



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

# Διαχωριστές στην παραγωγική διαδικασία και σχεδιαστική μελέτη

υπό

**ΔΗΜΗΤΡΗ-ΜΑΡΙΟ ΒΑΠΟΡΙΔΗ**

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού

2015



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

Αριθ. Εισ.: 14448/1  
Ημερ. Εισ.: 21-03-2018  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΜΜ  
2015  
ΒΑΠ

© 2015 Βαπορίδης Δημήτρης-Μάριος

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

14448

**Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:**

Πρώτος Εξεταστής Δρ. Νικόλαος Ανδρίτσος  
(Επιβλέπων) Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο  
Θεσσαλίας



Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Παναγιώτης Τσιακάρας  
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο  
Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Άννα Ζερβάκη  
Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό, Τμήμα Μηχανολόγων  
Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητή κ. Νικόλαο Ανδρίτσο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητές κ. Παναγιώτη Τσιακάρα και κ. Άννα Ζερβάκη για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Επίσης, ευχαριστώ τη Ράνια Κελεσίδου για την υποστήριξη και τη βοήθειά της, καθόλη τη διάρκεια των προσπαθειών μου για την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας. Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, Αθανάσιο και Σμαρώ Βαπορίδη για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια. Αφιερώνω αυτή την εργασία στην οικογένεια μου και ιδιαιτέρως στη μητέρα μου και στον πατέρα μου.

Βαπορίδης Δημήτρης-Μάριος

# Σχεδιασμός διαχωριστών στη βιομηχανία πετρελαίου

ΒΑΠΟΡΙΔΗΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ-ΜΑΡΙΟΣ

## Περίληψη

Ο διαχωρισμός μειγμάτων πετρελαίου κατά την παραγωγική διαδικασία της πετρελαϊκής βιομηχανίας αποτελεί μία σοβαρή και σημαντική δραστηριότητα με μεγάλο οικονομικό αντίκτυπο. Συνεπώς η γνώση και πρόβλεψη για το πώς συμπεριφέρονται τα υγρά και τα αέρια και κατ' επέκταση τις απαιτήσεις που προκύπτουν για τα μηχανήματα που επιτελούν τη διεργασία αυτή αποτελούν σημαντικά στοιχεία.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μία αναφορά στο πετρέλαιο, στην εξόρυξή αλλά και στη βιομηχανία του. Στη συνέχεια γίνεται μία βιβλιογραφική ανασκόπηση όσον αφορά την τεχνολογία των διαχωριστών τις κατηγορίες και τους τρόπους λειτουργίας τους, καθώς και τα μαθηματικά μοντέλα μελέτης των διαστάσεών τους.

Τέλος, γίνεται μία σύγκριση, μέσω διαγραμμάτων με δεδομένα που προέκυψαν από ένα πρόγραμμα που δημιουργήθηκε κατά την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας, ανάμεσα στους τύπους διαχωριστών όσον αφορά την ανταπόκριση που έχουν στη μεταβολή των παραμέτρων που καθορίζουν την λειτουργία τους.

# Design of Separator in Oil Industry

Vaporidis Dimitrios-Marios

## Abstract

Separators (liquid-liquid and gas-liquid) are widely used in industrial applications. The main subject of this thesis is the study of the oil-gas-water separators and the physics that determine their design. At first, there is going to be a presentation of the oil industry and the separators that are used at it so that the understanding of the subject would be more efficient. Additionally, the equations on which the designing process is based will be mentioned and proved. Finally, with the help of a program developed during the writing of this paper, which is attached in a disk form, an ample number of data were acquired for creating diagrams that through comparison lead to several conclusions regarding to separators dimensioning.

## Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή .....	1
1.1 Κίνητρο και Σκοπός .....	1
1.2 Οργάνωση Διπλωματικής Εργασίας .....	2
Κεφάλαιο 2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση .....	3
2.1 Χημική Σύσταση Πετρελαίου .....	3
2.2 Θεωρίες της Γένεσης του Πετρελαίου .....	4
2.3 Εντοπισμός κοιτασμάτων Πετρελαίου .....	6
2.4 Εξόρυξη Πετρελαίου .....	7
2.5 Κλασματική Απόσταξη Πετρελαίου .....	8
2.6 Επεξεργασία Προϊόντων Κλασματικής Απόσταξης .....	10
2.7 Παράγωγα του Πετρελαίου .....	14
2.8 Το Πετρέλαιο στην Ελλάδα .....	15
Κεφάλαιο 3 Διαχωριστές .....	17
3.1 Ορισμός .....	17
3.2 Κατηγορίες Διαχωριστών .....	18
3.2.1 Κατηγοριοποίηση βάσει Διάταξης .....	18
3.2.2 Κατηγοριοποίηση βάσει σταδίων Λειτουργίας .....	19
3.2.3 Κατηγοριοποίηση βάσει Αρχών Λειτουργίας .....	20
3.2.4 Κατηγοριοποίηση βάσει Εφαρμογής .....	23
3.3 Διαχωριστές στην Παραγωγική Διαδικασία .....	24
3.4 Κριτήρια για την επιλογή τύπου διαχωριστή .....	27

Κεφάλαιο 4. Θεωρία Λειτουργίας Διαχωριστών .....	28
4.1 Ταχύτητα Κατακάθισης.....	28
4.1.1 Διαχωριστής δύο σταδίων .....	28
4.1.2 Διαχωριστής τριών σταδίων .....	32
4.2 Θεωρία Διαστασιολόγησης Διαχωριστών.....	33
4.2.1 Οριζόντιος διαχωριστής δύο σταδίων .....	33
4.2.2 Κατακόρυφος Διαχωριστής δύο σταδίων.....	36
4.2.3 Οριζόντιος Διαχωριστής τριών σταδίων .....	39
4.2.4 Κατακόρυφος Διαχωριστής τριών σταδίων.....	46
Κεφάλαιο 5 Διαστασιολόγηση Διαχωριστών .....	49
5.1 Διαχωριστές δύο σταδίων .....	49
5.1.1 Οριζόντιος.....	49
5.1.2 Κατακόρυφος.....	50
5.2 Διαχωριστές τριών σταδίων .....	51
5.2.1 Οριζόντιος.....	51
5.2.2 Κατακόρυφος.....	52
5.3 Διαγράμματα εξάρτησης όγκου από διάφορα μεγέθη .....	53
5.3.1 Οριζόντιος Διαχωριστής δύο σταδίων.....	54
5.3.2 Κατακόρυφος Διαχωριστής δύο σταδίων.....	56
5.3.3 Οριζόντιος Διαχωριστής τριών σταδίων .....	58
5.3.4 Κατακόρυφος Διαχωριστής τριών σταδίων.....	61
Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα .....	65
Βιβλιογραφία .....	67



Παράρτημα.....	70
----------------	----

# Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρονται πληροφορίες εισαγωγικού χαρακτήρα, καθώς και το κίνητρο και ο σκοπός της πτυχιακής. Παραθέτεται επίσης και μία σύντομη παρουσίαση της κατανομής των κεφαλαίων της εργασίας.

## 1.1 Κίνητρο και Σκοπός

Στην σύγχρονη εποχή το αργό πετρέλαιο και τα παράγωγά του αποτελούν τον κύριο άξονα των υλικών αγαθών του κόσμου, είτε ως πρώτη ύλη ή ως ενεργειακό καύσιμο για την λειτουργία μίας κατασκευής. Πριν το πετρέλαιο φτάσει στο στάδιο το οποίο μπορεί να είναι εκμεταλλεύσιμο πρέπει να υποστεί διάφορες επεξεργασίες. Μία από τις σημαντικότερες, είναι η διεργασία του διαχωρισμού του από τριφασικό ή διφασικό μείγμα σε ξεχωριστά παράγωγα: πετρέλαιο, νερό και αέριο ή πετρέλαιο και αέριο αντίστοιχα. Φυσικά, αυτή η διαδικασία δε γίνεται μόνο στα πρωτόλεια στάδια του πετρελαίου, αλλά και μέσα στην παραγωγική διαδικασία κατά την ανακύκλωση ή την ρήψη αποβλήτων τύπου πετρελαϊκών λαδιών ή παρόμοιων περιπτώσεων. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται και σε περιστάσεις που δεν εμπλέκεται το πετρέλαιο, αλλά υφίσταται διαχωρισμός ενός τυχαίου διφασικού, τριφασικού ή ακόμα και πολυφασικού μείγματος. Η διεργασία αυτή γίνεται από ειδικά μηχανήματα που ονομάζονται διαχωριστές και κατηγοριοποιούνται στην εκάστοτε περίπτωση ανάλογα με τα διάφορα χαρακτηριστικά τους.

Το πετρέλαιο κατά την εξόρυξή του αποτελείται από μέρη νερού, πετρελαίου και αερίου. Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας του για την κατάληξή σε εκμεταλλεύσιμα αγαθά όπως πλαστικό, βενζίνη, φυσικό αέριο και άλλα θα διαχωριστεί αρκετές φορές όντας τριφασικό ή και διφασικό. Η κύρια ασχολία της πτυχιακής εργασίας θα είναι η μελέτη των διαχωριστών από τη σχεδιαστική σκοπιά βάσει των δύο βασικότερων κατηγοριοποιήσεων που είναι η διάταξη αλλά και το πόσες φάσεις είναι το μείγμα που εισέρχεται στο διαχωριστή. Θα μελετηθούν απλά μαθηματικά και φυσικά μοντέλα που καταλήγουν σε εξισώσεις που αποδίδουν ικανοποιητικές προσεγγίσεις για τη διαστασιολόγηση και τον σχεδιασμό διαχωριστών. Τα μοντέλα αυτά θα ενσωματωθούν σε αλγόριθμο ο οποίος θα δύναται να δώσει αποτελέσματα για αιτούμενη διαστασιολόγηση, αλλά και παροχή δεδομένων για την παρουσίαση της εξάρτησης του όγκου του εκάστοτε διαχωριστή από διάφορα μεγέθη που εμπλέκονται στη διαδικασία του διαχωρισμού.

Σκοπός της εργασίας είναι η παρουσίαση των διαχωριστών ως κατασκευές, η λειτουργία και η χρήση, καθώς και η μεθοδολογία για το σχεδιασμό τους. Επίσης, θα παρουσιαστούν κριτήρια με τα οποία γίνεται επιλογή των διαφορετικών τύπων διαχωριστή και τις περιπτώσεις που αποδεικνύεται καλύτερη η εκάστοτε χρήση, αλλά και στο σχεδιασμό τους την απόδοση σε σχέση με τον όγκο τους και έως ποια σημεία η αύξηση του όγκου για την αντίστοιχη αύξηση της απόδοσης του διαχωριστή αποτελεί επωφελή λύση.

## 1.2 Οργάνωση Διπλωματικής Εργασίας

Η διπλωματική εργασία αποτελείται από 5 κεφάλαια πέραν αυτό της εισαγωγής και ένα παράρτημα το οποίο περιέχει τη βιβλιογραφία, καθώς και δεδομένα για τον σχεδιασμό ορισμένων διαγραμμάτων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο είναι μία εισαγωγή στον κόσμο της πετρελαϊκής βιομηχανίας και στη φύση, αλλά και την ιστορία του πετρελαίου

Στο τρίτο κεφάλαιο παραθέτονται πληροφορίες για τους διαχωριστές, συγκεκριμένα η λειτουργία τους, οι κατηγοριοποιήσεις τους, η χρήση τους, αλλά και η θέση τους στην πετρελαϊκή βιομηχανία.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μελέτη των σχεδιαστικών εξισώσεων και κατ' επέκταση των σχεδιαστικών πρωτοκόλλων που διέπουν τους διαχωριστές με την αναφορά και την απόδειξη διάφορων σχεδιαστικών εξισώσεων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση της μεθόδου που ακολουθήθηκε από εμένα για την δαστασιολόγηση, καθώς και παράθεση διαγραμμάτων που δείχνουν την εκάστοτε εξάρτηση των διαστάσεων του διαχωριστή από διάφορες μεταβλητές που παίρνουν μέρος στη λειτουργία και το σχεδιασμό του.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο γίνεται ανακεφαλαίωση των συμπερασμάτων στο οποία κατέληξε η διπλωματική και μία συγκριτική αναφορά ανάμεσα σε διάφορους τύπους διαχωριστών.

## Κεφάλαιο 2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

### 2.1 Χημική Σύσταση Πετρελαίου

Η χημική σύσταση του πετρελαίου είναι ιδιαιτέρως πολύπλοκη, καθώς το αργό (ακατέργαστο) πετρέλαιο είναι υγρό πέτρωμα, μείγμα υδρογονανθράκων, δηλαδή ουσιών που περιέχουν άνθρακα και υδρογόνο, κατά ένα μεγάλο μέρος της σειράς των αλκαλίων, που όμως περιέχει και αρκετούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, καθώς και άλλες οργανικές ενώσεις.

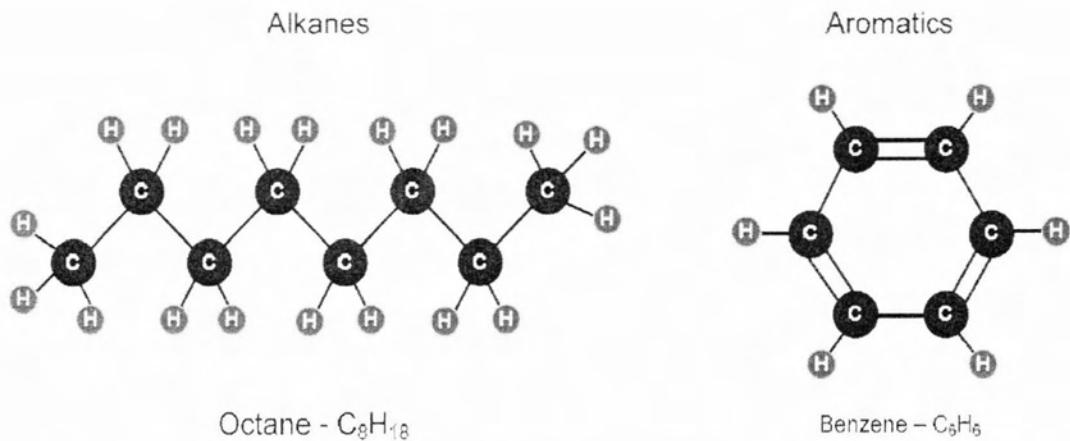
Οι υδρογονάνθρακες μπορεί να είναι παρόντες σε τρεις τύπους μοριακών δομών:

- ευθείας αλυσίδας
- διακλαδωμένης αλυσίδας
- δακτυλίου

Τα μεγαλύτερα και συνθετότερα μόρια υδρογονανθράκων αποτελούνται από συνδυασμούς αυτών των δομών. Οι πιο γνωστοί κορεσμένοι υδρογονάνθρακες, παραφίνες ή αλκάνια και κυκλοαλκάνια (που ονομάζονται και ναφθένια), καθώς και ολεφίνες και αλκένια, δηλαδή ακόρεστοι υδρογονάνθρακες, δεν περιλαμβάνονται κανονικά στο ακατέργαστο πετρέλαιο, όμως διαμορφώνονται στις διεργασίες επεξεργασίας, όπως στην πυρόλυση και στην αφυδρογόνωση.

Παρούσες στο ακατέργαστο πετρέλαιο είναι επίσης αρωματικές ενώσεις σε μια ποικιλία συγκεντρώσεων, είτε απλές (π.χ. βενζόλιο), ή συμπυκνωμένες πολυπυρηνικές και συστήματα αρωματικών δακτυλίων με πλευρικές παραφινικές ή ολεφινικές υποκαταστάσεις.

Σε μικρές συγκεντρώσεις περιλαμβάνονται μη υδρογονανθρακικές θειούχες ενώσεις (υδρόθειο, μερκαπτάνες, σουλφίδια, δισουλφίδια, πολυσουλφίδια και θειοφαίνια) και αζωτούχες ενώσεις, που είναι γενικά ανεπιθύμητες κατά την επεξεργασία, ως διαβρωτικές για τον εξοπλισμό, δηλητηριώδεις για τους καταλύτες και συμβάλλουσες στην ατμοσφαιρική ρύπανση εξαιτίας του σχηματισμού διοξειδίου και τριοξειδίου του θείου και οξειδίων του αζώτου αντίστοιχα, όταν καίγονται.



Σχήμα 2. 1. Απεικόνιση μορίων πετρελαίου [1]

Μη υδρογονανθρακικές οξυγονούχες ενώσεις μπορεί να είναι παρούσες ως ναφθενικά οξέα, που είναι διαβρωτικά, και φαινόλες που προκαλούν προβλήματα οσμής. Τέλος, σε συγκεντρώσεις ιχνών εμφανίζονται ενώσεις μετάλλων π.χ. βαναδίου, σιδήρου, νικελίου που επίσης είναι ανεπιθύμητες, εφόσον λειτουργούν ως δηλητήρια καταλυτών [2].

## 2.2 Θεωρίες της Γένεσης του Πετρελαίου

Όσον αφορά τη γένεση του πετρελαίου υπάρχουν διάφορες θεωρίες και μάλιστα αλληλοσυγκρουόμενες. Οι υποθέσεις αυτές στηρίζονται κυρίως σε εργαστηριακές συνθέσεις, που ξεκινούν με βάση ανόργανες ή οργανικές ουσίες και δίνουν χημικά προϊόντα αντίστοιχα με το φυσικό πετρέλαιο. Υπάρχουν, επομένως, δύο σχετικές υποθέσεις: της ανόργανης και της οργανικής προέλευσης του πετρελαίου.

Κατά την υπόθεση της ανόργανης προέλευσης, το πετρέλαιο πρέπει να σχηματίστηκε ή με την επίδραση ανθρακικού οξέος σε αλκαλικά μέταλλα, με παρουσία υδρατμών και υψηλής θερμοκρασίας ή με την επίδραση ακετυλενίου πάνω σε αναγωγικά μέταλλα, όπως σίδηρο, νικέλιο, κοβάλτιο ή από οξειδίο του άνθρακα και του υδρογόνου, χημικά καθαρών, με παρουσία σιδήρου ή κοβαλτίου. Τα συνθετικά όμως προϊόντα που προκύπτουν κατά τις μεθόδους αυτές δεν περιέχουν ποτέ τα οπτικώς ενεργά σώματα του φυσικού πετρελαίου και για αυτό το λόγο η υπόθεση αυτή έχει υποσκελιστεί από άλλες.

Κατά την υπόθεση της οργανικής προέλευσης του πετρελαίου, απαιτείται ο μετασχηματισμός λιπαρών ουσιών ζωικής ή φυτικής προέλευσης σε πετρέλαιο.

Πειράματα που έκανε ο Engel και άλλοι απέδειξαν ότι το λάδι των ψαριών ή λιπαρές φυτικές ουσίες, όταν υποβληθούν σε πίεση και υψηλές θερμοκρασίες, δίνουν υδρογονάνθρακες όμοιους με το φυσικό πετρέλαιο. Ο Rotonie επίσης πειραματίστηκε με μονοκύτταρα φύκια, που είχαν υποστεί σήψη, τα οποία υπέβαλε σε απόσταξη υπό πίεση και πέτυχε ελαφρούς και βαριούς υδρογονάνθρακες τελείως όμοιους με το φυσικό πετρέλαιο. Η ύλη που περιέχουν τα μονοκύτταρα φύκια σε αποσύνθεση ονομάζεται sargrol. Για την παραγωγή των φυσικών διεργασιών του πετρελαίου, σημαντικό στοιχείο είναι η ύπαρξη αλατούχου νερού, που συνοδεύει πάντα το πετρέλαιο στα κοιτάσματά του. Το νερό αυτό περιέχει μεγάλες ποσότητες ιωδίου, σε ποσοστό πολύ μεγαλύτερο από του θαλασσινού. Κατά τον Μράζεκ, αυτό πρέπει να προέρχεται κυρίως από τα θαλάσσια φύκια που περιέχονται στο πλαγκτόν.

Πολλές εξηγήσεις δόθηκαν για τον τρόπο αυτό γένεσης του πετρελαίου. Κατά τον Ουάιτ, ο μετασχηματισμός του sargrol σε πετρέλαιο (βιτουμενοποίηση) γίνεται σε δύο φάσεις: τη βιοχημική (αναερόβια ζύμωση που προκαλείται από βακτήρια) και τη γεωχημική (ολοκλήρωση της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης με την επίδραση της θερμοκρασίας, της πίεσης και του χρόνου).

Επικεντρώνοντας περισσότερο τώρα στη δημοφιλέστερη πλέον εκδοχή για τη γένεση του πετρελαίου μπορεί να ειπωθεί ότι αποτελείται από ορισμένα στάδια. Πρώτον, είναι η συσσώρευση οργανικών ζωικών και φυτικών αποθεμάτων στον πυθμένα της θάλασσας μαζί με άμμο και λάσπη. Στη συνέχεια, επαναλήφθηκε η διαδικασία με ένα νέο στρώμα ιζημάτων που σκέπασε το προηγούμενο. Μετά, έλαβε χώρα η πτύχωση των στρωμάτων λόγω των τεκτονικών κινήσεων, ενώ παράλληλα οι οργανικές ουσίες μετασχηματίζονταν σε πετρέλαιο με τη δράση βακτηριακών παραγόντων. Συνεχίζοντας, αρχίζει το πετρέλαιο να κινείται προς τα επάνω, αλλά συναντά αδιαπέραστα πετρώματα, τα οποία, ανακόπτουν την ανοδική του πορεία, κάτι που οδηγεί στη δημιουργία του κοιτάσματος, που η σύσταση του από κάτω προς τα πάνω είναι: αλατούχο νερό, πετρέλαιο και αέρια. Τέλος, είναι η έναρξη εκμετάλλευσης των πετρελαιοφόρων κοιτασμάτων μέσω των γεωτρήσεων.[3]

## 2.3 Εντοπισμός κοιτασμάτων Πετρελαίου

Ο εντοπισμός κοιτασμάτων πετρελαίου γίνεται με πέντε μεθόδους, οι οποίες είναι:

- σεισμική
- ηλεκτρική
- ηλεκτρομαγνητική
- σταθμική ή βαρομετρική
- ραδιενεργή

Η σεισμική μέθοδος βασίζεται κυρίως στην ταχύτητα μετάδοσης των δονήσεων ενός τεχνητού σεισμού, ο οποίος προκαλείται, συνήθως, με χρήση κατάλληλων εκρηκτικών. Πραγματοποιείται με δύο τρόπους: Είτε της διάθλασης είτε της ανάκλασης των σεισμικών κυμάτων και, βεβαίως, με αντίστοιχα σεισμικά όργανα, δεδομένου ότι τα σεισμικά κύματα δεν διέρχονται εξ ολοκλήρου από υγρά. Η μέθοδος αυτή έχει το μειονέκτημα ότι αντί πετρελαϊκού κοιτάσματος μπορεί να εντοπίσει μεγάλες ποσότητες υπόγειων υδάτων. Η ηλεκτρική μέθοδος βασίζεται κυρίως στο γεγονός ότι ο φλοιός της Γης έχει ορισμένες ηλεκτρικές σταθερές, μία εκ των οποίων είναι και η αντίσταση διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος. Έτσι, με δεδομένο ότι το πετρέλαιο δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού, η ένδειξη μεγαλύτερης σχετικής αντίστασης μπορεί να θεωρηθεί ένδειξη παρουσίας πετρελαϊκού κοιτάσματος. Η ηλεκτρομαγνητική βασίζεται σε ευαίσθητα όργανα, τα καλούμενα μαγνητόμετρα, που μπορούν να μετρήσουν με σχετικά μεγάλη ακρίβεια την ένταση του μαγνητικού πεδίου της Γης από τόπο σε τόπο. Η σταθμική ή βαρομετρική βασίζεται στη μέτρηση της έντασης του πεδίου βαρύτητας στα διάφορα σημεία της επιφάνειας της Γης. Τέλος, η ραδιενεργή μέθοδος, η οποία αποδεικνύεται πολύ αξιόπιστη και εφαρμόζεται με επιτυχία σε τοποθεσίες με ήπιο ανάγλυφο.

Ως επί των πλείστων βέβαια χρησιμοποιείται από τους γεωλόγους η πρώτη μέθοδος με την οποία συλλέγουν πληροφορίες για την μορφολογία του υπεδάφους μέσω των σεισμικών δονήσεων, είτε αυτές είναι φυσικές ή τεχνητές με πρόκληση τους από υπόγειες εκρήξεις με χρήση ειδικών εκρηκτικών. [4]

## 2.4 Εξόρυξη Πετρελαίου

Το πετρέλαιο εξάγεται από φρέατα που ανορύσσονται με γεωτρήματα, σε βάθη που μπορεί να υπερβούν πολλές φορές τα 4000 m. Σήμερα η πιο αποδεκτή γενικά μέθοδος διάτρησης, είναι η περιστροφική, καθώς είναι η πιο γρήγορη και ασφαλής και με περισσότερες πιθανότητες επίτευξης μεγαλύτερου βάθους, η κρουστική μέθοδος έχει σχεδόν εγκαταλειφθεί. Για τη στήριξη των μηχανημάτων γεώτρησης χρησιμοποιούνται μεταλλικοί πύργοι που ονομάζονται «ντέρικς». Τα διατρητικά εργαλεία, μεγάλης περιστροφικής ικανότητας, από ειδικό χάλυβα, αποτελούνται με κορώνες εφοδιασμένες με κοπίδια και περιστρέφονται στην περιφέρεια ενός κοινού κυλίνδρου που γεμίζει με τα πετρώματα της γεώτρησης. Τα δείγματα αυτά του πετρώματος χρησιμεύουν για την ανάλυση της φύσης, των στρωμάτων που συναντιούνται κατά τη γεώτρηση. Η οπή της γεώτρησης επενδύεται με χαλύβδινους σωλήνες, που βιδώνονται μεταξύ τους, η διάμετρος τους ελαττώνεται προς τα βαθύτερα στρώματα, καθώς η διάτρηση προχωράει σε βάθος, ρίχνουν γενικά νερό υπό πίεση, που ανεβαίνοντας, φέρνει στην επιφάνεια τα κλασσικά προϊόντα της διάτρησης. Μερικές φορές πρέπει να τοποθετηθούν εκρηκτικές ύλες στον πυθμένα των γεωτρήσεων, για να αναταράξουν τα πετρελαιοφόρα στρώματα και να δημιουργήσουν σπήλαια συγκέντρωσης του πετρελαίου. Σε πολλές γεωτρήσεις το πετρέλαιο φτάνει μόνο του στην επιφάνεια ωθούμενο από την πίεση των αερίων, σε μερικές μάλιστα περιπτώσεις προκαλούνται τεράστιοι πίδακες. Αν κατά τη διάτρηση βρεθεί πρώτα το αεριούχο στρώμα υψηλής πίεσης, υπάρχει πιθανότητα εκρήξεων. Στην αρχή ή σε κάποιο ορισμένο σημείο της γεώτρησης πρέπει οπωσδήποτε να γίνει άντληση του πετρελαίου. Συχνά καταφεύγουν, με κατάλληλες σωληνώσεις, στα ίδια τα αέρια του πετρελαίου που βρίσκονται υπό πίεση στη βάση του φρέατος. Τα συμπιεσμένα αέρια αποτελούνται κυρίως από μεθάνιο, άζωτο και αεριώδεις υδρογονάνθρακες. Τα αέρια αυτά φτάνουν σε αξιόλογες πιέσεις, ακόμα και σε 100 ατμόσφαιρες [5].

