



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΩΝ

# Πειραματικές Διαδικασίες Ελέγχου και Μέθοδοι Αξιολόγησης Καταλληλότητας Αδρανών Υλικών

Διπλωματική Εργασία

Επιβλέπων Καθηγητής: Τσακαλάκης Κωνσταντίνος

Κοτρόζος Δημήτριος

Αθήνα, Μάρτιος 2015

*στο μικρό μου αδερφό*

## Πρόλογος

Με την παρούσα διπλωματική εργασία, η οποία εκπονήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος Τεχνολογία Παραγωγής Τσιμέντου και Σκυροδέματος της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π. και συγκεκριμένα στο εργαστήριο Εμπλουτισμού της σχολής, ολοκληρώνω τις σπουδές μου.

Αρχικά αποδίδω τις θερμές ευχαριστίες μου στο καθηγητή, Κύριο Κωνσταντίνο Τσακαλάκη, για την ανάθεση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, τη δυνατότητα ενασχόλησης μου με το συγκεκριμένου αντικείμενου, τη συνεχή και πολύτιμη καθοδήγηση και επίβλεψη που μου προσέφερε σε όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υπεύθυνο του εργαστηρίου εμπλουτισμού, Κύριο Σαμμά Ηλία, για τη συνεχή επίβλεψη κ βοήθεια κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών δοκίμων.

Τέλος θερμές ευχαριστίες στην οικογένειά μου και όλους τους κοντινούς μου ανθρώπους για τη στήριξη τους.

## Περίληψη

Τα αδρανή υλικά βρίσκουν μεγάλο εύρος χρήσης στον κατασκευαστικό κλάδο, ε αυτό αφορά την παρασκευή του σκυροδέματος μέχρι την δημιουργία έρματος σιδηροδρομικών γραμμών, βάσεων και υποβάσεων οδοστρωσίας και άλλων. Γι' αυτό το λόγο, κρίνεται σκόπιμη η μελέτη των μηχανικών ιδιοτήτων τους αλλά και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών τους. Κάτι τέτοιο υλοποιείται από την παρούσα εργασία μέσα από πειραματικές διαδικασίες ελέγχου και μεθόδους αξιολόγησης καταλληλότητας Αδρανών υλικών.

Η παρούσα εργασία χωρίζεται σε τρία μέρη.

Στο πρώτο μέρος της, αναφέρονται κάποια γενικά στοιχεία για τα αδρανή υλικά, την κατάταξή τους ανάλογα με την προέλευσή τους και τις χρήσεις τους. Ακολουθούν εξειδικεύσεις στη χρήση τους για τις περιπτώσεις του σκυροδέματος, της κατασκευής έρματος σιδηροδρομικών γραμμών καθώς και βάσεων και υποβάσεων. Ειδικά για το σκυρόδεμα, δίνεται έμφαση στον ασβεστόλιθο που είναι και το υλικό που χρησιμοποιήθηκε στις εργαστηριακές δοκιμές της εργασίας.

Στο δεύτερο μέρος της, παρουσιάζονται οι τέσσερις δοκιμές (Los Angeles, Micro-Deval, Protodyakonov και δοκιμή Πλακώδων και Επιμήκων τεμαχίων) που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Μηχανικής Προπαρασκευής και Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου. Γίνεται αναλυτική περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας που χρησιμοποιήθηκε για κάθε δοκιμή, επεξεργάζονται τα αποτελέσματα και δίνονται τα συμπεράσματα για κάθε πείραμα ξεχωριστά.

Στο τρίτο μέρος της, δίνονται τα ολικά συμπεράσματα των δοκιμών καθώς και η καταλληλότητα του υλικού, σύμφωνα με τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν, για την χρήση του σε σκυρόδεμα, έρμα σιδηροδρομικά αλλά και σε βάσεις και υποβάσεις δρόμων.

Λέξεις κλειδιά: αδρανή υλικά, σκυρόδεμα, έρμα, βάσεις, υποβάσεις, Los Angeles, Micro-Deval, Protodyakonov, δοκιμή Πλακώδων και Επιμήκων τεμαχίων

## **Abstract**

Aggregates are widely used in the construction sector, from the formulation of concrete to the creation of railway ballast, bases and subbases of roads etc. For this reason, the study of their mechanical properties and their geometrical characteristics is a field of great scientific interest. Such an analysis is implemented in the following thesis through experimental control and methods of evaluating the suitability of aggregates.

The present thesis is divided in three main parts.

Firstly, a literature review about aggregates is presented, their classification according to their origin and their use. More specification is given for their use in concrete making and creation of both railway ballast and bases and subbases of roads. As far as concrete is concerned, emphasis is given in limestone which is the material used in the experimental process.

Secondly, the four different procedures are presented (Los Angeles, Micro-Deval, Protodyakonov and the Flat and Elongated Particle Test) which were carried out at the Laboratory of Mineral Processing of the National Technical University of Athens. An in-depth description of the experimental process used for every test is also included along with elaboration on the results.

Thirdly, the main conclusion of the tests is drawn out which includes the suitability of the material for its use in concrete, railway ballast and bases and subbases of roads.

Keywords: Aggregates, Concrete, Railway Ballast, Bases, Subbases, Los Angeles, Micro-Deval, Protodyakonov, Flat and Elongated Particle Test)

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΑΔΡΑΝΩΝ.....	2
1.2 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ.....	3
1.3 ΕΙΔΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ-ΧΡΗΣΕΙΣ.....	3
1.4 ΕΙΔΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ-ΧΡΗΣΕΙΣ.....	5
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ</b> .....	<b>8</b>
2.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	9
2.2 ΑΝΑΜΕΙΞΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	15
2.3 ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	19
2.4 ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΑΔΡΑΝΩΝ.....	22
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ</b> .....	<b>28</b>
3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ.....	29
3.2 ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΣΤΟ ΕΡΜΑ.....	29
3.3 ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΗΣ.....	30
3.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ.....	32
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΡΩΣΕΩΝ ΒΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΒΑΣΕΩΝ</b> .....	<b>41</b>
4.1 ΟΡΙΣΜΟΣ.....	42
4.2 ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΣΤΙΣ ΒΑΣΕΙΣ / ΥΠΟΒΑΣΕΙΣ.....	43
4.3 ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΗΣ.....	44
4.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ.....	48
<b>ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b>	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> ΔΟΚΙΜΗ LOS ANGELES</b> .....	<b>70</b>
1.1 ΣΚΟΠΟΣ.....	72
1.2 ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.....	72
1.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΗΧΑΝΗΣ LOS ANGELES.....	73
1.4 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ.....	76
1.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ.....	77
1.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.....	78
1.7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	79
1.8 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ.....	79
1.9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	81
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> ΔΟΚΙΜΗ MICRO-DEVAL</b> .....	<b>82</b>
2.1 ΣΚΟΠΟΣ.....	84
2.2 ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.....	84
2.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΗΧΑΝΗΣ MICRO-DEVAL.....	84
2.4 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ.....	86
2.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ.....	88
2.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.....	90
2.7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	90
2.8 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ.....	91
2.9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	93

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> ΔΟΚΙΜΗ ΠΡΟΤΟΔΥΑΚΟΝΟΝ</b>	<b>95</b>
3.1 ΣΚΟΠΟΣ.....	97
3.2 ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.....	97
3.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΗΧΑΝΗΣ ΠΡΟΤΟΔΥΑΚΟΝΟΝ.....	98
3.4 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ.....	98
3.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ.....	99
3.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.....	101
3.7 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ.....	102
3.8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	115
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> ΔΟΚΙΜΗ ΕΠΙΜΗΚΩΝ ΚΑΙ ΠΛΑΚΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ</b>	<b>117</b>
4.1 ΣΚΟΠΟΣ.....	119
4.2 ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.....	119
4.3 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΔΟΚΙΜΩΝ.....	120
4.4 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ.....	122
4.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ.....	122
4.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.....	123
4.7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	123
4.8 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΤΩΣ ΔΟΚΙΜΩΝ.....	124
4.9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	126
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΕΠΙΛΟΓΟΣ</b>	<b>127</b>
ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	128
ΟΛΙΣΤΙΚΗ ΕΞΑΓΩΓΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ.....	129
ΕΠΙΛΟΓΟΣ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	129
Βιβλιογραφία.....	130

**Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> – ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ**



## 1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΑΔΡΑΝΩΝ

Αδρανή υλικά ονομάζονται τα λίθινα υλικά που δεν επιφέρουν χημικές μεταβολές στις σύνθετες τεχνητές ύλες των οποίων αποτελούν συστατικά. 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. Εκτός από την χρήση τους στην παρασκευή σκυροδέματος, τα αδρανή χρησιμοποιούνται στα επιχρίσματα, στην οδοποιΐα, στους σιδηροδρόμους και σε πολλές βιομηχανίες σαν πρώτη ύλη (τσιμέντο, ασβέστης) ή σαν προσθετικά (χαρτοποιΐα, ελαστικά). Στον Ελλαδικό χώρο τα αποθέματα των πετρωμάτων που είναι κατάλληλα για την παραγωγή αδρανών υλικών είναι απεριόριστα και ο αριθμός των λειτουργούντων λατομείων υπερβαίνει τα 230.

Τα λίθινα αυτά προϊόντα χαρακτηρίζονται ως βοηθητικά, γιατί δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνα τους για την κατασκευή ενός έργου, εκτός από σπάνιες εξαιρέσεις, όπως π.χ είναι το έρμα των σιδηροδρομικών σταθμών. Πρέπει να αναμιχθούν με ένα πολύ συγκολλητικής ύλης, όπως είναι ο ασβέστης, το τσιμέντο, η άσφαλτος κ.ά. Κατά την πήξη και τη σκλήρυνση των μιγμάτων αυτών, τα λίθινα προϊόντα δεν συμμετέχουν ενεργώς και γι' αυτό καλούνται συνήθως αδρανή υλικά. Αυτή η αντίληψη βέβαια σήμερα δεν ευσταθεί απόλυτα, γιατί η εξωτερική τουλάχιστον επιφάνεια των κόκκων, συμμετέχει στις ανωτέρω χημικές αντιδράσεις. Στα σκυροδέματα όπου η συμμετοχή των αδρανών καταλαμβάνει το 75-80% της μάζας τους, ο ρόλος τους στην δημιουργία ενός ανθεκτικού και συνεκτικού ιστού που θα παραλάβει τα φορτία της κατασκευής αλλά και θα αντέξει στις φυσικοχημικές επιδράσεις του περιβάλλοντος είναι καθοριστικός. Η συμβατική αντοχή του μητρικού πετρώματος των αδρανών πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 650 kgf/cm<sup>2</sup>. Αδρανή με συμβατική αντοχή μητρικού πετρώματος μεταξύ 150-650 kgf/cm<sup>2</sup> μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σκυρόδεμα σχετικά χαμηλών ποιοτήτων με την προϋπόθεση ότι θα συνταχθεί ειδική μελέτη σύνθεσης. Η πιο πάνω αντοχή του μητρικού πετρώματος ελέγχεται με 6 αντιπροσωπευτικά κυβικά δοκίμια 7\*7\*7 cm ή κυλινδρικά με διάμετρο Φ7.5 cm και ύψος 15 cm<sup>2</sup>. Γενικά, τα μητρικά πετρώματα πρέπει να είναι υγιή και

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

συμπαγή (όχι αποσαθρωμένα) και απαλλαγμένα από γαιώδεις προσμίξεις. Οι ασβεστόλιθοι πρέπει να μην περιέχουν άργιλο, το δε πορώδες των πετρωμάτων να είναι μικρό, εφ' όσον τα δομικά έργα είναι εκτεθειμένα στις καιρικές συνθήκες και στον παγετό. Στην συνέχεια θα αναφέρουμε τις κυριότερες ιδιότητες των πετρωμάτων που χρησιμοποιούνται για αδρανή υλικά και τους ελέγχους που κάνουμε.

### 1.2 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ

Τα αδρανή υλικά κατατάσσονται, ανάλογα με την προέλευσή τους, σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

**α)** Σ' αυτά που προέρχονται από φυσικό τεμαχισμό και λέγονται φυσικά αδρανή.

**β)** Σ' αυτά που προέρχονται από τεχνητό τεμαχισμό των λίθων και λέγονται τεχνητά αδρανή.

Τα φυσικά αδρανή προέρχονται λοιπόν από φυσικό τεμαχισμό των στερεών πετρωμάτων. Λαμβάνονται απ' ευθείας από το περιβάλλον και ειδικά από ορισμένους τόπους, όπου έχουν συγκεντρωθεί με την ενέργεια φυσικών δυνάμεων (νερού και ανέμου). Τέτοια μέρη είναι οι όχθες των ποταμών ή λιμνών, οι ακτές των θαλασσών και οι περιοχές παλαιότερων αποθέσεων (ορυχεία). Το σχήμα του κόκκου είναι γενικά στρογγυλεμένο, σε αντίθεση προς τα τεχνητά αδρανή, τα οποία είναι ακανόνιστου σχήματος και γωνιώδη. Τα τεχνητά αδρανή παράγονται σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν αποθέσεις φυσικών αδρανών. Έχουν μεγαλύτερη ποικιλία ως προς το μέγεθος των κόκκων, από εκείνα που προέρχονται από φυσικό τεμαχισμό. Επίσης είναι περισσότερο ομοιογενή, επειδή προέρχονται από το ίδιο πέτρωμα, και οι ακμές τους είναι γωνιώδεις, ενώ οι επιφάνειές τους τραχιές γιατί δεν έχουν υποστεί κυλινδρισμό.

### 1.3 ΕΙΔΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ-ΧΡΗΣΕΙΣ

#### **α) Χαλίκια**

Τα φυσικά χαλίκια έχουν στρογγυλεμένες άκρες και λεία επιφάνεια, αντίθετα με τα τεχνητά χαλίκια τα οποία έχουν γωνιώδεις ακμές και αδρή επιφάνεια. Προέρχονται

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

από κάθε φύσεως πετρώματα και χρησιμοποιούνται κυρίως στην κατασκευή της υποδομής των δρόμων. Τα πλατιά χαλίκια είναι ακατάλληλα για σκυροδέματα, λόγω της μικρής συνάφειας που παρουσιάζουν.

### **Β)Άμμος**

Η φυσική άμμος αποτελείται από κόκκους γωνιώδεις και στρογγυλούς.(Εικόνα 1). Ανάλογα με τη σύστασή της διακρίνεται σε χαλαζιακή, όταν περιέχει σε μεγάλες ποσότητες χαλαζία, ασβεστολιθική, όταν περιέχει σε μεγάλες ποσότητες ασβεστόλιθο, αργιλική κ.ο.κ.

- Η χαλαζιακή άμμος, που προέρχεται από παραλίες, είναι η πιο κατάλληλη για την κατασκευή δομικών υλικών, κυρίως λόγω της ανθεκτικότητάς της απέναντι στα διάφορα καιρικά φαινόμενα και της καθαρότητάς της από ξένες προσμίξεις (εκτός από αλάτι).
- Η ποταμίσις άμμος, όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή σκυροδέματος, πρέπει να πλένεται για να αποβάλει ένα ποσοστό των οργανικών της προσμίξεων, που περιέχονται σε μεγάλη ποσότητα.
- Η ορυκτή άμμος περιέχει επίσης ξένες προσμίξεις. Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν σοβαρά κοιτάσματα ορυκτής άμμου, όπως επίσης δεν υπάρχει και άμμος ερήμου.

### **γ)Αμμοχάλικο**

Το αμμοχάλικο είναι ένα μίγμα άμμου-χαλικιών. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή σκυροδεμάτων, αλλά και στην οδοστρωσία(μετά από εργαστηριακή έρευνα).Στην Ελλάδα υπάρχουν σε αφθονία διαφόρων ειδών αμμοχάλικα κοντά στη θάλασσα και στους χειμάρρους. Μεγάλη χρήση γίνεται στην υποδομή των δρόμων.

### **δ) Χώμα**

Το χώμα είναι το ανώτερο στρώμα του εδάφους. Στην επιφανειακή του στρώση περιέχονται μεγάλες ποσότητες οργανικών ουσιών, που προέρχονται κυρίως από τα φυτά. Γι' αυτό το λόγο είναι ακατάλληλο για την παρασκευή δομικών υλικών. Χρησιμοποιείται κυρίως στην κατασκευή τούβλων ή κεραμιδιών.

#### 1.4 ΕΙΔΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ-ΧΡΗΣΕΙΣ

Ο τεμαχισμός των λίθων, για την απόκτηση των τεχνητών αδρανών, γίνεται με δύο τρόπους:

1) με τα χέρια και

2) με μηχανικά μέσα

- Ο τεμαχισμός με τα χέρια εφαρμόζονταν παλιότερα σε μεγάλη έκταση για τα σκύρα οδοστρωσίας και για το έρμα των σιδηροδρομικών γραμμών. Σήμερα αυτός ο τρόπος δεν χρησιμοποιείται διότι και η απόδοση είναι πολύ μικρή και το κόστος εξαιρετικά υψηλό.

- Ο τεμαχισμός με μηχανικά μέσα γίνεται στα λατομεία.

Τα κυριότερα είδη λοιπόν των τεχνητών αδρανών είναι:

##### α) Σκύρα(χαλίκια)

Όπως και στα φυσικά χαλίκια, το μέγεθος της μεγαλύτερης διαστάσεώς τους πρέπει να κυμαίνεται από 7-70 mm. Προέρχονται κυρίως από ασβεστολιθικά πετρώματα και σπάνια από πετρώματα άλλου είδους. Ανάλογα με το έργο στο οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθούν, επιλέγονται σκύρα με ορισμένες ιδιότητες. Ιακρίνουμε λοιπόν τις εξής κατηγορίες:

##### **Σκύρα λατομείου**

Προορίζονται κυρίως για δομικά στοιχεία από σκυρόδεμα.

##### **Σκύρα οδοστρωσίας**

Τα σκύρα αυτά πρέπει να είναι κυβικής μορφής περίπου και οι διαστάσεις τους να κυμαίνονται μεταξύ 40 mm και 70 mm. Πρέπει να προέρχονται από σκληρά πετρώματα (για να μην κονιορτοποιούνται, όταν συμπιέζονται από τον οδοστρωτήρα), να έχουν μεγάλη αντοχή στις εξωτερικές επιδράσεις και να είναι πολύ συμπαγή, ώστε να μη μπορεί εύκολα να περάσει το νερό στο οδόστρωμα. Τα σκύρα αυτά πωλούνται με το m<sup>3</sup>. Παραλαμβάνονται στον τόπο

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

του έργου, όπου συσσωρεύονται σε μορφή πυραμίδας κατά μήκος του καταστρώματος του δρόμου που κατασκευάζεται.

### **Έρμα των σιδηροδρομικών γραμμών**

Τα σκύρα που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό πρέπει να έχουν μεγάλη αντοχή στις καιρικές επιδράσεις, γιατί βρίσκονται τελείως εκτεθειμένα σε αυτές.

### **β) Ψηφίδες**

Στη κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται οι ανώτερες διαβαθμίσεις της άμμου και οι κατώτερες των σκύρων, καθώς το μέγεθος των κόκκων των ψηφίδων είναι από 5 mm έως 12 mm. Λαμβάνονται κυρίως από ασβεστόλιθους και βρίσκουν εφαρμογή εκτός από την σύνθεση σκυροδεμάτων, στην κατασκευή του πρώτου στρώματος των μωσαϊκών δαπέδων. Στο εμπόριο είναι γνωστά με το όνομα γαρμπίλι.

### **γ) Άμμος**

Διακρίνεται με τον τρόπο παρασκευής της σε:

- Άμμο θραυστήρα
- Άμμο τριβείου και
- Ειδική άμμο τριβείου

Επίσης διακρίνεται ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων της, που κυμαίνεται από 0,25mm έως 7 mm σε:

- Χονδρή άμμο με μέγεθος κόκκων από 1 mm έως 7 mm.
- Ψιλή άμμο με μέγεθος κάτω από 1 mm. Στην ψιλή άμμο περιέχεται και ένα ποσοστό σκόνης (παιπάλης, αλεύρου).

Στο εμπόριο η άμμος διακρίνεται σε:

- Άμμο λατομείου και σε
- Άμμο κτισίματος

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Η πρώτη προέρχεται από τη θραύση των λίθων και παρουσιάζει κοκκομετρική σύσταση ικανοποιητική για τα περισσότερα είδη κονιαμάτων.

Η δεύτερη είναι μίγμα άμμου λατομείου και χώματος. Περιέχει μεγάλη ποσότητα αργίλου και γι' αυτό είναι ακατάλληλη για τα υδραυλικά κονιάματα, αυτά δηλαδή στα οποία χρησιμοποιείται ως συγκολλητική ύλη το τσιμέντο. Στα ασβεστοκονιάματα μπορεί να χρησιμοποιηθεί, αλλά μόνο σε δευτερεύουσες εργασίες (κτίσιμο πρόχειρων λιθοδομών κ.λ.π). Πάντως η άμμος κτισίματος πρέπει να αποφεύγεται και μόνο η χαμηλή τιμή της δικαιολογεί την περιορισμένη χρησιμοποίησή της. Μία εύκολη διάκριση των δύο αυτών κατηγοριών γίνεται ρίχνοντας μικρή ποσότητα σε δοχείο με νερό. Τότε θα παρατηρήσουμε ότι:

- Το νερό θα καθαρίσει τελείως ύστερα από λίγο χρόνο, εάν πρόκειται για άμμο λατομείου.
- Το νερό θα θολώσει πολύ και θα παραμείνει το θόλωμα, εάν πρόκειται για άμμο κτισίματος.

Και τα δύο αυτά είδη πουλιούνται ή με τον όγκο τους ( $m^3$ ) ή με το βάρος τους (μονάδα ο τόννος). Η χρησιμοποίηση της άμμου στις κατασκευές είναι πολύ μεγάλη. Χρησιμοποιείται ευρέως για την παρασκευή τεχνητών λίθων και σκυροδεμάτων.

### **δ) Μαρμαρόσκονη**

Προέρχεται από την λειοτρίβηση άσπρων κυρίως μαρμάρων. Το μέγεθος των κόκκων της είναι μικρότερο από 1mm. Χρησιμοποιείται στη θέση της άμμου, για την κατασκευή της τελευταίας στρώσεως των επιχρισμάτων και στην κατασκευή των λευκών μωσαϊκών. Στο εμπόριο πωλείται συνήθως με το Kg.

**Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> – ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ**

## 2.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Οι μέθοδοι δοκιμών μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες ανάλογα με το ελεγχόμενα χαρακτηριστικά / ιδιότητες.

### 1) Γεωμετρικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τη σύνθεση και την αντλησιμότητα του σκυροδέματος

α) η συνολική επιφάνεια των αδρανών,

β) το μέγεθος των κόκκων,

γ) το σχήμα του κόκκου

Το μέγεθος του κόκκου  $d$  είναι ανάλογο με τη μικρότερη διάσταση  $D$  του στοιχείου της κατασκευής που θα σκυροδετηθεί. Πρέπει  $D/5 < d \text{ κόκκου} < D/3$ .

Ανάλογα με το σχήμα τους, οι κόκκοι διακρίνονται σε σφαιρικούς, γωνιώδεις, πλακοειδείς επιμήκεις, ή κυβικούς. Τα γωνιώδη αδρανή χρειάζονται μεγαλύτερη ποσότητα τσιμεντοπολτού σε σχέση με τα σφαιρικά, για την ίδια εργασιμότητα του σκυροδέματος αλλά παρουσιάζουν καλύτερη συνοχή μεταξύ τους και καλύτερη πρόσφυση με το κονίαμα.

Το πρότυπο ΕΛΟΤ 408 απαιτεί το ποσοστό των κόκκων με λόγο μεγαλύτερης προς μικρότερη διάσταση 3:1 να μην υπερβαίνει το 50%. για χρήση στο σκυρόδεμα.

Στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN12620 δεν έχουμε συγκεκριμένο όριο όπως στον Κ.Τ.Σ.'97, αλλά χαρακτηρίζεται το αδρανές ως προς τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά.

Σύμφωνα με το εξαγόμενο αποτέλεσμα από τις δοκιμές προσδιορισμού του δείκτη πλακοειδούς και δείκτη σχήματος και με τη βοήθεια πίνακα κατηγοριοποίησης που έχει όρια από 0 - 50% και 0 - 55% αντίστοιχα για τις δύο παραπάνω δοκιμές, παίρνει τον αντίστοιχο χαρακτηρισμό.



**2) Φυσικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την αντοχή και την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.**

**α) Αντοχή μητρικού πετρώματος**

Το μητρικό πέτρωμα βάσει του κανονισμού πρέπει να έχει θλιπτική αντοχή τουλάχιστον 65 MPa (ΕΛΟΤ 408), αλλά ο Κ.Τ.Σ. προβλέπει δυνατότητα χρήσης και χαμηλότερης αντοχής εφόσον από την μελέτη σύνθεσης αποδειχθεί ότι επιτυγχάνεται η απαιτούμενη αντοχή και ανθεκτικότητα του σκυροδέματος για το έργο που προορίζονται. Στο EN12620 δεν υπάρχει απαίτηση για έλεγχο αντοχής μητρικού πετρώματος.

**β) Αντοχή σε επιφανειακή φθορά και κρούση**

Για τα φυσικά αδρανή, στα οποία ο προσδιορισμός της αντοχής μητρικού πετρώματος είναι αδύνατος, η δοκιμή αυτή προσδιορίζει την καταλληλότητα τους στο σκυρόδεμα εφόσον το αποτέλεσμα ελέγχου με τη μέθοδο Los Angeles δεν υπερβαίνει το 40%. Στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN12620 υπάρχουν κατηγορίες αντίστασης σε θρυμματισμό (προσδιορίζεται με τη μέθοδο ελέγχου της αντοχής σε Los Angeles ) και κυμαίνονται από 15 - 50. Παρόλο που και στις δύο προδιαγραφές χρησιμοποιείται η δοκιμή Los Angeles, τα αποτελέσματα που προκύπτουν δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα. Διαφορές υπάρχουν στα ποσοστά συμμετοχής των κλασμάτων στο δείγμα που εισάγεται στον κάδο της μηχανής, στο συνολικό βάρος και στο πλήθος των σφαιρών που εισάγονται στη μηχανή έτσι ώστε πρακτικά να θεωρείται σχεδόν διαφορετική δοκιμή.

Επιπλέον για τον υπολογισμό της αντίστασης σε θρυμματισμό (ΕΛΟΤ EN12620) και αντοχής σε επιφανειακή φθορά και κρούση (Κ.Τ.Σ.'97) οι δύο προδιαγραφές χρησιμοποιούν διαφορετικό κόσκινο. (1,6mm κατά EN και 1,7mm κατά ASTM).

**γ) Ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση (υγεία)**

Η σταθερότητα του όγκου και η μη απώλεια υλικού λόγω ύγρυνσης, ξήρανσης, ψύξης - απόψυξης είναι προϋποθέσεις για τα αδρανή στο σκυρόδεμα.

