



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΩΝ
ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ

Διευθυντής : Σταμπολιάδης Ηλίας

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΣΧΕΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΚΟΚΚΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ
ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗ ΨΑΘΥΡΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΒΑΓΓΕΛΗΣ Α. ΠΕΤΡΑΚΗΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ :

ΣΤΑΜΠΟΛΙΑΔΗΣ Η. ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)
ΑΓΙΟΥΤΑΝΤΗΣ Ζ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΚΟΜΝΙΤΣΑΣ Κ. ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΧΑΝΙΑ 2004

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ως γνωστό η λειοτρίβηση των ορυκτών είναι μια διαδικασία κατανάλωσης ενέργειας χαμηλής απόδοσης. Η ειδική ενέργεια (ενέργεια ανά μονάδα μάζας) που απαιτείται για λειοτρίβηση εξαρτάται από την φύση του ορυκτού καθώς επίσης από το αρχικό και τελικό μέγεθος του προϊόντος. Η σχέση ειδικής ενέργειας και μεγέθους κόκκων έχει εκφραστεί από πολλές θεωρίες και πάντα υπάρχει πεδίο για νέες προσεγγίσεις. Πολύ συζήτηση έχει γίνει κατά πόσο η ενέργεια που απαιτείται για την μείωση του μεγέθους είναι α) ανάλογη της νέας επιφάνειας που δημιουργείται (Rittinger), β) του συνολικού μήκους ρωγμών που συντέλεσαν στη θραύση (Bond), γ) εξαρτάται από την σχέση αρχικού προς τελικού μεγέθους (Kick) και δ) κάποιο ενδιάμεσο στάδιο που εκφράζεται από ένα εκθέτη και που μπορεί να λάβει τιμές που εξαρτώνται από το ορυκτό. Οι παραπάνω θεωρίες αποτελούν μερικές περιπτώσεις της θεωρίας αυτής (Charles, Σταμπολιάδης).

Η παρούσα διατριβή χωρίζεται σε δύο μέρη. Το πρώτο μέρος περιγράφει τα πειραματικά αποτελέσματα λειοτρίβησης μαρμάρου και χαλαζία σε εργαστηριακό ραβδόμυλο ασυνεχούς λειτουργίας χρησιμοποιώντας ράβδους διαφόρων διαμέτρων και εξετάζει την εφαρμογή των παραπάνω θεωριών από τα δεδομένα που προκύπτουν. Το κύριο συμπέρασμα το οποίο βγαίνει είναι ότι τα αποτελέσματα δεν υπακούουν στις θεωρίες των Rittinger, Bond και kick αλλά υπολογίζεται ένας ενδιάμεσος εκθέτης σύμφωνα με τις θεωρίες των Charles και Σταμπολιάδη

Το δεύτερο μέρος της διατριβής εξετάζει την επίδραση της διαμέτρου των ράβδων στη λειοτρίβηση του χαλαζία με διαφορετικά κλάσματα τροφοδοσίας. Το κύριο συμπέρασμα το οποίο βγαίνει είναι ότι οι ράβδοι με μεγάλη διάμετρο είναι αναγκαίες για το χονδρό υλικό τροφοδοσίας και όσο το μέγεθος της τροφοδοσίας μειώνεται μικρότερες ράβδοι μπορεί να χρησιμοποιηθούν. Τελικά η μεγάλης διαμέτρου ράβδοι γίνονται λιγότερο αποδοτικές για μικρότερο μέγεθος υλικού τροφοδοσίας.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αντικείμενο της διατριβής αυτής είναι η μελέτη της σχέσης ενέργειας και μεγέθους κόκκων κατά την λειοτρίβηση ψαθυρών υλικών. Η επιλογή αυτού του θέματος έγινε για να προσεγγίσουμε καλύτερα το θέμα της κατανάλωσης ενέργειας κατά την λειοτρίβηση των υλικών και ιδιαίτερα για να μπορέσουμε να βγάλουμε κάποιο συμπέρασμα για το ποιοι από τους νόμους που έχουν διατυπωθεί εκφράζουν καλύτερα την σχέση ενέργειας και μεγέθους κόκκου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Ηλία Σταμπολιάδη για την βοήθεια που μου προσέφερε καθ'όλη την διάρκεια εκπόνησης της διατριβής, χωρίς την βοήθεια του οποίου δεν θα είχε επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Μέσα από αυτή την διατριβή θα ήθελα να τον ευχαριστήσω και γενικότερα για τις συμβουλές και την μάθηση που μου προσφέρει όλα αυτά τα χρόνια που συνεργαζόμαστε.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιστημονική συνεργάτιδα του Εργαστηρίου Εμπλουτισμού του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Όλγα Παντελάκη, Μηχ. Ορυκτών Πόρων, για την αμέριστη βοήθεια που μου προσέφερε και που ελπίζω να μου προσφέρει.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....6

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....6

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ6

1.2 ΘΡΑΥΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ6

1.2.1 Γενικά.....6

1.2.2 Αντοχή των υλικών.....6

1.2.3 Θεωρίες της θραύσης.....12

1.3 ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ16

1.4 ΕΙΔΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΥΤΗΣ.....17

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....20

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ20

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ20

2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....20

2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ20

2.2.1 Εργαστηριακός θραυστήρας με σιαγόνες20

2.2.2 Εργαστηριακός ραβδόμυλος.....22

2.2.3 Μηχανή κοσκίνισης.....24

2.2.4 Κοκκομετρικός αναλυτής Laser25

2.2.5 Συσκευή μέτρησης ειδικής επιφάνειας.....27

2.2.6 Εργαστηριακός υδροκυκλώνας.....28

2.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ29

2.3.1 Διαδικασία θραύσης.....29

2.3.2 Διαδικασία λειοτρίβησης.....30

2.3.3 Διαδικασία κοσκίνισης.....31

2.3.4 Υδροταξινόμηση.....33

2.3.5 Διάγραμμα ροής.....34

2.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....37

2.4.1 Υπολογισμός κοκκομετρίας.....37

2.4.2 Κατανομές βάρους.....40

2.4.3 Υπολογισμός της κλίσης α49

2.4.4 Υπολογισμός ειδικής επιφάνειας	55
2.4.5 Χρήση B.E.T. και Laser για τον υπολογισμό του μέσου μεγέθους του κλάσματος 0-10 μm	59
2.4.6 Υπολογισμός συνολικής ειδικής επιφάνειας με βάση το B.E.T. και το Laser	63
2.4.7 Χρήση Laser για τον υπολογισμό της κατανομής βάρους του κλάσματος 0-10 μm	64
2.4.8 Υπολογισμός ενέργειας κατά την λειοτρίβηση.....	69
2.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ	79
2.5.1 Αποτελέσματα για το μάρμαρο.....	79
2.5.2 Αποτελέσματα για τον χαλαζία.....	85
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	89
ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ	89
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	89
3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	89
3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	89
3.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	90
3.3.1 Διαδικασία θραύσης.....	90
3.3.2 Διαδικασία λειοτρίβησης.....	91
3.3.3 Διάγραμμα ροής.....	92
3.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	94
3.4.1 Υπολογισμός περιφερειακής επιφάνειας ράβδων.....	94
3.4.2 Περιγραφή αποτελεσμάτων με βάση την κοκκομετρία.....	96
A) Αθροιστικό διερχόμενο βάρος συναρτήσει μεγέθους	96
A.1) Υλικό τροφοδοσίας –8.0+5.6 mm	96
A.2) Υλικό τροφοδοσίας –4.75+3.35 mm	103
A.3) Υλικό τροφοδοσίας –1.7+1.18 mm	110
A.4) Υλικό τροφοδοσίας –0.6+0.425 mm	115
A.5) Επίδραση της διαμέτρου των ράβδων για σταθερό χρόνο λειοτρίβησης	120
B) Ρυθμός θραύσης διαφόρων κλασμάτων.....	123

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.2 ΘΡΑΥΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

1.2.1 Γενικά

Η εφαρμογή εξωτερικών δυνάμεων σε ένα υλικό, μεγαλύτερο από την τιμή αντοχής του το οδηγεί σε θραύση. Η θραύση ξεκινά από τυχόν ρωγμές του υλικού ή στην επαφή δύο διαφορετικών ορυκτολογικών συστατικών που είναι οι επιφάνειες ελάχιστης αντοχής [1].

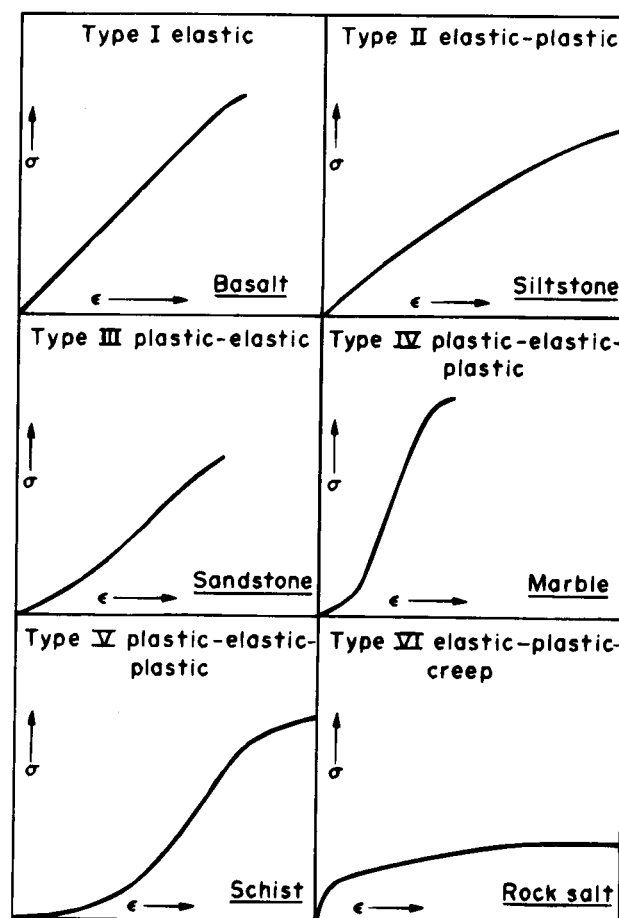
Στον εμπλουτισμό των μεταλλευμάτων μας ενδιαφέρει η ενέργεια ανά μονάδα βάρους που απαιτείται, ώστε από μια τροφοδοσία ενός αρχικού μεγέθους να πετύχουμε το μέγεθος προϊόντος που επιθυμούμε.

1.2.2 Αντοχή των υλικών

Ο συνηθέστερος τρόπος μελέτης της μηχανικής συμπεριφοράς των πετρωμάτων, είναι η υποβολή ενός κυλινδρικής μορφής δοκιμίου του πετρώματος, μήκους 2-3 φορές την διάμετρό του, σε μονοαξονική θλίψη. Στις συνθήκες αυτές το δοκίμιο παραμορφώνεται καθώς η εξωτερική δύναμη αυξάνει. Χαράσσονται στον άξονα των Oy οι τάσεις σ , που είναι το πηλίκο της διαίρεσης της δύναμης F προς την αρχική διατομή A , και στον άξονα των Ox οι ανηγμένες παραμορφώσεις ϵ , που είναι το πηλίκο της παραμόρφωσης ΔL προς το αρχικό μήκος L , οπότε προκύπτει το

διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης (stress-strain curve). Η μορφή του διαγράμματος αυτού εξαρτάται από το υλικό που υποβάλλεται σε μονοαξονική θλίψη. Το σχήμα 1.1 παρουσιάζει τυπικές μορφές καμπυλών που μπορεί να προκύψουν από πειράματα σε διάφορα πετρώματα [2].

Σχήμα 1.1: Χαρακτηριστικά διαγράμματα τάσης-παραμόρφωσης για μερικά πετρώματα.



Όταν ένα υλικό δεν υφίστανται μόνιμες παραμορφώσεις κάτω από την επίδραση εξωτερικών τάσεων και είναι δυνατόν να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση, όταν σταματήσει η εφαρμογή του εξωτερικού φορτίου, τότε το υλικό θεωρείται **ελαστικό** και η καμπύλη τάσεων-παραμορφώσεων χαρακτηρίζεται με έναν από τους ακόλουθους τρόπους (σχήμα 1.2):

- Ένα υλικό χαρακτηρίζεται **γραμμικά ελαστικό (linearly elastic)** όταν η σχέση τάσης-παραμόρφωσης είναι της μορφής:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (\text{Νόμος του Hooke})$$

όπου E μία σταθερά του υλικού που καλείται **μέτρο ελαστικότητας ή μέτρο του Young (Young's modulus)**.

Η γραμμή OF είναι αντιστρεπτή, δηλαδή κατά την βαθμιαία αποφόρτιση του πετρώματος ακολουθείται η ίδια τροχιά.

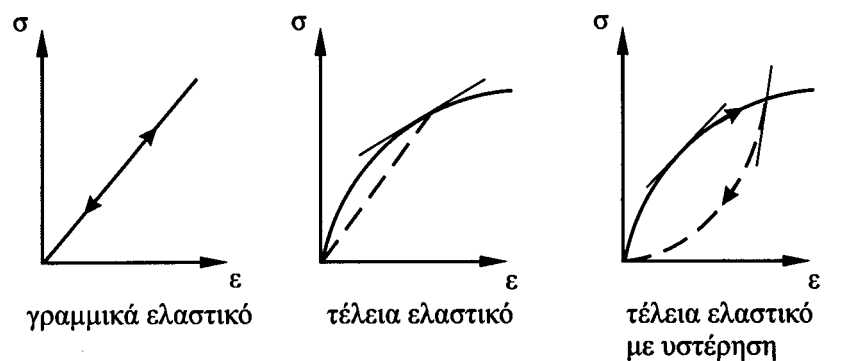
- Ένα υλικό χαρακτηρίζεται **τέλεια ελαστικό (perfectly elastic)** όταν η σχέση τάσης-παραμόρφωσης είναι της μορφής:

$$\sigma = f(\varepsilon)$$

Κατά τη βαθμιαία αποφόρτισή του ακολουθείται η ίδια τροχιά, δηλαδή και αυτό το υλικό έχει αντιστρεπτή συμπεριφορά.

- Ένα τέλεια ελαστικό υλικό θεωρείται ότι παρουσιάζει **υστέρηση (hysteresis)** όταν κατά την αποφόρτισή του ακολουθείται διαφορετική τροχιά στο διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, από αυτή που παρουσιάζεται κατά τη φόρτισή του.

Σχήμα 1.2: Διαγράμματα τάσης-παραμόρφωσης για ιδανικά υλικά, α) γραμμικά ελαστικό, β) τέλεια ελαστικό και γ) τέλεια ελαστικό με υστέρηση



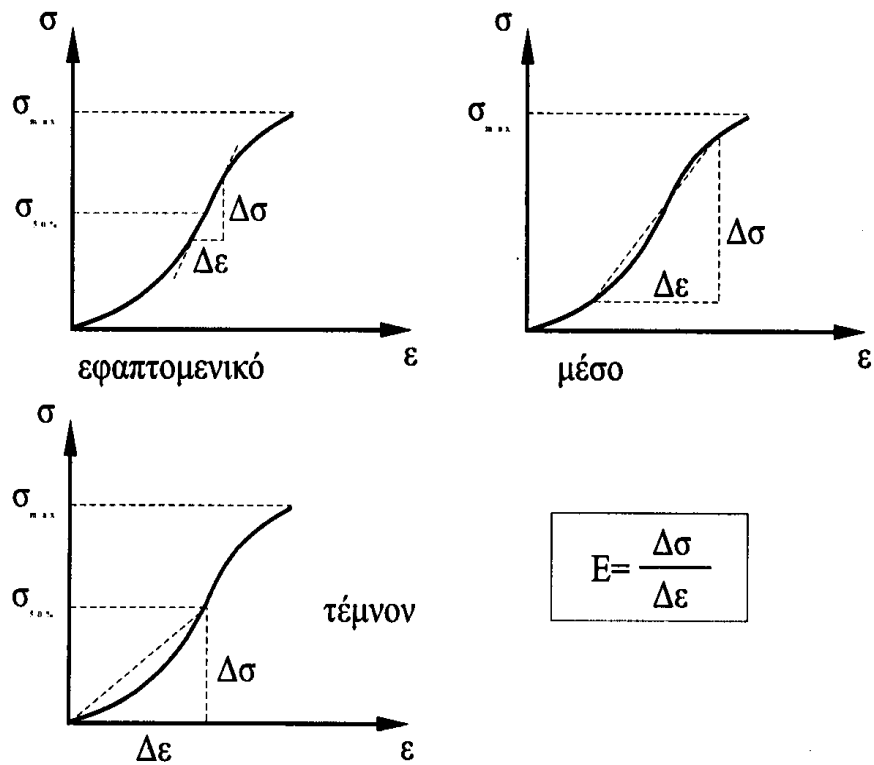
Ένα υλικό χαρακτηρίζεται από **ψαθυρή (brittle) συμπεριφορά** όταν η ικανότητά του να ανθίσταται στο επιβαλλόμενο φορτίο μειώνεται καθώς αυξάνει η παραμόρφωσή του. Η ψαθυρή περιοχή χαρακτηρίζεται από την έναρξη των φαινομένων αστοχίας του υλικού. Το μέγιστο της καμπύλης τάσης-παραμόρφωσης, που αποτελεί το όριο ανάμεσα στην πλαστική και την ψαθυρή περιοχή, είναι μία χαρακτηριστική παράμετρος του υλικού, που ονομάζεται **αντοχή σε θλίψη**, για ορισμένο πλευρικό περιορισμό. Στις περιπτώσεις μονοαξονικών δοκιμών η παράμετρος αυτή ονομάζεται **αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (uniaxial compressive strength)** και συμβολίζεται με σ_c [2].

Στην πράξη έχει επικρατήσει να χαρακτηρίζονται γενικά σαν **όλκιμα** τα υλικά εκείνα που παραμορφώνονται σημαντικά πριν τη θραύση τους, ενώ **ψαθυρά** να καλούνται εκείνα που θραύονται χωρίς να υποστούν σημαντικές παραμορφώσεις. Έτσι τα περισσότερα μέταλλα χαρακτηρίζονται σαν όλκιμα υλικά και τα περισσότερα πετρώματα σαν ψαθυρά υλικά.

Από το διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης, εκτός από την αντοχή σε θλίψη, μπορεί να βρεθεί και το μέτρο ελαστικότητας του υλικού, που υπολογίζεται από την κλίση της καμπύλης τάσης-παραμόρφωσης. Διάφοροι τρόποι υπολογισμού ενός αντιπροσωπευτικού μέτρου ελαστικότητας παρουσιάζονται σχήμα 1.3 [2] :

- Το εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας E_t (**tangent modulus**), που υπολογίζεται από τη σχέση $d\sigma/de$ και αποτελεί την κλίση της καμπύλης σε κάποιο σημείο της, το οποίο δίνεται σαν ποσοστό της μέγιστης τάσης που δέχτηκε το υλικό (π.χ. 50%).
- Το μέσο μέτρο ελαστικότητας E (**average modulus**), που προκύπτει από τη μέση κλίση του πλέον ευθύγραμμου τμήματος της σχέσης τάσης-παραμόρφωσης και υπολογίζεται από τη σχέση $\Delta\sigma/\Delta\epsilon$.
- Το τέμνον μέτρο ελαστικότητας E_s (**secant modulus**), που ορίζεται από την ευθεία που ενώνει τη συμβολή των αξόνων με κάποιο σημείο της καμπύλης, το οποίο δίνεται σαν ποσοστό της μέγιστης τάσης που δέχτηκε το υλικό (π.χ. 50%) και υπολογίζεται από τη σχέση $\Delta\sigma/\Delta\epsilon$.

Σχήμα 1.3 : Υπολογισμός του μέτρου ελαστικότητας του Young από διαγράμματα τάσης-παραμόρφωσης.



1.2.3 Θεωρίες της θραύσης

Βασικές θεωρίες που περιγράφουν τη σχέση ενέργειας και μεγέθους τεμαχίου κατά την κατάτμηση είναι των Rittinger, Bond και Kick, οι θεωρίες των οποίων δεν ανταποκρίνονται άμεσα σε κάποιο συγκεκριμένο φυσικό μηχανισμό κατάτμησης, οπότε δεν δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα [3], αλλά κάθε μία προσεγγίζει συγκεκριμένα μεγέθη και μηχανές κατάτμησης [4]. Επίσης, εργασίες που μελετούν το φαινόμενο αυτό έχουν γίνει από τους J. Charles και H. Σταμπολιάδη.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα εντοπίζεται στο γεγονός ότι το μεγαλύτερο ποσό ενέργειας που απαιτείται για την θραύση ή την λειοτρίβηση απορροφάται από την ίδια την μηχανή κατάτμησης και μόνο ένα μικρό κλάσμα από την συνολική ενέργεια είναι διαθέσιμη για την κατάτμηση του υλικού. Για παράδειγμα σε ένα σφαιρόμυλο έχει διαπιστωθεί ότι μικρότερη από το 1% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται είναι διαθέσιμη για μείωση του μεγέθους των κόκκων, ενώ το μεγαλύτερο ποσό ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα [5].

Ένας άλλος παράγοντας είναι ότι κάποιο υλικό το οποίο χαρακτηρίζεται από πλαστική συμπεριφορά θα καταναλώσει ενέργεια για την αλλαγή του σχήματός του και όχι για την δημιουργία νέων μικρότερων τεμαχιδίων. Όλες όμως οι θεωρίες της θραύσης, δέχονται ότι τα υλικά αυτά είναι ψαθυρά και έτσι η ενέργεια η οποία απορροφάται δεν καταναλώνεται για την δημιουργία επιμήκυνσης ή σμίκρυνσης των κόκκων [5].

Οι θεμελιώδεις θεωρίες που περιγράφουν την σχέση ενέργειας και μεγέθους κόκκων κατά την κατάτμηση είναι των Rittinger, Bond και Kick [4] όπου δίνονται από τις εξισώσεις (1), (2) και (3) αντίστοιχα (Rittinger, 1867, Bond 1952, Kick, 1885):

$$e_{R12} = C_R \cdot \left(\frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} \right) \quad \dots(1)$$

$$e_{B12} = C_B \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{x_2}} - \frac{1}{\sqrt{x_1}} \right) \quad \dots(2)$$

$$e_{K12} = C_K \cdot \log \frac{x_1}{x_2} \quad \dots(3)$$

όπου, e_{12} η ειδική ενέργεια (ενέργεια ανά μονάδα βάρους) για την μείωση από ένα αρχικό μέγεθος x_1 σε τελικό μέγεθος x_2 και C =σταθερά. Οι δείκτες R, B, K αναφέρονται στο όνομα της αντίστοιχης θεωρίας. Στην περίπτωση του Bond το μέγεθος αντιστοιχεί στο 80 % αθροιστικώς διερχόμενο βάρος.

Σε μια προσπάθεια να περιγραφεί το φαινόμενο της κατάτμησης από μια γενική θεωρία όπου θα περιλαμβάνει τις παραπάνω θεωρίες σαν μερικές περιπτώσεις, επινοήθηκε από τους Walker και Shaw (1954) η εξίσωση (4) :

$$d_{ex} = - C \frac{d_x}{x^m} \quad \dots(4)$$

όπου, d_{ex} είναι η απειροελάχιστη ειδική ενέργεια που απαιτείται για να προκληθεί απειροελάχιστη μεταβολή μεγέθους κατά d_x σε ένα τεμάχιο μεγέθους x , ενώ C και m σταθερές >0 . Η ολοκλήρωση της (4) για $m=1$ δίνει την (5), όπου αντιστοιχεί στην εξίσωση του Kick :

$$e_x = -C \cdot \ln x \quad \dots(5)$$

Η ολοκλήρωση για $m \neq 1$ δίνει την (6), όπου αντιστοιχεί στις εξισώσεις του Rittinger και Bond, για $m=2$ και $m=1.5$ αντίστοιχα :

$$e_x = \frac{C}{m-1} \cdot x^{1-m} \quad \dots(6)$$

Όλες οι παραπάνω προτάσεις δεν ανταποκρίνονται σε κάποιο συγκεκριμένο φυσικό μηχανισμό κατάτμησης και θεωρούν ότι το προϊόν της θραύσης ενός κόκκου μεγέθους x είναι ένας μικρότερος κόκκος μεγέθους $x-dx$, χωρίς να γίνεται καμία αναφορά για τον πληθυσμό των κόκκων.

Πρώτος ο Charles (1957) [6] και αργότερα ο Σταμπολιάδης (1996, 2000) [4], [7] θεώρησαν ότι το υλικό αποτελείται από πολλούς κόκκους όπου όλοι μαζί διατηρούν την αρχική μάζα και μετά από κάθε στάδιο κατάτμησης ακολουθούν πάντα ένα **συγκεκριμένο τύπο κατανομής** που περιγράφεται από τον τύπο **G.G.S.**. Ο τύπος της κατανομής είναι σταθερός για όλα τα συμβάντα θραύσης και περιγράφεται από την εξίσωση (7) :

$$W = W_0 \cdot \left(\frac{x}{y} \right)^a \quad \dots(7)$$

Όπου W η αθροιστική μάζα των τεμαχίων μεγέθους μικρότερου του x , W_0 η συνολική μάζα του υλικού, y το μεγαλύτερο μέγεθος του τεμαχίου (size modulus) και a μια σταθερά >0 που καθορίζει την κατανομή (distribution modulus).

Ο Charles χρησιμοποιώντας την εξίσωση (6) κατάληξε στην εξίσωση (8) όπου οι νόμοι των Rittinger και Bond αποτελούν μερικές περιπτώσεις, όπως και στην εξίσωση (6). Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι η (8) αναφέρεται σε ένα πληθυσμό κόκκων με μέγεθος 0 έως K , ενώ η (6) αναφέρεται σε ένα μέγεθος κόκκου.

$$e_k = \frac{C \cdot a}{(m-1) \cdot (1-m+a)} \cdot K^{1-m} \quad \dots(8)$$

Ο Σταμπολιάδης σε μια προσπάθεια να περιγράψει την σχέση ενέργειας και μεγέθους κόκκων κατά την κατάτμηση κατέληξε στα ίδια αποτελέσματα διατυπώνοντας μια διαφορετική προσέγγιση. Σύμφωνα με το μοντέλο του η κρουστική θραύση δίνει ένα προϊόν που έχει μια κατανομή μεγέθους τεμαχιδίων. Η απαιτούμενη ενέργεια για την δημιουργία καθενός τεμαχιδίου, εκθέτοντας όλη του την επιφάνεια, δίνεται από τον τύπο : $Q_x = (C_s \cdot S_x)^n$ ή $Q_x = (C_s \cdot f)^n \cdot x^{2n}$ όπου: x το μέγεθος του τεμαχιδίου, S_x η εξωτερική του επιφάνεια, f ο συντελεστής επιφάνειας, ενώ C_s και n είναι σταθερές >0 . Η ειδική ενέργεια (ενέργεια ανά μονάδα μάζας) για το ίδιο τεμαχίδιο είναι : $q_x = (C_s \cdot f)^n \cdot x^{2n-3} / (k \cdot \rho)$ όπου : ρ η πυκνότητα του υλικού και k ο συντελεστής όγκου. Θεωρώντας μια κατανομή μεγέθους κατά G.G.S. για τα παραγόμενα τεμαχίδια, η απαιτούμενη ειδική ενέργεια για την παραγωγή ενός συνόλου τεμαχιδίων συνολικής

μάζας W_0 , με χαρακτηριστικό μέγεθος y και χαρακτηριστική κατανομή α δίνεται από τις εξισώσεις (9α) και (9β) ανάλογα με την τιμή του $2n-3+\alpha$:

$$e_y = A \cdot \frac{\alpha}{2n-3+\alpha} \cdot y^{2n-3}, \quad 2n-3+\alpha > 0 \quad \dots(9\alpha)$$

$$e_y = A \cdot \frac{\ln y^\alpha}{y^\alpha}, \quad 2n-3+\alpha = 0 \quad \dots(9\beta)$$

Στην περίπτωση της εξίσωσης (9α) οι νόμοι των Rittinger και Bond παράγονται ως υποπεριπτώσεις για τιμές του n ίσες με 1 και 1.25 αντίστοιχα.

Οι ποσότητες $(1-m)$ και $(1-m+\alpha)$ του Charles αντιστοιχούν στις $(2n-3)$ και $(2n-3+\alpha)$ του Σταμπολιάδη.

Οι τιμές της σταθεράς α (distribution modulus) μπορούν να υπολογιστούν από τις μετρήσεις της κατανομής βάρους κατά μέγεθος των προϊόντων της κατάτμησης ενός υλικού από την γραφική παράσταση του βάρους % αθροιστικώς διερχόμενου σε συνάρτηση με το μέγεθος με συντεταγμένες log-log. Η τιμή του α είναι η κλίση της ευθείας που προκύπτει.

Οι εκθέτες $(2n-3)$ της εξίσωσης (9α) ή $(1-m)$ της εξίσωσης (8) μπορούν να υπολογιστούν από το log-log διάγραμμα της ενέργειας που καταναλώνεται για την παραγωγή ενός συνόλου κόκκων σε συνάρτηση το μέγεθος. Οι εκθέτες αποτελούν την κλίση της προκύπτουσας γραμμής.

1.3 ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ

Κατάτμηση καλείται γενικά η εργασία η οποία διενεργείται για την ελάττωση του μεγέθους των τεμαχιδίων των πετρωμάτων και βιομηχανικών ορυκτών. Ο όρος κατάτμηση περιλαμβάνει όλες τις μεθόδους ελάττωσης του μεγέθους υλικών ανεξαρτήτου αρχικής και τελικής διάστασης των τεμαχιδίων.

Η ελάττωση του μεγέθους δεν γίνεται συνήθως σε ένα στάδιο, αλλά σε περισσότερα. Τα στάδια της κατάτμησης από το αρχικό μέγεθος μέχρι περίπου 10 mm έως 2 mm τα ονομάζουμε θραύση, ενώ για τα πιο λεπτόκοκκα προϊόντα η διαδικασία ονομάζεται λειοτρίβηση ή άλεση. Στον παρακάτω πίνακα 1.1 παρουσιάζονται τα συνήθη στάδια της κατάτμησης [8].

Πίνακας 1.1 : Στάδια κατάτμησης, Μεγέθη τεμαχιδίων τροφοδοσίας και προϊόντων.

Στάδια	Φάσεις	Μέγεθος τεμαχιδίων (mm)	
		Τροφοδοσίας	Προϊόντων
Θραύση	α.Πρωτογενής	1200-200	300-60
	β.Δευτερογενής	250-90	80-25
		100-30	30-8
	γ.Τριτογενής	35-5	10-2
Λειοτρίβηση	α.Χονδρομερής	25-2	1-0.5
	β.Λεπτομερής	10-2	0.5-0.074
	γ.Άλεση	10-2	-0.074 ή -0.040

1.4 ΕΙΔΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΥΤΗΣ

Ειδική επιφάνεια ενός κόκκου ονομάζουμε τη σχέση της εξωτερικής του επιφάνειας προς το βάρος του [9] :

$$s_w = \frac{S}{W} = \frac{S}{V \cdot \rho} = \frac{f \cdot d^2}{K \cdot \rho \cdot d^3}$$

ή

$$s_w = \frac{f}{K \cdot \rho} \cdot \frac{1}{d}$$

όπου f και K είναι οι σταθερές αναλογίας για την επιφάνεια (S) και τον όγκο (V) αντίστοιχα.

Η ειδική επιφάνεια είναι αντιστρόφως ανάλογη της διαμέτρου του κόκκου· όσο μικραίνει ο κόκκος μεγαλώνει η ειδική του επιφάνεια.

Σε ένα σύνολο κόκκων διαφόρων μεγεθών η ειδική επιφάνεια δίνεται από τη σχέση:

$$s_w = \frac{\text{Συνολική Επιφάνεια}}{\text{Συνολικό Βάρος}} = \frac{\Sigma \Delta S}{\Sigma \Delta W}$$

όπου ΔS και ΔW η επιφάνεια και το βάρος των επιμέρους κλασμάτων. Η γνώση της ειδικής επιφάνειας δεν οδηγεί σε συμπεράσματα για την κατανομή των κόκκων, αλλά αποτελεί δείκτη της λεπτότητας του υλικού σε σύνολο.

Η ειδική επιφάνεια ενός κοκκώδους υλικού μπορεί να μετρηθεί ή να υπολογιστεί με τους ακόλουθους τρόπους :

Υπολογισμός από την Κατανομή κατά Μέγεθος

Κατανομή βάρους κατά μέγεθος

Εάν είναι γνωστή η κατανομή βάρους των κόκκων κατά κλάσμα μεγέθους, τότε η ειδική επιφάνεια υπολογίζεται :

$$s_w = \frac{\Sigma \Delta S}{\Sigma \Delta W} = \frac{f}{K \cdot \rho} \cdot \frac{\Sigma (\Delta W/D)}{\Sigma \Delta W}$$

όπου ΔW το βάρος του κλάσματος με μέσο μέγεθος D .

Κατανομή αριθμού κόκκων κατά μέγεθος

Εάν η μέτρηση γίνεται με μικροσκόπιο ή άλλη μέθοδο που μετρά τον αριθμό των κόκκων στα διάφορα κλάσματα μεγέθους, τότε η ειδική επιφάνεια μπορεί να υπολογιστεί :

$$s_w = \frac{\Sigma \Delta S}{\Sigma \Delta W} = \frac{f}{K \cdot \rho} \cdot \frac{\Sigma (D^2 \cdot \Delta N)}{\Sigma (D^3 \cdot \Delta N)}$$

όπου ΔN ο αριθμός των κόκκων στο κλάσμα με μέσο μέγεθος D .

Υπολογισμός από την απορρόφηση αερίων, μέθοδος B.E.T.

Η ειδική επιφάνεια ενός δείγματος σκόνης μπορεί να μετρηθεί από την απορρόφηση κάποιου αερίου που γίνεται πάνω στην επιφάνεια των κόκκων.

Η ποσότητα του αερίου που απαιτείται για τον σχηματισμό μονομοριακού στρώματος στην επιφάνεια συμβολίζεται με n_m . Οι Brunauer, Emmett και Teller (B.E.T.) έδωσαν την εξίσωση που συνδέει την ποσότητα n με την πίεση :

$$\frac{P}{n(P_0/P - 1)} = \frac{1}{n_m \cdot C} + \frac{C-1}{n_m \cdot C} \cdot (P/P_0)$$

όπου n η ποσότητα του αερίου που απορροφάται σε πίεση P και θερμοκρασία στην οποία η τάση ατμών του υγρού αερίου είναι P_0 και C = σταθερά.

Σύμφωνα με την εξίσωση αυτή, όταν τα πειραματικά δεδομένα τοποθετηθούν σε ένα διάγραμμα $\frac{P}{n(P_0/P-1)}$ ως προς P/P_0 θα προκύψει ευθεία γραμμή με

$$\text{κλίση} = \frac{C-1}{n_m \cdot C}$$

και $\text{τεταγμένη επί της αρχής} = \frac{1}{n_m \cdot C}$

Από τις παραπάνω σχέσεις είναι δυνατόν να υπολογιστεί η τιμή της σταθεράς C και η ποσότητα n_m του αερίου που απαιτείται για τον σχηματισμό μονομοριακού στρώματος στην επιφάνεια, σύμφωνα με τις σχέσεις :

$$n_m = \frac{1}{\text{κλίση} + 1}$$

και $C = \frac{\text{κλίση}}{\text{τεταγμένη επί της αρχής}} + 1$

Από την ποσότητα n_m μπορεί να υπολογιστεί η ειδική επιφάνεια του στερεού από την σχέση :

$$S = n_m \cdot a_m \cdot N_{AV}$$

όπου S : η ειδική επιφάνεια του στερεού, m^2 / g

n_m : η ποσότητα προσροφημένης ουσίας σε ένα συμπληρωμένο μονομοριακό στρώμα, mole ανά g στερεού

a_m : η μέση επιφάνεια που κατέχει ένα προσροφημένο μόριο στο μονομοριακό στρώμα, $m^2 / \text{μόριο}$

N_{AV} : η σταθερά Avogadro, $6.023 \cdot 10^{23}$ μόρια / mole.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το πειραματικό μέρος της παρούσας εργασίας χωρίζεται σε δύο μέρη. Κατά το πρώτο μέρος τα υλικά αφού θραύστηκαν πρωτογενώς και δευτερογενώς σε θραυστήρα με σιαγόνες για τη λήψη δείγματος τροφοδοσίας του ραβδόμυλου, υπέστησαν ξηρή λειοτρίβηση για διάφορους χρόνους. Το υλικό τροφοδοσίας ήταν 1 kg και χρησιμοποιήθηκαν ράβδοι διαφόρων διαμέτρων όπου ζύγιζαν συνολικά 8.6 kg. Ως υλικά χρησιμοποιήθηκαν χονδροκρυσταλλικό μάρμαρο από την Νάξο και χαλαζίας από την Άσσηρο του νομού Θεσσαλονίκης.

2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

2.2.1 Εργαστηριακός θραυστήρας με σιαγόνες

Η θράυση των υλικών του μαρμάρου και του χαλαζία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης με τη βοήθεια σιαγονωτού θραυστήρα (Jaw crusher). Ο θραυστήρας με σιαγόνες είναι τύπου FRITSCH pulverisette 1 (Type 01.703, No 1888, 380/220 volt, 2.2 KW). Το εσωτερικό του τμήμα είναι κατασκευασμένο από σιδηρόκρμα Ni-Cr (εικόνα 2.1).

Αποτελείται από μια ακίνητη επιφάνεια, σχεδόν κατακόρυφη, απέναντι στην οποία βρίσκεται μια δεύτερη, κινητή επιφάνεια υπό γωνία. Η κίνηση της δεύτερης επιφάνειας συνθλίβει τα σώματα που βρίσκονται μεταξύ των δύο επιφανειών, που ενεργούν σαν είδος σιαγόνων.

Το άνοιγμα στο πάνω μέρος των σιαγόνων καθορίζει το μέγεθος των τεμαχίων της τροφοδοσίας, ενώ το άνοιγμα στο κάτω μέρος καθορίζει το μέγεθος του προϊόντος που δεν είναι σταθερό. Ο θραυστήρας τύπου FRITSCH pulverisette 1 διαθέτει πέντε θέσεις που αντιστοιχούν σε πέντε διαφορετικά ανοίγματα αποκένωσης. Στον πίνακα 2.1 παρουσιάζονται 1) το μέγεθος των μέγιστων και των ελάχιστων τιμών του ανοίγματος αποκένωσης δ για κάθε θέση του σπαστήρα, 2) η μέση τιμή του ανοίγματος αποκένωσης και 3) η σχέση του μέσου κάθε ανοίγματος ως προς το μέσο του μέγιστου ανοίγματος αποκένωσης στη θέση 5, όπου ονομάζεται σχέση ανοίγματος [1].

Πίνακας 2.1 : Το χαρακτηριστικό άνοιγμα αποκένωσης δ για κάθε θέση του εργαστηριακού σπαστήρα με σιαγόνες.

<i>Θέση</i>	<i>5</i>	<i>4</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>1</i>
<i>$\delta_{max-min} (mm)$</i>	15-9	12-6	9-4	5-2	3-1
<i>$\delta_{avg} (mm)$</i>	12.0	9.0	6.5	3.5	2.0
<i>Σχέση ανοίγματος</i>	1.00:1	1.33:1	1.85:1	3.43:1	6.00:1

Εικόνα 2.1 : Εργαστηριακός θραυστήρας με σιαγόνες τύπου FRITSCH pulverisette 1.



2.2.2 Εργαστηριακός ραβδόμυλος

Οι ραβδόμυλοι μαζί με τους σφαιρόμυλους αποτελούν τις κυριότερες μηχανές λειοτριβήσεως και στηρίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας. Λειτουργούν το μέταλλευμα δια πτώσεως και κυλίσεως των μέσων λειοτριβήσεως που περιέχουν. Αποτελούνται από ένα κυλινδρικό κέλυφος που στηρίζεται στα δύο άκρα και περιστρέφεται περί τον άξονά του. Οι κυριότερες δυνάμεις που ασκούνται επί των κόκκων του μεταλλεύματος είναι οι δυνάμεις κρούσης, από την ελεύθερη πτώση των ράβδων ή σφαιρών και τριβής, που δημιουργούνται με την κύλιση των ράβδων ή σφαιρών μεταξύ τους (Σταμπολιάδης, 2001).

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε εργαστηριακός ραβδόμυλος ασυνεχούς λειτουργίας τύπου Sepor (Batch rod mill, εικόνα 2.2), ο οποίος συνοδεύεται με ένα σύστημα τριών περιστρεφόμενων κυλίνδρων (Sepor drive rolls, εικόνα 2.3) με τη

βοήθεια του οποίου ο μύλος μπορούσε να περιστραφεί γύρω από τον άξονά του. Τα χαρακτηριστικά του εργαστηριακού ραβδόμυλου που χρησιμοποιήθηκε είναι:

- Εσωτερική διάμετρος mm 203
- Εσωτερικό μήκος mm 235
- Επιτρεπόμενη συχνότητα περιστροφής 47-79 RPM
- Καθαρή ισχύς Watt 20
- Ισχύς κινητήρα HP 0.50

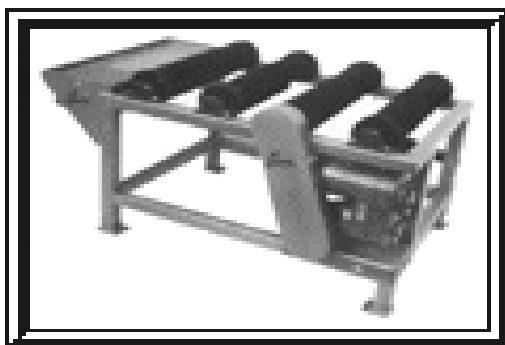
Τα χαρακτηριστικά των ράβδων που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- Μήκος mm 229
- Διάμετρος mm 19, 16, 14, 13
- Πλήθος 9, 2, 5, 7
- Βάρος kg 4.73, 0.73, 1.47, 1.61
- Συνολικό βάρος kg 8.55

Εικόνα 2.2 : Εργαστηριακός ραβδόμυλος τύπου Sepor.



Εικόνα 2.3 : Μονάδα περιστρεφόμενων κυλίνδρων για εργαστηριακό μύλο.



2.2.3 Μηχανή κοσκίνισης

Για την μέτρηση της κοκκομετρικής κατανομής των υλικών, που αναφέρεται λεπτομερειακά σε επόμενο κεφάλαιο, τα υλικά μάρμαρο και χαλαζίας κοσκινίστηκαν χρησιμοποιώντας εργαστηριακό δονητή κόσκινων τύπου RETSCH VE 1000.

Η εργαστηριακή μηχανή κοσκίνισης VE 1000 είναι ένα μοντέρνο υψηλής απόδοσης προϊόν της εταιρείας RETSCH σχεδιασμένο σύμφωνα με τις τελευταίες τεχνολογίες. Τα κυριότερα μέρη από τα οποία αποτελείται είναι :

- Ένα σύστημα χρονομέτρησης το οποίο επιτρέπει κοσκίνιση από 1 έως 99 λεπτά διακοπτόμενης ή συνεχής λειτουργίας.
- Ένα σύστημα δόνησης το οποίο παρέχει δυνατότητα ρύθμισης του εύρους δόνησης από 0 έως 3 mm και
- Ένα σύνολο εξαρτημάτων τα οποία συγκρατούν τα κόσκινα το ένα κάτω από το άλλο.

Η κοσκίνιση των υλικών έγινε χρησιμοποιώντας τυποποιημένα κόσκινα ASTM (RETSCH, 5657 Haan W.Germany) διαμέτρου Φ200 mm και βάθους 50 mm, ενώ το εύρος δόνησης της μηχανής που επιλέχτηκε ήταν 0.60 mm.

2.2.4 Κοκκομετρικός αναλυτής Laser

Ο αναλυτής Mastersizer S της Malvern (εικόνα 2.4) χρησιμοποιήθηκε για να μετρηθούν τα προϊόντα της ταξινόμησης των υλικών με υδροκυκλώνα της Mozzley.

Ο Mastersizer S αναλυτής είναι ένα σύστημα με 2mW ισχύς He/Ne laser που χρησιμοποιείται για να υπολογίζει την κατανομή κατά μέγεθος του προς ανάλυση υλικού. Η αρχή λειτουργίας του οργάνου βασίζεται στην εκτροπή των ακτίνων laser, όταν αυτές προσπίπτουν σε κόκκους. Η γωνία εκτροπής εξαρτάται από το μέγεθος του κόκκου και συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερο το μέγεθος, τόσο μικρότερη η γωνία και αντίστροφα. Οι βασικές μονάδες από τις οποίες αποτελείται ο αναλυτής είναι :

A) Οπτική μονάδα μέτρησης (optical measurement unit)

Η Mastersizer οπτική μονάδα μέτρησης περιλαμβάνει τα ακόλουθα μέρη:

- *Πομπό (transmitter)*, που περιλαμβάνει τη μονάδα του laser
- *Δέκτη (receiver)*, που περιλαμβάνει τη μονάδα του ανιχνευτή
- *Περιοχή κάλυψης του δείγματος (sample area cover)*, που περιλαμβάνει το κελί μέτρησης και
- *Φακό (range lens)*. Ο φακός που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο 300 RF που αναλύει κόκκους με μέγεθος από 0.05-880 μm .

B) Μονάδα αιώρησης του δείγματος (sample suspension unit)

Η μονάδα αυτή διασπείρει το υλικό και είναι κατάλληλη για την μέτρηση της πλειοψηφίας των υλικών. Το σύστημα χρησιμοποιεί 1 lt νερό μέσα στο οποίο το υπό μέτρηση υλικό είναι διασπαρμένο.

Περιλαμβάνει, επίσης, ένα σύστημα υπερήχων και ανάδευσης για την διασπορά των συνεκτικών υλικών και για την αποφυγή της κροκίδωσης των κόκκων.

Κατά την διαδικασία της μέτρησης ο πολφός με τη βοήθεια μιας αντλίας κυκλοφορεί συνεχώς μεταξύ του κελιού μέτρησης και της δεξαμενής (sample suspension unit).

Γ) Σύστημα υπολογιστή

Ο αναλυτής Laser περιλαμβάνει, ένα σύστημα υπολογιστή (DTK computer) ο οποίος είναι συμβατός με το λειτουργικό πρόγραμμα της Malvern, και έναν εκτυπωτή HP Deskjet 600 ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την εκτύπωση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης.

Εικόνα 2.4 : Ο κοκκομετρικός αναλυτής Mastersizer S της Malvern.



Δ) Λειτουργικό πρόγραμμα της Malvern

2.2.5 Συσκευή μέτρησης ειδικής επιφάνειας

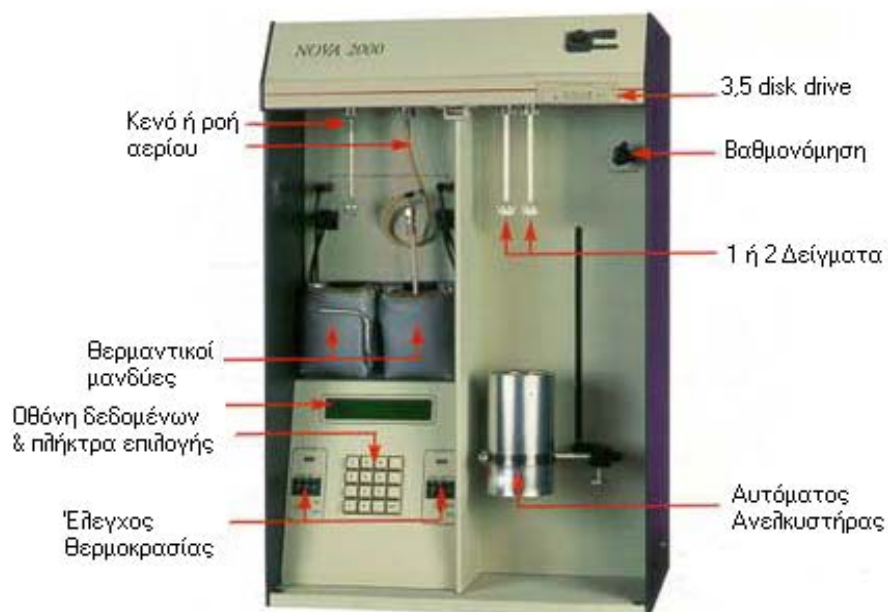
Στα πλαίσια αυτής της εργασίας προσδιορίστηκε η ειδική επιφάνεια των προϊόντων της υπερχειλίσης, O/F, του υδροκυκλώνα. Ο προσδιορισμός έγινε με την μέθοδο της προσρόφησης αερίων (B.E.T.), ενώ η συσκευή η οποία χρησιμοποιήθηκε ήταν τύπου NOVA 2200 της εταιρείας Quantachrome (εικόνα 2.5). Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες χαρακτηριστικές λεπτομέρειες λειτουργίας της συσκευής.

- Χρησιμοποιεί ενισχυμένο αναλυτή, κατάλληλο για ποικίλες εφαρμογές.
- Χαρακτηριστική είναι η χρήση των περισσότερων μη-διαβρωτικών αερίων όπως το αργό, το διοξείδιο του άνθρακα και οι ελαφροί υδρογονάνθρακες, σε ένα ευρύ φάσμα των θερμοκρασιών.
- Διαθέτει πλήρως αυτοματοποιημένη λειτουργία που ελέγχεται από έναν ισχυρό, εσωτερικό μικροεπεξεργαστή.
- Είναι ιδανικό για την ανάπτυξη της διαδικασίας και τον ποιοτικό έλεγχο.
- Διαθέτει λειτουργική απλότητα- το σύστημα παραδίδεται πλήρες και έτοιμο για λειτουργία.
- Διαθέτει δύο ενσωματωμένους, ελεγχόμενους μικροεπεξεργαστές.
- Εύκαμπτη λειτουργία-ανεξάρτητος τύπος ανάλυσης για κάθε ένα σταθμό.
- Παρέχει ταχύτητα και ακρίβεια- π.χ. η πολυσημειακή ανάλυση B.E.T. εκτελείται σε 8 λεπτά.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την χρήση του εξοπλισμού είναι :

- Υπολογισμός της ειδικής επιφάνειας από την πολυσημειακή ανάλυση (multi-point) B.E.T., όπως προβλέπεται από τη θεωρία.

Εικόνα 2.5 : Η συσκευή μέτρησης της ειδικής επιφάνειας NOVA 2000.



2.2.6 Εργαστηριακός υδροκυκλώνας

Η υδροταξινόμηση των υλικών έγινε με τη βοήθεια υδροκυκλώνα 2" της εταιρείας Mozley (εικόνα 2.6). Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται το σύστημα υδροταξινόμησης (Hydrocyclone test rig) είναι:

- *Αντλία πολφού (pump)* , η οποία χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του υλικού με δυνατότητα παροχής έως 4 m³/h.
- *Δοχείο τροφοδοσίας (sump)*, χωρητικότητας 40 lt.
- *Μετρητή πίεσης (pressure gauge)*, κλίμακας 0-150 psi.
- *Υδροκυκλώνα (hydrocyclone)*, όπου υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησης πέντε διαμέτρων αποροής , 2.2, 3.2, 4.5, 6.4 και 9.4 mm.
- *Σωλήνα υπερχείλισης (overflow pipe)*.
- *Βαλβίδα τροφοδοσίας (hydrocyclone feed valve)* και

- Βαλβίδα ανακύκλωσης (*by-pass valve*).

Οι κυριότεροι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ταξινόμηση με υδροκυκλώνα είναι :

- Η πίεση εισόδου της τροφοδοσίας
- Η παροχή τροφοδοσίας
- Η περιεκτικότητα του πολφού σε στερεά
- Η διάμετρος του οδηγού υπερχειλίσσης (*vortex finder*)
- Η διάμετρος του οδηγού απορροής (*spigot*)
- Το ειδικό βάρος των στερεών τροφοδοσίας
- Το μήκος του κυκλώνα σε σχέση με τη διάμετρό του

Η εικόνα 2.7 παρουσιάζει την επίδραση της πίεσης εισόδου (*inlet pressure, psi*) στην παροχή σε νερό (*throughput, m³/h*) για τρεις διαμέτρους οδηγών υπερχειλίσσης (*vortex finder*).

2.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

2.3.1 Διαδικασία θραύσης

Στο Εργαστήριο Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης θραύστηκαν πρωτογενώς δείγματα μαρμάρου από την περιοχή της Νάξου και χαλαζία από την περιοχή της Ασσήρου. Η συνολική ποσότητα που θραύστηκε για κάθε υλικό ήταν της τάξης των 20 kg.

Αρχικά το κάθε υλικό θραύστηκε στο σιαγονωτό σπαστήρα στο μέγιστο άνοιγμα αποκένωσης θραυστήρα (θέση 5). Το προϊόν θραύσης ομογενοποιήθηκε και με τη βοήθεια του διαχωριστή Jones, λάβαμε το $\frac{1}{2}$ του δείγματος (βάρους περίπου 10 kg), ενώ το υπόλοιπο $\frac{1}{2}$ αποθηκεύτηκε. Στη συνέχεια το εναπομείναν δείγμα κοσκινίστηκε, όπως περιγράφεται σε επόμενο κεφάλαιο, για την μέτρηση της κοκκομετρικής κατανομής των προϊόντων που έχουν προκύψει από την πρωτογενή

θραύση. Τα μεγέθη των βρόγχων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ήταν 26.50, 19.0, 13.20, 1.20, 6.70, 4.75, 3.35, 2.36, 1.70, 1.18, 0.850, 0.600, 0.425 και 0.300 mm.

Στη συνέχεια το υλικό θραύστηκε δευτερογενώς στο σιαγονωτό σπαστήρα σε μικρότερο άνοιγμα αποκένωσης θραυστήρα (θέση 1).

Το τελικό προϊόν του θραυστήρα ήταν ομοιογενές, λόγω της μικρής του κοκκομετρίας, οπότε με τη βοήθεια του διαχωριστή Jones ελήφθησαν δείγματα αντιπροσωπευτικά του συνόλου για τη συνέχιση της διαδικασίας.

2.3.2 Διαδικασία λειοτρίβησης

Στο Εργαστήριο Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης, όπως αναφέρθηκε, έγινε πρωτογενή και δευτερογενή θραύση των υλικών (μάρμαρο και χαλαζίας). Τελικά ελήφθησαν 6 δείγματα του 1 kg από κάθε υλικό τα οποία χαρακτηρίζονται από παρόμοια κοκκομετρική σύνθεση.

Κάθε ένα τέτοιο δείγμα βάρους 1 kg εισήχθη στον ραβδόμυλο και λειοτριβήθηκε για διαφορετικούς χρόνους. Οι χρόνοι που επιλέχθηκαν για την λειοτρίβηση των υλικών ήταν 0, 2.5, 5, 10, 20 και 40 min. Ο χρόνος 0 min αντιστοιχεί στο αρχικό δείγμα τροφοδοσίας του ραβδόμυλου.

Το προϊόν λειοτρίβησης κοσκινίζεται στο κόσκινο 0.300 mm, εν υγρώ (**υγρή κοσκίνιση Α**) για την απομάκρυνση των ψιλών υλικών. Κατά την διαδικασία αυτή το δείγμα τοποθετήθηκε επί του συγκεκριμένου κόσκινου και με την προσθήκη νερού ξεπλύθηκε από τα κλάσματα με μέγεθος κόκκων μικρότερο των 0.300 mm. Το κλάσμα κόκκων με μέγεθος μεγαλύτερο από 0.300 mm ξηράθηκε στον εργαστηριακό φούρνο ενώ ο πολφός με μέγεθος κόκκων μικρότερο από 0.300 mm χρησιμοποιήθηκε για περαιτέρω επεξεργασία.

Το δείγμα το οποίο λάβαμε μετά την διαδικασία της ξήρανσης (κλάσμα + 0.300 mm) κοσκινίστηκε εν ξηρώ (**ξηρή κοσκίνιση Α**) για την μέτρηση της κοκκομετρικής του κατανομής. Τα κόσκινα τα οποία χρησιμοποιήσαμε ήταν 4.75, 3.35, 2.36, 1.7, 1.18, 0.850, 0.600, 0.425 και 0.300 mm. Από την παραπάνω κοσκίνιση το υλικό με μέγεθος

Μεταπτυχιακή διατριβή : Ευάγγελος Πετράκης 30

κόκκων μικρότερο από 0.300 mm φυλάχτηκε και χρησιμοποιήθηκε σε επόμενη διαδικασία.

Ο πολφός με μέγεθος κόκκων μικρότερο από 0.300 mm κοσκινίστηκε, εν υγρώ (**υγρή κοσκίνιση B**) στο κόσκινο 0.038 mm. Κατά την διαδικασία αυτή λάβαμε δύο κλάσματα. Ένα κλάσμα με μέγεθος κόκκων μεγαλύτερο από 0.038 mm και ένα κλάσμα με μέγεθος κόκκων μικρότερο από 0.038 mm.

Το πρώτο κλάσμα (κλάσμα + 0.038 mm) ξηράθηκε στον εργαστηριακό φούρνο και ακολούθησε ξηρή κοσκίνιση (**ξηρή κοσκίνιση B**). Η ξηρή κοσκίνιση έγινε προσθέτοντας στο κλάσμα αυτό και το κλάσμα με μέγεθος κόκκων μικρότερο από 0.300 mm που λάβαμε από την ξηρή κοσκίνιση A . Τα κόσκινα τα οποία χρησιμοποιήσαμε ήταν 0.300, 0.212, 0.150, 0.106, 0.075, 0.053 και 0.038 mm . Το κλάσμα με μέγεθος κόκκων μικρότερο από 0.038 χρησιμοποιήθηκε για περαιτέρω επεξεργασία .

Ο πολφός που λάβαμε κατά την υγρή κοσκίνιση B, κλάσμα -0.038 mm, οδηγήθηκε σε υδροκυκλώνα διαμέτρου 2" όπου πήραμε δύο προϊόντα. Ένα δείγμα πολφού από την υπερχειλίση, O/F, και ένα δείγμα πολφού από την απορροή, U/F .

Το δείγμα της υπερχειλίσης, O/F, ξηράθηκε, μετρήθηκε η ειδική του επιφάνεια με τη μέθοδο B.E.T. και η κοκκομετρική του κατανομή με τον αναλυτή Mastersizer S της Malvern. Με αυτή την τελευταία διαδικασία βρέθηκε ότι η κοκκομετρική κατανομή του O/F του κυκλώνα είναι πρακτικά - 0.010 mm.

Τέλος το δείγμα της απορροής, U/F, του κυκλώνα μαζί με το κλάσμα -0.038 mm που λάβαμε κατά την ξηρή κοσκίνιση B, ενώθηκαν και ομογενοποιήθηκαν για να μετρηθούν στον κοκκομετρικό αναλυτή Mastersizer S της Malvern.

2.3.3 Διαδικασία κοσκίνισης

Ο διαχωρισμός των υλικών σε κλάσματα διαφόρων μεγεθών πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας κόσκινα το ένα κάτω από το άλλο, των οποίων το άνοιγμα βρόγχου

μειωνόταν από πάνω προς τα κάτω. Η σειρά κόσκινων η οποία χρησιμοποιήθηκε ήταν η Γερμανική ASTM (Retsch, 5657 Haan W.Germany).

Στα προϊόντα των δύο θραύσεων πραγματοποιήθηκε ξηρή κοσκίνιση με την βοήθεια εργαστηριακού δονητή κόσκινων τύπου RETSCH VE 1000. Η σχέση του μεγαλύτερου βρόγχου πλέγματος προς το αμέσως επόμενο μικρότερο ήταν $\sqrt{2}$.

Στο προϊόν της πρωτογενής θραύσης (θέση θραυστήρα 5) πραγματοποιήθηκε κοσκίνιση με μεγέθη βρόγχων 26.50, 19.0, 13.20, 1.20, 6.70, 4.75, 3.35, 2.36, 1.70, 1.18, 0.850, 0.600, 0.425 και 0.300 mm. Τα αποτελέσματα της κοσκίνισης παρουσιάζονται στο παράρτημα Α.1.

Κατά την διαδικασία της κοσκίνισης, το προϊόν το οποίο παίρναμε από κάθε θραύση το βάζαμε πάνω στο μεγαλύτερο κόσκινο, ενώ από κάτω εφαρμόζονταν τα επόμενα κόσκινα, με τέτοια σειρά ώστε το άνοιγμα βρόγχου να μειωνόταν από πάνω προς τα κάτω. Η σειρά τελείωνε σε πυθμένα με το ίδιο σχήμα, αλλά χωρίς βρόγχο, για την συγκράτηση του τελευταίου περάσματος (τελικό πέρασμα). Όλη η σειρά τοποθετούταν στην δονούμενη μηχανή κοσκίνισης για 10 λεπτά ενώ η δόνηση ρυθμιζόταν στα 0.60 mm.

Μετά το πέρας της κοσκίνισης, το υλικό το οποίο είχε συγκρατηθεί από κάθε κόσκινο μεταφερόταν στη ζυγαριά για τη μέτρηση του βάρους του, ενώ τα τεμάχια τα οποία είχαν σφηνωθεί στους βρόγχους απομακρύνονταν με ελαφριά πίεση χρησιμοποιώντας βούρτσες.

Το υπόλειμμα από κάθε κόσκινο και το τελικό διερχόμενο ζυγίζονταν χωριστά και τα αποτελέσματα αθροίζονταν. Το άθροισμα συγκρίνονταν με το βάρος του αρχικού δείγματος, το οποίο δεν έπρεπε να διαφέρει σημαντικά (απόκλιση μικρότερη από 1%) [10].

Μετά την διαδικασία της λειοτρίβησης τα προϊόντα τα οποία πήραμε κοσκινίστηκαν τόσο εν υγρώ όσο και εν ξηρώ (βλ. κεφάλαιο 2.3.2). Η διαδικασία της ξηρής

κοσκίνισης έγινε κατά όμοιο τρόπο όπως περιγράφεται σε αυτό το κεφάλαιο, ενώ η διαδικασία της υγρής κοσκίνισης περιγράφεται ακολούθως.

Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε στο νεροχύτη του Εργαστηρίου Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων. Τοποθετούσαμε μικρή ποσότητα υλικού στο κόσκινο που είχαμε επιλέξει για την υγρή λειοτρίβηση (κόσκινο 0.300 mm ή κόσκινο 0.038 mm), ρίχναμε μικρή ποσότητα νερού στο κόσκινο και με το χέρι ανακατεύαμε το υλικό. Το ψιλό υλικό (υλικό με μέγεθος κόκκων μικρότερο από το χρησιμοποιούμενο κόσκινο) έπεφτε σε δοχείο, ενώ το χονδρό υλικό το τοποθετούσαμε σε ταψί. Η διαδικασία αυτή συνεχιζόταν μέχρι εξάντλησης του προς διαχωρισμό υλικού και στο τέλος λαμβάναμε δύο κλάσματα , ένα με μέγεθος κόκκων μεγαλύτερο και ένα με μέγεθος κόκκων μικρότερο του κόσκινου.

2.3.4 Υδροταξινόμηση

Ο πολφός που λάβαμε κατά την υγρή κοσκίνιση Β, κλάσμα -0.038 mm, οδηγήθηκε σε σύστημα υδροταξινόμησης (Hydrocyclone test rig, βλ. κεφάλαιο 2.2.6) όπου πήραμε δύο προϊόντα. Ένα δείγμα πολφού από την υπερχειλίση, O/F, και ένα δείγμα πολφού από την απορροή, U/F .

Το μέγεθος στο οποίο ταξινομεί (‘‘κόβει’’) ο συγκεκριμένος κυκλώνας (cut point, d_{50}), δηλαδή το μέγεθος κόκκων που έχουν ίση πιθανότητα να οδεύσουν προς την υπερχειλίση ή την απορροή του κυκλώνα είναι μεταξύ 5 και 10 μm .

Η διαδικασία που ακολουθήσαμε προκειμένου να υδροταξινομηθεί το υλικό παρουσιάζεται παρακάτω.

- Τοποθετήσαμε στον υδροκυκλώνα τον οδηγό υπερχειλίσης διαμέτρου 14.3 mm και τον οδηγό απορροής διαμέτρου 3.2 mm.
- Τοποθετήσαμε στο δοχείο τροφοδοσίας καθαρό νερό.

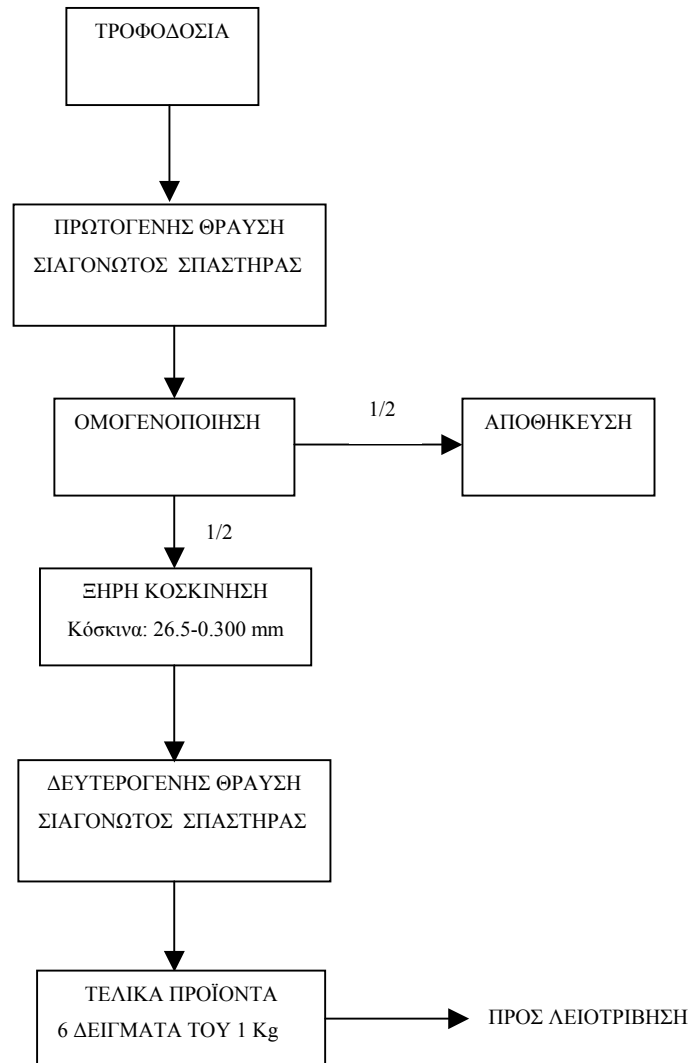
- Κλείσαμε την βαλβίδα τροφοδοσίας του κυκλώνα και ανοίξαμε την βαλβίδα ανακύκλωσης.
- Ξεκινήσαμε τη λειτουργία του μηχανήματος. Ενώ το νερό ανακυκλωνόταν ρίξαμε στο δοχείο τροφοδοσίας τον πολφό που θέλαμε να ταξινομήσουμε. Ο συνολικός όγκος του πολφού στο δοχείο ήταν περίπου 10 lt.
- Ρυθμίσαμε την πίεση τροφοδοσίας στα 25 psi ως εξής:

Ανοίξαμε την βαλβίδα τροφοδοσίας του κυκλώνα και κλείσαμε σιγά-σιγά την βαλβίδα ανακύκλωσης, ώστε η πίεση να ανέλθει στα 25 psi.
- Συγκεντρώσαμε, ταυτόχρονα, δείγματα της υπερχειλίσης, O/F, και της απορροής, U/F, σε δοχεία.
- Ξηράναμε τα δείγματα σε εργαστηριακό φούρνο και μετρήσαμε το βάρος τους.

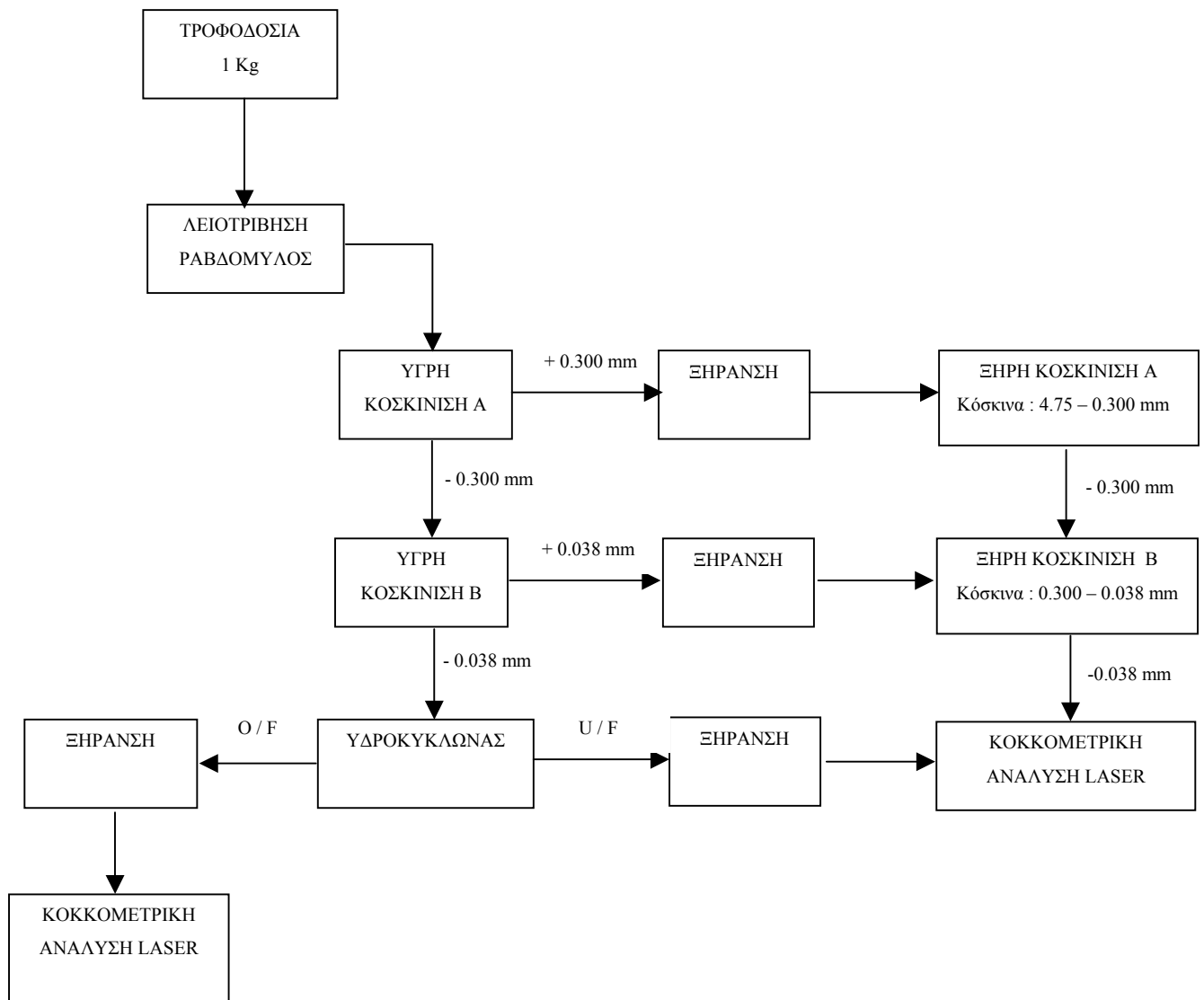
2.3.5 Διάγραμμα ροής

Τα διαγράμματα ροής της θραύσης και λειοτρίβησης, καθώς επίσης και οι επιμέρους διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν κατά το πρώτο μέρος της εργασίας, παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα 2.1 και 2.2:

Σχήμα 2.1: Το διάγραμμα ροής της θραύσης.



Σχήμα 2.2: Το διάγραμμα ροής της λειοτρίβησης.



2.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

2.4.1 Υπολογισμός κοκκομετρίας

Τα αποτελέσματα της κοσκίνισης κατά την διαδικασία της λειοτρίβησης παρουσιάζονται στους πίνακες 2.2M και 2.2X , όπου ο πρώτος πίνακας αντιστοιχεί στο μάρμαρο και ο δεύτερος στον χαλαζία .

Στην στήλη 1 αναγράφεται το μέγεθος του κόσκινου επί του οποίου παρέμεινε το κλάσμα του υλικού σε mm, ενώ στις στήλες 2 έως 7 αναγράφεται το βάρος του κάθε κλάσματος σε g που μετρήσαμε, για κάθε χρόνο λειοτρίβησης. Η στήλη 2 αντιστοιχεί στο αρχικό υλικό τροφοδοσίας του ραβδόμυλου.

Από αυτούς τους πίνακες οι γραμμές 1 έως 11 αφορούν τα αποτελέσματα της ξηρής κοσκίνισης Α, οι γραμμές 12 έως 20 αφορούν την ξηρή κοσκίνιση Β και οι γραμμές 21 και 22 αφορούν τα αποτελέσματα της υδροταξινομήσης των υλικών με υδροκυκλώνα.

Επίσης, αναγράφονται τα μερικά σύνολα των κλασμάτων. Πιο συγκεκριμένα, οι γραμμές 10 αντιστοιχούν στο συνολικό βάρος του υλικού με μέγεθος κόκκων μεγαλύτερο από 0.300 mm (κλάσμα $-4.75+0.300$ mm) και οι γραμμές 20 αντιστοιχούν στο συνολικό βάρος του υλικού με μέγεθος κόκκων μικρότερο από 0.300 mm, όπου λάβαμε από τις δύο ξηρές κοσκινίσεις. Επίσης, οι γραμμές 23 αντιστοιχούν στο συνολικό βάρος του υλικού που υδροταξινομήθηκε (U/F+O/F).

Εάν αθροίσουμε τα μερικά σύνολα των κλασμάτων (σύνολο Α + σύνολο Β + σύνολο Γ) τότε προκύπτει το συνολικό βάρος του υλικού, το οποίο αναγράφεται στις γραμμές 24.

Από το ισοζύγιο μάζας καταλαβαίνουμε ότι τα βάρη των γραμμών 24 θα έπρεπε ιδανικά να είναι ίσα με τα αρχικά βάρη τροφοδοσίας του ραβδόμυλου, δηλ. 1000 g.

Πίνακας 2.2Μ : Πίνακας κοκκομετρικής ανάλυσης για το υλικό μάρμαρο.

		Βάρος (g)						
	Μέγεθος mm	0 min	2.5 min	5 min	10 min	20 min	40 min	
	1	2	3	4	5	6	7	
1	4.750	14.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	ΕΙΡΗ ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ Α
2	3.350	55.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
3	2.360	76.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
4	1.700	78.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	
5	1.180	108.4	7.9	0.1	0.0	0.0	0.0	
6	0.850	86.1	46.1	2.6	0.0	0.0	0.0	
7	0.600	96.2	121.6	33.7	0.2	0.0	0.0	
8	0.425	81.7	152.9	113.0	9.3	0.0	0.0	
9	0.300	64.0	115.7	128.1	70.8	1.2	0.0	
10	Σύνολο Α	660.8	444.5	277.5	80.3	1.2	0.0	
11	-0.300	3.8	53.0	63.4	32.8	0.2	0.0	ΕΙΡΗ ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ Β
12	0.300	0.8	0.3	1.0	1.2	0.0	0.0	
13	0.212	61.0	101.5	130.2	128.5	35.6	0.7	
14	0.150	54.1	90.3	127.6	144.5	132.3	30.3	
15	0.106	37.3	65.1	83.5	104.4	127.4	104.9	
16	0.075	44.2	62.1	89.7	117.0	111.9	102.6	
17	0.053	30.9	50.8	58.7	83.0	114.5	112.4	
18	0.038	17.3	41.1	35.9	48.9	68.2	83.0	
19	-0.038	1.9	4.8	2.8	3.9	5.2	5.0	
20	Σύνολο Β	247.5	416.0	529.4	631.4	595.1	438.9	
21	U/F	49.1	83.5	113.0	145.5	218.1	268.5	
22	O/F	33.4	44.1	62.9	105.5	163.5	262.8	
23	Σύνολο Γ	82.5	127.6	175.9	251.0	381.6	531.3	
24	Σύνολο	990.8	988.1	982.8	962.7	977.9	970.2	

Πίνακας 2.2Μ : Πίνακας κοκκομετρικής ανάλυσης για το υλικό χαλαζία.