Το εξαγόμενο πετρέλαιο, ανάμεικτο με χώμα και άλλες ακαθαρσίες, συλλέγεται μαζί με το νερό σε μεγάλες δεξαμενές, λάκκους ή στέρνες, όπου γίνεται το πρώτο καθάρισμα από το νερό και τα αργιλώδη ιζήματα με μετάγγιση. Από εκεί, το ακατέργαστο πετρέλαιο διοχετεύεται στα διυλιστήρια με σωλήνες, που καλύπτουν μικρές ή μεγάλες αποστάσεις, ανάλογα με την τοποθεσία των κοιτασμάτων και των διυλιστηρίων. Αν τα διυλιστήρια είναι πέρα από τη θάλασσα, η μεταφορά του ακατέργαστου πετρελαίου γίνεται συνήθως με πλωτές δεξαμενές και μόνο σε ειδικές περιπτώσεις με υποθαλάσσιους πετρελαιοαγωγούς. Πριν γίνει η μεταφορά από τη θάλασσα, αφαιρούνται τα ελαφρύτερα και πτητικά παράγωγα του πετρελαίου, έτσι ώστε να γίνει πιο σταθερό, τα οποία κάνουν τη μεταφορά του πιο επικίνδυνη, καθώς το ακάθαρτο πετρέλαιο στην πρωτόλεια σύσταση που βρίσκεται είναι ιδιαίτερα εύφλεκτο. Επιπλέον, πριν τη διαδικασία της μεταφοράς του αφαιρούνται όποια θειικά



παράγωγα έχει, που προέρχονται από τα διαλυμένα αέρια όπως το υδροθειικό οξύ, καθώς έχει διαβρωτικές ιδιότητες, κάτι που αναπόφευκτα θα οδηγήσει στη διάβρωση των δεξαμενών μεταφοράς και επομένως στην αστοχία του υλικού τους, μετατρέποντας τη μεταφορά ασύμφορη. Περνώντας πλέον στην επεξεργασία του πετρελαίου, αυτή απαρτίζεται από τρεις κύριες φάσεις:

- την κλασματική απόσταξη
- την χρήση των προϊόντων της
- την επεξεργασία και χρήση των υπολειμμάτων της απόσταξης

## 2.5 Κλασματική Απόσταξη Πετρελαίου

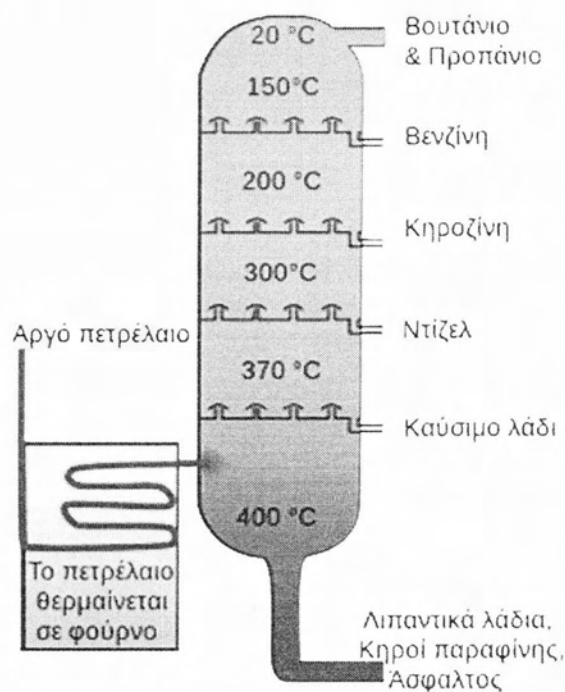
Αναλύοντας τα στάδια στα οποία γίνεται η κλασματική απόσταξη, χωρίζεται σε τέσσερις ομάδες προϊόντων, αλλά και στην αέρια φάση. Η πρώτη ομάδα είναι τα ελαφρά ορυκτέλαια, τα οποία έχουν θερμοκρασία απόσταξης έως τους 200°C και πυκνότητα από 0,6 έως 0,8 και απόδοση από 10% έως 15%. Μετά είναι τα μεσαία ορυκτέλαια, που διαχωρίζονται στο φάσμα των 190 με 300°C, η πυκνότητά τους κυμαίνεται στα 0,6 με 0,8 και έχουν απόδοση 30%-35%. Συνεχίζοντας, είναι τα βαρέα ορυκτέλαια, όπου διαχωρίζονται σε θερμοκρασίες άνω των 300°C και έχουν πυκνότητα 0,85-1 με απόδοση 50%-60%. Τέλος, τα στερεά υπολείμματα, που καθιζάνουν στον πυθμένα της στήλης απόσταξης.

Από την κάθε ομάδα προϊόντων πλέον παράγονται μέσω διαδοχικών αποστάξεων σειρές διάφορων προϊόντων. Καταρχάς, από τα ελαφρά ορυκτέλαια εξάγονται οι αιθέρες (πετρελαϊκός αιθέρας ή βενζίνη με σημείο ζέσης τους 40-70°C), οι ελαφρές βενζίνες (με σημείο ζέσης τους 70-150 °C), οι μέσες και βαριές βενζίνες (με σημείο ζέσης υψηλότερο των άλλων προϊόντων). Επίσης, από τα μεσαία ορυκτέλαια διαχωρίζονται το φωτιστικό πετρέλαιο, οι διαλύτες, τα έλαια για της μηχανές diesel (με σημείο ζέσης τους 180-300°C). Επιπροσθέτως, από τα βαρέα ορυκτέλαια εξάγονται τα καύσιμα, όπως η νάφθα, έλαια για λίπανση και για μετασχηματιστές. Τέλος, από τα στερεά υπόλοιπα λαμβάνονται ουσίες όπως οι παραφίνες, η βαζελίνη, τα κατράμια, η άσφαλτος, καθώς το κοκ πετρελαίου.

Η διαδικασία αυτή δεν είναι δεσμευτική ως προς την ολότητα της, καθώς είναι δυνατόν λόγω της μηχανικής της διεργασίας να ληφθεί μέρος των προϊόντων ή και ένα μοναδικό προϊόν και όχι όλη η γκάμα εάν γίνει όλη η διαδικασία. Κάτι τέτοιο ονομάζεται διακεκομμένη απόσταξη και στηρίζεται στο ότι τα προϊόντα διαχωρίζονται με βάση το διαφορετικό σημείο ζέσης τους, το οποία μπορεί να

ελεγχθεί λόγω της σταδιακής αύξησης της θερμοκρασίας στη στήλη. Η διακεκομμένη απόσταξη όμως τείνει να εξαφανιστεί πλέον, καθώς δεν εφαρμόζεται ιδιαίτερα.

Το σύστημα της συνεχούς κλασματικής απόσταξης αποτελείται από ένα φούρνο ή κλίβανο με εναλλάκτες θερμότητας, από μία στήλη απόσταξης με πλάκες, η οποία θερμαίνεται με ατμό, από αντλίες κυκλοφορίας, από συμπυκνωτές και ψήκτρες των διαφόρων προϊόντων που εξάγονται από την απόσταξη, από διάφορους διαχωριστές του νερού, από τα όργανα ρύθμισης διάφορων παροχών και από άλλα εξαρτήματα. Η νάφθα είναι το κύριο καύσιμο του φούρνου, η οποία θερμαίνει τους διάφορους σωλήνες από όπου και διέρχεται και θερμαίνεται για μικρό χρονικό διάστημα το ορυκτό πετρέλαιο, έτσι ώστε να φτάσει την επιθυμητή θερμοκρασία και να μετατραπεί σε ατμό (θερμοκρασία που ανέρχεται περίπου στους 400°C). Ο ατμός πετρελαίου, εφόσον διέλθει από την έξοδο του φούρνου περνά στον πυθμένα και στις πρώτες πλάκες της στήλης απόσταξης. Σε μορφή ατμού πλέον τα διάφορα προϊόντα ανελίσσονται στην στήλη, ενώ τα υπόλοιπα προϊόντα σε υγρή μορφή συγκεντρώνονται στη βάση της στήλης, έχοντας τα αέρια παράγωγα απομακρυσμένα από τη σύστασή τους. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται νερό σε μορφή υδρατμών, το οποίο κάνει ένα είδος πλυσίματος στα υπόλοιπα που πηγαίνουν προς τη βάση της στήλης. Ένα μέρος των πρώτων ελαφρών προϊόντων που βγαίνουν από το πάνω μέρος της στήλης επανακυκλοφορεί στην αρχή της στήλης. Από το πάνω μέρος, τα πρώτα προϊόντα με μορφή ατμού είναι τα αέρια και οι ελαφροί υδρογονάνθρακες που συμπυκνώνονται με ψύξη και διοχετεύονται στα συστήματα απορρόφησης. Από τα άλλα σημεία της στήλης, σε διάφορα ύψη, εξάγονται τα διάφορα προϊόντα των ομάδων που αναφέρθηκαν.[6]



Σχήμα 2. 2 Στήλη κλασματικής απόσταξης [7].

## 2.6 Επεξεργασία Προϊόντων Κλασματικής Απόσταξης

Περνώντας στο επόμενο βήμα της επεξεργασίας του πετρελαίου είναι η χρησιμοποίησή των προϊόντων της κλασματικής απόσταξης. Τα διάφορα προϊόντα επιδέχονται και άλλες αποστάξεις, έτσι ώστε να βελτιωθεί ο βαθμός καθαρότητάς τους. Φυσικά αυτές οι αποστάξεις δεν γίνονται σε στήλες του ίδιου μεγέθους με αυτή της αρχικής, αλλά σε μικρές στήλες, που ονομάζονται strippers. Επιπροσθέτως, τα προϊόντα μπορεί να υποστούν και άλλες διεργασίες, όπως σταθεροποίηση, reforming ή ραφινάρισμα.

Η σταθεροποίηση λαμβάνει χώρα, έτσι ώστε η τάση ατμού να φτάσει στα επίπεδα τιμών που είναι επιθυμητή. Κάτι τέτοιο συμβαίνει υπό πίεση και είναι μία πολύ υψηλή διεργασία και γίνεται ως επί των πλείστων για την βενζίνη, καθώς εκεί απαιτούνται μη εκρηκτικά προϊόντα. Εννοείται πως η βενζίνη δεν είναι το μοναδικό παράγωγο αυτής της διαδικασίας, με σταθεροποίηση παράγονται και άλλα αέρια, που δύνανται να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα στα διωλιστήρια ή με πολυμερισμό μπορούν να αποφέρουν τη βενζίνη πολυμερισμού.

Το reforming είναι μία άλλη επεξεργασία, θερμική ή καταλυτική, την οποία υφίστανται τα ελαφρά έλαια για να αυξηθεί ο αριθμός των οκτανίων τους.

Ο εξευγενισμός του πετρελαίου είναι χημική επεξεργασία που εφαρμόζεται και για τις βενζίνες, με χρήση θεικού οξέος και πλύσιμο με καυστική σόδα και νερό. Άλλες χημικές ουσίες, που χρησιμοποιούνται στο ραφινάρισμα, είναι ενώσεις του μόλυβδου με το νάτριο, υποχλωρικά άλατα, χλωριούχος ψευδάργυρος, καθώς και άλλα. Το ραφινάρισμα γίνεται για τη απαλλαγή των προϊόντων από διάφορες οργανικές ασταθείς ουσίες που θα έδιναν χρώμα και πολύ άσχημη οσμή στη βενζίνη και θα προκαλούσαν διαβρώσεις στα δοχεία αποθήκευσης.

Τα μεσαία έλαια, όταν υποστούν διάφορες επεξεργασίες, δίνουν το φωτιστικό πετρέλαιο, κηροζίνη, υψηλούς διαλύτες έλαια για τις μηχανές diesel και βενζίνη.

Τέλος, όσον αφορά την επεξεργασία και χρήση των κατάλοιπων, τα βαρέα έλαια και τα κατάλοιπα που συσσωρεύονται στον πυθμένα της στήλης απόσταξης μπορούν να αποσταχθούν ακόμη περισσότερο υπό κενό (στους 400-420°C) και να παραχθούν βενζίνη, έλαια λίπανσης, έλαια για μετασχηματιστές, ελαφρή νάφθα και ασφαλικά κατάλοιπα. Από την άλλη το βαρύ υπόλοιπο χρησιμοποιείται μαζί με τα παράγωγα που βράζουν στην καταλυτική πυρόλυση (250°C) για να δώσει ελαφρά προϊόντα τα οποία είναι κατά αποκλειστικότητα βενζίνη ή βενζίνη μαζί με κοκ ή ως κατράμι.

Μία πολύ σημαντική επεξεργασία του πετρελαίου είναι η πυρόλυση (cracking), καθώς με την κλασματική απόσταξη επιτυγχάνεται ένα ευρύ φάσμα προϊόντων, ελαφρών, μεσαίων και βαρέων ελαίων, αλλά η αγορά έχει ζήτηση μεγάλων ποσοτήτων σε ελαφρά έλαια. Το πρόβλημα αυτό λύνει η πυρόλυση, κατά την οποία από το ορυκτό πετρέλαιο παράγονται μεγάλες ποσότητες ελαφρών ελαίων, δηλαδή με χαμηλό σημείο ζέσης. Η πρώτη μέθοδος είναι η θερμική πυρόλυση, κατά την οποία το ορυκτό πετρέλαιο θερμαίνεται ισχυρά υπό κενό αέρα. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στο ότι τα μόρια των υδρογονανθράκων με μεγάλο μοριακό βάρος, όταν θερμανθούν στους 400°C, γίνονται ασταθή και υφίστανται ρήγματα, σχηματίζοντας μικρότερα μόρια. Η θερμότητα, η πίεση, ο χρόνος θέρμανσης και η παρουσία καταλυτών είναι τα αίτια πολλών χημικών αντιδράσεων, που μπορούμε να τις διακρίνουμε σε αφυδρογόνωση και θερμική ρήξη των μορίων. Και οι δύο έχουν ως αποτέλεσμα ότι το μεγάλο μόριο γίνεται περισσότερα μικρά μόρια, σχηματίζοντας διπλούς δεσμούς  $-CH=CH-$  και παράγεται  $H_2$ . Υπάρχει λοιπόν μετασχηματισμός ακόρεστων υδρογονανθράκων με μικρότερο αριθμό ατόμων άνθρακα. Αν η αφυδρογόνωση είναι πολύ έντονη, έχουμε παραγωγή αρωματικών υδρογονανθράκων (βενζόλιο). Με τη ρύθμιση της πίεσης και της θερμοκρασίας οι παραχθέντες ακόρεστοι υδρογονάνθρακες μπορούν να σχηματίσουν υδρογόνο και να γίνουν κορεσμένοι, διαχωρίζοντας έτσι το κοκ πετρέλαιο. Η θερμική πυρόλυση, που γίνεται ως τους 500°C, ονομάζεται «υγρής φάσης», ενώ εκείνη που γίνεται ως τους 800°C, ονομάζεται «αέριας φάσης». Με το πρώτο παράγονται τα παραφινικά προϊόντα, με το δεύτερο τα αρωματικά και τα ολεφινικά.

Τα σύγχρονα συστήματα υδρογόνωσης των ορυκτελαίων μπορούν να θεωρηθούν επίσης μέθοδοι θερμικής ρήξης των μορίων.

Σχηματικά, ένα συγκρότημα θερμικής πυρόλυσης «υγρής φάσης» ακολουθεί την εξής διαδικασία: το ορυκτό πετρέλαιο θερμαίνεται στους 400°C και ακολούθως στους 500°C, με τη βοήθεια εναλλακτών θερμότητας και σε πίεση 15-20 ατμόσφαιρες. Μετά, το πετρέλαιο περνά στο δωμάτιο εκτόνωσης και από εδώ οι υδρογονάνθρακες σε φάση ατμού περνούν στη στήλη απόσταξης με πλάκες. Στο άνω μέρος της στήλης διαχωρίζονται οι βενζίνες, ενώ τα πιο βαριά προϊόντα συσσωρεύονται στη βάση, από όπου, με τις συμπυκνώσεις του δωματίου εκτόνωσης διοχετεύονται στους εναλλάκτες θερμότητας. Στους αυλούς των εναλλακτών και στο δωμάτιο εκτόνωσης συσσωρεύεται το κοκ του πετρελαίου, το οποίο εξαφανίζεται ορισμένες ημέρες μετά τη λειτουργία του συγκροτήματος. Πρακτικά, τα συγκροτήματα της θερμικής πυρόλυσης, με το σκοπό να παράγουν ελαφρά προϊόντα και ελάχιστη ποσότητα κοκ, εργάζονται σε δύο ή περισσότερα στάδια, δηλαδή επανέρχονται στον κύκλο εργασίας όλα τα βαρέα προϊόντα μαζί με τα υπόλοιπα έλαια και το εισερχόμενο ορυκτό πετρέλαιο. Για το σκοπό αυτό υπάρχουν αντλίες κυκλοφορίας, περισσότερες στήλες απόσταξης και πολλοί κλίβανοι με αυλούς και εναλλάκτες θερμότητας. Οι πιέσεις και οι θερμοκρασίες αυξάνονται κατά τα αλληπάλλληλα στάδια της επεξεργασίας.

Για τη θερμική πυρόλυση «υγρής φάσης» υπάρχουν διάφορες μέθοδοι. Συγκεκριμένα στη μέθοδο Νταμπς, σε τρία στάδια, στο πρώτο στους 470°C περίπου και πίεση 15 ατμόσφαιρες, εξάγονται λίγα αέρια και λίγο κοκ. Τα ενδιάμεσα προϊόντα των υδρογονανθράκων διαχωρίζονται στις στήλες απόσταξης και υφίστανται νέα πυρόλυση στους 515°C και 35 ατμόσφαιρες. Έτσι στο άνω μέρος παράγονται βενζίνες, ενώ τα προϊόντα που εξάγονται από τη βάση υφίστανται στο τρίτο στάδιο στους 540°C και 50 ατμόσφαιρες, για να δώσουν ακόμα βενζίνη και κατάλοιπα. Φυσικά, συλλέγονται και εμφανίζονται όλα τα παραγόμενα αέρια, τα οποία επίσης είναι δυνατόν να συμπυκνωθούν και να δώσουν, με καταλυτικό πολυμερισμό, βενζίνη ή να χρησιμοποιηθούν για άλλους σκοπούς.

Για τη θερμική πυρόλυση σε «αέρια φάση» εφαρμόζονται μεγαλύτερες θερμοκρασίες από όσες στην «υγρή φάση», αλλά οι πιέσεις και οι χρόνοι αντίδρασης είναι μικρότεροι. Γενικά, η θερμική πυρόλυση «αέριας φάσης» εφαρμόζεται στα μεσαία ορυκτέλαια και στη βενζίνη και παράγονται βενζίνες με υψηλό βαθμό οκτανίων, αλλά όχι ιδιαίτερα σταθερές.

Ένα από τα σημαντικότερα προϊόντα της θερμικής πυρόλυσης είναι το κοκ του πετρελαίου, που χρησιμοποιείται σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές. Κατά το 1930 εφαρμόστηκε το reforming για την παραγωγή βενζίνης με αυξημένο αριθμό οκτανίων. Σπουδαία εφαρμογή έχει η καταλυτική πυρόλυση, με τη μέθοδο των συνδετικών πολυμερισμών, κατά την οποία το βουτυλένιο των αερίων της πυρόλυσης, μετατρέπεται σε οκτυλένιο, με τη χρησιμοποίηση ως καταλύτη του θειικού οξέος, αλλά και ακολούθως με υδρογόνωση έχουμε το οκτάνιο.

Θα μπορούσε να ειπωθεί όμως ότι η σημαντικότερη ανακάλυψη σε αυτό τον τομέα επεξεργασίας του πετρελαίου είναι η δυνατότητα πρόσθεσης των γραμμικών ή μη κορεσμένων υδρογονανθράκων σε ένα μόριο αρωματικό ή άλλο, όχι γραμμικό, υδρογονάνθρακα. Για παράδειγμα, από ένα ισομοριακό μείγμα ισομερούς βουτανίου και ισομερούς βουτυλενίου παράγεται απευθείας οκτάνιο χωρίς να χρειαστεί υδρογόνωση. Για τις συνθέσεις αυτές χρησιμοποιούνται ως καταλύτες φωσφορικός ανυδρίτης και χλωριούχο αργίλιο. Από την πρώτη εφαρμογή της καταλυτικής πυρόλυσης έχουν γίνει αρκετές μεταλλαγές στη διαδικασία, έτσι ώστε να γίνει μία συνεχής μέθοδος παραγωγής.

Ως καταλύτες χρησιμοποιήθηκαν διάφορες ουσίες με τη μορφή σκόνης ή σφαιριδίων. Σήμερα, χρησιμοποιούνται ως καταλύτες ο μόλυβδος και το αργίλιο ή ο λευκόχρυσος. Με τις μεθόδους αυτές παράγεται ως δευτερεύον προϊόν το υδρογόνο, το οποίο χρησιμοποιείται στην καταλυτική υδρογόνωση. Με το catalytic reforming παράγονται το βενζόλιο, η τολουόλη, η ξυλόλη και άλλες βιομηχανικές πρώτες ύλες.

Με το reforming παράγεται βενζίνη με μεγάλο αριθμό οκτανίων, δηλαδή βενζίνη αρκετά καθαρή, που ρυπαίνει την ατμόσφαιρα σε μικρότερο βαθμό κατά την

καύση της. Με το reforming, ο αριθμός των οκτανίων αυξάνεται από 40 σε 100 με απόδοση από 75% έως 80%. Ο αριθμός των οκτανίων μπορεί να αυξηθεί ακόμα με τον καταλυτικό πολυμερισμό, διά της μετατροπής των γραμμικών υδρογονανθράκων βουτανίου, εξανίου και πεντανίου στα αντίστοιχα ισομερή τους.

Ένα εξίσου σημαντικό κομμάτι είναι και η διύλιση των προϊόντων του πετρελαίου, όπου όλα τα προϊόντα της κλασματικής απόσταξης, τα λιπαντικά έλαια και οι βενζίνες, εκτός από τις διαδοχικές αποστάξεις που υφίστανται, πρέπει να καθαριστούν, για να απομακρυνθούν οι ασταθείς υδρογονάνθρακες και οι οργανικές ενώσεις του θείου (μερκαπτάνες) που δίνουν άσχημη χροιά και οσμή στα προϊόντα του πετρελαίου. Τα διάφορα μέσα που χρησιμοποιούνται για το καθάρισμα αυτό είναι χημικές ουσίες, ενώ για τον καθαρισμό και αποχρωματισμό εφαρμόζεται η μέθοδος της απορρόφησης και προσρόφησης. Χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται είναι:

- το θειικό οξύ
- ο χλωριούχος ψευδάργυρος
- ο διχλωροαιθυλικός αιθέρας
- η φαινόλη
- και άλλες ουσίες

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω υπάρχει και ο καταλυτικός πολυμερισμός, που είναι το φαινόμενο κατά το οποίο μερικά μόρια μιας ένωσης, μπορούν να ενωθούν μεταξύ τους, έτσι ώστε τα μόρια της νέας ένωσης να έχουν την εκατοστιαία σύνθεση με τη σύνθεση των αρχικών μορίων. Η ένωση των μορίων πετυχαίνεται με τη μετατροπή των διπλών δεσμών σε απλούς από το προπυλένιο ( $C_3H_6$ ) των αερίων της πυρόλυσης.

Οι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες και τα παράγωγά τους πολυμερίζονται εύκολα, κυρίως με την παρουσία καταλυτών στην αέρια κατάσταση. Η ιδιότητα αυτή των υδρογονανθράκων επιτρέπει τη βιομηχανική παραγωγή της βενζίνης από αέρια της πυρόλυσης με καταλυτικό πολυμερισμό. Τα αέρια, τα οποία περιέχουν ολεφινικούς υδρογονάνθρακες, πλένονται με αλκαλικά διαλύματα για να απομακρυνθεί το υδρόθειο ( $H_2S$ ), θερμαίνονται στους  $150-180^\circ C$ , υπό πίεση 30-60 ατμόσφαιρες και ακολούθως διοχετεύονται σε πύργους, οι οποίοι περιέχουν φωσφορικό οξύ και πυροφωσφορικό χαλκό. Κάτω από τις συνθήκες αυτές πολυμερίζονται οι ολεφίνες σε διολεφίνες, πετυχαίνεται συνεπώς μία διαλογή και σταθεροποίηση της λαμβανόμενης βενζίνης. Τα υπολείμματα των αερίων (μεθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο και άλλα) επαναφέρονται στον κύκλο ή χρησιμοποιούνται ως καύσιμα στο διυλιστήριο ή συμπιέζονται σε φιάλες. Τα προϊόντα βουτάνιο, βουτυλένιο και προπάνιο, προπυλένιο υγροποιούνται και χρησιμοποιούνται ως καύσιμα. Η υγροποίηση επιτρέπει τη χρησιμοποίηση αυτών των αερίων, επειδή είναι

δυνατό να τοποθετηθούν σε φιάλες ή δεξαμενές πολύ πιο ελαφρές από εκείνες που χρησιμοποιούνται για αέρια μεγάλης συμπίεσης, όπως το μεθάνιο. [8]

## 2.7 Παράγωγα του Πετρελαίου

Τα παράγωγα του πετρελαίου είναι πολλά και ζωτικής σημασίας για το σύγχρονο τρόπο ζωής. Το κοκ πετρελαίου είναι μία μορφή άνθρακα που συσσωρεύεται στο κάτω μέρος της στήλης απόσταξης ή παράγεται κατά την πυρόλυση των βαρέων ελαίων. Το κοκ πετρελαίου χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την παρασκευή των τεχνητών ανθράκων και ειδικά για την κατασκευή των ηλεκτροδίων για υψικαμίνοους, όπως επίσης και για το δυναμό των αυτοκινήτων.

Από τα φυσικά αέρια που αναπτύσσονται στα κοιτάσματα πετρελαίου, το μεθάνιο υπερέχει σε ποσότητα. Τα αέρια αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις εγκαταστάσεις εξαγωγής και επεξεργασίας του ακάθαρτου πετρελαίου ή για την παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με στροβίλους αερίου ή ακόμα να χρησιμοποιηθούν σε εγκαταστάσεις θέρμανσης.

Τα αέρια που προέρχονται από εγκαταστάσεις πυρόλυσης αποτελούνται συνήθως από:

- αιθυλένιο ( $C_2H_4$ )
- προπυλένιο ( $C_3H_6$ )
- βουτυλένιο ( $C_4H_8$ )

ενώ στα αέρια που προέρχονται από καταλυτική πυρόλυση ή υδρογόνωση υπερέχει :

- το μεθάνιο ( $CH_4$ )
- αιθάνιο ( $C_2H_6$ )
- προπάνιο ( $C_3H_8$ )
- βουτάνιο ( $C_4H_{10}$ )

Τα αέρια του πετρελαίου, τα οποία άλλοτε καίγονταν για χρήσεις του διωλιστηρίου ή ακόμα καίγονταν στον αέρα για να καταστραφούν, αποτελούν σπουδαία πρώτη ύλη για την παραγωγή βενζίνης πολυμερισμού, αλλά και για τα εξής προϊόντα: υδρογόνο (με καταλυτική πυρόλυση του μεθανίου, κατόπιν πλύσης και

διαχωρισμού των άλλων αερίων), μεθάνιο για τις γνωστές χρήσεις του, αιθυλένιο, που αποτελεί πρώτη ύλη για την παραγωγή προϊόντων μεγίστης βιομηχανικής σημασίας (στυρόλη, πολυαιθυλένιο, αιθυλενική γλυκόζη, χλωριούχο βινύλιο), το βουτυλένιο και το βουταδιένιο, τα συνθετικά ελαστικά. Το βουτάνιο εμφιαλώνεται για να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο αέριο ή για την παραγωγή ισοπροπυλικής αλκοόλης. Το προπάνιο και τα παράγωγά του, το ισοκτάνιο, η γλυκερίνη και μια μεγάλη σειρά ενδιάμεσων προϊόντων χρησιμεύουν ως πρώτες ύλες στην πετροχημική βιομηχανία.