Η ανθεκτικότητα προσδιορίζεται είτε με την επίδραση διαλυμάτων θειικών αλάτων (Κατά Κ.Τ.Σ.'97 συνήθως χρησιμοποιείται το Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ενώ στο ΕΛΟΤ

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

EN12620 μόνο το MgSO<sub>4</sub>) είτε με εναλλαγή σε κύκλους ψύξης - απόψυξης. Η άμμος πρέπει να παρουσιάζει απώλεια μικρότερη από 10% και τα σκύρα μικρότερη του 12%. Στο ΕΛΟΤ EN 12620 η % απώλεια μάζας του χονδρόκοκκου αδρανούς στους κύκλους ψύξης - απόψυξης κατηγοριοποιείται να είναι από 0 - 4%, ενώ η αντίστοιχη απώλεια μάζας στην δοκιμή υγείας με MgSO<sub>4</sub> δηλώνεται και πρέπει να είναι εντός των ορίων 0 - 35%.

### **δ) Ειδικά βάρη**

Διακρίνονται σε απόλυτο, φαινόμενο και μικτό με στόχο την μέτρηση των κενών.

Οι τιμές του ειδικού βάρους για τα αδρανή του σκυροδέματος πρέπει να βρίσκονται μεταξύ 2,40 και 3,0.

Στο ΕΛΟΤ EN 12620 δεν υπολογίζονται ειδικά βάρη αλλά πυκνότητα αδρανών, ενώ δεν δίνονται όρια πυκνότητας για τα αδρανή που ενσωματώνονται στο σκυρόδεμα. Στο EN για τον υπολογισμό της πυκνότητας του χονδρόκοκκου υλικού η προδιαγραφή δίνει την χρήση φλάσκας, όπως στα λεπτόκοκκα, και εναλλακτικώς το καλάθι. Σε περίπτωση όμως διαφωνίας, λαμβάνεται υπόψη η μέτρηση που έγινε με χρήση φλάσκας. Στο ASTM το ειδικό βάρος του χονδρόκοκκου υλικού υπολογίζεται με την χρήση καλάθιού.

### **ε) Πορώδες**

Σημαντική ιδιότητα που είναι σε αντίστροφη αναλογία με την αντοχή και την ανθεκτικότητα τους. Η τιμή του προσδιορίζεται με τη μέτρηση της υδατοαπορροφητικότητάς τους. Η δοκιμή προσδιορισμού της υδατοαπορροφητικότητας σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN12620 παρουσιάζει διαφορές σε σχέση με την αντίστοιχη του ASTM (Κ.Τ.Σ.'97). Έτσι για τον προσδιορισμό της υδατοαπορροφητικότητας των λεπτόκοκκων υλικών, κατά EN, πρέπει προηγουμένως το υλικό να έχει εκπλυθεί στο κόσκινο των 0,063mm, και κατόπιν ακολουθεί η διεξαγωγή της δοκιμής, ενώ στο ASTM συμμετέχει και η παιπάλη στον υπολογισμό της υδατοαπορροφητικότητας του υλικού. Αντίστοιχα για τον υπολογισμό της υδατοαπορροφητικότητας των χονδρόκοκκων υλικών το μεν πρότυπο ASTM προδιαγράφει ότι το υλικό είναι σε κορεσμένη και επιφανειακώς ξηρή κατάσταση όταν φαίνεται ένα φιλμ νερού πάνω στον κόκκο, ενώ αντιθέτως στο EN όταν δεν υπάρχει αυτό το φιλμ.

**στ) Κοκκομετρική διαβάθμιση**, δηλαδή την επί της % σύνθεση του αδρανούς σε τεμάχια διαφόρων μεγεθών.

Τα αδρανή ανάλογα με το μέγεθος τους κατατάσσονται σε 4 βασικές κατηγορίες α) Άμμος (0-4 mm ) και β) Ρυζάκι (4- 8mm) γ) Γαρμπίλι (8-16 mm) και **δ) Χαλίκι** (16-31,5mm).

Το πρότυπο ΕΛΟΤ EN12620 καθιερώνει εκτός των βασικών κόσκινων της σειράς DIN, την οποία υιοθετεί και ενδιάμεσα κόσκινα (δηλ. 2σειρές ), ενώ καταργεί τα Αμερικάνικα κόσκινα και ορίζει την παιπάλη ως το διερχόμενο ποσοστό από κόσκινο 0,063 αντί 0,075mm. Στο πρότυπο αυτό η ονομασία των αδρανών εξαρτάται από την περιοχή των διερχομένων από τα κόσκινα, κατατάσσοντας τα σε βασικές κατηγορίες (λεπτόκοκκα, χονδρόκοκκα), με την παρατήρηση ότι ποσοστό 99% των κοκκομετριών θα είναι μέσα στα όρια για το D, d, d/2, όπου D είναι το μεγαλύτερο και d το μικρότερο χρησιμοποιούμενο κόσκινο για την περιγραφή του μεγέθους ενός αδρανούς με τον λόγο D/d όχι μικρότερο του 1,4, ενώ καθορίζει και όρια ανοχών υπό μορφή ποσοστών στα ενδιάμεσα κόσκινα ή την παιπάλη. Η άμμος καθορίζεται σαν διερχόμενη 100% από το κόσκινο ανοίγματος οπής  $2 \times D$  και 85-99% από το  $D=4\text{mm}$ , ενώ στην κοκκομετρία του προστίθεται ένα επιπλέον κόσκινο των 0,125 mm.

Καλά διαβαθμισμένα αδρανή με διαστάσεις κόκκων που καλύπτουν όλο το φάσμα παρουσιάζουν λίγα κενά, απαιτούν μικρότερη ποσότητα συνδετικού ιστού και παρουσιάζουν καλύτερη συνεκτικότητα και εργασιμότητα. Ο Κ.Τ.Σ καθόρισε τις υποζώνες των διαγραμμάτων, ορίζοντας ότι για το οπλισμένο σκυρόδεμα η κοκκομετρική καμπύλη πρέπει να βρίσκεται στην υποζώνη Δ. Η υποζώνη Ζ του σχήματος αφορά μόνο στο άοπλο σκυρόδεμα. Γενικά, οι καμπύλες κάτω από την υποζώνη Δ αντιστοιχούν σε αρκετά χονδρόκοκκα αδρανή με χαμηλή εργασιμότητα, ενώ οι καμπύλες πάνω από την υποζώνη Ε αντιστοιχούν σε αδρανή λεπτόκοκκα που απαιτούν μεγάλη ποσότητα νερού και δίνουν σκυροδέματα με μεγάλη πιθανότητα ρηγμάτων (δες σχήμα 2.2 1).

Προσοχή στην ύπαρξη παιπάλης (μέγεθος κόκκου < από 0,075mm) στην άμμο, που δεν πρέπει να υπερβαίνει το 16% στα θραυστά αδρανή, ενώ στα φυσικά το 5%.

Για το πρότυπο ΕΛΟΤ EN12620 δεν υπάρχει συγκεκριμένο όριο όπως στον Κ.Τ.Σ.'97, αλλά ανάλογα με το ποσοστό που η παιπάλη συμμετέχει στα αδρανή

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

εντάσσεται σε συγκεκριμένη κατηγορία βάσει του πίνακα 11 του προτύπου με άνω όρια όπως φαίνονται σε αυτόν. Έτσι στα φυσικά αδρανή το άνω όριο παραμένει στο 16%, ενώ στα χονδρόκοκκα αδρανή είναι 4%. Καθοριστική σημασία έχουν τα όρια που θα τεθούν από τον καταναλωτή αναλόγως των απαιτήσεων του έργου. Επίσης η δοκιμή του ισοδυναμίου της άμμου, η οποία ανάλογα με το περιβάλλον του έργου πρέπει να μην δίνει τιμή που να είναι μικρότερη από 65 και σε εξαιρετικές περιπτώσεις να είναι μεγαλύτερη του 75, μετρά την καθαρότητα της άμμου που επηρεάζει την αντοχή του σκυροδέματος και τη συνάφεια του με το σιδηρό οπλισμό. Παρόλο που δεν έχει ακόμα καθοριστεί συγκεκριμένο κάτω όριο ή κατηγοριοποίηση από το πρότυπο ΕΛΟΤ EN12620 για τη δοκιμή του ισοδυναμίου άμμου, αυτή χρησιμοποιείται και από το εν λόγω πρότυπο για τον προσδιορισμό της καθαρότητας της άμμου, χωρίς τα αποτελέσματα που προκύπτουν να είναι άμεσα συγκρίσιμα με το ισοδύναμο άμμου που γινόταν κατά ASTM, λόγω της διαφοράς στα χρησιμοποιούμενα κόσκινα.

Επιπλέον στο καινούργιο πρότυπο η καθαρότητα της άμμου ελέγχεται με τη δοκιμή του Μπλε του μεθυλενίου, που δεν υπήρχε στο προηγούμενο πρότυπο.

### **3) Φυσικά - Χημικά χαρακτηριστικά (καθαρότητα).**

**Δεν πρέπει να επηρεάζουν δυσμενώς:**

- την πήξη
- τη σκλήρυνση
- την αντοχή
- τη σταθερότητα του όγκου και
- την προστασία του οπλισμού από την διάβρωση.

**Οι παρακάτω ενώσεις θεωρούνται επιβλαβείς:**

α) Ενώσεις θείου (ανυδρίτης, γύψος) προκαλούν διόγκωση και ρωγματώσεις. Η αρνητική επίδραση των ενώσεων αυτών στα αδρανή είναι μεγαλύτερη:

- όσο περισσότερο λεπτόκοκκα είναι τα υλικά που περιέχουν θείο (γιατί η επιφάνεια που αντιδρά με το τσιμέντο είναι μεγαλύτερη)

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

- όταν οι ενώσεις του θείου είναι υδατοδιαλυτές, όπως π.χ τα θειικά αλκάλια, η γύψος, ο ανυδρίτης κ.λ.π., το μεγαλύτερο ποσοστό θείου στα αδρανή (ως SO<sub>3</sub>), δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1% του βάρους των αδρανών που ξηράνθηκαν στους 105°C.

β) Ενώσεις Σιδήρου προκαλούν διόγκωση και κηλίδες.

γ) Νιτρικά άλατα και αλογόνα προκαλούν διάβρωση. Η περιεκτικότητα σε Cl<sup>-</sup> πρέπει να είναι < 0,2%.

δ) Ενώσεις του μολύβδου ή ψευδαργύρου. Προκαλούν επιτάχυνση ή επιβράδυνση με μείωση της αντοχής των αδρανών.

ε) Χλωριούχοι ή φωσφορικές ενώσεις. Επιδρούν στο χρόνο πήξης.

στ) Πυριτικές άργιλοι (ασβεστίου, νατρίου, καλίου).

ζ) Αποσαθρώσιμα συστατικά (αργιλικό σχιστόλιθοι). Προκαλούν μείωση αντοχής.

η) Οργανικά. Οργανικά συστατικά (ζωϊκής ή φυτικής προελεύσεως) διασκορπισμένα ανάμεσα στους κόκκους, είναι δυνατόν να επιβραδύνουν την πήξη του σκυροδέματος ή να δημιουργήσουν ρηγματώσεις ή αποφλοιώσεις στην επιφάνεια του σκυροδέματος.

θ) Γαιάνθρακες ή λιγνίτες. Προκαλούν μείωση αντοχής. Η περιεκτικότητα τους πρέπει να είναι < 1%

ι) Κερατόλιθοι (ε.β. <2,35 ) να μην υπερβαίνουν το 5%.

Στα φυσικά αδρανή θαλάσσιας προέλευσης, η περιεκτικότητα σε άνυδρο χλωριούχο ασβέστιο πρέπει να είναι <1% του βάρους του τσιμέντου. Επίσης η δυνατότητα βλαπτικότητας των αδρανών κατά την αλκαλοπυριτική αντίδραση (με χημική μέθοδο ή με πρίσματα) πρέπει να εξετάζεται πριν τη χρήση τους στο σκυρόδεμα.

Επίσης, σύμφωνα με τις προδιαγραφές συνιστάται να αποφεύγονται πετρώματα με συστατικά που περιέχουν:

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Οπάλιο, ανδεσίτη, ρυόλιθο και δολομίτες, γιατί προκαλούν διόγκωση και ζεόλιθους λόγω αντίδρασης με τα αλκάλια του τσιμέντου.

Για τον προσδιορισμό των παραπάνω απαιτούνται εργαστηριακοί έλεγχοι (χημική ανάλυση, ορυκτολογική και πετρογραφική εξέταση).

Επίσης απαιτείται το ποσοστό των εύθρυπτων και μαλακών κόκκων να μην υπερβαίνει το 3% και οι σβώλοι αργίλου το ποσοστό 0,25%.

Το πρότυπο ΕΛΟΤ EN12620, ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου στο οποίο θα ενσωματωθούν και την προέλευση τους, καθορίζει για τα αδρανή, μια σειρά δοκιμών που πρέπει να εκτελεστούν και τα αποτελέσματά τους να δηλωθούν από τον παραγωγό. Μερικές από αυτές είναι:

- Περιεκτικότητα σε χλωριόντα ( $\leq 1\%$  κατά βάρος),
- Θειικά διαλυτά σε όξινο περιβάλλον (από 0 - 0,8% κατά βάρος),
- Σύνολο θειικών ( $\leq 1\%$  κατά βάρος),
- Ύπαρξη στοιχείων που επηρεάζουν το ρυθμό πήξης και ξήρανσης του σκυροδέματος (ύπαρξη οργανικών υλικών αποσάθρωσης),
- Περιεκτικότητα σε ανθρακικά,
- Εκπομπή ραδιενέργειας,
- Διαφυγή βαρέων μετάλλων,
- Διαφυγή πολυαρωματικών ανθράκων,
- Διαφυγή άλλων επιβλαβών ουσιών.

### 2.2 ΑΝΑΜΕΙΞΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Για την ανάμειξη των αδρανών υλικών χρησιμοποιείται η κοκκομετρική σύνθεση ή διαβάθμιση, δηλαδή ο διαχωρισμός και η κατάταξη των κόκκων σε ομάδες από άποψη μεγέθους (διάμετρος κόκκου). Έτσι η κοκκομετρική σύνθεση προσδιορίζει την ποσοστιαία κατ' όγκο αναλογία κάθε κατηγορίας μεγέθους κόκκων του υλικού. Για να προσδιορισθούν οι κατηγορίες μεγέθους χρησιμοποιούνται κόσκινα που έχουν καθορισμένη διάμετρο οπών.

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

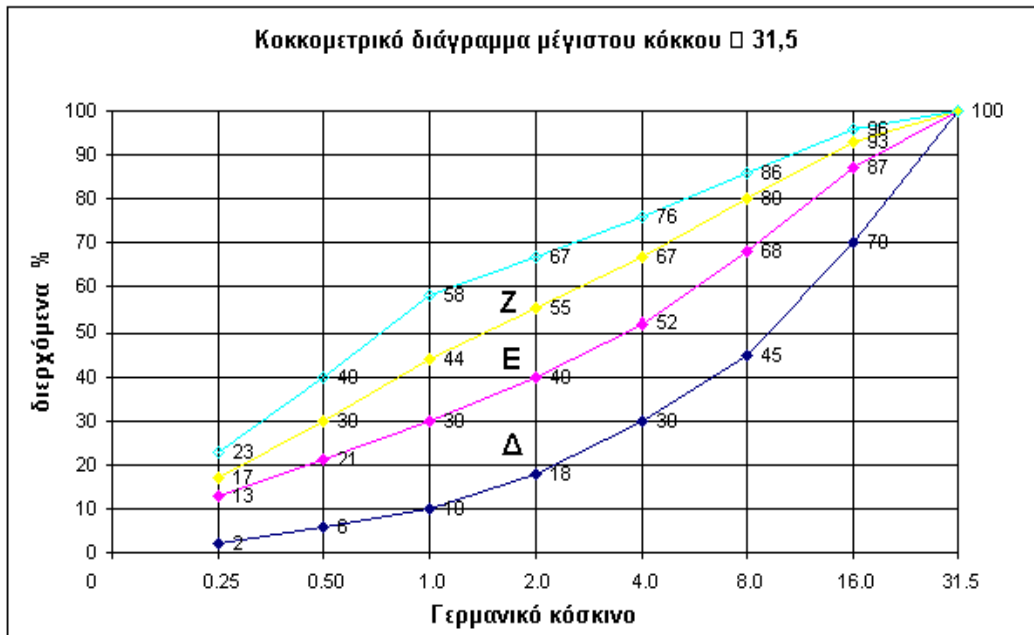
Οι συνηθέστερες εφαρμογές των αδρανών υλικών απαιτούν την ανάμειξη υλικών διαφορετικής κοκκομετρικής σύστασης. Για παράδειγμα ο Κ.Τ.Σ. προβλέπει την ανάμειξη 3 τουλάχιστον κλασμάτων αδρανών για παρασκευή σκυροδέματος κατηγορίας C20/25 ή μεγαλύτερης.

Γνωρίζοντας την κοκκομετρική διαβάθμιση των επί μέρους κλασμάτων μπορεί να υπολογιστεί αυτή του μείγματος, που θα προκύψει αν αναμειχτούν σε μία γνωστή αναλογία.

Οπότε, για να υπολογιστεί το ποσοστό διερχομένου του μείγματος σε κάποιο κόσκινο αθροίζονται τα γινόμενα του ποσοστού διερχομένου κάθε κλάσματος στο συγκεκριμένο κόσκινο επί το ποσοστό συμμετοχής του στο δείγμα.

Στην πλειοψηφία των εφαρμογών η διάταξη των κόκκων των αδρανών υλικών πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο που το μείγμα να διαθέτει τα λιγότερα κενά, να παρουσιάζει δηλαδή μεγάλη συνεκτικότητα. Παράλληλα όμως υψηλή τιμή της συνεκτικότητας μεταβάλλει δυσμενώς άλλες ιδιότητες του τελικού προϊόντος.

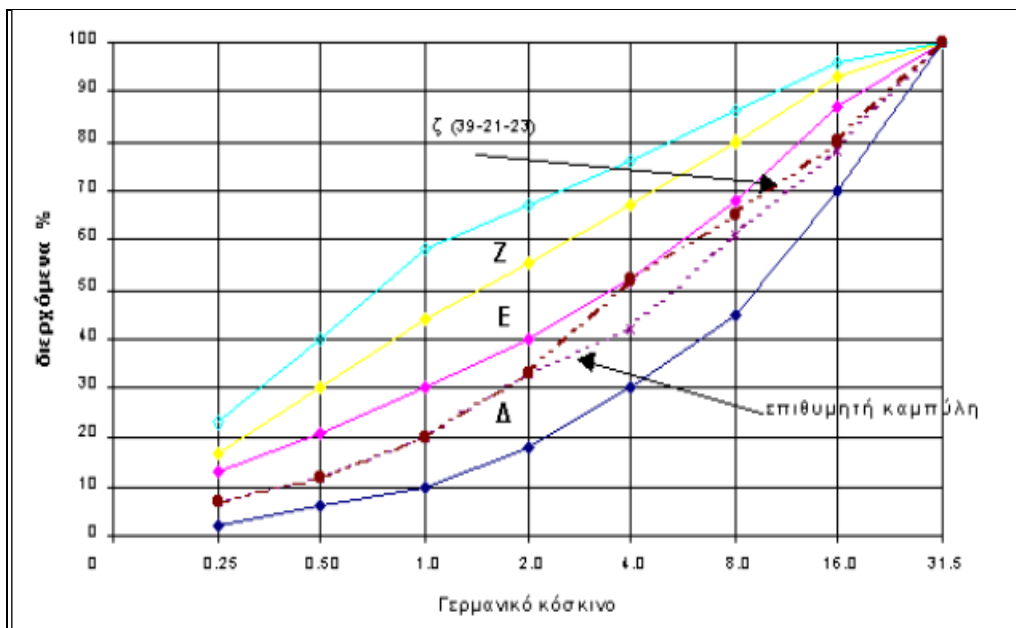
Για τους παραπάνω λόγους, με βάση τα πειραματικά δεδομένα και την εμπειρία, οι κανονισμοί καθορίζουν περιοχές μέσα στις οποίες πρέπει να βρίσκονται οι καμπύλες κοκκομετρικής διαβάθμισης των υλικών, ανάλογα με τις ζητούμενες ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Στο Σχήμα 2.2.1 παρατίθεται το κοκκομετρικό διάγραμμα αδρανών υλικών μεγίστου κόκκου  $\square$  31.5mm του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Κ.Τ.Σ).



**Σχήμα 2.2.1:** Κοκκομετρικό διάγραμμα (καμπύλες επιλογής σύνθεσης αδρανών σκυροδέματος) μέγιστου κόκκου □ 31.5mm (ΠΗΓΗ-ηλεκτρονικές σελίδες-[www.teicrete.gr](http://www.teicrete.gr))

Αντίστοιχα στο Σχήμα 2.2.2 παρατίθενται τα όρια της κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών για παρασκευή ασφαλτικού σκυροδέματος και για στρώση κυκλοφορίας τύπου Β, που είναι και ο συνηθέστερα χρησιμοποιούμενος.



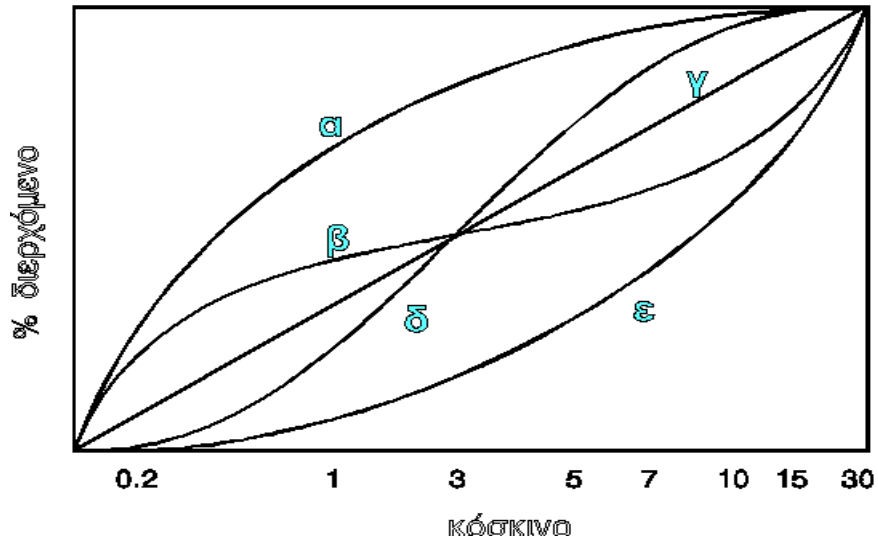


**Σχήμα 2.2.2:** Κοκκομετρικό διάγραμμα αδρανών της Π.Τ.Π. 265 για στρώση κυκλοφορίας, τύπου Β (Πηγη-[www teicrete.gr](http://www.teicrete.gr)).

Η επιλογή της καταλληλότερης καμπύλης, από τις θεωρητικά τουλάχιστον άπειρες σε αριθμό που ικανοποιούν τα κριτήρια των κανονισμών, καθορίζεται από τις επί μέρους επιθυμητές ιδιότητες του τελικού προϊόντος, τα διαθέσιμα υλικά, τις εργοταξιακές συνθήκες, το οικονομικό κόστος.

Αν και η χάραξη της κοκκομετρικής καμπύλης είναι μια σχετικά εύκολη εργασία η αξιολόγηση αυτής παρουσιάζει σοβαρές δυσκολίες και απαιτεί σοβαρή εμπειρία.

Στο Σχήμα 2.2.3 που ακολουθεί δίνονται ορισμένες χαρακτηριστικές καμπύλες αδρανών υλικών για παρασκευή σκυροδέματος. Αν και όλες ικανοποιούν τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου κανονισμού, παρουσιάζουν μεταξύ τους διαφορετικές ιδιότητες.



**Σχήμα 2.2.3 :** Χαρακτηριστικές καμπύλες κοκκομετρικές διαβαθμίσεις αδρανών υλικών (Πηγή-Οδηγός ασκήσεων για Τεχνολογία δομικών υλικών).

Οι διαφορετικές ιδιότητες που παρουσιάζει το σκυρόδεμα, ανάλογα με τον τύπο της κοκκομετρικής καμπύλης του σχήματος έχουν ως εξής:

- α. Μεγάλη πλαστικότητα και συνοχή. Μεγάλη συστολή ξηράνσεως. Οι ιδιότητες αυτές απορρέουν από τη μεγαλύτερη επιτρεπτή χρήση λεπτότερων υλικών.
- β. Μεγάλη ρευστότητα και αντοχή. Απαιτείται προσοχή στη σκυροδέτηση γιατί παρουσιάζει τάση για απόμειξη.
- γ. Ομοιογένεια και ύπαρξη λίγων κενών. Μικρή ρευστότητα.
- δ. Μικρή πλαστικότητα και ρευστότητα. Απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα τσιμέντου επειδή υπάρχει η μικρότερη δυνατή αναλογία. λεπτόκοκκου υλικού
- ε. Μικρή πλαστικότητα με έντονη τάση για απόμειξη

### 2.3 ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Ο ασβεστόλιθος είναι ένα ιζηματογενές πέτρωμα που σχηματίστηκε αρχικά σαν ασβεστολιθική ιλύς στον πυθμένα μιας θάλασσας ή σπανιότερα μιας λίμνης. Η ασβεστολιθική ιλύς με συνεχόμενη ιζηματογένεση αποκτά μεγάλα πάχη και στη

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

συνέχεια σκληρύνεται προς ασβεστόλιθο ο οποίος με τα ορογενετικά φαινόμενα ανυψώνεται (μαζί με τα λοιπά ιζηματογενή πετρώματα) και δημιουργεί χέρσους ή οροσειρές. Όταν ο ασβεστόλιθος βρεθεί σε βαθύτερα μέρη του φλοιού της γης μεταμορφώνεται λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών και πιέσεων. Κατά τη μεταμόρφωση αλλάζει ιστό, δηλαδή κοκκομετρική σύσταση ενώ εξακολουθεί να αποτελείται από ασβεσίτη. Με τις διεργασίες της μεταμόρφωσης (ανακρυστάλλωση) οι μικροί και αρχικά μη ορατοί κρύσταλλοι του ασβεσίτη συνενώνονται σε μεγαλύτερους ορατούς στο μικροσκόπιο αλλά μερικές φορές και με γυμνό μάτι αυτό το πέτρωμα καλείται μάρμαρο.



**Εικόνα 2.3.1:**Λατομείο Ασβεστολίθου.



**Εικόνα 2.3.2:** Ασβεστόλιθος.

Ο ασβεστόλιθος προέρχεται δηλαδή από τα ανθρακικά πετρώματα και εμφανίζεται είτε ως καθαρό ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ) είτε ως Δολομίτης (Ασβεσίτης  $\text{CaCO}_3$  μαζί με ανθρακικό μαγνήσιο  $\text{MgCO}_3$ ). Πιο σπάνια με τον ασβεστόλιθο συνυπάρχει αραγωνίτης και σε μικρότερα ποσοστά σίδηρος ( $\text{FeCO}_3$ ), Μαγνησίτης ( $\text{MgCO}_3$ ), ανκερίτης  $\text{Ca}_2\text{MgFe}(\text{CO}_3)_4$  κ.α. Είναι επίσης δυνατόν να παρατηρηθούν και πυριτικά υλικά.

Σπάνια υπάρχει σαφής διαχωρισμός μεταξύ των διαφόρων τύπων ασβεστόλιθου δολομίτη κ.λ.π. Η πιο απλή και συνήθης μέθοδος αναγνώρισής τους είναι η δοκιμή με υδροχλωρικό οξύ, αφού ο ασβεσίτης είναι πιο διαλυτός στο οξύ από το δολομίτη.

