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως τέτοια. Κατά συνέπεια η ποσότητα ελαίου που θα φτάσει στην σεντίνα οφείλει να είναι η μικρότερη δυνατή και σε περίπτωση που η ποσότητα του πετρελαίου στο μίγμα είναι μεγαλύτερη από εκείνη του νερού, το μίγμα αυτό θα πρέπει να απομακρυνθεί από την σεντίνα και να οδηγηθεί στην δεξαμενή συλλογής πετρελαίου, για να μην επηρεαστεί η λειτουργία του διαχωριστή.
- Θέρμανση της εισροής: Η θέρμανση του ρεύματος εισροής μειώνει το ιξώδες του συνεχούς μέσου καθιστώντας πιο εύκολο τον διαχωρισμό.
- Διαχωρισμός των αποβλήτων: Αποφυγή ανάμειξης της λάσπης με τα ύδατα της σεντίνας. Ακόμη και ένα μικρό κομμάτι λάσπης είναι ικανό να μολύνει μεγάλο ποσοστό του νερού της σεντίνας. Σε ορισμένους λιμένες, λόγω της τοπικής νομοθεσίας, απαγορεύεται ακόμη και η απόρριψη επεξεργασμένων λυμάτων και σε περίπτωση απουσίας ειδικής δεξαμενής λυμάτων στα πλοία, αυτά οδηγούνται στην δεξαμενή της σεντίνας. Η κίνηση αυτή είναι λανθασμένη και θα πρέπει να

αποφευχθεί, καθώς θα καθιστούσε αδύνατη την λειτουργία του OWS χωρίς πρότερο καθαρισμό της δεξαμενής της σεντίνας.

- Γέμισμα του OWS πριν από κάθε χρήση: Πριν τεθεί σε λειτουργία ο OWS και εισέλθει το νερό της σεντίνας, πάντα πρέπει να εξασφαλισθεί ότι ο διαχωριστής είναι γεμάτος με καθαρό νερό και ότι όλοι οι θύλακες αέρα έχουν αφαιρεθεί. Η διαδικασία αυτή είναι σημαντική καθώς οι θύλακες αέρα μπορούν να αποπροσανατολίσουν τους αισθητήρες και να διαταράξουν την αυτοματοποίηση του συστήματος.
- Αντίστροφο ζέπλυμα: Ονομάζεται έτσι γιατί το καθαρό νερό εισέρχεται πρώτα στο 2^ο στάδιο του διαχωριστή, μέσω της βαλβίδας των 3 δρόμων, και μετά στο πρώτο. Η διαδικασία αυτή θα πρέπει να γίνεται με βάση την συχνότητα που υπαγορεύει ο κατασκευαστής, σε περίπτωση που υπάρχει πρόβλεψη για κάτι τέτοιο, καθώς αυξάνει την διάρκεια ζωής του φίλτρου. Επίσης όπως έχει προαναφερθεί η διαδικασία αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί και όταν υπάρχει ένδειξη μεγαλύτερη των 15rpm για να καθαριστεί ο διαχωριστής από τις ακαθαρσίες.
- Καθαρισμός αισθητήρων: Ο συχνός καθαρισμός των αισθητήρων ηλεκτρονικής διασύνδεσης θα εξασφαλίσει την ορθή λειτουργία, την απαραίτητη αφαίρεση πετρελαίου και την λιγότερη πρόσδοση νερού στην δεξαμενή του πετρελαίου.
- Αφαίρεση συσσωρευμένου πετρελαίου: Εκτός από το πετρέλαιο που απομακρύνεται αυτόματα κάθε άλλο συσσωρευμένο πετρέλαιο πρέπει να αφαιρείται από τους θαλάμους του OWS σε τακτά χρονικά διαστήματα (π.χ. με την διαδικασία του ζεπλύματος που περιγράφηκε παραπάνω).
- Ορθή λειτουργική διαδικασία: Η διαδικασία με την οποία θα λειτουργήσει ο OWS πρέπει να ακολουθείται πιστά, βήμα-βήμα και συστηματικά, όπως έχει ήδη ειπωθεί προηγουμένως στη παράγραφο της διαδικασίας λειτουργίας.
- Ορθή συντήρηση του OWS: Για να διατηρηθεί ο διαχωριστής σε καλή κατάσταση λειτουργίας είναι απαραίτητο να γίνονται όλες οι διαδικασίες συντήρησης σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

3.6.3 Διαχείριση σεντίνας

Στο πλοίο, η σεντίνα και τα φρεάτια των σεντινών, βρίσκονται στο χαμηλότερο σημείο για να μπορέσουν να συλλέξουν τα έλαια και τα υγρά από διαρροές, συμπυκνώματα και απόβλητα. Τα λύματα θα αντληθούν από την δεξαμενή της σεντίνας και θα οδηγηθούν στον διαχωριστήρα. Ανεξάρτητα από τον εξοπλισμό που έχει εγκατασταθεί στο πλοίο, εάν η διαχείριση της σεντίνας δεν είναι η αναμενόμενη θα προκαλέσει πολλές δυσλειτουργίες στον διαχωριστή. Η σωστή διαχείρισης της σεντίνας μπορεί να αυξήσει τον βαθμό απόδοσης του διαχωριστή. Η καθαρή σεντίνα είναι ένα από τα πρώτα μέτρα πρόληψης της ρύπανσης των θαλασσών. Εάν η σεντίνα είναι καθαρή και στεγανή τότε δεν υπάρχει λόγος ανησυχίας για τυχόν ελέγχους και επιθεωρήσεις που μπορεί να γίνουν από τις εκάστοτε αρχές σε κάθε λιμάνι, ενώ αντίθετα οι ακάθαρτες μπορεί να προκαλέσουν μεγάλα προβλήματα και κυρώσεις. Παρακάτω αναφέρονται κάποιες καλές πρακτικές και συμβουλές για την ορθή διαχείριση των σεντινών. Αυτές είναι:

- Χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια δεν θα πρέπει να τοποθετούνται εσκεμμένα στην σεντίνα ή στην δεξαμενή της σεντίνας.
- Οι χημικές ουσίες δεν πρέπει να απορρίπτονται στην δεξαμενή της σεντίνας καθώς μπορούν να μεταβάλλουν το pH του νερού και όπως έχει προαναφερθεί ένα pH νερού κάτω από 4 και πάνω από 10 μπορεί να προκαλέσει χημική γαλακτωματοποίηση του νερού και να δυσχεράνει τον διαχωρισμό.
- Η τοποθέτηση κάθετων αγωγών θα πρέπει να αποφευχθεί όσο γίνεται το δυνατόν περισσότερο γιατί προκαλούν διάτμηση του επερχόμενου νερού.
- Συμπυκνώματα από κλιματιστικά δεν πρέπει να εναποτίθενται στην δεξαμενή της σεντίνας αλλά πρέπει να τοποθετούνται σε ξεχωριστές δεξαμενές ή να εκκενώνονται απευθείας στην θάλασσα.
- Σκόνες και κατάλοιπα φορτίων δεν πρέπει να αποστραγγίζονται στην σεντίνα αλλά να συλλέγονται (π.χ. με σκούπες) για να μην παρασυρθούν από τον αέρα και καταλήξουν στη σεντίνα. Τα σωματίδια της σκόνης μπορεί να προβούν επικίνδυνα για την εύρυθμη λειτουργία του διαχωριστή γιατί συμβάλλουν στην σταθεροποίηση γαλακτωμάτων. Η αιθάλη από τους λέβητες και τους εξοικονομητές ενέργειας (*economizers*) πρέπει να διοχετεύεται σε ξεχωριστές δεξαμενές και στην συνέχεια να απορριφθεί.
- Το νερό πλύσης περιέχει απορρυπαντικά και δεν πρέπει να οδηγείται στην δεξαμενή της σεντίνας.

- ✓ Όλα τα έλαια πρέπει να συλλέγονται στην δεξαμενή του πετρελαίου ή στην δεξαμενή λάσπης. Αργότερά μπορούν είτε να καούν στον κλίβανο, είτε να απομακρυνθούν κατά την αποβίβαση στην ξηρά.
- ✓ Στα καινούργια πλοία εγκαθίστανται πλέον περισσότερες από μία δεξαμενές σεντίνας. Η πρωτοβάθμια δεξαμενή θα πρέπει να χρησιμοποιείται σωστά και να μην παρακάμπτεται, καθώς αυξάνει την αποτελεσματικότητα του διαχωριστή, αφού απομακρύνεται το μεγαλύτερο μέρος του πετρελαίου ήδη από αυτήν. Η πρωτοβάθμια δεξαμενή βοηθά στον διαχωρισμό του ελαίου από το νερό, αφού το έλαιο που συσσωρεύεται στην επιφάνεια δημιουργεί ένα διακριτό στρώμα από το υπόλοιπο μίγμα και μπορεί εύκολα να αντληθεί και να τεθεί στην δεξαμενή πετρελαίου, ενώ το υπόλοιπο μίγμα θα οδηγηθεί στην κυρίως δεξαμενή της σεντίνας και από εκεί στον διαχωριστή. Για τον αποτελεσματικότερο διαχωρισμό, στην πρωτοβάθμια δεξαμενή εγκαθίστανται σπείρες ατμού.
- ✓ Όπου υπάρχουν διαρροές θα πρέπει να στεγανοποιηθούν και να αποκατασταθούν.
- ✓ Να γίνεται χρήση τσιμούχας όπου υπάρχει η δυνατότητα. Οι μικρές διαρροές αν και φαίνονται αρχικά ασήμαντες ωστόσο μπορούν να οδηγήσουν στην συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων νερού. Η χρήση τσιμούχας αν και αυξάνει το κόστος, ελαχιστοποιεί ή και αποτρέπει τελείως τις διαρροές.
- ✓ Κατά την πρώιμη κατασκευή, επισκευή αλλά και μετασκευή, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι οι σωληνώσεις εισαγωγής πρέπει να έχουν ομαλή επιφάνεια, να μην έχουν έντονες καμπές και όσο το δυνατόν λιγότερες βάνες και άλλα εξαρτήματα, γιατί αυξάνεται ο κίνδυνος δημιουργίας στροβιλισμών.
- ✓ Οι σωληνώσεις εισαγωγής, λίγο πριν από την είσοδο τους στον διαχωριστή, πρέπει να είναι ευθείες, με μήκος (για το τμήμα αυτό) τουλάχιστον δεκαπλάσιο της διαμέτρου τους και να είναι σωστά διαστασιολογημένες για να αποφευχθεί η μεγάλη πτώση πίεσης. Επιπλέον η μικρή διάμετρος του σωλήνα προκαλεί διάτμηση του υγρού και κάνει τα σταγονίδια του πετρελαίου μικρότερα σε μέγεθος που είναι δύσκολο να αφαιρεθούν.
- ✓ Οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό της σεντίνας θα πρέπει να είναι συμβατές με τον διαχωριστή, αφού τα λάθος χημικά μπορεί να κάνουν το έλαιο διαλυτό στο νερό και μη διαχωρίσιμο.
- ✓ Εάν ληφθεί μέριμνα και γίνει έλεγχος της εισόδου του νερού και των αποβλήτων στην σεντίνα, δεν θα υπάρξει κανένα πρόβλημα στη λειτουργία του διαχωριστή στο φάσμα που έχει σχεδιάσει να λειτουργεί.

3.6.4 Φροντίδα και συντήρηση

Η σωστή και ομαλή λειτουργία του διαχωριστή απαιτεί συντήρηση και μια γενική φροντίδα από το πλήρωμα. Ως εκ τούτου θα πρέπει να τηρηθούν τα εξής :

- ❖ Αποφυγή κραδασμών, που προκαλούνται από τον ίδιο τον διαχωριστή ή από το πλοίο, χρησιμοποιώντας σταθερά στηρίγματα. Εκτεταμένες δονήσεις μπορεί να προκαλέσουν βλάβες στους αγωγούς και στη δομή του διαχωριστή.
- ❖ Χρειάζεται μεγάλη προσοχή, όταν πραγματοποιείται συντήρηση στο εσωτερικό του διαχωριστή, για να μην καταστραφεί η αντιδιαβρωτική επιφάνεια από εργασίες, όπως το βούρτσισμα και η συγκόλληση.
- ❖ Κατά την πραγματοποίηση του περιοδικού καθαρισμού του διαχωριστή θα πρέπει να αφαιρείται από τις εσωτερικές επιφάνειες όλο το νερό από όλες τις βαθμίδες, η λάσπη, η σκόνη, τα βακτήρια κτλ.
- ❖ Να μην αποφεύγονται οι καθορισμένες εργασίες συντήρησης της αντλίας της σεντίνας, γιατί η αύξηση της φθοράς της αντλίας θα οδηγήσει σε διαρροές λεπτόκοκκων υλικών που είναι δύσκολο να διαχωριστούν και να απομακρυνθούν από τα φίλτρα και επηρεάζουν την απόδοση του διαχωριστή.
- ❖ Καθαρισμός του αισθητήρα στάθμης του λαδιού σε τακτά χρονικά διαστήματα.
- ❖ Ένα φίλτρο τοποθετείται πριν από την είσοδο στην κυψέλη του δείγματος, για να προληφθεί η ρύπανση του μετρητή σφάλματος από ξένα αντικείμενα. Αν η ροή του δείγματος είναι ανεπαρκής τότε αυτό αποτελεί ένδειξη για βρώμικο φίλτρο που πρέπει να αφαιρεθεί και να καθαριστεί.
- ❖ Οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες, που είναι σε λειτουργία για μεγάλο χρόνο, πρέπει να καθαρίζονται σε τακτά χρονικά διαστήματα γιατί σε αντίθετη περίπτωση μπορεί να παρουσιάσουν δυσλειτουργίες λόγω ρύπανσης.
- ❖ Ο σωλήνας εξόδου του διαχωριστή (το τμήμα δηλαδή ανάμεσα στον διαχωριστή και την βαλβίδα εκκένωσης), θα πρέπει να ανοίξει μια φορά τον μήνα και να γίνει έλεγχος για κατάλοιπα πετρελαίου. Αν βρεθούν ίχνη πετρελαίου τότε αυτό αποτελεί ένδειξη ότι η OCM έχει πάθει βλάβη ή δυσλειτουργεί, όταν ο διαχωριστής τίθεται σε λειτουργία.
- ❖ Ο συναγερμός, η λειτουργία της τριοδικής βαλβίδας και οι άλλες ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες πρέπει να ελέγχονται κάθε εβδομάδα.
- ❖ Κάθε εβδομάδα πρέπει να γίνονται δοκιμές για τον έλεγχο της απόδοσης του διαχωριστή.

3.6.5 Επάρκεια πληρώματος, ορθή συμπεριφορά και καθαριότητα των χώρων

Ανεξάρτητα με το είδος του εξοπλισμού που είναι εγκατεστημένος και χρησιμοποιείται στα πλοία, για να λειτουργήσουν σωστά χρειάζεται σωστή χρήση και κατάρτιση του πληρώματος, σε συνδυασμό με τον σεβασμό προς το θαλάσσιο περιβάλλον. Ένα υπεύθυνο πλήρωμα, το οποίο διατηρεί ένα καθαρό περιβάλλον και κατ' επέκταση ένα καθαρό μηχανοστάσιο συμβάλει αποτελεσματικά την ελάττωση των ελαιωδών υδάτων. Ακολουθούν κάποιες σημαντικές πρακτικές μέθοδοι για την επίτευξη των παραπάνω.

- Συνεχής ενημέρωση του προσωπικού: Είναι πολύ σημαντικό οι ναυτικοί να παραμένουν ενήμεροι για τις τελευταίες εξελίξεις που σχετίζονται με τους κανονισμούς της MARPOL και τις εξελίξεις στην τεχνολογία του εξοπλισμού που χρησιμοποιούν.
- Δεσμεύσεις της MARPOL: Οι περισσότερες εταιρίες έχουν εισάγει μια μορφή δέσμευσης με την MARPOL την οποία πρέπει να την υπογράφουν όλα τα μέλη του πληρώματος. Η δέσμευση αυτή αναφέρει ότι το πλήρωμα δεν θα παραβεί κανέναν από τους ναυτιλιακούς κανονισμούς κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες. Σε περίπτωση που παραβούν τις δεσμεύσεις τους θα τους επιβληθούν πολύ αυστηρές κυρώσεις. Είναι επομένως πολύ σημαντικό το πλήρωμα να σεβαστεί και να ακολουθεί τις δεσμεύσεις του, σε όλη την διάρκεια του ταξιδιού.

Το πλήρωμα ακόμη θα πρέπει να ακολουθεί κατά γράμμα όλες τις διαδικασίες και τους κανονισμούς που περιεγράφηκαν στις προηγούμενες ενότητες, να λαμβάνει υπόψη όλους τους παράγοντες για την ορθή λειτουργία του διαχωριστή και να βρίσκεται σε συνεχή επικοινωνία με τον αρχιμηχανικό που είναι και ο συντονιστής όλης της ομάδας. Με αυτόν τον τρόπο όλα θα κυλίσουν ομαλά και δεν θα υπάρχει ο κίνδυνος απόδοσης ποινών για μη επαρκή πρόληψη μέτρων.

4 Ρευστομηχανική ανάλυση

Οι διαχωριστές που εξετάζονται στη παρούσα διπλωματική εργασία είναι οι μηχανικοί βαρυτικοί διαχωριστές, δηλ. ο μηχανισμός του διαχωρισμού που λαμβάνει χώρα είναι ο διαχωρισμός με βάση την διαφορά πυκνότητας ανάμεσα στα αναμειχθέντα ρευστά. Το ρευστό με την μεγαλύτερη πυκνότητα (το νερό), καθιζάνει στον πυθμένα του διαχωριστή, ενώ εκείνο-α με την μικρότερη πυκνότητα (έλαια), ανέρχονται προς την επιφάνεια. Τα έλαια που ακολουθούν την ανοδική κίνηση έχουν την μορφή σταγονιδίων και μπορούν να παρομοιαστούν με μικρές σφαίρες. Στο παρόν κεφάλαιο θα εξετάσουμε την ιξώδη ροή γύρω από μία σφαίρα. Το ρευστό είναι το νερό το οποίο θεωρούμε ότι βρίσκεται σε ηρεμία. Οι τρεις βασικές παραδοχές είναι:

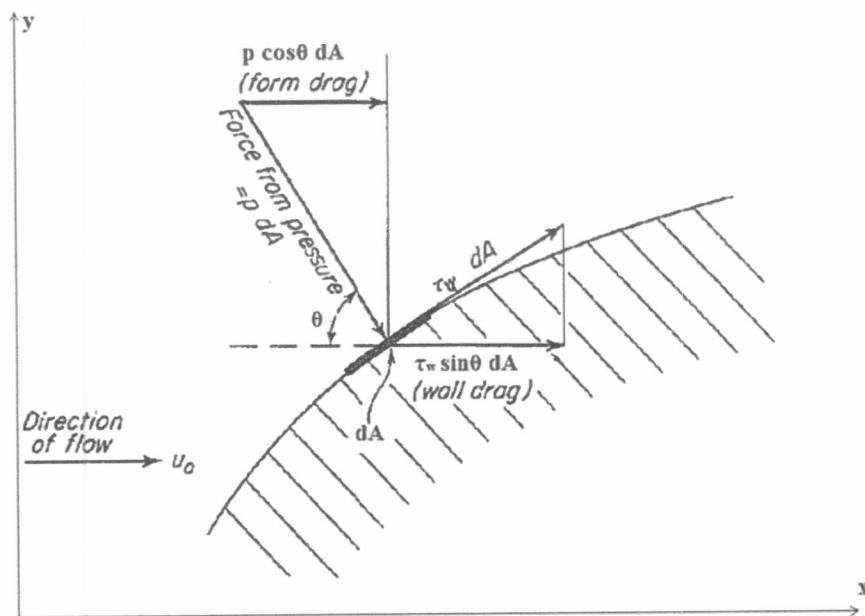
1. τα σωματίδια του ελαίου είναι σφαιρικά
2. τα σωματίδια έχουν το ίδιο μέγεθος
3. η ροή είναι στρωτή, τόσο οριζόντια όσο και κάθετα και ο αριθμός Reynolds, $Re < 1$

4.1 Οπισθέλκουσα δύναμη

Ένα σώμα βυθισμένο σε κινούμενο ρευστό υφίσταται την επίδραση δυνάμεων πίεσης και ιξωδών – διατμητικών δυνάμεων. Οι δυνάμεις αυτές προέρχονται από την δυναμική δράση του ρευστού και ενεργούν πάνω στην επιφάνεια του σώματος (Παπαϊωάννου, 2002). Η δύναμη που ασκεί το ρευστό στο στερεό στην κατεύθυνση της ροής ονομάζεται *οπισθέλκουσα δύναμη* (ή απλά οπισθέλκουσα). Σύμφωνα με τον 3^ο νόμο της κίνησης του Newton, το στερεό ασκεί στο ρευστό μία ίση και αντίθετη συνολική δύναμη (McCabe et all, 2002).

Σε μια στοιχειώδη επιφάνεια dA , ενός σώματος, που βρίσκεται υπό κλίση $90^\circ - \theta$ σε σχέση με την κατεύθυνση της ροής ασκούνται οι δυνάμεις πίεσης και οι διατμητικές δυνάμεις όπως αυτές παρουσιάζονται στη εικόνα 4-1. Ο αέρας προσεγγίζει το σώμα με ομοιόμορφη ταχύτητα u_0 . Εκτός της πίεσης p , ασκούνται στο σώμα και διατμητικές τάσεις, τ_w . Η συνολική οπισθέλκουσα δύναμη, στην στοιχειώδη επιφάνεια, είναι το άθροισμα της συνιστώσας της πίεσης $dF_p = p \cos \theta dA$ και της συνιστώσας της διάτμησης $dF_r = \tau_w \sin \theta dA$. Η ολική οπισθέλκουσα F_D , που ασκείται στο σώμα είναι το άθροισμα των ολοκληρωμάτων αυτών των ποσοτήτων στην συνολική επιφάνεια του σώματος που βρίσκεται σε επαφή με το ρευστό. Ειδικότερα οι McCabe et all (2002) αναφέρουν ότι η

ολική ολοκληρωμένη οπισθέλκουσα που προέρχεται από τη διάτμηση του τοιχώματος ονομάζεται *οπισθέλκουσα τοιχώματος- τριβής*, ενώ η ολική οπισθέλκουσα που προέρχεται από την πίεση ονομάζεται *οπισθέλκουσα μορφής-πίεσης*.



Εικόνα 4-1: Οπισθέλκουσα μορφής και τοιχώματος πάνω σε ένα βυθισμένο σώμα.

Συνεπώς η ολική οπισθέλκουσα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$F_D = \iint_A p \cos \theta dA + \iint_A \tau_w \sin \theta dA \quad 4-1$$

Η δύναμη F_D , όπως ειπώθηκε και παραπάνω, μπορεί να θεωρηθεί ως η συνισταμένη δύο επιμέρους δυνάμεων: της *οπισθέλκουσας πίεσης*, F_{D_p} :

$$F_{D_p} = \iint_A p \cos \theta dA \quad 4-2$$

και της *οπισθέλκουσας τριβής*, F_{D_t} :

$$F_{D_t} = \iint_A \tau_w \sin \theta dA \quad 4-3$$

Η δύναμη F_{D_p} οφείλεται στην πίεση, p , και εξαρτάται ισχυρώς από τη μορφή ή το σχήμα του σώματος. Η οπισθέλκουσα της πίεσης είναι συνάρτηση του μεγέθους της πίεσης

και του προσανατολισμού της επιφάνειας πάνω στην οποία ενεργεί η δύναμη πίεσης. Ενώ, η δύναμη F_D , οφείλεται στην ιξώδη διατμητική τάση, τ_w . Η οπισθέλκουσα τριβής είναι συνάρτηση όχι μόνο του μεγέθους της τάσης τ_w , αλλά και του προσανατολισμού της επιφάνειας πάνω στην οποία ενεργεί (Παπαϊωάννου, 2002).

