



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

**«Μελέτη και σχεδιασμός διηθητικών κλινών για τη συγκράτηση  
αιωρούμενων σωματιδίων αποβλήτων ελαιουργείων με χρήση  
ελληνικών λιγνιτών»  
Διπλωματική εργασία**

Βαλεντίνη Δ. Αντωνιάδου

Εξεταστική επιτροπή

Θεόδωρος Μαρκόπουλος, Καθηγητής (επιβλέπων)

Αντώνιος Φώσκολος, Ομότιμος Καθηγητής

Βασίλειος Γκέκας, Καθηγητής

Χανιά

Νοέμβριος, 2006

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτέλεσε τμήμα ενός ερευνητικού έργου με τίτλο «Μελέτη χρήσης των Ελληνικών λιγνιτών ως προσροφητικών και μέσων ιοντοεναλλαγής σε φίλτρα για τον καθαρισμό πόσιμου νερού, αστικών λυμάτων και απόνερων ελαιουργείων» και εκπονήθηκε στο εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων και στο εργαστήριο Φαινομένων Μεταφοράς και Εφαρμοσμένης Θερμοδυναμικής του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος. Επιβλέπων της εργασίας ήταν ο καθηγητής κ. Θεόδωρος Μαρκόπουλος.

Σκοπός της εργασίας, ήταν η εφαρμογή διεργασιών διήθησης για την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών και του οργανικού φορτίου αντίστοιχα, για την επεξεργασία αποβλήτων ελαιουργείων, με τη χρήση φίλτρων διαφορετικών τύπων μη ενεργοποιημένου ελληνικού λιγνίτη.

Τα είδη αυτά των λιγνιτών επιλέχθηκαν αφενός μεν διότι κατά τις εργαστηριακές δοκιμές επέδειξαν πολύ ικανοποιητική απόδοση στην απομάκρυνση του ρυπαντικού φορτίου του κατσίγαρου, αφετέρου δε παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι έχουν πολύ μικρότερος κόστος σε σχέση με τον ενεργό άνθρακα. Συνεπώς, μια εγκατάσταση επεξεργασίας κατσίγαρου με τη χρήση αυτών των λιγνιτών ως φίλτρα επεξεργασίας, αναμένεται να πετυχαίνει τον επαρκή καθαρισμό του αποβλήτου σε συνδυασμό με μικρό κόστος κατασκευής και λειτουργίας.

## Πρόλογος

Η επιτυχής ολοκλήρωση της εργασίας οφείλεται στην αποτελεσματική συνεργασία, βοήθεια και συμπαράσταση ορισμένων ανθρώπων, τους οποίους θα ήθελα να ευχαριστήσω.

Συγκεκριμένα, ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Θεόδωρο Μαρκόπουλο για τις συμβουλές και την υπομονή του κατά την διάρκεια της συνεργασίας μας. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Βασίλειο Γκέκα για την πολύτιμη βοήθειά του και τον ομότιμο καθηγητή κ. Αντώνιο Φώσκολο που συμμετέχουν στην εξεταστική επιτροπή για τις εύστοχες παρατηρήσεις τους στο κείμενο και που δέχτηκαν να αξιολογήσουν την εργασία μου.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον κ. Γεώργιο Τριανταφύλλου (Μηχανικό Ορυκτών Πόρων, MSc) για την πολύτιμη βοήθειά του και την υπομονή του καθ'όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας. Ευχαριστώ επίσης την κ. Αργυρώ Βουτεκάκη (Χημικό, MSc Μηχανικός Περιβάλλοντος ) και την κ. Βασιλική Ματσούκα - Μηχανικός Περιβάλλοντος που ήταν πρόθυμοι να με βοηθήσουν σε κάθε απορία μου.

Τέλος ευχαριστώ θερμά την οικογένεια μου, τον κ. Ιωάννη Χωροπανίτη και τους φίλους μου για τη συμπαράστασή τους κατά τη διάρκεια ολοκλήρωσης της διπλωματικής μου εργασίας.

## Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	ii
Πρόλογος.....	iii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ .....	1
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΕΣ.....	5
2.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΩΝ.....	5
2.2 ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ.....	6
2.2.1 Η διαδικασία ενανθράκωσης.....	6
2.2.2 Ο βαθμός ενανθράκωσης.....	8
2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΩΝ.....	9
2.3.1 Τύρφη.....	9
2.3.2 Λιγνίτης.....	10
2.3.3 Λιθάνθρακας.....	12
2.3.4 Ανθρακίτης.....	13
2.4 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ.....	13
2.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΙΓΝΙΤΩΝ.....	15
2.5.1 Μακροσκοπικά χαρακτηριστικά.....	15
2.6 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΩΝ.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΛΑΙΟΛΑΔΟ ΚΑΙ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΩΝ	
(Κατσίγαρος).....	20
3.1 ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΕΛΑΙΟΥΡΓΙΑΣ.....	20
3.2 ΤΥΠΟΙ ΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΩΝ.....	21
3.3 ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΩΝ ΚΑΙ	
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥΣ.....	26
3.3.1 Παραγωγή υγρών αποβλήτων ελαιουργείων.....	26
3.3.2 Χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων των ελαιουργείων..	
.....	29
3.3.3 Μικροβιακά χαρακτηριστικά των φυτικών υγρών.....	30
3.3.4 Χημική σύσταση κατσίγαρου.....	30
3.4 ΔΙΑΘΕΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΩΝ.....	33

3.4.1 Κατηγορίες μεθόδων επεξεργασίας κατσίγαρου.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΔΙΗΘΗΣΗ.....	36
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	36
4.2 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΕΙΔΩΝ ΔΙΗΘΗΣΗΣ.....	37
4.2.1 Διήθηση χώρου.....	37
4.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ.....	38
4.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	45
4.4.1 Φυσικά χαρακτηριστικά αποβλήτων.....	45
4.5 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ.....	47
4.5.1 Διαθέσιμοι τύποι φίλτρων.....	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.....	56
5.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΑ.....	56
5.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.....	57
5.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ-ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	63
5.3.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων κοκκομετρικής ανάλυσης..	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ.....	71
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	71
6.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ.....	71
6.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΗΘΗΤΙΚΗΣ ΚΛΙΝΗΣ - ΑΡΧΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ.....	72
6.3.1 Αποτελέσματα της πρώτης φάσης των εργαστηριακών δοκιμών.....	78
6.4 ΤΕΛΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ.....	82
6.4.1 Αποτελέσματα της δεύτερης φάσης των εργαστηριακών δοκιμών.....	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	90
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	93
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	96
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	115

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η συνεχής χρήση του νερού έχει ως αποτέλεσμα την παρέμβαση στα δυο κύρια χαρακτηριστικά του, την ποιότητα και την ποσότητά του, το οποίο οδηγεί στην ρύπανση των υπόγειων και των επιφανειακών υδάτων. Η υποβάθμιση αυτή καθιστά επιτακτική την ανάγκη επεξεργασίας των αστικών και βιομηχανικών λυμάτων πριν την τελική διάθεσή τους στους υδάτινους αποδέκτες. Με την παρούσα νομοθεσία άλλωστε απαιτείται η εποπτεία της ποιότητας της εκροής των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων πριν τη διάθεσή τους. Τα λύματα που προέρχονται από δήμους ή κοινότητες πρέπει να επεξεργάζονται επαρκώς πριν την επιστροφή τους στα επιφανειακά νερά ή τη γη.

Βέβαια δεν υπάρχει μόνο η ανάγκη επεξεργασίας των αστικών λυμάτων υπάρχει και η επιτακτική ανάγκη διαχείρισης αποβλήτων που προέρχονται από άλλες χρήσεις όπως τα απόνερα των ελαιουργείων (κατσίγαρος). Τα υγρά απόβλητα των ελαιουργείων αποτελούν ένα σημαντικό και συνεχώς διογκούμενο περιβαλλοντικό πρόβλημα λόγω της μεγάλης ποσότητάς τους, του υψηλού οργανικού ρυπαντικού τους φορτίου και των ιδιαίτερων συστατικών τους (φαινολικές ενώσεις) που είναι δύσκολα αποικοδομήσιμα. Έτσι η ανάγκη επαρκούς επεξεργασίας του κατσίγαρου που παράγεται κατά τη διαδικασία παραγωγής ελαιόλαδου στα ελαιουργεία προκύπτει από τη σύστασή του. Συγκεκριμένα, το απόβλητο αυτό φέρει υψηλό βιολογικό φορτίο ( $BOD_5$ ), έχει υψηλή συγκέντρωση σε αιωρούμενα στερεά και είναι επιβαρυνμένο με φαινόλες, οι οποίες σε μεγάλες συγκεντρώσεις εμφανίζουν τοξικότητα.

Επομένως, προκύπτει η ανάγκη εύρεσης μεθόδων επεξεργασίας ικανών για τον καθαρισμό και την απαλλαγή του αποβλήτου αυτού από τα αιωρούμενα στερεά καθώς και το οργανικό φορτίο πριν την τελική διάθεσή του, καθώς το πρόβλημα που δημιουργείται από αυτά τα απόβλητα καλούνται να το αντιμετωπίσουν κυρίως οι Μεσογειακές χώρες, όπου και παράγεται το μεγαλύτερο ποσοστό ελαιόλαδου. Η μελέτη του προβλήματος καθώς και η αντιμετώπιση του γίνονται προς το παρόν ασυντόνιστα και οι λύσεις που χρησιμοποιούνται ποικίλουν όχι μόνο από χώρα σε

χώρα αλλά και από περιοχή σε περιοχή. Η επιλογή της μεθόδου επεξεργασίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η σύσταση των αστικών λυμάτων, το κόστος επεξεργασίας κ.τ.λ. Έτσι ο μηχανικός καλείται να επιλέξει ανάμεσα σε φυσικές, χημικές, βιολογικές διεργασίες επεξεργασίας ή σε συνδυασμό των παραπάνω.

## 1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην παρούσα εργασία μελετάται η χρήση διαφορετικών τύπων γαιανθράκων με προέλευση τον Ελλαδικό χώρο ως υλικά πλήρωσης διηθητικών κλινών για την επεξεργασία αποβλήτων ελαιουργείων. Αυτό πραγματοποιήθηκε με τη χρήση φίλτρων διαφορετικών τύπων μη ενεργοποιημένου ελληνικού λιγνίτη, τα είδη των οποίων επιλέχθηκαν λόγω της ικανοποιητικής τους απόδοσης στην απομάκρυνση του ρυπαντικού φορτίου του κατσίγαρου.

Αρχικά στα δείγματα του γαιάνθρακα που χρησιμοποιήθηκαν έγινε χαρακτηρισμός τους με βάση του τύπου του πετρώματος, του λιθότυπου και άλλων φυσικών τους χαρακτηριστικών που επηρεάζουν τη διηθητική τους ικανότητα. Στη μελέτη της διήθησης δεν χρειαζόταν κάποια ειδική επεξεργασία στα δείγματα του γαιάνθρακα, αλλά ήταν απαραίτητη η καταγραφή του αρχικού βάρους του κάθε δείγματος, η ξήρανση όλων των δειγμάτων σε εργαστηριακό φούρνο και ο υπολογισμός του τελικού καθαρού βάρους και το επί τοις εκατό ποσοστό της υγρασίας των δειγμάτων. Στο τέλος έγινε αναλυτική κοκκομετρική ανάλυση σε όλα τα δείγματα.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν δύο φάσεις εργαστηριακών δοκιμών. Στην πρώτη φάση χρησιμοποιήθηκε δείγμα αποβλήτου που προήλθε από το Σύγχρονο Ελαιοτριβείο ΑΦΟΙ Μπουντουράκη. Ο κατσίγαρος για να χρησιμοποιηθεί υπέστη υγρή κοσκίνηση και μετά οδηγήθηκε στον φούρνο για ξήρανση, με σκοπό την συγκέντρωση της στερεής φάσης. Έπειτα πραγματοποιήθηκε συλλογή ποσότητας δείγματος από τα στερεά σωματίδια του κατσίγαρου που προέκυψαν από τη διαδικασία. Η κοκκομετρική ταξινόμηση του δείγματος του κατσίγαρου ήταν αντιπροσωπευτική του αρχικού δείγματος σύμφωνα με την % κ.β. σύσταση που προέκυψε από την κοκκομετρική ανάλυση. Ποσότητα 2 γραμμαρίων από το παραπάνω δείγμα, αραιώθηκε σε ποσότητα νερού 3 λίτρων και αποτελούσε την

τροφοδοσία κάθε πειράματος. Η ποσότητα των τριών λίτρων της τροφοδοσίας γέμιζε το πλαστικό ντεπόζιτο (tank τροφοδοσίας) και με τη βοήθεια της περισταλτικής αντλίας γινόταν επανακυκλοφορία του δείγματος στην πληρωμένη από γαιάνθρακα στήλη, με φορά από πάνω προς τα κάτω για χρονικό διάστημα δύο ωρών.

Στο κομμάτι αυτό των εργαστηριακών δοκιμών χρησιμοποιήθηκε μόνο λιγνίτης στο φίλτρο και όχι συνδυασμός υλικών. Η ποσότητα του δείγματος με το οποίο πληρωνόταν η στήλη στην φάση αυτή των πειραμάτων ήταν 200 γραμμάρια. Εξετάστηκαν τρεις διαφορετικοί τρόποι διάταξης των κλασμάτων του γαιάνθρακα στη διηθητική κλίνη. Ο πρώτος τρόπος είναι με αδρομερές κλάσμα γαιάνθρακα στην κορυφή της κλίνης, πιο λεπτομερές κλάσμα στη μέση και πάλι αδρομερές κλάσμα στο τέλος της κλίνης. Ο δεύτερος τρόπος είναι με αδρομερές κλάσμα γαιάνθρακα στην κορυφή και στη συνέχεια πιο λεπτομερές κλάσμα στο τέλος της κλίνης. Ο τρίτος τρόπος είναι με την τοποθέτηση των δειγμάτων γαιάνθρακα στην στήλη χωρίς συγκεκριμένη διάταξη των κοκκομετρικών κλασμάτων σε τυχαία – ανάμεικτη κοκκομετρία.

Μετά το χρονικό διάστημα των δύο ωρών το διήθημα συλλεγόταν σε ογκομετρικούς κυλίνδρους και έμενε σε ηρεμία για χρονικό διάστημα εικοσιτεσσάρων ωρών. Στη συνέχεια απομακρυνόταν με άντληση το υπερκείμενο στρώμα του νερού, πάνω από τα σωματίδια που είχαν καθιζάνει και σε μια ποσότητα που περιείχε την εναπομένουσα ποσότητα των στερών σωματιδίων του κατσίγαρου γινόταν φυγοκέντριση. Μετά τη φυγοκέντριση το δείγμα ξηράθηκε και ζυγίστηκε. Από την διαφορά βάρους πριν και μετά τη διήθηση υπολογίστηκε η επί τοις εκατό κατακράτηση των σωματιδίων.

Τα καλύτερα σε απόδοση δείγματα επαναχρησιμοποιήθηκαν με την ίδια συγκέντρωση της τροφοδοσίας σε στερεά σωματίδια κατσίγαρου όπως και πριν και επανακυκλοφορία του υγρού στην διηθητική κλίνη για χρονικό διάστημα 2 ωρών. Το δείγμα με το οποίο πληρώθηκε η στήλη τοποθετήθηκε στην στήλη χωρίς συγκεκριμένη διάταξη των κοκκομετρικών κλασμάτων.

Τα τελικά πειράματα της μελέτης διήθησης πραγματοποιήθηκαν σε πραγματικό δείγμα απόνερου ελαιουργείου, η δειγματοληψία του οποίου έγινε σε τριφασικό ελαιουργείο του νομού Χανίων. Λόγω του ότι η ποσότητα του δείγματος του κατσίγαρου ήταν πολύ πυκνή, έγινε αραίωσή του με νερό. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της καθίζησης για τον πρώτο διαχωρισμό των σωματιδίων του κατσίγαρου σε καθιζάνοντα και αιωρούμενα συστατικά. Αυτό επετεύχθη με πλήρωση



εργαστηριακών ογκομετρικών κυλίνδρων με το προς εξέταση δείγμα. Στη συνέχεια το δείγμα αφέθηκε σε ηρεμία για χρονικό διάστημα 24 ωρών. Μετά την πάροδο του χρονικού διαστήματος των 24 ωρών, παρατηρήθηκε η δημιουργία τριών ζωνών στο αραιωμένο υγρό δείγμα κατσίγαρου.

Για την πραγματοποίηση των εργαστηριακών δοκιμών χρησιμοποιήθηκε μόνο η ποσότητα του υγρού δείγματος των δυο τελευταίων ζωνών, που περιείχαν τα αιωρούμενα στερεά συστατικά του κατσίγαρου. Κάθε φορά γινόταν συλλογή ποσότητας 3 λίτρων από το υγρό δείγμα των δυο αυτών ζωνών το οποίο αποτελούσε και την τροφοδοσία κατά την διεργασία της διήθησης. Η ποσότητα αυτή των 3 λίτρων γέμιζε το τανκ της τροφοδοσίας και διοχετευόταν μέσω της διηθητικής κλίνης που ήταν πληρωμένη με την ποσότητα του γαιάνθρακα.

Οι στήλες στο κομμάτι αυτό των εργαστηριακών δοκιμών ήταν πολυστρωματικές. Εκτός από την ποσότητα του γαιάνθρακα, χρησιμοποιήθηκε στην βάση της στήλης αδρανές υλικό (ασβεστόλιθος). Ο τρόπος διάταξης των κοκκομετρικών κλασμάτων των γαιανθράκων που επιλέχθηκε για τη σειρά αυτή των πειραμάτων ήταν αυτός του ΑΔΡ – ΛΕΠΤ – ΑΔΡ. Μελετήθηκε η επίδραση της ποσότητας των δειγμάτων γαιανθράκων με την οποία πληρωνόταν η στήλη. Για τον λόγο αυτό έγινε πειραματική δοκιμή με δείγμα γαιάνθρακα ποσότητας 200γρ. αλλά και 400γρ. Γινόταν επανακυκλοφορία του δείγματος τροφοδοσίας του κατσίγαρου στην πληρωμένη από γαιάνθρακα στήλη, με φορά από πάνω προς τα κάτω για χρονικό διάστημα τριών ωρών. Η μέτρηση της ποσότητας των αιωρούμενων σωματιδίων στο δείγμα πριν και μετά τη διήθηση γινόταν με τη χρήση της διάταξης Buckner υπό κενό και τη χρησιμοποίηση φίλτρου Whatman No 5.

Τέλος έγινε επεξεργασία των αποτελεσμάτων, έτσι ώστε να διαπιστωθεί πιο από τα δείγματα και ποια διάταξη των στηλών έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα και ποιοι παράγοντες επηρεάζουν τη διαδικασία της απομάκρυνσης των αιωρούμενων σωματιδίων. Κατά τον τρόπο αυτό μια εγκατάσταση επεξεργασίας κατσίγαρου με τη χρήση αυτών των λιγνιτών ως φίλτρα επεξεργασίας πετυχαίνει τον επαρκή καθαρισμό του αποβλήτου σε συνδυασμό με μικρό κόστος κατασκευής και λειτουργίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2. ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΕΣ

#### 2.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΩΝ

Οι γαιάνθρακες ή ορυκτοί άνθρακες είναι ιζηματογενή πετρώματα φυτικής προέλευσης όπου η γένεσή τους διέπεται από τους βασικούς κανόνες της ιζηματολογίας.

Οι ιζηματογενείς αυτοί σχηματισμοί δημιουργήθηκαν από τη συσσώρευση και απόθεση της φυτικής ύλης σε κατάλληλο περιβάλλον (έλη, εκβολές ποταμών, λιμνοθάλασσες), όπου με την επίδραση διαφόρων βιοχημικών και γεωχημικών διεργασιών, η αρχική φυτική ύλη μετατρέπεται σταδιακά σε γαιάνθρακα. Η μετατροπή της αρχικής φυτικής ύλης και ο εμπλουτισμός της σε άνθρακα ονομάζεται ενανθράκωση.

Εξεταζόμενος στο μικροσκόπιο ένας γαιάνθρακας, παρατηρούμε ότι συνίσταται από ένα αριθμό διακριτών συστατικών τα οποία ονομάζονται Οργανικά Δομικά Πετρογραφικά Συστατικά (ΟΔΠΣ). Τα μικροσκοπικά αυτά συστατικά προήλθαν από τα όργανα και τους ιστούς των φυτικών συστατικών [12].

Οι γαιάνθρακες διακρίνονται σε χουμικούς, που σχηματίζονται σε ηπειρωτικό περιβάλλον και σε σαπροπηλικούς, που σχηματίζονται σε θαλάσσιο κυρίως περιβάλλον.

Οι χουμικοί γαιάνθρακες περνούν από ένα στάδιο τυρφοποίησης, δηλαδή διεργασιών χουμοποίησης μετά από συσσώρευση των φυτών στους χώρους όπου αυτά αναπτύχθηκαν. Το κύριο οργανικό συστατικό των περισσότερων χουμικών γαιανθράκων είναι ένα στιλπνό υλικό χρώματος σκούρου καφέ έως μαύρου, ορατού με γυμνό μάτι, το οποίο προέρχεται από τη χουμοποίηση των ξυλωδών ιστών. Σε γαιάνθρακες χαμηλού βαθμού το υλικό αυτό αντιπροσωπεύεται από μία ομάδα ΟΔΠΣ, η οποία ονομάζεται «χουμινίτης», ενώ στους υψηλότερου βαθμού βιτουμινούχους λιθάνθρακες και τον ανθρακίτη από μία ομάδα η οποία ονομάζεται «βιτρινίτης». Οι χουμικοί γαιάνθρακες είναι συνήθως στρωσιγενείς. Όταν στους χουμικούς γαιάνθρακες το ανόργανο υλικό υπερέχει του οργανικού έχουμε τους ανθρακούχους σχιστόλιθους.

Από την άλλη πλευρά οι σαπροπηλικοί γαιάνθρακες δεν είναι στρωσιγενείς και σχηματίζονται από σχετικά λεπτόκοκκη οργανική ύλη σε ήσυχο περιβάλλον ρηχού ύδατος ελλείψει οξυγόνου (θαλάσσιο περιβάλλον πλησίον των ακτών, κλειστές

λίμνες, λιμνοθάλασσες ή μικρά έλη). Συνήθως δεν περνούν από το στάδιο της τυρφοποίησης, αλλά ακολουθούν τις ίδιες διαγενετικές μεταβολές των πλουσίων σε οργανική ύλη ιζημάτων που αποτίθενται κάτω από αναγωγικές συνθήκες. Όπως τα ιζήματα αυτά, έτσι και οι σαπροπηλικοί γαιάνθρακες περικλείουν διάφορα ποσοστά αλλόχθονος οργανικού και ανόργανου υλικού, το οποίο με διάφορους τρόπους, από κοντά ή από μακριά, μεταφέρεται μέχρι την κλειστή υδάτινη λεκάνη, τη λιμνοθάλασσα ή το μικρό έλος. Το αλλόχθονο οργανικό κλάσμα αποτελείται κυρίως από υπολείμματα φυκιών, προϊόντα εξαλοιώσης φυτικού υλικού γειτονικών ελών και τυρφώνων ή σπόρους από κάπως πιο απομακρυσμένα φυτά.

Μικροσκοπικά διακρίνουμε δύο κατηγορίες σαπροπηλικών γαιανθράκων : “ boghead coals” και “ cannel coals”. Οι γαιάνθρακες τύπου “boghead” ονομάζονται και τορμπανίτες (torbanites) και περικλείουν υψηλά ποσοστά από υπολείμματα φυκών. Οι γαιάνθρακες τύπου “cannel “ είναι πολύ συμπαγείς και χαρακτηρίζονται από υψηλές περιεκτικότητες σε σπόρους. Υπάρχουν βέβαια και όλα τα ενδιάμεσα στάδια μεταξύ των δύο βασικών τύπων των σαπροπηλικών γαιανθράκων. Οι σαπροπηλικοί γαιάνθρακες είναι σχετικά σπάνιοι .

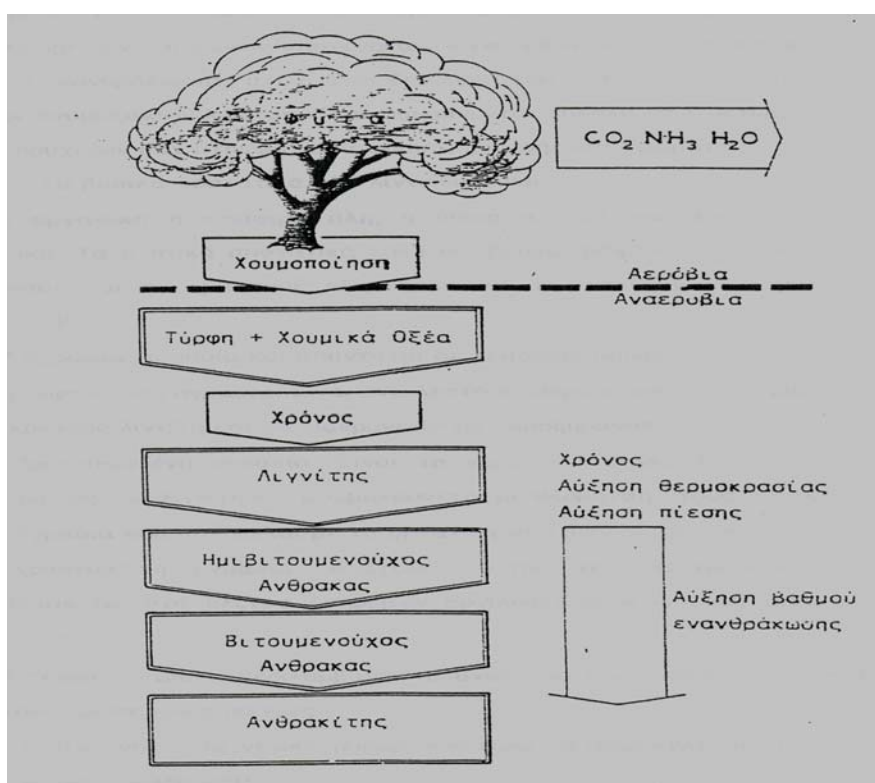
Όταν μέσα στα ιζηματογενή πετρώματα το ποσοστό της σαπροπηλικής οργανικής ύλης ξεπερνά το 4-5% σε βάρος, έχουμε τους βιτουμενούχους σχιστόλιθους. Οι σχιστόλιθοι αυτοί μπορούν μετά από θερμικές κατεργασίες, αλλά παράλληλα είναι ικανοί να οδηγήσουν σε πετρελαϊκά προϊόντα, υγρά και κατόπιν αέρια, μετά από φυσική διαγενετική εξέλιξη κάτω από την επίδραση της θερμοκρασίας και του χρόνου μέσα σε ιζηματογενείς λεκάνες ή κοιλάτητες. Μπορούν λοιπόν να θεωρηθούν σαν πραγματικά μητρικά πετρώματα του πετρελαίου, αποτελώντας παράλληλα και το συνδετικό κρίκο μεταξύ όλων των ορυκτών καυσίμων. Λείπουν βέβαια οι διεργασίες συμπίεσης και μετανάστευσης του πετρελαίου προς τις πορώδεις δομές παγίδευσης για να έχουμε τα κλασσικά κοιτάσματα πετρελαίου υπό την εμπορική τους πλέον θεώρηση [12].

## 2.2 ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ

### 2.2.1 Η διαδικασία ενανθράκωσης

Ο όρος ενανθράκωση (Coalification) περιλαμβάνει το σύνολο των χημικών και φυσικών αλλαγών, οι οποίες, μετά το τέλος των διεργασιών σχηματισμού της τύρφης, θα οδηγήσουν στους γαιάνθρακες διαφόρων βαθμών. Η θερμοκρασία, η πίεση και ο χρόνος είναι οι παράμετροι που έχουν πλέον τον πρώτο λόγο. Η ενανθράκωση είναι μία διεργασία συνεχής που ακολουθεί την τυρφοποίηση και οι παράγοντες που ελέγχουν την μετατροπή της τύρφης σε λιγνίτη, κατόπιν σε βιτουμενιούχο σκληρό λιθάνθρακα και τέλος σε ανθρακίτη, είναι πάντοτε οι ίδιοι. Το σύνολο των διεργασιών αυτών αποτελεί ένα γεωχημικό στάδιο, σε αντίθεση με την τυρφοποίηση που είναι ένα στάδιο καθαρά χημικό.

Η διαδικασία μετατροπής φυτικών προϊόντων σε άνθρακα και οι φάσεις της ενανθράκωσης παρουσιάζονται στο σχήμα 2.1 στο οποίο φαίνεται ότι οι λιγνίτες σχηματίστηκαν στα πρώτα στάδια της ενανθράκωσης αμέσως μετά την τύρφη [12].



Σχήμα 2.1: Διαδικασία ενανθράκωσης [12]

Οι πιο σημαντικές αλλαγές που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια της ενανθράκωσης είναι η μείωση της περιεκτικότητας σε νερό, η ελάττωση του πορώδους και η αύξηση του δείκτη διάθλασης (στα τελικά κυρίως στάδια). Οι κυριότερες χημικές μεταβολές είναι η συμπύκνωση, ο πολυμερισμός, η αρωματοποίηση και η απώλεια δραστικών ομάδων που περιέχουν O, S και N, που συνδέονται με τη μοριακή δομή των ανθράκων. Το καθαρό αποτέλεσμα όλων των παραπάνω μεταβολών είναι ένας συνεχής εμπλουτισμός των γαιανθράκων σε άνθρακα με την αύξηση του βαθμού ενανθράκωσης.

### 2.2.2 Ο βαθμός ενανθράκωσης

Ο βαθμός της προοδευτικής μετατροπής της οργανικής ύλης από το στάδιο της τύρφης στο στάδιο του ανθρακίτη, σε όλη δηλαδή την ακολουθία ωρίμανσης, αναφέρεται σαν στάδιο ωριμότητας ή βαθμός ενανθράκωσης (rank). Ο βαθμός ενανθράκωσης δεν είναι ένα άμεσα μετρήσιμο μέγεθος. Προσδιορίζεται έμμεσα με τη βοήθεια συγκεκριμένων φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του κάθε γαιάνθρακα, που κατά τη διάρκεια της ενανθράκωσης συνεχώς μεταβάλλονται. Οι κυριότερες φυσικές μεταβολές με την πρόοδο της ενανθράκωσης είναι:

- Μείωση του όγκου των πόρων.
- Αύξηση της θερμαντικής ικανότητας ή θερμογόνου δύναμης.
- Αύξηση της ανακλαστικότητας του βιτρινίτη.
- Μείωση της περιεκτικότητας σε φυσική υγρασία.
- Μείωση της περιεκτικότητας σε πτητικά συστατικά.

Οι κυριότερες χημικές μεταβολές με την πρόοδο της ενανθράκωσης είναι:

- Μείωση της περιεκτικότητας σε υδρογόνο και οξυγόνο.
- Αύξηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα.

Επειδή οι διεργασίες της ενανθράκωσης δεν συντελούνται κατά ομοιόμορφο τρόπο σε όλη την έκταση μιας απόθεσης και πολύ περισσότερο σε διαφορετικές αποθέσεις, για τον προσδιορισμό του βαθμού ενανθράκωσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη περισσότερες της μιας από τις παραπάνω φυσικές και χημικές παραμέτρους. Ακόμη επειδή η μεταβολή των παραμέτρων αυτών δεν είναι συνεχής καθ' όλη την πορεία της ενανθράκωσης, λαμβάνονται υπόψη κυρίως οι ιδιότητες που

μεταβάλλονται εντονότερα. Έτσι π.χ. η ανακλαστικότητα του βιτρινίτη χρησιμοποιείται κατ' εξοχήν για τον προσδιορισμό του βαθμού ενανθράκωσης των λιθανθράκων, η φυσική υγρασία και η θερμαντική ικανότητα στους λιγνίτες και τους λιθάνθρακες μέχρι το στάδιο των αεριανθράκων (βιτουμενιούχοι άνθρακες υψηλής περιεκτικότητας σε πτητικά), η περιεκτικότητα σε μόνιμο άνθρακα στους ωριμότερους από τους στιλπνούς γαιάνθρακες κ.λ.π..

## **2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΩΝ**

Ανάλογα με την πρόοδο των διαφόρων διεργασιών της ενανθράκωσης, δηλαδή με το βαθμό της ενανθράκωσης (rank), οι γαιάνθρακες διακρίνονται σε τέσσερις κύριες κατηγορίες [12]:

- (1) Τύρφη
- (2) Λιγνίτης
- (3) Λιθάνθρακας
- (4) Ανθρακίτης

### **2.3.1 Τύρφη**

Η τύρφη είναι ο νεότερος σε ηλικία και κατά συνέπεια ο με χαμηλότερο βαθμό ενανθράκωσης γαιάνθρακας που απαντάται στη φύση. Τοποθετείται στο Τεταρτογενές και ο σχηματισμός της μπορεί να είναι και σχετικά πρόσφατος.

Η τύρφη είναι προϊόν της αποσύνθεσης των φυτών και συναντάται γενικά σε τοποθεσίες όπου το κλίμα είναι ευνοϊκό για την ανάπτυξη της βλάστησης και όπου κυρίως είναι εύκολο στα λιμνάζοντα νερά να προστατεύουν τη φυτική ύλη από την επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Η φυτική δομή και η σύσταση των φυτικών υπολοίπων είναι εμφανής, κυρίως στις επιφανειακές και σχετικά πρόσφατου σχηματισμού τύρφες, σε αντίθεση με αυτές που συναντώνται σε κάποιο βάθος από την επιφάνεια και είναι παλαιότερες σε ηλικία. Η τύρφη, λόγω του μεγάλου αριθμού πόρων, έχει υψηλό ποσοστό υγρασίας.

Ανάλογα με τη γεωγραφική θέση σχηματισμού της τύρφης, οι τυρφώνες διακρίνονται σε κατηγορίες όπως:

- Τυρφώνες παραλίμνιες ή έλους ή βάλτου
- Τυρφώνες παράκτιοι
- Τυρφώνες δέλτα ποταμών
- Τυρφώνες λιμνοθάλασσας ή κλειστών θαλασσίων κόλπων κ.ά.

Στον Ελλαδικό χώρο απαντούν κατά κανόνα τύρφες λιμνοτελματικού τύπου. Οι τυρφώνες στην Ελλάδα αναπτύσσονται κυρίως σε ενδοηπειρωτικές λεκάνες και σπανιότερα σε παράκτιες ή δελταϊκές.

Από τις έρευνες που έχουν γίνει και γίνονται στον Ελλαδικό χώρο, κυρίως από το Ι.Γ.Μ.Ε., έχουν εντοπισθεί σημαντικά κοιτάσματα τύρφης σε περιοχές όπως στους Φιλίππους Καβάλας, στον Άγρα Εδέσσης, στην Κορώνη Πρεβέζης, στη λίμνη Χειμαδίτιδας Πτολεμαΐδας, στην Αγουλινίτσα Πύργου κ.ά. Η πρώτη συστηματική έρευνα στην Ελλάδα έγινε κατά την περίοδο 1964-65 από το Ι.Γ.Ε.Υ. στον τυρφώνα Φιλίππων, όπου εντοπίστηκε το τεράστιο κοιτάσμα τύρφης με βέβαια αποθέματα της τάξεως των  $4 \times 10^9$  κυβικών μέτρων και με ποιοτικά χαρακτηριστικά πολύ ικανοποιητικά όπως κατώτερη θερμαντική ικανότητα 2000 Kcal/kg σε ποσοστό υγρασίας 35% και τέφρα επί ξηρού 25%. Η αλματώδης αύξηση της χρησιμοποίησης της τύρφης στη γεωργία, προσανατόλισαν την έρευνα στην Ελλάδα και προς αυτή την κατεύθυνση. Στον τυρφώνα Κορώνης Πρεβέζης από μελέτες που έγιναν αποδείχθηκε ότι η τύρφη της Κορώνης είναι δυνατόν να θεωρηθεί εμπορεύσιμη και κατάλληλη για γεωργικούς σκοπούς και κυρίως για οπωροκηπευτικά και σιτηρά.

### 2.3.2 Λιγνίτης

Ο λιγνίτης είναι γαιάνθρακας μικρού σχετικά βαθμού ενανθράκωσης, δηλ. σχηματίζεται στα πρώτα στάδια της ενανθράκωσης. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο που αφορά στην ταξινόμηση των γαιανθράκων, ο όρος λιγνίτης δεν αποδίδεται με την ίδια έννοια σε όλες τις χώρες, δεν υπάρχει δηλαδή αντιστοιχία του όρου που να αποδίδει επακριβώς και να προσδιορίζει συγκεκριμένο γαιάνθρακα με συγκεκριμένες φυσικοχημικές ιδιότητες. Έτσι, ενώ για τους Γερμανούς ο όρος Braunkohle (φαιάνθρακας) χαρακτηρίζει πολύ καλής ποιότητας λιγνίτες, ο ίδιος όρος, Brown-kohle, για τους Αμερικανούς χαρακτηρίζει χαμηλότερης ποιότητας λιγνίτες. Οι ίδιοι οι Αμερικανοί για να χαρακτηρίσουν ένα λιγνίτη πολύ καλής ποιότητας -αντίστοιχο του Γερμανικού Glanz-Braun-kohle (στιλπνός φαιάνθρακας)- χρησιμοποιούν τον όρο Subbituminous coal (υποβιτουμενιούχος γαιάνθρακας).

Ανεξάρτητα πάντως της ονοματολογίας, για την Ελλάδα, ο όρος λιγνίτης καλύπτει ένα ευρύ φάσμα που κυμαίνεται μεταξύ των γαιανθράκων προχωρημένης ενανθράκωσης σε σχέση με την τύρφη και κατά συνέπεια ανάλογων ποιοτικών και

φυσικών ιδιοτήτων και χαμηλότερου βαθμού ενανθράκωσης, σε σχέση με τους λιθάνθρακες.

Οι λιγνίτες, ανάλογα με τις μακροσκοπικές λιθοτυπικές διαφορές που αντικατοπτρίζουν και φυσικοχημικές διαφορές, αλλά και την συνεκτικότητά τους, διακρίνονται σε μαλακούς, γαιώδεις λιγνίτες και σε σκληρούς, συμπαγείς, αλαμπείς ή στιλπνούς λιγνίτες.