		<i>Βάρος (g)</i>					
	<i>Μέγεθος mm</i>	<i>0 min</i>	<i>2.5 min</i>	<i>5 min</i>	<i>10 min</i>	<i>20 min</i>	<i>40 min</i>
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
<i>1</i>	4.750	163.1	30.3	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>2</i>	3.350	215.9	83.8	2.3	0.0	0.0	0.0
<i>3</i>	2.360	153.0	136.8	7.3	0.0	0.0	0.0
<i>4</i>	1.700	114.2	137.1	25.1	0.0	0.0	0.0
<i>5</i>	1.180	104.5	154.4	106.3	1.6	0.0	0.0
<i>6</i>	0.850	58.2	96.0	128.0	12.4	0.0	0.0
<i>7</i>	0.600	51.4	91.8	150.5	75.8	3.2	0.0
<i>8</i>	0.425	35.6	65.8	128.3	148.2	41.8	0.0
<i>9</i>	0.300	24.0	45.5	92.5	135.8	119.8	3.9
<i>10</i>	Σύνολο Α	919.9	841.5	640.3	373.8	164.8	3.9
<i>11</i>	-0.300	10.0	9.0	41.9	46.1	137.4	6.1
<i>12</i>	0.300	0.5	0.5	0.8	1.4	0.8	0.0
<i>13</i>	0.212	19.9	38.1	93.1	136.5	156.2	71.8
<i>14</i>	0.150	14.3	28.5	62.2	119.6	153.3	171.7
<i>15</i>	0.106	9.8	20.4	45.6	91.3	125.6	173.8
<i>16</i>	0.075	8.1	17.2	45.5	70.7	94.0	112.6
<i>17</i>	0.053	6.4	13.3	26.2	52.5	71.0	94.0
<i>18</i>	0.038	5.2	8.8	17.0	36.1	53.0	74.8
<i>19</i>	-0.038	0.9	1.0	2.4	7.2	8.9	10.1
<i>20</i>	Σύνολο Β	65.1	127.8	292.8	515.3	662.8	708.8
<i>21</i>	U/F	7.4	15.7	33.9	62.0	102.3	162.6
<i>22</i>	O/F	4.8	7.8	18.4	33.7	56.3	102.3
<i>23</i>	Σύνολο Γ	12.2	23.5	52.3	95.7	158.6	264.9
<i>24</i>	Σύνολο	997.2	992.8	985.4	984.8	986.2	977.6

ΕΠΡΗ ΚΟΚΚΙΝΙΣΗ Α

ΕΠΡΗ ΚΟΚΚΙΝΙΣΗ Β

Πάντως τα τελικά βάρη (≈ 1000 g) ουσιαστικά προσεγγίζουν τα αρχικά και βρίσκονται μέσα στα πλαίσια του πειραματικού σφάλματος.

Από τους πίνακες 2.2M και 2.2X λαμβάνουμε τους συνολικούς πίνακες κοκκομετρικής ανάλυσης, 2.3M και 2.3X της διαδικασίας της λειοτρίβησης. Στους τελευταίους πίνακες, οι γραμμές 9 (μέγεθος 0.300 mm) προέκυψαν αθροίζοντας τα συγκεκριμένα κλάσματα των δύο κοσκινίσεων και οι γραμμές 16, 17 από το μέγεθος το οποίο ταξινομεί ο κυκλώνας το σημείο το οποίο "κόβει" ο κυκλώνας (cut point, d_{50}) είναι 0.010 mm.

Επίσης, τα βάρη των κλασμάτων που μετρήσαμε για κάθε χρόνο λειοτρίβησης μπορούμε να τα αναγάγουμε σε ποσοστό %. Έτσι, στους πίνακες 2.4M και 2.4X αναγράφεται το βάρος % κάθε κοκκομετρικού κλάσματος για κάθε χρόνο λειοτρίβησης. Η στήλη $t = 0$ min δείχνει το βάρος % κάθε κλάσματος του υλικού τροφοδοσίας του ραβδόμυλου.

2.4.2 Κατανομές βάρους

Για την περιγραφή της κοκκομετρικής κατανομής των υλικών συνήθως χρησιμοποιείται η αθροιστική κατανομή (βάρος % αθροιστικώς διερχόμενο). Με αυτό τον τρόπο υπολογίζεται αθροιστικώς το ποσοστό % του υλικού που πέρασε από το πλέγμα του αντίστοιχου κόσκινου. Η αθροιστική κατανομή κάθε κλάσματος για τους αντίστοιχους χρόνους λειοτρίβησης παρουσιάζεται στους πίνακες 2.5M και 2.5X.

Επίσης, τα αποτελέσματα των πινάκων 2.5M και 2.5X μπορούν να παρουσιαστούν γραφικά. Στον οριζόντιο άξονα έχουμε το μέγεθος και στον κατακόρυφο το βάρος % αθροιστικώς διερχόμενο από το αντίστοιχο κόσκινο (διαγράμματα 2.1M και 2.1X).

Στον οριζόντιο άξονα χρησιμοποιούμε λογαριθμική κλίμακα, διότι με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μια ισοκατανομή των σημείων. Εάν η κλίμακα των μεγεθών ήταν

Πίνακας 2.3Μ : Συνολικός πίνακας κοκκομετρικής ανάλυσης για το μάρμαρο.

		<i>Βάρος (g)</i>					
	<i>Μέγεθος μm</i>	<i>0 min</i>	<i>2.5 min</i>	<i>5 min</i>	<i>10 min</i>	<i>20 min</i>	<i>40 min</i>
<i>1</i>	4750	14.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>2</i>	3350	55.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>3</i>	2360	76.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>4</i>	1700	78.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>5</i>	1180	108.4	7.9	0.1	0.0	0.0	0.0
<i>6</i>	850	86.1	46.1	2.6	0.0	0.0	0.0
<i>7</i>	600	96.2	121.6	33.7	0.2	0.0	0.0
<i>8</i>	425	81.7	152.9	113.0	9.3	0.0	0.0
<i>9</i>	300	64.8	116.0	129.1	72.0	1.2	0.0
<i>10</i>	212	61.0	101.5	130.2	128.5	35.6	0.7
<i>11</i>	150	54.1	90.3	127.6	144.5	132.3	30.3
<i>12</i>	106	37.3	65.1	83.5	104.4	127.4	104.9
<i>13</i>	75	44.2	62.1	89.7	117.0	111.9	102.6
<i>14</i>	53	30.9	50.8	58.7	83.0	114.5	112.4
<i>15</i>	38	17.3	41.1	35.9	48.9	68.2	83.0
<i>16</i>	10	51.0	88.3	115.8	149.4	223.3	273.5
<i>17</i>	0	33.4	44.1	62.9	105.5	163.5	262.8
<i>18</i>	Σύνολο	990.8	988.1	982.8	962.7	977.9	970.2

Πίνακας 2.3X : Συνολικός πίνακας κοκκομετρικής ανάλυσης για τον χαλαζία.

		<i>Βάρος (g)</i>					
	<i>Μέγεθος μm</i>	<i>0 min</i>	<i>2.5 min</i>	<i>5 min</i>	<i>10 min</i>	<i>20 min</i>	<i>40 min</i>
1	4750	163.1	30.3	0.0	0.0	0.0	0.0
2	3350	215.9	83.8	2.3	0.0	0.0	0.0
3	2360	153.0	136.8	7.3	0.0	0.0	0.0
4	1700	114.2	137.1	25.1	0.0	0.0	0.0
5	1180	104.5	154.4	106.3	1.6	0.0	0.0
6	850	58.2	96.0	128.0	12.4	0.0	0.0
7	600	51.4	91.8	150.5	75.8	3.2	0.0
8	425	35.6	65.8	128.3	148.2	41.8	0.0
9	300	24.5	46.0	93.3	137.2	120.6	3.9
10	212	19.9	38.1	93.1	136.5	156.2	71.8
11	150	14.3	28.5	62.2	119.6	153.3	171.7
12	106	9.8	20.4	45.6	91.3	125.6	173.8
13	75	8.1	17.2	45.5	70.7	94.0	112.6
14	53	6.4	13.3	26.2	52.5	71.0	94.0
15	38	5.2	8.8	17.0	36.1	53.0	74.8
16	10	8.3	16.7	36.3	69.2	111.2	172.7
17	0	4.8	7.8	18.4	33.7	56.3	102.3
18	Σύνολο	997.2	992.8	985.4	984.8	986.2	977.6

Πίνακας 2.4Μ :Απλή κατανομή βάρους του μάρμαρου για κάθε χρόνο λειοτρίβησης με εργαστηριακό ραβδόμυλο.

	<i>Βάρος%</i>					
<i>Μέγεθος μm</i>	<i>0 min</i>	<i>2.5 min</i>	<i>5 min</i>	<i>10 min</i>	<i>20 min</i>	<i>40 min</i>
4750	1.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3350	5.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2360	7.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1700	7.90	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
1180	10.94	0.80	0.01	0.00	0.00	0.00
850	8.69	4.67	0.26	0.00	0.00	0.00
600	9.71	12.31	3.43	0.02	0.00	0.00
425	8.25	15.47	11.50	0.97	0.00	0.00
300	6.54	11.74	13.14	7.48	0.12	0.00
212	6.16	10.27	13.25	13.35	3.64	0.07
150	5.46	9.14	12.98	15.01	13.53	3.12
106	3.76	6.59	8.50	10.84	13.03	10.81
75	4.46	6.28	9.13	12.15	11.44	10.58
53	3.12	5.14	5.97	8.62	11.71	11.59
38	1.75	4.16	3.65	5.08	6.97	8.55
10	5.15	8.94	11.78	15.52	22.83	28.19
0	3.37	4.46	6.40	10.96	16.72	27.09
Σύνολο	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Πίνακας 2.4X : Απλή κατανομή βάρους του χαλαζία για κάθε χρόνο λειοτρίβησης με εργαστηριακό ραβδόμυλο.

	<i>Βάρος%</i>					
<i>Μέγεθος μm</i>	<i>0 min</i>	<i>2.5 min</i>	<i>5 min</i>	<i>10 min</i>	<i>20 min</i>	<i>40 min</i>
4750	16.36	3.05	0.00	0.00	0.00	0.00
3350	21.65	8.44	0.23	0.00	0.00	0.00
2360	15.34	13.78	0.74	0.00	0.00	0.00
1700	11.45	13.81	2.55	0.00	0.00	0.00
1180	10.48	15.55	10.79	0.16	0.00	0.00
850	5.84	9.67	12.99	1.26	0.00	0.00
600	5.15	9.25	15.27	7.70	0.32	0.00
425	3.57	6.63	13.02	15.05	4.24	0.00
300	2.46	4.63	9.47	13.93	12.23	0.40
212	2.00	3.84	9.45	13.86	15.84	7.34
150	1.43	2.87	6.31	12.14	15.54	17.56
106	0.98	2.05	4.63	9.27	12.74	17.78
75	0.81	1.73	4.62	7.18	9.53	11.52
53	0.64	1.34	2.66	5.33	7.20	9.62
38	0.52	0.89	1.73	3.67	5.37	7.65
10	0.83	1.68	3.68	7.03	11.28	17.67
0	0.48	0.79	1.87	3.42	5.71	10.46
Σύνολο	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

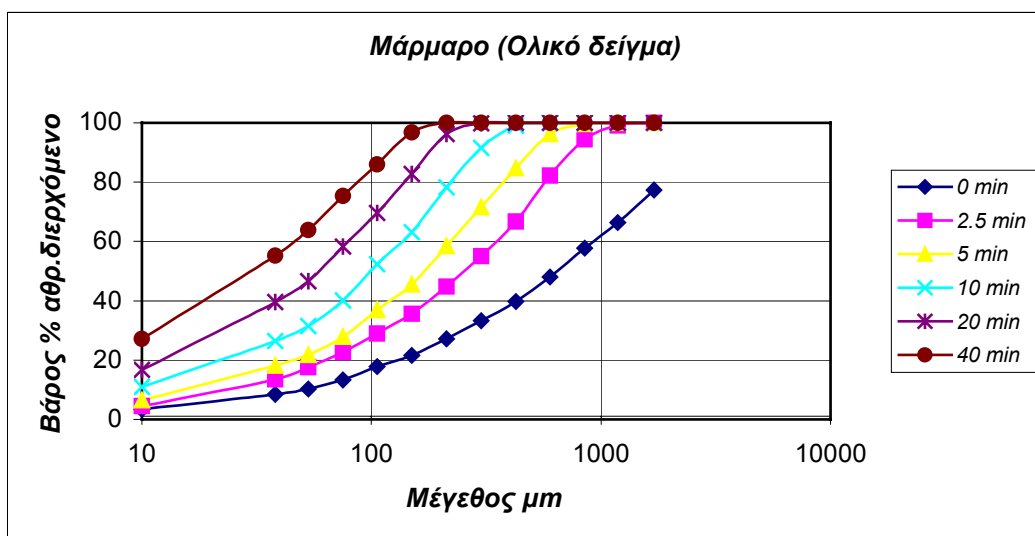
Πίνακας 2.5Μ : Πίνακας κατανομής αθροιστικώς διερχόμενου βάρους του μάρμαρου για διάφορους χρόνους λειοτρίβησης.

	<i>Διερχόμενο Βάρος%</i>					
<i>Μέγεθος μm</i>	<i>0 min</i>	<i>2.5 min</i>	<i>5 min</i>	<i>10 min</i>	<i>20 min</i>	<i>40 min</i>
4750	98.57	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3350	92.92	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2360	85.25	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1700	77.35	99.97	100.00	100.00	100.00	100.00
1180	66.41	99.17	99.99	100.00	100.00	100.00
850	57.72	94.50	99.73	100.00	100.00	100.00
600	48.01	82.20	96.30	99.98	100.00	100.00
425	39.77	66.72	84.80	99.01	100.00	100.00
300	33.23	54.98	71.66	91.53	99.88	100.00
212	27.07	44.71	58.41	78.19	96.24	99.93
150	21.61	35.57	45.43	63.18	82.71	96.80
106	17.84	28.98	36.94	52.33	69.68	85.99
75	13.38	22.70	27.81	40.18	58.24	75.42
53	10.26	17.56	21.84	31.56	46.53	63.83
38	8.52	13.40	18.18	26.48	39.55	55.28
10	3.37	4.46	6.40	10.96	16.72	27.09

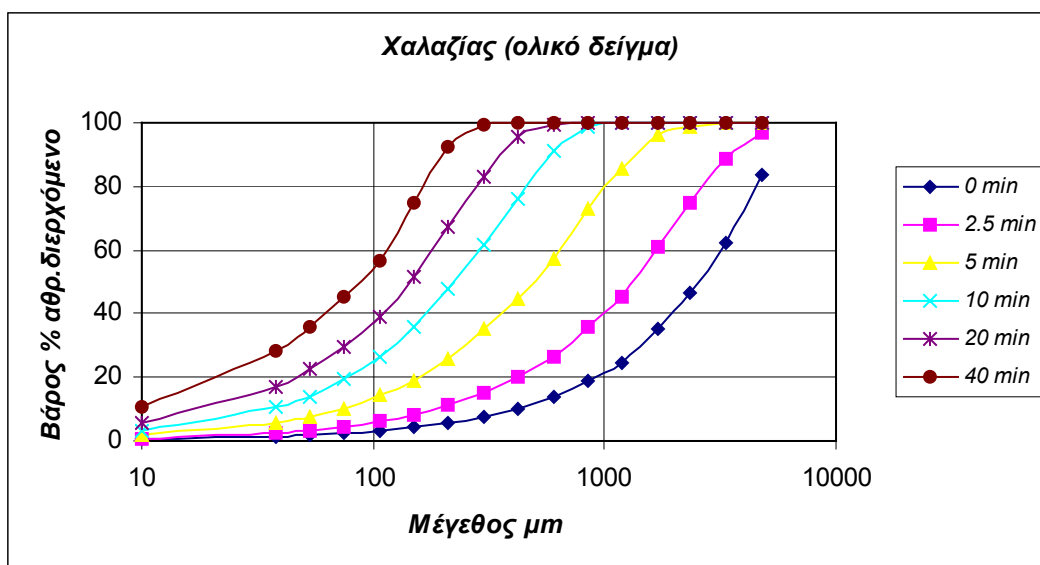
Πίνακας 2.5X : Πίνακας κατανομής αθροιστικώς διερχόμενου βάρους του χαλαζία για διάφορους χρόνους λειοτρίβησης.

	<i>Διερχόμενο Βάρος%</i>					
<i>Μέγεθος μm</i>	<i>0 min</i>	<i>2.5 min</i>	<i>5 min</i>	<i>10 min</i>	<i>20 min</i>	<i>40 min</i>
4750	83.64	96.95	100.00	100.00	100.00	100.00
3350	61.99	88.51	99.77	100.00	100.00	100.00
2360	46.65	74.73	99.03	100.00	100.00	100.00
1700	35.20	60.92	96.48	100.00	100.00	100.00
1180	24.72	45.37	85.69	99.84	100.00	100.00
850	18.88	35.70	72.70	98.58	100.00	100.00
600	13.73	26.45	57.43	90.88	99.68	100.00
425	10.16	19.82	44.41	75.83	95.44	100.00
300	7.70	15.19	34.94	61.90	83.21	99.60
212	5.71	11.35	25.49	48.04	67.37	92.26
150	4.27	8.48	19.18	35.90	51.83	74.69
106	3.29	6.43	14.55	26.62	39.09	56.91
75	2.48	4.69	9.94	19.45	29.56	45.40
53	1.84	3.35	7.28	14.11	22.36	35.78
38	1.31	2.47	5.55	10.45	16.98	28.13
10	0.48	0.79	1.87	3.42	5.71	10.46

Διάγραμμα 2.1M : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του μάρμαρου για διάφορους χρόνους λειοτρίβησης.



Διάγραμμα 2.1X : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του χαλαζία για διάφορους χρόνους λειοτρίβησης.



κανονική τότε θα είχαμε λίγα σημεία στα μεγάλα μεγέθη και συνωστισμό σημείων στα μικρά μεγέθη.

Όπως παρατηρούμε από τα διαγράμματα 2.1M και 2.1X, των αθροιστικών κατανομών βάρους συναρτήσει του μεγέθους, οι καμπύλες οι οποίες δημιουργούνται παρουσιάζουν κάποια καμπυλότητα στο άνω και κάτω μέρος τους. Γι' αυτό το λόγο έχουν επινοηθεί διάφοροι μέθοδοι τροποποίησης των κλιμάκων των συντεταγμένων για να δίνεται μια ευθεία γραμμή.

Η επικρατέστερη εξίσωση η οποία χρησιμοποιείται για την μαθηματική περιγραφή της αθροιστικής κατανομής του βάρους συναρτήσει του μεγέθους είναι η εξίσωση Gates-Gaudin-Schuhman (G.G.S) :

$$W = 100 \cdot \left(\frac{d}{d_o} \right)^a$$

Όπου : W = το ποσοστό % του αθροιστικώς διερχόμενου βάρους από το μέγεθος d .

d_o = το μέγιστο μέγεθος κόκκου και

a = μια σταθερά που εξαρτάται από την κατανομή μεγέθους.

Εάν πάρουμε τους λογαρίθμους της παραπάνω εξίσωσης έχουμε :

$$\text{Log} W = 2 + a \log d - a \log d_o \quad \text{ή} \quad \log W = A + a \log d$$

Όπου : $A = 2 - a \log d_o$ = σταθερά.

Επομένως η γραφική παράσταση του αθροιστικώς διερχόμενου βάρους συναρτήσει του μεγέθους, με συντεταγμένες log-log, δίνει ευθεία γραμμή με κλίση ίση με a .

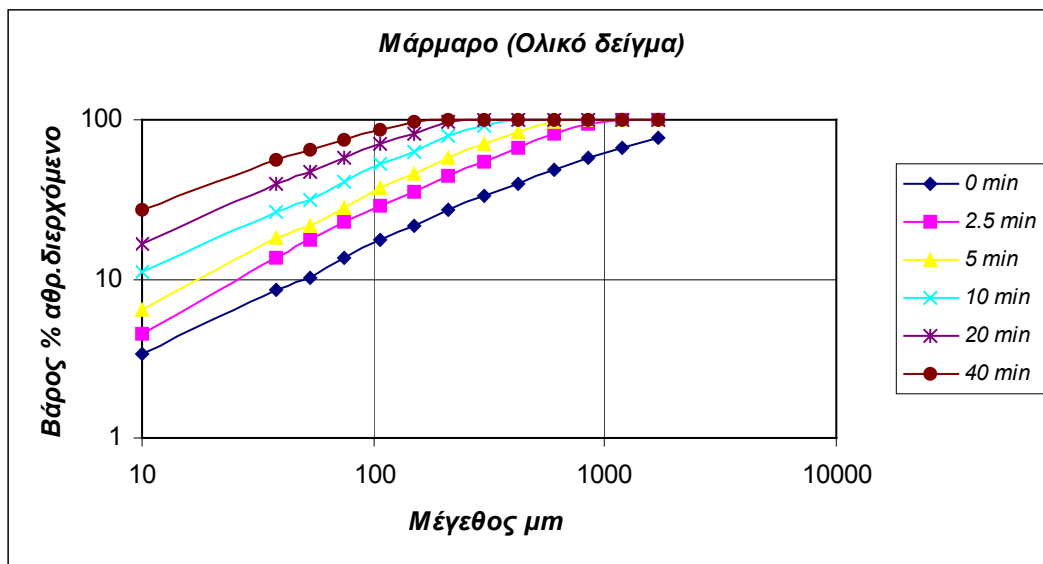
2.4.3 Υπολογισμός της κλίσης α

Για τα υλικά μάρμαρο και χαλαζία, οι κατανομές αθροιστικώς διερχόμενου βάρους σε συνάρτηση με το μέγεθος, με συντεταγμένες $\log\text{-}\log$, παρουσιάζονται στα διαγράμματα 2.2M και 2.2X. Από τις ευθείες που προκύπτουν, υπολογίζοντας τις κλίσεις τους, προκύπτει μια μαθηματική έκφραση της αθροιστικής κατανομής βάρους κατά μέγεθος για κάθε χρόνο λειοτριβήσης του ραβδόμυλου.

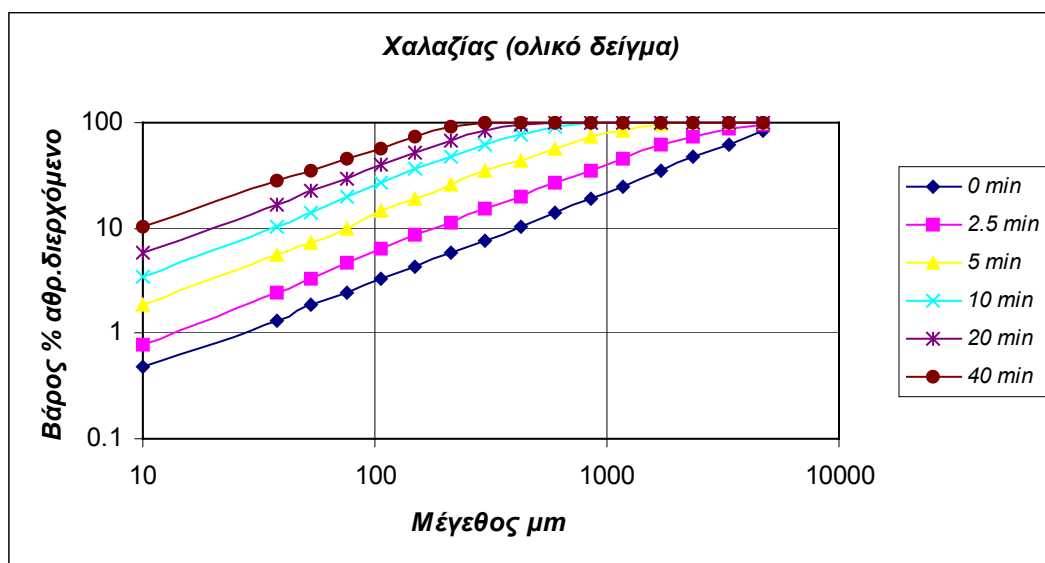
Για τον υπολογισμό των κλίσεων των παραπάνω διαγραμμάτων εργαστήκαμε ως εξής. Αρχικά λογαριθμήσαμε τις τιμές των πινάκων 2.5M και 2.5X, οπότε λάβαμε τους αντίστοιχους πίνακες 2.6M και 2.6X. Κατόπιν, παραστήσαμε γραφικώς το αθροιστικώς διερχόμενο βάρος ($\text{Log αθρ. διερχόμενο βάρος \%}$) συναρτήσει του μεγέθους ($\text{Log μέγεθος }\mu\text{m}$). Τα σημεία που έτειναν ασυμπτωτικά στο 100 παραλήφθηκαν, οπότε από τις ευθείες γραμμές που λάβαμε (διαγράμματα 2.3M και 2.3X) υπολογίσαμε τις κλίσεις τους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 2.7M και 2.7X.

Οι ευθείες γραμμές οι οποίες λάβαμε από τα παραπάνω διαγράμματα, όπως παρατηρούμε, δεν είναι παράλληλες μεταξύ τους. Η εξέταση του γεγονότος αυτού είναι πέρα από το σκοπό της παρούσης εργασίας και θα ήταν ενδιαφέρον να διερευνηθεί.

Διάγραμμα 2.2M : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του μάρμαρου για διάφορους χρόνους λειοτρίβησης με συντεταγμένες log-log.



Διάγραμμα 2.2X : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του χαλαζία για διάφορους χρόνους λειοτρίβησης με συντεταγμένες log-log.



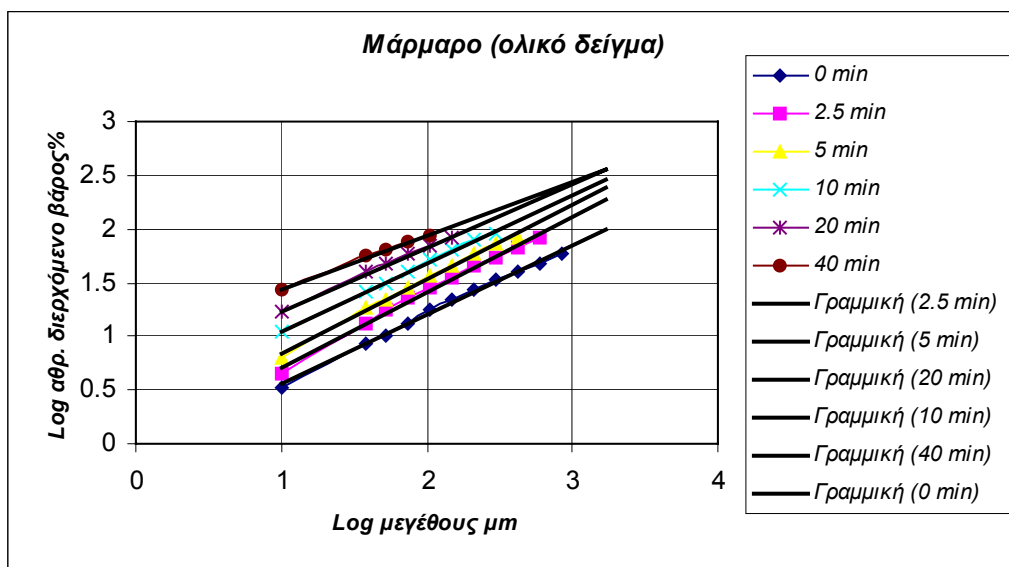
Πίνακας 2.6Μ : Πίνακας κατανομής Log αθροιστικώς διερχόμενου βάρους % του μάρμαρου για διάφορους χρόνους λειοτρίβησης.

	<i>Log αθρ. διερχόμενο βάρος %</i>					
<i>Log μέγεθος μm</i>	<i>0 min</i>	<i>2.5 min</i>	<i>5 min</i>	<i>10 min</i>	<i>20 min</i>	<i>40 min</i>
3.68	1.99	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
3.53	1.97	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
3.37	1.93	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
3.23	1.89	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
3.07	1.82	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
2.93	1.76	1.98	2.00	2.00	2.00	2.00
2.78	1.68	1.91	1.98	2.00	2.00	2.00
2.63	1.60	1.82	1.93	2.00	2.00	2.00
2.48	1.52	1.74	1.86	1.96	2.00	2.00
2.33	1.43	1.65	1.77	1.89	1.98	2.00
2.18	1.33	1.55	1.66	1.80	1.92	1.99
2.03	1.25	1.46	1.57	1.72	1.84	1.93
1.88	1.13	1.36	1.44	1.60	1.77	1.88
1.72	1.01	1.24	1.34	1.50	1.67	1.81
1.58	0.93	1.13	1.26	1.42	1.60	1.74
1.00	0.53	0.65	0.81	1.04	1.22	1.43

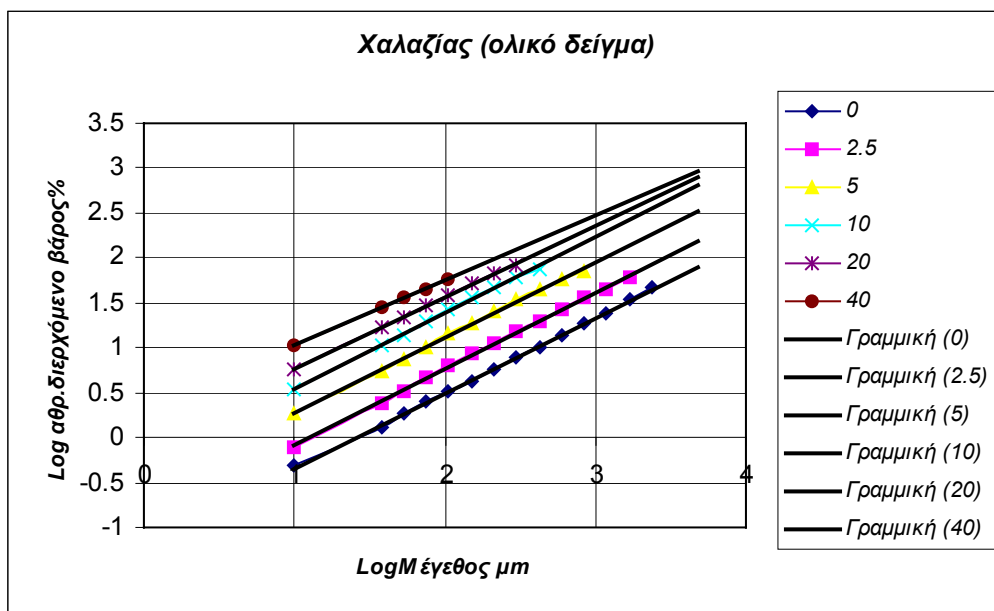
Πίνακας 2.6X : Πίνακας κατανομής Log αθροιστικώς διερχόμενου βάρους % του χαλαζία για διάφορους χρόνους λειοτρίβησης.

	<i>Log αθρ. διερχόμενο βάρος %</i>					
<i>Log μέγεθος μm</i>	<i>0 min</i>	<i>2.5 min</i>	<i>5 min</i>	<i>10 min</i>	<i>20 min</i>	<i>40 min</i>
3.68	1.92	1.99	2.00	2.00	2.00	2.00
3.53	1.79	1.95	2.00	2.00	2.00	2.00
3.37	1.67	1.87	2.00	2.00	2.00	2.00
3.23	1.55	1.78	1.98	2.00	2.00	2.00
3.07	1.39	1.66	1.93	2.00	2.00	2.00
2.93	1.28	1.55	1.86	1.99	2.00	2.00
2.78	1.14	1.42	1.76	1.96	2.00	2.00
2.63	1.01	1.30	1.65	1.88	1.98	2.00
2.48	0.89	1.18	1.54	1.79	1.92	2.00
2.33	0.76	1.06	1.41	1.68	1.83	1.96
2.18	0.63	0.93	1.28	1.56	1.71	1.87
2.03	0.52	0.81	1.16	1.43	1.59	1.76
1.88	0.39	0.67	1.00	1.29	1.47	1.66
1.72	0.26	0.53	0.86	1.15	1.35	1.55
1.58	0.12	0.39	0.74	1.02	1.23	1.45
1.00	-0.32	-0.10	0.27	0.53	0.76	1.02

Διάγραμμα 2.3M : Οι καμπύλες του Log αθρ. διερχόμενου βάρους % σε συνάρτηση με το Log μέγεθος του μάρμαρου και οι γραμμικές των καμπυλών.



Διάγραμμα 2.3X : Οι καμπύλες του Log αθρ. διερχόμενου βάρους % σε συνάρτηση με το Log μέγεθος του χαλαζία και οι γραμμικές των καμπυλών.



Πίνακας 2.7M : Οι σταθερές α και A της εξίσωσης G.G.S. για το μάρμαρο.

<i>Χρόνος λειτουργίβησης min</i>	<i>Κλίση α</i>	<i>Σταθερά A</i>
0	0.643	-0.085
2.5	0.701	0.009
5	0.699	0.142
10	0.634	0.415
20	0.594	0.641
40	0.495	0.946
Μέσος όρος	0.628	

Πίνακας 2.7X : Οι σταθερές α και A της εξίσωσης G.G.S. για τον χαλαζία.

<i>Χρόνος λειτουργίβησης min</i>	<i>Κλίση α</i>	<i>Σταθερά A</i>
0	0.841	-1.189
2.5	0.847	-0.930
5	0.842	-0.569
10	0.845	-0.303
20	0.797	-0.030
40	0.722	0.303
Μέσος όρος	0.816	

2.4.4 Υπολογισμός ειδικής επιφάνειας

Ειδική επιφάνεια ενός κόκκου ονομάζουμε τη σχέση της εξωτερικής του επιφάνειας προς το βάρος του [9] :

$$S_w = \frac{S}{W} = \frac{S}{V \cdot \rho} = \frac{f \cdot d^2}{K \cdot \rho \cdot d^3}$$

ή
$$S_w = \frac{f}{K \cdot \rho} \cdot \frac{1}{d} \quad (2.1)$$

όπου f και K είναι οι σταθερές αναλογίας για την επιφάνεια (S) και τον όγκο (V) αντίστοιχα.

Η ειδική επιφάνεια είναι αντιστρόφως ανάλογη της διαμέτρου του κόκκου· όσο μικραίνει ο κόκκος μεγαλώνει η ειδική του επιφάνεια.

Σε ένα σύνολο κόκκων διαφόρων μεγεθών η ειδική επιφάνεια δίνεται από τη σχέση:

$$S_w = \frac{\text{Συνολική Επιφάνεια}}{\text{Συνολικό Βάρος}} = \frac{\Sigma \Delta S}{\Sigma \Delta W} \quad (2.2)$$

όπου ΔS και ΔW η επιφάνεια και το βάρος των επιμέρους κλασμάτων. Η γνώση της ειδικής επιφάνειας δεν οδηγεί σε συμπεράσματα για την κατανομή των κόκκων, αλλά αποτελεί δείκτη της λεπτότητας του υλικού σε σύνολο.

Ο πίνακας 2.8M παρουσιάζει την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε προκειμένου να υπολογιστεί η συνολική ειδική επιφάνεια του μάρμαρου για κάθε χρόνο λειοτριβήσής του στον εργαστηριακό ραβδόμυλο.

Από τον δεδομένο πίνακα η στήλη 1 μας δείχνει το ανώτερο μέγεθος των κόσκινων σε μm που χρησιμοποιήσαμε, ενώ η στήλη 2 το μέσο μέγεθος τους σε m . Η στήλη 2 υπολογίστηκε από τη σχέση $D_n = \sqrt{d_{n+1} \cdot d_n} / 10^6$ όπου το D_n είναι το μέσο

μέγεθος μεταξύ των μεγεθών d_{n+1} και d_n και αντιπροσωπεύει το μέσο μέγεθος των κόκκων που βρίσκονται μεταξύ αυτών των κόσκινων.

Οι στήλες 3 δείχνουν το βάρος του κλάσματος σε ποσοστό % για κάθε χρόνο λειοτριβήσεως, ενώ η στήλη 4 δείχνει την επιφάνεια σε m^2 που έχει ο μέσος κόκκος κάθε κλάσματος. Για τον υπολογισμό της στήλης αυτής θεωρήσαμε ότι ο κάθε κόκκος έχει σχήμα κύβου με μήκος ακμής ίσο με το μέσο μέγεθος των κόκκων. Οπότε η επιφάνεια κόκκου με μέσο μέγεθος D_n υπολογίζεται από τη σχέση $S = 6 \cdot D_n^2$ σε m^2 .

Η στήλη 5 δείχνει το βάρος κάθε κόκκου σε kg. Η στήλη αυτή υπολογίζεται από τη σχέση $W = V \cdot \rho$, όπου V είναι ο όγκος που έχει κάθε κόκκος σε m^3 και ρ η πυκνότητα του υλικού (για το μάρμαρο $\rho = 2700 \text{ kg} / m^3$). Ο όγκος υπολογίστηκε κατά αναλογία με την επιφάνεια από την σχέση $V = D_n^3$.

Η ειδική επιφάνεια σε m^2/g που έχει ο κάθε κόκκος υπολογίστηκε στη στήλη 6. Η στήλη αυτή προέκυψε διαιρώντας την επιφάνεια του κόκκου (στήλη 4) με το βάρος του κόκκου σε g (στήλη 5 επί 1000).

Οι στήλες 7 δείχνουν το βάρος των κόκκων σε kg σε κάθε κοκκομετρικό κλάσμα και για κάθε χρόνο λειοτριβήσεως. Υπολογίστηκαν διαιρώντας τις στήλες 3 με το 100. Εάν αθροίσουμε τις στήλες αυτές τότε η τελευταία γραμμή που προκύπτει δείχνει το βάρος που έχει το υλικό σε Kg για κάθε χρόνο λειοτριβήσεως.

Ο αριθμός των κόκκων που βρίσκονται σε κάθε κοκκομετρικό κλάσμα και για κάθε χρόνο λειοτριβήσεως υπολογίστηκε στις στήλες 8. Ο υπολογισμός αυτός έγινε διαιρώντας το βάρος του κλάσματος σε kg (στήλες 7) με το βάρος που έχει ο κάθε κόκκος σε kg (στήλες 5).

Η επιφάνεια σε m^2 που έχουν οι κόκκοι σε κάθε κοκκομετρικό κλάσμα και για κάθε χρόνο λειοτριβήσεως υπολογίστηκε στις στήλες 9. Οι στήλες αυτές υπολογίστηκαν πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των κόκκων που βρίσκονται σε κάθε κλάσμα (στήλες 8) με την επιφάνεια που έχει κάθε κόκκος σε m^2 (στήλη 4). Εάν αθροίσουμε

τις επιφάνειες που έχουν οι κόκκοι σε κάθε κοκκομετρικό κλάσμα τότε προκύπτει η τελευταία γραμμή που δείχνει την συνολική επιφάνεια του υλικού για κάθε χρόνο λειοτρίβησης.

Η συνολική ειδική επιφάνεια του υλικού υπολογίστηκε σύμφωνα με την εξίσωση 2.2 διαιρώντας την συνολική επιφάνεια του υλικού (m^2) με το συνολικό βάρος του υλικού (g) για κάθε χρόνο λειοτρίβησης.

Ομοίως εργαζόμαστε και για τον υπολογισμό της συνολικής ειδικής επιφάνειας του χαλαζία. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε παρουσιάζεται στον πίνακα 2.8X, ενώ στον πίνακα 2.9 εμφανίζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών και για τα δύο υλικά μαζί.

Πίνακας 2.8Μ : Υπολογισμός συνολικής ειδικής επιφάνειας

Ανώτερο Μέγεθος (μm)	Μέσο Μέγεθος (m)	Βάρος %						Κύβος Επιφάνεια κόκκου (m^2)	Βάρος κόκκου (Kg)	Ειδική επιφάνεια κόκκου (m^2 / g)	Βάρος κλάσματος (Kg)					
		0 min	2.5 min	5 min	10min	20 min	40 min				0 min	2.5 min	5 min	10 min	20 min	40 min
1	2	3						4	5	6	7					
2360	2.00E-03	2.26E+01	3.04E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.41E-05	2.17E-05	1.11E-03	2.26E-01	3.04E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1700	1.42E-03	1.09E+01	8.00E-01	1.02E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.20E-05	7.67E-06	1.57E-03	1.09E-01	8.00E-03	1.02E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1180	1.00E-03	8.69E+00	4.67E+00	2.65E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.02E-06	2.71E-06	2.22E-03	8.69E-02	4.67E-02	2.65E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
850	7.14E-04	9.71E+00	1.23E+01	3.43E+00	2.08E-02	0.00E+00	0.00E+00	3.06E-06	9.83E-07	3.11E-03	9.71E-02	1.23E-01	3.43E-02	2.08E-04	0.00E+00	0.00E+00
600	5.05E-04	8.25E+00	1.55E+01	1.15E+01	9.66E-01	0.00E+00	0.00E+00	1.53E-06	3.48E-07	4.40E-03	8.25E-02	1.55E-01	1.15E-01	9.66E-03	0.00E+00	0.00E+00
425	3.57E-04	6.54E+00	1.17E+01	1.31E+01	7.48E+00	1.23E-01	0.00E+00	7.65E-07	1.23E-07	6.22E-03	6.54E-02	1.17E-01	1.31E-01	7.48E-02	1.23E-03	0.00E+00
300	2.52E-04	6.16E+00	1.03E+01	1.32E+01	1.33E+01	3.64E+00	7.22E-02	3.82E-07	4.33E-08	8.81E-03	6.16E-02	1.03E-01	1.32E-01	1.33E-01	3.64E-02	7.22E-04
212	1.78E-04	5.46E+00	9.14E+00	1.30E+01	1.50E+01	1.35E+01	3.12E+00	1.91E-07	1.53E-08	1.25E-02	5.46E-02	9.14E-02	1.30E-01	1.50E-01	1.35E-01	3.12E-02
150	1.26E-04	3.76E+00	6.59E+00	8.50E+00	1.08E+01	1.30E+01	1.08E+01	9.54E-08	5.41E-09	1.76E-02	3.76E-02	6.59E-02	8.50E-02	1.08E-01	1.30E-01	1.08E-01
106	8.92E-05	4.46E+00	6.28E+00	9.13E+00	1.22E+01	1.14E+01	1.06E+01	4.77E-08	1.91E-09	2.49E-02	4.46E-02	6.28E-02	9.13E-02	1.22E-01	1.14E-01	1.06E-01
75	6.30E-05	3.12E+00	5.14E+00	5.97E+00	8.62E+00	1.17E+01	1.16E+01	2.39E-08	6.77E-10	3.52E-02	3.12E-02	5.14E-02	5.97E-02	8.62E-02	1.17E-01	1.16E-01
53	4.49E-05	1.75E+00	4.16E+00	3.65E+00	5.08E+00	6.97E+00	8.55E+00	1.21E-08	2.44E-10	4.95E-02	1.75E-02	4.16E-02	3.65E-02	5.08E-02	6.97E-02	8.55E-02
38	1.95E-05	5.15E+00	8.94E+00	1.18E+01	1.55E+01	2.28E+01	2.82E+01	2.28E-09	2.00E-11	1.14E-01	5.15E-02	8.94E-02	1.18E-01	1.55E-01	2.28E-01	2.82E-01
10	5.00E-06	3.37E+00	4.46E+00	6.40E+00	1.10E+01	1.67E+01	2.71E+01	1.50E-10	3.38E-13	4.44E-01	3.37E-02	4.46E-02	6.40E-02	1.10E-01	1.67E-01	2.71E-01
Σύνολο		1.00E+02	1.00E+02	1.00E+02	1.00E+02	1.00E+02	1.00E+02				1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00

Αριθμός κόκκων							Επιφάνεια (m^2)						
0 min	2.5 min	5 min	10min	20min	40 min		0 min	2.5min	5 min	10 min	20 min	40 min	
8							9						
1.04E+04	1.40E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00		2.51E-01	3.37E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
1.43E+04	1.04E+03	1.33E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00		1.72E-01	1.25E-02	1.60E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
3.20E+04	1.72E+04	9.75E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00		1.93E-01	1.04E-01	5.87E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
9.87E+04	1.25E+05	3.49E+04	2.11E-02	0.00E+00	0.00E+00		3.02E-01	3.83E-01	1.07E-01	6.46E-04	0.00E+00	0.00E+00	
2.37E+05	4.45E+05	3.31E+05	2.78E+04	0.00E+00	0.00E+00		3.63E-01	6.81E-01	5.06E-01	4.25E-02	0.00E+00	0.00E+00	
5.32E+05	9.55E+05	1.07E+06	6.08E+05	9.98E+03	0.00E+00		4.07E-01	7.31E-01	8.18E-01	4.65E-01	1.18E+00	0.00E+00	
1.42E+06	2.37E+06	3.06E+06	3.08E+06	8.41E+05	1.67E+04		5.43E-01	9.05E-01	1.17E+00	1.18E+00	3.21E-01	6.36E-03	
3.57E+06	5.97E+06	8.48E+06	9.80E+06	8.84E+06	2.04E+06		6.80E-01	1.14E+00	1.62E+00	1.87E+00	1.69E+00	3.89E-01	
6.95E+06	1.22E+07	1.57E+07	2.00E+07	2.41E+07	2.00E+07		6.63E-01	1.16E+00	1.50E+00	1.91E+00	2.30E+00	1.91E+00	
2.33E+07	3.28E+07	4.77E+07	6.35E+07	5.98E+07	5.53E+07		1.11E+00	1.57E+00	2.27E+00	3.03E+00	2.85E+00	2.64E+00	
4.61E+07	7.60E+07	8.83E+07	1.27E+08	1.73E+08	1.71E+08		1.10E+00	1.81E+00	2.11E+00	3.04E+00	4.13E+00	4.08E+00	
7.15E+07	1.70E+08	1.50E+08	2.08E+08	2.86E+08	3.51E+08		8.65E-01	2.06E+00	1.81E+00	2.52E+00	3.45E+00	4.24E+00	
2.57E+09	4.47E+09	5.89E+09	7.76E+09	1.14E+10	1.41E+10		5.87E-01	1.02E+01	1.34E+01	1.77E+01	2.60E+01	3.21E+01	
9.99E+10	1.32E+11	1.90E+11	3.25E+11	4.95E+11	8.03E+11		1.50E+01	1.98E+01	2.84E+01	4.87E+01	7.43E+01	1.20E+02	
							2.75E+01	4.06E+01	5.38E+01	8.04E+01	1.15E+02	1.66E+02	

Πίνακας 2.8X : Υπολογισμός συνολικής ειδικής επιφάνειας

Ανώτερο Μέγεθος (μm)	Μέσο Μέγεθος (m)	Βάρος %								Κύβος	Βάρος κόκκου (Kg)	Ειδική επιφάνεια κόκκου (m^2/g)	Βάρος κλάσματος (Kg)				
		0 min	2.5 min	5 min	10min	20 min	40 min	0 min	2.5 min				5 min	10 min	20 min	40 min	
1	2	3								4	5	6	7				
6718	5.65E-03	1.64E+01	3.05E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.91E-04	4.78E-04	4.01E-04	1.64E-01	3.05E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
4750	3.99E-03	2.17E+01	8.44E+00	2.33E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.55E-05	1.68E-04	5.68E-04	2.17E-01	8.44E-02	2.33E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
3350	2.81E-03	1.53E+01	1.38E+01	7.41E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.74E-05	5.89E-05	8.05E-04	1.53E-01	1.38E-01	7.41E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
2360	2.00E-03	1.15E+01	1.38E+01	2.55E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.41E-05	2.13E-05	1.13E-03	1.15E-01	1.38E-01	2.55E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1700	1.42E-03	1.05E+01	1.56E+01	1.08E+01	1.62E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.20E-05	7.53E-06	1.60E-03	1.05E-01	1.56E-01	1.08E-01	1.62E-03	0.00E+00	0.00E+00
1180	1.00E-03	5.84E+00	9.67E+00	1.30E+01	1.26E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.02E-06	2.66E-06	2.26E-03	5.84E-02	9.67E-02	1.30E-01	1.26E-02	0.00E+00	0.00E+00
850	7.14E-04	5.15E+00	9.25E+00	1.53E+01	7.70E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.06E-06	9.65E-07	3.17E-03	5.15E-02	9.25E-02	1.53E-01	7.70E-02	3.24E-03	0.00E+00
600	5.05E-04	3.57E+00	6.63E+00	1.30E+01	1.50E+01	4.24E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.53E-06	3.41E-07	6.34E-03	3.57E-02	6.63E-02	1.30E-01	1.50E-01	4.24E-02	0.00E+00
425	3.57E-04	2.46E+00	4.63E+00	9.47E+00	1.39E+01	1.22E+01	3.99E-01	3.99E-01	7.65E-07	1.21E-07	8.98E-03	2.46E-02	4.63E-02	9.47E-02	1.39E-01	1.22E-01	3.99E-03
300	2.52E-04	2.00E+00	3.84E+00	9.45E+00	1.39E+01	1.58E+01	1.58E+01	1.76E+01	3.82E-07	4.25E-08	8.98E-03	2.00E-02	3.84E-02	9.45E-02	1.39E-01	1.58E-01	7.34E-02
212	1.78E-04	1.43E+00	2.87E+00	6.31E+00	1.21E+01	1.55E+01	1.76E+01	1.78E+01	1.91E-07	1.50E-08	1.27E-02	1.43E-02	2.87E-02	6.31E-02	1.21E-01	1.55E-01	1.76E-01
150	1.26E-04	9.83E-01	2.05E+00	4.63E+00	9.27E+00	1.27E+01	1.78E+01	1.78E+01	9.54E-08	5.31E-09	1.80E-02	9.83E-03	2.05E-02	4.63E-02	9.27E-02	1.27E-01	1.78E-01
106	8.92E-05	8.12E-01	1.73E+00	4.62E+00	7.18E+00	9.53E+00	1.15E+01	1.15E+01	4.77E-08	1.88E-09	2.54E-02	8.12E-03	1.73E-02	4.62E-02	7.18E-02	9.53E-02	1.15E-01
75	6.30E-05	6.42E-01	1.34E+00	2.66E+00	5.33E+00	7.20E+00	9.62E+00	9.62E+00	2.39E-08	6.64E-10	3.59E-02	6.42E-03	1.34E-02	2.66E-02	5.33E-02	7.20E-02	9.62E-02
53	4.49E-05	5.21E-01	8.86E-01	1.73E+00	3.67E+00	5.37E+00	7.65E+00	7.65E+00	1.21E-08	2.40E-10	5.05E-02	5.21E-03	8.86E-03	1.73E-02	3.67E-02	5.37E-02	7.65E-02
38	1.95E-05	8.32E-01	1.68E+00	3.68E+00	7.03E+00	1.13E+01	1.77E+01	1.77E+01	2.28E-09	1.96E-11	1.16E-01	8.32E-03	1.68E-02	3.68E-02	7.03E-02	1.13E-01	1.77E-01
10	5.00E-06	4.81E-01	7.86E-01	1.87E+00	3.42E+00	5.71E+00	1.05E+01	1.05E+01	1.50E-10	3.31E-13	4.53E-01	4.81E-03	7.86E-03	1.87E-02	3.42E-02	5.71E-02	1.05E-01
Σύνολο		1.00E+02	1.00E+02	1.00E+02	1.00E+02	1.00E+02	1.00E+02	1.00E+02				1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00

Αριθμός κόκκων						Επιφάνεια (m ²)					
0 min	2.5 min	5 min	10min	20min	40 min	0 min	2.5min	5 min	10 min	20 min	40 min
8						9					
3.42E+02	6.39E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.56E-02	1.22E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1.29E+03	5.02E+02	1.39E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.23E-01	4.79E-02	1.32E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
2.60E+03	2.34E+03	1.26E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.24E-01	1.11E-01	5.97E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
5.38E+03	6.48E+03	1.20E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.29E-01	1.56E-01	2.88E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1.39E+04	2.07E+04	1.43E+04	2.16E+02	0.00E+00	0.00E+00	1.68E-01	2.49E-01	1.72E-01	2.60E-03	0.00E+00	0.00E+00
2.19E+04	3.63E+04	4.88E+04	4.73E+03	0.00E+00	0.00E+00	1.32E-01	2.19E-01	2.94E-01	2.85E-02	0.00E+00	0.00E+00
5.34E+04	9.58E+04	1.58E+05	7.97E+04	3.36E+03	0.00E+00	1.60E-01	2.97E-01	5.84E-01	6.75E-01	1.90E-01	0.00E+00
1.05E+05	1.94E+05	3.82E+05	4.41E+05	1.24E+05	0.00E+00	1.56E-01	2.94E-01	8.48E-01	2.44E-01	1.03E-02	0.00E+00
2.04E+05	3.84E+05	7.85E+05	1.15E+06	1.01E+06	0.00E+00	1.60E-01	2.97E-01	5.84E-01	6.75E-01	1.90E-01	0.00E+00
4.70E+05	9.03E+05	2.22E+06	3.26E+06	3.73E+06	1.73E+06	1.79E-01	3.45E-01	8.48E-01	1.24E+00	7.75E-01	2.53E-02
9.54E+05	1.91E+06	4.20E+06	8.08E+06	1.03E+07	3.35E+07	1.82E-01	3.64E-01	8.01E-01	1.54E+00	1.97E+00	2.23E+00
1.85E+06	3.87E+06	8.71E+06	1.74E+07	2.40E+07	6.13E+07	1.76E-01	3.69E-01	8.31E-01	1.66E+00	2.29E+00	3.19E+00
4.32E+06	9.22E+06	2.46E+07	3.82E+07	5.07E+07	1.08E+08	2.06E-01	4.40E-01	1.17E+00	1.82E+00	2.42E+00	2.92E+00
9.66E+06	2.02E+07	4.00E+07	8.03E+07	1.08E+08	1.45E+08	2.30E-01	4.81E-01	9.55E-01	1.91E+00	2.59E+00	3.45E+00
2.18E+07	3.70E+07	7.20E+07	1.53E+08	2.24E+08	3.19E+08	2.63E-01	4.47E-01	8.70E-01	1.85E+00	2.71E+00	3.86E+00
4.24E+08	8.57E+08	1.88E+09	3.58E+09	5.74E+09	9.00E+09	9.67E-01	1.95E+00	4.28E+00	8.16E+00	1.31E+01	2.05E+01
1.45E+10	2.37E+10	5.64E+10	1.03E+11	1.72E+11	3.16E+11	2.18E+00	3.56E+00	8.46E+00	1.55E+01	2.59E+01	4.74E+01
						5.60E+00	9.64E+00	2.04E+01	3.55E+01	5.33E+01	8.42E+01

Πίνακας 2.9 : Η συνολική ειδική επιφάνεια των υλικών μάρμαρο και χαλαζία για κάθε χρόνο λειοτρίβησης με ραβδόμυλο.

	<i>Συνολική Ειδική Επιφάνεια m²/g</i>	
<i>Χρόνος λειοτρίβησης min</i>	<i>Μάρμαρο</i>	<i>Χαλαζίας</i>
0	0.027	0.006
2.5	0.041	0.010
5	0.054	0.020
10	0.080	0.036
20	0.115	0.053
40	0.166	0.084

2.4.5 Χρήση B.E.T. και Laser για τον υπολογισμό του μέσου μεγέθους του κλάσματος 0-10 μm

Ο κυκλώνας ο οποίος ταξινομήσε τα υλικά μας, κατά την διαδικασία της λειοτρίβησης, είχε ως μέγεθος ταξινόμησης (cut point, d₅₀) το σημείο 0.010 mm ή 10 μm. Επομένως το υλικό το οποίο λάβαμε από την υπερχείλιση του κυκλώνα, O/F, είχε μέγεθος από 0 έως 10 μm. Για τον υπολογισμό της ειδικής επιφάνειας των υλικών, όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, θεωρήσαμε ότι το υλικό που πήραμε από την υπερχείλιση του κυκλώνα είχε με ένα μέσο μέγεθος 5 μm. Το μέσο μέγεθος αυτό είναι καθαρά υπολογιστικό και δεν ανταποκρίνεται κατά ανάγκη στην πραγματικότητα.

Η μέθοδος B.E.T. καθώς και ο κοκκομετρικός αναλυτής Laser (βλ. κεφ. 2.2.4 και 2.2.5) μας βοήθησαν να υπολογίσουμε το μέγεθος αυτό και κατ' επέκταση να διερευνήσουμε πως μεταβάλλεται με τον χρόνο λειοτρίβησης.

Για τον υπολογισμό του μέσου μεγέθους εργαστήκαμε ως εξής. Επιλύσαμε την εξίσωση 2.1 (βλ. κεφ.2.4.4) ως προς το μέσο μέγεθος d , οπότε λάβαμε την εξίσωση :

$$d = \frac{f}{K \cdot \rho} \cdot \frac{1}{s_w}$$

όπου: d το μέσο μέγεθος των κόκκων

s_w η ειδική επιφάνεια των κόκκων

ρ η πυκνότητα και

f και K οι σταθερές αναλογίας για την επιφάνεια (S) και τον όγκο (V) αντίστοιχα

Αντικαθιστώντας στην παραπάνω εξίσωση τις τιμές της ειδικής επιφάνειας s_w που λάβαμε από το B.E.T. και το Laser (πίνακας 2.10) υπολογίσαμε το μέσο μέγεθος του κλάσματος 0-10 μm για τα υλικά μάρμαρο και χαλαζία, για κάθε χρόνο λειοτρίβησης.

Στους υπολογισμούς μας θεωρήσαμε ότι οι κόκκοι έχουν σχήμα κύβου οπότε ο λόγος

$$\frac{f}{K} = \frac{4.71}{0.696} = 6.77 \quad [9].$$

Επίσης, οι πυκνότητες για τα υλικά μάρμαρο και χαλαζία

είναι 2.7 g/cm^3 και 2.65 g/cm^3 αντίστοιχα.

Στο παράρτημα Α.2, Α.3 παρουσιάζονται οι αναφορές που πήραμε από το B.E.T. και το Laser, ενώ στον πίνακα 2.11 εμφανίζονται τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών.

Στους πίνακες 2.10 και 2.11 υπολογίσαμε την τυπική απόκλιση σ από τη σχέση :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

και την σχετική απόκλιση % σύμφωνα με τη σχέση :

$$S = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100$$

όπου : \bar{x} ο μέσος όρος των τιμών

x οι τιμές και

n το πλήθος των τιμών

Πίνακας 2.10 : Οι τιμές της ειδικής επιφάνειας του κλάσματος 0-10 μm που μετρήθηκαν με το B.E.T. και το Laser.

	<i>Ειδική επιφάνεια m^2/g</i>			
	<i>B.E.T.</i>		<i>Laser</i>	
<i>Χρόνος λειτουργίσεως min</i>	<i>Μάρμαρο</i>	<i>Χαλαζίας</i>	<i>Μάρμαρο</i>	<i>Χαλαζίας</i>
0	1.31	2.19	1.67	1.15
2.5	1.22	2.49	1.76	1.23
5	1.78	2.14	1.60	1.09
10	1.36	1.87	1.62	1.22
20	1.37	2.01	1.73	1.16
40	1.85		1.72	1.25
Μέσος όρος	1.48	2.14	1.68	1.18
Τυπική απόκλιση	0.26	0.23	0.06	0.06
Σχετική απόκλιση %	17.85	10.83	3.81	5.12

Πίνακας 2.11 : Υπολογισμός μέσου μέγεθος του κλάσματος 0-10 μm για τα υλικά μάρμαρο και χαλαζία με βάση το B.E.T. και το Laser.

	<i>Μέσο μέγεθος κλάσματος 0-10 μm</i>			
	<i>B.E.T.</i>		<i>Laser</i>	
<i>Χρόνος λειτουργίβησης min</i>	<i>Μάρμαρο</i>	<i>Χαλαζίας</i>	<i>Μάρμαρο</i>	<i>Χαλαζίας</i>
0	1.92	1.16	1.50	2.22
2.5	2.06	1.02	1.43	2.07
5	1.41	1.19	1.57	2.34
10	1.85	1.36	1.55	2.09
20	1.83	1.27	1.45	2.20
40	1.36		1.46	2.04
Μέσος όρος	1.74	1.20	1.49	2.16
Τυπική απόκλιση	0.29	0.13	0.06	0.11
Σχετική απόκλιση %	16.43	10.50	3.84	5.23

2.4.6 Υπολογισμός συνολικής ειδικής επιφάνειας με βάση το B.E.T. και το Laser

Για τον υπολογισμό της συνολικής ειδικής επιφάνειας των δύο υλικών, όπως παρουσιάσαμε στο κεφάλαιο 2.4.4, θεωρήσαμε ότι το υλικό το οποίο πήραμε από το O/F του κυκλώνα (κλάσμα 0-10 μm), είχε ένα μέσο μέγεθος 5 μm . Με χρήση του B.E.T. και του Laser μπορέσαμε και υπολογίσαμε το μέσο μέγεθος αυτό και κατ' επέκταση να υπολογίσουμε και την συνολική ειδική επιφάνεια των υλικών.

Στον πίνακα 2.11 φαίνεται ότι το μέσο μέγεθος του κλάσματος 0-10 μm έχει μια μέση τιμή για το μάρμαρο 1.74 και 1.49 μm και για τον χαλαζία 1.20 και 2.16 μm , με βάση το B.E.T. και το Laser αντίστοιχα.

Αντικαθιστώντας τις παραπάνω τιμές στις στήλες 1 των αντίστοιχων πινάκων 2.8M και 2.8X και ακολουθώντας την μεθοδολογία του κεφαλαίου 2.4.4, λαμβάνουμε τον πίνακα 2.12 που μας δείχνει την συνολική ειδική επιφάνεια του μάρμαρου και του χαλαζία με βάση τις δύο μεθόδους που ακολουθήσαμε.

Η συνολική ειδική επιφάνεια που θεωρούμε ότι αντιπροσωπεύει τα υλικά μας είναι αυτή που υπολογίστηκε με βάση το B.E.T. Η θεώρηση αυτή μπορεί να εξηγηθεί σύμφωνα με τα ακόλουθα.

- 1) Το Laser δύσκολα ανιχνεύει κόκκους με μέγεθος μικρότερο του 1 mm και
- 2) τα μόρια του αζώτου που χρησιμοποιήθηκαν στη μέθοδο του B.E.T. έχουν μικρή επιφάνεια και ίση με 0.162 nm^2 με αποτέλεσμα και οι πολλοί μικροί κόκκοι να μπορούν να ανιχνευτούν με την μέθοδο αυτή.

Πίνακας 2.12 : Η συνολική ειδική επιφάνεια για τα υλικά μάρμαρο και χαλαζία με βάση τις μεθόδους που ακολουθήθηκαν.

	<i>Συνολική ειδική επιφάνεια m^2/g</i>			
	<i>Μάρμαρο</i>		<i>Χαλαζίας</i>	
<i>Χρόνος λειτουργίβησης min</i>	<i>B.E.T.</i>	<i>Laser</i>	<i>B.E.T.</i>	<i>Laser</i>
0	0.056	0.063	0.013	0.008
2.5	0.078	0.087	0.021	0.014
5	0.107	0.121	0.047	0.032
10	0.172	0.195	0.085	0.056
20	0.254	0.290	0.135	0.087
40	0.391	0.449	0.234	0.147

2.4.7 Χρήση Laser για τον υπολογισμό της κατανομής βάρους του κλάσματος 0-10 μm

Στα δείγματα που πήραμε από την υπερχειλίση του κυκλώνα, O/F, υπολογίστηκε η κοκκομετρική τους κατανομή με χρήση του κοκκομετρικού αναλυτή Laser.

Οι αναφορές που πήραμε από τον αναλυτή Laser (Laser diffraction size analysis report), όπως παρατηρούμε, εμφανίζουν τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης των υλικών σε μορφή πινάκων (Παράρτημα Α.2). Στους πίνακες αυτούς αναγράφεται το ανώτερο και το κατώτερο μέγεθος των κόκκων (Size High και Size Low) και το αθροιστικό ποσοστό % μικρότερο και μεγαλύτερο από το αντίστοιχο μέγεθος (Under % και In % αντίστοιχα).

Στην παρούσα εργασία για την περιγραφή της κοκκομετρικής κατανομής του κλάσματος 0-10 μm , χρησιμοποιήθηκε η αθροιστική κατανομή βάρους % αθροιστικώς μικρότερο ή διερχόμενο.

Επειδή ο όγκος των δεδομένων που πήραμε από το Laser ήταν μεγάλος δημιουργήσαμε τους πίνακες 2.13M και 2.13X όπου παρουσιάζουν το αθροιστικό ποσοστό % μικρότερο ή διερχόμενο από το αντίστοιχο μέγεθος για κάθε χρόνο λειοτρίβησης, για τα υλικά μάρμαρο και χαλαζία. Οι στήλες 1 ,που δείχνουν τα μεγέθη σε μm , υπολογίστηκαν ξεκινώντας από το μέγεθος 65.51 μm με μείωση του μεγέθους κατά $\sqrt{2}$, ενώ οι τιμές των στηλών 2 δείχνουν τα μεγέθη που λάβαμε από το Laser και που προσεγγίζουν τις αντίστοιχες τιμές των στηλών 1. Επίσης, οι στήλες 3 δείχνουν τα αθροιστικά ποσοστά % μικρότερα από τα αντίστοιχα μεγέθη για κάθε χρόνο λειοτρίβησης.

Τα αποτελέσματα των πινάκων 2.13M και 2.13X τα παραστήσαμε γραφικώς. Στον οριζόντιο άξονα έχουμε το μέγεθος (στήλες 2) και στον κατακόρυφο το βάρος % αθροιστικώς διερχόμενο από το αντίστοιχο μέγεθος, σε λογαριθμική κλίμακα (διαγράμματα 2.4M και 2.4X).

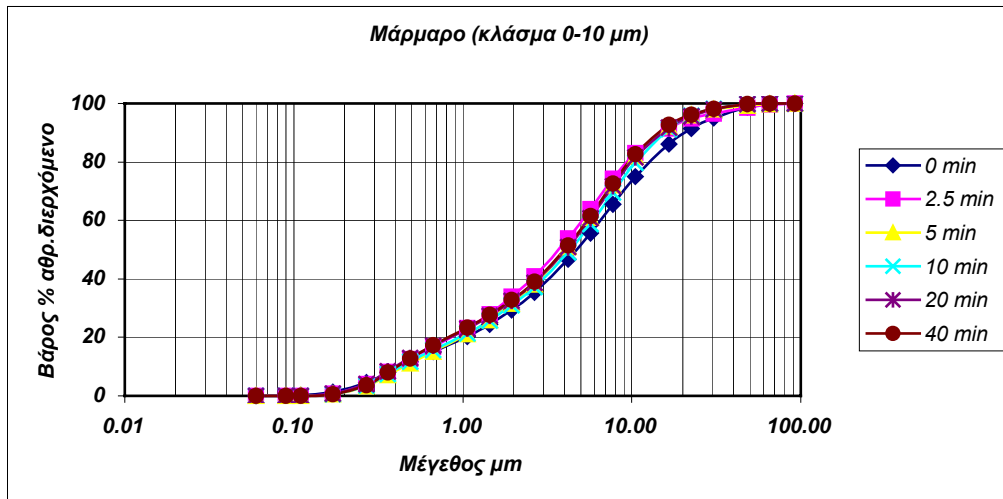
Πίνακας 2.13Μ : Πίνακας κατανομής αθροιστικώς διερχόμενου βάρους %, του κλάσματος 0-10 μm , του μάρμαρου με βάση το Laser.

		<i>Βάρος% αθρ .διερχόμενο</i>					
<i>Μέγεθος μm</i>	<i>Μέγεθος μm (Laser)</i>	<i>0 min</i>	<i>2.5 min</i>	<i>5 min</i>	<i>10 min</i>	<i>20 min</i>	<i>40 min</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>					
	92.65	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
65.51	65.51	99.85	99.56	99.80	100.00	100.00	100.00
46.32	48.27	98.76	98.62	99.33	99.88	99.81	99.83
32.76	30.53	95.14	96.53	98.01	98.23	97.97	98.26
23.16	22.49	91.37	94.94	95.92	95.72	95.63	96.24
16.38	16.57	86.18	91.41	92.14	91.25	91.84	92.73
11.58	10.48	74.96	82.95	81.94	79.75	81.61	82.65
8.19	7.72	65.43	74.26	71.99	69.45	71.67	72.60
5.79	5.69	55.73	63.93	61.02	58.73	60.83	61.57
4.09	4.19	46.67	53.91	50.87	49.10	50.92	51.46
2.90	2.65	35.32	40.92	38.22	37.26	38.77	39.13
2.05	1.95	29.29	33.86	31.48	30.95	32.45	32.80
1.45	1.44	24.37	27.99	25.87	25.71	27.31	27.67
1.02	1.06	20.34	23.11	21.17	21.35	23.02	23.35
0.72	0.67	15.21	16.79	15.13	15.61	17.17	17.30
0.51	0.49	11.74	12.53	11.11	11.61	12.88	12.81
0.36	0.36	8.09	8.17	7.05	7.44	8.31	8.06
0.26	0.27	4.54	4.06	3.32	3.53	3.98	3.65
0.18	0.17	1.22	0.81	0.55	0.59	0.68	0.53
0.13	0.11	0.20	0.09	0.05	0.05	0.06	0.04
0.09	0.09	0.10	0.04	0.02	0.02	0.03	0.01
0.06	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

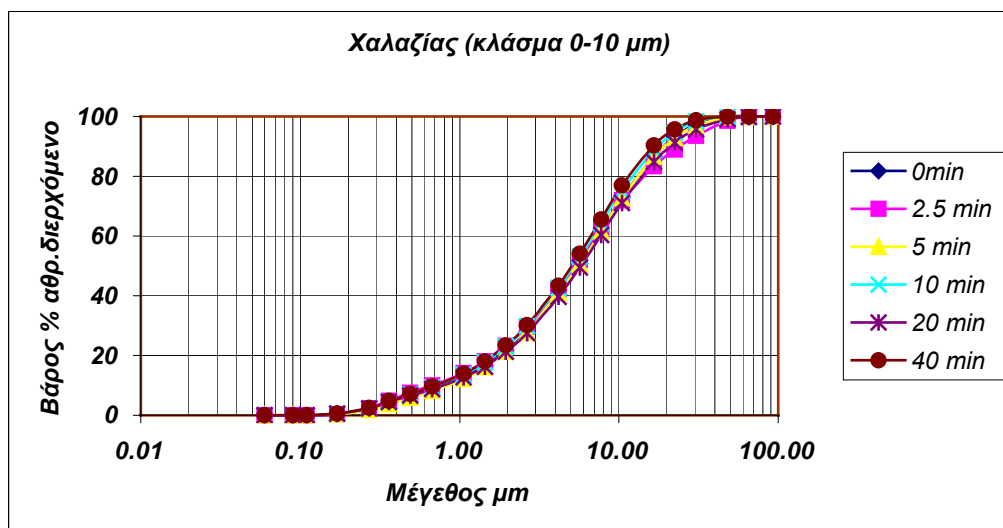
Πίνακας 2.13X : Πίνακας κατανομής αθροιστικώς διερχόμενου βάρους %, του κλάσματος 0-10 μm , του χαλαζία με βάση το Laser.

		<i>Βάρος% αθρ . διερχόμενου</i>					
<i>Μέγεθος μm</i>	<i>Μέγεθος μm (Laser)</i>	<i>0min</i>	<i>2.5 min</i>	<i>5 min</i>	<i>10 min</i>	<i>20 min</i>	<i>40 min</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>					
	92.65	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
65.51	65.51	100.00	100.00	100.00	100.00	99.84	100.00
46.32	48.27	100.00	98.50	99.74	100.00	99.03	100.00
32.76	30.53	97.38	93.52	96.93	98.34	95.71	98.78
23.16	22.49	93.15	88.91	92.87	94.72	91.28	95.75
16.38	16.57	86.68	83.33	86.54	88.67	84.74	90.27
11.58	10.48	72.90	71.92	72.75	75.18	71.15	77.00
8.19	7.72	61.85	62.33	61.68	64.22	60.36	65.59
5.79	5.69	50.73	52.00	50.56	53.09	49.54	54.02
4.09	4.19	40.47	42.09	41.00	42.72	39.59	43.34
2.90	2.65	27.92	29.63	27.73	29.77	27.44	30.19
2.05	1.95	21.53	23.14	21.17	22.98	21.21	23.37
1.45	1.44	16.62	18.02	16.01	17.60	16.32	17.98
1.02	1.06	12.99	14.14	12.14	13.53	12.65	13.89
0.72	0.67	9.08	9.96	8.15	9.25	8.81	9.57
0.51	0.49	6.72	7.47	5.94	6.88	6.64	7.16
0.36	0.36	4.29	4.88	3.77	4.54	4.44	4.75
0.26	0.27	1.99	2.38	1.74	2.33	2.30	2.43
0.18	0.17	0.31	0.42	0.27	0.48	0.49	0.51
0.13	0.11	0.02	0.04	0.02	0.06	0.06	0.06
0.09	0.09	0.01	0.02	0.01	0.03	0.03	0.03
0.06	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Διάγραμμα 2.4M : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους, του κλάσματος 0-10 μm , του μάρμαρου με βάση το Laser.



Διάγραμμα 2.4X : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους, του κλάσματος 0-10 μm , του χαλαζία με βάση το Laser.



2.4.8 Υπολογισμός ενέργειας κατά την λειοτρίβηση

Αν παραστήσουμε γραφικά το βάρος % αθροιστικώς διερχόμενο κάθε κοκκομετρικού κλάσματος σε σχέση με το χρόνο λειοτρίβησης (διαγράμματα 2.5M και 2.5X) τότε οι καμπύλες οι οποίες δημιουργούνται έχουν την γενική μορφή :

$$W_x = W_{x_0} + \kappa_x \cdot P \cdot t$$

Όπου : W_x : το βάρος % αθροιστικό διερχόμενο μικρότερο από μέγεθος x

W_{x_0} : το βάρος % αθροιστικό διερχόμενο μικρότερο από μέγεθος x , της αρχικής τροφής, που υπάρχει στο χρόνο μηδέν.

P : η ισχύς του μύλου και

κ_x : ο ρυθμός παραγωγής (βάρος ανά μονάδα ενέργειας)

Επομένως, η γραφική παράσταση του βάρους W_x , για ένα συγκεκριμένο μέγεθος x , συναρτήσει του χρόνου t , δίνει μια ευθεία γραμμή που τέμνει τον κατακόρυφο άξονα στο σημείο W_{x_0} , και η κλίση της ευθείας είναι $\kappa_x \cdot P$. Το κ_x υπολογίζεται από την κλίση αυτή, όταν γνωρίζουμε την ισχύ του μύλου. Η ειδική ενέργεια e_x υπολογίζεται από την σχέση :

$$e_x = 1 / \kappa_x$$

Στην παρούσα εργασία για τον υπολογισμό της ειδικής ενέργειας e_x τα υλικά μάρμαρο και χαλαζίας λειοτριβήθηκαν σε εργαστηριακό ραβδόμυλο καθαρής ισχύος $P=20$ Watt. Ο υπολογισμός της καθαρής ισχύος P έγινε συναρτήσει 1) του βάρους W του φορτίου 2) της συχνότητας περιστροφής N και 3) της διαμέτρου D του μύλου [11] και παρουσιάζεται αναλυτικά στο παράρτημα Α.4.

Από τα διαγράμματα 2.5M και 2.5X που λάβαμε παρατηρούμε ότι οι καμπύλες έχουν στην αρχή ένα ευθύγραμμο τμήμα, η κλίση των οποίων είναι ο ρυθμός παραγωγής $\kappa_x \cdot P$, ενώ με το πέρασμα του χρόνου οι γραμμές αυτές καμπυλώνονται για να φτάσουν ασυμπτωτικά στο 100. Αυτό συμβαίνει επειδή η δοκιμή είναι

Μεταπτυχιακή διατριβή : Ευάγγελος Πετράκης 69

ασυνεχούς λειτουργίας και όσο περνά ο χρόνος καταναλώνονται τα χονδρότερα κλάσματα από τα οποία πηγάζουν τα λεπτότερα.

Για τον υπολογισμό της ειδικής ενέργειας e_x των υλικών εργαστήκαμε ως εξής. Παραστήσαμε γραφικώς το βάρος % αθροιστικώς διερχόμενο σε συνάρτηση με το χρόνο λειοτρίβησης (διαγράμματα 2.6M και 2.6X) και υπολογίσαμε τις κλίσεις των ευθειών. Για αυτό το λόγο οι τιμές οι οποίες βρίσκονταν εκτός των αρχικών ευθειών των καμπύλων παραλήφθηκαν. Οι εν λόγω κλίσεις είχαν μονάδες βάρους % ανά χρόνο και μετατράπηκαν σε μονάδες ενέργειας (Kwh/ton), όπως παρουσιάζονται στους πίνακες 2.14M και 2.14X.

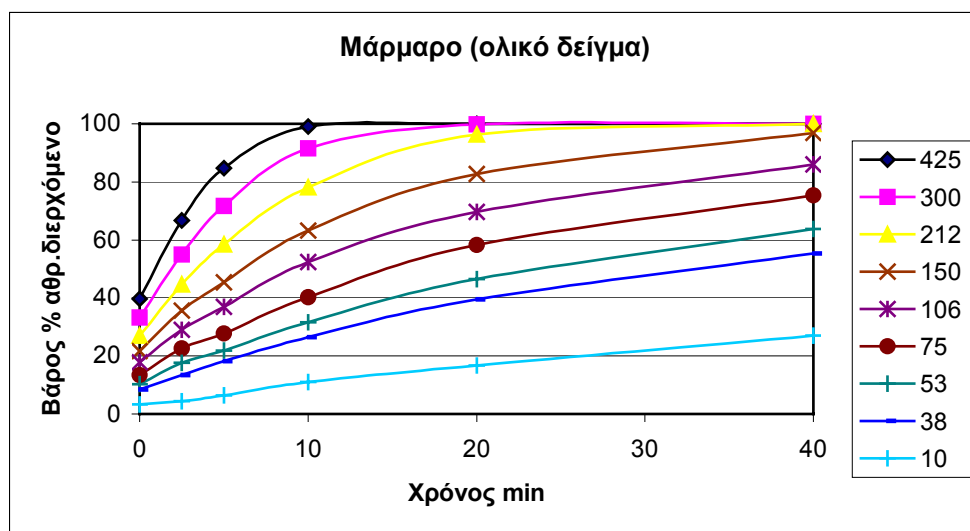
Σύμφωνα με τους παραπάνω πίνακες, οι στήλες 1 εμφανίζουν τα μεγέθη των κλασμάτων σε μm . Οι στήλες 2 παρουσιάζουν τις τιμές των κλίσεων που λάβαμε από τα αντίστοιχα διαγράμματα 2.6M και 2.6X με μονάδες βάρος % / min, ενώ στις στήλες 3 μετατράπηκαν οι τιμές σε μονάδες Kg/min, διαιρώντας τις τιμές των στηλών 1 με 100.