Οι ασβεστόλιθοι και τα μάρμαρα χρησιμοποιούνται σαν φυσικοί δομικοί και διακοσμητικοί λίθοι, αλλά και για αδρανή υλικά σκυροδέματος και υλικά κατασκευής οδικών έργων.

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Στην παραγωγή των κονιαμάτων έχει σημασία η καθαρότητα του πετρώματος. Ο καθαρός ασβεστόλιθος έχει χρώμα ανοιχτό γκρι ή λευκό. Όταν όμως υπάρχουν πράσινες ή άλλες αποχρώσεις, είναι ένδειξη ύπαρξης σιδήρου και πρέπει να αποφεύγονται για την παραγωγή κονιαμάτων.

Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα με περιεκτικότητα 99-100% ασβεστίτη είναι σπάνιοι, παρά το γεγονός ότι είναι πετρώματα πολύ διαδεδομένα στο ανώτερο φλοιό της γης.

Για να είναι κατάλληλος όμως ο ασβεστόλιθος ή ο δολομίτης στην παραγωγή των ξηρών κονιαμάτων, πρέπει να ελεγχθεί η σύσταση του πετρώματος από το οποίο προέρχεται, η σκληρότητά του, η απορροφητικότητα σε νερό και το χρώμα του. Επί πλέον πρέπει να είναι καθαρός και απαλλαγμένος από ξένα σώματα και προσμίξεις.

Οι ασβεστόλιθοι και τα μάρμαρα έχουν ειδικό βάρος  $\cong 2,72 \text{ g/cm}^3$  και σκληρότητα Mohs 3. Η αντοχή τους σε θλίψη κυμαίνεται από 200-2000  $\text{kg/cm}^2$ , (20-180 MPa) ανάλογα με τη δομή τους και τις προσμίξεις τους σε αργίλιο και σε φυλλώδη ορυκτολογικά συστατικά και ανάλογα με τον βαθμό αποσάθρωσης τους. Με αραιό υδροχλωρικό οξύ, ακόμα και ψυχρό, αναβράζουν ζωηρά κι αυτό είναι που τους ξεχωρίζει από το δολομίτη και τα μη ανθρακικά πετρώματα.

Οι ασβεστόλιθοι και τα μάρμαρα απαντούν στην Ελλάδα σε μεγάλες εκτάσεις και τα αποθέματα τους θεωρούνται απεριόριστα. Οι χρήσεις τους στην εποχή μας επεκτάθηκε πολύ, τόσο ως δομικό υλικό όσο και για πρώτη ύλη στις διάφορες βιομηχανίες.

Στην οικοδομική χρησιμοποιούνται ως δομικοί και διακοσμητικοί λίθοι, ως αδρανή των σκυροδεμάτων και στην οδοποιία ως αδρανή οδοστρωμάτων. Η θραυστή άμμος κατά το πλείστον παρασκευάζεται από τα πετρώματα αυτά. Πολύ λεπτή άμμος (μεγέθους τεμαχίων  $d < 1 \text{ mm}$ ) παραγόμενη από τη λειοτρίβιση καθαρού λευκού μαρμάρου είναι γνωστή ως μαρμαρόσκονη και χρησιμοποιείται για την παρασκευή της τελευταίας στρώσης των επιχρισμάτων.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε δείγμα τυπικού ασβεστολίθου με ειδικό βάρος  $\rho = 2,68 \text{ g/cm}^3$ , για την πραγματοποίηση δοκιμών Los Angeles, Micro – Deval, Protodyakonov, Ισοδυνάμου Άμμου και δείκτη πλακοειδών και επιμήκων τεμαχίων, ώστε να διερευνηθεί η καταλληλότητά του για την παραγωγή σκυροδέματος.

## 2.4 ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΑΔΡΑΝΩΝ

Ο έλεγχος καταλληλότητας των αδρανών σκυροδέματος γίνεται στην Ελλάδα σύμφωνα με το Σχέδιο Προτύπου ΕΛΟΤ 408 (μέθοδοι ελέγχου ΣΚ-301, ΣΚ-305 και 306), ενώ τα αμερικάνικα πρότυπα κατά ASTM που εφαρμόζονται είναι:

1. ASTM C 33 για τις γενικές προδιαγραφές
2. ASTM C29/C29M για το ειδ. βάρος ανά μονάδα όγκου και τον υπολογισμό των κενών
3. ASTM C 40 για τις οργανικές προσμίξεις του λεπτομερούς αδρανούς του σκυροδέματος
4. ASTM C 87 για την επίδραση των οργανικών προσμίξεων στην αντοχή της τσιμεντόπαστας
5. ASTM C 88 για την «υγεία» των αδρανών
6. ASTM C 117 για τον υπολογισμό του κλάσματος – 200 mesh(-75μm) (υπολογισμός της «παιπάλης»)
7. ASTM C 127-88 και 128-97 για τον προσδιορισμό του ειδικού βάρους και της απορροφητικότητας των αδρανών (λεπτομερών και χονδρομερών, αντιστοίχως)
8. ASTM C 131 προσδιορισμός της αντοχής των αδρανών (υπολογισμός του δείκτη Los Angeles)
9. ASTM C 136 για τον προσδιορισμό των κοκκομετρικών αναλύσεων λεπτομερών και χονδρομερών αδρανών
10. ASTM C 289 για τον προσδιορισμό της αντίδρασης με αλκάλια
11. ASTM C 295 πετρογραφική εξέταση
12. ASTM C 125 ορολογία που αφορούν στο σκυρόδεμα και στα αδρανή σκυροδέματος

Παρεμφερείς προδιαγραφές υπάρχουν και στα Βρετανικά Πρότυπα (BS 812) και Ευρωπαϊκά Πρότυπα και περιλαμβάνονται στους παρακάτω Πίνακες (4) και (5).

**Πίνακας 2.4.1:** Βρετανικά (BS) και Αμερικάνικα Πρότυπα (ASTM) για τον έλεγχο καταλληλότητας αδρανών υλικών (παράθεση σχετικών προτύπων).

Test / Services	Standard Methods / Techniques
-----------------	-------------------------------

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

	(Πρότυπα)
Sampling Δειγματοληψία	BS 821:Pt 102:1989 SS 73:1974
Clay, silt & dust content (field setting) Περιεκτικότητα σε αργιλικό υλικό	BS 812:Pt 1:1975 SS 73:1974
Clay, silt & dust content (decantation) Περιεκτικότητα σε αργιλικό υλικό	BS 812:Pt 1:1975 SS 73:1974
Materials finer than 75µm Λεπτομερές υλικό < 75µm	ASTM C 117-90
Particle size distribution by sieving Κατανομή μεγέθους τεμαχίων (κοσκίνιση)	BS 812: Sect 103.1:1985 ASTM C 136-84a & SS 73:1974
Moisture content Περιεκτικότητα σε υγρασία	BS 812: Pt 109:1990 ASTM C 566-89 & SS 73:1974
Organic impurities (color test) Οργανικές προσμείξεις (χρωματική δοκιμή)	SS 73:1974 ASTM C 40-84
Bulk density, voids & bulking Φαινόμενη πυκνότητα και πορώδες κλίνης	BS 812: Pt 2:1975 SS 73:1974
Relative densities & water absorption Σχετικές πυκνότητες & απορρόφηση νερού	BS 812:Pt 2:1975 & SS 73:1974
Aggregate crushing value (ACV) Δείκτης αντοχής αδρανών (ACV)	BS 812: Pt 110:1990 & SS 73:1974
10% fines value (TFV) Υπολογισμός δείκτη 10% κ.β.	BS 812: Pt 111:1990 & SS 73:1974

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

<b>Λεπτομερών</b>	
<b>Angularity number</b> Δείκτης γωνιωδών τεμαχίων	<b>BS 812: Pt 1:1975 &amp; SS 73:1974</b>
<b>Flakiness index</b> Δείκτης πεπλατυσμένων τεμαχίων	<b>BS 812: PT 105.1:1989 &amp; SS 73:1974</b>
<b>Elongation index</b> Δείκτης επιμήκων τεμαχίων	<b>BS 812: Pt 105.2:1990 SS 73:1974</b>
<b>Soundness</b> Υγεία	<b>BS 812: Pt 121:1989 SS 73:1974</b>
<b>Impact value</b> Αντοχή σε κρούση	<b>BS 812: Pt 121:1990 SS 73:1974</b>
<b>Los Angeles Abrasion</b> Δείκτης Los Angeles	<b>ASTM C 131-89 ASTM C 535-89 &amp; SS 73:1974</b>
<b>Chloride content</b> Περιεκτικότητα σε χλώριο	<b>BS 812: Pt 117:1988 SS 73: Pt 17:1992</b>
<b>Sulphate content</b> Περιεκτικότητα σε θειικά	<b>BS 812: Pt 118:1988 SS 73: Pt 18:1992</b>

**Πίνακας 2.4.2:** Ευρωπαϊκά Πρότυπα για έλεγχο ιδιοτήτων των αδρανών (Aggregates) (Είχαν υιοθετηθεί μέχρι 31 Ιανουαρίου 2002 και χρησιμοποιούνται από τότε).

**CEN/TC 154**

<b>EN 932-1:1996</b>	<b>Tests for general properties of aggregates – Part 1: Methods for sampling</b>
<b>EN 932-2:1999</b>	<b>Tests for general properties of aggregates – Part 2: Methods for reducing Laboratory samples</b>

<b>EN 932-3:1996</b>	<b>Tests for general properties of aggregates – Part 3: Procedure and terminology for simplified petrographic description</b>
<b>EN 932-5:1999</b>	<b>Tests for general properties of aggregates – Part 5: Common equipment and calibration</b>
<b>EN 932-6:1999</b>	<b>Tests for general properties of aggregates – Part 6: Definitions of repeatability and reproducibility</b>
<b>EN 933-1:1997</b>	<b>Tests for geometrical properties of aggregates – Part 1: Determination of particle size distribution – Sieving method</b>
<b>EN 933-2:1995</b>	<b>Tests for geometrical properties of aggregates – Part 2: Determination of particle size distribution – Test sieves, nominal size of apertures</b>
<b>EN 933-3:1997</b>	<b>Tests for geometrical properties of aggregates – Part 3: Determination of particle shape distribution – Flakiness index</b>
<b>EN 933-4:1999</b>	<b>Tests for geometrical properties of aggregates – Part 4: Determination of particle shape distribution – Shape index</b>
<b>EN 933-5:1998</b>	<b>Tests for geometrical properties of aggregates – Part 5: Determination of percentage of crushed and broken surfaces in coarse aggregate particles</b>
<b>EN 933-6:2001</b>	<b>Tests for geometrical properties of aggregates – Part 6: Assessment of surface characteristics – Flow coefficient of aggregates</b>
<b>EN 933-7:1999</b>	<b>Tests for geometrical properties of aggregates – Part 7: Determination of shell content – Percentage of shells in coarse aggregates</b>
<b>EN 933-8:1999</b>	<b>Test for geometrical properties of aggregates – Part 8: Assessment of fines – Sand equivalent test</b>



<b>EN 933-9:1998</b>	<b>Tests for geometrical properties of aggregates – Part 9: Assessment of fines – Methylene blue test</b>
<b>EN 933-10:2001</b>	<b>Tests for geometrical properties of aggregates – Part 10: Assessment of fines – Grading of fillers (air jet sieving)</b>
<b>EN 1097-1:1996</b>	<b>Tests for mechanical and physical properties of aggregates – Part 1: Determination of the resistance to water (micro – Deval)</b>
<b>EN 1097-2:1998</b>	<b>Tests for mechanical and physical properties of aggregates – Part 2: Methods for the determination of resistance to fragmentation</b>
<b>EN 1097-3:1998</b>	<b>Tests for mechanical and physical properties of aggregates – Part 3: Determination of loose bulk density and voids</b>
<b>EN 1097-4:1999</b>	<b>Tests for mechanical and physical properties of aggregates – Part 4: Determination of the voids of dry compacted filler</b>
<b>EN 1097-5:1999</b>	<b>Tests for mechanical and physical properties of aggregates – Part 5: Determination of the water content by drying in a ventilated oven</b>
<b>EN 1097-6:2000</b>	<b>Tests for mechanical and physical properties of aggregates – Part 6: Determination of particle density and water absorption</b>
<b>EN 1097-7:1999</b>	<b>Tests for mechanical and physical properties of aggregates – Part 7: Determination of the particle density of filler – Pycnometer method</b>
<b>EN 1097-8:1999</b>	<b>Tests for mechanical and physical properties of aggregates – Part 8: Determination of the polished stone value</b>
<b>EN 1097-</b>	<b>Tests for mechanical and physical properties of</b>

<b>9:1998</b>	<b>aggregates – Part 9: Determination of the resistance to wear by abrasion from studded tyres – Nordic test</b>
<b>EN 1367-1:1999</b>	<b>Tests for thermal and weathering properties of aggregates – Part 1: Determination of resistance to freezing and thawing</b>
<b>EN 1367-2:1998</b>	<b>Tests for thermal and weathering properties of aggregates – Part 2: Magnesium sulfate test</b>
<b>EN 1367-3:2001</b>	<b>Tests for thermal and weathering properties of aggregates – Part 3: Boiling test for ``Sonnenbrand basalt``</b>
<b>EN 1367-4:1998</b>	<b>Tests for thermal and weathering properties of aggregates – Part 4: Determination of drying shrinkage</b>
<b>EN 1744-1:1998</b>	<b>Tests for chemical properties of aggregates – Part: 1 Chemical analysis</b>
<b>EN 13179-1:2000</b>	<b>Tests for filler aggregate used in bituminous mixtures – Part 1: Delta ring and ball test</b>
<b>EN 13179-2:2000</b>	<b>Tests for filler aggregate used in bituminous mixtures– Part 2:Bitumen number</b>

**Πίνακας 2.4.3:** Ευρωπαϊκά Πρότυπα για έλεγχο ιδιοτήτων των αδρανών (Aggregates) (Είχαν υιοθετηθεί μέχρι 31 Ιανουαρίου 2002 και χρησιμοποιούνται από τότε).

**Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> - ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ**

### 3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Κοκκώδη θραυστά υλικά, τα οποία χρησιμοποιούνται χωρίς συνδετικό υλικό στην κατασκευή σιδηροδρομικών τροχιών.

Τα σκύρα σιδηροδρομικής γραμμής που προορίζονται για τραίνα υψηλών ταχυτήτων, προέρχονται από την θραύση εκρηξιγενών (ηφαιστειακών και πλουτωνίων) πετρωμάτων (με εξαίρεση τα πετρώματα τύπου ελαφρόπετρας και ποζολάνης) καθώς και ορισμένων μεταμορφωσιγενών που να έχουν την απαιτούμενη σκληρότητα, ενώ για αυτήν την κατηγορία αποκλείονται τα ιζηματογενή πετρώματα.

Αντιθέτως, για σιδηροδρομικές γραμμές, όπου κυκλοφορούν τραίνα συνήθων ταχυτήτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σκληροί ασβεστόλιθοι ή δολομίτες.

Η κύρια κατηγορία είναι η εξής:

**A)Φυσικό έρμα γραμμής (natural railway ballast):** αδρανή έρματος, που προέρχονται από ορυκτές πηγές, τα οποία έχουν υποστεί μόνο μηχανική κατεργασία

Σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο έχουμε επίσης και τις ακόλουθες κατηγορίες:

**B)Τεχνητό έρμα γραμμής (manufactured railway ballast) :** αδρανή ορυκτής αρχικής προέλευσης, τα οποία έχουν προκύψει από βιομηχανική επεξεργασία, συμπεριλαμβανομένης της θερμικής ή άλλης μετατροπής.

**Γ)Ανακυκλωμένο έρμα γραμμής (recycled railway ballast):** αδρανή που έχουν προκύψει από επεξεργασία του έρματος το οποίο είχε προηγουμένως χρησιμοποιηθεί.

### 3.2 ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΣΤΟ ΕΡΜΑ

Τα αδρανή υλικά θα πρέπει να ικανοποιούν ορισμένες απαιτήσεις για να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν στο έρμα.

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Το έρμα γραμμής θα πρέπει να παρασκευάζεται, χωρίς ανάμιξη υλικών από διαφορετικές γεωλογικές πηγές, ώστε να εξασφαλίζεται η ομοιογένεια.

Θα πρέπει, επίσης να αποτελείται από κόκκους υγείς, σκληρούς ανθεκτικούς απαλλαγμένους από βλαπτικές προσμίξεις, τόσο κατά την παραγωγή όσο και κατά την αποθήκευση, μεταφορά και παράδοση του υλικού μέχρι την τελική χρήση.

Συνεπώς η εκλογή του αδρανούς είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την ανθεκτικότητα του έρματος, ο οποίος πρέπει να εξετάζεται σε συνάρτηση με τις επιδιωκόμενες απαιτήσεις, και ιδιαίτερα με την ταχύτητα του συρμού και τις συνεπαγόμενες ασκούμενες δυνάμεις.

### 3.3 ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΗΣ

Τα αδρανή έρματος σιδηροδρομικών γραμμών, θα πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις, όπως περιγράφονται σε Προδιαγραφές συγκεκριμένων έργων του Οργανισμού Σιδηροδρόμων Ελλάδος ή άλλων οργανισμών που ασχολούνται με την κατασκευή σιδηροδρομικών γραμμών, όπως το Μετρό Αθηνών.

ΟΣΕ	Προδιαγραφή έρματος σιδηροδρομικών γραμμών τραίνων <b>υψηλών ταχυτήτων</b>	Σκύρα γραμμής με <b>σκληρότητα</b> μεγαλύτερη ή ίση του <b>16, 15 ή 14</b>
ΟΣΕ	Προδιαγραφή έρματος σιδηροδρομικών γραμμών τραίνων <b>συνήθων ταχυτήτων</b>	Σκύρα γραμμής με <b>σκληρότητα</b> μεγαλύτερη ή ίση του <b>12</b>

**Πίνακας 3.3.1:** Πρότυπα σύμφωνα με τον ΟΣΕ

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί ότι τα αδρανή έρματος θα πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του παρακάτω **προτύπου**:

**ΕΛΟΤ EN 13450: 2003**- Αδρανή για έρμα σιδηροδρομικής γραμμής (Aggregates for railway track ballast)

Οι μέθοδοι ελέγχου βάση των οποίων θα ελέγχεται το έρμα είναι οι ακόλουθοι:

NF P 18-551	:	Μέθοδοι Δειγματοληψίας
ΕΛΟΤ EN 932-1:1996		
NF P 18-553	:	Μέθοδος Μείωσης εργαστηριακών δειγμάτων
ΕΛΟΤ EN 932-2:2000		
ASTM C –136	:	Κοκκομετρική Ανάλυση
AASHO T-27		
ΕΛΟΤ EN 933-1:1998		
NF P 18-591	:	Προσδιορισμός Επιφανειακής Καθαρότητας
ΕΛΟΤ EN 933-1:1998		
ΕΛΟΤ EN 933-1:1998	:	Προσδιορισμός παιπάλης
BS 812	:	Προσδιορισμός Δείκτη Πλακοειδούς
ΕΛΟΤ EN 933-3:1997		
ΕΛΟΤ EN 933-4:2000	:	Προσδιορισμός Δείκτη Σχήματος
ΕΛΟΤ EN 13450:2003	:	Προσδιορισμός Μήκος Κόκκων
NF P 18-577	:	Δοκιμή Deval
ΕΛΟΤ EN 1097-1:1996	:	Προσδιορισμός Αντοχής σε φθορά (Δοκιμή Micro –Deval)
ΕΛΟΤ EN 1097-2:1998	:	Δοκιμή κρούσης (Impact Value)

NF P 18-573 ΕΛΟΤ EN 1097-2:1998	:	Προσδιορισμός Αντοχής σε θρυμματισμό (Δοκιμή Los Angeles)
ΕΛΟΤ EN 1367-1:2000	:	Προσδιορισμός αντοχής σε ψύξη – απόψυξη
ΕΛΟΤ EN 1367-2:1999	:	Δοκιμή Θειικού Μαγνησίου
ΕΛΟΤ EN 1367-3:2001	:	Δοκιμή βρασμού “Sonnenbrand” βασάλτη και αποσύνθεση σκωρίας σιδήρου
ΕΛΟΤ EN 1097-6:2000	:	Προσδιορισμός της πυκνότητας κόκκων και της υδαταπορροφητικότητας
ΕΛΟΤ EN 932-3:1996	:	Διαδικασία και ορολογία για απλοποιημένη πετρογραφική περιγραφή
Council Directive 76/769/EEC	:	Διαφυγή επικινδύνων ουσιών, οι οποίες εκφράζονται σε $\mu\text{m}^3$

Πίνακας 3.3.2: Πρότυπα Ελέγχου

### 3.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Τα χαρακτηριστικά έρματος γραμμής και οι αντίστοιχες απαιτήσεις αναφέρονται Προδιαγραφές συγκεκριμένων έργων του Οργανισμού Σιδηροδρόμων Ελλάδος. Στα έγγραφα αυτά ορίζονται παράλληλα και οι αντίστοιχες μέθοδοι δοκιμών. Στην παράγραφο 1.5 του οδηγού αναγράφονται όλες αυτές οι μέθοδοι ελέγχου και γίνεται συσχέτιση με τις αντίστοιχες Ευρωπαϊκές μεθόδους .

Στον Πίνακα 3.4 αναγράφονται :

α) τα χαρακτηριστικά, οι απαιτήσεις και η προτεινόμενη Min Συχνότητα Ελέγχου του έρματος σιδηροδρομικής γραμμής (\*) σύμφωνα με τον Ο.Σ.Ε.

β) τα χαρακτηριστικά, οι απαιτήσεις και η προτεινόμενη Min Συχνότητα Ελέγχου του έρματος σιδηροδρομικής γραμμής σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13450

(\*) αποτελεί πρόταση των συγγραφέων (ο Ο.Σ.Ε. δεν ορίζει ποσότητες)

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

<b>Χαρακτηριστικά</b>	<b>Όρια υλικού με βάση Προδιαγραφές Ο.Σ.Ε.</b>	<b>Προτεινόμενη Min Συχνότητα Ελέγχου</b>	<b>Όρια Υλικού με βάση το ΕΛΟΤ EN 13450</b>	<b>Min Συχνότητα Ελέγχου με βάση EN</b>	
<b>Γενικά</b>					
<b>Δειγματοληψία</b>	>50 Kg (*)	Προηγείται όλων των δοκιμών	M=6 X D <sup>1/2</sup> Χρ <sub>b</sub>	Προηγείται όλων των δοκιμών	
<b>Μείωση εργαστηριακού Δείγματος</b>	Ποικίλουν ανάλογα με την δοκιμή	Προηγείται όλων των δοκιμών	Ποικίλουν ανάλογα με την δοκιμή	Προηγείται όλων των δοκιμών	
<b>Γεωμετρικά</b>					
<b>Κοκκομετρική Διαβάθμιση</b>	mm	Συγκρατούμενο %	1/5.000 τόνους παραλαβής  ή όποτε η Υπηρεσία το κρίνει σκόπιμο	Κατηγορίες διαβάθμισης:  <input type="checkbox"/> A, B, C: 31,5 – 50 mm  <input type="checkbox"/> D, E, F : 31,5 mm – 63 mm	1/εβδομάδα
	63	0			
	50	15			
	40	26-60			
	31,5	65-90			
	25	95			
16	99				
<b>Προσδιορισμός λεπτόκοκκων τεμαχίων (Καθαρότητα)</b>	%P στο κόσκινο  <b>1,6 mm</b>  <input type="checkbox"/> 0,6 %	1/5.000 τόνους παραλαβής  ή όποτε η Υπηρεσία το κρίνει σκόπιμο	%P στο κόσκινο <b>0,500 mm</b>  <input type="checkbox"/> 0,6 % <input type="checkbox"/> A  <input type="checkbox"/> 1,0 % <input type="checkbox"/> B  > 1,0 % <input type="checkbox"/> Declared (γνωστοποίηση αποτελεσμάτων)  Χωρίς απαιτήσεις <input type="checkbox"/> C	1/εβδομάδα	



ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

<p><b>Ποσοτικός Προσδιορισμός Παιπάλης</b>  (μέγεθος κόκκων  <input type="checkbox"/> 0,063 mm)</p>	<p>Δεν υπάρχει απαίτηση σύμφωνα με τα Ελληνικά Πρότυπα</p>		<p>% <i>f</i> στο κόσκινο 0,063 mm</p> <p><input type="checkbox"/> 0,5 % <input type="checkbox"/> A</p> <p><input type="checkbox"/> 1,0 % <input type="checkbox"/> B</p> <p><input type="checkbox"/> 1,5 % <input type="checkbox"/> C</p> <p>&gt; 1,5 % <input type="checkbox"/> Declared (γνωστοποίηση αποτελεσμάτων) Χωρίς απαιτήσεις <input type="checkbox"/> D</p>	<p>1/εβδομάδα</p>
<p><b>Δείκτης πλακοειδούς</b></p>	<p><input type="checkbox"/> 10 %</p>	<p>1/5.000 τόνους παραλαβής  ή όποτε η Υπηρεσία το κρίνει σκόπιμο</p>	<p><math>\leq 15</math> <input type="checkbox"/> <math>FI_{15}</math></p> <p><math>\leq 20</math> <input type="checkbox"/> <math>FI_{20}</math></p> <p><math>\leq 35</math> <input type="checkbox"/> <math>FI_{35}</math></p> <p>&gt; 35 <input type="checkbox"/> <math>FI_{Declared}</math> (γνωστοποίηση αποτελεσμάτων)</p> <p>Χωρίς απαιτήσεις <input type="checkbox"/> <math>FI_{NR}</math></p>	<p>1/μήνα</p>

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

<p><b>Δείκτης σχήματος</b></p>	<p>Δεν υπάρχει απαίτηση σύμφωνα με τα Ελληνικά Πρότυπα</p>		<p> <math>\leq 10</math> <input type="checkbox"/> <math>SI_{10}</math>  <math>\leq 20</math> <input type="checkbox"/> <math>SI_{20}</math>  <math>\leq 30</math> <input type="checkbox"/> <math>SI_{30}</math>  <input type="checkbox"/> 5 και <math>\leq 30</math> <input type="checkbox"/> <math>SI_{5/30}</math>  <math>&gt; 30</math> <input type="checkbox"/> <math>SI_{Declared}</math>                        (γνωστοποίηση αποτελεσμάτων)                        Χωρίς απαιτήσεις <input type="checkbox"/> <math>SI_{NR}</math> </p>	<p>1/μήνα</p>
<p><b>Μήκος κόκκων</b></p>	<p> <input type="checkbox"/> <math>L \leq 70</math> mm  <input type="checkbox"/> <math>L = 70-80</math> mm    <math>\leq 5\%</math>, εφόσον τηρείται η κοκκομετρία                        και ο δείκτης πλακοειδούς                 </p>	<p>Σε κάθε παραλαβή υλικού</p>	<p> <input type="checkbox"/> <math>L &lt; 100</math> mm  <input type="checkbox"/> <math>L \leq 100</math> mm                      , σε δείγμα μεγαλύτερο των 40 kg    <math>\leq 4\%</math> <input type="checkbox"/> A  <math>\leq 6\%</math> <input type="checkbox"/> B  <math>\leq 8\%</math> <input type="checkbox"/> C  <math>\leq 12\%</math> <input type="checkbox"/> D    <math>&gt; 12\%</math> <input type="checkbox"/> Declared                      (γνωστοποίηση αποτελεσμάτων)                        Χωρίς απαιτήσεις <input type="checkbox"/> E                 </p>	<p>1/μήνα</p>
<p><b>Μηχανικά</b></p>				