#### **Μαλακοί, γαιώδεις λιγνίτες:**

Οι μαλακοί ή γαιώδεις λιγνίτες, στη φυσική τους κατάσταση, είναι χρώματος σκούρου καστανού έως καστανόμαυρου. Είναι μαλακοί και αποσαθρώνονται εύκολα στον αέρα. Είναι επίσης συχνά λεπτοστρωματώδεις, φυλλώδεις και σπάνια συμπαγείς. Στις επιφάνειες των στρωματιδίων των λεπτοστρωματωδών λιγνιτών παρατηρούνται συνήθως φυτικά λείψανα (υπολείμματα φύλλων, σπόροι κ.λ.π.), καθώς επίσης πολύ συχνά ανόργανη ύλη όπως λεπτόκοκκοι άμμοι, φυλλάρια μαρμαρυγία και όχι σπάνια, κελύφη απολιθωμάτων.

#### **Σκληροί, συμπαγείς, αλαμπείς ή στιλπνοί λιγνίτες:**

Αυτοί είναι χρώματος καφέ μέχρι μαύρο. Σπάνια διακρίνονται φυτικά υπολείμματα και σε μερικές περιπτώσεις παρατηρείται κάποια ασθενής στρώση.

Ένας άλλος τύπος λιγνίτη, ιδιαίτερα σημαντικός για την Ελλάδα λόγω της ποιότητας, αλλά και της ποσότητας των αποθεμάτων, είναι ο "ξυλώδης τύπος" ή "ξυλίτης".

Ο τύπος αυτός (ξυλίτης) συνίσταται σχεδόν αποκλειστικά από συστατικά δένδρων (τμήματα φυτών ανώτερης βλάστησης), είτε πρωτογενή σκληρά (ξυλιτικά συστατικά) όπως κορμοί, κλάδοι και ρίζες, είτε πρωτογενή μαλακά (φυλλώδη συστατικά) όπως φύλλα, μίσχοι κ.λ.π. Το ποσοστό της συμμετοχής των ξυλιτικών συστατικών ποικίλλει στην κύρια μάζα του λιγνίτη μεταξύ διαφορετικών λιγνιτικών κοιτασμάτων "ξυλίτη", αλλά και από θέση σε θέση στο ίδιο κοιτάσμα (περίπτωση "ξυλιτικών" κοιτασμάτων Ανατολικών Περιθωρίων λεκάνης Φλώρινας -κοιτάσματα Βεύης, Αχλάδας, Βεγόρας- και κοιτάσματος περιοχής Κομνηνών Πτολεμαΐδας).

Πάντως ανεξάρτητα από το ποσοστό των περιεχομένων ξυλιτικών συστατικών, ο λιγνίτης "ξυλώδους τύπου" (ξυλίτης) είναι σκληρός, συχνά ινώδης και για την κοπή του απαιτείται η χρήση πριονιού. Τα απανθρακωμένα ξυλιτικά



συστατικά διατηρούν τον ιστό και την υφή του ξύλου και παρουσιάζουν χροιά καστανή. Ο ιστός και η υφή των φυλλωδών συστατικών είναι συχνά λιγότερο διατηρημένα, ενώ το χρώμα τους είναι από καστανό έως μαύρο.

Περισσότερη ανόργανη ύλη (άμμοι, άργιλοι κ.λ.π.) συνυπάρχει, όπως είναι προφανές, με το εύθρυπτο οργανικό τμήμα των φυλλωδών συστατικών. Πολλές φορές παρατηρούνται και συγκεντρώσεις ανόργανης ύλης και μέσα στα ξυλιτικά συστατικά. Στην περίπτωση αυτή η ανόργανη ύλη πληρεί τα διάφορα κοιλώματα του ξύλου. Ποιοτικά οι λιγνίτες διαφέρουν πολύ από κοίτασμα σε κοίτασμα και αυτό είναι επόμενο, αφού ποιοτικές αποκλίσεις είναι πολύ συνηθισμένες μέσα σ' ένα και το αυτό κοίτασμα.

### **2.3.3 Λιθάνθρακας**

Οι λιθάνθρακες είναι γαιάνθρακες υψηλού βαθμού ενανθράκωσης και αποτελούν τη σημαντικότερη κατηγορία γαιανθράκων, σε παγκόσμια κλίμακα και λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα και της μεγάλης θερμαντικής ικανότητας τους και λόγω του όγκου των αποθεμάτων που υπολογίζονται σε πολλά δισεκατομμύρια τόνους.

Οι λιθάνθρακες συναντώνται σε μεγάλες ποσότητες στα στρώματα του Λιθανθρακοφόρου και του Περμίου. Όπως είναι φυσικό, τα μεγάλα κοιτάσματα των λιθανθράκων εντοπίζονται σε αυτές τις περιοχές της γης, όπου τόσο το Λιθανθρακοφόρο, όσο και το Πέρμιο, έχει μεγάλη ανάπτυξη όπως στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, στη Μεγάλη Βρετανία, στη Γερμανία, στη Σοβιετική Ένωση κ.λ.π.

Για την Ελλάδα οι προοπτικές για εντοπισμό μεγάλων κοιτασμάτων λιθάνθρακα είναι περιορισμένες και αυτό γιατί κατά την περίοδο του Λιθανθρακοπέρμιου, ο Ελληνικός χώρος θαλάσσευε με αποτέλεσμα την απόθεση θαλάσσιων ιζημάτων, που σημαίνει δυσμενείς συνθήκες σχηματισμού γαιανθράκων. Μόνο σε ορισμένες περιοχές της χώρας όπου εμφανίζεται το Λιθανθρακοφόρο, έχουν εντοπισθεί μικρά φακοειδή στρώματα λιθάνθρακα με μέγιστο πάχος 1,20m και με μήκος της τάξεως μερικών μέτρων. Οι περιοχές αυτές είναι τα Καρδάμηλα Χίου, η Μονεμβασία Λακωνίας και η Κεντρική Εύβοια.

Ποιοτικά ο λιθάνθρακας χαρακτηρίζεται από το υψηλό ποσοστό ολικού άνθρακα, όπου περιέχει (75-90% επί ξηρού), το χαμηλό ποσοστό υγρασίας (2-7%) και τη μεγάλη θερμαντική ικανότητα του (Α.Θ.Ι. 6000-8000 Kcal/Kgr).

Οι λιθάνθρακες ανάλογα με την περιεκτικότητα σε πτητικά συστατικά και τη θερμαντική τους ικανότητα διακρίνονται σε: φλογάνθρακες, αεριοφλογάνθρακες, αερίανθρακες κ.λ.π. (Γερμανική ορολογία), ενώ κατά την Αμερικανική ορολογία σε βιτουμενιούχο γαιάνθρακα υψηλής, μέσης και χαμηλής περιεκτικότητας σε πτητικά συστατικά και ημιανθρακίτης.

#### 2.3.4 Ανθρακίτης

Ο ανθρακίτης είναι ο γαιάνθρακας με το μεγαλύτερο βαθμό ενανθράκωσης (περιεκτικότητα σε C 90-95%) και είναι επομένως η πλουσιότερη μορφή άνθρακα, μετά το γραφίτη και το διαμάντι. Μακροσκοπικά παρουσιάζει ομοιότητες με το λιθάνθρακα και είναι δύσκολος ο μακροσκοπικός διαχωρισμός του.

Τα πτητικά συστατικά του ανθρακίτη κυμαίνονται από 4-8%, ενώ το ποσοστό της υγρασίας δεν υπερβαίνει το 2%. Η θερμαντική του ικανότητα υπερβαίνει τις 8000 Kcal/Kgr και φτάνει μέχρι τις 9000 Kcal/Kgr (Πίνακας 2.1).

Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικές φυσικοχημικές παράμετροι των τεσσάρων (4) κατηγοριών των γαιανθράκων [12].

Κατηγορία	Πυκνότητα	Ολικός C (επί ξηρού)	Υγρασία	Α.Θ.Ι. Kcal/Kgr (επί ξηρού)
Τύρφη	1	55-65	65-90	3000-5000
Λιγνίτης	1,1-1,3	65-75	10-50	4000-6000
Λιθάνθρακας	1,2-1,5	75-90	2-7	6000-8000
Ανθρακίτης	1,4-1,7	90-95	1-2	>8000

## 2.4 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ

Τα βασικά συστατικά του λιγνίτη είναι:

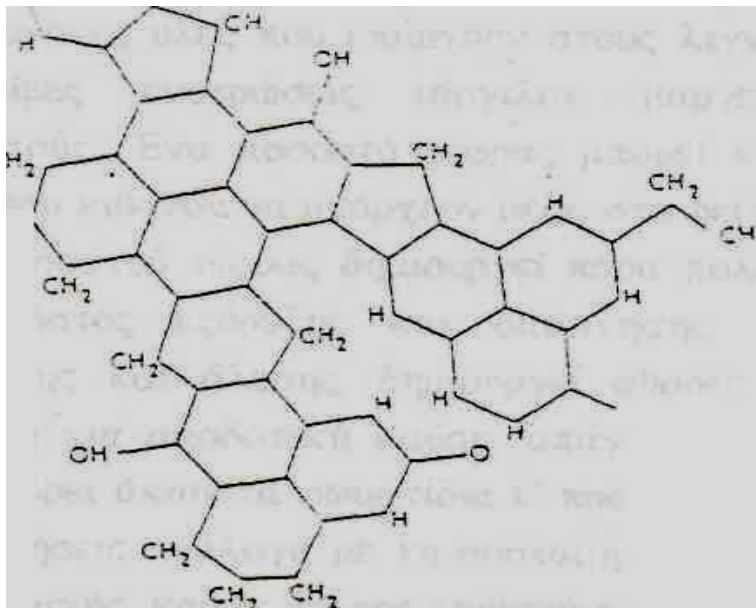
- Η Οργανική καύσιμη ύλη: Αποτελείται από τα πτητικά συστατικά και το μόνιμο άνθρακα. Η σύσταση και η δομή της εξαρτώνται από τη σύσταση των φυτοκλάστων (Macelars).

- Η υγρασία: Πρόκειται για βασικό συστατικό των λιγνιτών και γενικά όλων των γαιανθράκων χαμηλού βαθμού ενανθράκωσης. Η υγρασία απαντάται σε τέσσερις μορφές:
  - Επιφανειακή υγρασία
  - Προσροφημένη υγρασία
  - Υγρασία που συνδέεται με τα οργανικά συστατικά του λιγνίτη
  - Κρυσταλλική υγρασία άλλων ορυκτών φάσεων
- Η τέφρα: Σε αυτή περιέχονται όλα τα ανόργανα συστατικά των φυτικών υπολειμμάτων ( πρωτογενής ή συνγενετική τέφρα) καθώς και τα ανόργανα που προήλθαν από εξωτερικούς παράγοντες και εναποτέθηκαν μαζί με τα φυτικά υπολείμματα ή εισχώρησαν σε αυτά διαμέσω κάποιων ρηγμάτων (δευτερογενής ή επιγενετική τέφρα).

Τα κύρια συστατικά από τα οποία αποτελείται ο λιγνίτης είναι ο άνθρακας, το υδρογόνο και το οξυγόνο (Σχήμα 2.2), ενώ τα δευτερεύοντα είναι: θείο, άζωτο, πυρίτιο, αργίλιο, σίδηρος, κάλιο, νάτριο, μαγνήσιο, χαλκός, ασβέστιο, τιτάνιο. Η σύνδεση των χημικών στοιχείων γίνεται με ποικίλους τρόπους, σχηματίζοντας οργανικές και ανόργανες ενώσεις. Το οργανικό τμήμα αποτελείται από πολυμερή των C, H, O με μικρά ποσοστά S και N. Το ανόργανο τμήμα αποτελείται από ενώσεις των υπόλοιπων στοιχείων, είτε μεταξύ τους, είτε με τον C και το O.

Οι οργανικές ομάδες που κύρια επικρατούν, είναι αυτές που περιέχουν οξυγόνο. Ειδικότερα περιέχονται φαινόλες, αλκοόλες, αιθέρες, καρβοξυλικά οξέα και καρβονύλια.

Τα συχνότερα παρατηρούμενα ανόργανα στοιχεία στους λιγνίτες είναι το πυρίτιο, αργίλιο, ασβέστιο, σίδηρος, μαγνήσιο, νάτριο, κάλιο, τιτάνιο και θείο, με τις μορφές του ιλλίτη, καολινίτη, σιδηροπυρίτη, δολομίτη, ασβεστόλιθου και χαλαζία [12].



Σχήμα 2.2: Δομή λιγνίτη [12]

## 2.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΙΓΝΙΤΩΝ

### 2.5.1 Μακροσκοπικά χαρακτηριστικά

Οι λιγνίτες γενικά είναι θαμπά, γαιώδη υλικά, χρώματος καφέ έως μαύρου. Εμφανίζονται κυρίως σαν "ταινιοειδείς" και σπανιότερα ως "μη ταινιοειδείς".

Τα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά των λιγνιτών αναφέρονται:

(α) Στη σύνθεση. Οι λιγνίτες αποτελούνται από : (α) την κύρια μάζα όπου η διαδικασία της αποσύνθεσης έχει ολοκληρωθεί και δε διακρίνεται πλέον κυτταρική δομή και (β) προσμίξεις.

(β) Στο χρώμα και υφή επιφάνειας. Σε ένα αποσαθρωμένο πρανές στην ύπαιθρο διακρίνονται χρώματα σκοτεινά, μέτρια σκοτεινά, μέτρια φωτεινά και φωτεινά, ενώ όσον αφορά στην υφή, οι λιθότυποι παρουσιάζουν ρωγμές αδρές λεπτές, κάθετες ή παράλληλες στη στρώση.

(γ) Στη συμπεριφορά κατά τη θραύση.

Οι κατηγορίες στις οποίες διαχωρίζονται μακροσκοπικά οι λιγνίτες είναι:

(α) θεμελιώδεις λιγνίτες (matrix coal)

(β) ξυλιτικοί λιγνίτες

(γ) φουζιτικοί λιγνίτες

(δ) πλούσιοι σε ανόργανα συστατικά λιγνίτες

- Θεμελιώδης λιγνίτης (matrix coal).

Αποτελείται από λεπτοκλαστική χουμώδη μάζα, που είναι ομοιογενής και έχει χρώμα κίτρινο/καφέ σκούρο. Στην κύρια μάζα απαντώνται και μεγαλύτερα φυτικά θραύσματα και υπολείμματά τους.

Συνιστά τον πιο αξιόλογο λιθότυπο για πλινθοποίηση, οπτανθράκωση και υγροποίηση. Στις μεταποιητικές διεργασίες δίνει ικανοποιητική ανθρακόπισσα και βιτουμενιούχα εκχυλίσματα και αποτελεί επομένως σημαντική πρώτη ύλη για τη χημική βιομηχανία. Μπορεί να δώσει πλίνθους (briquettes) με μεγάλη αντοχή, αν είναι ελάχιστα ζελατινοποιημένος και όχι πολύ πλούσιος σε βιτουμένα. Για αυτό το λόγο είναι ιδιαίτερα υπολογίσιμος για την παραγωγή κωκ. Οι ζελατινοποιημένες ποικιλίες λιθοτύπων αυτής της ομάδας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως “γαιάνθρακες λέβητα” [13].

- Ξυλιτικός λιγνίτης (xylitic coal).

Περιλαμβάνει ανοιχτόχρωμους μέχρι σκούρους καστανούς γαιάνθρακες, στους οποίους ο ξυλίτης συμμετέχει με ποσοστό μεγαλύτερο του 10%. Η θεμελιώδης μάζα τους είναι κλαστική και ανάλογα με το ποσό των ιστών (δηλ. θραύσματα φύλλων, βελόνες κ.λ.π.) μπορεί να είναι στρωσιγενής ή μη. Άλλα εγκλείσματα που περιλαμβάνονται στους λιθότυπους αυτούς είναι κόκκοι ρητίνης ή απανθρακωμένα θραύσματα, που όμως συμμετέχουν με ποσοστό μικρότερο του 10% του συνόλου, όπως επίσης ζελατινοποιημένοι ρόζοι. Οι βιομηχανικές ιδιότητες των ξυλιτικών γαιανθράκων εξαρτώνται κυρίως από τη φύση και το ποσοστό των ξυλιτών, επειδή οι ξυλίτες παρεμβαίνουν αρνητικά κατά τις διαδικασίες θραύσης. Ξυλιτικοί γαιάνθρακες, που δεν έχουν υπερβολικά μεγάλο ποσοστό ξυλίτη, χρησιμοποιούνται ως καύσιμο στους λέβητες.

- Φουζιτικός λιγνίτης (fusitic coal).

Περιλαμβάνει λιγνίτες που συνίστανται από σημαντική ποσότητα (μεγαλύτερη του 10%) απανθρακωμένων ιστών (=Φουζαίην). Η κύρια μάζα μπορεί να ποικίλλει σε σύσταση (άμορφη, κλαστική ή και πλούσια σε ιστούς). Εγκλείσματα, όπως ξυλιτικά μέρη, κόκκοι ρητίνης ή ζελατινοποιημένοι ρόζοι μπορεί να υπάρχουν σε μικρές ποσότητες. Σε μέτωπα λιγνιτωρυχείων, όπου η επιφανειακή αποβολή υγρασίας είναι εύκολη, ο λιθότυπος αυτός μοιάζει με το κωκ.

Ως προς τις τεχνολογικές ιδιότητες οι αμιγείς φουζιτικοί γαιάνθρακες συμπεριφέρονται αδρανώς ή αρνητικά κατά την πλινθοποίηση και την παραγωγή κωκ. Εάν η συμμετοχή του λιθότυπου αυτού στο σύνολο του γαιάνθρακα προς αξιοποίηση είναι μικρή, τότε δεν επηρεάζονται οι τεχνολογικές διεργασίες.

- Πλούσιος σε ανόργανα λιγνίτης (mineral coal).

Τα ανόργανα συστατικά θα πρέπει εμφανώς να αναγνωρίζονται σε δείγμα χειρός ή στο μέτωπο του ορυχείου. Η αναγνώριση βασίζεται σε ιδιότητες, όπως λάμψη, χρώμα, πυκνότητα, αλμυρή γεύση, δοκιμές με HCl για τα ανθρακικά, δοκιμές Geiger κ.ά. Περιλαμβάνει όλα τα είδη των ορυκτών που αναπτύχθηκαν στις διάφορες φάσεις λιγνιτογένεσης.

Από την τεχνολογική σκοπιά η ανόργανη ύλη μειώνει την ποιότητα των γαιανθράκων και είναι επομένως ανεπιθύμητη σχεδόν σε όλες τις διαδικασίες αξιοποίησης και εξευγενισμού [12].

Τα μακροσκοπικά λιγνιτικά χαρακτηριστικά, όπως είναι φυσικό, στη μορφή που εντοπίζονται στα πρηνή των ορυχείων, δε μας επιτρέπουν να βγάλουμε σίγουρα συμπεράσματα για τη συμπεριφορά των λιγνιτών στις διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές. Για αυτό συμπληρώνονται από εργαστηριακές έρευνες και παρατηρήσεις.

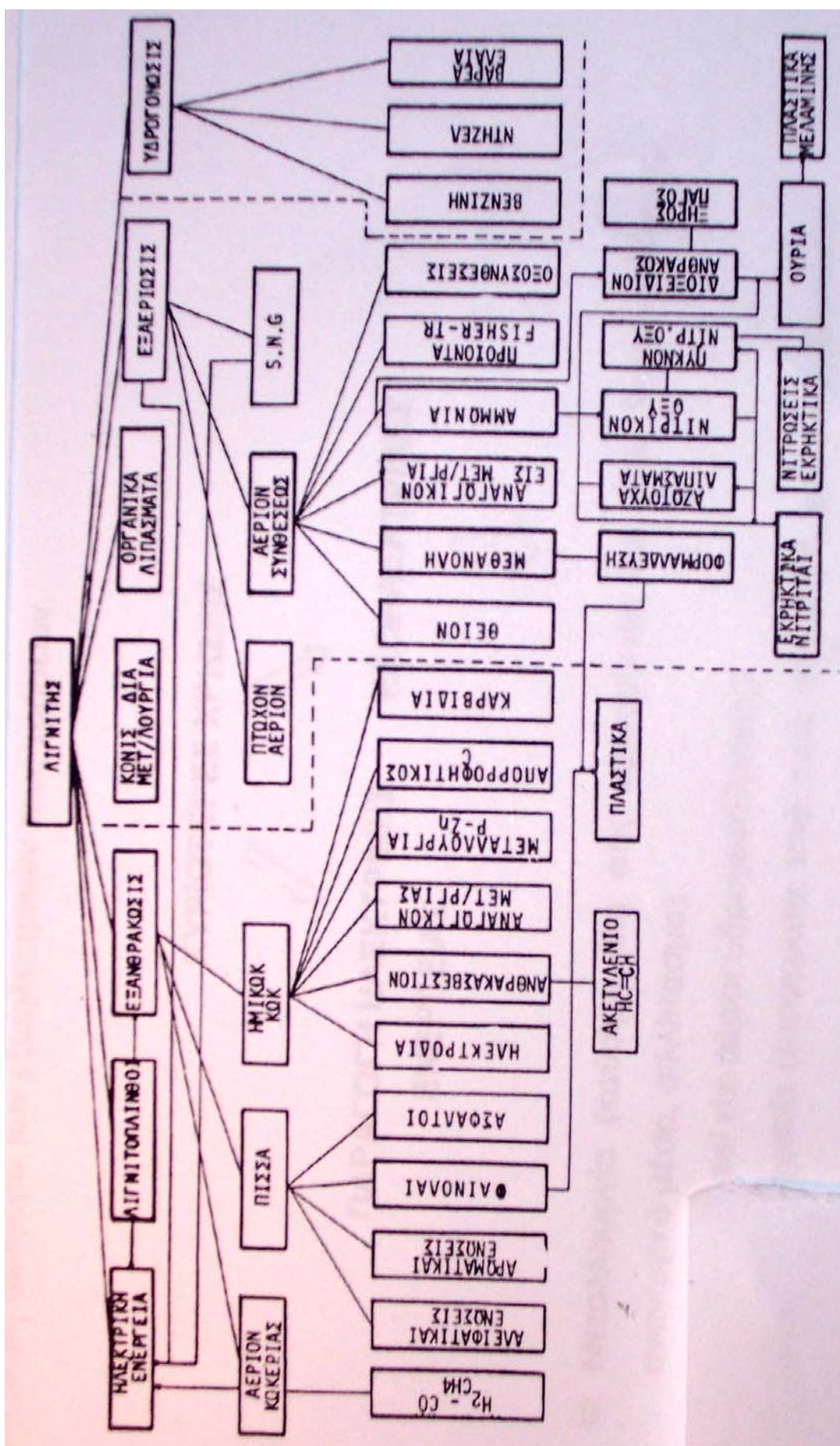
## 2.6 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΩΝ

Μία από τις πιο κοινές και διαδεδομένες χρήσεις των γαιανθράκων, ιδιαίτερα στην Ελλάδα, είναι η καύση τους στους Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς της χώρας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτούς τους σταθμούς καταλήγουν οι «υψηλής αξίας» λιγνίτες που πληρούν τις ελάχιστες απαιτούμενες προδιαγραφές, δηλαδή μία ικανοποιητική θερμαντική ικανότητα (θερμογόνο δύναμη) και μία μικρή περιεκτικότητα σε ανόργανα ορυκτά (τέφρα). Οι «χαμηλής αξίας» λιγνίτες που κρίνονται ακατάλληλοι για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος χρησιμοποιούνται για εξωηλεκτρικές χρήσεις.

Ως εξωηλεκτρικές εφαρμογές των γαιανθράκων θεωρούνται εφαρμογές όπως η παραγωγή φίλτρων ενεργού άνθρακα, ο καθαρισμός των υδάτων, η επεξεργασία των αποβλήτων αποχέτευσης λυμάτων, η επεξεργασία αστικών λυμάτων και απόνερων ελαιουργείων κ.λ.π.. Έτσι λοιπόν, ακόμα και εκείνοι οι λιγνίτες που χαρακτηρίζονται από μικρή θερμογόνο δύναμη μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τέτοιο τρόπο και να καταταχθούν τελικά στο ίδιο επίπεδο με τους θεωρητικά «καλύτερους» λιγνίτες. Στο σχήμα 2.3 φαίνονται οι τεχνολογικές εφαρμογές του λιγνίτη.

Οι κυριότερες εφαρμογές των γαιανθράκων είναι:

- Μεταλλουργία (καύσιμη ύλη στις υψικαμίνους και τους θερμοκλιβάνους, αναγωγικό μέσο, σιλλίπασμα)
- Καύσιμα (υγροί και αέριοι υδρογονάνθρακες)
- Χημική βιομηχανία (λιπάσματα, πλαστικά, πολυμερή, χρώματα, διαλύτες)
- Βιομηχανία υλικών υψηλής τεχνολογίας (ανθρακονήματα, καρβίδια του πυριτίου)
- Εμπλουτισμός μεταλλευμάτων
- Φαρμακοβιομηχανία
- Προσρόφηση τοξικών αερίων
- Βιολογικοί καθαρισμοί
- Πόλφοι γεωτρήσεων
- Εδαφοβελτιωτικά



Σχήμα 2.3: Οι τεχνολογικές εφαρμογές του λιγνίτη [12]

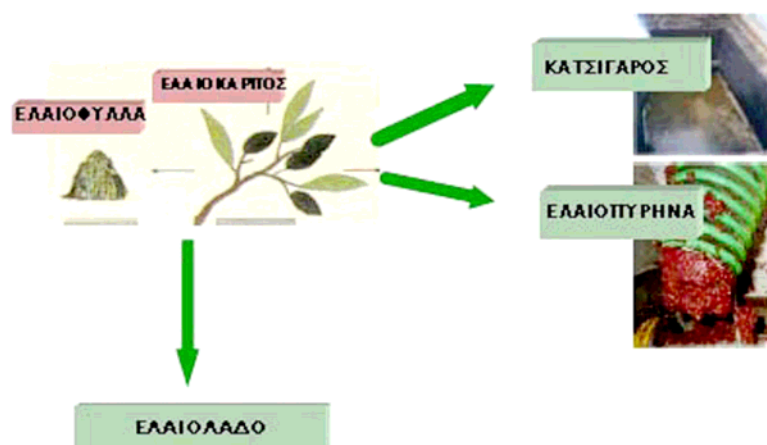


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3. ΕΛΑΙΟΛΑΔΟ ΚΑΙ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΩΝ (Κατσίγαρος)

#### 3.1 ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΕΛΑΙΟΥΡΓΙΑΣ

Το προϊόν της ελαιουργίας είναι το ελαιόλαδο διαφόρων κατηγοριών και τα παραπροϊόντα που προκύπτουν είναι στερεά και υγρά (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1: Τα προϊόντα της ελαιουργίας σε παραδοσιακά και τριφασικά ελαιουργεία [15]

**Στερεά απόβλητα** που αποκαλούνται ελαιοπυρήνα ή πυρηνόξυλο. Η ελαιοπυρήνα είναι το στερεό απόβλητο των ελαιουργείων που αποτελείται από τα στερεά συστατικά του ελαιοκάρπου (εξωκάρπιο, σαρκώδες μεσοκάρπιο, αποξυλωμένο ενδοκάρπιο) και τα ελαιόφυλλα που έχουν μεταφερθεί μαζί με τον καρπό. Παλαιότερα, η ελαιοπυρήνα που παραγόταν από τα ελαιουργεία, ήταν πλούσια σε υπολείμματα λαδιού και την χρησιμοποιούσαν σαν καύσιμη ύλη και ως πρόσθετο σε ζωοτροφές. Στα σύγχρονα ελαιουργεία (φυγοκεντρικά), λόγω της μεγαλύτερης παραγωγής λαδιού, η ελαιοπυρήνα είναι φτωχότερη σε λάδι και η κτηνοτροφική της αξία μειωμένη. Η ελαιοπυρήνα μεταφέρεται σε ειδικές εγκαταστάσεις (πυρηνελουργεία) όπου υπόκειται σε ξήρανση και σε εκχύλιση με διάλυμα εξανίου για την παραγωγή του πυρηνελαίου. Το πυρηνόξυλο που απομένει χρησιμοποιείται σαν καύσιμο υλικό όπου καλύπτει πλήρως ή

μερικώς τις ενεργειακές ανάγκες ελαιουργείων, πυρηνελουργείων, θερμοκηπίων για θέρμανση, αγροτικών σπιτιών για παραγωγή ζεστού νερού προσφέρεται επίσης για κομποστοποίηση και για παρασκευή υψηλής ποιότητας φυτοχώματος.

**Φυτικά υγρά** που αποκαλούνται κατσίγαρος ή μούργα (Olive Oil Mill Wastewater OOMW). Τα φυτικά υγρά (Εικόνα 3.1) είναι το τυπικό απόβλητο των ελαιουργείων. Η διαχείριση τους είναι ιδιαίτερα δυσχερής και λόγω του μεγάλου ρυπαντικού φορτίου του και λόγω της μεγάλης ποσότητας τους. Αυτά περιέχουν το υδάτινο κλάσμα του χυμού του ελαιοκάρπου, το νερό έκπλυσης, το νερό που προστίθεται κατά τη μάλαξη της ελαιομάζας και το νερό που προστίθεται στο διαχωριστήρα του λαδιού. Όπως προαναφέρθηκε, οι ποσότητες των αποβλήτων καθώς και τα χαρακτηριστικά τους, εξαρτώνται από την τεχνολογία που χρησιμοποιείται στα ελαιουργεία.



Εικόνα 3.1: Φυτικά υγρά [17].

### 3.2 ΤΥΠΟΙ ΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΩΝ

Είναι χρήσιμο να γίνει μια αναφορά στους διάφορους τύπους ελαιουργείων και επομένως στον τρόπο διαχωρισμού του λαδιού από την ελαιοζύμη προκειμένου να δειχθεί ο τρόπος που παράγεται ο κατσίγαρος.

Τα ελαιουργεία είναι κυρίως τριών τύπων:

- τα παραδοσιακά ή κλασσικά (υδραυλικά)
- τα φυγοκεντρικά τριών φάσεων που η χρήση τους ξεκίνησε τη δεκαετία του '70
- τα φυγοκεντρικά δύο φάσεων που η χρήση τους ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του '90.

Στην Ελλάδα το μεγαλύτερο ποσοστό ανήκει πλέον κυρίως στη δεύτερη κατηγορία αν και λειτουργούν ακόμη ελαιοτριβεία της πρώτης κατηγορίας .

Στα πρώτα (Εικόνα 3.2) ο διαχωρισμός γίνεται με πίεση της ελαιοζύμης σε υδραυλικό πιεστήριο.



Εικόνα 3.2: Παραδοσιακό ελαιουργείο [17]

Στα δεύτερα (Εικόνα 3.3) η ελαιοζύμη, αραιώνεται με χλιαρό νερό σε φυγοκεντρικό διαχωριστήρα με οριζόντιο άξονα (decanter).



Εικόνα 3.3: Φυγοκεντρικό ελαιουργείο τριών φάσεων [17].

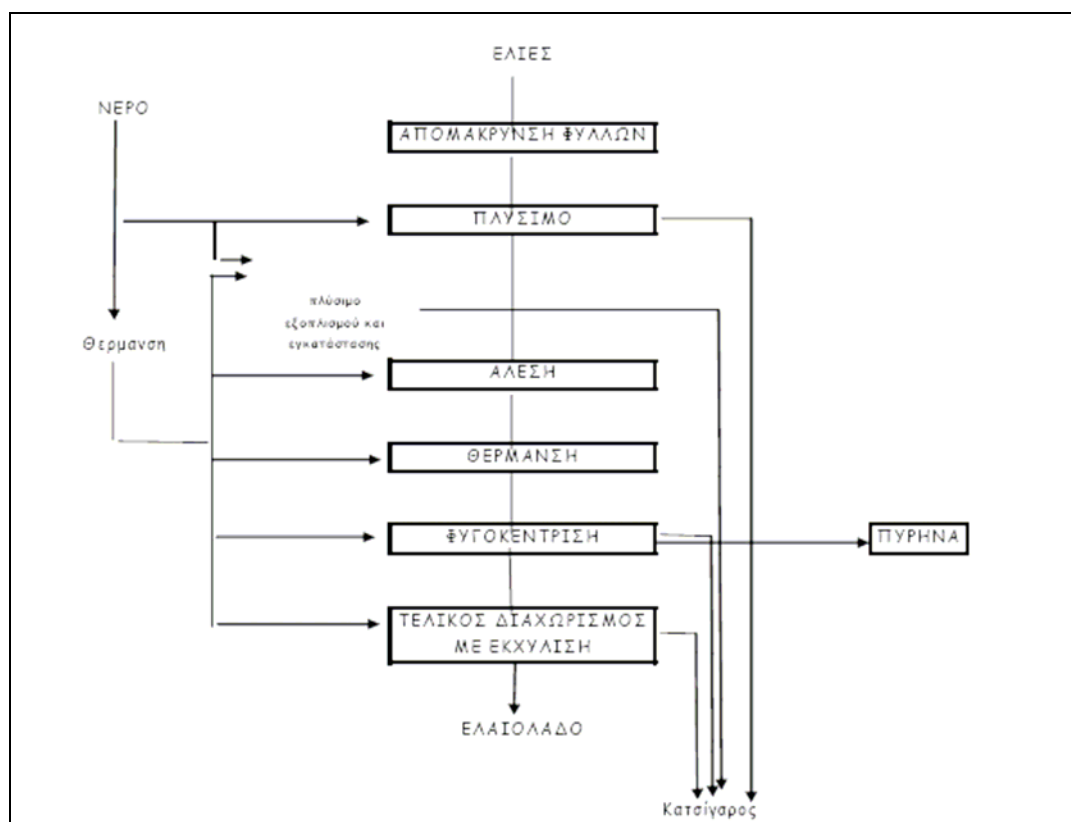
Στα τρίτα, η ελαιοζύμη, δεν αραιώνεται με χλιαρό νερό, οπότε από αυτά προκύπτει λάδι και ελαιοπυρήνα, η οποία όμως περιέχει το σύνολο των φυτικών υγρών του καρπού. Σ' αυτά χρησιμοποιείται νερό μόνο στο διαχωριστήρα του λαδιού.

Τα στάδια επεξεργασίας του ελαιόκαρπου στα ελαιουργεία των δύο πρώτων τύπων είναι συνοπτικά [17]:

- Παραλαβή ελαιόκαρπου από τους παραγωγούς.
- Τροφοδοσία - αποφύλλωση.
- Πλύσιμο για την απομάκρυνση των ξένων προσμίξεων και την διευκόλυνση του διαχωρισμού του λαδιού.
- Σπάσιμο - άλεση του ελαιοκάρπου που είναι και το πρώτο κύριο στάδιο εξαγωγής του λαδιού.
- Μετά την άλεση ακολουθεί μάλαξη, προκειμένου να μετατραπεί σε ομογενή, κατά το δυνατόν πούλπα, την ελαιοζύμη. Αυτό αποτελεί το βασικότερο στάδιο επεξεργασίας σε όλα τα συστήματα παραλαβής του λαδιού (κλασσικά, φυγοκεντρικά). Μέσα στους μαλακτήρες η ανάμειξη γίνεται με περιστρεφόμενο έλικα για συγκεκριμένο χρόνο και συγκεκριμένη ταχύτητα και συνήθως η θέρμανση γίνεται με ζεστό νερό που κυκλοφορεί σε διπλά τοιχώματα. Η θερμοκρασία έχει μεγάλη σημασία (max 25° C περίπου) για την ποιότητα του ελαιόλαδου και γι' αυτό πρέπει να υπάρχει αυτόματος θερμοστάτης.
- Παραγωγή του ελαιόλαδου από την ελαιοζύμη, που γίνεται είτε με πίεση είτε με φυγοκέντρωση.
- Πίεση με διάφορους τρόπους υδραυλικών πιεστηρίων. Διαχωρίζεται η υγρή φάση (ελαιόλαδο – φυτικά υγρά) από τη στερεή φάση (ελαιοπυρήνα) με απλή πίεση. Ο τελικός διαχωρισμός του ελαιόλαδου από τα φυτικά υγρά, γίνεται στη συνέχεια με φυγοκέντρωση.
- Η ελαιοζύμη αραιώνεται με νερό και ακολουθεί φυγοκέντρωση με διάφορους τρόπους φυγοκεντρικών διαχωριστήρων (DECANTERS) τριών φάσεων. Ονομάζονται τριών φάσεων γιατί υπάρχουν 3 έξοδοι από τις οποίες προκύπτουν ελαιόλαδο, πυρήνα και κατσίγαρος.
- Τελικός διαχωρισμός - Ο καθαρισμός του ελαιόλαδου γίνεται με κατακόρυφους

φυγοκεντρικούς διαχωριστήρες (οποιαδήποτε μέθοδος κι αν είχε εφαρμοστεί προηγούμενα για την εξαγωγή του λαδιού από την ελαιοζύμη).

Ακολουθεί το Σχήμα 3.2 που δείχνει το διάγραμμα των σταδίων επεξεργασίας του ελαιοκάρπου σε φυγοκεντρικά ελαιοτριβεία τριών φάσεων .



Σχήμα 3.2: Διάγραμμα ροής επεξεργασίας ελαιοκάρπου [17].

Στα ελαιουργεία παραδοσιακού τύπου ο διαχωρισμός του ελαιόλαδου από την ελαιοζύμη γίνεται με πίεση, χωρίς την προσθήκη νερού. Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι χρησιμοποιούνται μεγαλύτερες ποσότητες νερού στην παραγωγή ελαιόλαδου στα φυγοκεντρικά ελαιουργεία τριών φάσεων από ότι σε αυτά παραδοσιακού τύπου με αποτέλεσμα ο παραγόμενος κατσίγαρος να διαφέρει και σε ποσότητα και σε σύσταση. Η παραγόμενη ποσότητα υγρών αποβλήτων για τις συνθήκες της Κρήτης και την ποικιλία Κορωνέϊκη, υπολογίζεται όπως φαίνεται παρακάτω [18]:

- 650 l αποβλήτου για κάθε τόνο ελαιόκαρπου που επεξεργάζεται στα υδραυλικά πιεστήρια και
- 1000 l αποβλήτου για κάθε τόνο ελαιόκαρπου στα φυγοκεντρικά πιεστήρια τριών φάσεων.

