



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

**«Ποιοτικός έλεγχος μεγέθους και σχήματος δομικών υλικών με επεξεργασία ψηφιακής εικόνας»**

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**



**ΔΗΜΗΤΡΗΣ Χ. ΚΑΠΑΤΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΗΛΙΑΣ ΧΑΤΖΗΘΕΟΔΩΡΙΔΗΣ**

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π

**Αθήνα, 2013**





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Ποιοτικός έλεγχος μεγέθους και σχήματος δομικών υλικών με επεξεργασία ψηφιακής εικόνας»**

**ΔΗΜΗΤΡΗΣ Χ. ΚΑΠΑΤΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΗΛΙΑΣ ΧΑΤΖΗΘΕΟΔΩΡΙΔΗΣ**

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π

**Αθήνα, 2013**



.....

ΔΗΜΗΤΡΗΣ Χ. ΚΑΠΑΤΟΣ

Διπλωματούχος Μηχανικός Μεταλλείων - Μεταλλουργός Ε.Μ.Π

Copyright © Δημήτρης Χ. Καπάτος 2013

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ:**

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας κ. Ηλία Χατζηθεοδωρίδη Επίκουρο Καθηγητή Ε.Μ.Π για τις καίριες υποδείξεις του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της συγκεκριμένης εργασίας αλλά και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στο χειρισμό του θέματος.

Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ στον υποψήφιο διδάκτορα του τομέα γεωλογικών επιστημών Λευτέρη Προφήτη, για την πολύτιμη βοήθεια, καθοδήγηση και υπομονή του σε όλη την πορεία ανάπτυξης και συγγραφής της παρούσας εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον κ. Δημήτρη Ξηρουχάκη υπεύθυνο του εργαστηρίου γεωτεχνικής μηχανικής και ποιοτικού ελέγχου της εταιρείας GEO TERRA Ε.Π.Ε για την φιλοξενία του στο εργαστήριο της εταιρείας όπου και διενεργήθηκε το πρώτο στάδιο των μετρήσεων των δειγμάτων, καθώς και για την παραχώρηση αυτών με σκοπό τη φωτογράφιση και την περαιτέρω επεξεργασία τους στο εργαστήριο της σχολής.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράστασή της η οποία αποδείχτηκε καταλυτική για την ολοκλήρωση των σπουδών μου.





Αφιερώνεται στους γονείς μου,  
Χρήστο και Αικατερίνη



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αυτοματοποιημένη μέτρηση γεωμετρικών παραμέτρων σε κλάσματα χαλικιών διαφόρων μεγεθών, όπως αυτά παράγονται στα λατομεία μετά από θραύση.

Όντας κύριο συστατικό για παραγωγή σκυροδέματος, η γνώση του σχήματος, του μεγέθους αλλά και άλλων παραμέτρων των χαλικιών, όπως σφαιρικότητα, επιμήκυνση, δείκτης μορφής και πλακοειδούς κ.λ.π., βοηθά στην επιλογή των κατάλληλων κλασμάτων για διαφορετικές βιομηχανικές εφαρμογές (μηχανικές ιδιότητες βασισμένες στην πυκνότητα των κόκκων-packing density), αφού οι προαναφερθείσες ιδιότητες παίζουν σημαντικό ρόλο τόσο στην αντοχή και την εργασιμότητα, όσο και στην ποιότητα και το κόστος του σκυροδέματος. Ο υπολογισμός των παραπάνω ιδιοτήτων γίνεται εργαστηριακά με μετρήσεις με κόσκινα και ειδικά παχύμετρα, μέθοδοι ιδιαίτερα χρονοβόρες, κουραστικές αλλά και με στατιστικό σφάλμα. Για την αυτοματοποιημένη μέτρηση χρησιμοποιείται επεξεργασία εικόνας που γίνεται μέσω του μαθηματικού λογισμικού MatLab. Η μεθοδολογία μπορεί να εφαρμοστεί ταυτοχρόνως για ολόκληρα κοκκομετρικά κλάσματα χαλικιών.

Αρχικά οι μετρήσεις γίνονται σε χαλίκια διαχωρισμένα χειροκίνητα, με ψηφιακή επεξεργασία έγχρωμων εικόνων και με αποτελέσματα που ανταποκρίνονται σε 2 διαστάσεις. Επειδή όμως δεν λαμβάνεται υπόψη η τρίτη διάσταση, επιχειρείται επιπλέον στατιστική επεξεργασία για τον υπολογισμό της μεταβολής των γεωμετρικών ιδιοτήτων σε 10 τυχαίες ρίψεις των χαλικιών, τα οποία διαχωρίζονται έτσι ώστε να μην αγγίζουν ούτε να επικαλύπτουν το ένα τ' άλλο, καθώς και σε τυχαίες ρίψεις με τα χαλίκια να αφήνονται να αγγίζουν το ένα τ' άλλο. Η ψηφιακή επεξεργασία γίνεται με την εφαρμογή του μετασχηματισμού Watershed για τον καλύτερο διαχωρισμό τους.

Από την επεξεργασία των εργαστηριακών μεθόδων μέτρησης προέκυψαν αισθητά ποσοστά σφάλματος για τα κόσκινα λόγω του μεγάλου αριθμού λανθασμένα διερχόμενων κόκκων από αυτά. Αντίθετα όμως, τα αποτελέσματα

από την εφαρμογή των αλγορίθμων στο λογισμικό MatLab έδωσαν σχεδόν αμελητέα σφάλματα καθιστώντας τη μέθοδο σαφώς καλύτερη.

Τέλος, τα συμπεράσματα κατέληξαν στην εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής της μεθόδου στη βιομηχανία στη φάση του ποιοτικού ελέγχου σε πρώτο στάδιο και απαρίθμησαν τα πλεονεκτήματά της, παραθέτοντας παράλληλα και μια πιθανή οργανολογία για το σκοπό αυτό.

### **ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ:**

Κοκκομετρία αδρανών, κόσκινα, δείκτης πλακοειδούς, δείκτης μορφής, χαλίκια, MatLab, επεξεργασία εικόνας, μηχανικές ιδιότητες σκυροδέματος.

## **ABSTRACT:**

The purpose of this project is the automated measurement of geometrical parameters in fractions of gravel (generally rock) of varying sizes, such as those produced in the quarries after fracture.

Gravels are the main component for the production of concrete, and knowing the shape, size and other geometrical parameters of the gravel, as circularity, elongation, index form and plate, etc., assists in the selection of the appropriate fractions for different industrial applications (mechanical properties density-based grain-packing density), since the above properties are important in both the strength and the workability, as well as the quality and cost of the concrete. Initially the calculation of these properties in the lab included measurements with callipers and special sieves, methods particularly time consuming, tedious and with a significant statistical error. The automated measurement applied uses the MatLab mathematical programming software, measuring whole granulometric fractions of gravel at once.

Initially, the measurements are made manually in separated gravel, using colour images. The result is measurements only in the two dimensions. Failing to take into account the third dimension, a special methodology using statistical analysis attempts to calculate the variation of geometrical properties. Firstly ten randomly thrown pebbles are measured after manually separating them so that they do not touch or overlap each other. Then, a second set of randomly thrown pebbles is measured, however we let them touch or overlap each other. The Watershed transformation is then used for digital recognition and separation of the pebbles.

From the statistical processing of the laboratory methods came out significantly errors for wrongly separated pebbles and gravels from the sieves. On the other hand, the results from the application of the algorithms in MatLab gave out almost negligible errors, making this procedure much better.

Finally, the conclusions reached for the assessment of the possibility of applying the methodology into the industry for the quality control in the first stage, indicated the several advantages of the digital methods, while a possible instrumentation for this purpose was described.

**KEYWORDS:**

Aggregate particle, sieves, Flakiness Index, an indicator of form, gravel, MatLab, image processing, mechanical properties of concrete.

## **ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ:**

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

<b>ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ</b> .....	23
1.1 Εισαγωγή στα αδρανή.....	23
1.2 Κατηγορίες αδρανών.....	24
1.3 Εφαρμογές στο σκυρόδεμα.....	25

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

#### **ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ-ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ**

<b>ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ</b> .....	27
2.1 Προετοιμασία του δείγματος.....	27
2.1.1 Μείωση του δείγματος.....	27
2.1.2 Τετραμερισμός.....	28
2.2 Κοκκομετρική ανάλυση.....	29
2.3 Κόσκινα.....	29
2.4 Διακρίβωση κοσκίνων.....	31
2.5 Δείκτης πλακοειδούς.....	32
2.6 Μέθοδος Danish Box.....	34
2.7 Δείκτης μορφής.....	35
2.8 Εργαστηριακά αποτελέσματα Geoterra.....	36

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b>	
<b>ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ.....</b>	
41	41
3.1	41
3.2	43
3.2.1.	43
3.2.2.	46
3.2.3.	49
3.2.4.	50
3.3	52
3.3.1.	52
3.3.2.	53
3.3.3.	54
3.4.	55
3.4.1	55
3.4.2	63
3.4.3	71
3.4.4	78
3.4.5	82
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....</b>	
83	83
4.1	83
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	
86	86



# **ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ-ΠΙΝΑΚΩΝ:**

## **ΕΙΚΟΝΕΣ:**

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

<b>Εικόνα 1.1:</b> Λατομείο ασβεστολιθικών αδρανών στο Κουφοβούνι Διδυμοτείχου.....	23
<b>Εικόνα 1.2:</b> Κατανομές κόκκων με διαφορετικές πυκνότητες.....	25
<b>Εικόνα 1.3:</b> Περιπτώσεις πλήρωσης κενών από διαφορετικής διαβάθμισης κόκκους.....	26

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

<b>Εικόνα 2.1:</b> Εργαστηριακός σπαστήρας.....	27
<b>Εικόνα 2.2:</b> Τετραμεριστήρας μεταβλητών ανοιγμάτων.....	28
<b>Εικόνα 2.3:</b> Κόσκινο EN με διάτρητη πλάκα.....	29
<b>Εικόνα 2.4:</b> Κόσκινο ASTM με μεταλλικό πλέγμα.....	30
<b>Εικόνα 2.5:</b> Ηλεκτρονικό παχύμετρο.....	31
<b>Εικόνα 2.6:</b> Μικροσκόπιο.....	31
<b>Εικόνα 2.7:</b> Σχάρες διαφόρων ανοιγμάτων.....	33
<b>Εικόνα 2.8:</b> Κόσκινο για πλακοειδείς κόκκους (σχάρα).....	33
<b>Εικόνα 2.9:</b> Στάδια εργαστηριακής μέτρησης της μεθόδου Danish Box.....	34
<b>Εικόνα 2.10:</b> Όργανο αυτοματοποιημένης μέτρησης διαστάσεων μεθόδου Danish Box.....	34
<b>Εικόνα 2.11:</b> Παχύμετρο δείκτη μορφής.....	35

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

<b>Εικόνα 3.1:</b> Επιφάνεια φωτογράφισης με κλίμακα .....	42
<b>Εικόνα 3.2.:</b> Βρόγχος για την ομαδοποίηση των δεδομένων (Kardi Teknomo).....	44
<b>Εικόνα 3.3 :</b> Ο χρωματικός χώρος Lab όπως φαίνεται σε 3 διαστάσεις.....	44

<b>Εικόνα 3.4 :</b> Αρχική εικόνα κλάσματος 22,4-16mm στο πράσινο φόντο .....	45
<b>Εικόνα 3.5:</b> Εικόνα μετά από κατάτμηση του φόντου.....	45
<b>Εικόνα 3.6:</b> Τελική δυαδική εικόνα κατόπιν επεξεργασίας.....	45
<b>Εικόνα 3.7 :</b> Απεικόνιση του υδροκρίτη και των λεκανών (τοπικά ελάχιστα) σε 3D.....	46
<b>Εικόνα 3.8:</b> Υπολογισμός της κλίσης της εικόνας (αριστερά) και το ανάγλυφο της κλίσης σε 3D (δεξιά).....	47
<b>Εικόνα 3.9:</b> Μετασχηματισμός Watershed πλημμυρισμού στην κλίση (αριστερά) και στο ανάγλυφο σε 3D (δεξιά).....	47
<b>Εικόνα 3.10:</b> Δυαδική εικόνα .....	47
<b>Εικόνα 3.11:</b> Το ανάγλυφο των κόκκων.....	48
<b>Εικόνα 3.12:</b> Οι υδροκρίτες όπως φαίνονται ανάμεσα στους κόκκους.....	48
<b>Εικόνα 3.13 :</b> Κλάσμα 31,5-22,4mm, προσανατολισμένοι κόκκοι .....	49
<b>Εικόνα 3.14:</b> Αρχική ανεπεξεργαστη εικόνα (δεξιά).....	50
<b>Εικόνα 3.15:</b> Εικόνα με τα χαλίκια διαχωρισμένα από το φόντο.....	50
<b>Εικόνα 3.16:</b> Τελική δυαδική εικόνα με σαφή όρια κόκκων μετά από εφαρμογή του μετασχηματισμού Watershed .....	51
<b>Εικόνα 3.17:</b> Διάγραμμα σφαιρικότητας και στρογγυλότητας του Croft.....	52
<b>Εικόνα 3.18:</b> Μέγιστο μήκος κόκκου.....	53
<b>Εικόνα 3.19:</b> Ελάχιστο δυνατό περιγεγραμμένο ορθογώνιο για μέτρηση πλάτος.....	53
<b>Εικόνα 3.20:</b> Περιγεγραμμένος (μπλε) και εγγεγραμμένος (κόκκινο) κύκλος σε κόκκο.....	53
<b>Εικόνα 3.21:</b> Τετραγωνικό άνοιγμα κοσκίνου 45mm (κάτοψη).....	72

## ΠΙΝΑΚΕΣ:

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

<b>Πίνακας 2.1:</b> Διαθέσιμα ανοίγματα κοσκίνων EN.....	29
<b>Πίνακας 2.2:</b> Διαθέσιμα ανοίγματα κοσκίνων ASTM.....	30
<b>Πίνακας 2.3:</b> Ανοίγματα σχαρών σε mm.....	33
<b>Πίνακας 2.4:</b> Αποτελέσματα κοσκίνων και σχαρών μεθόδου πλακοειδούς.....	36
<b>Πίνακας 2.5 :</b> Αποτελέσματα μέτρησης με παχύμετρο της μεθόδου του δείκτη μορφής.....	37

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

<b>Πίνακας 3.1:</b> Ανάλυση διακύμανσης κατά ένα παράγοντα του μήκους των κόκκων για το κλάσμα 45-31,5mm.....	57
<b>Πίνακας 3.2:</b> Ανάλυση διακύμανσης κατά ένα παράγοντα του πλάτους των κόκκων για το κλάσμα 45-31,5mm.....	58
<b>Πίνακας 3.3:</b> Ανάλυση διακύμανσης κατά ένα παράγοντα του εμβαδού των κόκκων για το κλάσμα 45-31,5mm.....	59
<b>Πίνακας 3.4:</b> Τιμές P που προκύπτουν από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA).....	62
<b>Πίνακας 3.5:</b> Σύγκριση μέσων τιμών και σφαλμάτων των ψηφιακών μετρήσεων για το κάθε κλάσμα.....	62
<b>Πίνακας 3.6:</b> Έλεγχος t δύο δειγμάτων με υποτιθέμενες ίσες διακυμάνσεις.....	65
<b>Πίνακας 3.7:</b> Έλεγχος t δύο δειγμάτων με υποτιθέμενες ίσες διακυμάνσεις.....	67
<b>Πίνακας 3.8:</b> Έλεγχος t δύο δειγμάτων με υποτιθέμενες ίσες διακυμάνσεις.....	69
<b>Πίνακας 3.9:</b> Συγκεντρωτική στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων 10 τυχαίων ρίψεων.....	70
<b>Πίνακας 3.10:</b> Συγκριτικά αποτελέσματα μετρήσεων εργαστηριακής-ψηφιακής μεθόδου...	72
<b>Πίνακας 3.11:</b> Αποτελέσματα καταμέτρησης εργαστηριακής επιλογής μη κυβικών κόκκων (από δείκτη μορφής) για το κλάσμα 8 – 5.6mm.....	80

<b>Πίνακας 3.12:</b> Αποτελέσματα καταμέτρησης εργαστηριακής επιλογής πλακοειδών κόκκων (από δείκτη μορφής) για το κλάσμα 11.2 – 8mm.....	80
<b>Πίνακας 3.13:</b> Μέσοι όροι τιμών MatLab για Riley Sphericity και Elongation.....	82
<b>Πίνακας 3.14:</b> Μέσοι όροι τιμών MatLab για Compactness και Circularity.....	82

## **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ:**

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

<b>Διάγραμμα 2.1:</b> (επάνω) Ιστόγραμμα συγκρατούμενου βάρους από κάθε κόσκινο. (κάτω) Αθροιστικό βάρος του κάθε κλάσματος. Τα ζεύγη αριθμών δίνουν τα Di-di μεγέθη των κοσκίνων (διερχόμενο-συγκρατούμενο).....	38
<b>Διάγραμμα 2.2:</b> Κατανομή διερχόμενων κόκκων από σχάρες.....	39
<b>Διάγραμμα 2.3:</b> Υπολογισμός δείκτη πλακοειδούς. Η διακεκομμένη οριζόντια γραμμή δείχνει την μέση τιμή του δείκτη πλακοειδούς (10.5, από τις μη μηδενικές τιμές).....	39

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

<b>Διάγραμμα 3.1:</b> Συγκρίσεις μέσων όρων διαστάσεων 10 τυχαίων λήψεων 45-31,5mm.....	56
<b>Διάγραμμα 3.2:</b> Συγκρίσεις μέσων όρων εμβαδών 10 τυχαίων λήψεων 45-31,5mm.....	56
<b>Διάγραμμα 3.3:</b> Συγκρίσεις μέσων όρων διαστάσεων 10 τυχαίων λήψεων 22,4-16mm.....	60
<b>Διάγραμμα 3.4:</b> Συγκρίσεις μέσων όρων εμβαδών 10 τυχαίων λήψεων 22,4-16mm.....	60
<b>Διάγραμμα 3.5:</b> Συγκρίσεις μέσων όρων διαστάσεων 10 τυχαίων λήψεων 16-11,2mm.....	61
<b>Διάγραμμα 3.6:</b> Συγκρίσεις μέσων όρων εμβαδών 10 τυχαίων λήψεων 16-11,2mm.....	61
<b>Διάγραμμα 3.7:</b> Σύγκριση ως προς το μήκος τυχαίας-προσανατολισμένης κλάσματος 31,5-22,4mm KYB.....	64
<b>Διάγραμμα 3.8:</b> Σύγκριση ως προς το πλάτος τυχαίας-προσανατολισμένης κλάσματος 31,5-22,4mm KYB.....	64
<b>Διάγραμμα 3.9:</b> Ιστογράμματα κατανομής μήκους και πλάτους των τυχαίων-προσανατολισμένων κλασμάτων 31,5-22,4mm KYB.....	65
<b>Διάγραμμα 3.10:</b> Σύγκριση ως προς το μήκος τυχαίας-προσανατολισμένης κλάσματος 16-11,2mm KYB.....	66

<b>Διάγραμμα 3.11:</b> Σύγκριση ως προς το πλάτος τυχαίας-προσανατολισμένης κλάσματος 16-11,2mm KYB.....	66
<b>Διάγραμμα 3.12:</b> Ιστογράμματα κατανομής μήκους και πλάτους των τυχαίων-προσανατολισμένων κλασμάτων 16-11.2mm KYB.....	67
<b>Διάγραμμα 3.13:</b> Σύγκριση ως προς το μήκος τυχαίας-προσανατολισμένης κλάσματος 16-11,2mm MH KYB.....	68
<b>Διάγραμμα 3.14:</b> Σύγκριση ως προς το πλάτος τυχαίας-προσανατολισμένης κλάσματος 16-11,2mm MH KYB.....	68
<b>Διάγραμμα 3.15:</b> Ιστογράμματα κατανομής μήκους και πλάτους των τυχαίων-προσανατολισμένων κλασμάτων 16-11.2mm MH KYB.....	69
<b>Διάγραμμα 3.16:</b> Διάγραμμα σύγκρισης κατανομής μεγεθών όλων των κόκκων σαν ένα κλάσμα, με την εργαστηριακή και ψηφιακή μέθοδο: (α) καμπύλη πλήθους κόκκων, και (β) αθροιστική καμπύλη πλήθους κόκκων.....	74
<b>Διάγραμμα 3.17:</b> Διάγραμμα σύγκρισης κατανομής μεγεθών των μη κυβικών κόκκων, με την εργαστηριακή και ψηφιακή μέθοδο: (α) καμπύλη πλήθους κόκκων, και (β) αθροιστική καμπύλη πλήθους κόκκων.....	75
<b>Διάγραμμα 3.18:</b> Διάγραμμα σύγκρισης κατανομής μεγεθών των κυβικών κόκκων, με την εργαστηριακή και ψηφιακή μέθοδο: (α) καμπύλη πλήθους κόκκων, και (β) αθροιστική καμπύλη πλήθους κόκκων.....	76
<b>Διάγραμμα 3.19:</b> Σχέση του μέσου εμβαδού των κόκκων που μετρήθηκαν να διαπερνούν τα κόσκινα με το μέσο εμβαδόν των κόκκων που μετρήθηκαν να διαπερνούν από τα εφαρμοζόμενα ψηφιακά φίλτρα. Τα εμβαδά μετρήθηκαν και στα δύο κλάσματα με ψηφιακές μεθόδους.....	77
<b>Διάγραμμα 3.20:</b> Ιστόγραμμα κατανομής πλάτους κόκκων. Οι μαύρες μπάρες δείχνουν το σύνολο των κόκκων, οι πράσινες την κατανομή αυτών που με τον εργαστηριακό τρόπο διαχωρίστηκαν σαν κυβικοί κόκκοι και με κόκκινο αυτοί που διαχωρίστηκαν σαν μη-κυβικοί.....	79
<b>Διάγραμμα 3.21:</b> Ιστόγραμμα κατανομής δείκτη μορφής κόκκων. Οι μαύρες μπάρες δείχνουν το σύνολο των κόκκων, οι πράσινες την κατανομή αυτών που με τον εργαστηριακό τρόπο διαχωρίστηκαν σαν κυβικοί κόκκοι και με κόκκινο αυτοί που διαχωρίστηκαν σαν μη-κυβικοί.....	79
<b>Διάγραμμα 3.22:</b> Κλάσμα 8-5.6mm: σύγκριση ιστογράμματος κατανομής πλάτους κόκκων κοσκίνων (κόκκινη καμπύλη) με την αθροιστική καμπύλη (μπλε) δύο υπολογιστικών καμπυλών κανονικής κατανομής (Gaussian, γκρι διακεκομμένες).....	81
<b>Διάγραμμα 3.23:</b> Κλάσμα 11.2-8mm: σύγκριση ιστογράμματος κατανομής πλάτους κόκκων κοσκίνων (κόκκινη καμπύλη) με την αθροιστική καμπύλη (μπλε) δύο υπολογιστικών καμπυλών κανονικής κατανομής (Gaussian, γκρι διακεκομμένες).....	81



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

### 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΑΔΡΑΝΗ

Ως αδρανή υλικά αποκαλούνται τα λίθινα υλικά τα οποία δεν προκαλούν χημικές μεταβολές στις σύνθετες τεχνητές ύλες στις οποίες περιέχονται. Προέρχονται συνήθως από την εξόρυξη κατάλληλων πετρωμάτων ή την ανάληψή τους από φυσικές εναποθέσεις των θραυσμάτων τους. Πρόσφατα χρησιμοποιούνται τεχνητά αδρανή που προέρχονται από επεξεργασία βιομηχανικών προϊόντων. Τα λίθινα αυτά προϊόντα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο τους για την κατασκευή ενός έργου και γι' αυτό χαρακτηρίζονται ως βοηθητικά, πλην ελαχίστων περιπτώσεων, όπως π.χ. είναι το έρμα των σιδηροδρομικών σταθμών. Η ανάμιξή τους με ένα πολύ συγκολλητικής ύλης κρίνεται απαραίτητη.

Τα αδρανή πήραν το όνομά τους από το γεγονός ότι δεν παίρνουν μέρος ενεργά στις διαδικασίες πήξης κα σκλήρυνσης, όταν αναμειγνύονται με συγκολλητικά υλικά, όπως το τσιμέντο , η άσφαλτος ή ο ασβέστης. Ωστόσο, η χημική τους αδράνεια είναι απόλυτα εξαρτημένη από την ορυκτολογική τους σύσταση και τα υλικά με τα οποία έρχονται σε επαφή. Στη συντριπτική τους πλειοψηφία τα αδρανή στην Ελλάδα προέρχονται από ασβεστολιθικά πετρώματα διότι πληρούν τις μηχανικές αντοχές των συνήθων κατασκευών, έχουν σχετικά χαμηλό κόστος θραύσης και φυσικά υπάρχουν σε αφθονία σε αρκετά σημεία της Ελληνικής επικράτειας (Εικόνα 1.1).



**Εικόνα 1.1:** Λατομείο ασβεστολιθικών αδρανών στο Κουφοβούνη Διδυμοτείχου

## 1.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα αδρανή υλικά διακρίνονται σε επιμέρους κατηγορίες ανάλογα:

### α) Με την προέλευσή τους σε :

**Φυσικής προέλευσης.** Πρόκειται για αδρανή τα οποία έχουν ληφθεί από το φυσικό περιβάλλον και δεν έχουν υποστεί τίποτα, παρά μόνο μηχανική επεξεργασία θραύσης, πλυσίματος και διαλογής (πχ θραυστά πετρώματα, αλλουβιακοί σχηματισμοί, ποταμίσιες λιμναίες ή θαλάσσιες αποθέσεις, αποθέσεις άμμων, λάβα, λατομικά προϊόντα κλπ).

**Τεχνητά ή βιομηχανικά.** Είναι τα αδρανή που έχουν προκύψει ως προϊόντα ή παραπροϊόντα βιομηχανικής δραστηριότητας από χημική ή θερμική επεξεργασία πρώτων υλών ορυκτής ή άλλης προέλευσης (πχ τέφρες, σκωρίες, υπολείμματα καύσεων, άργιλοι, βερμικουλίτης, περλίτης, υλικά στίλβωσης, κλπ)

**Ανακυκλωμένα.** Είναι τα αδρανή που προκύπτουν από την επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση δομικών υλικών από υφιστάμενες κατασκευές (υλικά κατεδαφίσεως σκυροδέματος, τοιχοποιίας, ασφαλτικών έργων κλπ)

### β) Με την πηγή λήψης σε:

**«Φυσικά» ή συλλεκτά .** Έτσι ονομάζονται τα αδρανή που η λήψη τους γίνεται από φυσικές αποθέσεις (π.χ. ποτάμια, ορυχεία κτλ.). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έχουν ή να επεξεργαστούν περαιτέρω ανάλογα με τις απαιτήσεις (π.χ. θραύση, πλύσιμο, κτλ.) Επειδή σε αυτά τα υλικά υπάρχει αυξημένος ο κίνδυνος αργλικής παιπάλης, έχουν κατά κανόνα αυξημένες απαιτήσεις ως προς αυτή.

**Αδρανή λατομείων .** Έτσι αποκαλούνται τα αδρανή που προκύπτουν από εξόρυξη και θραύση όγκων πετρώματος.

Είναι η κύρια κατηγορία αδρανών υλικών που χρησιμοποιούνται στον Ελλαδικό χώρο.

### γ) Με το μέγεθος των κόκκων τους:

**Λεπτόκοκκα .** Είναι τα αδρανή με μέγεθος κόκκου < 4 mm (διάφορα είδη άμμων)

**Χονδρόκοκκα .** Είναι τα αδρανή με μέγιστο μέγεθος κόκκου > 4 mm, και ελάχιστο >2 mm (ογκόλιθοι, κροκάλες, έρμα, χαλίκι, γαρμπίλι, ρυζάκι)

**Filler** είναι το διαβαθμισμένο λεπτομερές αδρανές υλικό με μέγιστο κόκκο 2 mm, και το οποίο διέρχεται σε ποσοστό 70-100% από το κόσκινο 0,063 mm.

### δ) Με το ειδικό βάρος:

**Κανονικού ειδικού βάρους.** Είναι τα αδρανή με ειδικό βάρος από 2 έως <3 Mg/m<sup>3</sup>

**Ελαφροβαρή.** Είναι τα αδρανή με ειδικό βάρος < 2 Mg/m<sup>3</sup>

**Βαρέα .** Είναι τα αδρανή με ειδικό βάρος 3 Mg/m<sup>3</sup>

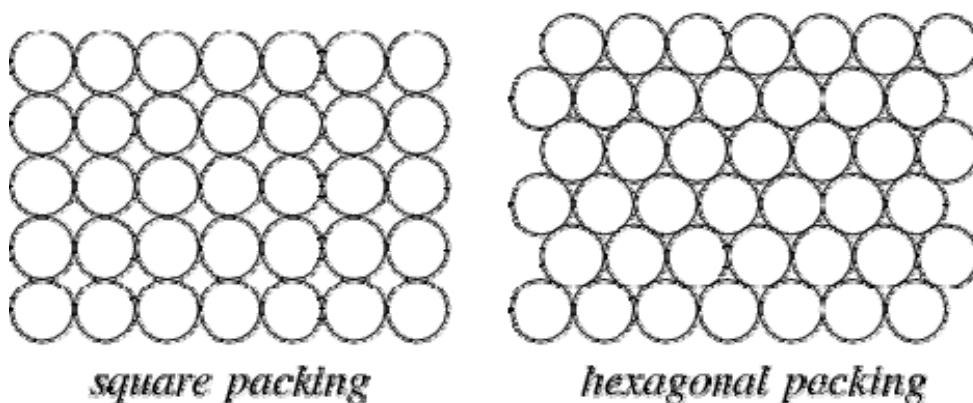


### 1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Τα αδρανή, όντας κύρια συστατικά της μάζας του σκυροδέματος, έχουν ως βασικό πεδίο εφαρμογής την κατασκευαστική βιομηχανία. Όταν τα αδρανή συμμετέχουν στο σκυρόδεμα σε ποσοστό από 75 έως 80%, ο ρόλος τους είναι καταλυτικός στην δημιουργία ενός ανθεκτικού και συνεκτικού ιστού ο οποίος θα δεχθεί τα φορτία της κατασκευής αλλά και θα αντέξει στις φυσικοχημικές επιδράσεις του περιβάλλοντος.

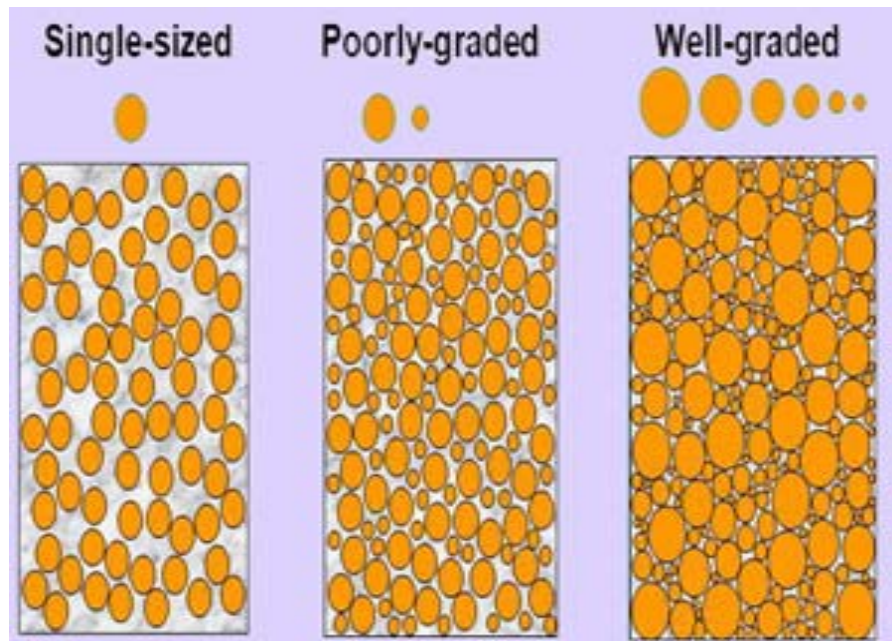
Αποτελώντας το κύριο συστατικό του σκυροδέματος απαιτείται ακριβής μέτρηση των σημαντικότερων γεωμετρικών του παραμέτρων, όπως μέγιστο-ελάχιστο μήκος, εμβαδόν, περίμετρος, τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε μια σειρά παραμέτρων που περιλαμβάνουν την κυκλικότητα, την επιμήκυνση, τον τρόπο κατάληψης του χώρου, τους δείκτες μορφής και πλακοειδούς για συγκεκριμένες εφαρμογές (π.χ. μηχανικές ιδιότητες βασισμένες στην πυκνότητα των κόκκων-packing density).