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

<p><b>Αντοχή σε θρυμματισμό Los Angeles</b></p>	<p>LA ≤ 24</p>	<p>1/5.000 τόννους  ή όποτε η Υπηρεσία το κρίνει σκόπιμο</p>	<p>≤ 12 <input type="checkbox"/> LA<sub>RB</sub>12  ≤ 16 <input type="checkbox"/> LA<sub>RB</sub>16  ≤ 20 <input type="checkbox"/> LA<sub>RB</sub>20  ≤ 24 <input type="checkbox"/> LA<sub>RB</sub>24  &gt; 24 <input type="checkbox"/> LA<sub>RB</sub> Declared  (γνωστοποίηση αποτελεσμάτων)  Χωρίς απαιτήσεις <input type="checkbox"/> LA<sub>RB</sub> NR</p>	<p>2/έτος</p>
<p><b>Αντοχή σε κρούση</b></p>	<p>Δεν υπάρχει απαίτηση σύμφωνα με τα Ελληνικά Πρότυπα</p>		<p>≤ 14 <input type="checkbox"/> SZ<sub>RB</sub> 14  ≤ 18 <input type="checkbox"/> SZ<sub>RB</sub> 18  ≤ 22 <input type="checkbox"/> SZ<sub>RB</sub> 22  &gt; 22 <input type="checkbox"/> SZ<sub>RB</sub> Declared  (γνωστοποίηση αποτελεσμάτων)  Χωρίς απαιτήσεις <input type="checkbox"/> SZ<sub>RB</sub> NR</p>	<p>2/έτος</p>

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

<p><b>Αντοχή σε φθορά</b></p>	<p><input type="checkbox"/> Δοκιμή DEVAL υγρό (DH)</p> <p><input type="checkbox"/> Δοκιμή DEVAL ξηρό (DS)</p> <p>Συνδυασμός DH &amp; LA ή DS &amp; LA σε διάγραμμα δίνει τον</p> <p>Συντελεστή Σκληρότητας DR</p> <p>DR <input type="checkbox"/> 12, 14, 15 ή 16</p> <p>ανάλογα με τις προδιαγραφές έργου</p>	<p>1/5.000 τόννους</p> <p>ή όποτε η Υπηρεσία το κρίνει σκόπιμο</p>	<p>Δοκιμή micro-Deval</p> <p><math>\leq 5</math> <input type="checkbox"/> <math>M_{DE}</math> RB 5</p> <p><math>\leq 7</math> <input type="checkbox"/> <math>M_{DE}</math> RB 7</p> <p><math>\leq 11</math> <input type="checkbox"/> <math>M_{DE}</math> RB 11</p> <p><math>\leq 15</math> <input type="checkbox"/> <math>M_{DE}</math> RB 15</p> <p><math>&gt; 15</math> <input type="checkbox"/> <math>M_{DE}</math> RB Declared</p> <p>(γνωστοποίηση αποτελεσμάτων)</p> <p>Χωρίς απαιτήσεις <input type="checkbox"/> <math>M_{DE}</math> RB NR</p>	<p>2/έτος</p>
<p><b>Ανθεκτικότητα σε θερμικές και καιρικές μεταβολές</b></p>				
<p><b>Αντοχή σε ψύξη-απόψυξη</b></p>	<p>Δεν υπάρχει απαίτηση σύμφωνα με τα Ελληνικά Πρότυπα</p>	<p>-</p>	<p>Κατηγορίες : A, B, C, D</p>	<p>2/έτος</p>
<p><b>Αντοχή σε αποσάθρωση με θειικό μαγνήσιο (Υγεία)</b></p>	<p>Δεν υπάρχει απαίτηση σύμφωνα με τα Ελληνικά Πρότυπα</p>	<p>-</p>	<p>Κατηγορίες : A, B, C, D</p>	<p>2/έτος</p>

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

<b>Sonnenbrand</b>	Δεν υπάρχει απαίτηση σύμφωνα με τα Ελληνικά Πρότυπα	-	Εάν ίχνη “Sonnenbrand” είναι γνωστά σε λατομείο βασάλτη ή συναφούς πετρώματος, θα γίνεται δοκιμή και θα γνωστοποιούνται τα αποτελέσματα	2/έτος
<b>Φ υ σ ι κ ά</b>				
<b>Πυκνότητα κόκκων</b>	Χωρίς όριο		Mg/m <sup>3</sup> ,  όταν χρειάζεται θα γνωστοποιούνται τα αποτελέσματα	2/έτος

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

<b>Υδαταπορροφητικότητα</b>	Χωρίς όριο	-	<p>WA</p> <p>≤ 0,5 % για κατηγορίες A &amp; B</p> <p>≤ 1,0 % για κατηγορίες C &amp; D,</p> <p>όπου A,B,C &amp; D κατηγορίες βάσει κλιματολογικών &amp; περιβαλλοντικών συνθηκών.</p> <p>Για μεγαλύτερες τιμές σε κάθε κατηγορία θα προσδιορίζεται :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Αντοχή σε ψύξη-απόψυξη ή</li> <li><input type="checkbox"/> Αντοχή σε αποσάθρωση με θειϊκό μαγνήσιο</li> </ul>	2/έτος
<b>Χημικά</b>				

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

<p><b>Πετρογραφική δομή-Ομοιογένεια</b></p>	<p>Θραυστά σκληρά πετρώματα (ηφαιστειακά, πλουτώνια, μεταμορφωσιγενή (π.χ. γνεύσιος, αμφιβολίτης, χαλαζίτης)</p> <p>Σε χαμηλής σκληρότητας DR μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σκληροί ασβεστόλιθοι, δολομίτες</p> <p><b>Απαγορεύεται η ανάμιξη πετρωμάτων</b></p> <p><input type="checkbox"/> Σε περίπτωση που το υλικό μακροσκοπικά αποτελείται από διαφορετικά πετρώματα γίνεται ορυκτολογική ανάλυση κατά είδος πετρώματος</p>	<p>Προηγείται κάθε άλλης δοκιμής</p> <p>Γίνεται επανέλεγχος όποτε η υπηρεσία το κρίνει αναγκαίο. Σε κάθε παραλαβή οπτικός έλεγχος για μακροσκοπική επιβεβαίωση</p>	<p>Η πετρογραφική εξέταση και η κατηγοριοποίηση του πετρώματος είναι συχνά δυνατόν να δώσουν σαφείς πληροφορίες για την συμπεριφορά του πετρώματος σε διάφορες καιρικές συνθήκες</p> <p>Μη επιθυμητά πετρώματα:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> κρυσταλλικός σχιστόλιθος, φυλλίτης</li> <li><input type="checkbox"/> κιμωλία, μάργα</li> <li><input type="checkbox"/> αργιλικός σχιστόλιθος</li> <li><input type="checkbox"/> πετρώματα χαλαρά συνδεδεμένα με αργιλικά ορυκτά</li> </ul>	<p>Προηγείται άλλων δοκιμών</p>
<p><b>Βλαβερά συστατικά: οργανικά και εκτεταμένα στερεά, μέταλλα ή πλαστικά</b></p>	<p>Δεν υπάρχει απαίτηση σύμφωνα με τα Ελληνικά Πρότυπα</p>	<p>-</p>	<p>Απαγορεύεται η ύπαρξη</p>	<p>Προηγείται άλλων δοκιμών</p>
<p><b>Διαφυγή επικινδύνων ουσιών</b></p>	<p>Δεν υπάρχει απαίτηση σύμφωνα με τα Ελληνικά Πρότυπα</p>	<p>-</p>	<p>π.χ. ουσία Χ, εκφραζόμενη σε <math>\mu\text{m}^3</math></p>	<p>Όταν απαιτείται και σε περίπτωση αμφιβολιών</p>

**Πίνακας 3.4**

**Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> - ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΡΩΣΕΩΝ  
ΒΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΒΑΣΕΩΝ**



#### 4.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Αδρανή, που χρησιμοποιούνται για κατασκευή στρώσεων βάσεων ή υποβάσεων ασύνδετα ή σταθεροποιημένα με συνδετικό υλικό στην οδοποιία και σε άλλα έργα πολιτικού μηχανικού (όπως κτίρια, γέφυρες, εξυγιάνσεις εδαφών, κλπ)

Με τον όρο στρώσεις **υπόβασης** εννοούμε όλες τις στρώσεις που τοποθετούνται, αν κριθούν αναγκαίες, πάνω στο υπέδαφος ή την εξυγιαντική στρώση

Στρώσεις **βάσης** εννοούμε τις στρώσεις που κείνται μεταξύ της υπόβασης ή του υπεδάφους και των επιφανειακών ασφαλικών στρώσεων.

Τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται σε βάσεις ή υποβάσεις μπορεί να είναι τα εξής:

**Φυσικά αδρανή (natural aggregates):** αδρανή που προέρχονται από ορυκτές πηγές, τα οποία έχουν υποστεί μόνο μηχανική κατεργασία

Σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο έχουμε επίσης και τις ακόλουθες κατηγορίες:

**Τεχνητά αδρανή (manufactured aggregates) :** αδρανή ορυκτής αρχικής προέλευσης, τα οποία έχουν προκύψει από βιομηχανική επεξεργασία, συμπεριλαμβανομένης της θερμικής ή άλλης μετατροπής.

**Ανακυκλωμένα αδρανή (recycled aggregates):** αδρανή που έχουν προκύψει από επεξεργασία ανόργανων υλικών, τα οποία έχουν προηγουμένως χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή.

**Μέγεθος αδρανών:** Προσδιορισμός των αδρανών με ένα κατώτερο (d) και ένα ανώτερο (D) μέγεθος κοσκίνου/ πλέγματος, εκφραζόμενο ως d/D.

Ο προσδιορισμός δέχεται την παρουσία υπερμεγέθους (oversize), κάποιων κόκκων που συγκρατούνται στο ανώτερο κόσκινο, και υπομεγέθους (undersize), κόκκων που περνούν από το κατώτερο κόσκινο,

**Λεπτόκοκκα αδρανή:** Προσδιορισμός που δίνεται με  $d$  ίσο με 0 και  $D$  μικρότερο ή ίσο με 6,3 mm.

**Χονδρόκοκκα αδρανή:** Προσδιορισμός που δίνεται με  $d$  ίσο ή μεγαλύτερο του 1 mm και  $D$  μεγαλύτερο του 2 mm.

**Μίγμα αδρανών (all-in aggregate):** Αδρανή που αποτελούνται από μίγμα χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων αδρανών με  $D$  μεγαλύτερο του 6,3 mm.

**Κατηγορία:** Χαρακτηριστικό επίπεδο ιδιότητας ενός αδρανούς, εκφραζόμενη ως εύρος τιμών ή οριακή τιμή. Δεν υπάρχει σχέση μεταξύ των κατηγοριών διαφορετικών ιδιοτήτων.

**Διαβάθμιση (grading):** Κατανομή μεγέθους κόκκων εκφραζόμενη ως ποσοστό μάζας διερχόμενης από ένα συγκεκριμένο αριθμό κοσκίνων.

#### 4.2 ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΣΤΙΣ ΒΑΣΕΙΣ / ΥΠΟΒΑΣΕΙΣ

Τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται στις στρώσεις βάσεων ή υποβάσεων θα πρέπει να ικανοποιούν ορισμένες απαιτήσεις για να μπορέσουν να εξασφαλίσουν ικανοποιητική ευστάθεια κάτω από επαναλαμβανόμενα φορτία

Ανάλογα με το είδος του οδοστρώματος (εύκαμπτα ή άκαμπτα) ο ρόλος των αδρανών στις βάσεις και υποβάσεις διαφοροποιείται.

Αναλυτικότερα:

Για τα **εύκαμπτα οδοστρώματα**

**α)** επειδή η βάση υπόκειται σε υψηλές καταπονήσεις, τα αδρανή που την αποτελούν, θα πρέπει να παρουσιάζουν ιδιότητες που να εξασφαλίζουν την αντοχή της σε υψηλές επαναλαμβανόμενες πιέσεις που επιβάλλει η κυκλοφορία, επιπλέον την δυνατότητα αποστράγγισης, την αντοχή στις καταπονήσεις χωρίς να υποστούν μόνιμες παραμορφώσεις, καθώς και αυξημένη ανθεκτικότητα έναντι του παγετού

**β)** επειδή αντιθέτως η υπόβαση υπόκειται σε μικρότερες καταπονήσεις, για το λόγο αυτό τα αδρανή μπορεί να είναι χαμηλότερης ποιότητας, ωστόσο τα αδρανή υλικά θα

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

πρέπει πάντα να εξασφαλίζουν στις στρώσεις την δυνατότητα αποστράγγισης, την ανθεκτικότητα έναντι παγετού (παγοπληξία), την προστασία των υλικών βάσης από την «μόλυνση» αυτών με εδαφικό υλικό (άργιλος, ιλύς, οργανικά υλικά)

### Για τα άκαμπτα οδοστρώματα

**α)** τα αδρανή της βάσης πρέπει να προστατεύσουν την κατασκευή της άκαμπτης πλάκας από σκυρόδεμα από άντληση δηλ να έχουν υψηλή αντίσταση στην διαβρωτική δράση του νερού (κλειστή κοκκομετρική καμπύλη ή πρέπει να σταθεροποιηθούν με συνδετικά υλικά), να προσφέρουν αποστράγγιση, να είναι ανθεκτικά στην φθορά έναντι παγετού, να μην προκαλούν μεταβολή όγκου (διόγκωση –συρρίκνωση)και γενικότερα να βελτιώνουν την δομική (φέρουσα) ικανότητα της κατασκευής

**β)** τα αδρανή της υπόβασης δεν συνεισφέρουν τόσο στην αύξηση της δομικής αντοχής του οδοστρώματος όσο κυρίως παρέχουν την ομοιομορφία της φέρουσας ικανότητας για αποφυγή τοπικών αστοχιών. Επιπλέον πρέπει να προσφέρουν μία καλή επιφάνεια για την κυκλοφορία των βαρέων οχημάτων που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στο φαινόμενο της άντλησης υλικών από την υποκείμενη στρώση (υπόβαση), οπότε πρέπει να λαμβάνονται οπωσδήποτε μέτρα σταθεροποίησης με **τσιμέντο**

### 4.3 ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

Τα αδρανή που προορίζονται για βάσεις και υποβάσεις, θα πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις, όπως περιγράφονται παρακάτω:

Υπουργείο Δημοσίων Έργων	<b>Πρότυπος Τεχνική Προδιαγραφή 0 155</b>	Κατασκευή <b>Βάσεων</b> Οδοστρωμάτων δι' αδρανών υλικών σταθεροποιημένου τύπου
Υπουργείο Δημοσίων Έργων	<b>Πρότυπος Τεχνική Προδιαγραφή 0</b>	Κατασκευή <b>Υποβάσεων</b> Οδοστρωμάτων

	<b>150</b>	δι' αδρανών υλικών σταθεροποιημένου τύπου
--	------------	-------------------------------------------

**Πίνακας 4.3.1:** Πρότυπα σύμφωνα με το Υπουργείο δημοσίων έργων

Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί ότι οι Ελληνικές προδιαγραφές που προαναφέρθηκαν, δεν έχουν αναθεωρηθεί από το 1966, συνεπώς κρίνεται σκόπιμο να γίνει αναφορά στις Ευρωπαϊκές προδιαγραφές για τα αδρανή που χρησιμοποιούνται ως βάσεις και υποβάσεις στην οδοποιία και σε άλλα έργα πολιτικού μηχανικού, εν όψη της εφαρμογής των Ευρωπαϊκών προτύπων στο τέλος του 2003.

Το αντίστοιχο Ευρωπαϊκό πρότυπο είναι

**ΕΛΟΤ EN 13242:** 2003 Αδρανή υλικών σταθεροποιημένων με υδραυλικές κονίες ή μη σταθεροποιημένων για χρήση στα τεχνικά έργα και την οδοποιία (Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use civil engineering work and road construction)

Οι μέθοδοι ελέγχου βάσει των οποίων θα ελέγχονται τα αδρανή είναι οι ακόλουθοι:

<b>AASHO T-2</b>		<b>Μέθοδοι Δειγματοληψίας</b>
<b>ΕΛΟΤ EN 932-1:1996</b>		
<b>ΕΛΟΤ EN 932-2:2000</b>		<b>Μέθοδος Μείωσης εργαστηριακών δειγμάτων</b>
<b>ASTM C –136</b>		
<b>AASHO T-27</b>		<b>Κοκκομετρική Ανάλυση</b>
<b>ΕΛΟΤ EN 933-1:1998</b>		
<b>ΕΛΟΤ EN 933-5:1999</b>		<b>Ποσοστό θραυσμένων επιφανειών σε χονδρόκοκκα αδρανή</b>
<b>ASTM D –1140</b>		<b>Ποσοτικός προσδιορισμός παιπάλης</b>

AASHO T-11		
ΕΛΟΤ EN 933-1:1998		
AASHO T-176		Ποιοτικός προσδιορισμός παιπάλης –
ΕΛΟΤ EN 933-8:2000		Δοκιμή Ισοδυνάμου Άμμου
ΕΛΟΤ EN 933-9:1999		Ποιοτικός προσδιορισμός παιπάλης–
		Δοκιμή Μπλε του Μεθυλενίου
BS 812		
ΕΛΟΤ EN 933-3:1997		Προσδιορισμός Δείκτη Πλακοειδούς
ΕΛΟΤ EN 933-4:2000		Προσδιορισμός Δείκτη Σχήματος
E 105-86		Μέθοδος μέτρησης Καλιφορνιακού
		δείκτη CBR
NF P 18-577		Δοκιμή Deval
ΕΛΟΤ EN 1097-1:1996		Προσδιορισμός Αντοχής σε φθορά
		(Δοκιμή Micro –Deval)
ΕΛΟΤ EN 1097-2:1999		Δοκιμή κρούσης (Impact Value)
ASTM C –131		
AASHO T-96		Προσδιορισμός Αντοχής σε
ΕΛΟΤ EN 1097-2:1999		θρυμματισμό (Δοκιμή Los Angeles)
ΕΛΟΤ EN 1367-1:2000		Προσδιορισμός αντοχής σε ψύξη –
		απόψυξη
AASHO T-104		
ΕΛΟΤ EN 1367-2:1999		Δοκιμή Θεικού Μαγνησίου (Υγεία)
ΕΛΟΤ EN 1367-3:2001		Δοκιμή βρασμού “Sonnenbrand”
		βασάλτη και αποσύνθεση σκωρίας
		σιδήρου
ASTM D –854		Προσδιορισμός της πυκνότητας κόκκων
		και της υδαταπορροφητικότητας

AASHO T-100		
ΕΛΟΤ EN 1097-6:2000		
ΕΛΟΤ EN 932-3:1996		Διαδικασία και ορολογία για απλοποιημένη πετρογραφική περιγραφή
ΕΛΟΤ EN 1744-1:1999		Χημική ανάλυση
ΕΛΟΤ EN 1744-3:2003		Προετοιμασία με εκχύλιση (eluates by leaching)
ΕΛΟΤ EN 196-2:1995		Χημική ανάλυση του τσιμέντου
ASTM D 4318		Όριο Υδαρότητας
AASHO T-89		
ASTM D 4318		Όριο Πλαστικότητας
AASHO T-90		
AASHO T-91		Δείκτης Πλαστικότητας
ASTM D –1557		Proctor τροποποιημένη μέθοδος, Μέθοδος Δ
AASHTO T-180		
Council Directive 76/769/EEC		Διαφυγή επικινδύνων ουσιών, οι οποίες εκφράζονται σε $\mu\text{m}^3$

**Πίνακας 4.3.2: Μέθοδοι Ελέγχου**

#### **4.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ**

Τα χαρακτηριστικά βάσεων / υποβάσεων και οι αντίστοιχες απαιτήσεις αναφέρονται στις Πρότυπες Τεχνικές Προδιαγραφές 0 155 & 0 150, ή άλλες προδιαγραφές συγκεκριμένων έργων. Στα έγγραφα αυτά ορίζονται παράλληλα και οι αντίστοιχες μέθοδοι δοκιμών. Στην παράγραφο 1.5 του οδηγού αναγράφονται όλες αυτές οι μέθοδοι ελέγχου και γίνεται συσχέτιση με τις αντίστοιχες Ευρωπαϊκές μεθόδους.

Στον κάτωθι Πίνακα αναγράφονται :

α) τα χαρακτηριστικά, οι απαιτήσεις και η προτεινόμενη Min Συχνότητα Ελέγχου βάσεων/ υποβάσεων σύμφωνα με τις Π. Τ. Π. 0 155 & 0 150

β) τα χαρακτηριστικά, οι απαιτήσεις και η προτεινόμενη Min Συχνότητα Ελέγχου βάσεων/ υποβάσεων σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13242.

(\*) αποτελεί πρόταση των συγγραφέων

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4

<b>Χαρακτηριστικά</b>	<b>Όρια υλικού με βάση</b>	<b>Προτεινόμενη Min Συχνότητα Ελέγχου</b>	<b>Όρια Υλικού με βάση EN 13242</b>	<b>Min Συχνότητα Ελέγχου με βάση EN</b>							
<b>Γενικά</b>											
<b>Δειγματοληψία</b>	50 Kg (*)	Προηγείται όλων των δοκιμών	$M=6 \times D^{1/2} \times \rho_b$	Προηγείται όλων των δοκιμών							
<b>Μείωση εργαστηριακού Δείγματος</b>	Ποικίλουν ανάλογα με την δοκιμή	Προηγείται όλων των δοκιμών	Ποικίλουν ανάλογα με την δοκιμή	Προηγείται όλων των δοκιμών							
<b>Γεωμετρικά</b>											
<b>Κοκκομετρική Διαβάθμιση</b>	Ανοιγμα βροχίδας	Διερχόμενο %					1/ημέρα	Αδρανή Χονδρόκοκκα	Μέγεθος $d \geq 1$ & $D > 2$	Κατηγορία G <sub>c</sub> 85-15 G <sub>c</sub> 80-20	1/εβδομάδα
		Διαβάθμιση									
		A	B	Γ	Δ	E					



ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3 "	100	-	-	-	-		Λεπτόκοκκα	d = 0 & D ≤ 6,3	G <sub>F</sub> 85 G <sub>F</sub> 80
2 "	65-100	100	-	-	-		Μίγμα	d = 0	G <sub>A</sub> 85
		70-						& D > 6,3	G <sub>A</sub> 80 G <sub>A</sub> 75

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1 ½ ''	-	100	100	-	-	Κατηγορίες χονδρόκοκκων: <input type="checkbox"/> D/d < 4 <input type="checkbox"/> GT <sub>C</sub> 25/15 <input type="checkbox"/> GT <sub>C</sub> 20/15 <input type="checkbox"/> D/d ≥ 4 <input type="checkbox"/> GT <sub>C</sub> 20/17.5 <input type="checkbox"/> Χωρίς απαιτήσεις
1 ¼ ''	-	-	-	100	-	
1''	45 - 75	55 - 85	70 - 100	83 - 100	100	
	-			65 - 95	70 - 100	
¾ ''	30 - 60	50 - 80	60 - 90	47 - 77	50 - 80	
3/8 ''	25 - 50	40 - 70	45 - 75	33 - 63	35 - 65	
No 4	20 - 40	70	75	23 - 50	25 - 50	
No 10	10 - 25	30 - 60	30 - 60	13 - 30	15 - 30	
No 40	3 - 10			5 - 15	5 - 15	
No200		20 - 50	20 - 50			
		10 - 30	10 - 30			
		5 - 15	5 - 15			

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

<p><i>Δείκτης πλακοειδούς</i></p>	<p>Προτείνεται οι κόκκοι να είναι κατά το δυνατόν κυβικής μορφής, αλλά χωρίς να προδιαγράφεται δοκιμή και όρια.</p>	<p> <math>\leq 20</math> <input type="checkbox"/> <i>FI</i><sub>20</sub>  <math>\leq 35</math> <input type="checkbox"/> <i>FI</i><sub>35</sub>  <math>\leq 50</math> <input type="checkbox"/> <i>FI</i><sub>50</sub>  <math>&gt; 50</math> <input type="checkbox"/> <i>FI</i><sub>Declared</sub>                        (γνωστοποίηση αποτελεσμάτων)                        Χωρίς απαιτήσεις <input type="checkbox"/> <i>FI</i><sub>NR</sub> </p>	<p>1/μήνα</p>
<p><b>Δείκτης σχήματος</b></p>	<p>Η δοκιμή αυτή δεν περιλαμβάνεται στους Ελληνικούς Κανονισμούς και πρότυπα</p>	<p> <math>\leq 20</math> <input type="checkbox"/> <i>SI</i><sub>20</sub>  <math>\leq 40</math> <input type="checkbox"/> <i>SI</i><sub>40</sub>  <math>\leq 55</math> <input type="checkbox"/> <i>SI</i><sub>55</sub>  <math>&gt; 50</math> <input type="checkbox"/> <i>SI</i><sub>Declared</sub>                        (γνωστοποίηση αποτελεσμάτων)                        Χωρίς απαιτήσεις <input type="checkbox"/> <i>SI</i><sub>NR</sub> </p>	<p>1/μήνα</p>

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

<b>Ποσοστό θραυσμένων ή σπασμένων τεμαχίων / επιφανειών</b>	≥ 50%  επί του αριθμού τεμαχίων συγκρατούμενων επί του κόσκινου No 4 ( 4,75 mm)  έχει μία επιφάνεια θραυσμένη	Ανά πηγή υλικού ή λατομείου	Ποσοστό θραυσμένων ή σπασμένων τεμαχίων, επί της μάζας	Ποσοστό ολικώς στρογγυλών τεμαχίων, επί της μάζας	Κατηγορία	1/μήνα
			90-100	0-3	$C_{90/3}$	
			50-100	0-10	$C_{50/10}$	
			50-100	0-30	$C_{50/30}$	
			-	0-50	$C_{NR/50}$	
			-	0-70	$C_{NR/70}$	
Δηλωμένη τιμή  NR	Δηλωμένη τιμή  NR	$C_{Declared}$  $C_{NR}$				
<b>Ποσοτικός Προσδιορισμό</b>	$P \% (No 200) < \underline{1} P \% (No 40)$	1/ημέρα	$P \% \text{ στο κόσκινο } 0,063 \text{ mm } (f \%)$	1/εβδομάδα		

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

<p>ς Παιπάλης</p>	<p>2</p> <p><input type="checkbox"/> No 40 <input type="checkbox"/> 0,420 mm</p> <p><input type="checkbox"/> No 200 <input type="checkbox"/> 0,075 mm</p>		<p>Χονδρόκοκκα <math>\leq 2 \quad \square \quad f_2</math></p> <p><math>\leq 4 \quad \square \quad f_4</math></p> <p><math>&gt; 4 \quad \square \quad f_{\text{Declared}}</math></p> <hr/> <p>Λεπτόκοκκα <math>\leq 3 \quad \square \quad f_3</math></p> <p><math>\leq 7 \quad \square \quad f_7</math></p> <p><math>\leq 10 \quad \square \quad f_{10}</math></p> <p><math>\leq 16 \quad \square \quad f_{16}</math></p> <p><math>\leq 22 \quad \square \quad f_{22}</math></p> <p><math>&gt; 22 \quad \square \quad f_{\text{Declared}}</math></p>	
-------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