## 2.8 Το Πετρέλαιο στην Ελλάδα

Όσον αφορά τον ελλαδικό χώρο συγκεκριμένα για την ύπαρξη κοιτασμάτων πετρελαίου, παλαιότερα οι απόψεις έτειναν να είναι αρνητικές, γιατί ενώ η γένεση των πετρελαίων προϋποθέτει μία μάλλον ήσυχη λεκάνη ιζηματογένεσης, η Ελλάδα θεωρείται μια ιδιαιτέρως επικίνδυνη ζώνη όσον αφορά σεισμικές δραστηριότητες και ειδικότερα η τάφος του Αιγαίου. Από το 1938, όπου και άρχισε με αρνητικά αποτελέσματα η έρευνα πετρελαίου στην Ελλάδα, ως σήμερα που συνεχίζεται με εντατικότερο ολοένα ρυθμό, οι απόψεις αυτές άλλαξαν, γιατί η μελέτη και οι έρευνες απέδειξαν ότι υπάρχουν κοιτάσματα πετρελαίου στην ελληνικό χώρο, τα οποία παρουσιάζουν όμως προβλήματα εκμετάλλευσης και οικονομικού ενδιαφέροντος. Ειδικότερα το Αιγαίο παρουσιάζεται σήμερα ως η πλέον πετρελαιοπιθανή περιοχή. Για τον τρόπο γένεσης των ελληνικών κοιτασμάτων επικρατεί η θεωρία ότι πρόκειται για πετρέλαιο μετανάστευσης με πιθανά μητρικά πετρώματα μέσα στον ελληνικό χώρο.

Το 1938 άρχισε η πρώτη έρευνα πετρελαίου στην βόρεια Πελοπόννησο, από την εταιρία «Χέλη», που εκτέλεσαι, κυρίως στην περιοχή Κατάκωλου-Κυλλήνης, έντεκα συνολικά γεωτρήσεις (1938-1939 και 1950-1954). Οι πριν από τον Β παγκόσμιο πόλεμο γεωτρήσεις έφτασαν τα 1350 m, ενώ της μεταπολεμικής περιόδου, τα 2370 m, όλες όμως είχαν αρνητικά αποτελέσματα. Έτσι, τα νεογενή στρώματα της Πελοποννήσου και η γύψος μπορεί να θεωρηθεί ότι έχουν πια ερευνηθεί. Το ίδιο έτος (1938) ως το 1940 και αργότερα, το 1956-1960 άλλη εταιρία, «Deilman-Ήλιος», ερεύνησε τη δυτική Θράκη με έξι γεωτρήσεις με αποτελέσματα και πάλι αρνητικά. Το 1960-1963 η εταιρία «Rap-Ήλιος», εκτέλεσε τέσσερις γεωτρήσεις, συνολικού μήκους 14000 μέτρων περίπου, από τις οποίες προέκυψαν ορισμένες ενδείξεις ύπαρξης κοιτασμάτων πετρελαίου χωρίς όμως οικονομικό ενδιαφέρον. Το 1960 η εταιρία «Esso» έκανε σημαντικές έρευνες μεγάλης έκτασης, με γεωφυσικά, γεωλογικά συνεργία στη δυτική Πελοπόννησο, Ζάκυνθο και Παξούς και εκτέλεσε πέντε γεωτρήσεις με όμως αρνητικά πάντα αποτελέσματα. Την ίδια εποχή περίπου, το



γαλλικό ινστιτούτο πετρελαίου (I.F.P.) αναλαμβάνει, με συνεργασία του ελληνικού ινστιτούτου γεωλογικών ερευνών υπεδάφους (Ι.Γ.Ε.Υ.), συστηματική έρευνα ανεύρεσης κοιτασμάτων πετρελαίου στην περιοχή κυρίως της Ηπείρου, Θεσσαλίας-Γρεβενών και στην πεδιάδα Θεσσαλονίκης. Η έρευνα περιλάμβανε γεωφυσικές διασκοπήσεις, μικροπαλαιοντολογική εξέταση των στρωμάτων, γεωλογική μελέτη και δεκαέξι συνολικά γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν από το ελληνικό δημόσιο. Από αυτές, έξι έγιναν στην Ήπειρο, πέντε στην Θεσσαλία-Γρεβενά και πέντε στην πεδιάδα Θεσσαλονίκης. Με τις γεωτρήσεις αυτές ερευνήθηκαν τα μολασσικά ιζήματα της Θεσσαλίας, που δεν παρουσιάζουν ενδιαφέρον, τα νεογενή της Θεσσαλονίκης, που αποκτούν ενδιαφέρον στην επέκτασή τους μέσα στο θρακικό πέλαγος και τριαδικά ιζήματα της Ηπείρου όπου το πρόβλημα παραμένει ανοιχτό. Η σοβαρότερη γεώτρηση έγινε στα Φιλιατρά, σε βάθος 3828 m, αλλά δεν κατόρθωσαν να διαπεράσουν τους εβαπορίτες που παρουσιάζουν μεγάλο πάχος. Οι ενδείξεις πετρελαίου που βρέθηκαν μέσα σε αυτούς δεν προσφέρουν οικονομικό κίνητρο, υπάρχουν όμως ελπίδες ότι κάτω από αυτούς είναι δυνατή η ύπαρξη εκμεταλλεύσιμων κοιτασμάτων και επομένως παραμένουν περιθώρια μελλοντικής έρευνας. Η εταιρία BP, το 1962-1963, εκτέλεσε δύο γεωτρήσεις στην περιοχή Κλεισούρας-Αστακού, από τις οποίες έφτασε τα 3323 m, ενώ η άλλη βάθους 4543 μέτρων, υπήρξε επιτυχής, όμως το κοίτασμα του πετρελαίου που βρέθηκε μέσα στους εβαπορίτες δεν είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμο. Η εταιρία «Safor» το 1963-1965 εκτέλεσε επίσης δύο γεωτρήσεις στην περιοχή της Ρόδου, χωρίς αποτελέσματα.

Τα τελευταία χρόνια πολλές ξένες εταιρίες δείχνουν ενδιαφέρον κυρίως για τις θαλάσσιες περιοχές της Ελλάδας, στις οποίες το κράτος παραχωρεί το δικαίωμα ερευνών και εκμετάλλευσης και ασκεί την εποπτεία των εργασιών: η «Texaco» εκτέλεσε, το 1970, δύο γεωτρήσεις στο Θερμαϊκό Κόλπο, ανεπιτυχείς όμως. Η «Oceanic Colorado» άρχισε το 1971 έρευνες κοντά στη Θάσο, με ελπιδοφόρα αποτελέσματα ως προς την ποιότητα και την ποσότητα των κοιτασμάτων. Στα τελευταία χρόνια, έρευνες στη θαλάσσια περιοχή της Θάσου κατάληξαν σε θετικά αποτελέσματα και πιθανότατα να οδηγήσουν σε μερική κάλυψη των αναγκών της χώρας στον τομέα του πετρελαίου.

## Κεφάλαιο 3 Διαχωριστές

### 3.1 Ορισμός

Ο όρος separator στο χώρο της πετρελαϊκής βιομηχανίας αναφέρεται ως ένα δοχείο πίεσεως, που χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό των υγρών εξόρυξης μίας πηγής πετρελαίου σε υγρά και αέρια παράγωγα. Ένας διαχωριστής πετρελαίου είναι ένα μεγάλο δοχείο σχεδιασμένο για να διαχωρίζει τα παραγόμενα υγρά στα στοιχειακά συστατικά του πετρελαίου, αερίου και νερού. Ένα διαχωριστικό δοχείο μπορεί να αναφερθεί και ως: Oil and gas separator, Separator, Stage Separator, Trap, Knockout vessel (knockout drum, knockout trap, water knockout or liquid knockout), Flash chamber, Expansion separator or expansion vessel, Scrubber, Filter. Αυτά τα διαχωριστικά δοχεία συνήθως χρησιμοποιούνται σε πλατφόρμες κοντά σε γεωτρήσεις, σε συλλέκτες ή σε δεξαμενή για το διαχωρισμό των υγρών που παράγονται από το πηγάδι πετρελαίου και αερίου σε κατάλληλα προϊόντα. Ως επί των πλείστων ένας διαχωριστής αποτελείται από τα παρακάτω μηχανικά μέρη: το δοχείο, το οποίο εμπεριέχει το αρχικό διαχωριστικό μηχανισμό, το δευτερεύοντα μηχανισμό, ο οποίος στηρίζεται στη βαρύτητα, επίσης μηχανισμό απομάκρυνσης σωματιδίων υγρού από τα αέρια, έξοδο για τα αέρια, έξοδο για το πετρέλαιο, έξοδο για το νερό και μηχανισμό διαχωρισμού αερίων από το υγρό. Επίσης χαρακτηρίζεται από επαρκή ογκομετρική χωρητικότητα υγρού, έτσι ώστε να μπορέσει να αντιμετωπίσει τις τριβές που εμφανίζονται στη γεώτρηση ή στη γραμμή διακίνησης, μέσα για τον έλεγχο των επιπέδων πετρελαίου μέσα στο διαχωριστή, το οποίο συνήθως εμπεριέχει έναν ελεγκτή στάθμης υγρού και μία βαλβίδα διαφράγματος στην έξοδο του πετρελαίου, επαρκή διαστασιολόγηση, έτσι ώστε να επιτρέπει την αδιάκοπη ροή και να μην υπάρχει κίνδυνος υπερχείλισης, μία βαλβίδα οπισθέλκουσας δύναμης στην έξοδο του αερίου έτσι ώστε να διατηρείται σταθερή η πίεση μέσα στο δοχείο, συσκευές εκτόνωσης της πίεσης.

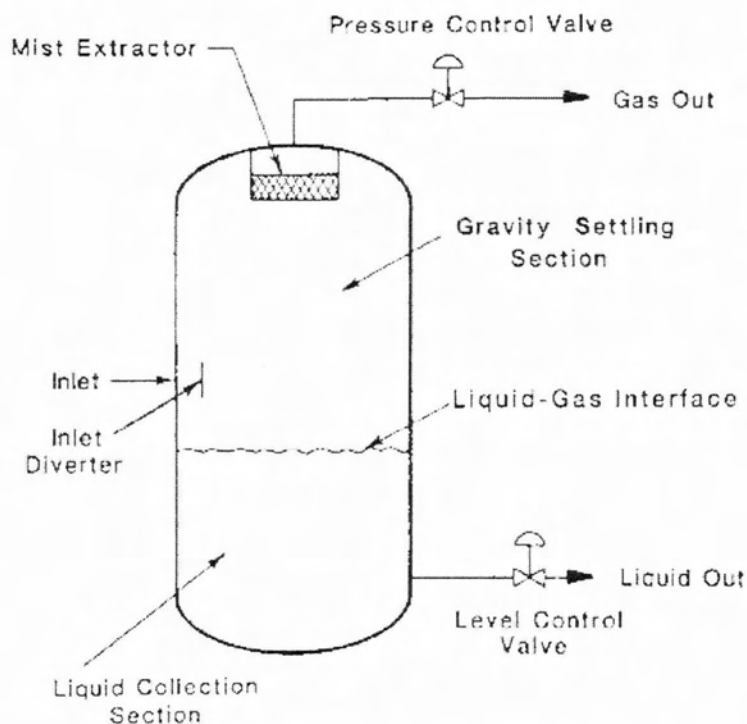
## 3.2 Κατηγορίες Διαχωριστών

### 3.2.1 Κατηγοριοποίηση βάσει Διάταξης

Οι διαχωριστές πετρελαίου αερίου έχουν γενικά τρεις διαφορετικές διατάξεις:

- κατακόρυφες
- οριζόντιες
- σφαιρικές

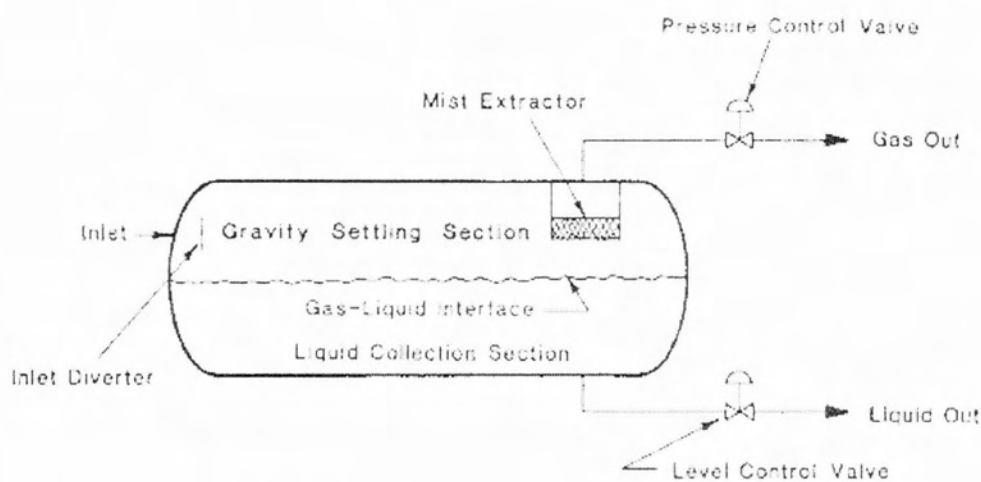
Οι κατακόρυφες μπορεί να διαφέρουν σε κλάσεις μεγέθους μπορεί να κυμαίνονται από 25 cm έως 30 cm σε διάμετρο και 1 έως 1,5 m από αρμό σε αρμό ή από 3 έως 3,5 m σε διάμετρο και 4,5 έως 7,5 m από αρμό σε αρμό.



Σχήμα 3.1 Σχέδιο κατακόρυφου διαχωριστή δύο σταδίων [9]

Οι οριζόντιοι διαχωριστές μπορεί και αυτοί να έχουν διάφορα μεγέθη, καθώς μπορεί να ξεκινούν από 25 με 30 cm και να φτάνουν μέχρι 4,5 με σχεδόν 5 m όσον

αφορά τη διάμετρο και την απόσταση από αρμό σε αρμό μπορεί να είναι από 1,2 με 1,5 m έως 18 με 21 m. Οι οριζόντιοι διαχωριστές κατασκευάζονται ως monotube ή ως dual-tube shells. Οι monotube έχουν μεγαλύτερο χώρο για την αέρια ροή, αλλά και μεγαλύτερη διεπιφάνεια από ότι οι dual tube αντίστοιχου κόστους. Ο monotube μπορεί συνήθως να προσφέρει μεγαλύτερο χρόνο κράτησης, καθώς λόγω του μακρύτερου μήκους του χωρά μεγαλύτερη ποσότητα όγκου μείγματος από ότι ένας dual-tube. Είναι επίσης ευκολότερο να καθαριστεί σε σχέση με τον dual-tube. Σε ψυχρές καιρικές συνθήκες, το ψύχος είναι πιθανόν να δημιουργήσει μικρότερα προβλήματα, καθώς το ρευστό είναι συνήθως σε στενή επαφή με το ζεστό ρεύμα που κινείται μέσα στο διαχωριστή.



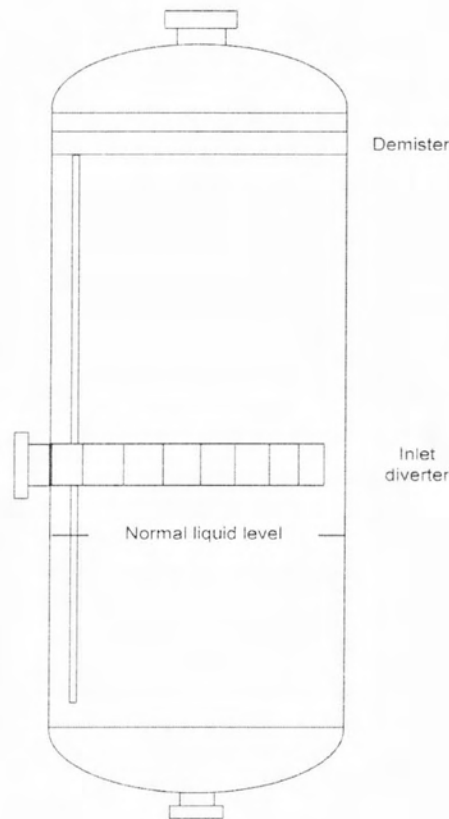
Σχήμα 3. 2 Σχέδιο οριζόντιου διαχωριστή δύο σταδίων [9]

Οι σφαιρικοί διαχωριστές είναι συνήθως διαθέσιμοι σε διαστάσεις των 60 με 75 εκατοστών έως και 1,6 με 1,85 m σε διάμετρο.[10]

### 3.2.2 Κατηγοριοποίηση βάσει σταδίων Λειτουργίας

Οι τρεις διατάξεις που προαναφέρθηκαν είναι διαθέσιμες για λειτουργία δύο φάσεων, αλλά και τριών φάσεων. Στις διφασικές μονάδες, το αέριο διαχωρίζεται από το υγρό με το αέριο και το υγρό να αποβάλλονται χωριστά. Οι διαχωριστές πετρελαίου-αερίου είναι μηχανικά σχεδιασμένοι, έτσι ώστε τα υγρά και αέρια προϊόντα να χωρίζονται από τους ατμούς των υδρογονανθράκων σε ορισμένη πίεση και θερμοκρασία. Στους τριφασικούς διαχωριστές, το μείγμα διαχωρίζεται σε πετρέλαιο, αέριο και νερό με τις τρεις φάσεις να αποβάλλονται χωριστά. Το τμήμα της διαδικασίας του αφορά το διαχωρισμό αερίου-υγρού διέπεται από τη μέγιστη

διάσταση αφαίρεσης σταγονιδίων, ενώ το τμήμα πετρελαίου-νερού διαχωρίζεται βασιζόμενο στο χρόνο διαχωρισμού που προσφέρεται από τη διαστασιολόγηση του δοχείου του διαχωριστή [11].



Σχήμα 3. 3 Εικόνα κατακόρυφου διαχωριστή [12]

### 3.2.3 Κατηγοριοποίηση βάσει Αρχών Λειτουργίας

#### **Βαρυτικοί Διαχωριστές**

Αυτή η μέθοδος διαχωρισμού βασίζεται στη δύναμη της βαρύτητας για το διαχωρισμό των συστατικών μίας ροής. Διέπεται από τη διαφορά πυκνότητας. Στην περίπτωση του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, το πετρέλαιο θα κατακαθίσει στον πυθμένα του διαχωριστή και το αέριο θα παραμείνει στο πάνω τμήμα. Για να συμβεί κάτι τέτοιο πρέπει να παρέλθει κάποιος χρόνος. Αυτός ο χρόνος καθορίζεται από τη σχετική ταχύτητα ανάμεσα στην υγρή και στην αέρια ροή. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά στην πυκνότητα αντιστοίχως μεγάλη θα είναι και η διαφορά στο μέτρο της ταχύτητας, κάτι που θα οδηγήσει σε μικρότερο χρόνο καθίζησης. Όπως είναι κατανοητό, όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος καθίζησης, τόσο μεγαλύτερο πρέπει

να είναι και το μήκος του διαχωριστή. Βάσει της κλίσης, οι διαχωριστές χωρίζονται σε κατακόρυφους και οριζόντιους όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Οι οριζόντιοι συνήθως χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που η ροή ορίζεται από την υγρή φάση, ενώ οι κατακόρυφοι στις περιπτώσεις που η ροή ορίζεται από την αέρια φάση της. Αυτό συμβαίνει επειδή οι οριζόντιοι διαχωριστές διαχωρίζουν βάσει της απόστασης που διανύεται από το μείγμα που οδηγεί σε αυξημένο μήκος της κατασκευής, ενώ στους κατακόρυφους απαιτείται μεγαλύτερη επιφάνεια συσσωμάτωσης που επιτυγχάνεται με την αύξηση της διαστασιολόγησης της κατασκευής στην κατακόρυφη διεύθυνση.[13]

Μία βασική εξίσωση για των υπολογισμό για την απαιτούμενη απόσταση μπορεί να διατυπωθεί λαμβάνοντας υπόψη τη βαρύτητα, την άνωση και τις δυνάμεις τριβής που ασκούνται στο μείγμα κατά το διαχωρισμό. Φυσικά, μία τέτοια εξίσωση ισχύει κάτω από κάποιες παραδοχές, όπως τον τύπο της ροής και τη σφαιρικότητα των σταγόνων.

$$\sum F = m_p a = F_g - F_b - F_D$$

$$F_g = m_p g$$

$$F_b = p_f \nabla_p g$$

$$F_D = \frac{1}{2} C_D A_p p_f w^2$$

$$\sum F = m_p g - p_f \nabla_p g - \frac{1}{2} C_D A_p p_f w^2$$

Στην περίπτωση του νερού και του πετρελαίου όμως όπου οι πυκνότητές τους δεν παρουσιάζουν και ιδιαίτερη διαφοροποίηση, το μέγεθος του διαχωριστή ενδείκνυται να είναι μεγάλο. Σε αυτού του τύπου το διαχωρισμό εκτός από την ύπαρξη της βαρυτικής δύναμης εμφανίζεται και η δύναμη της τριβής, η οποία δρα στην αντίθετη κατεύθυνση από αυτή του διαχωρισμού.

Ένα αρκετά σημαντικό κομμάτι στην απόδοση και την αποτελεσματικότητα του διαχωριστή είναι η διάμετρος των σταγονιδίων των επιμέρους ουσιών στο μείγμα. Αυτό ισχύει, διότι όσο μικρότερα είναι τα σταγονίδια τόσο δυσκολότερο είναι να περάσουν στην άλλη φάση και αυτό θα οδηγήσει σε μεγαλύτερους χρόνους κατακάθισης ή σε αρκετά μικρές διαμέτρους δεν θα μπορέσει να γίνει διαχωρισμός. Το ίδιο μπορεί να ειπωθεί και για το ιξώδες, καθώς εάν φτάσει σε υψηλές τιμές η αντίσταση που θα παρουσιάσει το μείγμα στην κίνησή του θα μεγαλώσει, καθώς και ο απαιτούμενος χρόνος για το διαχωρισμό. Για μείγματα με υψηλό ιξώδες, η

διαδικασία του διαχωρισμού παρουσιάζει αρκετά προβλήματα και για αυτό το λόγο γίνεται προθέρμανση του μείγματος πριν την είσοδό τους στο διαχωριστή.

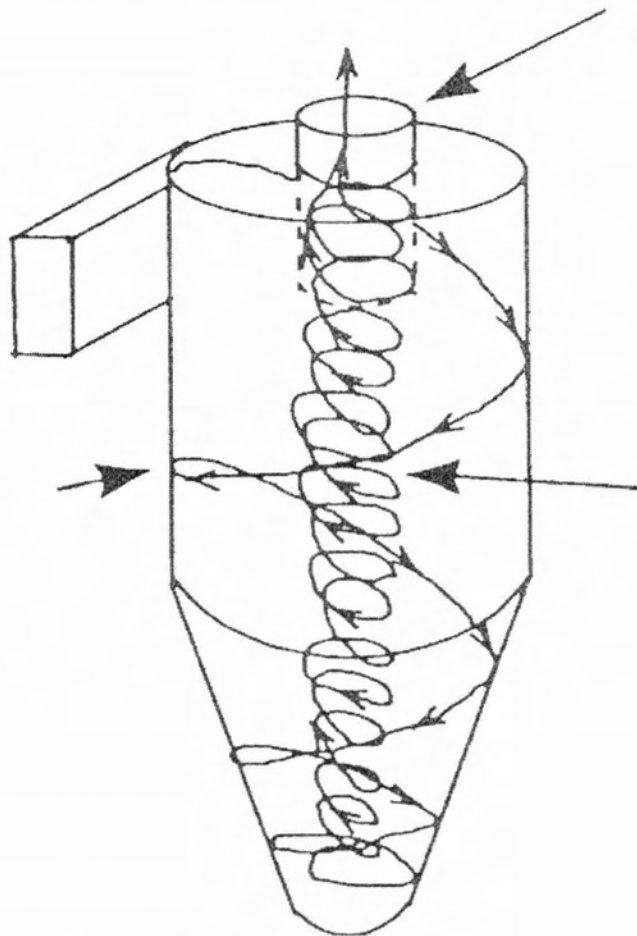
Όπως είναι γνωστό, μία πυκνότερη ουσία μετά από κάποιο χρονικό διάστημα θα συναντήσει στο εσωτερικό της μία λιγότερη πυκνή φάση. Τότε, η πυκνότερη φάση, σε αυτήν την περίπτωση το υγρό, θα θέσει τον εαυτό του στο κάτω μέρος, ενώ το αέριο θα παραμείνει στην κορυφή. Για να συμβεί αυτό χρειάζεται κάποιος χρόνος καθίζησης που εξαρτάται κυρίως από την σχετική ταχύτητα μεταξύ των δύο.

Η ροή μπορεί να καθορίζεται από το πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο. Φυσικά, μπορεί να καθορίζεται κάποιες φορές και από το νερό. Στην προκειμένη μέθοδο, γίνεται κατά κόρον χρήση της βαρυτικής δύναμης που στηρίζεται στη διαφορά των πυκνοτήτων για τον επαρκή διαχωρισμό των φάσεων και τη δημιουργία δύο ή τριών ροών εξόδου από το διαχωριστή [14].

### **Κυκλωνικοί Διαχωριστές**

Για την επίτευξη του διαχωρισμού υπάρχουν και οι κυκλωνικοί διαχωριστές. Οι κυκλωνικοί διαχωριστές στηρίζονται στην επιβαλλόμενη κυκλωνική περιστροφή, η οποία συμπεριφέρεται με παρόμοιο τρόπο με τις βαρυτικές δυνάμεις που αναφέραμε παραπάνω και τα βαρύτερα σωματίδια ή την υγρή φάση στην προκειμένη περίπτωση, ενώ τα ελαφρύτερα, δηλαδή η αέρια φάση παραμένουν στο κέντρο. Αυτή η επιβαλλόμενη περιστροφή οδηγεί στην εμφάνιση δυνάμεων αρκετά μεγαλύτερων από αυτών της βαρύτητας και εκτός αυτού οι βαρυτικές δυνάμεις είναι παρούσες και σε αυτή την περίπτωση. Η βασική διαφοροποίηση ανάμεσα στις δύο μεθόδους έγκειται στην μεγάλη διαφορά της φυγοκεντρικής δύναμης σε σχέση με την δυνάμεις που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Ένας κυκλωνικός διαχωριστής αποτελείται από μια είσοδο, το σώμα και δύο εξόδους. Μπορεί να διαχωρίσει μόνο έως δύο διαφορετικές ροές. Η είσοδος του διαχωριστή είναι υπεύθυνη για την επιβολή μίας κυκλωνικής ή περιστροφικής ροής κατά μήκος του σώματος του διαχωριστή και με τον έλεγχο της πίεσης των βαλβίδων σε κάθε έξοδο του διαχωριστή γίνεται κάποια διαχείριση για την αποτελεσματικότητα του διαχωρισμού [16].