Οι μηχανικές ιδιότητες άμεσα εξαρτώνται από τις γεωμετρικές ιδιότητες των χαλικιών. Πράγματι όταν το ποσοστό των πεπλατυσμένων κόκκων αυξάνεται, η αντοχή και η εργασιμότητα μειώνονται. Επίσης όταν στρογγυλεμένοι και ομαλοί κόκκοι χρησιμοποιούνται αντί για τραχείς γωνιώδεις ή επιμηκυμένους, το μπετόν είναι πιο εργάσιμο και κατάλληλο για τη βιομηχανία, δίνοντας έτσι ένα συμπαγές και ανθεκτικό σκυρόδεμα (**Εικόνα 1.2**), αρκεί η συνδετική ύλη (η πάστα που δημιουργείται από την ανάμειξη του τσιμέντου με το νερό) να συγκολλήσει με ισχυρό δεσμό τα αδρανή μεταξύ τους (καλή πρόσφυση αδρανούς - πάστας). Ακόμη πιο ισχυρός δεσμός δημιουργείται όταν η επιφάνεια των κόκκων είναι τραχιά αντί λείας αυξάνοντας έτσι την αντοχή του σκυροδέματος.



**Εικόνα 1.2:** Κατανομές κυκλικών κόκκων με διαφορετικές πυκνότητες. Τετραγωνική διάταξη (αριστερά) και εξαγωνική (δεξιά) με σημαντική μείωση του πορώδους.

Η κατανομή μεγέθους είναι εξίσου σημαντική γιατί προσδιορίζει την ποσότητα του τσιμέντου που θα χρησιμοποιηθεί. Αυτή η ποσότητα τσιμέντου καθορίζει και το κόστος αφού είναι το πιο ακριβό υλικό. Έτσι αυτή η ποσότητα θα πρέπει να μειωθεί με την αύξηση της πυκνότητας των κόκκων η οποία εξαρτάται από τα κενά ανάμεσα στους κόκκους που θα πρέπει να πληρωθούν. Αυτή η πλήρωση κενών επιτυγχάνεται πιο αποτελεσματικά όταν υπάρχει καλή διαβάθμιση κόκκων, αυτό σημαίνει ποικιλία μεγεθών άρα και ανομοιομορφία των κόκκων (Εικόνα 1.3).



Εικόνα 1.3: Περιπτώσεις πλήρωσης κενών από διαφορετικής διαβάθμισης κόκκους

Τα αδρανή ,τα οποία συμμετέχουν στο σκυρόδεμα, δε θα πρέπει να περιέχουν δραστικές μορφές διοξειδίου του πυριτίου, προκειμένου να αποφευχθεί η αλκαλοπυριτική αντίδραση. Αποτέλεσμα της αντίδρασης αυτής των αλκαλικών ιόντων του τσιμέντου Portland με τα πυριτικά συστατικά των αδρανών είναι η διόγκωση και η ρηγμάτωση, που οδηγούν σε απώλεια της αντοχής, της ελαστικότητας και της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος.

Με βάση το βαθμό αταξίας, τη δομή του αδρανούς, το πορώδες του και το μέγεθος του κόκκου του, παρουσία ιόντων υδροξυλίου και αλκαλομετάλλων, σχηματίζονται αλκαλοπυριτικά gels με διαφορετικές χημικές συστάσεις. Όταν τα αλκαλοπυριτικά gels έρχονται σε επαφή με το νερό, διογκώνονται προσροφώντας μεγάλες ποσότητες νερού μέσω όσμωσης. Η υδραυλική πίεση που αναπτύσσεται μπορεί να οδηγήσει σε διόγκωση και ρηγμάτωση των προσβεβλημένων τεμαχιδίων αδρανούς, της μήτρας του τσιμεντοπολτού που περιβάλλει τα αδρανή και του σκυροδέματος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

# ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

## 2.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

### 2.1.1 ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Η μείωση εργαστηριακού δείγματος - συχνά αποκαλούμενη και ως "τετραμερισμός" συνίσταται στη μείωση του δείγματος που παραλαμβάνεται από ένα εργαστήριο σε ποσότητα που να μπορεί να υποστεί μία συγκεκριμένη δοκιμή. Συνάγεται λοιπόν ότι ο τετραμερισμός προηγείται όλων των δοκιμών που πρόκειται να διενεργηθούν σε ένα δείγμα και εξ' ορισμού μπορεί να επηρεάσει τα εξαγόμενα αποτελέσματα. Βασική αρχή της διαδικασίας του τετραμερισμού είναι η επισταμένη ομογενοποίηση του αρχικού δείγματος και η εν συνεχεία επαναλαμβανόμενη διαίρεσή του σε ποσότητες μικρότερες, μέχρις ότου ληφθεί μέγεθος δείγματος επαρκές για τη διενέργεια της επόμενης δοκιμής. Η διαδικασία μπορεί να γίνει είτε με μηχανικούς διαχωριστές είτε χειροκίνητα. Ως μείωση εργαστηριακού δείγματος αναφέρεται συχνά και η μείωση του μεγέθους των κόκκων ενός αδρανούς υλικού. Κάτι τέτοιο χρειάζεται κυρίως στη διενέργεια χημικών δοκιμών. Σε αυτές, προκειμένου να προσδιοριστούν οι χημικές ιδιότητες του υλικού, το δείγμα πρέπει να είναι με τη μορφή πολύ λεπτής σκόνης ή μικρών κόκκων. Για τη διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται συνήθως ο σπαστήρας ή ο κονιορτοποιητής



Εικόνα 2.1: Εργαστηριακός σπαστήρας

## 2.1.2 ΤΕΤΡΑΜΕΡΙΣΜΟΣ

Η διαδικασία του τετραμερισμού μπορεί να γίνει είτε μηχανικά είτε χειροκίνητα. Η συνήθης πρακτική είναι για χονδρόκοκκα αδρανή μεγίστου κόκκου έως 1/2 in (12,5 mm) να χρησιμοποιούνται μηχανικοί διαχωριστές ενώ για χονδρόκοκκα αδρανή μεγίστου κόκκου 3/8 in (9,5 mm) και για λεπτόκοκκα αδρανή η διαδικασία να γίνεται χειροκίνητα.

Για το μηχανικό διαχωρισμό χρησιμοποιούνται οι τετραμεριστήρες. Αυτοί αποτελούνται από ανοίγματα - σχισμές - άρτια στο πλήθος. Σε αυτά αδειάζεται το εργαστηριακό δείγμα και διανέμεται, κατά το δυνατόν ισόποσα, σε δύο υποκείμενους υποδοχείς. Εν συνεχεία το υλικό του ενός υποδοχέα απορρίπτεται ενώ αυτό του άλλου επανατροφοδοτείται στον τετραμεριστήρα για περαιτέρω μείωση. Υπάρχουν δύο ειδών τετραμεριστήρες: αυτοί με τα σταθερά ανοίγματα που χρησιμεύουν για υλικά ορισμένου μεγίστου κόκκου και αυτοί με τα μεταβλητά ανοίγματα που χρησιμεύουν για όλα τα χονδρόκοκκα αδρανή. Σημειώνεται εδώ πως οι τετραμεριστήρες μεταβλητών ανοιγμάτων δεν είναι κατάλληλοι για λεπτόκοκκα αδρανή.

Ο χειροκίνητος διαχωρισμός γίνεται με χρήση κατάλληλων εργαλείων όπως σπάτουλες, φτυάρια και συχνά ειδικούς καμβάδες. Κατά τη εργαστηριακή διαδικασία ομογενοποιείται το δείγμα επισταμένως. Σχηματίζεται με αυτό ένας κώνος με εναπόθεση υλικού από τη βάση στην κορυφή. Ακολούθως και με κατακόρυφη πίεση στην κορυφή, επιπεδώνεται ο κώνος σε δίσκο ομοιόμορφου πάχους. Ο δίσκος χαράζεται με δύο κάθετες διαμέτρους. Δύο αντιδιαμετρικά τμήματα απομακρύνονται ενώ τα δύο εναπομείναντα ομογενοποιούνται για τη συνέχιση της μείωσης.



**Εικόνα 2.2:** Τετραμεριστήρας μεταβλητών ανοιγμάτων

## 2.2 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η δοκιμή της κοκκομετρικής ανάλυσης είναι η πιο διαδεδομένη και η πιο συχνά διενεργούμενη δοκιμή για τα αδρανή υλικά και τα εδαφικά υλικά. Με την κοκκομετρία μπορεί να υπολογιστεί η κατανομή του μεγέθους των κόκκων ενός υλικού και μέσω αυτής να προκύψουν πολύτιμα συμπεράσματα. Η κατανομή του μεγέθους των κόκκων ενός αδρανούς υλικού επηρεάζει άμεσα όλες τις ιδιότητες του σκυροδέματος και του ασφαλτικού σκυροδέματος. Τα αποτελέσματα της κοκκομετρίας αποδίδουν πολύτιμα δεδομένα για τις ιδιότητες του πορώδους του ιστού των αδρανών υλικών στις κατασκευές. Ομοίως για τα εδαφικά υλικά, γνωρίζοντας την κοκκομετρική τους διαβάθμιση είναι δυνατόν να εξαχθούν πολλά συμπεράσματα που σχετίζονται με τη συμπεριφορά των υλικών και κατ' επέκταση και των κατασκευών.

## 2.3 ΚΟΣΚΙΝΑ

### ΠΡΟΤΥΠΑ EN:

Τα ευρωπαϊκά πρότυπα EN συνιστούν κόσκινα διαμέτρου 200mm και 300mm. Είναι επίσης κατασκευασμένα από ανοξείδωτο ατσάλι. Η διαφορά τους με αυτά των αμερικανικών προτύπων, είναι το ότι στα EN κόσκινα η επιφάνειά τους αποτελείται από διάτρητη πλάκα και όχι πλέγμα. Για πολύ λεπτόκοκκα αδρανή, δηλαδή για ανοίγματα από 3,35 mm και κάτω, χρησιμοποιούνται και εδώ κόσκινα από μεταλλικό πλέγμα.

Τα κόσκινα EN διατίθενται στα ακόλουθα ανοίγματα (mm):

4,00	10,0	25,0	63
4,75	11,2	26,5	75
5,00	12,5	28,0	80
5,60	13,2	31,5	90
6,30	14,0	37,5	100
6,70	16,0	40	106
7,10	18,0	45	125
8,00	19,0	50	
9,00	20,0	53	
9,50	22,4	56	

Πίνακας 2.1: Διαθέσιμα ανοίγματα κοσκίνων EN



Εικόνα 2.3: Κόσκινο EN με διάτρητη πλάκα

## ΠΡΟΤΥΠΑ ASTM:

Σύμφωνα με τα αμερικανικά πρότυπα ASTM έχουμε κόσκινα διαμέτρου 8 ιντσών (203mm) και μεγαλύτερα 12 ιντσών (305mm). Είναι κατασκευασμένα από ανοξείδωτο ατσάλι και αποτελούνται από οπές οι οποίες σχηματίζονται από σύρματα που περνάνε εναλλάξ το ένα πάνω από το άλλο.

Τα κόσκινα ASTM διατίθενται στα ακόλουθα ανοίγματα (mm):

<u>mm</u>	<u>mm</u>	<u>mm</u>
0,038	0,60	8,0
0,045	0,71	9,5
0,053	0,85	11,2
0,063	1,00	12,5
0,075	1,18	16,0
0,090	1,40	19,0
0,106	1,70	22,4
0,125	2,00	25,0
0,150	2,36	31,5
0,180	2,80	38,1
0,212	3,35	45
0,250	4,00	50
0,300	4,75	63
0,355	5,60	75
0,425	6,3	90
0,50	6,7	100

Πίνακας 2.2: Διαθέσιμα ανοίγματα κοσκίνων ASTM



Εικόνα 2.4 : Κόσκινο ASTM με μεταλλικό πλέγμα

## 2.4 ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΚΟΣΚΙΝΩΝ

Ανά τακτά χρονικά διαστήματα πρέπει τα κόσκινα να διακριβώνονται ώστε να επιβεβαιώνεται ότι τα ανοίγματα των οπών τους είναι εντός των επιτρεπομένων ανοχών. Για τα κόσκινα που χρησιμοποιούνται με τις αμερικανικές μεθόδους δοκιμής (ASTM) ο προτεινόμενος χρόνος μεταξύ δύο διακριβώσεων είναι ένας χρόνος για όλα τα κόσκινα. Για εκείνα που χρησιμοποιούνται με τις ευρωπαϊκές μεθόδους δοκιμής (EN, ISO) ο προτεινόμενος χρόνος μεταξύ δύο διακριβώσεων είναι ένας χρόνος για τα κόσκινα από μεταλλικό πλέγμα που χρησιμοποιούνται για λεπτόκοκκα αδρανή και δύο χρόνια για τα κόσκινα από διάτρητη πλάκα που χρησιμοποιούνται στα χονδρόκοκκα αδρανή. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στη διακρίβωση των κοσκίνων είναι το ηλεκτρονικό παχύμετρο και το μικροσκόπιο (Εικ.2.5-2.6).



Εικόνα 2.5 : Ηλεκτρονικό παχύμετρο



Εικόνα 2.6 : Μικροσκόπιο

## 2.5 ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΚΟΕΙΔΟΥΣ

Ο δείκτης πλακοειδών κόκκων είναι μία δοκιμή που προσδιορίζει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των κόκκων του αδρανούς. Εφαρμόζεται δε μόνο σε χονδρόκοκκα αδρανή. Ιδανικά, τόσο στο σκυρόδεμα όσο και στο ασφαλτικό σκυρόδεμα, οι κόκκοι πρέπει να πλησιάζουν την κυβική ή τη σφαιρική μορφή. Όταν ο λόγος της μέγιστης προς την ελάχιστη διάσταση του κόκκου είναι μεγαλύτερος από 2, τότε λέγεται ότι ο κόκκος είναι πλακοειδής.

Όταν στο αδρανές το ποσοστό των πλακοειδών κόκκων μεγαλώνει, αυξάνεται η ειδική επιφάνεια του αδρανούς και κατά συνέπεια αυξάνεται και η απαιτούμενη ποσότητα συνδετικού υλικού (τσιμεντοπολτός ή άσφαλτος) για την κάλυψη του αδρανούς. Για το λόγο αυτό οι διεθνείς προδιαγραφές ορίζουν ένα μέγιστο ποσοστό πλακοειδών κόκκων που πρέπει να περιέχεται στα χονδρόκοκκα αδρανή.

Ο δείκτης πλακοειδών κόκκων προσδιορίζεται με ειδικά κόσκινα (σχάρες) . Τα κόσκινα αυτά έχουν μακρόστενες οπές από τις οποίες διέρχονται οι πλακοειδείς κόκκοι ενώ οι κυβικοί και σφαιρικοί συγκρατούνται.

Η βασική αρχή της δοκιμής συνίσταται καταρχάς στο διαχωρισμό του αδρανούς σε επιμέρους κλάσματα με τη δοκιμή της κοκκομετρικής ανάλυσης. Το κλάσμα μεγέθους  $d/D$  , όπου  $d_i$  αντιπροσωπεύει το συγκρατούμενο κλάσμα και  $D_i$  το διερχόμενο,

τοποθετείται στο κόσκινο πλακοειδούς με άνοιγμα  $D/2$ . Οι κόκκοι που θα διέλθουν από αυτό θεωρούνται πλακοειδείς ενώ αυτοί που συγκρατούνται θεωρούνται ως κυβικοί. Με κατάλληλους υπολογισμούς εξάγεται εν τέλη ο συνολικός δείκτης πλακοειδών κόκκων για το σύνολο του χονδρόκοκκου αδρανούς.

Ο δείκτης πλακοειδούς βρίσκεται εκφράζοντας το βάρος των πλακοειδών κόκκων ως ποσοστό του βάρους των αδρανών που εξετάζουμε. Οι κόκκοι αδρανών χαρακτηρίζονται ως πλακοειδείς εάν η μικρότερη διάστασή τους είναι μικρότερη του 0,6 του τυπικού μήκους τους, όπου ως τυπικό μήκος θεωρούμε το μέσο όρο  $(d_i + D_i)/2$  του ανοίγματος των κοσκίων που έχουμε χρησιμοποιήσει για να καθορίσουμε το κλάσμα στο οποίο ανήκουν, όπου  $d_i$  αντιπροσωπεύει το συγκρατούμενο κλάσμα και  $D_i$  το διερχόμενο.

Τα κόσκινα πλακοειδών κόκκων σύμφωνα με το πρότυπο EN είναι κατασκευασμένα από ανοξείδωτο χάλυβα.

### **Χαρακτηριστικά κοσκίων πλακοειδών:**

- Σχήμα κοσκίων: τετράγωνο ακμής 300 mm
- Διάμετρος μπάρας: 5 mm





**Εικόνα 2.7:** Σχάρες διαφόρων ανοιγμάτων



**Εικόνα 2.8:** Κόσκινο για πλακοειδείς κόκκους (σάρα)

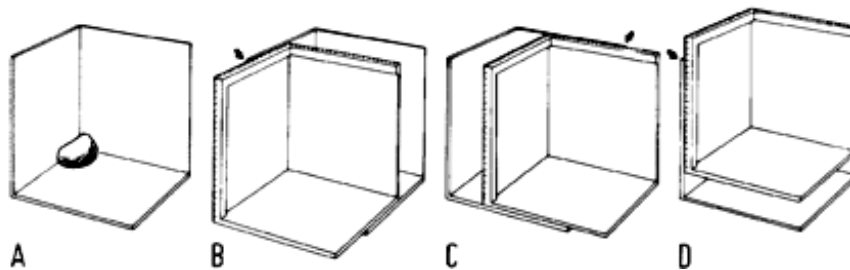
Τα διαθέσιμα ανοίγματα των σχαρών σε mm είναι τα εξής:

40 mm	31,5 mm	25 mm	20 mm	16 mm	12,5 mm	10 mm
8 mm	6,3 mm	5 mm	4 mm	3,15 mm	2,5 mm	

**Πίνακας 2.3:** Ανοίγματα σχαρών σε mm.

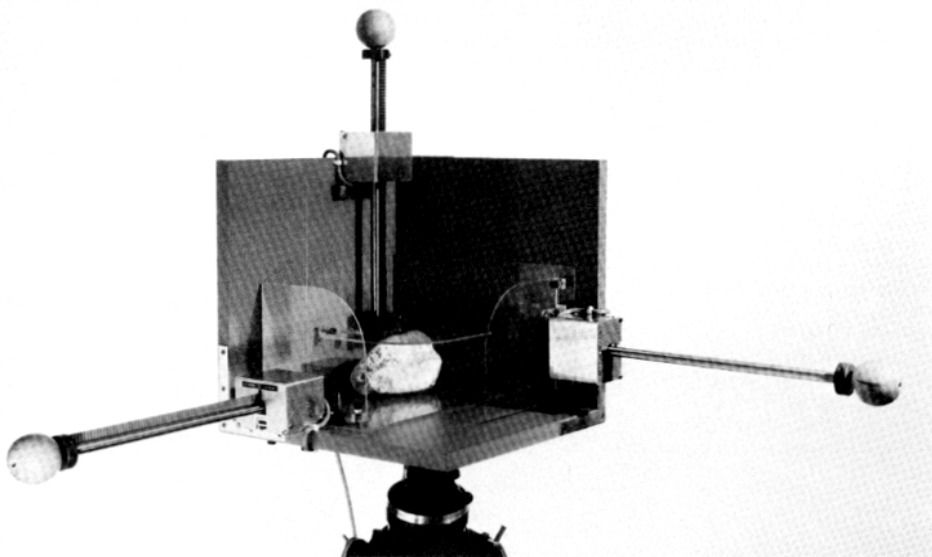
## 2.6 ΜΕΘΟΔΟΣ DANISH BOX

Η μέθοδος αυτή συνιστά μια εναλλακτική διαδικασία που αποσκοπεί στην ταυτόχρονη μέτρηση και των τριών διαστάσεων ενός κόκκου. Για τη εργαστηριακή περίπτωση απαιτούνται δύο κουτιά από κόντρα πλακέ το καθένα από τα οποία διαθέτει μόνο τρεις κάθετες μεταξύ τους πλευρές στις διευθύνσεις των τριών αξόνων. Αρχικά, στο ένα κουτί τοποθετείται ο κόκκος (Εικ. 2.9Α). Ακολούθως, το δεύτερο κουτί, το οποίο διαθέτει κλίμακα σε χιλιοστά κατά μήκος των τριών ακμών του, κινείται κατά μήκος των τριών διαστάσεων σε σχέση με το πρώτο κουτί έως ότου συναντήσει τον κόκκο, σχηματίζοντας έτσι το μικρότερο τριών διαστάσεων παραλληλεπίπεδο που ταιριάζει στον κόκκο, μετρώντας τον και σημειώνοντας με το χέρι τις τρεις διαστάσεις του (Εικ. 2.9 Β, C, D).



Εικόνα 2.9: Στάδια εργαστηριακής μέτρησης της μεθόδου Danish Box

Από την άλλη, για την περίπτωση της ηλεκτρονικής μέτρησης, έχει κατασκευαστεί το αντίστοιχο όργανο, το οποίο διαθέτει ένα παρόμοιο με τη εργαστηριακή μέθοδο κουτί και τρεις βραχίονες με επίπεδες επιφάνειες στις άκρες τους. Οι βραχίονες αυτοί κινούνται προοδευτικά, ένας κάθε φορά, με ηλεκτρική υποβοήθηση, προς το εσωτερικό του κουτιού ταιριάζοντας πάνω στον κόκκο αποδίδοντας έτσι και την αντίστοιχη διάσταση, η οποία μπορεί και καταγράφεται αυτόματα από συνδεδεμένο ηλεκτρονικό υπολογιστή.



Εικόνα 2.10: Όργανο αυτοματοποιημένης μέτρησης διαστάσεων της μεθόδου Danish Box

## 2.7 ΔΕΙΚΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ

Όπως ο δείκτης πλακοειδούς υπολογίζει το ποσοστό των κόκκων που έχουν λόγο μέγιστης προς ελάχιστη διάμετρο μεγαλύτερο του 2, έτσι ο δείκτης μορφής προσδιορίζει το ποσοστό των κόκκων όπου ο λόγος αυτός είναι μεγαλύτερος του 3. Η δοκιμή διενεργείται με ειδικό παχύμετρο που διαθέτει δύο ανοίγματα. Ο λόγος του ενός προς το άλλο ισούται με 3. Η βασική αρχή της δοκιμής συνίσταται καταρχήν στον οπτικό διαχωρισμό των κόκκων σε 3 κατηγορίες α)σε αυτούς που είναι πολύ κοντά στην κυβική μορφή και συνεπώς όλες τους οι διαστάσεις είναι περίπου ίσες, β)σε αυτούς που η μία διάσταση είναι εμφανώς και με σιγουριά κατά πολύ μεγαλύτερη από το τριπλάσιο της μικρότερης, γ)σε αυτούς που δεν εμπίπτουν στις παραπάνω περιπτώσεις και οι διαστάσεις τους πρέπει να μετρηθούν.

Σε αυτή την τρίτη κατηγορία κόκκων γίνεται και ο έλεγχος με το ειδικό παχύμετρο του δείκτη μορφής. Τοποθετείται η μεγαλύτερη διάσταση του κόκκου (μήκος) στο μεγαλύτερο άνοιγμα του ειδικού παχυμέτρου και αυτό κλειδώνει στη θέση αυτή. Στη συνέχεια εφαρμόζεται η μικρότερη διάσταση του κόκκου (πάχος) στο μικρό άνοιγμα του παχυμέτρου, όπως εκείνο παρέμεινε κλειδωμένο από πριν. Αν ο κόκκος περνάει άνετα από αυτό, τότε το μήκος είναι μεγαλύτερο από το τριπλάσιο του πάχους, οπότε ταξινομείται με τους κόκκους της δεύτερης κατηγορίας. Αν ο κόκκος δε μπορεί να περάσει και παγιδεύεται τότε τοποθετείται με τους κόκκους της πρώτης κατηγορίας. Από τα παραπάνω συνεπάγεται για τους κόκκους της δεύτερης κατηγορίας, οι οποίοι ορίζονται ως μη κυβικοί, ότι το πάχος του κόκκου, εφόσον είναι μικρότερο από το 1/3 του μήκους, θα είναι και μικρότερο από το πλάτος,



Εικόνα 2.11: Παχύμετρο δείκτη μορφής

## 2.8 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ GEOTERRA

Στο εργαστήριο της συνεργαζόμενης εταιρείας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε αδρανή με σκοπό τη λήψη των αποτελεσμάτων από το διαχωρισμό του δείγματος σε κλάσματα και κατόπιν από τον προσδιορισμό των γεωμετρικών παραμέτρων με βάση τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα. Αναλυτικότερα, μας δόθηκε ένα δείγμα από ένα λατομείο της Αρκαδίας.

Η αρχική μάζα του δοκιμίου ήταν 19,000 g. Έπειτα, πραγματοποιήθηκε κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα προτύπου EN 933-3:1997 + A1 2003 και υπολογισμός δείκτη πλακοειδούς (Πίνακας 2.4). Ακολούθως πραγματοποιήθηκε η μέτρηση του δείκτη μορφής (Πίνακας 2.5).

ΚΟΣΚΙΝΟ				ΣΧΑΡΑ			ΠΛΑΚ/ΔΕΣ
Διερχόμενο Di (mm)	Συγκρατούμενο di (mm)	Κλάσμα di/Di Ri (g)	Κλάσμα di/Di Ri (%)	Άνοιγμα Di/2 (mm)	Μάζα διερχόμενου mi (g)	Μάζα διερχόμενου mi (%)	Fli 100*(mi/Ri) %
80	63	0.00	0.00	40	0.00	0.00	0
63	50	227.13	1.20	31.5	0.00	0.00	0
50	40	566.86	2.98	25	0.00	0.00	0
40	31.5	1388.70	7.31	20	158.30	11.19	11.40
31.5	25	1697.50	8.93	16	200.80	14.19	11.83
25	20	1650.20	8.69	12.5	166.00	11.73	10.06
20	16	1738.50	9.15	10	105.20	7.44	6.05
16	12.5	1852.10	9.75	8	195.85	13.84	10.57
12.5	10	1067.00	5.62	6.3	116.90	8.26	10.96
10	8	1149.60	6.05	5	112.90	7.98	9.82
8	6.3	1059.20	5.57	4	111.00	7.85	10.48
6.3	5	781.10	4.11	3.15	68.76	4.86	8.80
5	4	1191.40	6.27	2.5	179.03	12.65	15.03
Original total (g):		19000.00	75.63			100.00	
M1 (Σri) =		14369.29		M2 (Σmi)=		1414.74	
<b><math>F_l = (M_2/M_1) * 100 = 9.84</math></b>							

Πίνακας 2.4: Αποτελέσματα κοσκίνων και σχαρών μεθόδου πλακοειδούς.