Στην δυναμική-ατριβή ροή ισχύει $\tau_w = 0$ και, ως εκ τούτου, δεν υπάρχει οπισθέλκουσα τοιχώματος. Παράλληλα, η οπισθέλκουσα της πίεσης στην κατεύθυνση της ροής εξισορροπείται από μια ίση δύναμη που δρα στην αντίθετη κατεύθυνση και το ολοκλήρωμα της οπισθέλκουσας μορφής είναι ίσο με μηδέν. Στην δυναμική ροή δεν υπάρχει συνολική (καθαρή) οπισθέλκουσα (McCabe et all, 2002).

Ο θεωρητικός υπολογισμός είναι αρκετά περίπλοκος και δύσκολα μπορεί να προσδιοριστεί. Είναι εφικτός μόνο σε ροές που έχουν μικρές ταχύτητες και γύρω από σφαίρες ή σώματα κανονικών σχημάτων, με την χρήση αριθμητικών μεθόδων χρησιμοποιώντας τις γενικές εξισώσεις του ισοζυγίου της ορμής. Για μεγάλες ταχύτητες ρευστών και ακανόνιστα σχήματα, μπορεί να προσδιοριστούν πειραματικά.

Κατ' αντιστοιχία με την περίπτωση της ανάλυσης της ροής μέσα σε αγωγούς και κανάλια όπου ορίζεται ένας συντελεστής τριβής, και στην περίπτωση των στερεών που είναι βυθισμένα σε ρευστά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας ανάλογος συντελεστής που ονομάζεται *συντελεστής οπισθέλκουσας*, C_D . Ως εκ τούτου μπορούμε να εκφράσουμε την οπισθέλκουσα δύναμη F_D , που ασκεί το κινούμενο ρευστό πάνω στην επιφάνεια του βυθισμένου σώματος, ως το γινόμενο του συντελεστή οπισθέλκουσας, της μετωπικής επιφάνειας του σώματος, A_0 , και της δυναμικής πίεσης που ασκεί το ρευστό $\frac{\rho u_0^2}{2}$. Δηλαδή,

$$F_D = C_D \frac{\rho u_0^2}{2} A_0 \quad 4-4$$

όπου:

C_D : ο συντελεστής οπισθέλκουσας

A_0 : η μετωπική επιφάνεια του σώματος

ρ : η πυκνότητα του ρευστού

u_0 : η σχετική ταχύτητα του ρευστού ως προς το σώμα (δεδομένου ότι το ρευστό κινείται και το σώμα είναι ακίνητο, η u_0 θεωρείται η ταχύτητα του ρευστού)

4.2 Συντελεστής οπισθέλκουσας δύναμης

Ο συντελεστής οπισθέλκουσας δύναμης, για ροή γύρω από βυθισμένα σώματα, ορίζεται ως ο λόγος του F_D / A_0 προς το γινόμενο της πυκνότητας του ρευστού και του μανομετρικού ύψους της ταχύτητας, δηλ. προς το γινόμενο της δυναμικής πίεσης του ελεύθερου σώματος σχέση 4-5.

$$C_D = \frac{F_D / A_0}{\rho u_0^2 / 2} \quad 4-5$$

Ο συντελεστής εξαρτάται από το σχήμα του σώματος, από τον αριθμό Reynolds, Re, από τον αριθμό Mach, M, και από την σχετική τραχύτητα της επιφάνειας του βυθιζόμενου σώματος, e/l. Δηλαδή,

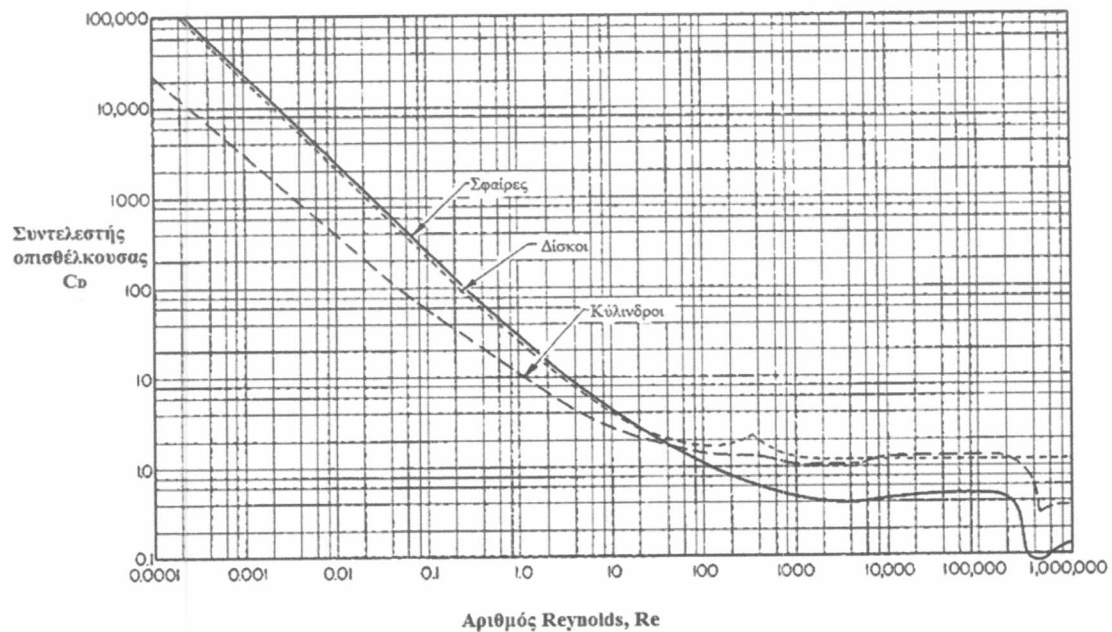
$$C_D = f(\text{σχήμα}, \text{Re}, M, e/l) \quad 4-6$$

Επειδή όμως, έχει θεωρηθεί ότι τα σταγονίδια ελαίου που εξετάζονται στην παρούσα διπλωματική εργασία έχουν, λείο και σφαιρικό σχήμα, και πως η σχετική ταχύτητα ανέλιξης τους είναι πολύ μικρή σε σχέση με την ταχύτητα του ήχου και ο αριθμός Reynolds < 1, κατά συνέπεια η εξάρτηση του C_D από το M και την τραχύτητα είναι αμελητέα. Επομένως θα αναλυθεί μόνο η περίπτωση για Re < 1 και για σφαιρικό σχήμα. Όλες οι άλλες περιπτώσεις, παρόλο που γενικά είναι υπαρκτές, παραλείπεται η ανάλυση του καθώς ξεφεύγουν από τα πλαίσια της εργασίας. Εκτενέστερη ανάλυση τους υπάρχει στην βιβλιογραφία.

4.2.1 Εξάρτηση του C_D σφαίρας από τον αριθμό Reynolds

Πριν γίνει η εστίαση στη περίπτωση του προβλήματος της σφαίρας για αριθμό Re < 1, αξίζει να αναφερθεί η μια γενική συμπεριφορά για του συντελεστή οπισθέλκουσας για διάφορους αριθμούς Reynolds. Στην εικόνα 4-2 δίνονται οι τιμές του C_D συναρτήσεως του αριθμού Re για ασυμπίεστη ροή γύρω από λεία σφαίρα, κύλινδρο και δίσκο. Τα τρία αυτά αντικείμενα συγκρατούνται σε σταθερή θέση μέσα ένα κινούμενο ρευστό. Ο δίσκος και ο κύλινδρος είναι τοποθετημένοι με τέτοιο τρόπο, ώστε η κατεύθυνση της ροής να είναι

κάθετη στην όψη του δίσκου και τον άξονα του κυλίνδρου. Οι καμπύλες ισχύουν μόνο για ο το συγκεκριμένο προσανατολισμό.



Εικόνα 4-2: Συντελεστές οπισθέλκουσας για δίσκους, σφαίρες και κυλίνδρους (Πηγή: H.H Perry (ed.), Chemical Engineer's Handbook, 7th ed., p6-51.)

Ο αριθμός Reynolds δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Re = \frac{D_p \rho u_0}{\mu} \quad 4-7$$

όπου

D_p = το χαρακτηριστικό μήκος

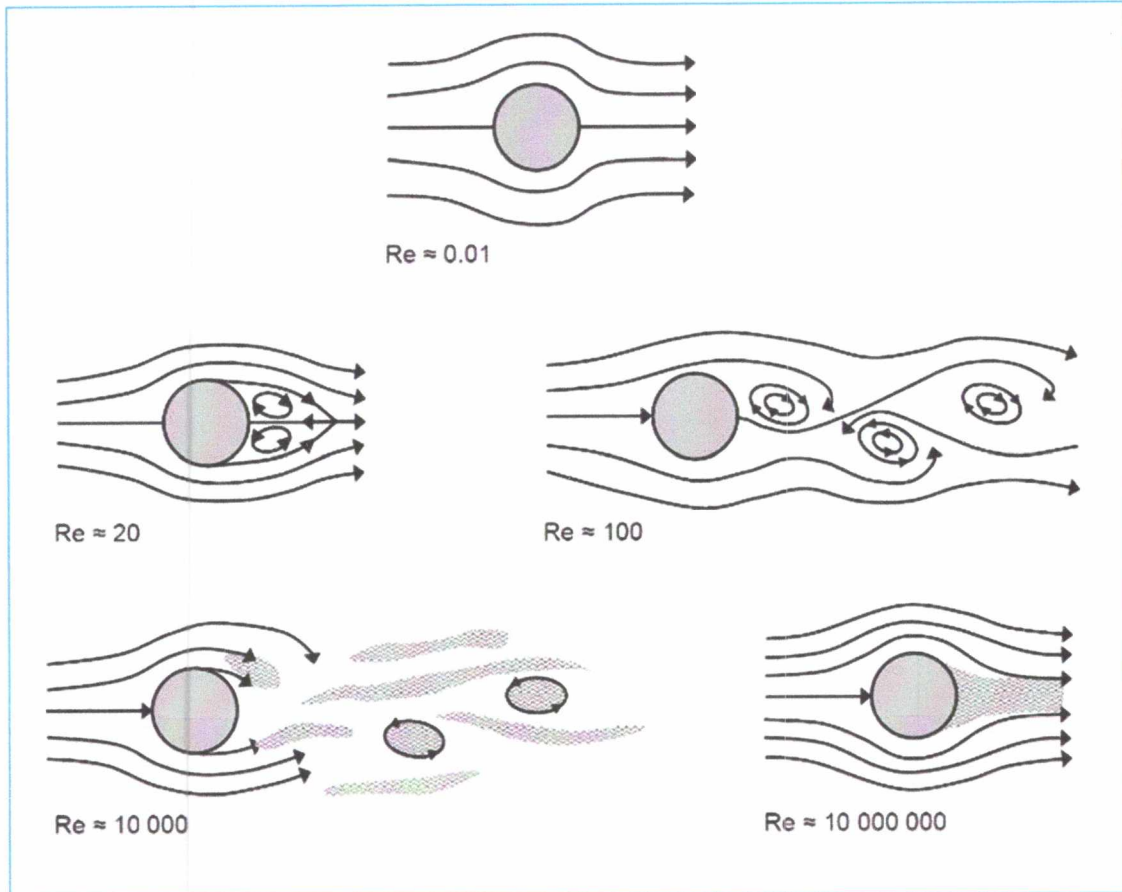
ρ = η πυκνότητα του ρευστού

u_0 = η ταχύτητα του ρευστού

μ = το ιξώδες του ρευστού

Με βάση τα γενικά χαρακτηριστικά του πεδίου της ροής διακρίνονται τρεις χαρακτηριστικές περιοχές του αριθμού Reynolds γύρω π.χ. από μια σφαίρα όπως παρουσιάζονται και στην εικόνα 4-3. Για την πρώτη περιοχή, με $Re < 1$, ονομάζεται έρπουσα ροή και χαρακτηρίζεται από την απουσία δινών (είναι μια ιδανική κατάσταση). Η δεύτερη

περιοχή, με $1 < Re < 10000$ όπου παρατηρείται σχηματισμός και απόσπαση δινών και η τρίτη περιοχή με $Re > 10000$ με αποκόλληση του οριακού στρώματος από την επιφάνεια της σφαίρας. Παρόμοια συμπεριφορά παρατηρείται και για τον κύλινδρο.



Εικόνα 4-3: Ροή γύρω από σφαίρα για διάφορες τιμές του αριθμού Reynolds.

4.2.2 Έρπουσα ροή

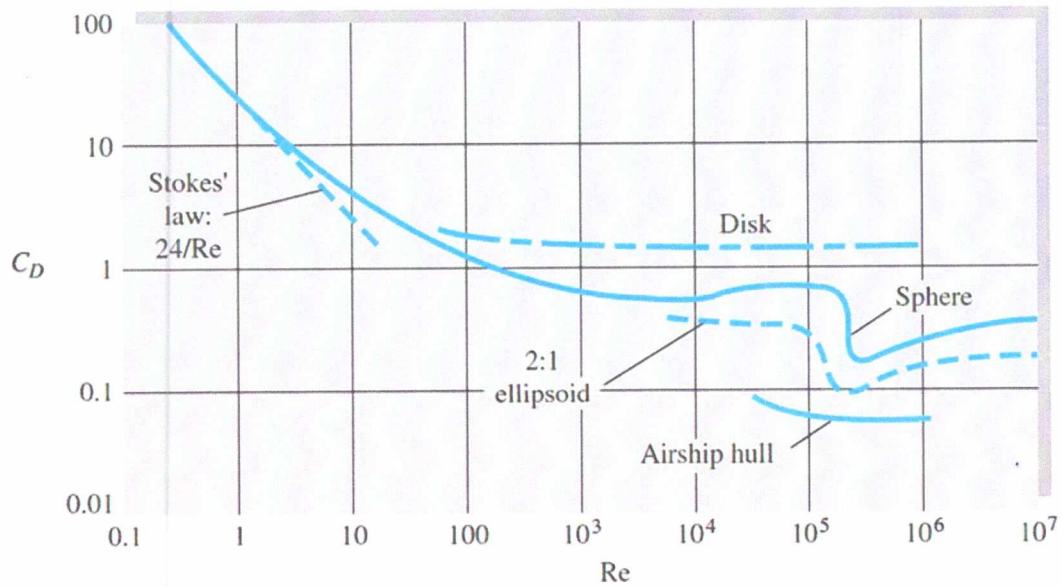
Έρπουσα ροή (*Creeping flow*), ονομάζεται η ροή που η ταχύτητα του ρευστού είναι χαμηλή, είναι παντού στρωτή και υπάρχει απουσία δινών, ο ολκός (η περιοχή πίσω από το σώμα) χαρακτηρίζεται από απουσία στροβιλισμών. Η ροή βρίσκεται συνεχώς σε επαφή με την σφαίρα όπως παρατηρείται και στην εικόνα 4-3, για $Re=0.01$.

Για την έρπουσα ροή ($Re < 1$) γύρω από μία σφαίρα, ο συντελεστής οπισθέλκουσας, C_D , μπορεί εκφραστεί συναρτήσει του αριθμού Re της κύριας ροής, ως εξής:

$$C_D = \frac{24}{Re}$$

4-8

με χαρακτηριστικό μήκος την διάμετρο της σφαίρας.



Εικόνα 4-4: Περιοχή Stokes στο διάγραμμα C_D vs Re (Πηγή: White Frank M., 2011)

Αντικαθιστώντας την εξίσωση 4-8 στην 4-4 έχουμε:

$$F_D = C_D \frac{\rho u_0^2}{2} A_0 = \frac{24}{Re} \frac{\rho u_0^2}{2} A_0 = 12 \frac{\rho u_0^2}{Re} A_0 \quad 4-9$$

Η προβολή μιας σφαίρας είναι ένας κύκλος με διάμετρο D_0 και εμβαδόν $\frac{\pi D_0^2}{4}$.

Αντικαθιστώντας την σχέση του εμβαδού της προβολής της σφαίρας και την σχέση του αριθμού Reynolds (σχέση 4-7) στην 4-9, η οπισθέλκουσα δύναμη είναι:

$$F_D = 12 \frac{\rho u_0^2}{Re} A_0 = 12 \frac{\rho u_0^2}{D_0 \rho u_0 / \mu} \frac{\pi D_0^2}{4} = 3\pi D_0 \mu u_0 \Rightarrow$$

$$F_D = 6\pi R_0 \mu u_0 \quad 4-10$$

όπου:

R_0 : είναι η ακτίνα της σφαίρας

u_0 : είναι η σχετική ταχύτητα του ρευστού ως προς την σφαίρα

μ : είναι το δυναμικό ιξώδες του ρευστού



Sir George Gabriel Stokes, 1st Baronet, (γεννήθηκε 13 Αυγούστου 1819, Skreen, Country Sligo, Ireland-απεβίωσε 1 Φεβρουαρίου 1903, Cambridge, Cambridgeshire, England), Βρετανός φυσικός και μαθηματικός διακεκριμένος για τις μελέτες του σχετικά με την συμπεριφορά των ιζωδών υγρών, ιδιαίτερα για τον νόμο του ιζώδους, που περιγράφει την κίνηση στερεάς σφαίρας σε ένα ρευστό, και για το θεώρημα του Stokes, βασικό θεώρημα της ανάλυσης φορέα.

Το 1849 διορίστηκε Lucasian καθηγητής των Μαθηματικών στο Πανεπιστήμιο του Cambridge. Το 1851 εξελέγη στο Royal Society (Λονδίνο) και τρία χρόνια αργότερα έγινε γραμματέας του, μια θέση που κατείχε για 30 χρόνια μέχρι που εξελέγη πρόεδρος. Έτσι έγινε ο πρώτος άνθρωπος, μετά τον Sir Isaac Newton, που κατείχε και τις τρεις θέσεις, Lucasian Καθηγητής, γραμματέας και στη συνέχεια πρόεδρος της Royal Society.

Πηγή: *encyclopedia Britannica*

Η εξίσωση 4-10 είναι γνωστή και ο **νόμος του Stokes** (*Stokes Law*). Η εικόνα 4-4 δείχνει την εξάρτηση του συντελεστή οπισθέλκουσας συναρτήσει του αριθμού Reynolds, δίνοντας έμφαση και στην περιοχή που ισχύει ο νόμος του Stokes. Η περιοχή Stokes παρουσιάζεται με διακεκομμένες γραμμές. Ο Παπαϊωάννου (2002) αναφέρει ότι, από την θεωρητική μελέτη ροής γύρω από μια σφαίρα, αποδεικνύεται ότι το 1/3 της δύναμης αυτής είναι οπισθέλκουσα πίεσης και τα υπόλοιπα 2/3 είναι οπισθέλκουσα τριβής.

Σύμφωνα με τον White (2011), μία άλλη απόδειξη της σχέσεως του Stokes μπορεί να εξαχθεί αν $Re \ll 1$, τότε οι όροι της επιτάχυνσης στην εξίσωση Navier-Stokes είναι

αμελητέοι. Οι εξισώσεις συνέχειας και ορμής μετατρέπονται σε 2 γραμμικές εξισώσεις για την ταχύτητα και την πίεση:

$$\text{Re} \ll 1: \quad \nabla \cdot V = 0 \quad \text{και} \quad \nabla p \approx \mu \nabla^2 V$$

Για μία απλή γεωμετρία όπως, π.χ. η σφαίρα, μπορούν να βρεθούν οι λύσεις κλειστής μορφής (closed-form solutions) και μπορεί να υπολογιστεί η οπισθέλκουσα δύναμη.

$$F_D = F_{\text{sphere}} = 3\pi\mu u_0 D_0 \quad \text{που είναι ίδια με την σχέση 4-10 και}$$

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho u_0^2 \frac{\pi}{4} D_0^2} = \frac{24}{\rho u \frac{D_0}{\mu}} = \frac{24}{\text{Re}}, \quad \text{που είναι ουσιαστικά η σχέση 4-8.}$$

4.3 Κίνηση σωματιδίων διαμέσου ρευστών

Στα διάφορα στάδια των φυσικών διεργασιών, και ιδιαίτερα στους μηχανικούς διαχωρισμούς, υπάρχει η κίνηση στερεών σωματιδίων ή/και σταγόνων υγρού διαμέσου ρευστών. Το ρευστό είναι συνήθως υγρό, αλλά δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις που μπορεί να είναι και αέριο (π.χ. κατά τον διαχωρισμό του νερού από το φυσικό αέριο και από το πετρέλαιο). Επίσης, το ρευστό μπορεί να είναι υπό κίνηση ή να είναι και ακίνητο.

Απαραίτητη προϋπόθεση για να κινηθεί ένα σωματίδιο διαμέσου ενός ρευστού είναι να ασκηθεί στο σωματίδιο μία εξωτερική δύναμη, που προέρχεται από την αλληλεπίδραση του σωματιδίου με ένα εξωτερικό πεδίο δυνάμεων, συνήθως βαρύτητας. Μπορεί όμως να είναι και ηλεκτρικό ή δυναμικό. Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής θα εξεταστούν μόνο οι δυνάμεις βαρύτητας και θα γίνει μια σύντομη αναφορά στις φυγόκεντρες δυνάμεις. Σε περίπτωση που η δύναμη της βαρύτητας δεν είναι επαρκής, υπάρχει υποβοήθηση από μια επιπλέον δύναμη, την φυγόκεντρο, που είναι αρκετές φορές πιο ισχυρή. Η φυγόκεντρος δύναμη επιτυγχάνεται με μηχανικό τρόπο. Στο σωματίδιο ενεργούν επίσης και η άνωση (με φορά προς τα άνω) και η οπισθέλκουσα δύναμη (με αντίθετη φορά από την διεύθυνση της κίνησης του σωματιδίου).

Η δισδιάστατη κίνηση του σωματιδίου, αναφέρεται στην περίπτωση όπου η κατεύθυνση της κίνησης του σωματιδίου δεν είναι παράλληλη με την διεύθυνση της εξωτερικής δύναμης και της άνωσης, με αποτέλεσμα η οπισθέλκουσα να σχηματίζει γωνία με τις άλλες δυο δυνάμεις. Η κίνηση όμως αυτή είναι δύσκολο να μελετηθεί. Στους βαρυτικούς διαχωριστές η κίνηση των σωματιδίων (κατακάθιση ή άνωση), είναι

μονοδιάστατη αφού οι δυνάμεις που ασκούνται σε ένα σταγονίδιο είναι επί το πλείστον στην ίδια διεύθυνση.

Η διεργασία απομάκρυνσης των σωματιδίων από ένα υγρό σύστημα με την βοήθεια της βαρύτητας ονομάζεται κατακάθιση. Διακρίνουμε δύο είδη κατακάθισης, την ελεύθερη και την παρεμποδιζόμενη κατακάθιση. Όταν η κίνηση των σωματιδίων δεν επηρεάζεται από τα άλλα σωματίδια του συστήματος, η διεργασία ονομάζεται ελεύθερη κατακάθιση. Ενώ όταν η κίνηση του σωματιδίου παρεμποδίζεται από τα άλλα σωματίδια του συστήματος, π.χ. όταν τα σωματίδια είναι πολύ κοντά το ένα στο άλλο, η διεργασία ονομάζεται παρεμποδιζόμενη κατακάθιση.

