

# ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΑΜΜΟΥ ΚΑΙ ΜΠΛΕ ΤΟΥ ΜΕΘΥΛΕΝΙΟΥ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΟΔΟΠΟΙΑΣ

Αθ.Φ. Νικολαΐδης

*Καθηγητής Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης*

*\*ΑΠΘ, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, 54124 Θεσσαλονίκη, [anik@civil.auth.gr](mailto:anik@civil.auth.gr)*

Ε. Μάνθος

*Πολιτικός Μηχανικός, Υποψήφιος Διδάκτωρ, ΑΠΘ, Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών*

Μ. Σαραφείδου

*Πολιτικός Μηχανικός, Υποψήφια Διδάκτωρ, ΑΠΘ, Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η καταλληλότητα των αδρανών υλικών για την κατασκευή της υπόβασης, της βάσης και των ασφαλτικών στρώσεων, προσδιορίζεται από διάφορες παραμέτρους- ιδιότητες. Μία από αυτές τις ιδιότητες είναι η «καθαρότητα» αυτών από αργιλικά υλικά. Οι δύο βασικές δοκιμές που προσδιορίζουν την καθαρότητα των αδρανών είναι η δοκιμή ισοδυνάμου άμμου και η δοκιμή μπλε του μεθυλενίου. Στην παρούσα εργασία γίνεται αναφορά στις δύο δοκιμές και στα όρια που χρησιμοποιούνται από τις διεθνείς προδιαγραφές. Στη συνέχεια, από ένα μεγάλο αριθμό δειγμάτων ασβεστολιθικών και μη ασβεστολιθικών αδρανών από λατομεία της Μακεδονίας, της Θράκης, της Ηπείρου και της Θεσσαλίας παρουσιάζονται αποτελέσματα μπλε του μεθυλενίου και ισοδυνάμου άμμου. Τέλος γίνεται συσχέτιση των αποτελεσμάτων για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Παράλληλα γίνεται συγκεκριμένη και τεκμηριωμένη πρόταση για άμεση εφαρμογή της δοκιμής του μπλε του μεθυλενίου και στην Ελλάδα σε έργα οδοποιίας.

Λέξεις κλειδιά: Αδρανή υλικά, Ισοδύναμο άμμου, Μπλε του μεθυλενίου, Καθαρότητα αδρανών

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια από τις βασικές παραμέτρους για την άρτια κατασκευή ενός οδοστρώματος είναι η καταλληλότητα των αδρανών υλικών που επιλέγονται να χρησιμοποιηθούν τόσο για την κατασκευή των ασύνδετων στρώσεων, όσο και για την παραγωγή του ασφαλτομίγματος. Η καταλληλότητα αυτή, εξαρτάται από διάφορες ιδιότητες – παραμέτρους που σχετίζονται με τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των αδρανών υλικών. Μία από αυτές είναι και η καθαρότητα τους από αργιλικά υλικά.

Το γενικότερο ενδιαφέρον για τα αργιλικά υλικά έγκειται στο γεγονός ότι ορισμένα από αυτά περιέχουν αργιλικά ορυκτά τα οποία έχουν την τάση να προσροφούν νερό και να διογκώνονται. Η ιδιότητα αυτή, γνωστή ως δραστηκότητα, τα καθιστά ακατάλληλα για χρήση στις ασύνδετες στρώσεις ενός οδοστρώματος. Όσον αφορά τα ασφαλτομίγματα, τα υλικά αυτά προκαλούν προβλήματα στη συνάφεια ασφάλτου-αδρανών και κατ' επέκταση στη συνεκτικότητα του ασφαλτομίγματος. Το ερώτημα που προκύπτει λοιπόν, είναι πως θα εντοπιστούν τα αργιλικά υλικά και πως θα γίνει η διάκριση εάν αυτά είναι επιβλαβή ή όχι.

Οι εργαστηριακοί έλεγχοι, οι οποίοι δίνουν απαντήσεις στα παραπάνω ερωτήματα, είναι η δοκιμή ισοδυνάμου άμμου και η δοκιμή μπλε του μεθυλενίου.

Στην παρούσα εργασία, αρχικά γίνεται μια αναφορά στο φαινόμενο της διόγκωσης των αργιλικών ορυκτών και σύντομη περιγραφή των παραπάνω εργαστηριακών ελέγχων. Επίσης, δίνονται και τα σχετικά όρια που χρησιμοποιούνται από εθνικές και διεθνείς προδιαγραφές.