Κλάσμα		$M_{1,i}$	$V_i =$ $100 \times M_1 / M_0$	$M_{2,i}$	$SI_i$ $= 100 \times M_2 / M_1$	$V_i \times SI_i$
$D_i$	$d_i$	<i>g</i>	%	<i>g</i>	%	%
63	45	0	0.0	0		
45	31.5	1199.5	119.6	0.0	0.0	0.0
31.5	22.4	1526.4	152.2	216.2	14.2	21.6
22.4	16	1310.2	130.6	143.0	10.9	14.3
16	11.2	1055.3	105.2	114.7	10.9	11.4
11.2	8	878.0	87.5	105.4	12.0	10.5
8	5.6	653.2	65.1	91.8	14.1	9.2
5.6	4	483.9	48.2	63.6	13.1	6.3
<b>Άθροισμα</b>		<b>5907.0</b>	<b>589.0</b>	<b>734.8</b>	<b>75.2</b>	<b>73.3</b>

$$\text{Δείκτης} = \frac{\text{SI}}{\text{μορφής}} = \frac{\sum(V_i \times SI_i) / \sum V_i}{\text{}} = 10.3$$

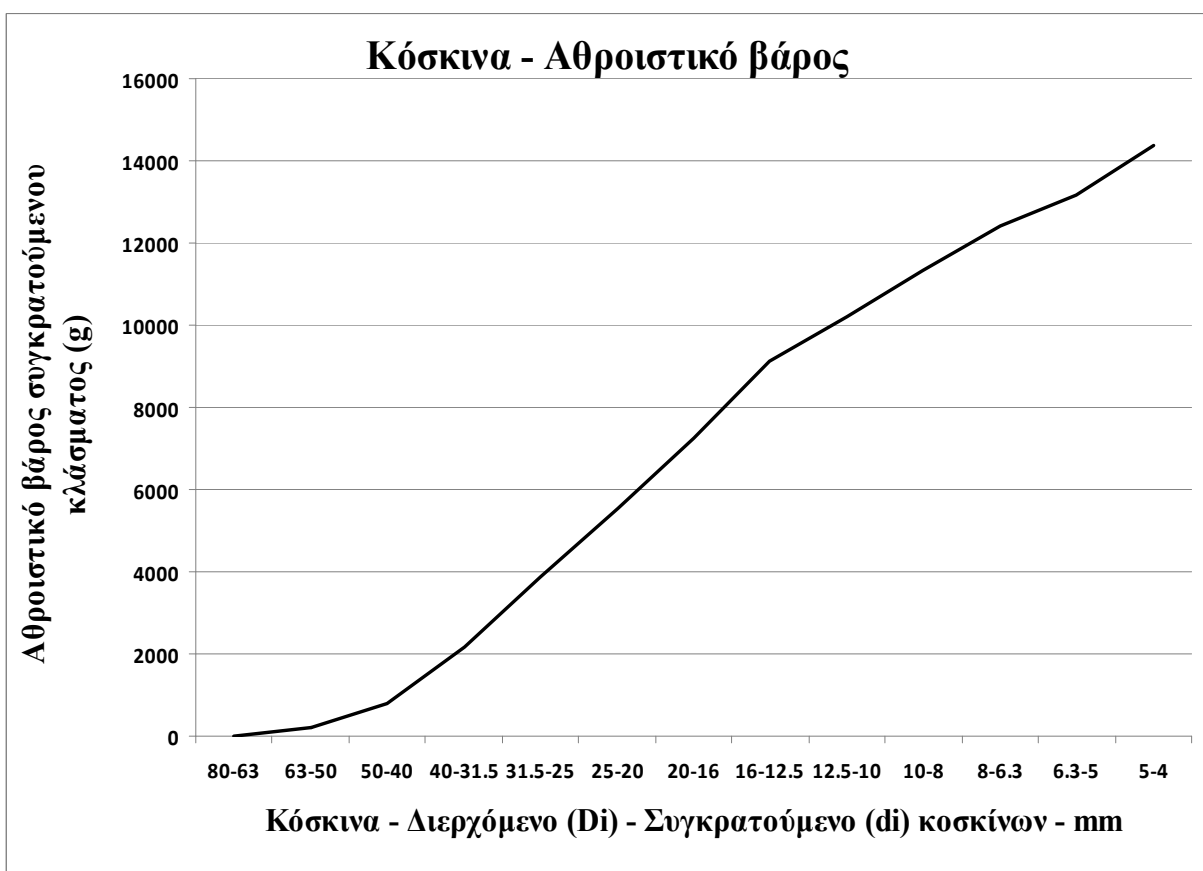
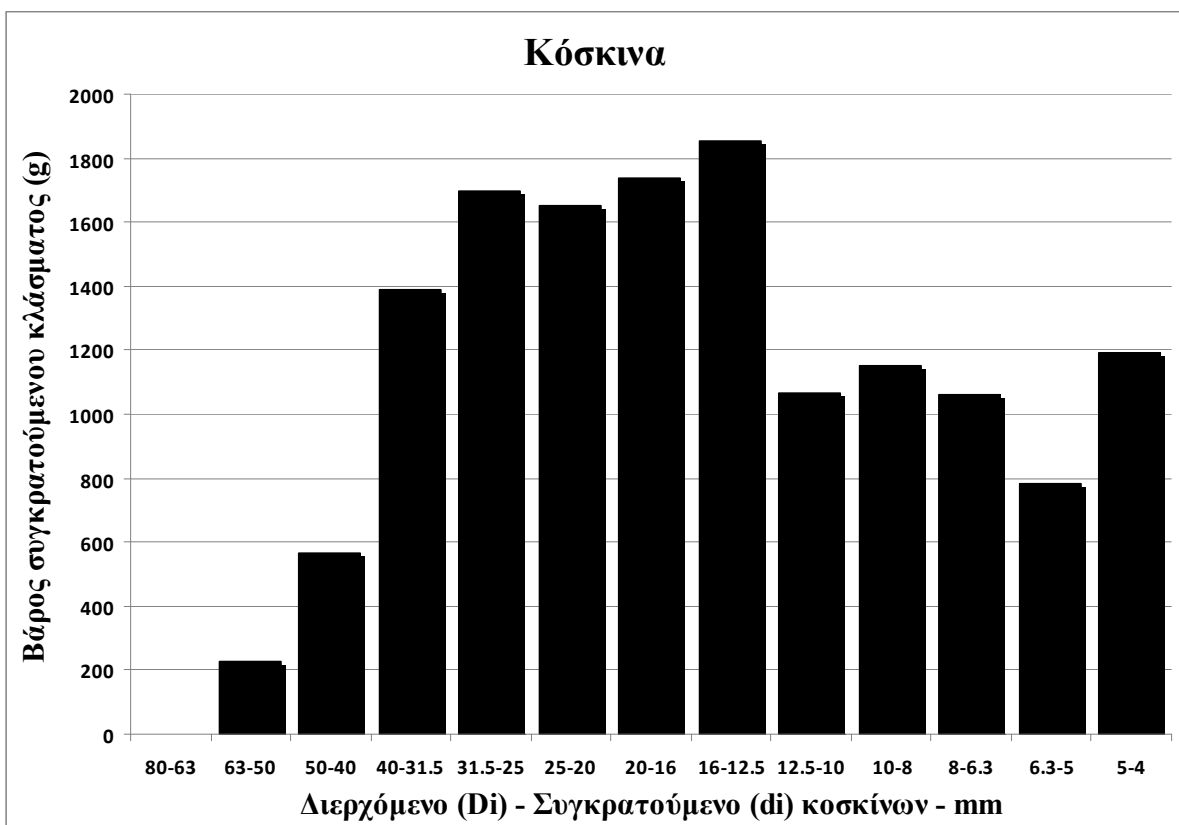
$M_1$  η μάζα του κλάσματος  $d_i/D_i$   
όπου  $D \leq 2d$

$M_2$  η μάζα μη κυβικών κόκκων  
( $L/E > 3$ )

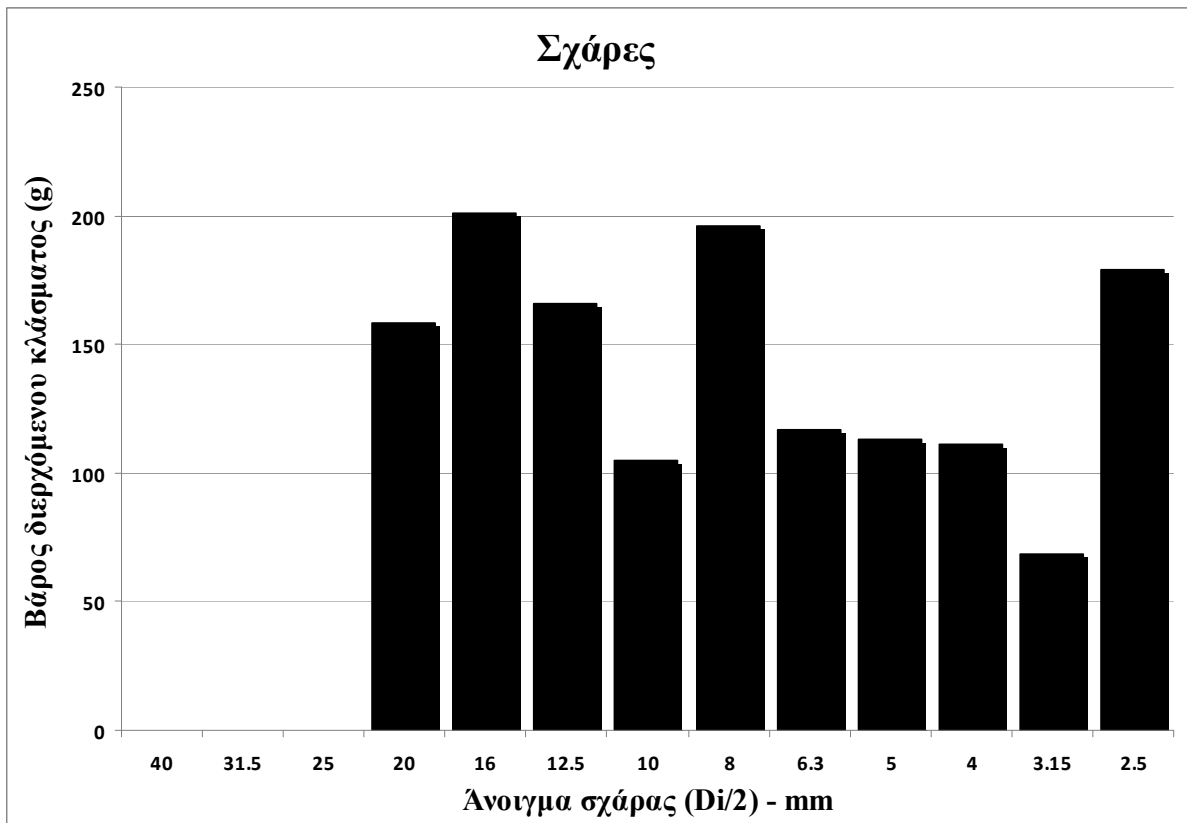
Πίνακας 2.5 : Αποτελέσματα μέτρησης με παχύμετρο της μεθόδου του δείκτη μορφής.

Η κατανομή του μεγέθους των κόκκων φαίνεται να είναι μεγαλύτερη σε πλήθος στα μεσαία κλάσματα, με μια προσεγγιστικά κανονική κατανομή, όπως αναμενόταν κατά το σπάσιμο αυτών σε ένα γεγονός. Αντίθετα, οι σχάρες δεν δίνουν καμιά κανονική κατανομή για τα σχήματα των κόκκων.

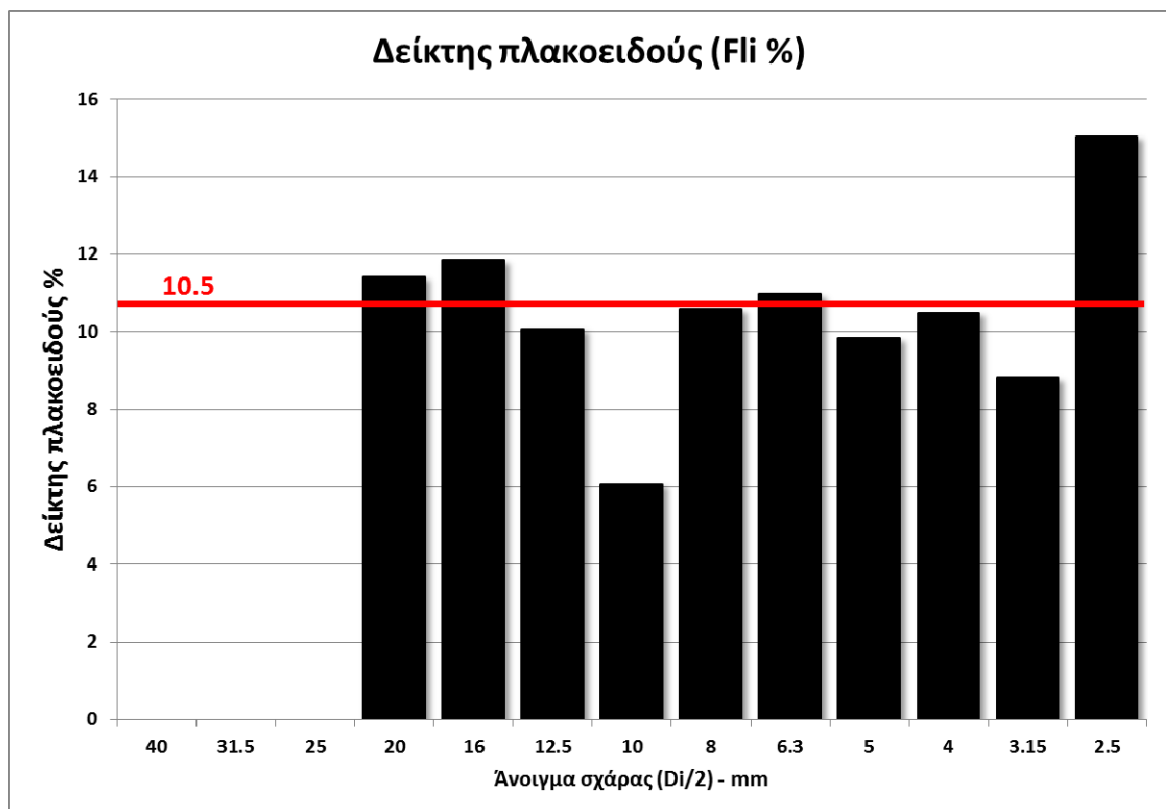
Ο δείκτης πλακοειδούς δείχνει επίσης σχηματική ανομοιομορφία των κόκκων στα διαφορετικά κλάσματα, με μέσο όρο στο 10.5. Ιδιαίτερα διαφέρουν τα κλάσματα 20-16mm (χαμηλές τιμές, άρα περισσότερο αποστρογγυλεμένο υλικό) και 5-4mm (υψηλές τιμές, άρα ακατάλληλο υλικό).



**Διάγραμμα 2.1:** (επάνω) Ιστόγραμμα συγκρατούμενου βάρους από κάθε κόσκινο. (κάτω) Αθροιστικό βάρος του κάθε κλάσματος. Τα ζεύγη αριθμών δίνουν τα Di-di μεγέθη των κοσκίων (διερχόμενο-συγκρατούμενο).



Διάγραμμα 2.2: Κατανομή διερχόμενων κόκκων από σχάρες



Διάγραμμα 2.3: Υπολογισμός δείκτη πλακοειδούς. Η διακεκομμένη οριζόντια γραμμή δείχνει την μέση τιμή του δείκτη πλακοειδούς (10.5, από τις μη μηδενικές τιμές)





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

### 3.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ

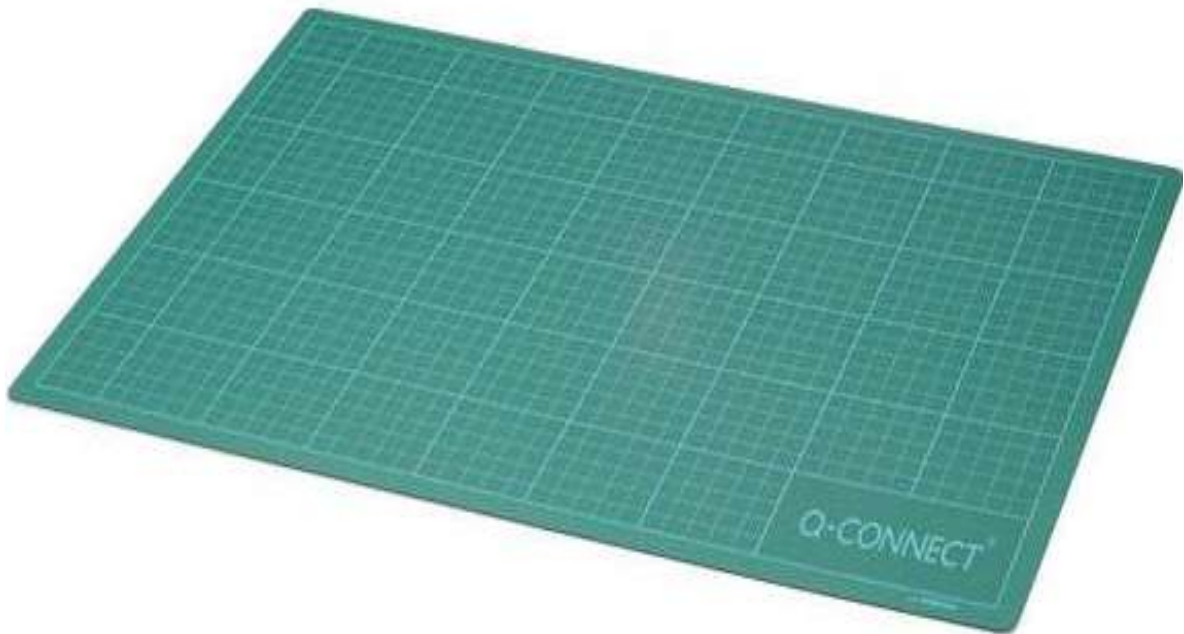
Η έννοια της επεξεργασίας εικόνας αναφέρεται σε επεξεργασία δύο διαστάσεων εικόνας από έναν υπολογιστή, όπου τα δεδομένα εισόδου συμπεριλαμβάνουν έγχρωμες ή/και γκριζες εικόνες με ή χωρίς υφή και τα δεδομένα εξόδου πάλι εικόνες ή κάποια κομμάτια ή χαρακτηριστικά ή παραμέτρους που σχετίζονται με τις αρχικές εικόνες. Η ανάλυση και επεξεργασία εικόνας εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από το είδος και την ποιότητα της προς ανάλυση εικόνας καθώς και από το είδος και τον σκοπό της εκάστοτε μελέτης και αποσκοπούν σε μετρήσεις των πιο σημαντικών γεωμετρικών ιδιοτήτων των αντικειμένων (περίμετρος, εμβαδόν, μέγιστο και ελάχιστο μήκος κ.α.) σε δύο αλλά και σε τρεις διαστάσεις (στο χώρο) και σε πραγματικό χρόνο.

Οι μέθοδοι ανάλυσης και επεξεργασίας βασίζονται ενίοτε σε μαθηματικές μεθόδους επεξεργασίας και στατιστικής ανάλυσης (K-means clustering, Histogram based methods, Seeded region growing, PCA-Principal Component Analysis κ.α.) για το διαχωρισμό διαφορετικών αντικειμένων, καθώς και στη χρήση μορφολογικών γραμμικών ή μη γραμμικών φίλτρων όπως τα Gaussian, Laplacian, Laplacian of Gaussian κ.τ.λ., για την ομαλοποίηση και βελτίωση της ποιότητας της εικόνας, άρα και την βελτίωση των τελικών αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων.

Στις μέρες μας η επεξεργασία εικόνας έχει αναπτυχθεί σε τέτοιο βαθμό, έχοντας αντικαταστήσει, αν όχι πλήρως, σε μεγάλο βαθμό τις υπηρεσίες του εκάστοτε ερευνητή. Έρευνες πετρολογικές-ορυκτολογικές, έρευνες για μετρήσεις χαλικιών και εφαρμογή τους στη βιομηχανία σκυροδέματος κ.α. απαιτούσαν μέχρι τώρα εργαστηριακές μεθόδους ανάλυσης οι οποίες αφενός μεν ήταν ιδιαίτερα κουραστικές και χρονοβόρες, όντας χειροκίνητες στο σύνολό τους, αφετέρου δε το ποσοστό στατιστικού σφάλματος ήταν σαφώς μεγαλύτερο λόγω περιορισμένου όγκου δείγματος καθώς και λόγω ανεκπαίδευτου προσωπικού. Σε αντίθεση με τις εργαστηριακές μεθόδους οι ψηφιακές είναι πιο γρήγορες και ακριβείς με περισσότερη πληροφορία καθώς ελαχιστοποιούν οποιαδήποτε στατιστικά

σφάλματα με περισσότερο όγκο δειγμάτων, δεν χρειάζονται κάποιο εξειδικευμένο προσωπικό και μπορούν να εφαρμοστούν σε πραγματικό χρόνο.

Στην παρούσα διπλωματική τα δεδομένα εισόδου αποτελούνται από έγχρωμες εικόνες θραυσμάτων χαλικιών διαφόρων μεγεθών, οι οποίες πάρθηκαν από 30cm απόσταση από τα δείγματα. Τα μεγέθη των χαλικιών συνιστούν συγκεκριμένα κοκκομετρικά κλάσματα, τα οποία προέκυψαν από την κοκκομετρική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο της συνεργαζόμενης εταιρείας GEOTERRA. Τα κλάσματα αυτά ήταν τα εξής: [45-31,5mm], [31,5-22,4mm], [22,4-16mm], [16-11,2mm], [11,2-8mm], [8-5,6mm], [5,6-4mm]. Για τη φωτογράφησή τους υιοθετήθηκαν ποικίλες τεχνικές προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί όσο είναι εφικτό το σφάλμα κατά την ψηφιακή επεξεργασία. Τα κλάσματα τοποθετήθηκαν σε πράσινη επιφάνεια φωτογράφισης, η οποία είχε αποτυπωμένη πάνω της κλίμακα, ούτως ώστε να είναι δυνατή η αναγωγή των λαμβανόμενων τιμών από pixels σε εκατοστά (**Εικ.3.1**).



**Εικόνα 3.1:** Επιφάνεια φωτογράφισης με κλίμακα

Τα δείγματα ήταν είτε τυχαία τοποθετημένα στο χώρο είτε προσανατολισμένα χειροκίνητα. Για την επιφάνεια αυτή, που συνιστά ένα πράσινο φόντο χρησιμοποιήθηκε η K-means clustering, ενώ για τα τυχαία τοποθετημένα στο χώρο χαλίκια χρησιμοποιήθηκε επιπλέον ο μετασχηματισμός Watershed. Οι παραπάνω μέθοδοι αναπτύχθηκαν με τη χρήση του μαθηματικού πακέτου MatLab και αναλύονται παρακάτω.

## 3.2. ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΧΑΛΙΚΙΩΝ

### 3.2.1. K-means Clustering

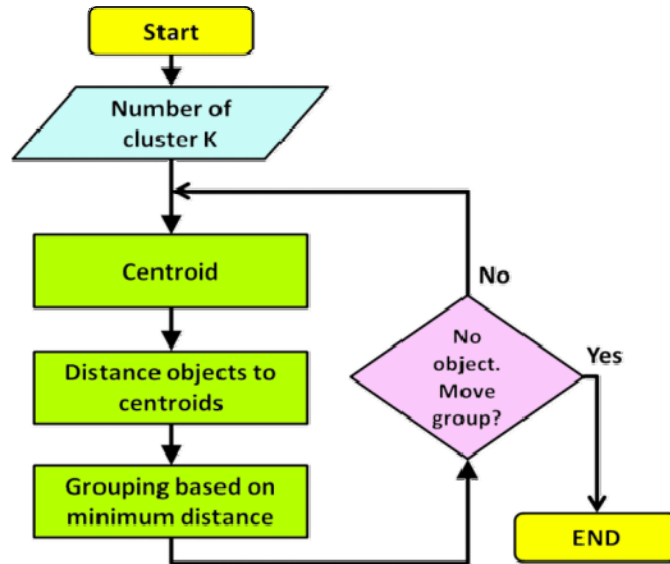
Η k-means clustering είναι μια από τις πιο γνωστές στατιστικές μεθόδους για ομαδοποίηση δεδομένων. Η κεντρική ιδέα είναι να προσδιοριστεί από πριν ένας αριθμός ομάδων στις οποίες θα διαχωριστούν τα δεδομένα, όπου κάθε ομάδα περιλαμβάνει από ένα κεντροειδές. Τα κεντροειδή αυτά τοποθετούνται σε τυχαίες θέσεις, συνήθως συμπίπτουν με τις συντεταγμένες των δεδομένων, αλλά είναι προτιμότερο να βρίσκονται μακριά το ένα από το άλλο. Το επόμενο βήμα είναι να υπολογιστούν οι αποστάσεις  $D$  μεταξύ των κεντροειδών  $p$  και των δεδομένων  $q$  με συντεταγμένες  $(p_1, p_2)$  και  $(q_1, q_2)$  αντίστοιχα με την εξίσωση της Ευκλείδειας απόστασης η οποία ορίζεται από τον τύπο:

$$d(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2}$$

και δημιουργώντας έναν πίνακα απόστασης της μορφής:

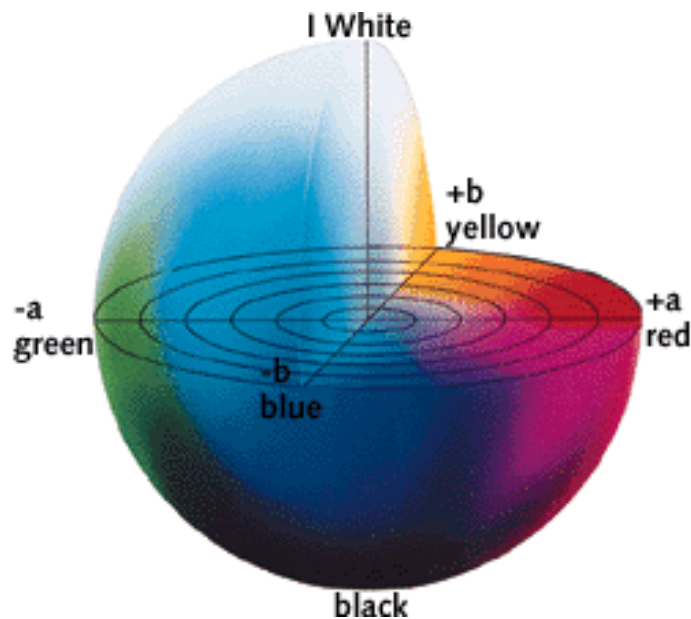
$$D = \begin{bmatrix} d(p_1, q_1) & d(p_1, q_2) & \dots & d(p_1, q_f) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d(p_l, q_1) & d(p_l, q_2) & \dots & d(p_l, q_f) \end{bmatrix}$$

όπου  $d(p, q)$  η απόσταση μεταξύ ενός κεντροειδούς  $p(p_x, p_y)$  και ενός σημείου  $q(q_x, q_y)$ . Κάθε στήλη στον πίνακα συμβολίζει ένα σημείο. Η πρώτη σειρά αντιστοιχεί στην απόσταση μεταξύ του πρώτου κεντροειδούς και κάθε σημείου, η δεύτερη στήλη αντιστοιχεί στην απόσταση μεταξύ του δεύτερου κεντροειδούς και κάθε σημείου κ.ο.κ. Στη συνέχεια πραγματοποιείται μία δυαδική ταξινόμηση, δηλαδή συγκρίνοντας τις αποστάσεις μεταξύ τους ταξινομούμε τα δεδομένα στα διάφορα κεντροειδή με βάση τη μικρότερη απόσταση και έτσι το πρώτο βήμα ολοκληρώθηκε. Σ' αυτό το σημείο, αφού έχει γίνει μια αρχική ταξινόμηση θα πρέπει να υπολογιστούν ξανά τα κεντροειδή επαναλαμβάνοντας έτσι τη διαδικασία. Έτσι δημιουργείται ένας βρόγχος (**Εικόνα 3.2.**). Αποτέλεσμα αυτού είναι τα κεντροειδή να αλλάζουν συνεχώς θέσεις μέχρι το σημείο που δεν γίνονται αλλαγές, με λίγα λόγια τα κεντροειδή δεν αλλάζουν άλλο θέσεις.



Εικ 3.2.: Βρόγχος για την ομαδοποίηση των δεδομένων (Kardi Teknomo, PhD, 2007)

Όσον αφορά στην επεξεργασία εικόνων με την ανάλυση σε ομάδες επιδιώκεται ο διαχωρισμός της εικόνας σε επιμέρους τμήματα ανάλογα με το χρώμα ή/και την φωτεινότητα των αντικειμένων της. Έτσι περιοχές με ίδιο χρώμα ή/και φωτεινότητα προβάλλονται ξεχωριστά με άλλες περιοχές διαφορετικού χρώματος ή/και φωτεινότητας. Το πρώτο βήμα είναι να οριστούν πόσα χρώματα διακρίνονται στην εικόνα. Οι ομάδες, άρα και ο αριθμός των κεντροειδών, με βάση τα οποία θα διαχωριστεί η εικόνα εξαρτάται από τον αριθμό των χρωμάτων. Ο χρωματικός χώρος πάνω στον οποίο βασίζεται η όλη διαδικασία εξαρτάται από το είδος της εικόνας. Επειδή οι εικόνες είναι έγχρωμες ο αρχικός χρωματικός χώρος είναι ο RGB, αλλά λόγω της υψηλής συσχέτισης των στοιχείων R,G και B μετατρέπεται στον χρωματικό χώρο  $L^* a^* b^*$  ή αλλιώς CIELAB, όπου το επίπεδο  $L^*$  προσδιορίζει τη φωτεινότητα της εικόνας και τα  $a^*$  και  $b^*$  περιέχουν όλη την πληροφορία για τα χρώματα.



Εικόνα 3.3 :Ο χρωματικός χώρος Lab όπως φαίνεται σε 3 διαστάσεις

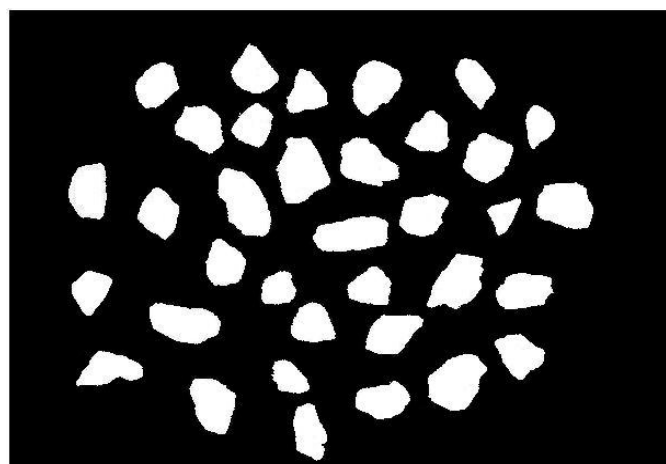
Τα στάδια επεξεργασίας μιας εικόνας με τη χρήση της K-means φαίνονται στις ακόλουθες τρεις εικόνες, παράδειγμα από κοκκομετρικό κλάσμα 22,4-16 mm. Στην **Εικ.3.4** φαίνεται η αρχική ανεπεξέργαστη φωτογραφία και στην **Εικ.3.5** η κατατετημημένη φωτογραφία μετά από την εφαρμογή της μεθόδου k-means Clustering που τελικά μετατρέπεται στην **Εικ.3.6** η οποία είναι και η τελική δυαδική και πραγματοποιούνται οι επιθυμητές μετρήσεις για τις σημαντικότερες γεωμετρικές ιδιότητες.



**Εικόνα 3.4 :** Αρχική εικόνα κλάσματος 22,4-16mm στο πράσινο φόντο



**Εικόνα 3.5:** Εικόνα μετά από κατάτμηση του φόντου

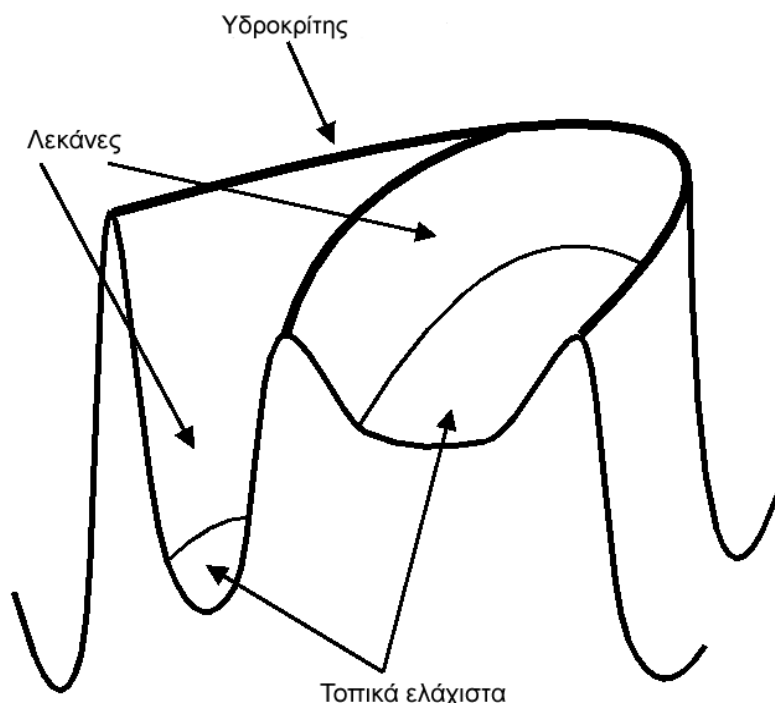


**Εικόνα 3.6:** Τελική δυαδική εικόνα κατόπιν επεξεργασίας

### 3.2.2. Μετασχηματισμός Watershed

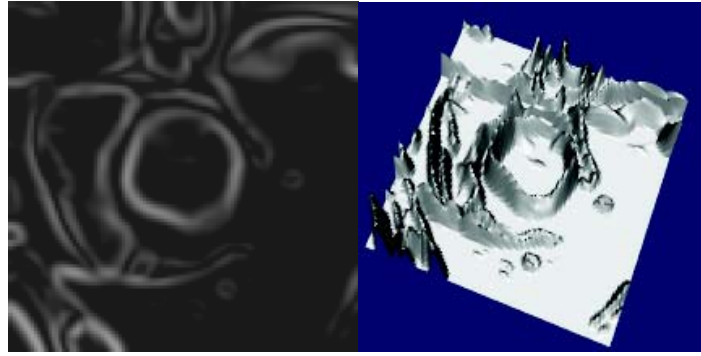
Μια δισδιάστατη εικόνα μπορεί να αναπαρασταθεί σαν μια τοπογραφία, όπου το γκρίζο επίπεδο παρουσιάζεται ως το υψόμετρο του, όσο μεγαλύτερη τιμή του γκρίζου τόσο μεγαλύτερο το υψόμετρό του. Όταν ποσότητα νερού πέσει στο ανάγλυφο τότε ρέει κατά μήκος ενός μονοπατιού μέχρις ότου συναντήσει ένα τοπικό ελάχιστο. Ο υδροκρίτης (*watershed*) του ανάγλυφου αντιστοιχεί στα όρια των διπλανών λεκανών που δεσμεύουν το νερό (Εικ.3.7).