Οι τιμές των στηλών 4 είναι οι αντίστροφες των στηλών 3 με μονάδες min/Kg, ενώ οι τιμές στις στήλες 5 μετατράπηκαν σε μονάδες joule/Kg, πολλαπλασιάζοντας τις τιμές των στηλών 4 με το 1200, λόγω της σχέσης $1\text{joule} = 1\text{watt} \cdot 1\text{sec}$ και δεδομένου ότι η καθαρή ισχύς του μύλου είναι 20 Watt.

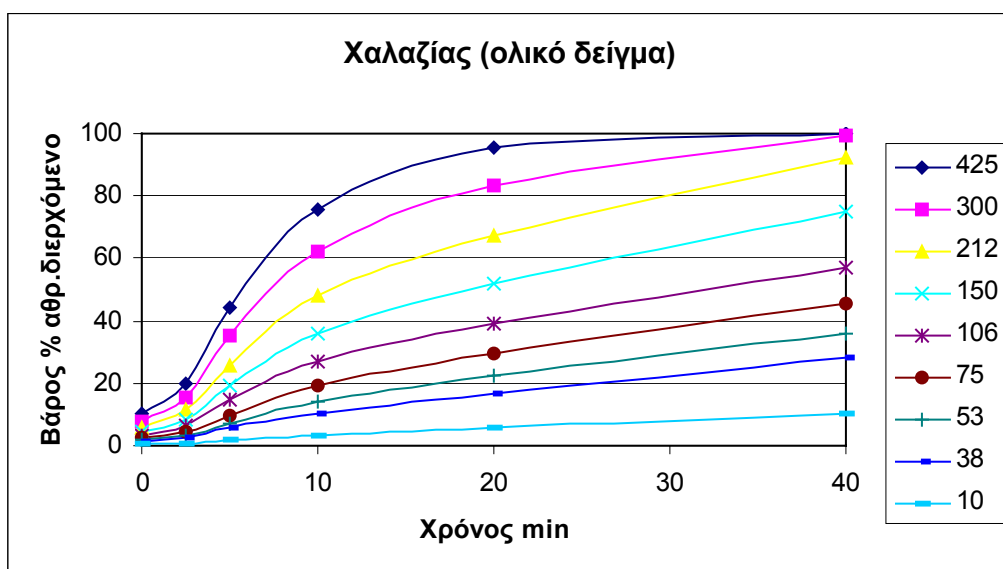
Εάν διαιρέσουμε τις τιμές των στηλών 5 με το 1000 τότε προκύπτουν οι στήλες 6 με τιμές που έχουν μονάδες Kjoule/Kg. Επίσης, οι στήλες 7 προκύπτουν διαιρώντας τις τιμές των στηλών 6 με το 3600 ($1\text{KWh} = 3600\text{ Kjoule}$).

Τέλος, εάν διαιρέσουμε τις τιμές των στηλών 7 με το 1000 καταλήγουμε σε τιμές με μονάδες Kwh/ton (στήλες 8).

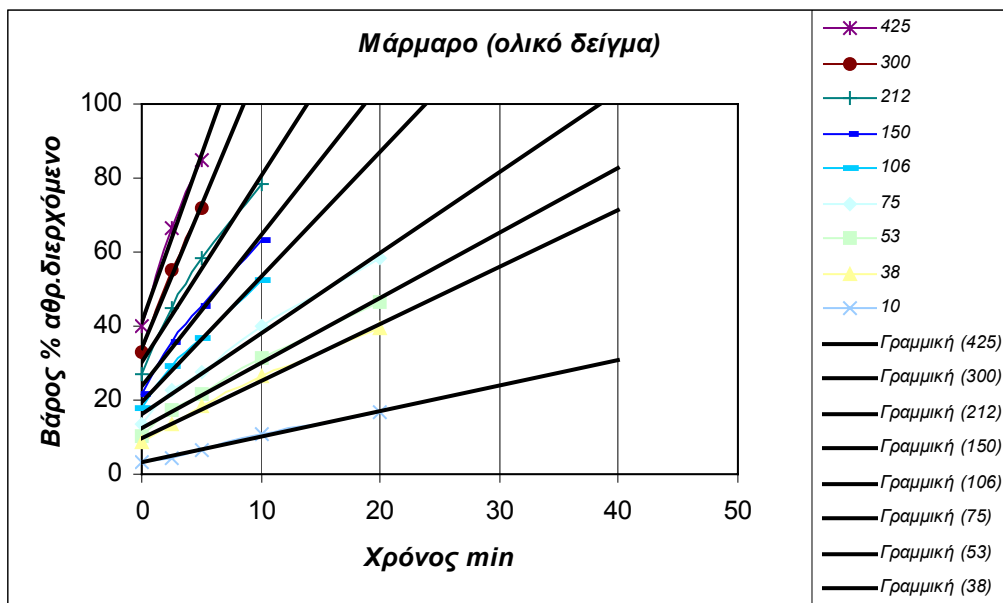
Διάγραμμα 2.5M : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους % του μάρμαρου σε σχέση με τον χρόνο λειοτρίβησης.



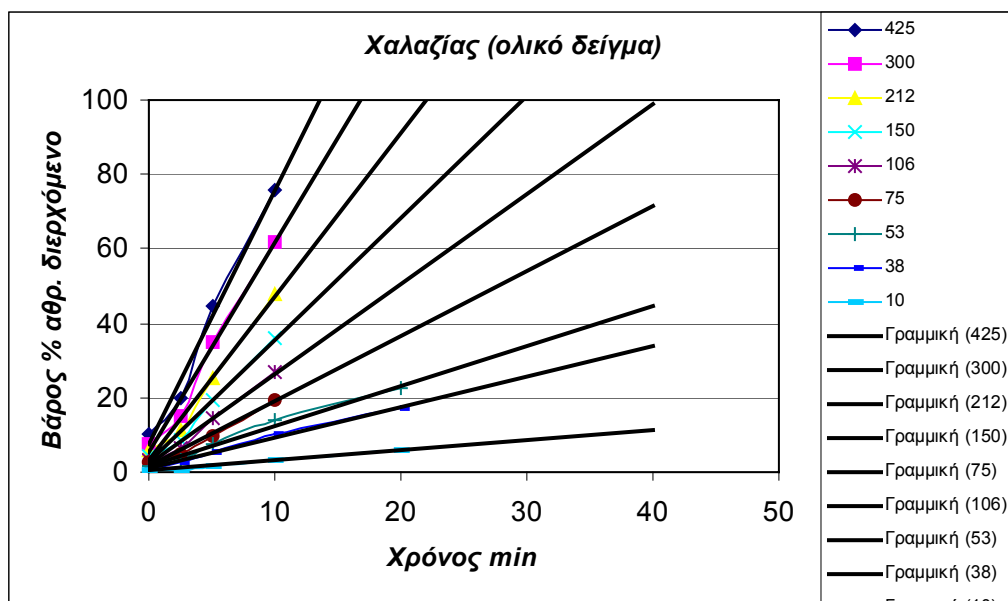
Διάγραμμα 2.5X : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους % του χαλαζία σε σχέση με τον χρόνο λειοτρίβησης.



Διάγραμμα 2.6M : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους % του μάρμαρου σε σχέση με τον χρόνο λειοτρίβησης και οι γραμμικές των καμπυλών.



Διάγραμμα 2.6X : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους % του χαλαζία σε σχέση με τον χρόνο λειοτρίβησης και οι γραμμικές των καμπυλών.



Πίνακας 2.14M : Πίνακας μετατροπής των μονάδων βάρος % / min σε μονάδες
Kwh/ton, για το μάρμαρο.

<i>Μέγεθος μm</i>	<i>Βάρος% /min</i>	<i>Kg/min</i>	<i>min/Kg</i>	<i>Joule/Kg</i>	<i>Kjoule/kg</i>	<i>Kwh/Kg</i>	<i>Kwh/ton</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
425	9.01	0.090	11.104	13,324	13.32	0.0037	3.70
300	7.69	0.077	13.004	15,605	15.60	0.0043	4.33
212	5.01	0.050	19.960	23,952	23.95	0.0067	6.65
150	4.07	0.041	24.570	29,484	29.48	0.0082	8.19
106	2.52	0.025	39.683	47,619	47.62	0.0132	13.23
75	2.18	0.022	45.872	55,046	55.05	0.0153	15.29
53	1.76	0.018	56.818	68,182	68.18	0.0189	18.94
38	1.54	0.015	64.935	77,922	77.92	0.0216	21.65
10	0.69	0.007	144. 928	173,913	173. 91	0.0483	48.31

Πίνακας 2.14X : Πίνακας μετατροπής των μονάδων βάρος % / min σε μονάδες
Kwh/ton, για τον χαλαζία.

<i>Μέγεθος μm</i>	<i>Βάρος% /min</i>	<i>Kg/min</i>	<i>min/Kg</i>	<i>Joule/Kg</i>	<i>Kjoule/kg</i>	<i>Kwh/Kg</i>	<i>Kwh/ton</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
425	6.851	0.069	14.596	17,516	17.52	0.0049	4.87
300	5.629	0.056	17.765	21,318	21.32	0.0059	5.92
212	4.387	0.044	22.795	27,354	27.35	0.0076	7.60
150	3.279	0.033	30.497	36,597	36.60	0.0102	10.17
106	2.421	0.024	41.305	49,566	49.57	0.0138	13.77
75	1.755	0.018	56.980	68,376	68.38	0.0190	18.99
53	1.064	0.011	93.985	112,782	112.78	0.0313	31.33
38	0.809	0.008	123.609	148,331	148.33	0.0412	41.20
10	0.271	0.003	369.004	442,804	442.80	0.1230	123.00

Για τον υπολογισμό της ειδικής ενέργειας e_x λογαριθμήσαμε τις τιμές των στηλών 1 και 8, των αντίστοιχων πινάκων 2.14M και 2.14X, οπότε δημιουργήθηκε ο πίνακας 2.15.

Εάν, παραστήσουμε γραφικά την ειδική ενέργεια συναρτήσει του μεγέθους σε κλίμακα log-log τότε προκύπτει μια ευθεία γραμμή, όπως προβλέπεται από την θεωρία (διαγράμματα 2.7M και 2.7X). Η κλίση της γραμμής αυτής είναι η ποσότητα $2n-3$, που όπως έχει αναφερθεί είναι αρνητική.

Ένας δεύτερος τρόπος υπολογισμού της ενέργειας κατά την λειοτρίβηση παρουσιάζεται παρακάτω.

Δεδομένου ότι η καθαρή ισχύς του εργαστηριακού μύλου είναι σταθερή ($P = 20 \text{ Watt}$) προκύπτει ότι η προσφερόμενη ενέργεια είναι ανάλογη του χρόνου λειοτρίβησης. Έτσι, μπορούμε να υπολογίσουμε την ενέργεια που καταναλώνεται για κάθε χρόνο λειοτρίβησης και κατ' επέκταση και την ειδική ενέργεια, όπως παρουσιάζεται στους πίνακες 2.16M και 2.16X.

Σύμφωνα με τους παραπάνω πίνακες, οι στήλες 1 εμφανίζουν τον χρόνο λειοτρίβησης σε min και οι στήλες 2 την ενέργεια που καταναλώνεται κατά την λειοτρίβηση σε joule. Η ενέργεια υπολογίστηκε πολλαπλασιάζοντας τις τιμές των στηλών 1 επί την καθαρή ισχύ του μύλου ($= 20 \text{ Watt}$) επί 60, δεδομένου ότι $1 \text{ joule} = 1 \text{ Watt} \cdot 1 \text{ sec}$. Επίσης, οι στήλες 3 παρουσιάζουν την ειδική ενέργεια σε joule/g και προέκυψαν διαιρώντας τις τιμές των στηλών 2 με το 1000, δεδομένου ότι η ποσότητα των υλικών που λειοτριβήθηκαν ήταν 1000 g.

Οι στήλες 4 εμφανίζουν την συνολική ειδική επιφάνεια των υλικών, όπως παρουσιάστηκε στον πίνακα 2.12, με βάση την μέθοδο B.E.T.

Εάν παραστήσουμε γραφικά την συνολική ειδική επιφάνεια, που λάβαμε με την μέθοδο B.E.T., συναρτήσει της ειδικής ενέργειας τότε προκύπτουν καμπύλες με κλίσεις κ (διαγράμματα 2.8M και 2.8X). Οι αντίστροφες τιμές $1 / \kappa$ έχουν μονάδες $\text{joule} / \text{m}^2$ και δείχνουν την ενέργεια που δαπανάται για την δημιουργία μιας μονάδας

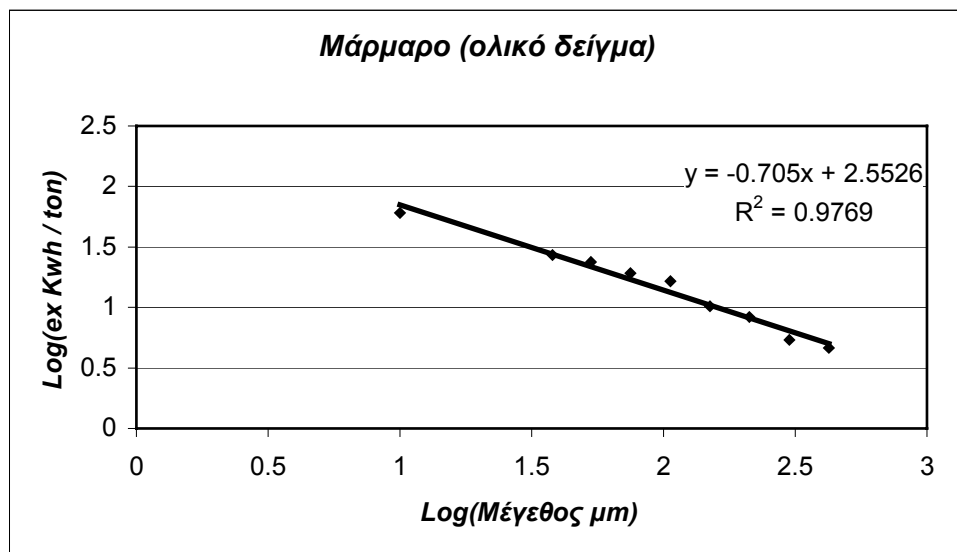
νέας επιφάνειας (φαινόμενη επιφανειακή τάση). Είναι φανερό ότι η φαινόμενη επιφανειακή τάση είναι μικρότερη της πραγματικής γιατί ένα μόνο μέρος της ενέργειας καταναλώνεται για την δημιουργία νέας επιφάνειας.

Οι υπολογιζόμενες τιμές της φαινόμενης επιφανειακής τάσης παρουσιάζονται στον πίνακα 2.17 για το μάρμαρο και τον χαλαζία.

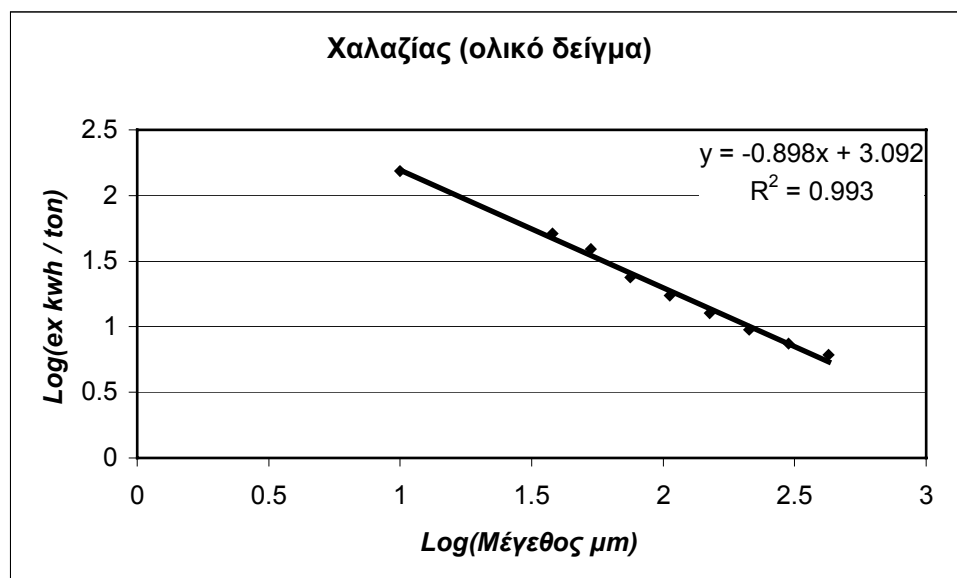
Πίνακας 2.15 : Πίνακας του Log μεγέθους συναρτήσει του Log e_x , για το μάρμαρο και τον χαλαζία.

	<i>Log(e_x Kwh/ton)</i>	
<i>Log(Μέγεθος μm)</i>	<i>Μάρμαρο</i>	<i>Χαλαζίας</i>
2.63	0.67	0.78
2.48	0.73	0.87
2.33	0.92	0.98
2.18	1.01	1.10
2.03	1.22	1.24
1.88	1.28	1.38
1.72	1.37	1.59
1.58	1.43	1.71
1.00	1.78	2.19

Διάγραμμα 2.7M : Η καμπύλη της ειδικής ενέργειας συναρτήσει του μεγέθους για το μάρμαρο.



Διάγραμμα 2.7X : Η καμπύλη της ειδικής ενέργειας συναρτήσει του μεγέθους για τον χαλαζία.



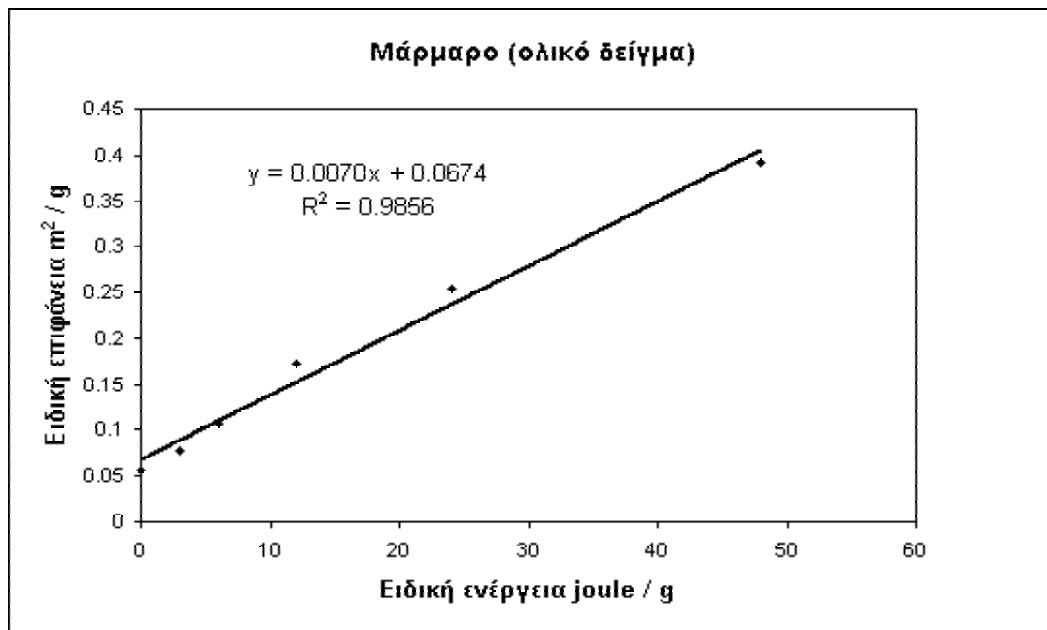
Πίνακας 2.16M : Πίνακας που συνδέει την ειδική ενέργεια με την συνολική ειδική επιφάνεια για το μάρμαρο.

<i>Χρόνος Λειτουργίβησης min</i>	<i>Ενέργεια joule</i>	<i>Ειδική ενέργεια joule/g</i>	<i>Συνολική ειδική επιφάνεια m²/g</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
0	0	0.0	0.056
2.5	3,000	3.0	0.078
5	6,000	6.0	0.107
10	12,000	12.0	0.172
20	24,000	24.0	0.254
40	48,000	48.0	0.391

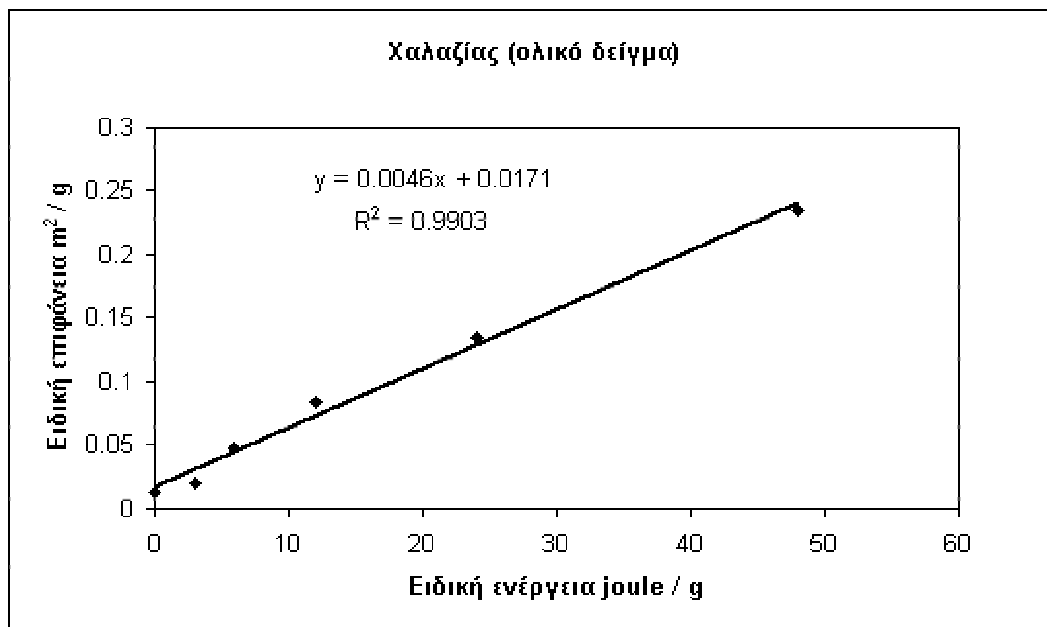
Πίνακας 2.16X : Πίνακας που συνδέει την ειδική ενέργεια με την συνολική ειδική επιφάνεια για τον χαλαζία.

<i>Χρόνος Λειτουργίβησης min</i>	<i>Ενέργεια joule</i>	<i>Ειδική ενέργεια joule/g</i>	<i>Συνολική ειδική επιφάνεια m²/g</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
0	0	0.0	0.013
2.5	3,000	3.0	0.021
5	6,000	6.0	0.047
10	12,000	12.0	0.085
20	24,000	24.0	0.135
40	48,000	48.0	0.234

Διάγραμμα 2.8M : Η καμπύλη της ειδικής ενέργειας συναρτήσει της ειδικής επιφάνειας για το μάρμαρο και η γραμμική της καμπύλης.



Διάγραμμα 2.8X : Η καμπύλη της ειδικής ενέργειας συναρτήσει της ειδικής επιφάνειας για τον χαλαζία και η γραμμική της καμπύλης.



Πίνακας 2.17 : Η επιφανειακή τάση για τα υλικά μάρμαρο και χαλαζία όπως υπολογίστηκε με βάση το B.E.T.

	<i>Φαινόμενη επιφανειακή τάση joule/m²</i>	
<i>Μέθοδος</i>	<i>Μάρμαρο</i>	<i>Χαλαζίας</i>
<i>B.E.T.</i>	142. 9	217.4

2.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

2.5.1 Αποτελέσματα για το μάρμαρο

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για το μάρμαρο έδειξαν ότι :

- (1) $\alpha = 0.628$
- (2) ή
- και $n = 1.148$

Το (α) υπολογίστηκε στον πίνακα 2.7M βάση του διαγράμματος 2.3M και η ποσότητα $(1-m=2n-3)$ αποτελεί την κλίση του διαγράμματος 2.7M.

Από τα παραπάνω υπολογίστηκαν οι ποσότητες $(2n-3+\alpha)$ και $(1-m+\alpha)$ των εξισώσεων (8) και (9α) και βρέθηκε ότι $2n-3+\alpha = 1-m+\alpha = -0.08$.

Στην βιβλιογραφία αναφέρεται ότι για τα περισσότερα ορυκτά οι ποσότητες $(2n-3+\alpha)$ και $(1-m+\alpha)$ είναι πολύ κοντά στο μηδέν, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση μας.

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου οι τιμές είναι αξιόλογα μεγαλύτερες του μηδέν για ορυκτά που έχουν σχισμό όπως το αλάτι και ο γαληνίτης (Charles 1957).

Οι τιμές των (α) , (n) και (m) προσδιορίστηκαν ανεξάρτητα μεταξύ τους και έτσι οι ποσότητες $(2n-3+\alpha)$ και $(1-m+\alpha)$ λαμβάνουν το πειραματικό σφάλμα και των δύο τιμών. Γι' αυτό το λόγο η αρνητική τιμή που υπολογίσαμε για το μάρμαρο μπορεί να εξηγηθεί σαν πειραματικό σφάλμα., διαφορετικά η θραύση θα ήταν ένα εξώθερμο φαινόμενο.

Επίσης, οι τιμές των (m) και (n) δεν φαίνεται να ανταποκρίνονται σε κάποιον από τους νόμους της θραύσης. Για τον νόμο του Rittinger οι τιμές των (m) και (n) θα έπρεπε να είναι ίσες με 2 και 1 αντίστοιχα και για τον νόμο του Bond με 1.5 και 1.25 αντίστοιχα. Σύμφωνα και με τον καθηγητή Hukki (1943) οι τιμές των (m) και (n) δεν παραμένουν σταθερές αλλά μεταβάλλονται ανάλογα με τον τύπο του μηχανισμού λειοτρίβησης.

Προκειμένου να μπορέσουμε να εξηγήσουμε τον παραπάνω προβληματισμό υπολογίσαμε την ειδική επιφάνεια του μάρμαρου και παραστήσαμε γραφικώς την ειδική επιφάνεια συναρτήσει της ειδικής ενέργειας (διάγραμμα 2.8M). Η καμπύλη η οποία προέκυψε είναι ευθεία γραμμή που σημαίνει ότι η ειδική ενέργεια η οποία καταναλώνεται είναι ανάλογη της ειδικής επιφάνειας. Ισχύει, δηλαδή ο νόμος του Rittinger και έρχεται σε αντίθεση με την προηγούμενή μας προσέγγιση, ότι ισχύει κάποιος ενδιάμεσος νόμος.

Το φαινόμενο αυτό μπορεί να εξηγηθεί εάν λάβουμε υπόψη μας τις ακόλουθες παρατηρήσεις :

A) Οι Charles και Σταμπολιάδης θεώρησαν ότι το προϊόν της θραύσης ενός κόκκου είναι ένα σύνολο μικρότερων τεμαχίων όπου όλα μαζί διατηρούν την αρχική μάζα και ακολουθούν ένα συγκεκριμένο τύπο κατανομής που περιγράφεται από τον τύπο G.G.S.. Στην περίπτωση του μάρμαρου, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2.3M, παρατηρούμε ότι οι καμπύλες του αθροιστικώς διερχόμενου βάρους % συναρτήσει του μεγέθους (log-log διάγραμμα) δεν είναι παράλληλες μεταξύ τους. Οι διαφορές

των κλίσεων των καμπυλών είναι αρκετά μεγάλες που σημαίνει ότι δεν ακολουθείται κατ'ανάγκη η ίδια τιμή του συντελεστή κατανομής α .

Β) Στην πραγματικότητα κάθε υλικό το οποίο υπόκειται σε λειοτρίβηση απαρτίζεται από κόκκους διαφόρων μεγεθών. Κατά την διαδικασία της λειοτρίβησης, στο θάλαμο του ραβδόμυλου, οι μεγάλοι κόκκοι θραύονται, ενώ ταυτόχρονα παράγονται μικρότεροι κόκκοι από την θραύση των μεγαλύτερων. Όλοι οι κόκκοι δηλαδή οι οποίοι απαρτίζουν το υλικό δεν έχουν την ίδια πιθανότητα να σπάσουν αλλά εκλεκτικά σπάνε οι μεγαλύτεροι με αποτέλεσμα το βάρος τους να μειώνεται, ενώ ταυτόχρονα το βάρος των μικρότερων κόκκων να αυξάνεται.

Το φαινόμενο αυτό μπορούμε να το δούμε αν παραστήσουμε γραφικά το βάρος % των διάφορων κλασμάτων, για το μάρμαρο, σε συνάρτηση με τον χρόνο λειοτρίβησης (διάγραμμα 2.9M). Από το διάγραμμα παρατηρούμε μια μείωση του βάρους των χονδρών κλασμάτων με ταυτόχρονη αύξηση των ψιλών κλασμάτων. Πιο συγκεκριμένα όσο προχωράει η λειοτρίβηση φαίνεται ότι στα χονδρά κλάσματα το βάρος τους % αυξάνεται, στα μεσαία κλάσματα παρατηρείται αρχικά μια αύξηση του βάρους τους ενώ αργότερα διαφαίνεται μια σταδιακή μείωση και στα λεπτά και υπέρλεπτα κλάσματα το βάρος τους είναι συνεχώς αυξανόμενο.

Γ) Όπως φαίνεται στον πίνακα 2.10 οι τιμές της ειδικής επιφάνειας, του κλάσματος 0-10 μm , δεν μεταβάλλονται με τον χρόνο λειοτρίβησης. Από αυτό συμπεραίνουμε ότι το πολύ ψιλό υλικό δεν θραύεται καθόλου. Το ίδιο συμπέρασμα βγαίνει και από το διάγραμμα 2.4M όπου οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους, του κλάσματος 0-10 μm , σχεδόν ταυτίζονται μεταξύ τους και δεν μετατοπίζονται προς τα μικρότερα κλάσματα.

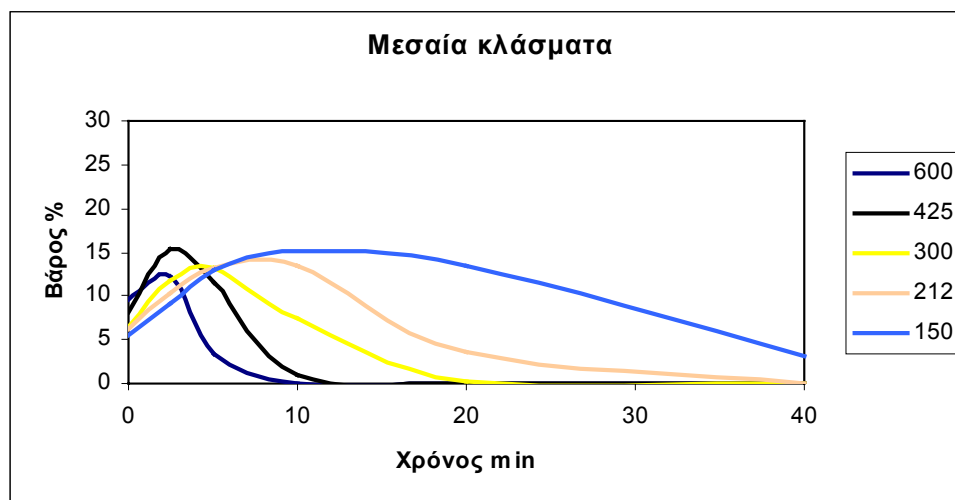
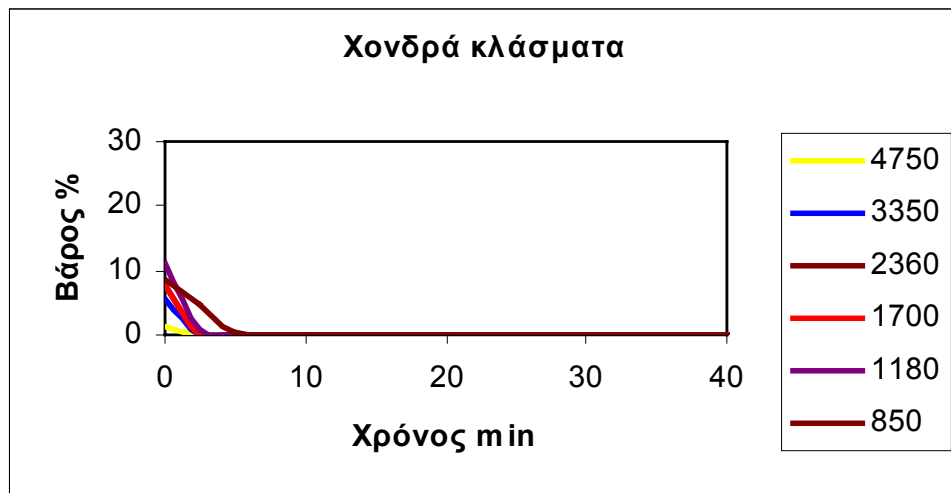
Με βάση τα παραπάνω βγάζουμε τα εξής συμπεράσματα:

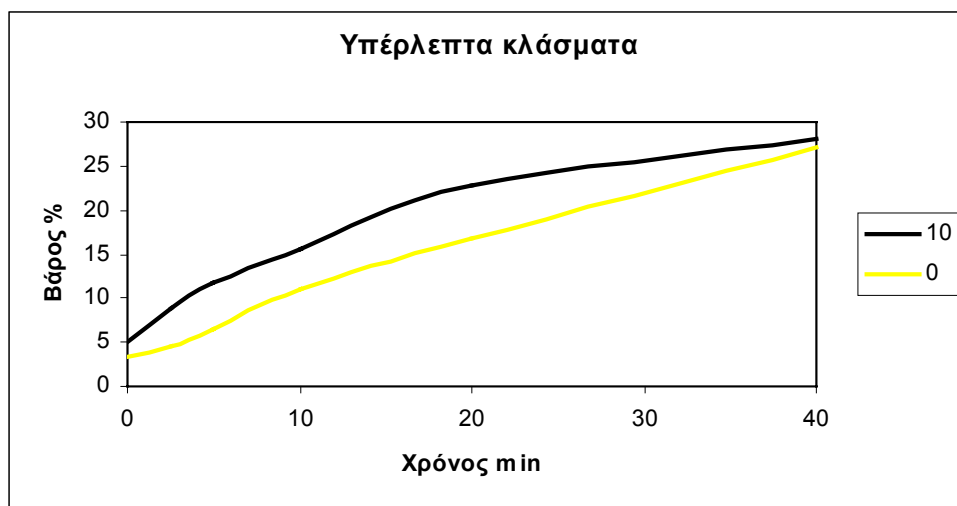
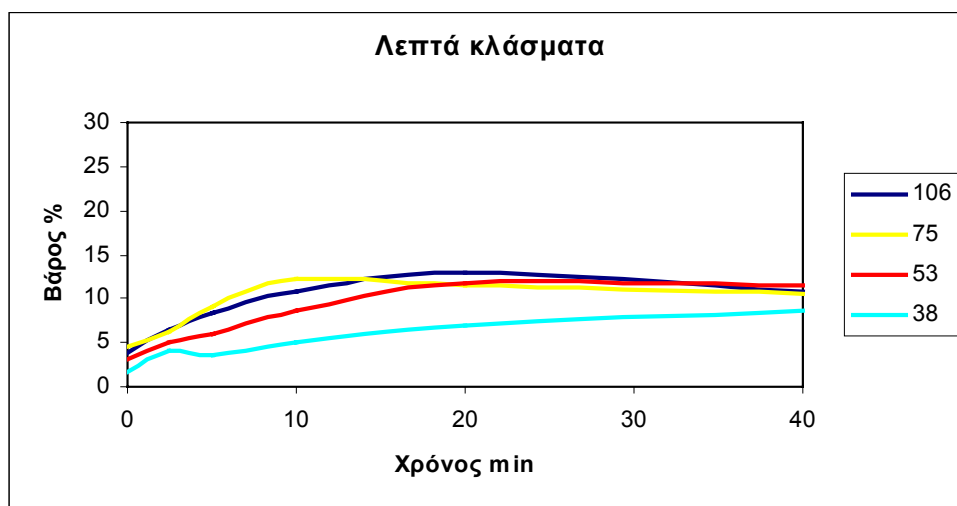
1. Οι βασικές θεωρίες που περιγράφουν την σχέση ενέργειας και μεγέθους τεμαχιδίου κατά την κατάτμηση των Rittinger, Bond και Kick καθώς και η γενικότερη θεωρία των Walker και Shaw, δεν ανταποκρίνονται σε κάποιο συγκεκριμένο φυσικό μηχανισμό κατάτμησης. Τα αποτελέσματα για το

μάρμαρο έδειξαν ότι δεν ισχύει καμία από τις παραπάνω θεωρίες και ότι μόνο προσεγγιστικά ισχύουν οι νόμοι Bond-Rittinger.

2. Η γραφική παράσταση της ειδικής ενέργειας συναρτήσει της ειδικής επιφάνειας έδειξε ότι στην περίπτωση του μάρμαρου ισχύει ο νόμος του Rittinger που αναιρεί την προηγούμενη προσέγγιση.
3. Οι Charles και Σταμπολιάδης θεώρησαν ότι το προϊόν της θραύσης ενός κόκκου ακολουθεί τον συγκεκριμένο τύπο κατανομής που περιγράφεται από την εξίσωση G.G.S., αλλά φαίνεται ότι η σταθερά κατανομής α μεταβάλλεται και δεν παραμένει σταθερά όπως έχουν υποθέσει.
4. Σύμφωνα με τον μηχανισμό της λειοτρίβησης οι μεγαλύτεροι κόκκοι θραύονται εκλεκτικά σε σχέση με τους μικρότερους κόκκους με αποτέλεσμα οι ενέργεια που καταναλώνεται να είναι μικρότερη από αυτή που βρίσκεται υπολογιστικά. Αυτό γίνεται διότι οι θεωρίες της θραύσης υποθέτουν ότι όλοι οι κόκκοι ανεξαρτήτου μεγέθους μειώνονται σε μέγεθος, χωρίς να υπάρχει κάποια εκλεκτικότητα κατά την διαδικασία της θραύσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα κατά τον υπολογισμό της καταναλισκόμενης ενέργειας να υπολογίζεται και η ενέργεια για την θραύση των μικρών κόκκων, που όπως γνωρίζουμε είναι μεγάλη.
5. Υπάρχει ένα μέγεθος κόκκων κάτω από το οποίο δεν παρατηρείται μείωση όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στον πίνακα 2.10 και από τις καμπύλες του διαγράμματος 2.4Μ.

Διαγράμματα 2.9M : Κατανομή βάρους του μάρμαρου για διάφορους χρόνους λειοτρίβησης του ραβδόμυλου





2.5.2 Αποτελέσματα για τον χαλαζία

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τον χαλαζία έδειξαν ότι :

- (1) $\alpha = 0.816$
- (2) $\frac{1}{m} = 1.051$ ή $\frac{1}{n} = 1.051$ και $n = 1.051$

Το α υπολογίστηκε στον πίνακα 2.7X βάση του διαγράμματος 2.3X και η ποσότητα $(1-m)$ ή $(2n-3)$ αποτελεί την κλίση του διαγράμματος 2.7X.

Από τα παραπάνω υπολογίστηκαν οι ποσότητες $(2n-3+\alpha)$ και $(1-m+\alpha)$ των εξισώσεων (8) και (9α) και βρέθηκε ότι $2n-3+\alpha = 1-m+\alpha = -0.08$.

Παρατηρούμε ότι και στην περίπτωση του χαλαζία οι τιμές των $(2n-3+\alpha)$ και $(1-m+\alpha)$ είναι πολύ κοντά στο μηδέν και έρχονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα του Charles.

Οι τιμές των (m) και (n) δεν φαίνεται να ανταποκρίνονται σε κάποιον από τους νόμους της θραύσης. Για τον νόμο του Rittinger οι τιμές των (m) και (n) θα έπρεπε να είναι ίσες με 2 και 1 αντίστοιχα και για τον νόμο του Bond με 1.5 και 1.25 αντίστοιχα. Σύμφωνα και με τον καθηγητή Hukki (1943) οι τιμές των (m) και (n) δεν παραμένουν σταθερές αλλά μεταβάλλονται ανάλογα με τον τύπο του μηχανισμού λειοτρίβησης.

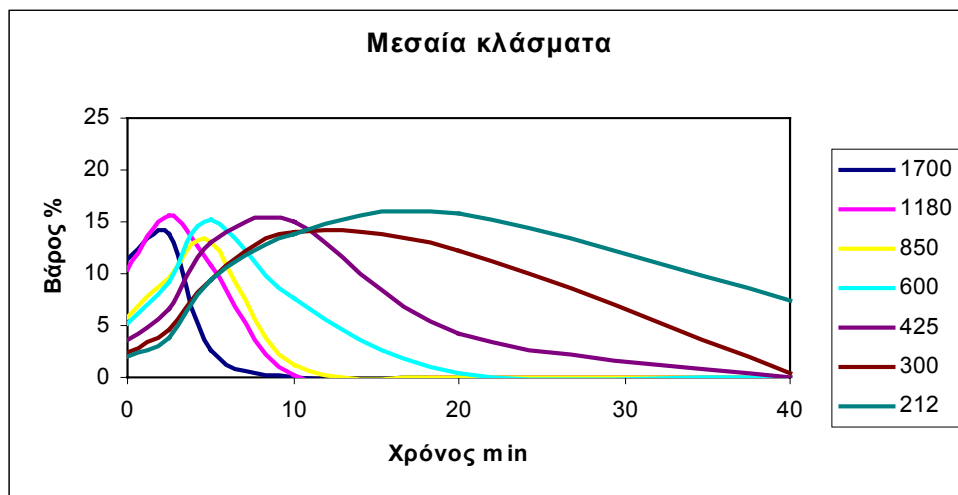
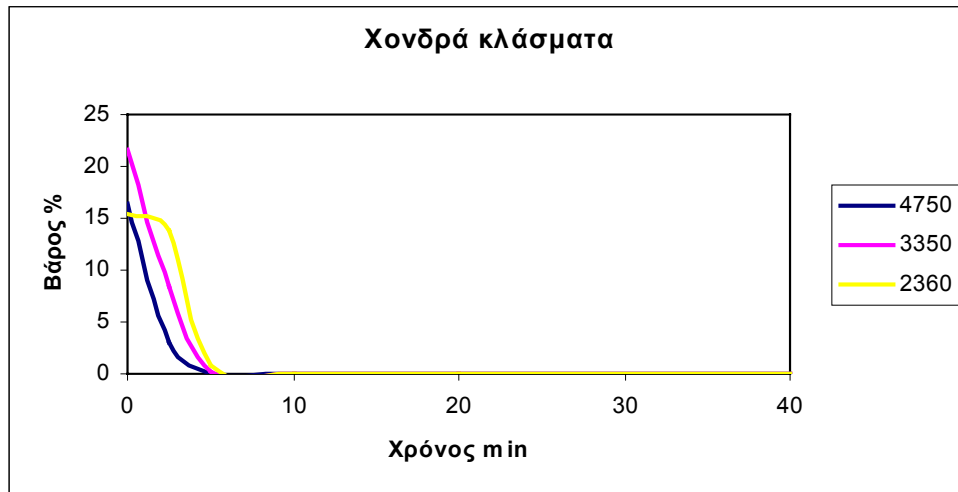
Επίσης, υπολογίσαμε την ειδική επιφάνεια του μάρμαρου και παραστήσαμε γραφικώς την ειδική επιφάνεια συναρτήσει της ειδικής ενέργειας (διάγραμμα 2.8X). Η καμπύλη για τον χαλαζία η οποία προέκυψε, όπως και στην περίπτωση του μάρμαρου, είναι ευθεία γραμμή που σημαίνει ότι η ειδική ενέργεια η οποία καταναλώνεται είναι

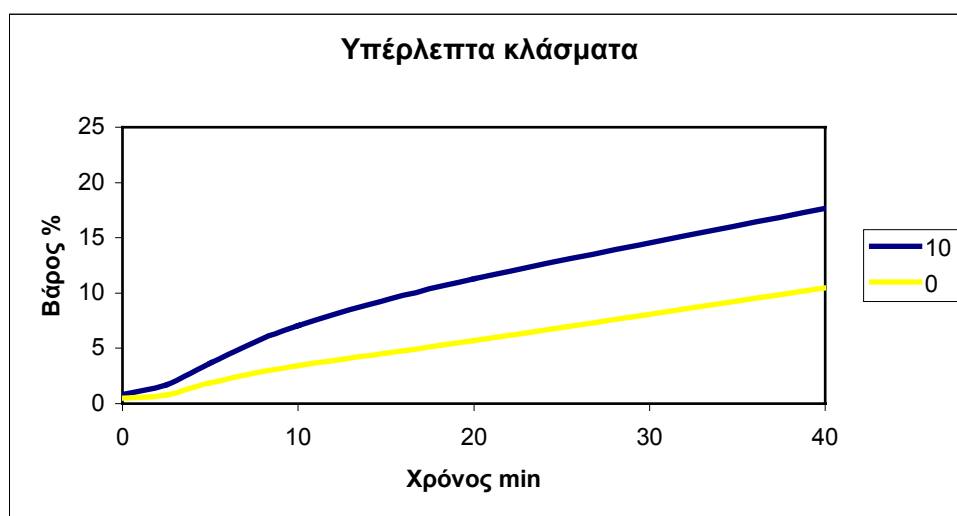
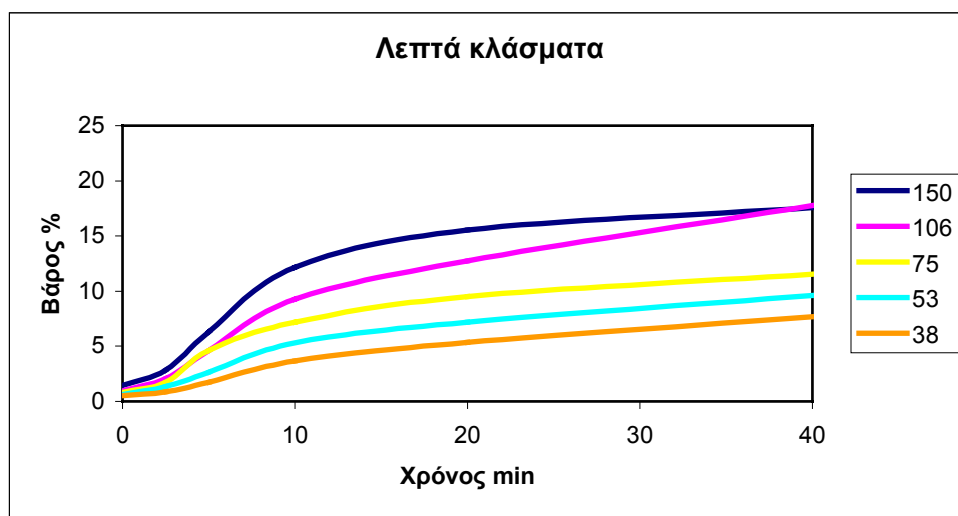
ανάλογη της ειδικής επιφάνειας. Ισχύει, δηλαδή ο νόμος του Rittinger και έρχεται σε αντίθεση με την προηγούμενή μας προσέγγιση, ότι ισχύει κάποιος ενδιάμεσος νόμος.

Στην περίπτωση του χαλαζία, λαμβάνοντας υπόψη μας τις παρατηρήσεις Α, Β και Γ που έγιναν για το μάρμαρο καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα :

6. Οι βασικές θεωρίες που περιγράφουν την σχέση ενέργειας και μεγέθους τεμαχιδίου κατά την κατάτμηση των Rittinger, Bond και Kick καθώς και η γενικότερη θεωρία των Walker και Shaw, δεν ανταποκρίνονται σε κάποιο συγκεκριμένο φυσικό μηχανισμό κατάτμησης. Τα αποτελέσματα για τον χαλαζία, όπως και για το μάρμαρο, έδειξαν ότι δεν ισχύει καμία από τις παραπάνω θεωρίες και ότι μόνο προσεγγιστικά ισχύουν οι νόμοι Bond-Rittinger.
7. Η γραφική παράσταση της ειδικής ενέργειας συναρτήσει της ειδικής επιφάνειας έδειξε ότι στην περίπτωση του χαλαζία ισχύει ο νόμος του Rittinger που αναιρεί την προηγούμενη προσέγγιση.
8. Οι Charles και Σταμπολιάδης θεώρησαν ότι το προϊόν της θραύσης ενός κόκκου ακολουθεί τον συγκεκριμένο τύπο κατανομής που περιγράφεται από την εξίσωση G.G.S., αλλά φαίνεται ότι η σταθερά κατανομής α μεταβάλλεται και δεν παραμένει σταθερά όπως έχουν υποθέσει.
9. Σύμφωνα με τον μηχανισμό της λειοτρίβησης οι μεγαλύτεροι κόκκοι θραύονται εκλεκτικά σε σχέση με τους μικρότερους κόκκους (διαγράμματα 2.9X) με αποτέλεσμα οι ενέργεια που καταναλώνεται να είναι μικρότερη από αυτή που βρίσκεται υπολογιστικά. Αυτό γίνεται διότι οι θεωρίες της θραύσης υποθέτουν ότι όλοι οι κόκκοι ανεξαρτήτου μεγέθους μειώνονται σε μέγεθος, χωρίς να υπάρχει κάποια εκλεκτικότητα κατά την διαδικασία της θραύσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα κατά τον υπολογισμό της καταναλισκόμενης ενέργειας να υπολογίζεται και η ενέργεια για την θραύση των μικρών κόκκων, που όπως γνωρίζουμε είναι μεγάλη.
10. Υπάρχει ένα μέγεθος κόκκων κάτω από το οποίο δεν παρατηρείται μείωση όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στον πίνακα 2.10 και από τις καμπύλες του διαγράμματος 2.4X.

Διαγράμματα 2.9X : Κατανομή βάρους του χαλαζία για διάφορους χρόνους λειοτρίβησης του ραβδόμυλου





ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Κατά το δεύτερο μέρος της πειραματικής διαδικασίας το υλικό θραύστηκε και λειοτριβήθηκε σε ραβδόμυλο, όπως και στο πρώτο μέρος, για διάφορους χρόνους, με τη διαφορά ότι η λειοτρίβηση έγινε εν υγρώ, το φορτίο αποτελούταν από ράβδους της ίδιας διαμέτρου που επιλεγόταν κάθε φορά και ως υλικά τροφοδοσίας χρησιμοποιήθηκαν συγκεκριμένα κοκκομετρικά κλάσματα. Η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε με χαλαζία από την Άσσηρο του νομού Θεσσαλονίκης.

3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Ο εργαστηριακός εξοπλισμός ο οποίος χρησιμοποιήθηκε κατά το δεύτερο μέρος της πειραματικής διαδικασίας είναι :

- Εργαστηριακός θραυστήρας με σιαγώνες
- Εργαστηριακός σπαστήρας με περιστρεφόμενους δίσκους
- Εργαστηριακός ραβδόμυλος
- Μηχανή κοσκίνισης
- Εργαστηριακός υδροκυκλώνας

Κατά την διαδικασία της λειοτρίβησης σε κάθε δοκιμή το φορτίο αποτελούταν από ράβδους της ίδιας διαμέτρου και όχι διαφόρων διαμέτρων όπως έγινε στο πρώτο μέρος της πειραματικής διαδικασίας. Τα χαρακτηριστικά των ράβδων που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής :

▪ Μήκος mm	235
▪ Διάμετρος mm	10, 16, 22
▪ Πλήθος	59, 23, 12
▪ Βάρος Kg	8.49, 8.47, 8.44

Αναλυτικά η περιγραφή του εξοπλισμού έγινε στο πρώτο μέρος των πειραμάτων (βλ.κεφ. 2.2).

3.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

3.3.1 Διαδικασία θραύσης

Στο Εργαστήριο Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης θραύστηκε πρωτογενώς δείγμα χαλαζία από την περιοχή της Ασσήρου. Η συνολική ποσότητα που θραύστηκε ήταν της τάξης των 30 kg.

Αρχικά το υλικό θραύστηκε στο σιαγονωτό σπαστήρα στο μέγιστο άνοιγμα αποκένωσης θραυστήρα (θέση 5). Στη συνέχεια, το προϊόν της θραύσης κοσκινίστηκε με σκοπό την δημιουργία τεσσάρων κοκκομετρικών κλασμάτων τα οποία θα αποτελούσαν την τροφοδοσία του εργαστηριακού ραβδόμυλου.

Τα κοκκομετρικά κλάσματα τα οποία προορίζονταν για λειοτρίβηση ήταν -8.0+5.6, -4.75+3.35, -1.7+1.18 και -0.6+0.425 mm. Έτσι, με αλληπάλληλες κοσκινίσεις και θραύσεις των υλικών συγκεντρώθηκαν οι κατάλληλες ποσότητες από κάθε κλάσμα για την συνέχιση της διαδικασίας.

Για την δημιουργία των ψιλών κλασμάτων (-1.7 mm) χρησιμοποιήθηκε ο εργαστηριακός σπαστήρας με περιστρεφόμενους δίσκους που βρίσκεται στο Εργαστήριο Εμπλουτισμού του Πολυτεχνείου Κρήτης.

3.3.2 Διαδικασία λειοτρίβησης

Όπως έχει αναφερθεί, κατά την διαδικασία της θραύσης συγκεντρώθηκαν κατάλληλες ποσότητες συγκεκριμένων κοκκομετρικών κλασμάτων τα οποία θα αποτελούσαν τροφή για τον ραβδόμυλο. Αρχικά συγκεντρώθηκαν 9 Kg από κάθε ένα από τα κοκκομετρικά κλάσματα $-4.75+3.35$, $-1.7+1.18$ και $-0.6+0.425$, ενώ μετά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων δημιουργήθηκε η ανάγκη να χρησιμοποιήσουμε και το κοκκομετρικό κλάσμα $-8.0+5.6$ για την καλύτερη κατανόηση του μηχανισμού λειοτρίβησης.

Τελικά ελήφθησαν 9 δείγματα του 1 kg από κάθε κοκκομετρικό κλάσμα ($-4.75+3.35$, $-1.7+1.18$ και $-0.6+0.425$ mm) και 6 δείγματα του 1 kg από το κλάσμα $-8.0+5.6$ mm.

Κάθε ένα τέτοιο δείγμα βάρους 1 kg εισήχθη στον ραβδόμυλο μαζί με 600 ml νερό και λειοτριβήθηκε με ράβδους συγκεκριμένης διαμέτρου και για διαφορετικούς χρόνους. Οι ράβδοι που χρησιμοποιήθηκαν είχαν διάμετρο 10, 16 και 22 mm και χρόνοι που επιλέχθηκαν για την λειοτρίβηση των υλικών ήταν 2.5, 5 και 10 min. Για το κλάσμα $-8.0+5.6$ οι ράβδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι ίδιοι, ενώ οι χρόνοι που επιλέχθηκαν ήταν 2.5 και 10 min.

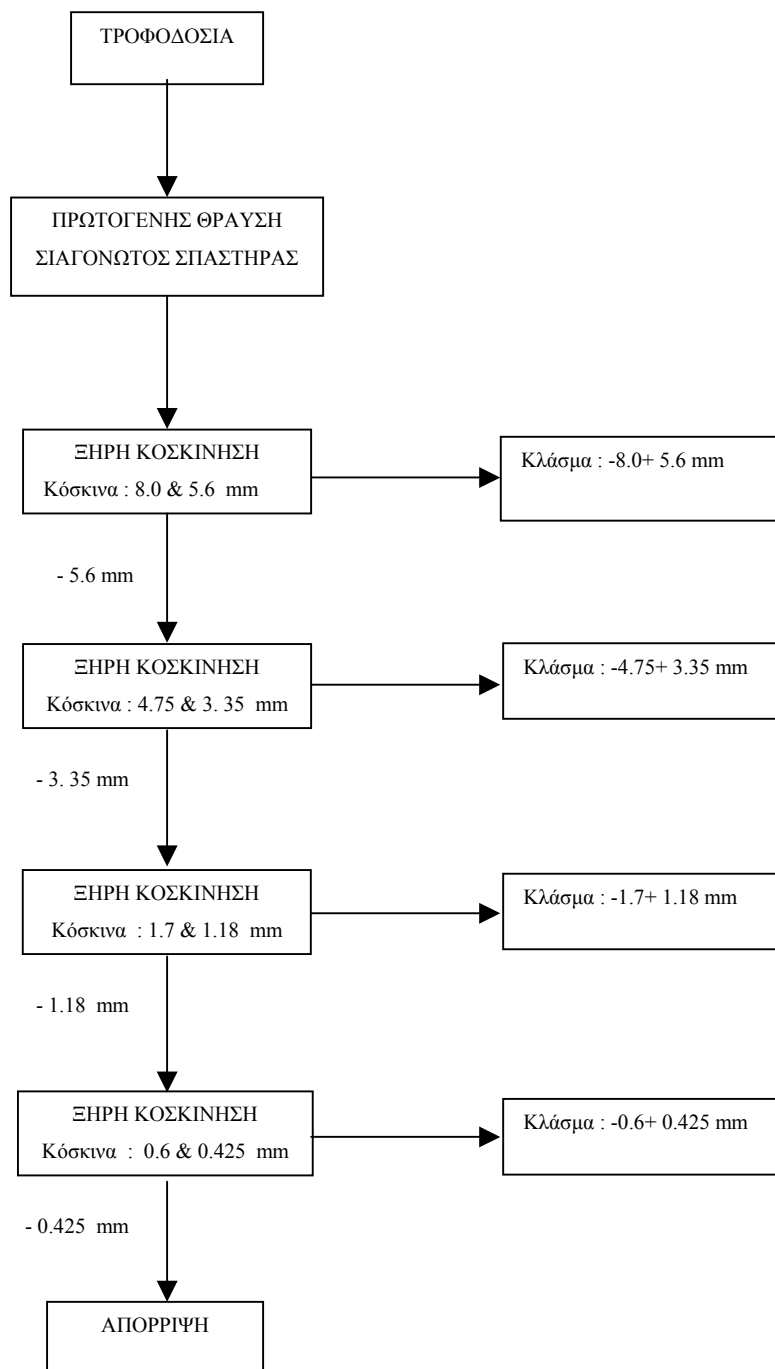
Η διαδικασία της λειοτρίβησης έγινε κατά ανάλογο τρόπο όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 2.3.2 με την διαφορά ότι δεν χρησιμοποιήθηκε ο κοκκομετρικός αναλυτής Laser, για την μέτρηση της κατανομής των προϊόντων του κυκλώνα, και δεν μετρήθηκε η ειδική επιφάνεια του O/F του κυκλώνα με την μέθοδο B.E.T.

Επίσης, στο κλάσμα $-8.0+5.6$ mm η κοκκομετρική ανάλυση των 2.5 min και για κάθε διάμετρο ράβδων έγινε μέχρι τα 0.300 mm, ενώ η κοκκομετρική ανάλυση των 10 min και για διάμετρο ράβδων 10 mm έγινε μέχρι τα 0.150 mm.

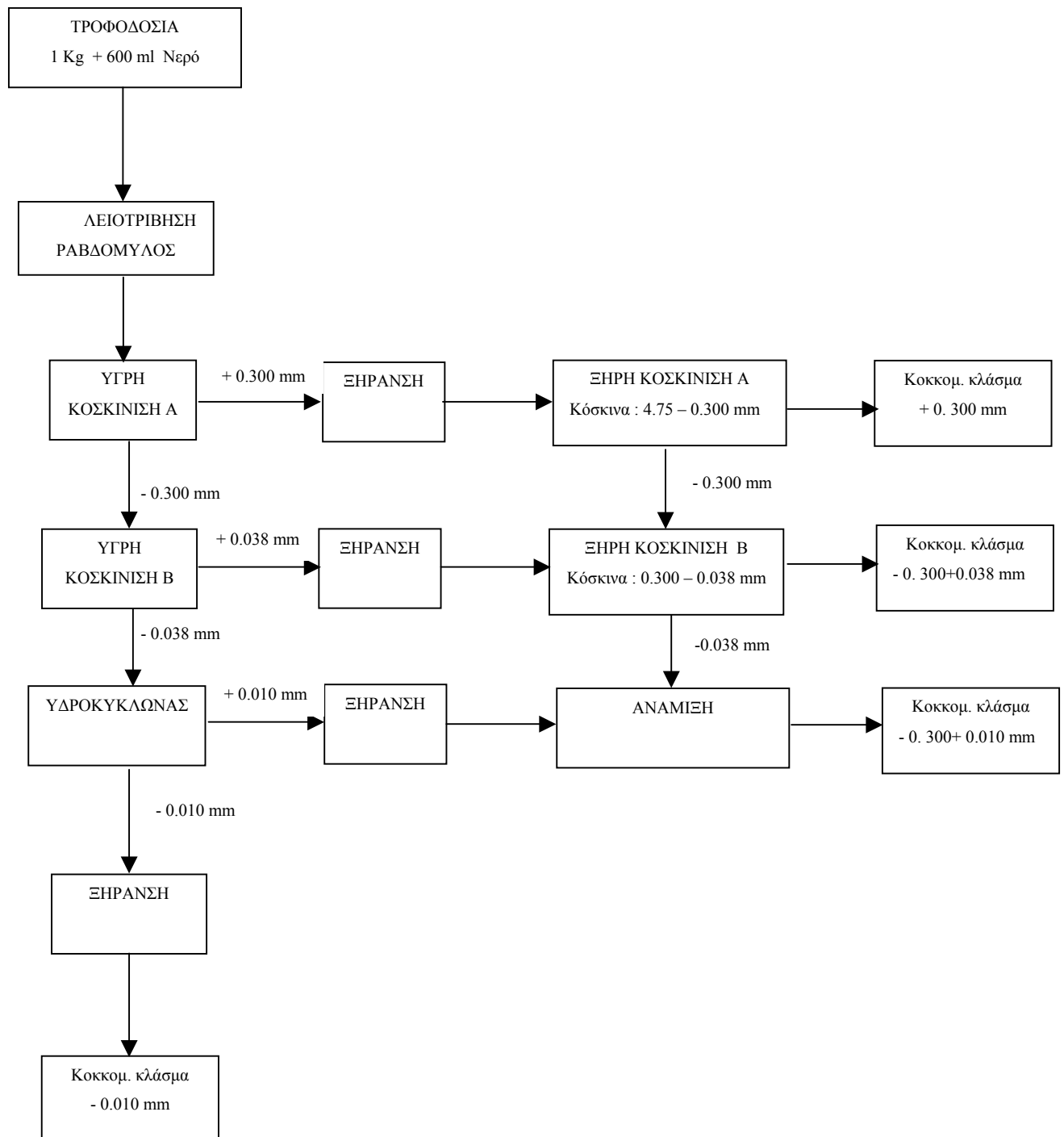
3.3.3 Διάγραμμα ροής

Τα διαγράμματα ροής της θραύσης και λειοτριβήσης, καθώς επίσης και οι επιμέρους διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν κατά το δεύτερο μέρος της εργασίας, παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα 3.1 και 3.2:

Σχήμα 3.1: Το διάγραμμα ροής της θραύσης.



Σχήμα 3.2: Το διάγραμμα ροής της λειοτρίβησης.



3.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

3.4.1 Υπολογισμός περιφερειακής επιφάνειας ράβδων

Σε όλες τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν το βάρος του φορτίου παρέμενε σταθερό. Έτσι, από κάθε διάμετρο χρησιμοποιήθηκε ορισμένος αριθμός ράβδων με αποτέλεσμα το φορτίο κατά την λειοτρίβηση να παραμένει σταθερό και ίσο με 8.5 Kg. Ανάλογα με την περίπτωση, χρησιμοποιήθηκαν 12 ράβδοι διαμέτρου 22 mm, 23 ράβδοι διαμέτρου 16 mm ή 59 ράβδοι διαμέτρου 10 mm.

Ανάλογα με τη διάμετρο των ράβδων που χρησιμοποιούσαμε μεταβαλλόταν και η περιφερειακή επιφάνεια, η διαθέσιμη δηλαδή επιφάνεια η οποία ήταν υπεύθυνη για το σπάσιμο των κόκκων. Έτσι, υπολογίσαμε την επιφάνεια αυτή και βρήκαμε πως μεταβάλλεται με την διάμετρο των ράβδων που χρησιμοποιήσαμε.

Ο υπολογισμός της περιφερειακής επιφάνειας των ράβδων προσδιορίστηκε με βάση τη σχέση $E_{ολικό} = N \cdot E = N \cdot 2\pi R \cdot H$.

όπου : $E_{ολικό}$: η ολική περιφερειακή επιφάνεια των ράβδων

E : η περιφερειακή επιφάνεια της μία ράβδου

N : ο αριθμός των ράβδων που χρησιμοποιήθηκαν

π : το 3.14

R : η ακτίνα της ράβδου και

H : το ύψος της ράβδου

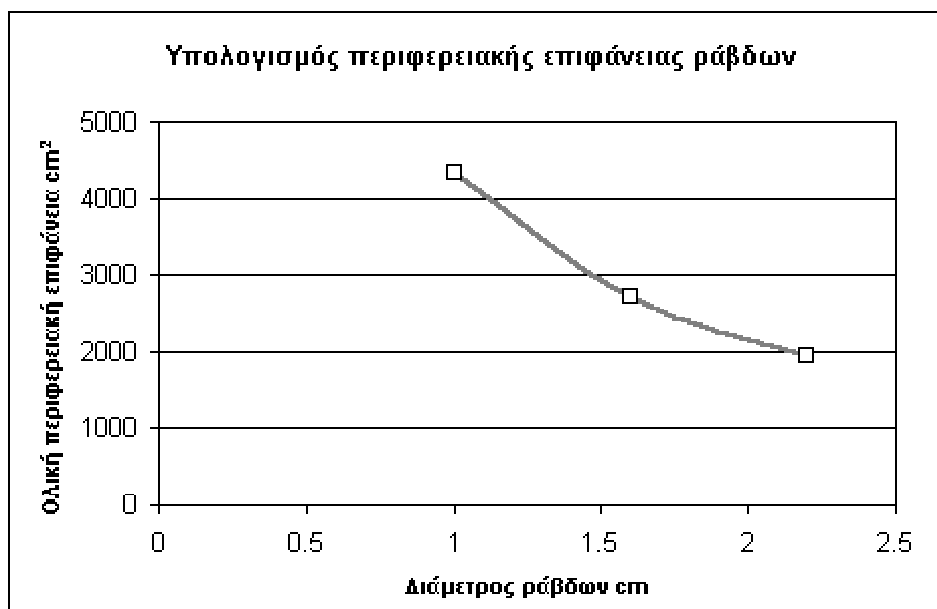
Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1.

Αν παραστήσουμε γραφικά την περιφερειακή επιφάνεια των ράβδων με την διάμετρο των ράβδων που χρησιμοποιήσαμε τότε βλέπουμε ότι όσο μεγαλύτερης διαμέτρου ράβδους χρησιμοποιήσουμε τόσο μικρότερη είναι η διαθέσιμη επιφάνεια για λειοτρίβηση (διάγραμμα 3.1).

Πίνακας 3.1 : Υπολογισμός της ολικής περιφερειακής επιφάνειας των ράβδων.

Διάμετρος ράβδων	Περιφερειακή επιφάνεια ράβδου	Αριθμός ράβδων	Ολική περιφερειακή επιφάνεια
D	E	N	$E_{ολικό}$
cm	cm^2		cm^2
2.2	162.34	12	1,948.1
1.6	118.06	23	2,715.4
1.0	73.79	59	4,353.6

Διάγραμμα 3.1 : Η περιφερειακή επιφάνεια των ράβδων σε σχέση με την διάμετρο των ράβδων που χρησιμοποιήθηκαν.



3.4.2 Περιγραφή αποτελεσμάτων με βάση την κοκκομετρία

A) Αθροιστικό διερχόμενο βάρος συναρτήσει μεγέθους

Για την περιγραφή της κοκκομετρικής κατανομής των τεσσάρων υλικών τροφοδοσίας, $-8.0+5.6$ mm, $-4.75+3.35$ mm, $-1.7+1.18$ mm και $-0.6+0.425$ mm, χρησιμοποιήθηκε η αθροιστική κατανομή (βάρος % αθροιστικώς διερχόμενο). Με αυτό τον τρόπο υπολογίστηκε αθροιστικώς το ποσοστό % του υλικού που πέρασε από το πλέγμα του αντίστοιχου κόσκινου.

Τα επί μέρους αποτελέσματα της κοσκίνισης κατά την διαδικασία της λειοτρίβησης παρουσιάζονται στο παράρτημα Β.1, ενώ παρακάτω παραθέτονται οι πίνακες και τα σχετικά διαγράμματα της αθροιστικής κατανομής για κάθε υλικό τροφοδοσίας ξεχωριστά. Επίσης, μελετάται η επίδραση στην κοκκομετρία δύο παραμέτρων : 1) η επίδραση του χρόνου λειοτρίβησης και 2) η επίδραση της διαμέτρου των ράβδων

A.1) Υλικό τροφοδοσίας $-8.0+5.6$ mm

Ο πίνακας 3.2 παρουσιάζει το βάρος % αθροιστικώς διερχόμενο του υλικού τροφοδοσίας $-8.0+5.6$ mm συναρτήσει του μεγέθους. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 6 δοκιμές, 3 διάμετροι ράβδων επί 2 χρόνους λειοτρίβησης.

Για την περιγραφή της αθροιστικής κατανομής του συγκεκριμένου κλάσματος αρχικά έγιναν δύο δοκιμές λειοτρίβησης, μία με διάμετρο ράβδων 22 mm και χρόνο λειοτρίβησης 10 min και μία με διάμετρο ράβδων 16 mm και χρόνο λειοτρίβησης 10 min. Όμως, μετά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων δημιουργήθηκε η ανάγκη να γίνουν και οι υπόλοιπες δοκιμές για την καλύτερη κατανόηση του μηχανισμού της λειοτρίβησης.

Πίνακας 3.2 : Πίνακας κατανομής αθροιστικώς διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-8.0+5.6$ mm.

Μέγεθος μm	Αθρ. διερχόμενο Βάρος%					
	Φ22		Φ16		Φ10	
	2.5 min	10 min	2.5 min	10 min	2.5 min	10 min
9500	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
6700	79.15	99.95	67.44	97.25	49.73	60.94
4750	41.69	99.66	27.20	86.61	9.28	20.27
3350	28.23	99.26	18.67	76.38	6.00	15.03
2360	21.68	98.30	15.03	69.65	4.88	13.36
1700	18.07	95.69	13.13	65.34	4.33	12.64
1180	14.71	84.45	11.52	60.35	3.91	12.29
850	12.58	72.61	10.45	56.33	3.71	12.13
600	10.33	58.30	9.17	50.18	3.50	11.99
425	8.49	46.15	7.90	43.57	3.28	11.85
300	6.98	36.67	6.70	36.66	3.02	11.67
212		26.36		27.13		11.36
150		17.70		17.73		10.86
106		13.13		12.61		
75		9.54		8.54		
53		7.05		6.37		
38		5.46		5.27		
10		1.87		1.88		

A.1.1) Επίδραση του χρόνου λειοτρίβησης

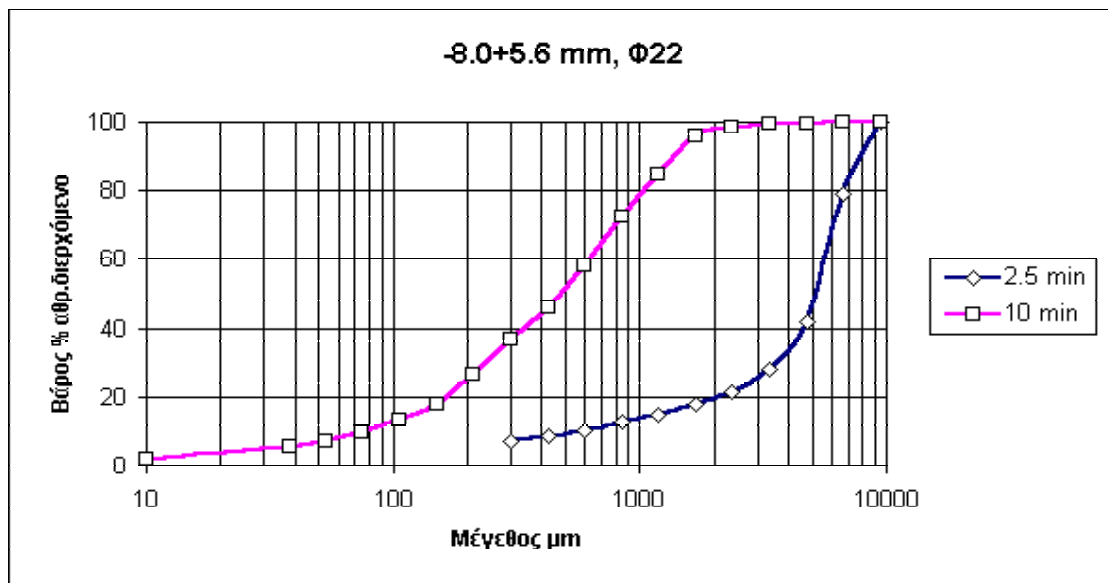
Εάν παραστήσουμε γραφικά το βάρος % αθροιστικώς διερχόμενο του υλικού τροφοδοσίας $-8.0+5.6$ mm συνάρτηση με το μέγεθος, για διάφορους χρόνους λειοτρίβησης, τότε λαμβάνουμε τα διαγράμματα 3.2-3.4. Οι καμπύλες των παραπάνω διαγραμμάτων δείχνουν την επίδραση του χρόνου λειοτρίβησης.

Οι παρατηρήσεις που έχουμε να κάνουμε είναι οι εξής :

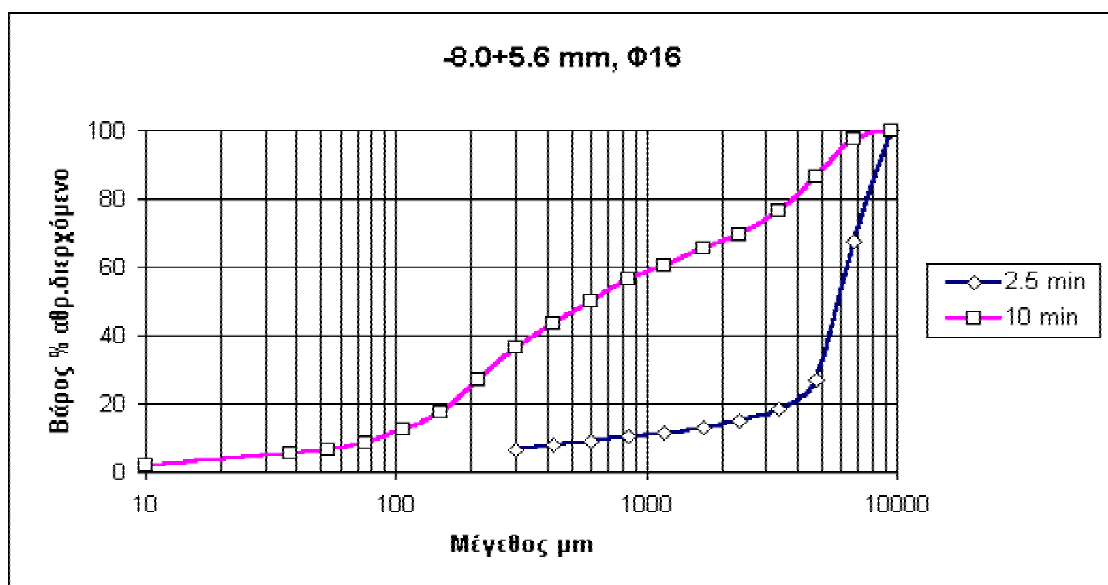
- Όταν χρησιμοποιούμε ράβδους διαμέτρου 22 mm ($\Phi 22$) τότε μετά από χρόνο λειοτρίβησης 2.5 min το υλικό μας δεν έχει θραυστεί. Αντίθετα, μετά από χρόνο λειοτρίβησης 10 min η καμπύλη αθροιστικής κατανομής η οποία παίρνουμε είναι μια τυπική καμπύλη θραυσμένου υλικού.
- Όταν χρησιμοποιούμε ράβδους διαμέτρου 16 mm ($\Phi 16$) τα πράγματα είναι κάπως χειρότερα όσον αφορά την θραύση του υλικού. Μετά από χρόνο λειοτρίβησης 2.5 min το υλικό και πάλι δεν έχει θραυστεί με τις συγκεκριμένες ράβδους. Επίσης, η καμπύλη αθροιστικής κατανομής για χρόνο λειοτρίβησης 10 min δείχνει ότι το υλικό έχει μεν θραυστεί αλλά όχι τόσο πολύ σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση (όταν χρησιμοποιήσαμε ράβδους διαμέτρου 22 mm).
- Όταν χρησιμοποιούμε ράβδους διαμέτρου 10 mm ($\Phi 10$) τότε και στους δύο χρόνους λειοτρίβησης το υλικό παραμένει άθραυστο. Παρόλα αυτά η καμπύλη των 10 min είναι μετατοπισμένη προς τα λεπτότερα κλάσματα.