Τα φυγοκεντρικά ελαιουργεία τριών φάσεων μειώνουν το χρόνο αποθήκευσης του ελαιόκαρπου (λόγω αυτοματοποίησης) και κάποιες φορές την ποιότητα του παραγόμενου ελαιόλαδου. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φυγοκεντρικά ελαιουργεία τριών φάσεων έχουν αντικαταστήσει τα περισσότερα παραδοσιακά ελαιοτριβεία παρόλο που δίνουν μεγαλύτερο όγκο αποβλήτων.

Η λειτουργία των διφασικών ελαιοτριβείων δεν αναλύθηκε παραπάνω γιατί γενικά αναφέρεται ότι δεν παράγονται απόνερα και επομένως δεν αποτελούν αντικείμενο μελέτης της εργασίας αυτής. Στην πραγματικότητα όμως, παράγονται μικρές ποσότητες υγρών αποβλήτων, περίπου 8-9 φορές λιγότερες από ότι στα τριφασικά. [19]. Θα μπορούσε επομένως να πει κανείς πως από αυτά παράγεται μόνο ελαιόλαδο και ελαιοπυρήνα. Όμως, η ελαιοπυρήνα που προκύπτει από τα διφασικά ελαιουργεία περιέχει περισσότερη υγρασία από αυτή των τριφασικών καθώς και μεγαλύτερες ποσότητες πολυφαινολών και σακχάρων τα οποία προκαλούν προβλήματα στην επεξεργασία της στα πυρηνελαιουργεία κυρίως λόγω καραμελοποίησης τους κατά την ξήρανση. Η μερική αφυδάτωση της ελαιοπυρήνας μπορεί να γίνει με πίεση σε υδραυλικό πιεστήριο, οπότε και πάλι θα υπάρχει παραγωγή κατσίγαρου και μάλιστα με πρόσθετη οικονομική επιβάρυνση. Εκτός από την παραπάνω διαδικασία, μπορεί να γίνει και ξήρανση σε ξηραντήριο, οπότε το κόστος θα είναι μεγαλύτερο.

### **3.3 ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥΣ**

#### **3.3.1 Παραγωγή υγρών αποβλήτων ελαιουργείων**

Τα φυτικά υγρά είναι το απόβλητο της ελαιουργίας που όπως προαναφέρθηκε παρουσιάζει δυσκολία στο χειρισμό του. Σαν πηγή ρύπανσης τα απόβλητα αυτά υπάρχουν εδώ και χιλιάδες χρόνια, αλλά η επίδραση τους στο περιβάλλον είναι πολύ έντονη τα τελευταία χρόνια. Αυτό οφείλεται στους παρακάτω λόγους:

- Στην αύξηση της παραγωγικότητας του ελαιόλαδου τα τελευταία χρόνια που στη χώρα μας είναι της τάξης του 40% την τελευταία δεκαετία και επομένως στην αύξηση του παραγόμενου κατσίγαρου
- Στην αύξηση του όγκου των παραγόμενων αποβλήτων ανά μονάδα βάρους επεξεργαζόμενου ελαιόκαρπου λόγω της ευρείας διάδοσης ελαιουργείων φυγοκεντρικού τύπου (τριφασικά).
- Στη μη ύπαρξη μιας προηγμένης και κοινά αποδεκτής μεθόδου απορρύπανσης των υγρών αποβλήτων των ελαιουργείων, η οποία να είναι συγχρόνως και οικονομικά αποδεκτή από τους μεμονωμένους ιδιοκτήτες ελαιουργείων.
- Η ποσότητα του παραγόμενου κατσίγαρου, όπως ήδη αναφέρθηκε, είναι περίπου 650 l αποβλήτου για κάθε τόνο ελαιοκάρπου που επεξεργάζεται στα υδραυλικά πιεστήρια και 1000 l αποβλήτου για κάθε τόνο ελαιοκάρπου στα φυγοκεντρικά πιεστήρια λόγω χρησιμοποίησης μεγαλύτερης ποσότητας νερού στα δεύτερα κατά την διαδικασία εξαγωγής του ελαιόλαδου. Για να γίνει πιο εύκολα κατανοητό μπορεί ο υπολογισμός να γίνει με πολλαπλασιασμό του παραγόμενου ελαιόλαδου επί ένα συντελεστή 3 για τα φυγοκεντρικά ελαιουργεία και επί ένα συντελεστή 5 ή 6 για τα τριφασικά. Τα παραπάνω φαίνονται στον Πίνακα 3.1. Οι διαφορετικές τιμές που σημειώνονται στα στοιχεία που εισάγονται σε ένα ελαιουργείο και στα προϊόντα που προκύπτουν οφείλονται στις διαφορετικές ποσότητες νερού που χρησιμοποιούνται από περιοχή σε περιοχή κατά την εξαγωγή του ελαιόλαδου.



Πίνακας 3.1: Σύγκριση δεδομένων για δύο τύπους ελαιουργείων [19]

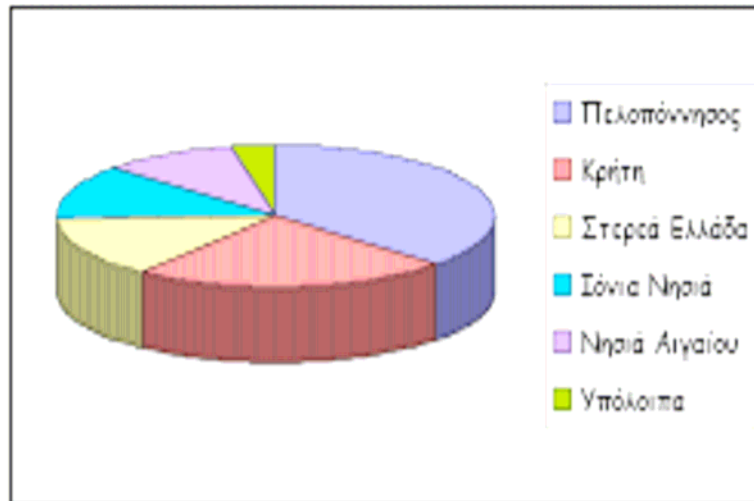
Διαδικασία εξαγωγής ελαιόλαδου	Υλικά που εισάγονται στη διαδικασία	Υλικά που προκύπτουν από την διαδικασία
Παραδοσιακά ελαιουργεία	Ελιές 1000 kg	Λάδι 160-220 kg
	Νερό 0,1-0,6 m <sup>3</sup>	Κατσίγαρος 400-850 kg Ελαιοπύρρηνα 400 kg
Τριφασικά ελαιουργεία	Ελιές 1000 kg	Λάδι 130-210 kg
	Νερό 0,8-1 m <sup>3</sup>	Κατσίγαρος 700-1200 kg Ελαιοπύρρηνα 600-800 kg

Έχει περίπου υπολογιστεί ότι ετησίως προκύπτουν 12 εκατομμύρια τόνοι υγρών αποβλήτων. Για να φανεί το πρόβλημα που δημιουργείται από τη διαχείριση αυτών των αποβλήτων, αναφέρεται ότι 10.000.000 m<sup>3</sup> υγρών αποβλήτων τριφασικών ελαιουργείων αντιστοιχούν σε αστικά απόβλητα ενός πληθυσμού της τάξης των 20.000.000 ατόμων [8]. Και για να γίνει ακόμη πιο κατανοητό το μέγεθος του προβλήματος που δημιουργείται από τον κατσίγαρο, θα ακολουθήσουν μερικά μεγέθη για τα ελαιουργεία της Ελλάδας σε ότι αφορά το πλήθος, τη διασπορά τους στον Ελλαδικό χώρο, τη δυναμικότητα τους και τα απόβλητα που δίνουν.

Τα ελαιουργεία κατατάσσονται στην κατηγορία των βιομηχανικών και βιοτεχνικών εγκαταστάσεων, στην ομάδα βιομηχανίας τροφίμων και στις υποομάδες μέσης όχλησης, αν η δυναμικότητά τους υπερβαίνει τους 50 t ελαιόκαρπου/ημέρα και χαμηλής όχλησης για δυναμικότητα μικρότερη των 50 t ελαιόκαρπου/ημέρα. Τα περισσότερα ελαιουργεία, παραδοσιακά και τριφασικά, είναι δυναμικότητας από 10-20 t ελαιόκαρπου/ημέρα. Με μια δυναμικότητα 20 t ελαιόκαρπου/ημέρα προκύπτουν ημερησίως, υγρά απόβλητα περίπου 8 m<sup>3</sup> και 15 m<sup>3</sup> αντίστοιχα. Στην Ελλάδα λειτουργούν 2.925 ελαιουργεία [8] και μόνο 20 από αυτά είναι μεγάλης δυναμικότητας. Περίπου τα 1100 από αυτά βρίσκονται στην Πελοπόννησο, 700 περίπου στην Κρήτη, 400 στην Στερεά Ελλάδα, 380 στα νησιά του Ιονίου, 300 περίπου στα νησιά του Αιγαίου και λίγα ακόμη στις υπόλοιπες περιοχές. Στις ποσότητες όμως των υγρών αποβλήτων, η Κρήτη κατέχει την πρώτη θέση στον Ελλαδικό χώρο, γιατί αν και έχει μικρότερη παραγωγή ελαιόκαρπου από την Πελοπόννησο, στη δεύτερη, μεγάλες ποσότητες καρπού



καταναλώνονται ως βρώσιμες. Υπολογίζεται ότι στην Κρήτη και την Πελοπόννησο, από την διαδικασία παραγωγής ελαιόλαδου προκύπτουν 700.000 t και 400.000 t κατσίγαρου ανά έτος αντίστοιχα (Σχήμα3.3).



Σχήμα 3.3: Κατανομή ελαιουργείων στον Ελλαδικό χώρο [17].

### 3.3.2 Χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων των ελαιουργείων

Τα υγρά απόβλητα των ελαιουργείων, ανήκουν στην κατηγορία των γεωργικών αποβλήτων και είναι ιδιαίτερα ρυπογόνα. Από τις αναλύσεις της Γεωργικής Ακαδημίας της Γαλλίας παρατίθεται ο Πίνακας 3.2 που δίνει μια σύγκριση του ρυπαντικού φορτίου μεταξύ διαφόρων αποβλήτων γεωργικών βιομηχανιών.

Πίνακας 3.2: Ρυπαντικό φορτίο αποβλήτων γεωργικών βιομηχανιών [21].

ΕΙΔΟΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	ΧΗΜΙΚΩΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ (COD) (ppm)
Τυρόγαλα τυροκομίας	80.000-100.000
Απόβλητα ελαιουργείων	100.000-150.000
Βινάσσες μελάσας ζαχαροκάλαμου	80.000-100.000
Βινάσσες μελάσας ζαχαροτεύτλων	100.000-150.000
Βινάσσες οινοποίησης	50.000-100.000
Βινάσσες από συμπίεση σταφυλίων	50.000-100.000
Βινάσσες λευκού κρασιού συμπυκνωμένες	80.000-100.000

Από τον παραπάνω πίνακα, γίνεται φανερό ότι τα υγρά απόβλητα των ελαιουργείων είναι από τα πλέον βεβαρημένα γεωργικά απόβλητα. Τα απόβλητα αυτά έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά [8]:

- Έντονο σκούρο χρώμα που μπορεί να είναι έντονο ιώδες, καφετί έως σχεδόν μαύρο
- Οξεία συγκεκριμένη οσμή
- Υψηλό οργανικό φορτίο, όπου μέρος αυτού είναι δύσκολα αποικοδομήσιμο με την αναλογία COD/BOD<sub>5</sub> να κυμαίνεται μεταξύ 2,5 και 5
- Έχουν pH μεταξύ 3 και 5,9
- Περιέχουν υψηλό ποσοστό σε φαινόλες και στερεά υλικά.

Αναφέρεται ότι τα συστατικά του οργανικού κλάσματος του κατσίγαρου, μπορούν να χωρισθούν σε τρεις κατηγορίες:

- Συστατικά εύκολης αφομοίωσης από τους μικροοργανισμούς όπως τα απλά σάκχαρα, τα οργανικά οξέα, τα αμινοξέα .
- Πολυμερή αποικοδομήσιμα, όπως οι πρωτεΐνες, οι ημικυτταρίνες, οι πηκτίνες.
- Συστατικά έμμονα, όπως οι φαινόλες, τανίνες, λιπαρές ουσίες[15].

### **3.3.3 Μικροβιακά χαρακτηριστικά των φυτικών υγρών**

Η συγκέντρωση των μικροοργανισμών στον κατσίγαρο, είναι της τάξης των 10<sup>5</sup>/ml. Οι πιο κοινοί είναι οι ψευδομονάδες ή μικροοργανισμοί που συνδέονται με την αποικοδόμηση και το μετασχηματισμό των έμμονων συστατικών. Έχουν επίσης βρεθεί ζύμες του είδους των σακχαρομύκητων, μύκητες όπως ο «*Penicillium glaucum*» και ο «*Aspergillus niger*» [2]. Η παρουσία των φαινολικών συστατικών, έχει σαν αποτέλεσμα την αντιμικροβιακή δραστηριότητα του κατσίγαρου, πράγμα που επηρεάζει τις βιολογικές διαδικασίες επεξεργασίας του αποβλήτου. Όπως θα αναφερθεί και παρακάτω υπάρχουν προσπάθειες αξιοποίησης των μικροοργανισμών που περιέχονται στον κατσίγαρο για την πιο γρήγορη και αποτελεσματική διαχείριση του με βιολογικές μεθόδους.

### **3.3.4 Χημική σύσταση κατσίγαρου**

Η χημική σύσταση του κατσίγαρου ποικίλει ευρύτατα από ελαιουργείο σε ελαιουργείο από περιοχή σε περιοχή και από χώρα σε χώρα.. Σημαντικό ρόλο παίζει προφανώς η ποικιλία της ελιάς και ο τρόπος συγκομιδής της. Βαθύτερη επίδραση έχει και ο τρόπος διαχωρισμού του ελαιόλαδου. Οι τιμές που για τα διάφορα συστατικά εμφανίζουν μεγάλη διακύμανση, αφού από δεκαετία σε δεκαετία είναι αρκετές οι μεταβολές στις καλλιεργητικές συνθήκες, τη συγκομιδή και επεξεργασία του ελαιοκάρπου.

Στα υγρά απόβλητα των ελαιουργείων συναντώνται συστατικά που προέρχονται από τον καρπό και από τη διαδικασία παραγωγής ελαιολάδου. Επομένως, η σύσταση και η ποσότητα του κατσίγαρου, επηρεάζεται από τους παρακάτω παράγοντες:

- Τον τύπο του ελαιοτριβείου και συγκεκριμένα από τον τρόπο διαχωρισμού του λαδιού από την ελαιοζύμη
- Την ποικιλία της ελιάς, το στάδιο ωριμότητας της και τον χρόνο αποθήκευσης της πριν από την επεξεργασία της
- Τη χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων
- Την περιοχή καλλιέργειας της ελιάς και τις κλιματικές συνθήκες
- Το διαθέσιμο στο ελαιουργείο νερό και το κόστος προμήθειας του, αφού κατά το πλύσιμο του καρπού είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν μικρότερες ποσότητες νερού από τις συνηθισμένες.

Η μέση σύνθεση των αποβλήτων των ελαιουργείων είναι: 80 - 95% νερό και 5 - 15% στερεά. Το  $\frac{1}{2}$  ως τα  $\frac{2}{3}$  των στερεών είναι οργανικά, τα υπόλοιπα αδρανή συστατικά και ανόργανα άλατα. Τέλος θα πρέπει να σημειωθούν χρήσιμες ή και πολύτιμες ουσίες που περιέχονται όπως: αζωτούχα, αμμωνιακά, φωσφορούχα και καλιούχα άλατα κατάλληλα για λίπανση, λάδι και λιπαρές ουσίες, πολυφαινόλες κ.α. Στη συνέχεια δίνεται ο Πίνακας 3.3 με τα χαρακτηριστικά αποβλήτων κλασσικών και φυγοκεντρικών ελαιουργείων [1].

Πίνακας 3.3: Χαρακτηριστικά αποβλήτων κλασσικών και φυγοκεντρικών ελαιουργείων [15].

Παράμετρος	Μονάδες	Κλασσικό ελαιουργείο	Φυγοκεντρικό ελαιουργείο
pH		4,5-5,0	4,7-5,2
BOD	g/l	90-100	35-48
COD	g/l	120-130	45-60
Στερεά αιωρούμενα	%	0,1	0,9
Στερεά ολικά	%	12	6,0
Στερεά οργανικά	%	10,5 (6,4-9,5)	3,5 (3,9-5,8)
Στερεά ανόργανα	%	1,5 (0,6-1,3)	0,5 (0,5-0,75)
<b>Οργανική ουσία</b>	%		
Ολικά σάκχαρα	%	5 (1,7-7,2)	1 (0,4-1,2)
Αζωτούχες ουσίες	%	1,2 (0,16)	0,28 (0,1-0,3)
Οργανικά οξέα	%	0,7	0,3
Πολυαλκοόλες	%	1,8	1,1
Πολυπηκτίνες, τανίνες κ.λ.π.	%	1,0	1,37
Πολυφαινόλες	%	1,0	0,5

Ανόργανα στοιχεία			
P	ppm	500	96
K	ppm	3000	1200
Ca	ppm	350	120
Mg	ppm	200	48
Na	ppm	450	245
Fe	ppm	35	16

\*Οι τιμές που βρίσκονται μέσα στις παρενθέσεις προέρχονται από αναλύσεις του Ινστιτούτου Υποτροπικών Φυτών και Ελιάς Χανίων και αφορούν την ποικιλία Κορωνέϊκη [15]. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να παρατηρηθεί ότι στον πίνακα φαίνεται οι πολυφαινόλες να μειώνονται στα υγρά απόβλητα των τριφασικών ελαιουργείων σε σχέση με την ποσότητά τους στα απόβλητα των κλασσικών ελαιουργείων. Αν όμως οι ποσότητες των φαινολών αναχθούν επί ξηρού υπολείμματος του κατσίγαρου, τότε τα ποσοστά γίνονται 4,8% και 4,4% αντίστοιχα.

### **3.4 ΔΙΑΘΕΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΥΡΓΕΙΩΝ**

#### **3.4.1 Κατηγορίες μεθόδων επεξεργασίας κατσίγαρου**

Η διαχείριση των υγρών αποβλήτων των ελαιοουργείων ήταν και εξακολουθεί να είναι, ένα σημαντικό πρόβλημα για τις ελαιοπαραγωγές χώρες. Στις χώρες αυτές, γίνονται πολλά χρόνια τώρα ερευνητικές εργασίες για την εξεύρεση της καλύτερης δυνατής λύσης όσον αφορά στην επεξεργασία των αποβλήτων αυτών. Πλήρη λύση του προβλήματος, δεν έχει δοθεί ακόμη. Ένας πρώτος λόγος, όπως προαναφέρθηκε, είναι ότι περιέχουν βεβαρημένο οργανικό φορτίο, πολύ υψηλότερο από αυτό που συναντάται στα αστικά λύματα, και δύσκολα αποικοδομήσιμα συστατικά με φυτοτοξικές και βιοτοξικές ιδιότητες όπως θα τονιστεί στη συνέχεια. Ο κυριότερος όμως λόγος, είναι ότι τα ελαιοουργεία, είναι συνήθως μικρής δυναμικότητας, διάσπαρτα στις επαρχίες αυτών των χωρών και η λειτουργία τους έχει εποχιακό χαρακτήρα, με χρονική διάρκεια περίπου 100 ημέρες ετησίως. Τα παραπάνω σημαίνουν ότι τεχνολογικά προηγμένες μέθοδοι επεξεργασίας του κατσίγαρου, είναι δυσβάστακτες για τα μεμονωμένα ελαιοουργεία, αλλά και η συγκέντρωση των αποβλήτων σε μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας, είναι οικονομικά ασύμφορη.

Οι διαδικασίες διαχείρισης των αποβλήτων των ελαιοουργείων που χρησιμοποιούνται εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες όπως το σύστημα επεξεργασίας του ελαιόκαρπου, η ανάμειξη του κατσίγαρου με άλλα απόβλητα, η δυνατότητα αποθήκευσης των αποβλήτων έτσι ώστε η επεξεργασία τους να πραγματοποιείται σε όλη τη διάρκεια της χρονιάς και όχι στο χρονικό διάστημα των τριών μηνών που λειτουργούν τα ελαιοτριβεία κ.α.

Υπάρχουν πλήθος μεθόδων επεξεργασίας του κατσίγαρου που χρησιμοποιούνται στις διάφορες ελαιοπαραγωγές χώρες. Κάθε μια από αυτές έχει και μια σειρά από παραλλαγές έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στις δυνατότητες της συγκεκριμένης εγκατάστασης που τη χρησιμοποιεί. Από πλευράς σκοπιμότητας οι μέθοδοι αυτές μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

- Σε αυτές τις μεθόδους που αποσκοπούν όχι μόνο στην αποφυγή ρύπανσης αλλά ταυτόχρονα και στην παραλαβή χρήσιμων προϊόντων ( βιοαέριο, φαινόλες, compost, πρώτη ύλη για ζωοτροφές, καθαρό νερό για άρδευση ) και

- Σε αυτές τις μεθόδους που στοχεύουν στη μείωση του ρυπαντικού φορτίου του αποβλήτου πριν αυτό διατεθεί στο περιβάλλον.

Από πλευράς μεθοδολογίας οι μέθοδοι διακρίνονται σε φυσικές, φυσικοχημικές και βιολογικές και βέβαια συνδυαστικές μέθοδοι [7].

Οι φυσικές και οι φυσικοχημικές, μεταξύ άλλων συμπεριλαμβάνουν:

- θερμική διαδικασία (εξάτμιση και αποτέφρωση),
- θρόμβωση και κλασματοποίηση,
- υπερδιήθηση και αντίστροφη όσμωση (τεχνικές με χρήση μεμβρανών)
- κατεργασία με  $\text{CaO}$  ή  $\text{Ca(OH)}_2$  για κροκίδωση συστατικών και μείωση οσμών σε συνδυασμό με αερόβια ζύμωση

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι παραπάνω τεχνικές έχουν υψηλό κόστος προμήθειας του αναγκαίου εξοπλισμού και γι' αυτό έχουν βρει μικρή μόνο εφαρμογή.

Οι βιολογικές, χωρίζονται σε αερόβιες και αναερόβιες με χρήση πολλών διαφορετικών μικροοργανισμών αν και η υψηλή συγκέντρωση φαινολών λειτουργεί ανασταλτικά στην επεξεργασία του κατσίγαρου με τις συμβατικές μεθόδους επεξεργασίας αποβλήτων μια και παρεμποδίζει την ανάπτυξη αρκετών μικροοργανισμών που εκτελούν τις βιολογικές δράσεις στις μεθόδους αυτές. Στις βιολογικές μεθόδους οι πλέον συνηθισμένες είναι:

- Αερόβια αποδόμηση που πραγματοποιείται είτε σε απλές εγκαταστάσεις μέσα σε αβαθείς λίμνες με τη βοήθεια συστήματος αερισμού, είτε σε περισσότερο πολύπλοκες με τη μέθοδο της ενεργούς ιλύος και των βιοφίλτρων.
- Αναερόβια απόδυση για την παραγωγή βιοαερίου
- Συνδυασμός αερόβιας και αναερόβιας αποδόμησης

Οι παραπάνω τρόποι επεξεργασίας καθώς και αρκετοί άλλοι που πραγματοποιούνται με μηχανικά μέσα αν και αναφέρονται συχνά στη βιβλιογραφία δεν έχουν τύχει μαζικής χρησιμοποίησης. Οι τρόποι διάθεσης των υγρών αποβλήτων που κυρίως λαμβάνουν χώρα στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι η χρήση τους για άρδευση όπως συμβαίνει στην Ιταλία, τη Γαλλία και την Πορτογαλία χωρίς προηγούμενη επεξεργασία, η διάθεση τους σε χέρσο έδαφος, η συγκέντρωσή τους σε εξατμισοδεξαμενές ή σε λάκκους που πραγματοποιείται κυρίως στην Ελλάδα και λιγότερο στην Ισπανία.

Συνηθισμένη πρακτική (παράνομη πλέον) είναι και η διάθεσή τους σε υδάτινα οικοσυστήματα χωρίς να έχει προηγηθεί επεξεργασία ή η συμμόρφωση με επιτρεπτά όρια πριν από τη διάθεση.

Σε πιλοτική κλίμακα έχει δοκιμαστεί στην Καλαμάτα η παρασκευή υγρού εδαφοβελτιωτικού δηλαδή μετατροπή του βεβαρημένου κλάσματος των αποβλήτων σε υγρό οργανικό λίπασμα με τη μέθοδο της λιπασματοποίησης υγρής φάσης. Η μέθοδος αναπτύχθηκε από το Εργαστήριο Μικροβιολογίας του Γεωργικού Πανεπιστημίου Αθηνών [6]. Η ίδια ομάδα αξιοποίησε τον κατσίγαρο για την παρασκευή κομπόστας επίσης σε πιλοτική κλίμακα στη Σητεία της Κρήτης [21]. Στην Κρήτη έχουν δοκιμαστεί εκτός από την παρασκευή κομπόστας και η αναερόβια χώνευση και η συνεπεξεργασία του κατσίγαρου με αστικά λύματα σε μονάδες ενεργού ιλύος. Στην Ισπανία έχουν γίνει προσπάθειες για τη δημιουργία μονάδων παραγωγής βιοαερίου από τον κατσίγαρο. Επίσης, η χρήση του κατσίγαρου για άρδευση, λίπανση και παρασκευή καλλυντικών ακολουθεί την άποψη που κυριαρχεί τα τελευταία χρόνια πως πρέπει να γίνεται επαναχρησιμοποίηση ουσιών που περιέχονται στα απόβλητα. Ο κατσίγαρος, επειδή παράγεται από μια φυσική διαδικασία δεν περιέχει βαρέα μέταλλα και επικίνδυνες για την υγεία οργανικές ενώσεις, αντιθέτως, περιέχει θρεπτικά συστατικά για τα φυτά, κυρίως K, N, P, Mg και αποτελεί μια φτηνή πηγή νερού. Πρόσφατα πραγματοποιήθηκαν αλλά και πραγματοποιούνται ακόμη ερευνητικά προγράμματα για την ανάκτηση φαινολών από τον κατσίγαρο προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στη βιομηχανία αρωμάτων και φαρμάκων. Η τελευταία βέβαια ενέργεια δεν λύνει το πρόβλημα που δημιουργεί ο κατσίγαρος, αλλά χρησιμοποιεί συστατικά του που δυσκολεύουν την επεξεργασία του για την παρασκευή άλλων υλικών. Τα έσοδα που θα προκύψουν, σύμφωνα με τους ερευνητές των προγραμμάτων, από την απομόνωση των φαινολών και την παραγωγή εδαφοβελτιωτικού, πιθανόν να δώσουν κίνητρα για την δημιουργία των δαπανηρών εγκαταστάσεων που απαιτούνται για τις παραπάνω διαδικασίες.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4. ΔΙΗΘΗΣΗ

#### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο όρος διήθηση συχνά αναφέρεται στην χρήση σχετικά βαθέων κοκκοδών κλινών [(1 ½ με 6 (ft) (0,46 με 1,82 m)], για την απομάκρυνση ανεπιθύμητων σωματιδίων από το νερό. Η διήθηση του νερού είναι μία φυσικοχημική διεργασία για τον διαχωρισμό των αιρούμενων και των κολλοειδών ακαθαρσιών από το νερό, διαμέσου της διόδου από μια διηθητική κλίνη πληρωμένη με κοκκώδες υλικό.

Η διήθηση χρησιμοποιείται στην επεξεργασία των αποβλήτων για την απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων. Κατά τη διεργασία αυτή τα απόβλητα διέρχονται μέσα από ένα μέσο διήθησης και τα σωματίδια που περιέχει απομακρύνονται είτε με συσσώρευση στην επιφάνεια του διηθητικού μέσου είτε με συγκράτηση στη μάζα του [16].

Υπάρχουν δυο διαφορετικά στάδια που χαρακτηρίζουν τη διεργασία [11]:

- Η μεταφορά κατά την οποία αιωρούμενα σωματίδια μεταφέρονται στις άμεσα γειτνιάζουσες περιοχές του στερεού μέσου διήθησης και
- Η συγκράτηση, στην οποία τα σωματίδια συνδέονται στην επιφάνεια του μέσου διήθησης ή σε κάποιο άλλο σωματίδιο το οποίο έχει προηγουμένως συγκρατηθεί στο φίλτρο.

Τα απόβλητα ρέουν μέσα από το διηθητικό μέσο λόγω της διαφοράς πίεσης. Άρα τα φίλτρα ταξινομούνται με βάση αυτά που λειτουργούν με πίεση μεγαλύτερης της ατμοσφαιρικής στην ανάντη πλευρά του διηθητικού μέσου και σε αυτά που λειτουργούν με ατμοσφαιρική πίεση στην ανάντη πλευρά και κενό στην κατάντη πλευρά. Πιέσεις μεγαλύτερες της ατμοσφαιρικής μπορούν να αναπτυχθούν με τη δύναμη της βαρύτητας, όταν αυτή ενεργεί σε μια στήλη υγρού, με μια αντλία ή με ένα φυσητήρα ή με τη φυγόκεντρο δύναμη.

Η χρήση της διήθησης σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους επεξεργασίας του νερού, όπως είναι η θρόμβωση, η ιζηματοποίηση και η καθίζηση, είναι δυνατό να οδηγήσει στην απομάκρυνση αιωρούμενων σωματιδίων όλων των ειδών και μεγεθών και αποτελεί το τελικό στάδιο της συνολικής διεργασίας καθαρισμού του νερού, πριν την απολύμανση [16].

## 4.2 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΕΙΔΩΝ ΔΙΗΘΗΣΗΣ

Πολλά είναι τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται στη βιβλιογραφία για τη διάκριση των ειδών διήθησης και των διαφόρων φίλτρων. Μία διάκριση των φίλτρων, η οποία είναι και η σπουδαιότερη, γίνεται με βάση το μηχανισμό της διήθησης. Στη διήθηση επιφάνειας ή πλακούντα (cake filtration), η διασπορά οδηγείται σε μια πορώδη επιφάνεια, η οποία συγκρατεί τα αιωρούμενα σωματίδια καθώς διέρχεται από το νερό. Στη διήθηση χώρου, η διασπορά διέρχεται μέσα από ένα παχύ στρώμα πορώδους υλικού, όπως είναι η άμμος, οπότε τα σωματίδια συγκρατούνται στη μάζα του.

Επίσης, μπορεί να γίνει διάκριση με βάση τα φυσικά χαρακτηριστικά του διηθητικού μέσου. Έτσι, υπάρχει η διήθηση σε κλίνες με κοκκώδες διηθητικό μέσο, όπως είναι η άμμος και ο ανθρακίτης, και η διήθηση σε φίλτρα με προεπίστρωση, όπου χρησιμοποιείται ένα λεπτό στρώμα διηθητικού μέσου, όπως η γη διατόμων.

Ένας άλλος τρόπος διάκρισης είναι με βάση τον υδραυλικό τρόπο με τον οποίο διέρχεται το νερό μέσα από το διηθητικό μέσο. Με βάση αυτή τη διάκριση υπάρχει η διήθηση με βαρύτητα (ανοιχτά φίλτρα) και η διήθηση υπό πίεση (κλειστά φίλτρα). Τέλος, μπορεί να γίνει διάκριση με βάση τον ρυθμό διήθησης. Σε κλίνες με κοκκώδες διηθητικό μέσο διακρίνουμε την ταχεία και τη αργή διήθηση [16].

### 4.2.1 Διήθηση χώρου

Στη διήθηση χώρου τα αιωρούμενα σωματίδια ρέουν διαμέσου της πορώδους κλίνης, η οποία τα συγκρατεί στη μάζα της με διάφορους μηχανισμούς. Υπάρχει η δυνατότητα αναγέννησης της κλίνης με απόρριψη των σωματιδίων, η οποία γίνεται με τη διαδικασία της αντίστροφης πλύσης. Η χρονική στιγμή της αντίστροφης πλύσης καθορίζεται από την τελική πτώση πίεσης, η οποία επιλέγεται ώστε να μην υπάρχει βακτηριακή ανάπτυξη ή συμπίεση των συγκρατημένων σωματιδίων στο φίλτρο. Η χρονική διάρκεια ανάμεσα στις πλύσεις ονομάζεται κύκλος διήθησης και η μέγιστη πτώση πίεσης κατά τη λειτουργία μιας κλίνης ονομάζεται διαθέσιμη. Σημαντικός παράγοντας καλής λειτουργίας της διήθησης χώρου είναι η χρησιμοποίηση όλου του όγκου της, επομένως τυχόν μηχανισμοί αποστράγγισης είναι ανεπιθύμητοι. Στη συνέχεια αναφέρονται οι μηχανισμοί συγκράτησης των αιωρούμενων σωματιδίων.

Ο μηχανισμός συγκράτησης των αιωρούμενων σωματιδίων από το διηθητικό μέσο είναι αρκετά πολύπλοκος. Απόδειξη αποτελεί η συγκράτηση των σωματιδίων μικρότερου μεγέθους από τα διάκενα των πόρων της κλίνης.

Η συγκράτηση των αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να διαχωριστεί σε τρία στάδια:

1. Στάδιο μεταφοράς: Τα σωματίδια παρεκκλίνουν από τις γραμμές ροής του νερού και μεταφέρονται στην επιφάνεια του διηθητικού μέσου.

2. Στάδιο συγκράτησης: Τα σωματίδια πλησιάζουν τόσο τον κόκκο, ώστε αναπτύσσονται δυνάμεις που ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων επιτρέπουν ή όχι τη συγκράτησή τους στον κόκκο ή όχι.

3. Στάδιο αποκόλλησης: Τα ήδη συγκρατημένα σωματίδια, εξαιτίας των διατμητικών τάσεων που οφείλονται στη μεταβολή της ροής, είναι δυνατό να συμπαρασυρθούν από το νερό.

Πρέπει να σημειωθεί ότι σαφής διαχωρισμός μεταξύ των δυο πρώτων δυο σταδίων σύλληψης δεν υπάρχει, αφού είναι δυνατόν ο μηχανισμός μεταφοράς των σωματιδίων να αποτελεί ταυτόχρονα και μηχανισμό πρόσφυσης [16].

### **4.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ**

Η επιλογή του διηθητικού μέσου αποτελεί τη σημαντικότερη σχεδιαστική παράμετρο, αφού αποτελεί την καρδιά του συστήματος διήθησης χώρου. Στη συνέχεια αναπτύσσονται τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των υλικών που χρησιμοποιούνται ως διηθητικά, καθώς επίσης και τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά των αντίστοιχων κλινών διήθησης.

#### **4.3.1 Χημικά χαρακτηριστικά**

Το πρώτο υλικό που χρησιμοποιήθηκε ως διηθητικό μέσο και αυτό που ευρύτερα χρησιμοποιείται σήμερα είναι η χαλαζιακή άμμος. Άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται επίσης ως διηθητικά μέσα είναι ο ανθρακίτης, ο γρανάτης, ο σχιστόλιθος και ο ιλμενίτης. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη χρησιμοποίηση κάποιου υλικού ως διηθητικού μέσου είναι η μηχανική του αντοχή (μη εύθρυπτο) και η αντοχή του στα οξέα, ενώ τα χαρακτηριστικά του συστήματος διασποράς επηρεάζουν την επιλογή του είδους. Έτσι, εάν για παράδειγμα μια κλίνη διήθησης προορίζεται για τριτοβάθμια επεξεργασία λυμάτων, τότε είναι προτιμότερη η χρήση σχιστόλιθου ως διηθητικού μέσου, ενώ για απομάκρυνση οσμής ή χρώματος, οργανικών ενώσεων και χλωρίου χρησιμοποιείται ο κοκκώδης ενεργός άνθρακας.