Στην επεξεργασία εικόνας διαφορετικές γραμμές υδροκρίτη μπορούν να υπολογιστούν. Σε εικόνες ορίζονται είτε σε σημεία σύγκλισης της κλίσης της τοπογραφίας, σε ακμές ή ακόμη συνδυασμός και των 2. Ο υπολογισμός watershed μπορεί να επιτευχθεί είτε με την κλίση της φωτεινότητας της εικόνας (Εικ. 3.8), είτε με έναν σημειωτή (*marker*) ο οποίος ορίζει τις περιοχές κατάτμησης ή ακόμη με πλημμυρισμό, καθορίζοντας μια τιμή κάτω από την οποία τα pixels απορρίπτονται (Εικ. 3.9).

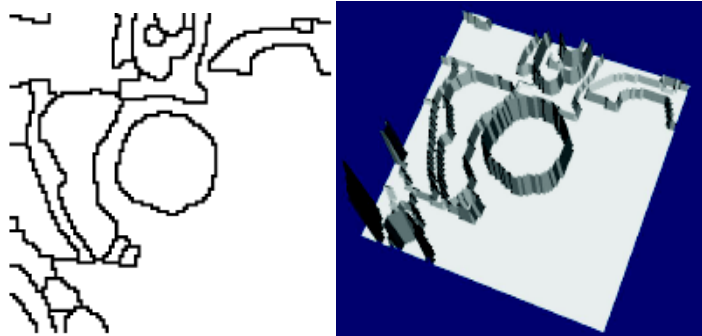


Εικόνα 3.7 : Απεικόνιση του υδροκρίτη και των λεκανών (τοπικά ελάχιστα) σε 3D

Για την κατάτμηση η κλίση παρουσιάζεται σαν πληροφορία για το ανάγλυφο. Μερικά παραδείγματα μετασχηματισμών watershed παρουσιάζονται παρακάτω.



**Εικόνα 3.8:** Υπολογισμός της κλίσης της εικόνας (αριστερά) και το ανάγλυφο της κλίσης σε 3D (δεξιά)

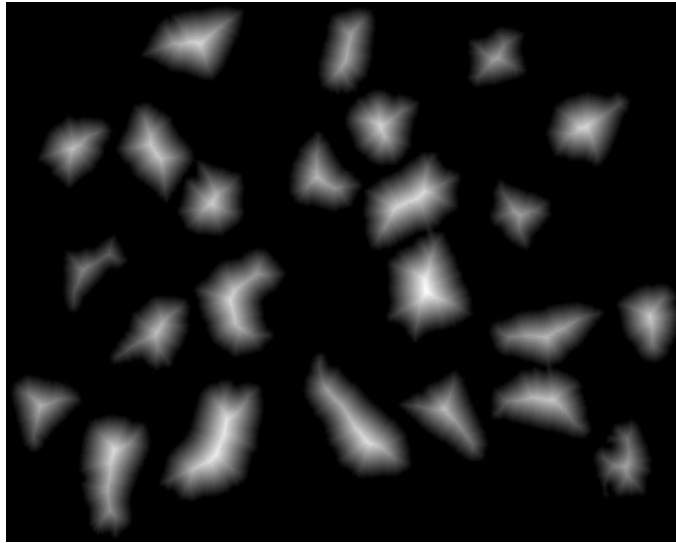


**Εικόνα 3.9:** Μετασχηματισμός Watershed πλημμυρισμού στην κλίση (αριστερά) και στο ανάγλυφο σε 3D (δεξιά)

Στην περίπτωση μας το κριτήριο του διαχωρισμού δεν είναι κάποια αντίθεση στη φωτεινότητα αλλά στην διαφορά υδροκριτών και διπλανών λεκανών που ορίζουν αυτούς. Ο μετασχηματισμός Watershed εφαρμόζεται συνήθως σε δυαδικές εικόνες, όπου μια συνάρτηση απόστασης εφαρμόζεται μεταξύ κάθε ενεργού pixel (pixel με τιμή 1-άσπρες περιοχές) με το κοντινότερο του μη ενεργό (μαύρες περιοχές), δημιουργώντας έτσι ένα είδους ανάγλυφο (**Εικ.3.11**). Η απόσταση υπολογίζεται από τον τύπο της Ευκλείδειας απόστασης.

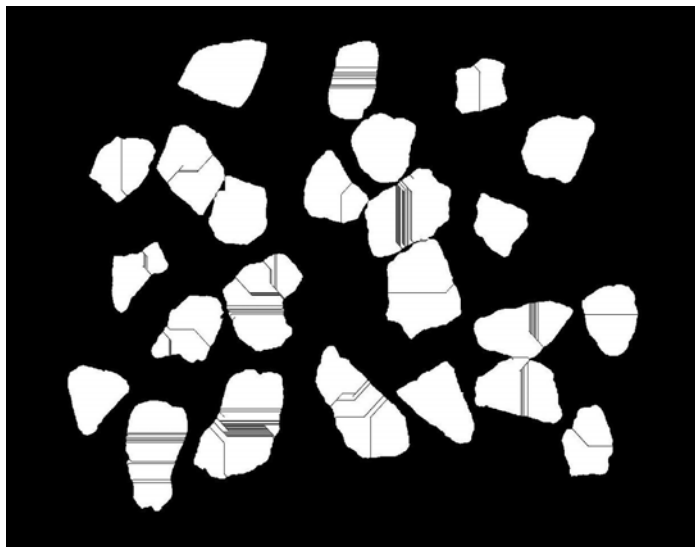


**Εικόνα 3.10:** Δυαδική εικόνα



**Εικόνα 3.11:** Το ανάγλυφο των κόκκων

Στον χάρτη απόστασης εφαρμόζεται έπειτα ο μετασχηματισμός watershed απ' όπου οι κόκκοι της δυαδικής εικόνας διαχωρίζονται σε πολλαπλά κομμάτια (υπερκατάτμηση) όπως φαίνεται στην **Εικόνα 3.12**. Στην εικόνα αυτή οι μαύρες γραμμές ανάμεσα στους κόκκους αντιπροσωπεύουν τους υδροκρίτες οι οποίοι διαχωρίζουν τις εκατέρωθεν λεκάνες.



**Εικόνα 3.12:** Οι υδροκρίτες όπως φαίνονται ανάμεσα στους κόκκους



### 3.2.3. ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΕΝΩΝ ΧΑΛΙΚΙΩΝ

Αρχικά, το πρώτο σκέλος της διαδικασίας περιλαμβάνει το χειροκίνητο διαχωρισμό των κόκκων των χαλικιών, κατά την ρίψη τους στην επιφάνεια φωτογράφισης και τον χειροκίνητο προσανατολισμό αυτών, ώστε να απλώνονται κάθε φορά με τη μεγαλύτερη σε εμβαδόν πλευρά τους και να είναι σχετικά αραιά μεταξύ τους χωρίς να αλληλεπικαλύπτονται ούτε να αγγίζουν το ένα τ' άλλο (Εικ. 3.13).



Εικόνα 3.13 : Κλάσμα 31,5-22,4mm, προσανατολισμένοι κόκκοι

Αυτό ουσιαστικά διευκολύνει την αναγνώρισή τους ξεχωριστά το ένα από το άλλο χωρίς περαιτέρω επεξεργασία. Η διαθέσιμη ανάλυση από τον εργαστηριακό εξοπλισμό ανέρχεται σε 3648 x 2411 pixels. Στη γλώσσα προγραμματισμού της MatLab, σε μια τέτοια φωτογραφία κάθε pixel αντιστοιχεί σε 0,01cm ή 0,1mm ή 100μm, γεγονός που προσδίδει υψηλό ποσοστό ασφαλείας στα αποτελέσματα αυτού του τρόπου φωτογράφισης.

Στην ίδια τεχνική στηρίχτηκε και το δεύτερο σκέλος της διαδικασίας, κατά το οποίο πραγματοποιούνται δέκα τυχαίες διαδοχικές ρίψεις στην επιφάνεια φωτογράφισης του ίδιου κλάσματος και λαμβάνονται αντίστοιχα δέκα φωτογραφίες. Μετά την κάθε ρίψη γίνεται χειροκίνητος διαχωρισμός των κόκκων, όπως έχουν κατανεμηθεί στο χώρο, αδιαφορώντας για τη μέγιστη πλευρά. Έτσι παίρνουμε αποτελέσματα για 10 πιθανές διαφορετικές περιπτώσεις τοποθέτησης του ίδιου δείγματος, με σκοπό τη στατιστική εκτίμηση για τη διακύμανση των γεωμετρικών παραμέτρων των χαλικιών. Τα κλάσματα που επιλέχτηκαν για τις μετρήσεις αυτές ήταν το [45-31,5mm], το [22,4-16mm] και το [16-11,2mm].

### 3.2.4. ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΥΧΑΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΩΝ ΧΑΛΙΚΙΩΝ

Το τελικό σκέλος των υπολογισμών μας περιλάμβανε τη φωτογράφιση των κλασμάτων των χαλικιών όπως ακριβώς εναποτίθενται κάθε φορά στην επιφάνεια φωτογράφισης. Στην περίπτωση αυτή η πλειοψηφία των κόκκων ακουμπούν μεταξύ τους ή και αλληλεπικαλύπτονται (Εικ. 3.14).

Για τη επίσπευση της όλης διαδικασίας ήταν απαραίτητη η δημιουργία ενός αλγόριθμου στη γλώσσα προγραμματισμού της MatLab, ο οποίος να διαχωρίζει τα ενωμένα χαλίκια μεταξύ τους. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ο μετασχηματισμός Watershed. Ως αποτέλεσμα του αλγόριθμου αυτού πήραμε δυαδικές εικόνες με σαφώς διαχωρισμένα τα όρια των ενωμένων χαλικιών (Εικ.3.16).



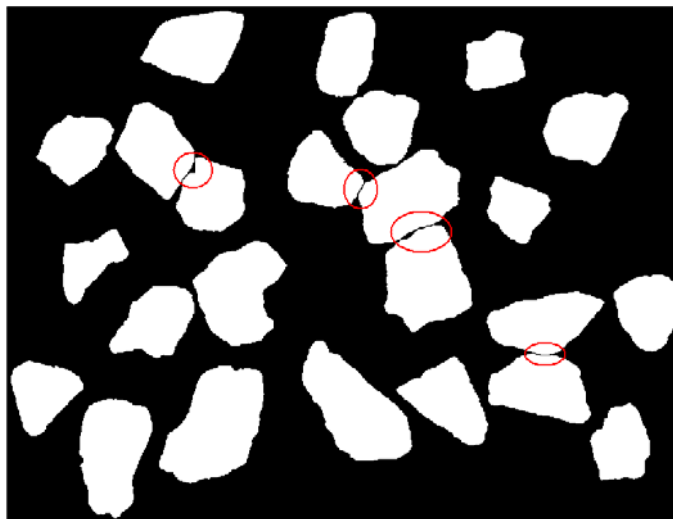
Εικόνα 3.14: Αρχική ανεπεξέργαστη εικόνα (δεξιά)



Εικόνα 3.15: Εικόνα με τα χαλίκια διαχωρισμένα από το φόντο

Η όλη διαδικασία έχει ως εξής: Από την εικόνα 3.10 η οποία προκύπτει από τον μετασχηματισμό watershed στην εικόνα του χάρτη απόστασης οι κόκκοι διαχωρίζονται σε πολλαπλά κομμάτια. Το φαινόμενο αυτό καλείται υπερκατάτμηση.

Συγκρίνοντας τα μέγιστα των «απόλυτων υψομέτρων» των υδροκριτών με τα μέγιστα των διπλανών τους περιοχών μπορεί να αποφασιστεί αν τελικά οι 2 περιοχές ανήκουν στον ίδιο κόκκο ή είναι διαφορετικές. Στο στάδιο αυτό γίνεται συγχώνευση ή όχι των εκατέρωθεν περιοχών ανάλογα με τις υψομετρικές διαφορές μεταξύ υδροκριτών και διπλανών λεκανών. Η περίπτωση για να γίνει συγχώνευση είναι διαφορά υψομέτρου υδροκρίτη-λεκανών να μην υπερβαίνει ένα ποσοστό της τάξης του 20% του υψομέτρου του υδροκρίτη. Ουσιαστικά τα απόλυτα υψόμετρα να βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο κοντά το ένα στο άλλο. Σε αντίθετη περίπτωση οι εκατέρωθεν περιοχές δεν συγχωνεύονται. Η τελική εικόνα είναι όπως φαίνεται στο παρακάτω παράδειγμα.



**Εικόνα 3.16:** Τελική δυαδική εικόνα με σαφή όρια κόκκων μετά από εφαρμογή του μετασχηματισμού Watershed

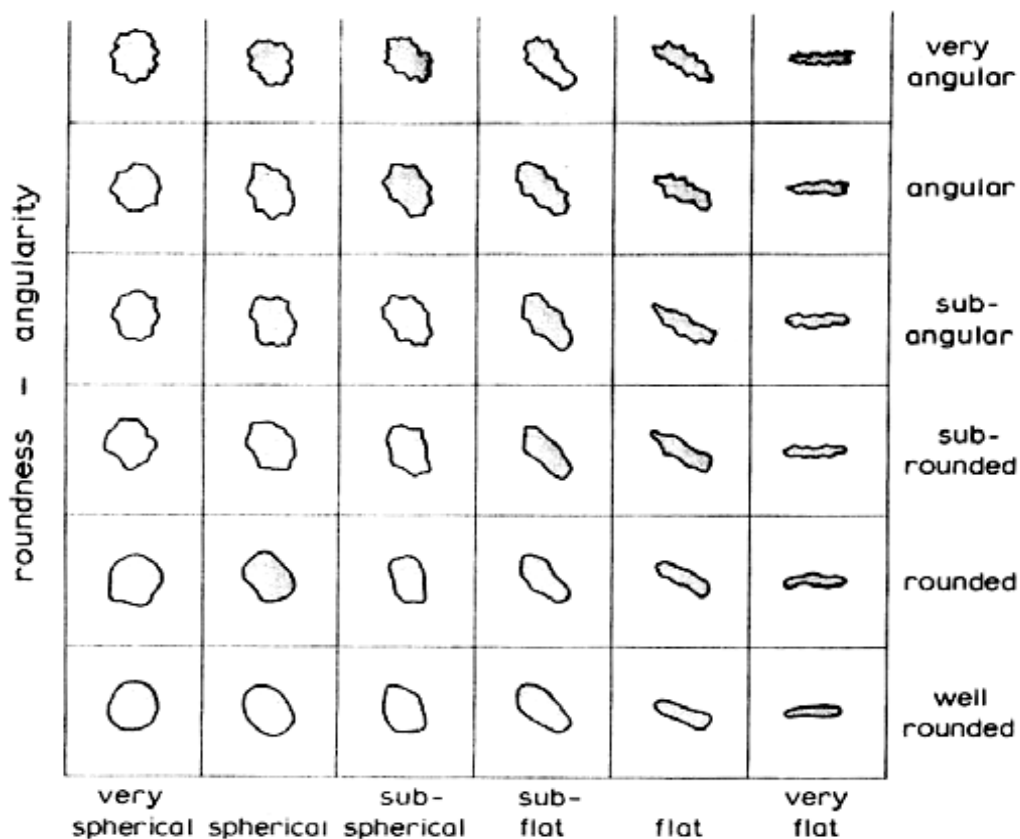
Για τις περιπτώσεις εκείνες στις οποίες δύο ή περισσότεροι κόκκοι, όχι μόνο ακουμπούν, αλλά αλληλεπικαλύπτονται μεταξύ τους, ο αλγόριθμος θα βγάλει μεν κάποια αποτελέσματα, σε αυτά όμως θα υπάρχει κάθε φορά ένα μερικό σφάλμα το οποίο θα ισούται με το μέρος του κόκκου που «κρύβεται» από τον άλλον. Αυτό δικαιολογείται απόλυτα από την αδυναμία ένταξης της τρίτης διάστασης στην παρούσα φάση.

### 3.3.ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ-ΜΟΡΦΗΣ

#### 3.3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ιδιότητες του σχήματος χωρίζονται σε 3 κατηγορίες: η μορφή, η στρογγυλότητα και η υφή. Η μορφή εκφράζει το συνολικό σχήμα του κόκκου, όπως πόσο σφαιρικός ή επιμηκυμένος είναι. Η κυκλικότητα προσδιορίζει το πόσο ομαλές είναι οι ακμές του. Η υφή περιγράφει οποιαδήποτε σημάδια στο πέτρωμα.

Η στρογγυλότητα και η σφαιρικότητα χρησιμοποιούνται από γεωλόγους για τον χαρακτηρισμό του σχήματος των κόκκων των πετρωμάτων ή ακόμη των ίδιων των πετρωμάτων, όπως για παράδειγμα κατά πόσο έχουν επηρεαστεί από τη μεταφορά τους στο νερό. Για τον κατά προσέγγιση υπολογισμό του σχήματος έχει αναπτυχθεί ένα διάγραμμα από τον Powers (Εικ. 3.17).

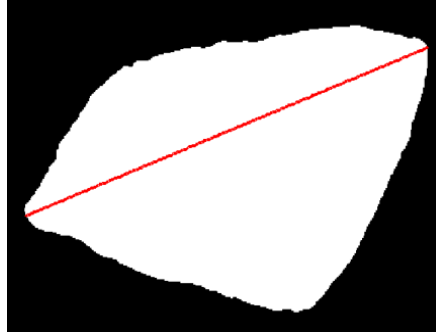


Εικόνα 3.17: Διάγραμμα σφαιρικότητας και στρογγυλότητας του Croft

### 3.3.2. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά που υπολογίζονται μέσω του MatLab είναι τα ακόλουθα:

- **Μέγιστο μήκος κόκκου (MAX):** ορίζεται ως η μεγαλύτερη δυνατή απόσταση μεταξύ δύο σημείων της περιμέτρου κάθε κόκκου.



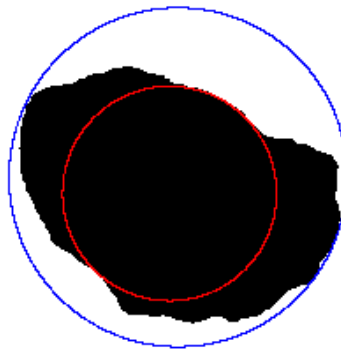
Εικόνα 3.18: Μέγιστο μήκος κόκκου

- **Πλάτος κόκκου (MIN):** ορίζεται ως η μικρότερη διάσταση του ελάχιστου δυνατού περιγεγραμμένου ορθογώνιου παραλληλογράμμου στον κόκκο.



Εικόνα 3.19: Ελάχιστο δυνατό περιγεγραμμένο ορθογώνιο για μέτρηση πλάτους

- **Οι ακτίνες** του μέγιστου δυνατού εγγεγραμμένου και του ελάχιστου δυνατού περιγεγραμμένου κύκλου σε κάθε κόκκο.



Εικόνα 3.20: Περιγεγραμμένος (μπλε) και εγγεγραμμένος (κόκκινο) κύκλος σε έναν κόκκο

- **Περίμετρος κόκκου**
- **Εμβαδόν κόκκου**

Οι τιμές των παραπάνω χαρακτηριστικών, έπειτα από εφαρμογή του αντίστοιχου αλγόριθμου κάθε φορά, προκύπτουν σε pixels. Ωστόσο, σε όλα τα χαρακτηριστικά, έχει γίνει αναγωγή σε εκατοστά.

### 3.3.3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ-ΜΟΡΦΗΣ

Η μορφή εκφράζεται από διάφορες παραμέτρους. Στην παρούσα εργασία δόθηκε έμφαση στις εξής:

**1)Κυκλικότητα (Circularity)** : Η κυκλικότητα (ολική) εκφράζεται από τον τύπο:

$$\text{Κυκλικότητα} = \frac{P^2}{4\pi A}$$

όπου A είναι το εμβαδόν και P είναι η περίμετρος του κόκκου. Ποικίλει από 1 για έναν τέλειο κύκλο μέχρι περίπου 0 για έναν ατελές επιμήκη κόκκο.

**2)Η σφαιρικότητα κατά Riley [Riley Sphericity (Εικ. 3.25)]**: δίνεται από τον τύπο:

$$\text{Σφαιρικότητα} = \sqrt{(d_i/d_c)}$$

όπου  $d_i$  η διάμετρος του μέγιστου δυνατού εγγεγραμμένου κύκλου και  $d_c$  η διάμετρος του ελάχιστου δυνατού περιγεγραμμένου κύκλου. Οι τιμές κυμαίνονται από 0 ως 1, με έναν τέλειο κύκλο να ισούται με 1.

**3)Επιμήκυνση (Elongation)** : Η επιμήκυνση ενός κόκκου σε 3 διαστάσεις είναι ο λόγος των μεγαλύτερων αξόνων, ενώ σε 2 διαστάσεις είναι ο λόγος 2 διαστάσεων, δηλαδή πλάτους/μήκους.

$$\text{Επιμήκυνση} = \text{MIN} / \text{MAX}$$

**4)Κατάληψη χώρου (Compactness)** : Ο τρόπος με τον οποίο καταλαμβάνει έναν χώρο ισούται με το λόγο της ρίζας του εμβαδού προς την περίμετρο:

$$\text{Κατάληψη χώρου} = \sqrt{\text{Εμβαδόν} / \text{Περίμετρος}}$$

Συνοπτικά, οι τιμές των παραπάνω παραμέτρων για τις περιπτώσεις τριών βασικών γεωμετρικών σχημάτων, όπως το τετράγωνο, το ορθογώνιο και ο κύκλος, είναι οι εξής:

	Τετράγωνο	Ορθογώνιο	Κύκλος
Riley sphericity	0.707	<0.707	1
Elongation	1	<1	1
Compactness	0,25	<0,25	$\sqrt{\pi/2\pi}$
Circularity	1,2669	>1.2669	1

## 3.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 3.4.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ.

Η επαναληψιμότητα της ψηφιακής μεθόδου ελέγχθηκε μετά από την λήψη φωτογραφιών από δέκα ανεξάρτητες τυχαίες ρίψεις του ίδιου κοκκομετρικού κλάσματος στην επιφάνεια φωτογράφισης. Με την μέθοδο αυτή θέλουμε να ελέγξουμε την πιθανότητα με την οποία οι κόκκοι σταθεροποιούνται στην επιφάνεια φωτογράφισης πάντα με την μεγαλύτερή τους επιφάνεια, δηλαδή κατά πόσο ένα τέτοιο γεγονός επαναλαμβάνεται στην κάθε ρίψη.

Τα αποτελέσματα παραθέτονται ακολούθως με διαγραμματική αλλά και στατιστική τεκμηρίωση για το κάθε ένα κλάσμα ξεχωριστά. Για την στατιστική τεκμηρίωση χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ANOVA με μηδενική υπόθεση το ότι η κατανομή μεγεθών (μήκη, πλάτη ή εμβαδά κόκκων) είναι ίδια για κάθε κλάσμα.

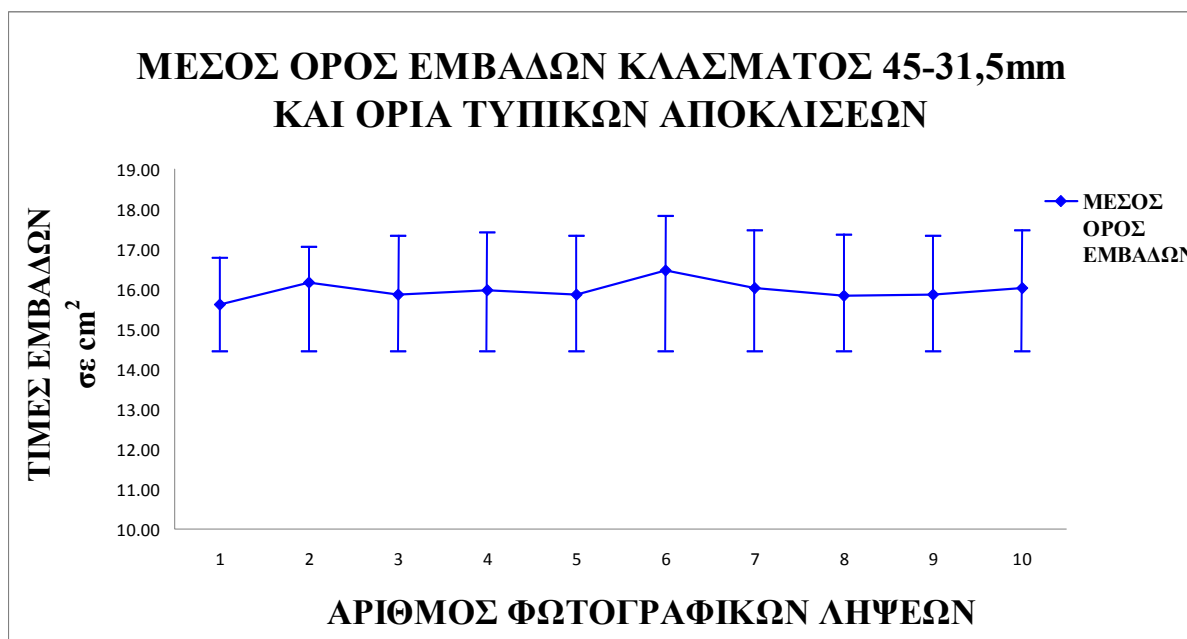
Στο διάγραμμα 3.1 φαίνονται γραφικοί οι μέσοι όροι και οι αποκλίσεις των μηκών (μέση μέγιστη διάσταση) και των πλατών (μέση ελάχιστη διάσταση) των κόκκων για το κλάσμα 45-31.5mm. Τα μεγέθη αυτά αντίστοιχα είναι  $54.5 \pm 3\text{mm}$  και  $44.9 \pm 2\text{mm}$ . Αντίστοιχα, στο διάγραμμα 3.2 φαίνονται οι αποκλίσεις των εμβαδών που είναι  $1596.8 \pm 136.6\text{mm}^2$ .

Στατιστικά έγινε έλεγχος της διακύμανσης των δέκα τυχαίων ρίψεων με την μέθοδο ANOVA (ανάλυση διακύμανσης). Αν η μηδενική μας υπόθεση (null hypothesis) είναι ότι δεν υπάρχουν διαφορές στα μεγέθη των κόκκων μεταξύ των δέκα διαφορετικών ρίψεων, και το επίπεδο σημαντικότητας οριστεί στο  $\alpha=0.05$ , η ανάλυση της διακύμανσης για τις δέκα ρίψεις (Πίνακας 3.1) μας δίνει τιμή πιθανότητας 0.999 (τιμή P), ενώ η τιμή του F είναι 0.109 πολύ μικρότερη του της κρίσιμης τιμής (κριτήριο  $F = 1.935$ ). Αυτό σημαίνει ότι οι διακυμάνσεις των δέκα ρίψεών μας καθώς και οι μέσες τιμές τους είναι ουσιαστικά ίδιες. Ομοίως, τα συμπεράσματα είναι τα ίδια και για τα ελάχιστα μεγέθη κόκκων αλλά και για τα εμβαδά αυτών (Πίνακες 3.1, 3.2 και 3.3).

**Α) Κλάσμα 45-31,5mm:**



**Διάγραμμα 3.1:** Συγκρίσεις μέσων όρων διαστάσεων 10 τυχαίων λήψεων 45-31,5mm



**Διάγραμμα 3.2:** Συγκρίσεις μέσων όρων εμβαδών 10 τυχαίων λήψεων 45-31,5mm



**ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΕΝΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ ΜΗΚΟΥΣ ΚΟΚΚΩΝ 10  
ΤΥΧΑΙΩΝ ΡΙΨΕΩΝ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ 45-31,5mm**

<b>Ομάδες</b>	<b>Πλήθος</b>	<b>Άθροισμα</b>	<b>Μέσος όρος</b>	<b>Διακύμανση</b>		
Ρίψη 1	18	99.663	5.537	1.596		
Ρίψη 2	18	95.320	5.296	1.267		
Ρίψη 3	18	97.667	5.426	1.818		
Ρίψη 4	18	95.138	5.285	2.941		
Ρίψη 5	18	97.667	5.426	1.818		
Ρίψη 6	18	100.875	5.604	1.417		
Ρίψη 7	18	98.782	5.488	1.479		
Ρίψη 8	18	99.584	5.532	1.465		
Ρίψη 9	18	97.667	5.426	1.818		
Ρίψη 10	18	98.782	5.488	1.479		
<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ</b>						
<b>Προέλευση διακύμανσης</b>	<b>SS</b>	<b>βαθμοί ελευθερίας</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>τιμή-P</b>	<b>κριτήριο F</b>
<b>Μεταξύ ομάδων</b>	1.685084	9	0.1872	0.1095	0.9994	1.9353
<b>Μέσα στις ομάδες</b>	290.6951	170	1.7100			
<b>Σύνολο</b>	292.3802	179				

Πίνακας 3.1: Ανάλυση διακύμανσης κατά ένα παράγοντα του μήκους των κόκκων για το κλάσμα 45-31,5mm

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΕΝΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ ΠΛΑΤΟΥΣ ΚΟΚΚΩΝ 10  
ΤΥΧΑΙΩΝ ΡΙΨΕΩΝ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ 45-31,5mm**

<b>Ομάδες</b>	<b>Πλήθος</b>	<b>Άθροισμα</b>	<b>Μέσος όρος</b>	<b>Διακύμανση</b>		
Ρίψη 1	18	80.333	4.463	0.511		
Ρίψη 2	18	80.964	4.498	0.398		
Ρίψη 3	18	81.881	4.549	0.911		
Ρίψη 4	18	78.750	4.375	1.062		
Ρίψη 5	18	81.893	4.550	0.913		
Ρίψη 6	18	83.464	4.637	0.988		
Ρίψη 7	18	80.274	4.460	0.522		
Ρίψη 8	18	79.488	4.416	0.657		
Ρίψη 9	18	81.893	4.550	0.913		
Ρίψη 10	18	80.274	4.460	0.522		
<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ</b>						
<b>Προέλευση διακύμανσης</b>	<b>SS</b>	<b>βαθμοί ελευθερίας</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>τιμή-P</b>	<b>κριτήριο F</b>
<b>Μεταξύ ομάδων</b>	0.957234	9	0.1064	0.1438	0.9983	1.9353
<b>Μέσα στις ομάδες</b>	125.7434	170	0.7397			
<b>Σύνολο</b>	126.7007	179				

Πίνακας 3.2: Ανάλυση διακύμανσης κατά ένα παράγοντα του πλάτους των κόκκων για το κλάσμα 45-31,5mm