4.3.1 Μονοδιάστατη κίνηση σωματιδίων σε ένα ρευστό

Θεωρούμε ένα σωματίδιο μάζας, m , κινούμενο διαμέσου ενός ρευστού κάτω από την επίδραση μία εξωτερικής δύναμης, F_e . Η σχετική ταχύτητα σωματιδίου-ρευστού είναι u . Στο σωματίδιο ασκείται μια δύναμη άνωσης F_b και μια οπισθέλκουσα δύναμη F_D . Η κίνηση του σωματιδίου διέπεται από το 2^ο νόμο του Newton.

$$F = \frac{dP}{dt} \quad 4-11$$

όπου:

P : η γραμμική ορμή

F : η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται στο σωματίδιο.

Η συνισταμένη δύναμη είναι $F = F_e - F_b - F_D$, ενώ η επιτάχυνση του σωματιδίου είναι $\frac{du}{dt}$. Ο ρυθμός μεταβολής της γραμμικής ορμής μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{d(mu)}{dt} = m \frac{du}{dt} \quad 4-12$$

Αφού η μάζα του σωματιδίου θεωρείται σταθερή, τότε από την σχέση 4-11 έχουμε:

$$m \frac{du}{dt} = F_e - F_b - F_D \quad 4-13$$

Η εξωτερική δύναμη μπορεί να εκφραστεί ως το γινόμενο της μάζας επί την επιτάχυνση του σωματιδίου a_e

$$F_e = ma_e \quad 4-14$$

Η άνωση, σύμφωνα με την αρχή του Αρχιμήδη είναι ίση με το γινόμενο της μάζας του ρευστού που εκτοπίζεται από το σωματίδιο και της επιτάχυνσης της εξωτερικής δύναμης. Δηλαδή

$$F_b = \rho a_e V = \frac{ma_e \rho}{\rho_p} \quad 4-15$$

όπου:

ρ : η πυκνότητα του ρευστού

ρ_p : η πυκνότητα του σωματιδίου.

Η οπισθέλκουσα δύναμη δίνεται από την εξίσωση 4-4 με την διαφορά ότι τώρα έχουμε κινούμενο σωματίδιο και όχι κινούμενο ρευστό. Ισχύει ότι $u = u_0$.

$$F_D = C_D \frac{\rho u^2}{2} A_0 \quad 4-16$$

Αντικαθιστώντας τις 4-14, 4-15 και 4-16 στη 4-13 προκύπτει

$$\frac{du}{dt} = a_e - \frac{\rho a_e}{\rho_p} - C_D \frac{\rho u^2}{2m} A_0 = a_e \frac{\rho_p - \rho}{\rho_p} - C_D \frac{\rho u^2}{2m} A_0 \quad 4-17$$

Από την εξίσωση 4-17 μπορούμε να διακρίνουμε δύο περιπτώσεις:

- a) Κίνηση λόγω βαρύτητας
- b) Φυγόκεντρη κίνηση

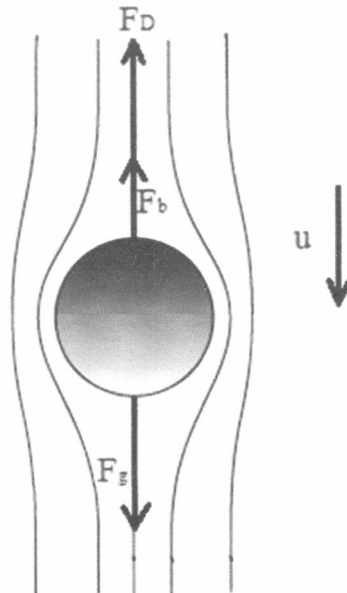
a. Κίνηση λόγω βαρύτητας

- i. ελεύθερη κατακάθιση.

Η εξωτερική δύναμη είναι η δύναμη της βαρύτητας και η επιτάχυνση a_e είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας g . Αυτή είναι και η περίπτωση της ελεύθερης κατακάθισης, όπου το g έχει μια σταθερή τιμή. Η εξίσωση 4-17 γράφεται

$$\frac{du}{dt} = g \frac{\rho_p - \rho}{\rho_p} - C_D \frac{\rho u^2}{2m} A_0$$

4-18



Εικόνα 4-5: Κίνηση σωματιδίου σε ρευστό υπό την επίδραση της βαρύτητας.

Κατά την κατακάθιση με την επίδραση της βαρύτητας η οπισθέλκουσα δύναμη δεν είναι σταθερή αλλά αυξάνεται με τη ταχύτητα. Οι δυνάμεις F_b και F_g παραμένουν σταθερές. Η συνισταμένη δύναμη F και κατά συνέπεια και η επιτάχυνση du/dt (αφού η μάζα είναι σταθερή), ελαττώνονται συνεχώς, και με βάση την εξίσωση 4-18 προσεγγίζει το μηδέν. Από την στιγμή που η επιτάχυνση του σωματιδίου γίνει μηδέν, αυτό συνεχίζει να κινείται με σταθερή ταχύτητα, η οποία κάτω από τις επικρατούσες συνθήκες είναι η μέγιστη δυνατή ταχύτητα. Η οριακή αυτή ταχύτητα ονομάζεται τελική ταχύτητα u , (*terminal velocity*). Ο υπολογισμός της τελικής ταχύτητας γίνεται θέτοντας στην εξίσωση 4-18 $du/dt = 0$. Οπότε,

$$u_t = \sqrt{\frac{2g(\rho_p - \rho)m}{C_D \rho_p A_0 \rho}}$$

4-19

Για σφαιρικά σωματίδια διαμέτρου D_0 η μάζα είναι :

$$m = \frac{1}{6} \pi D_0^3 \rho_p \quad 4-20$$

και η μετωπική επιφάνεια

$$A_0 = \frac{1}{4} \pi D_0^2 \quad 4-21$$

Αντικαθιστώντας τις 4-20 και 4-21 στην 4-19 προκύπτει

$$u_t = \sqrt{\frac{2g(\rho_p - \rho) \frac{1}{6} \pi D_0^3 \rho_p}{C_D \rho_p \frac{1}{4} \pi D_0^2 \rho}} \Rightarrow$$

$$u_t = \sqrt{\frac{4g(\rho_p - \rho) D_0}{3C_D \rho}} \quad 4-22$$

Για χαμηλούς αριθμούς Reynolds, $Re < 1$ ο συντελεστής οπισθέλκουσας είναι $C_D = \frac{24}{Re}$ και αντικαθιστώντας το στην εξίσωση 4-22 δίνει

$$u_t = \sqrt{\frac{4g(\rho_p - \rho) D_0}{3 \frac{24}{Re} \rho}} = \sqrt{\frac{4g(\rho_p - \rho) D_0}{3 \frac{24\mu}{D_0 \rho u_t} \rho}} = \sqrt{\frac{g(\rho_p - \rho) D_0^2 u_t}{18\mu}} \Rightarrow$$

$$u_t = \frac{g(\rho_p - \rho) D_0^2}{18\mu} \quad 4-23$$

Επομένως η οπισθέλκουσα δύναμη είναι

$$F_D = 3\pi\mu u_t D_0 \quad 4-24$$

Η εξίσωση 4-23 είναι γνωστή και ως *εξίσωση Stokes*.

Όταν το πρόσημο της u_t είναι αρνητικό, τότε έχουμε άνοση των σωματιδίων και όχι κατακρήση. Η οπισθέλκουσα δύναμη είναι αντίθετης φοράς σε σχέση με την φορά της κατακρήσης. Αυτή είναι και η περίπτωση που συναντάται στους διαχωριστές βαρύτητας.

ii. Παρεμποδιζόμενη κατακάθιση

Στην παρεμποδιζόμενη κατακάθιση η κλίση της ταχύτητας του ρευστού γύρω από κάθε σωματίδιο επηρεάζεται από την παρουσία των γειτονικών σωματιδίων. Επίσης, τα σωματίδια κατά την κατακάθιση εκτοπίζουν υγρό, το οποίο κινείται προς τα πάνω, με αποτέλεσμα η σχετική ταχύτητα του σωματιδίου ως προς το υγρό να είναι μεγαλύτερη από την απόλυτη ταχύτητα κατακάθισης. Για ομοιόμορφο αιώρημα, η ταχύτητα κατακάθισης, u_s , μπορεί να υπολογιστεί από την τελική ταχύτητα, u_t , ενός απομονωμένου σωματιδίου χρησιμοποιώντας την εμπειρική εξίσωση των Maude-Whitmore (Παπαϊωάννου, 2002)

$$u_s = u_t (1 - \phi)^n \quad 4-25$$

όπου ϕ είναι το κλάσμα όγκου των σωματιδίων (δηλαδή, το πηλίκο του όγκου των σωματιδίων προς τον ολικό όγκο του υγρού συστήματος). Οι τιμές του εκθέτη n κυμαίνονται από 4.6 (στην περιοχή που ισχύει ο νόμος του Stokes, δηλ. $Re < 1$) έως 2.5 περίπου (στην περιοχή που ισχύει ο νόμος του Newton, δηλ. $1000 < Re < 200000$). Ο πίνακας 4-1 δίνει τυπικές τιμές του εκθέτη n για διάφορους αριθμούς Reynolds.

Re	0.1	1	10	100	1000
n	4.6	4.3	3.7	3.0	2.5

Πίνακας 4-1: Τιμές του εκθέτη n της εξίσωσης των Maude-Whitmore. (Πηγή Παπαϊωάννου Α.Θ., 2002)

Η εξίσωση Maude-Whitmore πρέπει να χρησιμοποιείται με μεγάλη προσοχή, επειδή η ταχύτητα κατακάθισης εξαρτάται επίσης από το σχήμα και την κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων.

b. Φυγόκεντρη κίνηση

Η φυγόκεντρη κίνηση εμφανίζεται σε ένα φυγόκεντρο πεδίο. Η εμφάνιση μιας φυγόκεντρης δύναμης έχει σαν φυσική συνέπεια την μεταβολή της κατεύθυνσης ενός σωματιδίου. Η φυγόκεντρη επιτάχυνση στην κυκλική κίνηση είναι συνάρτηση της ακτίνας της κυκλικής τροχιάς και του τετραγώνου της γωνιακής ταχύτητας. Δηλαδή

$$a_e = r\omega^2 \quad 4-26$$

όπου

r : η ακτίνα της κυκλικής τροχιάς του σωματιδίου

ω : γωνιακή ταχύτητα σε rad/s

Αντικαθιστώντας την εξίσωση 4-26 στην 4-17 προκύπτει

$$\frac{du}{dt} = r\omega^2 \frac{\rho_p - \rho}{\rho_p} - C_D \frac{\rho u^2}{2m} A_0 \quad 4-27$$

Κατά την κίνηση των σωματιδίων υπό την επίδραση φυγόκεντρης δύναμης η ταχύτητα εξαρτάται από την ακτίνα και η επιτάχυνση δεν είναι σταθερή αν το σωματίδιο κινείται ως προς το ρευστό. Όμως σε πολλές πρακτικές εφαρμογές της φυγόκεντρης δύναμης το du/dt είναι μικρό σε σύγκριση με τους άλλους δύο όρους της εξίσωσης 4-27. Αν το du/dt αγνοηθεί, η τελική ταχύτητα σε οποιαδήποτε ακτίνα μπορεί να οριστεί από την εξίσωση (McCabe et all, 2002)

$$u_t = \omega \sqrt{\frac{2r(\rho_p - \rho)m}{A_0 \rho_p C_D \rho}} \quad 4-28$$

Για σφαιρικά σωματίδια διαμέτρου D_0 μάζας $m = \pi D_0^3 \rho_p / 6$, μετωπικής επιφάνειας $A_0 = \pi D_0^2 / 4$ και συντελεστή οπισθέλκουσας $C_D = 24/Re$

$$\begin{aligned} u_t &= \omega \sqrt{\frac{2r(\rho_p - \rho) \frac{1}{6} \pi D_0^3 \rho_p}{\frac{1}{4} \pi D_0^2 \rho_p C_D \rho}} = \omega \sqrt{\frac{4r(\rho_p - \rho) D_0}{3 C_D \rho}} = \omega \sqrt{\frac{4r(\rho_p - \rho) D_0}{3 \frac{24\mu}{D_0 \rho u_t} \rho}} \\ &= \omega \sqrt{\frac{r(\rho_p - \rho) D_0^2 u_t}{18\mu}} \Rightarrow u_t^2 = \frac{\omega^2 r(\rho_p - \rho) D_0^2 u_t}{18\mu} \Rightarrow \\ u_t &= \frac{\omega^2 r(\rho_p - \rho) D_0^2}{18\mu} \quad 4-29 \end{aligned}$$

Η σχέση 4-29 είναι ίδια με την εξίσωση του Stokes με την διαφορά, ότι στην σχέση 4-23 ο όρος της επιτάχυνσης είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας ενώ στην 4-29 είναι η φυγόκεντρη επιτάχυνση.

5 Σχεδιασμός

Ο μηχανικός διαχωρισμός του ελαίου από το νερό γίνεται, όπως έχει ήδη αναφερθεί, σε ειδικά δοχεία που ονομάζονται διαχωριστές. Οι κοινότεροι τύποι μηχανικών διαχωριστών που έχουν ως βασική αρχή λειτουργίας τους την διαφορά πυκνότητας ανάμεσα στα αναμιγμένα ρευστά, είναι οι συμβατικοί βαρυτικοί διαχωριστές (*conventional oil-water separators*) και οι διαχωριστές παραλλήλων πλακών (*parallel-plate separators*). Οι διαχωριστές αυτοί, ονομάζονται και API separators ή API 421 separators (*API publication 421*), καθώς η βασική σχεδιομελέτη τους πραγματοποιήθηκε από την American Petroleum Institute (*API*).

Η έρευνα ξεκίνησε το 1948 στο πανεπιστήμιο του Wisconsin (συγκεκριμένα στο Engineering Experiment Station at the University of Wisconsin) και μια ολοκληρωμένη δημοσίευσή τους έγινε το Φεβρουάριο του 1990 (*API publication 421, first edition, February 1990*). Από τότε που ξεκίνησε η έρευνα, πολλοί διαχωριστές έχουν σχεδιαστεί με βάση της βασικές αρχές σχεδίασης της API. Ανάλογα με την εφαρμογή, αλλά και τον κατασκευαστή, οι διαχωριστές διαφέρουν ο ένας από τον άλλο, ακόμη και για την ίδια εφαρμογή. Ωστόσο, οι βασικές αρχές σχεδιασμού του είναι ίδιες.

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζονται οι σχεδιαστικές αρχές για τους διαχωριστές ελαίου-νερού σύμφωνα με το API publication 421. Οι διαχωριστές που θα εξεταστούν είναι οι συμβατικοί βαρυτικοί διαχωριστές και οι διαχωριστές παραλλήλων πλακών. Στην δημοσίευση της API οι μονάδες που χρησιμοποιούνται είναι σε British Units. Για τον λόγο αυτό κρίθηκε χρήσιμο να γίνει η μετατροπή τους σε μονάδες SI, που χρησιμοποιούνται ευρέως ανά τον κόσμο.

5.1 Χαρακτηριστικά του λύματος

Οι σχεδιαστικοί υπολογισμοί απαιτούν την γνώση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών του λύματος που είναι προς επεξεργασία. Όσο καλύτερη είναι η γνώση των χαρακτηριστικών του λύματος, τόσο καλύτερη θα είναι και η πρόβλεψη της απόδοσης του διαχωριστή. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά είναι η περιεκτικότητα του λύματος σε στερεά σωματίδια και το εάν το λύμα είναι ελεύθερο έλαιο, γαλάκτωμα ή διαλυμένο έλαιο.

Εξίσου σημαντικά, ως χαρακτηριστικά, είναι το ειδικό βάρος και το απόλυτο ιξώδες του ελαίου και του νερού. Οι δύο αυτές παράμετροι δίνονται συναρτήσει της ελάχιστης θερμοκρασίας σχεδιασμού. Θεωρώντας όλες τις άλλες συνθήκες ίδιες, ισχύει ότι όσο

μεγαλύτερη είναι η διαφορά του ιδιικού βάρους ανάμεσα στο νερό και το έλαιο, τόσο καλύτερος είναι ο διαχωρισμός. Οι τιμές του ιδιικού βάρους και του ιξώδους του νερού θα πρέπει να προσδιορίζονται πειραματικά όπου αυτό είναι δυνατό. Στην περίπτωση που δεν καθίσταται δυνατός ο πειραματικός προσδιορισμός τους, οι τιμές τους θα δίνονται κατά προσέγγιση από πίνακες και διαγράμματα. Ένα τέτοιο παράδειγμα δίνεται στο παράρτημα για τη περίπτωση του καθαρού νερού και του θαλασσινού νερού.

5.2 Η ροή σχεδιασμού

Η ροή σχεδιασμού ενός διαχωριστή ελαίου-νερού καθορίζεται κυρίως από δύο παράγοντες: τον αναμενόμενο ρυθμό ροής και έναν συντελεστή ασφάλειας, για να καλύπτει της περιπτώσεις όπου υπάρχουν διακυμάνσεις στην ροή. Η ροή σχεδιασμού θα πρέπει να γίνεται με βάση την μέγιστη ταχύτητα της ροής, είτε αυτή αναφέρεται σε κάποια χρήση που θα γίνει στο άμεσο μέλλον είτε για περιπτώσεις όπου πρόκειται να πραγματοποιηθεί επέκταση του διαχωριστή. Εξάιρεση στην παραπάνω πρόταση αποτελεί η περίπτωση κατά την οποία δίνεται κάποια εξίσωση για την ροή μέσα στον διαχωριστή. Το νομοθετικό πλαίσιο για την καθαρότητα του ρεύματος εκροής μπορεί να είναι ένας παράγοντας που θα καθορίσει τον ρυθμό ροής σε έναν διαχωριστή.

Η απόδοση ενός διαχωριστή εξαρτάται από εκτός των άλλων και από τις συνθήκες εισόδου και εξόδου. Κρίνεται λοιπόν χρήσιμο να εξεταστούν οι προϋποθέσεις για το ρεύμα της εισροής και εκροής.

5.2.1 Ρεύμα εισροής

Ο εξοπλισμός ή οι συνθήκες στο ρεύμα της εισροής που προκαλούν μικρά μεγέθη σταγονιδίων, θα οδηγήσουν στην απαίτηση ενός μεγαλύτερου διαχωριστή για να εξισορροπήσει τον πρόσθετο χρόνο που χρειάζονται τα μικρά σωματίδια για να συνενωθούν. Οι καταστάσεις που μπορεί να δημιουργήσουν μικρά σταγονίδια είναι οποιεσδήποτε συνθήκες οι οποίες προκαλούν διάτμηση στο εισερχόμενο νερό. Παρακάτω δίνονται ορισμένοι παράγοντες που προκαλούν μικρά σταγονίδια:

- 1) Οι αντλίες, και ειδικά οι φυγόκεντρες αντλίες
- 2) Οι βάνες και ιδιαίτερα οι σφαιρικές
- 3) Άλλοι περιοριστές της ροής όπως γωνίες, ταφ και άλλα εξαρτήματα, ή απλά τα υπερβολικά μικρά μεγέθη των σωληνώσεων της γραμμής.
- 4) Οι κάθετες σωληνώσεις (οι οριζόντιες προτιμώνται)

5) Χημικοί παράγοντες που δημιουργούν γαλακτώματα (σαπούνια και διάφορα απορρυπαντικά)

Οι γαλακτωματοποιητικοί παράγοντες όπως τα σαπούνια και τα απορρυπαντικά συμβάλουν στην δημιουργία μικρών σταγονιδίων, γιατί εκτός από το ότι αποτρέπουν την συσσωμάτωση στις πλάκες, εμποδίζουν και την συνένωση.

Ιδανικές συνθήκες εισόδου σε ένα διαχωριστή είναι οι εξής παρακάτω:

- 1) Να υπάρχει ροή λόγω της βαρύτητας (όχι με αντλίες) στη σωλήνωση εισόδου.
- 2) Τα μεγέθη των σωληνώσεων εισόδου να είναι τέτοια ώστε να ελαχιστοποιούν την πτώση πίεσης.
- 3) Οι σωληνώσεις στην είσοδο πρέπει να είναι ευθείες μήκους τουλάχιστον μεγαλύτερου των 10 διαμέτρων.
- 4) Οι σωληνώσεις εισόδου πρέπει να έχουν τον ελάχιστο αριθμό σε ταφ, γωνίες, βάνες και άλλα εξαρτήματα.

Πολλοί διαχωριστές ωστόσο έχουν εγκαταστημένο ένα ταφ ή μία γωνία μέσα στον διαχωριστή, με φορά προς τα κάτω. Αυτό αποτελεί εξαίρεση στους παραπάνω κανόνες γιατί έχει ως στόχο να εισάγει το νερό κάτω από το στρώμα του πετρελαίου που βρίσκεται στην επιφάνεια, αποφεύγοντας έτσι τις διαταραχές που ελαίου της επιφανείας ή πιθανό εκ νέου εγκλωβισμό στο νερό του ήδη διαχωρισθέντος πετρελαίου.

Οι σωληνώσεις εισόδου πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο λείες για να αποφευχθούν οι στροβιλισμοί που οφείλονται λόγω της τραχύτητας του σωλήνα. Γι' αυτό συνήθως στην είσοδο του διαχωριστή προτιμώνται σωλήνες από PVC.

Αν το ρεύμα της εισόδου αναμένεται να έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε στερεά σωματίδια, είναι χρήσιμο να υπάρχει πριν από την είσοδο στον διαχωριστή ένας θάλαμος απομάκρυνσης στερεών.

Όταν παροχή ξεπερνάει την χωρητικότητα που μπορεί να διαχειριστεί ο διαχωριστής, τότε ο διαχωριστής συνεχίζει να λειτουργεί αλλά με χαμηλότερη αποτελεσματικότητα.

5.2.2 Ρεύμα εκροής

Η σωστή σχεδίαση του ρεύματος εξόδου είναι επίσης πολύ σημαντική για την ορθή λειτουργία ενός διαχωριστή.

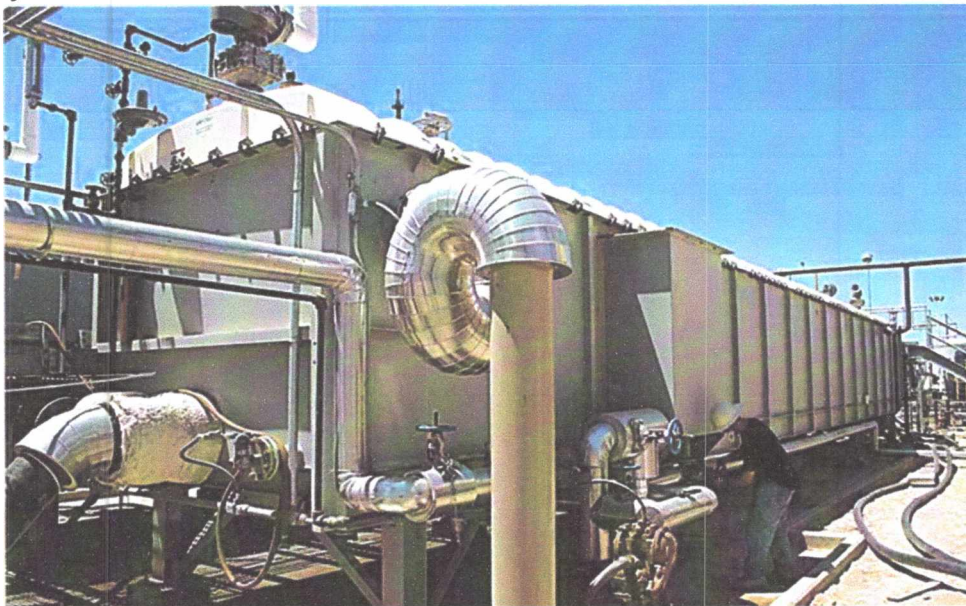
Οι μεταγενέστεροι σωλήνες και οι άλλες εγκαταστάσεις πρέπει να είναι επαρκούς μεγέθους για να μπορεί να επεξεργαστεί σωστά την ποσότητα του νερού και του ελαίου από οποιαδήποτε κατάσταση που μπορεί να προκύψει (υπερχείλιση κτλ.).