Σχήμα 3. 4 Κυκλωνικός διαχωριστής [15]

### 3.2.4 Κατηγοριοποίηση βάσει Εφαρμογής

Με αυτό το κριτήριο οι διαχωριστές κατηγοριοποιούνται στους εξής:

- δοκιμαστικούς
- παραγωγής
- χαμηλής θερμοκρασίας
- μετρητικούς

Οι δοκιμαστικοί διαχωριστές χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό και τη μέτρηση των υγρών. Ένας δοκιμαστικός διαχωριστής μπορεί να θεωρηθεί ως ένα όργανο επιθεώρησης ενός πηγαδιού. Η διάταξη ενός δοκιμαστικού διαχωριστή μπορεί να ποικίλλει. Το ίδιο συμβαίνει και για τα στάδια λειτουργίας του. Η ιδιαιτερότητα που παρουσιάζουν είναι ότι μπορούν να είναι σταθερό κομμάτι των εγκαταστάσεων, αλλά και αποσπώμενο. Οι δοκιμαστικοί διαχωριστές είναι



εξοπλισμένοι με διάφορα όργανα, ανάλογα με τη εκάστοτε λειτουργία που καλούνται να επιτελέσουν.

Οι διαχωριστές παραγωγής χρησιμοποιούνται για το διαχωρισμό του εξορυγμένου μείγματος ενός πηγαδιού ή μίας ομάδας πηγαδιών σε συνεχή ή διακοπτόμενη λειτουργία. Όπως και με τους δοκιμαστικούς διαχωριστές η διάταξη και τα στάδια λειτουργίας τους μπορεί να ποικίλουν με την περίπτωση. Οι διαστάσεις τους κυμαίνονται από 30 εκ. έως 4,5 μ. σε διάμετρο, με τις περισσότερες μονάδες να είναι ανάμεσα στα 75 εκ. και στα 3 μ. Επιπλέον κυμαίνονται όσον αφορά το μήκος τους από τα 2 μ. έως τα 20 μ., με κύριο εύρος 3 μ. έως 12 μ [17].

Ένας διαχωριστής χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται σε ειδικές περιπτώσεις, όπου ένα πηγάδι υψηλής πίεσης συνδέεται με έναν στραγγαλιστή ή μία βαλβίδα μείωσης της πίεσης, με αποτέλεσμα την αισθητή μείωση της θερμοκρασίας του εξορυγμένου μείγματος. Η μείωση της θερμοκρασίας λαμβάνει χώρα λόγω του φαινομένου Joule-Thomson με τη διαστολή του καθώς διέρχεται από τον στραγγαλιστή ή τη βαλβίδα και εισέρχεται στο διαχωριστή. Η χαμηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας οδηγεί σε προβλήματα με την αέρια φάση, που συμπεριφέρεται με διαφορετικό τρόπο λόγω της προκείμενης διαφοράς θερμοκρασίας. Για αυτό το λόγο τα προϊόντα που λαμβάνονται σε υγρή μορφή πλέον αντί σε αέρια επιτάσσουν μία διαδικασία σταθεροποίησης για την αποφυγή υπερβολικής διαστολής τους λόγω μετατροπής τους σε αέρια μορφή στους χώρους αποθήκευσής τους.

Ο διαχωρισμός των υγρών ενός πηγαδιού, αλλά και τη μέτρηση των προϊόντων που προκύπτουν από αυτή τη διαδικασία μπορούν να γίνουν σε ένα δοχείο. Ο διαχωριστής που επιτελεί το συνδυασμό αυτών των διαδικασιών είναι ο μετρητικός διαχωριστής. Οι μετρητικοί είναι διαθέσιμοι σε δύο και τριών σταδίων λειτουργίας. Οι μονάδες αυτές χρησιμοποιούνται σε ειδικές περιπτώσεις όπου χρειάζεται η μέτρηση του παραγόμενου αφρού, καθώς και περιπτώσεις πετρελαίου υψηλού ιξώδους.[18]

### **3.3 Διαχωριστές στην Παραγωγική Διαδικασία**

Όπως περιγράφηκε νωρίτερα, το εξορυγμένο προϊόν μπορεί να αποτελείται από αργό πετρέλαιο, φυσικό αέριο, συμπυκνώματα, νερό και διάφορους ρυπαντές. Ο σκοπός των διαχωριστών είναι να διαχωρίσουν τη ροή σε επιθυμητά κλάσματα.

Οι δοκιμαστικοί διαχωριστές χρησιμοποιούνται για να διαχωριστούν τη ροή του πηγαδιού από μία ή περισσότερες πηγές για να ανάλυση και λεπτομερή μέτρηση της ροής, με τον τρόπο αυτό, η συμπεριφορά κάθε πηγαδιού κάτω από διαφορετικές

πίεσεις μπορεί να διευκρινιστεί. Αυτό κανονικά λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της εξόρυξης και αργότερα σε τακτά διαστήματα (συνήθως 1-2 μήνες), και μετρά τη συνολική και επιμέρους ταχύτητες ροής κάτω από διαφορετικές συνθήκες παραγωγής. Ανεπιθύμητες συνέπειες όπως τριβή ή άμμος μπορούν επίσης να προσδιοριστούν. Τα διαχωρισμένα συστατικά αναλύονται στο εργαστήριο για τον προσδιορισμό της σύστασης υδρογονανθράκων του υγρού ανάλυσης.

Οι δοκιμαστικοί διαχωριστές μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή καύσιμου αερίου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όταν η κύρια διαδικασία δεν εκτελείται. Εναλλακτικά, ένας μετρητής τριφασικής ροής μπορεί να χρησιμοποιηθεί προς εξοικονόμηση βάρους.

Οι κύριοι διαχωριστές που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα είναι τύπου βαρύτητας στα δεξιά φαίνονται τα κύρια συστατικά γύρω από το πρώτο στάδιο διαχωρισμού. Ο στραγγαλιστής μειώνει την πίεση του πηγαδιού και μαζί με το πρώτο στάδιο διαχωρισμού φτάνει τα 3-5 MPa. Η θερμοκρασία εισόδου έχει συνήθως εύρος 100 με 150°C.

Η πίεση είναι συχνά μειωμένη σε αρκετά στάδια. Σε αυτή την περίπτωση, χρησιμοποιούνται 3 στάδια για να επιτρέπουν τον ελεγχόμενο διαχωρισμό πτητικών συστατικών. Ο σκοπός είναι να επιτευχθεί μέγιστη ανάκτηση υγρού και σταθεροποίηση πετρελαίου και φυσικού αερίου, καθώς και διαχωρισμός νερού. Μία μεγάλη πτώση πίεσης σε έναν ενιαίο διαχωριστή θα προκαλέσει στιγμιαία εξάτμιση, οδηγώντας σε κινδύνους αστάθειας.

Η περίοδος διατήρησης είναι συνήθως πέντε λεπτά, επιτρέποντας στο αέριο να διαχωριστεί από το υγρό σε μορφή φυσαλίδων, το νερό να κατακάθεται στον πυθμένα και το πετρέλαιο να δεσμευτεί στη μέση. Σε αυτή την πλατφόρμα το ποσοστό νερού στο πηγάδι είναι σχεδόν 40%, το οποίο είναι αρκετά υψηλό. Στο πρώτο στάδιο διαχωρισμού, η περιεκτικότητα σε νερό συνήθως μειώνεται σε λιγότερο από 5%.

Στην είσοδο του αργού πετρελαίου υπάρχει ένα διάφραγμα που μειώνει την επίδραση της τριβής, η οποία προκαλείται από μεγάλες φυσαλίδες αερίου ή υγρού. Ωστόσο, κάποια τύρβη είναι επιθυμητή, καθώς έτσι θα απελευθερωθούν ταχύτερα φυσαλίδες αερίου, σε σχέση με τη στρωτή ροή.

Τελικά, υπάρχουν εμπόδια έως ένα επίπεδο για το διαχωρισμό νερού πετρελαίου. Οι κύριοι βρόγχοι ελέγχου είναι ο βρόγχος ελέγχου της στάθμης του πετρελαίου που ελέγχει τη ροή του πετρελαίου στο διαχωριστή και ο βρόγχος ελέγχου πίεσης του αερίου. Οι βρόγχοι λειτουργούν βάσει ενός συστήματος ελέγχου. Μία άλλη σημαντική λειτουργία είναι να εμποδίζουν το αέριο να εκτονωθεί, που συμβαίνει όταν η στάθμη πετρελαίου είναι χαμηλή και αυτό οδηγεί το αέριο να

εξέλθει από την έξοδο του πετρελαίου, προκαλώντας υψηλή πίεση ρεύματος. Υπάρχουν γενικά πολλά περισσότερα όργανα και συσκευές ελέγχου που τοποθετούνται στο διαχωριστή.[19]

Τα υγρά εξόδου από το διαχωριστή θα είναι εξοπλισμένα με vortex breakers, για να μειώνουν τις διαταραχές στην πλατφόρμα υγρού στο εσωτερικό. Αυτό είναι ουσιαστικά μία φλάντζα παγίδευσης για να διαλύσει τυχόν σχηματισμούς δινών και να διασφαλίσει ότι μόνο διαχωρισμένα υγρά θα εξέλθουν από το διαχωριστή και όχι αναμειγμένο με πετρέλαιο ή νερό. Ομοίως, οι εξοδοί αερίου είναι εξοπλισμένοι με demister, που είναι απαραίτητα φίλτρα για την απομάκρυνση των σταγονιδίων υγρού από το αέριο.

Για μία κατασκευή που υποστηρίζει παραγωγή 45000 βαρελιών πετρελαίου τη μέρα με φυσικό αέριο και 40% κλάσμα νερού θα αποδώσει περίπου 10 κυβικά m από την κεφαλή του πηγαδιού ανά λεπτό. Υπάρχει επίσης ανάγκη για επαρκή ικανότητα για τη διαχείριση της τριβής από τα πηγάδια ή του ανυψωτές. Αυτό σημαίνει ότι ο διαχωριστής πρέπει να έχει μέγεθος περίπου στα 100 κυβικά m, για παράδειγμα, ένας κυλινδρικός διαχωριστής 3 μέτρων διαμέτρου και 14 μέτρων μήκους στην προβλεπόμενη πίεση λειτουργίας. Αυτό συνεπάγεται ένα αρκετά βαρύ κομμάτι εξοπλισμού, περίπου στους 50 τόνους, το οποίο περιορίζει πρακτικώς τον αριθμό των σταδίων. Άλλοι τύποι διαχωριστών, όπως οι κατακόρυφοι ή οι κυκλωνικοί διαχωριστές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για βελτίωση βάρους, χώρου ή του ιδίου του διαχωρισμού.

Είναι επιπλέον σημαντικό να υπάρχει μία ορισμένη ελάχιστη πτώση πίεσης ανάμεσα στα στάδια που επιτρέπει μία επιθυμητή επίδοση στην πίεση και στους βρόγχους ελέγχου.

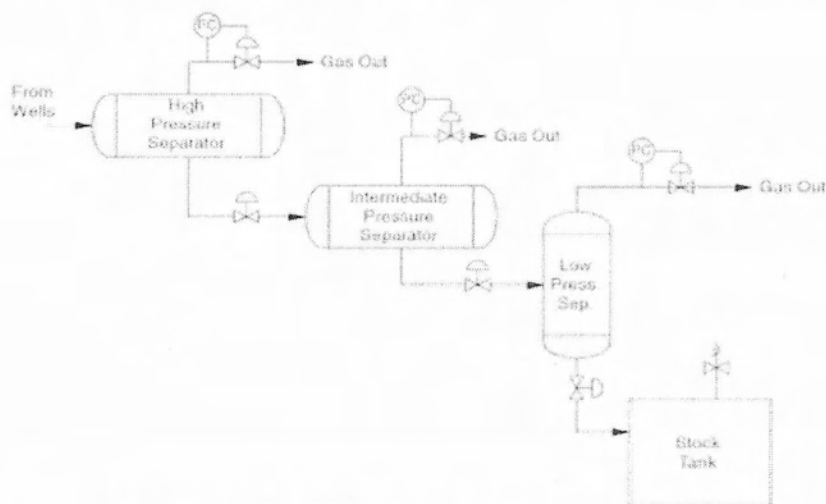
Το δεύτερο στάδιο του διαχωρισμού είναι παρόμοιο με το πρώτο. Εκτός από την έξοδο του πρώτου σταδίου δέχεται και υγρά από το πηγάδι, αλλά που έχουν χαμηλή πίεση. Η πίεση πλέον είναι περίπου 1 MPa και η θερμοκρασία περίπου στους 100°C. Η σύσταση του υγρού σε νερό θα μειωθεί στο 2% μετά από αυτό το βήμα.

Ένας καυστήρας πετρελαίου μπορεί να τοποθετηθεί ανάμεσα στο διαχωριστή πρώτου και δεύτερου σταδίου, έτσι ώστε να αναθερμάνει το μείγμα που εισάγεται στο δεύτερο διαχωριστή. Αυτό κάνει ευκολότερο το διαχωρισμό του νερού, όταν το κλάσμα του νερού είναι μεγάλο και η θερμοκρασία χαμηλή. Ο εναλλάκτης θερμότητας είναι συνήθως σε σχήμα κελύφους ή σωληνώσεων και το μείγμα έρχεται σε επαφή με τον εναλλάκτη φτάνοντας την επιθυμητή θερμοκρασία.

Το τελικό στάδιο διαχωρισμού είναι ένα διαχωριστής δύο φάσεων. Η πίεση πέφτει πλέον στα επίπεδα της ατμοσφαιρικής, έτσι ώστε τα τελευταία κλάσματα του φυσικού αερίου να μπορούν να αποδεσμευτούν από το μείγμα. Σε ορισμένες

διεργασίες που η αρχική θερμοκρασία είναι χαμηλή, μπορεί να είναι απαραίτητο να θερμανθεί το υγρό ξανά πριν εισαχθεί στο διαχωριστή για να επιτευχθεί ο ολικός διαχωρισμός. Σε αυτό το στάδιο υπάρχουν βρόγχοι ελέγχου της στάθμης, αλλά και της πίεσης.

Ως εναλλακτική, όταν η παραγωγή είναι κυρίως φυσικό αέριο και το εναπομείναν υγρό πρέπει να διαχωριστεί, ο διαχωριστής δύο φάσεων μπορεί να αντικατασταθεί από έναν knock-out drum [1].



Σχήμα 3. 5 Σχεδιάγραμμα λειτουργίας γραμμής διαχωριστών στην παραγωγική διαδικασία [9]

### 3.4 Κριτήρια για την επιλογή τύπου διαχωριστή

Όσον αφορά την επιλογή του διαχωριστή η κάθε περίπτωση διαφέρει, καθώς διαφέρει το δείγμα, αλλά και ο σκοπός της διεργασίας. Η κύρια διαφοροποίηση θα μπορούσε να πει κάποιος ότι είναι ο προσανατολισμός του διαχωριστή. Στους οριζόντιους ο διαχωρισμός είναι πιο αποτελεσματικός, καθώς οι σταγόνες-φουσαλίδες διαχωρίζονται παράλληλα με τη ροή. Για τα στερεά κομμάτια του μείγματος ο κατακόρυφος διαχωριστής είναι κατάλληλος, καθώς αφαιρούνται ευκολότερα από τον πυθμένα της κατασκευής. Για τον έλεγχο της ροής, ο κατακόρυφος είναι πιο διαχειρίσιμος, αφού είναι μικρότερος σε μήκος. Για τα προβλήματα αφρού μέσα στο διαχωριστή, ο οριζόντιος λειτουργεί καλύτερα, καθώς έχει μεγαλύτερη επιφάνεια διαφυγής για τις φουσαλίδες. Τέλος, αν και δεν αφορά το αποτέλεσμα ή τη λειτουργία, η εξοικονόμηση χώρου σε πολλές περιπτώσεις είναι πολύ σημαντική και σε αυτό τον τομέα υπερισχύουν οι κατακόρυφοι.[20]

## Κεφάλαιο 4. Θεωρία Λειτουργίας Διαχωριστών

### 4.1 Ταχύτητα Κατακάθισης

#### 4.1.1 Διαχωριστής δύο σταδίων

Χρησιμοποιώντας την κατηγοριοποίηση των διαχωριστών βάσει των σταδίων λειτουργίας τους θα μελετηθούν παρακάτω οι εξισώσεις και οι όροι με τους οποίους λειτουργούν, αλλά και διαστασιολογούνται οι διαχωριστές. Ένα από τα σημαντικότερα μεγέθη που χαρακτηρίζει ένα διαχωριστή είναι ο χρόνος κατακάθισης, ο οποίος καθορίζεται απόλυτα από την ταχύτητα κατακάθισης. Στο διαχωριστή δύο σταδίων υπάρχει μόνο μία ταχύτητα, καθώς διαχωρίζει μόνο πετρέλαιο με αέριο, ενώ στον τριών σταδίων υπάρχει και ο διαχωρισμός μεταξύ πετρελαίου και νερού. Κάτι τέτοιο όμως δεν έχει αντίκτυπο και στις εξισώσεις, καθώς δε μεταβάλλονται τα μαθηματικά ή η φυσική, παρά μόνο ο υπολογισμός, καθώς υπάρχει αισθητή διαφορά στην αντικατάσταση των μεγεθών των εξισώσεων κάθε φορά.

Στο διαχωριστή δύο σταδίων η ταχύτητα κατακάθισης ορίζεται ως:

$$V_i = \frac{1.78 \cdot 10^{-6} (\Delta S.G.) d_m^2}{\mu}$$

$V_i$  = ταχύτητα κατακάθισης σταγονιδίου σε ft/s

$\Delta S.G.$  = διαφορά μεταξύ της ειδικής βαρύτητας του αερίου και του πετρελαίου σε σχέση με το νερό

$d_m$  = διάμετρος σταγονιδίου σε  $\mu\text{m}$

$\mu$  = ιξώδες του αερίου σε cp

Απόδειξη

Για χαμηλούς αριθμούς Reynolds ισχύει:

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

Επίσης είναι γνωστό ότι η δύναμη της τριβής ισούται με:

$$F_D = C_D A \rho \left[ \frac{V_t^2}{2g} \right]$$

$F_D$  = δύναμη τριβής σε lb

$C_D$  = συντελεστής τριβής

$A$  = διεπιφάνεια σταγονιδίου σε  $ft^2$

$\rho$  = πυκνότητα σε συνεχή φάση σε  $lb/ft^3$

$g$  = σταθερά βαρύτητας με τιμή  $32.2 \text{ ft/s}^2$

οπότε έχουμε:

$$F_D = C_D A \rho \frac{V^2}{2g} = \frac{24}{Re} \left( \pi \frac{D^2}{4} \right) \rho \frac{V^2}{2g}$$

$$F_D = \frac{24}{\frac{\rho_g D \nu}{g \mu'}} \left( \pi \frac{D^2}{4} \right) \rho \frac{V^2}{2g}$$

$D$  = διάμετρος σταγονιδίου σε ft

$\mu'$  = ιξώδες σε  $lb\text{-sec}/ft^2$

$F_D = 3\pi \mu' DV$  από το νόμο του Stokes

Η δύναμη της άνωσης ισούται:

$$F_B = (p_l - p_g) \frac{\pi D^3}{6}$$

Θέτοντας  $F_B = F_D$  έχουμε:

$$3\pi\mu'VD = (p_l - p_g) \frac{\pi D^3}{6}$$

$$V_t = \frac{(p_l - p_g) D^2}{18\mu'}$$

$$\mu' = \mu(2.088 * 10^{-5})$$

$\mu'$  = ιζώδες σε cp

$d_m$  = διάμετρος σε  $\mu\text{m}$

S.G. = ειδική βαρύτητα σε σχέση με το νερό

$$D = 3.281 * 10^{-6} d_m$$

$$p_l = 62.4(S.G.)$$

$$p_g = 62.4(S.G.)$$

$$V_t = \frac{62.4(\Delta S.G.) (3.281 * 10^{-6} d_m)^2}{18\mu(2.088 * 10^{-5})}$$

$$V_t = \frac{1.78 * 10^{-6} (\Delta S.G.) d_m^2}{\mu} \quad [21]$$

Δυστυχώς όμως στην παραγωγική διαδικασία υπάρχουν αποκλίσεις από το νόμο του Stokes και ο συντελεστής τριβής που παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα είναι:

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{Re^{\frac{1}{2}}} + 0.34$$

με αποτέλεσμα να προκύπτει μία νέα σχέση για την ταχύτητα κατακάθισης:

$$V_t = 0.0199 \left[ \left( \frac{p_l - p_g}{p_g} \right) \frac{d_m}{C_D} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$\rho_l =$  πυκνότητα ρευστού σε lb/ft<sup>3</sup>

$\rho_g =$  πυκνότητα αερίου στις συνθήκες του διαχωριστή σε lb/ft<sup>3</sup>

Απόδειξη

$$F_D = C_D A \rho_g \frac{V^2}{2g} = C_D \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) \rho_g \frac{V^2}{2g}$$

$$F_D = F_B$$

$$C_D = \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) \rho_g \frac{V^2}{2g} = (\rho_l - \rho_g) \frac{\pi D^3}{6}$$

$$V_t = 6.55 \left[ \left( \frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g} \right) \frac{D}{C_D} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$D = d_m (3.281 \cdot 10^{-6})$$

$$V_t = 0.0199 \left[ \left( \frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g} \right) \frac{D}{C_D} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Αυτός όμως ο υπολογισμός δεν αποτελεί τελική εξίσωση καθώς γίνεται κατά προσέγγιση και για αυτό το λόγο απαιτεί μία επαναληπτική διαδικασία έτσι ώστε να φτάσουμε στο αποτέλεσμα με προσέγγιση που επιθυμούμε.

για  $C_D=0.34$  στην σχέση (1) έχω:

$$V_t = 0.0204 \left[ \left( \frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g} \right) d_m \right]^{\frac{1}{2}}$$

μετά υπολογισμός του αριθμού Reynolds

$$Re = 0.0049 \frac{\rho_g d_m V}{\mu}$$



$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{Re^{\frac{1}{2}}} + 0.34$$

Γίνεται επαναυπολογισμός της ταχύτητας από την (1) και ξεκινώ την επαναληπτική διαδικασία επιστέφοντας στον υπολογισμό του αριθμού Reynolds και ούτω καθεξής έως ότου η διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων της ταχύτητας φτάσει στα επιθυμητά επίπεδα απόκλισης που έχω επιλέξει.

#### 4.1.2 Διαχωριστής τριών σταδίων

Όσον αφορά την ταχύτητα κατακάθισης του αερίου ισχύουν οι εξισώσεις που μελετήθηκαν και αποδείχθηκαν παραπάνω. Για το διαχωρισμό του νερού με το πετρέλαιο από την άλλη η εξίσωση που υπολογίζει την ταχύτητα καθίζησης είναι η εξής:

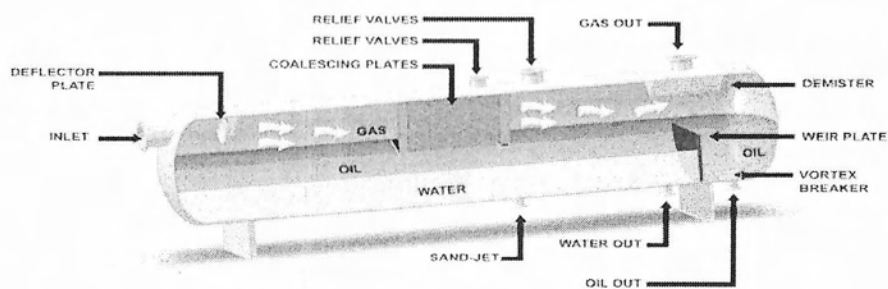
$$V_i = \frac{1.78 \cdot 10^{-6} (\Delta S.G.) d_m^2}{\mu}$$

$V_i$  = ταχύτητα κατακάθισης σε ft/s

$\Delta S.G.$  = διαφορά ειδικής βαρύτητας μεταξύ νερού και πετρελαίου

$d_m$  = διάμετρος σταγονιδίων σε  $\mu\text{m}$

$\mu$  = ιξώδες συνεχούς φάσης σε cp



Σχήμα 4. 1. Οριζόντιος διαχωριστής τριών σταδίων [23]

## 4.2 Θεωρία Διαστασιολόγησης Διαχωριστών

Εδώ θα χρησιμοποιηθεί ακόμη μία κατηγοριοποίηση των διαχωριστών βάσει της διάταξής τους, δηλαδή σε οριζόντιους και κατακόρυφους. Μελέτη για τους σφαιρικούς δεν θα γίνει λόγω της περιορισμένης χρήσης τους. Η διαστασιολόγηση ενός διαχωριστή γίνεται βάσει κάποιων περιορισμών, συγκεκριμένα την απαιτούμενη χρηστικότητα σε αέριο και την απαιτούμενη χωρητικότητα σε ρευστό.