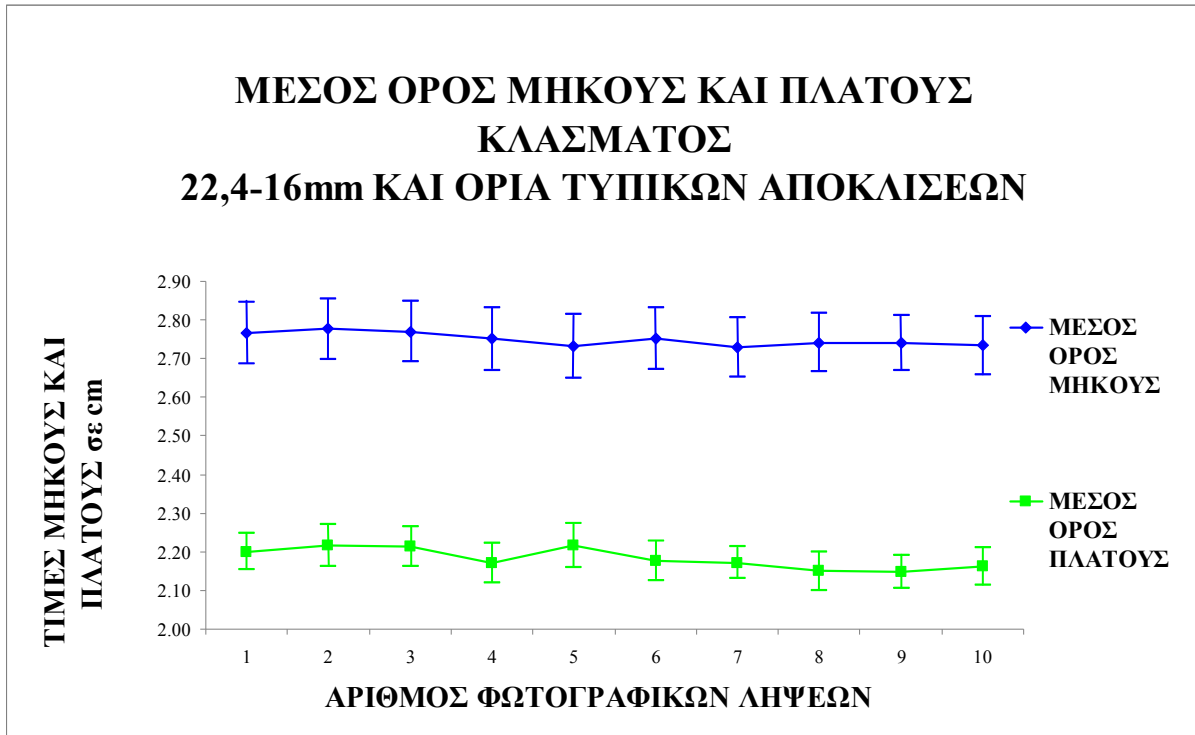
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΕΝΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ ΕΜΒΑΔΩΝ ΚΟΚΚΩΝ 10</b>						
<b>ΤΥΧΑΙΩΝ ΡΙΨΕΩΝ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ 45-31,5mm</b>						
<b>Ομάδες</b>	<b>Πλήθος</b>	<b>Άθροισμα</b>	<b>Μέσος όρος</b>	<b>Διακύμανση</b>		
<b>Στήλη 1</b>	18	280.842	15.602	26.286		
<b>Στήλη 2</b>	18	291.081	16.171	14.648		
<b>Στήλη 3</b>	18	285.565	15.865	39.770		
<b>Στήλη 4</b>	18	287.330	15.963	39.941		
<b>Στήλη 5</b>	18	285.565	15.865	39.770		
<b>Στήλη 6</b>	18	296.244	16.458	35.069		
<b>Στήλη 7</b>	18	288.469	16.026	38.882		
<b>Στήλη 8</b>	18	285.143	15.841	42.920		
<b>Στήλη 9</b>	18	285.565	15.865	39.770		
<b>Στήλη 10</b>	18	288.469	16.026	38.882		
<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ</b>						
<b>Προέλευση διακύμανσης</b>	<b>SS</b>	<b>βαθμοί ελευθερίας</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>τιμή-P</b>	<b>κριτήριο F</b>
<b>Μεταξύ ομάδων</b>	8.458638	9	0.9398	0.0264	1.0000	1.9353
<b>Μέσα στις ομάδες</b>	6050.946	170	35.5938			
<b>Σύνολο</b>	6059.405	179				

Πίνακας 3.3: Ανάλυση διακύμανσης κατά ένα παράγοντα του εμβαδού των κόκκων για το κλάσμα 45-31,5mm

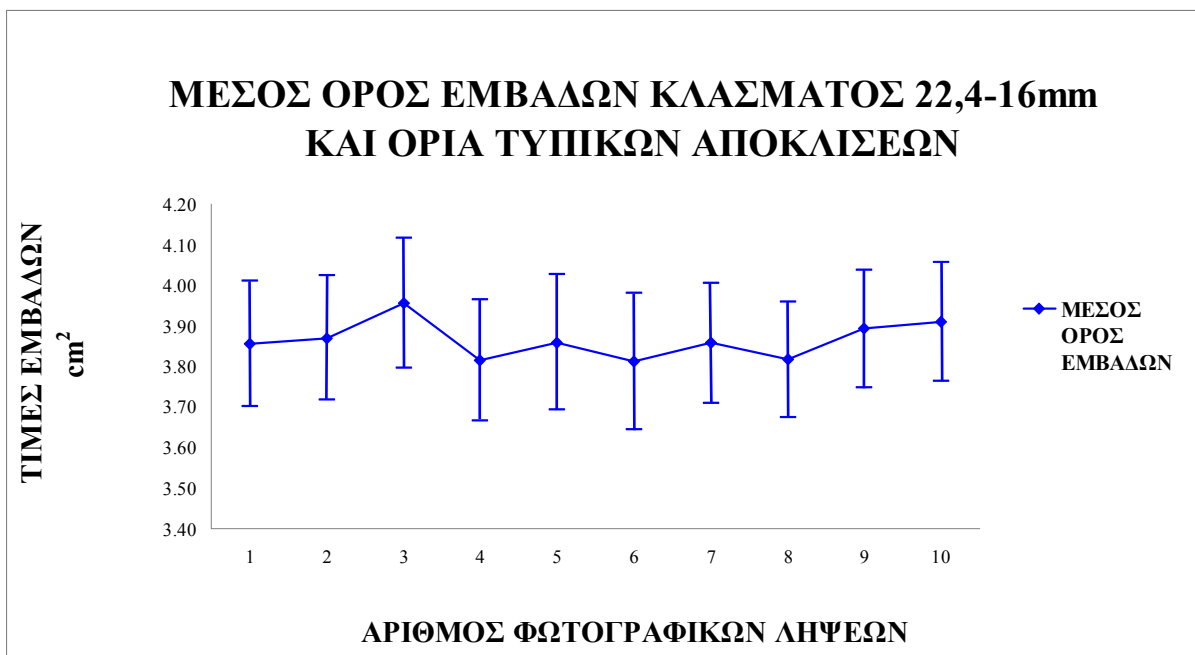
### **B) Κλάσμα 22,4-16mm**

Για το κλάσμα 22.4-16mm οι μέσες τιμές και οι αποκλίσεις τους είναι  $27.49 \pm 0.78\text{mm}$  για το μήκος (μέγιστη διάσταση),  $21.83 \pm 0.50\text{mm}$  για το πλάτος (μικρή διάσταση) και  $386.47 \pm 15.40\text{mm}^2$  για το εμβαδόν.

Η γραμμή των μέσων όρων των εμβαδών των κόκκων εμφανίζει αισθητές αποκλίσεις που οφείλονται στην αλλαγή προσανατολισμού ενός ή περισσότερων κόκκων από τη μια ρίψη στην άλλη. Αυτό σημαίνει ότι κάποιοι κόκκοι αλλάζουν προσανατολισμό στο χώρο και κάθονται στο επίπεδο με διαφορετικές πλευρές. Αυτό είναι ιδιαίτερα αναμενόμενο σε στρογγυλεμένους κόκκους και φαίνεται και στην ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), η οποία δείχνει τιμές P ανεπαίσθητα χαμηλότερες από αυτές του προηγούμενου κλάσματος, ωστόσο σίγουρα οι πληθυσμοί είναι και εδώ όμοιοι.



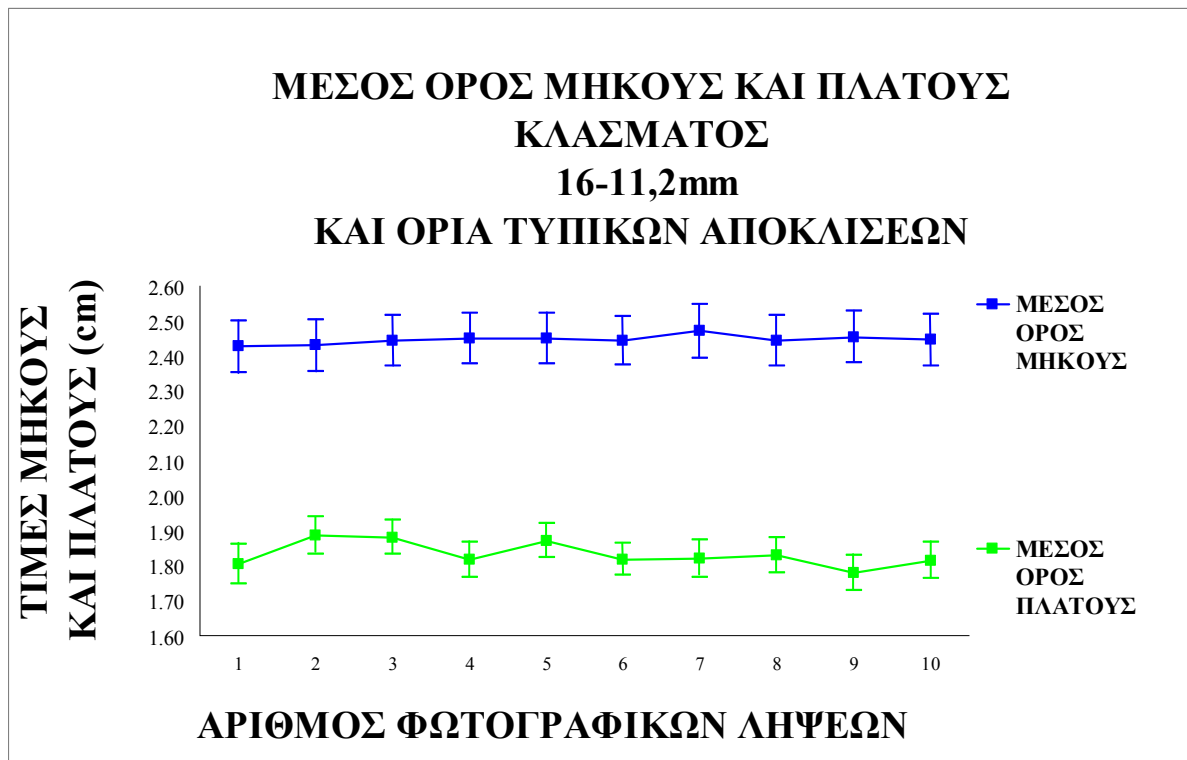
Διάγραμμα 3.3: Συγκρίσεις μέσων όρων διαστάσεων 10 τυχαίων λήψεων 22,4-16mm



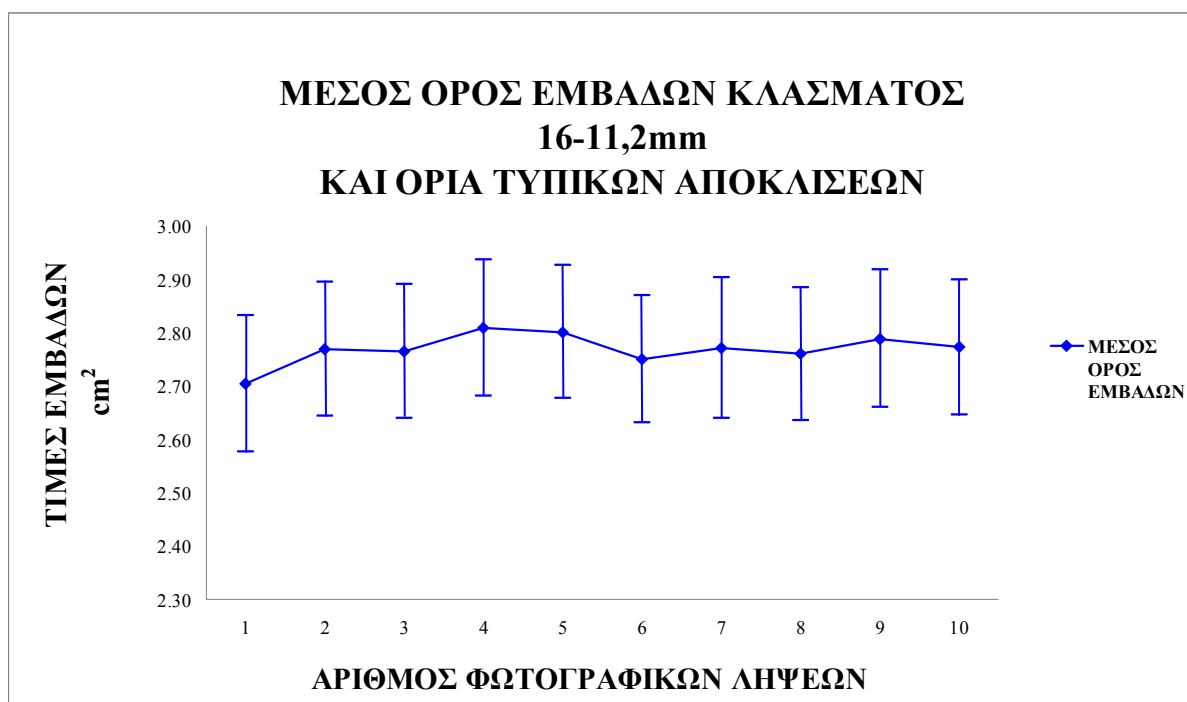
Διάγραμμα 3.4: Συγκρίσεις μέσων όρων εμβαδών 10 τυχαίων λήψεων 22,4-16mm

### Γ) Κλάσμα 16-11.2mm

Για το κλάσμα 16-11.2mm οι μέσες τιμές και οι αποκλίσεις τους είναι  $24.45 \pm 0.74$ mm για το μήκος (μέγιστη διάσταση),  $18.33 \pm 0.51$ mm για το πλάτος (μικρή διάσταση) και  $276.95 \pm 19.00$ mm<sup>2</sup> για το εμβαδόν.



Διάγραμμα 3.5: Συγκρίσεις μέσων όρων διαστάσεων 10 τυχαίων λήψεων 16-11,2mm



Διάγραμμα 3.6: Συγκρίσεις μέσων όρων εμβαδών 10 τυχαίων λήψεων 16-11,2mm

### Σύγκριση αποτελεσμάτων:

Συγκριτικά, στον Πίνακα 3.2 φαίνονται οι τιμές P για τα ελάχιστα και μέγιστα μήκη αλλά και τα εμβαδά των κόκκων για το κάθε κλάσμα, όπως προκύπτουν από την στατιστική ανάλυση διακύμανσης των δέκα ρίψεων. Συμπερασματικά, οι διαφορετικές ρίψεις καταλήγουν στατιστικά στο ίδιο αποτέλεσμα, οπότε η ψηφιακή μέθοδος είναι αξιόπιστη.

Ομοίως, και στο Πίνακα 3.3 συγκρίνουμε τα σφάλματα που εισάγονται κατά την ψηφιακή ανάλυση μεταξύ των διαφορετικών ρίψεων και εξ' αιτίας του διαφορετικού προσανατολισμού των κόκκων μετά την ισορροπία τους.

Παρατηρούμε ότι το ποσοστό σφάλματος είναι ιδιαίτερα μικρό, συνήθως κάτω του 5% και για τις δύο διαστάσεις αλλά και για το εμβαδόν. Επίσης, μεταξύ των διαφορετικών κλασμάτων τα σφάλματα δεν διαφοροποιούνται. Αυτό είναι ένα επιπλέον στοιχείο αξιοπιστίας της ψηφιακής μεθόδου διαχωρισμού των κλασμάτων διαφορετικών μεγεθών κόκκων.

Κλάσμα	Ελάχιστο μήκος (mm)	Μέγιστο μήκος (mm)	Εμβαδόν (mm <sup>2</sup> )
45 - 31.5 mm	0.999431223	0.998297466	0.999999
22.4 – 16 mm	0.999986899	0.978746812	0.999794183
16 - 11.2 mm	0.999998507	0.886642396	0.999977122

Πίνακας 3.4: Τιμές P που προκύπτουν από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA)

	45-31,5 KYB	22,4-16 KYB	16-11,2 MH KYB
Μήκος κόκκων - mm (μέγιστη διάσταση)	54.51±3.00 (±5.50%)	27.49±0.78 (2.85%)	24.45±0.74 (3.01%)
Πλάτος κόκκων - mm (ελάχιστη διάσταση)	44.96±1.97 (±4.38%)	21.83±0.50 (2.28%)	18.33±0.51 (2.76%)
Εμβαδόν κόκκων - mm <sup>2</sup>	1596.82±136.66 (±8.56%)	386.47±15.40 (3.99%)	276.95±52.63 (19.00%)

Πίνακας 3.5: Σύγκριση μέσων τιμών και σφαλμάτων των ψηφιακών μετρήσεων για το κάθε κλάσμα

### 3.4.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΤΥΧΑΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΩΝ ΚΟΚΚΩΝ ΣΤΟ ΙΔΙΟ ΚΛΑΣΜΑ

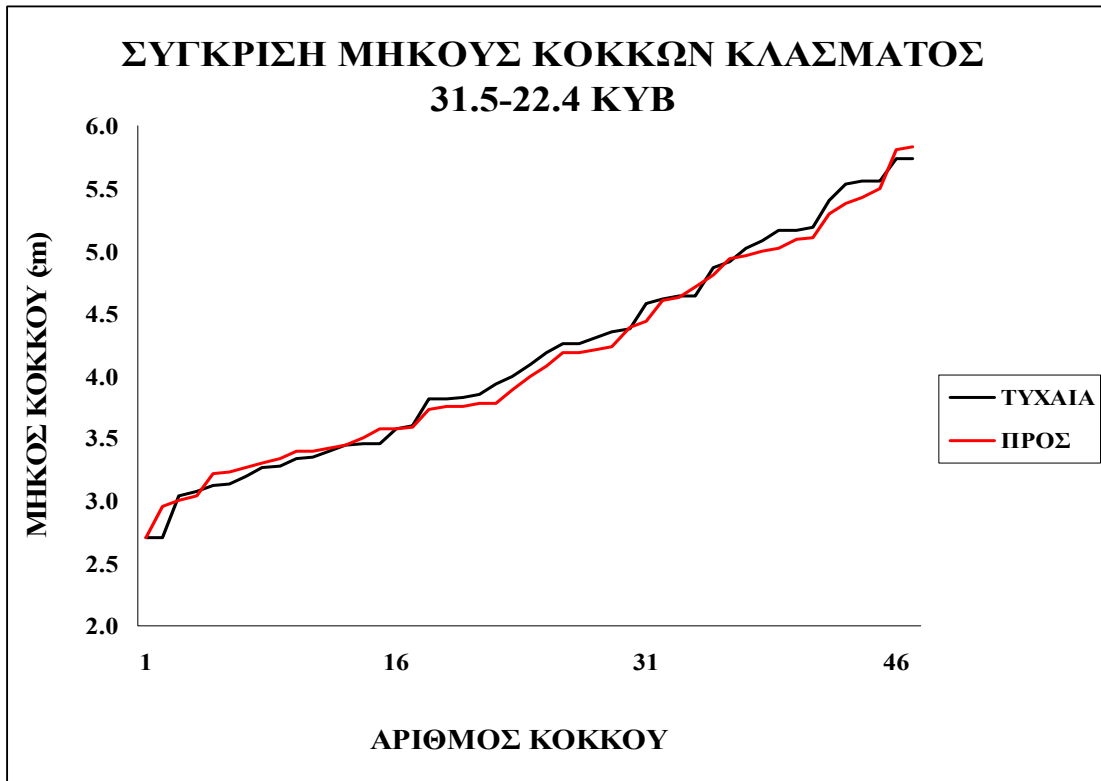
Για την ουσιαστική μελλοντική εφαρμογή της ψηφιακής μεθόδου στη βιομηχανία, πρέπει η μέθοδος να είναι απλή, γρήγορη και αξιόπιστη. Οι μετρήσεις για τους υπολογισμούς των σφαλμάτων των κοσκίνων της εργαστηριακής μεθόδου, έγιναν σε φωτογραφίες στις οποίες οι κόκκοι των μετρούμενων κλασμάτων ήταν τοποθετημένοι ο ένας σε απόσταση σε σχέση με τον άλλον χωρίς αλληλοεπικάλυψη για τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια. Αυτό όμως ήταν χρονοβόρο και ασύμβατο με τις βιομηχανικές απαιτήσεις. Γι' αυτό το λόγο έγινε έλεγχος σε φωτογραφίες από τυχαία ρίψη κόκκων που κατά περιπτώσεις εφάπτονταν ή αλληλεπικαλύπτονταν.

Πραγματοποιήθηκαν συγκρίσεις των αποτελεσμάτων των εικόνων αυτών με τις προσανατολισμένες του αντίστοιχου κλάσματος. Πιθανές αποκλίσεις αναμένεται να προκύπτουν από την αυξομείωση του μεγέθους των κόκκων από τον βαθμό αλληλοεπικάλυψης. Οι συγκρίσεις μεταξύ των προσανατολισμένων και των τυχαίων ρίψεων έγιναν αρχικά με γραφικό τρόπο.

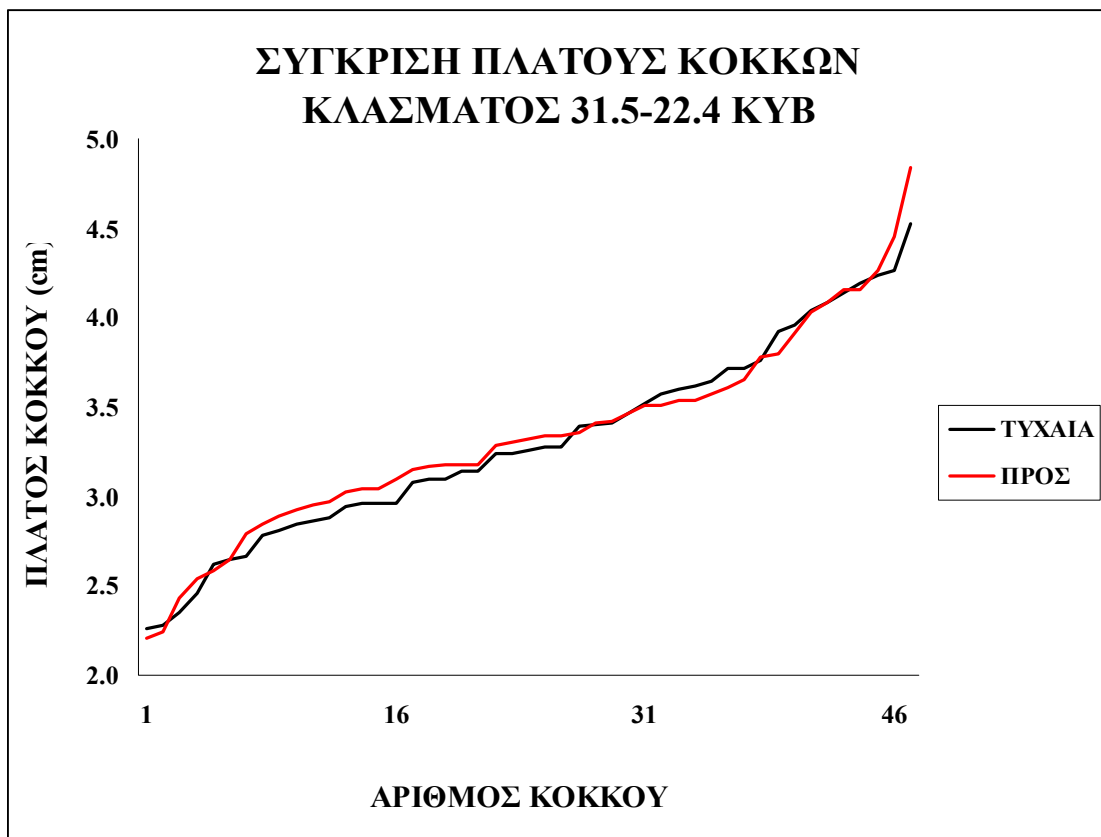
Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιλαμβάνει αριθμητική ταξινόμηση των κόκκων μόνο κατά το μέγιστο μέγεθος αυτών (μήκος) σε μια προσπάθεια να γίνει ταύτιση των ίδιων κόκκων μια και δεν συμπεριλάβαμε σε αυτό το στάδιο ενδείξεις δεικτών για αναγνώριση των ίδιων κόκκων κατά τις διαφορετικές ρίψεις. Εάν η υπόθεσή μας είναι σωστή, τότε αναμένεται η γραφική σύγκριση των πλατών να ταυτίζεται επίσης.

Η στατιστική σύγκριση έγινε με την μέθοδο Students t-test, με μηδενική υπόθεση ότι οι δύο κατανομές, δηλαδή τυχαία ρίψη και προσανατολισμένη από τον χρήστη λήψη, είναι όμοιες μεταξύ τους, με  $\alpha=0.05$ .

**A) Κλάσμα 31,5-22,4mm ΚΥΒ**



**Διάγραμμα 3.7:** Σύγκριση ως προς το μήκος τυχαίας-προσανατολισμένης κλάσματος 31,5-22,4mm ΚΥΒ.

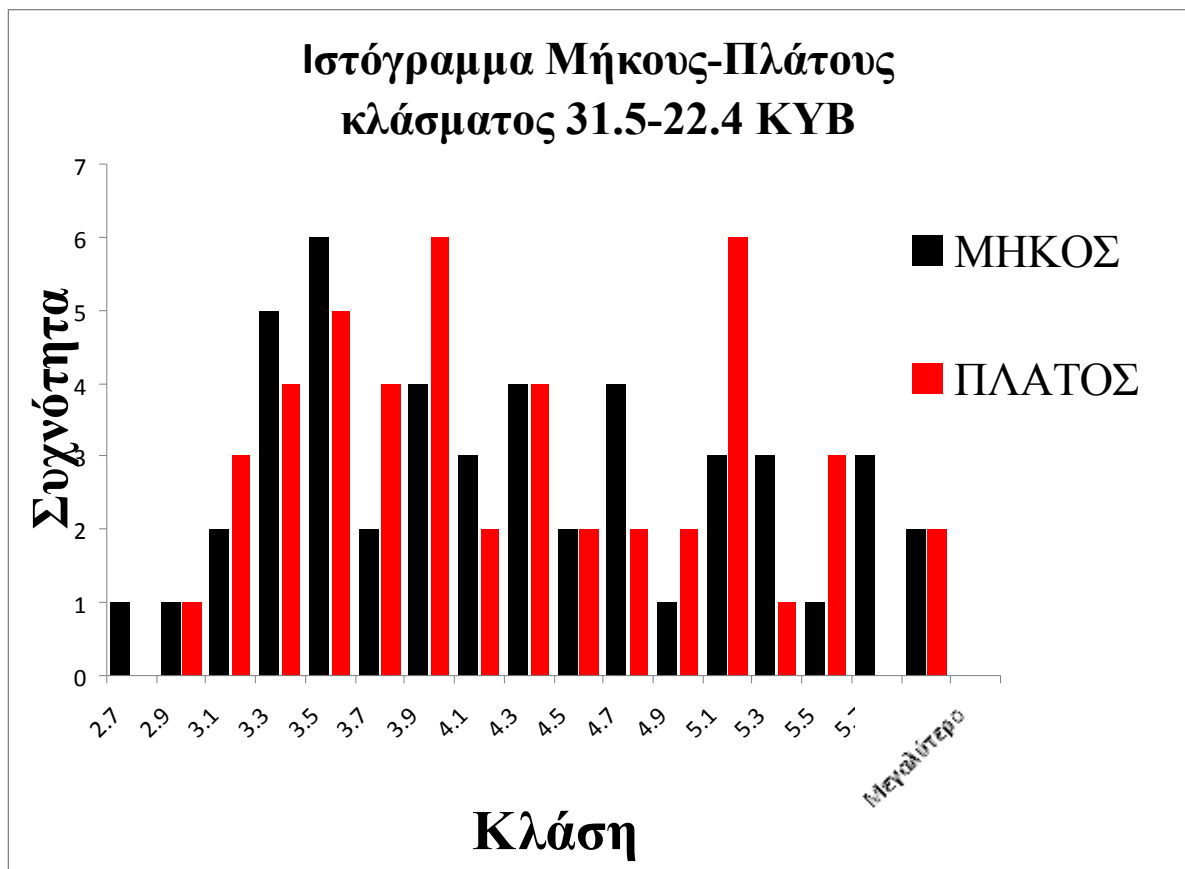


**Διάγραμμα 3.8:** Σύγκριση ως προς το πλάτος τυχαίας-προσανατολισμένης κλάσματος 31,5-22,4mm ΚΥΒ.



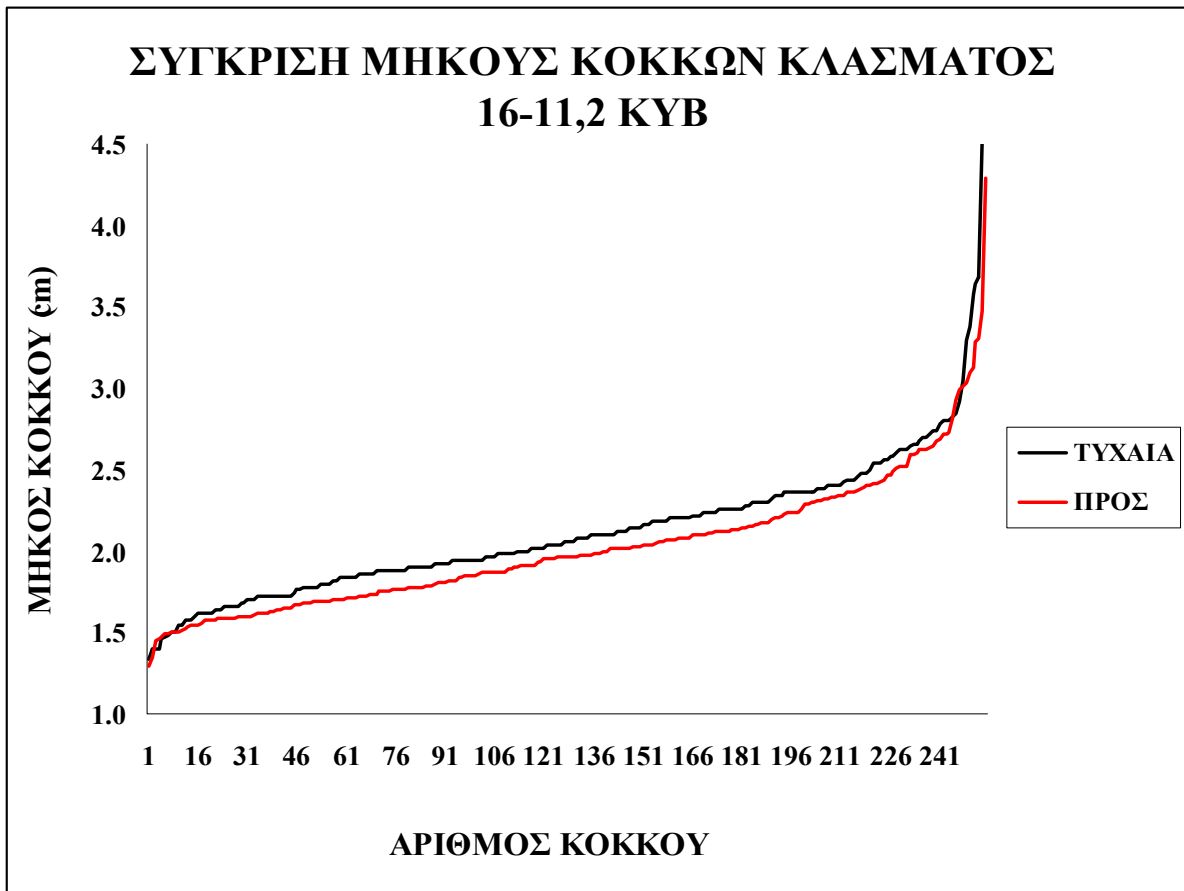
	ΜΗΚΟΣ		ΠΛΑΤΟΣ	
	Μεταβλητή 1	Μεταβλητή 2	Μεταβλητή 1	Μεταβλητή 2
Μέσος	4.1377	4.1616	3.3342	3.3036
Διακύμανση	0.6963	0.7593	0.3159	0.3174
Μέγεθος δείγματος	47	47	47	47
Διάμεση διακύμανση	0.7278		0.3166	
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0		0	
βαθμοί ελευθερίας	92		92	
t	<b>-0.1359</b>		<b>0.2637</b>	
P(T<=t) μονόπλευρη	0.4461		0.3963	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	1.6616		1.6616	
P(T<=t) δίπλευρη	<b>0.8922</b>		<b>0.7926</b>	
t κρίσιμο, δίπλευρο	<b>1.9861</b>		<b>1.9861</b>	

Πίνακας 3.6: Έλεγχος t δύο δειγμάτων με υποτιθέμενες ίσες διακυμάνσεις

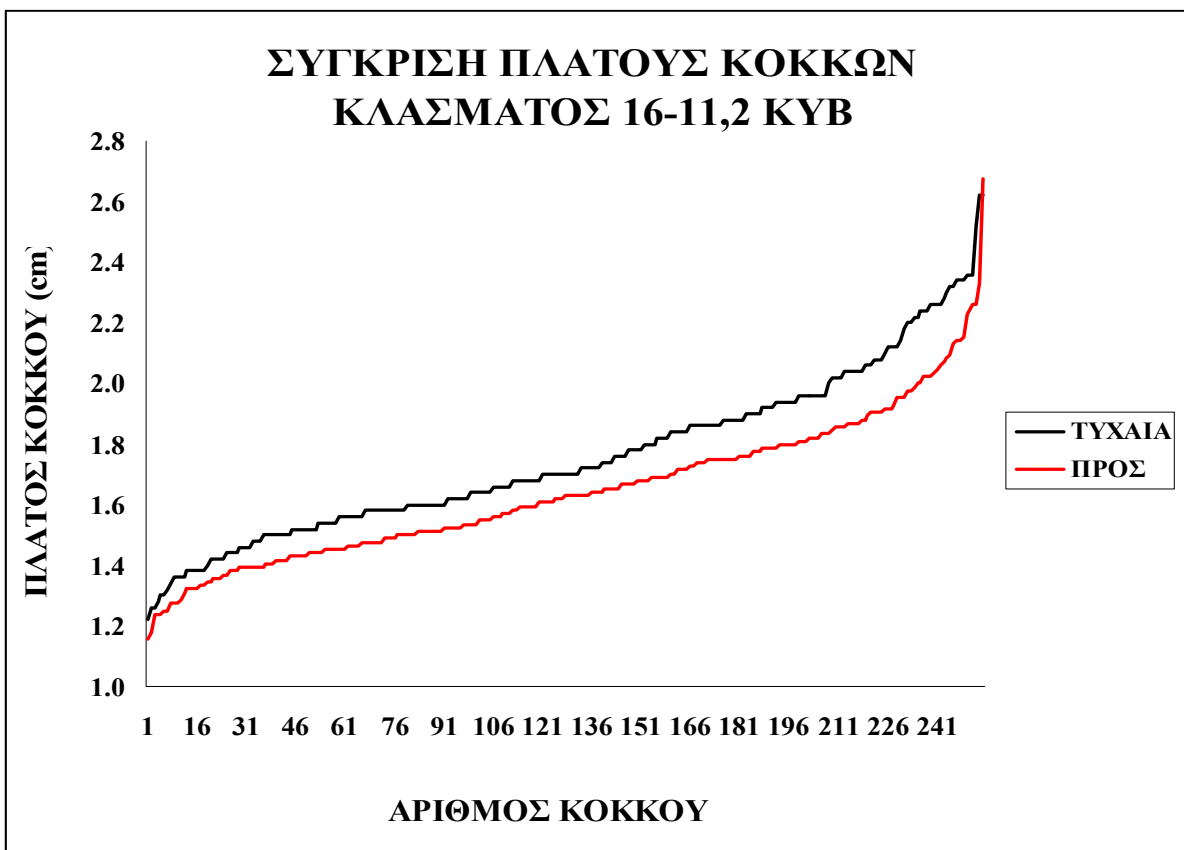


Διάγραμμα 3.9: Ιστογράμματα κατανομής μήκους και πλάτους των τυχαίων-προσανατολισμένων κλασμάτων 31,5-22,4mm ΚΥΒ.