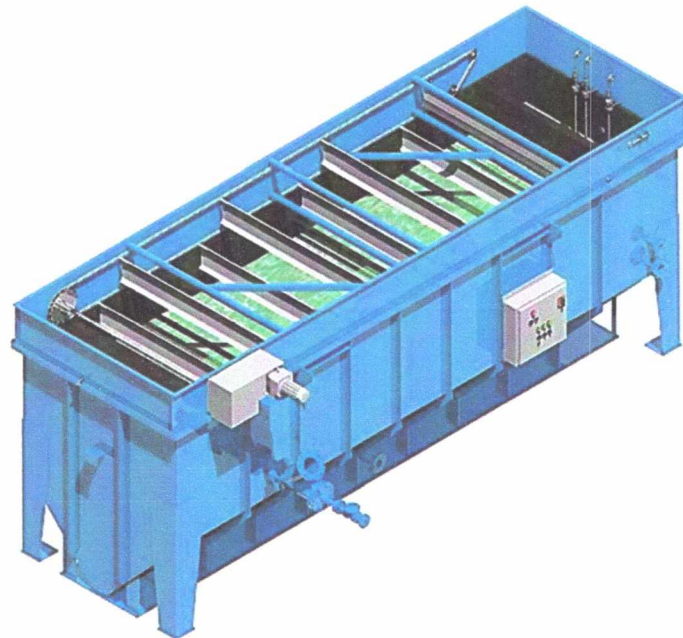
Το έλαιο πρέπει να απομακρύνεται από τον διαχωριστή σε τακτική βάση, εάν όχι και συνεχώς. Αν δεν απομακρυνθεί εγκαίρως, το πετρέλαιο θα γεμίσει τον διαχωριστή, θα 'τυφλώσει' τους αισθητήρες με αποτέλεσμα να εξαχθεί μεγάλη ποσότητα ελαίου με το ρεύμα εξόδου.

Η απομάκρυνση του ελαίου από τον διαχωριστή πρέπει να είναι επαρκής για την προστασία του περιβάλλοντος. Το διαχωρισμένο έλαιο που συλλέγεται θα πρέπει ανακυκλωθεί, για να εξασφαλιστεί ότι δεν αντιμετωπίζεται σαν ένα απλό λύμα και να αποφευχθούν πιθανά μελλοντικά προβλήματα από την μη σωστή διάθεση του.

5.3 Συμβατικοί διαχωριστές ελαίου-νερού

Ο διαχωρισμός ελαίου-νερού βασίζεται στην άνοδο των σταγονιδίων του ελαίου (κάθετη ταχύτητα). Οι διαχωριστές ελαίου-νερού είναι σχεδιασμένοι για να διαχωρίζουν το ελεύθερο έλαιο από το νερό και όχι τα γαλακτώματα και τα διαλυμένα έλαια. Στις εικόνες που ακολουθούν απεικονίζονται διαχωριστές ελαίου νερού που τοποθετούνται πάνω από το έδαφος.





Εικόνα 5-1: Συμβατικοί διαχωριστές ελαίου-νερού (Πηγή: Mercer International Inc και HydroFlo Technologies Inc)

5.3.1 Σχεδιαστικοί υπολογισμοί για API διαχωριστές

Οι ακόλουθοι παράμετροι είναι απαραίτητοι για τον σχεδιασμό ενός OWS

- Παροχή σχεδιασμού (*Design flow*) Q_m , είναι η μέγιστη ογκομετρική παροχή των λυμάτων. Η παροχή σχεδιασμού θα πρέπει να περιλαμβάνει ανοχή για τυχόν περαιτέρω μελλοντική αύξηση των αναγκών της παροχής.
- Θερμοκρασία των λυμάτων. Χαμηλότερες θερμοκρασίες χρησιμοποιούνται για πιο συντηρητικό σχεδιασμό.
- Ειδικό βάρος των λυμάτων (*Specific gravity*), S_w .

- Απόλυτο ή δυναμικό ιξώδες των λυμάτων, μ .
- Ειδικό βάρος των λυμάτων του πετρελαϊκού κλάσματος S_o . Υψηλότερες τιμές χρησιμοποιούνται για πιο συντηρητική σχεδίαση.
- Το μέγεθος των σταγονιδίων που αφαιρούνται. Μία συνήθης τιμή για τον σχεδιασμό είναι η διάμετρος των σταγονιδίων να είναι 0.015cm .

Ο σχεδιασμός των συμβατικών διαχωριστών υπόκειται στους ακόλουθους περιορισμούς:

- ✓ Η οριζόντια ταχύτητα v_H , διαμέσου του διαχωριστή θα πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση με 0.015m/s ή ίση με το δεκαπενταπλάσιο της ταχύτητας ανόδου v_r , των σταγονιδίων του ελαίου (όπως αυτή προκύπτει από το εξίσωση του Stokes). Ανάμεσα σε αυτές τις 2 τιμές επιλέγεται εκείνη που δίνει την μικρότερη τιμή.
- ✓ Το βάθος του ύδατος στον διαχωριστή d δεν πρέπει να είναι μικρότερο από το 1m για να ελαχιστοποιηθούν οι αναταραχές που τυχόν προκληθούν από τα ξέστρα (*oil/sludge flight scrapers*), που απομακρύνουν το πετρέλαιο/λάσπη που καθιζάνει στον πάτο του διαχωριστή, και τις υψηλές ροές. Επιπλέον βάθος μπορεί να είναι αναγκαίο όταν υπάρχει εξοπλισμός με ζύστρες. Μια συνήθης τιμή για το βάθος είναι να υπερβαίνει τα 2.4m .
- ✓ Η αναλογία του βάθους προς το πλάτος του διαχωριστή, στις εφαρμογές των διυλιστηρίων, κυμαίνεται μεταξύ 0.3 έως 0.5
- ✓ Τυπικές τιμές για το πλάτος του διαχωριστή στα διυλιστήρια είναι μεταξύ 1.8 έως 6m . Οι τιμές αυτές καλύπτουν τις τυπικές διαστάσεις για τα ξέστρα.
- ✓ Η τοποθέτηση τουλάχιστον 2 καναλιών-διαύλων διαχωρισμού, δίνει την δυνατότητα να τεθεί ο ένας εκ των δύο διαύλων εκτός λειτουργίας προκειμένου να καθαριστεί ή να επισκευαστεί, ενώ ο άλλος λειτουργεί κανονικά χωρίς να σταματάει η διαδικασία του διαχωρισμού.
- ✓ Ο λόγος μήκους προς πάχος του διαύλου διαχωρισμού, προτείνεται να είναι τουλάχιστον 5 , προκειμένου να παρέχει μια πιο ομοιόμορφη κατανομή της ροής και να ελαχιστοποιηθούν οι επιδράσεις στον κύριο διάυλο του διαχωρισμού, που προκαλούνται από τις αναταράξεις στην είσοδο και την έξοδο.

Όπως έχει ήδη ειπωθεί η κατακόρυφη ταχύτητα ή ταχύτητα ανόδου των σωματιδίων δίνεται από την εξίσωση του Stokes. Εδώ έχει γίνει μια μικρή μετατροπή στην σχέση αυτή

όπου έχουν αναδιαταχθεί οι όροι της πυκνότητας σωματιδίων και μέσου με αποτέλεσμα η θετική v_t να δίνει άνοδο των σωματιδίων και όχι κατακάθιση. Δηλαδή,

$$v_t = \frac{g}{18\mu}(\rho_w - \rho_o)D^2 \quad 5-1$$

όπου

v_t : η κατακόρυφη ταχύτητα ή ρυθμός ανόδου των σταγονιδίων του ελαίου, σε cm/s

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας = $981cm/s^2$

μ : το δυναμικό ιξώδες του λύματος στην θερμοκρασία σχεδιασμού, σε poise

ρ_w : πυκνότητα του νερού στην θερμοκρασία σχεδιασμού, σε g/cm^3

ρ_o : πυκνότητα του ελαίου στην θερμοκρασία σχεδιασμού, σε g/cm^3

D : διάμετρος των σταγονιδίων του ελαίου που πρόκειται να αφαιρεθούν, σε cm

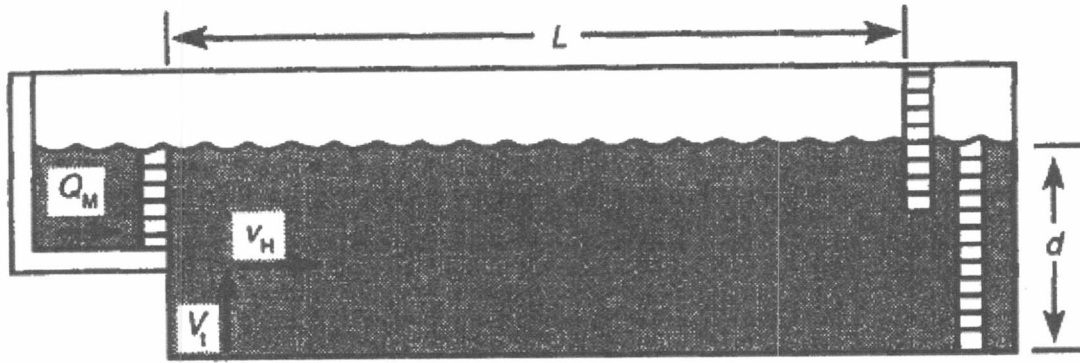
Με τον υπολογισμό της κατακόρυφης ταχύτητας ανόδου μπορούν να υπολογιστούν και τα υπόλοιπα μεγέθη για τον σχεδιασμό.

a) Οριζόντια ταχύτητα v_H

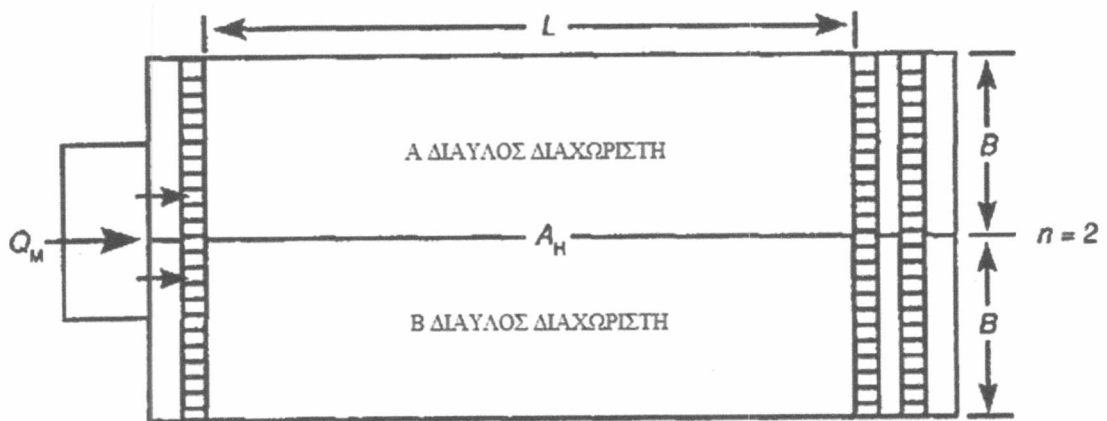
Όπως διατυπώθηκε και παραπάνω η οριζόντια ταχύτητα v_H καθορίζεται από την μικρότερη τιμή εκ των δύο παραμέτρων:

$$v_H = 15v_t \leq 1.5 \text{ σε } cm/s \quad 5-2$$

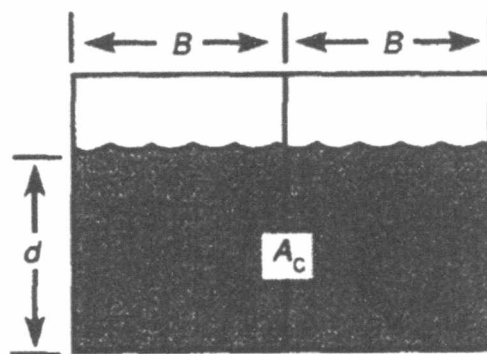
Αυτοί οι περιορισμοί είναι εμπειρικοί και έχουν προκύψει από την μακροχρόνια ενασχόληση με τους διαχωριστές. Ωστόσο, ορισμένοι διαχωριστές μπορούν αν λειτουργήσουν και σε υψηλότερες ταχύτητες από το $1.5 cm/s$, χωρίς πρόβλημα



Εικόνα 5-2: Κάτοψη διαχωριστή ελαίου-νερού 2 διαύλων (Πηγή: API Publication 421, 1990)



Εικόνα 5-3: Πλάγια όψη διαχωριστή ελαίου-νερού 2 διαύλων (Πηγή: API Publication 421, 1990)



Εικόνα 5-4: Εγκάρσια τομή σε ένα τυχαίο σημείο στο μήκος L του διαχωριστή ελαίου-νερού 2 διαύλων (Πηγή: API Publication 421, 1990)

b) Ελάχιστη εγκάρσια επιφάνεια A_c

Με γνωστή τη παροχή στην είσοδο Q_m και έχοντας υπολογίσει και την οριζόντια ταχύτητα v_H από την σχέση 5-2 μπορεί να υπολογιστεί και η ελάχιστη εγκάρσια τομή A_c από την ακόλουθη εξίσωση:

$$A_c = \frac{Q_m \times 100}{v_H} \quad 5-3$$

όπου

A_c : η ελάχιστη εγκάρσια επιφάνεια, σε m^2

Q_m : η παροχή σχεδιασμού στην είσοδο, σε $\frac{m^3}{s}$

v_H : η οριζόντια ταχύτητα, σε cm/s

Σημείωση: Ο πολλαπλασιασμός με το 100 γίνεται προκειμένου να μετατραπούν τα cm σε m και να υπάρξει συμφωνία στις μονάδες.

c) Αριθμός των διαύλων διαχωρισμού n

Σε γενικές γραμμές ο πιο οικονομικός σχεδιασμός είναι εκείνος που ελαχιστοποιεί τον αριθμό των διαύλων διαχωρισμού. Όμως, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, για να είναι λειτουργικά αξιοποιήσιμος ένας διαχωριστής, σε περιόδους συντήρησης και επισκευών, προτείνεται να υπάρξουν τουλάχιστον 2 δίαυλοι διαχωρισμού, ώστε όταν πραγματοποιούνται εργασίες συντήρησης στον έναν, να μην σταματά η διαδικασία, αλλά να πραγματοποιείται στον έτερο δίαυλο. Για να προκύψει ο ελάχιστος αριθμός διαύλων θα πρέπει να μεγιστοποιηθεί η εγκάρσια επιφάνεια, σε συνδυασμό με τους περιορισμούς σχεδιασμού που δίνονται παραπάνω. Τυπικές τιμές για την μέγιστη εγκάρσια επιφάνεια ενός διαύλου είναι $6m$ πλάτος και $2.5m$ βάθος δηλαδή $15m^2$. Άρα ο αριθμός των διαύλων n υπολογίζεται από την εξής σχέση

$$n = \frac{A_c}{15} \quad 5-4$$

Ο αριθμός των διαύλων n είναι αδιάστατος.

d) Πλάτος και βάθος του διαύλου

Με γνωστές τις τιμές για την εγκάρσια επιφάνεια A_c και τον αριθμό των διαύλων n , που προκύπτουν από τις προαναφερθείσες εξισώσεις υπολογίζεται το πλάτος και το βάθος του διαύλου. Το πλάτος B του κάθε διαύλου κυμαίνεται συνήθως μεταξύ των 1.8-6 m. Εισάγοντας τις τιμές αυτές στην παρακάτω εξίσωση, υπολογίζεται το βάθος d .

$$d = \frac{A_c}{Bn} \quad 5-5$$

όπου

d : βάθος του διαύλου, σε m

B : πλάτος του διαύλου, σε m

Το βάθος του καναλιού που προκύπτει από την εξίσωση αυτή θα πρέπει να ικανοποιεί τα προαναφερθέντα κριτήρια δηλ. να είναι μεταξύ 1-2.4 m και ο λόγος βάθους προς πλάτος να είναι μεταξύ 0.3-0.5. Σε περίπτωση που δεν ικανοποιείται κανένα από αυτά τα κριτήρια, τότε επιλέγεται μια διαφορετική τιμή για το πλάτος και υπολογίζεται εκ νέου το βάθος από την σχέση 5-5, μέχρι να ικανοποιηθεί ένα από αυτά.

e) Ελάχιστη οριζόντια επιφάνεια A_H

Σε ένα διαχωριστή που λειτουργεί ιδανικά, δηλαδή δεν υπάρχουν δίνες ή αναταράξεις, η αφαίρεση ενός συγκεκριμένου εναιωρήματος είναι μια συνάρτηση του ρυθμού υπερχειλίσης, όπου η παροχή διαιρείται με την επιφάνεια και κατά συνέπεια ο ρυθμός υπερχειλίσης παίρνει διαστάσεις ταχύτητας. Στον ιδανικό διαχωριστή, κάθε σταγονίδιο ελαίου με ταχύτητα ανόδου μεγαλύτερη ή ίση του ρυθμού υπερχειλίσης, αφαιρείται. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι κάθε σωματίδιο που έχει ταχύτητα ανόδου μεγαλύτερη από το πηλίκο του βάθους του διαχωριστή προς τον χρόνο παραμονής θα φτάσει στην επιφάνεια, έστω και αν ξεκινήσει από τον πυθμένα. Όταν η ταχύτητα ανόδου ενός σταγονιδίου i είναι ίση με τον ρυθμό υπερχειλίσης, η συσχέτιση αυτή εκφράζεται από την παρακάτω σχέση.

$$v_i = \frac{d_i}{T_i} = \frac{d_i}{\frac{L_i B_i d_i}{Q_m}} = \frac{10^6 \times Q_m}{L_i B_i} = v_o \quad 5-6$$

όπου

T_i : ο χρόνος παραμονής του σωματιδίου i , σε s

L_i : το μήκος ενός ιδανικού διαχωριστή, σε cm

v_o : ρυθμός υπερχείλισης, σε cm/s

d_i : βάθος των λυμάτων σε έναν ιδανικό διαχωριστή, σε cm

B_i : πλάτος του ιδανικού διαχωριστή, σε cm

Q_m : παροχή σχεδιασμού του διαχωριστή, σε m^3/s

Σημείωση: Ο συντελεστής 10^6 υπάρχει για την μετατροπή από m^3/s σε cm^3/s

Η εξίσωση 5-6 αναφέρει ότι η επιφάνεια που απαιτείται για έναν ιδανικό διαχωριστή είναι ανεξάρτητη του βάθους του διαχωριστή και ίση με το πηλίκο της ροής των λυμάτων προς τη ταχύτητα ανόδου των σταγονιδίων του πετρελαίου. Λαμβάνοντας υπόψη και έναν παράγοντα σχεδιασμού F , η ελάχιστη οριζόντια επιφάνεια είναι A_H , ορίζεται ως εξής

$$A_H = F \left(\frac{Q_m \times 100}{v_t} \right) \quad 5-7$$

όπου

F : συντελεστής στροβιλισμών και βραχυκυκλωμάτων, αδιάστατος

A_H : η ελάχιστη οριζόντια επιφάνεια, σε m^2

f) Μήκος του διαχωριστή L

Από την στιγμή που έχει υπολογιστεί τα πλάτος και το βάθος του διαχωριστή, μπορεί να υπολογιστεί το μήκος L , κάνοντας χρήση των σχέσεων 5-3, 5-5, 5-7, που αναπαράγονται και παρακάτω για λόγους διευκόλυνσης της εξαγωγής της απόδειξης:

$$A_c = \frac{Q_m \times 100}{v_H} \quad 5-3$$

$$d = \frac{A_c}{Bn} \Rightarrow A_c = Bn \times d \quad 5-5$$

$$A_H = F \left(\frac{Q_m \times 100}{v_t} \right) \quad 5-7$$

Η επιφάνεια A_H εκτός από την σχέση 5-7 μπορεί να βρεθεί και από την γεωμετρία του σχήματος του διαχωριστή ως το γινόμενο του μήκους επί το πλάτος επί τον αριθμό των διαύλων. Δηλαδή

$$A_H = LBn \quad 5-8$$

Από την οποία προκύπτει

$$L = \frac{A_H}{Bn} \quad 5-9$$

Αντικαθιστώντας τώρα τις σχέσεις 5-3, 5-5, 5-7 εξάγεται μια σχέση για το μήκος συναρτήσει της οριζόντιας και της κατακόρυφης ταχύτητας, όπως αποδεικνύεται παρακάτω

$$L = \frac{A_H}{Bn} \stackrel{(5-5)}{\Rightarrow} L = \frac{A_H}{\frac{A_C}{d}} = \frac{A_H d}{A_C} \stackrel{(5-3)}{\Rightarrow} L = \frac{\frac{FQ_m \times 100}{v_t} d}{\frac{Q_m \times 100}{v_H}} \Rightarrow L = F \frac{v_H}{v_t} d \quad 5-10$$

όπου

L : το μήκος του διαχωριστή, σε m

F είναι και πάλι συντελεστής στροβιλισμών και βραχυκυκλωμάτων, για τον οποίο θα γίνει μια μικρή ανάλυση παρακάτω.

Ασχέτως του αποτελέσματος που δίνει η σχέση 5-10 για το μήκος του διαχωριστή, ορισμένες φορές κρίνεται απαραίτητο αυτό να ρυθμίζεται να είναι τουλάχιστον 5 φορές μεγαλύτερο από το πλάτος, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι επιδράσεις από τις ζώνες εισόδου και εξόδου.