Από τα διαγράμματα αυτά παρατηρούμε ότι ο παράγοντας χρόνος δρα θετικά στο σπάσιμο των κόκκων του υλικού τροφοδοσίας $-8.0+5.6$ mm πήρε μέρος στην λειοτρίβηση. Έτσι, οι καμπύλες των κατανομών που λάβαμε μετατοπίζονται προς τα λεπτότερα κλάσματα με αύξηση του χρόνου λειοτρίβησης.

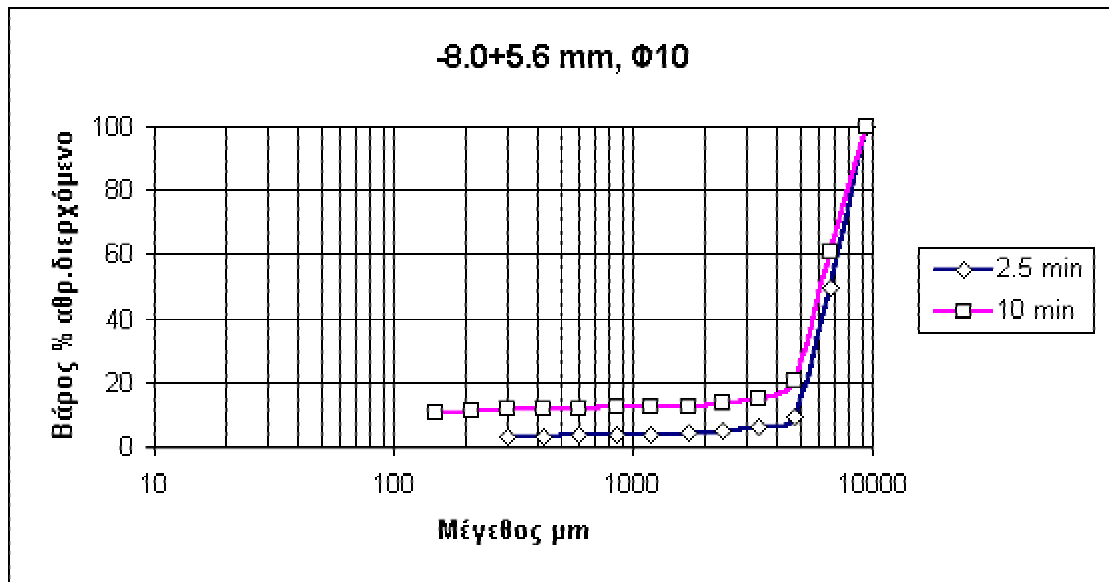
Διάγραμμα 3.2 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-8.0+5.6$ mm με ράβδους 22 mm.



Διάγραμμα 3.3 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-8.0+5.6$ mm με ράβδους 16 mm.



Διάγραμμα 3.4 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-8.0+5.6$ mm με ράβδους 10 mm.



A.1.2) Επίδραση της διαμέτρου των ράβδων

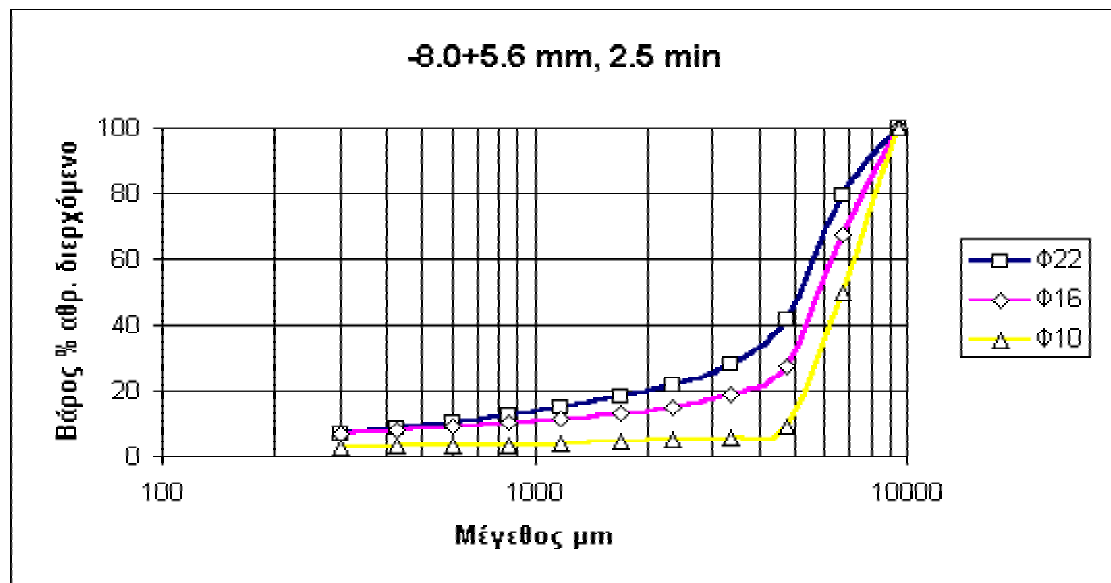
Τα διαγράμματα 3.5 και 3.6 δείχνουν την επίδραση της διαμέτρου των ράβδων όταν σαν υλικό τροφοδοσίας χρησιμοποιήσαμε το κλάσμα $-8.0+5.6$ mm.

Από τα διαγράμματα αυτά βγαίνουν τα εξής συμπεράσματα :

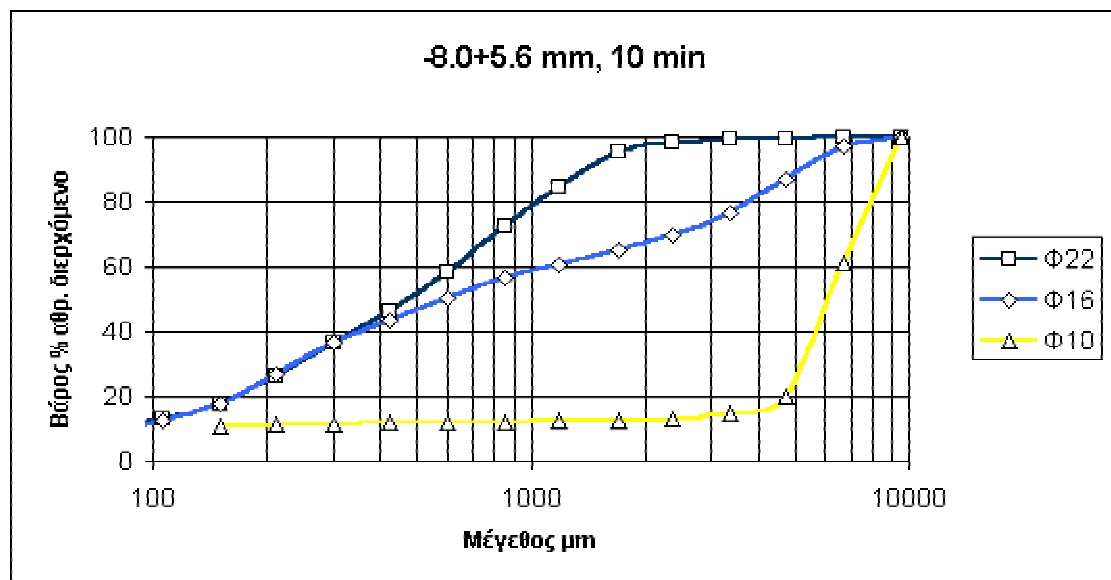
- Για χρόνο λειοτρίβησης 2.5 min οποιαδήποτε διάμετρο ράβδων και αν χρησιμοποιήσαμε το υλικό δεν έχει θραυστεί. Παρόλα αυτά όσο μεγαλύτερη διάμετρο ράβδων χρησιμοποιούμε τόσο οι καμπύλες μετατοπίζονται προς τα λεπτότερα κλάσματα.
- Για χρόνο λειοτρίβησης 10 min οι καμπύλες έχουν σαφώς διαφοροποιηθεί μεταξύ τους. Η ράβδοι Φ22 έχουν θραύσει το υλικό, οι ράβδοι Φ16 έχουν μεν θραύσει το υλικό αλλά κάπως λιγότερο, ενώ οι ράβδοι Φ10 δεν έχουν θραύσει το υλικό.

Σαν συμπέρασμα μπορούμε να βγάλουμε ότι για το συγκεκριμένο υλικό τροφοδοσίας όσο μεγαλύτερη διάμετρο ράβδων χρησιμοποιούμε τόσο περισσότερο το υλικό μας θραύεται. Μάλιστα το φαινόμενο είναι πιο ξεκάθαρο για χρόνο λειοτρίβησης 10 min. Επίσης, για οποιοδήποτε χρόνο λειοτρίβησης οι ράβδοι Φ10 δεν σπάνε το υλικό.

Διάγραμμα 3.5 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-8.0+5.6$ mm για χρόνο λειοτρίβησης 2.5 min.



Διάγραμμα 3.6 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-8.0+5.6$ mm για χρόνο λειοτρίβησης 10 min.



A.2) Υλικό τροφοδοσίας –4.75+3.35 mm

Στον πίνακα 3.3 παρουσιάζεται το βάρος % αθροιστικώς διερχόμενο του υλικού τροφοδοσίας –4.75+3.35mm συναρτήσει του μεγέθους. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 9 δοκιμές, 3 διάμετροι ράβδων επί 3 χρόνους λειοτρίβησης.

Πίνακας 3.3 : Πίνακας κατανομής αθροιστικώς διερχόμενου βάρους του κλάσματος –4.75+3.35 mm.

Μέγεθος μm	Αθρ.διερχόμενο Βάρος%								
	Φ22			Φ16			Φ10		
	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min
4750	100.00	100.00	100.00	99.90	99.90	100.00	99.50	99.84	100.00
3350	69.87	93.42	100.00	56.11	88.08	99.82	37.57	44.04	60.08
2360	44.30	73.87	99.89	37.16	65.48	98.37	21.22	29.39	43.72
1700	32.01	57.99	98.92	28.10	52.39	94.36	15.97	23.78	37.26
1180	22.08	42.54	88.29	20.76	40.42	80.69	12.65	20.31	33.72
850	17.13	34.07	73.02	16.69	33.73	67.88	11.03	18.70	32.22
600	12.78	25.76	55.66	12.95	26.68	54.13	9.53	17.06	30.62
425	9.62	19.70	43.14	10.06	21.07	43.12	8.05	15.19	28.81
300	7.42	15.28	33.96	7.87	16.62	34.57	6.74	13.32	26.40
212	5.58	11.52	23.48	6.04	12.67	24.38	5.46	11.14	23.01
150	4.21	8.57	17.75	4.59	9.42	17.70	4.25	8.84	16.05
106	3.21	6.34	13.21	3.50	7.03	12.42	3.30	6.79	12.22
75	2.35	4.57	8.61	2.58	5.02	8.49	2.51	4.71	8.32
53	1.63	3.06	5.96	1.80	3.36	6.10	1.76	3.27	6.19
38	1.15	2.20	4.57	1.29	2.51	4.93	1.43	2.63	5.20
10	0.44	0.81	1.80	0.46	0.91	2.00	0.44	0.93	1.79

A.2.1) Επίδραση του χρόνου λειοτρίβησης

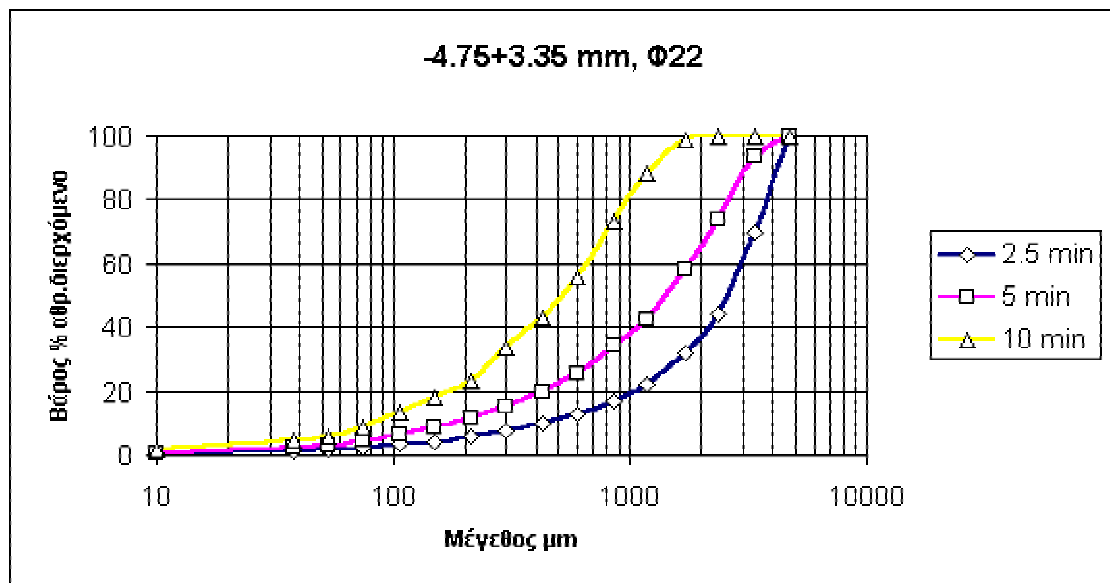
Από το πίνακα 3.3 λαμβάνουμε τα διαγράμματα 3.7-3.9. Οι καμπύλες των παραπάνω διαγραμμάτων δείχνουν την επίδραση του χρόνου λειοτρίβησης.

Από τα διαγράμματα αυτά βγαίνουν τα εξής συμπεράσματα :

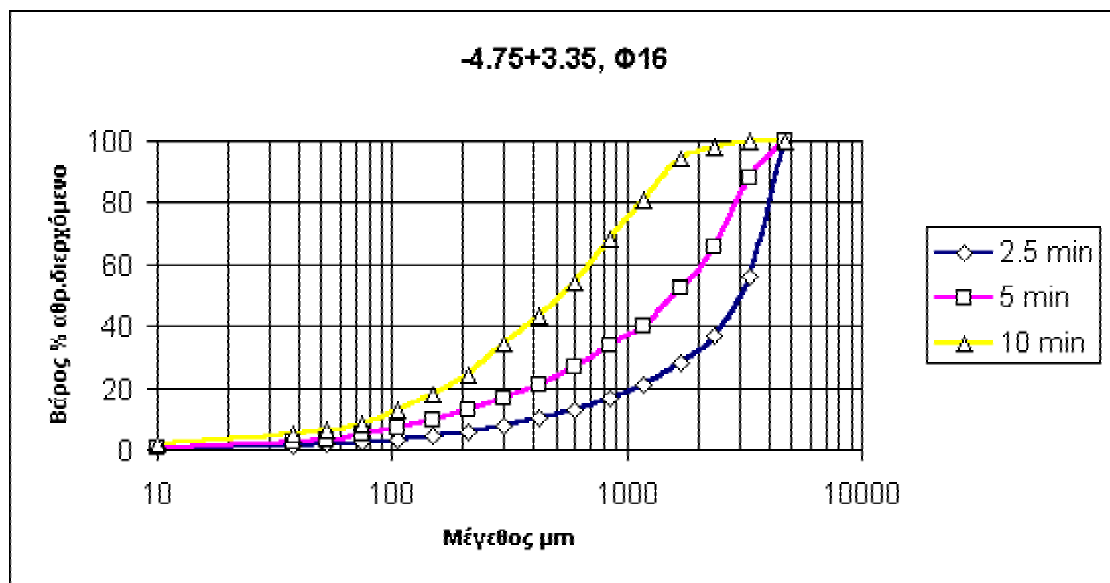
- Όταν χρησιμοποιούμε ράβδους διαμέτρου 22 mm οι καμπύλες αθροιστικής κατανομής μετατοπίζονται προς τα λεπτότερα κλάσματα με αύξηση του χρόνου λειοτρίβησης.
- Η χρησιμοποίηση ράβδων διαμέτρου 16 mm φέρει τα ίδια αποτελέσματα με την προηγούμενη περίπτωση.
- Όταν χρησιμοποιούμε ράβδους διαμέτρου 10 mm το υλικό δεν θραύεται για οποιαδήποτε χρόνο λειοτρίβησης. Παρόλα αυτά παρατηρείται μια μικρή μετατόπιση των καμπυλών προς τα λεπτότερα κλάσματα με αύξηση του χρόνου λειοτρίβησης.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι και για τις τρεις διαμέτρους ράβδων η αύξηση του χρόνου λειοτρίβησης δρα θετικά στο σπάσιμο των κόκκων.

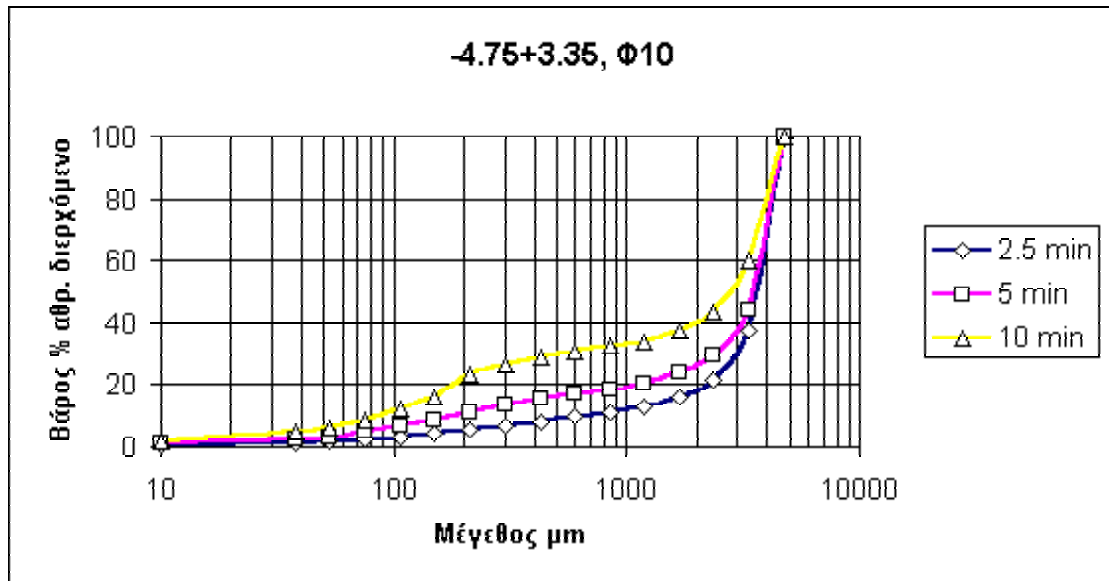
Διάγραμμα 3.7 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-4.75+3.35$ mm με ράβδους 22 mm.



Διάγραμμα 3.8 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-4.75+3.35$ mm με ράβδους 16 mm.



Διάγραμμα 3.9 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-4.75+3.35$ mm με ράβδους 10 mm.



A.2.2) Επίδραση της διαμέτρου των ράβδων

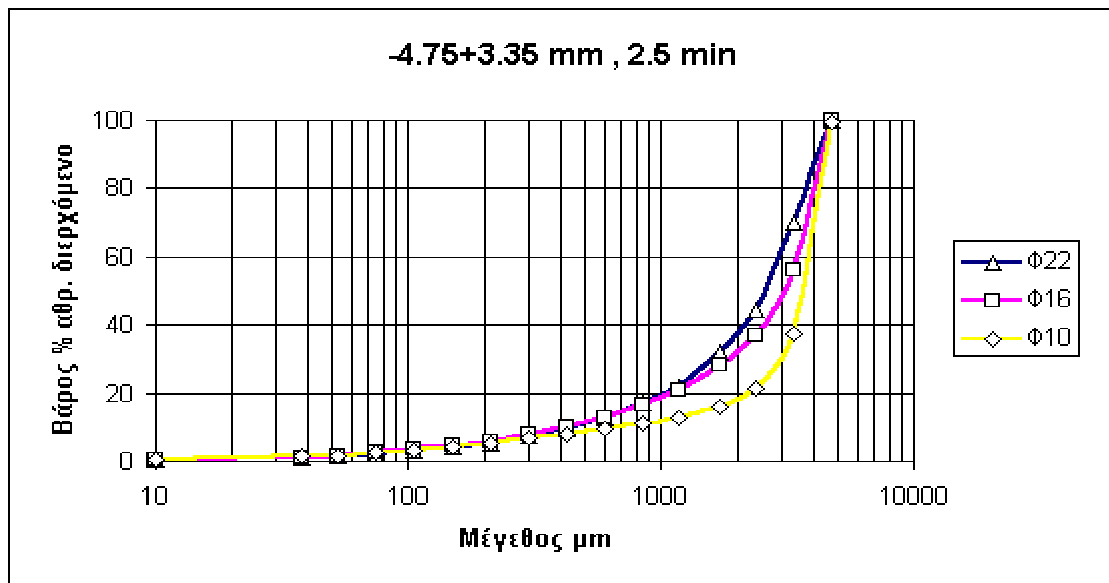
Τα διαγράμματα 3.10-3.12 δείχνουν την επίδραση της διαμέτρου των ράβδων όταν σαν υλικό τροφοδοσίας χρησιμοποιήσαμε το κλάσμα $-4.75+3.35$ mm.

Από τα διαγράμματα αυτά βγαίνουν τα εξής συμπεράσματα :

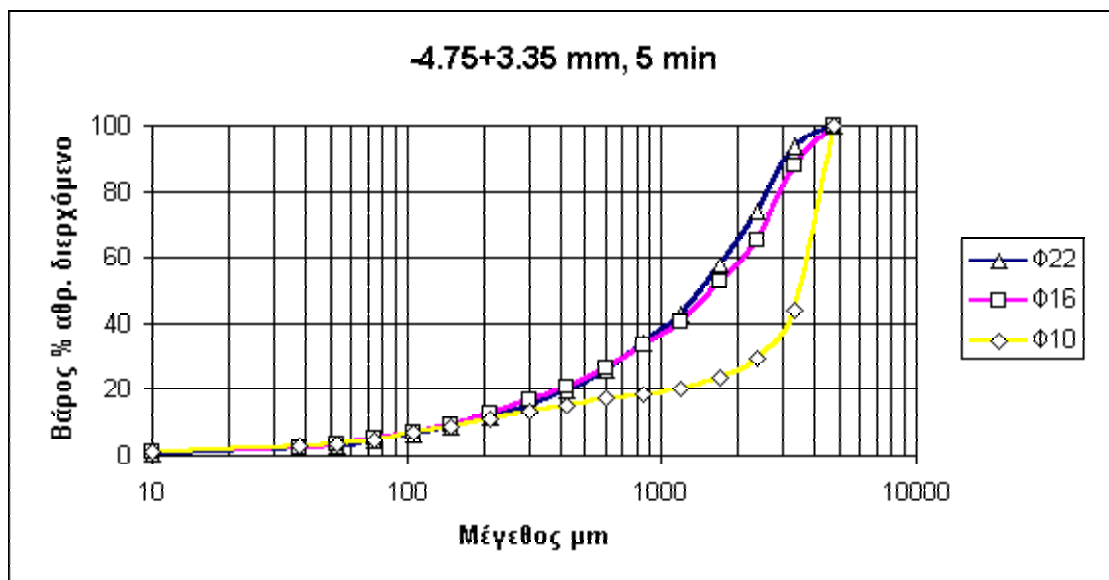
- Για χρόνο λειοτρίβησης 2.5 min οι καμπύλες των ράβδων Φ22 και Φ16 mm σχεδόν ταυτίζονται, ενώ η καμπύλη των ράβδων Φ10 mm διαφοροποιείται ελάχιστα. Παρόλα αυτά καμία διάμετρο ράβδων δεν φαίνεται να ενεργεί στο σπάσιμο των κόκκων.
- Για χρόνο λειοτρίβησης 5 min και πάλι οι καμπύλες των ράβδων Φ22 και Φ16 ταυτίζονται με την διαφορά ότι έχουν αρχίσει πλέον να σπάνε το υλικό. Η καμπύλη των ράβδων Φ10 έχει διαφοροποιηθεί περισσότερο σε σχέση με τις άλλες ράβδους και φαίνεται ότι οι συγκεκριμένοι ράβδοι δεν σπάνε το υλικό.
- Για χρόνο λειοτρίβησης 10 min οι ράβδοι Φ22 και Φ16 ταυτίζονται και πάλι και φαίνεται καθαρά ότι ενεργούν στο σπάσιμο των κόκκων. Οι καμπύλες των ράβδων Φ10 mm αποκλίνουν ακόμα πιο πολύ από τις άλλες και φαίνεται σαφέστερα ότι δεν σπάνε το υλικό.

Σαν συμπέρασμα μπορούμε να πούμε ότι στο συγκεκριμένο κλάσμα οι ράβδοι Φ22 και Φ16 mm επιφέρουν σχεδόν το ίδιο αποτέλεσμα όσον αφορά το σπάσιμο των κόκκων, ενώ οι ράβδοι με διάμετρο 10 mm εξακολουθούν να μην σπάνε το υλικό.

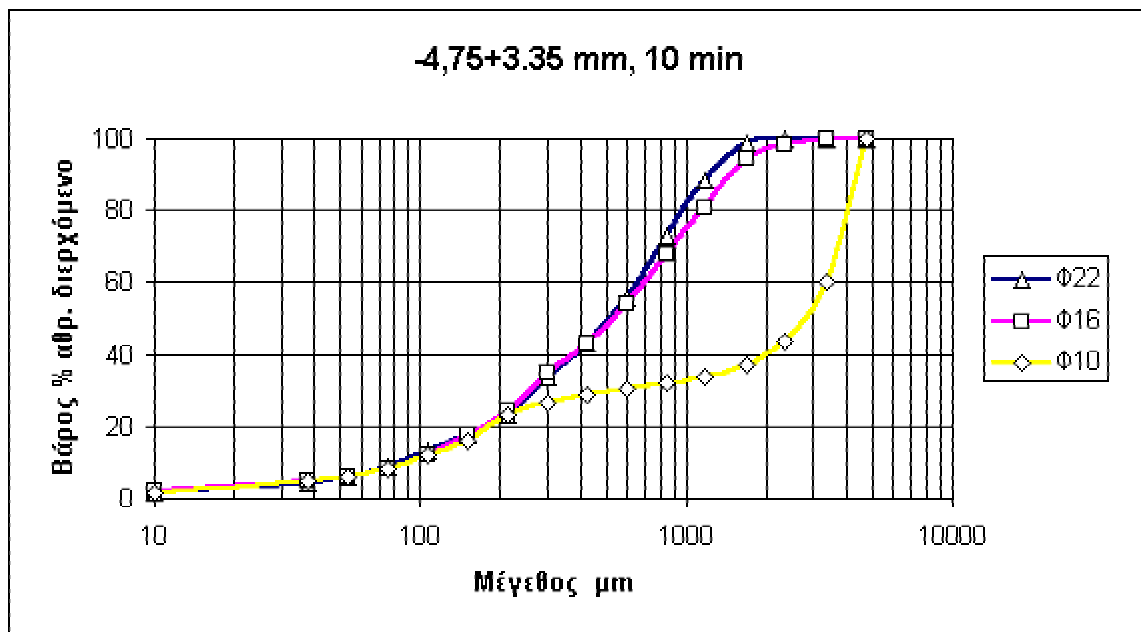
Διάγραμμα 3.10 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-4.75+3.35$ mm για χρόνο λειοτρίβησης 2.5 min.



Διάγραμμα 3.11 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-4.75+3.35$ mm για χρόνο λειοτρίβησης 5 min.



Διάγραμμα 3.12 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-4.75+3.35$ mm για χρόνο λειοτρίβησης 10 min.



A.3) Υλικό τροφοδοσίας –1.7+1.18 mm

Στον πίνακα 3.4 παρουσιάζεται το βάρος % αθροιστικώς διερχόμενο του υλικού τροφοδοσίας –1.7+1.18 mm συναρτήσει του μεγέθους. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 9 δοκιμές, 3 διάμετροι ράβδων επί 3 χρόνους λειοτρίβησης.

Πίνακας 3.4 : Πίνακας κατανομής αθροιστικώς διερχόμενου βάρους του κλάσματος –1.7+1.18 mm.

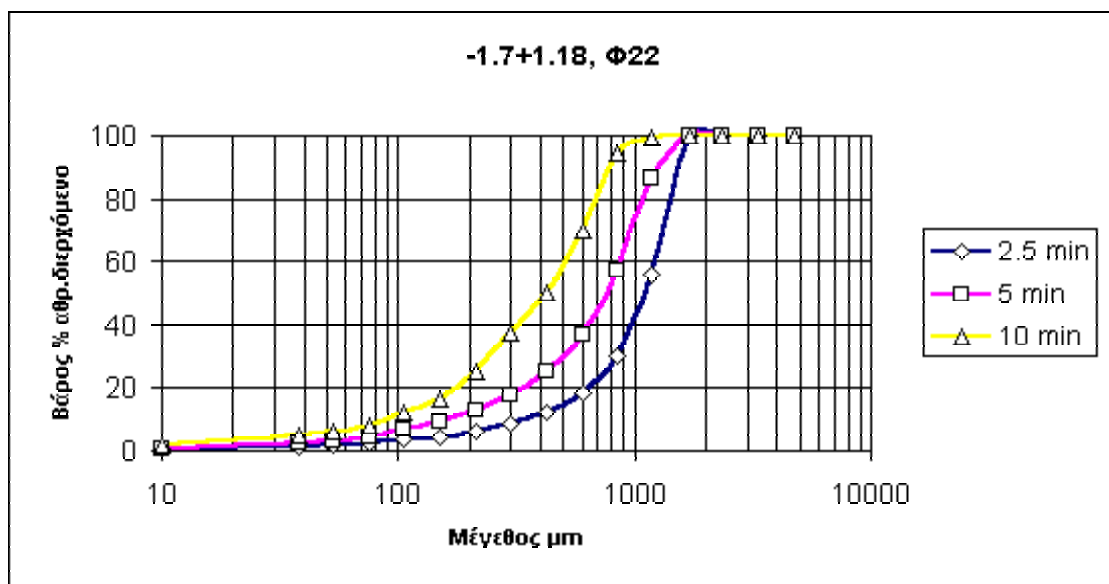
Μέγεθος μm	Αθρ.διερχόμενο Βάρος%								
	Φ22			Φ16			Φ10		
	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min
4750	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3350	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2360	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1700	99.88	99.98	100.00	99.84	99.96	100.00	99.82	100.00	100.00
1180	55.69	86.61	99.69	63.55	90.37	99.79	54.24	82.31	97.96
850	30.08	56.77	94.44	37.04	62.68	96.09	31.27	55.27	86.27
600	18.36	36.63	69.98	22.79	40.22	74.62	19.91	36.46	64.88
425	12.16	24.92	50.16	15.30	28.11	54.19	13.65	25.79	48.32
300	8.60	17.86	37.43	10.83	20.61	40.76	9.80	19.11	36.95
212	6.22	12.82	25.45	7.74	14.18	28.70	7.03	14.04	25.73
150	4.55	8.99	16.68	5.58	10.21	16.99	5.07	9.89	15.59
106	3.44	6.53	12.12	4.13	7.54	12.35	3.74	7.15	11.69
75	2.39	4.27	8.02	2.98	5.21	8.45	2.74	4.77	8.13
53	1.73	3.02	6.07	2.07	3.52	6.41	1.92	3.29	6.06
38	1.29	2.24	4.87	1.54	2.74	5.29	1.43	2.59	5.06
10	0.56	0.79	1.81	0.59	1.07	1.97	0.55	1.01	1.93

A.3.1) Επίδραση του χρόνου λειοτρίβησης

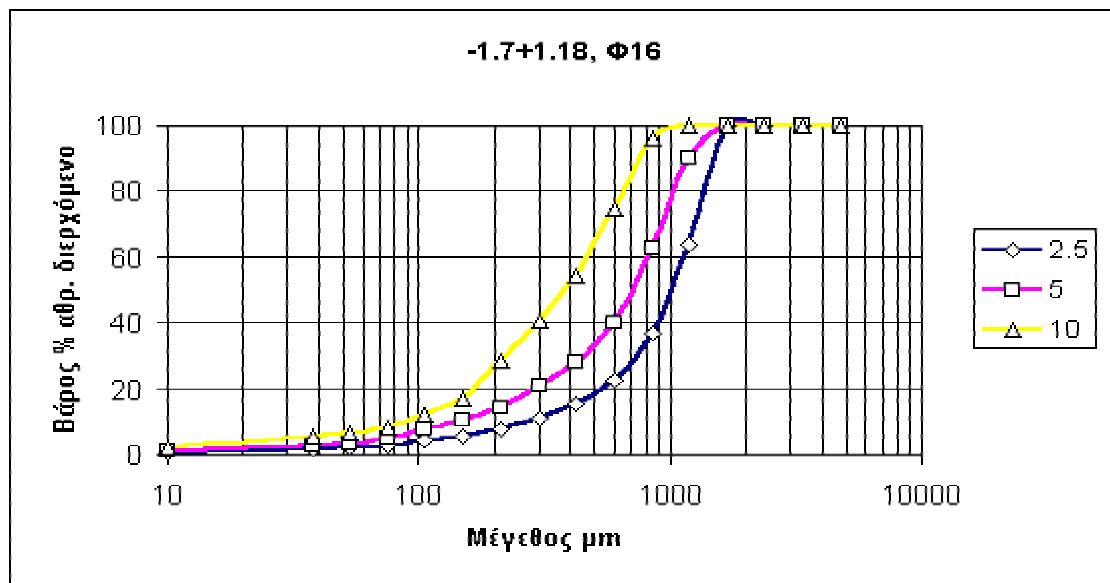
Από το πίνακα 3.4 λαμβάνουμε τα διαγράμματα 3.13-3.15. Οι καμπύλες των παραπάνω διαγραμμάτων δείχνουν την επίδραση του χρόνου λειοτρίβησης για το υλικό τροφοδοσίας $-1.7+1.18$ mm.

Από τα διαγράμματα αυτά βγαίνει το συμπέρασμα ότι, για όλες τις ράβδους, με αύξηση του χρόνου λειοτρίβησης οι αθροιστικές καμπύλες μετατοπίζονται προς τα λεπτότερα κλάσματα.

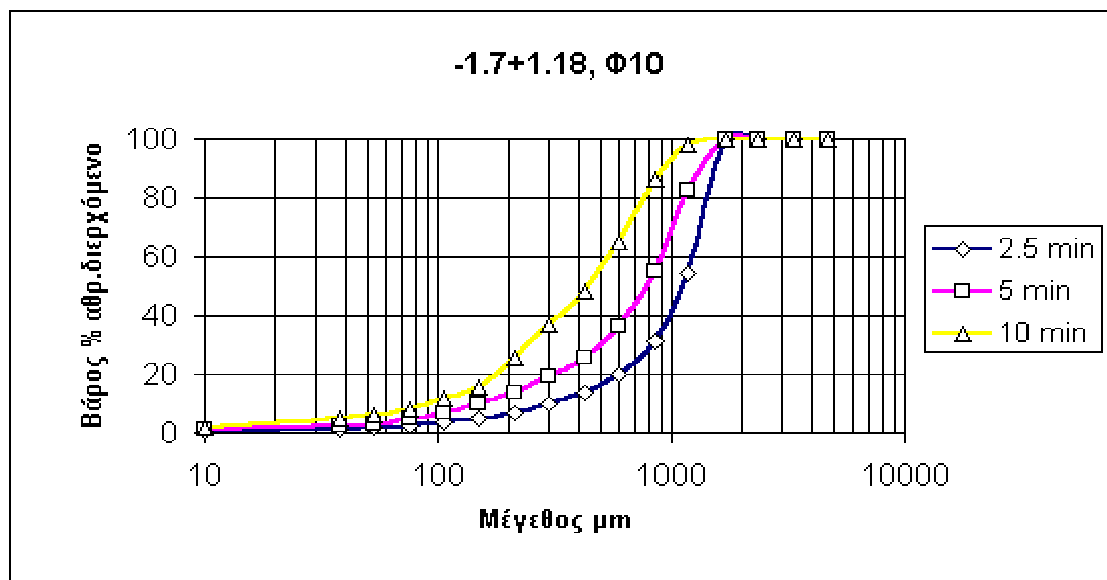
Διάγραμμα 3.13 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-1.7+1.18$ mm με ράβδους 22 mm.



Διάγραμμα 3.14 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-1.7+1.18\text{ mm}$ με ράβδους 16 mm .



Διάγραμμα 3.15 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-1.7+1.18\text{ mm}$ με ράβδους 10 mm .

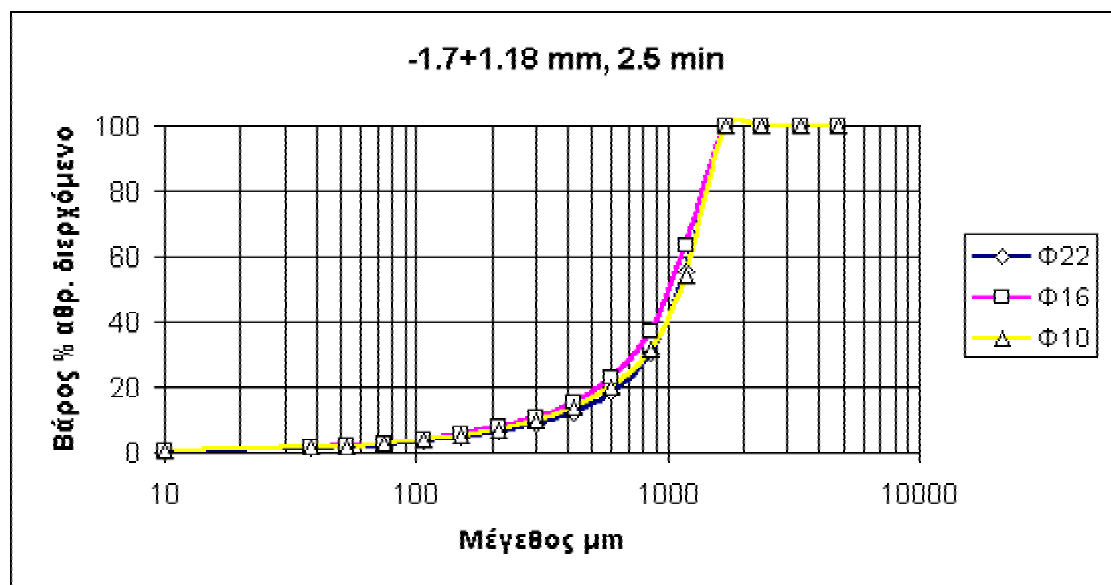


A.3.2) Επίδραση της διαμέτρου των ράβδων

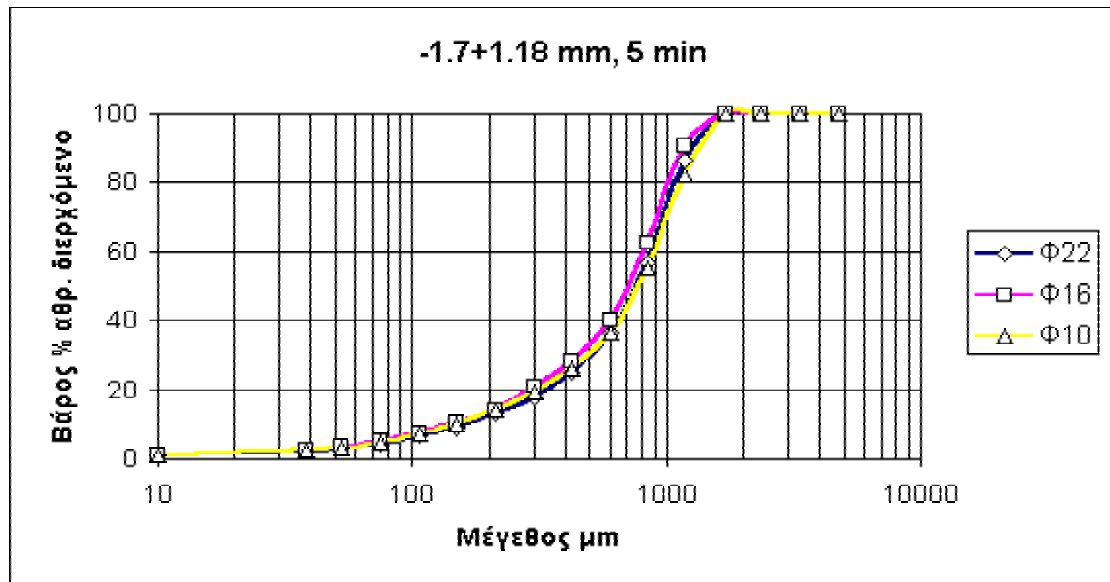
Τα διαγράμματα 3.15-3.17 δείχνουν την επίδραση της διαμέτρου των ράβδων όταν σαν υλικό τροφοδοσίας χρησιμοποιήσαμε το κλάσμα $-1.7+1.18$ mm.

Από τα διαγράμματα αυτά παρατηρούμε ότι, για όλους τους χρόνους λειοτρίβησης, η διάμετρος των ράβδων δεν επιφέρει καμία σημαντική επίδραση στην κοκκομετρία του υλικού μιας και οι καμπύλες αθροιστικής κατανομής σχεδόν ταυτίζονται. Παρόλα αυτά η καμπύλη $\Phi 16$ mm φαίνεται να επιφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα.

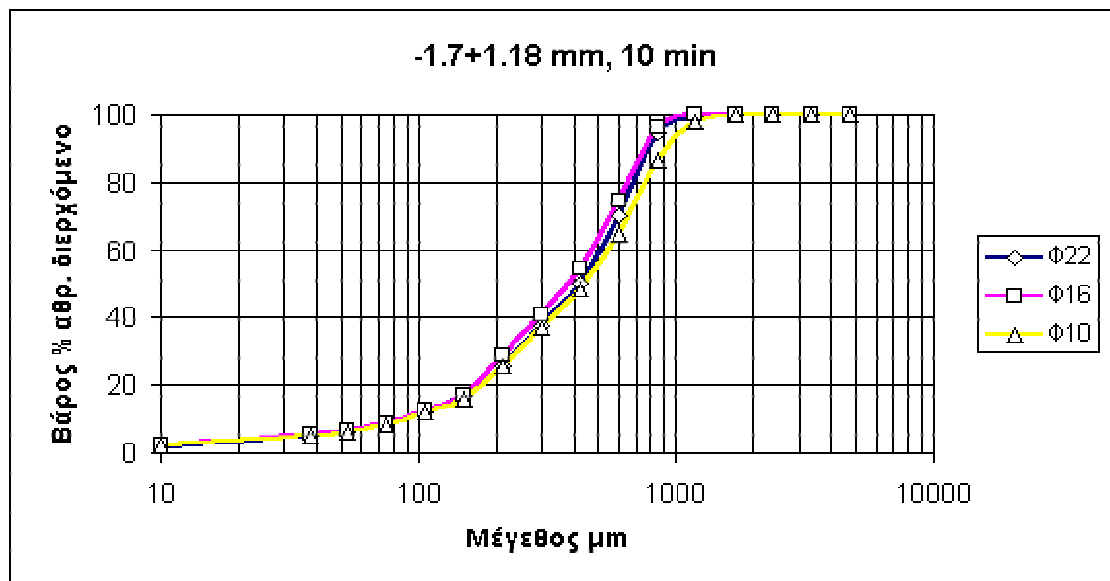
Διάγραμμα 3.15 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-1.7+1.18$ mm για χρόνο λειοτρίβησης 2.5 min.



Διάγραμμα 3.16 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-1.7+1.18\text{ mm}$ για χρόνο λειοτρίβησης 5 min.



Διάγραμμα 3.17 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-1.7+1.18\text{ mm}$ για χρόνο λειοτρίβησης 10 min.



A.4) Υλικό τροφοδοσίας $-0.6+0.425\text{ mm}$

Το βάρος % αθροιστικώς διερχόμενο του υλικού τροφοδοσίας $-0.6+0.425\text{ mm}$ συναρτήσει του μεγέθους παρουσιάζεται στον πίνακα 3.5. Οι δοκιμές οι οποίες έγιναν ήταν 9, 3 διάμετροι ράβδων επί 3 χρόνους λειοτρίβησης.

Πίνακας 3.5 : Πίνακας κατανομής αθροιστικώς διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-0.6+0.425\text{ mm}$.

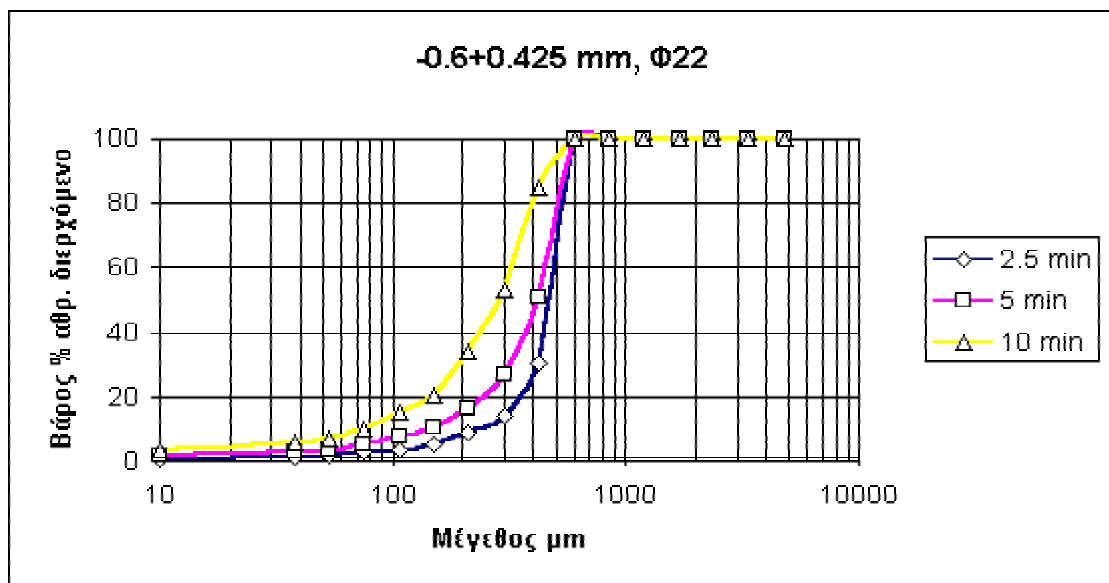
Μέγεθος μm	Αθρ.διερχόμενο Βάρος%								
	$\Phi 22$			$\Phi 16$			$\Phi 10$		
	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min
4750	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3350	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2360	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1700	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1180	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
850	99.95	99.98	100.00	100.00	100.00	100.00	99.98	100.00	100.00
600	99.75	99.90	100.00	99.91	99.95	99.98	99.74	99.87	99.86
425	30.32	50.95	84.92	31.68	50.25	78.66	29.19	43.86	80.29
300	14.20	27.16	53.28	16.61	29.67	49.06	18.35	26.56	47.67
212	8.53	16.46	33.87	10.51	16.91	34.37	10.84	17.29	31.51
150	5.34	10.42	20.48	6.81	10.55	20.76	6.92	11.74	18.47
106	3.78	7.43	14.92	4.70	7.36	14.58	4.89	8.52	13.35
75	2.70	5.20	9.85	3.16	4.83	9.37	3.56	5.93	9.70
53	1.83	3.60	7.09	2.14	3.63	6.94	2.54	4.24	7.30
38	1.36	2.80	5.58	1.65	3.01	5.72	1.94	3.38	6.04
10	0.72	1.58	3.28	0.66	1.24	2.18	0.76	1.28	2.31

A.4.1) Επίδραση του χρόνου λειοτρίβησης

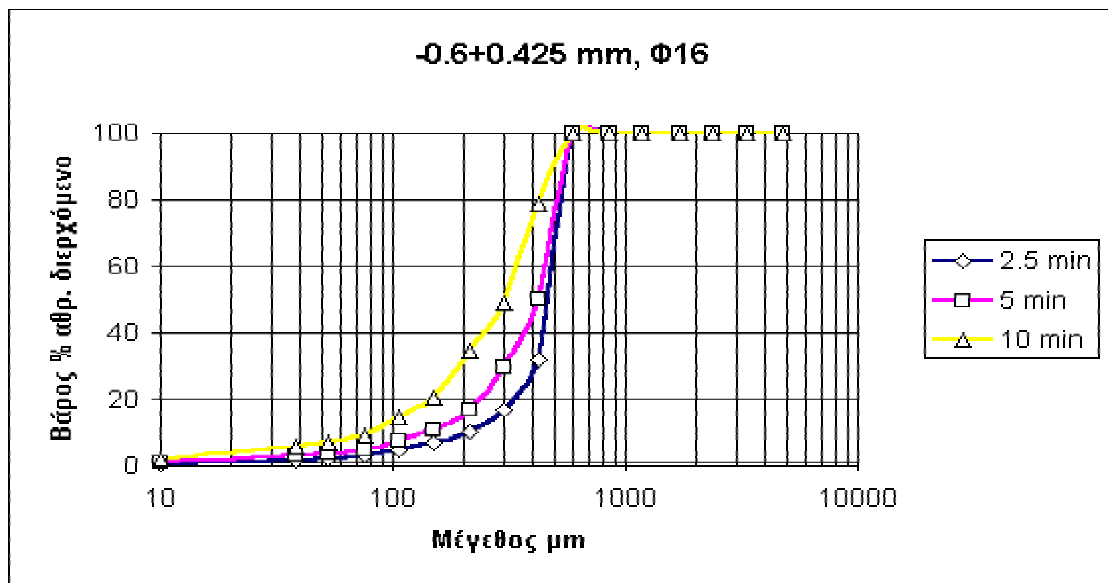
Από τον πίνακα 3.5 λαμβάνουμε τα διαγράμματα 3.18-3.20 τα οποία δείχνουν την επίδραση του χρόνου λειοτρίβησης στην κοκκομετρία του συγκεκριμένου υλικού τροφοδοσίας.

Από τα διαγράμματα αυτά παρατηρούμε ότι η κοκκομετρία του υλικού μειώνεται με αύξηση του χρόνου λειοτρίβησης, οποιαδήποτε διάμετρο ράβδων και αν χρησιμοποιήσουμε.

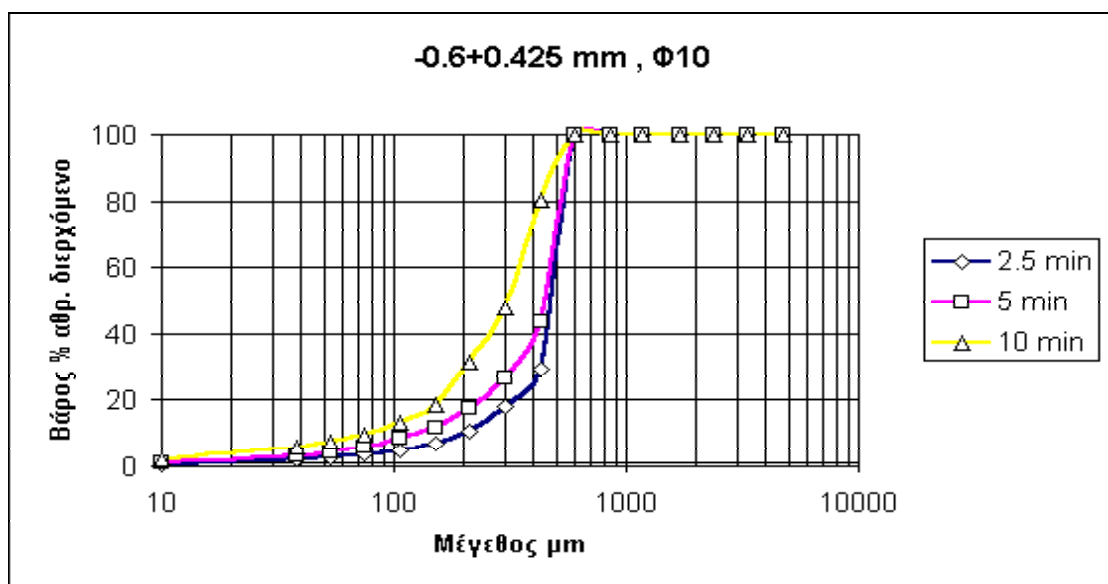
Διάγραμμα 3.18 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-0.6+0.425$ mm με ράβδους 22 mm.



Διάγραμμα 3.19 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-0.6+0.425$ mm με ράβδους 16 mm.



Διάγραμμα 3.20 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-0.6+0.425$ mm με ράβδους 10 mm.

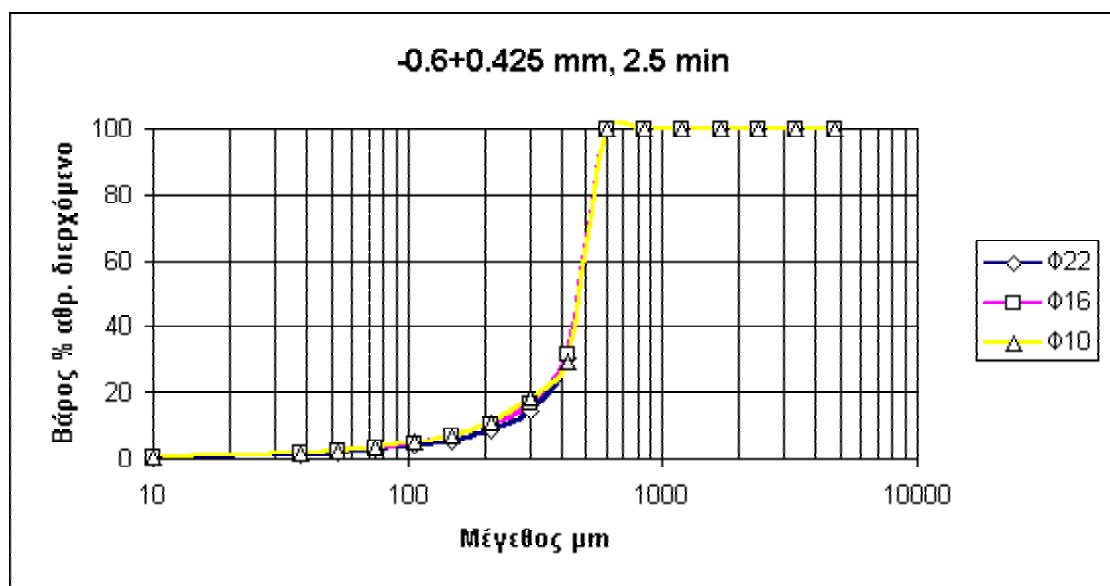


A.4.2) Επίδραση της διαμέτρου των ράβδων

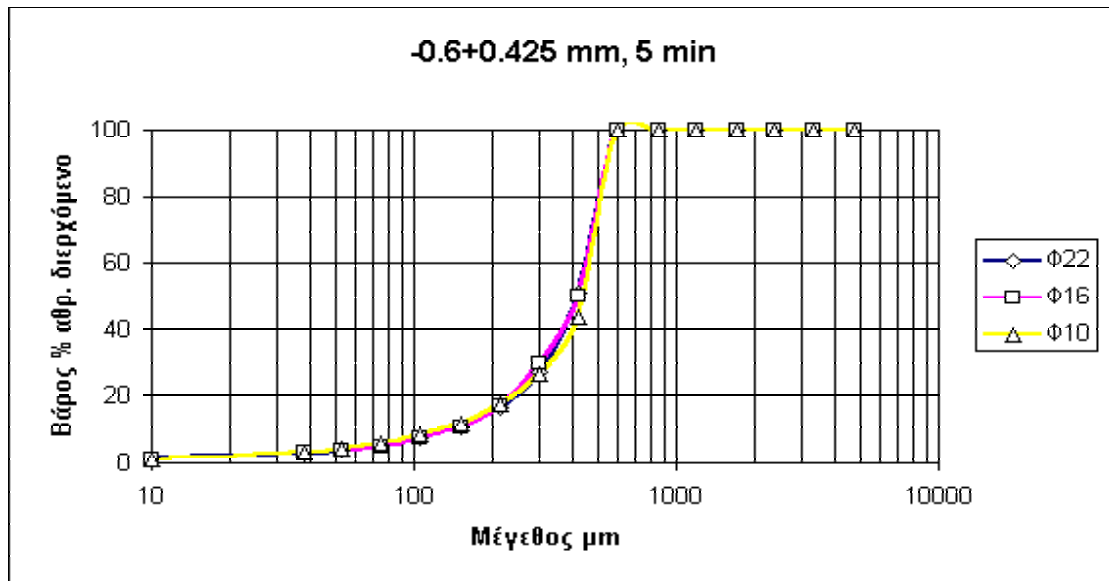
Τα διαγράμματα 3.21-3.23 δείχνουν την επίδραση της διαμέτρου των ράβδων όταν σαν υλικό τροφοδοσίας χρησιμοποιήσαμε το κλάσμα $-0.6+0.425$ mm.

Από τα διαγράμματα αυτά παρατηρούμε ότι, για όλους τους χρόνους λειοτρίβησης η διάμετρος των ράβδων δεν επιφέρει καμία σημαντική αλλαγή στην κοκκομετρία του υλικού.

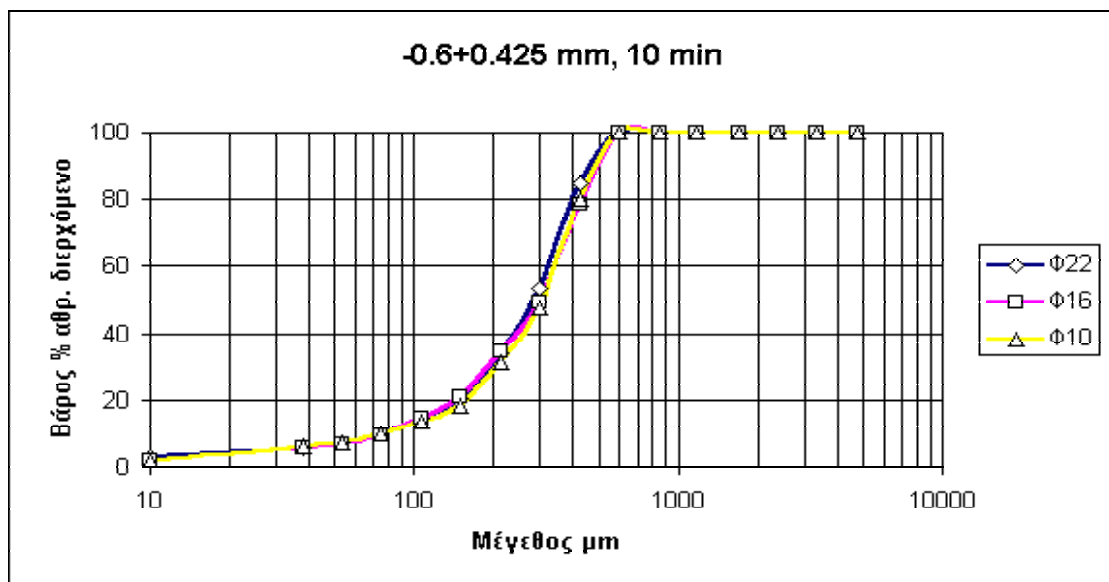
Διάγραμμα 3.21 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-0.6+0.425$ mm για χρόνο λειοτρίβησης 2.5 min.



Διάγραμμα 3.22: Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-0.6+0.425$ mm για χρόνο λειοτρίβησης 5 min.



Διάγραμμα 3.23 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους του κλάσματος $-0.6+0.425$ mm για χρόνο λειοτρίβησης 10 min.



A.5) Επίδραση της διαμέτρου των ράβδων για σταθερό χρόνο λειοτρίβησης

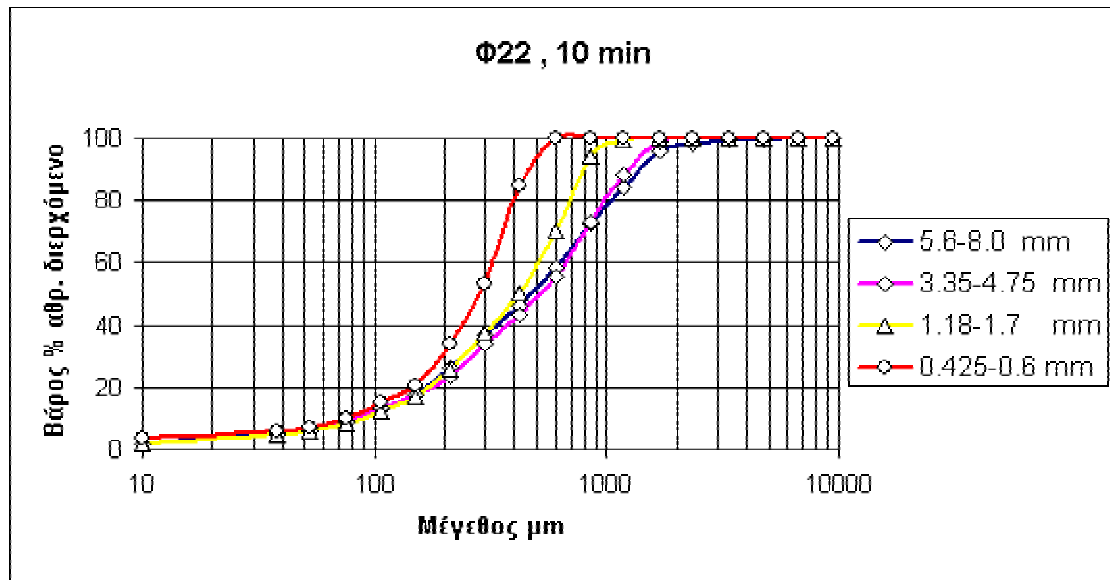
Ένας άλλος τρόπος περιγραφής της κατανομής των κλασμάτων παρουσιάζεται στα διαγράμματα 3.24-3.26. Τα διαγράμματα αυτά προέκυψαν από τους πίνακες κατανομής αθροιστικώς διερχόμενου βάρους των τεσσάρων υλικών τροφοδοσίας και αφορούν την επίδραση της διαμέτρου των ράβδων για σταθερό χρόνο λειοτρίβησης. Στα δεδομένα διαγράμματα ο χρόνος λειοτρίβησης που επιλέχθηκε να παρουσιαστεί είναι τα 10 min διότι στο χρόνο αυτό φαίνεται πιο ξεκάθαρα η επίδραση των ράβδων στην κοκκομετρία των υλικών.

Από τα διαγράμματα αυτά βγαίνουν τα εξής συμπεράσματα :

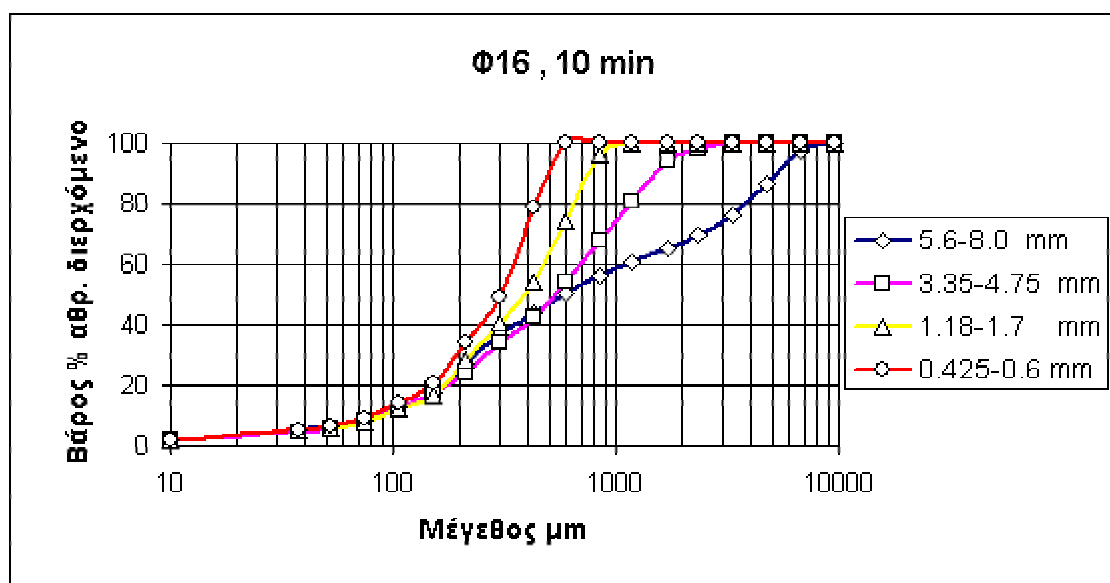
- Όταν χρησιμοποιούμε ράβδους Φ22 mm οι καμπύλες αθροιστικής κατανομής των κλασμάτων $-8.0+5.6$ mm και $-4.75+3.35$ mm σχεδόν ταυτίζονται, ενώ οι καμπύλες των κλασμάτων $-1.7+1.18$ mm και $-0.6+0.425$ mm διαφοροποιούνται στις ίδιες συνθήκες.
- Όταν χρησιμοποιούμε ράβδους Φ16 mm το κλάσμα $-8.0+5.6$ mm δεν θραύεται, ενώ οι καμπύλες των υπολοίπων κλασμάτων φαίνεται να ακολουθούν τυπικές καμπύλες θραυσμένου υλικού.
- Όταν χρησιμοποιούμε ράβδους Φ10 mm τα δύο χονδρά κλάσματα $-8.0+5.6$ mm και $-4.75+3.35$ mm δεν θραύονται, ενώ τα υπόλοιπα κλάσματα θραύονται.

Σαν γενική παρατήρηση μπορούμε να πούμε ότι τα χονδρά κλάσματα τα οποία παίρνουν μέρος στην λειοτρίβηση απαιτούν για να θραυστούν μεγάλης διαμέτρου ράβδους ενώ με μικρότερης διαμέτρου δεν θραύονται, τα μεσαία κλάσματα να μην θραύονται με μεγάλης διαμέτρου ράβδους αλλά θραύονται και με μικρότερης διαμέτρου ράβδους και τα λεπτά κλάσματα θραύονται με οποιαδήποτε διάμετρο ράβδων και αν χρησιμοποιήσουμε. Ίσως η επιλογή ενός μικρότερου κλάσματος υλικού τροφοδοσίας να οδηγούσε στο συμπέρασμα ότι και τα μικρότερα κλάσματα για να θραυτούν απαιτούν μικρότερης διαμέτρου ράβδους. Θα ήταν ενδιαφέρον να διερευνηθεί.

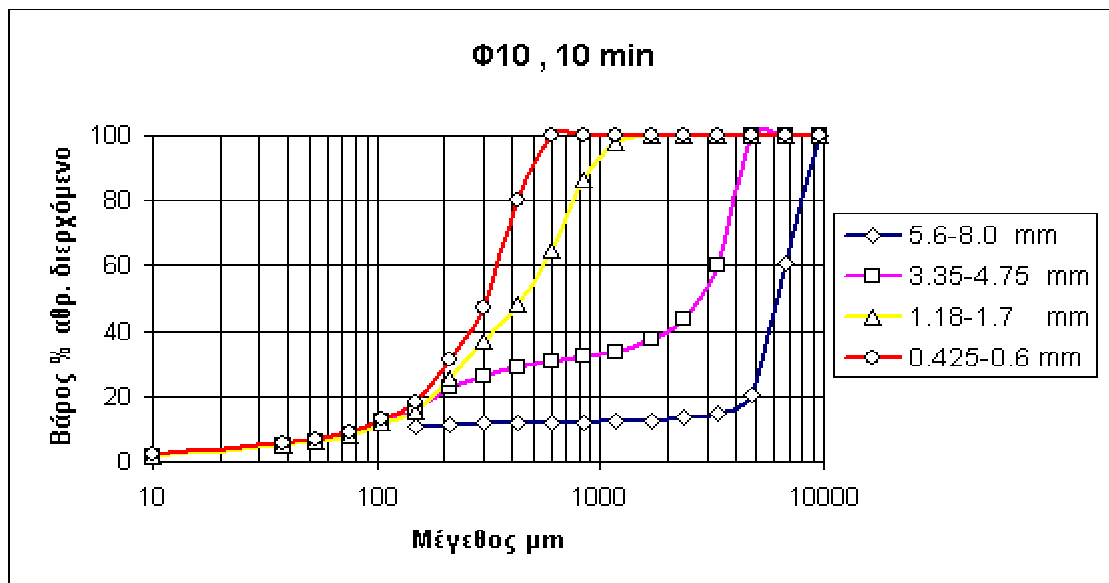
Διάγραμμα 3.24 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους των κλασμάτων για χρόνο λειοτρίβησης 10 min και ράβδους 22 mm.



Διάγραμμα 3.25 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους των κλασμάτων για χρόνο λειοτρίβησης 10 min και ράβδους 16 mm.



Διάγραμμα 3.26 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους των κλασμάτων για χρόνο λειοτρίβησης 10 min και ράβδους 10 mm.



B) Ρυθμός θραύσης διαφόρων κλασμάτων

B.1) Ρυθμός θραύσης κλασμάτων υλικών τροφοδοσίας

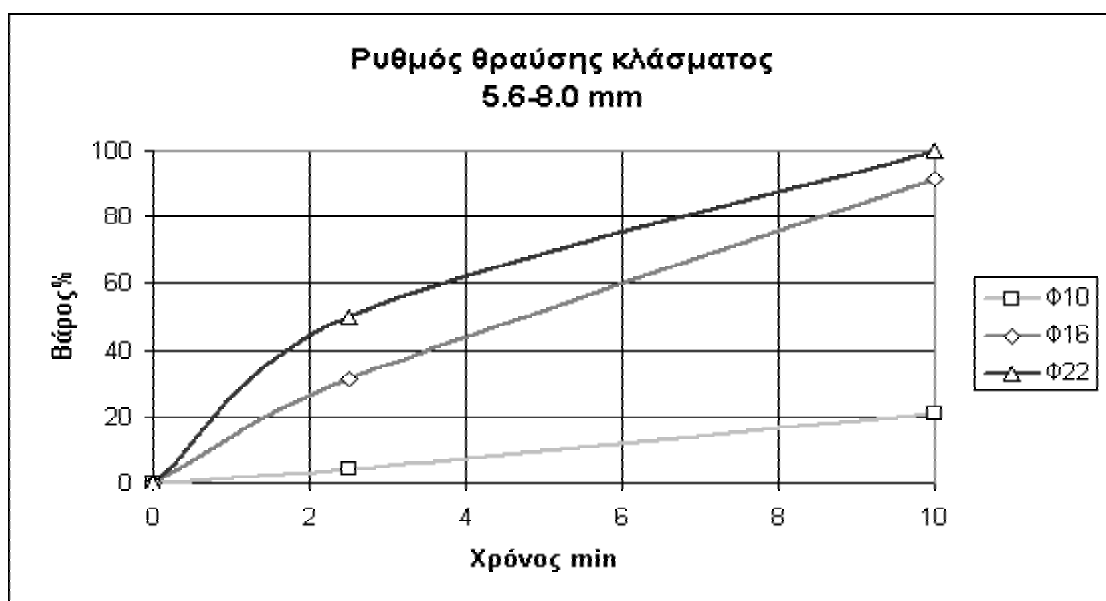
Για κάθε ένα από τα κλάσματα υλικών τροφοδοσίας μελετήθηκε ο ρυθμός με τον οποίο παράγονται για τις διάφορες διαμέτρους ράβδων που χρησιμοποιήθηκαν. Για την μελέτη αυτή δημιουργήσαμε τα διαγράμματα 3.27-3.30 τα οποία παριστάνουν το βάρος % θραυσμένου υλικού σε συνάρτηση με τον χρόνο λειοτρίβησης.

Τα συμπεράσματα τα οποία βγαίνουν από τα τέσσερα διαγράμματα είναι :

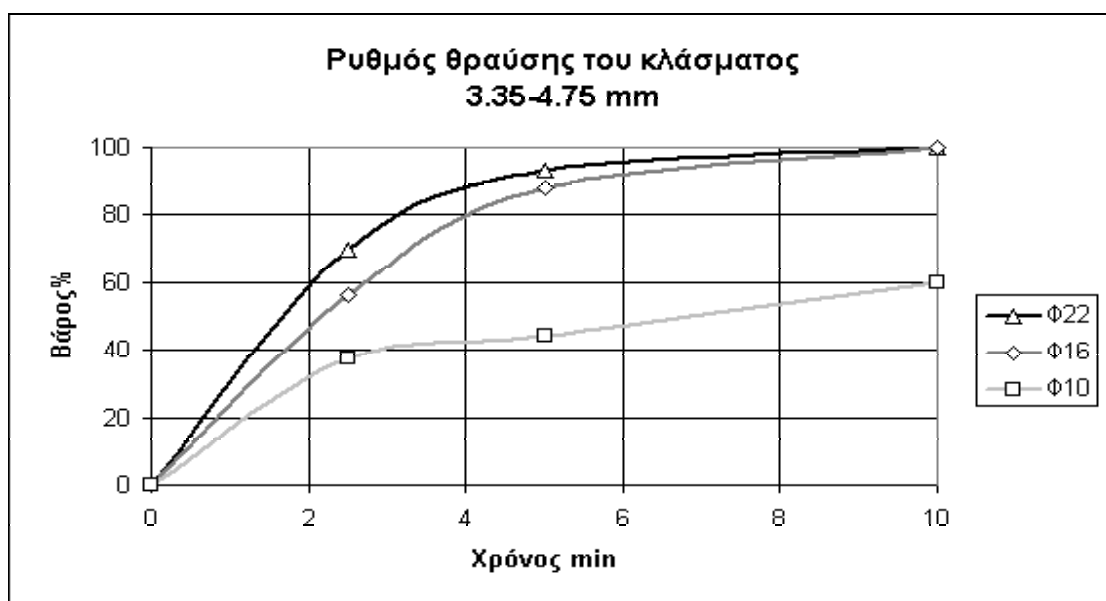
- Από το διάγραμμα 3.27 παρατηρούμε ότι οι ράβδοι Φ22 mm θραύουν το κλάσμα $-8.0+5.6$ mm με υψηλό ρυθμό. Ο ρυθμός αυτός είναι στην αρχή υψηλός και όσο το κλάσμα $+5.6$ mm εξαφανίζεται για την δημιουργία του κλάσματος -5.6 mm τόσο και ο ρυθμός θραύσης μειώνεται. Στο ίδιο διάγραμμα παρατηρούμε ότι και οι ράβδοι Φ16 mm θραύουν το κλάσμα $-8.0+5.6$ mm αλλά με μικρότερο ρυθμό. Αντίθετα οι ράβδοι Φ10 mm πρακτικά δεν θραύουν το συγκεκριμένο κλάσμα.
- Στο διάγραμμα 3.28 βλέπουμε το ρυθμό θραύσης του κλάσματος $-4.75+3.35$ mm. Από αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε ότι οι ράβδοι Φ22 mm και Φ16 mm θραύουν πρακτικά με τον ίδιο ρυθμό το κλάσμα $-4.75+3.35$ mm σε αντίθεση με την προηγούμενη περίπτωση του χονδρότερου κλάσματος. Επίσης, και ο ρυθμός θραύσης του κλάσματος είναι μεγαλύτερος χρησιμοποιώντας ράβδους Φ10 mm.
- Από το διάγραμμα 3.29 παρατηρούμε ότι όλοι οι ράβδοι θραύουν το κλάσμα $-1.7+1.18$ mm αλλά από ότι φαίνεται οι ράβδοι Φ16 mm το κάνουν με μεγαλύτερο ρυθμό.
- Στο διάγραμμα 3.30 βλέπουμε το ρυθμό θραύσης του κλάσματος $-0.6+0.425$ mm. Είναι φανερό ότι όλες οι ράβδοι θραύουν το συγκεκριμένο κλάσμα. Όμως, παρατηρούμε ότι μετά από χρόνο 10 min το βάρος του θραυσμένου

υλικού μειώθηκε για τις ράβδους $\Phi 22$ mm και $\Phi 16$ mm, ενώ αυξήθηκε για τις ράβδους $\Phi 10$ mm, σε σχέση με το βάρος που είχαν στο χονδρότερο υλικό τροφοδοσίας.