			<p>Μίγμα <math>\leq 3 \square f_3</math></p> <p><math>\leq 5 \square f_3</math></p> <p><math>\leq 7 \square f_7</math></p> <p><math>\leq 9 \square f_9</math></p> <p><math>\leq 12 \square f_{12}</math></p> <p><math>\leq 15 \square f_{15}</math></p> <p><math>&gt; 15 \square f_{\text{Declared}}</math></p>	
			<p>Χωρίς απαιτήσεις <math>\square f_{\text{NR}}</math></p>	

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

<p><b>Ποιοτικός Προσδιορισμός Παιπάλης - Δοκιμή Ισοδυναμίου Άμμου (SE)</b></p>	<p>≥ 50 για βάσεις  ≥ 40 για υποβάσεις</p>	<p>1/ημέρα  ή  1 δοκιμή / 250 μ.  Μετά τα 1.500μ. =&gt; 1/500μ.</p>	<p>Μέχρι στιγμής δεν έχουν προσδιοριστεί όρια σε Ευρωπαϊκό επίπεδο. Λαμβάνεται ως μη βλαπτική η παιπάλη όταν ισχύει μία από τις κάτωθι προϋποθέσεις :</p> <p>α) το ποσοστό της παιπάλης ≤3% ή άλλης τιμής ισχύουσας στον τόπο χρησιμοποίησης,</p> <p>β) ικανοποιεί τις εθνικές απαιτήσεις για την δοκιμή Ισοδυναμίου Άμμου ,</p> <p>γ) υφίσταται πολυετής πείρα για την καταλληλότητα του υλικού</p>	<p>1/εβδομάδα</p>
<p><b>Ποιοτικός Προσδιορισμός Παιπάλης - Δοκιμή Μπλε του Μεθυλενίου</b></p>	<p>Η δοκιμή αυτή δεν περιλαμβάνεται στους Ελληνικούς Κανονισμούς και πρότυπα</p>	<p>-</p>	<p>Ισχύει αντίστοιχα ότι και για την Δοκιμή Ισοδυναμίου Άμμου</p>	<p>1/εβδομάδα</p>

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

<p><b>Δείκτης</b>  <b>Πλαστικότητα</b>  <b>ς P.I. = L.L. -</b>  <b>P.L.</b></p>	<p>Στο διερχόμενο υλικό του κόσκινου Νο 40</p> <p>Όριο υδαρότητας: L.L. <math>\leq</math> 25</p> <p>Όριο Πλαστικότητας: P.L.</p> <p>Δείκτης Πλαστικότητας: P.I. <math>\leq</math> 3 για βάσεις</p> <p style="padding-left: 150px;">P.I. <math>\leq</math> 4 για υποβάσεις</p> <p>Εάν δεν υπάρχουν πηγές: P.I. <math>\leq</math> 5</p>	<p>1/ημέρα</p> <p>ή</p> <p>1 δοκιμή / 300 μ. ανά λωρίδα</p> <p>ή</p> <p>1 σειρά δοκιμών για κάθε 300m<sup>3</sup> ή για κάθε 3.000m<sup>2</sup></p>	<p>Οι δοκιμές αυτές δεν περιλαμβάνονται στα Ευρωπαϊκά πρότυπα</p>	
---------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------	--



ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

<b>Φ υ σ ι κ ά</b>				
<i>Πυκνότητα κόκκων</i>	Χωρίς όρια	1 επιτόπου δοκιμή / 150 μ. μήκος οδού ανά λωρίδα και ανά στρώση. Μετά τα 1.500μ. => 1/300μ.	Χωρίς όρια	1/ 2 έτη
<b>Προσδιορισμός Φυσικής Υγρασίας</b>	Χωρίς όρια	Προηγείται πολλών άλλων δοκιμών	Χωρίς όρια	Προηγείται πολλών άλλων δοκιμών
<b>Υδαταπορροφητικότητα</b>	Χωρίς όρια		Σύμφωνα με EN 1097-6, clause 7  $\leq 1 \%$ <input type="checkbox"/> $WA_{241}$  <input type="checkbox"/> $\leq 2 \%$ <input type="checkbox"/> $WA_{242}$	1/ 2 έτη,  προηγείται

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

			<p>Σύμφωνα με EN 1097-6, annex B</p> <p><math>\leq 0,5\%</math> <input type="checkbox"/> <math>WA_{24}0,5</math></p> <p><math>&gt; 0,5\%</math> <input type="checkbox"/> <math>WA_{24}Declared</math></p> <p>Χωρίς απαιτήσεις <input type="checkbox"/> <math>WA_{24}NR</math></p> <p>Για μεγαλύτερες τιμές θα προσδιορίζεται :</p> <p><input type="checkbox"/> Αντοχή σε ψύξη-απόψυξη ή</p> <p><input type="checkbox"/> Αντοχή σε αποσάθρωση με θειικό μαγνήσιο</p>	των δοκιμών αντίστασης σε θερμικές και καιρικές μεταβολές
<b>Ειδικά βάρη (Φαινόμενο και μικτό)</b>	2,4-3 (*)	2/έτος (*)	<input type="checkbox"/> 2	2/έτος
<b>Φαινόμενο βάρος και % όγκου κενών</b>	Χωρίς όρια	2/έτος (*)	Εφαρμόζεται μόνο στα ελαφροβαρή αδρανή	-

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

<p><b>Σχέση υγρασίας / πυκνότητας</b>  <b>-Τροποποιημένη μέθοδος</b>  <b>Proctor</b></p>	<p>Μέθοδος Δ.          Βέλτιστη περιεχόμενη υγρασία, %          Μέγιστη ξηρά πυκνότητα, kg/m<sup>3</sup>          Όριο&gt; 95%</p>	<p>1 δοκιμή /          150 μ.          μήκος          οδού          ανά          λωρίδα          και ανά          στρώση.           Μετά τα          1.500μ.=&gt;          1/300μ.</p>	<p>Η δοκιμή αυτή δεν περιλαμβάνεται</p>	<p>-</p>
<p><b>Φέρουσα ικανότητα – Δοκιμή</b>  <b>του Καλιφορνιακού λόγου</b>  <b>Φέρουσας Ικανότητας (CBR)</b></p>	<p>C.B.R.= <u>διορθωμένη τιμή πίεσης</u> x          100           πρότυπη πίεση           δεν αναφέρεται συγκεκριμένο όριο          ωστόσο αποτελεί σημαντική          ένδειξη για το είδος του εδάφους</p>		<p>Η δοκιμή αυτή δεν περιλαμβάνεται</p>	<p>-</p>

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Μηχανικά				
<p><b>Αντοχή σε θρυμματισμό Los Angeles</b></p>	<p>LA ≤ 50%</p>	<p>Ανά πηγή υλικού ή λατομείο υ</p>	<p>                     ≤ 20 <input type="checkbox"/> LA<sub>20</sub>                      ≤ 25 <input type="checkbox"/> LA<sub>25</sub>                      ≤ 30 <input type="checkbox"/> LA<sub>30</sub>                      ≤ 35 <input type="checkbox"/> LA<sub>35</sub>                      ≤ 40 <input type="checkbox"/> LA<sub>40</sub>                      ≤ 50 <input type="checkbox"/> LA<sub>50</sub>                      ≤ 60 <input type="checkbox"/> LA<sub>60</sub>                      &gt; 60 <input type="checkbox"/> LA<sub>Declared</sub>                      Χωρίς απαιτήσεις <input type="checkbox"/> LA<sub>NR</sub> </p>	<p>2/ 1 έτος</p>

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

<p><i>Αντοχή σε κρούση</i></p>	<p>Η δοκιμή αυτή δεν περιλαμβάνεται στους Ελληνικούς Κανονισμούς και πρότυπα</p>	<p> <math>\leq 18</math> <input type="checkbox"/> SZ<sub>18</sub>  <math>\leq 22</math> <input type="checkbox"/> SZ<sub>22</sub>  <math>\leq 26</math> <input type="checkbox"/> SZ<sub>26</sub>  <math>\leq 32</math> <input type="checkbox"/> SZ<sub>32</sub>  <math>\leq 35</math> <input type="checkbox"/> SZ<sub>35</sub>  <math>\leq 38</math> <input type="checkbox"/> SZ<sub>38</sub>  <math>&gt; 38</math> <input type="checkbox"/> SZ<sub>Declared</sub>  Χωρίς απαιτήσεις <input type="checkbox"/> SZ<sub>NR</sub> </p>	<p>2/ 1 έτος</p>
--------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

<p><b>Αντοχή σε φθορά – Δοκιμή micro-Deval</b></p>	<p>Η δοκιμή αυτή δεν περιλαμβάνεται στους Ελληνικούς Κανονισμούς και πρότυπα</p>	<p>-</p>	<p> <math>\leq 20</math> <input type="checkbox"/> <math>M_{DE} 20</math>  <math>\leq 25</math> <input type="checkbox"/> <math>M_{DE} 25</math>  <math>\leq 35</math> <input type="checkbox"/> <math>M_{DE} 35</math>  <math>\leq 50</math> <input type="checkbox"/> <math>M_{DE} 50</math>  <math>&gt; 50</math> <input type="checkbox"/> <math>M_{DE} Declared</math>  Χωρίς απαιτήσεις <input type="checkbox"/> <math>M_{DE} NR</math> </p>	<p>2/ 1 έτος</p>
<p><b>Ανθεκτικότητα σε θερμικές και καιρικές μεταβολές</b></p>				

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

<p>Αντοχή σε ψύξη-απόμυξη</p>	<p>Η δοκιμή αυτή δεν περιλαμβάνεται στους Ελληνικούς Κανονισμούς και πρότυπα</p>		<p>Απώλεια μάζας:</p> <p><math>\leq 1\%</math> <input type="checkbox"/> <math>F_1</math></p> <p><math>\leq 2\%</math> <input type="checkbox"/> <math>F_2</math></p> <p><math>\leq 4\%</math> <input type="checkbox"/> <math>F_4</math></p> <p><math>&gt; 4\%</math> <input type="checkbox"/> <math>F_{\text{Declared}}</math></p> <p>Χωρίς απαιτήσεις <input type="checkbox"/> <math>F_{\text{NR}}</math></p>	<p>1/ 2 έτη</p>
<p><b>Αντοχή σε αποσάθρωση με θειικό μαγνήσιο (Υγεία)</b></p>	<p>Απώλεια υλικού <math>\leq 12\%</math></p>	<p>Ανά πηγή υλικού ή λατομείου</p>	<p>Απώλεια μάζας:</p> <p><math>\leq 18\%</math> <input type="checkbox"/> <math>MS_{18}</math></p> <p><math>\leq 25\%</math> <input type="checkbox"/> <math>MS_{25}</math></p> <p><math>\leq 35\%</math> <input type="checkbox"/> <math>MS_{35}</math></p> <p><math>&gt; 35\%</math> <input type="checkbox"/> <math>MS_{\text{Declared}}</math></p> <p>Χωρίς απαιτήσεις <input type="checkbox"/> <math>MS_{\text{NR}}</math></p>	<p>1/ 2 έτη</p>

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

<p><b>Sonnenbrand</b></p>	<p>Η δοκιμή αυτή δεν περιλαμβάνεται στους Ελληνικούς Κανονισμούς και πρότυπα</p>	<p>Απώλεια μάζας κατά τον Βρασμό <math>\leq 1</math> % :</p> <p>Αύξηση Τιμής Κρούσης <math>\leq 5</math> % <input type="checkbox"/> <i>SB</i> SZ</p> <p>Αύξηση Los Angeles <math>\leq 8</math> % <input type="checkbox"/> <i>SB</i> LA</p>	<p>2/ 1 έτος</p>
		<p>Απώλεια μάζας κατά τον Βρασμό <math>&gt; 1</math> % :</p> <p>Αύξηση Τιμής Κρούσης <math>&gt;5</math> % <input type="checkbox"/> <i>SB</i><sub>SZ</sub> Declared</p> <p>Αύξηση Los Angeles <math>&gt;8</math> % <input type="checkbox"/> <i>SB</i><sub>LA</sub> Declared</p>	
		<p>Χωρίς απαιτήσεις <input type="checkbox"/> <i>SB</i><sub>NR</sub></p>	
<p><b>Χημικά</b></p>			



ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

<p><b>Θειικό άλας</b>  <b>ευδιάλυτο με οξύ</b></p>	<p>Η δοκιμή αυτή δεν περιλαμβάνεται στους Ελληνικούς Κανονισμούς και πρότυπα</p>		<p>Αδρανή εκτός της αερόψυκτου σκωρίας υψικαμίνου:</p> <p><math>\leq 0,2 \% \text{ SO}_3</math>      <input type="checkbox"/> <math>AS_{0,2}</math></p> <p><math>\leq 0,8 \% \text{ SO}_3</math>      <input type="checkbox"/> <math>AS_{0,8}</math></p> <p><math>&gt; 0,8 \% \text{ SO}_3</math>      <input type="checkbox"/> <math>AS_{\text{Declared}}</math></p> <hr/> <p>Αερόψυκτος σκωρία υψικαμίνου:</p> <p><math>\leq 1,0 \% \text{ SO}_3</math>      <input type="checkbox"/> <math>AS_{1,0}</math></p> <p><math>&gt; 1,0 \% \text{ SO}_3</math>      <input type="checkbox"/> <math>AS_{\text{Declared}}</math></p> <hr/> <p>Χωρίς απαιτήσεις      <input type="checkbox"/> <math>AS_{\text{NR}}</math></p>	
<p>Ολικό Θείο</p>	<p>Η δοκιμή αυτή δεν περιλαμβάνεται στους Ελληνικούς Κανονισμούς και πρότυπα</p>		<p>Αδρανή εκτός της αερόψυκτου σκωρίας υψικαμίνου:</p> <p><math>\leq 1 \% \text{ S}</math>      <input type="checkbox"/> <math>S_1</math></p> <p><math>&gt; 1 \% \text{ S}</math>      <input type="checkbox"/> <math>S_{\text{Declared}}</math></p> <hr/> <p>Αερόψυκτος σκωρία υψικαμίνου:</p> <p><math>\leq 2 \% \text{ S}</math>      <input type="checkbox"/> <math>S_2</math></p> <p><math>&gt; 2 \% \text{ S}</math>      <input type="checkbox"/> <math>S_{\text{Declared}}</math></p>	

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

			Χωρίς απαιτήσεις <input type="checkbox"/> S <sub>NR</sub>	
<b>Υλικά που αλλάζουν το ρυθμό πήξης και σκλήρυνσης των σταθεροποιημένων μιγμάτων</b>	Η δοκιμή αυτή δεν περιλαμβάνεται στους Ελληνικούς Κανονισμούς και πρότυπα		i) Δοκιμή υδροξειδίου του νατρίου ii) Δοκιμή φουλβικού οξέος iii) Δοκίμια κονιάματος: <input type="checkbox"/> Ώρα σκλήρυνσης <input type="checkbox"/> Αντοχή σε θλίψη	1/ έτος  1/ έτος  1/ έτος
<b>Σταθερότητα όγκου σκωριών σιδήρου</b>	Η δοκιμή αυτή δεν περιλαμβάνεται στους Ελληνικούς Κανονισμούς και πρότυπα		Διόγκωση % $\leq 5$ <input type="checkbox"/> V <sub>5</sub> $\leq 7,5$ <input type="checkbox"/> V <sub>7,5</sub> $\leq 10$ <input type="checkbox"/> V <sub>10</sub> $> 10$ <input type="checkbox"/> V <sub>Declared</sub> Χωρίς απαιτήσεις <input type="checkbox"/> V <sub>NR</sub>	2/ 1 έτος

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

<p><b>Σταθερότητα όγκου - Αποσύνθεση σιδήρου ή πυριτικού διασβεστίου των αερόψυκτων σκωριών υψικαμίνου</b></p>	<p>Η δοκιμή αυτή δεν περιλαμβάνεται στους Ελληνικούς Κανονισμούς και πρότυπα</p>		<p>Απαγορεύεται η αποσύνθεση σιδήρου ή πυριτικού διασβεστίου των αερόψυκτων σκωριών υψικαμίνου</p>	<p>2/ 1 έτος</p>
<p><b>Υδατοδιαλυτά συστατικά</b></p>	<p>Η δοκιμή αυτή δεν περιλαμβάνεται στους Ελληνικούς Κανονισμούς και πρότυπα</p>			
<p><b>Βλαβερά συστατικά: οργανικά και εκτεταμένα στερεά, μέταλλα ή πλαστικά</b></p>			<p>Όταν απαιτείται, απαγορεύεται η ύπαρξη τέτοιων υλικών</p>	<p>Προηγείται πολλών άλλων δοκιμών</p>

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

<p><i>Πετρογραφική δομή</i></p>	<p>Απαλλαγμένο από ξένες προσμίξεις, σβώλων αργίλου, ευθρύπτων, αποσαθρωμένων τεμαχίων, χωμάτων.</p>	<p>Ανά πηγή υλικού ή λατομείου</p>	<p>Η πετρογραφική εξέταση και η κατηγοριοποίηση του πετρώματος είναι συχνά δυνατόν να δώσουν σαφείς πληροφορίες για την συμπεριφορά του πετρώματος σε διάφορες καιρικές συνθήκες.</p> <p>Μη επιθυμητά πετρώματα:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> κρυσταλλικός σχιστόλιθος, φυλλίτης</li> <li><input type="checkbox"/> κιμωλία, μάργα</li> <li><input type="checkbox"/> αργιλικός σχιστόλιθος</li> <li><input type="checkbox"/> πετρώματα χαλαρά συνδεδεμένα με αργιλικά ορυκτά</li> </ul>	<p>Προηγείται πολλών άλλων δοκιμών</p>
<p><b>Διαφυγή επικινδύνων ουσιών, ιδιαίτερα βαρέων μετάλλων</b></p>			<p>π.χ. ουσία Χ, εκφραζόμενη σε <math>\mu\text{m}^3</math></p>	<p>Όταν απαιτείται και σε περίπτωση η αμφιβολιών</p>

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

**Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> – ΔΟΚΙΜΗ LOS ANGELES**



**Εικόνα 1.1.1: Μηχανή Los Angeles – Εργαστήριο ΕΜΓ**

### 1.1 ΣΚΟΠΟΣ

Η δοκιμή αυτή καλύπτει τη διαδικασία προσδιορισμού της αντοχής των αδρανών υλικών σε τριβή και σε κρούση (με τη χρήση της μηχανής Los Angeles). Θεωρείται η καταλληλότερη, από οποιαδήποτε άλλη δοκιμή, για τον προσδιορισμό της σκληρότητας, της δυσθραυστότητας και του ποσοστού μαλακών τεμαχίων των αδρανών υλικών για τους παρακάτω λόγους:

- Η δράση επί των αδρανών είναι πολύ ισχυρή, ώστε να αποκαλύπτεται οποιαδήποτε αδυναμία του υλικού
- Είναι κατάλληλη τόσο για τα θραυστά όσο και για τα φυσικά αδρανή
- Η δοκιμή είναι σχετικά σύντομη
- Δεν επηρεάζεται από τη μεταβολή του ειδικού βάρους των αδρανών, εξ αιτίας της μεγάλης χωρητικότητας του κυλινδρικού τυμπάνου της μηχανής.
- Περιορίζεται σημαντικά η υποκειμενική δράση αυτού που εκτελεί τη δοκιμή (χειριστής). Η δοκιμή, η οποία περιγράφεται παρακάτω είναι σύμφωνη με το πρότυπο A.S.T.M C 131, πρότυπο στο οποίο παραπέμπουν οι ισχύοντες ελληνικοί κανονισμοί.

### 1.2 ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

Η δοκιμή δίνει την τάση των υλικών (μείγμα αδρανών) για δημιουργία λεπτομερών τεμαχιδίων κατά την κατάτμηση ή την απότριψη, ως αποτέλεσμα συνδυασμού δράσεων, συμπεριλαμβανομένων της κρούσης και της τριβής. Εκτελείται σε ένα περιστρεφόμενο χαλύβδινο τύμπανο, που περιέχει συγκεκριμένο αριθμό χαλύβδινων σφαιρών, ο οποίος εξαρτάται από τη διαβάθμιση (κοκκομετρία) του δείγματος της δοκιμής. Καθώς το τύμπανο



## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

περιστρέφεται, ένα χαλύβδινο έλασμα, προσαρμοσμένο κατά μήκος της εσωτερικής επιφάνειας του τυμπάνου, ανυψώνει το δείγμα και τις χαλύβδινες σφαίρες και τις μεταφέρει ρίχνοντάς τες στην αντίθετη πλευρά του τυμπάνου, δημιουργώντας φαινόμενα τριβής, κρούσης – κατάτμησης. Το δείγμα, καθώς περιστρέφεται εντός του τυμπάνου, τρίβεται και συνθλίβεται έως ότου το χαλύβδινο έλασμα ανασηκώσει ξανά το δείγμα και τις σφαίρες και ο κύκλος επαναληφθεί. Αφού ολοκληρωθεί ο προκαθορισμένος αριθμός περιστροφών, το δείγμα απομακρύνεται από το τύμπανο και η συνολική του ποσότητα κοσκινίζεται για να υπολογιστεί στη συνέχεια η φθορά, που έχει υποστεί και προσδιορίζεται ως ποσοστό επί τοις %.

### 1.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΗΧΑΝΗΣ LOS ANGELES

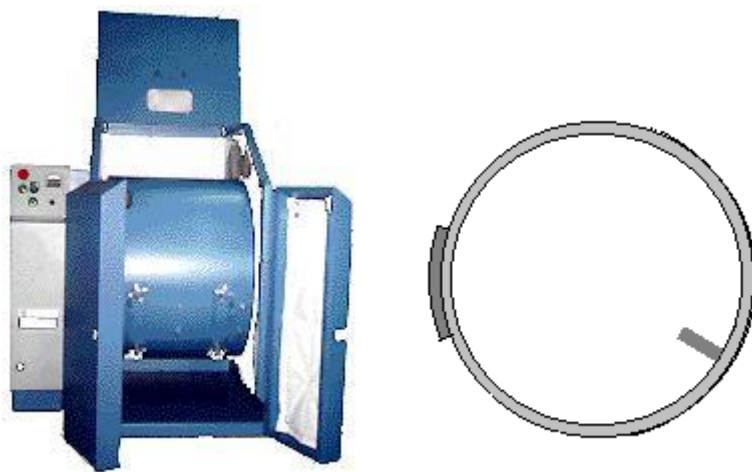
Η δοκιμή αυτή επινοήθηκε και σχεδιάστηκε το 1926 στο Εργαστήριο Δοκιμών της πόλης Los Angeles, από όπου πήρε και το όνομά της.

Η μηχανή Los Angeles αποτελείται από ένα χαλύβδινο κύλινδρο, κλειστό στις άκρες του, με εσωτερική διάμετρο  $711 + 5 \text{ mm}$  ( $28 + 0.2 \text{ in}$ ) και εσωτερικό μήκος  $508 + 5 \text{ mm}$  ( $20 + 0.2 \text{ in}$ ). Ο κύλινδρος στηρίζεται σε οριζόντιο άξονα, στον οποίο είναι στερεωμένος, αλλά δεν εισέρχεται στο εσωτερικό του κυλίνδρου. Είναι τοποθετημένος με τέτοιο τρόπο, ώστε η μηχανή να μπορεί να περιστρέφεται οριζόντια με ανοχή απόκλισης 1 στις 100 περιστροφές. Στην πλευρική επιφάνεια του κυλίνδρου υπάρχει θυρίδα από την οποία εισάγεται το δείγμα και η οποία κλείνει αεροστεγώς. Η θυρίδα είναι σχεδιασμένη έτσι που να διατηρεί την ίδια καμπυλότητα με τον κύλινδρο.

Στην εσωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου υπάρχει χαλύβδινο έλασμα, μήκους όσο αυτό του κυλίνδρου και πλάτους  $89 + 2 \text{ mm}$  ( $3.5 + 0.1 \text{ in.}$ ), το οποίο είναι τοποθετημένο κατά μήκος του κυλίνδρου. Η θέση του ελάσματος πρέπει να είναι τέτοια, ώστε το δείγμα αλλά και οι χαλύβδινες σφαίρες να μην προσκρούουν στο έλασμα, αλλά ούτε και στην επιφάνεια που καλύπτει το άνοιγμα του τυμπάνου. Η «περιφερειακή» απόσταση του ελάσματος από το

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

άνοιγμα τροφοδοσίας κατά τη φορά της περιστροφής του τυμπάνου δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 1270 mm (50 in.)



**Εικόνα 1.3.1** Μηχανή Los Angeles



**Εικόνα 1.3.2** Τοποθέτηση σφαιρών



**Εικόνα 1.3.3** Μηχανή LA

**Φορτίο σφαιρών**

Εντός της μηχανής εισάγονται χαλύβδινες σφαίρες διαμέτρου περίπου 47,5 mm και βάρους 390 - 445 g η κάθε μία. Ο αριθμός καθώς και το συνολικό βάρος των σφαιρών που χρησιμοποιούνται εξαρτάται από τη διαβάθμιση του προς δοκιμή υλικού και δίνονται στον Πίνακα 1.3.1.

**Πίνακας 1.3.1**

<b>Διαβάθμιση</b>	<b>Αριθμός σφαιρών</b>	<b>Βάρος φορτίου σφαιρών (g)</b>
<b>A</b>	<b>12</b>	<b>5.000</b>
<b>B</b>	<b>11</b>	<b>4.584</b>
<b>Γ</b>	<b>8</b>	<b>3.330</b>
<b>Δ</b>	<b>6</b>	<b>2.500</b>

**Εικόνα 1.3.4 Διαβαθμίσεις Σφαιρών**



Εικόνα 1.3.5 Φορτίο σφαιρών

#### 1.4 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Το προς δοκιμή δείγμα επιλέγεται από καθαρό αδρανές υλικό, αφού ξηρανθεί πρώτα στους  $110 \pm 5$  °C μέχρι σταθερής μάζας. Η ποσότητα του δείγματος, όπως και η κατάλληλη διαβάθμιση επιλέγεται από τον Πίνακα 1.4.1. Η διαβάθμιση αυτή πρέπει να είναι η πλησιέστερη του προς εξέταση αδρανούς

#### ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΕΙΣ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΑΝΟΙΓΜΑ ΒΡΟΧΙΔΩΝ		ΜΑΖΑ g			
ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ	ΠΑΡΑΜΕΝΟΝ	ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ			
		A	B	Γ	Δ
37.5mm (1 1/2 in.)	25.0mm (1 in.)	1250±25			
25.0mm (1 in.)	19.0mm (3/4 in.)	1250±25			
19.0mm (3/4 in.)	12.5mm (1/2 in.)	1250±10	2500±10		
12.5mm (1/2 in.)	9.5mm (3/8 in.)	1250±10	2500±10		
9.5mm (3/8 in.)	6.3mm (1/4 in.)			2500±10	
6.3mm (1/4 in.)	4.75mm (No 4.)			2500±10	
4.75mm (No 4.)	2.36mm (No 8.)				5000±10
ΣΥΝΟΛΟ		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

Πίνακας 1.4.1

### 1.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

Το δείγμα μαζί με τον αντίστοιχο αριθμό σφαιρών εισάγονται στη μηχανή Los Angeles. Η μηχανή τίθεται σε λειτουργία με ταχύτητα 30 - 33 περιστροφών ανά λεπτό. Για τις διαβαθμίσεις Α, Β, Γ και Δ απαιτούνται συνολικά 500 περιστροφές. Όταν συμπληρωθεί ο απαιτούμενος αριθμός περιστροφών, παραλαμβάνεται το υλικό, το οποίο στη συνέχεια κοσκινίζεται

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

σε κόσκινο ανοίγματος 1.68 mm (No 12). Το παραμένον στο κόσκινο No 12 υλικό εκπλένεται, ξηραίνεται στους  $110 \pm 5$  °C και ζυγίζεται με ακρίβεια 1 g.