#### 4.3.2 Φυσικά χαρακτηριστικά

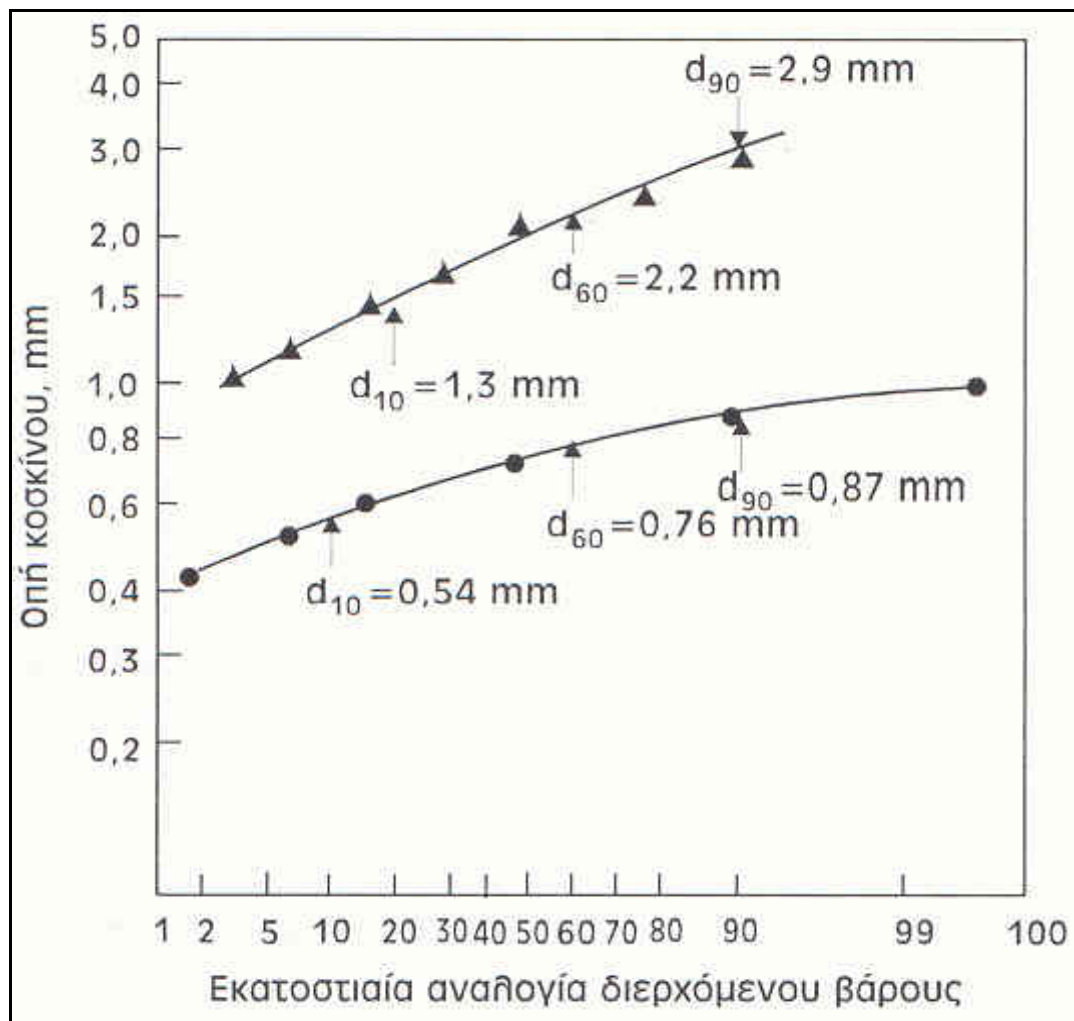
Οι φυσικές ιδιότητες (Πίνακας 4.1) των διηθητικών μέσων, οι οποίες επηρεάζουν τόσο την απόδοση της κλίνης, όσο και τη διαδικασία της αντίστροφης πλύσης, είναι:

- **Το μέγεθος των κόκκων και η κατανομή μεγέθους**

Το μέγεθος των κόκκων του διηθητικού μέσου έχει σημαντική επίδραση στην απόδοση της διήθησης, καθώς επίσης στις απαιτήσεις για την αντίστροφη πλύση του. Υπολογίζεται με κοκκομετρική ανάλυση, κατά την οποία λαμβάνεται μια καμπύλη (Σχήμα 4.1) που αναπαριστά το ποσοστό κατά βάρος των κόκκων που διέρχονται από τις οπές μιας σειράς κόσκινων. Το διηθητικό μέσο χαρακτηρίζεται από το πραγματικό μέγεθος (ES, effective size) και το **συντελεστή ομοιομορφίας** (UC, uniformity coefficient). Το πραγματικό είναι το μέγεθος εκείνο που ποσοστό 10% κατά βάρος των κόκκων έχουν μικρότερο μέγεθος και συμβολίζεται ως  $d_{10}$ . Το  $d_{60}$  συμβολίζει το μέγεθος εκείνο που ποσοστό 60% κατά βάρος των κόκκων έχουν μικρότερο μέγεθος, ενώ ο λόγος  $d_{60} / d_{10}$  ονομάζεται συντελεστής ομοιομορφίας. Ο συντελεστής ομοιομορφίας του διηθητικού μέσου στις διηθητικές κλίνες ενός στρώματος πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 1,2 και 1,6 με μέγιστη τιμή 1,8.

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά των συνηθέστερα χρησιμοποιούμενων υλικών διήθησης [16]

Υλικό	Πυκνότητα κόκκου g/mL	Πορώδες κλίνης $\epsilon_0$	Σφαιρικότητα $\psi$
Χαλαζιακή άμμος	2,65	0,42 – 0,47	0,70 – 0,80
Ανθρακίτης	1,4 – 1,7	0,56 – 0,60	0,46 – 0,60
Κοκκώδης εν. άνθρακας	1,3 – 1,5	0,48 – 0,52	0,72 – 0,78
Γρανάτης	3,6 – 4,2	0,45 – 0,55	0,58 – 0,62



Σχήμα 4.1: Συνήθης κοκκομετρική ανάλυση του ανθρακίτη (▲) και της χαλαζιακής άμμου (●) [16]

- **Το σχήμα και η σφαιρικότητα των κόκκων**

Η επιφάνεια των κόκκων μπορεί να είναι τραχεία ή λεία. Το σχήμα τους χαρακτηρίζεται από τη σφαιρικότητα  $\psi$ , η οποία ισούται με το λόγο της επιφάνειας μιας σφαίρας ισοδύναμου όγκου προς την πραγματική επιφάνεια του κόκκου. Το σχήμα των κόκκων επηρεάζει την πτώση πίεσης κατά τη διήθηση, με τους μη σφαιρικούς κόκκους να δημιουργούν μικρότερη πτώση πίεσης από τους σφαιρικούς, σε αντίθεση από ότι θα περίμενε κανείς, καθώς δημιουργούν μεγαλύτερες διόδους του νερού. Αυτό προκύπτει και από τον Πίνακα 4.2, στον οποίο φαίνεται ότι το πορώδες του διηθητικού μέσου αυξάνεται καθώς ελαττώνεται η σφαιρικότητα των κόκκων.

Πίνακας 4.2: Επίδραση του σχήματος των διηθητικών υλικών στα φυσικά χαρακτηριστικά τους [16]

Περιγραφή σχήματος	Σφαιρικότητα $\psi$	Συντελεστής σχήματος $S$	Τυπικό πορώδες $\epsilon_0$
Σφαιρικό	1,00	6,0	0,38
Κυλινδρικό	0,98	6,1	0,38
Φθαρμένο	0,94	6,4	0,39
Αιχμηρό	0,81	7,4	0,40
Γωνιώδες	0,78	7,7	0,43
Κονιοποιημένο	0,70	8,5	0,48

- **Η πυκνότητα των κόκκων**

Η πυκνότητα των κόκκων επηρεάζει την απαιτούμενη ταχύτητα ροής για αντίστροφη πλύση της κλίνης, αφού κόκκοι με μεγαλύτερη πυκνότητα ( και μέγεθος ) απαιτούν μεγαλύτερη ταχύτητα ροής, ώστε να επιτευχθεί η ρευστοποίηση της κλίνης.

- **Η φαινομενική πυκνότητα**

Είναι ένα μέτρο του όγκου που καταλαμβάνει μια δεδομένη μάζα διηθητικού μέσου στο νερό ή στον αέρα.

- **Η σκληρότητα των κόκκων**

Η αυξημένη σκληρότητα των κόκκων είναι επιθυμητή, επειδή αυξάνει τη διάρκεια ζωής τους. Επίσης δε χρησιμοποιούνται κόκκοι με μεγάλη ευθραυστότητα, επειδή θρυμματίζονται σε μικρότερα σωματίδια και φράσσουν τη διηθητική κλίνη. Η σκληρότητα μετρείται σε μονάδες Mohs και η ελάχιστη απαιτούμενη σκληρότητα ενός διηθητικού μέσου είναι 3 Mohs, σκληρότητα που υπερβαίνουν κατά πολύ τόσο η χαλαζιακή άμμος, όσο ο γρανάτης και ο ιλμενίτης.

- **Το πορώδες σταθερής κλίνης ( $\epsilon_0$ )**

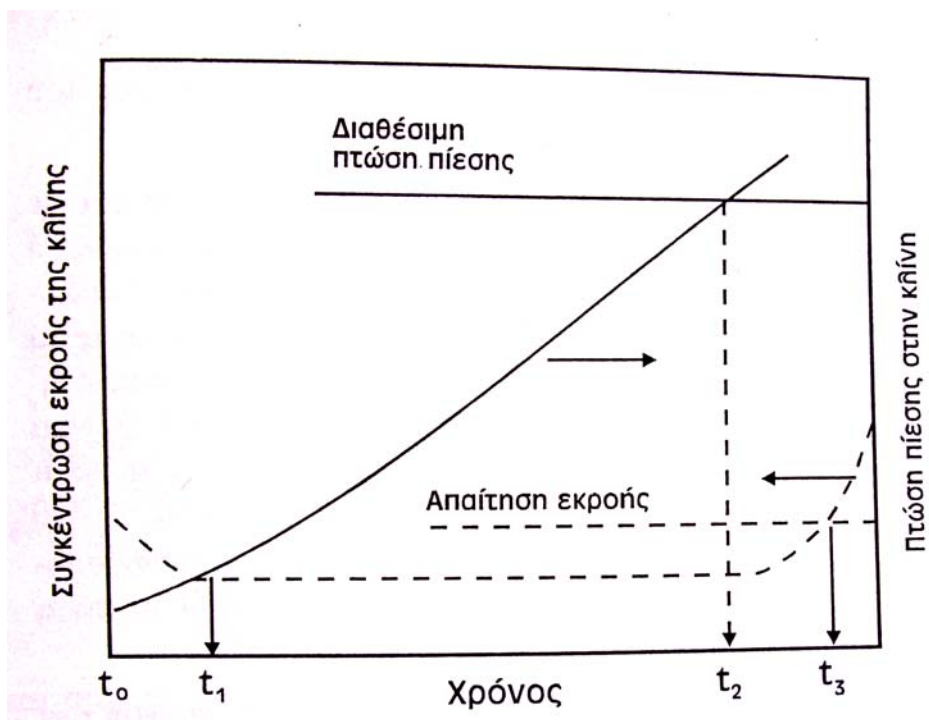
Το πορώδες ισούται με το λόγο του όγκου του κενού χώρου της κλίνης προς το ολικό όγκο της. Επηρεάζει την πτώση πίεσης κατά τη λειτουργία, το βαθμό συγκράτησης και την ποσότητα των αιωρούμενων στερεών, καθώς επίσης και την ταχύτητα ροής της αντίστροφης πλύσης. Εξαρτάται από την σφαιρικότητα (Πίνακας 4.2 ) και το μέγεθος των σωματιδίων.

- **Το μέγεθος των κόκκων και το βάθος της διηθητικής κλίνης ενός στρώματος**

Το μέγεθος των κόκκων ενός διηθητικού μέσου που θα χρησιμοποιηθεί σε μία κλίνη εξαρτάται από το είδος της διασποράς που καλείται να συγκρατήσει, καθώς επίσης και από το βάθος της κλίνης. Τα συνήθως χρησιμοποιούμενα μεγέθη κυμαίνονται κατά περίπτωση μεταξύ 0,3 – 0,5 mm, 0,6 – 0,8 mm, 0,9 – 1,35 mm, 1,35 – 2,5 mm και 3 – 25 mm.

Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 4.2, κατά τη διάρκεια ενός κύκλου διήθησης παρατηρείται συνεχώς αυξανόμενη πτώση πίεσης. Αντίθετα, η ποιότητα του νερού εκροής από τη χρονική στιγμή  $t_0$  έως τη χρονική στιγμή  $t_1$  συνεχώς βελτιώνεται ( χρονική περίοδος "ωρίμανσης "), παραμένει σταθερή για μεγάλο χρονικό διάστημα μέχρι τη χρονική στιγμή  $t_2$ , οπότε εμφανίζονται φαινόμενα αποκόλλησης και αρχίζει σταδιακή υποβάθμιση της ποιότητας του νερού εκροής μέχρι τη χρονική στιγμή  $t_3$ , κατά την οποία φθάνει το ανώτερο επιτρεπτό όριο εκροής και απαιτείται πλέον αντίστροφη πλύση του φίλτρου.

Για δεδομένο μέγεθος κόκκων ενός διηθητικού μέσου και για κλίνη που βρίσκεται σε "ώριμη " κατάσταση, η θολότητα του διηθήματος μειώνεται μέχρι ένα ορισμένο βάθος, σταθεροποιείται σε μία τιμή και δε μεταβάλλεται, όσο και να αυξηθεί το βάθος της κλίνης. Το βάθος αυτό της κλίνης είναι το ελάχιστο που πρέπει να χρησιμοποιηθεί για το δεδομένο μέγεθος κόκκων, ώστε να έχουμε την καλύτερη ποιότητα εκροής και την ελάχιστη πτώση πίεσης για το συγκεκριμένο ρυθμό ροής. Το βάθος αυτό συνήθως αυξάνεται, ως να λειτουργεί αποτελεσματικά η κλίνη καθ'όλη τη διάρκεια του κύκλου διήθησης, καθώς αυξάνεται ο βαθμός έμφραξης. Το κριτήριο για τη βελτιστοποίηση της διήθησης είναι η σύμπτωση της χρονικής στιγμής υπέρβασης της απαίτησης εκροής με τη χρονική στιγμή επίτευξης μέγιστης πτώσης πίεσης δηλαδή να συμπίπτει η χρονική στιγμή  $t_2$  με τη χρονική στιγμή  $t_3$  (Σχήμα 4.2 ,  $t_2 = t_3$  ). Αποτελεί γενικό κανόνα το γεγονός ότι όσο μικρότερο είναι το μέγεθος της άμμου, τόσο μικρότερο βάθος κλίνης απαιτείται, αλλά όμως αυξάνει αναλογικά η μέση και η μέγιστη πτώση πίεσης. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τους χρόνους  $t_2$  και  $t_3$  είναι κυρίως το είδος και η ποσότητα της διασποράς.



Σχήμα 4.2: Σχηματική παράσταση της απόδοσης και της πτώσης πίεσης μιας κλίνης κατά τη διάρκεια του κύκλου διήθησης [16]

- **Το μέγεθος των κόκκων και το βάθος διηθητικής κλίνης πολλών στρωμάτων**

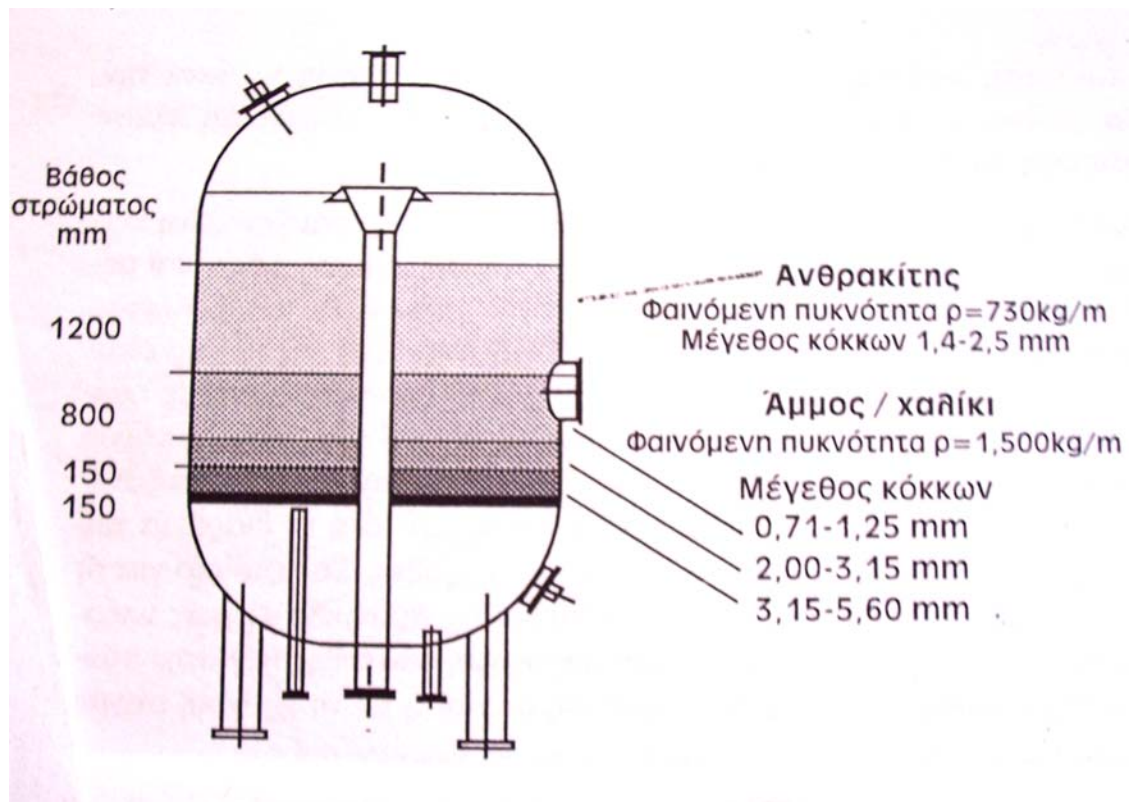
Ο λόγος των ενεργών μεγεθών των κόκκων των υλικών που συνιστούν τα δύο ή τρία στρώματα διήθησης μιας κλίνης πρέπει να έχει ορισμένη τιμή, η οποία εξαρτάται από τη φύση της διασποράς, την πυκνότητα κόκκου του κάθε υλικού και τη μέθοδο πλύσης της κλίνης.

Όταν άρχισαν να χρησιμοποιούνται κλίνες με πολλαπλά στρώματα, δόθηκε ιδιαίτερη βαρύτητα στην ύπαρξη εμφανούς διαχωρισμού ανάμεσα στα ανεξάρτητα στρώματα. Ωστόσο, θεωρείται αναγκαίος κάποιος βαθμός ανάμιξης των στρωμάτων, αν και ο συντελεστής ομοιομορφίας κάθε στρώματος πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος (μέγιστη τιμή 1,8), έτσι ώστε οι λεπτοί κόκκοι να μη συγκεντρωθούν στην επιφάνεια εξαιτίας της υδραυλικής διαβάθμισης των κόκκων ως προς το μέγεθός τους κατά την πλύση. Αυτή η διαβάθμιση θα είχε σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση για κάθε στρώμα του φαινομένου έμφραξης της επιφάνειας, το οποίο υποβαθμίζει τη λειτουργία τη διήθησης χώρου. Στην περίπτωση φίλτρων με δύο στρώματα, το ενεργό



μέγεθος της άμμου που χρησιμοποιείται σαν το κάτω στρώμα κυμαίνεται μεταξύ 0,4 – 0,8 mm, ενώ αυτό του ανθρακίτη ή της ελαφρόπετρας μεταξύ 0,8 – 2,5 mm.

Το βάθος της κλίνης εξαρτάται από την επεξεργασία του νερού, το ρυθμό διήθησης, καθώς επίσης και από τη φύση της διασποράς. Μία κλίνη με δύο στρώματα πρέπει να αποτελείται κατά 2/5 από άμμο και κατά 3/5 από ανθρακίτη ή κάποιο άλλο ελαφρύ υλικό. Επισημαίνεται ότι το ολικό βάρος μιας κλίνης δύο στρωμάτων ισοδυναμεί με το 70% περίπου του βάθους μιας κλίνης ενός στρώματος. Όταν η κλίνη αποτελείται από περισσότερα από δύο στρώματα όλα εξαρτώνται από τη διευθέτησή τους. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των στρωμάτων, τόσο σημαντικό ρόλο έχουν τόσο η διευθέτησή τους, όσο και η μέθοδος πλύσης τους. Στο σχήμα 4.3 δίνεται ένα τυπικό παράδειγμα μιας κλίνης πολλών στρωμάτων [16].



Σχήμα 4.3 : Συνήθη χαρακτηριστικά πολυστρωματικής κλίνης [16]

## 4.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Το νερό διαλύει ή μεταφέρει ως αιωρούμενα στερεά διάφορα συστατικά, τα οποία του προσδίδουν χημικά χαρακτηριστικά βιολογικής και αισθητικής σπουδαιότητας. Ο τύπος, το μέγεθος και η αλληλεπίδραση των υλικών αυτών προσδιορίζουν διάφορα χαρακτηριστικά του νερού, όπως είναι η ποσιμότητα, η διαβρωτικότητα, καθώς επίσης η οσμή και η γεύση του. Η επεξεργασία του νερού επιδρά στις ιδιότητες αυτές περιορίζοντας τα ανεπιθύμητα συστατικά του μέσα στα επιθυμητά όρια των ποιοτικών απαιτήσεων για τη χρήση του [16].

### 4.4.1 Φυσικά χαρακτηριστικά αποβλήτων

Το πλέον σπουδαίο φυσικό χαρακτηριστικό των αποβλήτων είναι η ολική περιεκτικότητα στερεών συστατικών στην οποία συμβάλλουν επιπλέοντα, καθιζάνοντα, κολλοειδή και διαλελυμένα συστατικά επηρεάζοντας το χρώμα, την θερμοκρασία, την πυκνότητα και την θολερότητα.

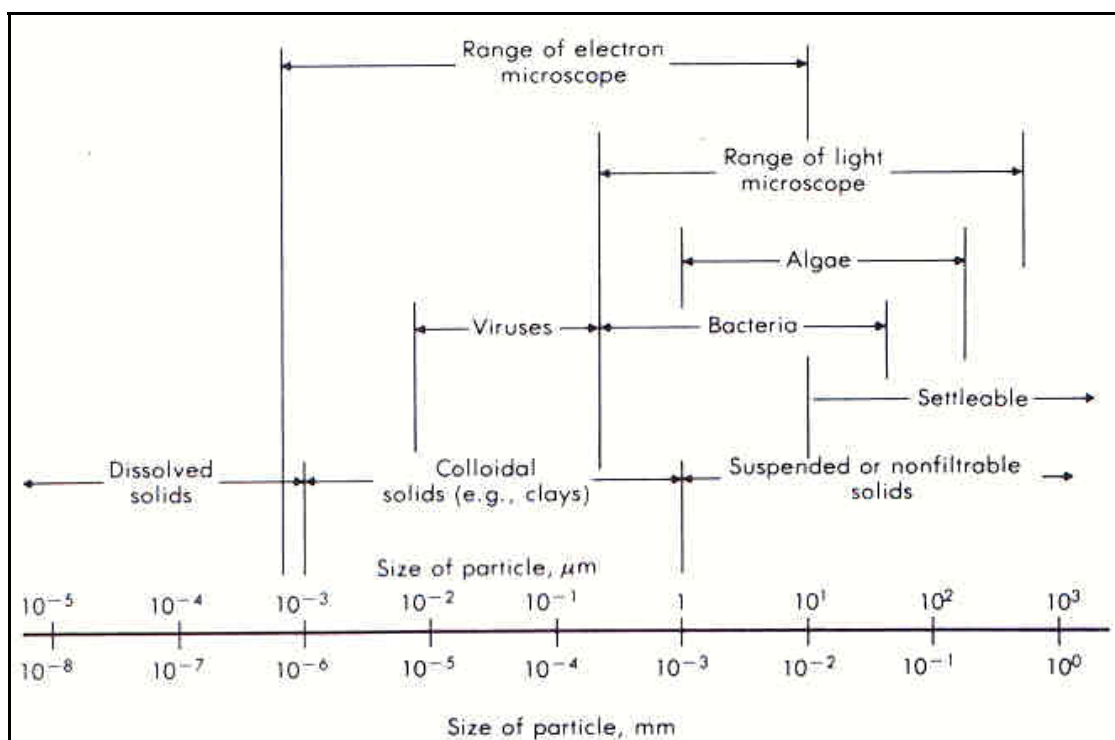
- **Στερεά συστατικά**

Ως ολική περιεκτικότητα στερεών σε υγρά απόβλητα, ορίζεται το στερεό υλικό που απομένει μετά από εξάτμιση σε 103-105°C. Τα στερεά και ημιστερεά σωματίδια στο νερό και στα απόβλητα μπορεί να κατηγοριοποιηθούν βάση του μεγέθους και της κατάστασή τους σε καθιζάνοντα, αιωρούμενα, κολλοειδή ή διαλελυμένα στερεά. Τα καθιζάνοντα στερεά είναι αυτά που κατακαθίζουν σε ένα κωνικό δοχείο, το φέρει την ονομασία «κώνος Imhoff», σε διάστημα μίας ώρας (Σχήμα 4.4). Τα αιωρούμενα σωματίδια δεν καθιζάνουν στο τεστ του Imhoff κώνου και δεν είναι αναμενόμενο να απομακρυνθούν με τη συμβατική καθίζηση λόγω βαρύτητας [5].

Τα ολικά στερεά διαφοροποιούνται σε διηθήσιμα και μη-διηθήσιμα. Τα μη διηθήσιμα συστατικά περιλαμβάνουν τα αιωρούμενα σωματίδια, ενώ τα διηθήσιμα διακρίνονται στα κολλοειδή και στα διαλελυμένα συστατικά (Σχήμα 4.5). Το άθροισμα των διαλελυμένων και των αιωρούμενων (διηθήσιμων και μη διηθήσιμων) στερεών αποτελεί τα ολικά στερεά.



Σχήμα 4.4 : Ο κώνος Imhoff χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό των σωματιδίων που βρίσκονται στα απόβλητα. Τα καθιζάνοντα στερεά είναι αυτά που κατακαθίζουν στον πάτο του κωνικού δοχείου [5].



Σχήμα 4.5 : Διάγραμμα κατηγοριοποίησης στερεών σωματιδίων (διηθήσιμων και μη διηθήσιμων) βάση του μεγέθους τους, που συναντώνται στο νερό και σε απόβλητα [5].

- **Θολότητα**

Η θολότητα ή θολερότητα ορίζεται, ως η οπτική ιδιότητα του δείγματος να προκαλεί διάχυση του φωτός και απορρόφηση, χωρίς να επιτρέπει τη διέλευσή του. Η μέτρηση περιλαμβάνει μία δέσμη ορατού φωτός και έναν ανιχνευτή διαχεόμενης ακτινοβολίας. Η θολότητα μετριέται σε μονάδες θολότητας.

Ενώ τα αιωρούμενα και τα κolloειδή συστατικά, που συνεισφέρουν στη θολότητα, είναι σημαντικές παράμετροι για αισθητικούς, κυρίως, λόγους, αυτή καθ' αυτή η θολότητα είναι σπουδαία και για λόγους υγείας. Ειδικά χαρακτηριστικά της θολότητας, που σχετίζονται με την υγεία, συμπεριλαμβάνουν την ανάπτυξη και τη μεταφορά μικροοργανισμών με τα αιωρούμενα στερεά και τη δυσκολία καταστροφής τους με απολύμανση, καθώς η απαίτηση χλωρίου σχετίζεται με τη σύσταση των αιωρούμενων στερεών που δημιουργούν τη θολότητα. Είναι η περισσότερο μεταβαλλόμενη παράμετρος ποιότητας του νερού, η οποία καθορίζει συχνά την επιλογή της μεθόδου επεξεργασίας του.

## **4.5 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ**

Τα συστήματα διήθησης, που εφαρμόζονται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων χρησιμοποιούν ένα πορώδες μέσο, μέσου του οποίου διέρχεται το νερό για να απομακρυνθούν τα αιωρούμενα στερεά. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για να υλοποιήσουν αυτόν τον σκοπό. Η πιο διαδομένη μέθοδος επεξεργασίας είναι η ταχεία βαρυτική διήθηση. Παρόλα αυτά η εξέλιξη της τεχνολογίας της διήθησης έχει δημιουργήσει πλήθος τύπων διηθητικών συστημάτων.

### **4.5.1 Διαθέσιμοι τύποι φίλτρων**

Ένα πλήθος συστημάτων διήθησης είναι τεχνικά διαθέσιμοι, αλλά εξαρτάται η επιλογή τους από τον τύπο της εφαρμογής τους. Οι τύποι συστημάτων που χρησιμοποιούνται περισσότερο για την επεξεργασία του νερού είναι:

### **Τα βαρυτικά συστήματα διήθησης**

- Ταχείας βαρυτικής διήθησης
- Αργής βαρυτικής διήθησης (χρήση άμμου)

### **Τα κλειστά συστήματα διήθησης ή φίλτρα πίεσης**

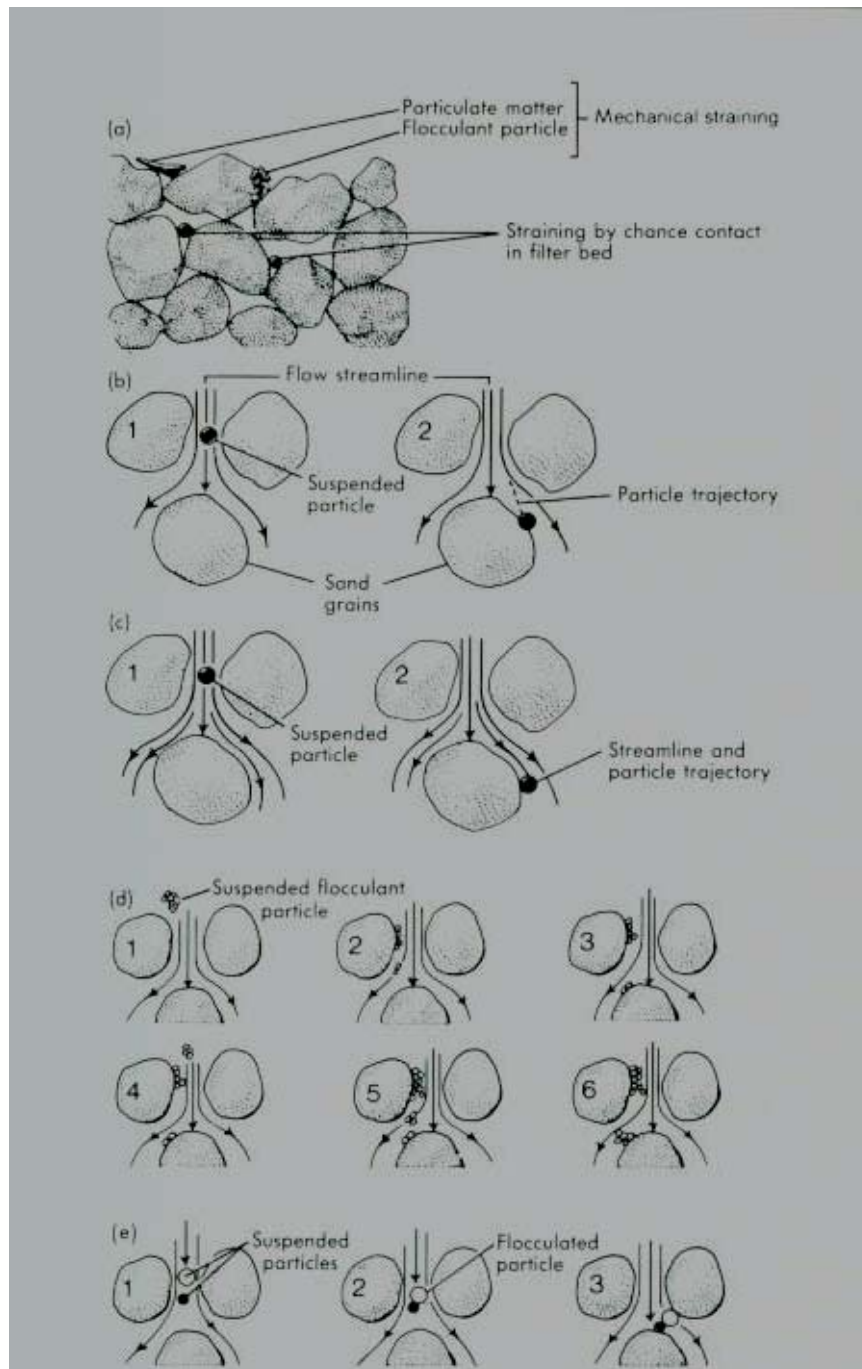
- Ταχείας διήθησης με πίεση
- Διήθηση με χρήση γης διατόμων
- Διήθηση με μεμβράνες
- Διήθηση με φυσίγγια

Τα βαρυτικά φίλτρα λειτουργούν με σχετικά μικρές υδραυλικές απώλειες στη μονάδα, ενώ τα φίλτρα στα οποία ασκείται πίεση με κάποιο μηχανισμό είναι πιο πρακτικά, όταν οι υψηλές υδραυλικές απώλειες δεν είναι επιζήμιες. Τα φίλτρα υπό πίεση επιτρέπουν την άντληση στην μονάδα σε σχετικά μεγάλες πιέσεις και χρησιμοποιούνται συχνά σε μικρά εργοστάσια, όπου είναι πιο οικονομικά. Σε μεγαλύτερα εργοστάσια τα βαρυτικά φίλτρα είναι πιο διαδεδομένα, λόγω του ότι τα συστήματα που λειτουργούν υπό πίεση είναι περιορισμένα λόγω του μεγέθους των σωληνώσεων τους. Ένα μειονέκτημα στα φίλτρα αυτά είναι ότι δεν υπάρχει η ικανότητα παρατήρησης κατά την διάρκεια της διαδικασίας και ειδικότερα κατά την διαδικασία καθαρισμού του φίλτρου.

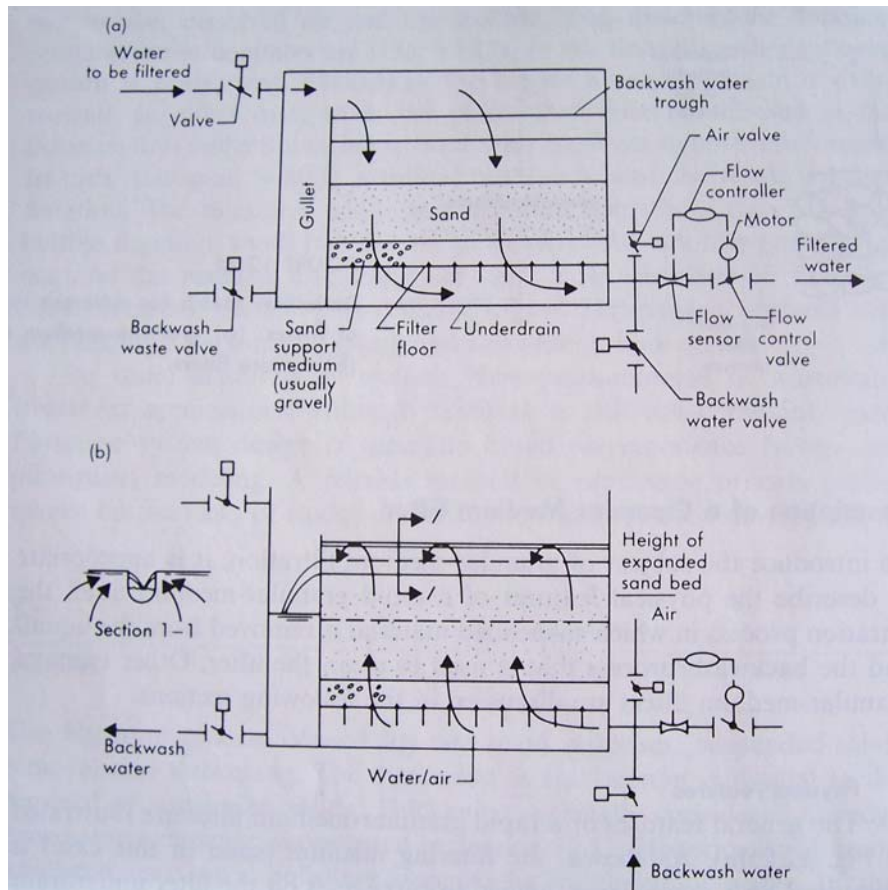
### **Ταχεία βαρυτική διήθηση**

Η ταχεία βαρυτική διήθηση είναι η τεχνολογία που χρησιμοποιείται ευρέως για την απομάκρυνση των θολερότητας και μολυσματικών μικροβίων από επιφανειακά και υπόγεια νερά στα οποία έχει γίνει κάποιου είδους προεπεξεργασία. Η ροή στα φίλτρα αυτά είναι συνήθως με κατεύθυνση από πάνω προς τα κάτω, με το προεπεξεργασμένο νερό να διέρχεται διαμέσου μια κλίνης πληρωμένης με υλικό σε κοκκώδη μορφή. Τα στερεά συσσωρεύονται ανάμεσα στα κενά και στο πάνω μέρος της επιφάνειας της διηθητικής κλίνης (Σχήμα 4.6). Μετά από μια περίοδο λειτουργίας του φίλτρου, το διηθητικό μέσο καθαρίζεται χρησιμοποιώντας αντιστραμμένη ροή

νερού (κατεύθυνση από κάτω προς τα πάνω). Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή με τον όρο “ξέπλυμα” ή “επανεπλύση” (backwashing) (Σχήμα 4.7β).



Σχήμα 4.6: Σχήμα που δείχνει την απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων [5]



Σχήμα 4.7: Σχήμα που δείχνει (α) την λειτουργία και (β) την διαδικασία έκπλυσης ενός βαρυντικού φίλτρου [3]

### Αργού ρυθμού βαρυντική διήθηση

Η αργού ρυθμού βαρυντική διήθηση (με χρήση άμμου) είναι όμοια κατά μια έννοια με τα φίλτρα ταχείας βαρυντικής διήθησης ενός μέσου, ωστόσο διαφέρουν σε ένα αριθμό σημαντικών χαρακτηριστικών. Επιπρόσθετα με τους μικρούς ρυθμούς ροής, τα φίλτρα αυτής της κατηγορίας έχουν και τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Λειτουργούν χρησιμοποιώντας βιολογικούς, αντί για φυσικο-χημικούς μηχανισμούς
- Έχουν μικρότερα διάκενα ανάμεσα στα σωματίδια της άμμου
- Δεν απαιτούν αντιστροφή της ροής για καθαρισμό της κλίνης
- Απαιτούν μια περίοδο στασιμότητας κατά την έναρξη κάθε κυκλοφορίας

### **Ταχεία διήθηση με πίεση**

Η αρχή λειτουργίας των φίλτρων υπό πίεση είναι παρόμοια με αυτή της ταχείας βαρυτικής διήθησης, πλην όμως η ροή εισέρχεται και εξέρχεται υπό πίεση. Η διηθητική κλίνη συνήθως εγκαθίσταται μέσα σε ένα κυλινδρικό χαλύβδινο κελί πίεσης, το οποίο συνδέεται με μια αντλία πίεσης. Το κελί της διάταξης μπορεί να είναι κύλινδρος σε οριζόντια ή κατακόρυφη διάταξη. Τα φίλτρα πίεσης χρησιμοποιούνται συνήθως σε μικρά συστήματα καθαρισμού του νερού και βιομηχανικές εφαρμογές για την απομάκρυνση ιόντων σιδήρου και μαγγανίου από υπόγεια νερά. Η χρήση τους για την διήθηση μεγάλης ποσότητας επιφανειακών νερών ή νερού το οποίο έχει υποστεί προηγουμένως επεξεργασία με άσβεστο για την απομάκρυνση μικροβίων και σκληρότητας, δεν είναι συνήθως επιτρεπτή.