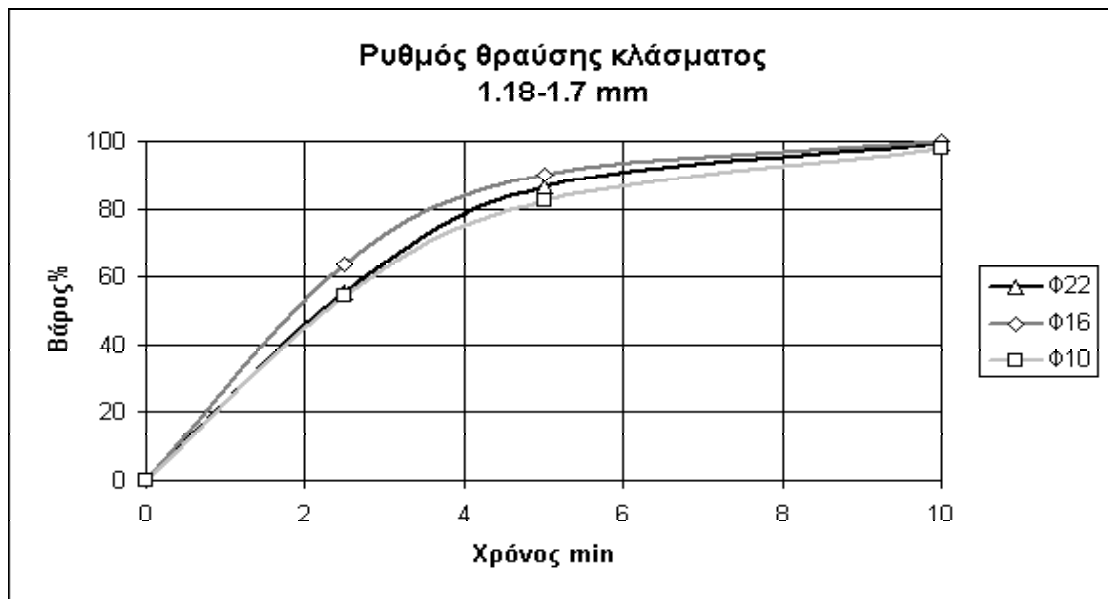
Διάγραμμα 3.27 : Οι καμπύλες που δείχνουν τον ρυθμό θραύσης του κλάσματος $-8.0+5.6$ mm για κάθε διάμετρο ράβδων.



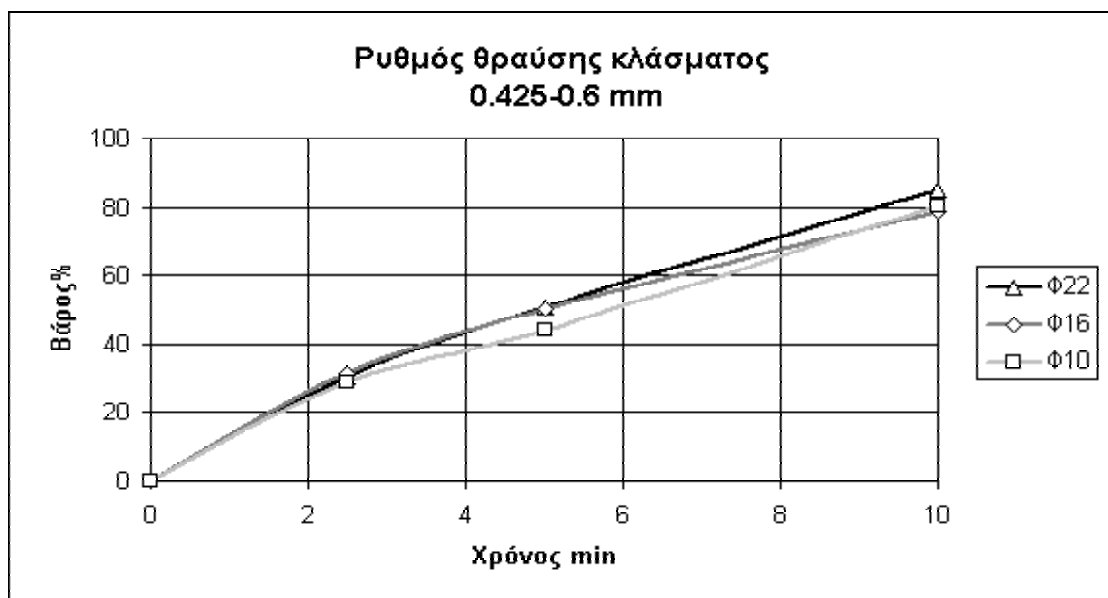
Διάγραμμα 3.28 : Οι καμπύλες που δείχνουν τον ρυθμό θραύσης του κλάσματος $-4.75+3.35$ mm για κάθε διάμετρο ράβδων.



Διάγραμμα 3.29 : Οι καμπύλες που δείχνουν τον ρυθμό θραύσης του κλάσματος $-1.7+1.18\text{ mm}$ για κάθε διάμετρο ράβδων.



Διάγραμμα 3.30 : Οι καμπύλες που δείχνουν τον ρυθμό θραύσης του κλάσματος $-0.6+0.425\text{ mm}$ για κάθε διάμετρο ράβδων.



B.2) Επίδραση της διαμέτρου των ράβδων

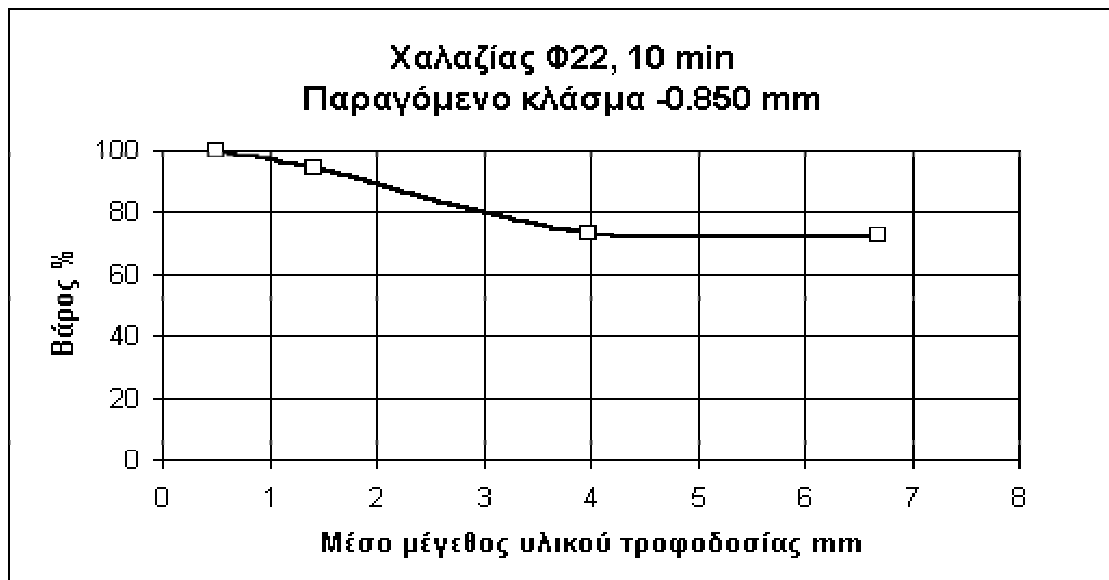
Η επίδραση της διαμέτρου των ράβδων στην κοκκομετρία του υλικού μπορεί να φανεί και από διαγράμματα 3.31-3.34. Τα διαγράμματα αυτά παριστάνουν το βάρος % ενός συγκεκριμένου κλάσματος το οποίο παράγεται σε συνάρτηση με το μέσο μέγεθος του υλικού τροφοδοσίας. Τα κλάσματα επιλέχθηκαν από τα αντίστοιχα διαγράμματα 3.24-3.26 έτσι ώστε να δείχνουν την μεγαλύτερη απόκλιση των καμπυλών.

B.2.1) Ράβδοι Φ22 mm

Από το διάγραμμα 3.24 παρατηρούμε ότι οι καμπύλες αποκλίνουν περισσότερο μεταξύ τους στο μέγεθος περίπου των 0.850 mm. Εάν παραστήσουμε γραφικά το βάρος % του κλάσματος -0.850 mm που παράχθηκε σε συνάρτηση με το μέσο μέγεθος του υλικού τροφοδοσίας τότε προκύπτει το διάγραμμα 3.31.

Από αυτό το διάγραμμα φαίνεται ότι με την χρήση των ράβδων Φ22 mm η παραγωγή του συγκεκριμένου κλάσματος είναι η ίδια για τα δύο χονδρότερα κλάσματα υλικών τροφοδοσίας (κλάσμα $-8.0+5.6$ mm με μέσο μέγεθος 6.69 mm και $-4.75+3.35$ mm με μέσο μέγεθος 3.99 mm).

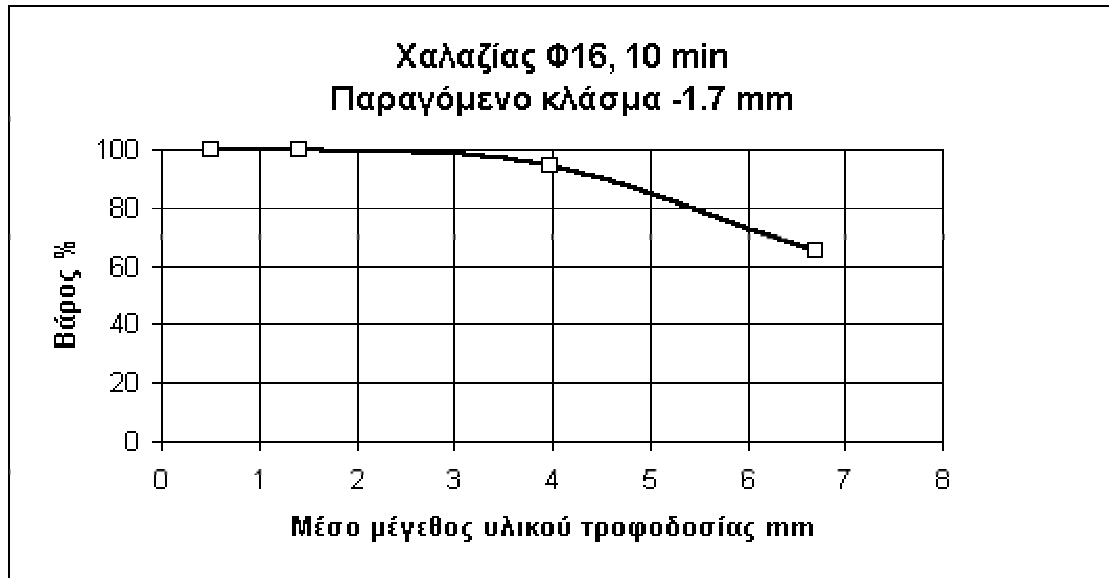
Διάγραμμα 3.31 : Οι καμπύλες του κλάσματος -0.850 mm που παράχθηκε σε συνάρτηση με το μέσο μέγεθος υλικού τροφοδοσίας για 10 min χρόνο λειοτρίβησης και χρησιμοποιώντας ράβδους 22 mm.



B.2.2) Ράβδοι Φ16 mm

Από το διάγραμμα 3.32 φαίνεται ότι με τις ράβδους Φ16 mm η παραγωγή του κλάσματος -1.7 mm είναι πολύ μεγαλύτερη χρησιμοποιώντας σαν υλικό τροφοδοσίας το κλάσμα $-4.75+3.35\text{ mm}$ (μέσο μέγεθος 3.99 mm) από αυτή με υλικό τροφοδοσίας $-8.0+5.6\text{ mm}$ (μέσο μέγεθος 6.69 mm).

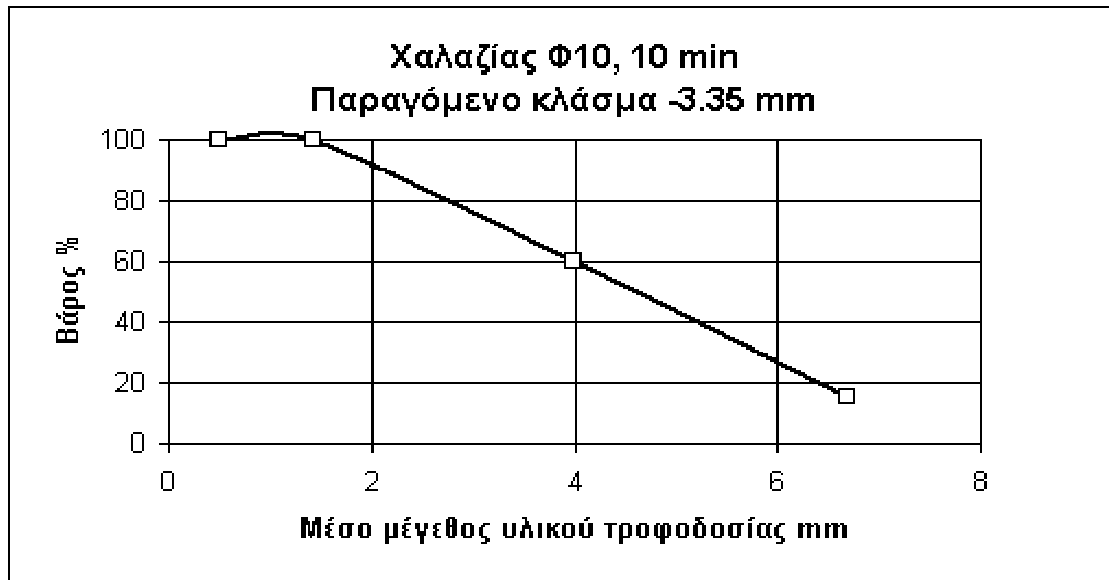
Διάγραμμα 3.32 : Οι καμπύλες του κλάσματος -1.7 mm που παράχθηκε σε συνάρτηση με το μέσο μέγεθος υλικού τροφοδοσίας για 10 min χρόνο λειοτρίβησης και χρησιμοποιώντας ράβδους 16 mm.



B.2.3) Ράβδοι Φ10 mm

Από το διάγραμμα 3.33 φαίνεται ότι το κλάσμα -3.35 mm δεν παράγεται σχεδόν καθόλου όταν χρησιμοποιούμε ράβδους Φ10 mm και υλικό τροφοδοσίας $-8.0+5.6\text{ mm}$. Στην περίπτωση που χρησιμοποιήσουμε λίγο λεπτότερο υλικό (κλάσμα $-4.75+3.35\text{ mm}$) τα πράγματα είναι κάπως καλύτερα.

Διάγραμμα 3.33 : Οι καμπύλες του κλάσματος -1.7 mm που παράχθηκε σε συνάρτηση με το μέσο μέγεθος υλικού τροφοδοσίας για 10 min χρόνο λειοτρίβησης και χρησιμοποιώντας ράβδους 16 mm.



3.4.3 Υπολογισμός ειδικής ενέργειας και ειδικής επιφάνειας

A) Υπολογισμός της κλίσης α κατά G.G.S.

Όπως παρατηρούμε από τα διαγράμματα των αθροιστικών κατανομών βάρους συναρτήσει του μεγέθους (βλ.κεφ.3.4.2), οι καμπύλες οι οποίες δημιουργούνται παρουσιάζουν κάποια καμπυλότητα στο άνω και κάτω μέρος τους. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκε και εδώ η γνωστή εξίσωση Gates-Gaudin-Schuhman (G.G.S):

$$W = 100 \cdot \left(\frac{d}{d_o} \right)^\alpha$$

Όπου : W = το ποσοστό % του αθροιστικώς διερχόμενου βάρους από το μέγεθος d .

d_o = το μέγιστο μέγεθος κόκκου και

α = μια σταθερά που εξαρτάται από την κατανομή μεγέθους.

Εάν πάρουμε τους λογαρίθμους της παραπάνω εξίσωσης έχουμε :

$$\text{Log}W = 2 + \alpha \log d - \alpha \log d_o \quad \text{ή} \quad \log W = A + \alpha \log d$$

Όπου : $A = 2 - \alpha \log d_o$ = σταθερά.

Σύμφωνα με αυτή την εξίσωση η γραφική παράσταση του αθροιστικώς διερχόμενου βάρους συναρτήσει του μεγέθους, με συντεταγμένες log-log, δίνει ευθεία γραμμή με κλίση ίση με α .

Αναλυτικά η διαδικασία που ακολουθήσαμε περιγράφεται στο παράρτημα Β.2, ενώ τα αποτελέσματα των κλίσεων παρουσιάζονται στον πίνακα 3.6 και για τα τέσσερα κλάσματα υλικών τροφοδοσίας μαζί. Επίσης, στον ίδιο πίνακα παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των κλίσεων, οι τυπικές και σχετικές αποκλίσεις των τιμών.

Πίνακας 3.6 : Ο συνολικός πίνακας των κλίσεων α της εξίσωσης G.G.S.

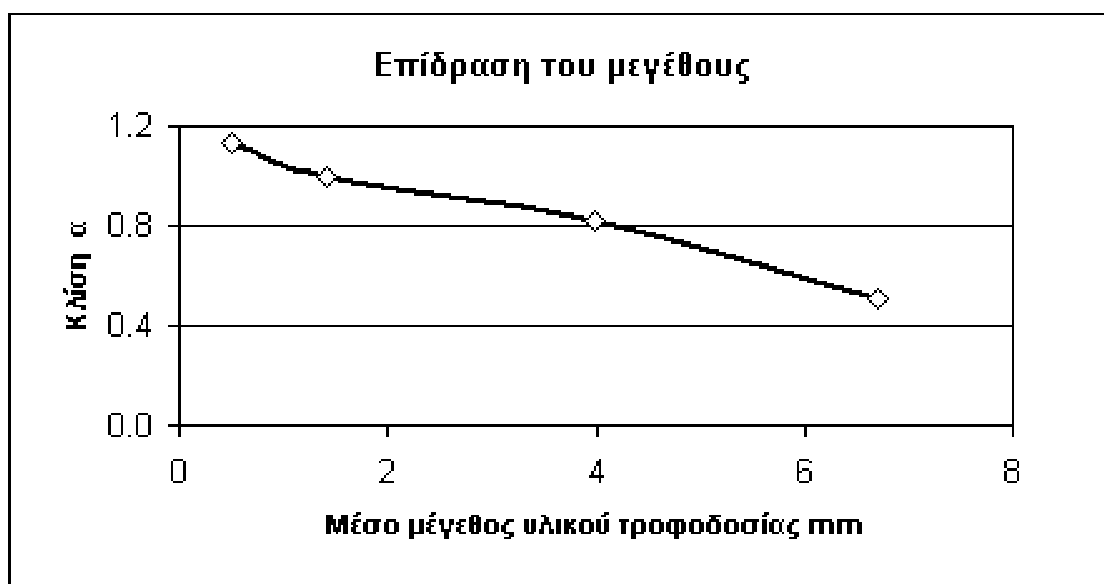
Κλάσμα mm	Μέσο κλάσμα mm	Κλίση α			Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Σχετική απόκλιση %
		$\Phi 22$	$\Phi 16$	$\Phi 10$			
-8.0+5.6	6.693	0.72	0.64	0.15	0.50	0.309	61.4
-4.75+3.35	3.989	0.86	0.81	0.81	0.82	0.027	3.3
-1.7+1.18	1.416	1.01	1.00	0.97	0.99	0.018	1.8
-0.6+0.425	0.505	1.17	1.16	1.06	1.13	0.058	5.2
	Μέσος όρος	0.94	0.90	0.75			
	Τυπική απόκλιση	0.158	0.176	0.127			
	Σχετική απόκλιση%	16.8	19.5	17.0			

A.1) Επίδραση του κλάσματος υλικού τροφοδοσίας στις τιμές των κλίσεων α .

Το διαγράμματα 3.45 το οποίο προκύπτει από τον πίνακα 3.6 παρουσιάζει γραφικά την επίδραση του μεγέθους του υλικού τροφοδοσίας στις τιμές των κλίσεων α της εξίσωσης G.G.S.

Από το διάγραμμα 3.45 παρατηρούμε ότι η τιμή της κλίσης α δεν παραμένει σταθερή για όλα τα κλάσματα τα οποία παίρνουν μέρος στην λειοτρίβηση. Οι Charles και Σταμπολιάδης που θεώρησαν ότι το προϊόν της θραύσης ενός κόκκου είναι ένα σύνολο μικρότερων τεμαχιδίων όπου όλα μαζί διατηρούν την αρχική μάζα και ακολουθούν έναν συγκεκριμένο τύπο κατανομής δεν φαίνεται να επαληθεύονται. Σύμφωνα και με τον καθηγητή Hukki η τιμή του α εξαρτάται από το μέγεθος του υλικού (Hukki, 1961).

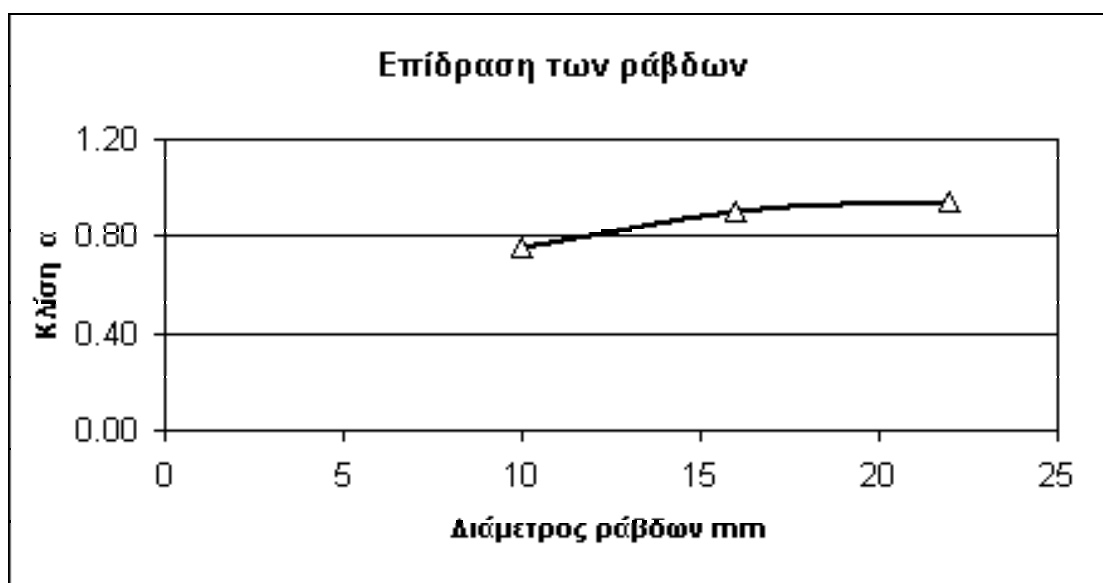
Διάγραμμα 3.45 : Επίδραση του μεγέθους του υλικού τροφοδοσίας στις τιμές των κλίσεων α της εξίσωσης G.G.S.



A.2) Επίδραση της διαμέτρου των ράβδων στις τιμές των κλίσεων α .

Το διάγραμμα 3.46 μας δείχνει ότι η τιμή της κλίσης α επηρεάζεται και από την διάμετρο των ράβδων που παίρνουν μέρος στην λειοτρίβηση. Αυτό ήταν αναμενόμενο αφού ο μηχανισμός που λαμβάνει χώρα μέσα στο κελί του μύλου είναι διαφορετικός ανάλογα με την διάμετρο των ράβδων που χρησιμοποιούμε. Οι μεγάλοι διαμέτρου ράβδοι έχουν προτίμηση στους μεγάλους κόκκους και οι μικρού διαμέτρου ράβδοι στους μικρότερους κόκκους. Δηλαδή, το μέγεθος των προϊόντων εξαρτάται άμεσα από την διάμετρο των ράβδων οπότε σύμφωνα με την προηγούμενή μας θεώρηση και η τιμή του α επηρεάζεται από τους ράβδους.

Διάγραμμα 3.46 : Επίδραση της διαμέτρου των ράβδων στις τιμές των κλίσεων α της εξίσωσης G.G.S.



B) Υπολογισμός του εκθέτη $2n-3$ από την γραφική παράσταση της ειδικής ενέργειας συναρτήσει του μεγέθους

Όπως είδαμε στο κεφάλαιο 2.4.8 η γραφική παράσταση του βάρους W_x , για ένα συγκεκριμένο μέγεθος x , συναρτήσει του χρόνου t , δίνει μια ευθεία γραμμή που τέμνει τον κατακόρυφο άξονα στο σημείο W_{x0} , και η κλίση της ευθείας είναι $\kappa_x \cdot P$. Το κ_x υπολογίζεται από την κλίση αυτή, όταν γνωρίζουμε την ισχύ του μύλου, ενώ η ειδική ενέργεια e_x υπολογίζεται από την σχέση :

$$e_x = 1 / \kappa_x$$

Για τον υπολογισμό της ειδικής ενέργειας e_x τα κλάσματα $-8.0+5.6$, $-4.75+3.35$, $-1.7+1.18$ και $-0.6+0.425$ mm λειοτριβήθηκαν σε εργαστηριακό ραβδόμυλο καθαρής ισχύος $P=20$ Watt.

Η γραφική παράσταση της ειδικής ενέργειας συναρτήσει του μεγέθους σε κλίμακα log-log δίνει ευθεία γραμμή, όπως προβλέπεται από την θεωρία. Η κλίση της γραμμής αυτής είναι η ποσότητα $2n-3$.

Αναλυτικά η διαδικασία που ακολουθήσαμε παρουσιάζεται στο παράρτημα Β.3, ενώ τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στον πίνακα 3.7.

Πίνακας 3.7 : Η τιμή του $2n-3$ για κάθε υλικό τροφοδοσίας και για κάθε διάμετρο ράβδων.

Κλάσμα mm	Μέσο κλάσμα mm	Παράμετρος $2n-3$			Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Σχετική απόκλιση %
		Φ22	Φ16	Φ10			
-8.0+5.6	6.693	-0.678	-0.409	0.026	-0.354	0.355	-100.48
-4.75+3.35	3.989	-0.894	-0.863	-0.818	-0.858	0.038	-4.45
-1.7+1.18	1.416	-0.929	-0.924	-0.888	-0.914	0.022	-2.45
-0.6+0.425	0.505	-1.104	-0.944	-0.921	-0.990	0.100	-10.07
Μέσος όρος		-0.901	-0.785	-0.650			
Τυπική απόκλιση		0.175	0.253	0.453			
Σχετική απόκλιση%		-19.385	-32.247	-69.646			

B.1) Επίδραση του κλάσματος υλικού τροφοδοσίας στις τιμές του $2n-3$

Αν παραστήσουμε γραφικά το μέσο όρο των τιμών $2n-3$ σε συνάρτηση με το μέσο μέγεθος υλικού τροφοδοσίας του πίνακα 3.7 τότε λαμβάνουμε το διάγραμμα 3.47. Το διάγραμμα αυτό μας δείχνει την επίδραση του κλάσματος υλικού τροφοδοσίας.

Από το διάγραμμα 3.47 παρατηρούμε ότι η τιμή του $2n-3$ δεν παραμένει σταθερή με το μέγεθος του κλάσματος που χρησιμοποιούμε για λειοτρίβηση. Όσο μεγαλύτερο κλάσμα χρησιμοποιούμε τόσο μεγαλώνει και η τιμή του $2n-3$, ενώ όσο μικρότερο κλάσμα χρησιμοποιούμε τόσο η τιμή του $2n-3$ προσεγγίζει το -1. Αυτό μας δείχνει ότι στα λεπτά κλάσματα φαίνεται να ισχύει ο νόμος του Rittinger ($2n-3 = -1$) ενώ όσο μεγαλώνει το μέγεθος του κλάσματος φαίνεται να μεταβαίνουμε προς τους νόμους των Bond και Kick ($2n-3 = -0.5$ και $2n-3 = 0$ αντίστοιχα).

Διάγραμμα 3.47 : Η σχέση του $2n-3$ με το μέγεθος του υλικού τροφοδοσίας.



Β.2) Επίδραση της διαμέτρου των ράβδων στις τιμές του $2n-3$

Από το διάγραμμα 3.48 παρατηρούμε ότι όσο μεγαλύτερη διάμετρο ράβδων χρησιμοποιούμε στην λειοτρίβηση τόσο μειώνεται και η τιμή του $2n-3$ και αντίστροφα. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί ως εξής: όταν χρησιμοποιούμε μεγάλη διάμετρο ράβδων τότε οι ράβδοι αυτοί σπάνε επιλεκτικά τους μεγάλους κόκκους του υλικού, ενώ όσο μικρότερης διαμέτρου ράβδους χρησιμοποιούμε τόσο αυτοί θα σπάνε επιλεκτικά και μικρότερους κόκκους. Το αποτέλεσμα είναι στην πρώτη περίπτωση να μην έχουμε μεγάλους κόκκους μετά την λειοτρίβηση του υλικού, ενώ όσο μικρότερης διαμέτρου ράβδους χρησιμοποιούμε τόσο και περισσότερους μεγάλους κόκκους θα έχουμε μετά το τέλος της λειοτρίβησης. Έτσι το υλικό σαν σύνολο θα είναι λεπτότερο στην περίπτωση των μεγάλων ράβδων και χονδρότερο στην περίπτωση μικρών ράβδων. Σύμφωνα και με το διάγραμμα 3.47 αναμένεται η σχέση του $2n-3$ με την διάμετρο των ράβδων να έχει την μορφή του διαγράμματος 3.48.

Διάγραμμα 3.48 : Η σχέση του $2n-3$ με τη διάμετρο των ράβδων.



Γ) Σχέση των παραμέτρων (α) και ($2n-3$)

Όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 2 οι παράμετροι (α) και ($2n-3$) είναι ίσες και αντίθετες μεταξύ τους για τα περισσότερα ορυκτά που υπάρχουν στη φύση. Επομένως, η ποσότητα ($2n-3+\alpha$) είναι πολύ κοντά στο μηδέν, όπως παρατηρούμε και από τον πίνακα 3.8.

Πίνακας 3.8 : Η ποσότητα $2n-3+\alpha$

Κλάσμα <i>mm</i>	Μέσο κλάσμα <i>mm</i>	Ποσότητα $2n-3+\alpha$		
		$\Phi 22$	$\Phi 16$	$\Phi 10$
-8.0+5.6	6.693	0.04	0.23	0.18
-4.75+3.35	3.989	-0.04	-0.06	-0.01
-1.7+1.18	1.416	0.08	0.08	0.08
-0.6+0.425	0.505	0.07	0.21	0.14

Οι τιμές των (α) και (n) προσδιορίστηκαν ανεξάρτητα μεταξύ τους και έτσι η ποσότητα ($2n-3+\alpha$) λαμβάνει το πειραματικό σφάλμα και των δύο τιμών. Γι' αυτό το λόγο η αρνητική τιμή που υπολογίσαμε για κάθε κλάσμα μπορεί να εξηγηθεί σαν πειραματικό σφάλμα., διαφορετικά η θραύση θα ήταν ένα εξώθερμο φαινόμενο.

Δ) Υπολογισμός ειδικής επιφάνειας

Η γνώση της ειδικής επιφάνειας αποτελεί δείκτη της λεπτότητας του υλικού σε σύνολο. Επομένως η μέτρηση αυτής μπορεί να μας δώσει πληροφορίες για την λεπτότητα των κλασμάτων που χρησιμοποιήσαμε στην λειοτρίβηση και ιδιαίτερα να μελετήσουμε πως μεταβάλλεται η λεπτότητα αυτή για διάφορες διαμέτρους ράβδων που χρησιμοποιήσαμε και για διάφορους χρόνους λειοτρίβησης.

Επειδή το μεγαλύτερο μέρος της ειδικής επιφάνειας εμφανίζεται στα πολύ λεπτά κλάσματα η μέτρηση της ειδικής επιφάνειας των προϊόντων λειοτρίβησης έγινε πάνω από ένα συγκεκριμένο μέγεθος κόκκων. Το μέγεθος το οποίο επιλέχτηκε ήταν τα 0.300 mm διότι όπως παρατηρούμε από τις καμπύλες αθροιστικώς διερχόμενου βάρους σε συνάρτηση με το μέγεθος των κόκκων οι καμπύλες κάτω από τα 0.300 mm σχεδόν ταυτίζονται. Έτσι, η μέτρηση της ειδικής επιφάνειας κάτω από αυτό το μέγεθος δεν έχει νόημα. Αντίθετα η ειδική επιφάνεια πάνω από τα 0.300 mm διαφοροποιείται ανάλογα με την διάμετρο των ράβδων που χρησιμοποιούμε, ανάλογα με τον χρόνο λειοτρίβησης και ανάλογα με το υλικό τροφοδοσίας του ραβδόμυλου.

Στο παράρτημα Β.4 παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε προκειμένου να υπολογιστεί η ειδική επιφάνεια πάνω από τα 0.300 mm (+0.300 mm) των προϊόντων των υλικών τροφοδοσίας $-8.0+5.6$ mm, $-4.75+3.5$ mm, $-1.7+1.18$ mm και $-0.6+0.425$ mm. Για τον υπολογισμό της ειδικής επιφάνειας των προϊόντων εργαστήκαμε κατά ανάλογο τρόπο όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 2.4.4.

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στους πίνακες 3.9 έως 3.12. Οι πίνακες αυτοί παρουσιάζουν τις τιμές της ειδικής επιφάνειας των προϊόντων για κάθε χρόνο λειοτρίβησης και για διάφορες διαμέτρους ράβδων που χρησιμοποιήθηκαν καθώς επίσης τις τυπικές και σχετικές αποκλίσεις των τιμών.

Πίνακας 3.9 : Η ειδική επιφάνεια πάνω από 0.300 mm των προϊόντων του υλικού τροφοδοσίας $-8.0+5.6$ mm για τρεις διαμέτρους ράβδων (22 , 16 και 10 mm) και για κάθε χρόνο λειοτρίβησης.

Ειδική επιφάνεια +0.300 mm, m² / g						
Χρόνος λειοτρίβησης min	-8.0+5.6 mm			Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Σχετική απόκλιση %
	Φ22	Φ16	Φ10			
2.5	0.0008	0.0006	0.0004	0.0006	0.0002	32.690
10	0.0033	0.0021	0.0004	0.0019	0.0015	75.474
Μέσος όρος	0.0020	0.0013	0.0004			
Τυπική απόκλιση	0.0018	0.0010	0.0000			
Σχετική απόκλιση%	87.0	76.4	1.6			

Πίνακας 3.10 : Η ειδική επιφάνεια πάνω από 0.300 mm των προϊόντων του υλικού τροφοδοσίας $-4.75+3.35$ mm για τρεις διαμέτρους ράβδων (22 , 16 και 10 mm) και για κάθε χρόνο λειοτρίβησης.

Ειδική επιφάνεια +0300 mm, m² / g						
Χρόνος λειοτρίβησης min	-4.75+3.35 mm			Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Σχετική απόκλιση %
	Φ22	Φ16	Φ10			
2.5	0.0013	0.0012	0.0009	0.0011	0.0002	18.871
5	0.0019	0.0018	0.0010	0.0016	0.0005	32.864
10	0.0034	0.0031	0.0011	0.0025	0.0012	49.250
Μέσος όρος	0.0022	0.0020	0.0010			
Τυπική απόκλιση	0.0011	0.0010	0.0001			
Σχετική απόκλιση%	48.2	48.3	10.4			

Πίνακας 3.11 : Η ειδική επιφάνεια πάνω από 0.300 mm των προϊόντων του υλικού τροφοδοσίας $-1.7+1.18$ mm για τρεις διαμέτρους ράβδων (22 , 16 και 10 mm) και για κάθε χρόνο λειοτρίβησης.

<i>Ειδική επιφάνεια +300 μm, m^2 / g</i>						
<i>Χρόνος λειοτρίβησης min</i>	<i>-1.7+1.18 mm</i>			Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Σχετική απόκλιση %
	$\Phi 22$	$\Phi 16$	$\Phi 10$			
2.5	0.0024	0.0025	0.0024	0.0024	0.0001	3.811
5	0.0030	0.0032	0.0030	0.0031	0.0001	3.360
10	0.0041	0.0043	0.0039	0.0041	0.0002	5.131
Μέσος όρος	0.0032	0.0033	0.0031			
Τυπική απόκλιση	0.0009	0.0009	0.0008			
Σχετική απόκλιση%	28.2	26.7	24.7			

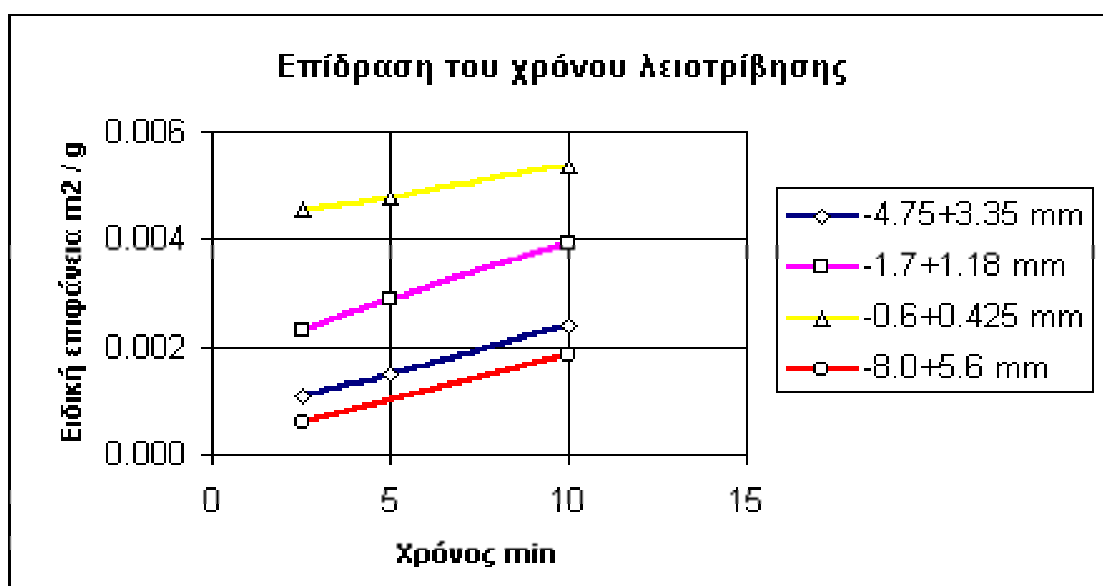
Πίνακας 3.12 : Η ειδική επιφάνεια πάνω από 0.300 mm των προϊόντων του υλικού τροφοδοσίας $-0.6+0.425$ mm για τρεις διαμέτρους ράβδων (22 , 16 και 10 mm) και για κάθε χρόνο λειοτρίβησης.

<i>Ειδική επιφάνεια +0.300 mm, m^2 / g</i>						
<i>Χρόνος λειοτρίβησης min</i>	<i>-0.6+0.425 mm</i>			Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Σχετική απόκλιση %
	$\Phi 22$	$\Phi 16$	$\Phi 10$			
2.5	0.0048	0.0048	0.0047	0.0048	0.0001	1.175
5	0.0051	0.0050	0.0049	0.0050	0.0001	1.713
10	0.0057	0.0056	0.0056	0.0056	0.0001	1.593
Μέσος όρος	0.0052	0.0051	0.0051			
Τυπική απόκλιση	0.0005	0.0004	0.0005			
Σχετική απόκλιση%	9.0	7.5	9.4			

Δ.1) Επίδραση του χρόνου λειοτρίβησης

Εάν παραστήσουμε γραφικά την ειδική επιφάνεια σε συνάρτηση με τον χρόνο λειοτρίβησης τότε προκύπτει το διάγραμμα 3.49. Από αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε ότι ο όσο προχωράει ο χρόνος λειοτρίβησης τόσο μεγαλώνει και η ειδική επιφάνεια των προϊόντων, πράγμα το οποίο ήταν αναμενόμενο. Επίσης, από το ίδιο διάγραμμα παρατηρούμε ότι για τον ίδιο χρόνο λειοτρίβησης όσο μικρότερο μέγεθος έχει το υλικό τροφοδοσίας τόσο μεγαλύτερη είναι και η ειδική του επιφάνεια.

Διάγραμμα 3.49 : Επίδραση του χρόνου λειοτρίβησης στην ειδική επιφάνεια +0.300 mm των προϊόντων των υλικών τροφοδοσίας.



Δ.2) Επίδραση της διαμέτρου των ράβδων

Το διάγραμμα 3.50 δείχνει την επίδραση της διαμέτρου των ράβδων που χρησιμοποιήσαμε. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούμε ότι :

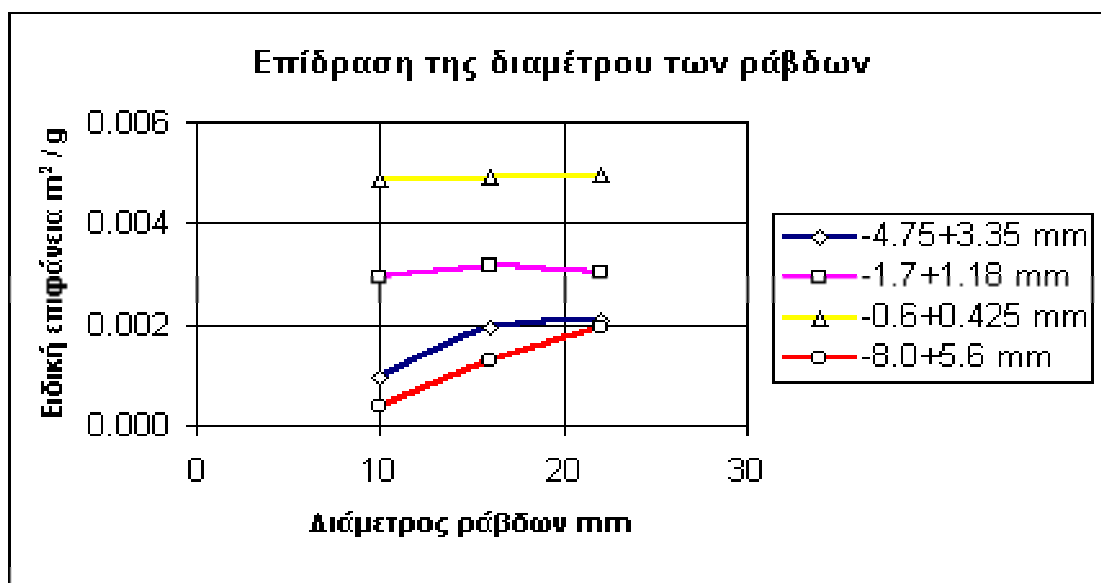
- Η ειδική επιφάνεια του προϊόντος του υλικού τροφοδοσίας $-8.0+5.6$ mm μεγαλώνει όσο μεγαλώνει και η διάμετρος των ράβδων.
- Η ειδική επιφάνεια του προϊόντος του υλικού τροφοδοσίας $-4.75+3.35$ mm μεγαλώνει σημαντικά από διάμετρο ράβδων 10 mm σε διάμετρο 16 mm και ελάχιστα μεγαλώνει από διάμετρο 16 mm σε διάμετρο 22 mm.
- Η ειδική επιφάνεια του προϊόντος του υλικού τροφοδοσίας $-1.7+1.18$ mm μεγαλώνει ελάχιστα από διάμετρο ράβδων 10 mm σε διάμετρο 16 mm και ελάχιστα μικραίνει από διάμετρο 16 mm σε διάμετρο 22 mm.
- Η ειδική επιφάνεια του προϊόντος του υλικού τροφοδοσίας $-0.6+0.425$ mm παραμένει σχεδόν σταθερή οποιαδήποτε διάμετρο ράβδων και αν χρησιμοποιήσουμε.

Τα παραπάνω αποτελέσματα μπορούν να εξηγηθούν ως εξής:

Για κάθε κλάσμα το οποίο παίρνει μέρος στην λειοτρίβηση υπάρχει μια βέλτιστη διάμετρος ράβδων που θραύει το κλάσμα και μάλιστα η βέλτιστη διάμετρος εξαρτάται άμεσα από το μέσο μέγεθος του κλάσματος. Για τα χονδρά κλάσματα απαιτείται μεγάλη διάμετρος ράβδων για να θραυστούν ενώ όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το κλάσμα τόσο μικρότερη διάμετρος ράβδων απαιτείται. Στην περίπτωση του υλικού τροφοδοσίας $-0.6+0.425$ mm δεν φάνηκε κάτι τέτοιο, μπορεί όμως να απαιτείται ακόμα μικρότερης διαμέτρου ράβδοι για να φανεί αυτό το φαινόμενο.

Τα παραπάνω μπορούν να ερμηνευτούν με τη θεώρηση ότι όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το υλικό τόσο μεγαλύτερη θα πρέπει να είναι και η διαθέσιμη επιφάνεια του φορτίου η οποία είναι υπεύθυνη για το σπάσιμο των κόκκων. Σύμφωνα με το κεφάλαιο 3.4.1, όσο μικρότερης διαμέτρου ράβδους χρησιμοποιούμε τόσο μεγαλύτερη είναι η διαθέσιμη επιφάνεια του φορτίου, οπότε και εξηγείται η παραπάνω θεώρηση.

Διάγραμμα 3.50 : Επίδραση της διαμέτρου των ράβδων στην ειδική επιφάνεια
+0.300 mm των προϊόντων των υλικών τροφοδοσίας.



Δ.3) Επίδραση του υλικού τροφοδοσίας

Τα διαγράμματα 3.51 και 3.52 δείχνουν την επίδραση του υλικού τροφοδοσίας στην ειδική επιφάνεια. Το πρώτο δείχνει την επίδραση για τον ίδιο χρόνο λειοτρίβησης και το δεύτερο για την ίδια διάμετρο ράβδων.

Από το διάγραμμα 3.51 παρατηρούμε ότι όσο αυξάνει το μέγεθος του υλικού τροφοδοσίας τόσο μειώνεται η ειδική επιφάνεια για τον ίδιο χρόνο λειοτρίβησης. Επίσης, για το ίδιο μέγεθος υλικού τροφοδοσίας όσο μεγαλώνει ο χρόνος λειοτρίβησης τόσο μεγαλώνει και η ειδική επιφάνεια των προϊόντων. Μόνο στο υλικό τροφοδοσίας -0.6+0.425 mm (μέσο μέγεθος 0.505 mm) η ειδική επιφάνεια των 2.5 και 5 min είναι η ίδια και η ειδική επιφάνεια των 10 min είναι μεγαλύτερη.

Από το διάγραμμα 3.52 παρατηρούμε ότι όσο αυξάνει το μέγεθος του υλικού τροφοδοσίας τόσο μειώνεται η ειδική επιφάνεια των προϊόντων για την ίδια διάμετρο ράβδων. Επίσης, για το ίδιο μέγεθος υλικού τροφοδοσίας παρατηρούμε ότι :

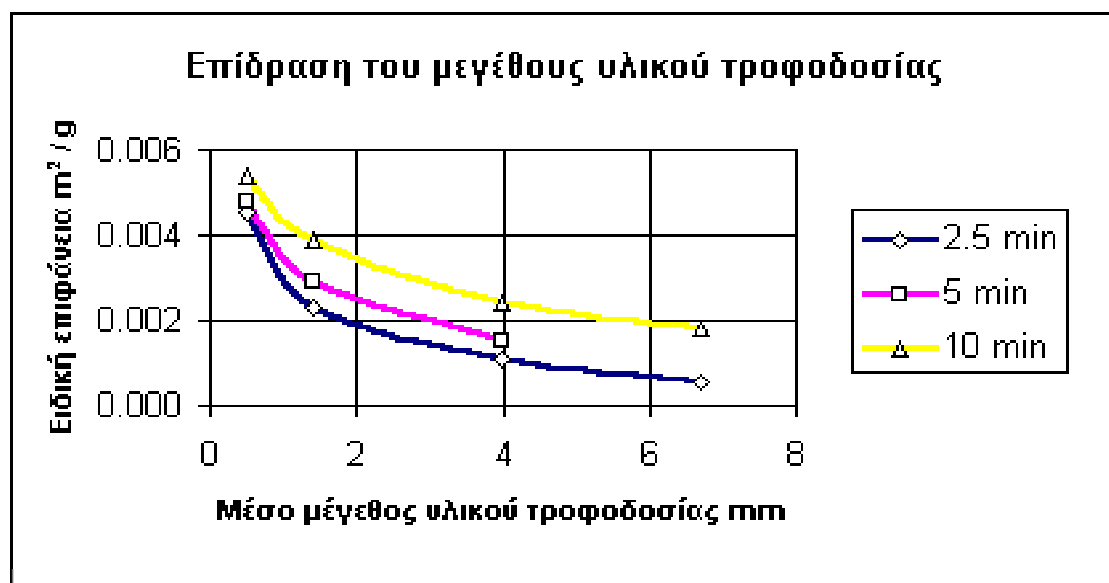
α) Στην περίπτωση του υλικού τροφοδοσίας $-8.0+5.6$ mm (μέσο μέγεθος 6.693 mm) όσο μεγαλώνει η διάμετρος των ράβδων τόσο μεγαλώνει και η ειδική επιφάνεια των προϊόντων.

β) Στην περίπτωση του υλικού τροφοδοσίας $-4.75+3.35$ mm (μέσο μέγεθος 3.989 mm) η ειδική επιφάνεια με διάμετρο ράβδων 22 και 16 mm είναι η ίδια ενώ με διάμετρο ράβδων 10 mm είναι μικρότερη.

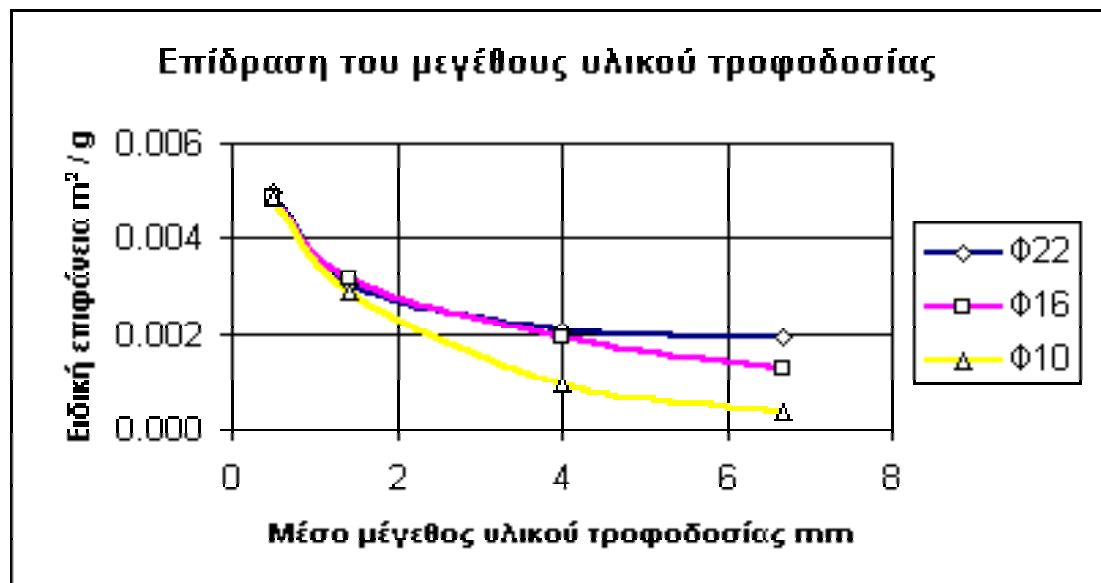
γ) Στην περίπτωση του υλικού τροφοδοσίας $-1.7+1.18$ mm (μέσο μέγεθος 1.416 mm) η ειδική επιφάνεια με διάμετρο ράβδων 22 και 16 mm είναι η ίδια ενώ με διάμετρο ράβδων 10 mm είναι ελάχιστα μικρότερη.

δ) Στην περίπτωση του υλικού τροφοδοσίας $-0.6+0.425$ mm (μέσο μέγεθος 0.505 mm) η ειδική επιφάνεια για κάθε διάμετρο ράβδων είναι η ίδια.

Διάγραμμα 3.51 : Επίδραση του υλικού τροφοδοσίας στην ειδική επιφάνεια $+0.300$ mm των προϊόντων των υλικών τροφοδοσίας.



Διάγραμμα 3.52 : Επίδραση του υλικού τροφοδοσίας στην ειδική επιφάνεια
+0.300 mm των προϊόντων των υλικών τροφοδοσίας.



Ε) Ειδική ενέργεια και ειδική επιφάνεια

Ε.1) Σχέση ειδικής ενέργειας και ειδικής επιφάνειας

Δεδομένου ότι η καθαρή ισχύς του εργαστηριακού μύλου είναι σταθερή ($P = 20 \text{ Watt}$) προκύπτει ότι η προσφερόμενη ενέργεια είναι ανάλογη του χρόνου λειοτρίβησης. Έτσι, μπορούμε να υπολογίσουμε την ενέργεια που καταναλώνεται για κάθε χρόνο λειοτρίβησης και κατ' επέκταση και την ειδική ενέργεια, όπως παρουσιάζεται στους πίνακες 3.13 έως 3.16.

Εάν παραστήσουμε γραφικά την συνολική ειδική επιφάνεια συναρτήσει της ειδικής ενέργειας τότε προκύπτουν καμπύλες με κλίσεις κ (διαγράμματα 3.49 έως 3.52). Οι κλίσεις αυτές έχουν μονάδες $\text{joule} / \text{m}^2$ και δείχνουν την ενέργεια που δαπανάται για την δημιουργία μιας μονάδας επιφάνειας (επιφανειακή τάση).

Πίνακας 3.13 : Πίνακας που συνδέει την ειδική ενέργεια με την συνολική ειδική επιφάνεια για το κλάσμα $-8.0+5.6 \text{ mm}$.

<i>Χρόνος Λειοτρίβησης min</i>	<i>Ενέργεια joule</i>	<i>Ειδική ενέργεια joule/g</i>	<i>Συνολική ειδική επιφάνεια m^2/g</i>		
			<i>$\Phi 22$</i>	<i>$\Phi 16$</i>	<i>$\Phi 10$</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2.5	3,000	3	0.0014	0.0012	0.0007
10	12,000	12	0.0054	0.0046	0.0014

Πίνακας 3.14 : Πίνακας που συνδέει την ειδική ενέργεια με την συνολική ειδική επιφάνεια για το κλάσμα $-4.75+3.35$ mm.

<i>Χρόνος Λειτουργίβησης min</i>	<i>Ενέργεια joule</i>	<i>Ειδική ενέργεια joule/g</i>	<i>Συνολική ειδική επιφάνεια m^2/g</i>		
			$\Phi 22$	$\Phi 16$	$\Phi 10$
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2.5	3,000	3	0.0053	0.0055	0.0050
5	6,000	6	0.0094	0.0102	0.0093
10	12,000	12	0.0189	0.0196	0.0170

Πίνακας 3.15 : Πίνακας που συνδέει την ειδική ενέργεια με την συνολική ειδική επιφάνεια για το κλάσμα $-1.7+1.18$ mm.

<i>Χρόνος Λειτουργίβησης min</i>	<i>Ενέργεια joule</i>	<i>Ειδική ενέργεια joule/g</i>	<i>Συνολική ειδική επιφάνεια m^2/g</i>		
			$\Phi 22$	$\Phi 16$	$\Phi 10$
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2.5	3,000	3	0.0069	0.0077	0.0072
5	6,000	6	0.0106	0.0124	0.0118
10	12,000	12	0.0197	0.0210	0.0200

Πίνακας 3.16 : Πίνακας που συνδέει την ειδική ενέργεια με την συνολική ειδική επιφάνεια για το κλάσμα $-0.6+0.425$ mm.

<i>Χρόνος Λειτουργίβησης min</i>	<i>Ενέργεια joule</i>	<i>Ειδική ενέργεια joule/g</i>	<i>Συνολική ειδική επιφάνεια m^2/g</i>		
			$\Phi 22$	$\Phi 16$	$\Phi 10$
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
2.5	3,000	3	0.010	0.011	0.011
5	6,000	6	0.016	0.015	0.016
10	12,000	12	0.028	0.024	0.024

Ε.2) Φαινόμενη επιφανειακή τάση

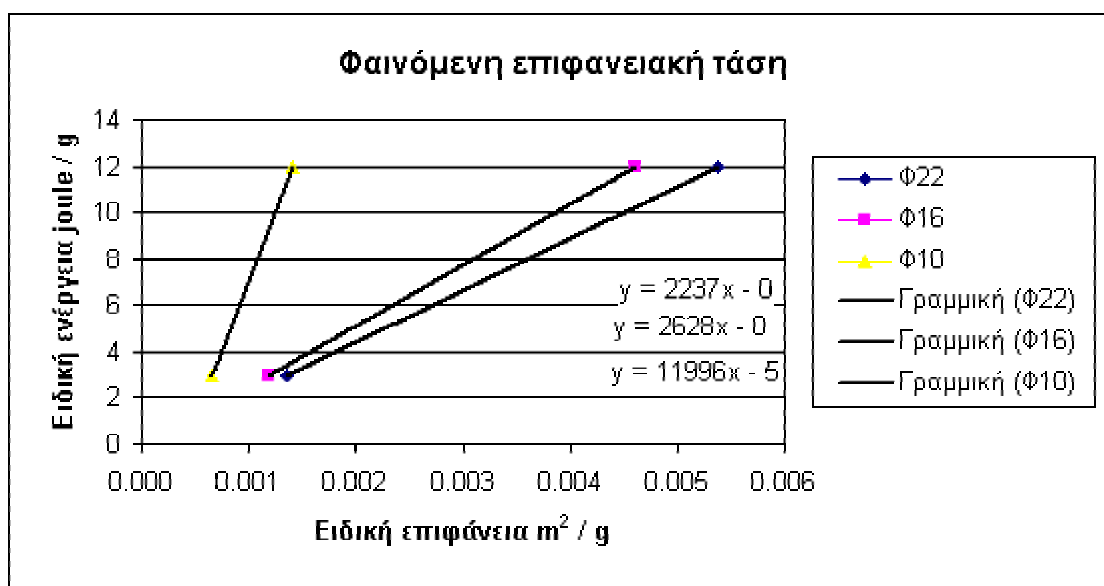
Εάν παραστήσουμε γραφικά την συνολική ειδική επιφάνεια συναρτήσει της ειδικής ενέργειας τότε προκύπτουν καμπύλες με κλίσεις κ (διαγράμματα 3.53 έως 3.56). Οι κλίσεις αυτές έχουν μονάδες $\text{joule} / \text{m}^2$ και δείχνουν την ενέργεια που δαπανάται για την δημιουργία μιας μονάδας επιφάνειας που είναι γνωστή με τον όρο φαινόμενη επιφανειακή τάση. Όπως είναι φανερό η φαινόμενη επιφανειακή τάση είναι μικρότερη από την πραγματική γιατί όλη η ενέργεια του μύλου δεν καταναλώνεται για την δημιουργία νέας επιφάνειας.

Οι υπολογιζόμενες τιμές της φαινόμενης επιφανειακής τάσης παρουσιάζονται στον πίνακα 3.15 για κάθε κλάσμα και για κάθε διάμετρο ράβδων που χρησιμοποιήθηκε. Επίσης, στον ίδιο πίνακα υπολογίζονται οι τυπικές και σχετικές αποκλίσεις των τιμών σύμφωνα με τους τύπους που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 2.4.5.

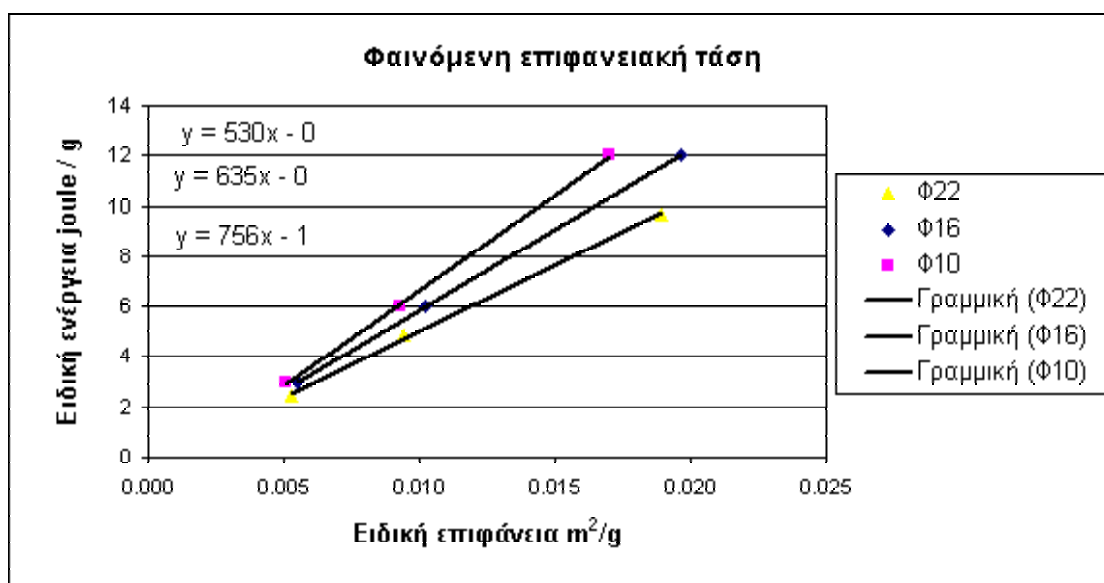
Πίνακας 3.17 : Οι φαινόμενες επιφανειακές τάσεις των κλασμάτων για κάθε διάμετρο ράβδων που χρησιμοποιήθηκε καθώς και οι τυπικές και σχετικές αποκλίσεις των τιμών.

Κλάσμα <i>mm</i>	Μέσο κλάσμα <i>mm</i>	Φαινόμενη επιφανειακή τάση <i>joule / m²</i>			Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Σχετική απόκλιση %
		Φ22	Φ16	Φ10			
-8.0+5.6	6.693	2,237	2,628	11,996	5,620	5,524.95	98.30
-4.75+3.35	3.989	530	635	756	640	113.09	17.66
-1.7+1.18	1.416	561	680	707	649	77.68	11.96
-0.6+0.425	0.505	513	682	693	629	100.90	16.03
Μέσος όρος		960	1,156	3,538			
Τυπική απόκλιση		851.40	981.41	5,638.73			
Σχετική απόκλιση%		88.66	84.88	159.38			

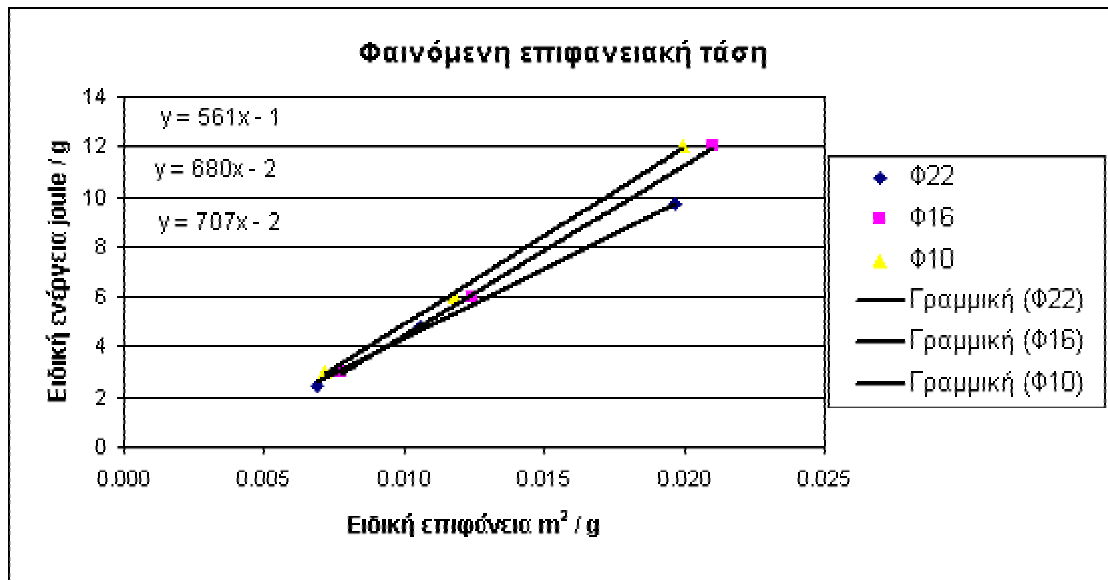
Διάγραμμα 3.53 : Οι καμπύλες της ειδικής ενέργειας συναρτήσει της ειδικής επιφάνειας για το κλάσμα $-8.0+5.6$ mm με ράβδους 22, 16 και 10 mm.



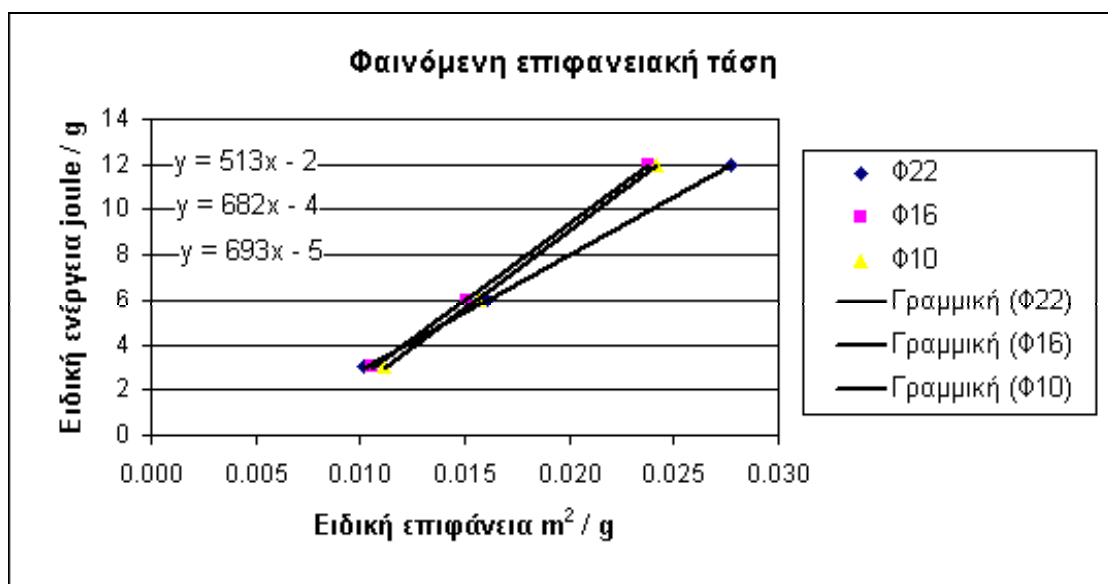
Διάγραμμα 3.54 : Οι καμπύλες της ειδικής ενέργειας συναρτήσει της ειδικής επιφάνειας για το κλάσμα $-4.75+.3.35$ mm με ράβδους 22, 16 και 10 mm.



Διάγραμμα 3.55: Οι καμπύλες της ειδικής ενέργειας συναρτήσει της ειδικής επιφάνειας για το κλάσμα $-1.7+1.18 \text{ mm}$ με ράβδους 22, 16 και 10 mm.



Διάγραμμα 3.56 : Οι καμπύλες της ειδικής ενέργειας συναρτήσει της ειδικής επιφάνειας για το κλάσμα $-0.6+0.425 \text{ mm}$ με ράβδους 22, 16 και 10 mm.



Ε.2.1) Επίδραση της διαμέτρου των ράβδων

Αν παραστήσουμε γραφικά τις μέσες τιμές της φαινόμενης επιφανειακής τάσης για κάθε διάμετρο ράβδων σε συνάρτηση με την διάμετρο των ράβδων, τότε παρατηρούμε ότι όσο μεγαλύτερη διάμετρο ράβδων χρησιμοποιούμε στην λειοτρίβηση τόσο μικρότερη είναι η ενέργεια που δαπανάται για την δημιουργία μιας μονάδας επιφάνειας (διάγραμμα 3.57).

Διάγραμμα 3.57 : Επίδραση της διαμέτρου των ράβδων στην φαινόμενη επιφανειακή τάση.



Ε.2.2) Επίδραση του μεγέθους υλικού τροφοδοσίας

Επίσης, η γραφική παράσταση των μέσων τιμών φαινόμενων επιφανειακών τάσεων κάθε κλάσματος σε συνάρτηση με το μέσο μέγεθος υλικού τροφοδοσίας παρουσιάζεται στο διάγραμμα 3.58. Από το διάγραμμα αυτό παρατηρούμε ότι η τιμή της φαινόμενης επιφανειακής τάσης παραμένει σχεδόν σταθερή όταν χρησιμοποιούμε σαν υλικό τροφοδοσίας τα κλάσματα $-0.6+0.425$, $-1.7+1.18$ και $-4.75+3.35$ mm ενώ αυξάνεται σημαντικά όταν χρησιμοποιούμε σαν υλικό τροφοδοσίας το κλάσμα $-8.0+5.6$ mm.

Διάγραμμα 3.58 : Επίδραση του μεγέθους υλικού τροφοδοσίας στην φαινόμενη επιφανειακή τάση.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ

Παράρτημα Α.....	1
Παράρτημα Β.....	37

A.1 Πρωτογενής θραύση σιαγονωτού σπαστήρα

Τα αποτελέσματα της κοσκίνησης των προϊόντων θραύσης του σιαγονωτού σπαστήρα (θέση σπαστήρα 5) παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα 1 και για τα δύο υλικά μαζί :

Πίνακας 1 : Κοσκίνηση προϊόντων σπαστήρα (θέση 5)

Μέγεθος	Μάρμαρο	Χαλαζίας
mm		
26.50	117.5	0.0
19.00	606.6	604.0
13.20	2,488.0	3,613.8
11.20	1,381.0	1,779.1
6.70	1,864.8	2,715.0
4.75	532.1	281.4
3.35	428.3	172.1
2.36	339.9	108.5
1.70	306.0	64.7
1.18	397.2	54.2
0.85	288.9	29.2
0.60	309.4	28.3
0.425	381.9	21.1
0.300	432.4	17.4
-0.300	281.3	70.5
Σύνολο	10,155.3	9,559.3

A.2 Αναφορές B.E.T.

A.2.1 Αποτελέσματα B.E.T. για μάρμαρο 0 min

Quantachrome Corporation
NOVA Enhanced Data Reduction Software Ver. 2.11
File Name = ma0min.dat

Instrument	= NOVA-2200 Ver. 1.20	Station	= A
User ID	= 2	User Setup	= 3
Comments	=		
Sample ID	= 6	Sample Cell Number	= 3
Sample Weight	= 0.2167 g	Sample Volume	= 0.0818 cc
Sample Density	= 2.6500 g/cc		
Po Type	= Calculate	Po	= 754.35 mm Hg
Adsorbate	= Nitrogen	Bath Temperature	= 77.40 deg K
Adsorption Tolerance	= 0.1000 mm Hg	Desorption Tolerance	= 0.0000 mm Hg
Adsorption Equil Time	= 90 sec	Desorption Equil Time	= 0 sec
Adsorption Dwell Time	= 240 sec	Desorption Dwell Time	= 0 sec
Analysis Start Time	= Sun Jan 06 19:06:41 1980	Elapsed Time	= 19.37 Minutes.

Multi Point BET (Adsorption)

P/Po	BET Transform [1/{W[Po/P - 1]}]
0.050640	92.579621
0.123915	248.924883
0.199351	444.684149
0.296755	763.142345

Slope	=	2730.978939
Intercept	=	-70.556946
Correlation Coefficient	=	0.995263
BET C	=	-37.706025

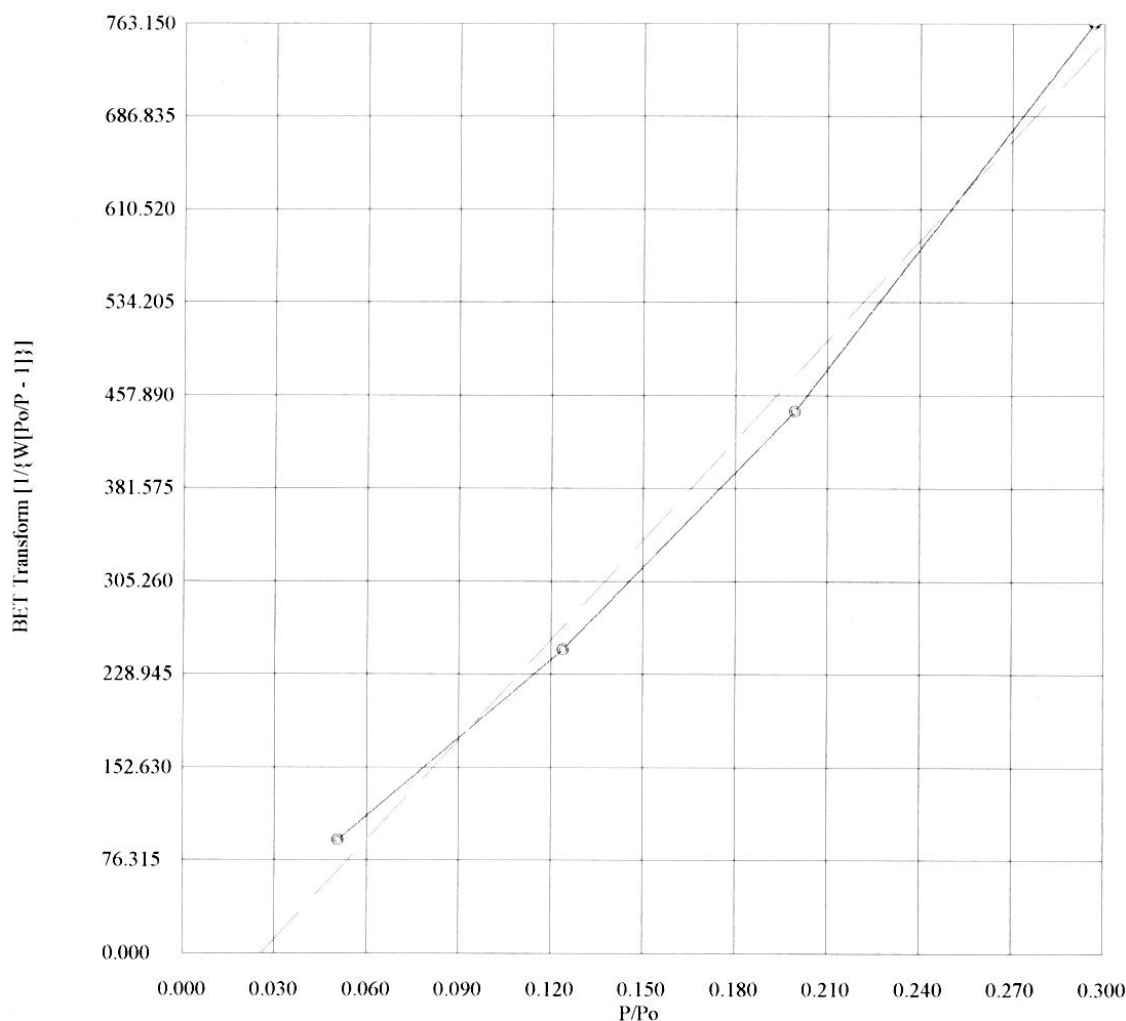
Total Surface Area in Cell	=	0.283662 m ²
Specific Surface Area	=	1.309009 m ² /g

A.2.2 Η πειραματική μορφή της εξίσωσης B.E.T. για μάρμαρο 0 min

Quantachrome Corporation
NOVA Enhanced Data Reduction Software Ver. 2.11
File Name = ma0min.dat

Instrument	= NOVA-2200 Ver. 1.20	Station	= A
User ID	= 2	User Setup	= 3
Comments	=		
Sample ID	= 6	Sample Cell Number	= 3
Sample Weight	= 0.2167 g	Sample Volume	= 0.0818 cc
Sample Density	= 2.6500 g/cc		
Po Type	= Calculate	Po	= 754.35 mm Hg
Adsorbate	= Nitrogen	Bath Temperature	= 77.40 deg K
Adsorption Tolerance	= 0.1000 mm Hg	Desorption Tolerance	= 0.0000 mm Hg
Adsorption Equil Time	= 90 sec	Desorption Equil Time	= 0 sec
Adsorption Dwell Time	= 240 sec	Desorption Dwell Time	= 0 sec
Analysis Start Time	= Sun Jan 06 19:06:41 1980	Elapsed Time	= 19.37 Minutes.

Multi Point BET (Adsorption)



A.2.3 Αποτελέσματα Β.Ε.Τ. για μάρμαρο 2.5 min

Quantachrome Corporation
NOVA Enhanced Data Reduction Software Ver. 2.11
File Name = mar2_5.dat

Instrument	= NOVA-2200 Ver. 1.20	Station	= A
User ID	= 3	User Setup	= 3
Comments	=		
Sample ID	= 1	Sample Cell Number	= 3
Sample Weight	= 0.1847 g	Sample Volume	= 0.0684 cc
Sample Density	= 2.7000 g/cc		
Po Type	= Calculate	Po	= 754.69 mm Hg
Adsorbate	= Nitrogen	Bath Temperature	= 77.40 deg K
Adsorption Tolerance	= 0.1000 mm Hg	Desorption Tolerance	= 0.0000 mm Hg
Adsorption Equil Time	= 90 sec	Desorption Equil Time	= 0 sec
Adsorption Dwell Time	= 240 sec	Desorption Dwell Time	= 0 sec
Analysis Start Time	= Fri Jan 04 10:30:35 1980	Elapsed Time	= 18.28 Minutes.