**Εικόνα 1.5.1** Υλικό πριν και μετά την δοκιμή

### 1.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Η διαφορά μεταξύ του αρχικού και του τελικού βάρους του δείγματος εκφρασμένη ως ποσοστό επί τοις % του αρχικού βάρους δίνει το ποσοστό φθοράς του υπό εξέταση αδρανούς υλικού.

Η επί τοις % φθορά υπολογίζεται από τον τύπο:

$$W = \frac{A - B}{A} * 100$$

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

όπου:

**W = η ζητούμενη φθορά**

**A = αρχικό βάρος του δείγματος**

**B = το βάρος του παραμένοντος δείγματος επί του κόσκινου  
(+1.68 mm)**

**μετά τη δοκιμή**

### 1.7 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Με βάση τα αποτελέσματα της δοκιμής ένα αδρανές υλικό χαρακτηρίζεται ως σκληρό, μαλακό ή ενδιάμεσης σκληρότητας. Για την παρασκευή σκυροδέματος ανθεκτικού σε επιφανειακή φθορά (βιομηχανικά δάπεδα, σκυρόδεμα οδοποιίας) ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος ορίζει τιμή Los Angeles όχι μεγαλύτερη από 40%. Για παρασκευή ασφαλτικού σκυροδέματος οι προδιαγραφές (Π.Τ.Π. Α 265) ορίζουν τη χρήση αδρανών με επί τοις % φθορά μικρότερη του 40%. Για τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή βάσεων και υποβάσεων στην οδοποιία, οι ελληνικές προδιαγραφές (Π.Τ.Π. Α155 και 150) ορίζουν τιμή Los Angeles όχι μεγαλύτερη του 50. Για την κατασκευή έρμων σιδηροδρομικής γραμμής ορίζουν τη χρήση αδρανών υλικών με % φθορά σε κρούση μικρότερη ή ίση του 24.

### 1.8 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

Οι συνθήκες διεξαγωγής της δοκιμής Los Angeles που πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων και Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π., σύμφωνα και

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

με τα πρότυπα A.A.S.H.T.O. Νο.: T96-51 (A.S.T.M.: C131-51), ήταν οι ακόλουθες:

- ❖ Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν μείγμα από γαρμπίλι και χαλίκι (ασβεστόλιθος) με βάρος δείγματος 5 kg, το οποίο προηγουμένως είχε ξηρανθεί στους 110 °C.
- ❖ Η κοκκομετρία του δείγματος και το βάρος κάθε κοκκομετρικού κλάσματος ήταν σύμφωνα με τη διαβάθμιση A του Πίνακα 1.4 1. Αναλυτικότερα:

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ	ΒΑΡΟΣ (g)
-37.5+25 mm	1243.9
-25+19 mm	1254.6
-19+12.5 mm	1251.8
-12.5+9.5 mm	1250.3
ΣΥΝΟΛΟ	5000.6

Πίνακας 1.8.1: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος δοκιμής.

- ❖ Βάρος αποξεστικού μέσου (σφαίρες) 5065.7g σύμφωνα πάντα και με τη διαβάθμιση A που αντιστοιχεί στην κοκκομετρία του αντίστοιχου δείγματος
- ❖ Ταχύτητα περιστροφής τυμπάνου 30-33RPM.
- ❖ Συνολικός αριθμός περιστροφών 500.

Μετά τη δοκιμή το υλικό κοσκινίστηκε σε κόσκινο με άνοιγμα βροχίδων 1.68 mm No12 και το κοκκομετρικό κλάσμα +1.68 mm εκπλύθηκε, ξηράνθηκε σε θερμοκρασία 110 ° C, ζυγίστηκε και προσδιορίστηκε 3376.9g. Κατόπιν, υπολογίστηκε το ποσοστό της φθοράς που υπέστη το δείγμα στο μύλο, σύμφωνα με τον τύπο που προαναφέρθηκε σε **W= 32.4%**.



### 1.9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Σύμφωνα με το αποτέλεσμα της δοκιμής (**W= 32.4%**) και την αξιολόγηση που αναφέρεται πιο πάνω, το υλικό που χρησιμοποιήθηκε είναι κατάλληλο για την κατασκευή ασφαλτικού σκυροδέματος αλλά και σκυροδέματος. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε βάσεις και υποβάσεις δρόμων. Δεν μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε για σιδηροδρομικά έρμα διότι δεν πληρεί το υλικό την απαραίτητη κοκκομετρία.

**Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> - ΔΟΚΙΜΗ MICRO-DEVAL**



**Εικόνα 2** Διάταξη διεξαγωγής της δοκιμής micro-deval (Εργαστήριο Εμπλουτισμού Μετ/των Ε.Μ.Π)

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 2.1 ΣΚΟΠΟΣ

Η δοκιμή αυτή καλύπτει τη διαδικασία προσδιορισμού της αντοχής των αδρανών υλικών σε απότριψη με τη χρήση της συσκευής Micro-Deval. Θεωρείται η πιο κατάλληλη δοκιμή για χονδρόκοκκα αδρανή υλικά ενδιάμεσου μεγέθους, που εκτίθενται σε καιρικές συνθήκες και υγρασία.

### 2.2 ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

Η δοκιμή αυτή δίνει την τάση των υλικών (μείγμα χονδρόκοκκων αδρανών) για δημιουργία λεπτομερών τεμαχιδίων, ως αποτέλεσμα ενός συνδυασμού δράσεων συμπεριλαμβανομένης της θλίψης και της τριβής, σε ένα περιστρεφόμενο χαλύβδινο δοχείο το οποίο περιέχει συγκεκριμένο αριθμό χαλύβδινων σφαιρών, με την παρουσία νερού. Το δείγμα με συγκεκριμένη διαβάθμιση αρχικά διαποτίζεται με νερό για το τουλάχιστον μία ώρα. Έπειτα τοποθετείται σε χαλύβδινο δοχείο μαζί με 2 L νερό και το φορτίο, το οποίο περιλαμβάνει χαλύβδινες σφαίρες διαμέτρου 9.5 mm και συνολικού βάρους 5000 g. Το δοχείο, με το υλικό, το νερό και το φορτίο περιστρέφονται με ταχύτητα 100 rpm για 2 ώρες. Το δείγμα στη συνέχεια εκπλένεται και ξηραίνεται. Ως απώλεια υπολογίζεται η ποσότητα του υλικού που διέρχεται από κόσκινο 1.18 mm εκφρασμένη ως ποσοστό επί τοις % του αρχικού δείγματος.

### 2.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΗΧΑΝΗΣ MICRO – DEVAL

Η μηχανή Micro-Deval εφευρέθηκε στη Γαλλία το 1960, ερευνήθηκε και τροποποιήθηκε από Καναδούς στα μέσα της δεκαετίας του 90 και λίγο αργότερα τυποποιήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Η συσκευή αποτελείται από δύο κυλινδρικά ράουλα με επένδυση από καουτσούκ στα οποία εφαρμόζονται τα επίσης κυλινδρικά δοχεία, που μπορούν να περιστρέφονται με ταχύτητα  $100 \pm 5$  rpm.

Τα κυλινδρικά δοχεία είναι κατασκευασμένα από ανοξείδωτο χάλυβα, έχουν χωρητικότητα 5 L και μία ροδέλα από καουτσούκ περιστροφικά στο καπάκι ασφαλείας. Έχουν εσωτερική διάμετρο  $194 \pm 2.0$  mm και εσωτερικό ύψος  $170 \pm 2.0$  mm. Οι εσωτερικές και η εξωτερικές επιφάνειες πρέπει να είναι επίπεδες και να μην έχουν αισθητές αυλακώσεις ή κοιλώματα.



**Εικόνα 2.3.1** Φωτογραφίες διατάξεων(συσκευών) Micro-Deval

**Φορτίο σφαιρών:** το φορτίο αποτελείται από μαγνητικές σφαίρες κατασκευασμένες από ανοξείδωτο χάλυβα. Πρέπει να έχουν διάμετρο  $9.5 \pm 0.5$  mm. Κάθε δοχείο της συσκευής απαιτεί φορτίο σφαιρών μάζας  $5000 \pm 5$  g σφαίρες.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ



**Εικόνα 2.3.2** Δοχεία και σφαίρες της συσκευής Micro-Deval

Τα κόσκινα που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να έχουν τετραγωνικό άνοιγμα βροχίδων και τα παρακάτω μεγέθη σύμφωνα με AASTO M 92 : 19.0 mm, 16.0 mm, 12.5 mm, 9.5 mm, 6.7 mm, 4.75 mm, 1.18 mm.

### 2.4 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Το δείγμα πρέπει να πλυθεί και να υποστεί ξήρανση στους  $110 \pm 5$  °C μέχρι σταθερής μάζας, να διαχωριστεί σε κοκκομετρικά κλάσματα σύμφωνα με CP 31A και να ανασυνδυαστεί με τέτοιο τρόπο που να ικανοποιεί μία από τις παρακάτω διαβαθμίσεις.

### Διαβάθμιση Α

Αυτή η διαβάθμιση χρησιμοποιείται όταν το μέγιστο ονομαστικό μέγεθος του συνόλου των αδρανών που αποτελούν το δείγμα είναι 16.0 mm ή και μεγαλύτερο. Το δείγμα στο σύνολο του μετά από έκπλυση και ξήρανση πρέπει να ζυγίζει  $1500 \pm 5$  g και να έχει την παρακάτω κοκκομετρία (Πίνακας 2.4.1).

**Πίνακας 2.4 1**

ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ	ΠΑΡΑΜΕΝΟΝ	ΜΑΖΑ (g)
19.0 mm	16.0 mm	375
16.0 mm	12.5 mm	375
12.5 mm	9.5 mm	750
Σύνολο		1500

### Διαβάθμιση Β

Αυτή η διαβάθμιση χρησιμοποιείται όταν το μέγιστο ονομαστικό μέγεθος του συνόλου των αδρανών που αποτελούν το δείγμα είναι 12.5 mm ή και μεγαλύτερο, αλλά σίγουρα μικρότερο από 16 mm. Το δείγμα στο σύνολο του μετά από έκπλυση και ξήρανση πρέπει να ζυγίζει  $1500 \pm 5$  g και να έχει την παρακάτω κοκκομετρία (Πίνακας 2.4.2).

**Πίνακας 2.4 2**


ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ	ΠΑΡΑΜΕΝΟΝ	ΜΑΖΑ (g)
12.5 mm	9.5 mm	750
9.5 mm	6.7 mm	375
6.7 mm	4.75 mm	375
Σύνολο		1500

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### Διαβάθμιση Γ

Αυτή η διαβάθμιση χρησιμοποιείται όταν το μέγιστο ονομαστικό μέγεθος του συνόλου των αδρανών που αποτελούν το δείγμα είναι λιγότερο από 12.5 mm. Το δείγμα στο σύνολο του μετά από έκπλυση και ξήρανση πρέπει να ζυγίζει  $1500 \pm 5$  g και να έχει την παρακάτω κοκκομετρία (Πίνακας 2.4.3).


**Πίνακας 2.4 3**

ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ	ΠΑΡΑΜΕΝΟΝ	ΜΑΖΑ (g)
9.5 mm	6.7 mm	750
6.7 mm	4.75 mm	750
		1500

### Διαβάθμιση Δ

Αυτή η διαβάθμιση χρησιμοποιείται όταν η δοκιμή περιλαμβάνει συνδυασμένη κοκκομετρία. Το δείγμα στο σύνολο του θα πρέπει να εκπλυθεί και να ξηρανθεί στους  $110 \pm 5$  °C έως ότου αποκτήσει σταθερή μάζα και στη συνέχεια να χωριστεί σε κοκκομετρικά κλάσματα. Το συνολικό τους βάρος θα είναι  $1500 \pm 5$  g και θα έχει την παρακάτω κοκκομετρία (Πίνακας 2.4.4).

**Πίνακας 2.4 4**

ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ	ΠΑΡΑΜΕΝΟΝ	ΜΑΖΑ (g)
19.0 mm	16.0 mm	250
16.0 mm	12.5 mm	250
12.5 mm	9.5 mm	500
9.5 mm	6.7 mm	250
6.7 mm	4.75 mm	250
		1500

## 2.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ



## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Προετοιμάζεται αντιπροσωπευτικό δείγμα  $1500 \pm 5$  g. Καταγράφεται η μάζα του (μάζα Α) με μέγιστη απόκλιση (ακρίβεια) ενός γραμμαρίου.

Το δείγμα διαποτίζεται με  $2.0 \pm 0.05$  L νερό βρύσης (θερμοκρασίας  $20 \pm 5$  °C) για τουλάχιστον μία ώρα. Αυτό μπορεί να γίνει είτε στα δοχεία της μηχανής Micro-Deval, είτε σε άλλα κατάλληλα διαμορφωμένα δοχεία. Στη συνέχεια το δείγμα τοποθετείται στα κυλινδρικά δοχεία της μηχανής Micro-Deval, μαζί με το νερό και  $5000 \pm 5$  g χαλύβδινες σφαίρες. Έπειτα τοποθετούνται τα ή τα δοχεία (αναλόγως πόσα δείγματα εξετάζουμε) στη συσκευή.

Για τη διαβάθμιση Α η μηχανή ρυθμίζεται με ταχύτητα περιστροφής  $100 \pm 5$  rpm για  $2 \text{ h} \pm 1 \text{ min.}$  Για τη διαβάθμιση Β για  $105 \text{ min.} \pm 1 \text{ min.}$  Για τη διαβάθμιση Γ για  $95 \text{ min} \pm 1 \text{ min.}$  Για τη διαβάθμιση Δ για  $105 \text{ min.} \pm 1 \text{ min.}$

Μόλις η μηχανή σταματήσει, τα κόσκινα με άνοιγμα βροχίδων 4.75 mm και 1.18 mm τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο και το περιεχόμενο του δοχείου (δείγμα και σφαίρες) ρίχνεται με προσοχή. Στο τέλος το χαλύβδινο δοχείο δεν πρέπει να περιέχει υπολείμματα δείγματος. Το εναπομείναν υλικό πλένεται καλά με νερό υπό πίεση, ώστε όλα τα υλικά που είναι μικρότερα να περάσουν από το κόσκινο 1.18 mm. Με ένα χειρομαγνήτη ή άλλο κατάλληλο μέσο αφαιρούνται οι χαλύβδινες σφαίρες, ενώ το υλικό που διέρχεται από το 1.18 mm κόσκινο απορρίπτεται.

Κατόπιν, το υλικό που παραμένει στο + 4.75 mm ενώνεται με αυτό που υπάρχει στο +1.18 mm, πολύ προσεκτικά ώστε να μη χαθεί καθόλου υλικό. Στη συνέχεια, το συνολικό υλικό ξηραίνεται στο φούρνο στους  $110 \pm 5$  °C μέχρι σταθερής μάζας, ζυγίζεται και καταγράφεται το βάρος του (μάζα Β).



**Εικόνα 2.5 1:** Υλικό πριν και μετά τη δοκιμή Micro – Deval.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 2.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Η διαφορά μεταξύ του αρχικού και του τελικού βάρους του δείγματος εκφρασμένη σε ποσοστό επί τοις % του αρχικού βάρους δίνει το ποσοστό φθοράς του υπό εξέταση αδρανούς υλικού.

Η επί τοις % φθορά υπολογίζεται από τον τύπο:

$$W = \frac{A - B}{A} * 100$$

όπου:

**W** = η ζητούμενη φθορά

**A** = αρχικό βάρος του δείγματος

**B** = το βάρος του παραμένοντος δείγματος επί του κόσκινου (+4.75 mm και +1.18 mm) μετά τη δοκιμή.

### 2.7 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

**Πίνακας 2.7 1**

Πεδίο εφαρμογής		Τύπος πετρώματος αδρανούς	Μέγιστη απώλεια μάζας
asphalt wearing coarse	AADT > 2500 per lane	Igneous and Metamorphic Gravel	5%

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

		<b>Traprock, Diabase, and Andesite</b>	<b>10%</b>
		<b>Dolomitic Sandstone, Granite, Gneiss</b>	<b>15%</b>
	<b>AADT &gt; 2500 per lane</b>		<b>17%</b>
<b>asphalt base coarse</b>			<b>21%</b>

### 2.8 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

Οι συνθήκες διεξαγωγής της δοκιμής Micro-Deval, που πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων και Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, σύμφωνα και με τα πρότυπα A.A.S.H.T.O. No.: TP58-00, ήταν οι ακόλουθες:

- ❖ Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν μείγμα από γαρμπίλι και χαλίκι. Πάρθηκαν 2 δείγματα με βάρος 1500.78 g και 1500 g αντίστοιχα, αφού προηγουμένως είχαν ξηρανθεί στους 110 °C.
- ❖ Η κοκκομετρία των δειγμάτων και τα βάρη του κάθε κοκκομετρικού κλάσματος ήταν σύμφωνα με τη διαβάθμιση A για το 1<sup>ο</sup> δείγμα και τη διαβάθμιση B για το 2<sup>ο</sup> δείγμα . Αναλυτικότερα:

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 1° Δείγμα-Διαβάθμιση Α

**Πίνακας 2.8 1**

ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ	ΠΑΡΑΜΕΝΟΝ	ΜΑΖΑ (g)
19.0 mm	16.0 mm	374.25
16.0 mm	12.5 mm	375.53
12.5 mm	9.5 mm	751
		1500.78

### 2° Δείγμα-Διαβάθμιση Β

**Πίνακας 2.8 2**

ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ	ΠΑΡΑΜΕΝΟΝ	ΜΑΖΑ (g)
12.5 mm	9.5 mm	750.1
9.5 mm	6.7 mm	375
6.7 mm	4.75 mm	374.9
		1500

- ❖ Βάρος αποξεστικού μέσου (σφαίρες) 5000 g σε κάθε δείγμα.
- ❖ Ταχύτητα περιστροφής δοχείων 100 rpm.
- ❖ Συνολικός αριθμός περιστροφών: για το 1° δείγμα (διαβάθμιση Α) η συσκευή θα εκτελέσει 12000 περιστροφές, ενώ για το 2° δείγμα (διαβάθμιση Β) η συσκευή θα εκτελέσει 10500 περιστροφές.

Η μηχανή ρυθμίστηκε αρχικά στις 10500 περιστροφές ώστε να ληφθεί το προϊόν της διαβάθμισης Β και στη συνέχεια ρυθμίστηκε για άλλες 1500 περιστροφές ώστε να ληφθεί το προϊόν και της διαβάθμισης Α.

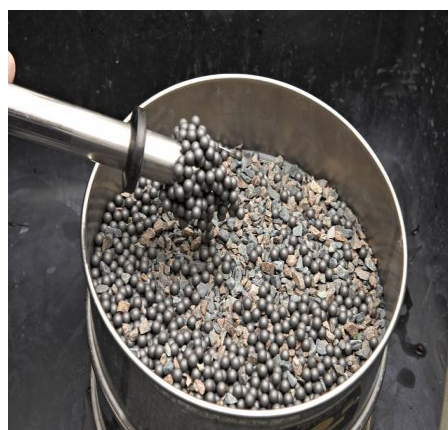
## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Μετά τη δοκιμή τα δείγματα πλύθηκαν και αφαιρέθηκαν από αυτά οι χαλύβδινες σφαίρες με τη βοήθεια μαγνήτη. Κατόπιν, τα δείγματα κοσκινίστηκαν και το υλικό που παρέμεινε στο κόσκινο + 4.75 mm και + 1.18 mm ξηράνθηκε, ζυγίστηκε και προσδιορίστηκε το βάρος του κάθε δείγματος. Για το 1<sup>ο</sup> δείγμα 1316.47g και για το 2<sup>ο</sup> δείγμα 1324.04 g. Στη συνέχεια υπολογίστηκε το ποσοστό της φθοράς που έχουν υποστεί τα δείγματα στο μύλο σύμφωνα με τον τύπο που προαναφέρθηκε και προσδιορίστηκε  $W_1 = 12.28\%$  και  $W_2 = 11.73\%$  για τη διαβάθμιση A και B αντίστοιχα.

### 2.9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Η δοκιμή Micro-Deval δεν περιλαμβάνεται στους Ελληνικούς Κανονισμούς και πρότυπα, όμως σύμφωνα με τον πίνακα 2.7 1. Για ποσοστό φθοράς  $W_1 = 12.28\%$  και  $W_2 = 11.73\%$  για τη διαβάθμιση A και B αντίστοιχα, το υλικό που χρησιμοποιήθηκε (ασβεστόλιθος) είναι κατάλληλο για ασφαλικές επιστρώσεις αλλά και βάσεις και υποβάσεις. Γενικά για σκυρόδεμα αφού και οι δύο δοκιμές προσδιορίζουν ένα αρκετά καλό ποιοτικά υλικό. Αν και πολύ καλό ποιοτικά υλικό δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για έρμα καθώς είναι λεπτόκοκκο.

**ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ**



**Εικόνα 2.8 1: Πολφός (σφαίρες, δείγμα, νερό)**

**Εικόνα 2.8 2:**

**Συσκευή σε λειτουργία**  
**μαγνήτη**

**Εικόνα 2.8 3: Αφαίρεση σφαιρών με**

**Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> – ΔΟΚΙΜΗ ΠΡΟΤΟΔΥΑΚΟΝΟΝ**



**Εικόνα 3:** Διάταξη διεξαγωγής της δοκιμής Protodyaconov (Εργαστήριο Εμπλουτισμού Μετ/των Ε.Μ.Π.).



### 3.1 ΣΚΟΠΟΣ

Η δοκιμή αυτή καλύπτει τη διαδικασία προσδιορισμού της αντοχής των αδρανών υλικών σε εφελκυσμό (σε θλίψη και κρούση) (με τη χρήση της συσκευής θραύσης Protodyakonov). Η δοκιμή Protodyakonov είναι μια δοκιμή η οποία πλεονεκτεί των πρότυπων δοκιμών σε θλίψη και εφελκυσμό, για τους παρακάτω λόγους:

- Χρησιμοποιεί δοκίμια ακανόνιστου σχήματος και όχι διαμορφωμένα με αποτέλεσμα το χαμηλό κόστος, καθώς και το μικρό χρόνο πραγματοποίησης των δοκιμών
- Η συσκευή της δοκιμής Protodyakonov είναι μικρού όγκου, φορητή και απλή στην κατασκευή έτσι ώστε οι δοκιμές να πραγματοποιούνται εργοταξιακά χωρίς να απαιτείται μεγάλος εργαστηριακός εξοπλισμός.
- Παρόλο που δεν είναι τόσο ακριβείς δίνουν μια «αποδεκτή» εκτίμηση της αντοχής των αδρανών.

### 3.2 ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

Για τον προσδιορισμό του συντελεστή αντοχής Protodyakonov (Protodyakonov rock strength coefficient)  $F$ , ενός πετρώματος με τη μέθοδο του Protodyakonov, όπως αυτή τροποποιήθηκε από το U.S. Bureau of Mines, λαμβάνεται δείγμα από το πέτρωμα με συνολικό βάρος (σε g) ίσο με 75 φορές το ειδικό βάρος (σε  $\text{g/cm}^3$ ). Κάθε δείγμα αποτελείται από δέκα τεμάχια ακανόνιστου σχήματος με βάρος 20g περίπου το καθένα. Τα τεμάχια αυτά τοποθετούνται ανά δύο στον πυθμένα της συσκευής θραύσης με κρούση (Rock strength drop tester) και θραύονται με διαδοχικές ελεύθερες πτώσεις της σφύρας (κύλινδρος κρούσης) της συσκευής. Το βάρος της σφύρας είναι 2,4 kg και το ύψος πτώσης 0,64 m από τον πυθμένα (επιφάνεια θραύσης) της συσκευής.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Κάθε τμήμα του δείγματος (δύο τεμάχια συνολικού βάρους 40 g περίπου) θραύεται με τον ίδιο ρυθμό πτώσεων της σφύρας και προσδιορίζεται το βάρος του παραγόμενου υλικού που διέρχεται από κόσκινο 35 mesh U.S.Std. (0,5mm), μετά από ένα αριθμό πτώσεων (π.χ. 5, 10, 15, 20, κτλ.).

Στη συνέχεια αφού έχουν υπολογιστεί το συνολικό βάρος ( $W_N$ ), ο στερεός όγκος ( $V_N$ ) και ο συντελεστής αντοχής ( $F_N$ ) του υλικού, επιλέγεται κατάλληλος (μεγαλύτερος ή μικρότερος) αριθμός πτώσεων της σφύρας, έτσι ώστε οι υπολογιζόμενες τιμές του δείκτη  $F_N$  να παρουσιάζουν ελάχιστη τιμή.

### 3.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΗΧΑΝΗΣ (ΣΥΣΚΕΥΗΣ) PROTODYAKONOV

Η συσκευή θραύσης Protodyakonov, αποτελείται από έναν μεταλλικό σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου 3 in και μήκους 26 in. Ο σωλήνας τοποθετείται μέσα σε μεταλλική βάση. Η βάση αυτή αποτελεί μια μήτρα με διάμετρο όση η εξωτερική διάμετρος του σωλήνα 3 1/4 in. Μέσα στο σωλήνα πραγματοποιείται η ελεύθερη πτώση της κυλινδρικής σφύρας, η οποία έχει σκληρυνθεί με ενανθράκωση και έχει διαστάσεις, μήκος 2 7/8 in, διάμετρος 2 7/8 in και βάρος 2.4 kg. Η σφύρα αναρτάται από συρματόσχοινο ώστε να μπορεί να ανυψωθεί μετά από κάθε διαδοχική πτώση της μέσα στο σωλήνα.

Ο σωλήνας της συσκευής καθώς και η μήτρα της συσκευής έχουν οπές διαμέτρου 1/4 in ώστε να μπορεί να εξέρχεται ο αέρας από το σωλήνα κατά την πτώση της σφύρας. Ακόμη, ο σωλήνας διαθέτει 3 βίδες στο ανώτερο χείλος του, που χρησιμεύουν για το σταμάτημα της σφύρας στο ανώτερο τμήμα της διαδρομής της, έτσι ώστε το ύψος πτώσης της να είναι σταθερό 0,64m.

### 3.4 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Τα δείγματα τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στη μέθοδο Protodyakonov παρασκευάζονται από χονδρομερή κομμάτια του πετρώματος που διαμορφώνονται με τη χρήση μικρού σφυριού, και έπειτα από διαδοχικές ζυγίσεις σε ζυγό ακριβείας. Έτσι θα παρασκευαστούν τεμάχια των 20 g περίπου. Εάν τα δείγματα είναι σε πιο λεπτομερή τεμάχια, η προαναφερθείσα διαδικασία παραλείπεται και απλά επιλέγονται τεμάχια των 20 g περίπου.