### **Διήθηση με χρήση γης διατόμων**

Η διήθηση με χρήση γης των διατόμων είναι γνωστή και ως "διατομική διήθηση" (precoat) και χρησιμοποιείται για την επεξεργασία επιφανειακών νερών για την απομάκρυνση σχετικών χαμηλών επιπέδων θολερότητας. Τα φίλτρα γης διατόμων αποτελούνται από ένα στρώμα πάχους περίπου 1/8 της ίντσας, το οποίο στηρίζεται πάνω σε ένα διάφραγμα. Τα προβλήματα που υφίστανται ως προς τη διατήρηση μιας τέλει μεμβράνης διαχωρισμού της διατομικής γαίας ανάμεσα στο φιλτραρισμένο και μη νερό έχουν οδηγήσει στο περιορισμό της χρήσης των φίλτρων αυτών για την επεξεργασία αστικών λυμάτων, πλην κάποιων ευνοϊκών και πλεονεκτικών συνθηκών. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια νέες τεχνολογίες έχουν καταστήσει εφαρμόσιμη και βιώσιμη την χρησιμοποίηση τέτοιων φίλτρων για το φιλτράρισμα επιφανειακών υδάτων χαμηλής θολερότητας που έχουν υποστεί χλωρίωση.

### **Διήθηση με μεμβράνες**

Τα φίλτρα μεμβράνης χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση αλάτων ή οργανικού υλικού από νερά υψηλής ποιότητας, τα οποία δεν έχουν υποστεί επεξεργασία. Τα τελευταία χρόνια έχει δημιουργηθεί αυξημένο ενδιαφέρον για αυτά τα φίλτρα για την χρήση τους στην απομάκρυνση σωματιδίων και μικροοργανισμών.



### **Πολυστρωματικά φίλτρα-Μέσα διήθησης**

Στα μέσα του περασμένου αιώνα η ολοένα αυξανόμενη ανάγκη για παραγωγή και κατανάλωση υψηλής ποιότητας νερού, οδήγησε στο σχεδιασμό πολυστρωματικών μέσων διήθησης. Το πρώτο βήμα ήταν η ανάπτυξη ενός φίλτρου διπλού μέσου, το οποίο τυπικά χρησιμοποιούσε ένα στρώμα ανθρακίτη με πάχος 18-24 in (0,46-0,61 m) πάνω από ένα στρώμα χαλαζιακής άμμου με πάχος 8-12 in (0,20-0,30 m). Το σύστημα αυτό παρείχε τη δυνατότητα χρησιμοποίησης ενός φίλτρου δύο στρωμάτων, όπου το αδρομερές πάνω στρώμα του ανθρακίτη λειτουργούσε ως ένα τραχύ και αδρό φίλτρο το οποίο ελάττωνε το φορτίο των σωματιδίων που επιθέτονταν συνέχεια στο στρώμα της άμμου που βρισκόταν από κάτω (Σχήμα 4.8β).

Λόγω του διαφορετικού ειδικού βάρους των δυο υλικών (ανθρακίτης 1,4 και sand 2,65), ο πιο αδρομερές ανθρακίτης παραμένει πάνω από τα λιγότερα αδρομερή σωματίδια της άμμου κατά την διάρκεια του ξεπλύματος της στήλης.

Τα διπλού μέσου φίλτρα μπορούν να συγκρατήσουν περισσότερο υλικό από το νερό από ένα κοινό φίλτρο άμμου, αλλά έχουν μικρότερη αντίσταση στην απότομη άνοδο των τιμών της θολρότητας λόγω των μεταβαλλόμενων ρυθμών ροής. Αυτό οφείλεται στη μικρή ολική τιμή της ειδικής επιφάνειας των σωματιδίων του μέσου, η οποία είναι στην πραγματικότητα μικρότερη από την γρήγορη αμμόδη κλίνη [10].

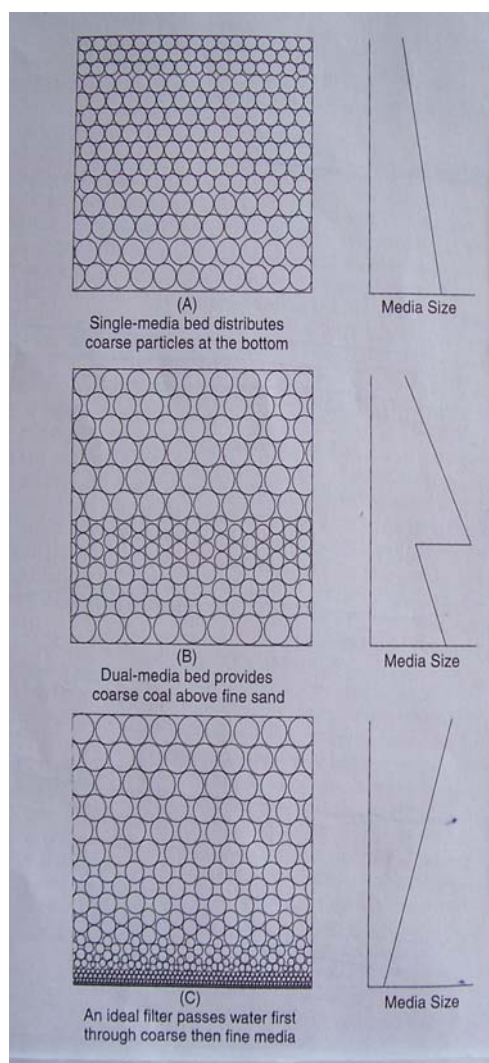
Στο σχεδιασμό μίας διηθητικής κλίνης με δύο μέσα είναι επιθυμητή η επιλογή ανθρακίτη σε κοκκομετρία τόσο αδρόκοκκη ώστε η απομάκρυνση των σωματιδίων του υγρού μέσου να είναι τέτοια ώστε να αποφεύγεται ο κορεσμός και το κλείσιμο της επιφάνειας. Επίσης η κοκκομετρία της άμμου να είναι τόσο λεπτομερής ώστε να παρέχει τη μέγιστη απομάκρυνση των σωματιδίων.

Ωστόσο, αν η κοκκομετρία της άμμου είναι εξαιρετικά μικρή σε συνάρτηση με τον ανθρακίτη, υπάρχει ο κίνδυνος της αναστροφής των υλικών κατά την διαδικασία του ξεπλύματος με την άμμο να γίνεται το ανώτερο στρώμα και ο ανθρακίτης το κατώτερο. Αν και η άμμος έχει μεγαλύτερο ειδικό βάρος, η μικρή της διάμετρος θα έχει ως αποτέλεσμα να αναδυθεί πάνω από τον ανθρακίτη. Ο μόνος τρόπος για να χρησιμοποιηθεί η πολύ λεπτή πυριτική άμμος στο κατώτερο στρώμα, είναι να χρησιμοποιηθεί λεπτός ανθρακίτης, αλλά αυτό θα ματαίωνε τον σκοπό του ανώτερου στρώματος, γιατί ο λεπτός ανθρακίτης είναι πιο ευαίσθητος (επιδεκτικός) στο να φράξει η επιφάνεια εσόδου. Η εμπειρία έχει δείξει ότι δεν είναι καλό να χρησιμοποιηθεί πυριτική άμμος μικρότερη από το κλάσμα των 0,4 mm γιατί η πιο

λεπτή άμμος απαιτεί ανθρακίτη αρκετά λεπτό για να αντισταθεί στην μεγάλη απώλεια για ρυθμούς ροής μεγαλύτερους των 7m/h.

Για να ξεπεραστεί το παραπάνω όριο και για να επιτευχθεί ένα φίλτρο κοντά στο ιδανικό (Σχήμα 4.8γ), άρχισε να αναπτύσσεται η ιδέα ενός πολυστρωματικού μέσου χωρίς συγκεκριμένη διάταξη μέσα στην κλίνη. Το πρόβλημα της διατήρησης ενός πολύ λεπτού μέσου στον πυθμένα του φίλτρου αντιμετωπίστηκε με την χρησιμοποίηση ενός τρίτου πολύ λεπτού και βαρύ υλικού (γρανάτη, με ειδικό βάρος περίπου 4,2 ή ιλμενίτη με ειδικό βάρος περίπου 4,5) κάτω από τον ανθρακίτη και την άμμο. Ο γρανάτης (ή ιλμενίτης), η άμμος, και τα σωματίδια του ανθρακίτη έχουν τέτοιο μέγεθος έτσι ώστε να είναι ελεγχόμενη η ανάμιξη των υλικών και να μην υπάρχει εμφανής διαχωρισμός μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό εξαλείφει την διάταξη των διάφορων υλικών κατά στρώματα, η οποία παρουσιάζεται για του διπλού-μέσου φίλτρο (Σχήμα 4.8β) και έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία μίας διηθητικής κλίνης που προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό το θεωρητικά ιδανικό μοντέλο με μια ομοιόμορφη ελάττωση της απόστασης ανάμεσα στα διάκενα των σωματιδίων του μέσου και με ταυτόχρονη αύξηση του βάθους του φίλτρου, όπως αυτή παρουσιάζεται στο σχήμα 4.8γ.

Ο όρος “άδρομερές προς λεπτομερές υλικό” αναφέρεται πιο ορθά, στο μέγεθος και στο χώρο των πόρων, παρά στα σωματίδια του μέσου καθαυτά, όπως αυτά παρουσιάζονται στο σχήμα 4.8γ. Η επιλογή της κατάλληλης κατανομής μεγέθους καθενός από τα τρία μέσα είναι δυνατό να οδηγήσει στην κατασκευή μιας κλίνης η οποία έχει ένα αυξημένο αριθμό σωματιδίων σε κάθε διαδοχικό, επάλληλο, βαθύτερο επίπεδο μέσα στο φίλτρο.



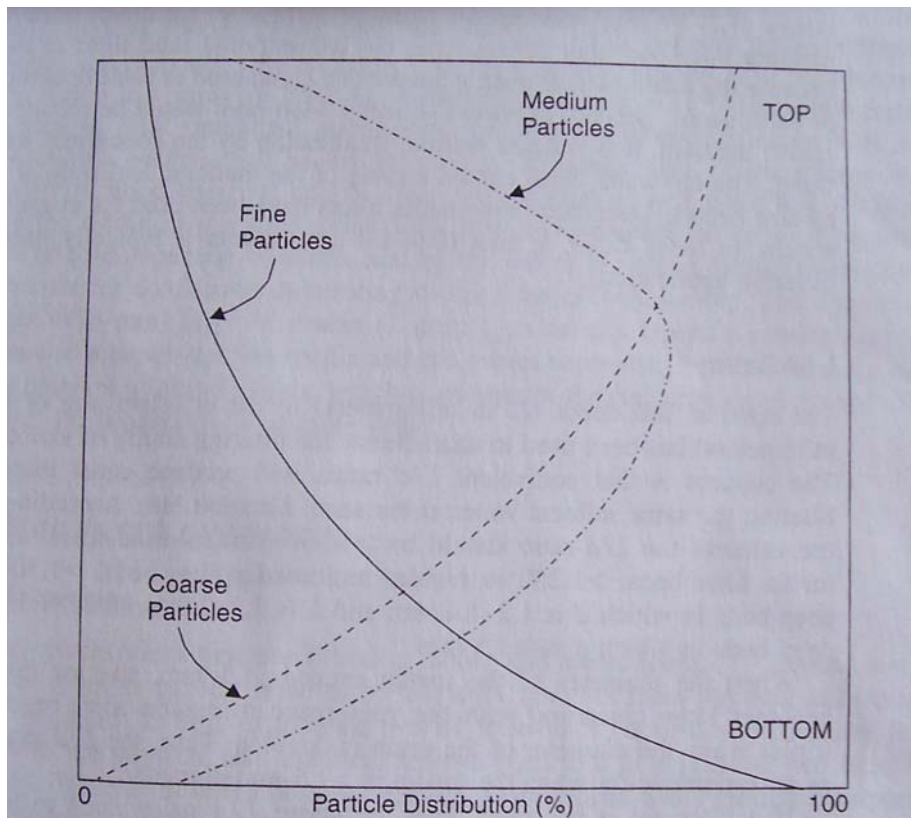
Σχήμα 4.8: Γραφική αναπαράσταση ενός ιδανικού φίλτρου [11]

Ένα τυπικό πολυστρωματικό ανάμεικτο φίλτρο παρουσιάζει μία διαβάθμιση του μεγέθους των κόκκων η οποία ελαττώνεται από περίπου 1-2mm στην κορυφή σε περίπου 0,15mm στον πυθμένα της κλίνης.

Το σχήμα 4.9 παρουσιάζει πως σωματίδια διαφορετικών μέσων αναμιγνύονται πραγματικά μέσα σε μια διηθητική κλίνη. Σε όλα τα σημεία της κλίνης υπάρχει κάποια ποσότητα από κάθε συστατικό, αλλά το ποσοστό από κάθε ένα συστατικό διαφοροποιείται με το βάθος της κλίνης. Υπάρχει μια σταδιακή αύξηση της αποδοτικότητας της διήθησης στην κατεύθυνση της ροής. Σε κάποιες περιπτώσεις, μπορεί να χρησιμοποιηθούν και ανθρακίτες διαφορετικής πυκνότητας ώστε να επεκταθεί η έννοια του όρου αδρομερές προς λεπτομερές υλικό. Με την χρησιμοποίηση ελαφρύτερου βάρους ανθρακίτη με τη συνήθη διάταξη ανθρακίτη – άμμο-γρανάτη, είναι πιθανό να αυξηθεί το μέγεθος των σωματιδίων στην κορυφή της

κλίνης μέχρι και ως 2,4mm χωρίς να αλλάζει ο σχεδιασμός του υπόλοιπου φίλτρου [9].

Η ολική ειδική επιφάνεια των κόκκων σε ένα πολυστρωματικό μέσο ανάμεικτης κοκκομετρίας είναι μεγαλύτερη από αυτή ενός φίλτρου άμμου ή και ενός φίλτρου διπλού μέσου.



Σχήμα 4.9: Κατανομή σωματιδίων διαφορετικής κοκκομετρίας μέσα σε μια διηθητική κλίνη [9]

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **5. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ**

#### **5.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΑ**

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας εξετάστηκαν διαφορετικοί τύποι γαιανθράκων με προέλευση τον Ελλαδικό χώρο ως υλικά πλήρωσης διηθητικών κλινών για την επεξεργασία αποβλήτων ελαιουργείων.

Αρχικά παρελήφθησαν από το ΙΓΜΕ οκτώ δείγματα γαιανθράκων από τα κοιτάσματα Ελασσόνας, Αλμυρού και Ξυνιάδας της Θεσσαλίας με κωδικό **ΤΗ** και στη συνέχεια άλλα οκτώ με προέλευση τη Δράμα, τις Σάππες και την Ορεστιάδα (Μακεδονία) με κωδικό **ΜΤ**. Στη συνέχεια πέντε δείγματα από την Κρήτη και συγκεκριμένα από επιλεγμένα κοιτάσματα της περιοχής Πλακιά – Λευκογείων της Δυτικής Κρήτης με κωδικό **ΚΠ**. Τέλος, μετά τον πρώτο χρόνο διάρκειας του έργου παρελήφθησαν τρία δείγματα από τα επιλεγμένα κοιτάσματα της Πελλάνας Ν. Λακωνίας και Μαγούλας Ν. Ηλείας της Πελοποννήσου με κωδικούς **ΠΠ** και **ΠΜ** αντίστοιχα και δύο δείγματα από το κοιτάσμα Ιωαννίνων Ν. Ιωαννίνων (Ηπειρος) με κωδικό **Ι**.

Στη συγκεκριμένη μελέτη εξετάστηκαν κυρίως τα δείγματα των λιγνιτών που είχαμε στη διάθεσή μας, λόγω του γεγονότος ότι πρόκειται για υλικά με μεγαλύτερη συνεκτικότητα και αντοχή. Ωστόσο, εξετάστηκαν και δείγματα τύρφης.

#### **5.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ**

Αρχικά έγινε χαρακτηρισμός των γαιανθράκων που χρησιμοποιήθηκαν, βάση του τύπου του πετρώματος, του λιθότυπου και άλλων φυσικών τους χαρακτηριστικών που επηρεάζουν τη διηθητική τους ικανότητα.

Παρατηρήθηκε ότι τα δείγματα ΤΗ1 και ΤΗ3 από την Θεσσαλία ήταν τύρφες πλούσιες σε αργιλικό υλικό με κόκκους σε σχήμα σφαιρικό και ήταν και αρκετά φθαρμένοι, σε αντίθεση με τα δείγματα ΤΗ4, ΤΗ5, ΤΗ6, ΤΗ7 και ΤΗ8 που όλα ήταν λιγνίτες μεγωνιώδεις κόκκους. Το δείγμα ΤΗ4 καθώς και το δείγμα ΤΗ8 είχε χρώμα καφέ-μαύρο και περιείχε φυτικά υπολείμματα. Τα δείγματα ΤΗ5 και ΤΗ6 από το Αμούρι Ελασσόνας ήταν στρωσιγενείς λιγνίτες.

Τα δείγματα MT1, MT2 και MT3 από την Δράμα είναι τύρφες πλούσιες σε αργιλικό υλικό, με χρώμα σκούρο μαύρο και με κόκκους φθαρμένους και εύθρυπτους. Το δείγμα MT2 ήταν πλούσιο σε φυτικά υπολείμματα. Τα δείγματα MT5, MT6 και MT7 είναι λιγνίτες πλούσιοι σε αργιλικό υλικό και στρωσιγενείς, όμως ο λιγνίτης MT6 είναι λιγότερο αργιλούχος από τον MT5 και περιείχε και λίγα ξυλιτικά θραύσματα.

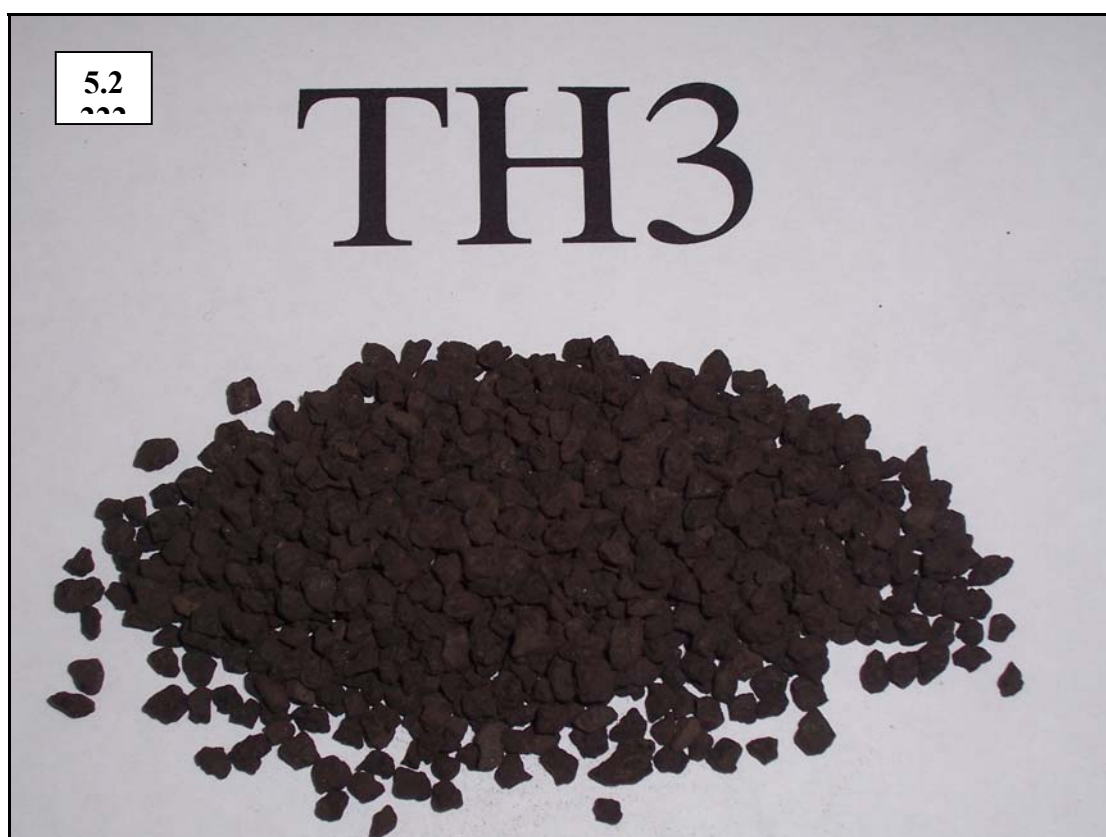
Τα δείγματα ΚΠ1, ΚΠ2 και ΚΠ5 από την Κρήτη είναι λιγνίτες, τα δείγματα ΚΠ1 και ΚΠ2 είναι υποβιτουμενιούχοι γαιάνθρακες στιλπνοί με κόκκους γωνιώδεις και αιχμηρούς. Το δείγμα ΚΠ5 προήλθε από την ένωση ενός μέρους από το δείγμα ΚΠ1 και από δύο μέρη από το δείγμα ΚΠ2.

Τα δείγματα ΠΠ1, ΠΠ2 και ΠΜ1 από την Πελοπόννησο είναι λιγνίτες. Τα δείγματα ΠΠ1 και ΠΠ2 είναι ξυλιτικοί λιγνίτες και έχουν γωνιώδεις φθαρμένους κόκκους, αντίθετα το δείγμα ΠΜ1 είναι στρωσιγενής λιγνίτης πλούσιος σε αργιλικό υλικό.

Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται στον πίνακα 5.1 που ακολουθεί. Επίσης στις εικόνες 5.1 έως 5.7 παρουσιάζονται κάποια χαρακτηριστικά δείγματα γαιανθράκων που χρησιμοποιήθηκαν στην τελική φάση των εργαστηριακών δοκιμών.

Πίνακας 5.1: Τύποι πετρώματος, λιθότυπος και φυσικά χαρακτηριστικά των γαιανθράκων που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη της διηθητικής τους ικανότητας.

ΔΕΙΓΜΑ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΤΥΠΟΣ ΓΑΙΑΝ.	ΛΙΘΟΤΥΠΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
ΤΗ1	ΞΥΝΙΑΔΑ	ΤΥΡΦΗ	ΑΡΓΙΛΟΥΧΟΣ, ΚΟΚΚΟΙ ΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΦΘΑΡΜΕΝΟΙ
ΤΗ3	ΞΥΝΙΑΔΑ	ΤΥΡΦΗ	ΑΡΓΙΛΟΥΧΟΣ, ΚΟΚΚΟΙ ΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΦΘΑΡΜΕΝΟΙ
ΤΗ4	ΑΛΜΥΡΟΣ	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	ΚΑΦΕ – ΜΑΥΡΟΣ, ΜΕ ΦΥΤΙΚΑ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ, ΓΩΝΙΩΔΕΙΣ ΚΟΚΚΟΙ
ΤΗ5	ΑΜΟΥΡΙ ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	ΣΤΡΩΣΙΓΕΝΕΙΣ ΓΩΝΙΩΔΕΙΣ ΚΟΚΚΟΙ ΦΘΑΡΜΕΝΟΙ
ΤΗ6	ΑΜΟΥΡΙ ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	ΣΤΡΩΣΙΓΕΝΕΙΣ ΓΩΝΙΩΔΕΙΣ ΚΟΚΚΟΙ
ΤΗ7	ΔΟΜΕΝΙΚΟ ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ	ΛΙΓΝΙΤΗΣ ΞΥΛΙΤΙΚΟΣ	ΚΑΦΕ ΧΡΩΜΑΤΟΣ, ΚΟΚΚΟΙ ΕΠΙΜΗΚΕΙΣ ΚΑΙ ΓΩΝΙΩΔΕΙΣ
ΤΗ8	ΔΟΜΕΝΙΚΟ ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ	ΛΙΓΝΙΤΗΣ ΞΥΛΙΤΙΚΟΣ	ΜΕ ΦΥΤΙΚΑ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ, ΚΟΚΚΟΙ ΕΠΙΜΗΚΕΙΣ ΚΑΙ ΓΩΝΙΩΔΕΙΣ
ΜΤ1	ΔΡΑΜΑ	ΤΥΡΦΗ	ΑΡΓΙΛΟΥΧΟΣ, ΜΑΥΡΟ ΧΡΩΜΑ, ΦΘΑΡΜΕΝΟΙ ΚΟΚΚΟΙ ΕΥΘΥΠΤΟΙ
ΜΤ2	ΔΡΑΜΑ	ΤΥΡΦΗ	ΑΡΓΙΛΟΥΧΟΣ, ΜΑΥΡΟ ΧΡΩΜΑ, ΤΥΡΦΗ ΜΕ ΦΥΤΙΚΑ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ
ΜΤ3	ΔΡΑΜΑ	ΤΥΡΦΗ	ΑΡΓΙΛΟΥΧΟΣ, ΜΑΥΡΟ ΧΡΩΜΑ, ΚΟΚΚΟΙ ΦΘΑΡΜΕΝΟΙ ΕΥΘΥΠΤΟΙ
ΜΤ5	ΣΑΠΕΣ	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	ΑΡΓΙΛΟΥΧΟΣ, ΣΤΡΩΣΙΓΕΝΗΣ, ΛΙΓΑ ΞΥΛΙΤΙΚΑ ΘΡΑΥΣΜΑΤΑ, ΚΟΚΚΟΙ ΣΤΡΟΓΓΥΛΟΙ ΦΘΑΡΜΕΝΟΙ
ΜΤ6	ΣΑΠΕΣ	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	ΛΙΓΟΤΕΡΟ ΑΡΓΙΛΟΥΧΟΣ ΑΠΟ ΤΟ ΜΤ5 ΣΤΡΩΣΙΓΕΝΗΣ, ΛΙΓΑ ΞΥΛΙΤΙΚΑ ΘΡΑΥΣΜΑΤΑ
ΜΤ7	ΟΡΕΣΤΙΑΔΑ	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	ΑΡΓΙΛΟΥΧΟΣ, ΣΤΡΩΣΙΓΕΝΗΣ, ΕΥΘΥΠΤΟΣ, ΜΑΥΡΟΣ
ΚΠ1	ΠΛΑΚΙΑΣ ΚΡΗΤΗ	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	ΥΠΟΒΙΤΟΥΜΕΝΙΟΥΧΟΣ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΑΣ, ΣΤΙΛΠΝΟΣ, ΑΙΧΜΗΡΟΙ ΚΟΚΚΟΙ
ΚΠ2	ΠΛΑΚΙΑΣ ΚΡΗΤΗ	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	ΥΠΟΒΙΤΟΥΜΕΝΙΟΥΧΟΣ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΑΣ, ΣΤΙΛΠΝΟΣ/ΜΑΤ, ΚΟΚΚΟΙ ΓΩΝΙΩΔΕΙΣ ΑΙΧΜΗΡΟΙ
ΚΠ5	ΠΛΑΚΙΑΣ ΚΡΗΤΗ	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	ΕΝΩΣΗ 1 ΜΕΡΟΣ ΚΠΙ – 2 ΜΕΡΗ ΚΠ2
ΠΠ1	ΠΕΛΛΑΝΑ	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	ΣΤΡΩΣΙΓΕΝΗΣ, ΚΑΤΑ ΘΕΣΕΙΣ ΞΥΛΙΤΙΚΟΣ, ΓΩΝΙΩΔΕΙΣ ΚΟΚΚΟΙ ΦΘΑΡΜΕΝΟΙ
ΠΠ2	ΠΕΛΛΑΝΑ	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	ΞΥΛΙΤΙΚΟΣ, ΓΩΝΙΩΔΕΙΣ ΚΟΚΚΟΙ ΦΘΑΡΜΕΝΟΙ
ΠΜ1	ΜΑΓΟΥΛΑ	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	ΑΡΓΙΛΟΥΧΟΣ, ΣΤΡΩΣΙΓΕΝΗΣ



Εικόνες 5.1, 5.2.: Τύρφες TH1, TH3 από τη Ξυνιάδα. Αργιλούχοι κόκκοι, που έχουν σχήμα σφαιρικό, αλλά αρκετά φθαρμένο.





Εικόνες 5.3, 5.4 : Τύρφες MT1, MT3 από τη Δράμα. Μαλακοί αργιλούχοι μαύροι κόκκοι που είναι αρκετά φθαρμένοι και εύθρυπτοι.



Εικόνες 5.5, 5.6.: Λιγνίτες ΚΠ1, ΚΠ2 & ΚΠ5 από τον Πλακιά και ΠΠ1 από την Πελλάνα. Υποβιτουμενιούχοι στιλπνοί γωνιώδεις και ξυλιτικοί στρωσιγενείς γωνιώδεις φθαρμένοι κόκκοι, αντίστοιχα.



Εικόνα 5.7.: Λιγνίτης ξυλιτικός TH8 από το Δομένικο της Ελασσόνας. Κόκκοι γωνιώδεις και επιμήκεις.

### 5.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ-ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στη μελέτη της διήθησης δεν χρειαζόταν κάποια ειδική επεξεργασία στα δείγματα του γαιάνθρακα, αλλά ήταν αναγκαία η καταγραφή του αρχικού βάρους του κάθε δείγματος, η ξήρανση των δειγμάτων σε εργαστηριακό φούρνο, ο υπολογισμός του τελικού καθαρού βάρους και το επί τοις εκατό ποσοστό της υγρασίας των δειγμάτων.

Αρχικά καταγράφηκε το αρχικό βάρος του κάθε δείγματος χωριστά όπως παραλήφθηκε και στη συνέχεια ακολούθησε ξήρανση σε εργαστηριακό φούρνο στους 105 °C για χρονικό διάστημα 24 ωρών. Έτσι υπολογίστηκε το τελικό καθαρό βάρος και το επί τοις εκατό ποσοστό της υγρασίας των δειγμάτων. Στη συνέχεια έγινε αναλυτική κοκκομετρική ανάλυση σε όλα τα δείγματα. Στον πίνακα 5.2 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη ξήρανση και τον υπολογισμό της επί τοις εκατό περιεχόμενης υγρασίας των δειγμάτων.

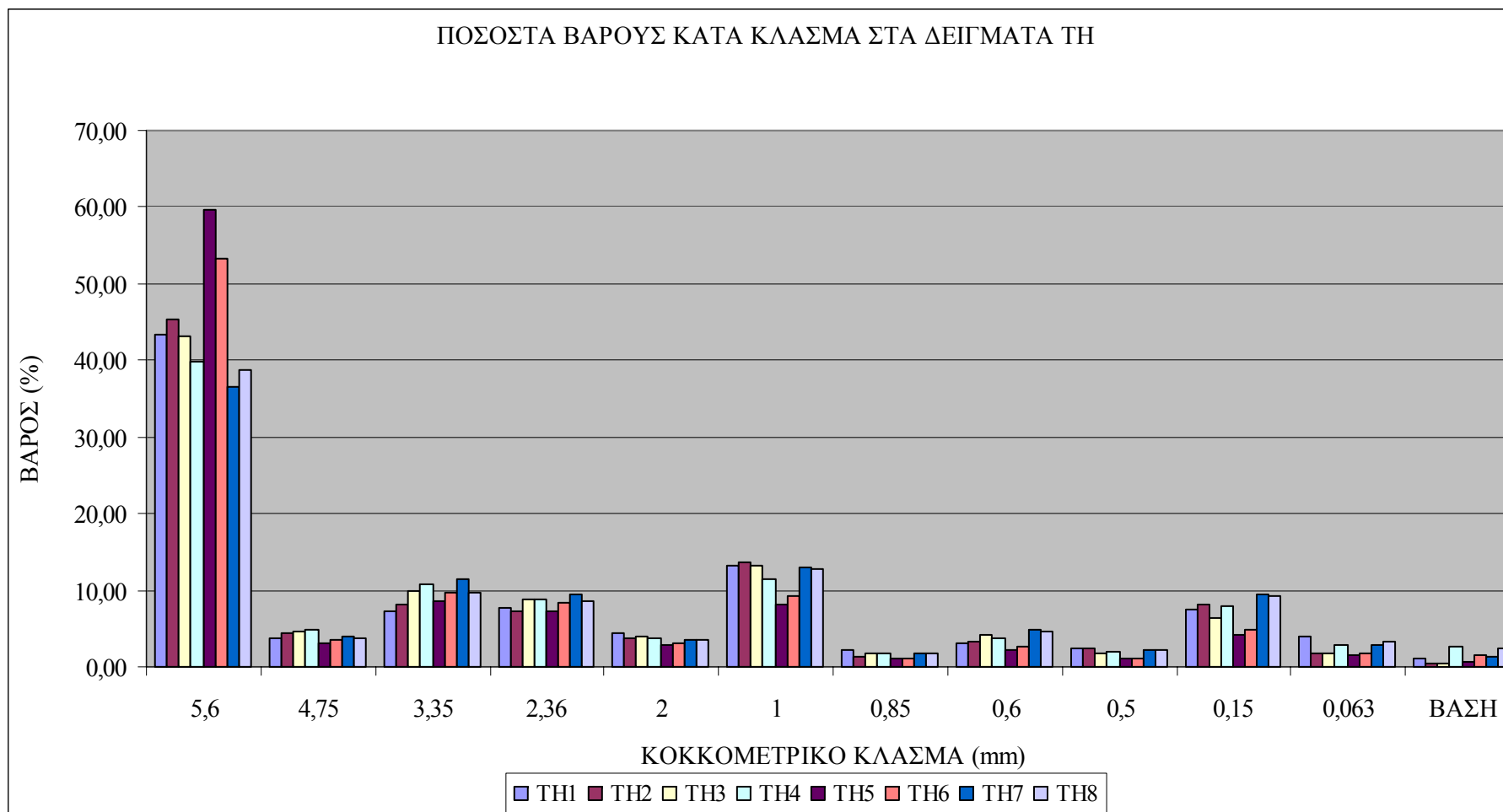
Μετά τη διαδικασία της ξήρανσης παρατηρείται ότι τα δείγματα ΤΗ από την Θεσσαλία παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα ποσοστά υγρασίας (υγρασία πάνω από 20% κ. β.) και ειδικά τα δείγματα ΤΗ1 και ΤΗ3 που είναι τύρφες από τη Ξυνιάδα έχουν υγρασία περίπου 50%, το οποίο είναι και αναμενόμενο λόγω της προέλευσής τους. Ακολουθούν τα δείγματα γαιανθράκων ΜΤ από τη Μακεδονία τα οποία και αυτά παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά υγρασίας και πιο συγκεκριμένα η τύρφη ΜΤ2 από τη Δράμα με ποσοστό υγρασίας περίπου 22% κ.β.. Τα δείγματα ΚΠ από την Κρήτη και τα δείγματα Ι1 και Ι2 από τα Ιωάννινα δεν περιέχουν υψηλά ποσοστά υγρασίας και ως λιγνίτες τα ποσοστά υγρασίας τους κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα (από 6 έως 11% κ.β.). Τέλος τα δείγματα λιγνίτη που παρουσιάζουν τα χαμηλότερα ποσοστά υγρασίας είναι τα δείγματα ΠΠ1, ΠΠ2 και ΠΜ1 από τη Πελλάνα και τη Μαγούλα αντίστοιχα με ποσοστό υγρασίας περίπου 1%κ.β..

Το ποσοστό αυτό της υγρασίας ήταν απαραίτητο να απομακρυνθεί, για τη συνέχεια της προετοιμασίας των δειγμάτων και τη διεξαγωγή των εργαστηριακών δοκιμών.

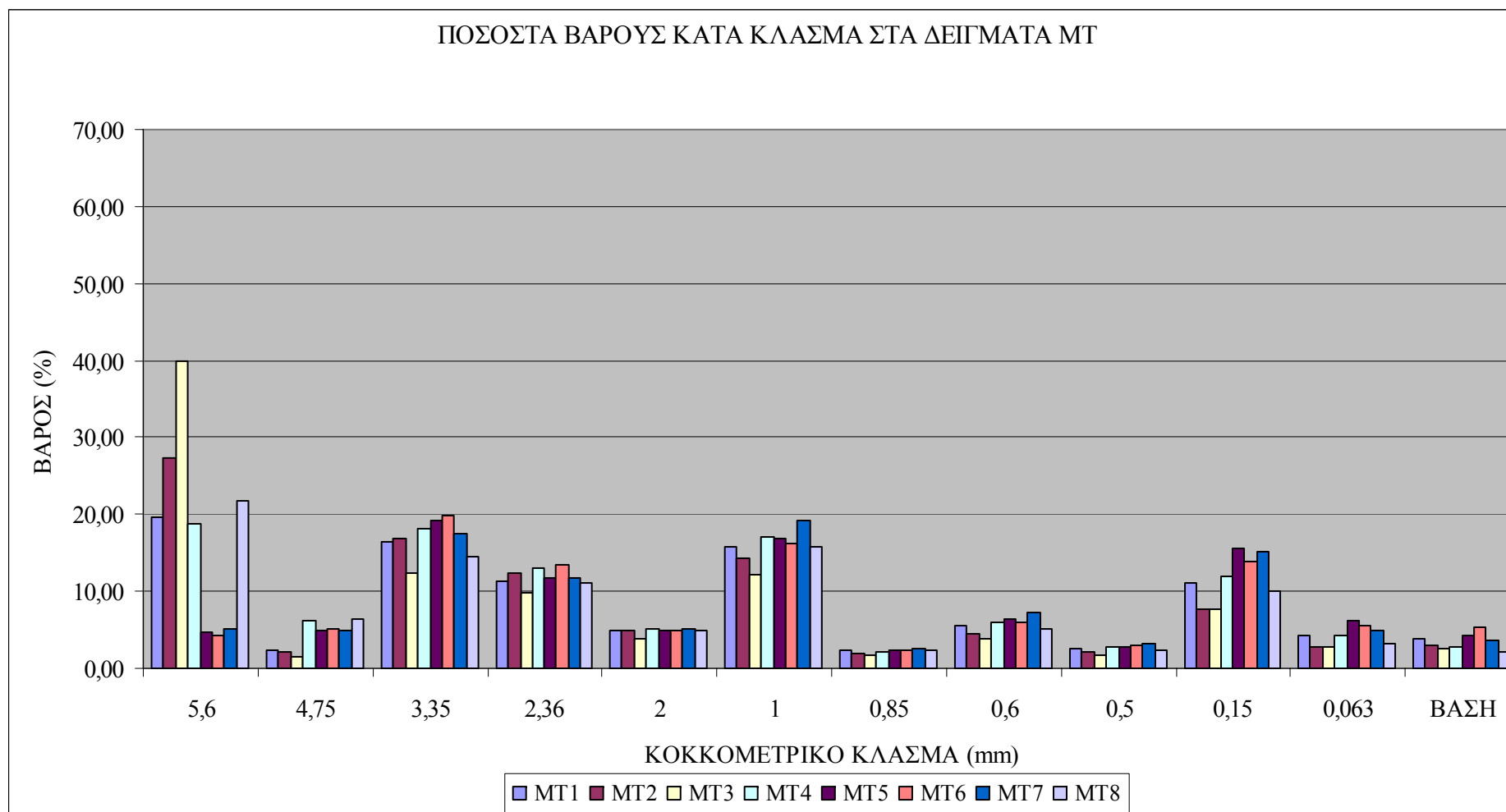
Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα από τον υπολογισμό του καθαρού βάρους και της περιεχόμενης υγρασίας των δειγμάτων.