**Β) Κλάσμα 16-11,2mm ΚΥΒ**



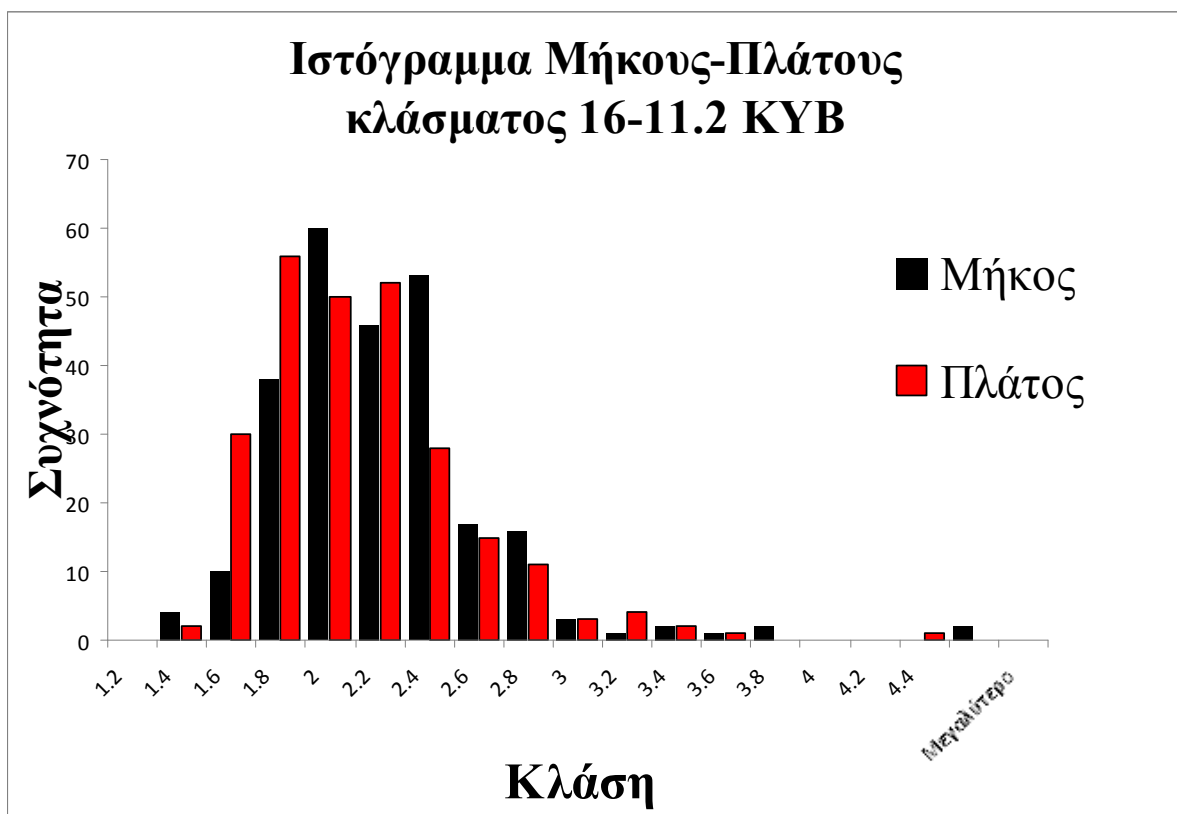
**Διάγραμμα 3.10:** Σύγκριση ως προς το μήκος τυχαίας-προσανατολισμένης κλάσματος 16-11,2mm ΚΥΒ.



**Διάγραμμα 3.11:** Σύγκριση ως προς το πλάτος τυχαίας-προσανατολισμένης κλάσματος 16-11,2mm ΚΥΒ.

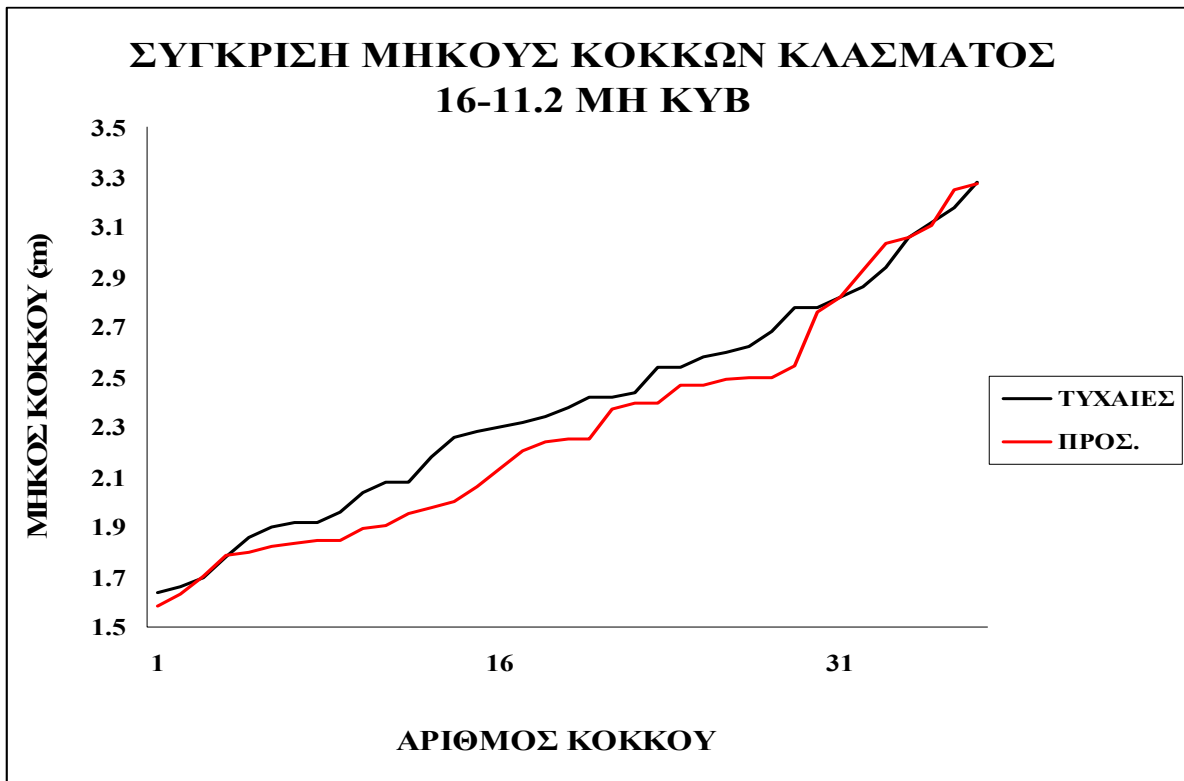
	ΜΗΚΟΣ		ΠΛΑΤΟΣ	
	Μεταβλητή	Μεταβλητή	Μεταβλητή	Μεταβλητή
	1	2	1	2
Μέσος	2.0179	2.1222	1.6437	1.7576
Διακύμανση	0.1650	0.1964	0.0563	0.0751
Μέγεθος δείγματος	255	255	255	255
Διάμεση διακύμανση	0.1807		0.0657	
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0		0	
βαθμοί ελευθερίας	508		508	
t	<b>-2.7696</b>		<b>-5.0150</b>	
P(T<=t) μονόπλευρη	0.0029		0.0000	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	1.6479		1.6479	
P(T<=t) δίπλευρη	<b>0.0058</b>		<b>0.0000</b>	
t κρίσιμο, δίπλευρο	<b>1.9646</b>		<b>1.9646</b>	

Πίνακας 3.7: Έλεγχος t δύο δειγμάτων με υποτιθέμενες ίσες διακυμάνσεις

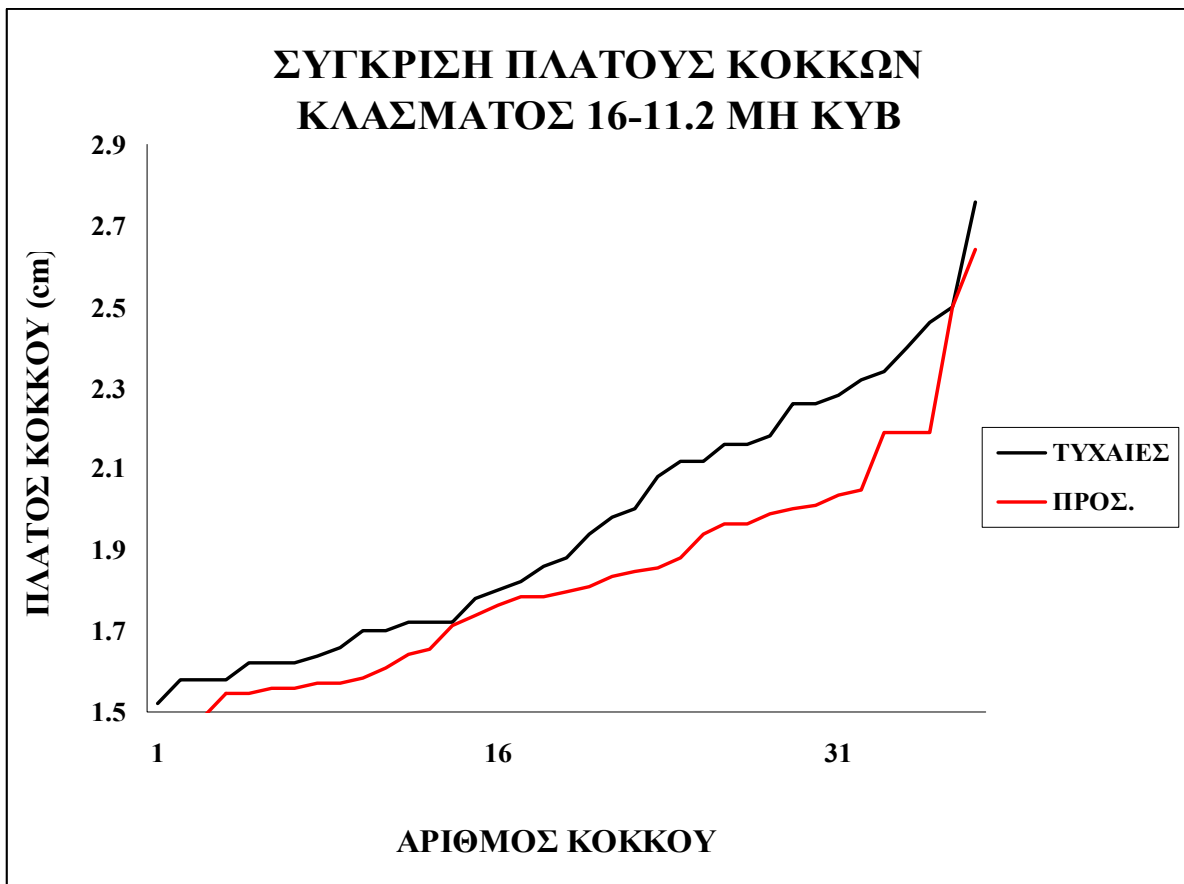


Διάγραμμα 3.12: Ιστογράμματα κατανομής μήκους και πλάτους των τυχαίων-προσανατολισμένων κλασμάτων 16-11.2mm KYB.

**B) Κλάσμα 16-11,2mm ΜΗ ΚΥΒ**



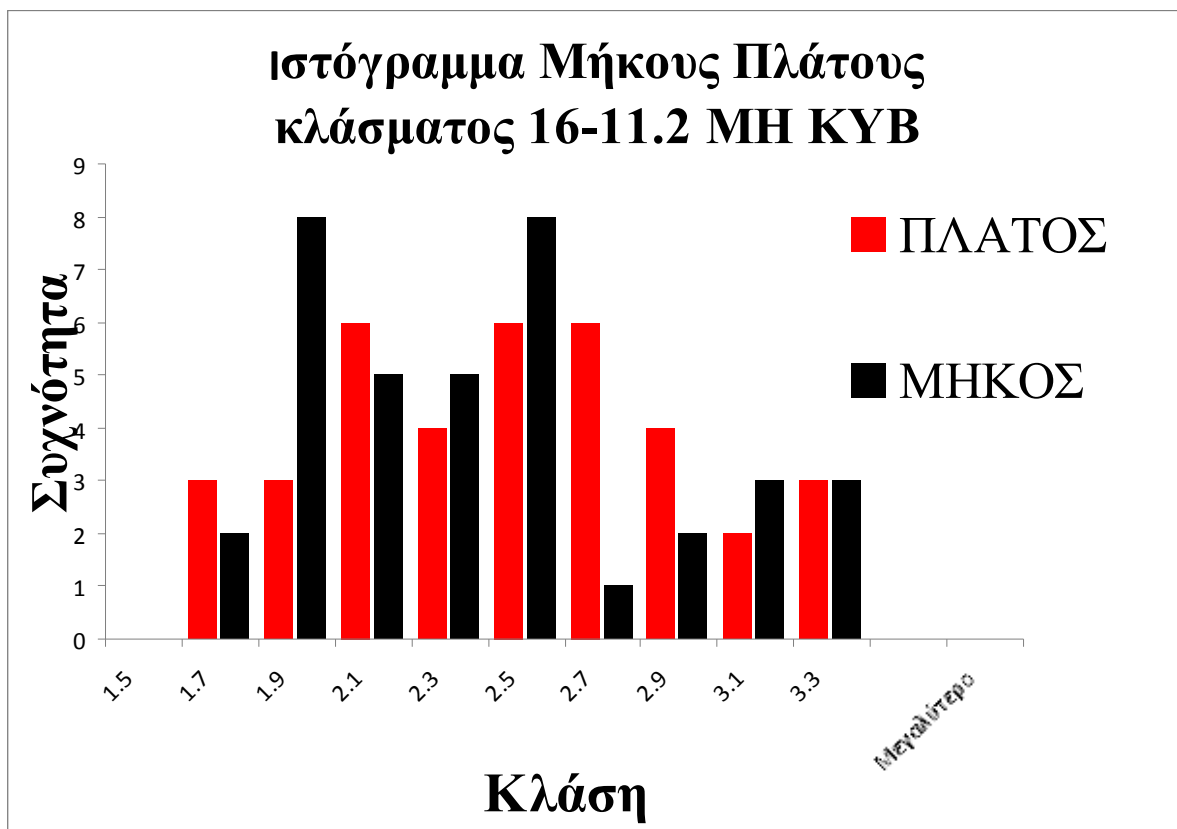
**Διάγραμμα 3.13:** Σύγκριση ως προς το μήκος τυχαίας-προσανατολισμένης κλάσματος 16-11,2mm ΜΗ ΚΥΒ.



**Διάγραμμα 3.14:** Σύγκριση ως προς το πλάτος τυχαίας-προσανατολισμένης κλάσματος 16-11,2mm ΜΗ ΚΥΒ.

	ΜΗΚΟΣ		ΠΛΑΤΟΣ	
	Μεταβλητή	Μεταβλητή	Μεταβλητή	Μεταβλητή
	1	2	1	2
Μέσος	2.2989	2.3854	1.8298	1.9578
Διακύμανση	0.2275	0.1992	0.0774	0.1027
Μέγεθος δείγματος	37	37	37	37
Διάμεση διακύμανση	0.2134		0.0900	
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0		0	
βαθμοί ελευθερίας	72		72	
t	<b>-0.8054</b>		<b>-1.8353</b>	
P(T<=t) μονόπλευρη	0.2116		0.0353	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	1.6663		1.6663	
P(T<=t) δίπλευρη	<b>0.4232</b>		<b>0.0706</b>	
t κρίσιμο, δίπλευρο	<b>1.9935</b>		<b>1.9935</b>	

Πίνακας 3.8: Έλεγχος t δύο δειγμάτων με υποτιθέμενες ίσες διακυμάνσεις



Διάγραμμα 3.15: Ιστογράμματα κατανομής μήκους και πλάτους των τυχαίων-προσανατολισμένων κλασμάτων 16-11.2mm ΜΗ ΚΥΒ.

## Συμπεράσματα συγκρίσεων:

Η διερεύνηση προσανατολισμένων κόκκων και κόκκων με τυχαία ρίψη πρόκειται να μας βοηθήσει στο να ελέγξουμε το κατά πόσο η πιθανή αλληλοεπικάλυψη των κόκκων ή επαφή αυτών μπορεί να επηρεάσει τις μετρήσεις μας. Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων των μετρήσεών μας φαίνεται στον Πίνακα 3.9. Η ανάλυση έγινε για δύο διαφορετικά κλάσματα κυβικών κόκκων, ώστε να γίνει έλεγχος σε διαφορετικά μεγέθη κόκκων, αλλά και μεταξύ κυβικών και μη κυβικών κόκκων του ίδιου κλάσματος.

	<b>31,5-22,4 ΚΥΒΙΚΟ</b>	<b>16-11,2 ΚΥΒΙΚΟ</b>	<b>16-11,2 ΜΗ ΚΥΒΙΚΟ</b>
	<b>ΠΡΟΣΑΝΑΤ. / ΤΥΧΑΙΑ</b>	<b>ΠΡΟΣΑΝΑΤ. / ΤΥΧΑΙΑ</b>	<b>ΠΡΟΣΑΝΑΤ. / ΤΥΧΑΙΑ</b>
<b>ΜΗΚΟΣ</b>			
<b>Μέσος±Διακύμανση (cm)</b>	4.1377±0.6963 / 4.1616±0.7593	2.0179±0.1650 / 2.1222±0.1964	2.2989±0.2275 / 2.3854±0.1992
<b>t</b>	-0.1359	-2.7696	-0.8054
<b>P(T&lt;=t)</b>	0.8922	0.0058	0.4232
<b>t κρίσιμο, δίπλευρο</b>	1.9861	1.9646	1.9935
<b>ΠΛΑΤΟΣ</b>			
<b>Μέσος±Διακύμανση (cm)</b>	3.3342±0.3159 / 3.3036±0.3174	1.6437±0.0563 / 1.7576±0.0751	1.8298±0.0774 / 1.9578±0.1027
<b>t</b>	0.2637	-5.0150	-1.8353
<b>P(T&lt;=t)</b>	0.7926	0.000001	0.0706
<b>t κρίσιμο, δίπλευρο</b>	1.9861	1.9646	1.9935

Πίνακας 3.9: Συγκεντρωτική στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων 10 τυχαίων ρίψεων

Όσον αφορά στις συγκρίσεις των μηκών των κόκκων του μεγάλου κλάσματος υπάρχει μια ταύτιση μεταξύ των μέσων και της διακύμανσης αυτών μεταξύ των προσανατολισμένων και των τυχαίων ρίψεων. Η σχετικά μεγάλη πιθανότητα (0.8922) δείχνει ότι οι μετρήσεις μας αναφέρονται στον ίδιο πληθυσμό. Ομοίως και για τα πλάτη αυτών, με ελαφρά μειωμένη πιθανότητα, ωστόσο ικανή να μας βεβαιώσει ότι πρόκειται για τον ίδιο πληθυσμό. Η σχέση αυτή χαλαρεί για κλάσματα μικρών κόκκων, υποδεικνύοντας ότι πιθανότατα δεν είναι δυνατόν να συγκρίνουμε μεταξύ τους κλάσματα πολύ μικρών μεγεθών.

Η σύγκριση μεταξύ κυβικών και μη κυβικών κλασμάτων δείχνει ότι τα μη κυβικά δίνουν μεν συγκρίσιμα αποτελέσματα αλλά με μικρό βαθμό πιθανότητας (0.4232). Ωστόσο, αυτή η πιθανότητα μειώνεται όταν αναφερόμαστε στο μικρότερο μέγεθος του πλάτους αυτών των κόκκων.

### 3.4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Ένας από τους βασικούς στόχους της παρούσας εργασίας είναι και η σύγκριση της κοκκομετρικής ανάλυσης με ψηφιακές μεθόδους σε σχέση με τις εργαστηριακές μεθόδους (οι οποίες στο σύνολό τους γίνονται χειροκίνητα). Η κοινή πληροφορία που αναμένεται να πάρουμε και από τις δύο μεθόδους είναι το μήκος (μέγιστη διάσταση κόκκου) και το πλάτος (ελάχιστη διάσταση κόκκου), σε σύγκριση πάντα με τις διαστάσεις των κοσκίνων και τα ποσοστά συγκρατούμενων σε αυτά κόκκων. Δεν είναι δυνατόν να πάρουμε ακριβή μεγέθη κόκκων με τις εργαστηριακές μεθόδους, οπότε στην έρευνά μας αυτή φωτογραφήσαμε και επεξεργαστήκαμε τους διαχωρισμένους κόκκους με ψηφιακές μεθόδους επίσης.

#### **Σύγκριση αριθμού κόκκων με εργαστηριακά και ψηφιακά κόσκινα**

Οι συγκρίσεις που γίνονται σύμφωνα με τον αριθμό των κόκκων είναι το πλήθος των κόκκων που περνούν από το εργαστηριακό (χειροκίνητο) κόσκινο σε σχέση με αυτούς που περνούν από το ψηφιακό κόσκινο σε:

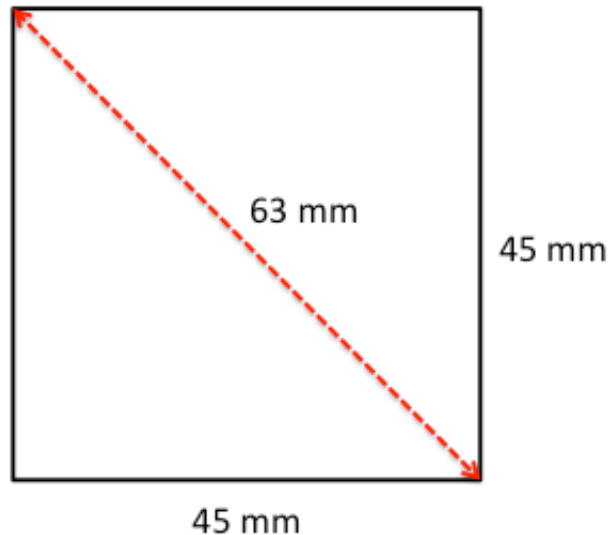
- Δείγμα όλων των κόκκων που χρησιμοποιήθηκαν ( $M1+M2 = 5423$  κόκκοι)
- Δείγμα των επιλεγμένων από την σχάρα κυβικών κόκκων ( $M1 = 4715$  κόκκοι)
- Δείγμα των επιλεγμένων από την σχάρα μη κυβικών κόκκων ( $M2 = 708$  κόκκοι)

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στον Πίνακα 3.10 και στα διαγράμματα 3.16-3.17-3.18 .

Από τα διαγράμματα και τον πίνακα παρατηρούμε ότι οι ψηφιακές μέθοδοι συγκρατούν σε όλα τα κλάσματα κάποιο αριθμό κόκκων οι οποίοι φαίνεται να διαπερνούν από τα αντίστοιχα εργαστηριακά κόσκινα. Εάν θεωρήσουμε ότι κατά την ρίψη ενός κόκκου αυτός θα αποτεθεί με το μέγιστο εμβαδόν του, ιδιαίτερα εάν αυτός είναι μη-κυβικός, τότε αναμένουμε οι διαστάσεις των κόκκων που μετράμε με τις ψηφιακές μεθόδους να δίνει πράγματι τις μέγιστες διαστάσεις με την κατακόρυφη διάσταση (πάχος) να είναι η ελάχιστη και μικρότερη ή ίση από την ελάχιστη (πλάτος) των άλλων δύο (μήκους – πλάτους). Θεωρητικά, τα δύο ελάχιστα μήκη είναι αυτά που θα επιτρέψουν ή όχι έναν κόκκο να διαπεράσει ή όχι, ανεξάρτητα από το μήκος τους.

Για παράδειγμα, στην εικόνα 3.21 φαίνεται το άνοιγμα ενός κοσκίνου με πλευρά τετραγώνου 45mm. Ο κόκκος που θα το διαπεράσει θα έχει οποιοδήποτε μήκος αλλά πλάτος και πάχος μικρότερο των 45 mm εάν είναι κυβικού σχήματος, οπότε αυτό θα είναι και το πλάτος που θα φανεί στην ψηφιακή επεξεργασία, ενώ όσο πιο μη-κυβικός γίνεται ο κόκκος το πλάτος θα προσεγγίζει τα 63 mm αλλά θα μειώνεται συστηματικά το πάχος.

Τελικά, ο μικρότερος κόκκος που θα διαπεράσει από το φίλτρο του παραδείγματός μας θα έχει τουλάχιστον τις δύο διαστάσεις του μικρότερες ή ίσες των 45mm και θα συγκρατηθεί όταν είναι κυβικός με πλάτος και πάχος μεγαλύτερο των 45mm ή όταν είναι πλακοειδής με πλάτος μεγαλύτερο των 63mm. Με βάση το σκεπτικό αυτό εφαρμόσαμε τα ψηφιακά κόσκινα.