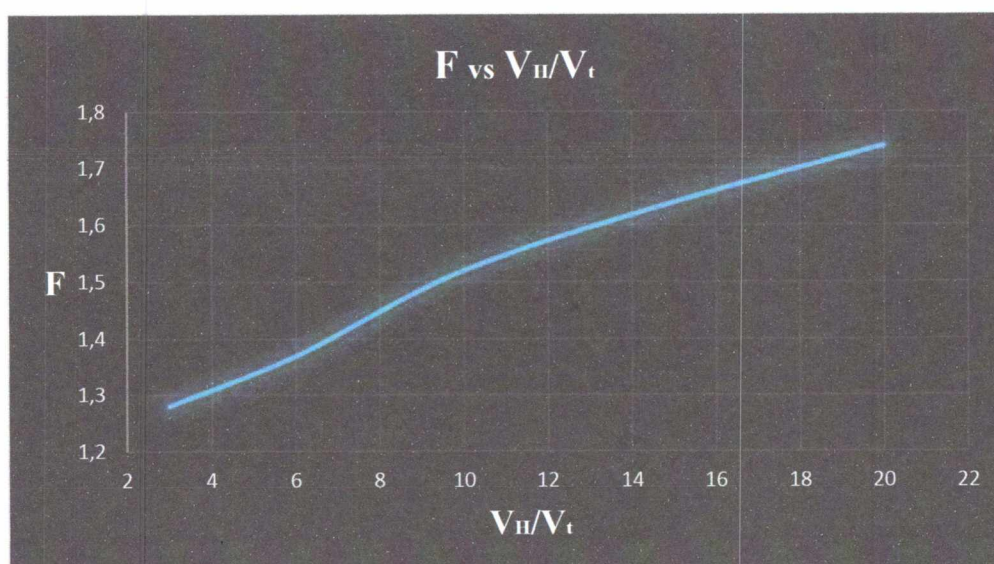
5.3.2 Συντελεστής στροβιλισμών και βραχυκυκλωμάτων, F

Ο συντελεστής F, είναι το γινόμενο του συντελεστή βραχυκυκλωμάτων, που προσδιορίστηκε πειραματικά και έχει τιμή 1.21, με τον συντελεστή στροβιλισμών F_t , η τιμή του οποίου εξαρτάται από την τιμή του λόγου της οριζόντιας ταχύτητας προς την κατακόρυφη ταχύτητα των σταγονιδίων του ελαίου. Στον πίνακα 5-1 που ακολουθεί υπάρχουν ορισμένα συνιστάμενα δεδομένα από τον λόγο των δύο ταχυτήτων, τον συντελεστή στροβιλισμών για κάθε έναν από αυτούς τους λόγους και τις αντίστοιχες τιμές του F, όπως αυτές δίνονται και στην δημοσίευση 421 της API.

v_H/v_t	F_t	$F = 1.21F_t$
3	1.07	1.28
6	1.14	1.37
10	1.27	1.52
15	1.37	1.64
20	1.45	1.74

Πίνακας 5-1: Συνιστάμενα δεδομένα από τον λόγο των δύο ταχυτήτων, τον συντελεστή στροβιλισμών με τις αντίστοιχες τιμές του F (Πηγή: API Publication 421, 1990).

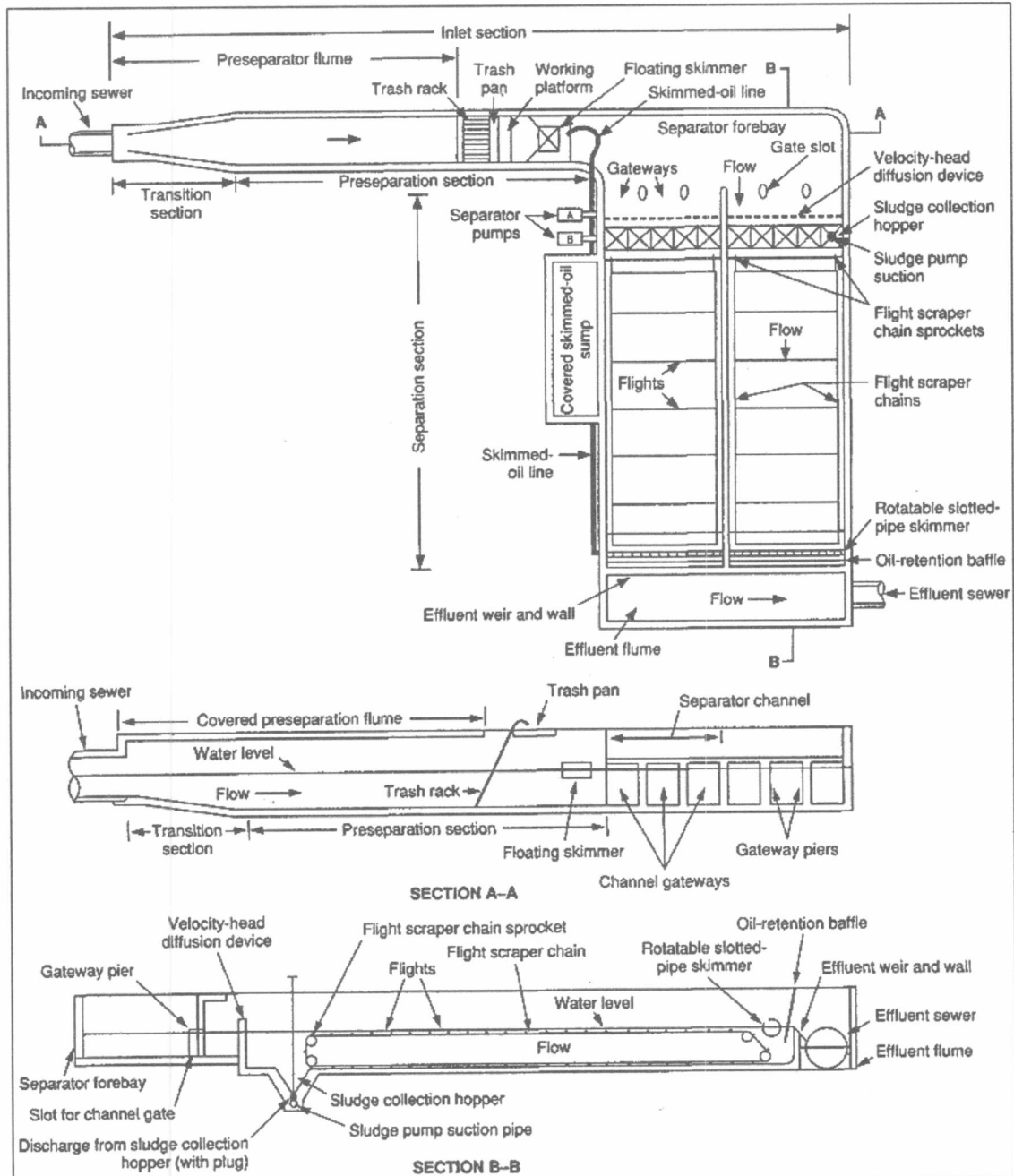
Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται και σε γραφική παράσταση για να μπορούν να είναι εύκαιρες οι τιμές του F και για άλλες ενδιάμεσες τιμές που δεν είναι μέσα σε αυτές που περιλαμβάνει ο πίνακας.



Εικόνα 5-5: Γραφική παράσταση των F vs V_H/V_t

5.3.3 Κατασκευαστικά μέρη

Ένας συμβατικός διαχωριστής ελαίου-νερού αποτελείται γενικά από δύο βασικά μέρη, το τμήμα εισόδου στον διαχωριστή και τους θαλάμους διαχωρισμού (εικόνα 5-6). Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται επιγραμματικά τα μέρη του του διαχωριστή. Αναλυτικά τα τμήματα του διαχωριστή και η λειτουργία τους δίνεται στην μελέτη της API (API Publication 421). Παρακάτω δίνονται τα μέρη του κάθε τμήματος.



Εικόνα 5-6: Τα μέρη ενός συμβατικού διαχωριστή (Πηγή: API Publication 421, 1990).

A. Το τμήμα εισόδου (*inlet section*)

Το τμήμα εισόδου εξυπηρετεί στο να μοιράσει την παροχή στους θαλάμους του διαχωρισμού. Σε αυτό το τμήμα μπορεί να συμβεί και ένας μερικός διαχωρισμός του ελαίου για την αφαίρεση κάποιων αιωρούμενων σωματιδίων. Μια σχηματική αναπαράσταση του τμήματος εισόδου δίνεται στην εικόνα 5-6. Αυτό αποτελείται κυρίως από:

- i. Τον σωλήνα που προηγείται του διαχωριστή (*preseparator flume*)
- ii. Συστοιχία ράβδων συγκράτησης απορριμμάτων (*trash rack*)
- iii. Τον ξαφριστή ελαίου και τον ανακλαστήρα κατακράτησης (*oil skimmer and retention baffle*) και
- iv. Τον προθάλαμο του διαχωριστή (*separator forebay*)

B. Το τμήμα του διαχωρισμού (*separation section*)

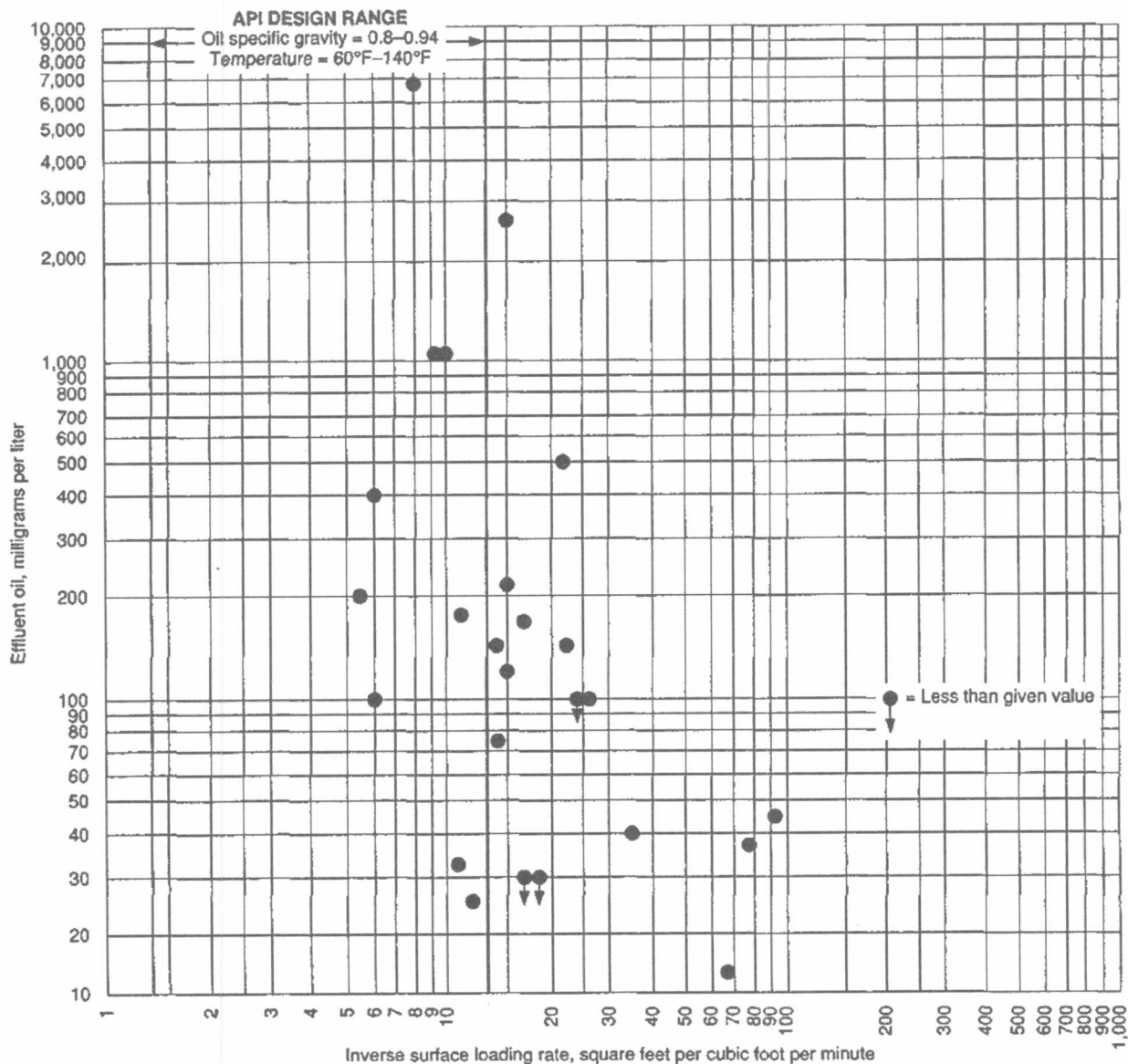
Εδώ είναι το μέρος όπου πραγματοποιείται κατ' ουσίαν ο διαχωρισμός ελαίου από το νερό. Τα επιμέρους τμήματά του είναι

- i. Οι πύλες εισόδου (*gateways*)
- ii. Εξαρτήματα διάχυσης-ελάττωσης ταχύτητας (*velocity-head diffusion devices*)
- iii. Εξαρτήματα αφαίρεση ελαίου και ιλύος (*oil and sludge moving devices*)
- iv. Εξαρτήματα ξαφρίσματος ελαίου (*oil skimming devices*)
- v. Δεξαμενή ανακτώμενου ελαίου (*recovered oil sump*)
- vi. Ανακλαστήρες κατακράτηση ελαίου (*Oil retention baffle*)
- vii. Συλλογή και αφαίρεση ιλύος (*sludge collection and removal*)
- viii. Υπερχειλιστήρας λυμάτων εξόδου (*effluent weir*)

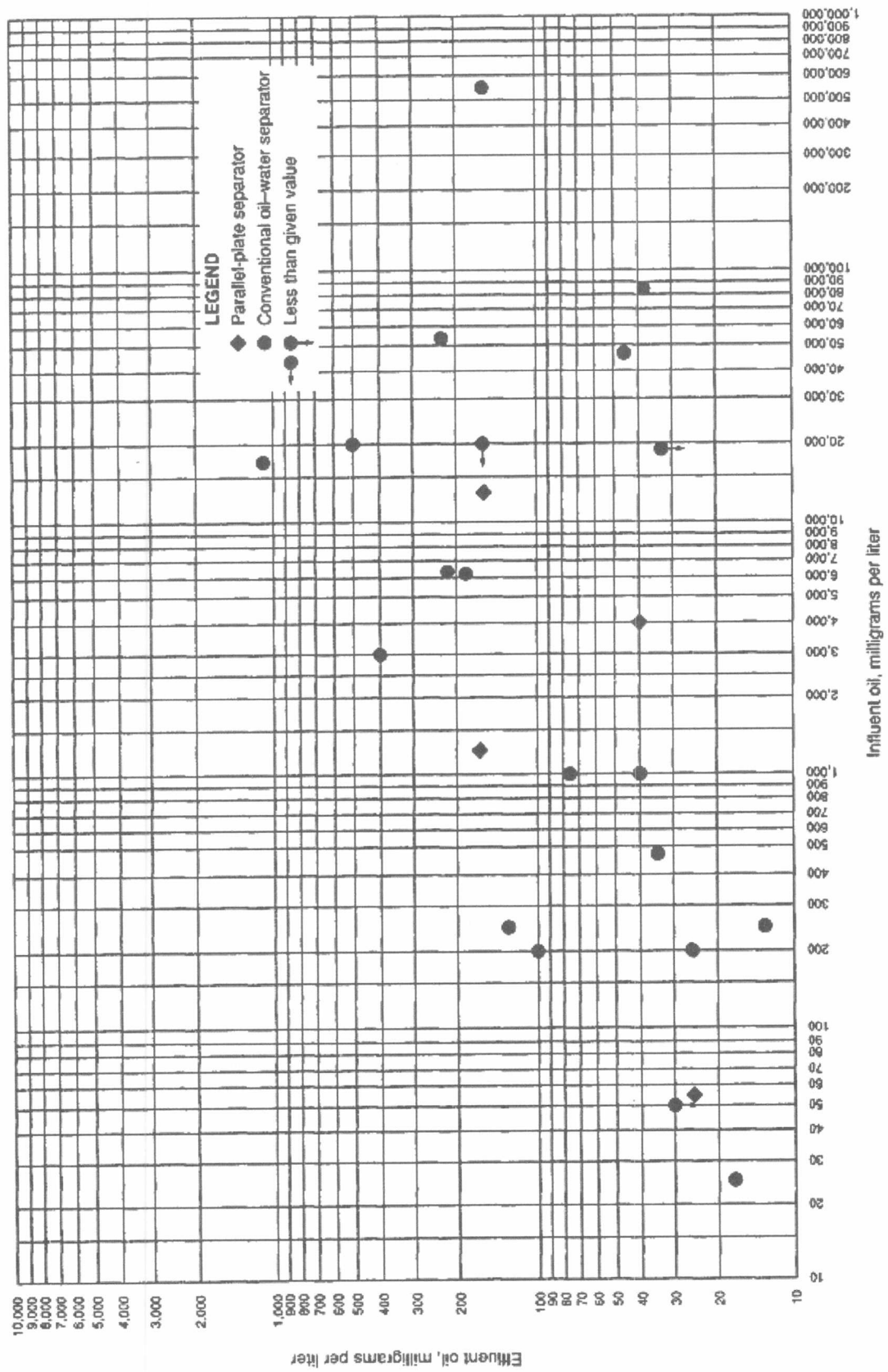
5.3.4 Απόδοση

Η επιθυμητή απόδοση των συμβατικών διαχωριστών είναι να μπορούν να επιτύχουν το ρεύμα της απομάκρυνσης να έχει περιεκτικότητα σε έλαια μικρότερη από τα 100ppm. Από τα πειράματα που πραγματοποίησε το API γίνεται αντιληπτό ότι δεν υπάρχει κάποια συσχέτιση που να συνδέει πάντα την ποσότητα του ελαίου στην έξοδο με την επιφανειακή συσσώρευση ή την ποσότητα του ελαίου στην είσοδο. Ακόμα και για τις ίδιες ποσότητες εισόδου ή επιφανειακής συσσώρευση παρατηρείται να υπάρχουν διαφορετικές τιμές στην περιεκτικότητα του ελαίου στο ρεύμα της εξόδου. Επίσης πολύ λίγοι διαχωριστές που λειτουργούν στα πλαίσια σχεδιασμού της API μπόρεσαν να επιτύχουν απόδοση κάτω των

100 ppm. Όλα αυτά οφείλονται στην ποικιλομορφία που παρουσιάζουν τα έλαια ως προς τις ιδιότητες τους και τις διαφορετικές συνθήκες που λειτουργούν (π.χ. μεγάλη διαφορά ως προς την διασπορά του ενός ελαίου με το άλλο). Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι αποδόσεις διαφόρων διαχωριστών (δηλ. η περιεκτικότητα του ρεύματος εξόδου σε έλαιο) ως προς την επιφανειακή συσσώρευση (εικόνα 5-7) και την ποσότητα του ελαίου στην είσοδο (εικόνα 5-8).



Εικόνα 5-7: Απόδοση συμβατικού διαχωριστή ελαίου-νερού ως προς την επιφανειακή συσσώρευση (Πηγή: API Publication 421, 1990).



Εικόνα 5-8: Απόδοση συμβατικού διαχωριστή ελαίου-νερού και ενός παραλλήλων πλακών ως προς την περιεκτικότητα σε έλαιο στην είσοδο (Πηγή: API Publication 421, 1990).

5.4 Αύξηση της απόδοσης των υφιστάμενων εγκαταστάσεων

Οι κυριότερες περιπτώσεις όπου είναι ανάγκη να βελτιωθεί η απόδοση των υφιστάμενων διαχωριστών είναι να υπάρχει χαμηλή απόδοση λόγω των αλλαγών α) στα χαρακτηριστικά της ροής ή του ρεύματος εισόδου και β) στον ανεπαρκή σχεδιασμό του διαχωριστή.

Προτού παρθεί η απόφαση για τις μετατροπές ή αλλαγές που θα πρέπει να γίνουν στις υφιστάμενες εγκαταστάσεις, θα πρέπει να γίνει έλεγχος για τα αίτια της μη ορθής λειτουργίας που έχουν οδηγήσει σε μη επαρκή απόδοση του διαχωριστή.

5.4.1 Αντιμετώπιση διαδικαστικών προβλημάτων

Τα κυριότερα προβλήματα που προκύπτουν κατά την διαδικασία του διαχωρισμού οφείλονται σε :

- Σχεδιαστικούς παράγοντες
- Γαλακτώματα ελαίου
- και αναταράξεις στην ροή.

a. Επανεξέταση του σχεδιασμού

Το πρώτο βήμα για την αντιμετώπιση των προβλημάτων απόδοσης είναι να γίνει επανέλεγχος του βασικού σχεδιασμού του διαχωριστή για να ελεγχθεί εάν ο διαχωριστής λειτουργεί μέσα στα σχεδιαστικά πλαίσια στις παρούσες συνθήκες λειτουργίας. Για την πραγματοποίηση αυτού του ελέγχου είναι απαραίτητο να υπάρχουν τα εξής δεδομένα:

- Παροχή των λυμάτων (μέση και μέγιστη)
- Θερμοκρασία λυμάτων (είναι προτιμότερο να αναφέρεται η θερμοκρασία των λυμάτων για τις συνθήκες όπου υπήρχε η χαμηλή απόδοση)
- Το ειδικό βάρος του ελαίου που εισέρχεται στο ρεύμα των λυμάτων
- Διαστάσεις διαύλου και το ποσό του ελαίου του ρεύματος εισόδου (συνολικού αλλά και ελεύθερου)

Με αυτά τα δεδομένα και κάνοντας χρήση των σχεδιαστικών σχέσεων που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 5.1.1 ελέγχεται εάν ο διαχωριστής λειτουργεί εντός των σχεδιαστικών κριτηρίων. Στην περίπτωση που είναι εντός των κριτηρίων αυτών τότε θα

πρέπει να διερευνηθεί εάν υπάρχει κάποια προφανής εξήγηση που οδηγεί σε αυτά τα αποτελέσματα.

b. Γαλακτώματοποιημένο πετρέλαιο

Η χαμηλή απόδοση των διαχωριστών οφείλεται και στην ύπαρξη γαλακτοματοποιημένου ή διαλυμένου ελαίου ή άλλων ενώσεων που δεν απομακρύνονται με τον βαρυτικό διαχωρισμό. Μία ένδειξη ότι δεν υπάρχει θέμα, όσον αφορά τον σχεδιασμό του διαχωριστή είναι το γεγονός ότι η περιεκτικότητα σε έλαια του νερού που απομένει μετά την διαδικασία του διαχωρισμού, είναι ίδιας τάξης μεγέθους με του ρεύματος εξόδου. Η πιο πιθανή αιτία για την χαμηλή απόδοση του διαχωρισμού είναι τα γαλακτοματοποιημένα ή διαλυμένα έλαια. Εάν υπάρχουν πηγές γαλακτομάτων τότε θα πρέπει να ελεγχθούν.

Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα και να γίνουν ορισμένες βελτιώσεις στο ρεύμα εξόδου θα πρέπει να υπάρχει έλεγχος του pH, να γίνει χρήση χημικών που διασπών τα γαλακτώματα ή και τα δυο μαζί. Το pH θα πρέπει να κρατείται σε τιμές μεταξύ του 6-7 ενώ τα γαλακτώματα θα πρέπει να αντιμετωπίζονται όσο πιο κοντά στην πηγή τους γιατί τα χημικά που διασπών τα γαλακτώματα είναι ιδιαίτερα ακριβά. Οι χημικοί διασπαστές για να είναι πιο αποτελεσματικοί θα πρέπει να προστεθούν στα λύματα όσο γίνεται πιο ψηλά στο διαχωριστή, πριν τα γαλακτοματοποιημένα λύματα αραιωθούν σταδιακά από τις άλλες ροές.