ΔΕΙΓΜΑ	ΑΡΧ. ΒΑΡΟΣ (γρ.)	ΤΕΛ. ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% ΥΓΡΑΣΙΑ
TH1	2128.50	950.20	55.35
TH2	1783.90	915.00	48.70
TH3	1911.14	792.80	58.53
TH4	2264.40	1320.40	41.69
TH5	1790.40	1341.60	25.06
TH6	2070.10	1620.40	21.72
TH7	2700.20	1856.40	31.25
TH8	2503.00	1810.30	27.67
MT1	1685.20	1453.20	13.76
MT2	1800.00	1407.80	21.79
MT3	1780.60	1529.50	14.10
MT4	1910.30	1651.40	13.55
MT5	1752.90	1528.30	12.81
MT6	2041.10	1783.70	12.61
MT7	1913.30	1618.90	15.38
MT8	1879.30	1651.70	12.11
KΠ1	2436.90	2249.70	7.68
KΠ2	3514.10	3170.60	9.78
KΠ3	3100.70	2762.60	10.90
KΠ4	3055.80	2877.10	5.85
KΠ5	3009.40	2731.80	9.22
ΠΠ1	3832.80	3778.40	1.41
ΠΠ2	3453.50	3405.90	1.37
ΠΜ1	3656.80	3609.20	1.30
I1	2676.58	2447.89	8.54
I2	2595.34	2343.78	9.69

Στη συνέχεια έγινε αναλυτική κοκκομετρική ανάλυση σε όλα τα δείγματα με σκοπό τον διαχωρισμό τους σε επί μέρους κλάσματα και τον προσδιορισμό του ποσοστού του αδρομερούς και του λεπτομερούς κλάσματος (Διάγραμμα 5.1, 5.2, 5.3, 5.4). Η διαδικασία αυτή ήταν απαραίτητη για το σχεδιασμό της μεθοδολογίας πραγματοποίησης των εργαστηριακών δοκιμών αλλά και την οικονομία του κάθε δείγματος. Στα δείγματα των Ιωαννίνων έγινε μόνο ξήρανση και επί μέρους κοκκομετρική ανάλυση, διότι στα δείγματα αυτά το λεπτομερές υλικό (με μέγεθος κάτω των 2mm) κυριαρχούσε και για αυτό το λόγο τα δείγματα αυτά δεν χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη της διήθησης. Οι παραπάνω εργασίες και τα αποτελέσματα που προέκυψαν, πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της μελέτης ως προς την διηθητική ικανότητα των γαιανθράκων. Τα αναλυτικά αποτελέσματα από την κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων παρουσιάζονται στο **Παράρτημα Α**.

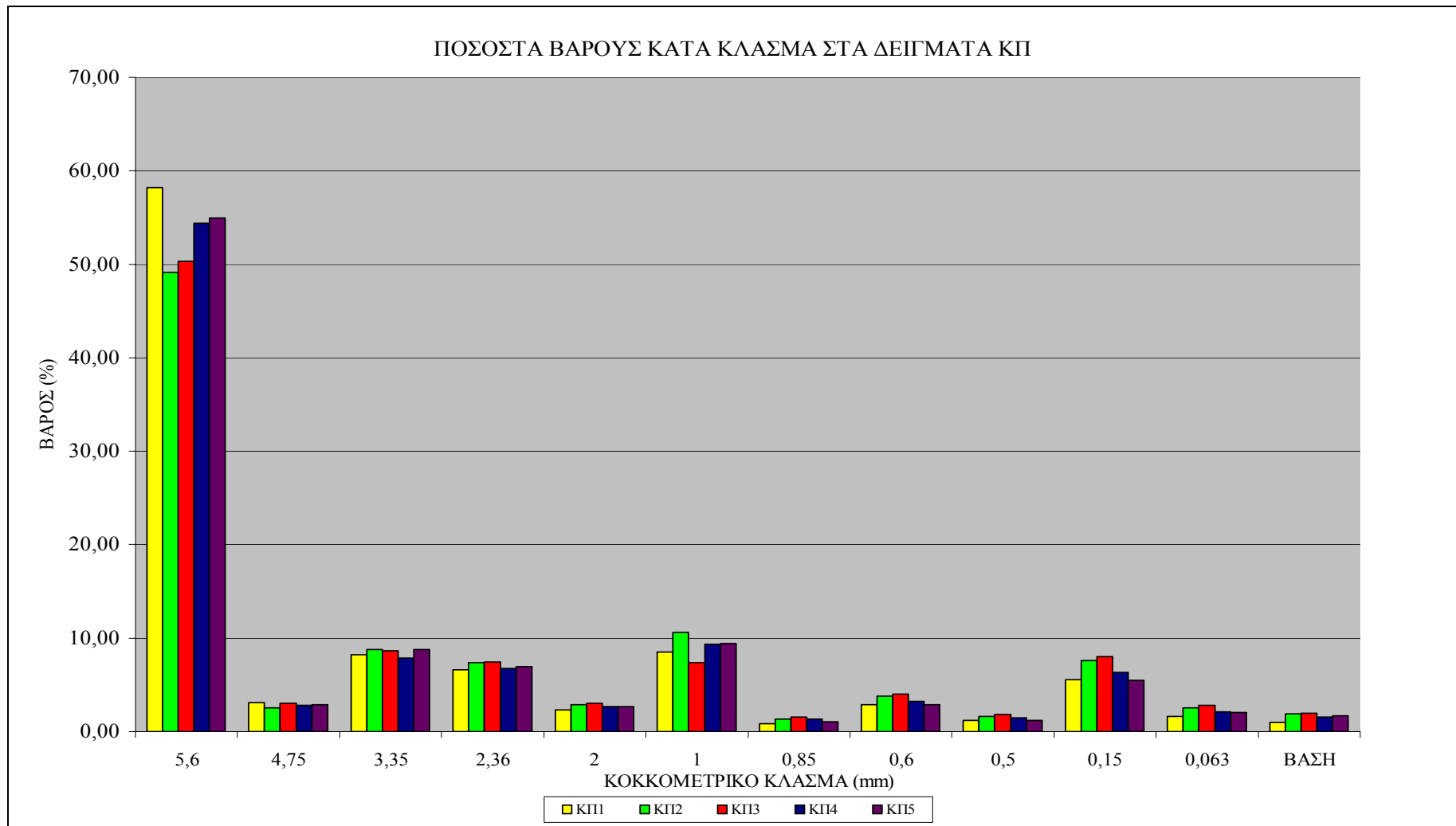


Διάγραμμα 5.1.: Ποσοστά βάρους κατά κλάσμα μετά την κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων ΤΗ.

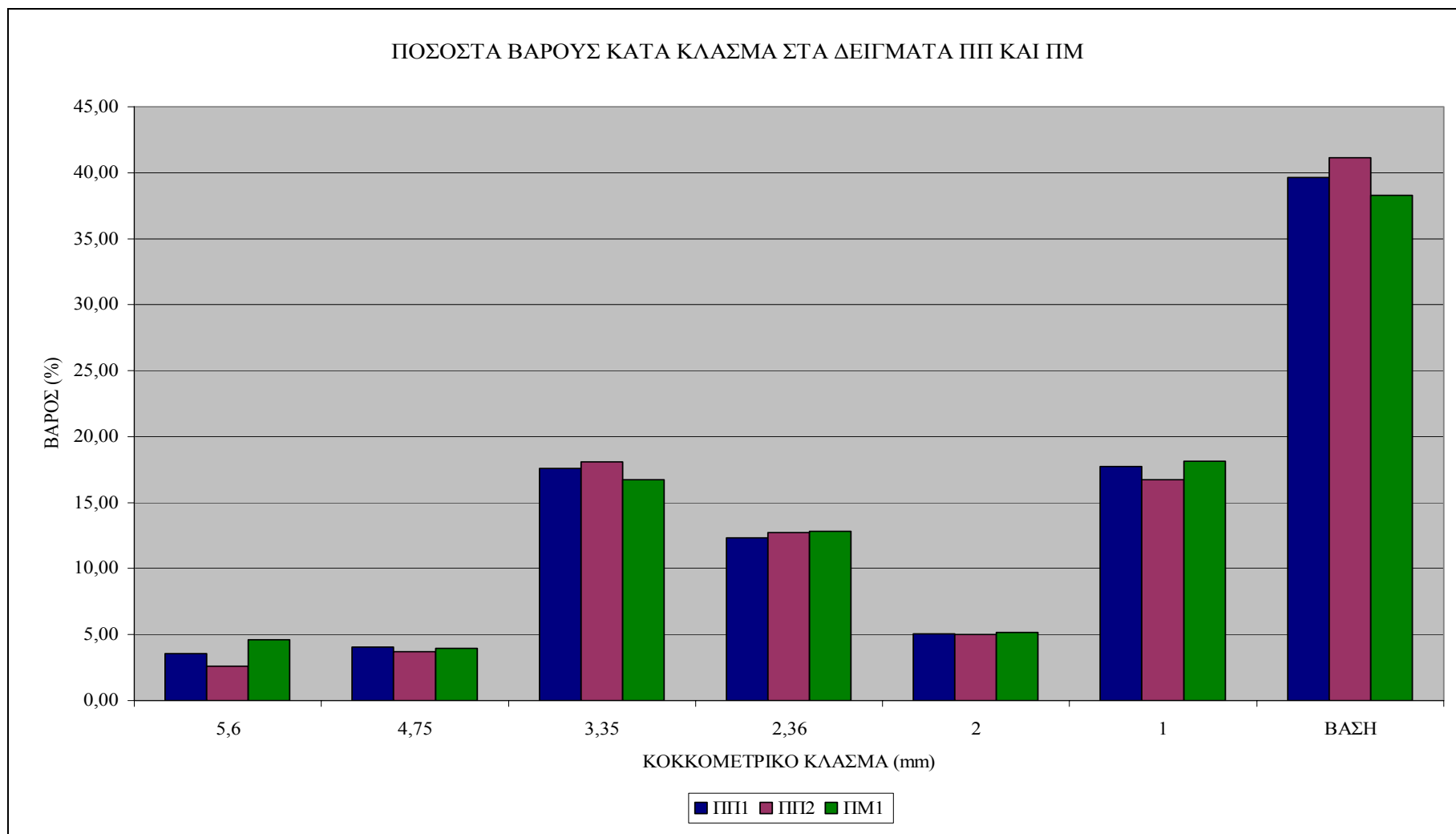


Διάγραμμα 5.2.: Ποσοστά βάρους κατά κλάσμα μετά την κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων ΜΤ.





Διάγραμμα 5.3.: Ποσοστά βάρους κατά κλάσμα μετά την κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων ΚΠ.



Διάγραμμα 5.4.: Ποσοστά βάρους κατά κλάσμα μετά την κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων ΠΠΙ και ΠΜ.

### 5.3.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων κοκκομετρικής ανάλυσης

Η κοκκομετρική ανάλυση έδειξε πως στα δείγματα ΤΗ από τα κοιτάσματα Ελασσόνας, Αλμυρού και Ξυνιάδας της Θεσσαλίας και στα δείγματα ΚΠ από τα κοιτάσματα της περιοχής Πλακιά – Λευκογείων της Δυτικής Κρήτης το ποσοστό του αδρόκοκκου κλάσματος (+ 5.60mm), είναι σημαντικά μεγαλύτερο από αυτό των δειγμάτων ΜΤ από τα κοιτάσματα της περιοχής Μακεδονίας και των δειγμάτων ΠΠ από τα κοιτάσματα της περιοχής της Πελλάνας Ν. Λακωνίας.

Τα δείγματα ΠΠ και ΠΜ από την Πελοπόννησο είναι εμπλουτισμένα σε υλικό με μέγεθος από 3,35 έως 2,36 mm και κυριαρχεί σε αυτά το λεπτομερές υλικό με μέγεθος μικρότερο του 1mm, το οποίο δεν χρησιμοποιήθηκε λόγω του ότι δεν θα μπορούσε να διεξαχθεί μια πετυχημένη λειτουργία της πειραματικής διαδικασίας με τη χρήση του, αφού και με βάση τη βιβλιογραφική έρευνα τέτοια κλάσματα ήταν απαγορευτικά για μια ομαλή λειτουργία της στήλης.

Στους γαιάνθρακες ΤΗ και ΚΠ ήταν απαραίτητο να γίνει περαιτέρω θραύση και λειοτρίβηση για να εξασφαλιστούν ικανοποιητικά ποσοστά και σε κλάσματα μικρότερου μεγέθους, αφού το αδρόκοκκο κλάσμα υπερετερούσε. Επίσης, στα δείγματα αυτά η ποσότητα του λεπτομερούς υλικού με μέγεθος μικρότερο του 1mm ήταν πολύ μικρή. Στα δείγματα ΜΤ δεν ήταν απαραίτητο να γίνει περαιτέρω θραύση και λειοτρίβηση, αφού περιείχαν ικανοποιητικά ποσοστά σε λεπτομερές υλικό και πολύ περισσότερο στους γαιάνθρακες της Πελοποννήσου που ήταν πλούσιοι σε λεπτομερές υλικό. Για το λόγο αυτό έγινε πολύ προσεκτικός σχεδιασμός της όλης πειραματικής διαδικασίας σε όλες τις φάσεις των εργαστηριακών δοκιμών. Το μικρότερο κλάσμα που χρησιμοποιήθηκε στη διάρκεια των εργαστηριακών δοκιμών της διήθησης είναι το κλάσμα (-2.00, +1.00mm), όπου με τη χρήση του συγκεκριμένου κλάσματος προκύπτει καλύτερος σχεδιασμός και καλύτερη απόδοση της πειραματικής διαδικασίας, αφού η χρησιμοποίηση μικρότερου κλάσματος δημιουργούσε προβλήματα στη ροή της διηθητικής κλίνης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### 6. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ

#### 6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο Κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα από την μελέτη διήθησης των δειγμάτων αποβλήτων ελαιουργείων που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο, με την χρήση Ελληνικών Γαιανθράκων ως διηθητικά μέσα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης που προηγήθηκε σε κάθε δείγμα, την ποσότητα του υλικού που διατέθηκε από το Ι.Γ.Μ.Ε., τον αριθμό των εργαστηριακών δοκιμών που έπρεπε να πραγματοποιηθούν και τα συμπεράσματα της βιβλιογραφικής έρευνας που προηγήθηκε, τα κλάσματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: (5.60mm +4.75mm), (-4.75mm +3.35mm), (-3.35mm +2.36mm), (-2.36mm +2.00mm), (-2.00mm +1.00mm).

Επίσης η ποσότητα του δείγματος με το οποίο πληρωνόταν η στήλη ήταν των 200γρ. και των 400 γρ. ανά περίπτωση, ενώ ο τρόπος πλήρωσης διέφερε. Συγκεκριμένα εξετάστηκαν τρεις διαφορετικοί τρόποι πλήρωσης της στήλης:

- α) Χονδρή κοκκομετρία –Λεπτή κοκκομετρία - Χονδρή κοκκομετρία
- β) Χονδρή κοκκομετρία- Λεπτή κοκκομετρία
- γ) Τοποθέτηση του δείγματος στην στήλη χωρίς συγκεκριμένη διάταξη των κοκκομετρικών κλασμάτων (mixed).

Ο τρόπος πλήρωσης είναι εξαιρετικά σημαντικός διότι επηρεάζει την ροή του υγρού δείγματος μέσω της διηθητικής κλίνης, αλλά και την απόδοση ως προς την συγκράτηση των στερεών σωματιδίων. Ο τρόπος πλήρωσης των διηθητικών κλινών παρουσιάζεται στο **Παράρτημα Β**.

#### 6.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Ο εργαστηριακός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε περιλάμβανε κατάλληλες κλίνες που πληρώνονταν με τις ποσότητες γαιάνθρακα και περισταλτικές αντλίες με τύπο PERCOM-I της εταιρίας J.P.S. ELECTA, που διοχέτευαν την τροφοδοσία δια μέσω της στήλης με φορά από πάνω προς τα κάτω. Η τροφοδοσία έρεε μέσω της κλίνης και εξερχόταν από μια εκροή της κλίνης, ανατροφοδοτούμενη μέσω του δοχείου της τροφοδοσίας για όσο χρονικό διάστημα διαρκούσε η πειραματική διαδικασία. Επίσης χρησιμοποιήθηκε φυγόκεντρος της εταιρίας Sigma 2-5, διάταξη Buckner και διηθητικά φίλτρα Whatman No 5 των 90mm, ογκομετρικοί κύλινδροι

του ενός λίτρου και των 500ml, συσκευή μέτρησης του pH με τύπο Ph 315i της εταιρίας WTW. Η χρήση του προηγούμενου εξοπλισμού έγινε στο εργαστήριο Φαινομένων Μεταφοράς και Εφαρμοσμένης Θερμοδυναμικής του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος. Ακόμα χρησιμοποιήθηκε ένας εργαστηριακός φούρνος, ζυγός ακριβείας και κόσκινα για την κοκκομετρική ανάλυση των γαιανθράκων τα οποία προήλθαν από το εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων και λοιπός εργαστηριακός εξοπλισμός.

### **6.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΗΘΗΤΙΚΗΣ ΚΛΙΝΗΣ - ΑΡΧΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ**

Στο πρώτο στάδιο των εργαστηριακών δοκιμών, πραγματοποιήθηκαν προκαταρκτικά πειράματα σε αρκετά από τα δείγματα των διαθέσιμων γαιανθράκων με σκοπό τη διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης τους σαν διηθητικά φίλτρα και τον βέλτιστο σχεδιασμό της μεθοδολογίας πραγματοποίησης των εργαστηριακών δοκιμών. Μελετήθηκε η επίδραση του τρόπου πλήρωσης της στήλης με τα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα, της κατανομής μεγέθους των κλασμάτων και της συγκέντρωσης της τροφοδοσίας στην απόδοση της κλίνης. Επίσης, εξετάστηκε και η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης του δείγματος.

Το πρώτο δείγμα αποβλήτου που χρησιμοποιήθηκε προήλθε από το Σύγχρονο Ελαιοτριβείο ΑΦΟΙ Μπουντουράκη, το οποίο στεγάζεται στην περιοχή Βρύσες του νομού Χανίων. Πρόκειται για ένα ελαιοτριβείο τριών φάσεων και ο κατσίγαρος που χρησιμοποιήθηκε προέρχεται από το στάδιο της αναερόβιας ζύμωσης, που αποτελεί στάδιο επεξεργασίας του κατσίγαρου. Μετά ο κατσίγαρος οδηγείται σε εξατμισοδεξαμενή, όπου και παραμένει.

Ο κατσίγαρος για να χρησιμοποιηθεί υπέστη υγρή κοσκίνηση και μετά οδηγήθηκε στον φούρνο για ξήρανση, με σκοπό την συγκέντρωση της στερεής φάσης. Τα κόσκινα που χρησιμοποιήθηκαν στην υγρή κοσκίνηση ήταν τα εξής: 1.120mm, 0.500mm, 0.425mm, και 0.300mm. Τα αποτελέσματα από την υγρή κοσκίνηση 5lt κατσίγαρου και μετά την ξήρανση των κλασμάτων παρουσιάζονται στον πίνακα 6.1 που ακολουθεί. Σύμφωνα με το σχήμα 4.5, πρόκειται για αιωρούμενα και μη διηθήσιμα στερεά συστατικά με μέγεθος **μεγαλύτερο ή ίσο των 0.3 mm**.

Πίνακας 6.1: Κοκκομετρική ανάλυση των στερεών σωματιδίων σε απόβλητο ελαιουργείου, μετά από υγρή κοσκίνηση και ξήρανση.

<b>ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ</b>	<b>ΒΑΡΟΣ (γρ.)</b>	<b>% κ.β</b>
+ 1.120mm	17,70	15,00
(- 1.120mm, + 0.500mm)	31,70	27,00
(- 0.500mm, + 0.425 mm)	60,00	51,00
(-0.425 mm, +0.300 mm)	8,30	7,00
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>117,00</b>	<b>100,00</b>

Παρατηρήθηκε ότι στα κλάσματα (- 0.500mm, + 0.425 mm) και (- 0.425 mm, + 0.300 mm) το ποσοστό υγρασίας ήταν πολύ μεγάλο, με αποτέλεσμα να χρειαστεί αρκετό χρονικό διάστημα για τη ξήρανσή του. Έπειτα πραγματοποιήθηκε συλλογή ποσότητας δείγματος από τα στερεά σωματίδια του κατσίγαρου που προέκυψαν από τη διαδικασία, περίπου ίσης με **100 γραμμάρια**. Η κοκκομετρική ταξινόμηση του δείγματος ήταν αντιπροσωπευτική του αρχικού δείγματος σύμφωνα με την % κ.β. σύσταση που προέκυψε από την κοκκομετρική ανάλυση. Ποσότητα 2 γρ. από το παραπάνω δείγμα, αραιώθηκε σε ποσότητα νερού 3 λίτρων και αποτελούσε την τροφοδοσία κάθε πειράματος.

Στο κομμάτι αυτό των εργαστηριακών δοκιμών χρησιμοποιήθηκε μόνο λιγνίτης στο φίλτρο και όχι συνδυασμός υλικών. Ήταν ανάγκη να διερευνηθεί αρχικά η συμπεριφορά των διαφορετικών δειγμάτων γαιάνθρακα ως προς την κατακράτηση έστω και μικρής ποσότητας στερεών σωματιδίων. Η ποσότητα του δείγματος με το οποίο πληρωνόταν η στήλη (η οποία είχε διάμετρο περίπου 5,5 εκατοστά), στην φάση αυτή των πειραμάτων ήταν **200 γραμμάρια**.

Ο σχεδιασμός και ο τρόπος πλήρωσης των διηθητικών κλινών είναι εξαιρετικά σημαντικός διότι επηρεάζει την ροή του υγρού δείγματος της τροφοδοσίας δια μέσω της κλίνης, αλλά και την απόδοσή τους ως προς την συγκράτηση των αιωρούμενων σωματιδίων. Εξετάστηκαν τρεις διαφορετικοί τρόποι διάταξης των κλασμάτων του γαιάνθρακα στη διηθητική κλίνη:

α) **Αδρομερές κλάσμα** γαιάνθρακα στην κορυφή της κλίνης, πιο **λεπτομερές κλάσμα** στη μέση και πάλι **αδρομερές κλάσμα** στο τέλος της κλίνης (**ΑΔΡ – ΛΕΠΤ – ΑΔΡ**).

β) **Αδρομερές κλάσμα** γαιάνθρακα στην κορυφή (αρχή της κλίνης) και στη συνέχεια πιο **λεπτομερές κλάσμα** στο τέλος της κλίνης (**ΑΔΡ – ΛΕΠΤ**).

γ) Τοποθέτηση των δειγμάτων γαιάνθρακα στην στήλη χωρίς συγκεκριμένη διάταξη των κοκκομετρικών κλασμάτων σε τυχαία – ανάμεικτη κοκκομετρία (**ΑΝΑΜΕΙΚΤΗ**).

Πρέπει ωστόσο να σημειωθεί πως σε κάθε έναν από τους τρεις διαφορετικούς τρόπους πλήρωσης της κλίνης ξεχωριστά, η ποσότητα του κάθε ξεχωριστού κοκκομετρικού κλάσματος γαιάνθρακα ήταν συγκεκριμένη. Στους παρακάτω πίνακες 6.2, 6.3 και 6.4 παρουσιάζονται αναλυτικά οι τρόποι πλήρωσης της στήλης, τα βάρη και τα ποσοστά βάρους του κάθε κοκκομετρικού κλάσματος σε αυτές.

Πίνακας 6.2: Ποσότητες και % κ.β. αναλογία των επιμέρους κλασμάτων γαιάνθρακα στην διάταξη **ΑΔΡ – ΛΕΠΤ – ΑΔΡ**.

<b>ΔΕΙΓΜΑ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΑ</b>	<b>ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: ΑΔΡ. – ΛΕΠΤ. – ΑΔΡ.</b>	
<b>ΚΟΚΚ. ΚΛΑΣΜΑ (mm)</b>	<b>ΒΑΡΟΣ (γρ.)</b>	<b>% κ. β.</b>
(-5.60, +4.75) mm	25,00	12,50
(-4.75, +3.35) mm	30,00	15,00
(-3.35, +2.36) mm	25,00	12,50
(-2.36, +2.00) mm	15,00	7,50
(-2.00, +1.00) mm	10,00	5,00
(-2.36, +2.00) mm	15,00	7,50
(-3.35, +2.36) mm	25,00	12,50
(-4.75, +3.35) mm	30,00	15,00
(-5.60, +4.75) mm	25,00	12,50
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	200,00	100,00

Πίνακας 6.3.: Ποσότητες και % κ.β. αναλογία των επιμέρους κλασμάτων γαιάνθρακα στην διάταξη ΑΔΡ – ΛΕΠΤ.

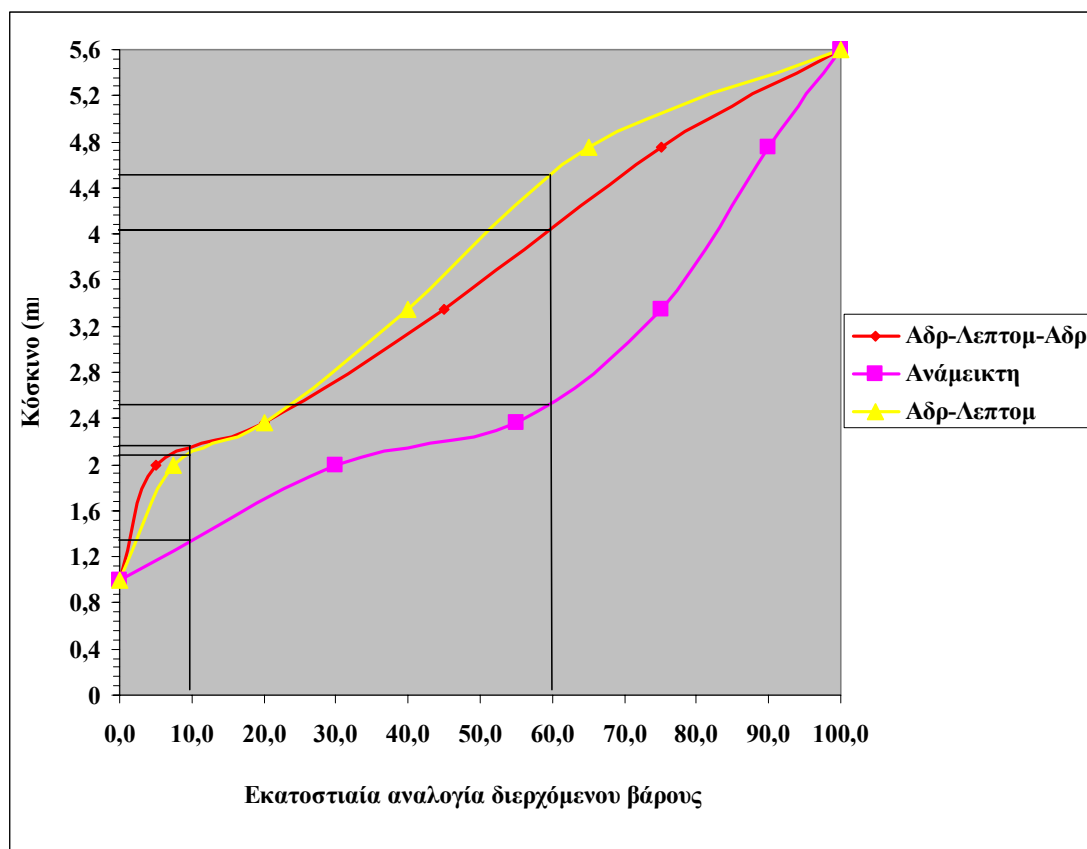
ΔΕΙΓΜΑ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΑ	ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: ΑΔΡ. – ΛΕΠΤ.	
ΚΟΚΚ. ΚΛΑΣΜΑ (mm)	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ. β.
(-5.60, +4.75) mm	70,00	35,00
(-4.75, +3.35) mm	50,00	25,00
(-3.35, +2.36) mm	40,00	20,00
(-2.36, +2.00) mm	25,00	12,50
(-2.00, +1.00) mm	15,00	7,50
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>200,00</b>	<b>100,00</b>

Πίνακας 6.4: Ποσότητες και % κ.β. αναλογία των επιμέρους κλασμάτων γαιάνθρακα στην ΑΝΑΜΕΙΚΤΗ διάταξη.

ΔΕΙΓΜΑ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΑ	ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: ΑΝΑΜΕΙΚΤΗ	
ΚΟΚΚ. ΚΛΑΣΜΑ (mm)	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ. β.
(-5.60, +4.75) mm	20,00	10,00
(-4.75, +3.35) mm	30,00	15,00
(-3.35, +2.36) mm	40,00	20,00
(-2.36, +2.00) mm	50,00	25,00
(-2.00, +1.00) mm	60,00	30,00
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>200,00</b>	<b>100,00</b>

Με βάση τα ποσοστά βάρους σε κάθε κλάσμα για τις τρεις διαφορετικές διατάξεις του υλικού στη διηθητική κλίνη προσδιορίστηκε ο **συντελεστής ομοιομορφίας** του διηθητικού μέσου. Στο διάγραμμα 6.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται η εκατοστιαία αναλογία του διερχόμενου βάρους σε συνάρτηση με τα κοκκομετρικά κλάσματα που χρησιμοποιήθηκαν για την πλήρωση της στήλης και για τους τρεις διαφορετικούς τρόπους σχεδιασμού του φίλτρου.





Διάγραμμα 6.1: Κοκκομετρική καμπύλη των γαιανθράκων που χρησιμοποιήθηκαν για την πλήρωση της στήλης στα αρχικά πειράματα για τους τρεις διαφορετικούς τρόπους σχεδιασμού του φίλτρου.

Έτσι με τη βοήθεια του διαγράμματος υπολογίστηκαν οι τιμές  $d_{60}$  και  $d_{10}$  για κάθε κοκκομετρική ταξινόμηση καθώς και ο λόγος  $d_{60}/d_{10}$ . Υπολογίστηκε με τον τρόπο αυτό ο συντελεστής ομοιομορφίας ο οποίος λαμβάνει τις παρακάτω τιμές:

- ΑΔΡ – ΛΕΠΤ – ΑΔΡ.  $d_{60}/d_{10} = 4,04/2,16 = 1,87$
- ΑΝΑΜΕΙΚΤΗ.  $d_{60}/d_{10} = 2,52/1,36 = 1,85$
- ΑΔΡ – ΛΕΠΤ.  $d_{60}/d_{10} = 4,52/2,10 = 2,15$

Στην πρώτη φάση των εργαστηριακών δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν τα δείγματα γαιανθράκων **TH5, TH6, TH7, MT5, MT6 και MT7**. Η ποσότητα των τριών λίτρων της τροφοδοσίας (που περιείχε την ποσότητα των στερεών σωματιδίων εν διαλύσει), γέμιζε το πλαστικό ντεπόζιτο (tank τροφοδοσίας) και με την βοήθεια της περισταλτικής αντλίας γινόταν επανακυκλοφορία του δείγματος στην πληρωμένη από γαιάνθρακα στήλη, με φορά από πάνω προς τα κάτω για χρονικό διάστημα δύο

ωρών (Εικόνα 6.1). Η περισταλτική αντλία δούλενε στα 30 rpm. και είχε παροχή της τάξης των 250 ml/min περίπου.



Εικόνα 6.1: Εργαστηριακός εξοπλισμός εν λειτουργία στη μελέτη της διεργασίας διήθησης. Διακρίνονται οι πρότυπες κλίνες πληρωμένες με διαφορετικές ποσότητες γαιάνθρακα, τα δοχεία της τροφοδοσίας και οι περισταλτικές αντλίες.

Μετά το χρονικό διάστημα των δύο ωρών το διήθημα συλλεγόταν σε ογκομετρικούς κυλίνδρους και έμενε σε ηρεμία για χρονικό διάστημα εικοσιτεσσάρων ωρών. Στη συνέχεια απομακρυνόταν με άντληση το υπερκείμενο στρώμα του νερού, πάνω από τα σωματίδια που είχαν καθιζάνει και σε ποσότητα 40 ml περιείχε την εναπομένουσα ποσότητα των στερών σωματιδίων του κατσίγαρου γινόταν φυγοκέντριση για χρονικό διάστημα 15 λεπτών στις 3500 στροφές. Μετά την φυγοκέντριση το δείγμα ξηράθηκε και ζυγίστηκε. Από την διαφορά βάρους πριν και μετά τη διήθηση υπολογίστηκε η επί τοις εκατό κατακράτηση των σωματιδίων, τα οποία είχαν μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο με **0,3 mm** (σύμφωνα με την κοκκομετρική ανάλυση και την υγρή κοσκίνηση που είχε προηγηθεί).

### 6.3.1 Αποτελέσματα της πρώτης φάσης των εργαστηριακών δοκιμών

Στον πίνακα 6.5 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πρώτων αυτών πειραμάτων στα παραπάνω δείγματα.

Πίνακας 6.5.: Αποτελέσματα από την πρώτη φάση των εργαστηριακών δοκιμών.

ΔΕΙΓΜΑ	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (γρ)	ΤΕΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (γρ)	% ΚΑΤΑΚΡΑΤΗΣΗ
TH5	ΑΔΡ ΛΕΠΤ- ΑΔΡ	2,00	0,07	96,50
TH6	ΑΝΑΜΕΙΚΤΗ	2,00	0,06	97,00
TH7	ΑΔΡ - ΛΕΠΤ	2,00	0,04	98,00
MT5	ΑΔΡ ΛΕΠΤ- ΑΔΡ	2,00	0,18	91,00
MT6	ΑΝΑΜΕΙΚΤΗ	2,00	0,34	83,00
MT7	ΑΔΡ – ΛΕΠΤ	2,00	0,44	78,00

Από την μελέτη του πίνακα 6.5 διαπιστώνεται ότι το ποσοστό κατακράτησης στερεών σωματιδίων κατσίγαρου, από τα δείγματα των γαιανθράκων που εξετάστηκαν είναι πολύ ικανοποιητικό. Τα δείγματα της Θεσσαλίας παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ποσοστό κατακράτησης και ακολουθούν τα δείγματα της Μακεδονίας (TH7> TH6 >TH5> MT5> MT6> MT7).

Ωστόσο μετά την εξαγωγή των δειγμάτων γαιάνθρακα από την στήλη παρατηρήθηκε ότι αυτά με προέλευση την Θεσσαλία παρέμειναν συνεκτικά, ενώ στα δείγματα από την Μακεδονία παρατηρήθηκε η δημιουργία ιλύος και ήταν εύκολος ο θρυμματισμός τους. Το παραπάνω γεγονός καθιστούσε αδύνατη την επαναχρησιμοποίηση του δείγματος.

Αντίθετα τα δείγματα TH5, TH6, TH7 ξεπλύθηκαν με απιονισμένο νερό, με σκοπό την απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων κατσίγαρου που είχαν κατακρατηθεί, ξηράθηκαν και ζυγίστηκαν. Παρατηρήθηκε μία απώλεια βάρους που μάλλον οφειλόταν στην απώλεια λεπτόκοκκου υλικού. Μετά πληρώθηκε η στήλη ξανά με τα δείγματα αυτά και έγινε επανακυκλοφορία του δείγματος στην πληρωμένη από γαιάνθρακα στήλη, με φορά από πάνω προς τα κάτω για χρονικό διάστημα δύο

ωρών. Η τροφοδοσία αυτή τη φορά περιείχε ποσότητα **3 γραμμαρίων** στερεών σωματιδίων κατσίγαρου, από το αντιπροσωπευτικό δείγμα των 100 γραμμαρίων. Τα δείγματα των λιγνιτών από το Αμούρι (TH5, TH6) και το Δομένικο (TH7) τοποθετήθηκαν στην κλίνη χωρίς συγκεκριμένη διάταξη των κοκκομετρικών κλασμάτων (ανάμεικτη διάταξη). Ο υπολογισμός της επί τοις εκατό κατακράτησης των στερεών σωματιδίων έγινε όπως περιγράφηκε προηγουμένως και φαίνεται στον πίνακα 6.6.

Πίνακας 6.6: Αποτελέσματα από την μελέτη διήθησης με επαναχρησιμοποίηση του δείγματος λιγνίτη και αύξηση της συγκέντρωσης της τροφοδοσίας.

ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΡΟΣ ΛΙΓΝΙΤΗ (γρ.)	ΔΙΑΤΑΞΗ	ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (γρ)	ΤΕΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (γρ)	% ΚΑΤΑΚΡΑΤΗΣΗ R
TH5	198,24	ΑΝΑΜΕΙΚΤΗ	3,00	0,19	93,60
TH6	193,70	ΑΝΑΜΕΙΚΤΗ	3,00	0,36	88,00
TH7	198,10	ΑΝΑΜΕΙΚΤΗ	3,00	0,19	93,60

Διαπιστώθηκε από το πίνακα 6.6 πως τα ποσοστά κατακράτησης και μετά την επαναχρησιμοποίηση των δειγμάτων είναι πολύ ικανοποιητικά, παρά την αύξηση της ποσότητας των στερεών συστατικών.

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις παραπάνω δοκιμές, συνεχίστηκε η εξέταση και των υπόλοιπων δειγμάτων γαιάνθρακα που ήταν διαθέσιμα. Η ποσότητα του διηθητικού μέσου παρέμεινε 200 γραμμάρια και η συγκέντρωση των στερεών σωματιδίων, 2 γραμμάρια στα δύο λίτρα νερού. Η πλήρωση των διηθητικών κλινών πραγματοποιήθηκε με την **ανάμεικτη** κοκκομετρική διάταξη. Τα δείγματα που εξετάστηκαν ήταν η τύρφη TH3, ο λιγνίτης TH4 από τον Αλμυρό, η τύρφη MT2 από τη Δράμα, τα δείγματα από τον Πλακιά ΚΠ1, ΚΠ2 και ΚΠ3 και τέλος οι λιγνίτες της Πελοποννήσου ΠΠ1, ΠΠ2 και ΠΜ1. Στον πίνακα 6.7, που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών.