### 4.2.1 Οριζόντιος διαχωριστής δύο σταδίων

#### Χωρητικότητα Αερίου

$$dL_{\text{eff}} = 420 \left[ \frac{TZQ_g}{P} \right] \left[ \left( \frac{p_g}{p_l - p_g} \right) \frac{C_D}{d_m} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$d$  = εσωτερική διάμετρος δοχείου σε in

$L_{\text{eff}}$  = μήκος δοχείου στο οποίο λαμβάνει χώρα διαχωρισμός σε ft

$T$  = θερμοκρασία λειτουργίας σε °R

$Q_g$  = παροχή αερίου σε MMscfd

$P$  = πίεση λειτουργίας σε psia

$Z$  = συμπιεστότητα αερίου

$C_D$  = συντελεστής τριβής

$d_m$  = διάμετρος σταγονιδίου ρευστού σε μm

$p_g$  = πυκνότητα αερίου σε lb/ft<sup>3</sup>

$p_l$  = πυκνότητα ρευστού σε lb/ft<sup>3</sup>

$Q$  = παροχή αερίου σε ft<sup>3</sup>/s

Απόδειξη

Με την υπόθεση ότι υπάρχει 50% πληρότητα από υγρό μέσα στο δοχείο προκύπτουν τα εξής:

$$V_g = \frac{Q}{A_g}$$

$$A_g = \frac{1}{2} \left( \frac{\pi}{4} D^2 \right) = \frac{1}{2} \left( \frac{\pi}{4} d^2 \right) = \frac{d^2}{367}$$

$$Q = 0.327 \frac{TZ}{P} Q_g$$

$$V_g = \frac{\left( 0.327 \frac{TZ}{P} Q_g \right) 367}{d^2} = 120 \frac{TZ Q_g}{P d^2}$$

$$t_g = \frac{L_{eff}}{V_g}$$

$$t_d = \frac{D}{2V_i} = \frac{d}{24V_i}$$

από τα προηγούμενα ισχύει:

$$V_i = 0.0199 \left[ \left( \frac{p_l - p_g}{p_g} \right) \frac{d_m}{C_D} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$t_d = \frac{d}{24 * 0.0199} \left[ \left( \frac{p_g}{p_l - p_g} \right) \frac{C_D}{d_m} \right]^{\frac{1}{2}}$$

θέτω  $t_d = t_g$  και έχω:

$$\frac{L_{eff}}{120 \left( \frac{TZQ_g}{Pd^2} \right)} = \frac{d \left[ \left( \frac{p_g}{p_l - p_g} \right) \frac{C_D}{d_m} \right]^{\frac{1}{2}}}{24 * 0.0119}$$

$$dL_{eff} = 420 \left[ \frac{TZQ_g}{P} \right] \left[ \left( \frac{p_g}{p_l - p_g} \right) \frac{C_D}{d_m} \right]^{\frac{1}{2}}$$

### Χωρητικότητα σε Ρευστό

Η εξίσωση που καθορίζει την απαιτούμενη χωρητικότητα του διαχωριστή έτσι ώστε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της διεργασίας για ρευστό είναι η εξής:

$$d^2 L_{eff} = \frac{t_r Q_i}{0.7}$$

$t_r$  = επιθυμητός χρόνος παραμονής του ρευστού στο δοχείο σε min

$Q_i$  = παροχή ρευστού σε bpd

Vol = όγκος δοχείου σε ft<sup>3</sup>

$t$  = χρόνος παραμονής σε s

Απόδειξη

$$t = \frac{Vol}{Q}$$

$$Vol = \frac{1}{2} \left( \frac{\pi D^2 L_{eff}}{4} \right) = \frac{\pi d^2 L_{eff}}{2 * 4 * 144} = 2.73 * 10^{-3} d^2 L_{eff}$$

$$Q = 6.49 * 10^{-5} Q_i$$

$$t = 42 \frac{d^2 L_{\text{eff}}}{Q_i}$$

$$d^2 L_{\text{eff}} = \frac{t_r Q_i}{0.7}$$

### Απόσταση μεταξύ Αρμών

Για την περίπτωση του περιορισμού της χωρητικότητας σε αέριο ισχύει:

$$L_{ss} = L_{\text{eff}} + \frac{d}{12}$$

Ενώ για την χωρητικότητα σε ρευστό ισχύει:

$$L_{ss} = \frac{4}{3} L_{\text{eff}}$$

### 4.2.2 Κατακόρυφος Διαχωριστής δύο σταδίων

#### Χωρητικότητα Αερίου

Η απαιτούμενη χωρητικότητα για το αέριο ορίζεται ως εξής:

$$d^2 = 5040 \left[ \frac{TZQ_g}{P} \right] \left[ \left( \frac{p_g}{p_l - p_g} \right) \frac{C_D}{d_m} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Απόδειξη

$$V_i = 0.0199 \left[ \left( \frac{p_i - p_g}{p_g} \right) \frac{d_m}{C_D} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$V_g = \frac{Q}{A_g}$$

$$A_g = \left( \frac{\pi}{4} D^2 \right) = \left( \frac{\pi}{4} \frac{d^2}{144} \right) = \frac{d^2}{183}$$

$$Q = 0.327 \frac{TZ}{P} Q_g$$

$$V_g = \frac{\left( 0.327 \frac{TZ}{P} Q_g \right) 183}{d^2} = 60 \frac{TZ Q_g}{P d^2}$$

$$V_g = V_i$$

$$0.0119 \left[ \left( \frac{p_i - p_g}{p_g} \right) \frac{d_m}{C_D} \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{60 T Z Q_g}{P d^2}$$

και έτσι προκύπτει

$$d^2 = 5040 \left[ \frac{T Z Q_g}{P} \right] \left[ \left( \frac{p_g}{p_i - p_g} \right) \frac{C_D}{d_m} \right]^{\frac{1}{2}}$$

**Χωρητικότητα σε Ρευστό**

$$d^2 h = \frac{t_r Q_i}{0.12}$$

h= το ύψος του όγκου του ρευστού σε in

Απόδειξη

$$t = \frac{Vol}{Q}$$

$$Vol = \frac{\pi D^2 h}{4 \cdot 12} = \frac{\pi d^2 h}{4 \cdot 144 \cdot 12} =$$
$$= 4.55 \cdot 10^{-4} d^2 h$$

$$Q = 6.49 \cdot 10^5 Q_i$$

$$t = 7 \frac{d^2 h}{Q_i}$$

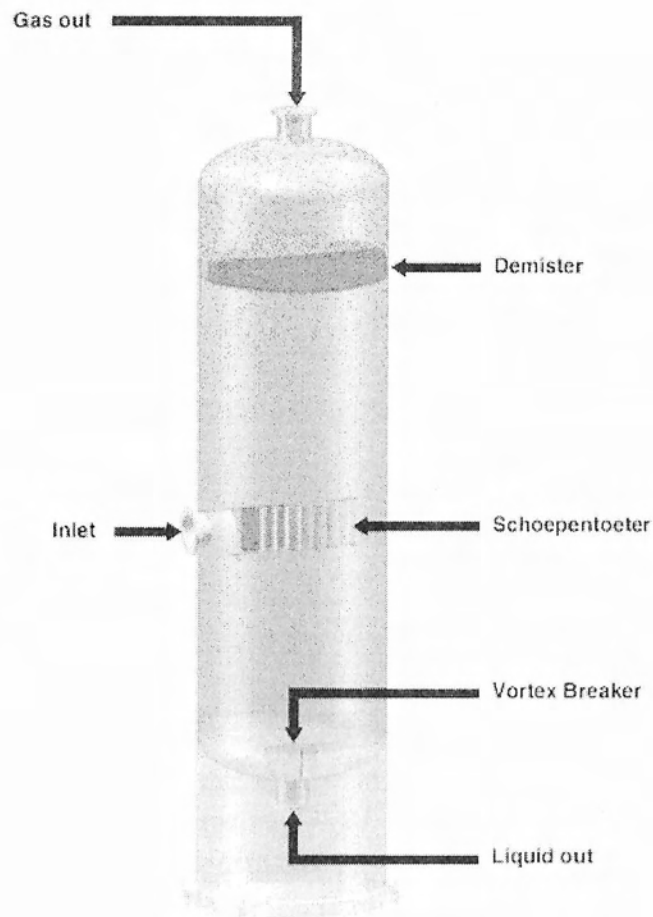
$$d^2 h = \frac{t_r Q_i}{0.12}$$

**Απόσταση μεταξύ Αρμών**

Ο υπολογισμός αυτής της απόστασης όπως και την προηγούμενη φορά γίνεται με εμπειρικούς τύπους. Υπάρχουν δύο τύποι για την συγκεκριμένη περίπτωση, όπου γίνεται επιλογή του μεγαλύτερου αποτελέσματος. Οι τύποι είναι οι εξής:

$$L_{ss} = \frac{h+76}{12}$$

$$L_{ss} = \frac{h+d+40}{12}$$

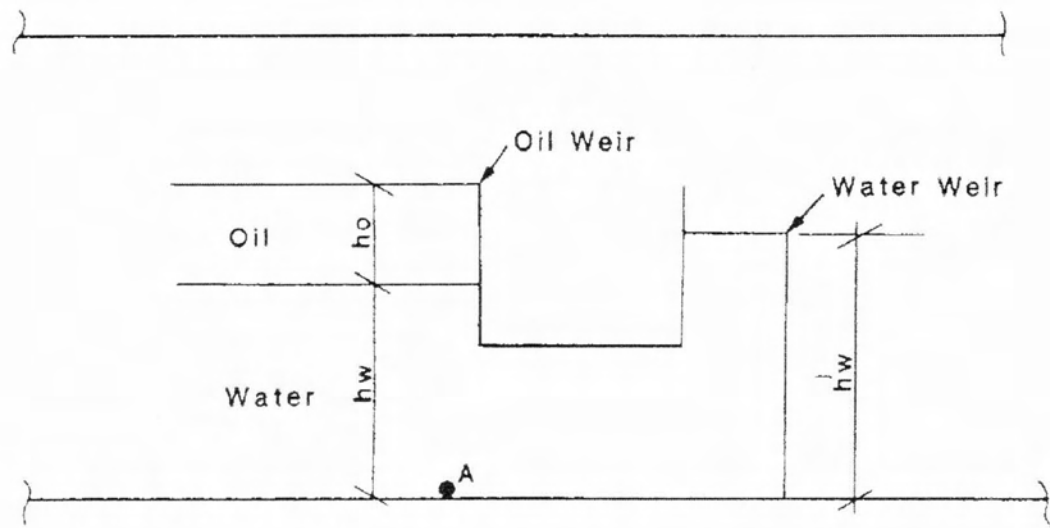


Σχήμα 4. 2 Κατακόρυφος διαχωριστής δύο σταδίων [23]

#### 4.2.3 Οριζόντιος Διαχωριστής τριών σταδίων

Ένας επιπλέον υπολογισμός που λαμβάνει χώρα στους διαχωριστές τριών σταδίων είναι και η διαφορά ύψους μετά τον υδατοφράκτη από όπου και διαχωρίζεται από το πετρέλαιο. Επιπλέον, υπάρχει και απαιτούμενη διαστασιολόγηση για το χρόνο παραμονής και το φαινόμενο της κατακάθισης στο δοχείο. [3]





Σχήμα 4. 3 Σχέδιο ροής ρευστών μέσα σε οριζόντιο διαχωριστή τριών σταδίων [9]

Η σχέση που ορίζει το φαινόμενο είναι η εξής:

$$\Delta h = h_0 \left[ 1 - \left( \frac{p_0}{p_w} \right) \right]$$

$p_0$  = πυκνότητα πετρελαίου σε  $\text{lb/ft}^3$

$p_w$  = πυκνότητα νερού σε  $\text{lb/ft}^3$

Απόδειξη

Η απόδειξη στηρίζεται ότι στο προηγούμενο σχήμα στο σημείο A γίνεται το ισοζύγιο

$$p_0 h_0 + p_w h_w = p_w h_w$$

$$h_w = \frac{p_w h_w - p_0 h_0}{p_w} = h_w - \frac{p_0}{p_w} h_0$$

$$\Delta h = h_0 + h_w - h_w$$

$$\Delta h = h_0 - \frac{P_0}{P_w} h_0 = h_0 \left[ 1 - \frac{P_0}{P_w} \right]$$

### Χρόνος Παραμονής

Ο περιορισμός εκφράζεται από τη σχέση:

$$d^2 L_{\text{eff}} = 1.42 \left[ (Q_w)(t_r)_w + (Q_0)(t_r)_0 \right]$$

$Q_w$  = παροχή νερού σε bpd

$(t_r)_w$  = χρόνος παραμονής νερού σε min

$Q_0$  = παροχή πετρελαίου σε bpd

$(t_r)_0$  = χρόνος παραμονής πετρελαίου σε min

Απόδειξη

$$t = \frac{Vol}{Q}$$

$$Vol = \frac{1}{2} \left( \frac{\pi D^2 L_{\text{eff}}}{4} \right) = \frac{\pi d^2 L_{\text{eff}}}{2 \cdot 4 \cdot 144} =$$

$$= 2.73 \cdot 10^{-3} d^2 L_{\text{eff}}$$

$$(Vol)_0 = 2.73 \cdot 10^{-3} d^2 L_{\text{eff}} \left( \frac{A_0}{A_i} \right)$$

$$(Vol)_w = 2.73 \cdot 10^{-3} d^2 L_{\text{eff}} \left( \frac{A_w}{A_i} \right)$$

$$Q = 6.49 \cdot 10^{-5} Q_0$$

$$Q = 6.49 \cdot 10^{-5} Q_w$$

$$42 \left( \frac{A_0}{A_i} \right) = \frac{t_0 Q_0}{d^2 L_{eff}}$$

$$42 \left( \frac{A_w}{A_i} \right) = \frac{t_w Q_w}{d^2 L_{eff}}$$

$$0.7 \left( \frac{A_0}{A_i} \right) = \frac{(t_r)_0 Q_0}{d^2 L_{eff}}$$

$$0.7 \left( \frac{A_w}{A_i} \right) = \frac{(t_r)_w Q_w}{d^2 L_{eff}}$$

$$0.7 \left( \frac{A_0 + A_w}{A_i} \right) = \frac{(t_r)_0 Q_0 + (t_r)_w Q_w}{d^2 L_{eff}}$$

$$d^2 L_{eff} = 1.42 [ (Q_w)(t_r)_w + (Q_0)(t_r)_0 ]$$

### Φαινόμενο Κατακάθισης

Η απαίτηση είναι ότι σταγονίδια διαμέτρου 500 μm να μπορούν να κατακαθίσουν σε φιλμ λαδιού μεγίστου ύψους  $h_0$ . Η σχέση που ορίζει κάτι τέτοιο είναι:

$$h_0 = \frac{0.00128 (t_r)_0 (\Delta S.G.) d_m^2}{\mu}$$

Απόδειξη

Θέτω  $t_w = t_0$

$$t_w = \frac{h_0}{12V_i}$$

$$V_i = \frac{1.78 * 10^{-6} (\Delta S.G.) d_m^2}{\mu}$$

$$t_w = 46800 \frac{\mu h_0}{(\Delta S.G.) d_m^2}$$

$$(h_0)_{\max} = 320 \frac{(t_r)_0 (\Delta S.G.)}{\mu}$$

$$h_0 = \frac{0.00128 (t_r)_0 (\Delta S.G.) d_m^2}{\mu}$$

Έχοντας έναν χρόνο παραμονής για το νερό, έναν χρόνο παραμονής για το πετρέλαιο και ένα μέγιστο ύψος φιλμ πετρελαίου, ένας ακόμα υπολογισμός προκύπτει για μέγιστη διάμετρο που παράγεται από την παρακάτω διαδικασία.

$$\frac{A_w}{A} = 0.5 \frac{Q_w (t_r)_w}{(t_r)_0 Q_0 + (t_r)_w Q_w}$$

Από διάγραμμα βρίσκω τον συντελεστή  $\beta$ , όπου ισχύει:

$$d_{\max} = \frac{(h_0)_{\max}}{\beta}$$

Απόδειξη

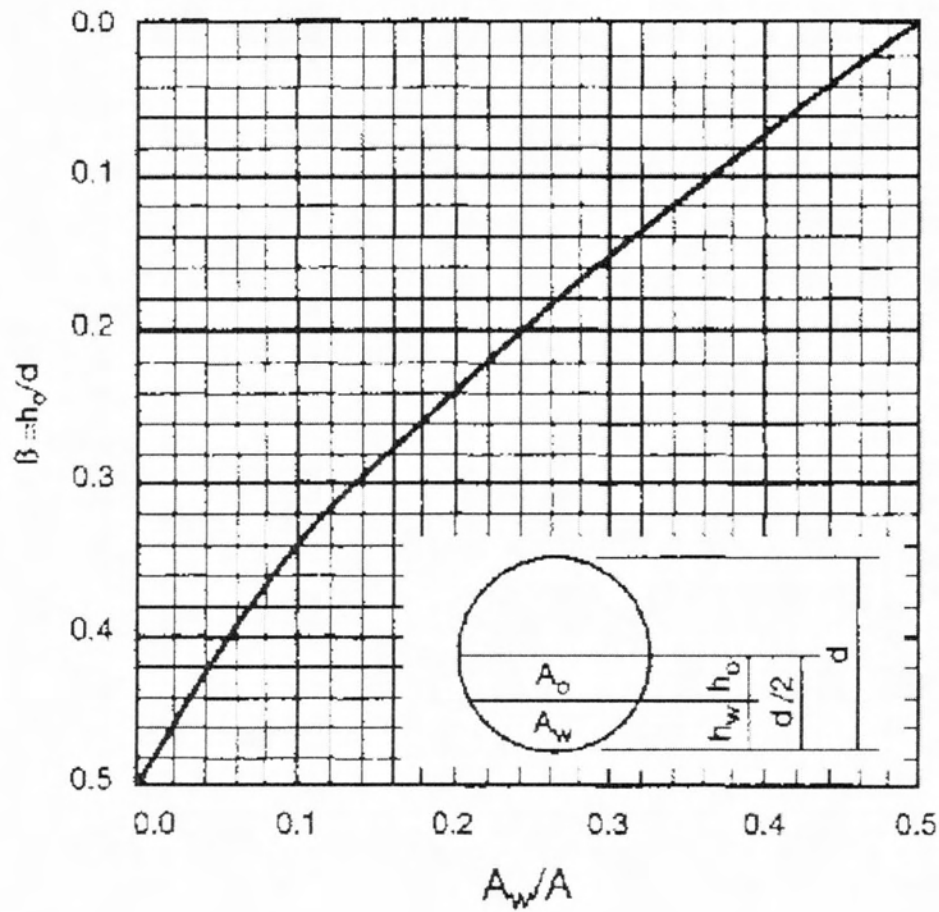
$$A = \frac{Ql}{L_{\text{eff}}}$$

$$Q = 6.49 \cdot 10^{-5} Q_0$$

$$Q = 6.49 \cdot 10^{-5} Q_w$$

$$A_0 = 3.89 \cdot 10^{-3} \frac{Q_0 (t_r)_0}{L_{\text{eff}}}$$

$$A_w = 3.89 \cdot 10^{-3} \frac{Q_w (t_r)_w}{L_{\text{eff}}}$$



Σχήμα 4. 4 Διάγραμμα συντελεστή  $\beta$  για οριζόντιο διαχωριστή τριών σταδίων [9]

$$A = 2(A_o + A_w)$$

$$\frac{A_w}{A} = 0.5 \frac{Q_w (t_r)_w}{(t_r)_o Q_o + (t_r)_w Q_w}$$

## Χωρητικότητα Αερίου

$$dL_{\text{eff}} = 420 \left[ \frac{TZQ_g}{P} \right] \left[ \left( \frac{p_g}{p_i - p_g} \right) \frac{C_D}{d_m} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Η ανάλυση για την συγκεκριμένη εξίσωση έχει μελετηθεί παραπάνω και ισχύουν τα ίδια δεδομένα, καθώς αφορά την αέρια φάση της διεργασίας, που δεν παρουσιάζει διαφορές με την περίπτωση του διαχωριστή δύο σταδίων.

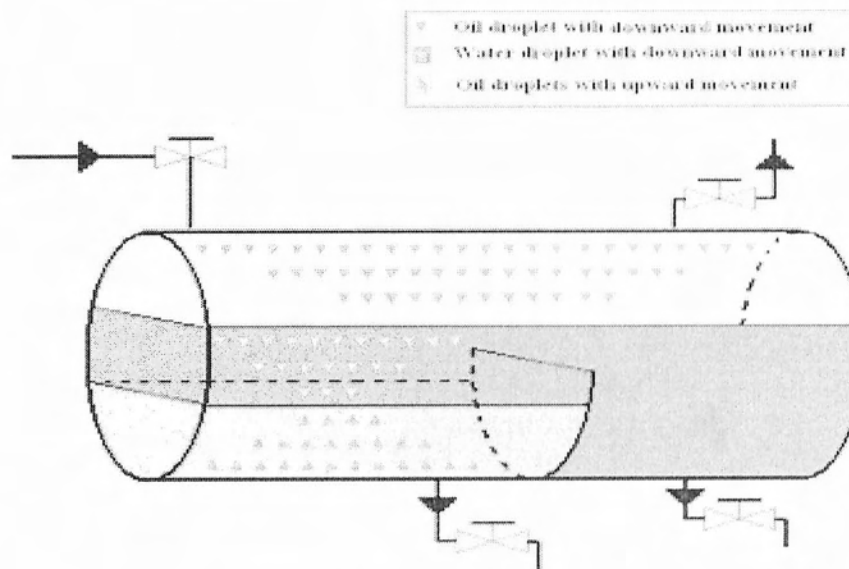
## Απόσταση μεταξύ Αρμών

Για τις απαιτήσεις της αέριας χωρητικότητας

$$L_{ss} = L_{\text{eff}} + \frac{d}{12}$$

Ενώ για τις απαιτήσεις της ρευστής χωρητικότητας

$$L_{ss} = \frac{4}{3} L_{\text{eff}}$$



Σχήμα 4.5 Οριζόντιος διαχωριστής τριών σταδίων [22].

#### 4.2.4 Κατακόρυφος Διαχωριστής τριών σταδίων

##### Χωρητικότητα Αερίου

Και σε αυτή την περίπτωση η εξίσωση που καθορίζει τον περιορισμό συμπίπτει με αυτή που εφαρμόζεται στους διαχωριστές δύο σταδίων και είναι η εξής:

$$d_{\min}^2 = 5040 \left[ \frac{TRQ_g}{P} \right] \left[ \left( \frac{P_g}{P_i - P_g} \right) \frac{C_D}{d_m} \right]^{\frac{1}{2}}$$

##### Φαινόμενο Κατακάθισης

Στην προκειμένη περίπτωση πρέπει να ικανοποιείται η σχέση:

$$d^2 = 6690 \frac{Q_0 \mu}{(\Delta S.G.) d_m^2}$$

##### Απόδειξη

Θέτω  $V_i = V_0$

$$V_i = \frac{1.78 \cdot 10^{-6} (\Delta S.G.) d_m^2}{\mu}$$

$$V_0 = \frac{Q}{A}$$

$$Q = 6.49 \cdot 10^{-5} Q_0$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi d^2}{4 \cdot 144}$$

$$V_0 = 0.0119 \frac{Q_0}{d^2}$$

$$\frac{1.78 \cdot 10^{-6} (\Delta S.G.) d_m^2}{\mu} = 0.0119 \frac{Q_0}{d^2}$$

$$d^2 = 6690 \frac{Q_0 \mu}{(\Delta S.G.) d_m^2}$$

### Χρόνος Παραμονής

Η εξίσωση που περιορισμού είναι:

$$h_0 + h_w = \frac{(t_r)_0 Q_0 + (t_r)_w Q_w}{0.12 d^2}$$

Απόδειξη

Βασισμένη στην απόδειξη της αντίστοιχης σχέσης στο διαχωριστή δύο σταδίων προκύπτουν τα εξής:

$$d^2 h = \frac{t_r Q_i}{0.12}$$

Προσαρμόζοντάς το έχω

$$d^2 h_0 = \frac{(t_r)_0 Q_0}{0.12}$$

$$d^2 h_w = \frac{(t_r)_w Q_w}{0.12}$$

$$h_0 + h_w = \frac{(t_r)_0 Q_0 + (t_r)_w Q_w}{0.12 d^2}$$



### Απόσταση μεταξύ Αρμών

Όπως και στην περίπτωση του διαχωριστή δύο σταδίων έτσι και σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν δύο τύποι που υπολογίζουν το μήκος και λαμβάνεται υπόψη ο τύπος που δίνει το μεγαλύτερο αποτέλεσμα. Οι τύποι είναι οι εξής:

$$L_{ss} = \frac{h_0 + h_w + 76}{12}$$

$$L_{ss} = \frac{h_0 + h_w + d + 40}{12}$$

## Κεφάλαιο 5 Διαστασιολόγηση Διαχωριστών

Για τη διαστασιολόγηση των διαχωριστών θα χρησιμοποιηθούν οι κατηγοριοποιήσεις με τις οποίες μελετήθηκαν και οι εξισώσεις για τις αρχές λειτουργίας τους παραπάνω. Δηλαδή, θα μελετηθούν οι μέθοδοι με τις οποίες υπολογίζονται οι διαστάσεις σε διαχωριστές δύο και τριών σταδίων, καθώς και οριζόντιων και κατακόρυφων. Για τον σκοπό αυτό δημιουργήθηκε ένας κώδικας ο οποίος με την παροχή κατάλληλων δεδομένων μπορεί να υπολογίσει τις βέλτιστες διαστάσεις για τον εκάστοτε διαχωριστή, αλλά και να παρέχει δεδομένα για διαγράμματα τα οποία θα παρατεθούν παρακάτω.

### 5.1 Διαχωριστές δύο σταδίων

#### 5.1.1 Οριζόντιος

Τα απαιτούμενα στοιχεία για τη διαδικασία της διαστασιολόγησης είναι οι παροχές του αερίου και του πετρελαίου, η βαρύτητα API, η πίεση και η θερμοκρασία λειτουργίας του διαχωριστή, καθώς και το ιξώδες και η συμπιεστότητα του αερίου. Επίσης γίνονται και υποθέσεις όσον αφορά την διάμετρο καθίζησης και το χρόνο παραμονής στο δοχείο.

Στην αρχή γίνεται υπολογισμός διάφορων μεγεθών που θα χρειαστούν στη διαστασιολόγηση, όπως η πυκνότητα του υγρού και του αερίου, αλλά και από την επαναληπτική διαδικασία που αναφέρθηκε παραπάνω γίνεται ο υπολογισμός του συντελεστή τριβής. Χρησιμοποιώντας τελικά τους εξής τύπους:

$$p_l = 62.4 \left[ \frac{141.5}{(131.5 + API)} \right]$$

$$p_g = 2.7 \frac{SP}{TZ}$$

Αρχικά με υπόθεση  $C_D=0.34$  ξεκινά η επανάληψη, έως σύγκλιση χιλιοστού

$$V_t = 0.0199 \left[ \left( \frac{p_i - p_g}{p_g} \right) \frac{d_m}{C_D} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$Re = 0.0049 \frac{p_g d_m V}{\mu}$$

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{Re^2} + 0.34$$

Στη συνέχεια γίνεται υπολογισμός των περιορισμών

$$dL_{eff} = 420 \left[ \frac{TZQ_g}{P} \right] \left[ \left( \frac{p_g}{p_i - p_g} \right) \frac{C_D}{d_m} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$d^2 L_{eff} = \frac{t_r Q_i}{0.7}$$

$$2.5 \leq 12 \frac{L_{eff}}{d} \leq 4.5$$

Για την επίλυση του προβλήματος εφαρμόζεται μία διπλή επαναληπτική διαδικασία, η οποία παρέχει όλους τους συνδυασμούς διαμέτρου και ενεργού μήκους, καθώς και μία συνθήκη, η οποία ελέγχει εάν ο εκάστοτε συνδυασμός ικανοποιεί τους παραπάνω συνδυασμούς. Τέλος οι συνδυασμοί οι οποίοι απομένουν ελέγχονται από μία άλλη συνθήκη η οποία αποθηκεύει και τελικά προβάλλει τις διαστάσεις της βέλτιστης λύσης δηλαδή του διαχωριστή με το μικρότερο όγκο.

### 5.1.2 Κατακόρυφος

Όπως και με τον οριζόντιο τα απαιτούμενα είναι οι παροχές του αερίου και του πετρελαίου, η βαρύτητα API, η πίεση και η θερμοκρασία λειτουργίας του διαχωριστή, καθώς και το ιξώδες και η συμπιεστότητα του αερίου. Επιπλέον, και σε αυτή την περίπτωση γίνονται υποθέσεις όσον αφορά τη διάμετρο καθίζησης και το χρόνο παραμονής στο δοχείο.

Η διαδικασία για τον υπολογισμό άλλων απαιτούμενων μεγεθών για τη διαστασιολόγηση είναι ίδια με τον οριζόντιο διαχωριστή. Αυτό που αλλάζει είναι οι περιορισμοί, οι οποίοι είναι οι εξής:

$$d^2 = 5040 \left[ \frac{TZQ_g}{P} \right] \left[ \left( \frac{p_g}{p_l - p_g} \right) \frac{C_D}{d_m} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$d^2 h = \frac{t_r Q_i}{0.12}$$

$$2.5 \leq 12 \frac{L_{ss}}{d} \leq 4.5$$

Χρησιμοποιώντας την ίδια μέθοδο με τον οριζόντιο, δηλαδή τη διπλή επανάληψη και τις δύο συνθήκες κατά λήγουμε στις διαστάσεις που ικανοποιούν όλους τους περιορισμούς, αλλά και αποδίδουν τον βέλτιστο, δηλαδή τον ελάχιστο όγκο.

## 5.2 Διαχωριστές τριών σταδίων

### 5.2.1 Οριζόντιος

Εδώ θα μπορούσε να πει κάποιος ότι τα πράγματα περιπλέκονται κάπως. Τα απαιτούμενα δεδομένα είναι αυτά που ζητούνταν σε αυτά των δύο σταδίων, αλλά και κάποια ακόμα. Τα επιπλέον στοιχεία είναι η παροχή του νερού, η ειδική βαρύτητα του νερού, οι χρόνοι παραμονής του νερού και του πετρελαίου στο διαχωριστή, αλλά και το ιξώδες του πετρελαίου. Φυσικά, όπως και παραπάνω οι χρόνοι παραμονής μπορούν να εικαστούν και συνήθως είναι ίσοι.