Εικόνα 3.21: Τετραγωνικό άνοιγμα κοσκίνου 45mm (κάτοψη)

			Εργαστηριακό Κόσκινο			Ψηφιακό κόσκινο		
$D_i$	$d_i$	Άνοιγμα τετραγ. Οπής	Αριθμός κόκκων M1	Αριθμός κόκκων M2	M1+M2	Αριθμός κόκκων M1	Αριθμός κόκκων M2	M1+M2
63	45	<b>63.6</b>	0	0	<b>0</b>	10	1	<b>11</b>
45	31.5	<b>44.5</b>	18	0	<b>18</b>	42	11	<b>53</b>
31.5	22.4	<b>31.7</b>	47	9	<b>56</b>	77	14	<b>91</b>
22.4	16	<b>22.6</b>	121	15	<b>136</b>	242	38	<b>280</b>
16	11.2	<b>15.8</b>	255	37	<b>292</b>	453	93	<b>546</b>
11.2	8	<b>11.3</b>	438	96	<b>534</b>	408	122	<b>530</b>
8	5.6	<b>7.9</b>	1231	226	<b>1457</b>	1716	304	<b>2020</b>
5.6	4	<b>5.7</b>	2605	325	<b>2930</b>	1680	120	<b>1800</b>
4	0	<b>0.0</b>	0	0	<b>0</b>	87	5	<b>92</b>
<b>ΣΥΝΟΛΑ</b>			<b>4715</b>	<b>708</b>	<b>5423</b>	<b>4715</b>	<b>708</b>	<b>5423</b>

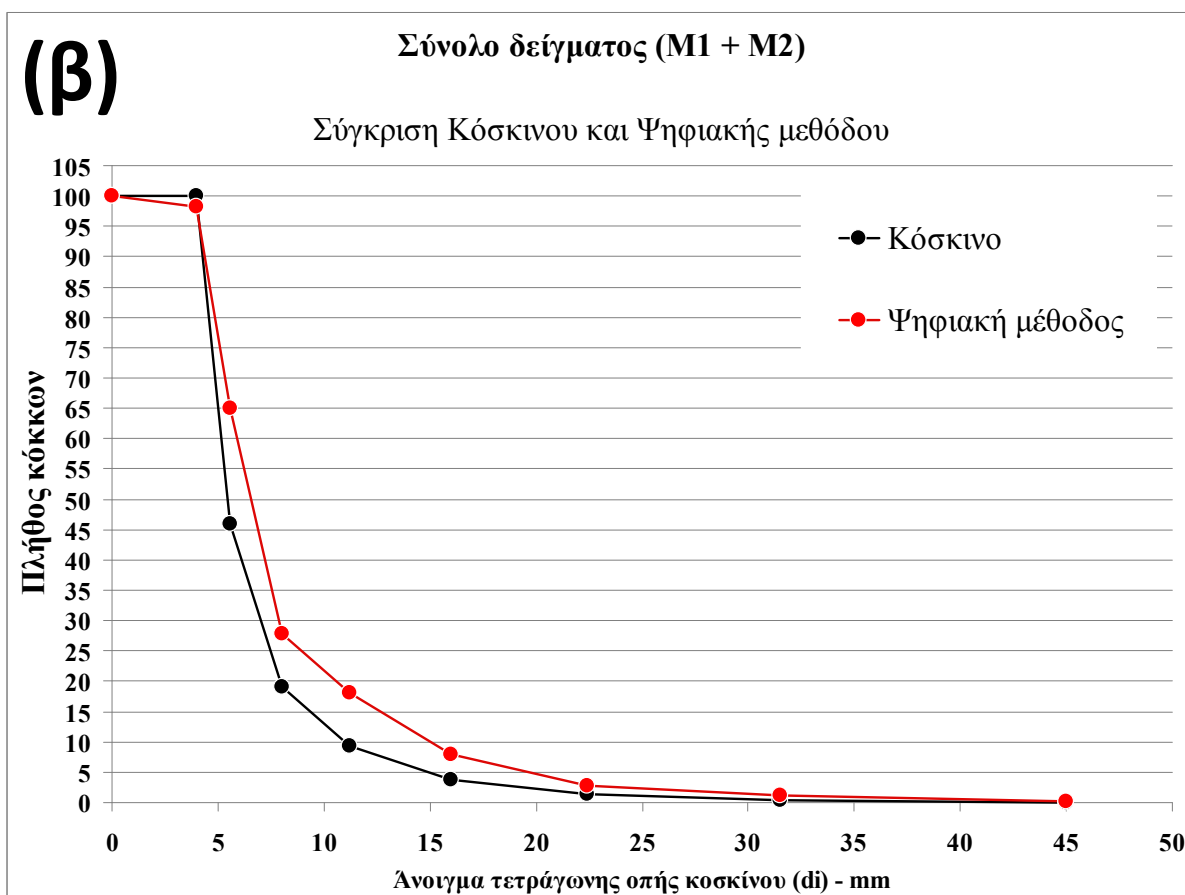
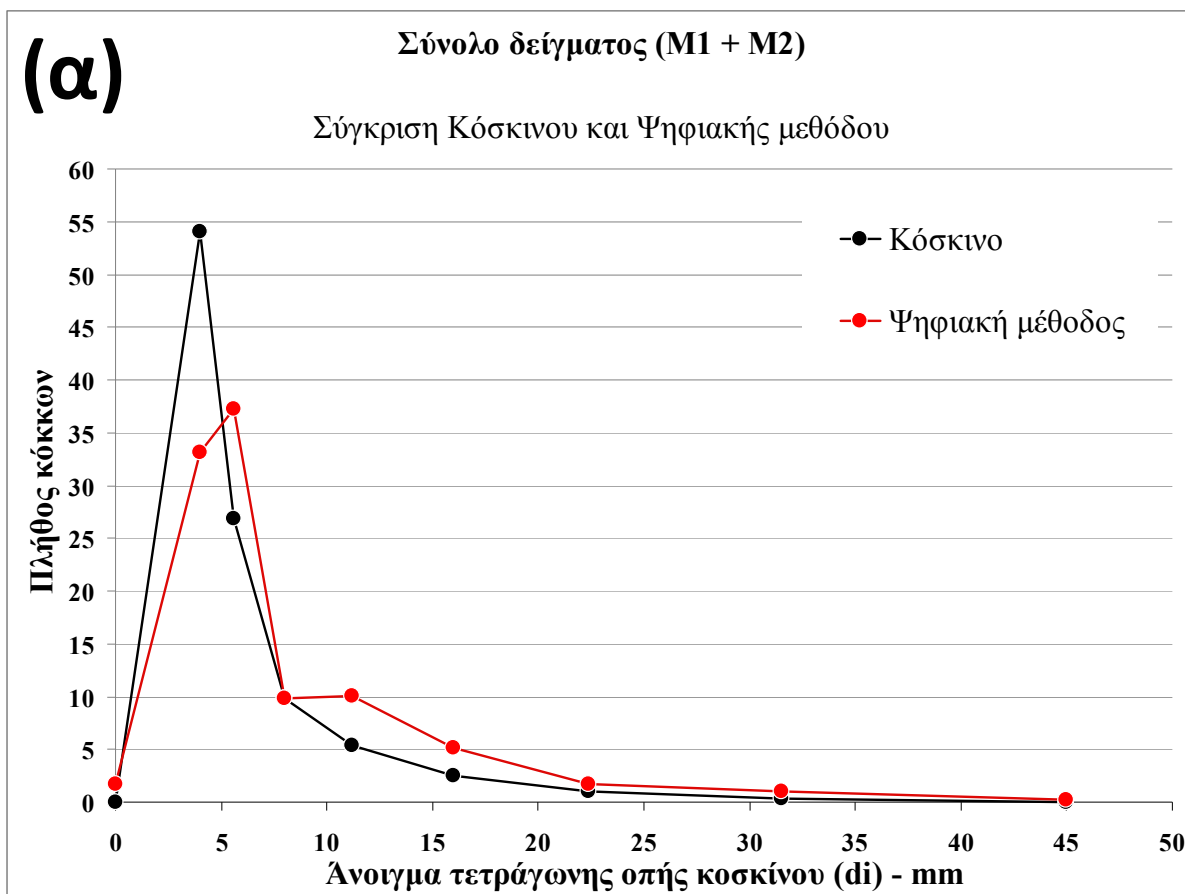
Πίνακας 3.10: Συγκριτικά αποτελέσματα μετρήσεων εργαστηριακής-ψηφιακής μεθόδου



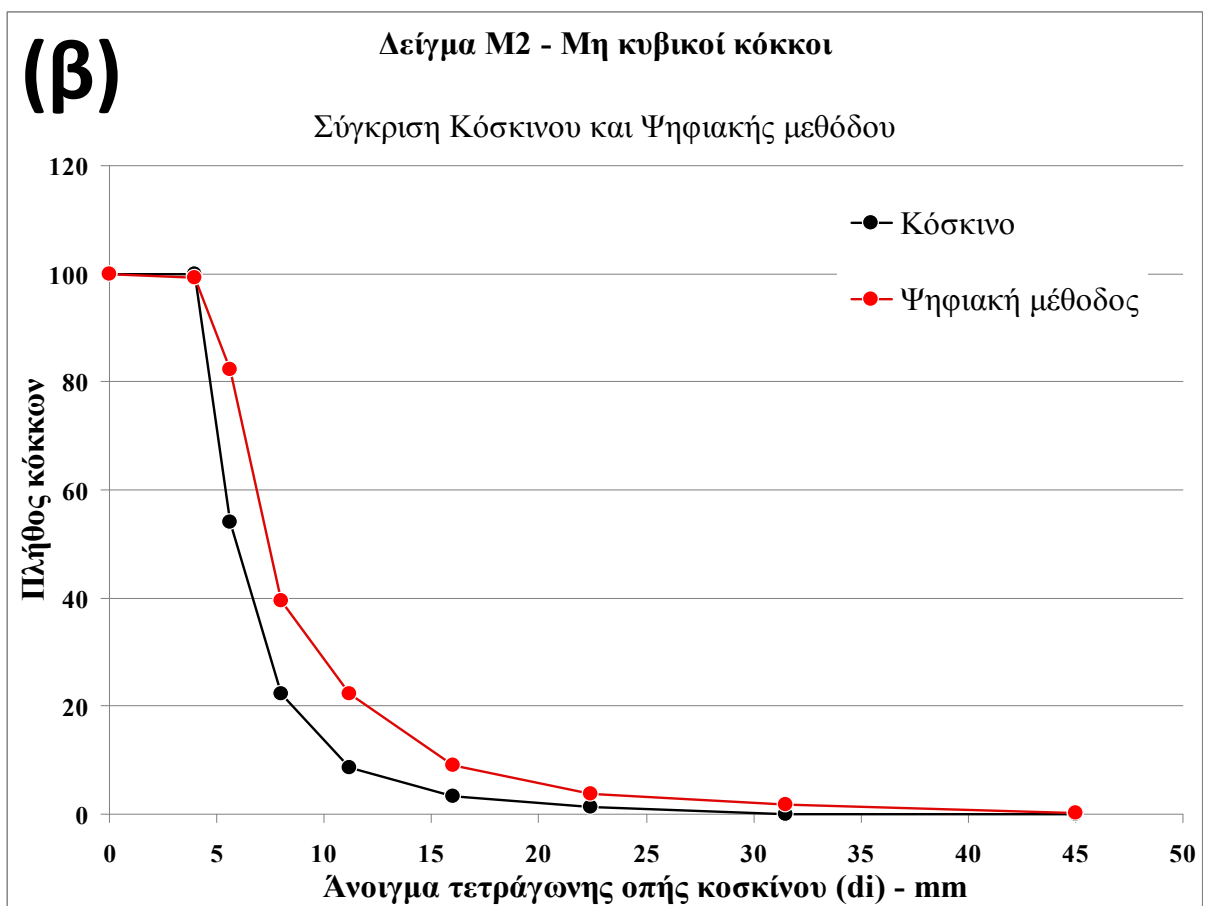
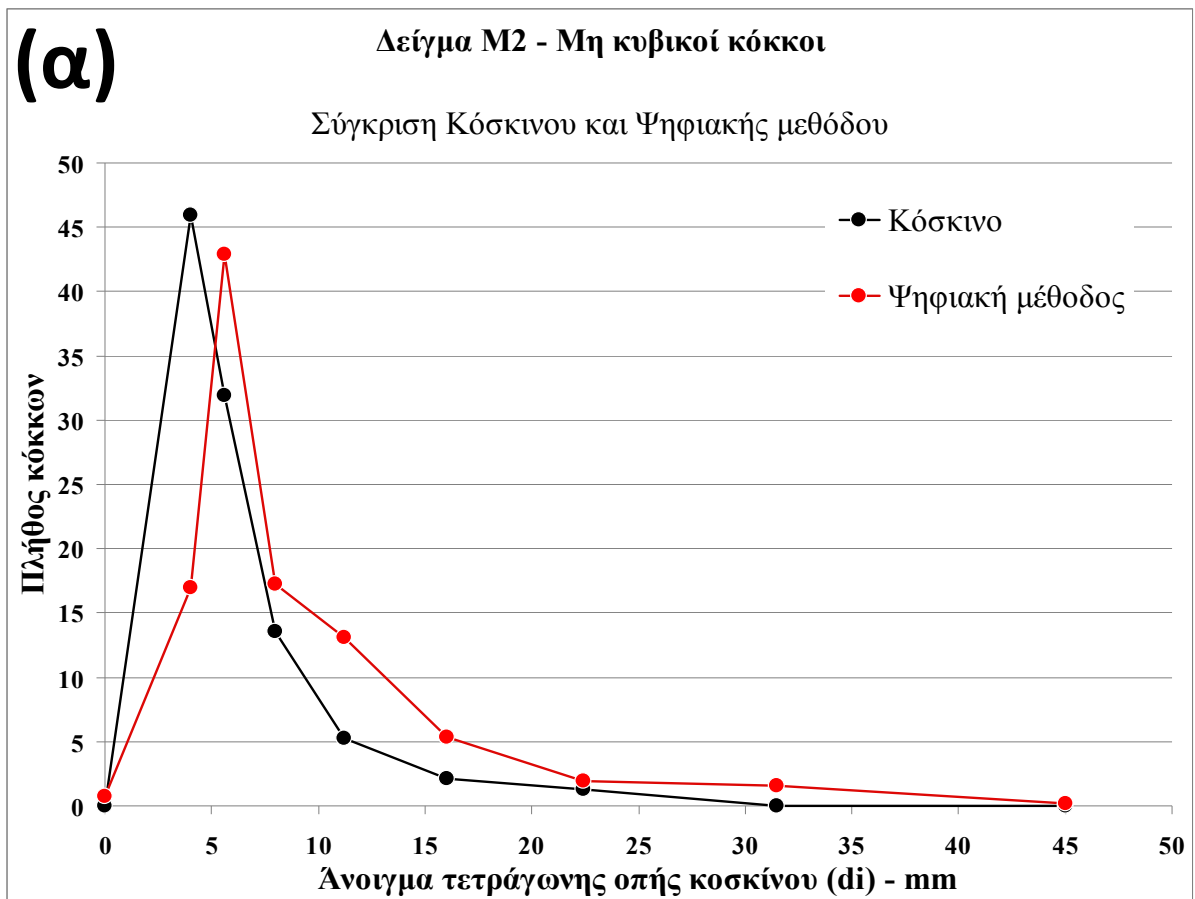
Το Δ 3.16 συγκρίνει τα εργαστηριακά κόσκινα με τα ψηφιακά όταν όλοι οι διαθέσιμοι κόκκοι χρησιμοποιούνται σε ένα κλάσμα, χωρίς τον διαχωρισμό που προκύπτει από τις σχάρες σε κυβικούς και μη-κυβικούς κόκκους. Το διάγραμμα δείχνει κάποια ταύτιση, ωστόσο με σημαντικές διαφοροποιήσεις σε δύο σημεία: α) στο μικρότερο μέγεθος κόκκων όπου το εργαστηριακό κόσκινο δεν έχει αφήσει να διαπεράσει κανένας κόκκος μικρότερος των 4mm, ενώ το ψηφιακό επιτρέπει έναν σημαντικό αριθμό κόκκων, ιδιαίτερα των κυβικών, και β) υπάρχει μια αύξηση του πλήθους των κόκκων που φαίνονται να συγκρατούνται από τα ψηφιακά κόσκινα στα κλάσματα των 11.2 και 16mm σε σχέση με τα εργαστηριακά κλάσματα. Η δεύτερη αυτή παρατήρηση φαίνεται να ισχύει περισσότερο στο κλάσμα των κυβικών κόκκων (Δ 3.18) παρά σε αυτό των μη-κυβικών (Δ.3.17).

Ειδικά για το διάγραμμα των μη-κυβικών κόκκων, το ψηφιακό κόσκινο φαίνεται να συστηματικά να συγκρατεί κόκκους σε μεγαλύτερα κλάσματα, που το εργαστηριακό αφήνει να διαπερνούν. Το Δ.3.19 δείχνει την σχέση εργαστηριακής και ψηφιακής επιλογής (κοσκίνισμα) με χρήση των εμβადών των κόκκων όπως αυτά μετρήθηκαν με την επεξεργασία εικόνας. Το διάγραμμα δείχνει ότι η ψηφιακή μέθοδος τείνει να κατακρατά περισσότερους κόκκους στα μεγαλύτερα κλάσματα που στην εργαστηριακή μέθοδο κοσκίνου φαίνεται να διαπερνάνε. Επειδή η τρίτη διάσταση, δηλαδή το πάχος των κόκκων μας είναι άγνωστο, δεν μπορούμε επακριβώς να εξηγήσουμε αυτές τις διαφοροποιήσεις. Με το σκεπτικό που ακολουθήσαμε το πλάτος κατά την ψηφιακή αναγνώριση θα πρέπει πάντα να είναι ίσο ή μεγαλύτερο του πάχους, οπότε δεν θα έπρεπε να επηρεάζει τα αποτελέσματα. Ένας λόγος που η ψηφιακή μέθοδος μπορεί να σφάλει είναι εάν οι κόκκοι διαπερνούν τα εργαστηριακά κόσκινα με περιστροφική κίνηση προσαρμόζοντας πάντα το ελάχιστο πάχος, το οποίο δεν είναι ορατό στην κάτοψη του κόκκου όπως αυτή φαίνεται στην ψηφιακή εικόνα. Ωστόσο, ένας λόγος που η εργαστηριακή μέθοδος μπορεί να σφάλει είναι όταν μεγαλύτεροι κόκκοι εμποδίζονται στο να διαπεράσουν από άλλους κόκκους, πρόβλημα που ίσως μπορεί να λυθεί με μεγάλης χρονικής διάρκειας κοσκίνισμα, ή με την παροχή μικρού αριθμού κόκκων κάθε φορά, ή ακόμη και με την υποβοήθηση από τον τεχνικό.

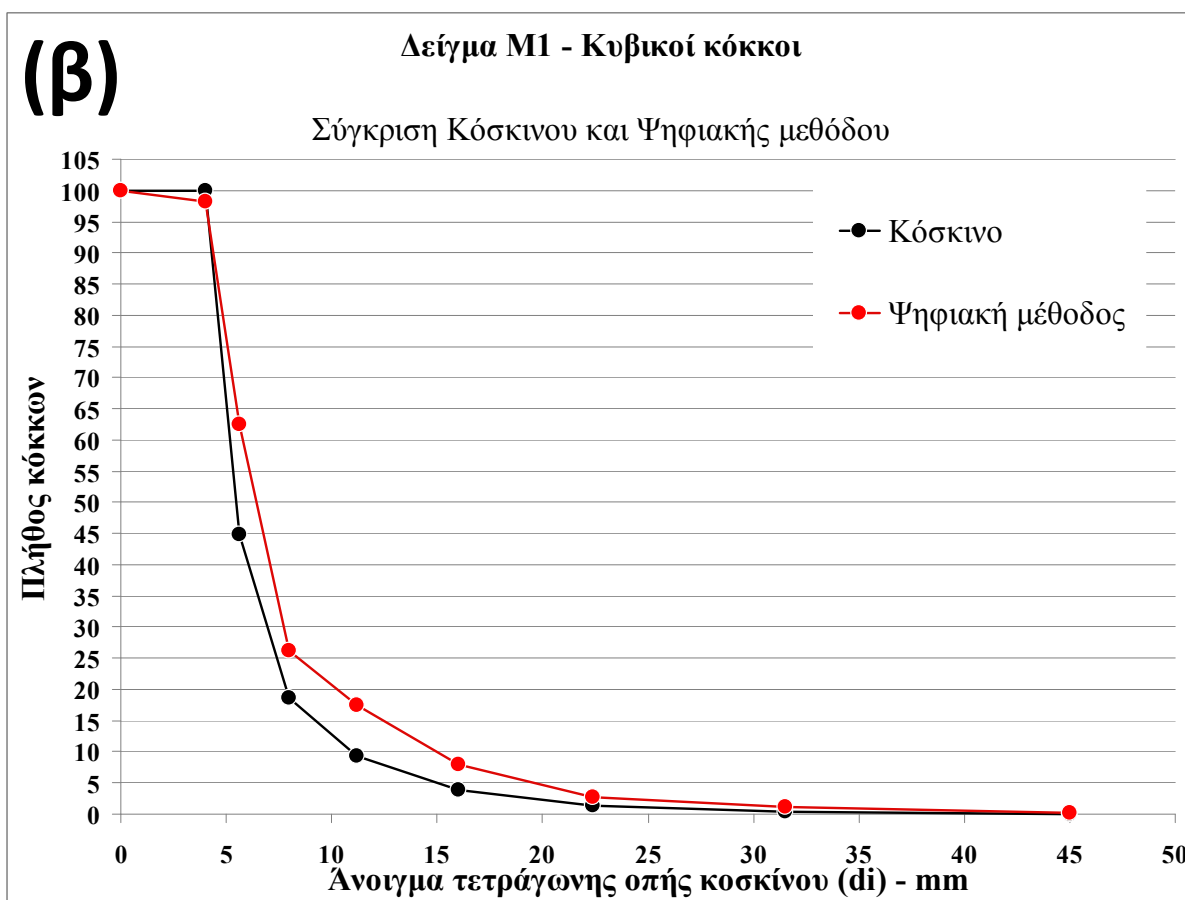
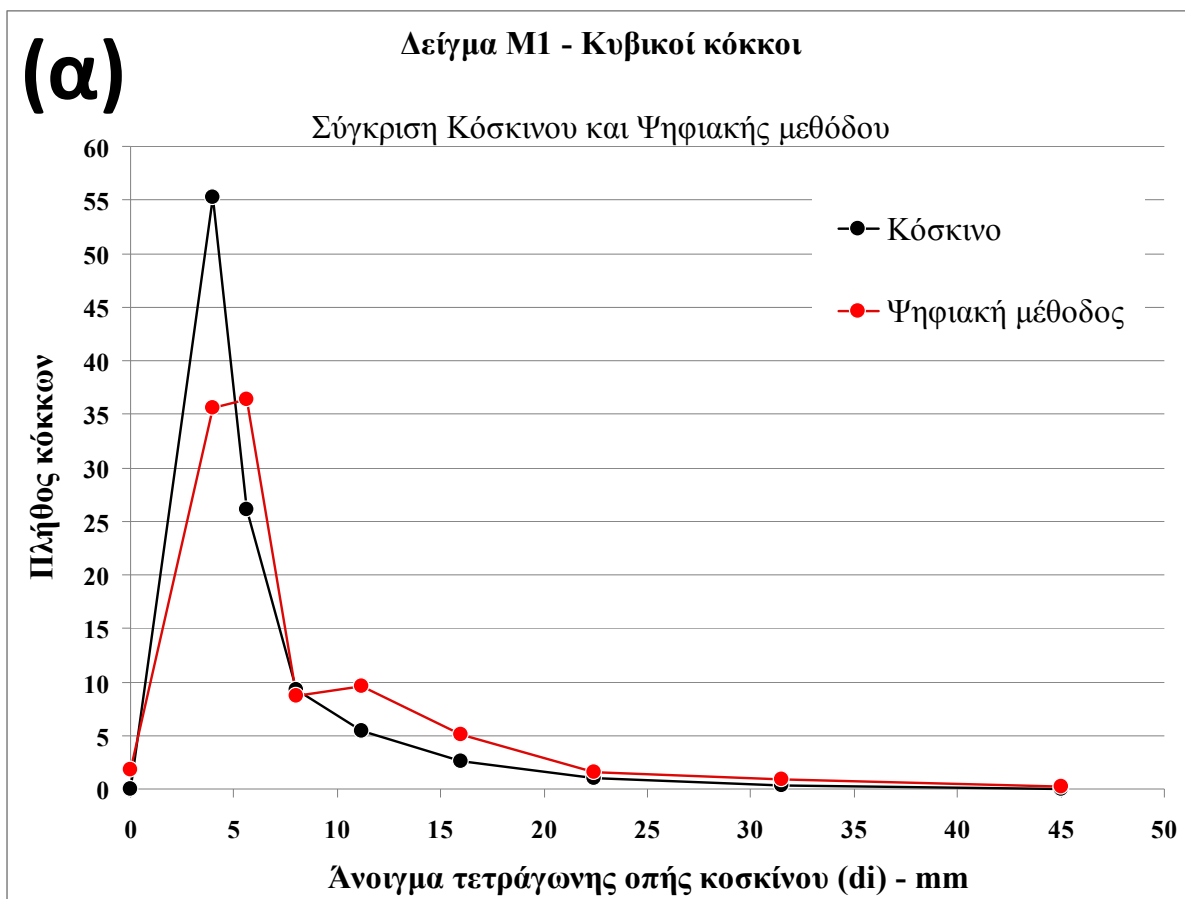
Θεωρούμε ότι τα αποτελέσματα της ψηφιακής μεθόδου εκφράζουν καλύτερα το γενικό σχήμα των κόκκων, διότι κατά την χρήση τους σε κατασκευές και με την παρεμβολή συνδετικού υλικού, οποιεσδήποτε λεπτομέρειες αμβλύνονται και το τελικό τους σχήμα είναι απλοποιημένο, προσεγγίζοντας σε μέγεθος αυτό που μετράμε με την ψηφιακή μέθοδο. Την αλήθεια αυτού του συμπεράσματος δεν μπορούμε να αποδείξουμε με τα στοιχεία που έχουμε εδώ μια και μας λείπει η τρίτη διάσταση του πάχους. Ωστόσο, θα εφαρμόσουμε μια στατιστική επεξεργασία να δούμε εάν μπορούμε να προβλέψουμε και να διακρίνουμε τους κυβικούς από τους μη-κυβικούς κόκκους.



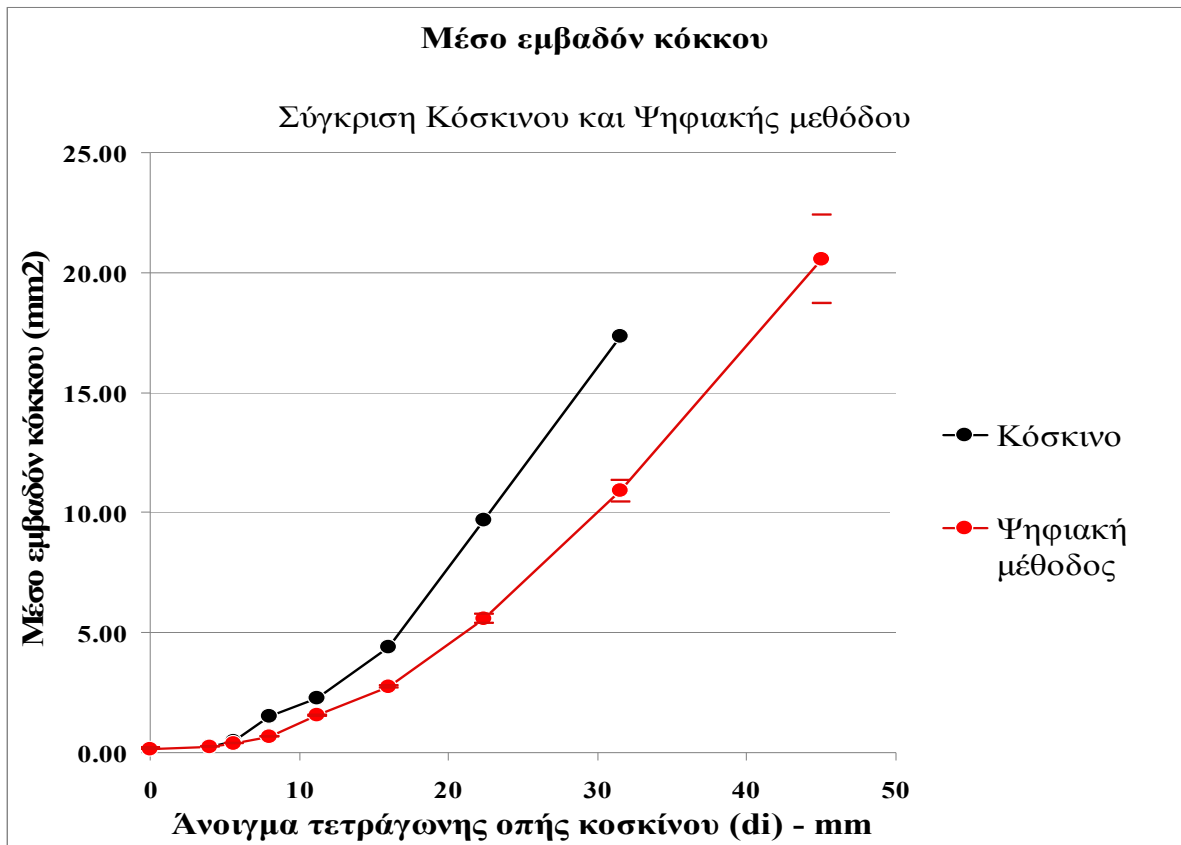
**Διάγραμμα 3.16:** Διάγραμμα σύγκρισης κατανομής μεγεθών όλων των κόκκων σαν ένα κλάσμα, με την εργαστηριακή και ψηφιακή μέθοδο: (α) καμπύλη πλήθους κόκκων, και (β) αθροιστική καμπύλη πλήθους κόκκων



Διάγραμμα 3.17: Διάγραμμα σύγκρισης κατανομής μεγεθών των μη κυβικών κόκκων, με την εργαστηριακή και ψηφιακή μέθοδο: (α) καμπύλη πλήθους κόκκων, και (β) αθροιστική καμπύλη πλήθους κόκκων



**Διάγραμμα 3.18:** Διάγραμμα σύγκρισης κατανομής μεγεθών των κυβικών κόκκων, με την εργαστηριακή και ψηφιακή μέθοδο: (α) καμπύλη πλήθους κόκκων, και (β) αθροιστική καμπύλη πλήθους κόκκων



**Διάγραμμα 3.19:** Σχέση του μέσου εμβαδού των κόκκων που μετρήθηκαν να διαπερνούν τα κόσκινα με το μέσο εμβαδόν των κόκκων που μετρήθηκαν να διαπερνούν από τα εφαρμοζόμενα ψηφιακά φίλτρα. Τα εμβαδά μετρήθηκαν και στα δύο κλάσματα με ψηφιακές μεθόδους.

### 3.4.4 ΔΕΙΚΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΚΟΕΙΔΟΥΣ ΜΕ ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

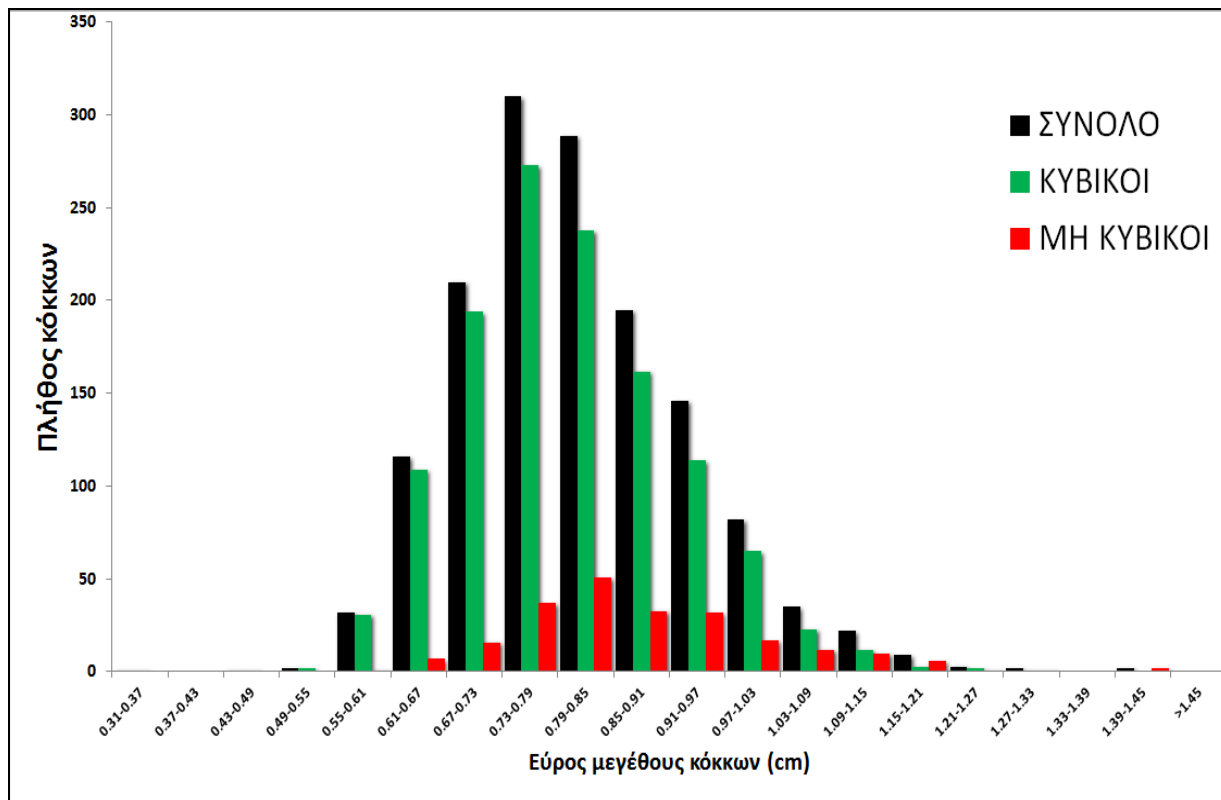
Για τον έλεγχο διαχωρισμού κυβικών και μη-κυβικών κόκκων εφαρμόσαμε διάφορες μεθόδους. Η έλλειψη όμως της τρίτης διάστασης, δηλαδή του πάχους των κόκκων, φαίνεται να είναι σημαντική ώστε να γίνει αυτός ο διαχωρισμός επιτυχώς.

Η παραδοχή του ότι οι κόκκοι μετά την ρίψη τους τοποθετούνται με το μέγιστο πλάτος τους μας επιτρέπει όπως είπαμε και νωρίτερα να θεωρήσουμε ότι το ύψος θα είναι λίγο μικρότερο ή ίσο με το πλάτος του κόκκου στην περίπτωση των κυβικών κόκκων αλλά πολύ μικρότερο στην περίπτωση των πλακοειδών κόκκων.