Πίνακας 6.7: Αποτελέσματα από την μελέτη διήθησης με ανάμεικτη κοκκομετρική διάταξη των κλασμάτων γαιάνθρακα στα υπόλοιπα δείγματα.

ΔΕΙΓΜΑ	ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (γρ)	ΤΕΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (γρ)	% ΚΑΤΑΚΡΑΤΗΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ R
ΤΗ3	2,00	0,03	98,50
ΤΗ4	2,00	0,43	78,50
ΜΤ2	2,00	0,08	96,00
ΚΠ1	2,00	0,10	95,00
ΚΠ2	2,00	0,23	88,50
ΚΠ5	2,00	0,18	91,00
ΠΠ1	2,00	0,11	94,50
ΠΠ2	2,00	0,05	97,50
ΠΜ1	2,00	0,26	87,00

Από την μελέτη του πίνακα 6.7 διαπιστώνεται ότι το ποσοστό κατακράτησης στερεών σωματιδίων κατσίγαρου, από τα δείγματα των γαιανθράκων που εξετάστηκαν είναι πολύ ικανοποιητικό σε όλα τα δείγματα. Τα δείγματα που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ποσοστό κατακράτησης με σειρά από το δείγμα που κατακρατεί περισσότερο είναι: **ΤΗ3 > ΠΠ2 > ΜΤ2 > ΚΠ1 > ΠΠ1 > ΚΠ5 > ΚΠ2 > ΠΜ1 > ΤΗ4**.

Μετά την εξαγωγή των δειγμάτων γαιάνθρακα από την στήλη τα δείγματα με τα καλύτερα ποσοστά συγκράτησης που ήταν τα ΤΗ3, ΜΤ2, ΚΠ5 (ανάμειξη ΚΠ1 και ΚΠ2) και ΠΠ2 ξεπλύθηκαν με απιονισμένο νερό, με σκοπό την απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων κατσίγαρου που είχαν κατακρατηθεί, μετά ξηράθηκαν και ζυγίστηκαν. Παρατηρήθηκε μία απώλεια βάρους που μάλλον οφειλόταν και πάλι στην απώλεια λεπτόκοκκου υλικού. Έγινε επαναχρησιμοποίηση των καλύτερων σε απόδοση δειγμάτων (Πίνακας 6.8) με την ίδια συγκέντρωση της τροφοδοσίας σε στερεά σωματίδια κατσίγαρου όπως και πριν (2 γραμμάρια σε 2 λίτρα νερού) και επανακυκλοφορία του υγρού στην διηθητική κλίνη για χρονικό διάστημα 2 ωρών. Το δείγμα με το οποίο πληρώθηκε η στήλη τοποθετήθηκε στην στήλη χωρίς συγκεκριμένη διάταξη των κοκκομετρικών κλασμάτων (**ανάμεικτη διάταξη**).

Πίνακας 6.8: Αποτελέσματα από την μελέτη διήθησης με επαναχρησιμοποίηση των δειγμάτων λιγνίτη.

ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΡΟΣ ΛΙΓΝΙΤΗ (γρ.)	ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ(γρ)	ΤΕΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ(γρ)	% ΚΑΤΑΚΡΑΤΗΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ R
<b>ΤΗ3</b>	187,07	2,00	0,07	96,50
<b>ΜΤ2</b>	177,62	2,00	0,08	96,00
<b>ΚΠ5</b>	171,92	2,00	0,22	89,00
<b>ΠΠ2</b>	182,35	2,00	0,09	95,50

Από την μελέτη του πίνακα 6.8, διαπιστώνεται ότι το ποσοστό κατακράτησης στερεών σωματιδίων κατσίγαρου και μετά την επαναχρησιμοποίηση των δειγμάτων γαιάνθρακα είναι πολύ ικανοποιητικό. Τα δείγματα που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ποσοστό κατακράτησης είναι τα **ΤΗ3**, **ΜΤ2**, **ΠΠ2** ενώ λίγο μικρότερη απόδοση ως προς την κατακράτηση στερεών είχε το δείγμα **ΚΠ5**.

Με την ολοκλήρωση της φάσης αυτής των πειραματικών δοκιμών προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

α) Τα περισσότερα δείγματα που εξετάστηκαν είχαν πολύ καλή συμπεριφορά ως προς την διηθητική συμπεριφορά σε κλίνες για την κατακράτηση σωματιδίων κατσίγαρου (αιωρούμενων & στερεών μη διηθήσιμων).

β) Δείγματα γαιανθράκων από την ίδια περιοχή έχουν παραπλήσια απόδοση ως προς την κατακράτηση των σωματιδίων.

γ) Δεν υπάρχει σημαντική διαφορά ως προς την απόδοση της κλίνης ανάμεσα στην τοποθέτηση του γαιάνθρακα σε διάταξη **ΑΔΡ – ΛΕΠΤ – ΑΔΡ** και **ΑΝΑΜΕΙΚΤΗ**. Οι δυο αυτές διατάξεις είχαν και τους καλύτερους συντελεστές ομοιομορφίας 1,87 και 1,85 αντίστοιχα.

δ) Η ροή του υγρού δείγματος της τροφοδοσίας μέσω της κλίνης παρατηρήθηκε πως ήταν καλύτερη στην τοποθέτηση των γαιανθράκων στην κλίνη με τη διάταξη **ΑΔΡ – ΛΕΠΤ – ΑΔΡ**.

## 6.4 ΤΕΛΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

Τα τελικά πειράματα της μελέτης διήθησης πραγματοποιήθηκαν σε πραγματικό δείγμα απόνερου ελαιουργείου, η δειγματοληψία του οποίου έγινε σε τριφασικό ελαιουργείο του νομού Χανίων τον Ιανουάριο του 2005.

Λόγω του ότι η ποσότητα του δείγματος του κατσίγαρου ήταν πολύ πυκνή, έγινε αραίωση με νερό σε αναλογία 1:1,5 lt σε ικανοποιητική ποσότητα δείγματος, ώστε να καλυφθεί όλο το φάσμα των εργαστηριακών δοκιμών. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της καθίζησης για τον πρώτο διαχωρισμό των σωματιδίων του κατσίγαρου σε καθιζάνοντα και αιωρούμενα συστατικά. Αυτό επετεύχθη με πλήρωση εργαστηριακών ογκομετρικών κυλίνδρων με το προς εξέταση δείγμα. Στη συνέχεια το δείγμα αφέθηκε σε ηρεμία για χρονικό διάστημα 24 ωρών. Μετά την πάροδο του χρονικού διαστήματος των 24 ωρών, παρατηρήθηκε η δημιουργία τριών ζωνών στο αραιωμένο υγρό δείγμα κατσίγαρου (Εικόνα 6.2). Καταγράφηκε ο όγκος της κάθε ζώνης.



Εικόνα 6.2: Δείγματα κατσίγαρου μετά από καθίζηση 24 ωρών. Διακρίνονται οι ζώνες των καθιζάνοντων και των εν αιωρήσει συστατικών.

Στον πίνακα 6.9 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την μελέτη καθίζησης του αραιωμένου κατσίγαρου, όπου φαίνεται και η % κ. ο. περιεκτικότητα της κάθε φάσης (ζώνης) με σειρά από κάτω προς τα πάνω.



Πίνακας 6.9: Αποτελέσματα από την μελέτη καθίζησης του αραιωμένου κατσίγαρου

A/A	<b>ΖΩΝΗ ΠΡΩΤΗ (ml)</b>	<b>% κ. ο.</b>	<b>ΖΩΝΗ ΔΕΥΤΕΡΗ (ml)</b>	<b>% κ. ο.</b>	<b>ΖΩΝΗ ΤΡΙΤΗ (ml)</b>	<b>% κ. ο.</b>
1	0 – 370	37.00	370 – 830	46.00	830 – 1000	17.00
2	0 – 390	39.00	390 – 830	44.00	830 – 1000	17.00
3	0 – 380	38.00	380 – 800	42.00	800 – 1000	20.00
4	0 – 390	39.00	390 – 800	46.00	800 – 1000	20.00
M.O.	<b>382.50</b>	<b>38.25</b>	<b>432.50</b>	<b>44.50</b>	<b>185.00</b>	<b>18.50</b>

Από τη μελέτη του πίνακα 6.9 διαπιστώνεται πως στην πρώτη ζώνη (από τη βάση του ογκομετρικού κυλίνδρου και πάνω), υπάρχει η ποσότητα των στερεών σωματιδίων που έχουν καθιζάνει, που καταλαμβάνουν ποσοστό περίπου **38% κατ' όγκο** στο αραιωμένο δείγμα του κατσίγαρου. Τα σωματίδια αυτά δεν είναι αναγκαίο να περιληφθούν στη μελέτη της διήθησης, μιας και ο διαχωρισμός τους είναι εφικτός μέσω της μεθόδου της καθίζησης. Στις δυο επόμενες ζώνες περιέχονται τα αιωρούμενα συστατικά του δείγματος. Η δεύτερη σε σειρά καταλαμβάνει ποσοστό περίπου **44 % κατ' όγκο** στο δείγμα, ενώ η τρίτη και τελευταία ζώνη είναι αυτή που περιέχει και το μικρότερο ποσοστό αιωρουμένων σωματιδίων (είναι χαρακτηριστικό το χρώμα της ζώνης) και καταλαμβάνει όγκο περίπου **18 %** στο τελικό αραιωμένο δείγμα.

Για την πραγματοποίηση των εργαστηριακών δοκιμών χρησιμοποιήθηκε μόνο η ποσότητα του υγρού δείγματος των δυο τελευταίων ζωνών, που περιείχαν τα αιωρούμενα στερεά συστατικά του κατσίγαρου. Αυτό κατέστη δυνατό με την άντληση και τη συλλογή του δείγματος των δύο ζωνών σε ογκομετρικές φιάλες, με τη βοήθεια της περισταλτικής αντλίας. Κάθε φορά γινόταν συλλογή ποσότητας **3 λίτρων**, από το υγρό δείγμα των δυο αυτών ζωνών που προέκυπταν από τη διαδικασία της καθίζησης των 24 ωρών, το οποίο αποτελούσε και την τροφοδοσία κατά την διεργασία της διήθησης. Η ποσότητα αυτή των 3 λίτρων γέμιζε το ταγκ της τροφοδοσίας και διοχετευόταν μέσω της διηθητικής κλίνης που ήταν πληρωμένη με την ποσότητα του γαιάνθρακα. Στο εξής όπου αναφέρεται δείγμα κατσίγαρου,



εννοείται το δείγμα αυτό που προέκυψε μετά την αραίωση, την καθίζηση και την συλλογή των αιωρούμενων συστατικών με την άντληση της ποσότητας των δυο ζωνών (Εικόνα 6.3).



Εικόνα 6.3: Διαδικασία άντλησης και συλλογής της ποσότητας της τροφοδοσίας, με τη βοήθεια της περισταλτικής αντλίας.

Με βάση τα αποτελέσματα της πρώτης φάσης της πειραματικής διαδικασίας και κύριο κριτήριο την απόδοση των δειγμάτων, όπως επίσης και για λόγους εξοικονόμησης υλικού έγινε ανάμιξη δειγμάτων με κοινή περιοχή προέλευσης και κοινό τύπο πετρώματος. Έτσι δημιουργήθηκαν έξι καινούργια δείγματα γαιανθράκων, με κωδικούς: **ΤΗ1,3, ΤΗ5,6, ΤΗ7,8, ΜΤ1,2,3, ΚΠ1,2,5, ΠΠ1,2.**

Οι στήλες στο κομμάτι αυτό των εργαστηριακών δοκιμών ήταν πολυστρωματικές. Εκτός από την ποσότητα του γαιάνθρακα, χρησιμοποιήθηκε στην βάση της στήλης αδρανές υλικό (**ασβεστόλιθος**). Η κοκκομετρία του αδρανούς ήταν (-5.60mm, + 4.75mm), (-4.75mm, +3.35mm) και το ύψος της στήλης που κάλυπτε το στρώμα του ασβεστόλιθου ήταν 6 cm. Η συγκεκριμένη κοκκομετρία και η ποσότητα του δείγματος του ασβεστόλιθου καθορίστηκε έπειτα από προκαταρκτικά πειράματα

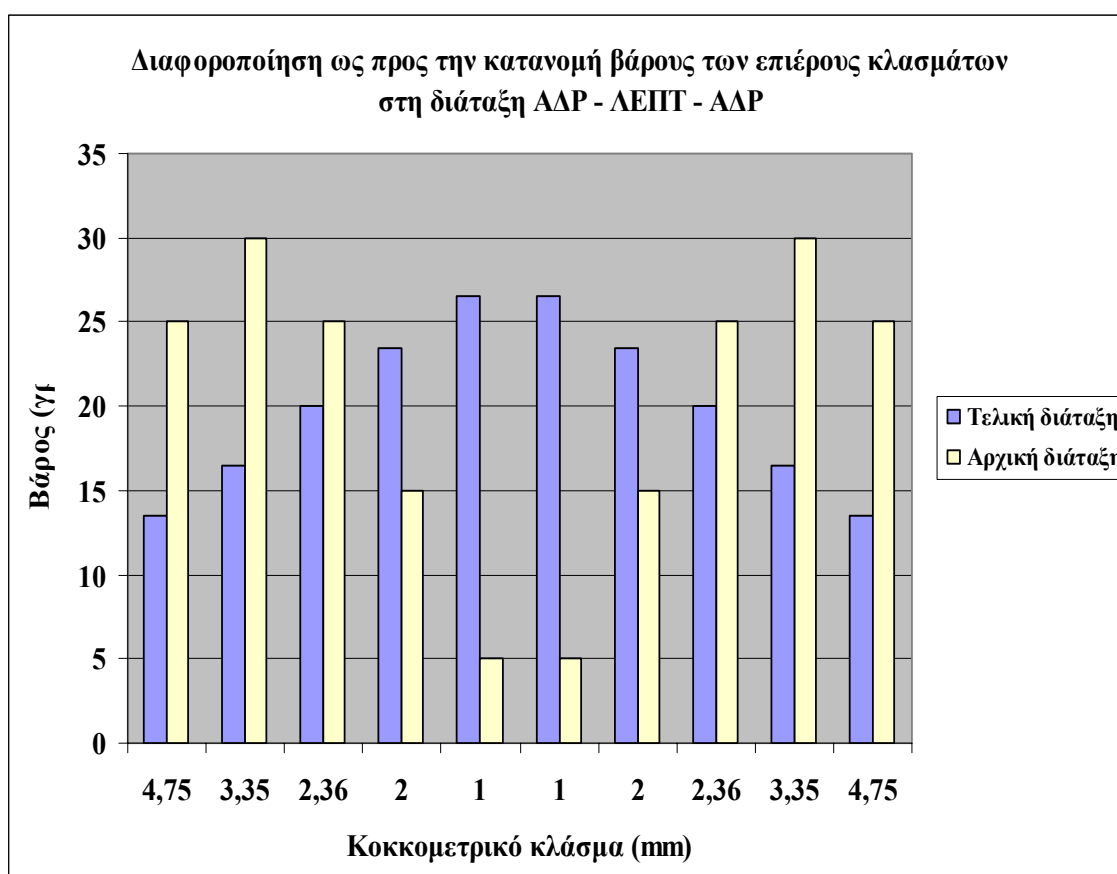
που πραγματοποιήθηκαν, με σκοπό και την βέλτιστη ροή του υγρού δείγματος της τροφοδοσίας.

Ο τρόπος διάταξης των κοκκομετρικών κλασμάτων των γαιανθράκων που επιλέχθηκε για τη σειρά αυτή των πειραμάτων ήταν αυτός του **ΑΔΡ – ΛΕΠΤ – ΑΔΡ**. Η διάταξη αυτή εξασφαλίζει ικανοποιητική ροή του υγρού δείγματος της τροφοδοσίας μέσα στη διηθητική κλίνη και έχει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα ως προς την κατακράτηση των σωματιδίων, όπως φάνηκε και από την πρώτη σειρά πειραμάτων. Ωστόσο, στην πρώτη σειρά πειραμάτων το ποσοστό του λεπτομερούς κλάσματος **(-2.00 mm, +1.00 mm)**, ήταν αρκετά μικρότερο από αυτό των μεγαλύτερων κλασμάτων. Για το λόγο αυτό σχεδιάστηκε ξανά η κοκκομετρική ταξινόμηση της συγκεκριμένης διάταξης, ώστε να αυξηθεί το ποσοστό των λεπτομερών κλασμάτων του γαιάνθρακα που πληρώνει τη στήλη (Πίνακας 6.10). Με τον τρόπο αυτό εξετάστηκε η επίδραση της κατανομής του μεγέθους των κλασμάτων στην απόδοση της κλίνης. Λήφθηκε ωστόσο πρόνοια στο να εξασφαλίζεται πάλι ένας αξιόπιστος συντελεστής ομοιομορφίας του υλικού, όπως και στην αρχική διάταξη. Ο εμπλουτισμός αυτός στο λεπτομερές κλάσμα κρίθηκε αναγκαίος και από το γεγονός ότι το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων στο συγκεκριμένο δείγμα του κατσίγαρου είναι σαφώς μικρότερο από εκείνο στην προηγούμενη πειραματική σειρά.

Πίνακας 6.10: Ποσότητες και % κ. β. αναλογία των επιμέρους κλασμάτων γαιάνθρακα στην καινούργια διάταξη ΑΔΡ – ΛΕΠΤ – ΑΔΡ.

<b>ΔΕΙΓΜΑ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΑ</b>	<b>ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: ΑΔΡ. – ΛΕΠΤ. – ΑΔΡ.</b>	
<b>ΚΟΚΚ. ΚΛΑΣΜΑ (mm)</b>	<b>ΒΑΡΟΣ (γρ.)</b>	<b>% κ. β.</b>
(-5.60, +4.75) mm	13,50	6,75
(-4.75, +3.35) mm	16,50	8,25
(-3.35, +2.36) mm	20,00	10,00
(-2.36, +2.00) mm	23,50	11,75
(-2.00, +1.00) mm	53,00	26,50
(-2.36, +2.00) mm	23,50	11,75
(-3.35, +2.36) mm	20,00	10,00
(-4.75, +3.35) mm	16,50	8,25
(-5.60, +4.75) mm	13,50	6,75
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>200,00</b>	<b>100,00</b>

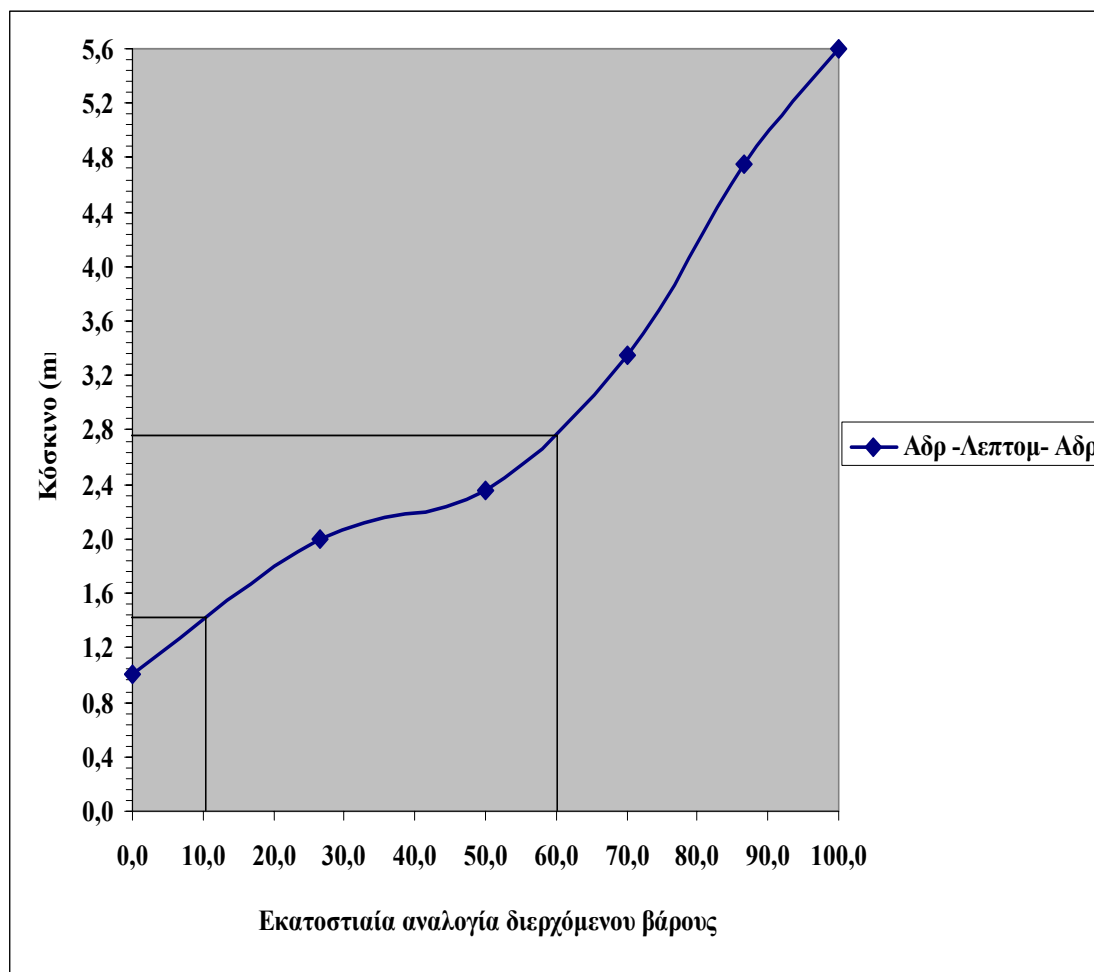
Η διαφοροποίηση ως προς την κατανομή του βάρους στα επί μέρους κοκκομετρικά κλάσματα, παρουσιάζεται πολύ παραστατικά στο διάγραμμα 6.2. Στην αρχική διάταξη τα πιο αδρόκοκκα κλάσματα είχαν μεγαλύτερα ποσοστά βάρους στα 200 γραμμάρια του συνολικού υλικού από το γαιάνθρακα που πλήρωνε τη στήλη, ενώ στη διάταξη που χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια το λεπτομερές υλικό είναι σαφώς πιο εμπλουτισμένο.



Διάγραμμα 6.2: Κοκκομετρική ανάλυση των επιμέρους κλασμάτων στην διάταξη ΑΔΡ – ΛΕΠΤ – ΑΔΡ, στην αρχική και τελική διάταξη.

Και στην περίπτωση αυτή κατασκευάστηκε το διάγραμμα 6.3, όπου παρουσιάζεται η εκατοστιαία αναλογία του διερχόμενου βάρους σε συνάρτηση με τα κοκκομετρικά κλάσματα που χρησιμοποιήθηκαν για την πλήρωση της στήλης. Από εκεί προκύπτει ότι και σε αυτή τη διάταξη ο συντελεστής ομοιομορφίας του υλικού είναι πάλι ικανοποιητικός. Με τη βοήθεια του διαγράμματος υπολογίστηκαν οι τιμές  $d_{60}$  και  $d_{10}$  για κάθε κοκκομετρική ταξινόμηση καθώς και ο λόγος  $d_{60}/d_{10}$ . Υπολογίστηκε με τον τρόπο αυτό ο συντελεστής ομοιομορφίας ο οποίος λαμβάνει την παρακάτω τιμή:

- **ΑΔΡ – ΛΕΠΤ – ΑΔΡ.  $d_{60}/d_{10} = 2,70/1,44 = 1,87$**



Διάγραμμα 6.3: Κοκκομετρική καμπύλη των γαιανθράκων που χρησιμοποιήθηκαν για την πλήρωση της στήλης στα τελικά πειράματα.

Μελετήθηκε η επίδραση της ποσότητας των δειγμάτων γαιανθράκων με την οποία πληρωνόταν η στήλη. Για τον λόγο αυτό έγινε πειραματική δοκιμή με δείγμα γαιάνθρακα ποσότητας 200 αλλά και 400γρ. Στη δεύτερη περίπτωση η ποσότητα του γαιάνθρακα στα επί μέρους κλάσματα ήταν διπλάσια από πριν. Γινόταν επανακυκλοφορία του δείγματος τροφοδοσίας του κατσίγαρου, ποσότητας 3 λίτρων, στην πληρωμένη από γαιάνθρακα στήλη, με φορά από πάνω προς τα κάτω για χρονικό διάστημα τριών ωρών. Η επιλογή του χρονικού διαστήματος των τριών ωρών, στο οποίο γινόταν επανακυκλοφορία, δεν ήταν τυχαία, αλλά πραγματοποιήθηκαν προκαταρκτικά πειράματα στα οποία φάνηκε ότι στο χρονικό διάστημα αυτό παρατηρείται η μέγιστη κατακράτηση αιωρούμενων σωματιδίων. Επιπλέον, γινόταν μέτρηση του pH πριν αρχίσει η επανακυκλοφορία και στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας. Η μέτρηση της ποσότητας των αιωρούμενων σωματιδίων στο δείγμα πριν και μετά τη διήθηση γινόταν με τη χρήση της διάταξης Buckner υπό κενό και τη χρησιμοποίηση φίλτρου Whatman No 5. Το συγκεκριμένο

φίλτρο κατακρατεί σωματίδια μεγέθους μεγαλύτερου ή ίσου με **25  $\mu\text{m}$  (0,025 mm)**. Σύμφωνα με το σχήμα 4.5, η περιοχή των σωματιδίων που καλύπτεται με το μέγεθος αυτό είναι όχι μόνο των αιωρούμενων μη διηθήσιμων στερεών σωματιδίων, αλλά και μέρους των κολλοειδών (διηθήσιμων) σωματιδίων. Άρα τα αποτελέσματα της κατακράτησης στη συγκεκριμένη μελέτη διήθησης αφορούν αιωρούμενα σωματίδια με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο των **25  $\mu\text{m}$** .

#### 6.4.1 Αποτελέσματα της δεύτερης φάσης των εργαστηριακών δοκιμών

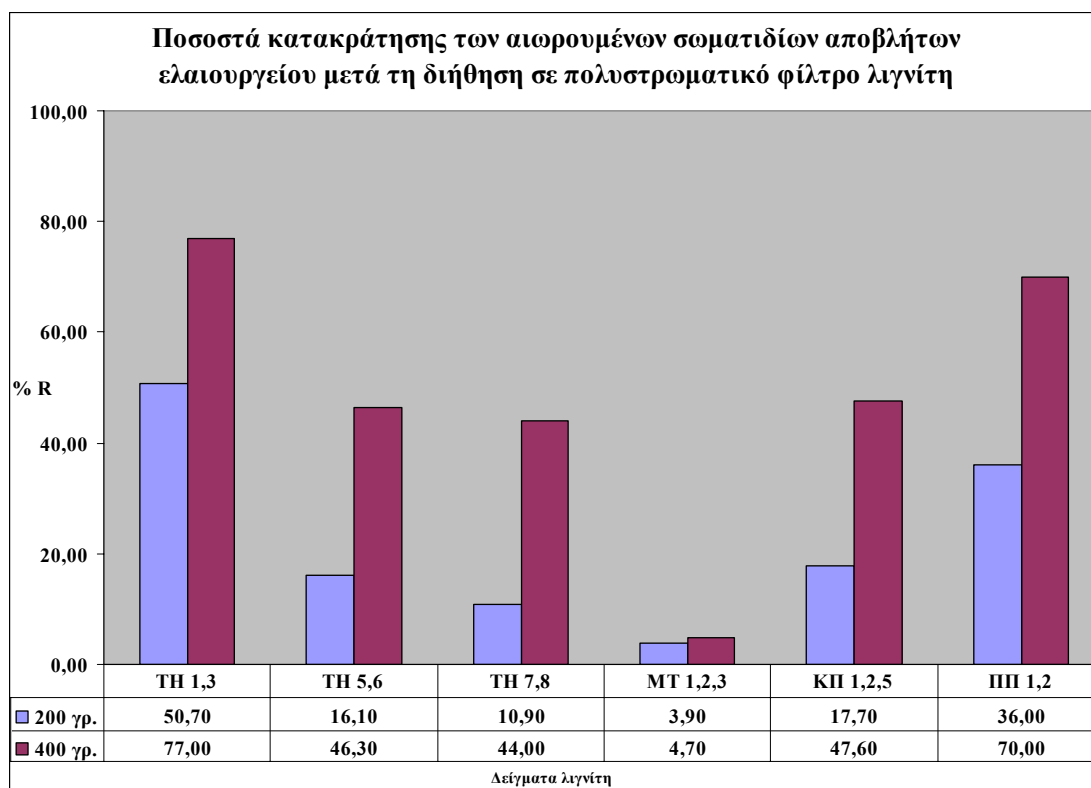
Στους πίνακες 6.11, 6.12 και στο διάγραμμα 6.4 που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη μελέτη διήθησης στα δείγματα γαιανθράκων που επιλέχθηκαν, σύμφωνα με το σχεδιασμό της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε λεπτομερώς προηγουμένως.

Πίνακας 6.11: Αποτελέσματα από την μελέτη διήθησης του δείγματος κατσίγαρου στην πληρωμένη από γαιάνθρακα και ασβεστόλιθο στήλη.

ΔΕΙΓΜΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΑ (γρ.)	ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ (γρ.)	ΤΕΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ (γρ.)	% ΚΑΤΑΚΡΑΤΗΣΗ R
ΤΗ1,3	200	14,60	7,20	50,70
	400	12,20	2,80	77,00
ΤΗ5,6	200	12,40	10,40	16,10
	400	16,40	8,80	46,30
ΤΗ7,8	200	11,00	9,80	10,90
	400	9,60	5,40	44,00
ΜΤ1,2,3	200	10,20	9,80	3,90
	400	12,80	12,20	4,70
ΚΠ1,2,5	200	12,40	10,20	17,70
	400	12,60	6,60	47,60
ΠΠ1,2	200	9,40	6,00	36,00
	400	12,60	3,80	70,00

Πίνακας 6.12: Αποτελέσματα από την μελέτη διήθησης του δείγματος κατσίγαρου στην πληρωμένη από γαιάνθρακα και ασβεστόλιθο στήλη, ως προς τη μεταβολή της τιμής του pH.

ΔΕΙΓΜΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΑ (γρ.)	ΑΡΧΙΚΟ pH	ΤΕΛΙΚΟ pH
ΤΗ1,3	200	5,30	5,40
	400	5,32	5,45
ΤΗ5,6	200	5,31	5,48
	400	5,37	5,58
ΤΗ7,8	200	5,15	5,35
	400	5,08	5,28
ΜΤ1,2,3	200	5,33	5,45
	400	5,26	5,55
ΚΠ1,2,5	200	5,11	5,22
	400	5,10	5,19
ΠΠ1,2	200	5,08	5,20
	400	5,10	5,23



Διάγραμμα 6.4: Συγκριτική απόδοση των δειγμάτων λιγνίτη που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη διήθησης, ως προς την απομάκρυνση των αιωρουμένων σωματιδίων του κατσίγαρου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων σε όλο το φάσμα των εργαστηριακών δοκιμών και ειδικότερα στα τελικά πειράματα, διαπιστώνεται ότι το ποσοστό κατακράτησης των αιωρούμενων σωματιδίων του δείγματος του κατσίγαρου στο πολυστρωματικό φίλτρο των γαιανθράκων είναι αρκετά ικανοποιητικό. Ο σχεδιασμός διηθητικών φίλτρων λιγνίτη έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα στην απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων. Ο τρόπος πλήρωσης και η ποσότητα λιγνίτη στο φίλτρο επηρεάζουν το συντελεστή συγκράτησης.

Τα δείγματα που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ποσοστό κατακράτησης και που προτείνονται για την συγκεκριμένη εφαρμογή είναι κατά σειρά:

**ΤΗ1,3 > ΠΠ1,2 > ΚΠ1,2,5 > ΤΗ5,6 > ΤΗ7,8** και αντιστοιχούν σε δείγματα από την Ξυνιάδα της Θεσσαλίας (ΤΗ1,3), την Πελλάνα του Ν. Λακωνίας (ΠΠ1,2), τον Πλακιά της Κρήτης (ΚΠ1,2,5), το Αμούρι Ελασσόνας της Θεσσαλίας (ΤΗ5,6) και το Αμούρι Ελασσόνας της Θεσσαλίας (ΤΗ7,8).

Με την ολοκλήρωση των πειραματικών δοκιμών στη μελέτη της διήθησης προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- 1) Η ποσότητα του γαιάνθρακα με την οποία πληρώνεται η στήλη, επηρεάζει σαφώς την απόδοσή της. Συγκεκριμένα, όταν διπλασιάζεται η ποσότητα του γαιάνθρακα (400 γραμμάρια), υπάρχει σχεδόν διπλάσια κατακράτηση αιωρούμενων σωματιδίων, δηλαδή διπλάσιο ποσοστό κατακράτησης (%R).
- 2) Η μέτρηση της μεταβολής της τιμής του pH κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας έδειξε ότι η τιμή του pH αυξάνεται ελάχιστα .
- 3) Η ροή του υγρού δείγματος μέσω της κλίνης ήταν καλή και δεν παρουσιαζόταν κανένα πρόβλημα. Η διάταξη πλήρωσης της στήλης που προτείνεται είναι αυτή του **ΑΔΡ – ΛΕΠΤ – ΑΔΡ** με την κατανομή μεγέθους των κλασμάτων που χρησιμοποιήθηκε στα τελικά πειράματα. Επίσης μελετήθηκε η επίδραση της ποσότητας των δειγμάτων γαιανθράκων με την οποία πληρωνόταν η στήλη. Για τον λόγο αυτό έγινε πειραματική δοκιμή με δείγμα γαιάνθρακα ποσότητας 200 αλλά και 400γρ. Στη δεύτερη περίπτωση η ποσότητα του γαιάνθρακα στα επί μέρους κλάσματα ήταν διπλάσια από πριν (Πίνακας 7.1).

Πίνακας 7.1: Ποσότητες και % κ. β. αναλογία των επιμέρους κλασμάτων γαιάνθρακα στη διάταξη ΑΔΡ – ΛΕΠΤ – ΑΔΡ.

ΔΕΙΓΜΑ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΑ	ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: ΑΔΡ. – ΛΕΠΤ. – ΑΔΡ.	
ΚΟΚΚ. ΚΛΑΣΜΑ (mm)	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ. β.
(-5.60, +4.75) mm	13,50	6,75
(-4.75, +3.35) mm	16,50	8,25
(-3.35, +2.36) mm	20,00	10,00
(-2.36, +2.00) mm	23,50	11,75
(-2.00, +1.00) mm	53,00	26,50
(-2.36, +2.00) mm	23,50	11,75
(-3.35, +2.36) mm	20,00	10,00
(-4.75, +3.35) mm	16,50	8,25
(-5.60, +4.75) mm	13,50	6,75
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	200,00	100,00

Εκτός από την ποσότητα του γαιάνθρακα στα τελικά πειράματα χρησιμοποιήθηκε στην βάση της στήλης αδρανές υλικό (**ασβεστόλιθος**). Η κοκκομετρία του αδρανούς ήταν (-5.60mm, + 4.75mm), (-4.75mm, +3.35mm) και το ύψος της στήλης που κάλυπτε το στρώμα του ασβεστόλιθου ήταν 6 cm.. Ωστόσο, για την επαναχρησιμοποίηση του υλικού, προτείνεται η **ανάμεικτη** διάταξη πλήρωσης της κλίνης, που έχει εξίσου καλή απόδοση.

4) Τα δείγματα γαιάνθρακα από τη Θεσσαλία έδειξαν πολύ καλή συμπεριφορά στη μελέτη της διήθησης. Οι τύρφες από τη **Ξυνιάδα (ΤΗ1, ΤΗ3)**, παρά το γεγονός ότι πρόκειται για αργιλούχο υλικό, λόγω του σχήματος των κόκκων που είναι αρκετά σφαιρικό και της συνεκτικότητας που είχαν, έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα (έως 77% κατακράτηση).

Εξίσου καλές τιμές κατακράτησης αιωρούμενων σωματιδίων έδωσαν και οι ξυλιτικοί λιγνίτες από την **Πελλάνα (ΠΠ1, ΠΠ2)**. Πρόκειται για ένα εξαιρετικά συνεκτικό υλικό, που προσδίδει εξαιρετική αντοχή στη διηθητική κλίση. Οι γωνιώδεις φθαρμένοι κόκκοι του υλικού εξασφαλίζουν ένα φίλτρο με μεγάλο πορώδες.

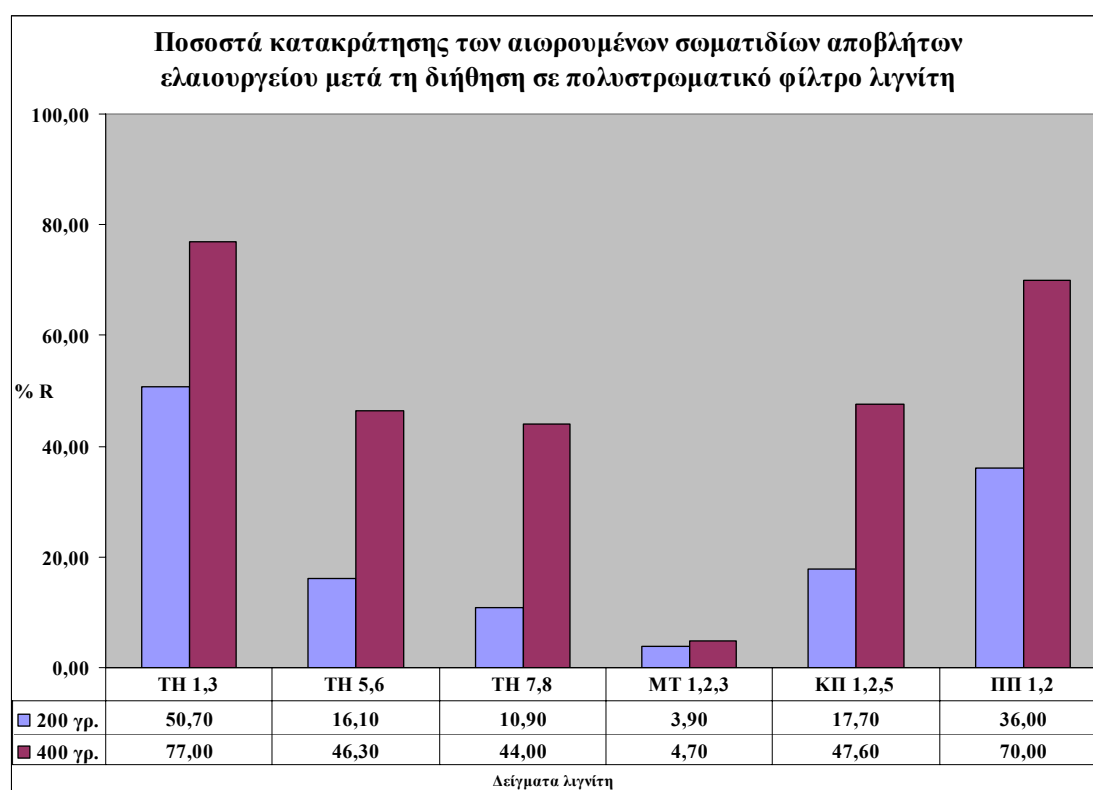
Παραπλήσιες αποδόσεις (έως και 47% κατακράτηση) είχαμε στα υπόλοιπα δείγματα που εξετάστηκαν (**ΚΠ1,2,5 > ΤΗ5,6 > ΤΗ7,8**), τόσο με τη χρήση 200 όσο και 400 γραμμαρίων υλικού πλήρωσης. Πρόκειται για δείγματα λιγνιτών με συνεκτικούς, γωνιώδεις κόκκους. Το γεγονός ότι οι κόκκοι αυτοί είναι αρκετά



επιμήκεις, πιθανόν δικαιολογεί την μικρότερη απόδοση σε σχέση με τα προηγούμενα δείγματα.