Και σε αυτή την περίπτωση όπως και στις δύο προηγούμενες υπάρχει ανάγκη υπολογισμού διάφορων μεγεθών πριν ξεκινήσει η διαδικασία εύρεσης της λύσης στη διαστασιολόγηση του διαχωριστή. Υπολογίζονται όλα τα προηγούμενα επικουρικά μεγέθη, αλλά και μερικά επιπλέον τα οποία είναι τα εξής:

$$(S.G.)_o = \frac{141.5}{\rho_{API} + 131.5}$$

$$\Delta S.G. = (S.G.)_w - (S.G.)_o$$

Ο οριζόντιος διαχωριστής τριών σταδίων παρουσιάζει μεγαλύτερη πολυπλοκότητα όσον αφορά τους περιορισμούς του σε σχέση με τους άλλους δύο διαχωριστές που μελετήθηκαν παραπάνω. Οι περιορισμοί του είναι οι εξής:

$$h_0 = \frac{0.00128(t_r)_0(\Delta SG)d_m^2}{\mu}$$

$$\frac{A_w}{A} = 0.5 \frac{Q_w(t_r)_w}{(t_r)_0 Q_0 + (t_r)_w Q_w}$$

Επιλογή  $\beta$  από το διάγραμμα που παρατέθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο

$$d_{\max} = \frac{(h_0)_{\max}}{\beta}$$

$$dL_{eff} = 420 \left[ \frac{TZQ_g}{P} \right] \left[ \left( \frac{p_g}{p_l - p_g} \right) \frac{C_D}{d_m} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$d^2 L_{eff} = 1.42 \left[ (Q_w)(t_r)_w + (Q_0)(t_r)_0 \right]$$

$$2.5 \leq 12 \frac{L_{eff}}{d} \leq 5.5$$

Η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι ίδια με αυτή των δύο προηγούμενων περιπτώσεων και καταλήγει στην απόδοση της βέλτιστης λύσης για το πρόβλημα της διαστασιολόγησης του διαχωριστή.

### 5.2.2 Κατακόρυφος

Τα απαιτούμενα στοιχεία είναι ίδια με αυτά που ζητούνται για τη διαστασιολόγηση ενός οριζόντιου διαχωριστή τριών σταδίων, καθώς και η διαδικασία υπολογισμού επικουρικών μεγεθών.

Όσον αφορά τους περιορισμούς από την άλλη, υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση.

$$d_{\max}^2 = 5040 \left[ \frac{TRQ_g}{P} \right] \left[ \left( \frac{p_g}{p_l - p_g} \right) \frac{C_D}{d_m} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$d^2 = 6690 \frac{Q_0 \mu}{(\Delta S.G.) d_m^2}$$

$$h_0 + h_w = \frac{(t_r)_0 Q_0 + (t_r)_w Q_w}{0.12 d^2}$$

$$1 \leq 12 \frac{L_{ss}}{d} \leq 3.5$$

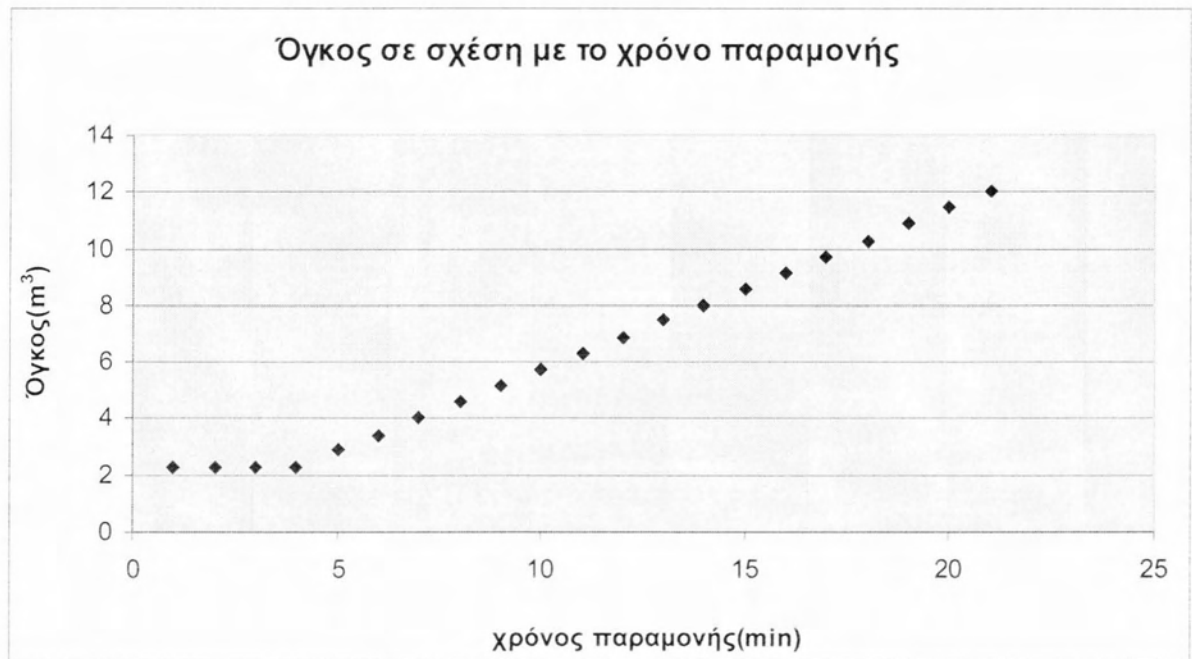
Και με την ίδια μέθοδο όπως και τις προηγούμενες φορές λαμβάνουμε τη βέλτιστη λύση στη διαστασιολόγηση του διαχωριστή.

### 5.3 Διαγράμματα εξάρτησης όγκου από διάφορα μεγέθη

Εδώ για τους διαχωριστές δύο σταδίων θα μελετηθεί η εξάρτηση του όγκου του διαχωριστή από διάφορα μεγέθη τα οποία συμβάλλουν στον υπολογισμό του. Στην περίπτωση των διαχωριστών δύο σταδίων τα μεγέθη αυτά είναι ο χρόνος παραμονής και οι παροχές πετρελαίου και αερίου

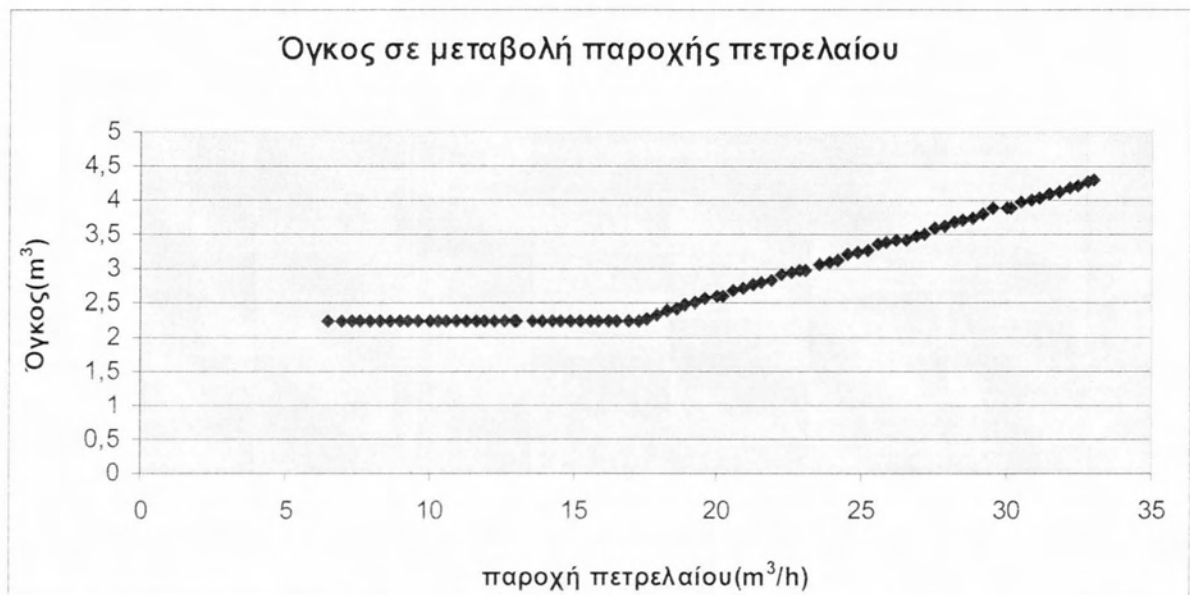
Και στην συνέχεια όσον αφορά τους διαχωριστές τριών σταδίων θα μελετηθεί η εξάρτηση του όγκου από διάφορα μεγέθη. Εδώ θα παρατεθούν διαγράμματα που θα παρουσιάζουν την σχέση που έχει ο όγκος ενός διαχωριστή τριών σταδίων από τις παροχές αερίου, πετρελαίου και νερού, καθώς και από τους χρόνους παραμονής νερού και πετρελαίου ξεχωριστά, αλλά και από την ταυτόχρονη διακύμανση των δύο χρόνων, εφόσον το σύνηθες φαινόμενο είναι ότι οι δύο αυτοί χρόνοι είναι ταυτόσημοι.

### 5.3.1 Οριζόντιος Διαχωριστής δύο σταδίων



Σχήμα 5. 1 Σχέση όγκου και χρόνου παραμονής

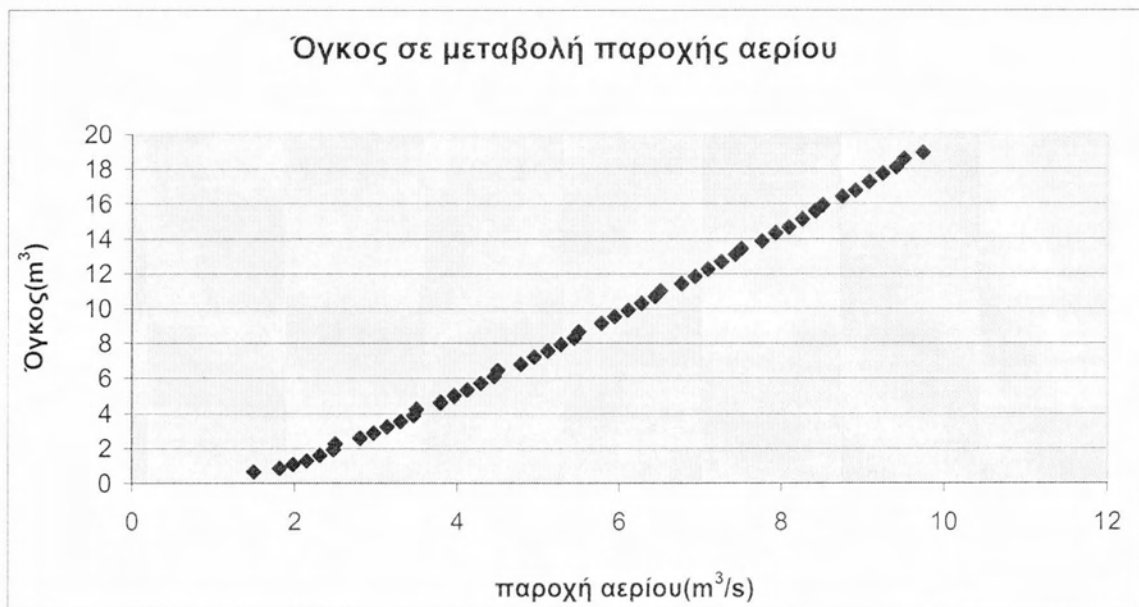
Οι μικροί χρόνοι παραμονής στο διαχωριστή δεν επηρεάζουν το μέγεθος του, αλλά είναι εμφανές ότι με την πάροδο του χρόνου ο όγκος του διαχωριστή εξαρτάται άμεσα από το χρόνο παραμονής.



Σχήμα 5. 2 Σχέση όγκου και παροχής πετρελαίου

Το ίδιο παρατηρείται και με την εξάρτηση του όγκου από την παροχή πετρελαίου.

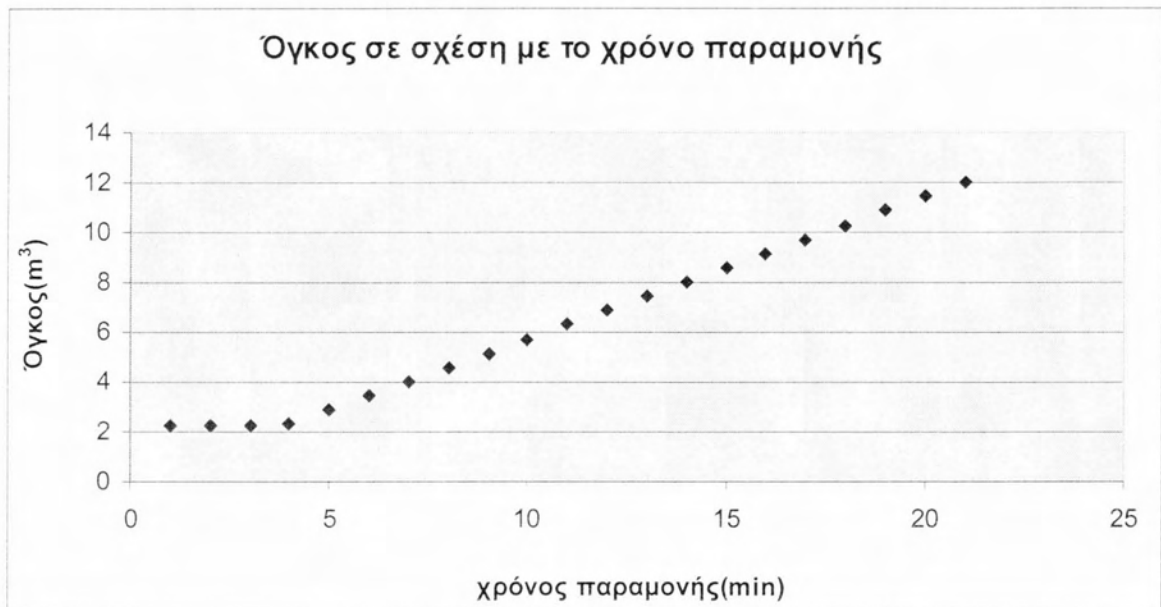
Σε αντίθεση με τις δύο προηγούμενες περιπτώσεις, η παροχή αερίου επηρεάζει σε όλο το εύρος της τον όγκο του διαχωριστή. Η διαφοροποίηση αυτή πηγάζει από το γεγονός ότι τα μεγέθη αυτά βρίσκονται σε διαφορετικούς περιορισμούς για τις διαστάσεις του διαχωριστή.



Σχήμα 5.3 Σχέση όγκου και παροχής αερίου

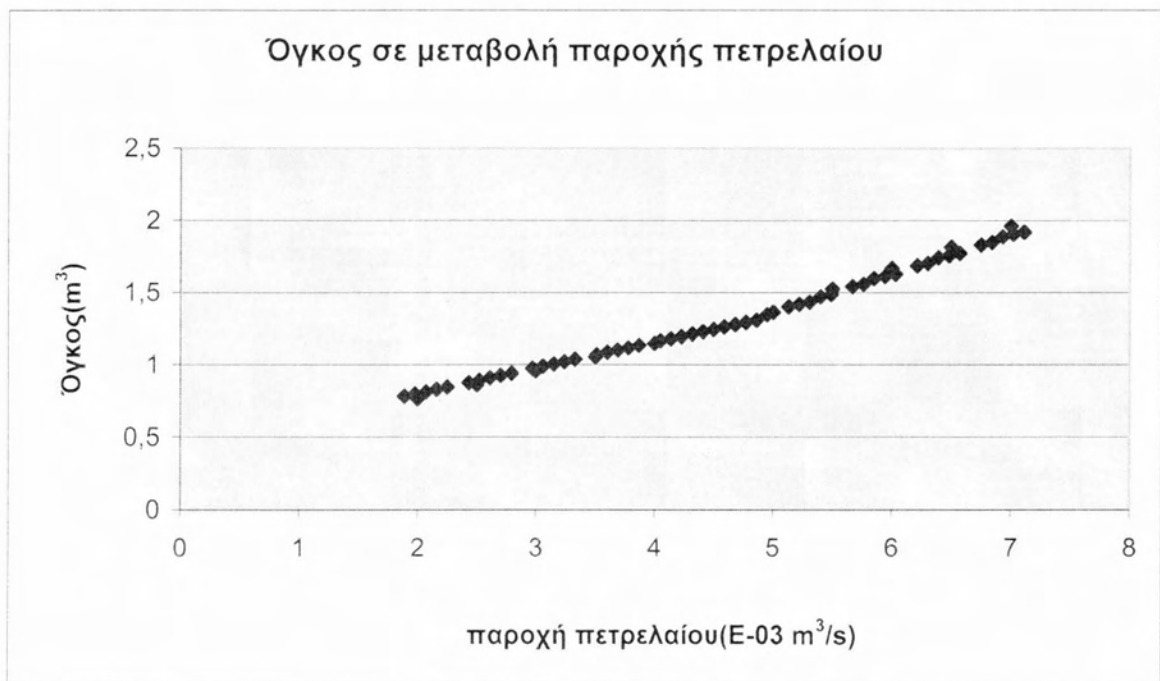


### 5.3.2 Κατακόρυφος Διαχωριστής δύο σταδίων



Σχήμα 5. 4 Σχέση όγκου και χρόνου παραμονής

Όπως και με τον οριζόντιο διαχωριστή, έτσι και με τον κατακόρυφο παρατηρούμε την ίδια συμπεριφορά στην επίδραση του χρόνου παραμονής στον όγκο και σε αυτή την περίπτωση.



Σχήμα 5. 5 Σχέση όγκου και παροχής πετρελαίου

Εδώ όμως διαφοροποιείται ο κατακόρυφος από τον οριζόντιο, καθώς ο όγκος εξαρτάται από την παροχή του πετρελαίου καθ' όλη τη μεταβολή της παροχής.

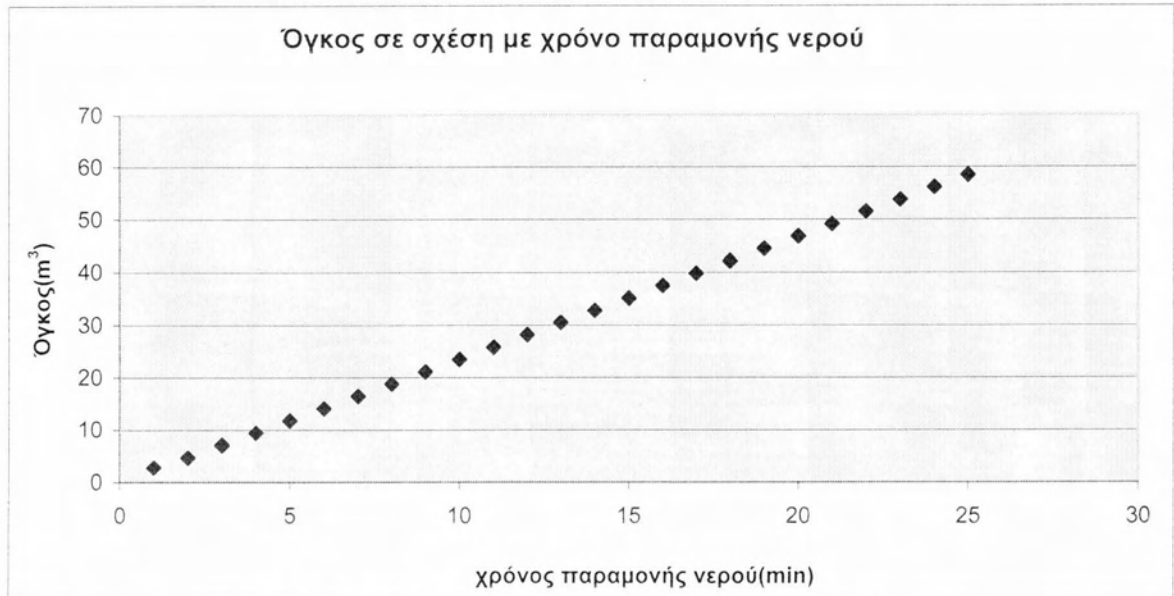
Συνεχίζοντας η διαφοροποίηση ανάμεσα στους δύο τύπους διατάξεων, παρατηρείται εύκολα ότι όσον αφορά τη συμπεριφορά του όγκου σε σχέση με τις παροχές πετρελαίου και αερίου η εξάρτηση αντιστρέφεται.



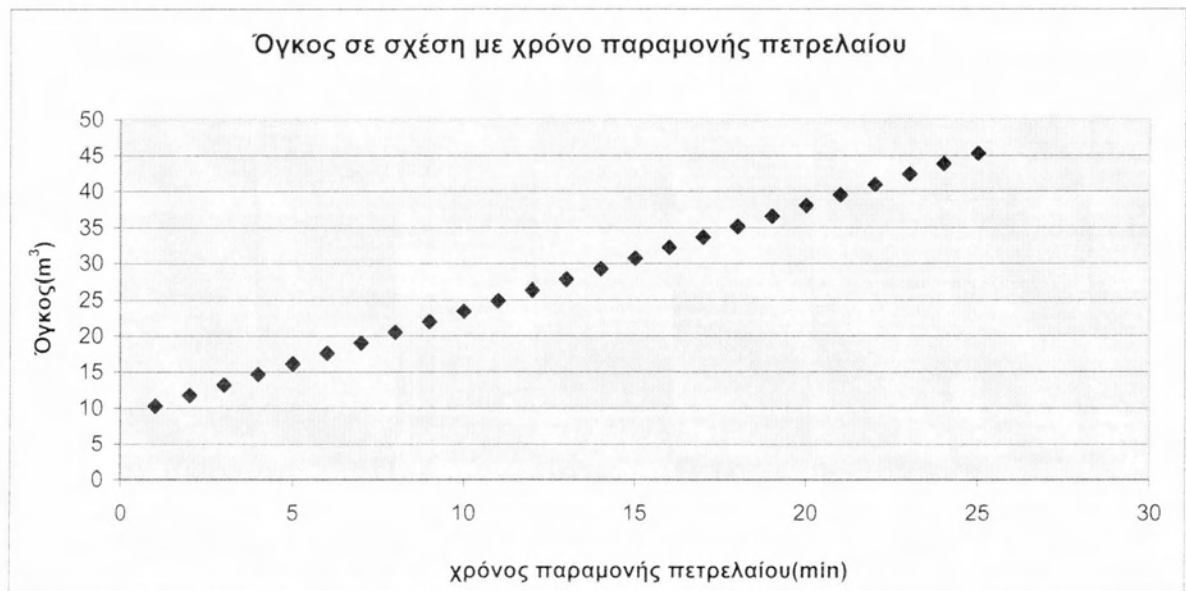
Σχήμα 5. 6 Σχέση όγκου και παροχής αερίου

### 5.3.3 Οριζόντιος Διαχωριστής τριών σταδίων

Παρότι ο όγκος παρουσιάζει την ίδια συμπεριφορά όσον αφορά τη μεταβολή του, είναι εμφανές ότι οι τιμές που παίρνει ο όγκος στην εκάστοτε μεταβολή είναι αρκετά διαφορετικές, κάτι που γίνεται ιδιαίτερα αντιληπτό στο διάγραμμα που ακολουθεί.

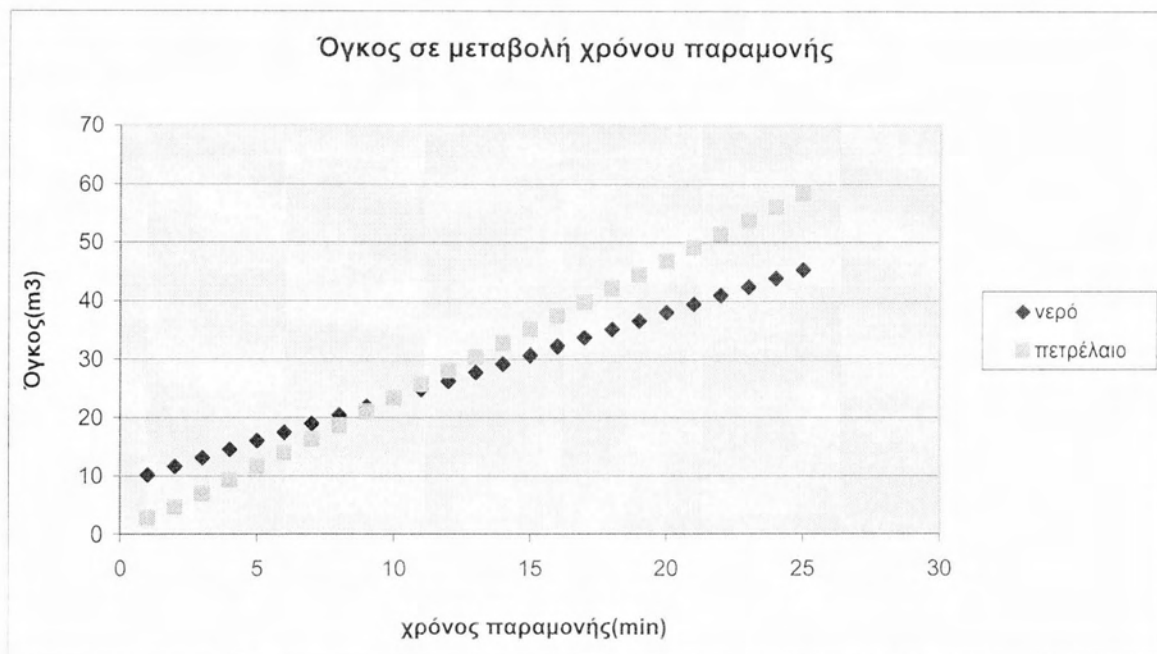


Σχήμα 5. 7 Σχέση όγκου και χρόνου παραμονής νερού

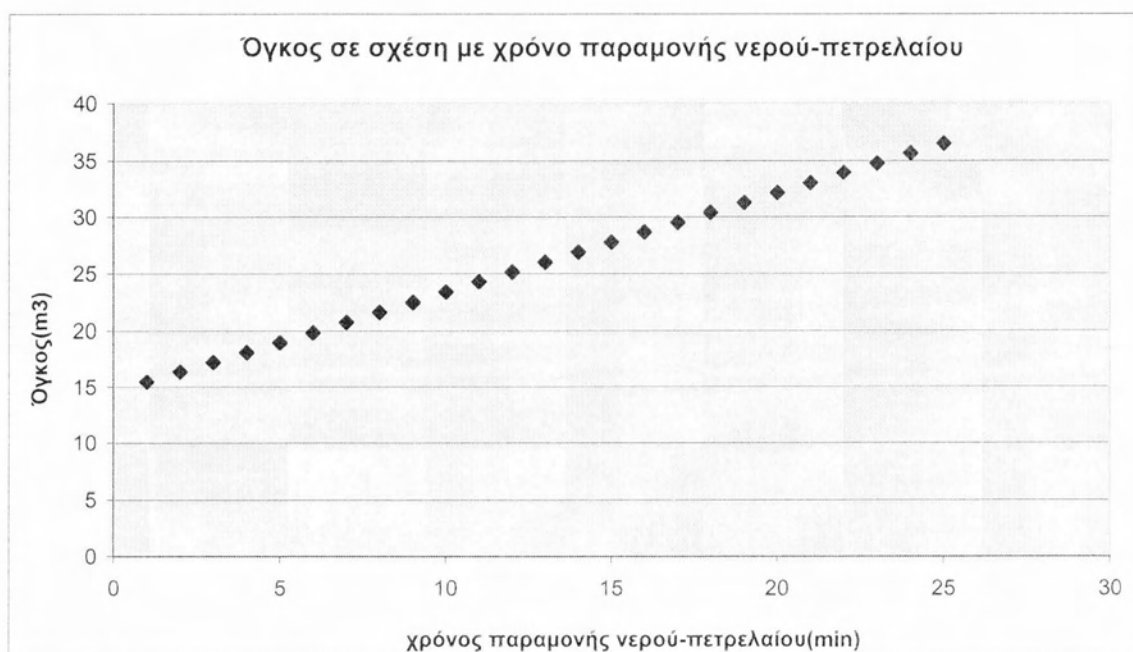


Σχήμα 5. 8 Σχέση όγκου και χρόνου παραμονής πετρελαίου

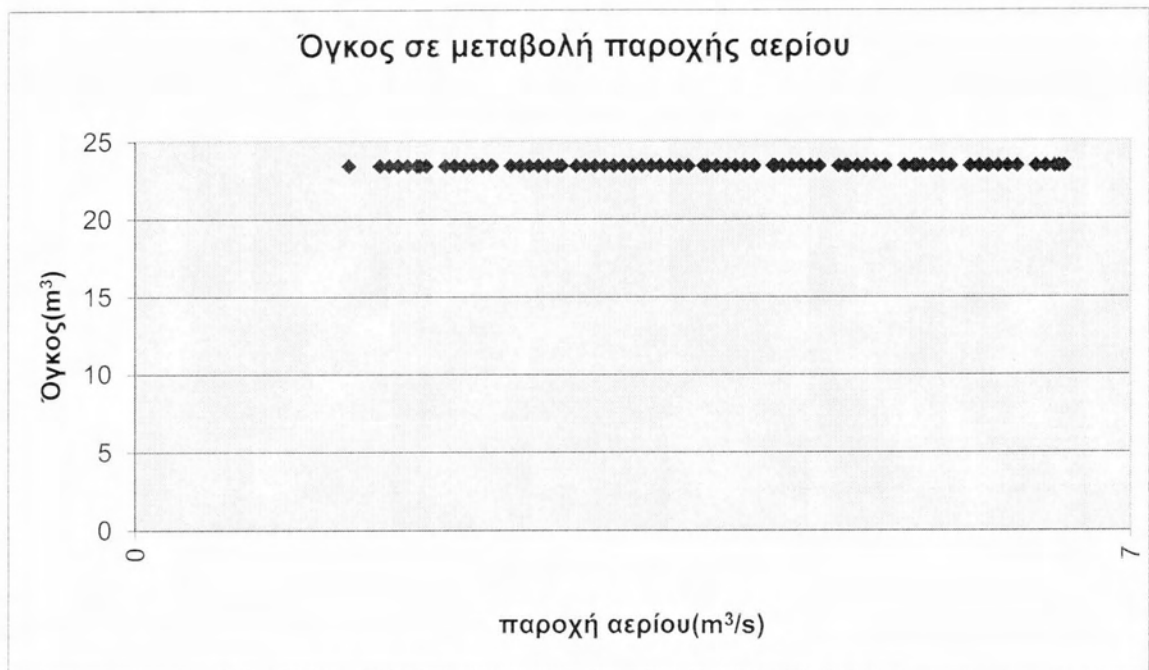
Για τα συγκεκριμένα νούμερα τα οποία προέκυψαν τα αποτελέσματα φαίνεται ότι η διακύμανση της παροχής του αερίου δεν επηρεάζει τον όγκο του διαχωριστή. Κάτι τέτοιο δε σημαίνει ότι γενικά η παροχή αερίου δεν επηρεάζει τον όγκο, απλά ότι είναι δυνατόν υπό κάποιες προϋποθέσεις ένα μέγεθος να μην συμβάλει στον καθορισμό της τιμής της βέλτιστης λύσης.