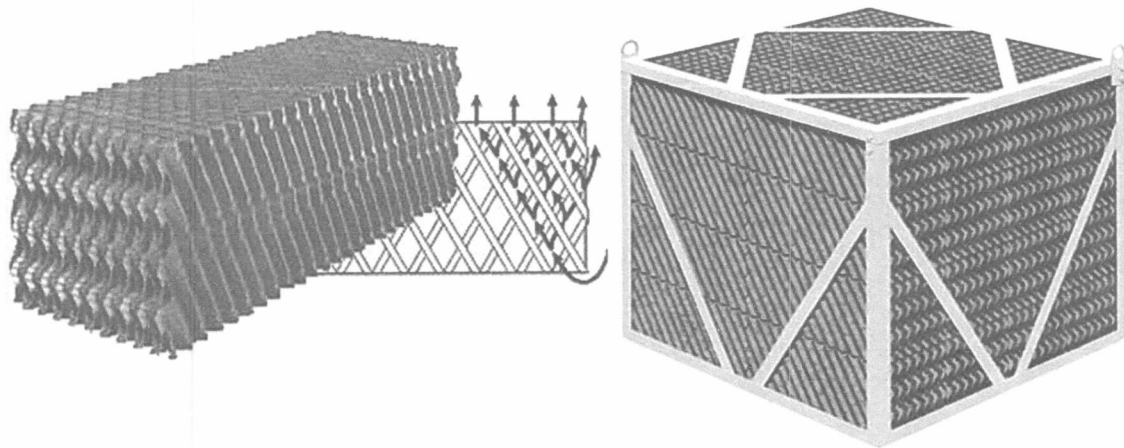
c. Αναταράξεις στην ροή

Η παροχή διαμέσου του διαχωριστή πρέπει να είναι όσον το δυνατόν πιο ομοιόμορφη για την καλύτερη απόδοση του. Ακόμα και μικρές χρονικά, αλλά ισχυρές αναταράξεις μπορούν να διαταράξουν την απόδοση του διαχωριστή. Οι αναταράξεις συνήθως δεν είναι εμφανείς εκτός εάν υπάρχουν ροόμετρα στην είσοδο τα οποία τις καταγράφουν.

5.4.2 Μετατροπή του συμβατικού διαχωριστή σε διαχωριστή παραλλήλων πλακών

Ένας συμβατικός διαχωριστής μπορεί να μετατραπεί σε ένα διαχωριστή παραλλήλων πλακών (*Parallel Plate Separators, PPI*) χωρίς σημαντικές διορθωτικές αλλαγές, με την τοποθέτηση μονάδων παραλλήλων πλακών (εικόνα 5-9). Οι πληροφορίες που χρειάζονται για την μετατροπή ενός συμβατικού διαχωριστή σε έναν παραλλήλων πλακών είναι, η γεωμετρία του υπάρχοντος διαχωριστή, η στάθμη των υδάτων των διαύλων,

η ποιότητα του ρεύματος εισροής, το ειδικό βάρος του ελαίου και οι φάσεις του ύδατος στις δοθείσες θερμοκρασίες, και η επιθυμητή ποιότητα του ρεύματος εκροής.



Εικόνα 5-9: Σύστημα παραλλήλων πλακών

Η μη ύπαρξη μηχανισμού αφαίρεσης της λάσπης, καθιστά την μετατροπή σε διαχωριστή παραλλήλων πλακών μη πρακτικό, καθώς σε αυτή την περίπτωση η λάσπη αφαιρείται χειροκίνητα και κατά συνέπεια απαιτείται η ανύψωση του συστήματος των παραλλήλων πλακών σε τακτές χρονικές περιόδους.

Οι παράλληλες πλάκες μπορούν να αυξήσουν την απόδοση του διαχωριστή με τους εξής δυο τρόπους:

- ✓ Αυξάνουν την αποτελεσματική οριζόντια επιφάνεια χωρίς να απαιτούν αύξηση των διαστάσεων του διαχωριστή.
- ✓ Δημιουργούν πιο ομοιόμορφη, λιγότερο τυρβώδη ροή που ευνοούν τον διαχωρισμό του ελεύθερου ελαίου.

Η σωστή μετατροπή ενός συμβατικού διαχωριστή σε έναν παραλλήλων πλακών δίνει την δυνατότητα να διαχειρίζεται μεγαλύτερες παροχές ή να αυξήσει την απόδοση για τις ίδιες συνθήκες ροής. Αν και οι διαχωριστές παραλλήλων πλακών μπορούν να αφαιρούν σταγονίδια μικρότερου μεγέθους, ωστόσο δεν μπορούν να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά γαλακτωματοποιημένα ή αραιωμένα έλαια.

Για τον σχεδιασμό του διαχωριστή παραλλήλων πλακών ακολουθούνται οι ίδιες σχεδιαστικές αρχές με τον συμβατικό διαχωριστή. Η διαφορά τους είναι ότι στον παραλλήλων πλακών υπάρχει μεγάλη ποικιλία για τις διαμορφώσεις της εισόδου και εξόδου,

αφαίρεσης του πετρελαίου και της λάσπης καθώς και τις διαμορφώσεις των πλακών. Η απόσταση της μίας πλάκας από την άλλη είναι κρίσιμης σημασίας για την βέλτιστη επίδοση τους.

Στην παράγραφο που ακολουθεί θα γίνει μια εκτενής ανάλυση για τον διαχωριστή παράλληλων πλακών.

5.5 Διαχωριστές παραλλήλων πλακών

Η αποτελεσματικότητα ενός διαχωριστή ελαίου-νερού είναι αντιστρόφως ανάλογη του λόγου της παροχής προς την επιφάνεια. Η επιφάνεια ενός διαχωριστή μπορεί να αυξηθεί με την εγκατάσταση ενός συστήματος παράλληλων πλακών σε στον θάλαμο διαχωρισμού του προυπάρχοντος διαχωριστή. Με αυτόν τον τρόπο η επιφάνεια του διαχωριστή αυξάνεται, καθώς αποτελεί το άθροισμα οριζόντιων προβολών όλων των επιμέρους επιφανειών που προστίθενται.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του διαχωριστή παράλληλων πλακών, είναι και ο απαιτούμενος χώρος που καταλαμβάνει σε σχέση με ένα συμβατικό για την πραγματοποίηση μιας διεργασίας διαχωρισμού. Σε περιπτώσεις που ο διαθέσιμος χώρος είναι περιορισμένος η επιπλέον επιφάνεια που παρέχει η συστοιχία των παραλλήλων πλακών κάνει τον διαχωριστή παραλλήλων πλακών μια αρκετά ελκυστική εναλλακτική. Σύμφωνα με τους κατασκευαστές, η χωρικές απαιτήσεις ενός διαχωριστή παραλλήλων πλακών μπορούν να ελαττωθούν κατά 2 φορές στο πλάτος και κατά 10 φορές στο μήκος. Παρόλα αυτά η παροχή διαμέσου ενός διαχωριστή παραλλήλων πλακών μπορεί να είναι δύο ή και τρεις φορές μεγαλύτερη από αυτή των συμβατικών διαχωριστών.

Επιπλέον η παρουσία των παραλλήλων πλακών μπορεί να μειώσει τις τάσεις για βραχυκυκλώματα και για στροβιλισμούς, βελτιώνοντας την απόδοση του διαχωριστή. Οι πλάκες εγκαθίστανται υπό κλίση προτρέποντας το έλαιο που συλλέγεται στην κάτω πλευρά των πλακών να κινηθεί προς την επιφάνεια του διαχωριστή ενώ η ιλύς που συλλέγεται στις πλάκες θα κινηθεί προς τα κάτω στον διαχωριστή, υπό την επίδραση της βαρύτητας, όπου και θα συλλεχθεί. Για την βελτίωση της συλλογής πετρελαίου και της λάσπης ορισμένες πλάκες έχουν κυματοειδές σχήμα και αναφέρονται συχνά στην βιβλιογραφία ως CPI (*Corrugated Plates Interceptors*). Για διαχωριστές κατερχόμενης ροής (ροής προς τα κάτω), κάθετες υδροροές-λούκια που βρίσκονται δίπλα στις πλάκες επιτρέπουν διαχωρισμό μεταξύ του διαχωριζόμενου πετρελαίου και της λάσπης από το ρεύμα της εισροής. Οι

υδρορροές βρίσκονται στα δυο άκρα του συστήματος των παραλλήλων πλακών. Στο χαμηλότερο άκρο (εκείνο της εκροής) του συστήματος των πλακών, οι κάθετες υδρορροές τοποθετούνται δίπλα στις κοιλάδες των μεταλλικών ελασμάτων προκειμένου να βοηθήσουν το ρεύμα της λάσπης να κινηθεί προς τα κάτω, τον πάτο του διαχωριστή όπου γίνεται η συλλογή της λάσπης. Ενώ αντίθετα στο υψηλότερο άκρο, τοποθετούνται στις κορυφές της πλάκας για να βοηθήσουν το πετρέλαιο να κινηθεί προς την επιφάνεια. (Σημείωση: οι πλάκες που είναι κυματιστές έχουν κορυφές και κοιλάδες. Στο κύμα το χαμηλότερο σημείο λέγεται κοιλάδα και το υψηλότερο λέγεται κορυφή).

Οι διαχωριστές παραλλήλων πλακών έχουν την δυνατότητα να συλλέγουν περισσότερο έλαιο σε σχέση με τους συμβατικούς και μπορεί να χειρίζεται σταγονίδια πετρελαίου αρκετά μικρότερης διαμέτρου. Το ρεύμα της εκροής στους PPI, έχει 60% χαμηλότερη περιεκτικότητα σε πετρέλαιο σε σχέση με τους συμβατικούς.

5.5.1 Σχεδιασμός PPI

Στον παρακάτω πίνακα 5-2 δίνονται ορισμένες τυποποιημένες τιμές των βασικών μεταβλητών σχεδιασμού των διαχωριστών παραλλήλων πλακών, όπως αυτές προτείνονται από την American Petroleum Institute.

Μεταβλητή	Τυπικές τιμές
Τύπος πετρελαίου που απομακρύνουν	Ελεύθερο έλαιο (free oil)
Κατεύθυνση της ροής των λυμάτων	Διασταυρούμενη ή κατερχόμενη
Κάθετη απόσταση μεταξύ των πλακών	2 – 4 cm
Γωνία κλίσης των πλακών σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο	45° – 60°

Πίνακας 5-2: Τυπικές τιμές των βασικών μεταβλητών σχεδιασμού των διαχωριστών παραλλήλων πλακών

Ακόμη και αν είναι γνωστές οι παραπάνω πληροφορίες είναι πολύ δύσκολο, σχεδόν αδύνατο να καθοριστεί μια συγκεκριμένη διαδικασία για τον λεπτομερή σχεδιασμό ενός PPI. Για την αποτελεσματική απομάκρυνση του ελαίου, ο κάθε κατασκευαστής έχει δημιουργήσει εμπειρικά πρότυπα για την κλίση και την απόσταση των πλακών και για τις συνθήκες ροής για ένα εύρος συνθηκών ελαίου-νερού. Ο προσδιορισμός της απαιτούμενης

επιφάνειας του συστήματος πλακών και ο αριθμός των πλακών, έχει μια θεωρητική βάση και μια σταθερή τιμή για τις περισσότερες εφαρμογές.

5.5.2 Χαρακτηριστικά λυμάτων για την διαστασιολόγηση του διαχωριστή

Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό ενός API διαχωριστή (η μέγιστη παροχή σχεδιασμού, το ειδικό βάρος και το ιξώδες του ύδατος των λυμάτων, και το ειδικό βάρος του ελαίου του λύματος) είναι σε γενικές γραμμές οι ίδιες που χρησιμοποιούνται και για έναν PPI διαχωριστή. Η σχεδιαστική τιμή που χρησιμοποιείται για το μέγεθος των σταγονιδίων του ελαίου είναι τα 60 micron, αφού δεν είναι εφικτό να έχουμε μια κατανομή του μεγέθους της διεσπαρμένης φάσης. Εξαιτίας της μεγαλύτερης προσφερόμενης επιφάνειας οι PPI μπορούν να επιτύχουν διαχωρισμό για σταγονίδια μεγέθους 60 micron και μεγαλύτερα, ενώ οι συμβατικοί έχουν την ικανότητα να διαχωρίζουν μεγέθη σταγονιδίων 150 micron και μεγαλύτερα.

5.5.3 Επιφάνεια του PPI διαχωριστή

Η βάση του σχεδιασμού της επιφάνειας του PPI διαχωριστή αποτελεί, όπως και για τους συμβατικούς διαχωριστές, ο νόμος του Stokes. Ο ρυθμός ανύψωσης των σταγονιδίων, όπως και στην περίπτωση των συμβατικών διαχωριστών, υπολογίζεται από την επιφανειακή συσσώρευση (*surface loading rate*), χρησιμοποιώντας ως μέση διάμετρο σφαίρας την τιμή των 60 micron:

$$\frac{Q_m}{A_H} = 1.962 \times 10^{-6} \times \frac{S_w - S_o}{\mu} \quad 5-11$$

όπου,

Q_m : παροχή σχεδιασμού, σε m^3/s

A_H : οριζόντια επιφάνεια του διαχωριστή, σε m^2

S_w : ειδικό βάρος την υδατικής φάσης του λύματος, αδιάστατο

S_o : ειδικό βάρος της φάσης του ελαίου του λύματος, αδιάστατο

μ : το δυναμικό ιξώδες του νερού, σε poise

Ο όρος 1.962×10^{-6} έχει μονάδες και είναι $\frac{kg}{s^2}$.

Η συνολική επιφάνεια A_H , είναι το άθροισμα του αριθμού και της διαμορφωμένης περιοχής των πλακών, σε συνδυασμό με την ανοιχτή επιφάνεια (που δεν καλύπτεται με τις πλάκες).

Το σχήμα του διαχωριστή παραλλήλων πλακών δεν είναι πάντα τετραγωνικό γιατί επηρεάζεται από τις διαμορφώσεις για την χροάνη συλλογής ιλύος, από τις διαμορφώσεις της εισόδου και εξόδου, για την ελαχιστοποίηση των στροβιλισμών, καθώς και διάφοροι άλλοι παράμετροι που καθορίζονται από τον εκάστοτε κατασκευαστή.

5.5.4 Βασικά μεγέθη του συστήματος των παραλλήλων πλακών

Για το σύστημα των παραλλήλων πλακών μπορούμε να υπολογίσουμε τα εξής παρακάτω μεγέθη:

- Το χρόνο παραμονής του απόβλητου στο σύστημα παραλλήλων πλακών

$$t_r = \frac{18\mu l}{(\rho_w - \rho_o)g \cos \theta D} \times 10^8 \quad 5-12$$

όπου,

t_r : ο χρόνος παραμονής, σε s

l : η κάθετη απόσταση των πλακών, σε cm

- Τον απαραίτητο αριθμό των πλακών

$$m = 1 + \frac{2Q \rho_w}{\text{Re } W \mu} \times 10^{-4} \quad 5-13$$

όπου,

m : ο αριθμός των πλακών

W : το πλάτος των πλακών, σε m

- Το μήκος της εκάστης πλάκας

$$L = \frac{t_r Q}{(m-1) l W} \quad 5-14$$

όπου,

L : το μήκος της εκάστης πλάκας, σε m

Όλα τα υπόλοιπα μεγέθη που χρησιμοποιούνται έχουν τις μονάδες που έχουν δοθεί στις υπόλοιπες υποενότητες αυτού του κεφαλαίου

5.5.5 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες

Στην αγορά υπάρχει μια ποικιλία εξοπλιστικών διαμορφώσεων για τους PPI διαχωριστές. Οι νέοι PPI διαχωριστές έχουν ένα εκτενές εύρος σχεδιαστικών χαρακτηριστικών και μπορούν να αγοραστούν με βάση τις προτιμήσεις του εκάστοτε αγοραστή και να έχουν προεγκατεστημένο σύστημα αφαίρεσης της ιλύος.

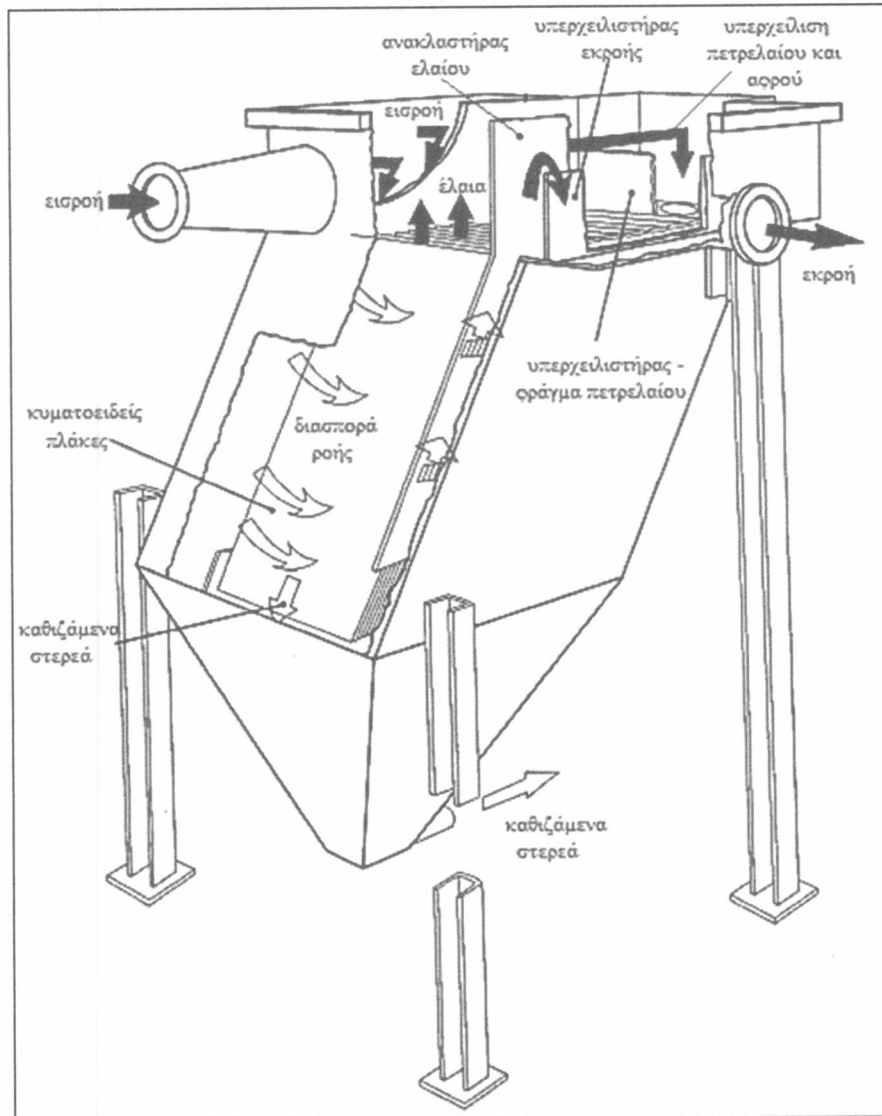
Δύο κύριοι τύποι PPI διαχωριστών κεκλιμένων πλακών υπάρχουν διαθέσιμοι στην αγορά:

- ο διαχωριστής διασταυρούμενης ροής (εικόνα 5-10)
- και ο διαχωριστής κατερχόμενης ροής (εικόνα 5-11)

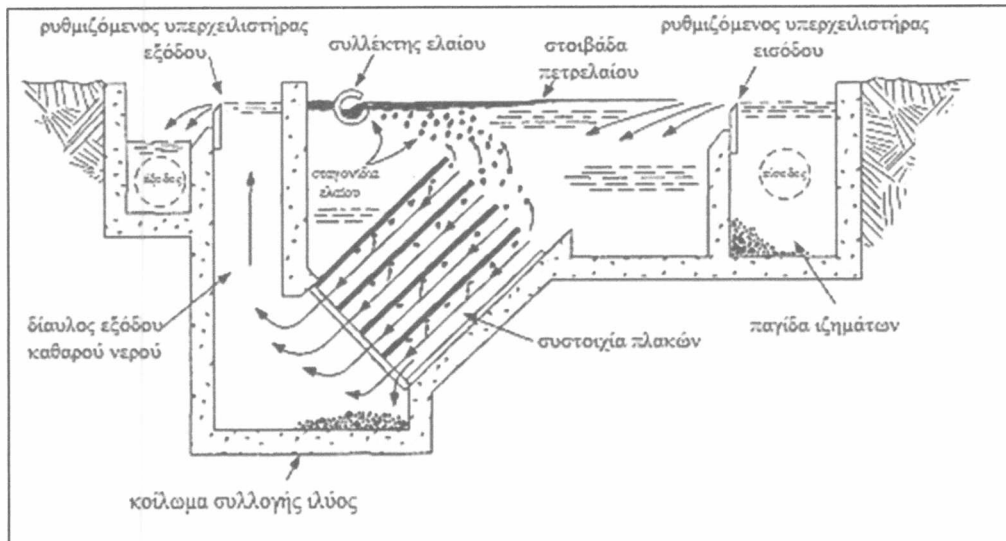
Υπάρχουν και διαχωριστές διασταυρούμενης ροής που το σύστημα των παραλλήλων πλακών είναι προσανατολισμένο οριζόντια και κατακόρυφα, αλλά οι εφαρμογές τους είναι ελάχιστες.

Στους διαχωριστές διασταυρούμενης ροής, η παροχή εισέρχεται στο σύστημα των πλακών από το πλάι και ρέει οριζόντια μεταξύ των πλακών. Ενώ τα υγρά απόβλητα ρέουν μεταξύ των πλακών, το λάδι και η λάσπη συσσωρεύονται στην πάνω και την κάτω επιφάνεια των πλακών. Τα σταγονίδια του ελαίου που συνενώνονται θα ανέλθουν προς την επιφάνεια (εικόνα 5-12) ενώ η λάσπη οδηγείται, μέσω των πλακών, στον πυθμένα του διαχωριστή.

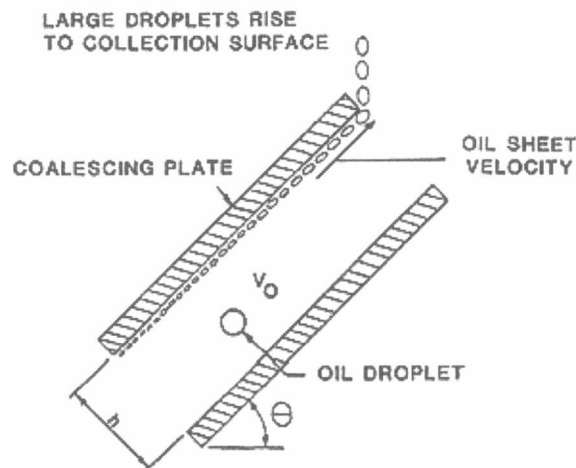
Στους διαχωριστές κατερχόμενης ροής, τα λύματα ρέουν προς τα κάτω μεταξύ των παραλλήλων πλακών, η ιλύς εναποτίθεται στις κατώτερες πλάκες και ρέει προς τον πυθμένα του διαχωριστή, ενώ το πετρέλαιο μετά την συνένωση των σταγονιδίων (εικόνα 5-12), ρέει σε αντιρροή ως προς τα στερεά απόβλητα, προς την κορυφή του διαχωριστή.



Εικόνα 5-10: Διαχωριστής παραλλήλων πλακών διασταυρούμενης ροής (Πηγή: API Publication 421, 1990)..



Εικόνα 5-11: Διαχωριστής παραλλήλων πλακών κατερχόμενης ροής (Πηγή: API Publication 421, 1990).