Κάθε τμήμα δείγματος αποτελείται από δύο τεμάχια των 20g τα οποία θα τοποθετηθούν στη συσκευή θραύσης για την πραγματοποίηση της δοκιμής.

### 3.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

Τα τεμάχια του δείγματος τοποθετούνται ανά δύο στον πυθμένα της συσκευής Protodyakonov. Έπειτα θραύονται με σταθερό ρυθμό πτώσεων της σφύρας και προσδιορίζεται το βάρος του υλικού που διέρχεται από κόσκινο με άνοιγμα βροχίδων 0.5 mm. Στη συνέχεια αφού έχουν υπολογιστεί το συνολικό βάρος ( $W_N$ ), ο στερεός όγκος ( $V_N$ ) και ο συντελεστής αντοχής ( $F_N$ ) του υλικού, επιλέγεται κατάλληλος (μεγαλύτερος ή μικρότερος) αριθμός πτώσεων της σφύρας έτσι ώστε οι υπολογιζόμενες τιμές του δείκτη  $F_N$  να παρουσιάζουν ελάχιστη τιμή.

Ο συντελεστής αντοχής  $F$  προσδιορίζεται γραφικά, από την καμπύλη του διαγράμματος  $F_N$  συναρτήσεως του  $N$ , και αντιστοιχεί στην ελάχιστη τιμή της καμπύλης. Ο συντελεστής αντοχής  $F$  του πετρώματος έχει διαστάσεις  $cm^{-3}$ , αλλά στην πράξη χρησιμοποιείται ως αδιάστατο μέγεθος ( αριθμός ) και αντιπροσωπεύει τη βέλτιστη ειδική ενέργεια κρούσης ( ενέργεια ανά μονάδα όγκου ) για παραγωγή υλικού με μέγεθος τεμαχίων  $\leq 0.5$  mm ή, γενικότερα την αντίσταση (αντοχή) του υλικού στην κατάτμηση.

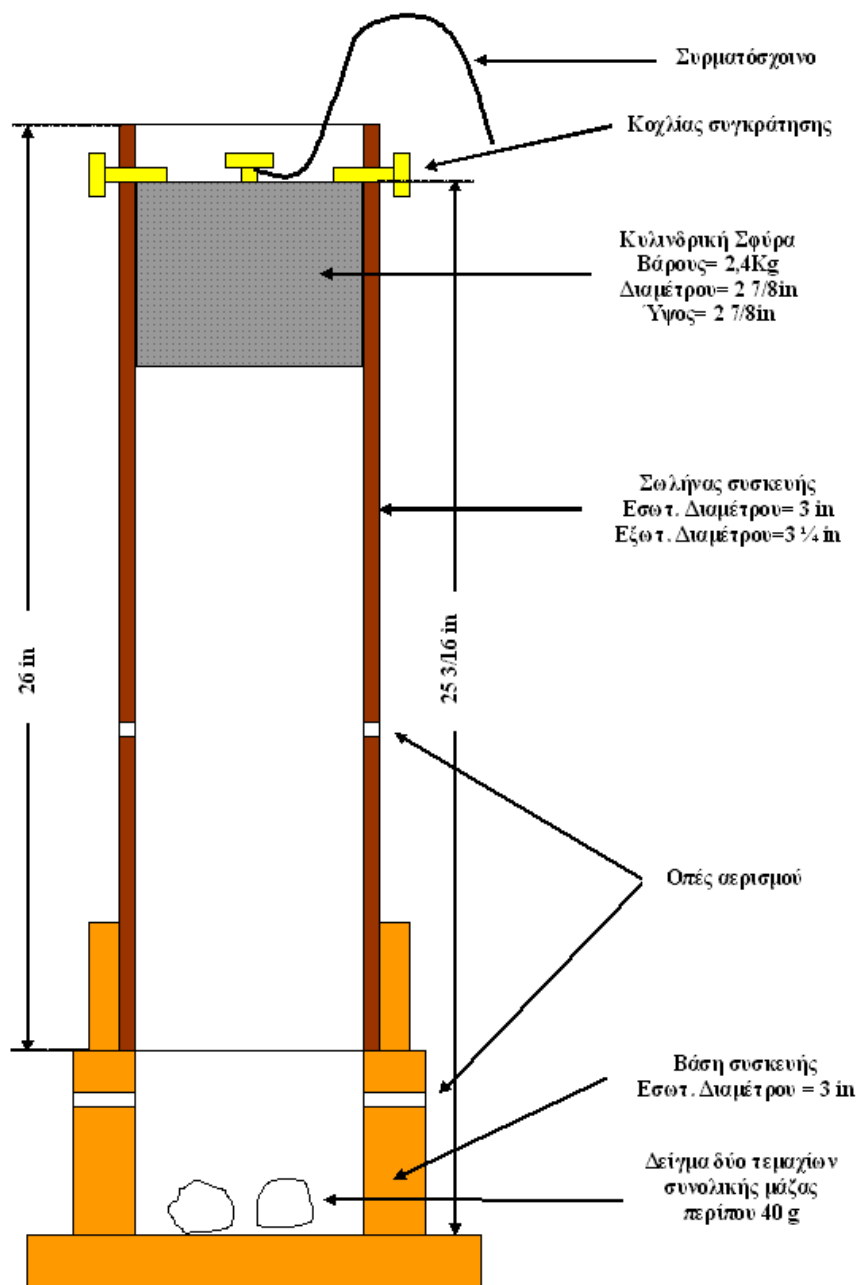
Ο συντελεστής αντοχής  $F$  του πετρώματος έχει δειχθεί ότι συσχετίζεται, με σχετική ακρίβεια, με:

- τη δυσθραυστότητα (*toughness*)
- το μέτρο δυσθραυστότητας (*modulus of resilience*),
- την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη,

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

- την σκληρότητα Shore,
- και την διατρησιμότητα (*drillability*) του πετρώματος με κρουστική ενέργεια.

Από το πλήθος των συσχετίσεων φαίνεται, ότι ο συντελεστής αντοχής  $F$  του πετρώματος είναι ένα μηχανικό χαρακτηριστικό, που μπορεί να συσχετιστεί με πολλές παραμέτρους αντοχής του πετρώματος.



**Εικόνα 3.4 1:** Διάταξη συσκευής Protodyakonov

### 3.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Για κάθε δείγμα (  $2 \times 5 = 10$  τεμάχια ) υπολογίζεται:

$$P_N = 100 - R_N$$

Όπου:  $P_N = A\theta\rho$ . Βάρος % διερχόμενο

$R_N = A\theta\rho$ . Βάρος % παραμένον

$$W_N = W \cdot P_N / 100$$

Όπου:  $W_N =$  Βάρος παραγόμενου υλικού, g

$W =$  συνολικό βάρος δοκιμίων

$$V_N = W_N / \rho$$

Όπου:  $V_N =$  Όγκος παραγόμενου υλικού,  $cm^3$

$\rho =$  Ειδικό βάρος πετρώματος,  $g/cm^3$

$$F_N = N / V_N$$

Όπου:  $F_N =$  Αριθμός πτώσεων /  $cm^3$ , συντελεστής αντοχής Protodyakonov

$N =$  Αριθμός πτώσεων σφύρας

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών αυτών, παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.7 6 και 3.7 7. Από τα δεδομένα των πινάκων αυτών προκύπτει το διάγραμμα του συντελεστή αντοχής  $F_N$  συναρτήσεως του αριθμού πτώσεων  $N$  της σφύρας για διάφορα μεγέθη  $d$  παραγόμενου υλικού ( Σχήμα 3.7 1 ).

Στον Πίνακα 3.7 8 δίνονται οι τιμές του συντελεστή αντοχής  $F_N$  και του αριθμού πτώσεων  $N$ , για μέγεθος παραγόμενου υλικού  $d \leq 0,5$  m. Από τα δεδομένα του πίνακα αυτού προκύπτει η καμπύλη  $F_N$  συναρτήσεως του  $N$ , για το υλικό που δοκιμάστηκε (Σχήμα 3.7 2). Ο πίνακας αυτός και η καμπύλη του

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

σχήματος δείχνουν τον τρόπο υπολογισμού του συντελεστή αντοχής  $F$ , σύμφωνα με την τυποποιημένη διαδικασία που προτάθηκε από το U.S.Bureau of Mines.

### 3.7 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

Οι συνθήκες διεξαγωγής της δοκιμής Protodyakonov για τον προσδιορισμό του συντελεστή αντοχής  $F$  που πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων και Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π., δεν έγινε σύμφωνα με τη διαδικασία που αναφέρθηκε αλλά με σχετική τροποποίηση αυτής (U.S.Bureau of Mines). Η τροποποιημένη αυτή διαδικασία όπως έχει ελεγχθεί, δεν επιδρά στην τιμή του τυποποιημένου συντελεστή αντοχής  $F$  και περιγράφεται στη συνέχεια.

Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν ασβεστόλιθος (χαλίκι). Το μέγεθος των τεμαχίων του ήταν ικανοποιητικό και έτσι για κάθε τμήμα του δείγματος επιλέχτηκαν δύο τεμάχια συνολικού βάρους 40 g περίπου. Τα τεμάχια τοποθετήθηκαν μέσα στη μεταλλική μήτρα της συσκευής όπως επίσης και ο σωλήνας, η σφύρα, καθώς και οι βίδες που σταματούν την σφύρα στο καθορισμένο ύψος της διαδρομής της ( 0,64 m από τον πυθμένα της συσκευής ).

Σε κάθε τμήμα του δείγματος, μετά από ένα συγκεκριμένο αριθμό πτώσεων της σφύρας της συσκευής, γίνονταν κοκκομετρική ανάλυση του θραυσμένου υλικού, το οποίο στη συνέχεια επανατοποθετούνταν στη συσκευή. Η ίδια διαδικασία (ίδιος αριθμός πτώσεων σφύρας, κοκκομετρική ανάλυση του υλικού) επαναλαμβάνονταν, μέχρι να συμπληρωθεί ο προκαθορισμένος συνολικός αριθμός πτώσεων της σφύρας. Ο συνολικός αριθμός των πτώσεων που χρησιμοποιήθηκε στις δοκιμές ήταν: 5-10-15-20.

Η κοκκομετρική ανάλυση στο κάθε τμήμα του δείγματος πραγματοποιήθηκε με σειρά κοσκίνων (διαμέτρου 8in) με άνοιγμα βροχίδων: 2, 1, 0.5 και 0.25mm. Η κοσκίνιση πραγματοποιήθηκε σε συσκευή μηχανικής κοσκίνισης Rotap (Εικ.3.7.1) με χρόνο κοσκίνισης τα 4 min.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ



**Εικόνα 3.7 1:** Συσκευή μηχανικής κοσκίνισης Rotap (Ε.Μ.Π.).



**Εικόνα 3.7 2:** Συσκευή Protodyakonov (Ε.Μ.Π.).

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

**Πίνακας 3.7.1 (Α)**

1° ΖΕΥΓΟΣ	ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝΤΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ g ΜΕΤΑ ΑΠΟ Ν ΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΦΥΡΑΣ			
ΑΝΟΙΓΜΑ ΒΡΟΧΙΑΩΝ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 5 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 10 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 15 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 20 ΠΤΩΣΕΙΣ
2	31.17	20.37	15.10	10.04
1	2.48	5.18	4.75	5.25
0.5	1.40	3.08	3.59	3.90
0.25	0.84	1.98	2.49	2.95
-0.25	3.21	8.24	12.73	16.26
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΕ g	39.1	38.88	38.46	38.4
ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΕ g	39.69			

**Πίνακας 3.7.1 (Β)**

1° ΖΕΥΓΟΣ	ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝΤΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ g ΜΕΤΑ ΑΠΟ Ν ΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΦΥΡΑΣ			
ΑΝΟΙΓΜΑ ΒΡΟΧΙΑΩΝ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 5 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 10 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 15 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 20 ΠΤΩΣΕΙΣ
2	31.64	20.81	15.58	10.37
1	2.51	5.29	4.90	5.42
0.5	1.42	3.14	3.70	4.03
0.25	0.85	2.02	2.56	3.04
-0.25	3.25	8.41	13.13	16.80
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΕ g	39.69	39.69	39.69	39.69
ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΕ g	39,69			



ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

**Πίνακας 3.7.1 (Α)**

2° ΖΕΥΓΟΣ	ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝΤΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ g ΜΕΤΑ ΑΠΟ Ν ΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΦΥΡΑΣ			
ΑΝΟΙΓΜΑ ΒΡΟΧΙΑΔΩΝ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 5 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 10 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 15 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 20 ΠΤΩΣΕΙΣ
2	34.78	28.22	21.07	15.84
1	1.77	3.74	5.04	5.32
0.5	0.81	1.90	2.80	3.87
0.25	0.36	1	1.83	2.48
-0.25	1.76	4.45	7.71	10.74
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΕ g	39.48	39.31	38.45	38.25
ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΕ g	40.16			

**Πίνακας 3.7.2 (Β)**

2° ΖΕΥΓΟΣ	ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝΤΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ g ΜΕΤΑ ΑΠΟ Ν ΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΦΥΡΑΣ			
ΑΝΟΙΓΜΑ ΒΡΟΧΙΑΔΩΝ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 5 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 10 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 15 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 20 ΠΤΩΣΕΙΣ
2	35.37	28.80	22.00	16.63
1	1.80	3.82	5.26	5.58
0.5	0.82	1.94	2.92	4.06
0.25	0.36	1.02	1.91	2.60
-0.25	1.79	4.54	8.05	11.27
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΕ g	40.16	40.16	40.16	40.16
ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΕ g	40.16			

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

**Πίνακας 3.7.3 (Α)**

3° ΖΕΥΓΟΣ	ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝΤΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ g ΜΕΤΑ ΑΠΟ Ν ΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΦΥΡΑΣ			
ΑΝΟΙΓΜΑ ΒΡΟΧΙΑΔΩΝ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 5 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 10 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 15 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 20 ΠΤΩΣΕΙΣ
2	35.35	29.52	21.76	16.04
1	.193	3.82	5.99	6.64
0.5	0.83	2.07	3.62	4.50
0.25	0.36	0.95	2.02	2.67
-0.25	1.05	3	5.88	9.06
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΕ g	39.52	39.36	39.27	38.91
ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΕ g	40.27			

**Πίνακας 3.7.3 (Β)**

3° ΖΕΥΓΟΣ	ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝΤΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ g ΜΕΤΑ ΑΠΟ Ν ΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΦΥΡΑΣ			
ΑΝΟΙΓΜΑ ΒΡΟΧΙΑΔΩΝ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 5 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 10 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 15 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 20 ΠΤΩΣΕΙΣ
2	36.02	30.20	22.31	16.60
1	1.96	3.90	6.14	6.87
0.5	0.84	2.11	3.71	4.65
0.25	0.36	0.97	2.07	2.76
-0.25	1.06	3.06	6.02	9.37
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΕ g	40.27	40.27	40.27	40.27
ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΕ g	40.27			

**Πίνακας 3.7.4 (Α)**

4° ΖΕΥΓΟΣ	ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝΤΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ g ΜΕΤΑ ΑΠΟ Ν ΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΦΥΡΑΣ			
ΑΝΟΙΓΜΑ ΒΡΟΧΙΑΔΩΝ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 5 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 10 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 15 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 20 ΠΤΩΣΕΙΣ
2	32.77	25.74	20.00	15.90
1	3.09	5.45	7.23	7.34
0.5	1.41	2.92	3.76	4.60
0.25	0.63	1.41	1.88	2.53
-0.25	2.22	4.51	6.84	9.34
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΕ g	40.12	40.03	39.71	39.71
ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΕ g	40.06			

**Πίνακας 3.7.4 (Β)**

4° ΖΕΥΓΟΣ	ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝΤΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ g ΜΕΤΑ ΑΠΟ Ν ΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΦΥΡΑΣ			
ΑΝΟΙΓΜΑ ΒΡΟΧΙΑΔΩΝ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 5 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 10 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 15 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 20 ΠΤΩΣΕΙΣ
2	32.22	25.75	20.17	16.04
1	3.08	5.45	7.29	7.40
0.5	1.40	2.92	3.79	4.64
0.25	0.62	1.41	1.89	2.55
-0.25	2.21	4.51	6.90	9.42
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΕ g	40.06	40.06	40.06	40.06
ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΕ g	40.06			

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

**Πίνακας 3.7.5 (Α)**

5° ΖΕΥΓΟΣ	ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝΤΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ g ΜΕΤΑ ΑΠΟ Ν ΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΦΥΡΑΣ			
ΑΝΟΙΓΜΑ ΒΡΟΧΙΑΔΩΝ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 5 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 10 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 15 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 20 ΠΤΩΣΕΙΣ
2	34.21	27.01	20.56	15.16
1	2.51	4.98	6.93	7.60
0.5	1.05	2.78	3.85	5.32
0.25	0.5	1.36	2.13	2.88
-0.25	1.53	3.65	6.31	8.69
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΕ g	39.8	39.78	39.78	39.65
ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΕ g	40.12			

**Πίνακας 3.7.5 (Β)**

5° ΖΕΥΓΟΣ	ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝΤΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ g ΜΕΤΑ ΑΠΟ Ν ΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΦΥΡΑΣ			
ΑΝΟΙΓΜΑ ΒΡΟΧΙΑΔΩΝ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 5 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 10 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 15 ΠΤΩΣΕΙΣ	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 20 ΠΤΩΣΕΙΣ
2	34.48	27.24	20.73	15.33
1	2.53	5.02	6.98	7.69
0.5	1.05	2.80	3.88	5.38
0.25	0.5	1.37	2.14	2.91
-0.25	1.54	3.68	6.36	8.79
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΕ g	40.12	40.12	40.12	40.12
ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΕ g	40.12			

**Πίνακας 3.7.6**

ΑΝΟΙΓΜΑ ΒΡΟΧΙΑΩΝ	ΒΑΡΗ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝΤΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΜΕΤΑ ΑΠΟ Ν ΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΦΥΡΑΣ ( g )							
	ΜΕΤΑ ΑΠΟ 5 ΠΤΩΣΕΙΣ		ΜΕΤΑ ΑΠΟ 10 ΠΤΩΣΕΙΣ		ΜΕΤΑ ΑΠΟ 15 ΠΤΩΣΕΙΣ		ΜΕΤΑ ΑΠΟ 20 ΠΤΩΣΕΙΣ	
	ΒΑΡΟΣ %	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ % (R <sub>N</sub> )	ΒΑΡΟΣ %	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ % (R <sub>N</sub> )	ΒΑΡΟΣ %	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ % (R <sub>N</sub> )	ΒΑΡΟΣ %	ΑΘΡΟΙΣ ΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ % (R <sub>N</sub> )
+ 2	84.73	84.73	66.3	66.3	50.31	50.31	37.43	37.43
+ 1	5.93	90.66	11.72	78.02	15.26	65.57	16.45	53.87
+ 0.5	2.76	93.42	6.44	84.46	8.98	74.55	11.36	65.23
+ 0.25	1.34	94.76	3.38	87.84	5.27	79.82	6.91	72.14
- 0.25	4.91	100	12.08	100	20.19	100	27.78	100
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (S <sub>ΣΥΝΟΛ</sub> ) W = 200.3								

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

**Πίνακας 3.7.7 :** Τιμές του συντελεστή  $F_N$  συναρτήσει του αριθμού πτώσεων  $N$  και του μεγέθους του προϊόντος  $d$ .

ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΤΩΣΕΩΝ $N$	ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ $d$ , mm															
	-2				-1				-0,5				-0,25			
	$P_N$ %	$W_N$ g	$V_N$	$F_N$	$P_N$ %	$W_N$ g	$V_N$	$F_N$	$P_N$ %	$W_N$	$V_N$	$F_N$	$P_N$ %	$W_N$ g	$V_N$	$F_N$
5	15.27	30.58	11.41	0.43	9.34	18.70	6.97	0.71	6.58	13.17	4.91	1.01	5.24	10.49	3.91	1.27
10	33.7	67.50	25.18	0.39	21.98	44.02	16.42	0.60	15.54	31.12	11.61	0.86	12.16	24.35	9.08	1.10
15	49.69	99.52	37.13	0.40	34.43	68.96	25.73	0.58	25.45	50.97	19.01	0.78	20.18	40.42	15.08	0.99
20	62.57	125.32	46.76	0.42	46.13	92.39	34.47	0.58	34.37	68.84	25.68	0.77	27.86	55.80	20.82	0.96

Όπου:

- ✚  $P_N = 100 - R_N = \text{Αθρ. Βάρος \% διερχόμενο}$
- ✚  $W_N = W \cdot P_N / 100 = \text{Βάρος παραγόμενου υλικού, g}$
- ✚  $V_N = W_N / \rho = \text{Όγκος παραγόμενου υλικού, cm}^3$
- ✚  $\rho = \text{ειδικό βάρος πετρώματος, g/cm}^3$
- ✚  $W = \text{συνολικό βάρος δοκιμής, g}$
- ✚  $F_N = N / V_N, \text{αριθμός πτώσεων/cm}^3 (\text{ΑΠ/cm}^3)$

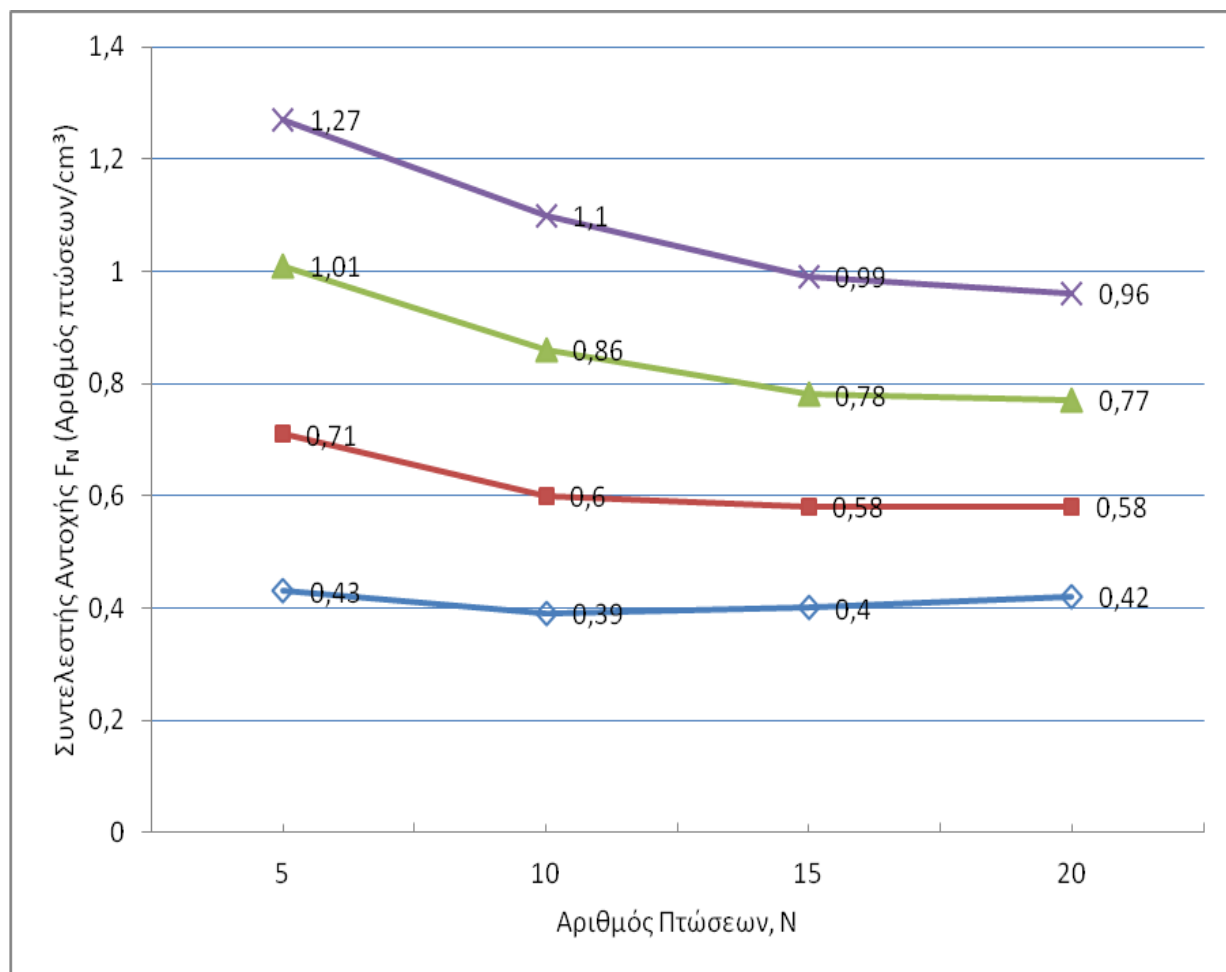
Συνολικό βάρος δοκιμών:  $W = 200,3 \text{ g}$

Ειδικό βάρος υλικού:  $\rho = 2,68 \text{ g}$

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

- +  $V_0 = W/\rho =$  συνολικός όγκος δοκιμίων,  $\text{cm}^3$
- + Ο δείκτης N, στις μεταβλητές του πίνακα, δηλώνει ότι η τιμή της αντίστοιχης μεταβλητής αναφέρεται σε N αριθμό πτώσεων.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ



**Σχήμα 3.7 1:** Μεταβολή του συντελεστή αντοχής  $F_N$  ασβεστόλιθου συναρτήσει του αριθμού πτώσεων  $N$  για διάφορα μεγέθη  $d$  παραγομένου προϊόντος.