Multi Point BET (Adsorption)

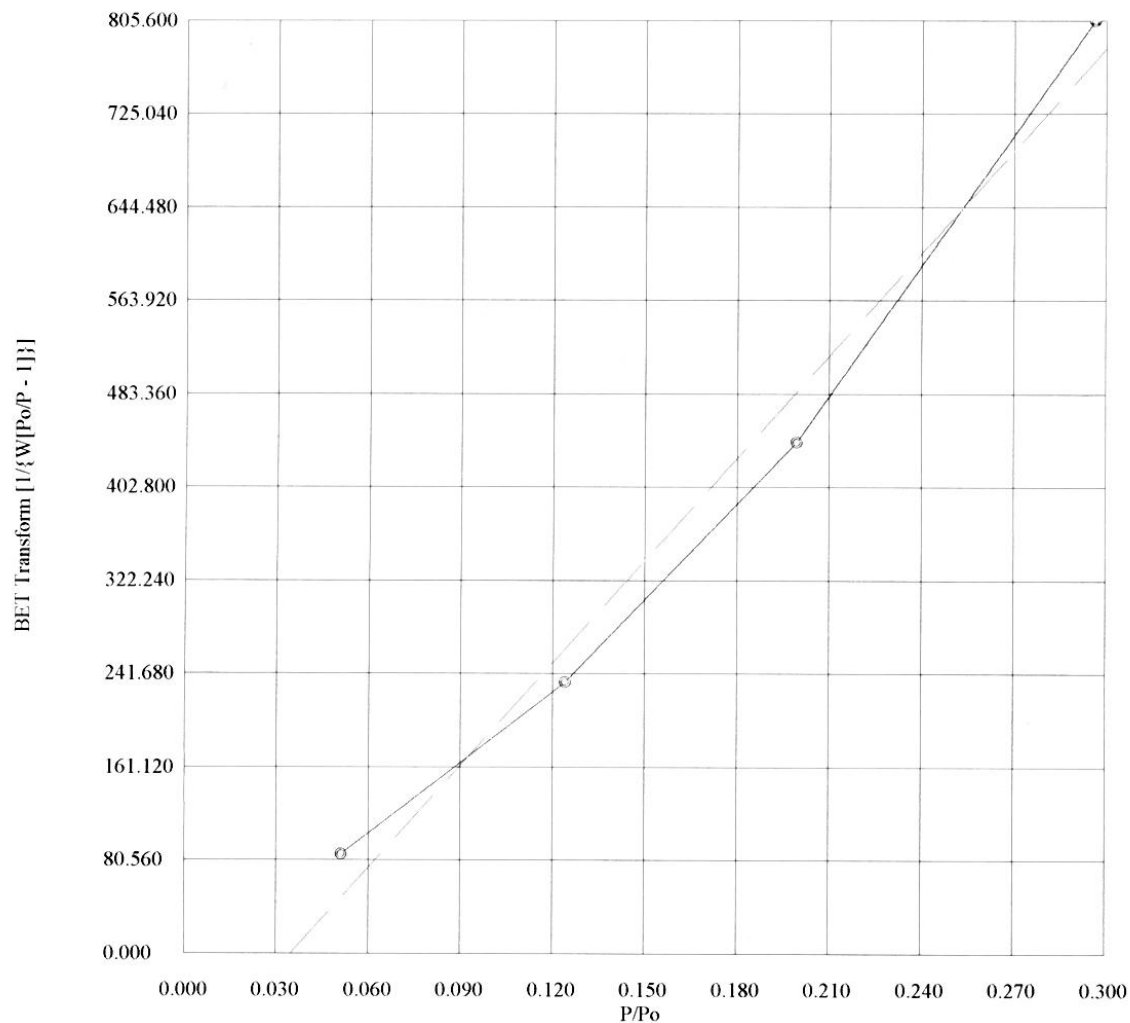
P/Po	BET Transform [1/{W[Po/P - 1]}]
0.051214	85.289495
0.124043	234.146233
0.199360	441.416283
0.296449	805.560265
Slope	= 2947.603034
Intercept	= -102.905855
Correlation Coefficient	= 0.990932
BET C	= -27.643686
Total Surface Area in Cell	= 0.226112 m ²
Specific Surface Area	= 1.224214 m ² /g

A.2.4 Η πειραματική μορφή της εξίσωσης B.E.T. για μάρμαρο 2.5 min

Quantachrome Corporation
NOVA Enhanced Data Reduction Software Ver. 2.11
File Name = mar2_5.dat

Instrument	= NOVA-2200 Ver. 1.20	Station	= A
User ID	= 3	User Setup	= 3
Comments	=		
Sample ID	= 1	Sample Cell Number	= 3
Sample Weight	= 0.1847 g	Sample Volume	= 0.0684 cc
Sample Density	= 2.7000 g/cc		
Po Type	= Calculate	Po	= 754.69 mm Hg
Adsorbate	= Nitrogen	Bath Temperature	= 77.40 deg K
Adsorption Tolerance	= 0.1000 mm Hg	Desorption Tolerance	= 0.0000 mm Hg
Adsorption Equil Time	= 90 sec	Desorption Equil Time	= 0 sec
Adsorption Dwell Time	= 240 sec	Desorption Dwell Time	= 0 sec
Analysis Start Time	= Fri Jan 04 10:30:35 1980	Elapsed Time	= 18.28 Minutes.

Multi Point BET (Adsorption)



A.2.5 Αποτελέσματα B.E.T. για μάρμαρο 5 min

Quantachrome Corporation
NOVA Enhanced Data Reduction Software Ver. 2.11
File Name = ma5.dat

Instrument	= NOVA-2200 Ver. 1.20	Station	= B
User ID	= 3	User Setup	= 3
Comments	=		
Sample ID	= 2	Sample Cell Number	= 1
Sample Weight	= 0.2560 g	Sample Volume	= 0.0948 cc
Sample Density	= 2.7000 g/cc		
Po Type	= Calculate	Po	= 754.60 mm Hg
Adsorbate	= Nitrogen	Bath Temperature	= 77.40 deg K
Adsorption Tolerance	= 0.1000 mm Hg	Desorption Tolerance	= 0.0000 mm Hg
Adsorption Equil Time	= 90 sec	Desorption Equil Time	= 0 sec
Adsorption Dwell Time	= 240 sec	Desorption Dwell Time	= 0 sec
Analysis Start Time	= Fri Jan 04 14:54:22 1980	Elapsed Time	= 18.48 Minutes.

Multi Point BET (Adsorption)

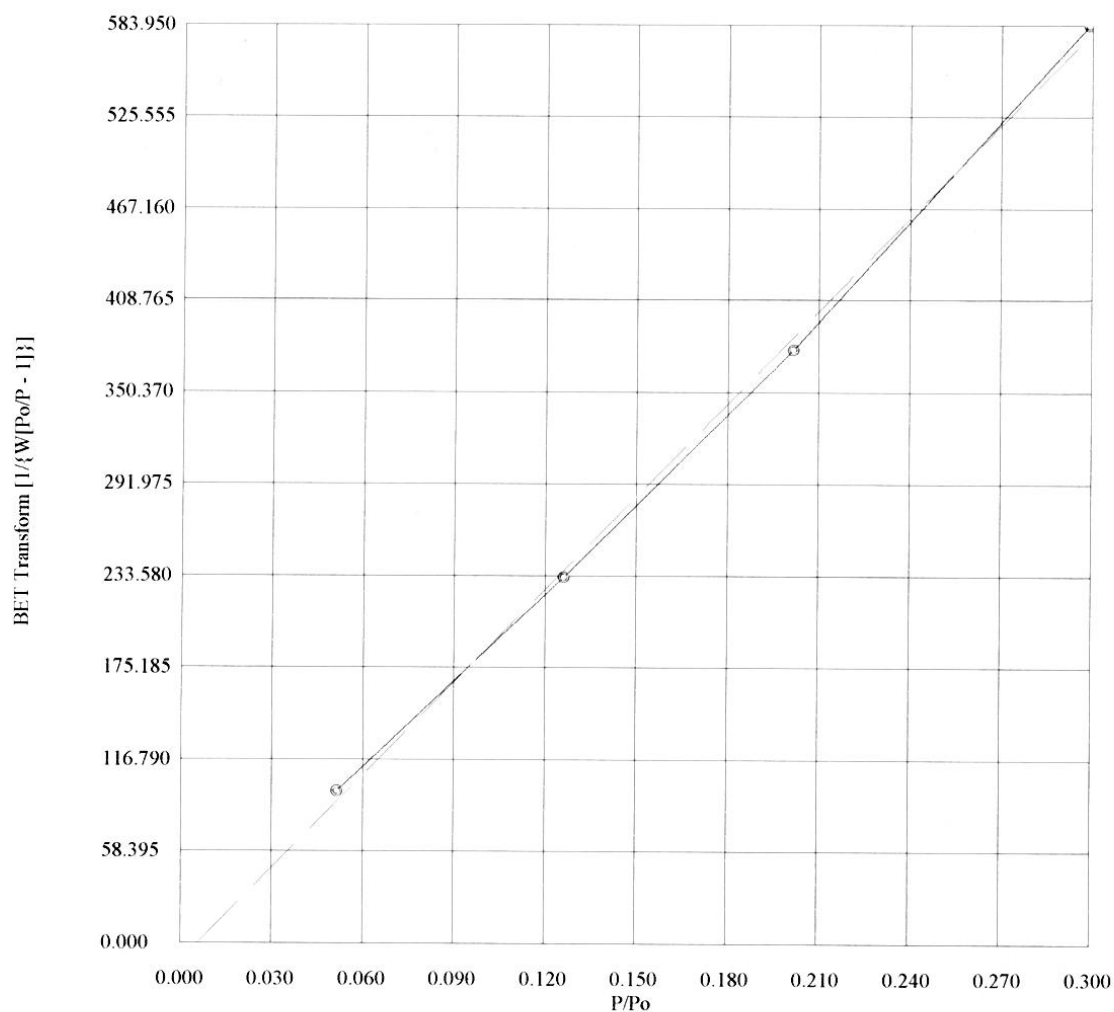
P/Po	BET Transform [1/{W[Po/P - 1]}]
0.051433	96.280411
0.126112	232.566011
0.201659	377.223269
0.299115	583.916648
Slope	= 1968.545685
Intercept	= -11.329311
Correlation Coefficient	= 0.999342
BET C	= -172.756876
Total Surface Area in Cell	= 0.455506 m ²
Specific Surface Area	= 1.779321 m ² /g

A.2.6 Η πειραματική μορφή της εξίσωσης B.E.T. για μάρμαρο 5 min

Quantachrome Corporation
NOVA Enhanced Data Reduction Software Ver. 2.11
File Name = ma5.dat

Instrument	= NOVA-2200 Ver. 1.20	Station	= B
User ID	= 3	User Setup	= 3
Comments	=		
Sample ID	= 2	Sample Cell Number	= 1
Sample Weight	= 0.2560 g	Sample Volume	= 0.0948 cc
Sample Density	= 2.7000 g/cc		
Po Type	= Calculate	Po	= 754.60 mm Hg
Adsorbate	= Nitrogen	Bath Temperature	= 77.40 deg K
Adsorption Tolerance	= 0.1000 mm Hg	Desorption Tolerance	= 0.0000 mm Hg
Adsorption Equil Time	= 90 sec	Desorption Equil Time	= 0 sec
Adsorption Dwell Time	= 240 sec	Desorption Dwell Time	= 0 sec
Analysis Start Time	= Fri Jan 04 14:54:22 1980	Elapsed Time	= 18.48 Minutes.

Multi Point BET (Adsorption)



A.2.7 Αποτελέσματα Β.Ε.Τ. για μάρμαρο 10 min

Quantachrome Corporation
NOVA Enhanced Data Reduction Software Ver. 2.11
File Name = m10.dat

Instrument	= NOVA-2200 Ver. 1.20	Station	= B
User ID	= 3	User Setup	= 3
Comments	=		
Sample ID	= 6	Sample Cell Number	= 1
Sample Weight	= 0.2359 g	Sample Volume	= 0.0874 cc
Sample Density	= 2.7000 g/cc		
Po Type	= Calculate	Po	= 755.50 mm Hg
Adsorbate	= Nitrogen	Bath Temperature	= 77.40 deg K
Adsorption Tolerance	= 0.1000 mm Hg	Desorption Tolerance	= 0.0000 mm Hg
Adsorption Equil Time	= 90 sec	Desorption Equil Time	= 0 sec
Adsorption Dwell Time	= 240 sec	Desorption Dwell Time	= 0 sec
Analysis Start Time	= Sun Jan 06 10:57:41 1980	Elapsed Time	= 17.87 Minutes.

Multi Point BET (Adsorption)

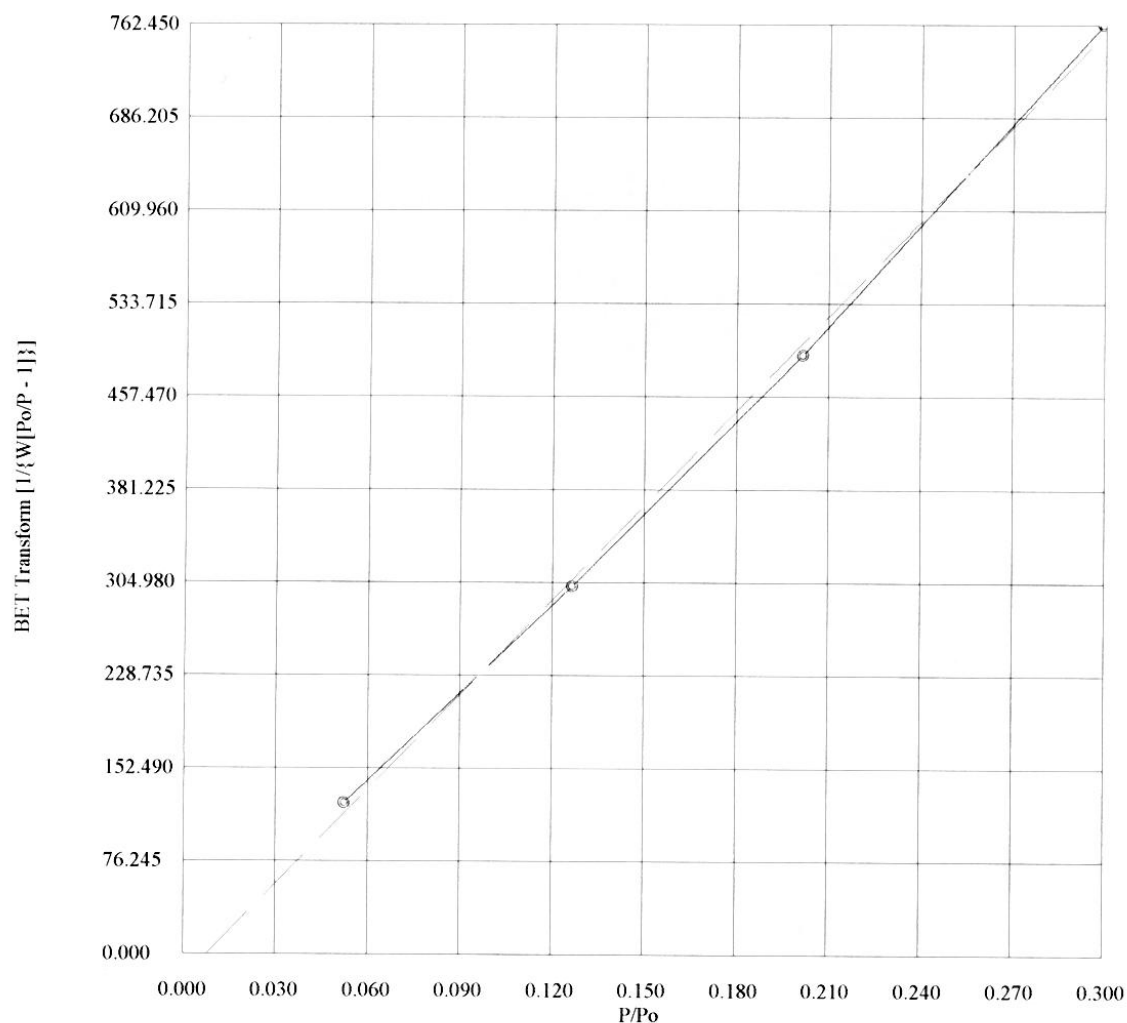
P/Po	BET Transform [1/{W[Po/P - 1]}]
0.052408	123.508386
0.126523	301.520442
0.201518	491.357741
0.299312	762.404212
Slope	= 2588.517758
Intercept	= -20.196016
Correlation Coefficient	= 0.999418
BET C	= -127.169720
Total Surface Area in Cell	= 0.319869 m ²
Specific Surface Area	= 1.355950 m ² /g

A.2.8 Η πειραματική μορφή της εξίσωσης B.E.T. για μάρμαρο 10 min

Quantachrome Corporation
NOVA Enhanced Data Reduction Software Ver. 2.11
File Name = m10.dat

Instrument	= NOVA-2200 Ver. 1.20	Station	= B
User ID	= 3	User Setup	= 3
Comments	=		
Sample ID	= 6	Sample Cell Number	= 1
Sample Weight	= 0.2359 g	Sample Volume	= 0.0874 cc
Sample Density	= 2.7000 g/cc		
Po Type	= Calculate	Po	= 755.50 mm Hg
Adsorbate	= Nitrogen	Bath Temperature	= 77.40 deg K
Adsorption Tolerance	= 0.1000 mm Hg	Desorption Tolerance	= 0.0000 mm Hg
Adsorption Equil Time	= 90 sec	Desorption Equil Time	= 0 sec
Adsorption Dwell Time	= 240 sec	Desorption Dwell Time	= 0 sec
Analysis Start Time	= Sun Jan 06 10:57:41 1980	Elapsed Time	= 17.87 Minutes.

Multi Point BET (Adsorption)



A.2.9 Αποτελέσματα B.E.T. για μάρμαρο 20 min

Quantachrome Corporation
NOVA Enhanced Data Reduction Software Ver. 2.11
File Name = marble20.dat

Instrument	= NOVA-2200 Ver. 1.20	Station	= B
User ID	= 3	User Setup	= 3
Comments	=		
Sample ID	= 6	Sample Cell Number	= 1
Sample Weight	= 0.3485 g	Sample Volume	= 0.1291 cc
Sample Density	= 2.7000 g/cc		
Po Type	= Calculate	Po	= 754.54 mm Hg
Adsorbate	= Nitrogen	Bath Temperature	= 77.40 deg K
Adsorption Tolerance	= 0.1000 mm Hg	Desorption Tolerance	= 0.0000 mm Hg
Adsorption Equil Time	= 90 sec	Desorption Equil Time	= 0 sec
Adsorption Dwell Time	= 240 sec	Desorption Dwell Time	= 0 sec
Analysis Start Time	= Mon Jan 07 11:40:14 1980	Elapsed Time	= 18.20 Minutes.

Multi Point BET (Adsorption)

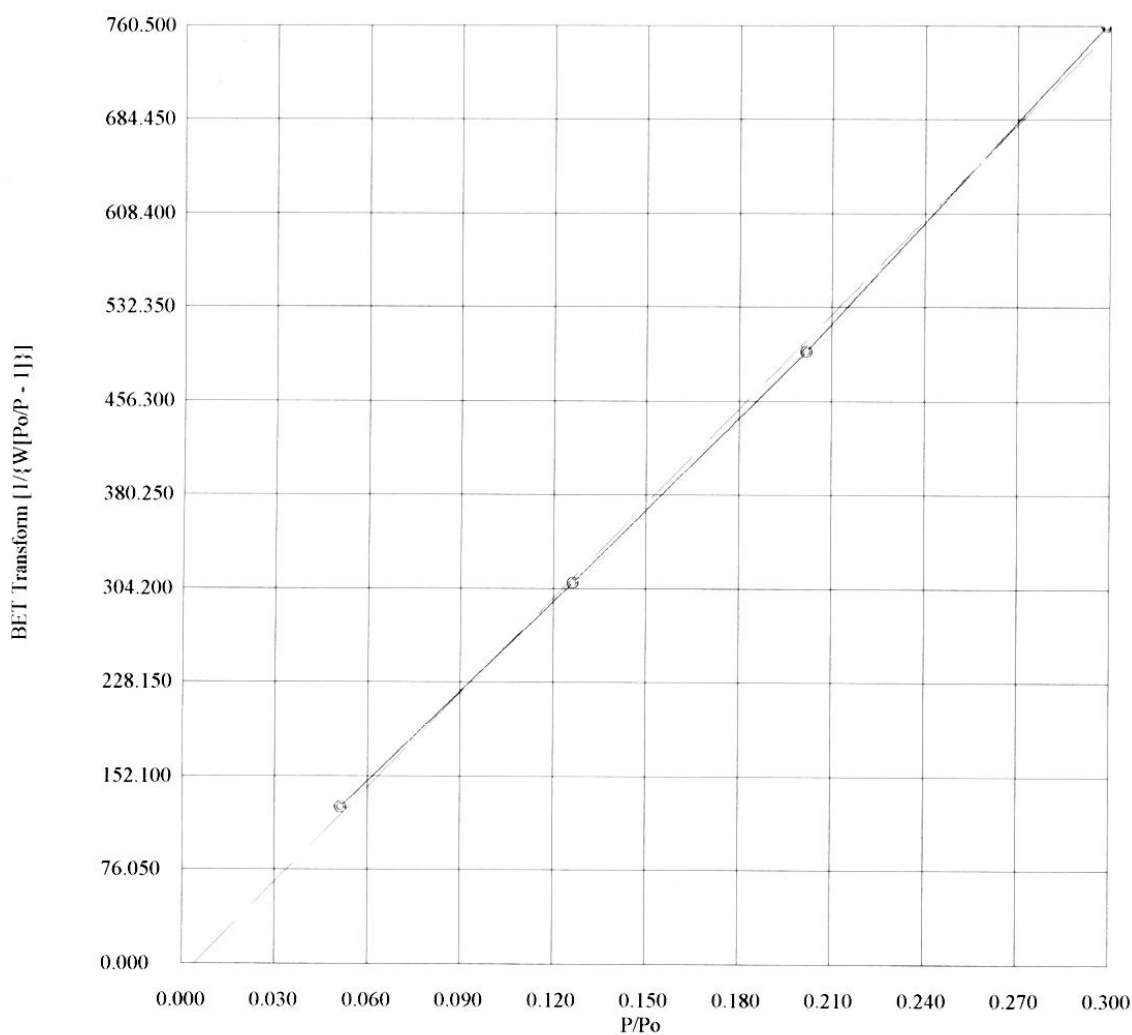
P/Po	BET Transform [1/{W[Po/P - 1]}]
0.051394	126.951770
0.126313	308.436638
0.201695	496.405766
0.298810	760.459836
Slope	= 2559.093136
Intercept	= -10.838207
Correlation Coefficient	= 0.999595
BET C	= -235.117752
Total Surface Area in Cell	= 0.476270 m ²
Specific Surface Area	= 1.366628 m ² /g

A.2.10 Η πειραματική μορφή της εξίσωσης B.E.T. για μάρμαρο 20 min

Quantachrome Corporation
NOVA Enhanced Data Reduction Software Ver. 2.11
File Name = marble20.dat

Instrument	= NOVA-2200 Ver. 1.20	Station	= B
User ID	= 3	User Setup	= 3
Comments	=		
Sample ID	= 6	Sample Cell Number	= 1
Sample Weight	= 0.3485 g	Sample Volume	= 0.1291 cc
Sample Density	= 2.7000 g/cc		
Po Type	= Calculate	Po	= 754.54 mm Hg
Adsorbate	= Nitrogen	Bath Temperature	= 77.40 deg K
Adsorption Tolerance	= 0.1000 mm Hg	Desorption Tolerance	= 0.0000 mm Hg
Adsorption Equil Time	= 90 sec	Desorption Equil Time	= 0 sec
Adsorption Dwell Time	= 240 sec	Desorption Dwell Time	= 0 sec
Analysis Start Time	= Mon Jan 07 11:40:14 1980	Elapsed Time	= 18.20 Minutes.

Multi Point BET (Adsorption)



A.2.11 Αποτελέσματα B.E.T. για μάρμαρο 40 min

Quantachrome Corporation
NOVA Enhanced Data Reduction Software Ver. 2.11
File Name = marble40.dat

Instrument	= NOVA-2200 Ver. 1.20	Station	= B
User ID	= 3	User Setup	= 3
Comments	=		
Sample ID	= 6	Sample Cell Number	= 1
Sample Weight	= 0.2884 g	Sample Volume	= 0.1068 cc
Sample Density	= 2.7000 g/cc		
Po Type	= Calculate	Po	= 754.46 mm Hg
Adsorbate	= Nitrogen	Bath Temperature	= 77.40 deg K
Adsorption Tolerance	= 0.1000 mm Hg	Desorption Tolerance	= 0.0000 mm Hg
Adsorption Equil Time	= 90 sec	Desorption Equil Time	= 0 sec
Adsorption Dwell Time	= 240 sec	Desorption Dwell Time	= 0 sec
Analysis Start Time	= Sat Jan 05 10:43:11 1980	Elapsed Time	= 18.10 Minutes.

Multi Point BET (Adsorption)

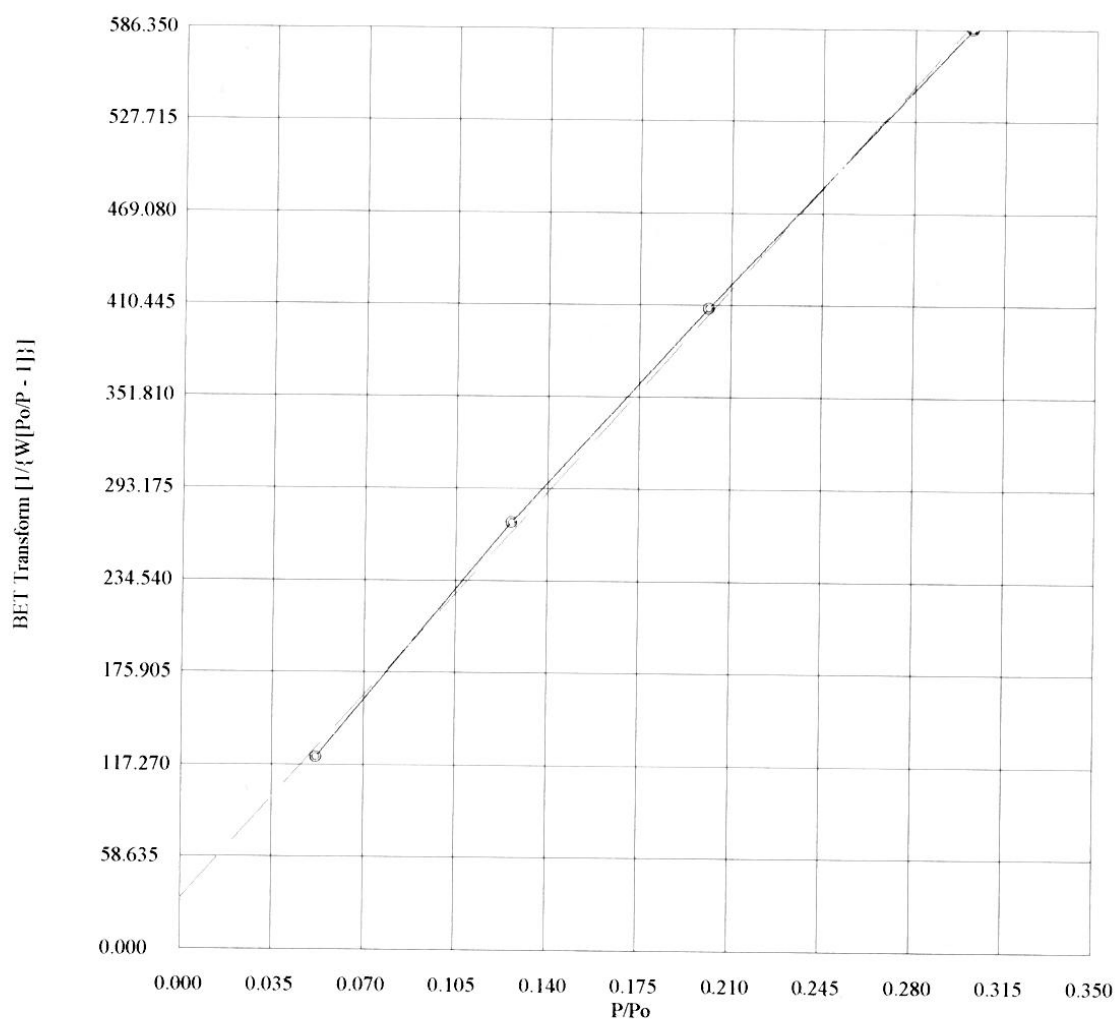
P/Po	BET Transform [1/{W[Po/P - 1]}]
0.051776	121.899086
0.126220	271.444696
0.201389	408.146332
0.302155	586.319819
Slope	= 1848.021307
Intercept	= 32.077174
Correlation Coefficient	= 0.999557
BET C	= 58.611724
Total Surface Area in Cell	= 0.534205 m ²
Specific Surface Area	= 1.852306 m ² /g

A.2.12 Η πειραματική μορφή της εξίσωσης B.E.T. για μάρμαρο 40 min

Quantachrome Corporation
NOVA Enhanced Data Reduction Software Ver. 2.11
File Name = marble40.dat

Instrument	= NOVA-2200 Ver. 1.20	Station	= B
User ID	= 3	User Setup	= 3
Comments	=		
Sample ID	= 6	Sample Cell Number	= 1
Sample Weight	= 0.2884 g	Sample Volume	= 0.1068 cc
Sample Density	= 2.7000 g/cc		
Po Type	= Calculate	Po	= 754.46 mm Hg
Adsorbate	= Nitrogen	Bath Temperature	= 77.40 deg K
Adsorption Tolerance	= 0.1000 mm Hg	Desorption Tolerance	= 0.0000 mm Hg
Adsorption Equil Time	= 90 sec	Desorption Equil Time	= 0 sec
Adsorption Dwell Time	= 240 sec	Desorption Dwell Time	= 0 sec
Analysis Start Time	= Sat Jan 05 10:43:11 1980	Elapsed Time	= 18.10 Minutes.

Multi Point BET (Adsorption)



A.2.13 Αποτελέσματα B.E.T. για χαλαζία 0 min

Quantachrome Corporation
NOVA Enhanced Data Reduction Software Ver. 2.11
File Name = qua0.dat

Instrument	= NOVA-2200 Ver. 1.20	Station	= A
User ID	= 3	User Setup	= 3
Comments	=		
Sample ID	= 6	Sample Cell Number	= 3
Sample Weight	= 0.1567 g	Sample Volume	= 0.0591 cc
Sample Density	= 2.6500 g/cc		
Po Type	= Calculate	Po	= 759.35 mm Hg
Adsorbate	= Nitrogen	Bath Temperature	= 77.40 deg K
Adsorption Tolerance	= 0.1000 mm Hg	Desorption Tolerance	= 0.0000 mm Hg
Adsorption Equil Time	= 90 sec	Desorption Equil Time	= 0 sec
Adsorption Dwell Time	= 240 sec	Desorption Dwell Time	= 0 sec
Analysis Start Time	= Fri Jan 04 12:34:11 1980	Elapsed Time	= 19.43 Minutes.

Multi Point BET (Adsorption)

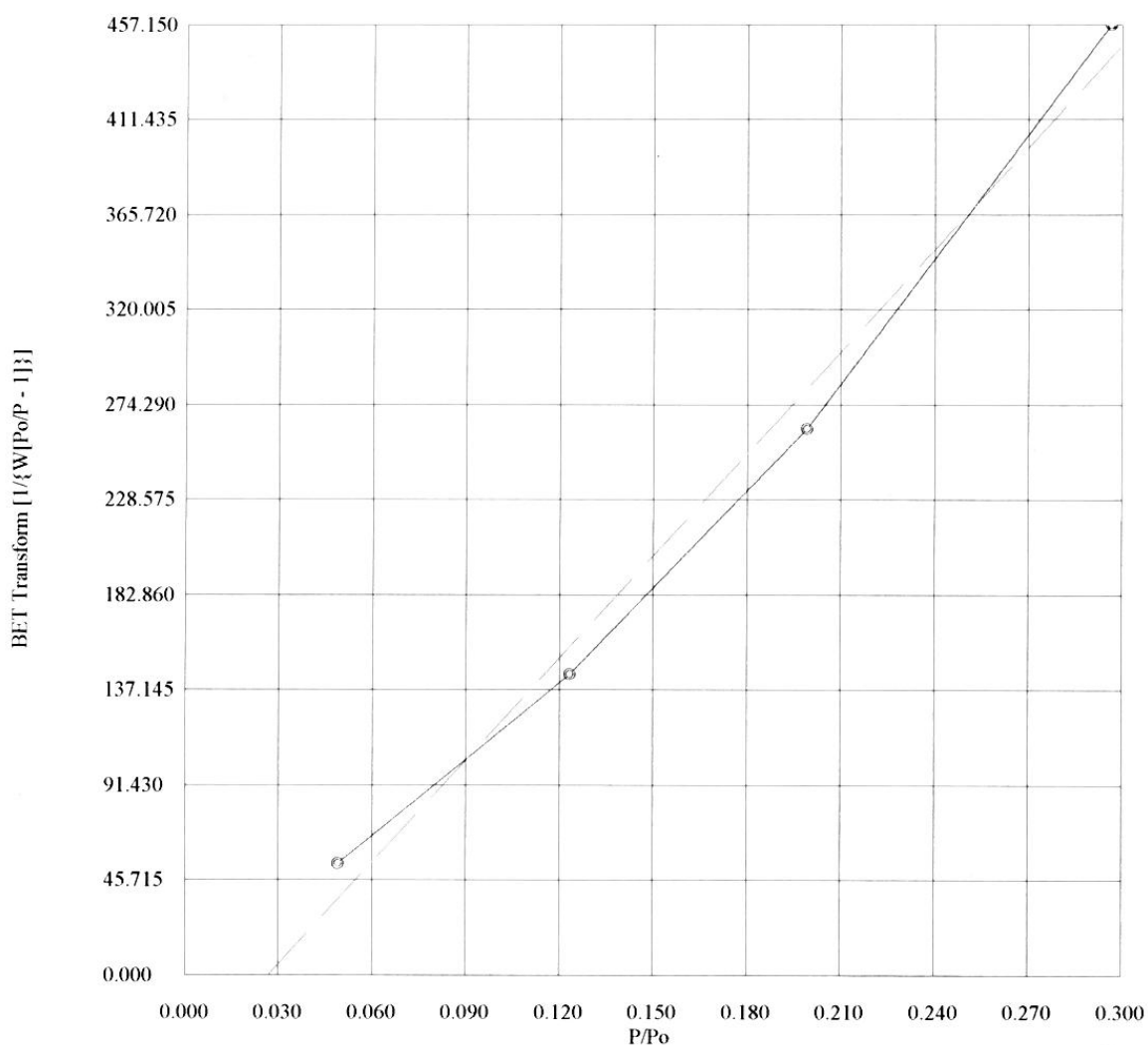
P/Po	BET Transform [1/{W[Po/P - 1]}]
0.049239	53.566755
0.123253	144.574871
0.199062	262.474939
0.296494	457.138712
=====	
Slope	= 1637.029836
Intercept	= -43.964904
Correlation Coefficient	= 0.994017
BET C	= -36.234923
Total Surface Area in Cell	= 0.342554 m ²
Specific Surface Area	= 2.186048 m ² /g

A.2.14 Η πειραματική μορφή της εξίσωσης B.E.T. για χαλαζία 0 min

Quantachrome Corporation
NOVA Enhanced Data Reduction Software Ver. 2.11
File Name = qua0.dat

Instrument	= NOVA-2200 Ver. 1.20	Station	= A
User ID	= 3	User Setup	= 3
Comments	=		
Sample ID	= 6	Sample Cell Number	= 3
Sample Weight	= 0.1567 g	Sample Volume	= 0.0591 cc
Sample Density	= 2.6500 g/cc		
Po Type	= Calculate	Po	= 759.35 mm Hg
Adsorbate	= Nitrogen	Bath Temperature	= 77.40 deg K
Adsorption Tolerance	= 0.1000 mm Hg	Desorption Tolerance	= 0.0000 mm Hg
Adsorption Equil Time	= 90 sec	Desorption Equil Time	= 0 sec
Adsorption Dwell Time	= 240 sec	Desorption Dwell Time	= 0 sec
Analysis Start Time	= Fri Jan 04 12:34:11 1980	Elapsed Time	= 19.43 Minutes.

Multi Point BET (Adsorption)



A.2.15 Αποτελέσματα B.E.T. για χαλαζία 2.5 min

Quantachrome Corporation
NOVA Enhanced Data Reduction Software Ver. 2.11
File Name = qua2_5.dat

Instrument	= NOVA-2200 Ver. 1.20	Station	= B
User ID	= 3	User Setup	= 3
Comments	=		
Sample ID	= 6	Sample Cell Number	= 1
Sample Weight	= 0.1903 g	Sample Volume	= 0.0718 cc
Sample Density	= 2.6500 g/cc		
Po Type	= Calculate	Po	= 754.68 mm Hg
Adsorbate	= Nitrogen	Bath Temperature	= 77.40 deg K
Adsorption Tolerance	= 0.1000 mm Hg	Desorption Tolerance	= 0.0000 mm Hg
Adsorption Equil Time	= 90 sec	Desorption Equil Time	= 0 sec
Adsorption Dwell Time	= 240 sec	Desorption Dwell Time	= 0 sec
Analysis Start Time	= Sat Jan 05 12:49:49 1980	Elapsed Time	= 17.68 Minutes.

Multi Point BET (Adsorption)

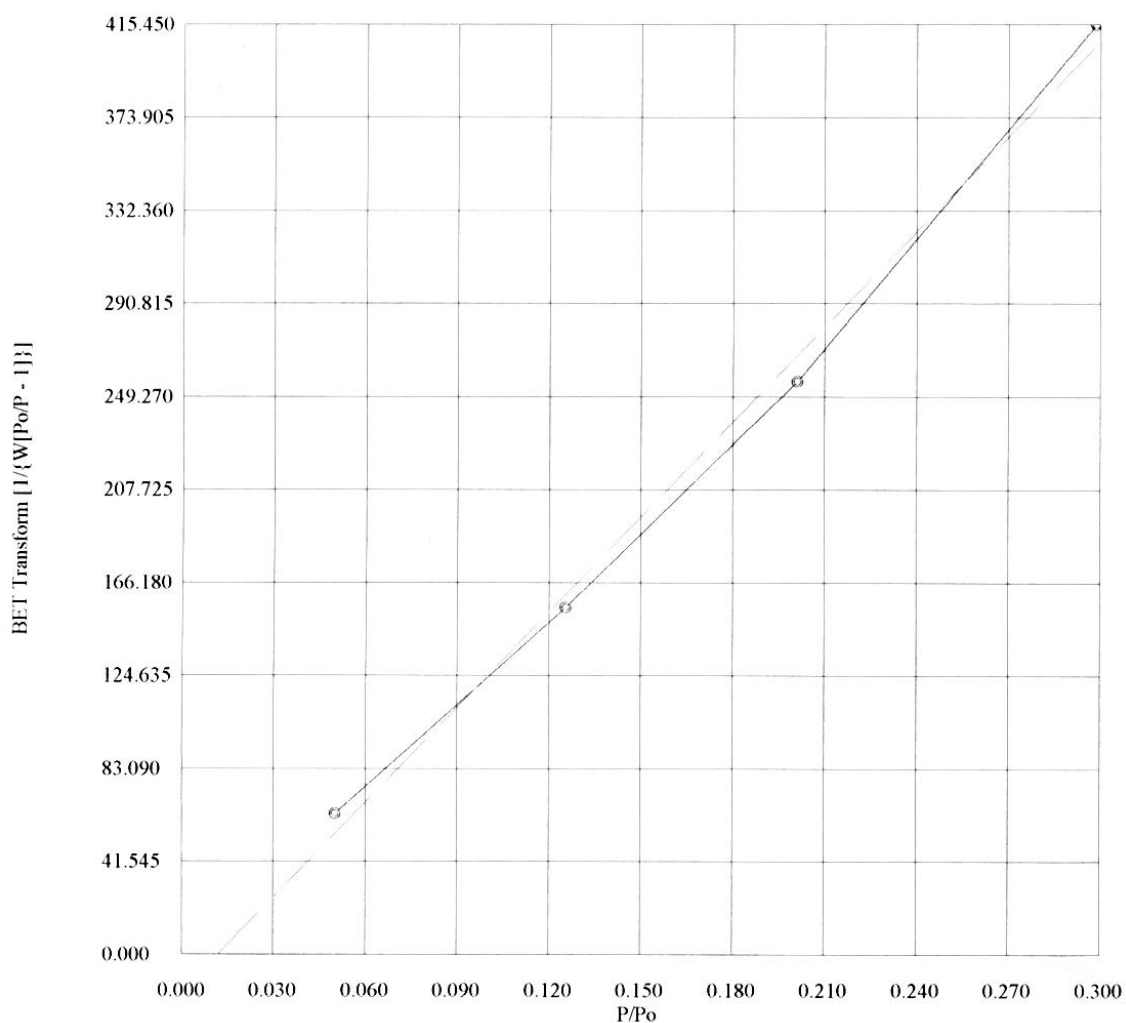
P/Po	BET Transform [1/{W(Po/P - 1)}]
0.050098	62.765713
0.125459	154.766384
0.201168	256.098327
0.298785	415.422920
Slope	= 1417.216572
Intercept	= -17.072970
Correlation Coefficient	= 0.997529
BET C	= -82.009376
Total Surface Area in Cell	= 0.473325 m ²
Specific Surface Area	= 2.487257 m ² /g

A.2.16 Η πειραματική μορφή της εξίσωσης B.E.T. για χαλαζία 2.5 min

Quantachrome Corporation
NOVA Enhanced Data Reduction Software Ver. 2.11
File Name = qua2_5.dat

Instrument	= NOVA-2200 Ver. 1.20	Station	= B
User ID	= 3	User Setup	= 3
Comments	=		
Sample ID	= 6	Sample Cell Number	= 1
Sample Weight	= 0.1903 g	Sample Volume	= 0.0718 cc
Sample Density	= 2.6500 g/cc		
Po Type	= Calculate	Po	= 754.68 mm Hg
Adsorbate	= Nitrogen	Bath Temperature	= 77.40 deg K
Adsorption Tolerance	= 0.1000 mm Hg	Desorption Tolerance	= 0.0000 mm Hg
Adsorption Equil Time	= 90 sec	Desorption Equil Time	= 0 sec
Adsorption Dwell Time	= 240 sec	Desorption Dwell Time	= 0 sec
Analysis Start Time	= Sat Jan 05 12:49:49 1980	Elapsed Time	= 17.68 Minutes.

Multi Point BET (Adsorption)



A.2.17 Αποτελέσματα B.E.T. για χαλαζία 5 min

Quantachrome Corporation
NOVA Enhanced Data Reduction Software Ver. 2.11
File Name = quar5.dat

Instrument	= NOVA-2200 Ver. 1.20	Station	= B
User ID	= 3	User Setup	= 3
Comments	=		
Sample ID	= 6	Sample Cell Number	= 1
Sample Weight	= 0.1735 g	Sample Volume	= 0.0655 cc
Sample Density	= 2.6500 g/cc		
Po Type	= Calculate	Po	= 752.51 mm Hg
Adsorbate	= Nitrogen	Bath Temperature	= 77.40 deg K
Adsorption Tolerance	= 0.1000 mm Hg	Desorption Tolerance	= 0.0000 mm Hg
Adsorption Equil Time	= 90 sec	Desorption Equil Time	= 0 sec
Adsorption Dwell Time	= 240 sec	Desorption Dwell Time	= 0 sec
Analysis Start Time	= Fri Jan 04 14:40:36 1980	Elapsed Time	= 17.97 Minutes.

Multi Point BET (Adsorption)

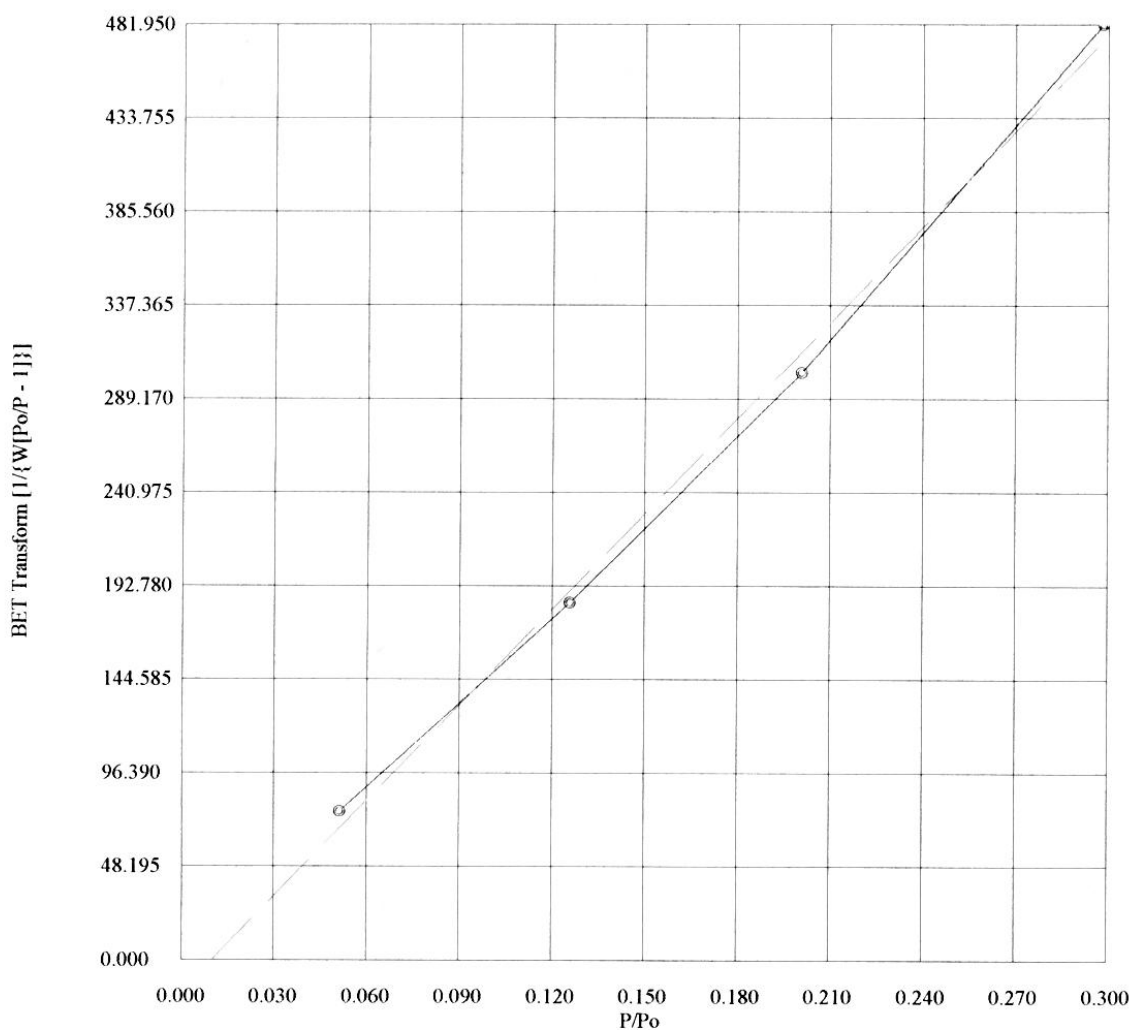
P/Po	BET Transform [1/{W[Po/P - 1]}]
0.051312	76.365176
0.125729	184.002294
0.200758	302.600067
0.298336	481.906316
Slope	= 1642.399191
Intercept	= -16.402529
Correlation Coefficient	= 0.998378
BET C	= -99.130852
Total Surface Area in Cell	= 0.371598 m ²
Specific Surface Area	= 2.141774 m ² /g

A.2.18 Η πειραματική μορφή της εξίσωσης B.E.T. για χαλαζία 5 min

Quantachrome Corporation
NOVA Enhanced Data Reduction Software Ver. 2.11
File Name = quar5.dat

Instrument	= NOVA-2200 Ver. 1.20	Station	= B
User ID	= 3	User Setup	= 3
Comments	=		
Sample ID	= 6	Sample Cell Number	= 1
Sample Weight	= 0.1735 g	Sample Volume	= 0.0655 cc
Sample Density	= 2.6500 g/cc		
Po Type	= Calculate	Po	= 752.51 mm Hg
Adsorbate	= Nitrogen	Bath Temperature	= 77.40 deg K
Adsorption Tolerance	= 0.1000 mm Hg	Desorption Tolerance	= 0.0000 mm Hg
Adsorption Equil Time	= 90 sec	Desorption Equil Time	= 0 sec
Adsorption Dwell Time	= 240 sec	Desorption Dwell Time	= 0 sec
Analysis Start Time	= Fri Jan 04 14:40:36 1980	Elapsed Time	= 17.97 Minutes.

Multi Point BET (Adsorption)



A.2.19 Αποτελέσματα B.E.T. για χαλαζία 10 min

Quantachrome Corporation
NOVA Enhanced Data Reduction Software Ver. 2.11
File Name = quar10.dat

Instrument	= NOVA-2200 Ver. 1.20	Station	= A
User ID	= 2	User Setup	= 3
Comments	=		
Sample ID	= 6	Sample Cell Number	= 3
Sample Weight	= 0.1860 g	Sample Volume	= 0.0702 cc
Sample Density	= 2.6500 g/cc		
Po Type	= Calculate	Po	= 752.21 mm Hg
Adsorbate	= Nitrogen	Bath Temperature	= 77.40 deg K
Adsorption Tolerance	= 0.1000 mm Hg	Desorption Tolerance	= 0.0000 mm Hg
Adsorption Equil Time	= 90 sec	Desorption Equil Time	= 0 sec
Adsorption Dwell Time	= 240 sec	Desorption Dwell Time	= 0 sec
Analysis Start Time	= Fri Jan 04 13:17:20 1980	Elapsed Time	= 18.60 Minutes.

Multi Point BET (Adsorption)

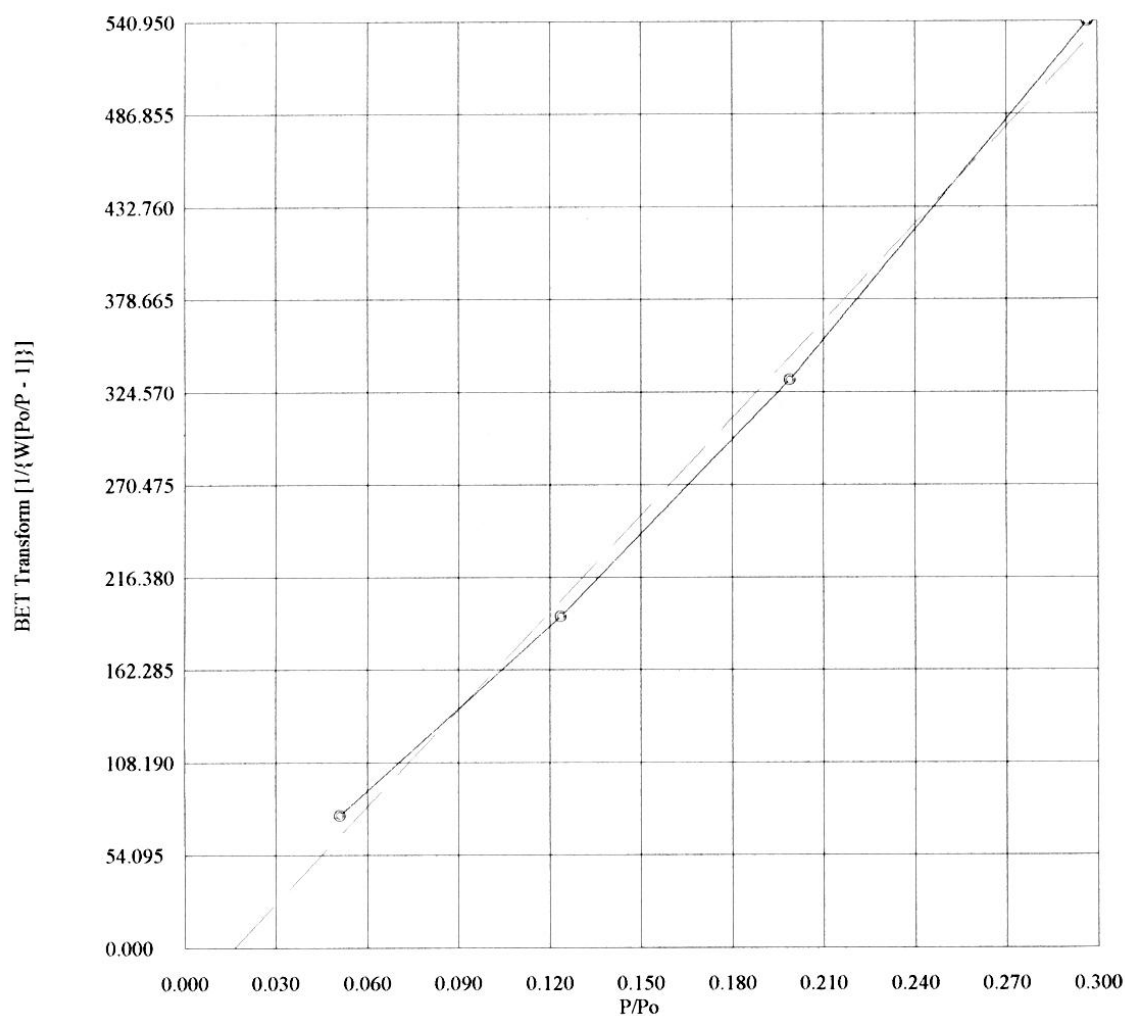
P/Po	BET Transform [1/{W[Po/P - 1]}]
0.050926	77.100255
0.123589	193.214516
0.198883	331.645164
0.296649	540.902416
Slope	= 1891.973999
Intercept	= -31.211934
Correlation Coefficient	= 0.997778
BET C	= -59.617007
Total Surface Area in Cell	= 0.348109 m ²
Specific Surface Area	= 1.871554 m ² /g

A.2.20 Η πειραματική μορφή της εξίσωσης B.E.T. για χαλαζία 10 min

Quantachrome Corporation
NOVA Enhanced Data Reduction Software Ver. 2.11
File Name = quar10.dat

Instrument	= NOVA-2200 Ver. 1.20	Station	= A
User ID	= 2	User Setup	= 3
Comments	=		
Sample ID	= 6	Sample Cell Number	= 3
Sample Weight	= 0.1860 g	Sample Volume	= 0.0702 cc
Sample Density	= 2.6500 g/cc		
Po Type	= Calculate	Po	= 752.21 mm Hg
Adsorbate	= Nitrogen	Bath Temperature	= 77.40 deg K
Adsorption Tolerance	= 0.1000 mm Hg	Desorption Tolerance	= 0.0000 mm Hg
Adsorption Equil Time	= 90 sec	Desorption Equil Time	= 0 sec
Adsorption Dwell Time	= 240 sec	Desorption Dwell Time	= 0 sec
Analysis Start Time	= Fri Jan 04 13:17:20 1980	Elapsed Time	= 18.60 Minutes.

Multi Point BET (Adsorption)



A.2.21 Αποτελέσματα Β.Ε.Τ. για χαλαζία 20 min

Quantachrome Corporation
NOVA Enhanced Data Reduction Software Ver. 2.11
File Name = quar20.dat

Instrument	= NOVA-2200 Ver. 1.20	Station	= B
User ID	= 2	User Setup	= 3
Comments	=		
Sample ID	= 6	Sample Cell Number	= 1
Sample Weight	= 0.2464 g	Sample Volume	= 0.0930 cc
Sample Density	= 2.6500 g/cc		
Po Type	= Calculate	Po	= 752.39 mm Hg
Adsorbate	= Nitrogen	Bath Temperature	= 77.40 deg K
Adsorption Tolerance	= 0.1000 mm Hg	Desorption Tolerance	= 0.0000 mm Hg
Adsorption Equil Time	= 90 sec	Desorption Equil Time	= 0 sec
Adsorption Dwell Time	= 240 sec	Desorption Dwell Time	= 0 sec
Analysis Start Time	= Fri Jan 04 12:51:31 1980	Elapsed Time	= 17.45 Minutes.

Multi Point BET (Adsorption)

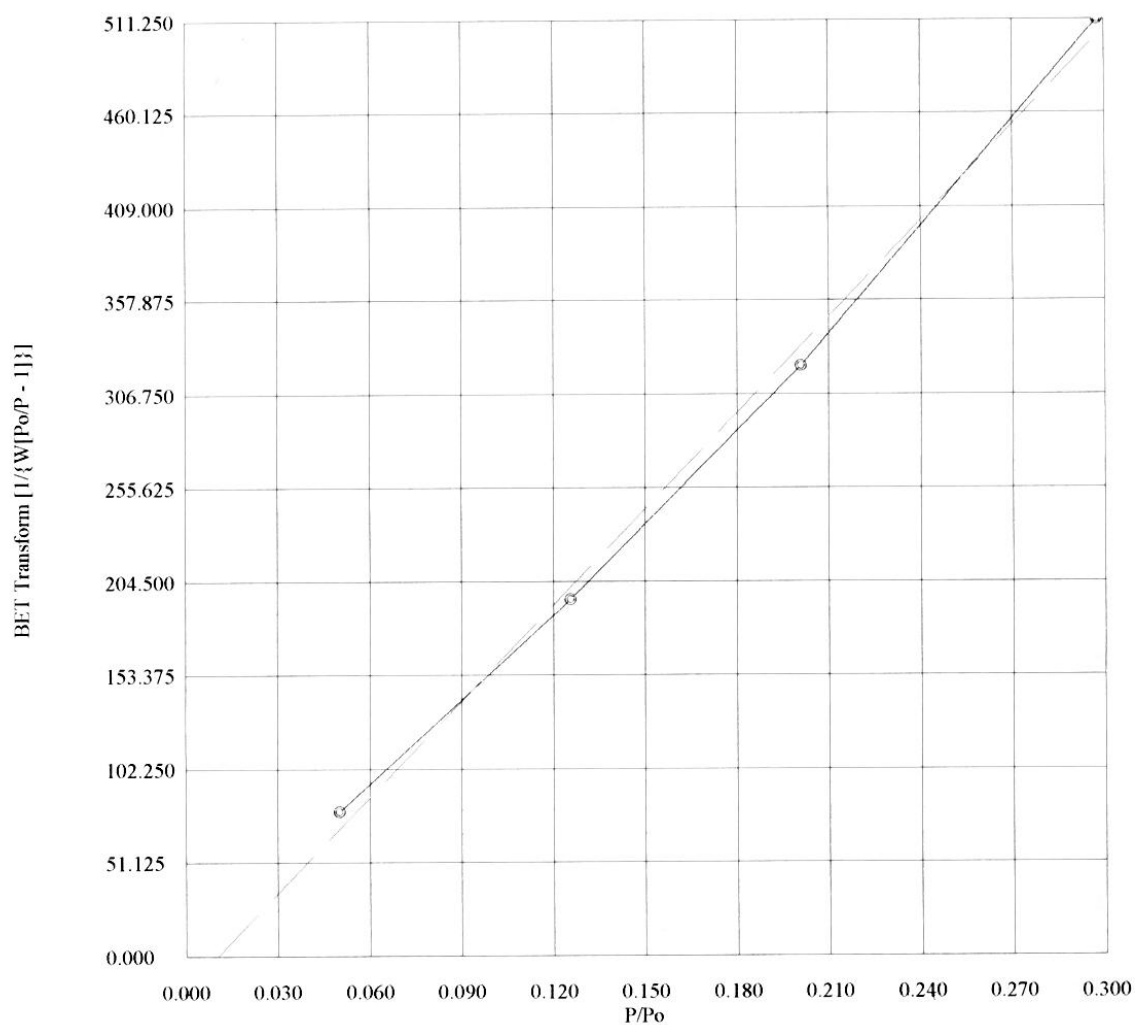
P/Po	BET Transform [1/{W[Po/P - 1]}]
0.050180	78.721012
0.125585	194.626342
0.200968	322.104624
0.297684	511.218736
Slope	= 1748.371975
Intercept	= -18.114865
Correlation Coefficient	= 0.998385
BET C	= -95.515871
Total Surface Area in Cell	= 0.495933 m ²
Specific Surface Area	= 2.012716 m ² /g

A.2.22 Η πειραματική μορφή της εξίσωσης B.E.T. για χαλαζία 20 min

Quantachrome Corporation
NOVA Enhanced Data Reduction Software Ver. 2.11
File Name = quar20.dat

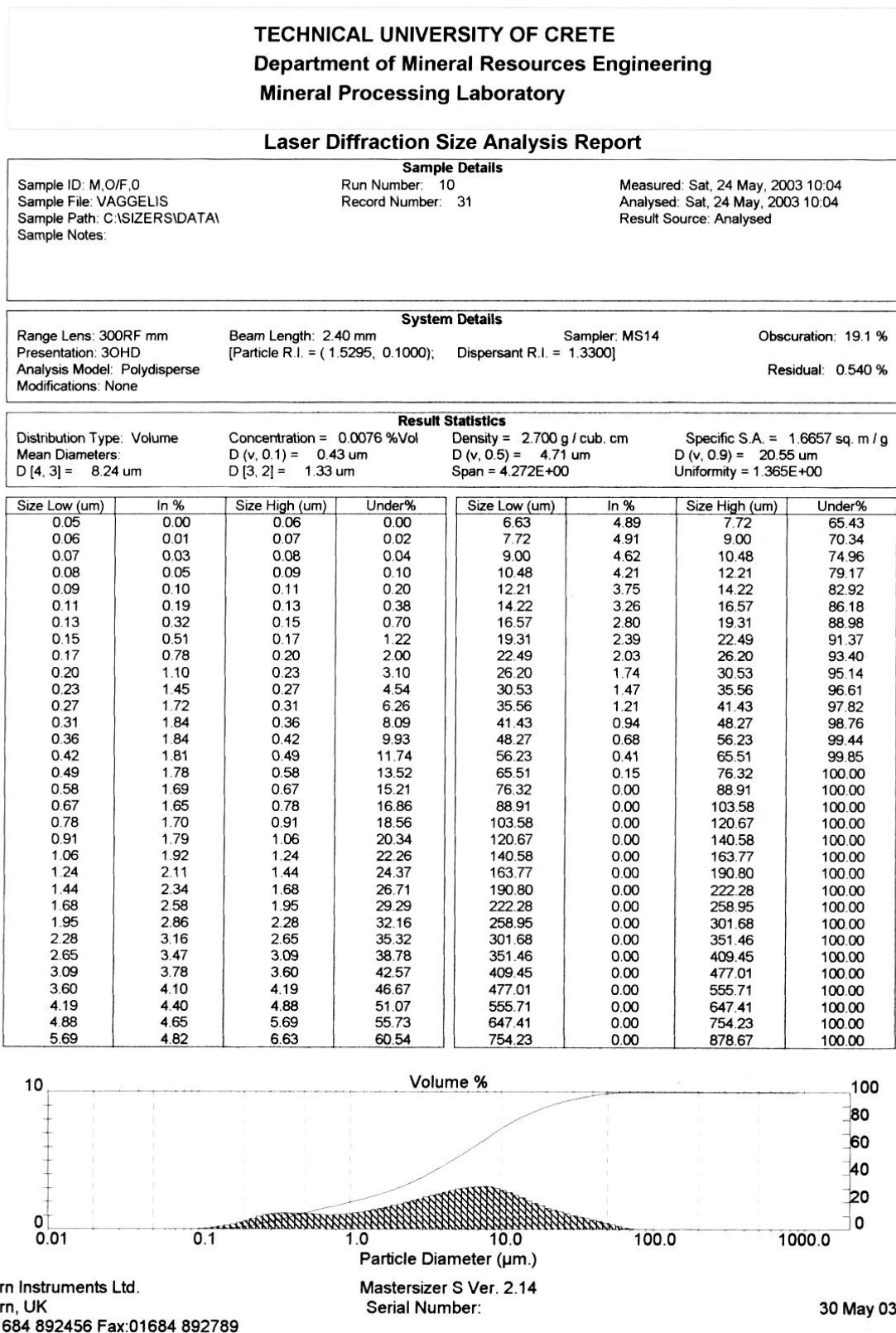
Instrument	= NOVA-2200 Ver. 1.20	Station	= B
User ID	= 2	User Setup	= 3
Comments	=		
Sample ID	= 6	Sample Cell Number	= 1
Sample Weight	= 0.2464 g	Sample Volume	= 0.0930 cc
Sample Density	= 2.6500 g/cc		
Po Type	= Calculate	Po	= 752.39 mm Hg
Adsorbate	= Nitrogen	Bath Temperature	= 77.40 deg K
Adsorption Tolerance	= 0.1000 mm Hg	Desorption Tolerance	= 0.0000 mm Hg
Adsorption Equil Time	= 90 sec	Desorption Equil Time	= 0 sec
Adsorption Dwell Time	= 240 sec	Desorption Dwell Time	= 0 sec
Analysis Start Time	= Fri Jan 04 12:51:31 1980	Elapsed Time	= 17.45 Minutes.

Multi Point BET (Adsorption)



A.3 Αναφορές κοκκομετρικής ανάλυσης με Laser

A.3.1 Μάρμαρο 0 min



A.3.2 Μάρμαρο 2.5 min

TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE Department of Mineral Resources Engineering Mineral Processing Laboratory

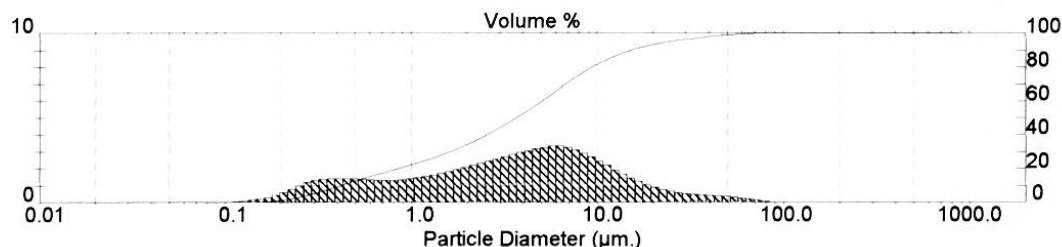
Laser Diffraction Size Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: M,O/F,2.5	Run Number: 14	Measured: Sat, 24 May, 2003 10:22
Sample File: VAGGELIS	Record Number: 32	Analysed: Sat, 24 May, 2003 10:22
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS14	Obscuration: 23.8 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 0.437 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0086 %Vol	Density = 2.700 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.7616 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.41 um	D (v, 0.5) = 3.69 um	D (v, 0.9) = 14.99 um
D [4, 3] = 6.71 um	D [3, 2] = 1.26 um	Span = 3.953E+00	Uniformity = 1.426E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	5.05	7.72	74.26
0.06	0.00	0.07	0.01	7.72	4.63	9.00	78.89
0.07	0.01	0.08	0.02	9.00	4.06	10.48	82.95
0.08	0.02	0.09	0.04	10.48	3.42	12.21	86.37
0.09	0.05	0.11	0.09	12.21	2.80	14.22	89.17
0.11	0.11	0.13	0.20	14.22	2.23	16.57	91.41
0.13	0.21	0.15	0.41	16.57	1.76	19.31	93.16
0.15	0.39	0.17	0.81	19.31	1.38	22.49	94.54
0.17	0.67	0.20	1.48	22.49	1.09	26.20	95.63
0.20	1.07	0.23	2.55	26.20	0.90	30.53	96.53
0.23	1.54	0.27	4.08	30.53	0.78	35.56	97.31
0.27	1.94	0.31	6.03	35.56	0.69	41.43	98.00
0.31	2.15	0.36	8.17	41.43	0.62	48.27	98.62
0.36	2.18	0.42	10.35	48.27	0.53	56.23	99.15
0.42	2.18	0.49	12.53	56.23	0.41	65.51	99.56
0.49	2.18	0.58	14.71	65.51	0.28	76.32	99.84
0.58	2.08	0.67	16.79	76.32	0.16	88.91	100.00
0.67	2.04	0.78	18.83	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	2.09	0.91	20.92	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	2.18	1.06	23.11	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	2.33	1.24	25.44	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.55	1.44	27.99	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.80	1.68	30.79	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	3.06	1.95	33.86	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	3.37	2.28	37.23	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.69	2.65	40.92	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	4.02	3.09	44.94	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	4.33	3.60	49.27	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.64	4.19	53.91	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.90	4.88	58.81	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	5.12	5.69	63.93	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	5.28	6.63	69.21	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:01684 892456 Fax:01684 892789

Mastersizer S Ver. 2.14
Serial Number:

30 May 03 17:20

A.3.3 Μάρμαρο 5 min

TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE Department of Mineral Resources Engineering Mineral Processing Laboratory

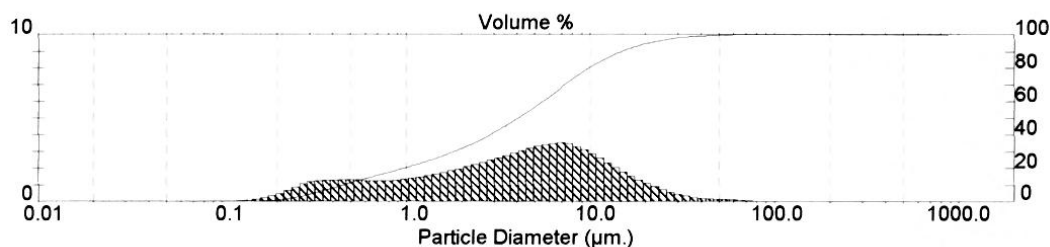
Laser Diffraction Size Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: M,O/F,5	Run Number: 15	Measured: Sat, 24 May, 2003 10:26
Sample File: VAGGELIS	Record Number: 33	Analysed: Sat, 24 May, 2003 10:26
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS14	Obscuration: 19.3 %
Presentation: 30HD	[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 0.624 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0071 %Vol	Density = 2.700 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.6023 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.45 um	D (v, 0.5) = 4.08 um	D (v, 0.9) = 14.66 um
D [4, 3] = 6.47 um	D [3, 2] = 1.39 um	Span = 3.485E+00	Uniformity = 1.189E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	5.55	7.72	71.99
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	5.23	9.00	77.22
0.07	0.00	0.08	0.01	9.00	4.72	10.48	81.94
0.08	0.01	0.09	0.02	10.48	4.08	12.21	86.02
0.09	0.03	0.11	0.05	12.21	3.39	14.22	89.41
0.11	0.07	0.13	0.11	14.22	2.73	16.57	92.14
0.13	0.14	0.15	0.26	16.57	2.14	19.31	94.28
0.15	0.29	0.17	0.55	19.31	1.64	22.49	95.92
0.17	0.53	0.20	1.08	22.49	1.22	26.20	97.14
0.20	0.89	0.23	1.97	26.20	0.87	30.53	98.01
0.23	1.35	0.27	3.32	30.53	0.60	35.56	98.61
0.27	1.76	0.31	5.08	35.56	0.41	41.43	99.02
0.31	1.98	0.36	7.05	41.43	0.31	48.27	99.33
0.36	2.02	0.42	9.07	48.27	0.26	56.23	99.59
0.42	2.04	0.49	11.11	56.23	0.21	65.51	99.80
0.49	2.05	0.58	13.16	65.51	0.14	76.32	99.94
0.58	1.97	0.67	15.13	76.32	0.06	88.91	100.00
0.67	1.95	0.78	17.07	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	2.00	0.91	19.07	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	2.09	1.06	21.17	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	2.24	1.24	23.41	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.46	1.44	25.87	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.69	1.68	28.55	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.92	1.95	31.48	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	3.22	2.28	34.69	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.52	2.65	38.22	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.86	3.09	42.08	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	4.21	3.60	46.29	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.58	4.19	50.87	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.93	4.88	55.79	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	5.22	5.69	61.02	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	5.43	6.63	66.44	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:01684 892456 Fax:01684 892789

Mastersizer S Ver. 2.14
Serial Number:

30 May 03 17:23

A.3.4 Μάρμαρο 10 min

TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE Department of Mineral Resources Engineering Mineral Processing Laboratory

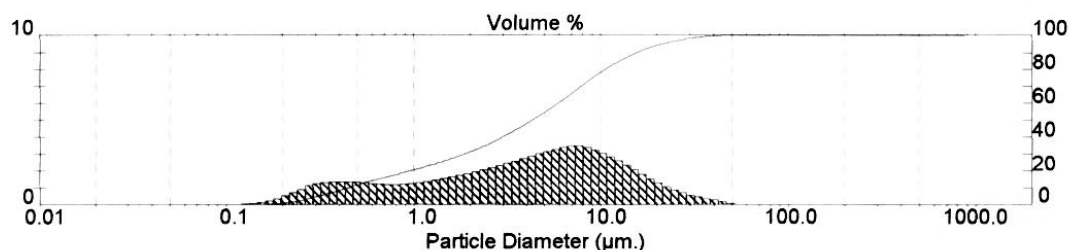
Laser Diffraction Size Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: M,O/F,10	Run Number: 18	Measured: Sat, 24 May, 2003 10:36
Sample File: VAGGELIS	Record Number: 34	Analysed: Sat, 24 May, 2003 10:36
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details		
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS14
Presentation: 30HD	[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000);	Obscuration: 21.0 %
Analysis Model: Polydisperse	Dispersant R.I. = 1.3300]	Residual: 0.579 %
Modifications: None		

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0080 %Vol	Density = 2.700 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.6171 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.44 um	D (v, 0.5) = 4.32 um	D (v, 0.9) = 15.55 um
D [4, 3] = 6.60 um	D [3, 2] = 1.37 um	Span = 3.495E+00	Uniformity = 1.139E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	5.46	7.72	69.45
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	5.32	9.00	74.77
0.07	0.01	0.08	0.01	9.00	4.98	10.48	79.75
0.08	0.01	0.09	0.02	10.48	4.47	12.21	84.22
0.09	0.03	0.11	0.05	12.21	3.85	14.22	88.07
0.11	0.07	0.13	0.12	14.22	3.18	16.57	91.25
0.13	0.16	0.15	0.28	16.57	2.53	19.31	93.78
0.15	0.31	0.17	0.59	19.31	1.94	22.49	95.72
0.17	0.57	0.20	1.15	22.49	1.45	26.20	97.16
0.20	0.95	0.23	2.10	26.20	1.06	30.53	98.23
0.23	1.42	0.27	3.53	30.53	0.77	35.56	99.00
0.27	1.85	0.31	5.38	35.56	0.55	41.43	99.55
0.31	2.06	0.36	7.44	41.43	0.33	48.27	99.88
0.36	2.09	0.42	9.53	48.27	0.12	56.23	100.00
0.42	2.08	0.49	11.61	56.23	0.00	65.51	100.00
0.49	2.06	0.58	13.67	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	1.94	0.67	15.61	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.88	0.78	17.49	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.90	0.91	19.39	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.96	1.06	21.35	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	2.09	1.24	23.43	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.28	1.44	25.71	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.50	1.68	28.22	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.73	1.95	30.95	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	3.01	2.28	33.96	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.30	2.65	37.26	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.61	3.09	40.87	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	3.94	3.60	44.80	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.29	4.19	49.10	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.65	4.88	53.75	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	4.98	5.69	58.73	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	5.25	6.63	63.99	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:01684 892456 Fax:01684 892789

Mastersizer S Ver. 2.14
Serial Number: 32913-113

05 Jun 03 09:08

A.3.5 Μάρμαρο 20 min

TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE Department of Mineral Resources Engineering Mineral Processing Laboratory

Laser Diffraction Size Analysis Report

Sample ID: M,O/F,20

Sample File: VAGGELIS

Sample Path: C:\SIZERS\DATA\

Sample Notes:

Run Number: 19

Record Number: 35

Measured: Sat, 24 May, 2003 10:42

Analysed: Sat, 24 May, 2003 10:42

Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm

Beam Length: 2.40 mm

Presentation: 30HD

Analysis Model: Polydisperse

Modifications: None

Sampler: MS14

[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Residual: 0.516 %

Result Statistics

Distribution Type: Volume

Concentration = 0.0103 %Vol

Mean Diameters:

D [4, 3] = 6.37 um

Density = 2.700 g / cub. cm

D (v, 0.1) = 0.41 um

D (v, 0.5) = 4.07 um

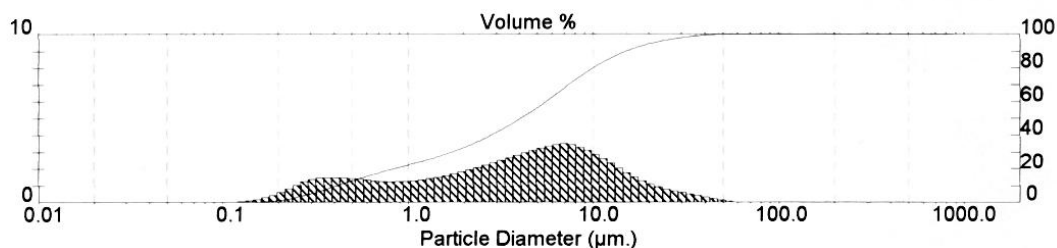
Span = 3.564E+00

Specific S.A. = 1.7321 sq. m / g

D (v, 0.9) = 14.90 um

Uniformity = 1.185E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	5.49	7.72	71.67
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	5.22	9.00	76.88
0.07	0.01	0.08	0.01	9.00	4.73	10.48	81.61
0.08	0.02	0.09	0.03	10.48	4.10	12.21	85.71
0.09	0.04	0.11	0.06	12.21	3.40	14.22	89.11
0.11	0.08	0.13	0.15	14.22	2.73	16.57	91.84
0.13	0.18	0.15	0.33	16.57	2.13	19.31	93.97
0.15	0.36	0.17	0.68	19.31	1.66	22.49	95.63
0.17	0.64	0.20	1.33	22.49	1.30	26.20	96.93
0.20	1.07	0.23	2.39	26.20	1.04	30.53	97.97
0.23	1.59	0.27	3.98	30.53	0.83	35.56	98.79
0.27	2.05	0.31	6.04	35.56	0.61	41.43	99.41
0.31	2.28	0.36	8.31	41.43	0.40	48.27	99.81
0.36	2.29	0.42	10.61	48.27	0.19	56.23	100.00
0.42	2.27	0.49	12.88	56.23	0.00	65.51	100.00
0.49	2.22	0.58	15.10	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	2.06	0.67	17.17	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.96	0.78	19.12	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.93	0.91	21.06	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.96	1.06	23.02	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	2.06	1.24	25.08	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.23	1.44	27.31	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.45	1.68	29.76	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.69	1.95	32.45	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.99	2.28	35.45	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.32	2.65	38.77	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.67	3.09	42.44	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	4.05	3.60	46.49	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.43	4.19	50.92	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.80	4.88	55.71	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	5.12	5.69	60.83	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	5.34	6.63	66.17	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:01684 892456 Fax:01684 892789