Σχήμα 5. 9 Σχέση όγκου και χρόνου παραμονής νερού πετρελαίου (συγκριτικό )

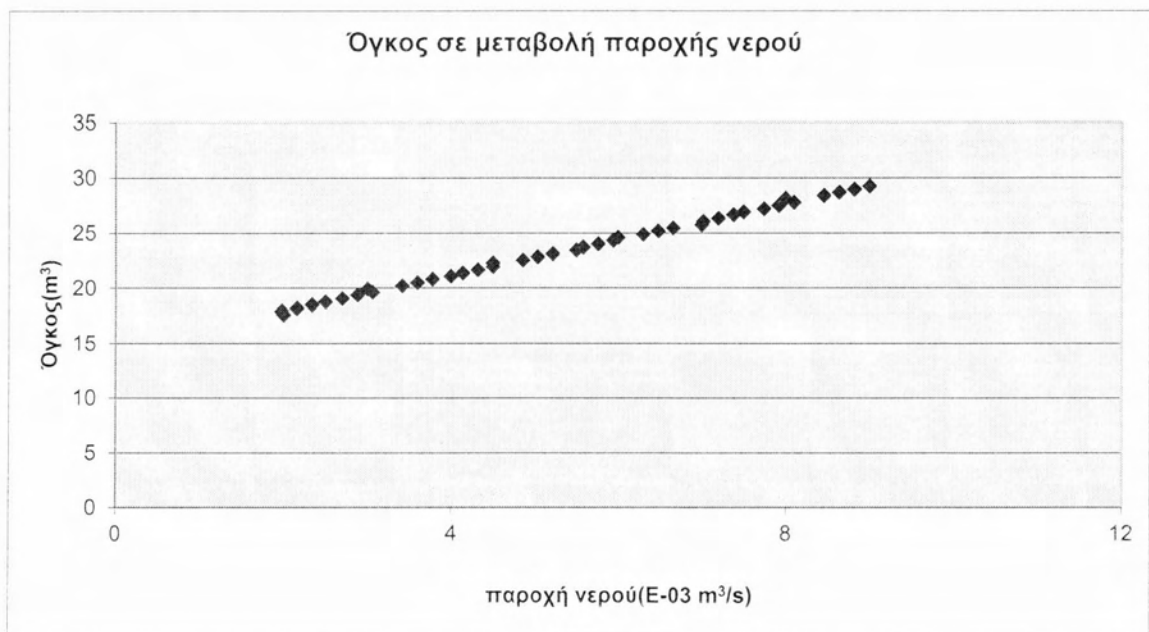


Σχήμα 5. 10 Σχέση όγκου και χρόνου παραμονής



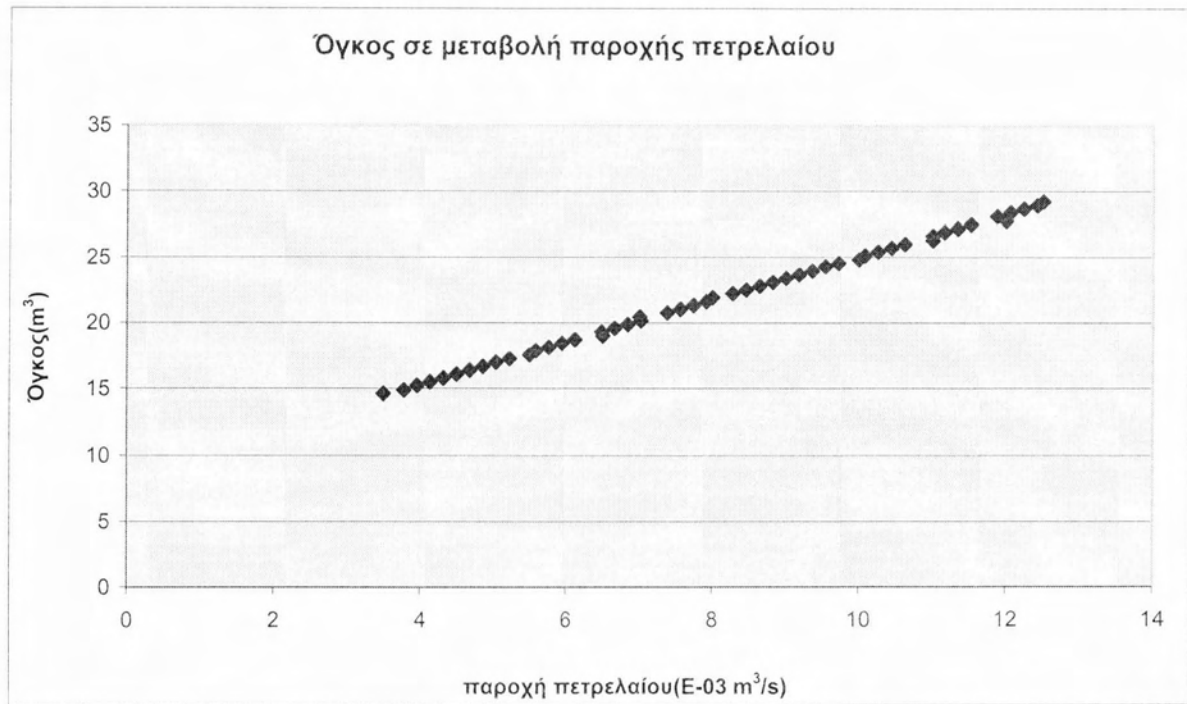
Σχήμα 5. 11 Σχέση όγκου και παροχής αερίου

Κάτι τέτοιο όμως δεν συμβαίνει και στην περίπτωση της μεταβολής της παροχής νερού, καθώς παρατηρείται μία σχέση αναλογίας μεταξύ όγκου και παροχής νερού.



Σχήμα 5. 12 Σχέση όγκου και παροχής νερού

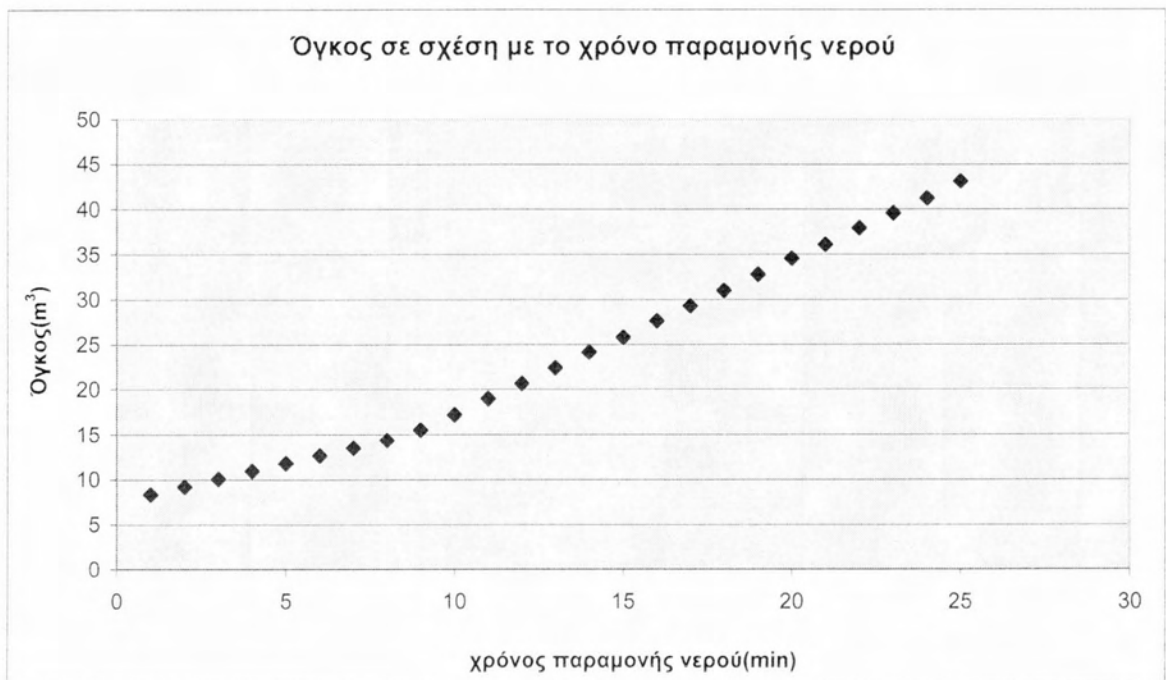
Το ίδιο συμβαίνει και με την παροχή πετρελαίου, όπου στην προκειμένη περίπτωση κιάλας το εύρος τιμών του όγκου παρουσιάζει ιδιαίτερη σύγκλιση ανάμεσα στα δύο διαγράμματα για αρκετά διαφορετικά εύρη στις αντίστοιχες παροχές νερού και πετρελαίου.



Σχήμα 5. 13 Σχέση όγκου και παροχής πετρελαίου

#### 5.3.4 Κατακόρυφος Διαχωριστής τριών σταδίων

Στον κατακόρυφο διαχωριστή τριών σταδίων η εξάρτηση του όγκου από τους χρόνους παραμονής του πετρελαίου και του νερού ξεχωριστά παρουσιάζει σχεδόν ταυτόσημη συμπεριφορά.



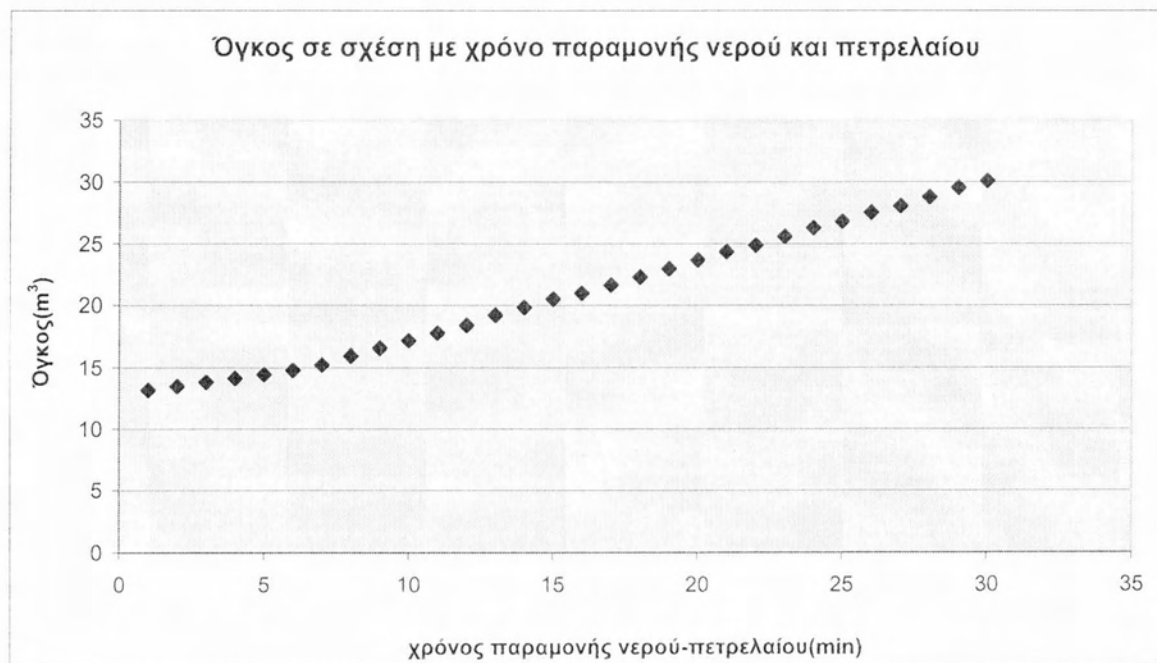
Σχήμα 5. 14 Σχέση όγκου και παροχής νερού

Το ίδιο θα μπορούσε να ειπωθεί και για την ταυτόχρονη μεταβολή και των δύο χρόνων παραμονής σε σχέση με τον όγκο.



Σχήμα 5. 15 Σχέση όγκου και χρόνου παραμονής πετρελαίου

Η παροχή αερίου φαίνεται να επηρεάζει τον όγκο του διαχωριστή στις ακραίες της τιμές, καθώς κατά το μεγαλύτερο τμήμα του εύρους της δείχνει να μην μεταβάλλει την τιμή του όγκου.



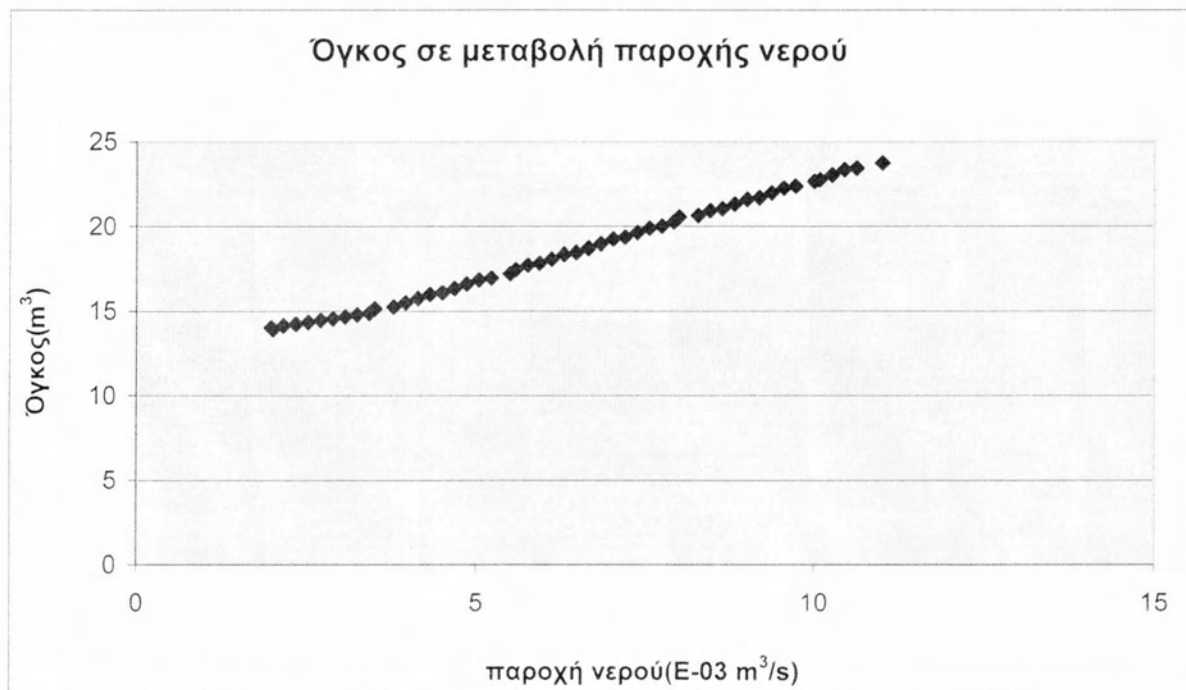
Σχήμα 5. 16 Σχέση όγκου και χρόνου παραμονής νερού-πετρελαίου



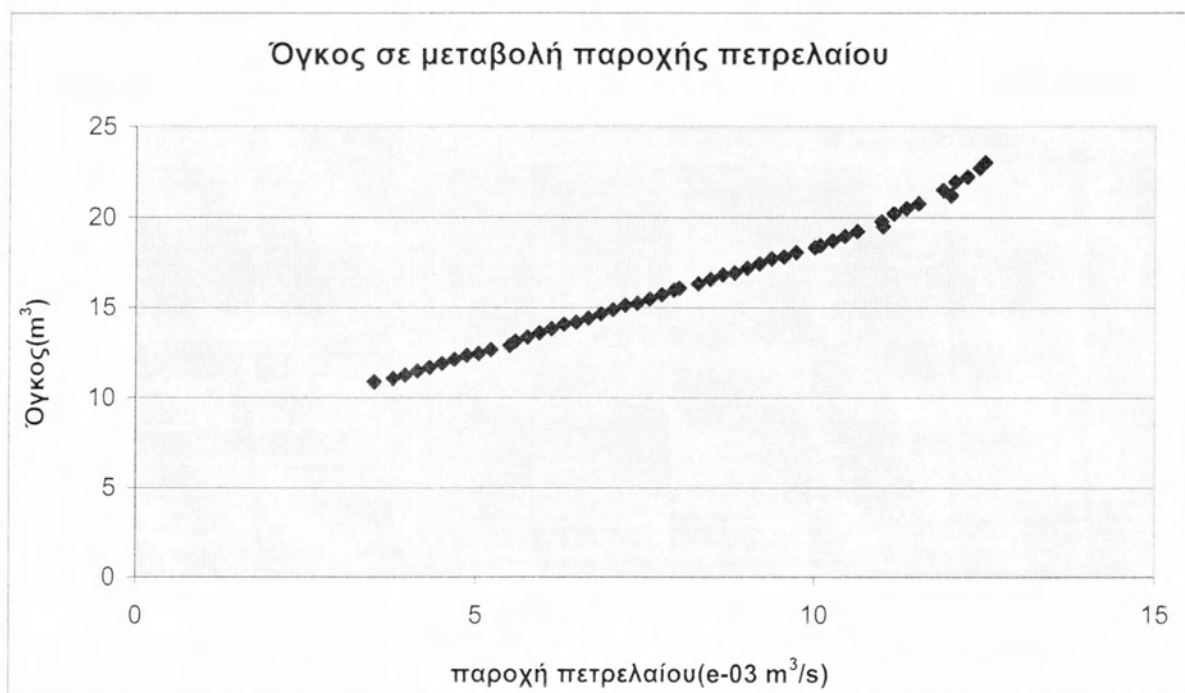
Σχήμα 5. 17 Σχέση όγκου και παροχής αερίου



Αντιθέτως η μεταβολή της παροχής του νερού και του πετρελαίου αντίστοιχα επηρεάζει τον όγκο σε όλο το εύρος της μεταβολής του καθενός



Σχήμα 5. 18 Σχέση όγκου και παροχής νερού



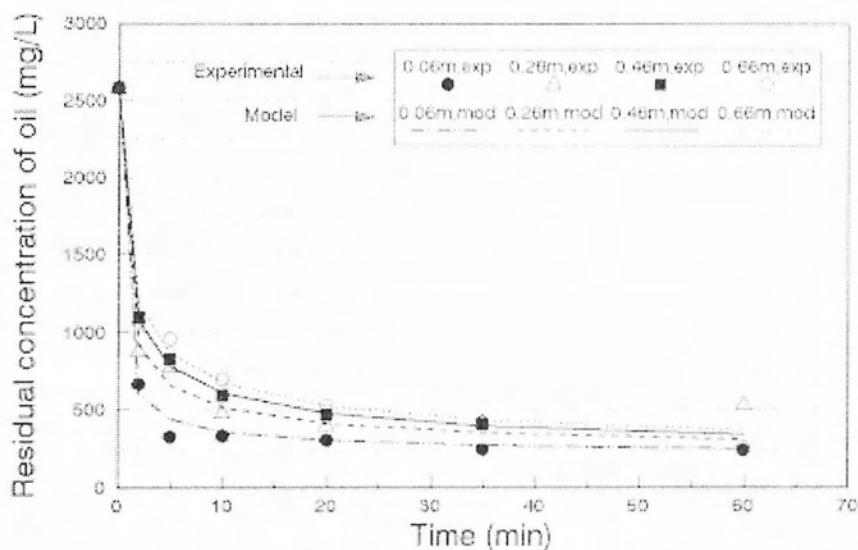
Σχήμα 5. 19 Σχέση όγκου και παροχής πετρελαίου

## Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα

Με την παρουσίαση των παραπάνω δεδομένων και αποτελεσμάτων μπορεί κάποιος να καταλήξει ότι οι διαχωριστές πετρελαίου, νερού και φυσικού αερίου αποτελούν ένα ζωτικό κομμάτι στην επεξεργασία του πετρελαίου για την παραγωγή πολύτιμων αγαθών για τις καθημερινές ανάγκες του μέσου ανθρώπου.

Κατά τη διπλωματική εργασία παρατέθηκαν πληροφορίες για τη βιομηχανία του πετρελαίου, τη θέση των διαχωριστών σε αυτή, τη λειτουργία και τη φύση τους, καθώς και τη φυσική και τα μαθηματικά που διέπουν τη σχεδιαστική διαδικασία και τη διαστασιολόγησή τους.

Μελετώντας τις σχεδιαστικές εξισώσεις και γράφοντας τον κώδικα για το πρόγραμμα που δημιουργήθηκε, ο οποίος βελτιστοποιεί την επιλογή ως προς τον όγκο, ο οποίος συνδέεται άρρηκτα το κόστος για να ανταποκρίνεται στις εκάστοτε απαιτήσεις, λήφθηκαν δεδομένα και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για το σχεδιασμό διαγραμμάτων που βοηθούν στην υπόδειξη διάφορων συμπερασμάτων όσον αφορά την εξάρτηση των διαστάσεων ενός διαχωριστή από παραμέτρους που καθορίζουν τα χαρακτηριστικά της παροχής και της λειτουργίας.



Σχήμα 6. 1 Απόδοση διαχωρισμού με πάροδο χρόνου [24]

Βάσει του παραπάνω διαγράμματος είναι προφανές ότι η αποτελεσματικότητα ενός διαχωριστή, μετά από μία χρονική περίοδο, η οποία κυμαίνεται στα 20 με 30 λεπτά, μειώνεται σε πολύ μεγάλο βαθμό έως και εξαλείφεται. Συνδυασμένο με την αύξηση των διαστάσεων και κατά επέκταση του όγκου του διαχωριστή, το οποίο συνεπάγεται και αύξηση του κόστους καθιστώντας με αυτό τον τρόπο τους μεγάλους χρόνους παραμονής στο διαχωριστή ασύμφορους έως και επιβλαβής από οικονομικής πλευράς.

Στο επίκεντρο της κατηγοριοποίησης της μελέτης βρίσκεται η διαφοροποίηση των σταδίων λειτουργίας του διαχωριστή το οποίο εξαρτάται από τη σύσταση του διαχωριζόμενου υγρού και από τη διάταξη του διαχωριστή σε κατακόρυφο ή οριζόντιο, το οποίο γίνεται βάσει κριτηρίων που έχουν προαναφερθεί. Μεταξύ τους οι κατακόρυφοι και οι οριζόντιοι αντίστοιχα για δύο και τριών σταδίων παρουσιάζουν αισθητές διαφορές στο σχεδιασμό, στις εξισώσεις και στα αποτελέσματα από τον υπολογισμό των διαστάσεων, δηλώνοντας με αυτό τον τρόπο ότι η εκάστοτε διάταξη παρουσιάζει μία μεγαλύτερη εξάρτηση από λειτουργικές παραμέτρους.

Τα διαγράμματα που σχεδιάστηκαν υποδεικνύουν ότι οι οριζόντιοι και κατακόρυφοι διαχωριστές χρειάζεται να αυξήσουν τις διαστάσεις τους με διαφορετικούς συντελεστές κατά την αύξηση ορισμένων παραμέτρων καθιστώντας αναγκαία τη διαδικασία βελτιστοποίησης για τις διαστάσεις ενός διαχωριστή καθώς από την κάλυψη των σχεδιαστικών αναγκών του διαχωριστή γίνεται και εξοικονόμηση χώρου για αλλότριες δραστηριότητες, αλλά και κόστους. Με αυτό τον τρόπο γίνεται ευκόλως κατανοητό το όφελος από μία διαδικασία βελτιστοποίησης.

Επιπροσθέτως, παρατηρείται από τους υπολογισμούς και τα διαγράμματα που προκύπτουν από τον κώδικα βελτιστοποίησης ότι η κάθε μεταβολή παροχής επηρεάζει διαφορετικά σε σχέση με τις άλλες και ποικίλει από διάταξη με διάταξη, δίνοντας με αυτό τον τρόπο διαφορετική βαρύτητα σε κάθε παροχή.