**Πίνακας 3.7 8:** Προσδιορισμός συντελεστή αντοχής F του ασβεστολίθου.

<b>ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΝΤΟΧΗΣ (PROTODYAKONOV), F</b>				
<b>ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΤΩΣΕΩΝ N</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>
Αθρ.βάρος %διερχόμενου, υλικού -0,5mm, $P_N$ ( $P_N=100-R_N$ )	<b>6.58</b>	<b>15.54</b>	<b>25.45</b>	<b>34.37</b>
Βάρος παραγόμενου υλικού - 0,5mm, $w_N$ (g) $w_N=w.P_N/100$	<b>13.17</b>	<b>31.12</b>	<b>50.97</b>	<b>68.84</b>
Όγκος παραγόμενου υλικού - 0,5mm, $V_N$ $V_N = w_N / \rho$ (cm <sup>3</sup> )	<b>4.91</b>	<b>11.61</b>	<b>19.01</b>	<b>25.68</b>
$F_N = N / V_N$ (αριθ. πτώσεων/cm <sup>3</sup> )	<b>1.01</b>	<b>0.86</b>	<b>0.78</b>	<b>0.77</b>
<b>F=minimum <math>F_N</math></b>				

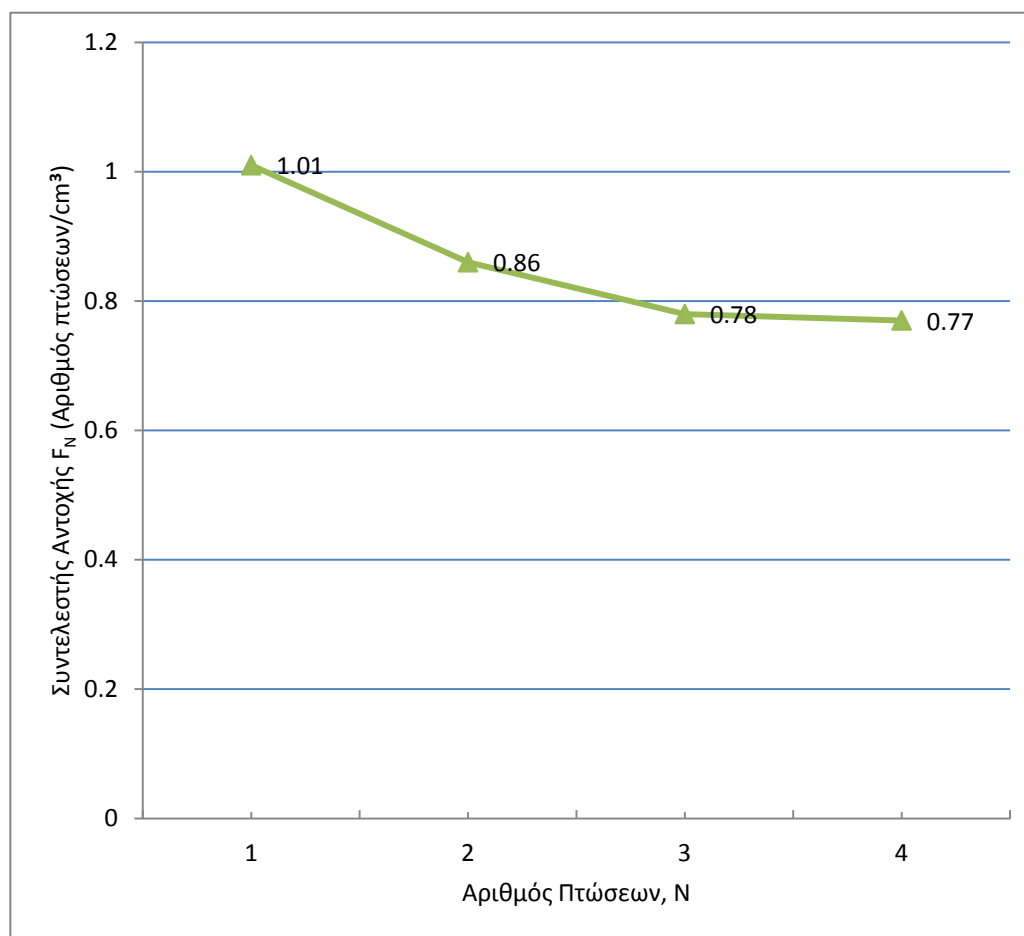
Όπου : F Συντελεστής αντοχής (σε κρούση) του πετρώματος, (ελάχιστη τιμή του  $F_N$  στο διάγραμμα  $F_N - N$ ), αριθμός πτώσεων/cm<sup>3</sup>.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Ο δείκτης N, στις μεταβλητές του πίνακα, δηλώνει ότι η τιμή της αντίστοιχης μεταβλητής αναφέρεται σε N αριθμό πτώσεων.

Συνολικό βάρος δοκιμίων :  $w = 201,54 \text{ g}$

Ειδικό βάρος υλικού :  $\rho = 2,68 \text{ g/cm}^3$



**Σχήμα 3.7 1:** Μεταβολή του συντελεστή αντοχής  $F_N$  ασβεστόλιθου συναρτήσει του αριθμού πτώσεων N για διάφορα μεγέθη d παραγομένου προϊόντος.

### 3.8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Ο συντελεστής αντοχής F του πετρώματος είναι ένα μηχανικό χαρακτηριστικό, που μπορεί να συσχετιστεί με πολλές παραμέτρους αντοχής του πετρώματος (αντοχή σε μονοαξονική θλίψη, δυσθραυστότητα, σκληρότητα Shore κ.α.) όπως έχει ήδη αναφερθεί και δεν υπάρχουν συγκεκριμένα όρια (προδιαγραφές).

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Η συντελεστής αντοχής σε κρούση του πετρώματος προσδιορίστηκε  $F= 0,78$  που αντιστοιχεί σε αριθμό πτώσεων 15. Σύμφωνα με αυτό, το υλικό μπορεί να χαρακτηριστεί πολύ μαλακό και εύθραυστο.

**Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> - ΔΟΚΙΜΗ ΕΠΙΜΗΚΩΝ ΚΑΙ ΠΛΑΚΩΔΩΝ  
ΤΕΜΑΧΙΩΝ**

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ



**Εικόνα 4:** Εξοπλισμός προσδιορισμού χαρακτηριστικών σχήματος τεμαχίων αδρανών Εργαστηρίου Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων Ε.Μ. Πολυτεχνείου.

### 4.1 ΣΚΟΠΟΣ

Η δοκιμή αυτή καλύπτει τη διαδικασία προσδιορισμού επιμήκων και πλακωδών τεμαχίων ως μέρη αδρανών υλικών. Όταν τα τεμάχια των αδρανών υλικών είναι επιμήκη και πλακώδη, έχουν την τάση να θραύονται πιο εύκολα κάθε άλλου είδους (σχήματος) τεμάχια. Όταν λοιπόν τα τεμάχια αυτά θραύονται, η κοκκομετρία του υλικού αλλάζει και το γεγονός αυτό μπορεί να προκαλέσει αστοχία της κατασκευής.

Τα στρογγυλεμένα τεμάχια προτιμώνται στο σκυρόδεμα καθώς βελτιώνουν την εργασιμότητα του σκυροδέματος. Επίσης τεμάχια συμμετρικού μεγέθους είναι επιθυμητά για τα χονδρομερή αδρανή, αφού αυξάνουν τη σταθερότητα, η οποία είναι απαραίτητη για την καλύτερη συνάφεια του υλικού. Όταν το σχήμα των τεμαχίων αποκλίνει από το σφαιρικό, όπως στα γωνιώδη, επιμήκη και πλακώδη τεμάχια, τα κενά μεταξύ των τεμαχίων αυξάνουν και για αυτό το λόγο η διαβάθμιση του υλικού πρέπει να ρυθμιστεί κατάλληλα, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη συνοχή του επί ξηρού μείγματος τεμαχίων.

### 4.2 ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

Ξεχωριστά τεμάχια αδρανών με συγκεκριμένη κοκκομετρία ελέγχονται όσον αφορά στις αναλογίες πλάτους – πάχους, μήκους – πλάτους ή μήκους – πάχους. Η δοκιμή εκτελείται σε δείγμα του οποίου η κοκκομετρία πρέπει να είναι αντιπροσωπευτική του υλικού. Το δείγμα κοσκινίζεται ώστε να διαχωριστούν τα τεμάχια που δεν διέρχονται από κόσκινο με άνοιγμα βροχίδων 9.5 mm (3/8 in.). Στη συνέχεια, κάθε ένα τεμάχιο ελέγχεται σε μια μετρητική συσκευή (Εικ.4.3 1 ) ή (Εικ.4.3 2). Τα τεμάχια που διέρχονται από τις οπές της μετρητικής συσκευής ζυγίζονται και προσδιορίζεται ο δείκτης πεπλατυσμένου κάθε δείγματος τεμαχίων.

Στη συνέχεια, κάθε ένα τεμάχιο ελέγχεται στη μετρητική συσκευή (Εικ.4.3 3) ως προς το μήκος των τεμαχίων του. Τα συγκρατούμενα μεγαλύτερου μήκους τεμάχια ζυγίζονται και προσδιορίζεται ο δείκτης επιμήκυνσης κάθε δείγματος τεμαχίων.

### 4.3 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΔΟΚΙΜΩΝ

Για το προσδιορισμό επιμήκων και πλακωδών τεμαχίων χρησιμοποιούνται:

- Μετρητική συσκευή για έλεγχο πάχους τεμαχίων (Εικ.4.3.1). Για μεγαλύτερη ευκολία χρησιμοποιούνται τα ειδικά κόσκινα (διάτρητα πλέγματα) της Εικόνας 4.3.2
- Μετρητική συσκευή για έλεγχο μήκους τεμαχίων (Εικ. 4.3.3).
- Ζυγαριά, με ακρίβεια 0.5% του βάρους των δειγμάτων.
- Φούρνος, αν είναι απαραίτητη η ξήρανση των δειγμάτων.



**Εικόνα 4.3 1:** Μετρητική συσκευή για έλεγχο πάχους τεμαχίων.



## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ



**Εικόνα 4.3 2:** Ειδικά κόσκινα (διάτρητα πλέγματα) για έλεγχο πάχους τεμαχίων.



**Εικόνα 4.3.3:** Μετρητική συσκευή μήκους για έλεγχο μήκους τεμαχίων.

#### 4.4 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Το δείγμα ξηραίνεται στους  $110 \pm 5$  °C μέχρι σταθερής μάζας. Στη συνέχεια το υλικό χωρίζεται σε 5 μικρότερα δείγματα σύμφωνα με την παρακάτω διαβάθμιση (Πίνακας 4.5.1):

**Πίνακας 4.4.1: Διαβάθμιση δειγμάτων.**

ΔΕΙΓΜΑΤΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ
Δείγμα 1	-37.5+25 mm ( 1 1/2" + 1")
Δείγμα 2	-25+19 mm ( -1" + 3/4")
Δείγμα 3	-19+12.5 mm (-3/4" + 1/2")
Δείγμα 4	-12,5+9.5 mm (-1/2" + 3/8")
Δείγμα 5	-9.5+6.3 mm (-3/8" + 1/4")

#### 4.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

1. Αν είναι απαραίτητο ξηραίνεται το δείγμα μέχρι σταθερής μάζας
2. Κάθε ένα τεμάχιο του δείγματος (κλάσματος) ελέγχεται ως προς το πάχος των τεμαχίων που διέρχονται από τις οπές της μετρητικής συσκευής προσδιορισμού πλακωδών τεμαχίων.
3. Κάθε ένα τεμάχιο του δείγματος (κλάσματος) ελέγχεται ως προς το μήκος των τεμαχίων που συγκρατούνται στη μετρητική συσκευή προσδιορισμού επιμήκων τεμαχίων.
4. Τα τεμάχια αυτά ζυγίζονται.
5. Προσδιορίζεται ο δείκτης πεπλατυσμένου και ο δείκτης επιμήκυνσης κάθε κοκκομετρικού κλάσματος (δείγματος).

### 4.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Ο δείκτης πεπλατυσμένου κάθε κοκκομετρικού κλάσματος προσδιορίζεται από το λόγο του βάρους των τεμαχίων που διέρχονται από τη μετρητική συσκευή προς το ολικό βάρος του δείγματος, αναγόμενος επί τοις %.

Ο δείκτης επιμήκυνσης κάθε κοκκομετρικού κλάσματος προσδιορίζεται από το λόγο του βάρους των τεμαχίων που συγκρατούνται από τη μετρητική συσκευή προς το ολικό βάρος του δείγματος, αναγόμενος επί τοις %.

### 4.7 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η παρουσία πεπλατυσμένων τεμαχίων αλλά και επιμήκων , σε μεγάλο ποσοστό σε σχέση με το βάρος των χονδρομερών αδρανών, θεωρείται γενικά ανεπιθύμητη χωρίς όμως να έχουν τεθεί συγκεκριμένα όρια, εκτός του ότι, προτείνεται τα τεμάχια να είναι κατά το δυνατόν κυβικής μορφής.

Συνηθέστερα για τα αδρανή σκυροδέματος προτείνεται ο δείκτης πεπλατυσμένου κάθε κοκκομετρικού κλάσματος να μην υπερβαίνει το 30%, ενώ ο δείκτης επιμήκυνσης για κάθε κοκκομετρικό κλάσμα να είναι μικρότερος από 40%.

#### 4.8 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

Οι συνθήκες διεξαγωγής και τα αποτελέσματα της δοκιμής προσδιορισμού επιμήκων και πλακωδών τεμαχίων που πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π., σύμφωνα και με τα πρότυπα Α.Α.Σ.Η.Τ.Ο. Νο.: Τ 27 (Α.Σ.Τ.Μ.: D 4791), παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.8.1, 4.8.2 και 4.8.3 που ακολουθούν.

- Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε στη δοκιμή ήταν ασβεστόλιθος.
- Η κοκκομετρία του υλικού παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.8 1.
- Ο δείκτης Πεπλατυσμένου και ο δείκτης Επιμήκυνσης στους Πίνακες 4.8 2 και 4.8 3, αντίστοιχα.
- Η διαδικασία της δοκιμής όπως και οι υπολογισμοί έγιναν, όπως αναφέρονται αναλυτικά στις αντίστοιχες παραγράφους.

**Πίνακας 4.8.1:** Κοκκομετρική ανάλυση δειγμάτων\

δοκιμών.

ΔΕΙΓΜΑΤΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ	ΒΑΡΟΣ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ, g	ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΚΚΩΝ
Δείγμα 1	-37.5+25 mm	1869,1	300
Δείγμα 2	-25+19 mm	5595,5	200
Δείγμα 3	-19+12.5 mm	3357,6	200
Δείγμα 4	-12,5+9.5 mm	650,1	100
Δείγμα 5	-9.5+6.3 mm	2319,2	100

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΔΕΙΓΜΑΤΑ	ΒΑΡΟΣ ΚΛΑΣΜΑΤΟ Σ (g)	ΒΑΡΟΣ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ (g)	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΕΠΛΑΤΥΣΜΕΝΟ Υ %
Δείγμα 1 ( 1/2 <sup>+</sup> +1 <sup>-</sup> )	1869,1	666,1	35,6
Δείγμα 2 ( -1 <sup>-</sup> + 3/4 <sup>+</sup> )	5595,5	1286,4	22,9
Δείγμα 3 (-3/4 <sup>+</sup> + 1/2 <sup>-</sup> )	3357,6	485,2	14,5
Δείγμα 4 (-1/2 <sup>-</sup> + 3/8 <sup>-</sup> )	650,1	376,1	57,8
Δείγμα 5 (-3/8 <sup>-</sup> + 1/4 <sup>-</sup> )	2319,2	669,5	28,8

**Πίνακας 4.8.2:** Αποτελέσματα δοκιμής για τον προσδιορισμό Πλακωδών  
τεμαχίων

ΔΕΙΓΜΑΤΑ	ΒΑΡΟΣ ΚΛΑΣΜΑΤΟ Σ (g)	ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΝ (g)	ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗΣ %
Δείγμα 1 ( 1/2 <sup>+</sup> +1 <sup>-</sup> )	1869,1	93,46	5
Δείγμα 2 ( -1 <sup>-</sup> + 3/4 <sup>+</sup> )	5595,5	307,75	5,5
Δείγμα 3 (-3/4 <sup>+</sup> + 1/2 <sup>-</sup> )	3357,6	292,11	8,7
Δείγμα 4 (-1/2 <sup>-</sup> + 3/8 <sup>-</sup> )	650,1	50,71	7,8
Δείγμα 5 (-3/8 <sup>-</sup> + 1/4 <sup>-</sup> )	2319,2	649,37	28

**Πίνακας 4.8.2:** Αποτελέσματα δοκιμής για τον προσδιορισμό Πλακωδών  
τεμαχίων.

### 4.9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με την αξιολόγηση αποτελεσμάτων που αναφέρθηκε παραπάνω και τα αποτελέσματα των δοκιμών που παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.8.2 και 4.8.3 συμπεραίνεται ότι όσον αφορά το δείκτη πεπλατυσμένου για όλα τα δείγματα (2, 3, 5) εκτός από το δείγμα 1 και 4 τηρούνται οι προδιαγραφές για τη χρησιμοποίησή τους στην παραγωγή σκυροδέματος. Επιπλέον, όσον αφορά το δείκτη επιμήκυνσης συμπεραίνεται ότι και τα 5 δείγματα πληρούν τις προδιαγραφές για τη χρησιμοποίησή τους στην παραγωγή σκυροδέματος. Επίσης παρόλο που δεν έχουμε κάποιο συγκεκριμένο ποσοστό για βάσεις και υποβάσεις δρόμων μπορεί να χρησιμοποιηθεί διότι δεν έχουμε μεγάλα ποσοστά πεπλατυσμένου και επιμήκυνσης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΕΠΙΛΟΓΟΣ

**ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΕΠΙΛΟΓΟΣ**

### Συμπεράσματα Δοκιμών

#### Δοκιμή Los Angeles

Σύμφωνα με το αποτέλεσμα της δοκιμής ( $W = 32.4\%$ ), το υλικό που χρησιμοποιήθηκε είναι κατάλληλο για την παρασκευή σκυροδέματος. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε βάσεις και υποβάσεις δρόμων. Δεν μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε για σιδηροδρομικό έρμα διότι δεν ικανοποιεί το υλικό την απαραίτητη κοκκομετρία.

#### Δοκιμή Micro-Deval

Η δοκιμή Micro-Deval δεν περιλαμβάνεται στους Ελληνικούς Κανονισμούς και πρότυπα. Για ποσοστό φθοράς  $W_1 = 12.28\%$  και  $W_2 = 11.73\%$  για τη διαβάθμιση A και B αντίστοιχα, το υλικό που χρησιμοποιήθηκε (ασβεστόλιθος) είναι κατάλληλο για ασφαλικές επιστρώσεις αλλά και βάσεις και υποβάσεις. Γενικά για σκυρόδεμα αφού και οι δύο δοκιμές προσδιορίζουν ένα αρκετά καλό ποιοτικά υλικό. Αν και πολύ καλό ποιοτικά υλικό δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για έρμα καθώς είναι λεπτόκοκκο.

#### Δοκιμή Protodyakonov

Ο συντελεστής αντοχής  $F$  του πετρώματος είναι ένα μηχανικό χαρακτηριστικό, που μπορεί να συσχετιστεί με πολλές παραμέτρους αντοχής του πετρώματος (αντοχή σε μονοαξονική θλίψη, δυσθραυστότητα, σκληρότητα Shore κ.α.) όπως έχει ήδη αναφερθεί και δεν υπάρχουν συγκεκριμένα όρια (προδιαγραφές).

Η συντελεστής αντοχής σε κρούση του πετρώματος προσδιορίστηκε  $F = 0,78$  που αντιστοιχεί σε αριθμό πτώσεων 15. Σύμφωνα με αυτό, το υλικό μπορεί να χαρακτηριστεί πολύ μαλακό και εύθραυστο.

#### Δοκιμή Επιμήκων και Πλακώδων Τεμαχίων

Σύμφωνα με την αξιολόγηση αποτελεσμάτων που αναφέρθηκε παραπάνω και τα αποτελέσματα των δοκιμών που παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.8.2 και 4.8.3 συμπεραίνεται ότι όσον αφορά το δείκτη πεπλατυσμένου για όλα τα δείγματα (2, 3, 5) εκτός από το δείγμα 1 και 4 τηρούνται οι προδιαγραφές για τη χρησιμοποίησή τους στην παραγωγή σκυροδέματος. Επιπλέον, όσον αφορά το δείκτη επιμήκυνσης συμπεραίνεται ότι και τα 5 δείγματα πληρούν τις προδιαγραφές για τη χρησιμοποίησή



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΕΠΙΛΟΓΟΣ

τους στην παραγωγή σκυροδέματος. Επίσης παρόλο που δεν έχουμε κάποιο συγκεκριμένο ποσοστό για βάσεις και υποβάσεις δρόμων μπορεί να χρησιμοποιηθεί διότι δεν έχουμε μεγάλα ποσοστά πεπλατυσμένου και επιμήκυνσης.

### **Ολιστική εξαγωγή συμπεράσματος**

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω συμπεράσματα και σύμφωνα με τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν, η μελέτη δείχνει ότι το υλικό που χρησιμοποιήθηκε είναι κατάλληλο για την παραγωγή σκυροδέματος. Επίσης, μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε για την κατασκευή βάσεων και υποβάσεων. Δεν μπορεί να εξαχθεί συμπέρασμα αν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο σιδηροδρομικό έρμα διότι το υλικό που είχαμε στην κατοχή μας, ήταν λεπτόκοκκο και δεν πληρούσε τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του έρματος.

### **Επίλογος - Προτάσεις για μελλοντική έρευνα**

Η εργασία αυτή με βοήθησε στην εκμάθηση διάφορων πειραματικών μεθόδων ελέγχου καταλληλότητας των Αδρανών Υλικών ως προς τις μηχανικές τους ιδιότητες, αλλά και μεθόδων αξιολόγησης των γεωμετρικών τους χαρακτηριστικών. Η έρευνα αυτή θα μπορούσε να επεκταθεί ως εξής

- Με τη χρησιμοποίηση και άλλων πειραματικών μεθόδων (πχ ισοδύναμο άμμου, μπλε του μεθυλενίου).
- Με τον προσδιορισμό και των χημικών και ορυκτολογικών ιδιοτήτων των Αδρανών, εφόσον το υλικό μας είναι κατάλληλο για σκυρόδεμα, για την πληρέστερη περιγραφή του υλικού.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Metso Minerals, «Crushing and Screening Handbook», Brochure No. 2051-04-07-CBL/Tampere (2007)
2. Mitchell, C. Benn, A., «Quarry Fines Minimisation: Process Optimization Case Study 4» British Geological Survey and Metso Minerals (UK) Ltd (2007)
3. Τσακαλάκης, Κ.Γ., «Κατανομές μεγέθους τεμαχίων προϊόντος θραύσης Γυροσκοπικού θραυστήρα βιομηχανικού μεγέθους», Μεταλλειολογικά – Μεταλλουργικά Χρονικά, Τεύχος 75, Μαΐος-Αύγουστος (1990a).
4. Τσακαλάκης, Κ.Γ., «Κλειστά κυκλώματα θραύσης-κοσκίνισης», Μεταλλειολογικά-Μεταλλουργικά Χρονικά, Τόμος 3, Τεύχος 4 (1993b).
5. Τσακαλάκης, Κ.Γ., «Αξιολόγηση και υπολογισμός κλειστών κυκλωμάτων θραύσης με νομογραφήματα», Μεταλλειολογικά – Μεταλλουργικά Χρονικά, Τόμος 6, τεύχος 1 (1996c).
6. Tsakalakis, K., «Use of a simplified method to calculate closed crushing circuits , Minerals Engineering», Vol. 13, No 12 (2000d), pp. 1289-1299, Pergamon
7. Τσακαλάκης, Κ.Γ., «Μελέτη παραμέτρων σχεδιασμού έμμεσων κλειστών κυκλωμάτων θραύσης», δημοσιεύτηκε στον Τιμητικό Τόμο για τον Καθ. Ι. Παπαγεωργάκη, Αθήνα (2001e).
8. Tsakalakis K.G., «Modelling the crushing-Sizing Procedure of Industrial Gyratory Crushers» , in 11<sup>th</sup> European Symposium on Comminution, October 9 12,2006, Budapest, Hungary (2006g).
9. Τσακαλάκης Κ.Γ., «Βελτιστοποίηση διεργασιών παραγωγής αδρανών υλικών», 1<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, 21-23 Μαΐου 2008, Τόμος Α', ΤΕΕ(2008).
10. Τσακαλάκης Κ.: Σημειώσεις παραδόσεων τεχνολογίας παραγωγής τσιμέντου και σκυροδέματος (Στο πλαίσιο του μαθήματος «Τεχνολογίας Τσιμέντου και Σκυροδέματος»), Αθήνα, Ιούνιος 2008.
11. Σταμπολτζής Γ.Α., Μηχανική Προσπαρασκευή Μεταλλευμάτων, Βιομηχανικών Ορυκτών και Πετρωμάτων (Υδραυλικοκαθορισμός-Κατάτμηση-Ταξινόμηση), Αθήνα 1994.
12. Λαγγιώτης Χ. Τεχνολογία Υλικών Οδοποιίας, Αθήνα 1960.
13. Μπόζας Γ. Διπλωματική Εργασία: Έλεγχος Φυσικών Χαρακτηριστικών Σύθεσης Αδρανών Υλικών για την Παρασκευή Σκυροδέματος, Αθήνα 2002.
14. Οδηγός Ασκήσεων για Τεχνολογία Δομικών Υλικών.
15. Κονιτόπουλος, Γ. Σημειώσεις από τις διαλέξεις του μαθήματος “Οπλισμένο Σκυρόδεμα”.
16. Λεγάκης, Α. 1980. Δομικά Υλικά. Εκδ. Ιδρύματος Ευγενίδου, Αθήνα, σελ. 336. Σιδέρης, Κ. 1984. Τεχνολογία Δομικών Υλικών. Εκδ. Δημοκρίτειου Πανεπιστήμιου Θράκης, Ξάνθη, σελ. 233.
17. Wenderhorst, R. 1975. Baustoffkunde (ομικά Υλικά). Curt R. Vinscent Verlag, Hannover, pp.730.
18. Σοφιανός, Γ. 2001. Τεχνικά Έργα Οδοποιίας, Εκδ. ΑΤΕΙ-Θ, Θεσσαλονική, σελ.205
19. Προδιαγραφή ΟΣΕ έρματος σιδηροδρομικών γραμμών τραίνων **υψηλών ταχυτήτων**
20. Προδιαγραφή ΟΣΕ έρματος σιδηροδρομικών γραμμών τραίνων **συνήθων ταχυτήτων**
21. ΕΛΟΤ EN 13450: Αδρανή για έρμα σιδηροδρομικής γραμμής (Aggregates for railway track ballast),

22. *Proposed Draft Harmonized Standard for Formal Vote, version of 23 March 2001*
23. P 18-540: Αδρανή (Granulats: Definitions, conformité, specifications)
24. ASTM Standards, Section 4: Construction, Volume 04.02: Concrete and Aggregates
25. Πρότυπος Τεχνική Προδιαγραφή 0 155 - Κατασκευή **Βάσεων** Οδοστρωμάτων δι' αδρανών υλικών σταθεροποιημένου τύπου
26. Πρότυπος Τεχνική Προδιαγραφή 0 150 - Κατασκευή **Υποβάσεων** Οδοστρωμάτων δι' αδρανών υλικών σταθεροποιημένου τύπου
27. ΕΛΟΤ EN 13242: Αδρανή για βάσεις και υποβάσεις σταθεροποιημένες ή μη με υδραυλικές κονίες για χρήση σε έργα πολιτικού μηχανικού και την κατασκευή δρόμων
28. (Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use civil engineering work and road construction) , Final Draft for Formal Vote, dated May 2002
29. ΟΔΟΠΟΙΙΑ, ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ-ΥΛΙΚΑ, ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ, Αθ. Νικολαΐδης,
30. 1<sup>η</sup> Έκδοση, Θεσσαλονίκη 1996
31. Προδιαγραφές εργαστηριακών δοκιμών Εδαφομηχανικής (Ε 105-86), Φ.Ε.Κ. 955/31-12-86
32. Οδηγός Ελέγχου Ποιότητας Κατασκευής Δημοσίων Έργων, ΕΣΠΕΛ, Ιούνιος 1999
33. P 18-540: Αδρανή (Granulats: Definitions, conformité, specifications)
34. Ηλεκτρονικές σελίδες:
  - i. [www.diocles.civil.duth.gr](http://www.diocles.civil.duth.gr)
  - ii. [www.geneq.com](http://www.geneq.com)
  - iii. [www.goodquarry.com](http://www.goodquarry.com)
  - iv. [//portal.tee.gr/portal/page/MATERIAL\\_GUIDES/P\\_AGGREGATES](http://portal.tee.gr/portal/page/MATERIAL_GUIDES/P_AGGREGATES)
  - v. [www.teicrete.gr](http://www.teicrete.gr)
  - vi. [www.co-asphalt.com](http://www.co-asphalt.com)
  - vii. [www.skyrodermanet.gr](http://www.skyrodermanet.gr)