Mastersizer S Ver. 2.14
Serial Number: 32913-113

25 May 03 08:24

A.3.6 Μάρμαρο 40 min

TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE Department of Mineral Resources Engineering Mineral Processing Laboratory

Laser Diffraction Size Analysis Report

Sample ID: M.O/F.40

Sample File: VAGGELIS

Sample Path: C:\SIZERS\DATA\

Sample Notes:

Run Number: 20

Record Number: 36

Measured: Sat, 24 May, 2003 10:45

Analysed: Sat, 24 May, 2003 10:45

Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm

Beam Length: 2.40 mm

Presentation: 30HD

Analysis Model: Polydisperse

Modifications: None

Sampler: MS14

[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Residual: 0.521 %

Obscuration: 23.7 %

Result Statistics

Distribution Type: Volume

Concentration = 0.0088 %Vol

Density = 2.700 g / cub. cm

Specific S.A. = 1.7163 sq. m / g

Mean Diameters:

D (v, 0.1) = 0.41 um

D (v, 0.5) = 4.00 um

D (v, 0.9) = 14.16 um

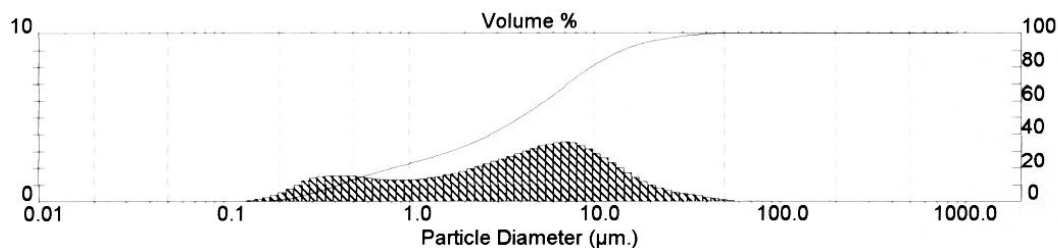
D [4, 3] = 6.14 um

D [3, 2] = 1.29 um

Span = 3.440E+00

Uniformity = 1.154E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	5.59	7.72	72.60
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	5.28	9.00	77.88
0.07	0.00	0.08	0.01	9.00	4.77	10.48	82.65
0.08	0.01	0.09	0.01	10.48	4.09	12.21	86.74
0.09	0.02	0.11	0.04	12.21	3.35	14.22	90.10
0.11	0.06	0.13	0.10	14.22	2.64	16.57	92.73
0.13	0.14	0.15	0.24	16.57	2.01	19.31	94.74
0.15	0.29	0.17	0.53	19.31	1.50	22.49	96.24
0.17	0.57	0.20	1.10	22.49	1.13	26.20	97.38
0.20	1.00	0.23	2.09	26.20	0.88	30.53	98.26
0.23	1.55	0.27	3.65	30.53	0.70	35.56	98.96
0.27	2.07	0.31	5.72	35.56	0.52	41.43	99.49
0.31	2.34	0.36	8.06	41.43	0.35	48.27	99.83
0.36	2.38	0.42	10.43	48.27	0.17	56.23	100.00
0.42	2.37	0.49	12.81	56.23	0.00	65.51	100.00
0.49	2.33	0.58	15.14	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	2.16	0.67	17.30	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	2.04	0.78	19.35	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	2.00	0.91	21.34	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	2.00	1.06	23.35	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	2.08	1.24	25.42	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.24	1.44	27.67	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.45	1.68	30.11	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.68	1.95	32.80	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	3.00	2.28	35.79	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.34	2.65	39.13	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.72	3.09	42.85	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	4.10	3.60	46.95	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.51	4.19	51.46	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.89	4.88	56.35	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	5.22	5.69	61.57	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	5.45	6.63	67.01	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:01684 892456 Fax:01684 892789

Mastersizer S Ver. 2.14
Serial Number: 32913-113

25 May 03 08:21

A.3.7 Χαλαζίας 0 min

TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE Department of Mineral Resources Engineering Mineral Processing Laboratory

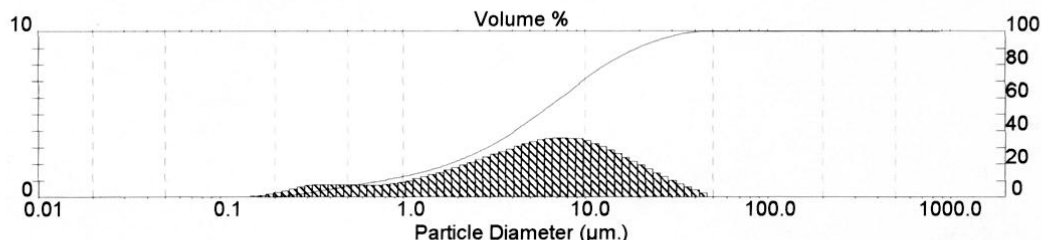
Laser Diffraction Size Analysis Report

Sample Details			
Sample ID: X,O/F,0	Run Number: 21	Measured: Sat, 24 May, 2003 10:51	
Sample File: VAGGELIS	Record Number: 37	Analysed: Sat, 24 May, 2003 10:51	
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed	
Sample Notes:			

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS14	Obscuration: 19.5 %
Presentation: 3OHD	[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 0.527 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0090 %Vol	Density = 2.650 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.1484 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.76 μ m	D (v, 0.5) = 5.57 μ m	D (v, 0.9) = 19.13 μ m
D [4, 3] = 8.12 μ m	D [3, 2] = 1.97 μ m	Span = 3.296E+00	Uniformity = 1.015E+00

Size Low (μ m)	In %	Size High (μ m)	Under%	Size Low (μ m)	In %	Size High (μ m)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	5.60	7.72	61.85
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	5.57	9.00	67.42
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	5.47	10.48	72.90
0.08	0.01	0.09	0.01	10.48	5.09	12.21	77.99
0.09	0.01	0.11	0.02	12.21	4.61	14.22	82.60
0.11	0.04	0.13	0.06	14.22	4.08	16.57	86.68
0.13	0.08	0.15	0.14	16.57	3.52	19.31	90.20
0.15	0.17	0.17	0.31	19.31	2.95	22.49	93.15
0.17	0.32	0.20	0.62	22.49	2.39	26.20	95.54
0.20	0.54	0.23	1.16	26.20	1.85	30.53	97.38
0.23	0.83	0.27	1.99	30.53	1.34	35.56	98.72
0.27	1.09	0.31	3.08	35.56	0.87	41.43	99.59
0.31	1.21	0.36	4.29	41.43	0.41	48.27	100.00
0.36	1.22	0.42	5.51	48.27	0.00	56.23	100.00
0.42	1.21	0.49	6.72	56.23	0.00	65.51	100.00
0.49	1.20	0.58	7.93	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	1.16	0.67	9.08	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.17	0.78	10.25	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.29	0.91	11.54	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.45	1.06	12.99	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	1.67	1.24	14.66	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	1.97	1.44	16.62	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.29	1.68	18.91	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.62	1.95	21.53	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	3.00	2.28	24.53	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.39	2.65	27.92	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.79	3.09	31.71	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	4.18	3.60	35.89	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.58	4.19	40.47	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.96	4.88	45.44	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	5.30	5.69	50.73	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	5.52	6.63	56.25	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:01684 892456 Fax:01684 892789

Mastersizer S Ver. 2.14
Serial Number: 32913-113

06 Jun 03 09:50

A.3.8 Χαλαζίας 2.5 min

TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE Department of Mineral Resources Engineering Mineral Processing Laboratory

Laser Diffraction Size Analysis Report

Sample ID: X,O/F,2.5

Sample File: VAGGELIS

Sample Path: C:\SIZERS\DATA\

Sample Notes:

Run Number: 1

Record Number: 44

Measured: Sun, 25 May, 2003 11:44

Analysed: Sun, 25 May, 2003 11:44

Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm

Beam Length: 2.40 mm

Presentation: 30HD

Analysis Model: Polydisperse

Modifications: None

Sampler: MS14

[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Residual: 0.564 %

Result Statistics

Distribution Type: Volume

Concentration = 0.0092 %Vol

Mean Diameters:

D [4, 3] = 9.31 um

Density = 2.650 g / cub. cm

D (v, 0.5) = 5.36 um

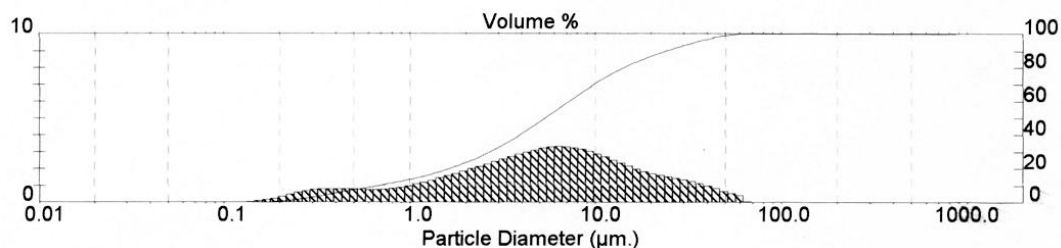
Span = 4.362E+00

Specific S.A. = 1.2300 sq. m / g

D (v, 0.9) = 24.06 um

Uniformity = 1.304E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	5.14	7.72	62.33
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	4.95	9.00	67.27
0.07	0.00	0.08	0.01	9.00	4.65	10.48	71.92
0.08	0.01	0.09	0.02	10.48	4.29	12.21	76.21
0.09	0.02	0.11	0.04	12.21	3.79	14.22	80.00
0.11	0.05	0.13	0.09	14.22	3.33	16.57	83.33
0.13	0.11	0.15	0.21	16.57	2.94	19.31	86.28
0.15	0.22	0.17	0.42	19.31	2.64	22.49	88.91
0.17	0.39	0.20	0.81	22.49	2.40	26.20	91.32
0.20	0.64	0.23	1.45	26.20	2.20	30.53	93.52
0.23	0.94	0.27	2.38	30.53	1.98	35.56	95.50
0.27	1.19	0.31	3.58	35.56	1.69	41.43	97.19
0.31	1.31	0.36	4.88	41.43	1.31	48.27	98.50
0.36	1.30	0.42	6.18	48.27	0.94	56.23	99.44
0.42	1.28	0.49	7.47	56.23	0.56	65.51	100.00
0.49	1.27	0.58	8.74	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	1.22	0.67	9.96	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.24	0.78	11.20	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.38	0.91	12.58	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.56	1.06	14.14	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	1.79	1.24	15.93	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.09	1.44	18.02	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.40	1.68	20.42	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.71	1.95	23.14	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	3.07	2.28	26.20	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.43	2.65	29.63	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.79	3.09	33.43	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	4.15	3.60	37.58	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.51	4.19	42.09	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.83	4.88	46.92	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	5.08	5.69	52.00	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	5.19	6.63	57.19	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:01684 892456 Fax:01684 892789

Mastersizer S Ver. 2.14
Serial Number: 32913-113

06 Jun 03 09:53

A.3.9 Χαλαζίας 5 min

TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE
Department of Mineral Resources Engineering
Mineral Processing Laboratory

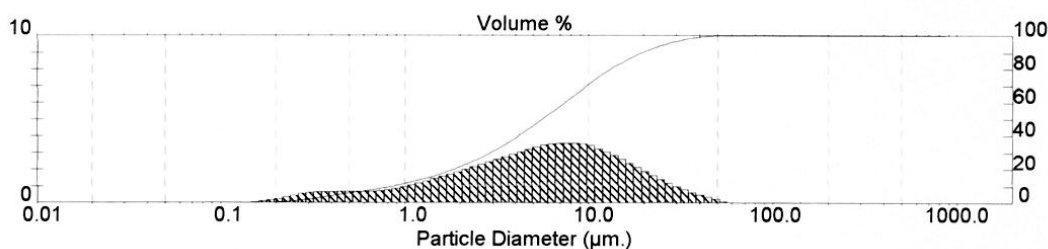
Laser Diffraction Size Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: X,O/F,5	Run Number: 23	Measured: Sat, 24 May, 2003 10:58
Sample File: VAGGELIS	Record Number: 39	Analysed: Sat, 24 May, 2003 10:58
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS14	Obscuration: 19.9 %
Presentation: 30HD	[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 0.473 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0093 %Vol	Density = 2.650 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.0925 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.85 µm	D (v, 0.5) = 5.60 µm	D (v, 0.9) = 19.30 µm
D [4, 3] = 8.28 µm	D [3, 2] = 2.07 µm	Span = 3.296E+00	Uniformity = 1.033E+00

Size Low (µm)	In %	Size High (µm)	Under%	Size Low (µm)	In %	Size High (µm)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	5.60	7.72	61.68
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	5.58	9.00	67.26
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	5.49	10.48	72.75
0.08	0.01	0.09	0.01	10.48	5.10	12.21	77.86
0.09	0.01	0.11	0.02	12.21	4.62	14.22	82.48
0.11	0.03	0.13	0.05	14.22	4.06	16.57	86.54
0.13	0.07	0.15	0.12	16.57	3.47	19.31	90.00
0.15	0.15	0.17	0.27	19.31	2.86	22.49	92.87
0.17	0.28	0.20	0.54	22.49	2.29	26.20	95.16
0.20	0.47	0.23	1.02	26.20	1.77	30.53	96.93
0.23	0.73	0.27	1.74	30.53	1.31	35.56	98.24
0.27	0.96	0.31	2.70	35.56	0.92	41.43	99.16
0.31	1.07	0.36	3.77	41.43	0.59	48.27	99.74
0.36	1.08	0.42	4.85	48.27	0.26	56.23	100.00
0.42	1.09	0.49	5.94	56.23	0.00	65.51	100.00
0.49	1.11	0.58	7.05	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	1.10	0.67	8.15	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.15	0.78	9.30	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.32	0.91	10.62	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.52	1.06	12.14	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	1.77	1.24	13.92	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.09	1.44	16.01	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.42	1.68	18.43	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.74	1.95	21.17	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	3.10	2.28	24.27	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.46	2.65	27.73	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.82	3.09	31.55	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	4.19	3.60	35.74	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.58	4.19	40.32	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.95	4.88	45.28	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	5.29	5.69	50.56	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	5.51	6.63	56.08	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
 Malvern, UK
 Tel:01684 892456 Fax:01684 892789

Mastersizer S Ver. 2.14
 Serial Number: 32913-113

24 May 03 17:55

A.3.10 Χαλαζίας 10 min

TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE Department of Mineral Resources Engineering Mineral Processing Laboratory

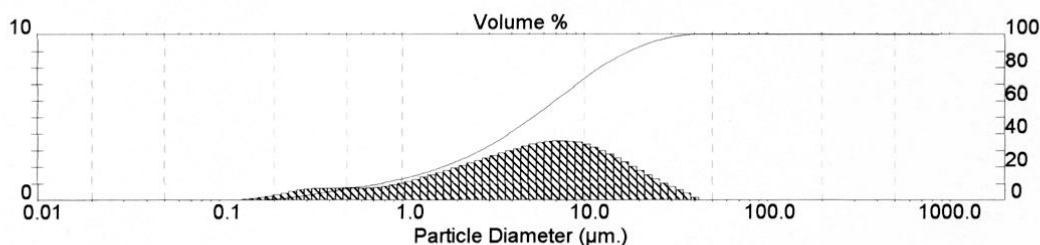
Laser Diffraction Size Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: X,O/F,10	Run Number: 24	Measured: Sat, 24 May, 2003 11:02
Sample File: VAGGELIS	Record Number: 40	Analysed: Sat, 24 May, 2003 11:02
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details		
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS14
Presentation: 30HD	[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000);	Obscuration: 22.1 %
Analysis Model: Polydisperse	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Modifications: None		Residual: 0.568 %

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0100 %Vol	Density = 2.650 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.2168 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.74 um	D (v, 0.5) = 5.21 um	D (v, 0.9) = 17.55 um
D [4, 3] = 7.50 um	D [3, 2] = 1.86 um	Span = 3.226E+00	Uniformity = 9.970E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	5.59	7.72	64.22
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	5.54	9.00	69.76
0.07	0.01	0.08	0.01	9.00	5.42	10.48	75.18
0.08	0.01	0.09	0.03	10.48	5.02	12.21	80.20
0.09	0.03	0.11	0.06	12.21	4.52	14.22	84.72
0.11	0.07	0.13	0.12	14.22	3.95	16.57	88.67
0.13	0.13	0.15	0.25	16.57	3.34	19.31	92.01
0.15	0.23	0.17	0.48	19.31	2.71	22.49	94.72
0.17	0.39	0.20	0.87	22.49	2.09	26.20	96.81
0.20	0.60	0.23	1.48	26.20	1.53	30.53	98.34
0.23	0.85	0.27	2.33	30.53	1.04	35.56	99.38
0.27	1.06	0.31	3.39	35.56	0.55	41.43	99.93
0.31	1.16	0.36	4.54	41.43	0.07	48.27	100.00
0.36	1.17	0.42	5.71	48.27	0.00	56.23	100.00
0.42	1.17	0.49	6.88	56.23	0.00	65.51	100.00
0.49	1.19	0.58	8.07	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	1.18	0.67	9.25	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.24	0.78	10.49	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.42	0.91	11.90	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.62	1.06	13.53	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	1.88	1.24	15.41	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.20	1.44	17.60	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.53	1.68	20.13	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.85	1.95	22.98	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	3.21	2.28	26.19	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.58	2.65	29.77	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.95	3.09	33.72	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	4.31	3.60	38.03	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.69	4.19	42.72	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	5.04	4.88	47.76	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	5.34	5.69	53.09	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	5.53	6.63	58.63	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:01684 892456 Fax:01684 892789

Mastersizer S Ver. 2.14
Serial Number: 32913-113

06 Jun 03 09:55

A.3.11 Χαλαζίας 20 min

TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE Department of Mineral Resources Engineering Mineral Processing Laboratory

Laser Diffraction Size Analysis Report

Sample ID: X,O/F,20

Sample File: VAGGELIS

Sample Path: C:\SIZERS\DATA\

Sample Notes:

Run Number: 25

Record Number: 41

Measured: Sat, 24 May, 2003 11:07

Analysed: Sat, 24 May, 2003 11:07

Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm

Beam Length: 2.40 mm

Presentation: 3OHD

Analysis Model: Polydisperse

Modifications: None

Sampler: MS14

[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Residual: 0.433 %

Obscuration: 24.1 %

Result Statistics

Distribution Type: Volume

Concentration = 0.0118 %Vol

Mean Diameters:

D [4, 3] = 8.93 um

Density = 2.650 g / cub. cm

D (v, 0.5) = 5.77 um

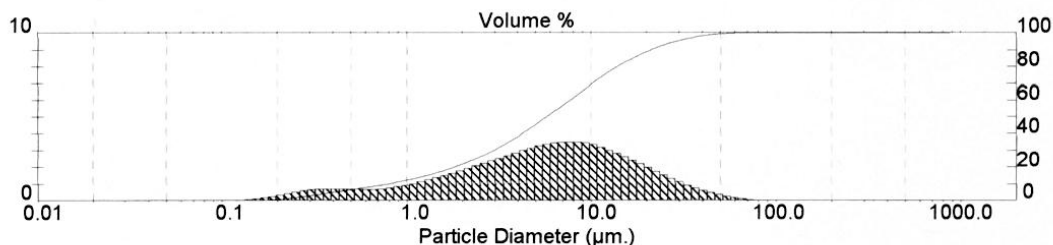
Span = 3.506E+00

Specific S.A. = 1.1564 sq. m / g

D (v, 0.9) = 21.00 um

Uniformity = 1.111E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	5.45	7.72	60.36
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	5.44	9.00	65.79
0.07	0.01	0.08	0.01	9.00	5.36	10.48	71.15
0.08	0.02	0.09	0.03	10.48	4.99	12.21	76.14
0.09	0.03	0.11	0.06	12.21	4.55	14.22	80.69
0.11	0.07	0.13	0.13	14.22	4.06	16.57	84.74
0.13	0.13	0.15	0.26	16.57	3.54	19.31	88.28
0.15	0.23	0.17	0.49	19.31	3.00	22.49	91.28
0.17	0.38	0.20	0.87	22.49	2.47	26.20	93.75
0.20	0.59	0.23	1.46	26.20	1.96	30.53	95.71
0.23	0.83	0.27	2.30	30.53	1.49	35.56	97.19
0.27	1.03	0.31	3.33	35.56	1.08	41.43	98.27
0.31	1.11	0.36	4.44	41.43	0.76	48.27	99.03
0.36	1.11	0.42	5.55	48.27	0.50	56.23	99.53
0.42	1.10	0.49	6.64	56.23	0.31	65.51	99.84
0.49	1.09	0.58	7.74	65.51	0.16	76.32	99.99
0.58	1.07	0.67	8.81	76.32	0.01	88.91	100.00
0.67	1.11	0.78	9.92	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.27	0.91	11.19	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.46	1.06	12.65	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	1.69	1.24	14.34	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	1.98	1.44	16.32	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.29	1.68	18.61	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.60	1.95	21.21	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.94	2.28	24.15	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.29	2.65	27.44	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.66	3.09	31.11	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	4.04	3.60	35.15	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.44	4.19	39.59	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.81	4.88	44.40	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	5.14	5.69	49.54	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	5.36	6.63	54.90	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:01684 892456 Fax:01684 892789

Mastersizer S Ver. 2.14
Serial Number: 32913-113

24 May 03 14:54

A.3.12 Χαλαζίας 40 min

TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE Department of Mineral Resources Engineering Mineral Processing Laboratory

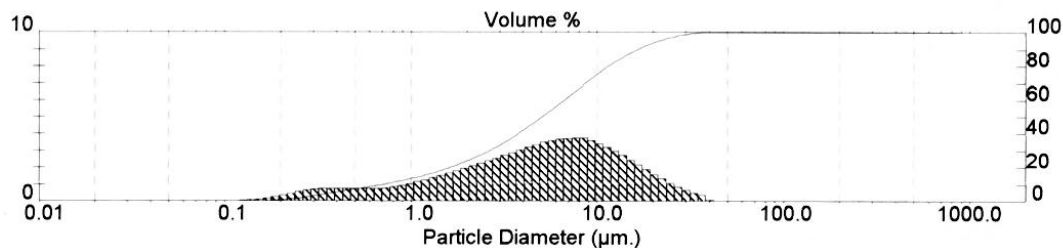
Laser Diffraction Size Analysis Report

Sample Details			
Sample ID: X,O/F 40	Run Number: 26	Measured: Sat, 24 May, 2003 11:12	
Sample File: VAGGELIS	Record Number: 42	Analysed: Sat, 24 May, 2003 11:12	
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\		Result Source: Analysed	
Sample Notes:			

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS14	Obscuration: 23.7 %
Presentation: 30HD	[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 0.595 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0106 %Vol	Density = 2.650 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.2476 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.71 µm	D (v, 0.5) = 5.09 µm	D (v, 0.9) = 16.38 µm
D [4, 3] = 7.14 µm	D [3, 2] = 1.81 µm	Span = 3.076E+00	Uniformity = 9.580E-01

Size Low (µm)	In %	Size High (µm)	Under%	Size Low (µm)	In %	Size High (µm)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	5.84	7.72	65.59
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	5.87	9.00	71.46
0.07	0.01	0.08	0.01	9.00	5.54	10.48	77.00
0.08	0.02	0.09	0.03	10.48	5.05	12.21	82.05
0.09	0.03	0.11	0.06	12.21	4.45	14.22	86.49
0.11	0.07	0.13	0.13	14.22	3.78	16.57	90.27
0.13	0.13	0.15	0.26	16.57	3.08	19.31	93.35
0.15	0.24	0.17	0.51	19.31	2.40	22.49	95.75
0.17	0.40	0.20	0.91	22.49	1.78	26.20	97.54
0.20	0.63	0.23	1.54	26.20	1.25	30.53	98.78
0.23	0.89	0.27	2.43	30.53	0.82	35.56	99.61
0.27	1.11	0.31	3.54	35.56	0.39	41.43	100.00
0.31	1.21	0.36	4.75	41.43	0.00	48.27	100.00
0.36	1.21	0.42	5.96	48.27	0.00	56.23	100.00
0.42	1.20	0.49	7.16	56.23	0.00	65.51	100.00
0.49	1.21	0.58	8.37	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	1.20	0.67	9.57	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.26	0.78	10.83	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.43	0.91	12.25	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.63	1.06	13.89	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	1.89	1.24	15.78	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.20	1.44	17.98	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.53	1.68	20.51	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.86	1.95	23.37	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	3.22	2.28	26.59	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.60	2.65	30.19	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.99	3.09	34.17	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	4.38	3.60	38.55	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.79	4.19	43.34	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	5.17	4.88	48.51	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	5.51	5.69	54.02	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	5.73	6.63	59.75	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:01684 892456 Fax:01684 892789

Mastersizer S Ver. 2.14
Serial Number: 32913-113

24 May 03 14:49

A.4 Υπολογισμός καθαρής ισχύος εργαστηριακού ραβδόμυλου

Ο υπολογισμός της καθαρής ισχύος P έγινε συναρτήσει 1) του βάρους W του φορτίου, 2) της συχνότητας περιστροφής N και 3) της διαμέτρου D του μύλου.

Η εξίσωση η οποία προτείνεται από τον Γ. Σταμπολτζή είναι :

$$P = 0.109 \cdot W \cdot N^{1.124} \cdot D^{1.078} \text{ watt}$$

Όπου: $W = 8.55 \text{ Kg}$

$N = 70 \text{ RPM}$

$D = 0.205 \text{ m}$

B.1 Υπολογισμός κοκκομετρίας

Τα αποτελέσματα της κοσκίνισης κατά την διαδικασία της λειοτρίβησης παρουσιάζονται στους πίνακες 1 έως 4 και αναφέρονται στα κοκκομετρικά κλάσματα $-8+5.6$ mm, $-4.75+3.35$ mm, $-1.7+1.18$ mm και $-0.6+0.425$ mm αντίστοιχα. Στο πρώτο κλάσμα χρησιμοποιήθηκαν ράβδοι διαμέτρου 22, 16 και 10 mm με χρόνους λειοτρίβησης 2.5 και 10 min, ενώ στα επόμενα κλάσματα χρησιμοποιήθηκαν ράβδοι διαμέτρου 22, 16, 10 mm και χρόνοι 2.5, 5 και 10 min. Σημειώνεται ότι για το κλάσμα $-8+5.6$ mm και για χρόνο λειοτρίβησης 2.5 min έγινε κοκκομετρική ανάλυση του υλικού μέχρι τα 0.300 mm, ενώ για χρόνο λειοτρίβησης 10 min με ράβδους 10 mm μέχρι τα 0.150 mm.

Σύμφωνα με τον πίνακα 1, στη στήλη 1 αναγράφεται το μέγεθος του κόσκινου επί του οποίου παρέμεινε το κλάσμα του υλικού σε mm, ενώ στις στήλες 2 έως 7 αναγράφεται το βάρος του κάθε κλάσματος σε g που μετρήσαμε, για χρόνους λειοτρίβησης 2.5 και 10 min και για χρησιμοποιούμενες ράβδους διαμέτρου 22, 16 και 10 mm.

Οι γραμμές 1 έως 13 αφορούν τα αποτελέσματα της ξηρής κοσκίνισης Α, οι γραμμές 14 έως 22 αφορούν την ξηρή κοσκίνιση Β και οι γραμμές 23 και 24 αφορούν τα αποτελέσματα της υδροταξινομήσης των υλικών με υδροκυκλώνα.

Επίσης, αναγράφονται τα μερικά σύνολα των κλασμάτων. Πιο συγκεκριμένα, οι γραμμές 12 αντιστοιχούν στο συνολικό βάρος του υλικού με μέγεθος κόκκων μεγαλύτερο από 0.300 mm (κλάσμα $-9.5+0.300$ mm) και οι γραμμές 22 αντιστοιχούν στο συνολικό βάρος του υλικού με μέγεθος κόκκων μικρότερο από 0.300 mm, όπου λάβαμε από τις δύο ξηρές κοσκινίσεις. Επίσης, οι γραμμές 25 αντιστοιχούν στο συνολικό βάρος του υλικού που υδροταξινομήθηκε (U/F+O/F).

Εάν αθροίσουμε τα μερικά σύνολα των κλασμάτων (σύνολο Α + σύνολο Β + σύνολο Γ) τότε προκύπτει το συνολικό βάρος του υλικού, το οποίο αναγράφεται στις γραμμές 26.

Αντίστοιχα στους πίνακες 2 έως 4, στις στήλες 1 αναγράφεται το μέγεθος του κόσκινου επί του οποίου παρέμεινε το κλάσμα του υλικού σε mm, ενώ στις στήλες 2 έως 10 αναγράφεται το βάρος του κάθε κλάσματος σε g που μετρήσαμε, για κάθε χρόνο λειοτρίβησης και για χρησιμοποιούμενες ράβδους διαμέτρου 22, 16 και 10 mm.

Οι γραμμές 1 έως 11 αφορούν τα αποτελέσματα της ξηρής κοσκίνισης Α, οι γραμμές 12 έως 20 αφορούν την ξηρή κοσκίνιση Β και οι γραμμές 21 και 22 αφορούν τα αποτελέσματα της υδροταξινομήσης των υλικών με υδροκυκλώνα.

Επίσης, οι γραμμές 10 αντιστοιχούν στο συνολικό βάρος του υλικού με μέγεθος κόκκων μεγαλύτερο από 0.300 mm (κλάσμα $-4.75+0.300$ mm) και οι γραμμές 20 αντιστοιχούν στο συνολικό βάρος του υλικού με μέγεθος κόκκων μικρότερο από 0.300 mm, όπου λάβαμε από τις δύο ξηρές κοσκινίσεις. Οι γραμμές 23 αντιστοιχούν στο συνολικό βάρος του υλικού που υδροταξινομήθηκε (U/F+O/F).

Εάν αθροίσουμε τα μερικά σύνολα των κλασμάτων (σύνολο Α + σύνολο Β + σύνολο Γ) τότε προκύπτει το συνολικό βάρος του υλικού, το οποίο αναγράφεται στις γραμμές 24.

Από τον πίνακα 1 λαμβάνουμε τον συνολικό πίνακα κοκκομετρικής ανάλυσης (πίνακας 5), της διαδικασίας της λειοτρίβησης για το κλάσμα $-8.0+5.6$ mm. Στον τελευταίο πίνακα, η γραμμή 11 (μέγεθος 0.300 mm) προέκυψε αθροίζοντας τα συγκεκριμένα κλάσματα των δύο κοσκινίσεων και οι γραμμές 18, 19 από το μέγεθος το οποίο ταξινομεί ο κυκλώνας το σημείο το οποίο “κόβει” ο κυκλώνας (cut point, d_{50}) είναι 0.010 mm. Επίσης, για χρόνο λειοτρίβησης 2.5 min η γραμμή 12 αναφέρεται στο βάρος του υλικού που είναι μικρότερο από 0.300 mm (-0.300 mm), ενώ για χρόνο λειοτρίβησης 10 min με ράβδους 10 mm η γραμμή 14 αναφέρεται στο βάρος του υλικού με μέγεθος -0.150 mm.

Αντίστοιχα, από τους πίνακες 2 έως 4 λαμβάνουμε τους συνολικούς πίνακες κοκκομετρικής ανάλυσης (πίνακες 6 έως 8), της διαδικασίας της λειοτρίβησης για τα τρία επόμενα κλάσματα. Οι γραμμές 9 (μέγεθος 0.300 mm) προέκυψαν αθροίζοντας

τα συγκεκριμένα κλάσματα των δύο κοσκινίσεων και οι γραμμές 16, 17 από το μέγεθος το οποίο ταξινομεί ο κυκλώνας.

Επίσης, τα βάρη των κλασμάτων που μετρήσαμε για κάθε χρόνο λειοτρίβησης και για συγκεκριμένης διαμέτρου ράβδους μπορούμε να τα αναγάγουμε σε ποσοστό %. Έτσι, στους πίνακες 9 έως 12 αναγράφεται το βάρος % κάθε κλάσματος για κάθε χρόνο λειοτρίβησης και για συγκεκριμένης διαμέτρου ράβδων που χρησιμοποιήθηκαν.

Πίνακας 1 : Πίνακας κοκκομετρικής ανάλυσης του κλάσματος -8.0+5.6 mm με χρησιμοποιούμενες ράβδους διαμέτρου 22, 16 και 10 mm.

	Μέγεθος mm	Βάρος (g)					
		Φ22		Φ16		Φ10	
		2.5 min	10 min	2.5 min	10 min	2.5 min	10 min
1		2	3	4	5	6	7
1	9.500	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0
2	6.700	208.5	0.5	325.6	27.2	502.7	390.6
3	4.750	374.6	2.9	402.4	105.2	404.5	406.7
4	3.350	134.6	3.9	85.3	101.2	32.8	52.4
5	2.360	65.5	9.5	36.4	66.6	11.2	16.7
6	1.700	36.1	25.8	19	42.6	5.5	7.2
7	1.180	33.6	111.2	16.1	49.4	4.2	3.5
8	0.850	21.3	117.2	10.7	39.7	2	1.6
9	0.600	22.5	141.5	12.8	60.9	2.1	1.4
10	0.425	18.4	120.2	12.7	65.3	2.2	1.4
11	0.300	15.1	92.6	12	67.2	2.6	1.8
12	Σύνολο Α	930.2	625.3	933.0	625.3	969.8	883.3
13	-0.300	69.8	136.0	67	132.9	30.2	116.7
14	0.300		1.2		1.2		0.0
15	0.212		102.0		94.3		3.1
16	0.150		85.7		92.9		5.0
17	0.106		45.2		50.7		108.6
18	0.075		35.5		40.2		
19	0.053		24.7		21.5		
20	0.038		15.7		10.9		
21	-0.038		3.0		3.7		
22	Σύνολο Β		313.0		315.4		
23	U/F		32.5		29.8		
24	O/F		18.5		18.6		
25	Σύνολο Γ		51.0		48.4		
26	Σύνολο	1000.0	989.3	1000.0	989.1	1000.0	1000.0

ΞΗΡΗ ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ Α

ΞΗΡΗ ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ Β

Πίνακας 2 : Πίνακας κοκκομετρικής ανάλυσης του κλάσματος -4.75+3.35 mm με χρησιμοποιούμενες ράβδους διαμέτρου 22, 16 και 10 mm.

		Βάρος (g)									
	Μέγεθος mm	Φ22			Φ16			Φ10			
		2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	4.750	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	5.0	1.6	0.0	ΞΗΡΗ ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ Α
2	3.350	299.7	65.3	0.0	437.6	117.7	1.8	619.4	557.8	397.0	
3	2.360	254.4	193.9	1.1	189.4	225.0	14.4	163.6	146.4	162.7	
4	1.700	122.3	157.5	9.6	90.5	130.3	39.7	52.5	56.1	64.2	
5	1.180	98.7	153.2	105.6	73.4	119.2	135.6	33.2	34.7	35.3	
6	0.850	49.3	84.1	151.7	40.7	66.6	127.0	16.2	16.1	14.9	
7	0.600	43.3	82.4	172.4	37.3	70.2	136.4	15.0	16.4	15.9	
8	0.425	31.4	60.1	124.4	28.9	55.8	109.2	14.8	18.7	18.0	
9	0.300	21.4	43.3	90.5	21.6	43.7	83.9	12.9	18.4	23.6	
10	Σύνολο Α	920.5	839.8	655.3	920.4	829.5	648.0	932.6	866.2	731.6	
11	-0.300	10.1	42.7	115.7	19.8	38.7	94.4	16.7	21.2	17.0	ΞΗΡΗ ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ Β
12	0.300	0.5	0.5	0.7	0.3	0.6	0.9	0.2	0.3	0.4	
13	0.212	18.3	37.3	104.1	18.3	39.4	101.0	12.8	21.7	33.7	
14	0.150	13.6	29.3	56.9	14.5	32.3	66.3	12.1	23.0	69.2	
15	0.106	10.0	22.1	45.1	10.9	23.8	52.3	9.5	20.5	38.1	
16	0.075	8.5	17.6	45.7	9.2	20.0	39.0	7.9	20.8	38.8	
17	0.053	7.2	14.9	26.3	7.8	16.5	23.7	7.5	14.4	21.1	
18	0.038	4.8	8.6	13.8	5.1	8.5	11.6	3.3	6.4	9.9	
19	-0.038	0.9	2.4	4.7	1.3	2.3	3.9	0.5	1.0	1.8	
20	Σύνολο Β	63.8	132.7	297.3	67.4	143.4	298.7	53.8	108.1	213.0	
21	U/F	6.1	11.4	22.8	6.9	13.6	25.2	9.4	16.0	32.1	ΣΥΝΟΛΟ Γ
22	O/F	4.4	8.0	17.9	4.6	9.1	19.8	4.4	9.3	17.8	
23	Σύνολο Γ	10.5	19.4	40.7	11.6	22.7	45.0	13.8	25.3	49.9	
24	Σύνολο	994.8	991.9	993.3	999.4	995.6	991.7	1000.2	999.6	994.5	

Πίνακας 3 : Πίνακας κοκκομετρικής ανάλυσης του κλάσματος -1.7+1.18 mm με χρησιμοποιούμενες ράβδους διαμέτρου 22, 16 και 10 mm.

		Βάρος (g)								
Μέγεθος mm		Φ22			Φ16			Φ10		
		2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4.750	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	3.350	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	2.360	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	1.700	1.2	0.2	0.0	1.6	0.4	0.0	1.8	0.0	0.0
5	1.180	440.3	132.1	3.1	362.2	95.2	2.1	454.5	176.2	20.2
6	0.850	255.2	294.7	51.8	264.7	275.0	36.7	229.1	269.4	115.5
7	0.600	116.8	198.9	241.7	142.2	223.0	213.0	113.3	187.4	211.4
8	0.425	61.7	115.7	195.9	74.8	120.3	202.6	62.4	106.3	163.7
9	0.300	35.1	68.9	124.8	44.1	73.5	131.6	37.8	65.6	110.8
10	Σύνολο Α	910.3	810.5	617.3	889.6	787.4	586.0	898.9	804.9	621.6
11	-0.300	10.1	21.8	55.5	37.5	103.1	200.0	39.8	110.0	124.0
12	0.300	0.4	0.8	1.0	0.5	0.9	1.6	0.6	0.9	1.6
13	0.212	23.7	49.8	118.3	30.8	63.9	119.6	27.6	50.5	110.9
14	0.150	16.7	37.8	86.7	21.6	39.4	116.2	19.5	41.4	100.2
15	0.106	11.0	24.3	45.0	14.5	26.5	46.0	13.3	27.3	38.6
16	0.075	10.5	22.3	40.6	11.5	23.2	38.7	10.0	23.7	35.1
17	0.053	6.6	12.4	19.2	9.0	16.7	20.2	8.2	14.7	20.5
18	0.038	4.3	7.7	11.9	5.3	7.8	11.2	4.8	7.0	9.9
19	-0.038	0.6	1.3	2.9	1.4	2.2	3.7	1.0	1.8	2.7
20	Σύνολο Β	73.8	156.4	325.6	94.6	180.6	357.2	85.0	167.3	319.5
21	U/F	6.7	13.0	27.3	8.1	14.4	29.2	7.8	13.9	28.2
22	O/F	5.6	7.8	17.9	5.9	10.6	19.6	5.5	10.1	19.1
23	Σύνολο Γ	12.3	20.8	45.2	14.0	25.0	48.7	13.3	24.0	47.3
24	Σύνολο	996.4	987.7	988.1	998.2	993.0	991.9	997.2	996.2	988.4

Πίνακας 4 : Πίνακας κοκκομετρικής ανάλυσης του κλάσματος -0.6+0.425 mm με χρησιμοποιούμενες ράβδους διαμέτρου 22, 16 και 10 mm.

		Βάρος (g)									
	Μέγεθος mm	Φ22			Φ16			Φ10			
		2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	4.750	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	ΞΗΡΗ ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ Α
2	3.350	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
3	2.360	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
4	1.700	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
5	1.180	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
6	0.850	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	
7	0.600	2.0	0.8	0.0	0.9	0.5	0.2	2.4	1.3	1.4	
8	0.425	689.4	483.2	149.3	679.9	491.7	212.0	699.8	557.5	195.3	
9	0.300	158.5	233.4	309.0	148.5	200.0	292.3	105.8	170.7	323.3	
10	Σύνολο Α	850.4	717.6	458.3	829.3	692.2	504.5	808.2	729.5	520.0	
11	-0.300	60.0	82.7	141.2	68.3	133.0	204.5	18.2	111.9	164.6	ΞΗΡΗ ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ Β
12	0.300	1.5	1.5	4.3	1.7	3.6	2.0	1.8	1.4	2.3	
13	0.212	56.3	105.6	192.2	60.8	126.2	146.1	74.5	92.3	161.3	
14	0.150	31.7	59.6	132.5	36.8	62.9	135.4	38.9	55.3	130.1	
15	0.106	15.5	29.6	55.1	21.1	31.6	61.4	20.1	32.0	51.1	
16	0.075	10.7	22.0	50.2	15.3	25.0	51.8	13.2	25.8	36.4	
17	0.053	8.6	15.8	27.3	10.2	11.9	24.2	10.1	16.8	24.0	
18	0.038	4.7	7.9	15.0	4.9	6.1	12.1	6.0	8.6	12.6	
19	-0.038	0.7	1.5	2.4	0.7	0.9	3.0	1.0	1.7	2.5	
20	Σύνολο Β	129.7	243.5	479.0	151.5	268.2	436.0	165.6	233.9	420.3	
21	U/F	5.7	10.5	20.3	9.1	16.6	32.2	10.7	19.1	34.7	ΞΗΡΗ ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ Γ
22	O/F	7.1	15.6	32.5	6.6	12.3	21.7	7.5	12.8	23.1	
23	Σύνολο Γ	12.8	26.1	52.8	15.7	28.9	53.9	18.2	31.9	57.8	
24	Σύνολο	992.9	987.2	990.1	996.5	989.3	994.4	992.0	995.3	998.1	

Πίνακας 5 : Συνολικός πίνακας κοκκομετρικής ανάλυσης του κλάσματος -8.0+5.6 mm με ράβδους διαμέτρου 22, 16 και 10 mm.

		Βάρος (g)					
		Φ22		Φ16		Φ10	
		Μέγεθος μm					
		2.5 min	10 min	2.5 min	10 min	2.5 min	10 min
1	9500	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	6700	208.5	0.5	325.6	27.2	502.7	390.6
3	4750	374.6	2.9	402.4	105.2	404.5	406.7
4	3350	134.6	3.9	85.3	101.2	32.8	52.4
5	2360	65.5	9.5	36.4	66.6	11.2	16.7
6	1700	36.1	25.8	19.0	42.6	5.5	7.2
7	1180	33.6	111.2	16.1	49.4	4.2	3.5
8	850	21.3	117.2	10.7	39.7	2.0	1.6
9	600	22.5	141.5	12.8	60.9	2.1	1.4
10	425	18.4	120.2	12.7	65.3	2.2	1.4
11	300	15.1	93.8	12.0	68.4	2.6	1.8
12	212	69.8	102	67.0	94.3	30.2	3.1
13	150		85.7		92.9		5.0
14	106		45.2		50.7		108.6
15	75		35.5		40.2		
16	53		24.7		21.5		
17	38		15.7		10.9		
18	10		35.5		33.5		
19	0		18.5		18.6		
20	Σύνολο	1000	989.3	1000	989.1	1000	1000

Πίνακας 6 : Συνολικός πίνακας κοκκομετρικής ανάλυσης του κλάσματος
-4.75+3.35 mm με ράβδους διαμέτρου 22, 16 και 10 mm.

		Βάρος (g)								
	Μέγεθος μm	Φ22			Φ16			Φ10		
		2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min
1	4750	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	5.0	1.6	0.0
2	3350	299.7	65.3	0.0	437.6	117.7	1.8	619.4	557.8	397.0
3	2360	254.4	193.9	1.1	189.4	225.0	14.4	163.6	146.4	162.7
4	1700	122.3	157.5	9.6	90.5	130.3	39.7	52.5	56.1	64.2
5	1180	98.7	153.2	105.6	73.4	119.2	135.6	33.2	34.7	35.3
6	850	49.3	84.1	151.7	40.7	66.6	127.0	16.2	16.1	14.9
7	600	43.3	82.4	172.4	37.3	70.2	136.4	15.0	16.4	15.9
8	425	31.4	60.1	124.4	28.9	55.8	109.2	14.8	18.7	18.0
9	300	21.9	43.8	91.2	21.9	44.3	84.8	13.1	18.7	24.0
10	212	18.3	37.3	104.1	18.3	39.4	101.0	12.8	21.7	33.7
11	150	13.6	29.3	56.9	14.5	32.3	66.3	12.1	23.0	69.2
12	106	10.0	22.1	45.1	10.9	23.8	52.3	9.5	20.5	38.1
13	75	8.5	17.6	45.7	9.2	20.0	39.0	7.9	20.8	38.8
14	53	7.2	14.9	26.3	7.8	16.5	23.7	7.5	14.4	21.1
15	38	4.8	8.6	13.8	5.1	8.5	11.6	3.3	6.4	9.9
16	10	7.0	13.8	27.5	8.2	15.9	29.1	9.9	17.0	33.9
17	0	4.4	8.0	17.9	4.6	9.1	19.8	4.4	9.3	17.8
18	Σύνολο	994.8	991.9	993.3	999.4	995.6	991.7	1000.2	999.6	994.5

Πίνακας 7 : Συνολικός πίνακας κοκκομετρικής ανάλυσης του κλάσματος
-1.7+1.18 mm με ράβδους διαμέτρου 22, 16 και 10 mm.

		Βάρος (g)								
	Μέγεθος μm	Φ22			Φ16			Φ10		
		2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min
1	4750	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	3350	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	2360	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	1700	1.2	0.2	0.0	1.6	0.4	0.0	1.8	0.0	0.0
5	1180	440.3	132.1	3.1	362.2	95.2	2.1	454.5	176.2	20.2
6	850	255.2	294.7	51.8	264.7	275.0	36.7	229.1	269.4	115.5
7	600	116.8	198.9	241.7	142.2	223.0	213.0	113.3	187.4	211.4
8	425	61.7	115.7	195.9	74.8	120.3	202.6	62.4	106.3	163.7
9	300	35.5	69.7	125.8	44.6	74.4	133.2	38.4	66.5	112.4
10	212	23.7	49.8	118.3	30.8	63.9	119.6	27.6	50.5	110.9
11	150	16.7	37.8	86.7	21.6	39.4	116.2	19.5	41.4	100.2
12	106	11.0	24.3	45.0	14.5	26.5	46.0	13.3	27.3	38.6
13	75	10.5	22.3	40.6	11.5	23.2	38.7	10.0	23.7	35.1
14	53	6.6	12.4	19.2	9.0	16.7	20.2	8.2	14.7	20.5
15	38	4.3	7.7	11.9	5.3	7.8	11.2	4.8	7.0	9.9
16	10	7.3	14.3	30.2	9.5	16.6	32.9	8.8	15.7	30.9
17	0	5.6	7.8	17.9	5.9	10.6	19.6	5.5	10.1	19.1
18	Σύνολο	996.4	987.7	988.1	998.2	993.0	991.9	997.2	996.2	988.4

Πίνακας 8 : Συνολικός πίνακας κοκκομετρικής ανάλυσης του κλάσματος
-0.6+0.425 mm με ράβδους διαμέτρου 22, 16 και 10 mm.

	Μέγεθος μm	Βάρος (g)								
		Φ22			Φ16			Φ10		
		2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min
1	4750	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	3350	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	2360	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	1700	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	1180	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	850	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
7	600	2.0	0.8	0.0	0.9	0.5	0.2	2.4	1.3	1.4
8	425	689.4	483.2	149.3	679.9	491.7	212.0	699.8	557.5	195.3
9	300	160.0	234.9	313.3	150.2	203.6	294.3	107.6	172.1	325.6
10	212	56.3	105.6	192.2	60.8	126.2	146.1	74.5	92.3	161.3
11	150	31.7	59.6	132.5	36.8	62.9	135.4	38.9	55.3	130.1
12	106	15.5	29.6	55.1	21.1	31.6	61.4	20.1	32.0	51.1
13	75	10.7	22.0	50.2	15.3	25.0	51.8	13.2	25.8	36.4
14	53	8.6	15.8	27.3	10.2	11.9	24.2	10.1	16.8	24.0
15	38	4.7	7.9	15.0	4.9	6.1	12.1	6.0	8.6	12.6
16	10	6.4	12.0	22.7	9.8	17.5	35.2	11.7	20.8	37.2
17	0	7.1	15.6	32.5	6.6	12.3	21.7	7.5	12.8	23.1
18	Σύνολο	992.9	987.2	990.1	996.5	989.3	994.4	992.0	995.3	998.1

Πίνακας 9 :Απλή κατανομή βάρους του κλάσματος –8.0+5.6 mm με ράβδους
διαμέτρου 22, 16 και 10 mm.

Μέγεθος μm	Βάρος %					
	Φ22		Φ16		Φ10	
	2.5 min	10 min	2.5 min	10 min	2.5 min	10 min
9500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6700	20.85	0.05	32.56	2.75	50.27	39.06
4750	37.46	0.29	40.24	10.64	40.45	40.67
3350	13.46	0.39	8.53	10.23	3.28	5.24
2360	6.55	0.96	3.64	6.73	1.12	1.67
1700	3.61	2.61	1.90	4.31	0.55	0.72
1180	3.36	11.24	1.61	4.99	0.42	0.35
850	2.13	11.85	1.07	4.01	0.20	0.16
600	2.25	14.30	1.28	6.16	0.21	0.14
425	1.84	12.15	1.27	6.60	0.22	0.14
300	1.51	9.48	1.20	6.92	0.26	0.18
212	6.98	10.31	6.70	9.53	3.02	0.31
150		8.66		9.39		0.50
106		4.57		5.13		10.86
75		3.59		4.06		
53		2.50		2.17		
38		1.59		1.10		
10		3.59		3.39		
0		1.87		1.88		
Σύνολο	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Πίνακας 10 : Απλή κατανομή βάρους του κλάσματος $-4.75+3.35$ mm με ράβδους διαμέτρου 22, 16 και 10 mm.

Μέγεθος μm	Βάρος %								
	$\Phi 22$			$\Phi 16$			$\Phi 10$		
	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min
4750	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.00	0.50	0.16	0.00
3350	30.13	6.58	0.00	43.79	11.82	0.18	61.93	55.80	39.92
2360	25.57	19.55	0.11	18.95	22.60	1.45	16.36	14.65	16.36
1700	12.29	15.88	0.97	9.06	13.09	4.00	5.25	5.61	6.46
1180	9.92	15.45	10.63	7.34	11.97	13.67	3.32	3.47	3.55
850	4.96	8.48	15.27	4.07	6.69	12.81	1.62	1.61	1.50
600	4.35	8.31	17.36	3.73	7.05	13.75	1.50	1.64	1.60
425	3.16	6.06	12.52	2.89	5.60	11.01	1.48	1.87	1.81
300	2.20	4.42	9.18	2.19	4.45	8.55	1.31	1.87	2.41
212	1.84	3.76	10.48	1.83	3.96	10.18	1.28	2.17	3.39
150	1.37	2.95	5.73	1.45	3.24	6.69	1.21	2.30	6.96
106	1.01	2.23	4.54	1.09	2.39	5.27	0.95	2.05	3.83
75	0.85	1.77	4.60	0.92	2.01	3.93	0.79	2.08	3.90
53	0.72	1.50	2.65	0.78	1.66	2.39	0.75	1.44	2.12
38	0.48	0.87	1.39	0.51	0.85	1.17	0.33	0.64	1.00
10	0.70	1.39	2.77	0.82	1.60	2.93	0.99	1.70	3.41
0	0.44	0.81	1.80	0.46	0.91	2.00	0.44	0.93	1.79
Σύνολο	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Πίνακας 11 : Απλή κατανομή βάρους του κλάσματος $-1.7+1.18$ mm με ράβδους
διαμέτρου 22, 16 και 10 mm.

Μέγεθος μm	Βάρος %								
	$\Phi 22$			$\Phi 16$			$\Phi 10$		
	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min
4750	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3350	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2360	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1700	0.12	0.02	0.00	0.16	0.04	0.00	0.18	0.00	0.00
1180	44.19	13.37	0.31	36.29	9.59	0.21	45.58	17.69	2.04
850	25.61	29.84	5.24	26.52	27.69	3.70	22.97	27.04	11.69
600	11.72	20.14	24.46	14.25	22.46	21.47	11.36	18.81	21.39
425	6.19	11.71	19.83	7.49	12.11	20.42	6.26	10.67	16.56
300	3.56	7.06	12.73	4.47	7.49	13.43	3.85	6.68	11.37
212	2.38	5.04	11.97	3.09	6.44	12.06	2.77	5.07	11.22
150	1.68	3.83	8.77	2.16	3.97	11.71	1.96	4.16	10.14
106	1.10	2.46	4.55	1.45	2.67	4.64	1.33	2.74	3.91
75	1.05	2.26	4.11	1.15	2.34	3.90	1.00	2.38	3.55
53	0.66	1.26	1.94	0.90	1.68	2.04	0.82	1.48	2.07
38	0.43	0.78	1.20	0.53	0.79	1.13	0.48	0.70	1.00
10	0.73	1.45	3.06	0.95	1.67	3.31	0.88	1.58	3.13
0	0.56	0.79	1.81	0.59	1.07	1.97	0.55	1.01	1.93
Σύνολο	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

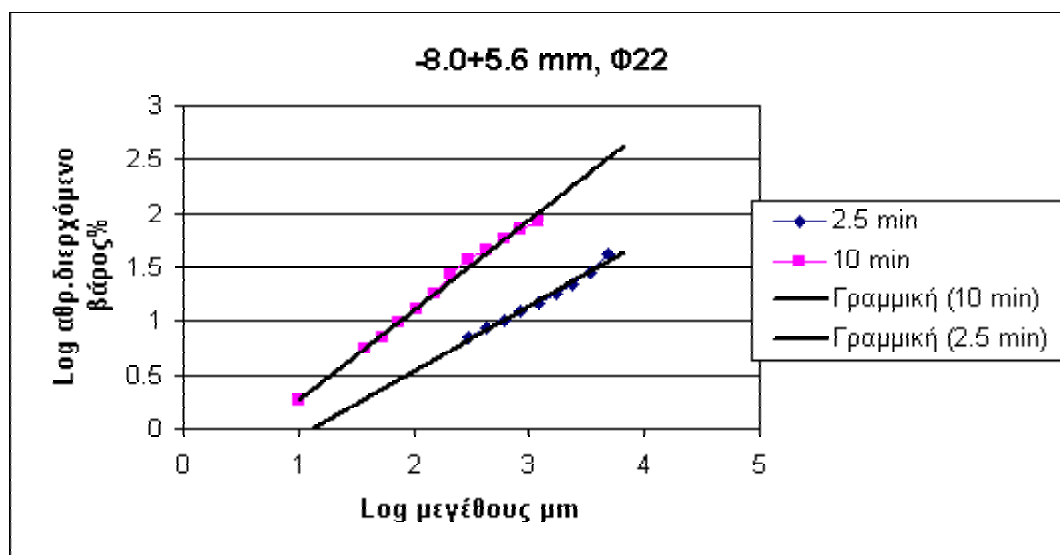
Πίνακας 12 :Απλή κατανομή βάρους του κλάσματος $-0.6+0.425$ mm με ράβδους διαμέτρου 22, 16 και 10 mm.

Μέγεθος μm	Βάρος %								
	$\Phi 22$			$\Phi 16$			$\Phi 10$		
	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min
4750	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3350	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2360	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1700	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1180	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
850	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
600	0.20	0.08	0.00	0.09	0.05	0.02	0.24	0.13	0.14
425	69.43	48.95	15.08	68.23	49.70	21.32	70.54	56.01	19.57
300	16.11	23.79	31.64	15.07	20.58	29.60	10.85	17.29	32.62
212	5.67	10.70	19.41	6.10	12.76	14.69	7.51	9.27	16.16
150	3.19	6.04	13.38	3.69	6.36	13.62	3.92	5.56	13.04
106	1.56	3.00	5.57	2.12	3.19	6.17	2.03	3.22	5.12
75	1.08	2.23	5.07	1.54	2.53	5.21	1.33	2.59	3.65
53	0.87	1.60	2.76	1.02	1.20	2.43	1.02	1.69	2.40
38	0.47	0.80	1.51	0.49	0.62	1.22	0.60	0.86	1.26
10	0.64	1.22	2.29	0.98	1.77	3.54	1.18	2.09	3.72
0	0.72	1.58	3.28	0.66	1.24	2.18	0.76	1.28	2.31
Σύνολο	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

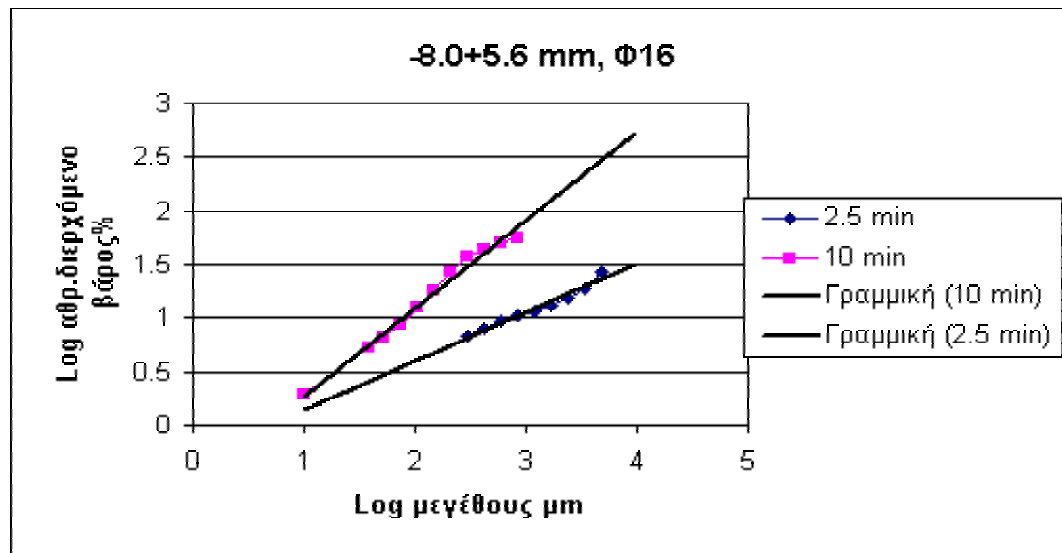
B.2 Υπολογισμός κλίσης α

Για τον υπολογισμό των κλίσεων α εργαστήκαμε ως εξής. Αρχικά λογαριθμήσαμε τις τιμές των πινάκων αθροιστικού διερχόμενου βάρους συναρτήσει του μεγέθους, οπότε προέκυψαν οι αντίστοιχοι πίνακες με τις λογαριθμισμένες τιμές. Κατόπιν, παραστήσαμε γραφικώς το αθροιστικώς διερχόμενο βάρος (Log αθρ. διερχόμενο βάρος %) συναρτήσει του μεγέθους (Log μέγεθος μm). Τα σημεία που έτειναν ασυμπτωτικά στο 100 παραλήφθηκαν, οπότε από τις ευθείες γραμμές που λάβαμε (διαγράμματα 1 έως 12) υπολογίσαμε τις κλίσεις τους. Τα διαγράμματα 1 έως 12 παρουσιάζονται παρακάτω.

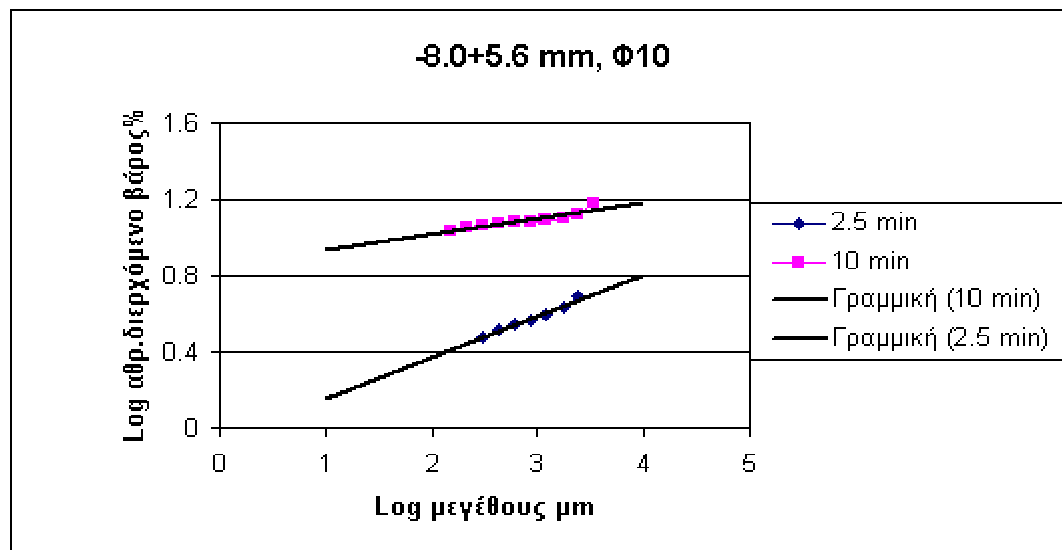
Διάγραμμα 1 : Οι καμπύλες του Log αθρ. διερχόμενου βάρους % σε συνάρτηση με το Log μέγεθος του κλάσματος $-8.0+5.6 \text{ mm}$ με ράβδους 22 mm και οι γραμμικές των καμπυλών.



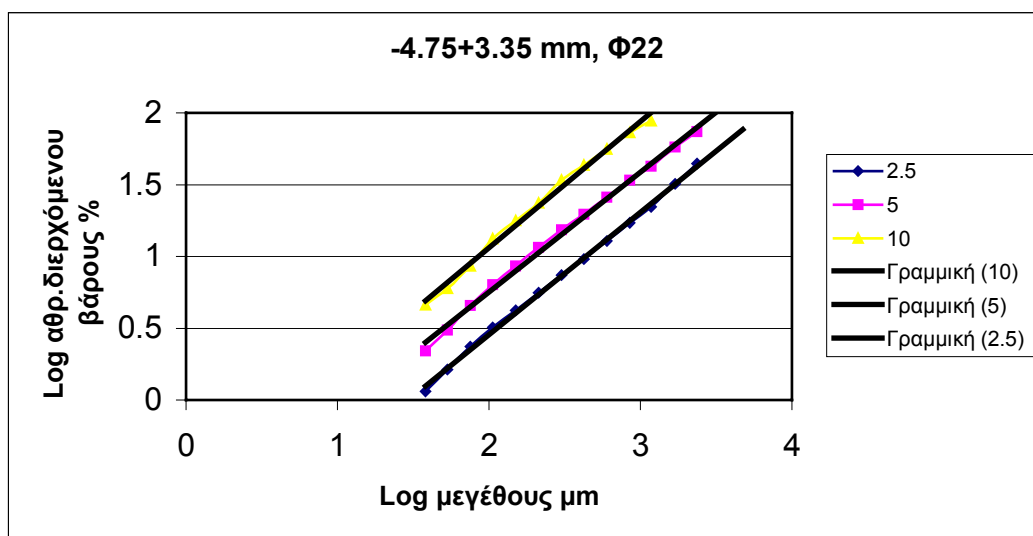
Διάγραμμα 2 : Οι καμπύλες του Log αθρ. διερχόμενου βάρους % σε συνάρτηση με το Log μέγεθος του κλάσματος $-8.0+5.6$ mm με ράβδους 16 mm και οι γραμμικές των καμπυλών.



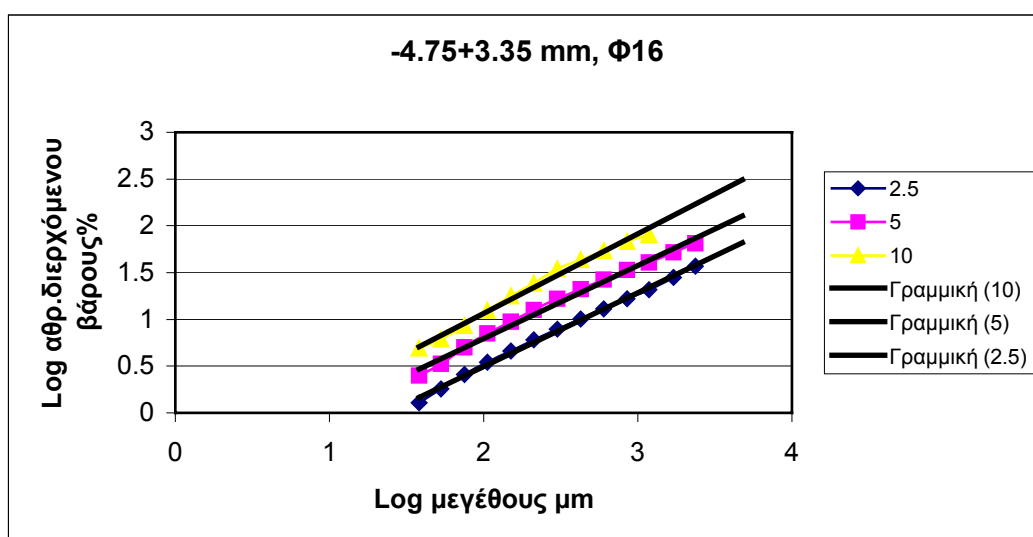
Διάγραμμα 3 : Οι καμπύλες του Log αθρ. διερχόμενου βάρους % σε συνάρτηση με το Log μέγεθος του κλάσματος $-8.0+5.6$ mm με ράβδους 10 mm και οι γραμμικές των καμπυλών.



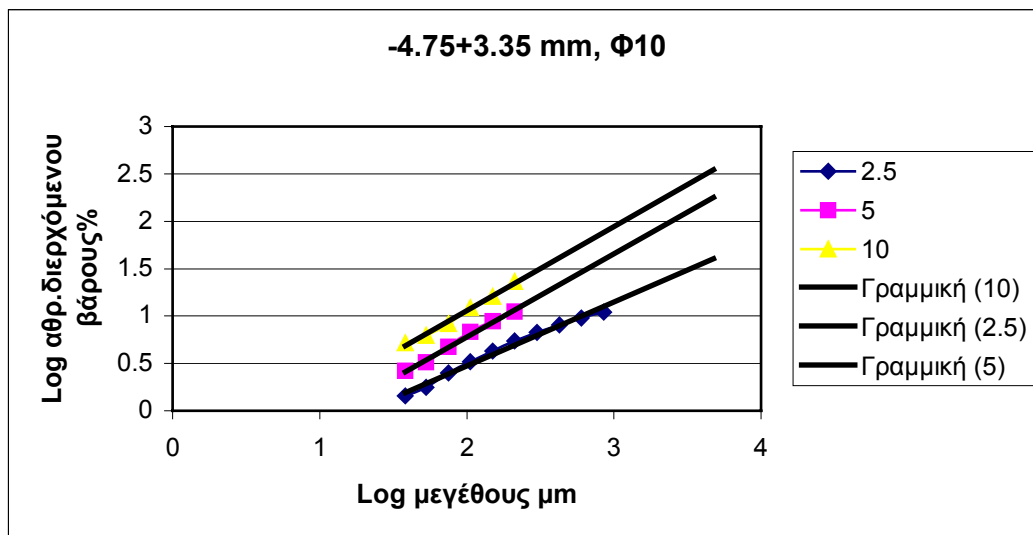
Διάγραμμα 4 : Οι καμπύλες του Log αθρ. διερχόμενου βάρους % σε συνάρτηση με το Log μέγεθος του κλάσματος $-4.75+3.35$ mm με ράβδους 22 mm και οι γραμμικές των καμπυλών.



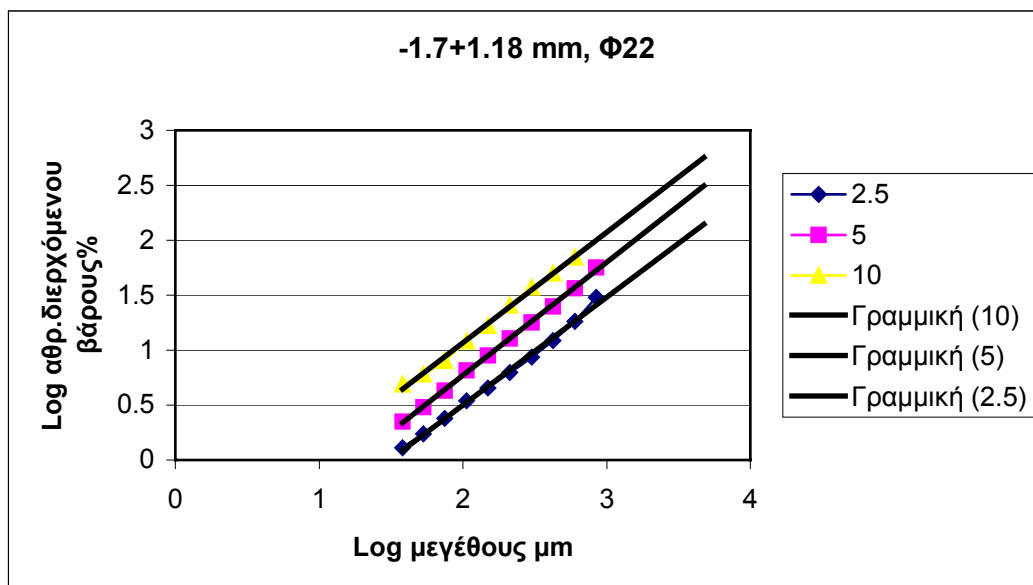
Διάγραμμα 5 : Οι καμπύλες του Log αθρ. διερχόμενου βάρους % σε συνάρτηση με το Log μέγεθος του κλάσματος $-4.75+3.35$ mm με ράβδους 16 mm και οι γραμμικές των καμπυλών.



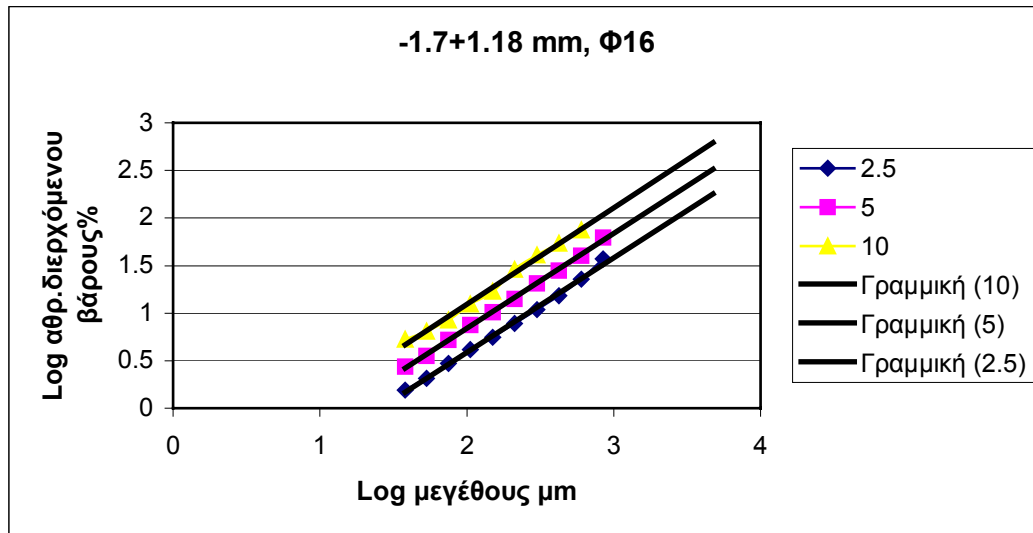
Διάγραμμα 6 : Οι καμπύλες του Log αθρ. διερχόμενου βάρους % σε συνάρτηση με το Log μέγεθος του κλάσματος $-4.75+3.35 \text{ mm}$ με ράβδους 10 mm και οι γραμμικές των καμπυλών.



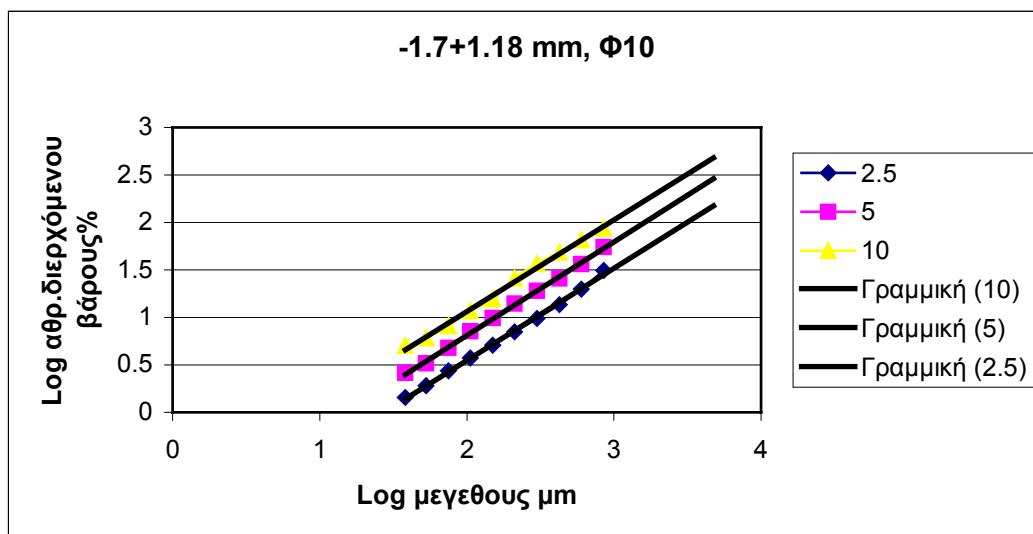
Διάγραμμα 7 : Οι καμπύλες του Log αθρ. διερχόμενου βάρους % σε συνάρτηση με το Log μέγεθος του κλάσματος $-1.7+1.18 \text{ mm}$ με ράβδους 22 mm και οι γραμμικές των καμπυλών.



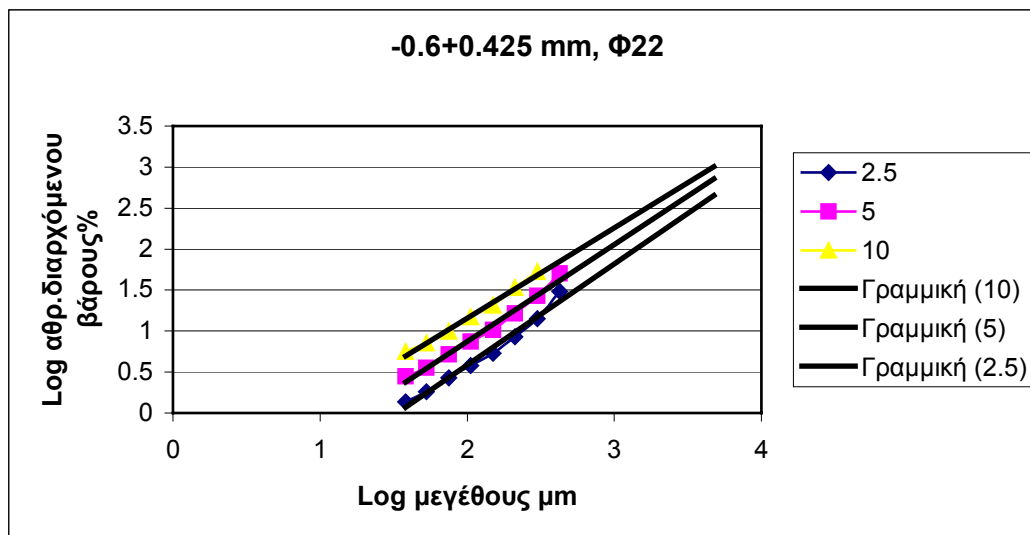
Διάγραμμα 8 : Οι καμπύλες του Log αθρ. διερχόμενου βάρους % σε συνάρτηση με το Log μέγεθος του κλάσματος $-1.7+1.18 \text{ mm}$ με ράβδους 16 mm και οι γραμμικές των καμπυλών.