Εικόνα 5-12: Συνένωση των σταγονιδίων και άνοδός τους στην επιφάνεια

5.5.6 Συντήρηση

Οι διαχωριστές παραλλήλων πλακών μπορεί να βουλώσουν εάν η κλίση του συστήματος των πλακών ή η απόσταση μεταξύ των παραλλήλων πλακών είναι πολύ μικρή. Επίσης είναι πιθανόν η ιλύς, που εισέρχεται στο σύστημα των πλακών, να συσσωρευθεί στην είσοδο και να μειώσει την ροή στα κατώτερα τμήματα. Για το λόγο αυτό τοποθετούνται εμπλοκές, που καθαρίζονται εύκολα με την αφαίρεση των συσσωρευμένων στερεών, ξεπλένοντας τες με νερό ή με αέρα, ή με μηχανικό καθαρισμό. Για την πραγματοποίηση των εγκεκριμένων διαδικασιών, θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψη τα εγχειρίδια λειτουργίας και συντήρησης καθώς και οι οδηγίες του κατασκευαστή. Πριν από κάθε εγκατάσταση θα

πρέπει να έχει ήδη εξεταστεί το σενάριο για την στερεά συσσώρευση και το φράξιμο, και να έχει γίνει ο κατάλληλος σχεδιασμός.

Τα συστήματα των παραλλήλων πλακών γενικά δεν φράζουν, εάν είναι σωστά σχεδιασμένα, εγκατεστημένα και πραγματοποιούνται σωστά όλες οι εργασίες συντήρησης. Στην περίπτωση που αναμένονται μεγάλες ποσότητες στερεών σωματιδίων, τότε η κλίση της πλάκας ρυθμίζεται να είναι 60 μοίρες, η οποία υπερβαίνει την οριακή γωνία που απαιτείται για όλα σχεδόν τα σωματίδια που συναντώνται σε τέτοια συστήματα. Μία κεκλιμένη πλάκα 60 μοιρών σε συνδυασμό με τη περιοδική εκκένωση των συσσωρευμένων στερεών, θα βοηθήσει στο να αποφευχθούν τα περισσότερα προβλήματα λόγω φραξίματος στους διαχωριστές παραλλήλων πλακών.

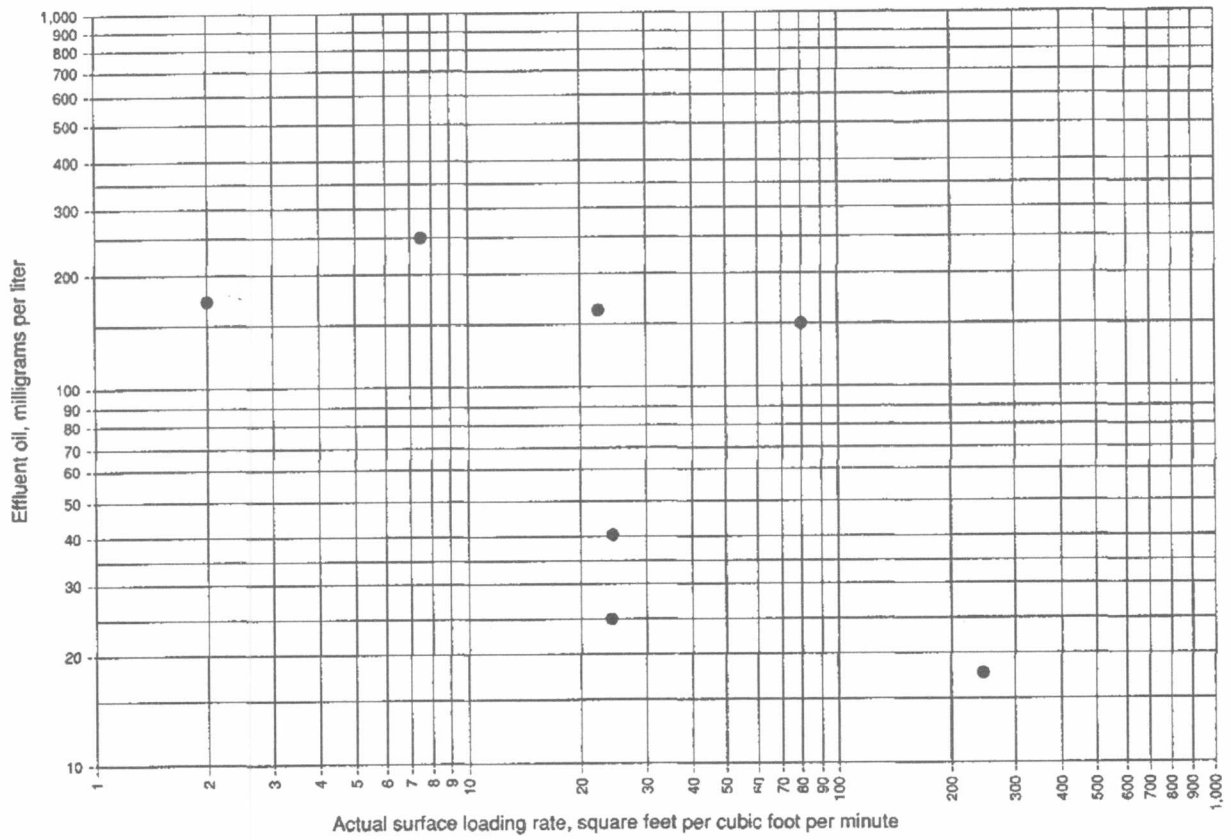
5.5.7 Απόδοση

Σύμφωνα με πειραματικές μελέτες που πραγματοποίησε το American Petroleum Institute, οι διαχωριστές παραλλήλων πλακών μπορούν να πετύχουν να ελαττώσουν την περιεκτικότητα σε έλαιο και γράσο του ρεύματος εξόδου στα 50 ppm ή και λιγότερο. Δύο βασικοί παράγοντες που μπορούν να μειώσουν την απόδοση του διαχωριστή και να δώσει στο ρεύμα εξόδου περιεκτικότητα μεγαλύτερη των 50 ppm είναι:

- το ρεύμα των λυμάτων να περιέχει γαλακτωτοποιημένο ή διαλυμένο έλαιο και
- η μη βέλτιστη απόδοση του διαχωριστή λόγω της απόκλισης του ρεύματος των λυμάτων σε σχέση με το ρεύμα σχεδιασμού.

Οι απότομες αυξήσεις (εξάρσεις – υπερτάσεις) της ροής μπορούν επίσης να μειώσουν την αποτελεσματικότητα των διαχωριστών παραλλήλων πλακών, όπως μπορούν επίσης η συσσώρευση ή το βούλωμα των πλακών, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε στερεά ή σε κηρώδες αργό πετρέλαιο στο ρεύμα των λυμάτων.

Οι αποδόσεις ορισμένων διαχωριστών παραλλήλων πλακών ως προς την περιεκτικότητα σε έλαιο του ρεύματος εισόδου και ως προς την επιφανειακή συσσώρευση δίνονται στις εικόνες 5-8 και 5-13 αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα αυτά προέρχονται από πειράματα του API. Από αυτά και παρατηρείται και πάλι η επίδραση των ιδιοτήτων του λύματος στην απόδοση του διαχωριστή.



Εικόνα 5-13: Απόδοση διαχωριστή ελαίου-νερού παραλλήλων πλακών ως προς την επιφανειακή συσσώρευση (Πηγή: API Publication 421, 1990).

6 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία διαπιστώνεται ότι ο αποτελεσματικός διαχωρισμός του ελαίου από το νερό είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων καθώς δεν υπάρχει μια σχέση που να συνδέει αφιμονοσήμαντα την ποσότητα του ελαίου, στο ρεύμα της εισροή ή στην επιφανειακή συσσώρευση, με την περιεκτικότητα των ελαίων στη έξοδο από τον διαχωριστή.

Η απόδοση εξαρτάται από το λύμα που έχουμε να επεξεργαστούμε. Η αρχική περιεκτικότητα των λυμάτων σε έλαια, τα μεγέθη των σταγονιδίων της διασποράς και η θερμοκρασία του ρεύματος εισόδου είναι κάποιοι βασικοί συντελεστές. Όσο λιγότερη περιεκτικότητα σε έλαια έχει το λύμα στην είσοδο, τόσο πιο καθαρό θα είναι στην έξοδο. Τα μικρά μεγέθη των σταγονιδίων διαχωρίζονται πιο δύσκολα από τα μεγάλα καθώς η επιφανειακή συσσώρευση του ελαίου είναι συνάρτηση της ταχύτητας άνωσης, η οποία εξαρτάται από το μέγεθος των σταγονιδίων. Η χαμηλές θερμοκρασίες αυξάνουν το ιξώδες του συνεχούς υγρού και κατά συνέπεια αυξάνονται και οι ιξώδεις τριβές που αναπτύσσονται μεταξύ του ελαίου. Για αυτό προτιμώνται σχετικά υψηλές θερμοκρασίες γύρω στους 50 °C.

Οι συνθήκες εισόδου στον διαχωριστή είναι σε πολλές περιπτώσεις καταλυτικές για υψηλή απόδοση στον διαχωρισμό. Οι χαμηλές ταχύτητες εισόδου στον διαχωριστή θεωρούνται ιδανικές, αφού οι υψηλές προκαλούν στροβιλισμούς και κατά συνέπεια μικρά μεγέθη σταγονιδίων. Οι σωληνώσεις τις εισόδου οφείλουν να είναι ευθείες για ένα μεγάλο μήκος (τουλάχιστον 10 διαμέτρων) και όσο γίνεται πιο λείες.

Μέσα στον διαχωριστή είναι επιθυμητό να επικρατούν συνθήκες που να αποτρέπουν την δημιουργία γαλακτωμάτων, αφού δεν είναι δυνατό από τους βαρυντικούς διαχωριστές να τα διαχωρίζουν με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται διασπαστές γαλακτωμάτων μαζί με υψηλή θερμοκρασία, γεγονός όμως που θα αυξήσει το κόστος λειτουργίας. Επιπλέον δεν θεωρείτε ιδανικό η άνοση του κάθε σωματιδίου να είναι ελεύθερη (κίνηση Stokes), γιατί η παρεμποδιζόμενη κίνηση δημιουργεί κατά τόπους αιωρήματα σταγονιδίων με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο απαιτούμενος χρόνος διαχωρισμού.

Για την επιπλέον αύξηση της απόδοσης του διαχωρισμού, τοποθετούνται συστήματα παραλλήλων πλακών, που συμβάλουν στην συνένωση των μικρότερων σταγονιδίων και προσδίδουν την επιπλέον επιφάνεια που πολλές φορές απαιτείται, αφού η

αποτελεσματικότητα του διαχωριστή είναι αντιστρόφως ανάλογη του λόγου της παροχής προς την επιφάνεια.

Στην ναυτιλία όπου οι απαιτήσεις είναι πολύ υψηλές, όλα αυτά λαμβάνονται πολύ σοβαρά υπόψη και η λειτουργία του διαχωριστή ανατίθεται σε εξειδικευμένα άτομα τα οποία φέρουν και την πλήρη ευθύνη. Το νομοθετικό πλαίσιο είναι πολύ αυστηρό και οι κυρώσεις είναι μεγάλες. Για αυτό ο σχεδιασμός όταν γίνεται θα πρέπει να ελέγχεται αν ικανοποιούνται οι απαιτήσεις που καθορίζει ο νόμος και οι διεθνής συμβάσεις.

Βιβλιογραφία

❖ Βιβλία

- Γεντεκάκης Ι. (2010), *Φυσικές Διεργασίες: Ανάλυση και Σχεδιασμός*, Εκδόσεις Κλειδάριθμος
- Καστρινάκης Ε. Γ. (1999), *Μηχανικές Φυσικές Διεργασίες*, Εκδόσεις Τζιόλα
- Παναγιώτου Κ. (1995), *Διεπιφανειακά Φαινόμενα & Κolloειδή Συστήματα*, Εκδόσεις Ζήτη
- Παπαϊωάννου Α.Θ. (2002), *Μηχανική των Ρευστών, τόμος ΙΙ*, 2^η έκδοση, Εκδόσεις Κοράλι
- API Publication 421 (1990), *Design and Operation of Oil-Water Separators*, Monographs on Refinery Environmental Control- Management of Water Discharges, 1st edition, API
- Brodkey R.S., Hershey H.C. (2012), *Φαινόμενα Μεταφοράς*, McGraw-Hill (μετάφραση Εκδόσεις Τζιόλα)
- Cooper C.D., Alley F.C. (2004), *Έλεγχος Αέριας Ρύπανσης*, 3^η έκδοση, Waveland Press Inc (μετάφραση Εκδόσεις Τζιόλα)
- Devolt H. (2013), *An introduction to oil and gas production, transport, refining and petrochemical industry*, Oil and gas production handbook, 3rd edition, ABB Oil and Gas
- McCabe W.L., Smith J.C., Harriott P. (2002), *Βασικές Διεργασίες Χημικής Μηχανικής*, 6^η έκδοση, McGraw-Hill (μετάφραση Εκδόσεις Τζιόλα)
- McGraw-Hill (1974), *Dictionary of Scientific and Technical Terms*, (Ed. in Chief D. N. Lapedes). McGraw-Hill, New York, 1634 pp
- Perry R.H. & Green D.W. (1999), *Perry's Chemical Engineers Handbook*, McGraw-Hill
- Sanguri M (2013), *A Guide to Operating Oily Water Separator on Ship*, e-book, Marine Insight
- White F. M. (2011), *Fluid Mechanics*, 7^η έκδοση, McGraw-Hill Education

❖ Άρθρα

- Abbot J. A., McDonagh M., Tookey D., Gascoigne J., Dunn R., Swannell R., Martin I., Rampling T., Gundlach E., Won W. and Nordvik, A. B. (1994), *Recovered oil and oily debris handling to facilitate disposal*. MSRC Technical Report Series 93-031. Marine Spill Response Corporation, Washington, DC, pp. 218
- Bobra M. (1992), *A study of water-in-oil emulsification*. Report EE-132, Environment Canada, Environment Protection Directorate, Ottawa, Canada, pp. 63
- Caplan J. A., Newton C., & Kelemen D. (2000), *Technical report: Novel oil/water separator for treatment of oily bilge water*, Marine Technology and SNAME News, 37(2), pp. 111
- EPA (1999), *Surface Vessel Bilgewater/Oil Water Separator: Nature or Discharge*, Phase I Final Rule and Technical Development Document of Uniform National Discharge Standards (UNDS), Appendix A
- EPA (2013), *National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES) Vessel General Permit (VGP) for Discharges Incidental to the Normal Operation of Vessels*, Fact Sheet
- Fleischer A. (1984), *Separation of oily wastewaters the state-of-the-art*, Paper presented at the Annual Technical Conference Canadian Institute of Marine Engineers. MARI-TECH 84, Ottawa, May 25 1984, pp. 11
- Hendrik F. Van Hemmen P.E (unknown), *Initial Recommendations For Bilge Oily Water Separator System Design And Operation*
- Ghidossi R., Veyret D., Scotto J., Jalabert T., & Moulin P. (2009), *Ferry oily wastewater treatment*. Separation and Purification Technology, 64(3), pp. 296-303.
- Guangji H, Jianbing L, Guangming Z. (2013), *Recent development in the treatment of oily sludge from petroleum industry: A review*, Journal of hazardous Materials 261, pp. 470-490
- Lee R. (1995), *Isolation and identification of compounds and mixtures which promote and stabilize water-in-oil emulsions*. MSRC Technical Report Series 95-002, Marine Spill Response Corporation, Washington, DC, pp. 62

- Lewis A., Daling P. S., Strom-Kristiansen T., Singaas I., Fiocco R. J. and Nordvik A. B. (1994), *Chemical dispersion of oil and water-in-oil emulsions-a comparison of bench scale test methods and dispersant treatment in meso-scale flume*, In Proceedings of the Seventeenth Arctic and Marine Oil Spill Program. Environment Canada, Ottawa, Ontario, Canada, Vol. 2, pp. 979-1010
- Lewis A., Singaas I., Johannesen B. O. and Nordvik A. B. (1995a), *Key factors that control the efficiency of oil spill mechanical recovery methods*. MSRC Technical Report Series 95-038. Marine Spill Response Corporation, Washington, DC, pp. 54
- Lewis A., Singaas I., Johannesen B. O., Jensen H., Lorenzo T. and Nordvik A. B. (1995b), *Large scale testing of the effect of demulsifier addition to improve oil recovery efficiency*. MSRC Technical Report Series 95-033. Marine Spill Response Corporation, Washington, DC, pp. 54
- Lode T. (1981), *Offshore emulsion breaking while recovering crude oil spills*. Norwegian Clean Seas Association for Operating Companies (NOFO), Emulsion Breaker Work Group, Leverigsveien 32, P. O. Box 333, N-4001 Stavanger, Norway, pp. 25
- Nordvik A.B., Simmons J.L., Bitting K.R., Lewis A., Strom-Kristiansen T. (1996), *Oil and Water Separation in Marine Oil Spill Clean-up Operations*, Spill Science & Technology Bulletin, Vol 3, No 3, pp. 107-122
- SEA (Scientific and Environmental Associates, Inc.). (1995), *The use of chemical countermeasure product data for oil spill planning and response*. In Workshop Proceedings, Volume 1. NOAA, HAZMAT, Seattle, WA, p. 83
- Strom-Kristiansen T., Lewis A., Daling P. S. and Nordvik A. B. (1994a), *Weathering properties and chemical dispersibility of crude oils transported in U. S. waters*. MSRC Technical Report Series 93-032. Marine Spill Response Corporation, Washington, DC, pp. 210
- Simmons M.J.H., Komonibo E., Azzopardi B.J. and Dick D.R. (2004), *Residence Time Distributions And Flow Behaviour Within Primary Crude Oil-Water Separators Treating Well-Head Fluids*, Institution of Chemical Engineers Trans IChemE, Part A, Chemical Engineering Research and Design, 82(A10), pp 1383-1390

- Strom-Kristiansen T., Lewis A., Daling P. S. and Nordvik A. B. (1994b), *Demulsification by use of heat and emulsion breaker Phase 2*. MSRC Technical Report Series 94-012. Marine Spill Response Corporation, Washington, DC, pp. 114
- U.S. Army Center for Public Works (CPW). (1997), *Oil/Water Separator Selection Installation and Maintenance: Lesson Learned*, Public Works Technical Bulletin 200-1-05
- Walker A. H., Ducey D. L., Gould J. R. and Nordvik A. B. (1993). *Formation and breaking of water-in-oil emulsions*. In Workshop Proceedings. MSRC Technical Report Series 93-018. Marine Spill Response Corporation, Washington, DC, pp. 300
- Lu-hong Z., Hong X., Hai-tao Z., Li-juan X., and Dan Z. (2007), *Optimal design of a novel oil–water separator for raw oil produced from ASP flooding*, Journal of Petroleum Science and Engineering 59, pp 213–218

❖ Internet

- Βλυσίδης Α. (2006), *Σχεδιασμός Απομάκρυνσης Λιπών & Ελαίων*, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Ανασύρθηκε από την ιστοσελίδα:
http://www.chemeng.ntua.gr/courses/sea/files/Oil_removal.pdf
- Μαγουλάς Κ. & Βουτσάς Ε., *Μηχανική και Ανάπτυξη Διεργασιών*, Διδακτικές σημειώσεις, 7^ο εξάμηνο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Ανασύρθηκε από την ιστοσελίδα:
http://www.chemeng.ntua.gr/courses/mad/files/MAD_1_INTRODUCTION.pdf
- Μπακέα Ε. & Ευσταθίου Κ. (2008), *Εισαγωγή στους αναλυτικούς διαχωρισμούς*, Διδακτικές σημειώσεις για το μάθημα ‘Ενόργανη Ανάλυση Ι’, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Ανασύρθηκε από την ιστοσελίδα:
http://www.chem.uoa.gr/courses/instrumental/DIAXORISMOI_10.pdf
- Διδακτικές σημειώσεις, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Ανασύρθηκε από την ιστοσελίδα:
<http://www.chemeng.ntua.gr/courses/pdesign/files/Dialexi%20I-4.pdf>
- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), Ανασύρθηκε από την ιστοσελίδα:

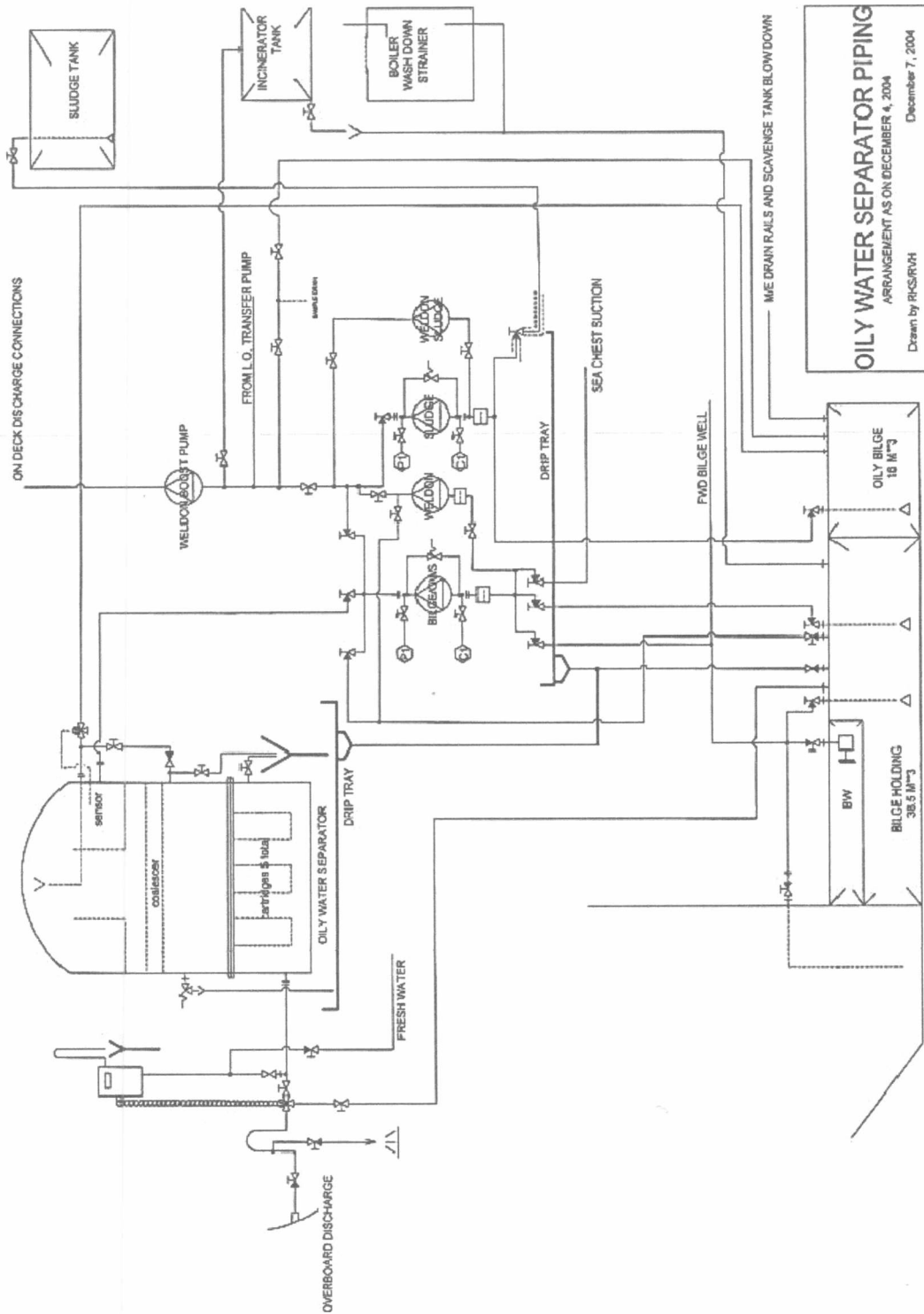
http://www.bsh.de/en/Marine_data/Environmental_protection/MARPOL_Convention/Discharge_regulations_in_Annex_I.pdf