Τα δείγματα από τη Μακεδονία και συγκεκριμένα οι τύρφες **MT1,2,3**, από τη Δράμα, παρά το γεγονός ότι παρέμεναν συνεκτικές μετά την πάροδο της πειραματικής διαδικασίας, παρουσίασαν μικρή απόδοση και δεν προτείνεται η χρήση τους.

Ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα των αποτελεσμάτων της κατακράτησης των αιωρούμενων σωματιδίων μετά τη διήθηση σε πολυστρωματικό φίλτρο λιγνίτη για δείγμα γαιάνθρακα ποσότητας 200 αλλά και 400 γραμμαρίων παρουσιάζεται παρακάτω (Διάγραμμα 7.1).



Διάγραμμα 7.1: Συγκριτική απόδοση των δειγμάτων λιγνίτη που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη διήθησης, ως προς την απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων του κατσίγαρου.

Σαν τελικό συμπέρασμα προτείνεται η χρησιμοποίηση των δειγμάτων τύρφης από την Ξυνιάδα της Θεσσαλίας (TH1,3), λιγνίτη από την Πελλάνα του Ν. Λακωνίας (ΠΠ1,2), λιγνίτη από τον Πλακιά της Κρήτης (ΚΠ1,2,5), λιγνίτη από το Αμούρι Ελασσόνας της Θεσσαλίας (TH5,6) και ξυλιτικό λιγνίτη από το Αμούρι Ελασσόνας της Θεσσαλίας (TH7,8), για ποσότητες των 400 γραμμαρίων, με την κοκκομετρική κατανομή που χρησιμοποιήθηκε σε διάταξη **ΑΔΡ – ΛΕΠΤ – ΑΔΡ**, τα οποία και έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα.

## Βιβλιογραφία και αναφορές

- [1] Fiestas Ros De Ursinos J., Lopez Camino J. (1994). Evaluacion de la experiencia de las plantas prototipo de depuracion de alpechines en la cuenca del rio Guadalquivir. Πρακτικά Δημερίδας για τη Διαχείριση Αποβλήτων των Ελαιουργείων Σητεία 16-17 Ιουνίου, σελ.102-124.
- [2] Fiestas J. (1991) “Re-use and complete treatment of vegetable water: Current situation and prospects in Spain”. Πρακτικά Διεθνούς Σεμιναρίου Διαχείριση Αποβλήτων Ελαιουργείων, Χανιά, 9-10 Μαΐου, σελ. 18,19.
- [3] Svarovsky Ladislav (1990). *SOLID-LIQUID SEPARATION* , Ed. Butterworth’s, London, Boston,
- [4] Howard S. Peavy, Donald R. Rowe, George Tchobanoglous (1985). *ENVIRONMENTAL ENGINEERING*, Ed. Mc Graw-Hill, New York
- [5] George Tchobanoglous, Edward D. Schroeder (1985). *WATER QUALITY*, Ed. Addison-Wesley, California
- [6] Chatjipavlidis I., M. Antonakou, D. Demou, F. Flouri, and C. Balis (1996). “Bio-Fertilization of olive oil mills liquid wastes. The pilot plant in Messinia, Greece”. *International Biodeterioration*, pp. 183-187.
- [7] Rozzi A. and F. Malpei (1996). “Treatment and Disposal of Olive Mill Effluents”. *International Biodeterioration*, pp.135-144.

- [8] IMPEL OLIVE OIL Project European Union Network for the Implementation and Enforcement of Environmental Law 2003
- [9] Mixed Media, Neptune MicroFloc Bulletin No 4206
- [10] Cleasby, J. L., and Sejkora, G. D., «Effect of Media Intermixing on Dual Media Filtration» Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, p.503, August 1975
- [11] HDR Engineering, Inc. (2001). *Handbook of Public Water Systems*, Ed. Wiley, New York
- [12] Παπανικολάου Κ. (2004). Πανεπιστημιακές σημειώσεις του μαθήματος *Κοιτασματολογία Ενεργειακών Πόρων*, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά
- [13] Βάμβουκα Δ. (2002). *Αντιρυπογόνο Χρήσις Γαιανθράκων*, Αθήνα
- [14] Παπανικολάου Κ. (2001). *Ατλαντας Ελληνικών γαιανθράκων, ανθρακοπετρογραφικοί παράμετροι ποιότητας- Βιοδείκτες*, Αθήνα
- [15] Μπαλατσούρας Γ. (1997). *Το Ελαιόλαδο*, Αθήνα.
- [16] Μανασσής Μήτρακας (2002). *Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού*, Εκδόσεις Τζιόλας, Θεσσαλονίκη
- [17] Μπαλατσούρας Γ. (1999). *Η Ελαιουργία*, Αθήνα.
- [18] Μιχελάκης Ν. και Κ. Βοζινάκης (1994). *Καταλληλότητα των εξατμισοδεξαμενών για τον χειρισμό των αποβλήτων των ελαιουργείων της*

Κρήτης. Πρακτικά Διεθνούς Δημερίδας για τη Διαχείριση Αποβλήτων των Ελαιουργείων, Σητεία 16-17 Ιουνίου, σελ. 35-41.

[19] Στεφανουδάκη-Κατζουράκη Ε. και Α. Κουσταυτάκης (1994). Χαρακτηριστικά αποβλήτων από ελαιουργεία δύο και τριών φάσεων. Πρακτικά διεθνούς Δημερίδας για τη Διαχείριση Αποβλήτων των Ελαιουργείων Σητεία 16-17 Ιουνίου, σελ. 19-25

[20] Δάβη Ελευθερία Ν. (1985). *Πετρολογία*, Εκδόσεις Τυπογρ. Σ. Αθανασόπουλος, Σ. Παπαδάμης, Χ. Ζαχαρόπουλος, Αθήνα

[21] Φλουρή Φ., Μ. Χατζηπαυλίδης, Κ. Αντωνάκου, και Κ. Μπαλής (1994). «Κομποστοποίηση αποβλήτων ελαιουργείων στη Σητεία της Κρήτης». Πρακτικά Διεθνούς Δημερίδας για τη Διαχείριση Αποβλήτων των Ελαιουργείων. Σητεία. 16-17 Ιουνίου, σελ. 174-184

[22] Αγιουτάντης, Ζ. και Σ. Μερτίκας, (2003). *Ένας πρακτικός οδηγός για τη συγγραφή τεχνικών εκθέσεων*, Εκδόσεις Ίων, Χανιά.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Πίνακας Α.1.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΤΗ1.

ΔΕΙΓΜΑ ΤΗ1		
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ.β
+ 5.60 mm	399.00	43.27
-5.60, +4.75 mm	34.80	3.77
-4.75, +3.35 mm	67.80	7.35
-3.35, +2.36 mm	70.20	7.61
-2.36, +2.00 mm	40.20	4.36
-2.00, +1.00 mm	121.70	13.20
-1.00 mm, +850 μm	20.80	2.25
-850, +600 μm	27.90	3.02
-600, +500 μm	22.80	2.48
-500, +150 μm	69.20	7.50
-150, +63 μm	37.20	4.03
-63 μm, +ΒΑΣΗ	10.60	1.16
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	922.20	100.00

Πίνακας Α.2.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΤΗ3.

<b>ΔΕΙΓΜΑ ΤΗ3</b>		
<b>ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ</b>	<b>ΒΑΡΟΣ (γρ.)</b>	<b>% κ.β</b>
+ 5.60 mm	342.00	43.14
-5.60, +4.75 mm	36.40	4.59
-4.75, +3.35 mm	78.80	9.95
-3.35, +2.36 mm	70.30	8.87
-2.36, +2.00 mm	30.80	3.88
-2.00, +1.00 mm	104.60	13.19
-1.00 mm, +850 μm	13.50	1.70
-850, +600 μm	32.70	4.13
-600, +500 μm	14.20	1.79
-500, +150 μm	50.60	6.38
-150, +63 μm	14.60	1.84
-63 μm, +ΒΑΣΗ	4.30	0.54
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ</b>	<b>792.80</b>	<b>100.00</b>

Πίνακας Α.3.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΤΗ4.

<b>ΔΕΙΓΜΑ ΤΗ4</b>		
<b>ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ</b>	<b>ΒΑΡΟΣ (γρ.)</b>	<b>% κ.β</b>
+ 5.60 mm	525.20	39.77
-5.60, +4.75 mm	62.60	4.74
-4.75, +3.35 mm	141.10	10.69
-3.35, +2.36 mm	115.90	8.78
-2.36, +2.00 mm	48.10	3.64
-2.00, +1.00 mm	151.20	11.45
-1.00 mm, +850 μm	24.30	1.84
-850, +600 μm	49.10	3.72
-600, +500 μm	24.90	1.89
-500, +150 μm	103.30	7.82
-150, +63 μm	38.80	2.94
-63 μm, +ΒΑΣΗ	35.90	2.72
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ</b>	<b>1320.40</b>	<b>100.00</b>

Πίνακας Α.4.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΤΗ5.

ΔΕΙΓΜΑ ΤΗ5		
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ.β
+ 5.60 mm	800.50	59.67
-5.60, +4.75 mm	42.00	3.13
-4.75, +3.35 mm	114.90	8.56
-3.35, +2.36 mm	97.40	7.26
-2.36, +2.00 mm	37.60	2.80
-2.00, +1.00 mm	108.80	8.11
-1.00 mm, +850 μm	13.70	1.02
-850, +600 μm	29.30	2.18
-600, +500 μm	13.70	1.02
-500, +150 μm	54.70	4.08
-150, +63 μm	20.30	1.51
-63 μm, +ΒΑΣΗ	8.70	0.66
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	1341.60	100.00



Πίνακας Α.5.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΤΗ6.

ΔΕΙΓΜΑ ΤΗ6		
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ.β
+ 5.60 mm	863.60	53.29
-5.60, +4.75 mm	55.50	3.42
-4.75, +3.35 mm	155.60	9.60
-3.35, +2.36 mm	134.80	8.32
-2.36, +2.00 mm	49.70	3.07
-2.00, +1.00 mm	151.20	9.33
-1.00 mm, +850 μm	17.80	1.10
-850, +600 μm	42.90	2.65
-600, +500 μm	19.10	1.18
-500, +150 μm	78.10	4.82
-150, +63 μm	28.00	1.73
-63 μm, +ΒΑΣΗ	24.10	1.49
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	1620.40	100.00

Πίνακας Α.6.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΤΗ7.

ΔΕΙΓΜΑ ΤΗ7		
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ.β
+ 5.60 mm	677.20	36.48
-5.60, +4.75 mm	71.70	3.86
-4.75, +3.35 mm	212.00	11.42
-3.35, +2.36 mm	175.50	9.45
-2.36, +2.00 mm	65.10	3.51
-2.00, +1.00 mm	243.10	13.09
-1.00 mm, +850 μm	33.20	1.79
-850, +600 μm	88.20	4.75
-600, +500 μm	40.10	2.16
-500, +150 μm	174.00	9.37
-150, +63 μm	51.40	2.77
-63 μm, +ΒΑΣΗ	24.90	1.35
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	1856.40	100.00

Πίνακας Α.7.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΤΗ8.

ΔΕΙΓΜΑ ΤΗ8		
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ.β
+ 5.60 mm	700.00	38.67
-5.60, +4.75 mm	67.20	3.71
-4.75, +3.35 mm	174.60	9.64
-3.35, +2.36 mm	153.70	8.49
-2.36, +2.00 mm	63.60	3.52
-2.00, +1.00 mm	231.60	12.79
-1.00 mm, +850 μm	30.20	1.67
-850, +600 μm	81.70	4.51
-600, +500 μm	38.60	2.13
-500, +150 μm	167.30	9.24
-150, +63 μm	59.00	3.26
-63 μm, +ΒΑΣΗ	42.80	2.37
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	1810.30	100.00

Πίνακας Α.8.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΜΤ1.

ΔΕΙΓΜΑ ΜΤ1		
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ.β
+ 5.60 mm	283.90	19.54
-5.60, +4.75 mm	33.50	2.30
-4.75, +3.35 mm	238.30	16.40
-3.35, +2.36 mm	164.90	11.35
-2.36, +2.00 mm	70.40	4.84
-2.00, +1.00 mm	228.20	15.70
-1.00 mm, +850 μm	35.60	2.45
-850, +600 μm	79.70	5.48
-600, +500 μm	38.60	2.66
-500, +150 μm	160.90	11.07
-150, +63 μm	61.90	4.26
-63 μm, +ΒΑΣΗ	57.30	3.95
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	1453.20	100.00

Πίνακας Α.9.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΜΤ2.

ΔΕΙΓΜΑ ΜΤ2		
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ.β
+ 5.60 mm	383.60	27.25
-5.60, +4.75 mm	30.40	2.16
-4.75, +3.35 mm	235.90	16.76
-3.35, +2.36 mm	172.90	12.28
-2.36, +2.00 mm	70.60	5.01
-2.00, +1.00 mm	201.60	14.32
-1.00 mm, +850 μm	27.30	1.94
-850, +600 μm	64.00	4.55
-600, +500 μm	30.20	2.14
-500, +150 μm	108.70	7.73
-150, +63 μm	39.30	2.79
-63 μm, +ΒΑΣΗ	43.30	3.07
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	1407.80	100.00

Πίνακας Α.10.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΜΤ3.

ΔΕΙΓΜΑ ΜΤ3		
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ.β
+ 5.60 mm	610.30	39.90
-5.60, +4.75 mm	23.90	1.56
-4.75, +3.35 mm	190.60	12.46
-3.35, +2.36 mm	151.20	9.88
-2.36, +2.00 mm	58.50	3.82
-2.00, +1.00 mm	186.30	12.18
-1.00 mm, +850 μm	25.10	1.64
-850, +600 μm	60.20	3.93
-600, +500 μm	26.70	1.75
-500, +150 μm	115.90	7.58
-150, +63 μm	43.20	2.83
-63 μm, +ΒΑΣΗ	37.60	2.47
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	1529.50	100.00

Πίνακας Α.11.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΜΤ5.

ΔΕΙΓΜΑ ΜΤ5		
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ.β
+ 5.60 mm	72.70	4.76
-5.60, +4.75 mm	74.40	4.87
-4.75, +3.35 mm	293.50	19.20
-3.35, +2.36 mm	179.50	11.74
-2.36, +2.00 mm	75.60	4.95
-2.00, +1.00 mm	258.30	16.90
-1.00 mm, +850 μm	34.80	2.28
-850, +600 μm	98.00	6.41
-600, +500 μm	42.30	2.77
-500, +150 μm	237.90	15.57
-150, +63 μm	95.60	6.25
-63 μm, +ΒΑΣΗ	65.70	4.30
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	1528.30	100.00

Πίνακας Α.12.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΜΤ6.

ΔΕΙΓΜΑ ΜΤ6		
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ.β
+ 5.60 mm	77.60	4.35
-5.60, +4.75 mm	89.90	5.04
-4.75, +3.35 mm	355.80	19.95
-3.35, +2.36 mm	238.70	13.38
-2.36, +2.00 mm	87.60	4.91
-2.00, +1.00 mm	289.20	16.21
-1.00 mm, +850 μm	43.30	2.43
-850, +600 μm	108.10	6.06
-600, +500 μm	52.80	2.96
-500, +150 μm	248.60	13.94
-150, +63 μm	98.00	5.49
-63 μm, +ΒΑΣΗ	94.10	5.28
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	1783.70	100.00



Πίνακας Α.13.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΜΤ7.

ΔΕΙΓΜΑ ΜΤ7		
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ.β
+ 5.60 mm	81.60	5.04
-5.60, +4.75 mm	78.50	4.85
-4.75, +3.35 mm	283.00	17.48
-3.35, +2.36 mm	190.20	11.75
-2.36, +2.00 mm	81.40	5.03
-2.00, +1.00 mm	310.90	19.20
-1.00 mm, +850 μm	42.60	2.63
-850, +600 μm	116.20	7.18
-600, +500 μm	52.90	3.27
-500, +150 μm	243.90	15.06
-150, +63 μm	80.50	4.97
-63 μm, +ΒΑΣΗ	57.20	3.54
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	1618.90	100.00

Πίνακας Α.14.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΚΠ1.

ΔΕΙΓΜΑ ΚΠ1		
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ.β
+ 5.60 mm	1308.50	58.16
-5.60, +4.75 mm	69.00	3.07
-4.75, +3.35 mm	185.20	8.23
-3.35, +2.36 mm	149.20	6.63
-2.36, +2.00 mm	52.90	2.35
-2.00, +1.00 mm	191.80	8.52
-1.00 mm, +850 μm	19.60	0.87
-850, +600 μm	64.30	2.86
-600, +500 μm	27.00	1.20
-500, +150 μm	124.20	5.53
-150, +63 μm	36.30	1.61
-63 μm, +ΒΑΣΗ	21.70	0.97
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	2249.70	100.00

Πίνακας Α.15.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΚΠ2.

ΔΕΙΓΜΑ ΚΠ2		
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ.β
+ 5.60 mm	1557.40	49.12
-5.60, +4.75 mm	80.00	2.52
-4.75, +3.35 mm	277.70	8.76
-3.35, +2.36 mm	233.30	7.36
-2.36, +2.00 mm	90.70	2.86
-2.00, +1.00 mm	337.40	10.64
-1.00 mm, +850 μm	41.50	1.31
-850, +600 μm	121.00	3.82
-600, +500 μm	51.80	1.63
-500, +150 μm	239.70	7.56
-150, +63 μm	80.90	2.55
-63 μm, +ΒΑΣΗ	59.20	1.87
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	3170.60	100.00

Πίνακας Α.16.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΚΠ5.

<b>ΔΕΙΓΜΑ ΚΠ5</b>		
<b>ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ</b>	<b>ΒΑΡΟΣ (γρ.)</b>	<b>% κ.β</b>
+ 5.60 mm	1501.40	54.97
-5.60, +4.75 mm	79.30	2.90
-4.75, +3.35 mm	240.10	8.79
-3.35, +2.36 mm	190.00	6.95
-2.36, +2.00 mm	73.20	2.68
-2.00, +1.00 mm	257.70	9.43
-1.00 mm, +850 μm	29.30	1.07
-850, +600 μm	78.50	2.87
-600, +500 μm	32.90	1.20
-500, +150 μm	148.80	5.45
-150, +63 μm	55.30	2.02
-63 μm, +ΒΑΣΗ	45.30	1.67
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ</b>	<b>2731.80</b>	<b>100.00</b>

Πίνακας Α.17.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΠΠ1.

ΔΕΙΓΜΑ ΠΠ1		
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ.β
+ 5.60 mm	134.50	3.56
-5.60, +4.75 mm	154.00	4.07
-4.75, +3.35 mm	664.70	17.59
-3.35, +2.36 mm	465.20	12.31
-2.36, +2.00 mm	191.50	5.07
-2.00, +1.00 mm	670.60	17.75
-1.00 mm, +ΒΑΣΗ	1497.90	39.65
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	3778.40	100.00

Πίνακας Α.18.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΠΠ2.

<b>ΔΕΙΓΜΑ ΠΠ2</b>		
<b>ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ</b>	<b>ΒΑΡΟΣ (γρ.)</b>	<b>% κ.β</b>
+ 5.60 mm	88.30	2.59
-5.60, +4.75 mm	125.70	3.69
-4.75, +3.35 mm	617.00	18.11
-3.35, +2.36 mm	433.40	12.72
-2.36, +2.00 mm	170.90	5.02
-2.00, +1.00 mm	569.40	16.72
-1.00 mm, +ΒΑΣΗ	1401.20	41.15
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ</b>	<b>3405.90</b>	<b>100.00</b>

Πίνακας Α.19.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΠΜ1.

ΔΕΙΓΜΑ ΠΜ1		
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ.β
+ 5.60 mm	166.60	4.63
-5.60, +4.75 mm	142.40	3.96
-4.75, +3.35 mm	604.00	16.78
-3.35, +2.36 mm	462.40	12.85
-2.36, +2.00 mm	186.30	5.18
-2.00, +1.00 mm	655.00	18.20
-1.00 mm, +ΒΑΣΗ	1382.50	38.40
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	3599.2	100.00

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

### ΓΙΑ ΤΗ ΠΡΩΤΗ ΦΑΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

Πίνακας Β.1.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΤΗ5 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

ΔΕΙΓΜΑ ΤΗ5	ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: X – Λ – X	
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ.β
-5.60, +4.75 mm	25.0	12.50
-4.75, +3.35 mm	30.0	15.00
-3.35, +2.36 mm	25.0	12.50
-2.36, +2.00 mm	15.0	7.50
-2.00, +1.00 mm	10.0	5.00
-2.36, +2.00 mm	15.0	7.50
-3.35, +2.36 mm	25.0	12.50
-4.75, +3.35 mm	30.0	15.00
-5.60, +4.75 mm	25.0	12.50
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	200	100

Πίνακας Β.2.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΤΗ6 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

ΔΕΙΓΜΑ ΤΗ6	ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: MIXED	
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ (mm)	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ. β.
-5.60, +4.75 mm	20.0	10.0
-4.75, +3.35 mm	30.0	15.0
-3.35, +2.36 mm	40.0	20.0
-2.36, +2.00 mm	50.0	25.0
-2.00, +1.00 mm	60.0	30.0
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	200.0	100





Πίνακας Β.3.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος TH7 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

ΔΕΙΓΜΑ TH7	ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: X-Λ	
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ (mm)	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ. β.
-5.60, +4.75 mm	70.00	35.00
-4.75, +3.35 mm	50.00	25.00
-3.35, +2.36 mm	40.00	20.00
-2.36, +2.00 mm	25.00	12.50
-2.00, +1.00 mm	15.00	7.50
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	200.00	100.00

Πίνακας Β.4.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος MT5 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

ΔΕΙΓΜΑ MT5	ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: X – Λ – X	
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ.β
-5.60, +4.75 mm	25.0	12.50
-4.75, +3.35 mm	30.0	15.00
-3.35, +2.36 mm	25.0	12.50
-2.36, +2.00 mm	15.0	7.50
-2.00, +1.00 mm	10.0	5.00
-2.36, +2.00 mm	15.0	7.50
-3.35, +2.36 mm	25.0	12.50
-4.75, +3.35 mm	30.0	15.00
-5.60, +4.75 mm	25.0	12.50
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	200	100

Πίνακας Β.5.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος MT6 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

<b>ΔΕΙΓΜΑ MT6</b>	<b>ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: MIXED</b>	
<b>ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ (mm)</b>	<b>ΒΑΡΟΣ (γρ.)</b>	<b>% κ. β.</b>
-5.60, +4.75 mm	20.0	10.0
-4.75, +3.35 mm	30.0	15.0
-3.35, +2.36 mm	40.0	20.0
-2.36, +2.00 mm	50.0	25.0
-2.00, +1.00 mm	60.0	30.0
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	200.0	100

Πίνακας Β.6.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος MT7 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

<b>ΔΕΙΓΜΑ MT7</b>	<b>ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: X-Λ</b>	
<b>ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ (mm)</b>	<b>ΒΑΡΟΣ (γρ.)</b>	<b>% κ. β.</b>
-5.60, +4.75 mm	70.00	35.00
-4.75, +3.35 mm	50.00	25.00
-3.35, +2.36 mm	40.00	20.00
-2.36, +2.00 mm	25.00	12.50
-2.00, +1.00 mm	15.00	7.50
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	200.00	100.00

**ΓΙΑ ΤΗ ΠΡΩΤΗ ΦΑΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΓΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΕ ΜΗ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΚΛΑΣΜΑΤΩΝ (MIXED).**

Πίνακας Β.7.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΤΗ3 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

<b>ΔΕΙΓΜΑ ΤΗ3</b>	<b>ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: MIXED</b>	
<b>ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ (mm)</b>	<b>ΒΑΡΟΣ (γρ.)</b>	<b>% κ. β.</b>
-5.60, +4.75 mm	20.0	10.0
-4.75, +3.35 mm	30.0	15.0
-3.35, +2.36 mm	40.0	20.0
-2.36, +2.00 mm	50.0	25.0
-2.00, +1.00 mm	60.0	30.0
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	200.0	100

Πίνακας Β.8.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΤΗ4 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

<b>ΔΕΙΓΜΑ ΤΗ4</b>	<b>ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: MIXED</b>	
<b>ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ (mm)</b>	<b>ΒΑΡΟΣ (γρ.)</b>	<b>% κ. β.</b>
-5.60, +4.75 mm	20.0	10.0
-4.75, +3.35 mm	30.0	15.0
-3.35, +2.36 mm	40.0	20.0
-2.36, +2.00 mm	50.0	25.0
-2.00, +1.00 mm	60.0	30.0
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	200.0	100

Πίνακας Β.9.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΜΤ2 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

<b>ΔΕΙΓΜΑ ΜΤ2</b>	<b>ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: MIXED</b>	
<b>ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ (mm)</b>	<b>ΒΑΡΟΣ (γρ.)</b>	<b>% κ. β.</b>
-5.60, +4.75 mm	20.0	10.0
-4.75, +3.35 mm	30.0	15.0
-3.35, +2.36 mm	40.0	20.0
-2.36, +2.00 mm	50.0	25.0
-2.00, +1.00 mm	60.0	30.0
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	200.0	100

Πίνακας Β.10.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΚΠ1 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

<b>ΔΕΙΓΜΑ ΚΠ1</b>	<b>ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: MIXED</b>	
<b>ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ (mm)</b>	<b>ΒΑΡΟΣ (γρ.)</b>	<b>% κ. β.</b>
-5.60, +4.75 mm	20.0	10.0
-4.75, +3.35 mm	30.0	15.0
-3.35, +2.36 mm	40.0	20.0
-2.36, +2.00 mm	50.0	25.0
-2.00, +1.00 mm	60.0	30.0
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	200.0	100

Πίνακας Β.11.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΚΠ2 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

<b>ΔΕΙΓΜΑ ΚΠ2</b>	<b>ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: MIXED</b>	
<b>ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ (mm)</b>	<b>ΒΑΡΟΣ (γρ.)</b>	<b>% κ. β.</b>
-5.60, +4.75 mm	20.0	10.0
-4.75, +3.35 mm	30.0	15.0
-3.35, +2.36 mm	40.0	20.0
-2.36, +2.00 mm	50.0	25.0
-2.00, +1.00 mm	60.0	30.0
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	200.0	100

Πίνακας Β.12.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΚΠ5 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

<b>ΔΕΙΓΜΑ ΚΠ5</b>	<b>ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: MIXED</b>	
<b>ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ (mm)</b>	<b>ΒΑΡΟΣ (γρ.)</b>	<b>% κ. β.</b>
-5.60, +4.75 mm	20.0	10.0
-4.75, +3.35 mm	30.0	15.0
-3.35, +2.36 mm	40.0	20.0
-2.36, +2.00 mm	50.0	25.0
-2.00, +1.00 mm	60.0	30.0
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	200.0	100

Πίνακας Β.13.: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΠΠ1 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

ΔΕΙΓΜΑ ΠΠ1	ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: MIXED	
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ (mm)	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ. β.
-5.60, +4.75 mm	20.0	10.0
-4.75, +3.35 mm	30.0	15.0
-3.35, +2.36 mm	40.0	20.0
-2.36, +2.00 mm	50.0	25.0
-2.00, +1.00 mm	60.0	30.0
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	200.0	100

Πίνακας Β.14.:Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΠΠ2 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

ΔΕΙΓΜΑ ΠΠ2	ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: MIXED	
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ (mm)	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ. β.
-5.60, +4.75 mm	20.0	10.0
-4.75, +3.35 mm	30.0	15.0
-3.35, +2.36 mm	40.0	20.0
-2.36, +2.00 mm	50.0	25.0
-2.00, +1.00 mm	60.0	30.0
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	200.0	100

Πίνακας Β.15.:Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΠΜ1 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

ΔΕΙΓΜΑ ΠΜ1	ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: MIXED	
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ. β.

<b>ΚΛΑΣΜΑ (mm)</b>		
-5.60, +4.75 mm	20.0	10.0
-4.75, +3.35 mm	30.0	15.0
-3.35, +2.36 mm	40.0	20.0
-2.36, +2.00 mm	50.0	25.0
-2.00, +1.00 mm	60.0	30.0
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	200.0	100

**ΤΕΛΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΔΙΗΘΗΣΗΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ  
ΚΑΤΣΙΓΑΡΟΥ**

Πίνακας Β.16.:Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΤΗ3,1 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.



ΔΕΙΓΜΑ ΤΗ3,1	ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: X – Λ – X	
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ.β
-5.60, +4.75 mm	13.50	6.75
-4.75, +3.35 mm	16.50	8.25
-3.35, +2.36 mm	20.00	10.00
-2.36, +2.00 mm	23.50	11.75
-2.00, +1.00 mm	53.00	26.50
-2.36, +2.00 mm	23.50	11.75
-3.35, +2.36 mm	20.00	10.00
-4.75, +3.35 mm	16.50	8.25
-5.60, +4.75 mm	13.50	6.75
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	200	100

Πίνακας Β.17.:Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΤΗ5,6 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

ΔΕΙΓΜΑ ΤΗ5,6	ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: X – Λ – X	
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ.β
-5.60, +4.75 mm	13.50	6.75
-4.75, +3.35 mm	16.50	8.25
-3.35, +2.36 mm	20.00	10.00
-2.36, +2.00 mm	23.50	11.75
-2.00, +1.00 mm	53.00	26.50
-2.36, +2.00 mm	23.50	11.75
-3.35, +2.36 mm	20.00	10.00
-4.75, +3.35 mm	16.50	8.25
-5.60, +4.75 mm	13.50	6.75
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	200	100

Πίνακας Β.18.:Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΤΗ7,8 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

ΔΕΙΓΜΑ ΤΗ7,8	ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: X – Λ – X	
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ.β
-5.60, +4.75 mm	13.50	6.75
-4.75, +3.35 mm	16.50	8.25

-3.35, +2.36 mm	20.00	10.00
-2.36, +2.00 mm	23.50	11.75
-2.00, +1.00 mm	53.00	26.50
-2.36, +2.00 mm	23.50	11.75
-3.35, +2.36 mm	20.00	10.00
-4.75, +3.35 mm	16.50	8.25
-5.60, +4.75 mm	13.50	6.75
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	200	100

Πίνακας Β.19.:Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΜΤ1,2,3 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

<b>ΔΕΙΓΜΑ ΜΤ1,2,3</b>	<b>ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: Χ – Λ – Χ</b>	
<b>ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ</b>	<b>ΒΑΡΟΣ (γρ.)</b>	<b>% κ.β</b>
-5.60, +4.75 mm	13.50	6.75
-4.75, +3.35 mm	16.50	8.25
-3.35, +2.36 mm	20.00	10.00
-2.36, +2.00 mm	23.50	11.75
-2.00, +1.00 mm	53.00	26.50
-2.36, +2.00 mm	23.50	11.75
-3.35, +2.36 mm	20.00	10.00
-4.75, +3.35 mm	16.50	8.25
-5.60, +4.75 mm	13.50	6.75
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	200	100

Πίνακας Β.20.:Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΚΠ1,2,5 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

<b>ΔΕΙΓΜΑ ΚΠ1,2,5</b>	<b>ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: Χ – Λ – Χ</b>	
<b>ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ</b>	<b>ΒΑΡΟΣ (γρ.)</b>	<b>% κ.β</b>
-5.60, +4.75 mm	13.50	6.75
-4.75, +3.35 mm	16.50	8.25
-3.35, +2.36 mm	20.00	10.00
-2.36, +2.00 mm	23.50	11.75

-2.00, +1.00 mm	53.00	26.50
-2.36, +2.00 mm	23.50	11.75
-3.35, +2.36 mm	20.00	10.00
-4.75, +3.35 mm	16.50	8.25
-5.60, +4.75 mm	13.50	6.75
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	200	100

Πίνακας Β.21.:Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΠΠ1,2 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

<b>ΔΕΙΓΜΑ ΠΠ1,2</b>	<b>ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: Χ – Λ – Χ</b>	
<b>ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ</b>	<b>ΒΑΡΟΣ (γρ.)</b>	<b>% κ.β</b>
-5.60, +4.75 mm	13.50	6.75
-4.75, +3.35 mm	16.50	8.25
-3.35, +2.36 mm	20.00	10.00
-2.36, +2.00 mm	23.50	11.75
-2.00, +1.00 mm	53.00	26.50
-2.36, +2.00 mm	23.50	11.75
-3.35, +2.36 mm	20.00	10.00
-4.75, +3.35 mm	16.50	8.25
-5.60, +4.75 mm	13.50	6.75
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	200	100

#### **ΤΕΛΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΔΙΗΘΗΣΗΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ**

##### **ΚΑΤΣΙΓΑΡΟΥ ΓΙΑ ΑΥΞΗΣΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ**

Πίνακας Β.22.:Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΤΗ1,3 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

<b>ΔΕΙΓΜΑ ΤΗ1,3</b>	<b>ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: Χ – Λ – Χ</b>	
<b>ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ</b>	<b>ΒΑΡΟΣ (γρ.)</b>	<b>% κ.β</b>
-5.60, +4.75 mm	27.00	6.75
-4.75, +3.35 mm	33.00	8.25
-3.35, +2.36 mm	40.00	10.00
-2.36, +2.00 mm	47.00	11.75
-2.00, +1.00 mm	106.00	26.50

-2.36, +2.00 mm	47.00	11.75
-3.35, +2.36 mm	40.00	10.00
-4.75, +3.35 mm	33.00	8.25
-5.60, +4.75 mm	27.00	6.75
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	400	100

Πίνακας Β.23.:Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΤΗ5,6 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

<b>ΔΕΙΓΜΑ ΤΗ5,6</b>	<b>ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: X – Λ – X</b>	
<b>ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ</b>	<b>ΒΑΡΟΣ (γρ.)</b>	<b>% κ.β</b>
-5.60, +4.75 mm	27.00	6.75
-4.75, +3.35 mm	33.00	8.25
-3.35, +2.36 mm	40.00	10.00
-2.36, +2.00 mm	47.00	11.75
-2.00, +1.00 mm	106.00	26.50
-2.36, +2.00 mm	47.00	11.75
-3.35, +2.36 mm	40.00	10.00
-4.75, +3.35 mm	33.00	8.25
-5.60, +4.75 mm	27.00	6.75
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	400	100

Πίνακας Β.24.:Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΤΗ7,8 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

<b>ΔΕΙΓΜΑ ΤΗ7,8</b>	<b>ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: X – Λ – X</b>	
<b>ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ</b>	<b>ΒΑΡΟΣ (γρ.)</b>	<b>% κ.β</b>
-5.60, +4.75 mm	27.00	6.75
-4.75, +3.35 mm	33.00	8.25
-3.35, +2.36 mm	40.00	10.00
-2.36, +2.00 mm	47.00	11.75
-2.00, +1.00 mm	106.00	26.50
-2.36, +2.00 mm	47.00	11.75
-3.35, +2.36 mm	40.00	10.00
-4.75, +3.35 mm	33.00	8.25
-5.60, +4.75 mm	27.00	6.75
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	400	100

Πίνακας Β.25.:Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΜΤ1,2,3 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

ΔΕΙΓΜΑ ΜΤ1,2,3	ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: Χ – Λ – Χ	
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ.β
-5.60, +4.75 mm	27.00	6.75
-4.75, +3.35 mm	33.00	8.25
-3.35, +2.36 mm	40.00	10.00
-2.36, +2.00 mm	47.00	11.75
-2.00, +1.00 mm	106.00	26.50
-2.36, +2.00 mm	47.00	11.75
-3.35, +2.36 mm	40.00	10.00
-4.75, +3.35 mm	33.00	8.25
-5.60, +4.75 mm	27.00	6.75
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	400	100

Πίνακας Β.26.:Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΚΠ1,2,5 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

ΔΕΙΓΜΑ ΚΠ1,2,5	ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: Χ – Λ – Χ	
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ.β
-5.60, +4.75 mm	27.00	6.75
-4.75, +3.35 mm	33.00	8.25
-3.35, +2.36 mm	40.00	10.00
-2.36, +2.00 mm	47.00	11.75
-2.00, +1.00 mm	106.00	26.50
-2.36, +2.00 mm	47.00	11.75
-3.35, +2.36 mm	40.00	10.00
-4.75, +3.35 mm	33.00	8.25
-5.60, +4.75 mm	27.00	6.75
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	400	100

Πίνακας Β.27.:Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος ΠΠ1,2 με το οποίο πληρώθηκε η στήλη.

ΔΕΙΓΜΑ ΠΠ1,2	ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: Χ – Λ – Χ	
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	ΒΑΡΟΣ (γρ.)	% κ.β
-5.60, +4.75 mm	27.00	6.75
-4.75, +3.35 mm	33.00	8.25

-3.35, +2.36 mm	40.00	10.00
-2.36, +2.00 mm	47.00	11.75
-2.00, +1.00 mm	106.00	26.50
-2.36, +2.00 mm	47.00	11.75
-3.35, +2.36 mm	40.00	10.00
-4.75, +3.35 mm	33.00	8.25
-5.60, +4.75 mm	27.00	6.75
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	400	100