Καταλήγοντας, με μια τελική επισκόπηση των πραγμάτων, οι διαχωριστές αποτελούν ένα βασικό κομμάτι της πετρελαϊκής βιομηχανίας, αλλά και γενικότερα της ευρύτερης βιομηχανίας. Λόγω της εκτεταμένης χρήσης τους έχουν σχεδιαστεί μοντέλα που επιτελούν διάφορες εξειδικευμένες λειτουργίες, αλλά και μορφοποιήσεις, με σκοπό τη διαμόρφωση τους για την κάλυψη μεγάλης ποικιλίας αναγκών και προτιμήσεων για το χρόνο, το χώρο ή τη σειρά διαδικασίας με την οποία εκτελείται η διεργασία. Οι σχεδιαστικοί κανόνες των κατασκευών αυτών επιβάλλονται από μία σειρά εξισώσεων που μελετήθηκαν και αποδείχτηκαν σε κεφάλαιο που προηγήθηκε δίνοντας εμφάση σε χαρακτηριστικά μεγέθη, αλλά και κύριες λειτουργικές διαστάσεις, όπως διάμετρος ή ενεργό μήκος.

## Βιβλιογραφία

- [1] Håvard Devold, «Oil and gas production handbook An introduction to oil and gas production, transport, refining and petrochemical industry. ABB Oil and Gas», 2013, [http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/f8414ee6c6813f5548257c14001f11f2/\\$file/oil+and+gas+production+handbook.pdf](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/f8414ee6c6813f5548257c14001f11f2/$file/oil+and+gas+production+handbook.pdf).
- [2] Εγκυκλοπαίδεια Νέα Δομή, Τόμος 28.
- [3] Χριστίδης Γιώργος, «Δημιουργία και μετανάστευση του πετρελαίου: Μια πολύπλοκη φυσική διαδικασία». Περισκόπιο της Επιστήμης, τεύχος 207, ΓΝΩΜΩΝ ΕΚΔΟΤΙΚΗ, (Ιούνιος 1997) .
- [4] Hyne, Norman J., «Nontechnical Guide to Petroleum Geology, Exploration, Drilling, and Production. PennWell Corporation», 2001, <http://www.scribd.com/doc/81283622/Nontechnical-Guide-to-Petroleum-Geology-Exploration-Drilling-and-Production-n-j#scribd>.
- [5] J. B. Harborne , «Phytochemical Methods A Guide to Modern Techniques of Plant Analysis» , 1984 pp. 1-36,  
[https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=2yvqeRtE8CwC&oi=fnd&pg=PR7&dq=Methods+of+Plant+Analysis&ots=xyegR8VoTb&sig=1FSfDpnvx03FVRMHIT7Frt5HM8c&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Methods%20of%20Plant%20Analysis&f=false](https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=2yvqeRtE8CwC&oi=fnd&pg=PR7&dq=Methods+of+Plant+Analysis&ots=xyegR8VoTb&sig=1FSfDpnvx03FVRMHIT7Frt5HM8c&redir_esc=y#v=onepage&q=Methods%20of%20Plant%20Analysis&f=false).
- [6] Laurence M. Harwood, Christopher J. Moody «*Experimental organic chemistry: Principles and Practice*», 1990, διαθέσιμο στο [openlibrary.org](http://openlibrary.org)
- [7] Original diagram drawn by Theresa Knott and adapted by Keir Chapman for Earth Site Encyclopedia
- [8] Gary, J.H. and Handwerk, G.E. «*Petroleum Refining Technology and Economics*»(2nd ed.), Marcel Dekker, (1984),  
<https://drive.google.com/file/d/0B6x3ojdwAFKyeTJ4UWJJTkFpeGM/edit>.
- [9] Arnold, K. and M. Stewart, «*Surface production operations*», 3rd ed. Vol. 1, Amsterdam: Elsevier. 768 p, 2008  
<https://books.google.gr/books?id=BoEiURxXLY4C&printsec=frontcover&dq=Surface+production+operations&hl=el&sa=X&ved=0CB8Q6AEwAGoVChMIzsf7jp7YxwIV6yrbCh02rgOd#v=onepage&q=Surface%20production%20operations&f=false>.
- [10] US Army Corps of Engineers, “AED Design Requirements: Oil/Water Separators”, 2010 [ανάκτηση από [www.aed.usace.army.mil/](http://www.aed.usace.army.mil/)]

- [11] Arnold K., Steward M., «Gas-Liquid And Liquid-Liquid Separators» Oxford: Gulf Professional Publishing, 2008 ,  
[https://books.google.gr/books?id=gT4k2mFkjL8C&printsec=frontcover&dq=Separator+vessel+selection+and+sizing+\(engineering+design+guideline\)&hl=el&sa=X&ved=0CDYQ6AEwA2oVChMIqaTC157YxwIVaZrbCh3aAgHB#v=onepage&q&f=false](https://books.google.gr/books?id=gT4k2mFkjL8C&printsec=frontcover&dq=Separator+vessel+selection+and+sizing+(engineering+design+guideline)&hl=el&sa=X&ved=0CDYQ6AEwA2oVChMIqaTC157YxwIVaZrbCh3aAgHB#v=onepage&q&f=false).
- [12] [http://petrowiki.org/Separator\\_types](http://petrowiki.org/Separator_types)
- [13] Viska Mulyandasari, «Separator vessel selection and sizing (engineering design guideline)», KLM Technology Group, 2011,  
[http://kolmetz.com/pdf/EDG/ENGINEERING\\_DESIGN\\_GUIDELINE\\_\\_separator%20vessel\\_REV01.pdf](http://kolmetz.com/pdf/EDG/ENGINEERING_DESIGN_GUIDELINE__separator%20vessel_REV01.pdf)
- [14] Atalla F. Sayda and James H. Taylor, Modeling and Control of Three-Phase Gravity Separators in Oil Production Facilities, Atlantic Canada Opportunities Agency (ACOA),  
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.69.7838&rep=rep1&type=pdf>
- [15] Theoretical study of cyclone design, Lingjuan Wang, Texas A&M University, 2004, <http://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/2192/etd-tamu-2004A-BAEN-Wang-1.pdf>.
- [16] G.E. Kouba, O. Shoham, A review of gas-liquid cylindrical cyclone (GLCC) technology, Presented at the “Production Separation Systems” International Conference, Aberdeen, UK, April 23 & 24, 1996,  
[http://tustp.org/publications/review\\_glcc\\_tech\\_96.pdf](http://tustp.org/publications/review_glcc_tech_96.pdf)
- [17] Oscar Mauricio Escobar, The University of Tulsa, 2005,  
[http://tustp.org/publications/Oscar\\_Mauricio\\_Escobar\\_Thesis%20.pdf](http://tustp.org/publications/Oscar_Mauricio_Escobar_Thesis%20.pdf)
- [18] Eastern Research Group, Inc., EMISSIONS FROM OIL AND GAS FIELD PRODUCTION AND PROCESSING OPERATIONS, 1999,  
<http://www.epa.gov/ttnchie1/eiip/techreport/volume02/ii10.pdf>
- [19] Monographs on Refinery Enviromental Control Management of Water Discharges, API publications 421, 1990, <http://www.scribd.com/doc/99998555/API-421#scribd>
- [20] Oil-water separator selection, installation and maintenance, public works technical bulletin, 1997,  
[http://www.wbdg.org/ccb/ARMYCOE/PWTB/pwtb\\_200\\_1\\_05.pdf](http://www.wbdg.org/ccb/ARMYCOE/PWTB/pwtb_200_1_05.pdf)
- [21] Stokes, George Gabriel. 1845. Transactions, Cambridge Philosophical Society 8, no. 287, <http://www.chem.mtu.edu/~fmorriso/cm310/StokesLaw1845.pdf>

[22] Mehdi Mostafaiyan, Mohammad Reza Saeb Alireza Emami Alorizi, Maysam Farahani, Application of evolutionary computational approach in design of horizontal three-phase gravity separators, Elsevier Volume 119, July 2014, Pages 28-35, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920410514000850>

[23] IET, Industrial engineering technologies  
[iet-engineering.com/activities\\_oil\\_and\\_gas\\_separators\\_iet\\_engineering.asp](http://iet-engineering.com/activities_oil_and_gas_separators_iet_engineering.asp)

[24] Carlos M. Lopez-Vazquez and Cheikh Fall, Improvement of a gravity oil separator using designed experiment, 2004, Universidad Autonoma del Estado del Mexico, [http://www.researchgate.net/publication/225905193\\_Improvement\\_of\\_a\\_Gravity\\_Oil\\_Separator\\_Using\\_a\\_Designed\\_Experiment](http://www.researchgate.net/publication/225905193_Improvement_of_a_Gravity_Oil_Separator_Using_a_Designed_Experiment).

# Παράρτημα

## Δεδομένα διαγραμμάτων Κεφαλαίου 5

Δεδομένα διαχωριστών δύο σταδίων σχημάτων 5.1 (αριστερά οριζόντιος) και 5.4 (δεξιά κατακόρυφος) όγκος-χρόνος παραμονής

Όγκος	Χρόνος
2,23074	1
2,23074	2
2,23074	3
2,28986	4
2,86933	5
3,42358	6
3,99967	7
4,58935	8
5,13171	9
5,71516	10
6,28262	11
6,88313	12
7,4596	13
7,99835	14
8,56173	15
9,14779	16
9,68614	17
10,244	18
10,9043	19
11,4213	20
12,0398	21

Όγκος	Χρόνος
2,23074	1
2,23074	2
2,23074	3
2,28986	4
2,86933	5
3,42358	6
3,99967	7
4,58935	8
5,13171	9
5,71516	10
6,28262	11
6,88313	12
7,4596	13
7,99835	14
8,56173	15
9,14779	16
9,68614	17
10,244	18
10,9043	19
11,4213	20
12,0398	21

Δεδομένα σχήματος 5.2 όγκος-παροχή πετρελαίου (οριζόντιος)

Όγκος	Παροχή	Όγκος	Παροχή
2,23074	6,624	2,93864	22,5216
2,23074	6,9552	2,97608	22,8528
2,23074	7,2864	2,97608	23,184
2,23074	7,6176	3,04769	23,5152
2,23074	7,9488	3,08388	23,8464
2,23074	8,28	3,12031	24,1776
2,23074	8,6112	3,19393	24,5088
2,23074	8,9424	3,23112	24,84
2,23074	9,2736	3,26856	25,1712
2,23074	9,6048	3,3442	25,5024
2,23074	9,936	3,3824	25,8336
2,23074	10,2672	3,42086	26,1648
2,23074	10,5984	3,42358	26,496
2,23074	10,9296	3,46273	26,8272
2,23074	11,2608	3,50215	27,1584
2,23074	11,592	3,58176	27,4896
2,23074	11,9232	3,62197	27,8208
2,23074	12,2544	3,66243	28,152
2,23074	12,5856	3,70316	28,4832
2,23074	12,9168	3,74416	28,8144
2,23074	13,248	3,78541	29,1456
2,23074	13,5792	3,86873	29,4768
2,23074	13,9104	3,87131	29,808
2,23074	14,2416	3,87131	30,1392
2,23074	14,5728	3,95661	30,4704
2,23074	14,904	3,99967	30,8016
2,23074	15,2352	4,043	31,1328
2,23074	15,5664	4,08661	31,464
2,23074	15,8976	4,13049	31,7952
2,23074	16,2288	4,17465	32,1264
2,23074	16,56	4,21908	32,4576
2,23074	16,8912	4,26379	32,7888
2,23074	17,2224	4,30877	33,12
2,26019	17,5536		
2,31976	17,8848		
2,38025	18,216		
2,41084	18,5472		
2,47271	18,8784		
2,50398	19,2096		
2,56723	19,5408		
2,59921	19,872		
2,60174	20,2032		
2,6672	20,5344		
2,70029	20,8656		
2,76719	21,1968		
2,80099	21,528		
2,83504	21,8592		
2,90386	22,1904		



Δεδομένα σχήματος 5.3 όγκος-παροχή αερίου (οριζόντιος)

Όγκος	Παροχή	Όγκος	Παροχή
0,655061	1,65	18,5962	9,57
0,86917	1,815	18,9553	9,735
1,08328	1,98		
1,29738	2,145		
1,62116	2,31		
1,95798	2,475		
2,27836	2,64		
2,60811	2,805		
2,91228	2,97		
3,25608	3,135		
3,57138	3,3		
3,90144	3,465		
4,25489	3,63		
4,61777	3,795		
4,98845	3,96		
5,31594	4,125		
5,70287	4,29		
6,09832	4,455		
6,44244	4,62		
6,78731	4,785		
7,21015	4,95		
7,5664	5,115		
7,93336	5,28		
8,29744	5,445		
8,67145	5,61		
9,13794	5,775		
9,52518	5,94		
9,91395	6,105		
10,3119	6,27		
10,7103	6,435		
11,0236	6,6		
11,4298	6,765		
11,8443	6,93		
12,267	7,095		
12,6981	7,26		
13,1272	7,425		
13,4559	7,59		
13,9002	7,755		
14,3523	7,92		
14,6786	8,085		
15,1455	8,25		
15,6082	8,415		
15,9409	8,58		
16,4175	8,745		
16,7615	8,91		
17,2521	9,075		
17,7366	9,24		
18,0985	9,405		

Δεδομένα σχήματος 5.5 όγκος-παροχή πετρελαίου (κατακόρυφος)

Όγκος	Παροχή	Όγκος	Παροχή
0,761537	1,8	1,66611	6,12
0,77774	1,89	1,68269	6,21
0,793943	1,98	1,69928	6,3
0,810146	2,07	1,73876	6,39
0,826349	2,16	1,75447	6,48
0,842551	2,25	1,77018	6,57
0,858754	2,34	1,81146	6,66
0,873799	2,43	1,82781	6,75
0,890002	2,52	1,84416	6,84
0,906205	2,61	1,88401	6,93
0,922407	2,7	1,90101	7,02
0,93861	2,79	1,91632	7,11
0,954813	2,88	1,95798	7,2
0,971015	2,97		
0,987218	3,06		
1,00226	3,15		
1,01847	3,24		
1,03467	3,33		
1,05087	3,42		
1,06707	3,51		
1,08328	3,6		
1,09948	3,69		
1,11568	3,78		
1,13188	3,87		
1,14693	3,96		
1,16313	4,05		
1,17934	4,14		
1,19554	4,23		
1,21174	4,32		
1,22794	4,41		
1,24415	4,5		
1,26035	4,59		
1,27655	4,68		
1,2916	4,77		
1,3078	4,86		
1,34471	4,95		
1,36168	5,04		
1,39846	5,13		
1,41495	5,22		
1,43145	5,31		
1,46875	5,4		
1,48467	5,49		
1,52303	5,58		
1,53966	5,67		
1,55629	5,76		
1,59512	5,85		
1,61103	5,94		
1,62694	6,03		

Δεδομένα σχήματος 5.6 όγκος-παροχή αερίου (κατακόρυφος)

Όγκος	Παροχή	Όγκος	Παροχή
0,982003	0,825	1,80952	8,745
0,982429	0,99	1,83116	8,91
0,979593	1,155	1,85234	9,075
0,974279	1,32	1,8763	9,24
0,986123	1,485	1,89661	9,405
0,977883	1,65	1,92198	9,57
0,986342	1,815	1,95017	9,735
0,975062	1,98	1,97815	9,9
0,98167	2,145		
0,987161	2,31		
0,973037	2,475		
0,995317	2,64		
1,01719	2,805		
1,03953	2,97		
1,061	3,135		
1,08328	3,3		
1,10463	3,465		
1,12668	3,63		
1,14861	3,795		
1,17077	3,96		
1,19352	4,125		
1,21568	4,29		
1,23744	4,455		
1,25897	4,62		
1,28211	4,785		
1,30376	4,95		
1,32569	5,115		
1,34808	5,28		
1,3692	5,445		
1,39102	5,61		
1,41371	5,775		
1,43535	5,94		
1,45809	6,105		
1,47991	6,27		
1,5008	6,435		
1,52307	6,6		
1,54454	6,765		
1,56763	6,93		
1,59003	7,095		
1,61173	7,26		
1,63273	7,425		
1,65571	7,59		
1,6781	7,755		
1,69992	7,92		
1,72116	8,085		
1,74471	8,25		
1,76484	8,415		
1,78741	8,58		

Δεδομένα διαχωριστών τριών σταδίων σχημάτων 5.7 (αριστερά πετρελαίου) και 5.8 (δεξιά νερού) όγκος-χρόνος παραμονής για οριζόντιους

Όγκος	Χρόνος
10,2415	1
11,7001	2
13,1443	3
14,6098	4
16,0726	5
17,5399	6
18,9894	7
20,457	8
21,9154	9
23,3923	10
24,8292	11
26,2971	12
27,7543	13
29,2094	14
30,6726	15
32,1532	16
33,62	17
35,0715	18
36,5146	19
37,9754	20
39,4526	21
40,9155	22
42,3664	23
43,8222	24
45,276	25

Όγκος	Χρόνος
2,83	1
4,6817	2
7,02463	3
9,36094	4
11,7001	5
14,0266	6
16,3735	7
18,6973	8
21,0389	9
23,3923	10
25,711	11
28,0935	12
30,3859	13
32,734	14
35,0715	15
37,4395	16
39,7484	17
42,102	18
44,4033	19
46,7658	20
49,0719	21
51,465	22
53,7482	23
56,0846	24
58,4359	25

Δεδομένα σχημάτων 5.10 και 5.16 όγκος-χρόνος παραμονής νερού-πετρελαίου  
(οριζόντιος δεξιά, κατακόρυφος αριστερά)

Όγκος	Χρόνος
15,4903	1
16,3735	2
17,2396	3
18,1149	4
18,9894	5
19,8674	6
20,7652	7
21,629	8
22,497	9
23,3923	10
24,2937	11
25,1355	12
26,0061	13
26,8893	14
27,7543	15
28,6582	16
29,5097	17
30,3859	18
31,2687	19
32,1532	20
33,0114	21
33,9441	22
34,7665	23
35,6645	24
36,5146	25

Όγκος	Χρόνος
13,1628	1
13,4842	2
13,8056	3
14,127	4
14,4484	5
14,7698	6
15,2265	7
15,9634	8
16,5701	9
17,1834	10
17,8035	11
18,4304	12
19,2231	13
19,8674	14
20,5188	15
21,0079	16
21,6701	17
22,3396	18
23,0164	19
23,7007	20
24,3925	21
24,902	22
25,6053	23
26,3162	24
26,8353	25

Δεδομένα σχήματος 5.11 όγκος-παροχή αερίου (οριζόντιος)

Όγκος	Παροχή	Όγκος	Παροχή
23,3923	1,65	23,3923	4,818
23,3923	1,716	23,3923	4,884
23,3923	1,782	23,3923	4,95
23,3923	1,848	23,3923	5,016
23,3923	1,914	23,3923	5,082
23,3923	1,98	23,3923	5,148
23,3923	2,046	23,3923	5,214
23,3923	2,112	23,3923	5,28
23,3923	2,178	23,3923	5,346
23,3923	2,244	23,3923	5,412
23,3923	2,31	23,3923	5,478
23,3923	2,376	23,3923	5,544
23,3923	2,442	23,3923	5,61
23,3923	2,508	23,3923	5,676
23,3923	2,574	23,3923	5,742
23,3923	2,64	23,3923	5,808
23,3923	2,706	23,3923	5,874
23,3923	2,772	23,3923	5,94
23,3923	2,838	23,3923	6,006
23,3923	2,904	23,3923	6,072
23,3923	2,97	23,3923	6,138
23,3923	3,036	23,3923	6,204
23,3923	3,102	23,3923	6,27
23,3923	3,168	23,3923	6,336
23,3923	3,234	23,3923	6,402
23,3923	3,3	23,3923	6,468
23,3923	3,366	23,3923	6,534
23,3923	3,432		
23,3923	3,498		
23,3923	3,564		
23,3923	3,63		
23,3923	3,696		
23,3923	3,762		
23,3923	3,828		
23,3923	3,894		
23,3923	3,96		
23,3923	4,026		
23,3923	4,092		
23,3923	4,158		
23,3923	4,224		
23,3923	4,29		
23,3923	4,356		
23,3923	4,422		
23,3923	4,488		
23,3923	4,554		
23,3923	4,62		
23,3923	4,686		
23,3923	4,752		

Δεδομένα σχήματος 5.12 όγκος-παροχή νερού (οριζόντιος)

Όγκος	Παροχή
17,5399	1,8
17,8571	1,98
18,1149	2,16
18,4295	2,34
18,6973	2,52
18,9894	2,7
19,3163	2,88
19,5748	3,06
19,8674	3,24
20,1674	3,42
20,457	3,6
20,7652	3,78
21,0389	3,96
21,3295	4,14
21,629	4,32
21,9154	4,5
22,2226	4,68
22,497	4,86
22,7875	5,04
23,0786	5,22
23,3923	5,4
23,6602	5,58
23,9547	5,76
24,2937	5,94
24,5494	6,12
24,8292	6,3
25,1355	6,48
25,4162	6,66
25,711	6,84
26,0061	7,02
26,2971	7,2
26,6184	7,38
26,8893	7,56
27,1802	7,74
27,4725	7,92
27,7543	8,1
28,0935	8,28
28,3751	8,46
28,6582	8,64
28,9242	8,82
29,2094	9

Δεδομένα σχήματος 5.13 όγκος-παροχή πετρελαίου (οριζόντιος)

Όγκος	Παροχή	Όγκος	Παροχή
14,6098	3,6	28,6582	12,24
14,897	3,78	28,9242	12,42
15,2195	3,96	29,2094	12,6
15,4903	4,14		
15,7746	4,32		
16,0726	4,5		
16,3735	4,68		
16,6705	4,86		
16,9686	5,04		
17,2396	5,22		
17,5399	5,4		
17,8571	5,58		
18,1149	5,76		
18,4295	5,94		
18,6973	6,12		
18,9894	6,3		
19,3163	6,48		
19,5748	6,66		
19,8674	6,84		
20,1674	7,02		
20,457	7,2		
20,7652	7,38		
21,0389	7,56		
21,3295	7,74		
21,629	7,92		
21,9154	8,1		
22,2226	8,28		
22,497	8,46		
22,7875	8,64		
23,0786	8,82		
23,3923	9		
23,6602	9,18		
23,9547	9,36		
24,2937	9,54		
24,5494	9,72		
24,8292	9,9		
25,1355	10,08		
25,4162	10,26		
25,711	10,44		
26,0061	10,62		
26,2971	10,8		
26,6184	10,98		
26,8893	11,16		
27,1802	11,34		
27,4725	11,52		
27,7543	11,7		
28,0935	11,88		
28,3751	12,06		



Δεδομένα διαχωριστών τριών σταδίων σχημάτων 5.14 (αριστερά πετρελαίου) και 5.15 (δεξιά νερού) όγκος-χρόνος παραμονής για κατακόρυφους

Όγκος	Χρόνος
11.2344	1
11.7701	2
12.3057	3
12.8414	4
13.3771	5
13.9128	6
14.4484	7
15.1194	8
16.0706	9
17.1834	10
18.3233	11
19.3302	12
20.5188	13
21.5629	14
22.6235	15
23.7007	16
24.7949	17
25.7124	18
26.8353	19
27.9758	20
29.1343	21
30.0952	22
31.284	23
32.2653	24
33.2551	25

Όγκος	Χρόνος
8.34173	1
9.19881	2
10.0559	3
10.913	4
11.7701	5
12.6271	6
13.4842	7
14.3413	8
15.4705	9
17.1834	10
18.9571	11
20.6259	12
22.3396	13
24.0993	14
25.7124	15
27.558	16
29.2414	17
30.9571	18
32.7056	19
34.4876	20
36.0607	21
37.9028	22
39.5216	23
41.1606	24
43.0917	25

Δεδομένα σχήματος 5.17 όγκος-παροχή αερίου (κατακόρυφος)

Όγκος	Παροχή	Όγκος	Παροχή
17,1834	1,65	23,0323	9,57
17,1834	1,815	23,4534	9,735
17,1834	1,98	23,8827	9,9
17,1834	2,145		
17,1834	2,31		
17,1834	2,475		
17,1834	2,64		
17,1834	2,805		
17,1834	2,97		
17,1834	3,135		
17,1834	3,3		
17,1834	3,465		
17,1834	3,63		
17,1834	3,795		
17,1834	3,96		
17,1834	4,125		
17,1834	4,29		
17,1834	4,455		
17,1834	4,62		
17,1834	4,785		
17,1834	4,95		
17,1834	5,115		
17,1834	5,28		
17,1834	5,445		
17,1834	5,61		
17,1834	5,775		
17,1834	5,94		
17,1834	6,105		
17,1834	6,27		
17,1834	6,435		
17,1834	6,6		
17,1834	6,765		
17,4821	6,93		
17,943	7,095		
18,2589	7,26		
18,5818	7,425		
18,9118	7,59		
19,2489	7,755		
19,5934	7,92		
19,9451	8,085		
20,3043	8,25		
20,6709	8,415		
20,8571	8,58		
21,2351	8,745		
21,6208	8,91		
22,0142	9,075		
22,4155	9,24		
22,8247	9,405		

Δεδομένα σχήματος 5.18 όγκος-παροχή νερού (κατακόρυφος)

Όγκος	Παροχή	Όγκος	Παροχή
13,9128	1,8	23,3041	10,44
14,0199	1,98	23,4112	10,62
14,127	2,16	23,7007	10,8
14,2342	2,34		
14,3413	2,52		
14,4484	2,7		
14,5556	2,88		
14,6627	3,06		
14,7698	3,24		
14,877	3,42		
15,1194	3,6		
15,2265	3,78		
15,4705	3,96		
15,7162	4,14		
15,9634	4,32		
16,0706	4,5		
16,3195	4,68		
16,5701	4,86		
16,8224	5,04		
16,9295	5,22		
17,1834	5,4		
17,4391	5,58		
17,6964	5,76		
17,8035	5,94		
18,0626	6,12		
18,3233	6,3		
18,4304	6,48		
18,6929	6,66		
18,9571	6,84		
19,2231	7,02		
19,3302	7,2		
19,5979	7,38		
19,8674	7,56		
19,9745	7,74		
20,2458	7,92		
20,5188	8,1		
20,6259	8,28		
20,9007	8,46		
21,0079	8,64		
21,2845	8,82		
21,5629	9		
21,6701	9,18		
21,9503	9,36		
22,2324	9,54		
22,3396	9,72		
22,6235	9,9		
22,7306	10,08		
23,0164	10,26		

Δεδομένα σχήματος 5.19 όγκος-παροχή πετρελαίου (κατακόρυφος)

Όγκος	Παροχή	Όγκος	Παροχή
10,8528	3,6	22,2327	12,24
11,0334	3,78	22,7065	12,42
11,2146	3,96	22,9998	12,6
11,4338	4,14		
11,6546	4,32		
11,8768	4,5		
12,1005	4,68		
12,3257	4,86		
12,4328	5,04		
12,6596	5,22		
12,8878	5,4		
13,1176	5,58		
13,3489	5,76		
13,5818	5,94		
13,8163	6,12		
14,0523	6,3		
14,1594	6,48		
14,397	6,66		
14,6362	6,84		
14,877	7,02		
15,1194	7,2		
15,2265	7,38		
15,4705	7,56		
15,7162	7,74		
15,9634	7,92		
16,0706	8,1		
16,3195	8,28		
16,5701	8,46		
16,8224	8,64		
16,9295	8,82		
17,1834	9		
17,4391	9,18		
17,6964	9,36		
17,8035	9,54		
18,0626	9,72		
18,3233	9,9		
18,4304	10,08		
18,6929	10,26		
18,9571	10,44		
19,2231	10,62		
19,4908	10,8		
19,7602	10,98		
20,1974	11,16		
20,4722	11,34		
20,7488	11,52		
21,2004	11,7		
21,4825	11,88		
21,9451	12,06		

: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000138142