- Environmental Protection Engineering S.A (epe), Ανασύρθηκε από την ιστοσελίδα: http://epe.gr/?page_id=52
- HydroFlo Technologies Inc., Ανασύρθηκε από τις ιστοσελίδες:
<http://www.hydroflo-tech.com/design-and-sizing-of-an-oil-water-separator>
<http://www.oil-water-separator.hydroflo-tech.com/Engineering%20Data/Oil%20Water%20Separator%20Theory%20of%20Operation.htm>
- International Maritime Organization (IMO), (May 21,2013), IMO Marine Environment Protection Committee 65th session pushes forward with energy-efficiency implementation, Ανασύρθηκε από την ιστοσελίδα:
<http://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/18-MEPC65ENDS.aspx#.Vh1Muvnt1Bd>
- Machinery Spaces, Ανασύρθηκε από τις ιστοσελίδες:
<http://www.machineryspaces.com/oily-water-separator.html>
<http://www.machineryspaces.com/oil-in-water-monitor.html>
- MARPOL, *Regulations for the Prevention of Pollution by Oil (Revised Version as of 2010)*, 1978 Annex I of the 1978 Protocol Relating to the 1973 International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, Ανασύρθηκε από την ιστοσελίδα:
<http://cil.nus.edu.sg/rp/il/pdf/1978%20Revised%20MARPOL%20Annex%2001-pdf.pdf>
- Mercer International Inc., Ανασύρθηκε από την ιστοσελίδα:
<http://www.oil-water-separators.com/>
- Pan America Environmental, Ανασύρθηκε από την ιστοσελίδα:
<http://www.oil-water-separator.net/separators-coalescing-theory.html>
- ResearchGate, Ανασύρθηκε από την ιστοσελίδα:
http://www.researchgate.net/profile/Philippe_Moulin3/publication/222659154_Ferry_oily_wastewater_treatment/links/0f317532d32006768a000000.pdf
- Suparator, Ανασύρθηκε από την ιστοσελίδα:
http://www.suparator.com/volume4_e/gravity-separator.html

- Tanks Direct, Ανασύρθηκε από την ιστοσελίδα:
<http://www.tanksdirect.com/>
- United States Environmental Protection Agency (2013), Oil Water Separators, Ανασύρθηκε από την ιστοσελίδα:
http://www.epa.gov/oem/docs/oil/spcc/guidance/5_OWSeparators.pdf

Παραρτήματα

Δίκτυο σωληνώσεων ενός OWS



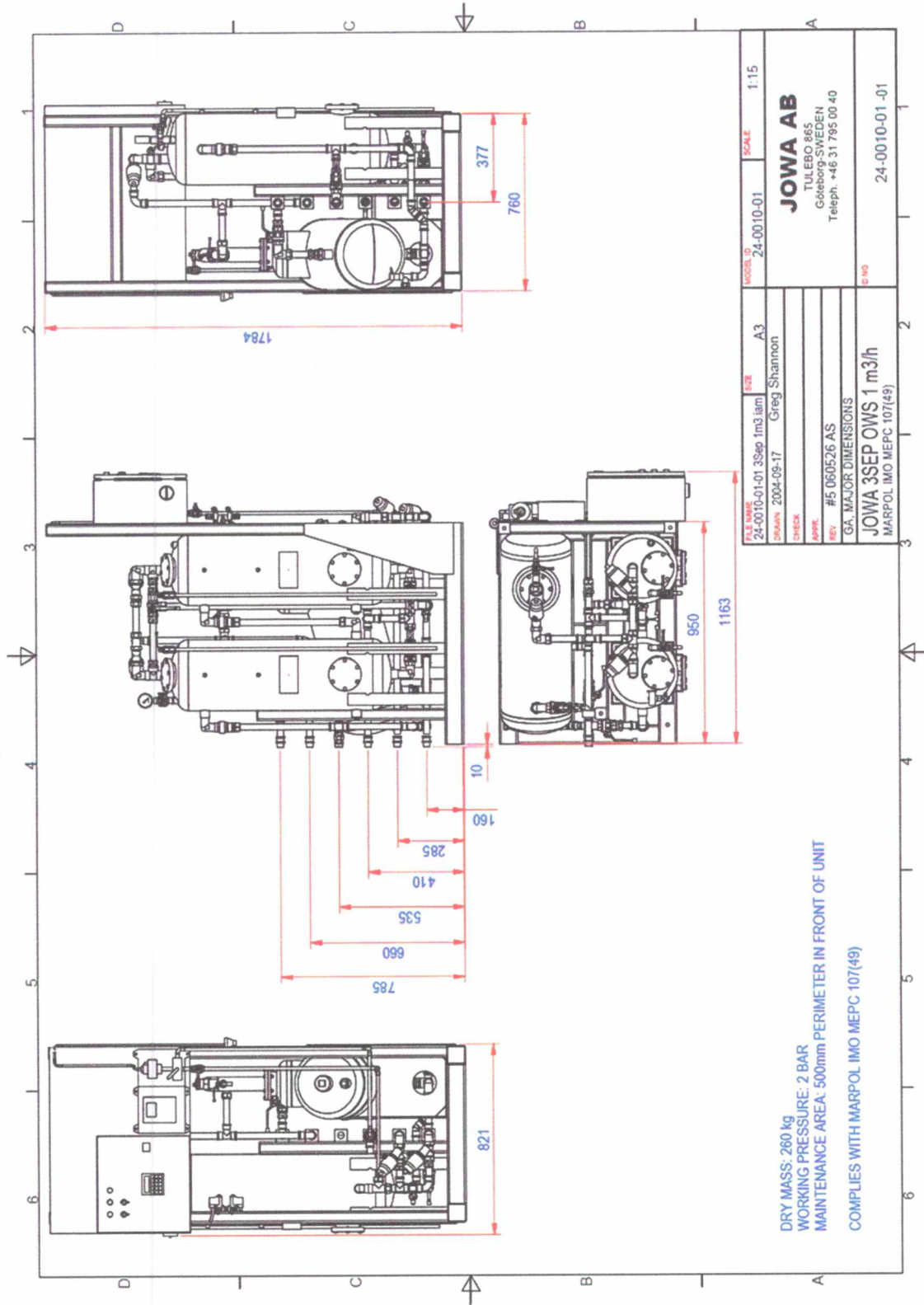
Διαχωριστής 3 σταδίων της JOWA AB

Τεχνικά δεδομένα για το OWS τριών σταδίων της JOWA

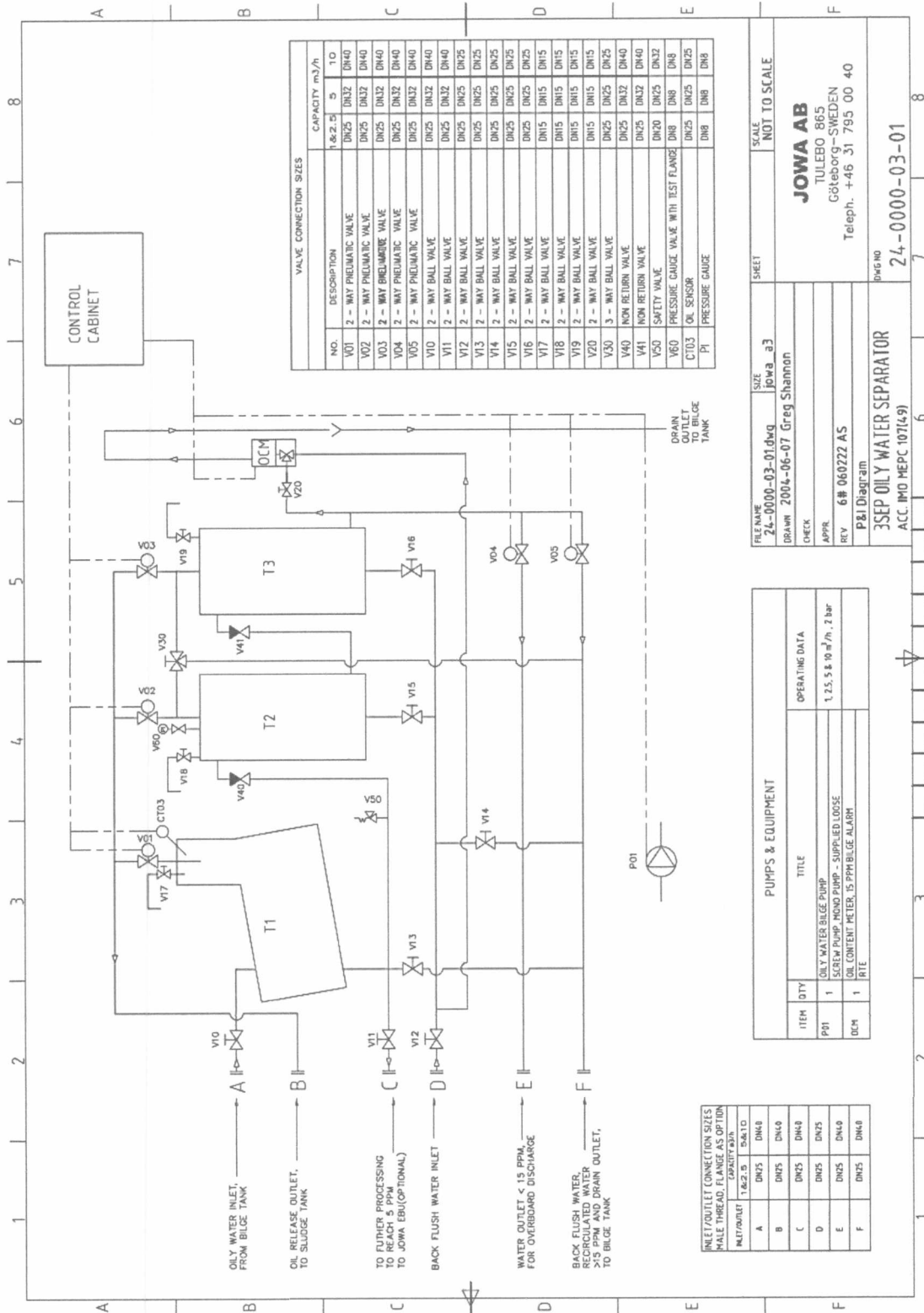
Technical data for JOWA 3Sep OWS

Type:	3Sep OWS-1	3Sep OWS-2.5	3Sep OWS-5	3Sep OWS-10
Capacity:	1 m ³ /h	2.5 m ³ /h	5 m ³ /h	10 m ³ /h
Influent:	Bilge water			
Effluent oil content:	< 15 ppm acc. IMO MEPC 107(49)			
Operation temperature:	5 - 55°C			
Operation Pressure:	Normal 0 - 2 Bar, Max 4 Bar			
Volume (total):	225 L	450 L	900 L	2 000 L
Weight (total): excl. Filter mtrl & pump	225 kg (dry) 450 (wet)	380 kg (dry) 830 kg (wet)	520 kg (dry) 1420 kg (wet)	850 kg (dry) 2850 kg (wet)
Total power consumption:	1 kW	1 kW	2 kW	3 kW
Air supply:	4 - 6 Bar			
Tank material:	AISI 316L			
Gaskets:	Nitrile			
Tank volumes:	3 x 75 L	3 x 150 L	3 x 300 L	1x500L,2x750L
Filter media:	JOWA F200			
Filter media quantity:	50 kg	100 kg	200 kg	500 kg
Type Approval	Type approval by DNV. Certificate No. P-11800			
Safety Valve:	GT-77 DN20	GT-77 DN20	4155 DN25	4155 DN32
Durgo 4 bar				
Bilge Pump				
Type:	Mono Screw Pump Cgg	Mono Screw Pump Cgh	Axflow Pump OX1	Axflow Pump CB 041
Flow rate:	1 m ³ /h	2.5 m ³ /h	5 m ³ /h	10m ³ /h
Weight:	21 kg	21 kg	53 kg	82 kg
Suction:	Max. 4.5 m lift capacity			
Electrical data				
Voltage:	380 - 440 VAC			
Frequency:	50 / 60 Hz			
Power consumption:	0.55 / 0.63 kW 1.6 / 1.55 A	0.55 / 0.63 kW 1.6 / 1.55 A	1.5 / 1.7 kW 3.4 / 3.3 A	2.2 / 2.6 kW 4.7 / 4.4 A
R.P.M.	910 / 1100	1240/1500	1380 / 1692	1410 / 1716
Protection class:	IP55			
Thermal insulation class:	F			
15 PPM Bilge Alarm				
Type:	RTE/DECKMA			

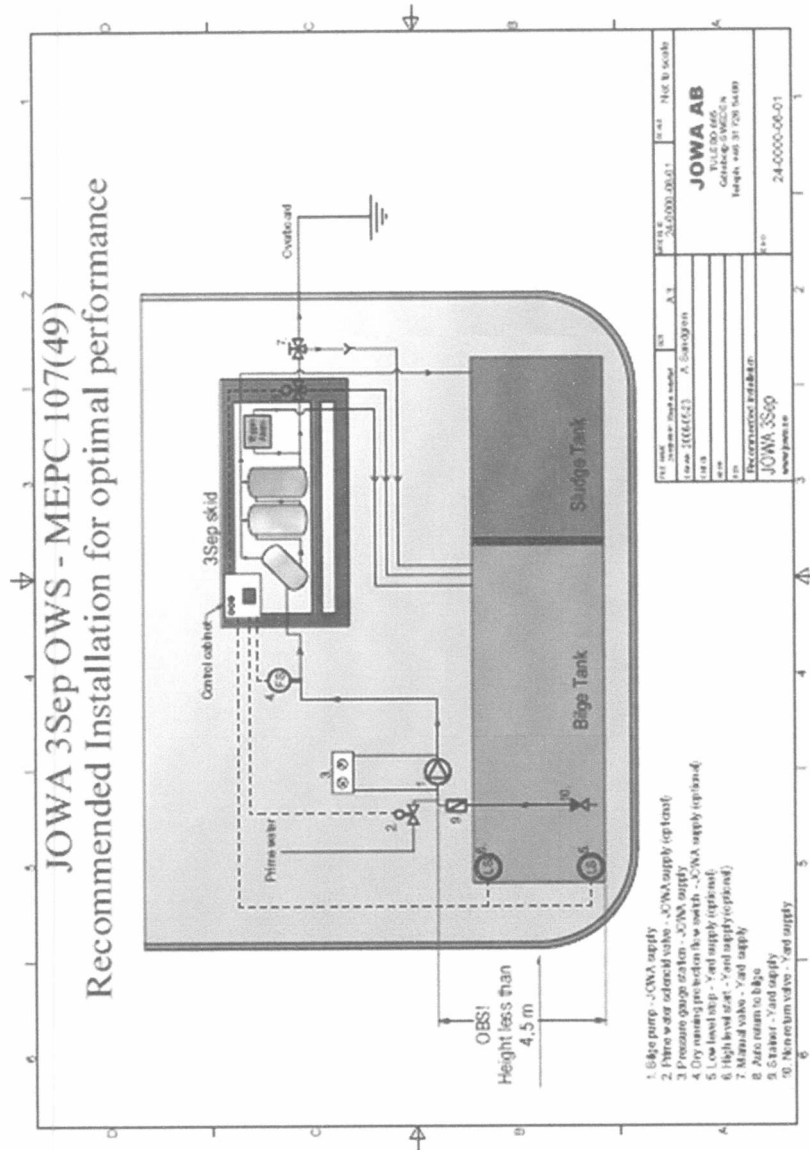
Ενδεικτικά μηχανολογικά σχέδια



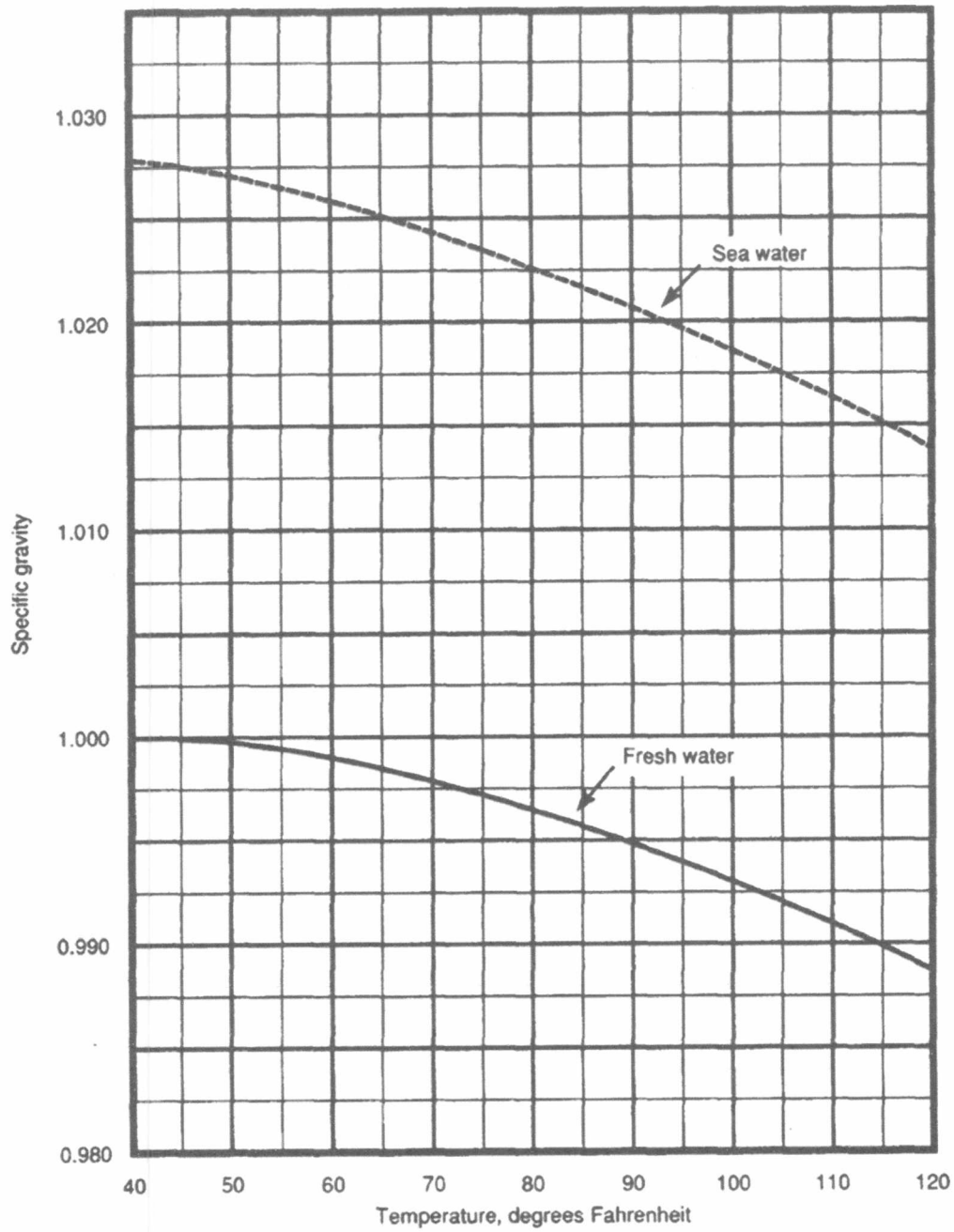
Διάγραμμα ροής



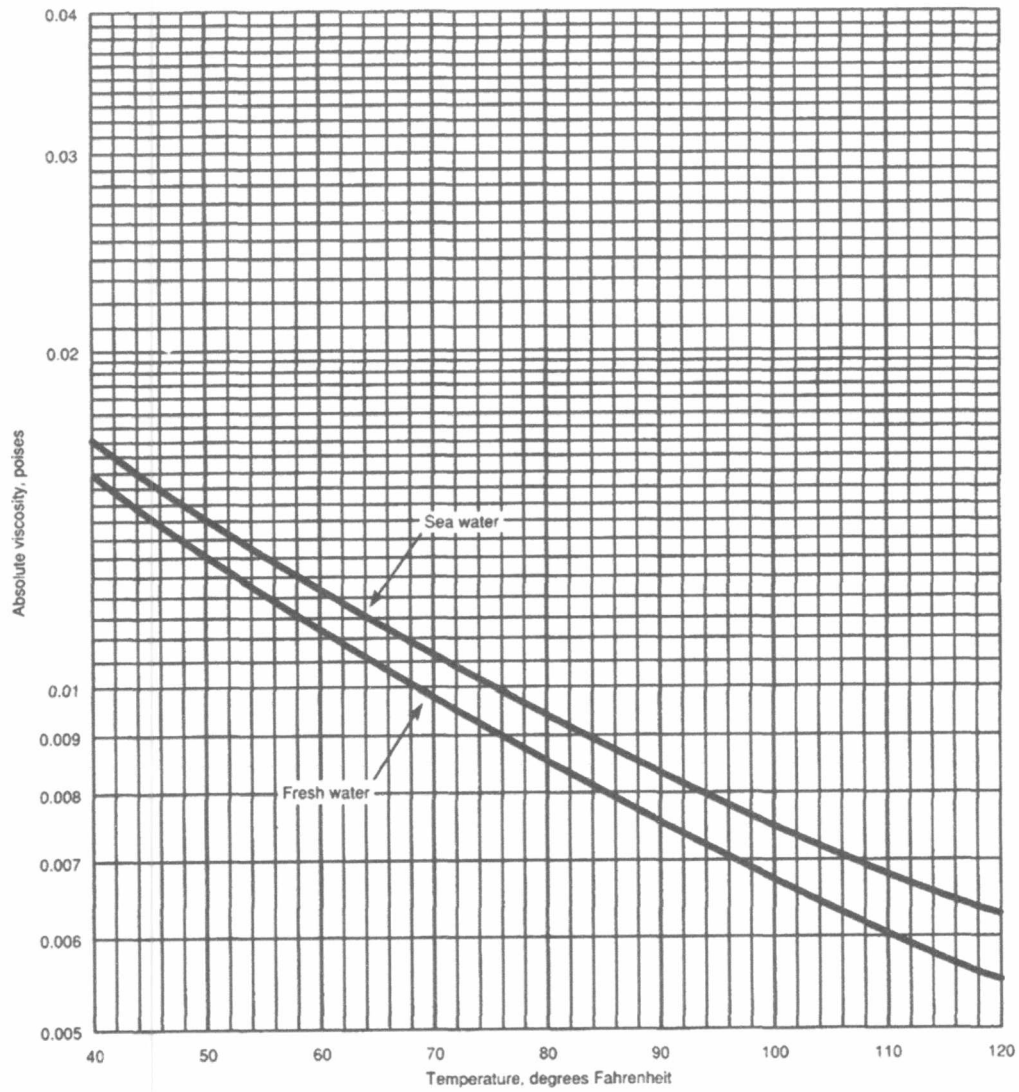
Συνορισμένη εγκατάσταση για βέλτιστη απόδοση



Ειδικό βάρος του καθαρού νερού (γλυκό και θαλασσινό) για θερμοκρασίες μεταξύ 40 και 120 F



Απόλυτο ιξώδες του καθαρού νερού (γλυκό και θαλασσινό) για θερμοκρασίες μεταξύ 40 και 120 F





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000125611