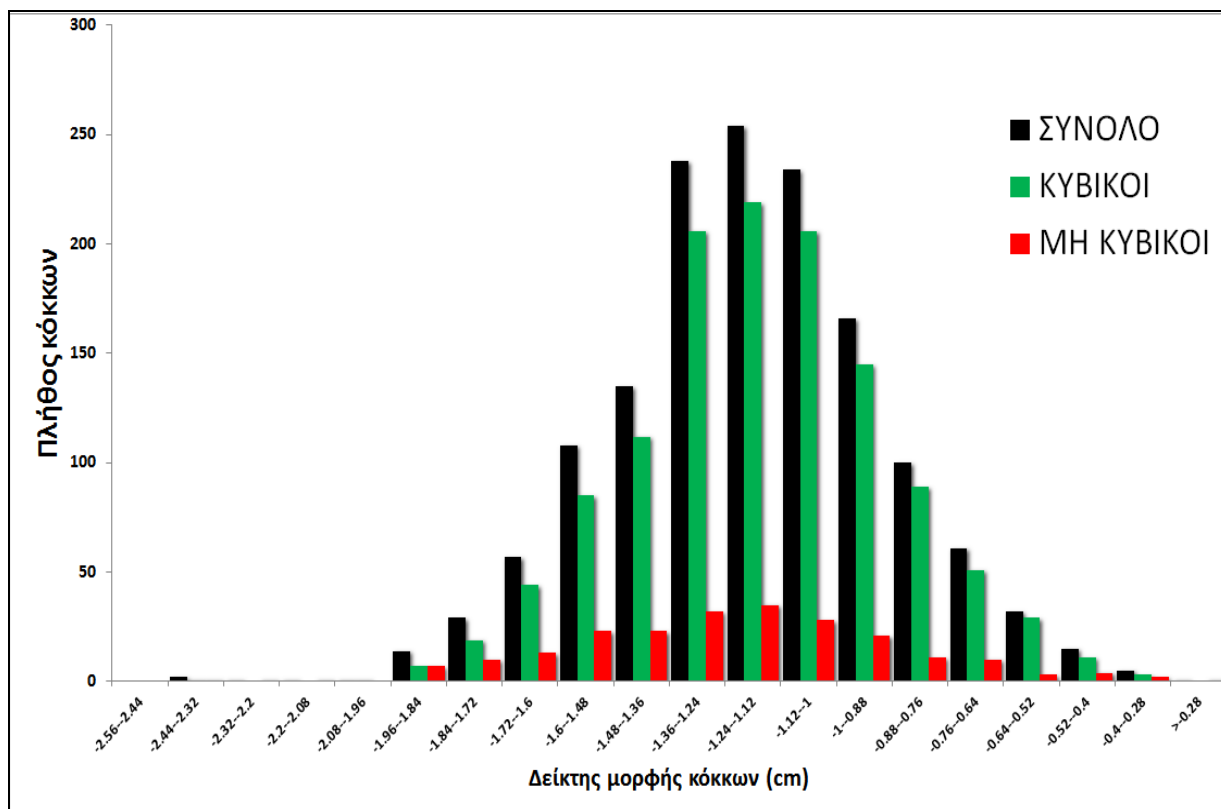
Για τον παραπάνω έλεγχο, επιλέξαμε ένα κλάσμα με μεγάλο πλήθος κόκκων, π.χ. το κλάσμα 8-5.6mm. Από όλο το κλάσμα πήραμε μετρήσεις μεγέθους με την ψηφιακή μέθοδο. Το πλήθος των κόκκων που μετρήθηκαν ήταν 1457 σε αυτό το κλάσμα (Πίνακας 3.11), ενώ η επεξεργασία τους με τα εργαστηριακά κόσκινα έδωσε τις κατανομές του διαγράμματος 3.20, μετρημένα όμως τα μεγέθη των κόκκων με την ψηφιακή μέθοδο.

Στο διάγραμμα παρατηρούμε μια πλήρη επικάλυψη των κατανομών των μεγεθών των κυβικών κόκκων (πράσινες μπάρες) με την κατανομή των μη-κυβικών (κόκκινες μπάρες). Σχηματικά και οι δύο αυτές κατανομές καθώς και η κατανομή μεγεθών του συνόλου των κόκκων δείχνουν μια ασυμμετρία προς μεγαλύτερες τιμές. Η ασυμμετρία αυτή είναι και η αιτία που σε πρώτη φάση δεν μπορούμε να προσομοιώσουμε τις ψηφιακές σχάρες ώστε να προβλέψουμε την αναλογία πλακοειδών και μη κόκκων.

Συμπερασματικά, η τρίτη διάσταση φαίνεται να είναι απαραίτητη στον υπολογισμό του δείκτη πλακοειδούς ή του δείκτη μορφής. Αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές όταν οι κατανομές του δείκτη μορφής του κάθε κόκκου παρουσιάζονται σαν ιστόγραμμα (3.21). Στην περίπτωση αυτή οι κατανομές είναι πανομοιότυπες και στην μέση τιμή αλλά και στην διακύμανσή τους. Τα Student's t-tests έδειξαν επίσης ότι οι πληθυσμοί των κυβικών και των μη-κυβικών κόκκων είναι πανομοιότυποι με το σύνολό τους.



**Διάγραμμα 3.20:** Ιστόγραμμα κατανομής πλάτους κόκκων. Οι μαύρες μπάρες δείχνουν το σύνολο των κόκκων, οι πράσινες την κατανομή αυτών που με τον εργαστηριακό τρόπο διαχωρίστηκαν σαν κυβικοί κόκκοι και με κόκκινο αυτοί που διαχωρίστηκαν σαν μη-κυβικοί.



**Διάγραμμα 3.21:** Ιστόγραμμα κατανομής δείκτη μορφής κόκκων. Οι μαύρες μπάρες δείχνουν το σύνολο των κόκκων, οι πράσινες την κατανομή αυτών που με τον εργαστηριακό τρόπο διαχωρίστηκαν σαν κυβικοί κόκκοι και με κόκκινο αυτοί που διαχωρίστηκαν σαν μη-κυβικοί.

Τέλος, ελέγξαμε πιθανούς τρόπους ώστε από την στατιστική κατανομή να προβλέψουμε την αναλογία των κόκκων σε κυβικούς και μη-κυβικούς. Οι πίνακες 3.11 και 3.12 καθώς και τα διαγράμματα 3.20 και 3.21 δείχνουν κατανομές πιθανών κλασμάτων που θα μπορούσαν να αντιστοιχούν στα ζητούμενα δύο κλάσματα.

Ωστόσο, από τα αποτελέσματα φαίνεται καθαρά ότι δεν υπάρχει μια συστηματικότητα στα διαγράμματα αυτά και στα αντίστοιχα κλάσματα, με αποτέλεσμα να εμμένουμε στο προηγούμενο συμπέρασμα ότι απαιτείται και η γνώση της τρίτης διάστασης, δηλαδή του πάχους των κόκκων.

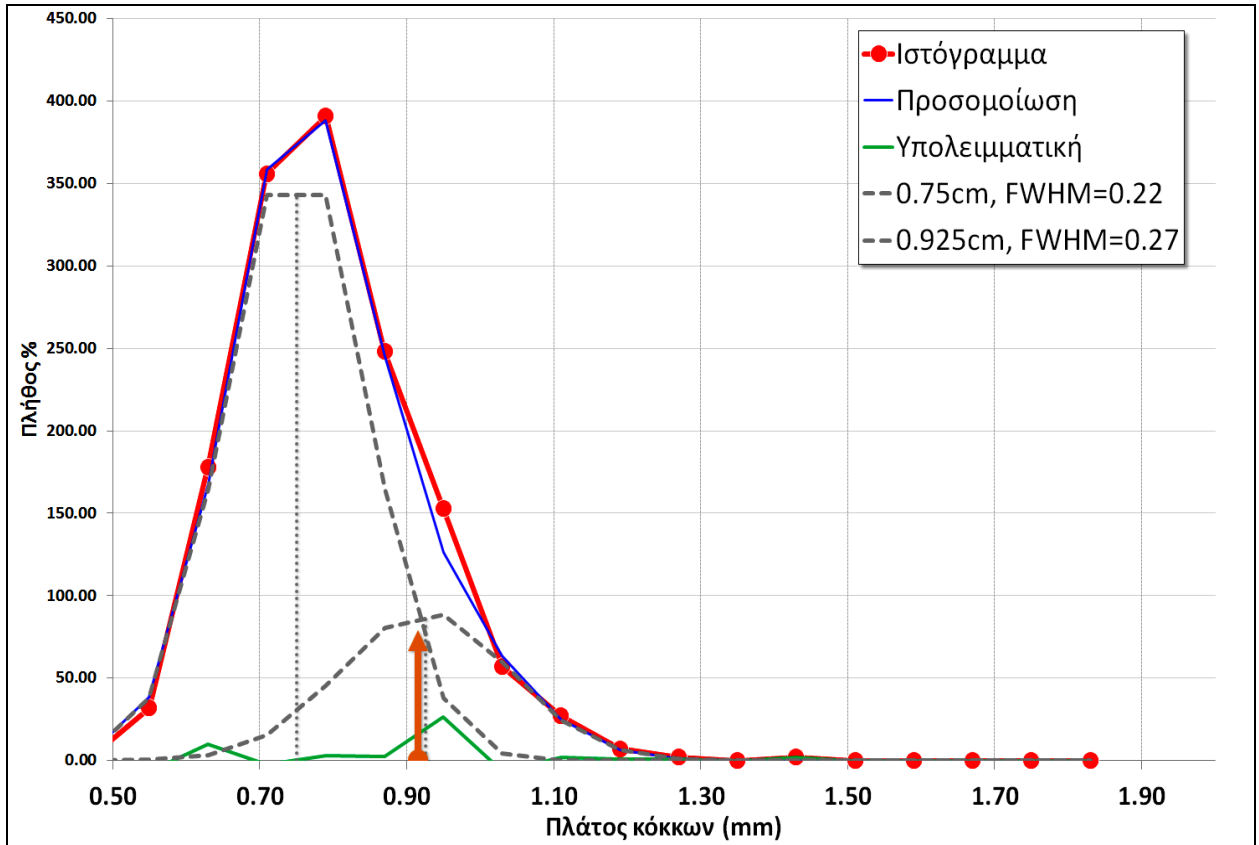
Κλάσμα	Πλήθος κόκκων				Ταύτιση κόκκων			
	Εργαστηριακό Κοσκίνισμα		Ψηφιακό Κοσκίνισμα		Κόκκοι μετά από ταύτιση		Κόκκοι μετά από ανακατανομή	
8 – 5.6mm	Κόκκοι	%	Κόκκοι	%	Κόκκοι	%	Κόκκοι	%
<b>Κυβικοί</b>	1231	84.5	1100	75.5	1125	77.2	1168	80.2
<b>Μη Κυβικοί</b>	226	15.5	325	22.3	49	3.4	289	19.8
<b>Αταξινόμητοι</b>	0	0.0	32	2.2	283	19.4	0	0.0
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>1457</b>		<b>1457</b>		<b>1457</b>		<b>1457</b>	

Πίνακας 3.11: Αποτελέσματα καταμέτρησης εργαστηριακής επιλογής πλακοειδών κόκκων (από δείκτη μορφής) για το κλάσμα 8 – 5.6mm.

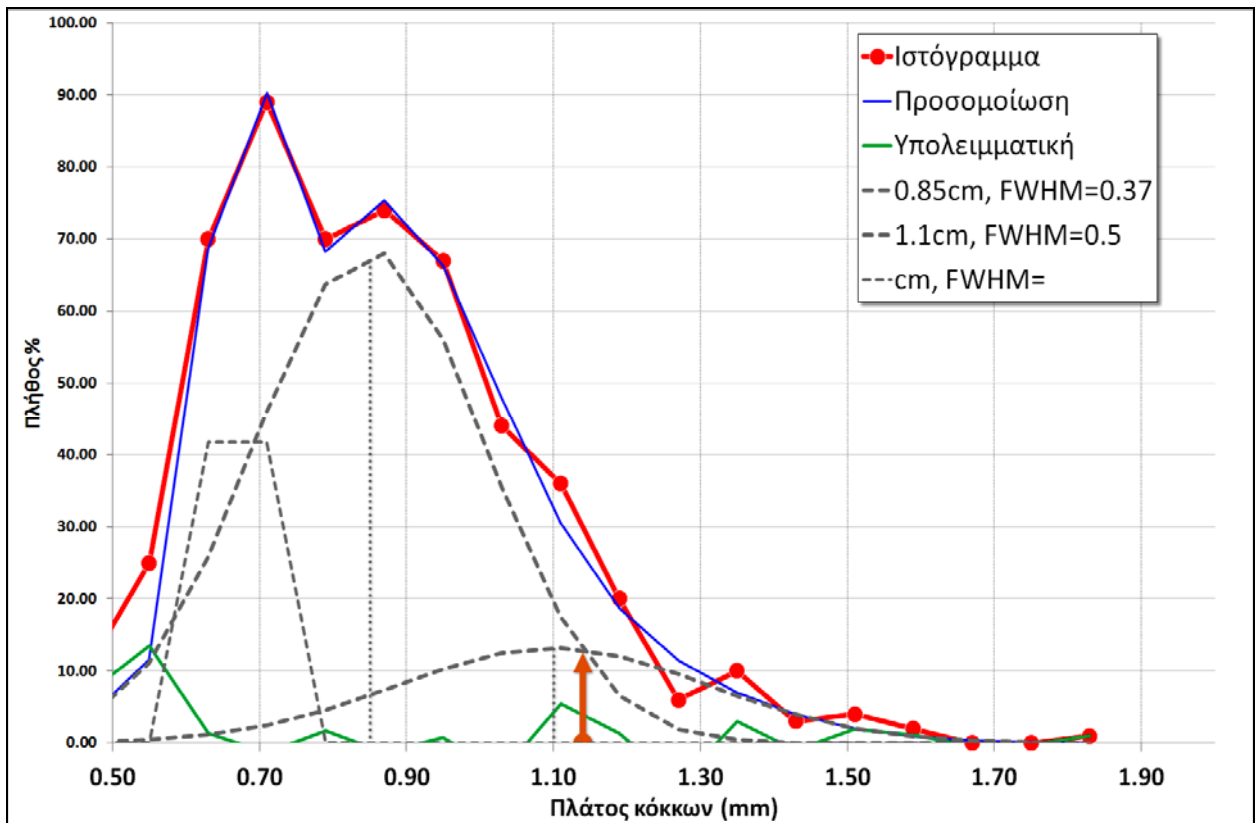
Κλάσμα	Πλήθος κόκκων				Ταύτιση κόκκων			
	Εργαστηριακό Κοσκίνισμα		Ψηφιακό Κοσκίνισμα		Κόκκοι μετά από ταύτιση		Κόκκοι μετά από ανακατανομή	
11.2–8mm	Κόκκοι	%	Κόκκοι	%	Κόκκοι	%	Κόκκοι	%
<b>Κυβικοί</b>	438	82.0	421	78.8	67	12.5	82	15.4
<b>Μη Κυβικοί</b>	96	18.0	87	16.3	88	16.5	452	84.6
<b>Αταξινόμητοι</b>	0	0.0	26	4.9	379	71.0	0	0.0
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>534</b>		<b>534</b>		<b>534</b>		<b>534</b>	

Πίνακας 3.12: Αποτελέσματα καταμέτρησης εργαστηριακής επιλογής μη κυβικών κόκκων (από δείκτη μορφής) για το κλάσμα 11.2 – 8mm.





**Διάγραμμα 3.22:** Κλάσμα 8-5.6mm: σύγκριση ιστογράμματος κατανομής πλάτους κόκκων κοσκίνων (κόκκινη καμπύλη) με την αθροιστική καμπύλη (μπλε) δύο υπολογιστικών καμπυλών κανονικής κατανομής (Gaussian, γκρι διακεκομμένες).



**Διάγραμμα 3.23:** Κλάσμα 11.2-8mm: σύγκριση ιστογράμματος κατανομής πλάτους κόκκων κοσκίνων (κόκκινη καμπύλη) με την αθροιστική καμπύλη (μπλε) δύο υπολογιστικών καμπυλών κανονικής κατανομής (Gaussian, γκρι διακεκομμένες).

### 3.4.5 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΗΜΑΤΟΣ-ΜΟΡΦΗΣ

Στις ψηφιακές μετρήσεις, εκτός από τις τιμές για το μέγιστο και ελάχιστο μήκος περιλαμβάνονται και οι τιμές για τις παραμέτρους που αφορούν το σχήμα και τη μορφή των κόκκων. Για να αποφευχθεί ο μεγάλος αριθμός δεδομένων (κόκκων), ιδιαίτερα στα μικρότερα κλάσματα, υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι των τιμών για κάθε παράμετρο και κλάσμα ξεχωριστά καθώς και οι τυπικές αποκλίσεις τους.

Μέσοι όροι τιμών και τυπικών αποκλίσεων από αποτελέσματα MatLab				
Κλάσματα (mm)	Riley Sphericity (σφαιρικότητα)	Αποκλίσεις Riley	Elongation (Επιμήκυνση)	Αποκλίσεις Elongation
45-31,5	0,77	0,067	0,860	0,108
31,5-22,4	0,77	0,07	0,823	0,128
22,4-16	0,79	0,047	0,854	0,145
16-11,2	0,77	0,064	0,814	0,128
11,2-8	0,77	0,061	0,822	0,119
8-5,6	0,78	0,076	0,815	0,128
5,6-4	0,77	0,075	0,811	0,122

Πίνακας 3.13: Μέσοι όροι τιμών MatLab για Riley Sphericity και Elongation

Μέσοι όροι τιμών και τυπικών αποκλίσεων από αποτελέσματα MatLab				
Κλάσματα (mm)	Compactness (συμπαγές)	Τυπικές Αποκλίσεις Compactness	Circularity (κυκλικότητα)	Τυπικές Αποκλίσεις Circularity
45-31,5	0,218	0,013	1,692	0,217
31,5-22,4	0,225	0,012	1,575	0,191
22,4-16	0,288	0,05	1,422	0,109
16-11,2	0,235	0,009	1,396	0,12
11,2-8	0,234	0,125	1,46	0,161
8-5,6	0,229	0,0175	1,536	0,261
5,6-4	0,236	0,017	1,547	0,291

Πίνακας 3.14: Μέσοι όροι τιμών MatLab για Compactness και Circularity

Με βάση τη σφαιρικότητα κατά Riley, ο μέσος όρος των κόκκων παραπέμπει σε τετραγωνικό σχήμα. Η τυπική απόκλιση δεν ξεπερνά το 0,07.

Με βάση την επιμήκυνση, ο μέσος όρος των κόκκων παραπέμπει σε ορθογώνιο σχήμα και με την απόκλιση στο 0,15 περίπου πολλοί κόκκοι τείνουν να εμφανίσουν τετραγωνικό σχήμα.

Με βάση την κατάληψη χώρου, ο μέσος όρος των κόκκων παραπέμπει σε ορθογώνιο. Ενώ πολλοί κόκκοι παρουσιάζουν σε δισδιάστατη κάτοψη κυκλικές τάσεις.

Με βάση τη στρογγυλότητα, ο μέσος όρος των κόκκων παραπέμπει σε ορθογώνιο σχήμα.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

## 4.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια ώστε με ψηφιακές μεθόδους ανάλυσης εικόνας να προσδιορίσουμε ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά μεγέθους και σχήματος αδρανών υλικών. Η επεξεργασία έγινε σε εικόνες που προέκυψαν από την φωτογράφιση χαλικιών σε κάτοψη. Παράλληλα έγιναν και εργαστηριακές μετρήσεις των κόκκων με συμβατικές μεθόδους, δηλαδή με κόσκινα, με σχάρες και με μικρόμετρα για τον προσδιορισμό κλασμάτων διαφορετικών μεγεθών, καθώς επίσης και του σχήματος αυτών. Έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων.

Ο στόχος της εργασίας ήταν να βρούμε κατάλληλες μεθοδολογίες για να αντικαταστήσουμε πλήρως ή μέρος των συμβατικών μεθόδων με ψηφιακές, αυτοματοποιώντας έτσι τον χαρακτηρισμό των αδρανών υλικών κατά μέγεθος και σχήμα. Τα συμπεράσματα της παρούσας έρευνας συνοψίζονται ως εξής:

1. Μετρήσεις με εργαστηριακά κόσκινα δίνουν κατανομές μεγέθους που είναι μερικώς κανονικές (Gaussian), αλλά επίσης παρουσιάζουν ένα δεύτερο πληθυσμό κόκκων στα μικρότερου μεγέθους κλάσματα.
2. Μετρήσεις από την χρήση σχαρών δίνουν πολύ ακανόνιστα αποτελέσματα για τα διαφορετικά κλάσματα.
3. Από τον συνδυασμό μετρήσεων με κόσκινα και σχάρες, προκύπτει ότι ο δείκτης πλακοειδούς είναι σχεδόν όμοιος για όλα τα κλάσματα εκτός από δύο περιπτώσεις, των κλασμάτων 22-16mm και 5-4mm. Δεν είναι γνωστό γιατί να υπάρχει αυτή η διαφοροποίηση.
4. Οι ψηφιακές μετρήσεις δίνουν από την κάτοψη των κόκκων μεγέθη όπως το μήκος, το πλάτος, την περιφέρεια, το εμβαδόν αλλά και άλλες σχηματικές παραμέτρους όπως την σφαιρικότητα, την κυκλικότητα, την επιμήκυνση, και το συμπαγές του σχήματος των κόκκων. Αυτές τις παραμέτρους μπορούμε να τις πάρουμε με μεγάλη ακρίβεια και για μεγάλα πλήθη κόκκων.
5. Γίνεται η υπόθεση ότι με την ρίψη των κόκκων, αυτοί θα πέσουν και θα κατακαθίσουν με το μέγιστο εμβαδόν τους οριζόντια, άρα με την ψηφιακή μέτρηση μπορούμε να προσδιορίσουμε τις δύο μέγιστες distάνσεις των κόκκων, ενώ ή τρίτη

διάσταση, αυτή του πάχους, θα είναι είτε ίση ή περίπου ίση με την ελάχιστη των δύο πρώτων σε κυβικούς κόκκους, ή πολύ μικρότερη σε πλακοειδείς κόκκους. Έγινε στατιστικός έλεγχος (ANOVA) με δέκα τυχαίες ρίψεις των διαφορετικών κλασμάτων μεγέθους των κόκκων, οι οποίες δείχνουν ότι πράγματι πρέπει να ισχύει η υπόθεσή μας μια και η κάθε ρίψη έφερε το ίδιο στατιστικό αποτέλεσμα. Άρα, οι ψηφιακές μέθοδοι είναι αξιόπιστες για την μέτρηση παραμέτρων σχήματος αδρανών υλικών.

6. Επειδή η τυχαία ρίψη κόκκων, ιδιαίτερα σε μια αυτοματοποιημένη μέθοδο, μπορεί να καταλήγει σε αλληλεπικαλύψεις κόκκων συγκρίναμε στατιστικά τυχαίες ρίψεις και προσανατολισμένες από τον χρήστη τοποθετήσεις σε δύο διαφορετικά κλάσματα μεγέθους κόκκων. Η στατιστική δείχνει ότι οι μετρήσεις είναι συγκρίσιμες αρκετά ώστε να θεωρηθεί ότι αποτελούν τον ίδιο πληθυσμό, άρα καθιστούν την ψηφιακή μέθοδο ικανή για την μελέτη αυτή. Αυτό είναι ιδιαίτερα δυνατό για κόκκους σχετικά μεγάλους σε μέγεθος, ενώ στα μικρότερα μεγέθη η σχέση χαλάει και απαιτεί μεγαλύτερη προσοχή στις μετρήσεις, ίσως με φωτογραφίες μεγαλύτερης μεγέθυνσης.
7. Έγινε επίσης και έλεγχος των ήδη χαρακτηρισμένων με τις εργαστηριακές μεθόδους κυβικών και μη-κυβικών κόκκων. Οι μη-κυβικοί κόκκοι και τα μικρού μεγέθους κλάσματα των κυβικών κόκκων δεν δίνουν συγκρίσιμα αποτελέσματα. Οι μεγαλύτεροι κυβικοί δίνουν καλά αποτελέσματα. Και εδώ φαίνεται πάλι η ανάγκη για μεγαλύτερες μεγεθύνσεις κατά την φωτογράφιση των μικρών κόκκων.
8. Η σύγκριση των εργαστηριακών και ψηφιακών κοσκίνων (φίλτρα μεγέθους) δίνει ότι οι ψηφιακές μέθοδοι φαίνεται να έχουν καλύτερη διακριτική ικανότητα, εκφράζοντας το γενικότερο σχήμα του κόκκου. Ωστόσο, η γνώση της τρίτης διάστασης των κόκκων θα βοηθούσε να ενισχύσουμε το παραπάνω συμπέρασμα.
9. Η τρίτη διάσταση των κόκκων λείπει μια και οι φωτογραφίες δίνουν μια κάτοψη των κόκκων. Ελέγξαμε διάφορες μεθόδους διάκρισης των κόκκων από το μέγεθος του πλάτους τους ώστε να δούμε εάν μπορούμε να προβλέψουμε το πόσο κυβικοί ή μη-κυβικοί είναι οι κόκκοι. Με αναφορά στα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων βλέπουμε ότι είναι αδύνατο να ταξινομήσουμε τους κόκκους σε κυβικούς και μη-κυβικούς. Η προσπάθεια διαχωρισμού των τουλάχιστον δύο πληθυσμών που προέκυπταν από την ανάλυση αυτή κατέληγε σε διαφορετικά αποτελέσματα για τα διαφορετικά κλάσματα μεγεθών, καθιστώντας την μέθοδο αναξιόπιστη. Η τρίτη διάσταση είναι απαραίτητη για τον σκοπό αυτό.

Συνεπώς και σύμφωνα με τα προηγούμενα, εάν σε μεταγενέστερο στάδιο υιοθετηθεί η μέθοδος στη βιομηχανία, είναι σίγουρο ότι τα ποσοστά των λανθασμένα διερχόμενων

κόκκων θα ελαχιστοποιούνταν και τα αδρανή που θα επιλέγονταν για το σκυρόδεμα θα είχαν ακριβή κοκκομετρία με «ασφαλή» όρια εύρους κοκκομετρικού κλάσματος. Αυτό δικαιολογείται απόλυτα αν αναλογιστεί κανείς ότι, σε αντίθεση με τα κόσκινα, τα οποία αρκούνται στο αν θα χωρέσει ο κόκκος στο άνοιγμα, κατά τη διάρκεια της ανάγνωσης από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, το μήκος και το πλάτος του κάθε κόκκου μετρώνται ακριβώς και με σαφώς μεγαλύτερη ταχύτητα, με απόκλιση μόλις 0,1mm.

Ακόμη, δεδομένου ότι στην αγορά υπάρχουν ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές με διπλάσια και πλέον ανάλυση από αυτή που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της διπλωματικής, η απόκλιση στις διαστάσεις που υπολογίζονται μπορεί να αγγίζει την τιμή των 0,05mm ή και μικρότερη.

Επομένως, όσο μεγαλώνει η ανάλυση, ανάλογα αυξάνει και η αξιοπιστία της μεθόδου. Πέρα από το μήκος και το πλάτος, η αυτοματοποιημένη μέθοδος υπερτερεί καθώς παράγει πληροφορίες για όλα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των κόκκων, είτε αυτό είναι η προβαλλόμενη περίμετρος, είτε είναι το προβαλλόμενο κάθε φορά εμβαδόν. Επίσης, πάντα στη δισδιάστατη κάτοψη προσφέρεται η δυνατότητα μέτρησης γεωμετρικών παραμέτρων μορφής και σχήματος που δεν δύναται να γνωρίζουμε κάνοντας ένα απλό κοσκίνισμα.

Προκειμένου όμως να εφαρμοσθεί πλήρως με επιτυχία στη βιομηχανία στο κοντινό μέλλον, κρίνεται απαραίτητη η κατάλληλη οργανολογία, και φυσικά κρίνεται επιτακτική η ανάγκη προσέγγισης ή ακόμα και υπολογισμού της τρίτης διάστασης.

Πιθανή λύση θα ήταν η κατασκευή μιας συσκευής η οποία θα περιλάμβανε δύο κάμερες υψηλών επιδόσεων, συνδεδεμένες με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή (σε κατάλληλη γωνία μεταξύ τους, ώστε να προσεγγίζεται το πάχος), μια κυλιόμενη επιφάνεια ρίψης των χαλικιών, αν είναι εφικτό δονούμενη εγκάρσια (για να απομακρύνονται οι κόκκοι και ταυτόχρονα να επικάθονται από τη δόνηση με τη μεγαλύτερη σε εμβαδόν επιφάνεια) και ένα ρομποτικό απορροφητήρα ή φυσητήρα, ο οποίος θα απορρίπτει και θα επιλέγει αυτά που θα του υποδεικνύει ο υπολογιστής.

Αν δημιουργηθεί κάτι ανάλογο στο μέλλον, η βιομηχανίες αδρανών θα κερδίζουν σίγουρα σε χρόνο, αλλά γιατί όχι και σε χρήμα μιας και η συντήρηση ενός τέτοιου μηχανήματος πιθανότατα θα ήταν λιγότερο συχνή από αυτή των κοσκίνων .

Τέλος, το πιο σημαντικό είναι η θετική σίγουρα επίδραση που θα είχε η εφαρμογή μιας τέτοιας μεθόδου ψηφιακής ανάλυσης στην κατασκευαστική βιομηχανία, μιας και η ακριβέστερη κοκκομετρική ανάλυση οδηγεί σε αδρανή με αποτελεσματικότερη πλήρωση των κενών που σημαίνει καλύτερο σκυρόδεμα με εμφανώς βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:**

### **ΕΛΛΗΝΙΚΗ:**

- Αντωνόπουλος Ανάργυρος, Αθήνα 2011, Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π , «Αδρανή υλικά»
- Κοσμάς Κ .Σιδέρης, Ξάνθη, 2010, «Ανθεκτικότητα κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος» –[ΣΕΛΚΑ-4Μ\_ Ε.Π.Ε]
- ΝΙΚΟΣ ΛΙΤΙΝΑΣ , Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, Υπεύθυνος Διαχείρισης Ποιότητας Τομέα Ελλάδος ΤΙΤΑΝ Α.Ε , «Αδρανή υλικά στο σκυρόδεμα», Επιστημονικό περιοδικό ‘ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ & ΧΑΛΥΒΑΣ’
- ΚΟΚΚΙΝΗ ΜΑΡΙΑ, Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, Αθήνα 2011, «Αξιοποίηση του βιομηχανικού παραπροϊόντος (CBPD) στην παραγωγική διαδικασία δομικών στοιχείων – σύνθεση, μηχανικές ιδιότητες και ανθεκτικότητα»
- Ε.Τσιάβου, Μ.Μ.Μ ,Δ. Χρυσοβελίδου, Μ.Μ.Μ. , Α. Φωτόπουλος, Χ.Μ., Ε. Μπίλλα, Χ.Μ., Χ. Δερζέκο, Χ.Μ. 2000, «Οδηγός δομικών υλικών» [portal.tee.gr]

### **ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ:**

- H. IBBEKEN P. DENZER, Berlin, 1988, Journal of sedimentary petrology vol. 58, No. 4
- E. Profitis & E. Chatzitheodoridis & D. Xirouchakis, Athens 2011, «Digital Methods for flakiness and shape definition»

### **ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ:**

- <http://www.pavetest.gr/el/proionta/adranh-ylika.html>
- <http://mathworld.wolfram.com/CirclePacking.html>

- [http://www.skyrodemanet.gr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=47:2010-02-02-16-12-51](http://www.skyrodemanet.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=47:2010-02-02-16-12-51)
- [http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL\\_GUIDES/P\\_AGGREGATES](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_AGGREGATES)
- [http://el.wikipedia.org/Αδρανή\\_υλικά](http://el.wikipedia.org/Αδρανή_υλικά)