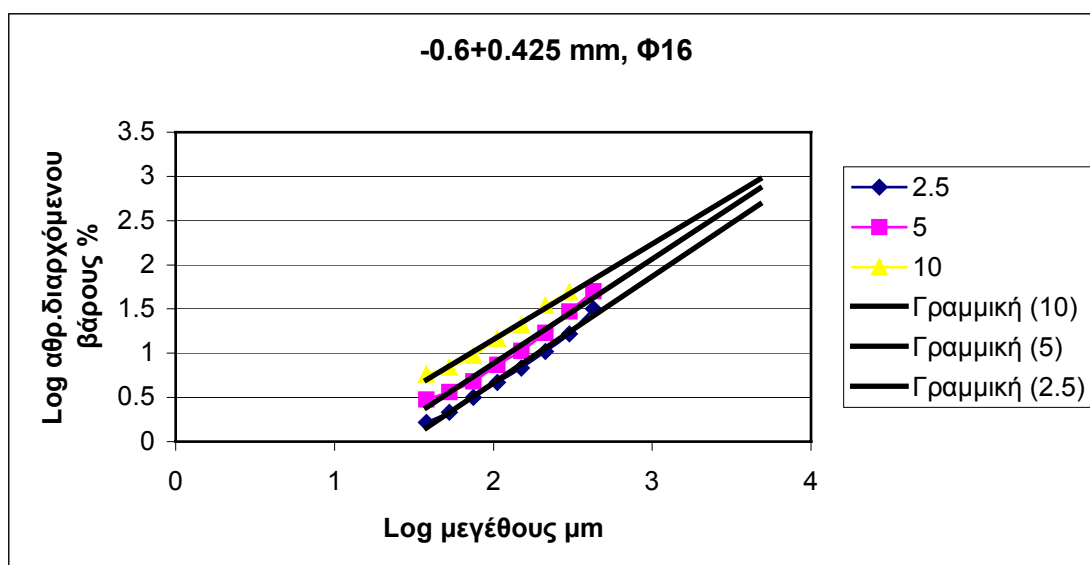
Διάγραμμα 9 : Οι καμπύλες του Log αθρ. διερχόμενου βάρους % σε συνάρτηση με το Log μέγεθος του κλάσματος $-1.7+1.18 \text{ mm}$ με ράβδους 10 mm και οι γραμμικές των καμπυλών.



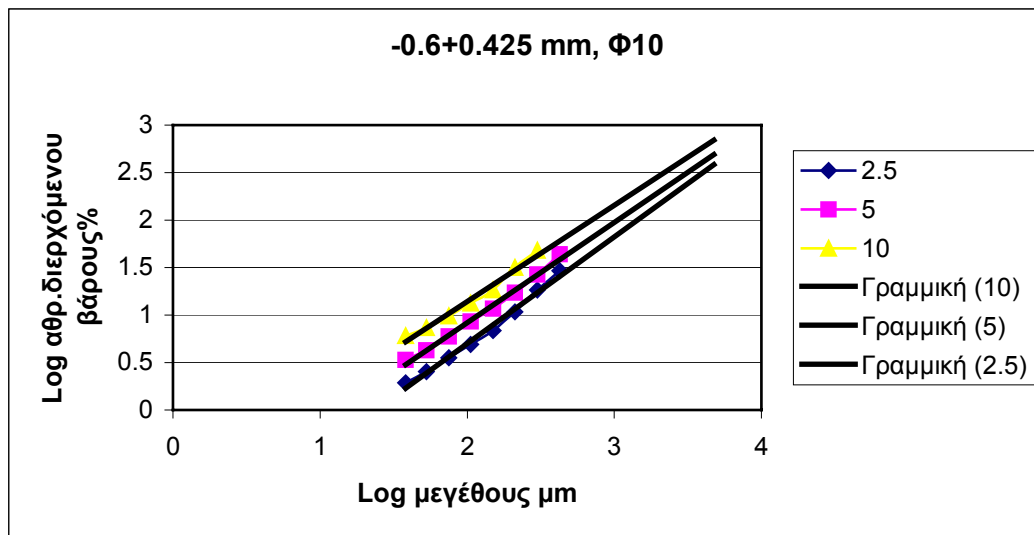
Διάγραμμα 10 : Οι καμπύλες του Log αθρ. διερχόμενου βάρους % σε συνάρτηση με το Log μέγεθος του κλάσματος $-0.6+0.425$ mm με ράβδους 22 mm και οι γραμμικές των καμπυλών.



Διάγραμμα 11 : Οι καμπύλες του Log αθρ. διερχόμενου βάρους % σε συνάρτηση με το Log μέγεθος του κλάσματος $-0.6+0.425$ mm με ράβδους 16 mm και οι γραμμικές των καμπυλών.



Διάγραμμα 12 : Οι καμπύλες του Log αθρ. διερχόμενου βάρους % σε συνάρτηση με το Log μέγεθος του κλάσματος $-0.6+0.425 \text{ mm}$ με ράβδους 10 mm και οι γραμμικές των καμπυλών.



B.3 Υπολογισμός του εκθέτη 2n-3 από την γραφική παράσταση της ειδικής ενέργειας συναρτήσει του μεγέθους

Για τον υπολογισμό της ειδικής ενέργειας e_x των υλικών εργαστήκαμε ως εξής. Παραστήσαμε γραφικώς το βάρος % αθροιστικώς διερχόμενο σε συνάρτηση με το χρόνο λειοτρίβησης (διαγράμματα 13 και 24) και υπολογίσαμε τις κλίσεις των ευθειών. Για αυτό το λόγο οι τιμές οι οποίες βρίσκονταν εκτός των αρχικών ευθειών των καμπύλων παραλήφθηκαν. Οι εν λόγω κλίσεις είχαν μονάδες βάρους % ανά χρόνο και μετατράπηκαν σε μονάδες ενέργειας (Kwh/ton), όπως παρουσιάζονται στους πίνακες 13 και 24 .

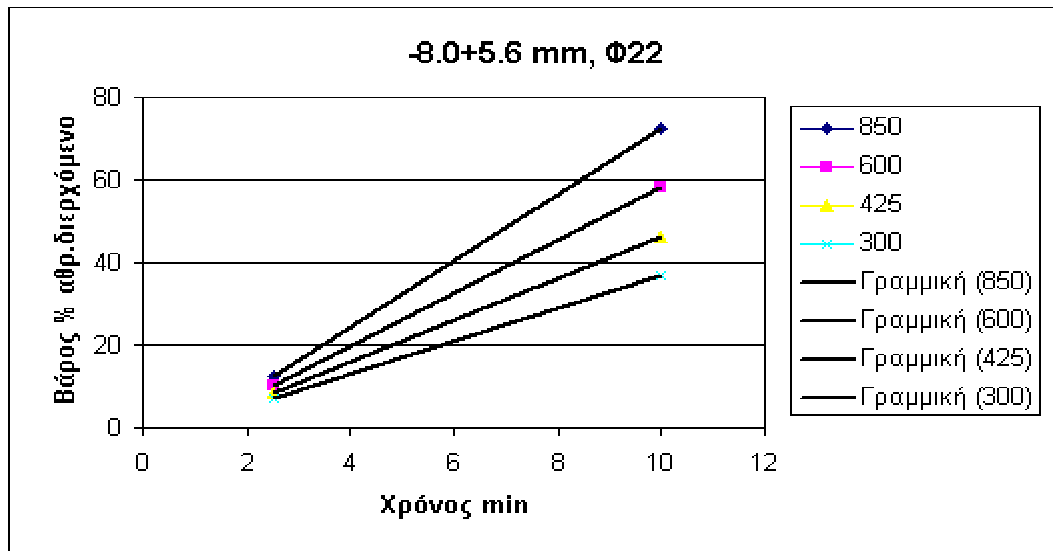
Σύμφωνα με τους παραπάνω πίνακες, οι στήλες 1 εμφανίζουν τα μεγέθη των κλασμάτων σε μm . Οι στήλες 2 παρουσιάζουν τις τιμές των κλίσεων που λάβαμε από τα αντίστοιχα διαγράμματα 13 έως 14 με μονάδες βάρος % / min, ενώ στις στήλες 3 μετατράπηκαν οι τιμές σε μονάδες Kg/min, διαιρώντας τις τιμές των στηλών 1 με 100.

Οι τιμές των στηλών 4 είναι οι αντίστροφες των στηλών 3 με μονάδες min/Kg, ενώ οι τιμές στις στήλες 5 μετατράπηκαν σε μονάδες joule/Kg, πολλαπλασιάζοντας τις τιμές των στηλών 4 με το 1200, λόγω της σχέσης $1\text{joule} = 1\text{watt} \cdot 1\text{sec}$ και δεδομένου ότι η καθαρή ισχύς του μύλου είναι 20 Watt.

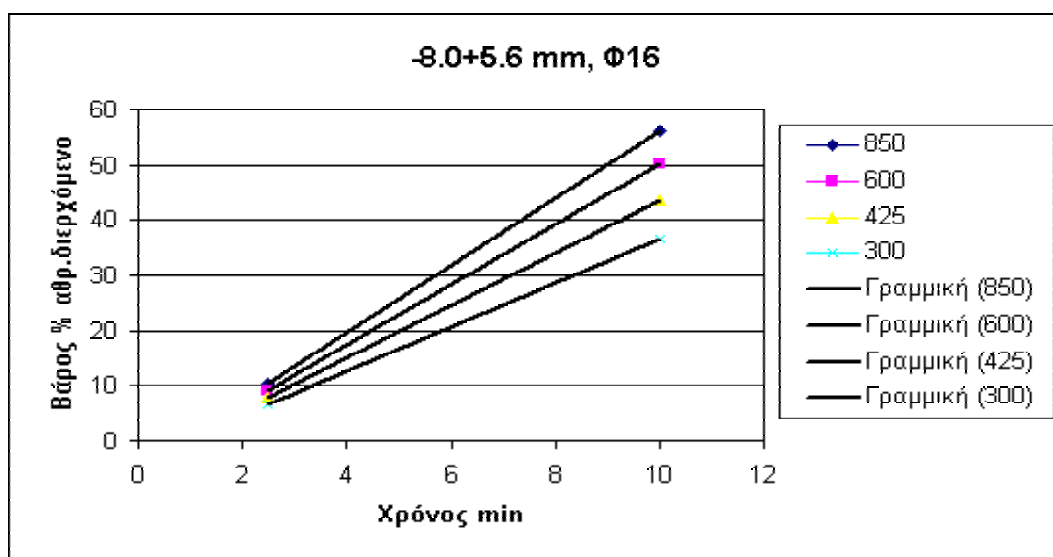
Εάν διαιρέσουμε τις τιμές των στηλών 5 με το 1000 τότε προκύπτουν οι στήλες 6 με τιμές που έχουν μονάδες Kjoule/Kg. Επίσης, οι στήλες 7 προκύπτουν διαιρώντας τις τιμές των στηλών 6 με το 3600 ($1\text{KWh} = 3600\text{ Kjoule}$).

Τέλος, εάν διαιρέσουμε τις τιμές των στηλών 7 με το 1000 καταλήγουμε σε τιμές με μονάδες Kwh/ton (στήλες 8).

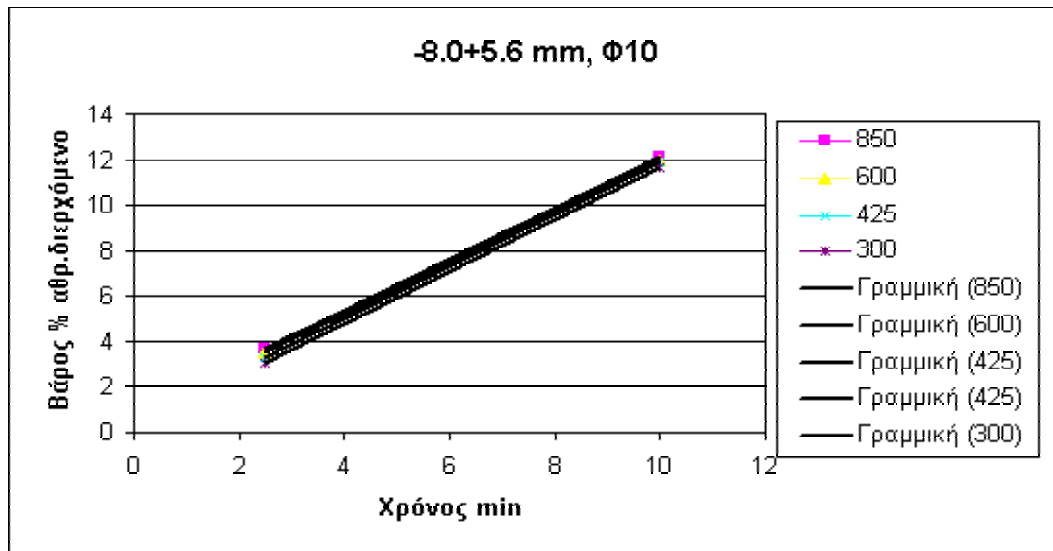
Διάγραμμα 13 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους % του κλάσματος $-8.0+5.6$ mm σε σχέση με τον χρόνο λειοτρίβησης και οι γραμμικές των καμπυλών (ράβδοι $\Phi 22$ mm).



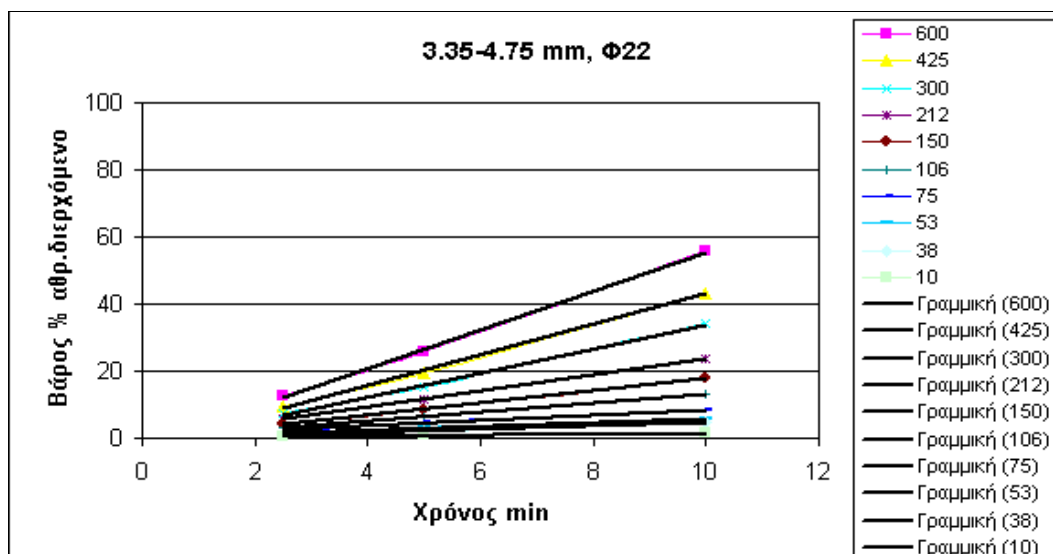
Διάγραμμα 14 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους % του κλάσματος $-8.0+5.6$ mm σε σχέση με τον χρόνο λειοτρίβησης και οι γραμμικές των καμπυλών (ράβδοι $\Phi 16$ mm).



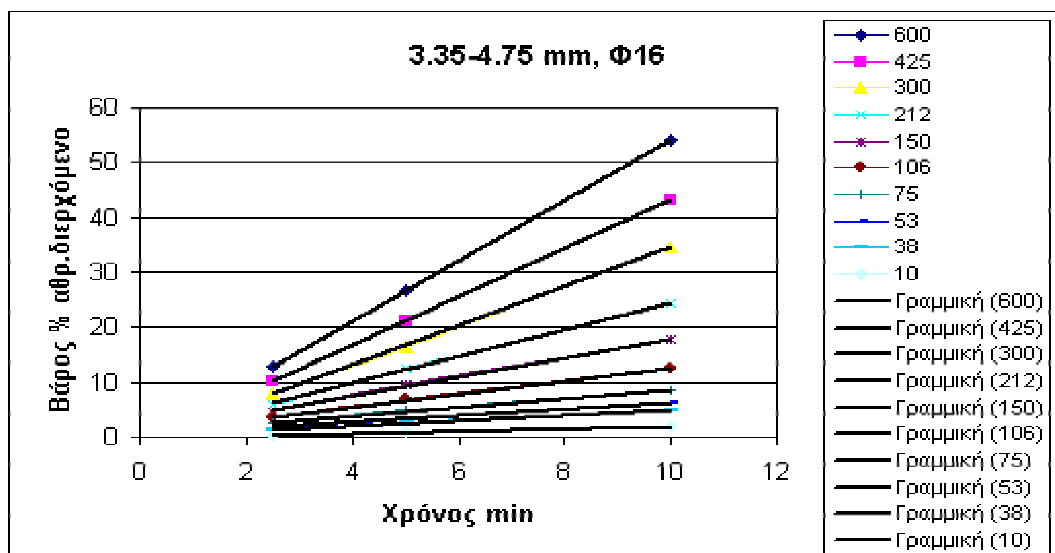
Διάγραμμα 15 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους % του κλάσματος $-8.0+5.6$ mm σε σχέση με τον χρόνο λειοτριβήσης και οι γραμμικές των καμπυλών (ράβδοι $\Phi 10$ mm).



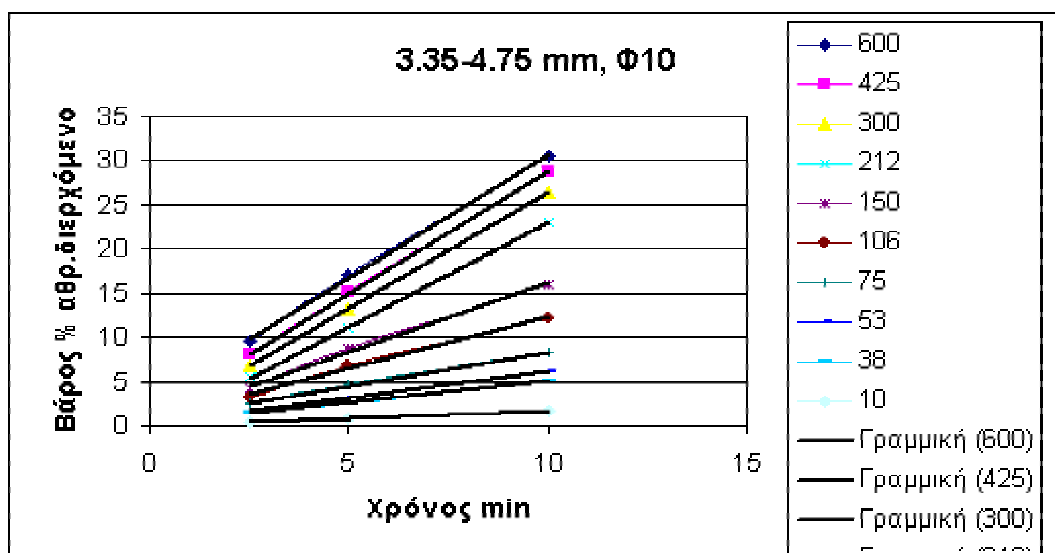
Διάγραμμα 16 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους % του κλάσματος $-4.75+3.35$ mm σε σχέση με τον χρόνο λειοτριβήσης και οι γραμμικές των καμπυλών (ράβδοι $\Phi 22$ mm).



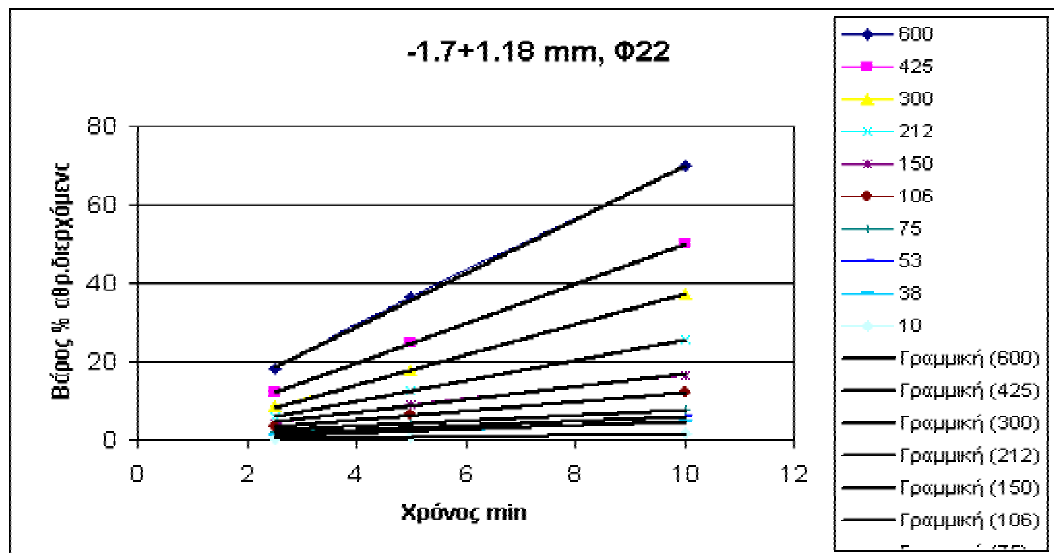
Διάγραμμα 17 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους % του κλάσματος $-4.75+3.35$ mm σε σχέση με τον χρόνο λειοτριβήσης και οι γραμμικές των καμπυλών (ράβδοι $\Phi 16$ mm).



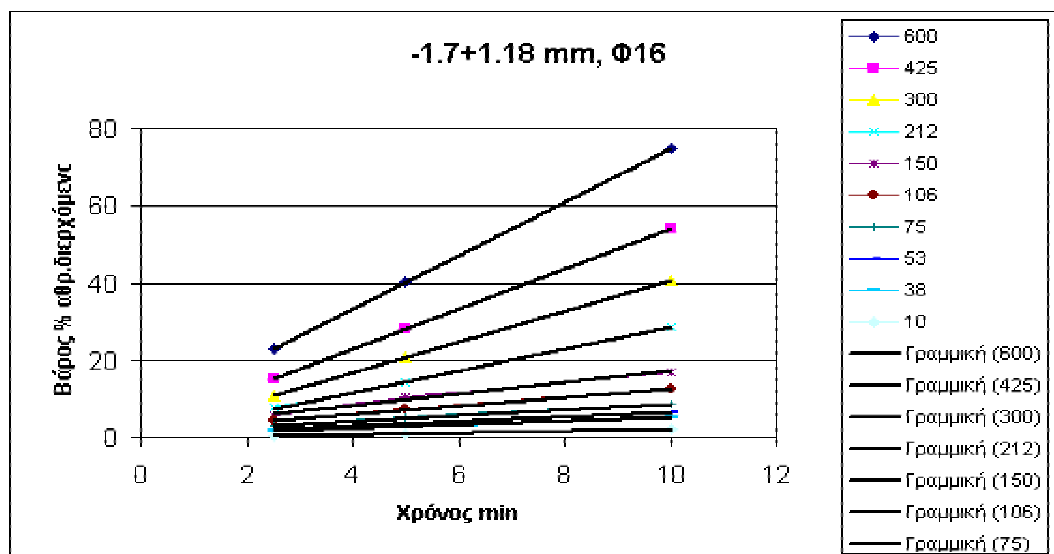
Διάγραμμα 18 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους % του κλάσματος $-4.75+3.35$ mm σε σχέση με τον χρόνο λειοτριβήσης και οι γραμμικές των καμπυλών (ράβδοι $\Phi 10$ mm).



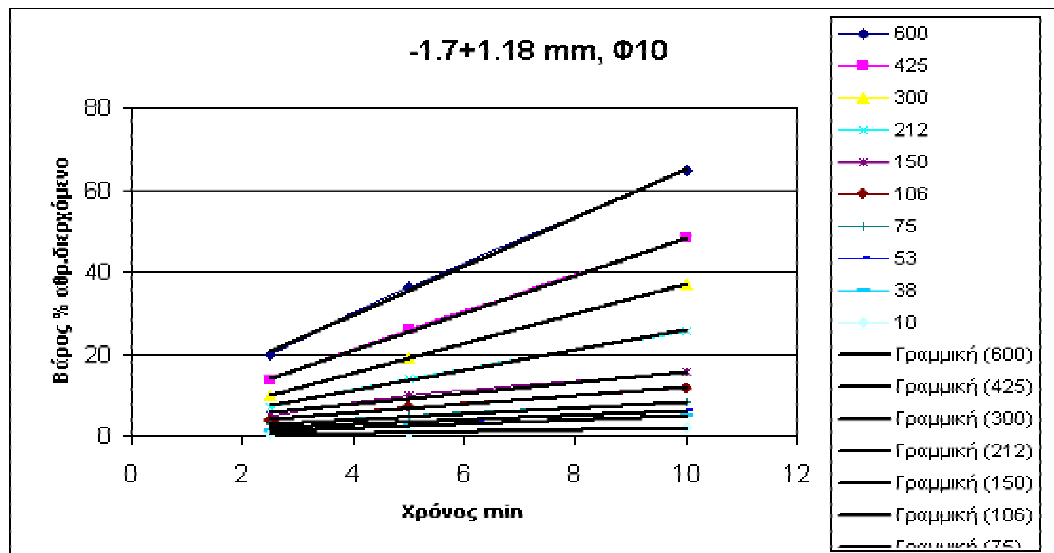
Διάγραμμα 19 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους % του κλάσματος $-1.7+1.18$ mm σε σχέση με τον χρόνο λειοτριβήσης και οι γραμμικές των καμπυλών (ράβδοι $\Phi 22$ mm).



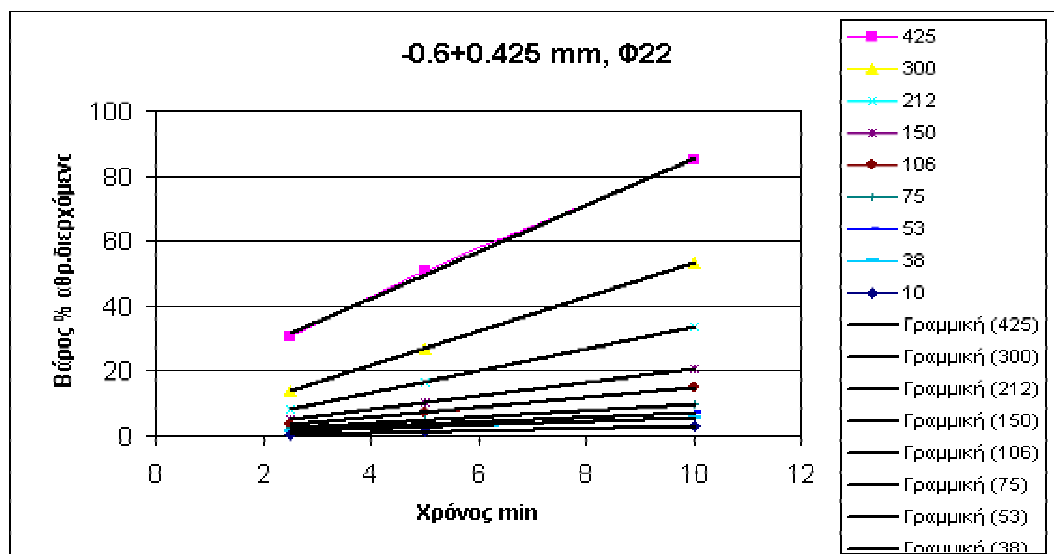
Διάγραμμα 20 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους % του κλάσματος $-1.7+1.18$ mm σε σχέση με τον χρόνο λειοτριβήσης και οι γραμμικές των καμπυλών (ράβδοι $\Phi 16$ mm).



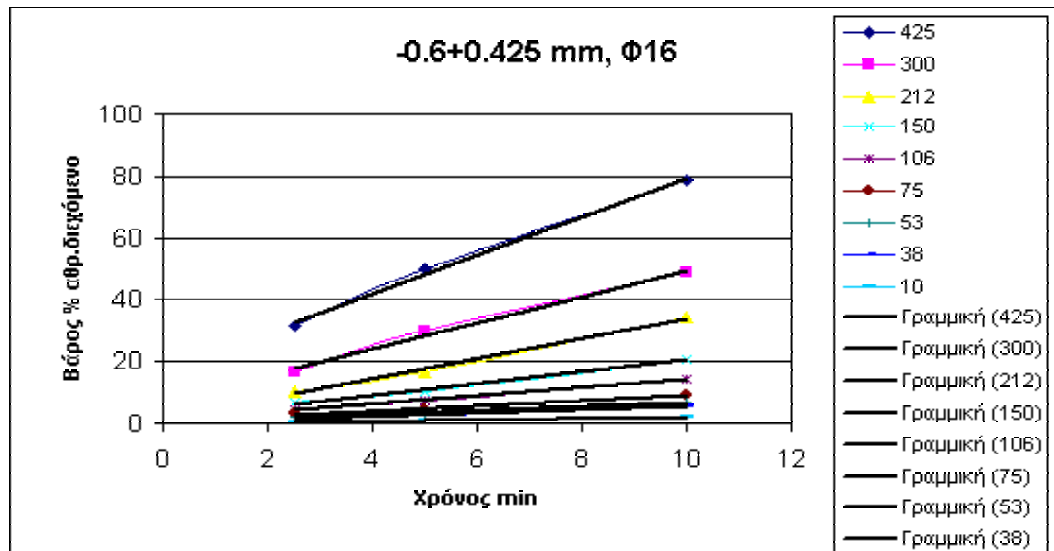
Διάγραμμα 21 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους % του κλάσματος $-1.7+1.18\text{ mm}$ σε σχέση με τον χρόνο λειοτριβήσης και οι γραμμικές των καμπυλών (ράβδοι $\Phi 10\text{ mm}$).



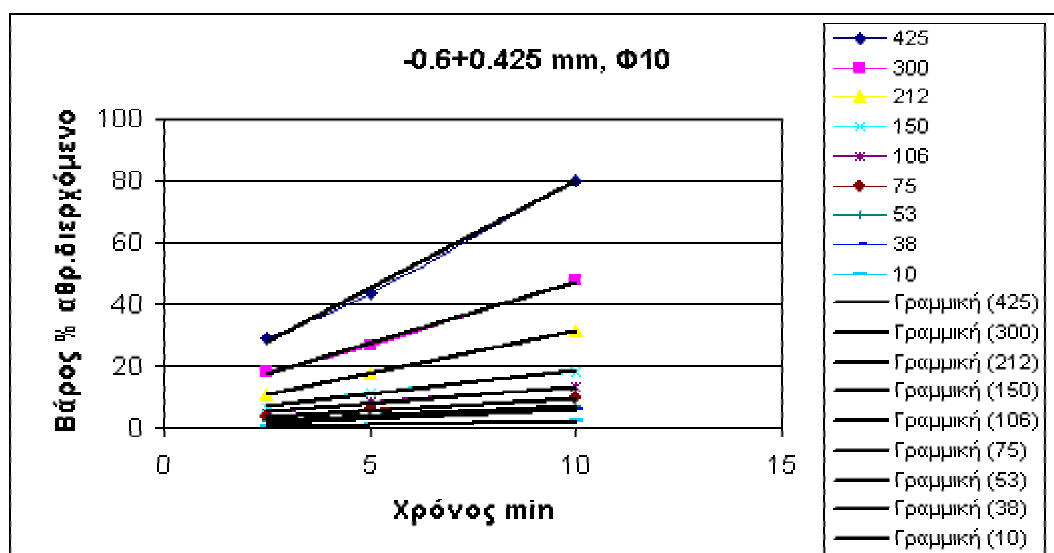
Διάγραμμα 22 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους % του κλάσματος $-0.6+0.425\text{ mm}$ σε σχέση με τον χρόνο λειοτριβήσης και οι γραμμικές των καμπυλών (ράβδοι $\Phi 22\text{ mm}$).



Διάγραμμα 23 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους % του κλάσματος $-0.6+0.425$ mm σε σχέση με τον χρόνο λειοτριβήσης και οι γραμμικές των καμπυλών (ράβδοι $\Phi 16$ mm).



Διάγραμμα 24 : Οι καμπύλες της αθροιστικής κατανομής του διερχόμενου βάρους % του κλάσματος $-0.6+0.425$ mm σε σχέση με τον χρόνο λειοτριβήσης και οι γραμμικές των καμπυλών (ράβδοι $\Phi 10$ mm).



Πίνακας 13 : Πίνακας μετατροπής των μονάδων βάρος % / min σε μονάδες
Kwh/ton, για το κλάσμα –8.0+5.6 mm με ράβδους Φ22 mm.

<i>Μέγεθος μm</i>	<i>Βάρος %/min</i>	<i>kg/min</i>	<i>min/kg</i>	<i>Joule/kg</i>	<i>kJoule/kg</i>	<i>kwh/kg</i>	<i>kwh/ton</i>
1	2	3	4	5	6	7	8
850	8.004	0.0800	12.5	14,993	15.0	0.0042	4.16
600	6.397	0.0640	15.6	18,760	18.8	0.0052	5.21
425	5.022	0.0502	19.9	23,896	23.9	0.0066	6.64
300	3.959	0.0396	25.3	30,311	30.3	0.0084	8.42

Πίνακας 14 : Πίνακας μετατροπής των μονάδων βάρος % / min σε μονάδες
Kwh/ton, για το κλάσμα –8.0+5.6 mm με ράβδους Φ16 mm.

<i>Μέγεθος μm</i>	<i>Βάρος %/min</i>	<i>kg/min</i>	<i>min/kg</i>	<i>Joule/kg</i>	<i>kJoule/kg</i>	<i>kwh/kg</i>	<i>kwh/ton</i>
1	2	3	4	5	6	7	8
850	6.118	0.0612	16.3	19,615	19.6	0.0054	5.45
600	5.468	0.0547	18.3	21,947	21.9	0.0061	6.10
425	4.757	0.0476	21.0	25,228	25.2	0.0070	7.01
300	3.995	0.0399	25.0	30,041	30.0	0.0083	8.34

Πίνακας 15 : Πίνακας μετατροπής των μονάδων βάρος % / min σε μονάδες
Kwh/ton, για το κλάσμα –8.0+5.6 mm με ράβδους Φ10 mm.

<i>Μέγεθος μm</i>	<i>Βάρος %/min</i>	<i>kg/min</i>	<i>min/kg</i>	<i>Joule/kg</i>	<i>kJoule/kg</i>	<i>kwh/kg</i>	<i>kwh/ton</i>
1	2	3	4	5	6	7	8
850	1.123	0.0112	89.1	106,885	106.9	0.0297	29.69
600	1.132	0.0113	88.3	106,007	106.0	0.0294	29.45
425	1.143	0.0114	87.5	105,014	105.0	0.0292	29.17
300	1.153	0.0115	86.7	104,049	104.0	0.0289	28.90

Πίνακας 16 : Πίνακας μετατροπής των μονάδων βάρος % / min σε μονάδες
Kwh/ton, για το κλάσμα –4.75+3.35 mm με ράβδους Φ22 mm.

<i>Μέγεθος μm</i>	<i>Βάρος %/min</i>	<i>kg/min</i>	<i>min/kg</i>	<i>Joule/kg</i>	<i>kjoule/kg</i>	<i>kwh/kg</i>	<i>kwh/ton</i>
1	2	3	4	5	6	7	8
600	5.756	0.0576	17.4	20,848	20.8	0.0058	5.79
425	4.500	0.0450	22.2	26,667	26.7	0.0074	7.41
300	3.567	0.0357	28.0	33,642	33.6	0.0093	9.34
212	2.387	0.0239	41.9	50,272	50.3	0.0140	13.96
150	1.809	0.0181	55.3	66,335	66.3	0.0184	18.43
106	1.339	0.0134	74.7	89,619	89.6	0.0249	24.89
75	0.834	0.0083	119.9	143,885	143.9	0.0400	39.97
53	0.578	0.0058	173.0	207,612	207.6	0.0577	57.67
38	0.459	0.0046	217.9	261,438	261.4	0.0726	72.62
10	0.184	0.0018	543.5	652,174	652.2	0.1812	181.16

Πίνακας 17 : Πίνακας μετατροπής των μονάδων βάρος % / min σε μονάδες
Kwh/ton, για το κλάσμα –4.75+3.35 mm με ράβδους Φ16 mm.

<i>Μέγεθος μm</i>	<i>Βάρος %/min</i>	<i>kg/min</i>	<i>min/kg</i>	<i>Joule/kg</i>	<i>kjoule/kg</i>	<i>kwh/kg</i>	<i>kwh/ton</i>
1	2	3	4	5	6	7	8
600	5.49	0.0549	18.21	21,858	21.86	0.0061	6.1
425	4.408	0.0441	22.69	27,223	27.22	0.0076	7.6
300	3.564	0.0356	28.06	33,670	33.67	0.0094	9.4
212	2.431	0.0243	41.14	49,362	49.36	0.0137	13.7
150	1.735	0.0174	57.64	69,164	69.16	0.0192	19.2
106	1.174	0.0117	85.18	102,215	102.21	0.0284	28.4
75	0.775	0.0078	129.03	154,839	154.84	0.0430	43.0
53	0.57	0.0057	175.44	210,526	210.53	0.0585	58.5
38	0.486	0.0049	205.76	246,914	246.91	0.0686	68.6
10	0.206	0.0021	485.44	582,524	582.52	0.1618	161.8

Πίνακας 18 : Πίνακας μετατροπής των μονάδων βάρος % / min σε μονάδες
Kwh/ton, για το κλάσμα $-4.75+3.35$ mm με ράβδους $\Phi 10$ mm.

<i>Μέγεθος μm</i>	<i>Βάρος %/min</i>	<i>kg/min</i>	<i>min/kg</i>	<i>Joule/kg</i>	<i>kJoule/kg</i>	<i>kwh/kg</i>	<i>kwh/ton</i>
1	2	3	4	5	6	7	8
600	2.798	0.0280	35.74	42,888	42.89	0.011913	11.9
425	2.762	0.0276	36.21	43,447	43.45	0.012069	12.1
300	2.602	0.0260	38.43	46,118	46.12	0.012811	12.8
212	2.344	0.0234	42.66	51,195	51.19	0.014221	14.2
150	1.554	0.0155	64.35	77,220	77.22	0.02145	21.5
106	1.174	0.0117	85.18	102,215	102.21	0.028393	28.4
75	0.767	0.0077	130.38	156,454	156.45	0.043459	43.5
53	0.59	0.0059	169.49	203,390	203.39	0.056497	56.5
38	0.504	0.0050	198.41	238,095	238.10	0.066138	66.1
10	0.179	0.0018	558.66	670,391	670.39	0.18622	186.2

Πίνακας 19 : Πίνακας μετατροπής των μονάδων βάρος % / min σε μονάδες
Kwh/ton, για το κλάσμα $-1.7+1.18$ mm με ράβδους $\Phi 22$ mm.

<i>Μέγεθος μm</i>	<i>Βάρος %/min</i>	<i>kg/min</i>	<i>min/kg</i>	<i>Joule/kg</i>	<i>kJoule/kg</i>	<i>kwh/kg</i>	<i>kwh/ton</i>
1	2	3	4	5	6	7	8
600	6.853	0.069	14.6	17,511	17.5	0.005	4.9
425	5.063	0.051	19.8	23,701	23.7	0.007	6.6
300	3.853	0.039	26.0	31,145	31.1	0.009	8.7
212	2.559	0.026	39.1	46,893	46.9	0.013	13.0
150	1.606	0.016	62.3	74,720	74.7	0.021	20.8
106	1.152	0.012	86.8	104,167	104.2	0.029	28.9
75	0.75	0.008	133.3	160,000	160.0	0.044	44.4
53	0.584	0.006	171.2	205,479	205.5	0.057	57.1
38	0.484	0.005	206.6	247,934	247.9	0.069	68.9
10	0.172	0.002	581.4	697,674	697.7	0.194	193.8

Πίνακας 20 : Πίνακας μετατροπής των μονάδων βάρος % / min σε μονάδες
Kwh/ton, για το κλάσμα -1.7+1.18 mm με ράβδους Φ16 mm.

<i>Μέγεθος μm</i>	<i>Βάρος %/min</i>	<i>kg/min</i>	<i>min/kg</i>	<i>Joule/kg</i>	<i>kJoule/kg</i>	<i>kwh/kg</i>	<i>kwh/ton</i>
1	2	3	4	5	6	7	8
600	6.905	0.069	14.5	17,379	17.4	0.0048	4.8
425	5.19	0.052	19.3	23,121	23.1	0.0064	6.4
300	3.997	0.040	25.0	30,023	30.0	0.0083	8.3
212	2.811	0.028	35.6	42,689	42.7	0.0119	11.9
150	1.498	0.015	66.8	80,107	80.1	0.0223	22.3
106	1.078	0.011	92.8	111,317	111.3	0.0309	30.9
75	0.719	0.007	139.1	166,898	166.9	0.0464	46.4
53	0.579	0.006	172.7	207,254	207.3	0.0576	57.6
38	0.501	0.005	199.6	239,521	239.5	0.0665	66.5
10	0.184	0.002	543.5	652,174	652.2	0.1812	181.2

Πίνακας 21 : Πίνακας μετατροπής των μονάδων βάρος % / min σε μονάδες
Kwh/ton, για το κλάσμα -1.7+1.18 mm με ράβδους Φ10 mm.

<i>Μέγεθος μm</i>	<i>Βάρος %/min</i>	<i>kg/min</i>	<i>min/kg</i>	<i>Joule/kg</i>	<i>kJoule/kg</i>	<i>kwh/kg</i>	<i>kwh/ton</i>
1	2	3	4	5	6	7	8
600	5.952	0.060	16.8	20,161	20.2	0.0056	5.60
425	4.606	0.046	21.7	26,053	26.1	0.0072	7.24
300	3.613	0.036	27.7	33,213	33.2	0.0092	9.23
212	2.471	0.025	40.5	48,563	48.6	0.0135	13.49
150	1.365	0.014	73.3	87,912	87.9	0.0244	24.42
106	1.038	0.010	96.3	115,607	115.6	0.0321	32.11
75	0.713	0.007	140.3	168,303	168.3	0.0468	46.75
53	0.553	0.006	180.8	216,998	217.0	0.0603	60.28
38	0.485	0.005	206.2	247,423	247.4	0.0687	68.73
10	0.184	0.002	543.5	652,174	652.2	0.1812	181.16

Πίνακας 22 : Πίνακας μετατροπής των μονάδων βάρος % / min σε μονάδες
Kwh/ton, για το κλάσμα $-0.6+0.425\text{mm}$ με ράβδους $\Phi 22\text{ mm}$.

<i>Μέγεθος μm</i>	<i>Βάρος %/min</i>	<i>kg/min</i>	<i>min/kg</i>	<i>Joule/kg</i>	<i>kJoule/kg</i>	<i>kwh/kg</i>	<i>kwh/ton</i>
1	2	3	4	5	6	7	8
425	7.211	0.072	13.9	16,641	16.6	0.0046	4.6
300	5.212	0.052	19.2	23,024	23.0	0.0064	6.4
212	3.393	0.034	29.5	35,367	35.4	0.0098	9.8
150	2.018	0.020	49.6	59,465	59.5	0.0165	16.5
106	1.487	0.015	67.2	80,699	80.7	0.0224	22.4
75	0.949	0.009	105.4	126,449	126.4	0.0351	35.1
53	0.701	0.007	142.7	171,184	171.2	0.0476	47.6
38	0.561	0.006	178.3	213,904	213.9	0.0594	59.4
10	0.342	0.003	292.4	350,877	350.9	0.0975	97.5

Πίνακας 23 : Πίνακας μετατροπής των μονάδων βάρος % / min σε μονάδες
Kwh/ton, για το κλάσμα $-0.6+0.425\text{mm}$ με ράβδους $\Phi 16\text{ mm}$.

<i>Μέγεθος μm</i>	<i>Βάρος %/min</i>	<i>kg/min</i>	<i>min/kg</i>	<i>Joule/kg</i>	<i>kJoule/kg</i>	<i>kwh/kg</i>	<i>kwh/ton</i>
1	2	3	4	5	6	7	8
425	6.181	0.062	16.2	19,414	19.4	0.0054	5.4
300	4.264	0.043	23.5	28,143	28.1	0.0078	7.8
212	3.226	0.032	31.0	37,198	37.2	0.0103	10.3
150	1.885	0.019	53.1	63,660	63.7	0.0177	17.7
106	1.336	0.013	74.9	89,820	89.8	0.0250	25.0
75	0.84	0.008	119.0	142,857	142.9	0.0397	39.7
53	0.643	0.006	155.5	186,625	186.6	0.0518	51.8
38	0.543	0.005	184.2	220,994	221.0	0.0614	61.4
10	0.2	0.002	500.0	600,000	600.0	0.1667	166.7

Πίνακας 24 : Πίνακας μετατροπής των μονάδων βάρος % / min σε μονάδες
Kwh/ton, για το κλάσμα $-0.6+0.425\text{mm}$ με ράβδους $\Phi 10\text{ mm}$.

Μέγεθος μm	Βάρος %/min	kg/min	min/kg	Joule/kg	kJoule/kg	kwh/kg	kwh/ton
1	2	3	4	5	6	7	8
425	6.881	0.069	14.5	17,439	17.4	0.0048	4.8
300	3.954	0.040	25.3	30,349	30.3	0.0084	8.4
212	2.768	0.028	36.1	43,353	43.4	0.0120	12.0
150	1.513	0.015	66.1	79,313	79.3	0.0220	22.0
106	1.105	0.011	90.5	108,597	108.6	0.0302	30.2
75	0.81	0.008	123.5	148,148	148.1	0.0412	41.2
53	0.631	0.006	158.5	190,174	190.2	0.0528	52.8
38	0.545	0.005	183.5	220,183	220.2	0.0612	61.2
10	0.208	0.002	480.8	576,923	576.9	0.1603	160.3

B.4 Υπολογισμός ειδικής επιφάνειας

Η ειδική επιφάνεια $+0.300\text{ mm}$ των κλασμάτων υπολογίστηκε κατά ανάλογο τρόπο όπως παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 2.4.4. Οι πίνακες 25 έως 36 δείχνουν την αναλυτική διαδικασία που ακολουθήθηκε.

Πίνακας 25 : Υπολογισμός ειδικής επιφάνειας του κλάσματος -8.0+5.6 mm με ράβδους 22 mm

Ανώτερο Μέγεθος (μm)	Βάρος g		Βάρος %		Κύβος Επιφάνεια κόκκου (m^2)	Βάρος κόκκου Kg	Βάρος (Kg)		Αριθμός κόκκων		Επιφάνεια m^2	
	2.5	10	2.5	10			2.5 min	10 min	2.5 min	10 min	2.5 min	10 min
1	2	3	4		5	6	7		8		9	
6700	7.98E-03	2.09E+02	5.00E-01	2.24E+01	7.98E-02	3.82E-04	1.35E-03	2.24E-01	7.98E-04	1.67E+02	5.93E-01	6.36E-02
4750	5.84E-03	3.75E+02	2.90E+00	4.03E+01	4.63E-01	1.91E-04	4.76E-04	4.03E-01	4.63E-03	8.46E+02	9.73E+00	1.62E-01
3350	3.99E-03	1.35E+02	3.90E+00	1.45E+01	6.23E-01	9.55E-05	1.68E-04	1.45E-01	6.23E-03	8.60E+02	3.70E+01	8.21E-02
2360	2.81E-03	6.55E+01	9.50E+00	7.04E+00	1.52E+00	4.74E-05	5.89E-05	7.04E-02	1.52E-02	1.20E+03	2.57E+02	5.67E-02
1700	2.00E-03	3.61E+01	2.58E+00	3.88E+00	4.12E+00	2.41E-05	3.88E-02	4.12E-02	1.93E+03	1.82E+03	1.93E+03	4.39E-02
1180	1.42E-03	3.36E+01	1.11E+02	3.61E+00	1.77E+01	1.20E-05	7.53E-06	3.61E-02	1.77E-01	4.80E+03	2.36E+04	5.77E-02
850	1.00E-03	2.13E+01	1.17E+02	2.29E+00	1.87E+01	6.02E-06	2.66E-06	2.29E-02	1.87E-01	8.60E+03	7.03E+04	5.18E-02
600	7.14E-04	2.25E+01	1.42E+02	2.42E+00	2.28E+01	3.06E-06	9.65E-07	2.42E-02	2.28E-01	2.51E+04	2.34E+05	7.67E-02
425	5.05E-04	1.84E+01	1.20E+02	1.98E+00	1.92E+01	1.53E-06	3.41E-07	1.98E-02	1.92E-01	5.80E+04	5.62E+05	8.87E-02
300	3.57E-04	1.51E+01	9.38E+01	1.62E+00	1.50E+01	7.65E-07	1.21E-07	1.62E-02	1.50E-01	1.35E+05	1.24E+06	1.03E-01
		9.30E+02	6.27E+02	1.00E+02	1.00E+02		1.00E+00	1.00E+00				7.86E-01
												3.30E+00

Πίνακας 26 : Υπολογισμός ειδικής επιφάνειας του κλάσματος -8.0+5.6 mm με ράβδους 16 mm

Ανώτερο Μέγεθος (μm)	Βάρος g		Βάρος %		Κύβος Επιφάνεια κόκκου (m^2)	Βάρος κόκκου Kg	Βάρος (Kg)		Αριθμός κόκκων		Επιφάνεια m^2	
	2.5	10	2.5	10			2.5 min	10 min	2.5 min	10 min	2.5 min	10 min
1	2	3	4		5	6	7		8		9	
6700	7.98E-03	3.26E+02	2.72E+01	3.49E+01	4.34E+00	3.82E-04	1.35E-03	3.49E-01	4.34E-02	2.59E+02	3.23E+01	9.90E-02
4750	5.84E-03	4.02E+02	1.05E+02	4.31E+01	1.68E+01	1.91E-04	4.76E-04	4.31E-01	1.68E-01	9.07E+02	3.53E+02	1.73E-01
3350	3.99E-03	8.53E+01	1.01E+02	9.14E+00	1.82E+01	9.55E-05	1.68E-04	9.14E-02	1.82E-01	5.44E+02	9.60E+02	5.19E-02
2360	2.81E-03	3.64E+01	6.66E+01	3.90E+00	1.06E+01	4.74E-05	5.89E-05	3.90E-02	1.06E-01	6.62E+02	1.80E+03	3.14E-02
1700	2.00E-03	1.90E+01	4.26E+01	2.04E+00	6.80E+00	2.41E-05	2.13E-05	2.04E-02	6.80E-02	9.56E+02	3.19E+03	2.30E-02
1180	1.42E-03	1.61E+01	4.94E+01	1.73E+00	7.89E+00	1.20E-05	7.53E-06	1.73E-02	7.89E-02	2.29E+03	1.05E+04	2.76E-02
850	1.00E-03	1.07E+01	3.97E+01	1.15E+00	6.34E+00	6.02E-06	2.66E-06	1.15E-02	6.34E-02	4.31E+03	2.38E+04	2.59E-02
600	7.14E-04	1.28E+01	6.09E+01	1.37E+00	9.72E+00	3.06E-06	9.65E-07	1.37E-02	9.72E-02	1.42E+04	1.01E+05	4.35E-02
425	5.05E-04	1.27E+01	6.53E+01	1.36E+00	1.04E+01	1.53E-06	3.41E-07	1.36E-02	1.04E-01	3.99E+04	3.05E+05	6.10E-02
300	3.57E-04	1.20E+01	6.84E+01	1.29E+00	1.09E+01	7.65E-07	1.21E-07	1.29E-02	1.09E-01	1.07E+05	9.05E+05	8.16E-02
		9.33E+02	6.27E+02	1.00E+02	1.00E+02		1.00E+00	1.00E+00				6.18E-01
												2.07E+00

Πίνακας 27 : Υπολογισμός ειδικής επιφάνειας του κλάσματος -8.0+5.6 mm με ράβδους 10 mm

Ανώτερο Μέγεθος (μm)	Βάρος g		Βάρος %		Κύβος Επιφάνεια κόκκου (m^2)	Βάρος (Kg)		Αριθμός κόκκων		Επιφάνεια m^2			
	2.5	10	2.5	10		Βάρος κόκκου Kg	Βάρος (Kg)		2.5 min	10 min	2.5 min	10 min	
							2.5 min	10 min					
1	2	3	4	5	6	7	8	9					
6700	7.98E-03	5.03E+02	3.91E+02	5.18E+01	4.42E+01	3.82E-04	1.35E-03	5.18E-01	4.42E-01	3.85E+02	3.29E+02	1.47E-01	1.25E-01
4750	5.64E-03	4.05E+02	4.07E+02	4.17E+01	4.60E+01	1.91E-04	4.76E-04	4.17E-01	4.60E-01	8.77E+02	9.68E+02	1.67E-01	1.85E-01
3350	3.99E-03	3.28E+01	5.24E+01	3.38E+00	5.93E+00	9.55E-05	1.68E-04	3.38E-02	5.93E-02	2.01E+02	3.53E+02	1.92E-02	3.37E-01
2360	2.81E-03	1.12E+01	1.67E+01	1.15E+00	1.89E+00	4.74E-05	5.89E-05	1.15E-02	1.89E-02	1.96E+02	3.21E+02	9.30E-03	1.52E-02
1700	2.00E-03	5.50E+00	7.20E+00	5.67E-01	2.41E-05	2.13E-05	5.67E-03	8.15E-03	2.66E+02	3.83E+02	6.41E-03	9.21E-03	
1180	1.42E-03	4.20E+00	3.50E+00	4.33E-01	3.96E-01	1.20E-05	7.53E-06	4.33E-03	3.96E-03	5.75E+02	5.26E+02	6.92E-03	
850	1.00E-03	2.00E+00	1.60E+00	2.06E-01	1.81E-01	6.02E-06	2.66E-06	2.06E-03	1.81E-03	7.75E+02	6.80E+02	4.66E-03	6.33E-03
600	7.14E-04	2.10E+00	1.40E+00	2.17E-01	1.58E-01	3.06E-06	9.65E-07	2.17E-03	1.58E-03	2.24E+03	1.64E+03	6.87E-03	5.03E-03
425	5.05E-04	2.20E+00	1.40E+00	2.27E-01	1.58E-01	1.53E-06	3.41E-07	2.27E-03	1.58E-03	6.65E+03	4.64E+03	1.02E-02	7.11E-03
300	3.57E-04	2.60E+00	1.80E+00	2.68E-01	2.04E-01	7.65E-07	1.21E-07	2.68E-03	2.04E-03	2.22E+04	1.69E+04	1.70E-02	1.29E-02
		9.70E+02	8.83E+02	1.04E+02	1.41E+02		1.00E+00	1.00E+00				3.95E-01	4.04E-01

Πίνακας 28 : Υπολογισμός ειδικής επιφάνειας του κλάσματος -4.75+3.35 mm με ράβδους 22 mm

Βάρος g			Βάρος %		Κύβος	Βάρος (Kg)			Αριθμός κόκκων			Επιφάνεια m ²					
Ανώτερο Μέγεθος (μm)	2.5	5	10	2.5	5	10	Βάρος κόκκου Kg	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min				
1	2	3			4		5	6			7			8		9	
4750	5.65E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	1.91E-04	4.78E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
3350	3.99E-03	3.00E+02	6.53E+01	0.00E+00	32.54	7.77	0.00	1.68E-04	3.25E-01	7.77E-02	0.00E+00	1.93E+03	4.62E+02	0.00E+00	1.85E-01	4.41E-02	
2360	2.81E-03	2.54E+02	1.94E+02	1.10E+00	27.62	23.08	0.17	4.74E-05	5.89E-05	2.76E-01	2.31E-01	4.69E+03	3.92E+03	2.85E+01	2.22E-01	1.86E-01	
1700	2.00E-03	1.22E+02	1.58E+02	9.60E+00	13.28	18.74	1.46	2.41E-05	2.13E-05	1.33E-01	1.87E-01	6.24E+03	8.40E+03	6.87E+02	1.50E-01	1.35E-03	
1180	1.42E-03	9.87E+01	1.53E+02	1.06E+02	10.72	18.23	16.10	1.20E-05	7.53E-06	1.07E-01	1.82E-01	1.42E+04	2.42E+04	2.14E+04	1.50E-01	1.65E-02	
850	1.00E-03	4.93E+01	8.41E+01	1.52E+02	5.35	10.01	23.13	6.02E-06	2.66E-06	5.35E-02	1.00E-01	2.01E+04	3.76E+04	8.69E+04	1.71E-01	2.57E-01	
600	7.14E-04	4.33E+01	8.24E+01	1.72E+02	4.70	9.81	26.28	3.06E-06	9.65E-07	4.70E-02	9.81E-02	4.87E+04	1.02E+05	2.72E+05	1.49E-01	5.23E-01	
425	5.05E-04	3.14E+01	6.01E+01	1.24E+02	3.41	7.15	18.96	1.53E-06	3.41E-07	3.41E-02	7.15E-02	9.99E+04	2.10E+05	5.56E+05	1.53E-01	8.33E-01	
300	3.57E-04	2.19E+01	4.38E+01	9.12E+01	2.38	5.21	13.90	7.65E-07	1.21E-07	2.38E-02	5.21E-02	1.97E+05	4.32E+05	1.75E+06	1.51E-01	8.50E-01	
		9.21E+02	8.40E+02	6.56E+02	100.00	100.00	100.00		1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00				1.30E+00	3.36E+00	

Πίνακας 29 : Υπολογισμός ειδικής επιφάνειας του κλάσματος -4.75+3.35 mm με ράβδους 16 mm

Ανώτερο Μέγεθος (μm)	Βάρος g				Κύβος Επιφάνεια κόκκου (m ²)	Βάρος %			Βάρος κόκκου Kg	Βάρος (Kg)				Αριθμός κόκκων				Επιφάνεια m ²		
	2.5	5	10			2.5	5	10		2.5 min	5 min	10 min		2.5 min	5 min	10 min		2.5 min	5 min	10 min
	Μέσο Μέγεθος (m)																			
4750	5.65E-03	1.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.1	0.1	0.1	0.0	4.78E-04	1.09E-03	1.20E-03	0.00E+00	2.27E+00	2.52E+00	2.70E+01	0.00E+00	4.35E-04	4.83E-04	0.00E+00	
3350	3.99E-03	4.38E+02	1.18E+02	1.80E+00	47.5	14.2	0.3	0.3	1.68E-04	4.75E-01	1.42E-01	2.77E-03	2.83E+03	8.43E+02	1.65E+01	2.70E+01	8.05E-02	1.57E-03		
2360	2.81E-03	1.89E+02	2.25E+02	1.44E+01	20.6	27.1	2.2	2.2	4.74E-05	5.89E-05	2.71E-01	2.22E-02	3.49E+03	4.60E+03	3.77E+02	1.66E-01	2.18E-01	1.79E-02		
1700	2.00E-03	9.05E+01	1.30E+02	3.97E+01	9.8	15.7	6.1	6.1	2.41E-05	2.13E-05	1.57E-01	6.12E-02	4.62E+03	7.37E+03	2.87E+02	1.11E-01	1.77E-01	6.92E-02		
1180	1.42E-03	7.34E+01	1.19E+02	1.36E+02	8.0	14.4	20.9	19.6	1.20E-05	7.53E-06	7.97E-02	2.09E-01	1.06E+04	1.91E+04	2.78E+04	1.27E-01	2.30E-01	3.34E-01		
850	1.00E-03	4.07E+01	6.66E+01	1.27E+02	4.4	8.0	19.6	19.6	6.02E-06	2.66E-06	4.42E-02	1.96E-01	1.68E+04	3.01E+04	7.35E+04	9.99E-02	1.81E-01	4.42E-01		
600	7.14E-04	3.73E+01	7.02E+01	1.36E+02	4.1	8.5	21.0	21.0	3.06E-06	9.65E-07	4.05E-02	2.10E-01	4.20E+04	8.76E+04	2.18E+05	1.28E-01	2.88E-01	6.68E-01		
425	5.05E-04	2.89E+01	5.58E+01	1.09E+02	3.1	6.7	16.8	16.8	1.53E-06	3.41E-07	3.14E-02	1.68E-01	9.20E+04	1.97E+05	4.93E+05	1.41E-01	3.01E-01	7.55E-01		
300	3.57E-04	2.19E+01	4.43E+01	8.48E+01	2.4	5.3	13.1	13.1	7.65E-07	1.21E-07	2.38E-02	1.31E-01	1.97E+05	4.42E+05	1.08E+06	1.51E-01	3.38E-01	8.29E-01		
		9.21E+02	8.30E+02	6.49E+02	100.0	100.0	100.0	100.0		1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00					1.19E+00	1.80E+00	3.11E+00	

Πίνακας 30 : Υπολογισμός ειδικής επιφάνειας του κλάσματος -4.75+3.35 mm με ράβδους 10 mm

Ανώτερο Μέγεθος (μm)	Βάρος g				Κύβος Επιφάνεια κόκκου (m ²)	Βάρος %			Βάρος κόκκου Kg	Βάρος (Kg)				Αριθμός κόκκων				Επιφάνεια m ²		
	2.5	5	10			2.5	5	10		2.5 min	5 min	10 min		2.5 min	5 min	10 min		2.5 min	5 min	10 min
	Μέσο Μέγεθος (m)																			
4750	5.65E-03	5.00E+00	1.60E+00	0.00E+00	0.5	0.2	0.2	0.0	4.78E-04	5.36E-03	1.85E-03	0.00E+00	1.12E+01	3.87E+00	0.00E+00	2.15E-03	7.40E-04	0.00E+00		
3350	3.99E-03	6.19E+02	5.58E+02	3.97E+02	66.4	64.4	54.2	54.2	1.68E-04	6.64E-01	6.44E-01	5.42E-01	3.95E+03	3.83E+03	3.22E+03	3.77E-01	3.65E-01	3.08E-01		
2360	2.81E-03	1.64E+02	1.46E+02	1.63E+02	17.5	16.9	22.2	22.2	4.74E-05	5.89E-05	1.75E-01	2.22E-01	2.98E+03	2.87E+03	3.77E+03	1.41E-01	1.36E-01	1.79E-01		
1700	2.00E-03	5.25E+01	5.61E+01	6.42E+01	5.6	6.5	8.8	8.8	2.41E-05	2.13E-05	5.63E-02	8.77E-02	2.64E+03	3.04E+03	4.12E+03	6.36E-02	7.32E-02	9.91E-02		
1180	1.42E-03	3.32E+01	3.47E+01	3.53E+01	3.6	4.0	4.8	4.8	1.20E-05	7.53E-06	3.56E-02	4.82E-02	4.73E+03	5.32E+03	6.41E+03	5.69E-02	6.40E-02	7.71E-02		
850	1.00E-03	1.62E+01	1.61E+01	1.49E+01	1.7	1.9	2.0	2.0	6.02E-06	2.66E-06	1.74E-02	2.04E-02	6.52E+03	6.98E+03	7.65E+03	3.93E-02	4.20E-02	4.60E-02		
600	7.14E-04	1.50E+01	1.64E+01	1.59E+01	1.6	1.9	2.2	2.2	3.06E-06	9.65E-07	1.61E-02	2.17E-02	1.67E+04	1.96E+04	2.25E+04	5.10E-02	6.00E-02	6.89E-02		
425	5.05E-04	1.48E+01	1.87E+01	1.80E+01	1.6	2.2	2.5	2.5	1.53E-06	3.41E-07	1.59E-02	2.46E-02	4.65E+04	6.32E+04	7.21E+04	7.11E-02	9.68E-02	1.10E-01		
300	3.57E-04	1.31E+01	1.87E+01	2.40E+01	1.4	2.2	3.3	3.3	7.65E-07	1.21E-07	1.40E-02	3.28E-02	1.16E+05	1.79E+05	2.72E+05	8.90E-02	1.37E-01	2.08E-01		
		9.33E+02	8.67E+02	7.32E+02	100.0	100.0	100.0	100.0		1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00					8.91E-01	9.75E-01	1.10E+00	

Πίνακας 31 : Υπολογισμός ειδικής επιφάνειας του κλάσματος -1.7+1.18 mm με ράβδους 22 mm

Ανώτερο Μέγεθος (μm)	Μέσο Μέγεθος (m)	Βάρος g				Βάρος %			Κύβος Επιφάνεια κόκκου (m^2)	Βάρος κόκκου Kg	Αριθμός κόκκων				Επιφάνεια m^2								
		2.5	5	10	2.5	5	10	2.5 min			5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min								
4750	5.65E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	1.91E-04	4.78E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
3350	3.99E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	9.55E-05	1.68E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
2360	2.81E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	4.74E-05	5.89E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1700	2.00E-03	1.20E+00	2.00E-01	0.00E+00	0.13	0.02	0.00	2.41E-05	2.13E-05	1.32E-03	2.47E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1180	1.42E-03	4.40E+02	1.32E+02	3.10E+00	48.35	16.28	0.50	1.20E-05	7.53E-06	4.83E-01	1.63E-01	5.01E-03	6.42E+04	2.16E+04	6.66E+02	1.16E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
850	1.00E-03	2.55E+02	2.95E+02	5.18E+01	28.02	36.32	8.38	6.02E-06	2.66E-06	2.80E-01	3.63E-01	8.38E-02	1.05E+05	1.36E+05	3.15E+04	6.34E-01	8.21E-01	1.89E-01	1.24E+00	1.42E+00	1.29E+00	1.29E+00	1.29E+00
600	7.14E-04	1.17E+02	1.99E+02	2.42E+02	12.83	24.52	39.09	3.06E-06	9.65E-07	1.28E-01	2.45E-01	3.91E-01	1.93E+05	2.54E+05	4.05E+05	4.07E-01	7.77E-01	1.24E+00	1.42E+00	1.29E+00	1.29E+00	1.29E+00	
425	5.05E-04	6.17E+01	1.16E+02	1.96E+02	6.78	14.26	31.68	1.53E-06	3.41E-07	6.78E-02	1.43E-01	3.17E-01	1.99E+05	4.18E+05	9.28E+05	3.04E-01	6.39E-01	1.24E+00	1.42E+00	1.29E+00	1.29E+00	1.29E+00	
300	3.57E-04	3.55E+01	6.97E+01	1.26E+02	3.90	8.59	20.35	7.65E-07	1.21E-07	3.90E-02	8.59E-02	2.03E-01	3.23E+05	7.12E+05	1.69E+06	2.47E-01	5.45E-01	1.24E+00	1.42E+00	1.29E+00	1.29E+00	1.29E+00	
		9.11E+02	8.11E+02	6.18E+02	100.00	100.00	100.00			1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00						2.37E+00	3.04E+00	4.15E+00	4.15E+00	4.15E+00	

Πίνακας 32 : Υπολογισμός ειδικής επιφάνειας του κλάσματος -1.7+1.18 mm με ράβδους 16 mm

Ανώτερο Μέγεθος (μm)	Μέσο Μέγεθος (m)	Βάρος g			Βάρους %			Κύβος Επιφάνεια κόκκου (m^2)	Βάρους κόκκου Kg	Βάρους (Kg)			Αριθμός κόκκων			Επιφάνεια m^2							
		2.5	5	10	2.5	5	10			2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min					
4750	5.65E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	1.91E-04	4.78E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
3350	3.99E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	9.55E-05	1.68E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
2360	2.81E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	4.74E-05	5.89E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1700	2.00E-03	1.60E+00	4.00E-01	0.00E+00	0.18	0.05	0.00	2.41E-05	2.13E-05	1.80E-03	5.07E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1180	1.42E-03	3.62E+02	9.52E+01	2.10E+00	40.69	12.08	0.36	1.20E-05	7.53E-06	4.07E-01	1.21E-01	3.57E-03	5.40E+04	1.60E+04	4.75E+02	6.51E-01	1.93E-01	5.71E-03	5.74E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
850	1.00E-03	2.65E+02	2.75E+02	3.67E+01	29.74	34.89	6.25	6.02E-06	2.66E-06	2.97E-01	3.49E-01	6.25E-02	1.12E+05	1.31E+05	2.35E+04	6.72E-01	7.89E-01	1.41E-01	8.97E-01	1.15E+00	1.55E+00	1.44E+00	4.28E+00
600	7.14E-04	1.42E+02	2.23E+02	2.13E+02	15.98	28.29	36.25	3.06E-06	9.65E-07	1.60E-01	2.83E-01	3.62E-01	1.66E+05	2.93E+05	3.76E+05	5.07E-01	8.97E-01	1.15E+00	6.84E-01	1.55E+00	5.98E-01	3.16E+00	4.28E+00
425	5.05E-04	7.48E+01	1.20E+02	2.03E+02	8.40	15.26	34.48	1.53E-06	3.41E-07	8.40E-02	1.53E-01	3.45E-01	2.46E+05	4.47E+05	1.01E+06	3.77E-01	6.84E-01	1.55E+00	3.77E-01	5.98E-01	3.18E+00	2.53E+00	4.28E+00
300	3.57E-04	4.46E+01	7.44E+01	1.33E+02	5.01	9.44	22.67	7.65E-07	1.21E-07	5.01E-02	9.44E-02	2.27E-01	4.15E+05	7.82E+05	1.88E+06	3.18E-01	5.98E-01	1.44E+00	2.53E+00	3.16E+00	4.28E+00	4.28E+00	4.28E+00
		8.90E+02	7.88E+02	5.88E+02	100.00	100.00	100.00			1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00						2.53E+00	3.16E+00	4.28E+00	4.28E+00	4.28E+00	4.28E+00

Πίνακας 33 : Υπολογισμός ειδικής επιφάνειας του κλάσματος -1.7+1.18 mm με ράβδους 10 mm

Ανώτερο Μέγεθος (μm)	Μέσο Μέγεθος (m)	Βάρος g				Βάρος %		Κύβος Επιφάνεια κόκκου (m^2)	Βάρος κόκκου kg	Βάρος (Kg)				Αριθμός κόκκων				Επιφάνεια m^2			
		2.5	5	10	2.5	5	10			2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min
4750	5.65E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	1.91E-04	4.78E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00		
3350	3.99E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	9.55E-05	1.68E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00		
2360	2.81E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	4.74E-05	5.89E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00		
1700	2.00E-03	1.80E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	2.41E-05	2.73E-05	2.00E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.40E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00		
1180	1.42E-03	4.55E+02	1.78E+02	2.02E+01	50.53	21.87	3.24	1.20E-05	7.53E-06	5.05E-01	2.19E-01	3.24E-02	6.71E+04	2.90E+04	4.31E+03	8.08E-01	3.50E-01	5.18E-02	0.00E+00		
850	1.00E-03	2.29E+02	2.69E+02	1.16E+02	25.47	33.43	18.53	6.02E-06	2.66E-06	2.55E-01	3.34E-01	1.85E-01	9.57E+04	1.26E+05	6.96E+04	5.76E-01	7.56E-01	4.19E-01	0.00E+00		
600	7.14E-04	1.13E+02	1.87E+02	2.11E+02	12.60	23.26	33.92	3.06E-06	9.65E-07	1.26E-01	2.33E-01	3.39E-01	1.31E+05	2.41E+05	3.51E+05	3.99E-01	7.37E-01	1.08E+00	0.00E+00		
425	5.05E-04	6.24E+01	1.06E+02	1.64E+02	6.94	13.19	26.27	1.53E-06	3.41E-07	6.94E-02	1.32E-01	2.63E-01	2.03E+05	3.87E+05	7.70E+05	3.11E-01	5.91E-01	1.18E+00	0.00E+00		
300	3.57E-04	3.84E+01	6.65E+01	1.12E+02	4.27	8.25	18.04	7.65E-07	1.21E-07	4.27E-02	8.25E-02	1.80E-01	3.54E+05	6.84E+05	1.49E+06	2.71E-01	5.23E-01	1.14E+00	0.00E+00		
		9.00E+02	8.06E+02	6.23E+02	100.00	100.00	100.00			1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00				2.37E+00	2.96E+00	3.87E+00	0.00E+00		

Πίνακας 34 : Υπολογισμός ειδικής επιφάνειας του κλάσματος -0.6+0.425 mm με ράβδους 22 mm

Ανώτερο Μέγεθος (μm)	Μέσο Μέγεθος (m)	Βάρος g			Βάρος %		Κύβος Επιφάνεια κόκκου (m^2)	Βάρος (Kg)			Αριθμός κόκκων			Επιφάνεια m^2			
		2.5	5	10	2.5	5		10	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min
4750	5.65E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	1.91E-04	4.78E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
3350	3.99E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	9.55E-05	1.88E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
2360	2.81E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	4.74E-05	5.89E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
1700	2.00E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	2.41E-05	2.13E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
1180	1.42E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	1.20E-05	7.53E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
850	1.00E-03	5.00E-01	2.00E-01	0.00E+00	0.06	0.03	6.02E-06	2.35E-06	5.87E-04	2.78E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
600	7.14E-04	2.00E+00	8.00E-01	0.00E+00	0.23	0.11	3.06E-06	9.65E-07	1.11E-03	0.00E+00	0.00E+00	2.20E+02	1.04E+02	0.00E+00	6.29E-04	0.00E+00	
425	5.05E-04	6.89E+02	4.83E+02	1.49E+02	80.92	67.20	1.53E-06	3.41E-07	8.09E-01	6.72E-01	3.23E-01	2.43E+03	1.15E+03	0.00E+00	3.53E-03	0.00E+00	
300	3.57E-04	1.60E+02	2.35E+02	3.13E+02	18.78	32.67	7.65E-07	1.21E-07	1.88E-01	3.27E-01	6.77E-01	2.37E+06	1.97E+06	9.46E+05	3.63E+00	1.45E+00	
		8.52E+02	7.19E+02	4.63E+02	100.00	100.00			1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.56E+06	2.71E+06	5.61E+06	1.19E+00	2.07E+00	
															4.83E+00	5.74E+00	

Πίνακας 35 : Υπολογισμός ειδικής επιφάνειας του κλάσματος -0.6+0.425 mm με ράβδους 16 mm

Ανώτερο Μέγεθος (μm)	Μέσο Μέγεθος (m)	Βάρος g			Κύβος Επιφάνεια κόκκου (m^3)	Βάρος %			Βάρος κόκκου Kg	Βάρος (Kg)			Αριθμός κόκκων			Επιφάνεια m^2		
		2.5	5	10		2.5	5	10		2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.78E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
4750	5.65E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.91E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
3350	3.99E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.55E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
2360	2.81E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.74E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1700	2.00E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.41E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1180	1.42E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
850	1.00E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.02E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
600	7.14E-04	9.00E-01	5.00E-01	2.00E-01	0.11	0.07	0.04	0.04	3.06E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
425	5.05E-04	6.80E+02	4.92E+02	2.12E+02	81.82	70.67	41.86	41.86	1.53E-06	9.65E-07	1.08E-03	3.95E-04	1.12E+03	7.45E+02	4.09E+02	3.43E-03	2.28E-03	1.25E-03
300	3.57E-04	1.50E+02	2.04E+02	2.94E+02	18.07	29.26	58.10	58.10	7.65E-07	1.21E-07	8.18E-01	4.19E-01	2.40E+06	2.07E+06	1.23E+06	3.67E+00	3.17E+00	1.88E+00
		8.31E+02	6.96E+02	5.07E+02	100.00	100.00	100.00	100.00		1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.50E+06	2.43E+06	4.82E+06	1.15E+00	1.86E+00	3.68E+00
																4.82E+00	5.03E+00	5.56E+00

Πίνακας 36 : Υπολογισμός ειδικής επιφάνειας του κλάσματος -0.6+0.425 mm με ράβδους 10 mm

Ανώτερο Μέγεθος (μm)	Μέσο Μέγεθος (m)	Βάρος g			Κύβος Επιφάνεια κόκκου (m^3)	Βάρος %			Βάρος κόκκου Kg	Βάρος (Kg)			Αριθμός κόκκων			Επιφάνεια m^2		
		2.5	5	10		2.5	5	10		2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min	2.5 min	5 min	10 min
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.78E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
4750	5.65E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.91E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
3350	3.99E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.55E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
2360	2.81E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.74E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1700	2.00E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.41E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1180	1.42E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
850	1.00E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.02E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
600	7.14E-04	2.40E+00	1.30E+00	1.40E+00	0.30	0.18	0.27	0.27	3.06E-06	2.47E-04	0.00E+00	0.00E+00	9.28E+01	3.07E+03	3.07E+03	5.58E-04	0.00E+00	0.00E+00
425	5.05E-04	7.00E+02	5.58E+02	1.95E+02	86.40	76.28	37.39	37.39	9.65E-07	2.96E-03	1.78E-03	2.68E-03	3.07E+03	1.84E+03	2.78E+03	9.39E-03	5.64E-03	8.50E-03
300	3.57E-04	1.08E+02	1.72E+02	3.26E+02	13.28	23.55	62.34	62.34	3.41E-07	8.64E-01	7.63E-01	3.74E-01	2.53E+06	2.24E+06	1.10E+06	3.87E+00	3.42E+00	1.68E+00
		8.10E+02	7.31E+02	5.22E+02	100.00	100.00	100.00	100.00	1.21E-07	1.33E-01	2.35E-01	6.23E-01	1.10E+06	1.95E+06	5.17E+06	8.42E-01	1.49E+00	3.95E+00
										1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00				4.73E+00	4.92E+00	5.64E+00