Στη συνέχεια, από ένα μεγάλο αριθμό δειγμάτων ασβεστολιθικών και μη ασβεστολιθικών αδρανών υλικών παρουσιάζονται αποτελέσματα μπλε του μεθυλενίου και ισοδύναμου άμμου. Τα αδρανή υλικά που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία, συλλέχθηκαν από λατομεία της Μακεδονίας, της Θράκης, της Ηπείρου και της Θεσσαλίας. Επίσης, γίνεται συσχέτιση των αποτελεσμάτων για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Τέλος, γίνεται συγκεκριμένη και τεκμηριωμένη πρόταση για άμεση εφαρμογή της δοκιμής του μπλε του μεθυλενίου και στην Ελλάδα σε έργα οδοποιίας.

## 2. ΔΙΟΓΚΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΡΓΙΛΟΥ

Στην οδοποιία ο γενικός όρος άργιλος χρησιμοποιείται για να περιγράψει μικρότατους κόκκους με διάμετρο μικρότερη των 2μm. Τα αργιλικά σωματίδια είναι λεπτά και πλακόμορφα, αποτελούνται από διστρωματικούς ή τριστρωματικούς φυλλοειδείς σχηματισμούς πυριτικών τετραέδρων και αργιλικών οκταέδρων και έχουν τη μορφή πεταλίων πολύ μικρών διαστάσεων (Τσότσος 1991, Νικολαΐδης 2002).

Η κρυσταλλική δομή των σωματιδίων και η υπεροχή του αρνητικού ηλεκτρικού φορτίου στις δύο βασικές μονάδες από τις οποίες αποτελούνται, την πυριτική και την αργιλική, έχουν ως αποτέλεσμα η ελεύθερη επιφάνεια των σωματιδίων να είναι φορτισμένη αρνητικά. Όταν η άργιλος έρχεται σε επαφή με νερό, τον χώρο μεταξύ των αργιλικών σωματιδίων, καταλαμβάνουν τα μόρια του ύδατος, τα οποία και συμπεριφέρονται ως δίπολα με αρνητικό πόλο το άτομο του οξυγόνου και θετικό τα δύο άτομα του υδρογόνου. Όπως είναι φανερό, η ταυτόχρονη παρουσία των αρνητικά φορτισμένων αργιλικών σωματιδίων και των δίπολων του νερού έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη ηλεκτρομοριακών δυνάμεων, στην επαφή και το περιβάλλον των σωματιδίων, οι οποίες έλκουν και συγκρατούν τα δίπολα του νερού, σχηματίζοντας γύρω από τα σωματίδια μικρού εύρους στοιβάδα. Έτσι εξηγείται το γεγονός ότι η άργιλος έχει την ιδιότητα να προσροφά νερό (Τσότσος 1991).

Όπως προαναφέρθηκε τα αργιλικά σωματίδια είναι πολυστρωματικοί σχηματισμοί. Η απόσταση μεταξύ των στρωμάτων και η παρουσία ελεύθερων κατιόντων στον ενδοστρωματικό χώρο, είναι οι κύριες αιτίες της διόγκωσης ή μη της αργίλου. Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά διαφέρουν από το ένα αργιλικό ορυκτό στο άλλο. Η παρουσία ελεύθερων κατιόντων έχει ως αποτέλεσμα την απορρόφηση δίπολων νερού στον μεταξύ των στρωμάτων χώρο, ώστε να επιτευχθεί χημική ισορροπία. Όταν οι αποστάσεις των στρωμάτων είναι μικρές, οι ελκτικές δυνάμεις μεταξύ τους (δυνάμεις Van der Waals) είναι πολύ ισχυρές και υπερισχύουν της απορρόφησης του νερού, οπότε και δεν υφίσταται διόγκωση. Στην αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή οι αποστάσεις είναι μεγάλες, οι ενδοστρωματικοί δεσμοί είναι ασθενείς, και η απορρόφηση του νερού συνεχίζεται στον ενδοστρωματικό χώρο, έως ότου αυτοί καταρτηθούν. Τότε επέρχεται διαχωρισμός των κόκκων της αργίλου, γίνεται ανακατανομή αυτών στο χώρο και παρατηρείται το φαινόμενο της διόγκωσης. Το μέγεθος του φαινομένου εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, οι οποίοι δρουν μεμονωμένα ή και συνδυαστικά μεταξύ τους, ενισχύοντας ή αποδυναμώνοντας τους κύριους μηχανισμούς που προαναφέρθηκαν. Τέτοιοι είναι η πυκνότητα του επιφανειακού φορτίου, το σθένος των κατιόντων, η συγκέντρωση των ηλεκτρολυτών και η διηλεκτρική σταθερά (Mittell 1993).

Όπως γίνεται κατανοητό τα χαρακτηριστικά αυτά ποικίλουν μεταξύ των αργιλικών ορυκτών. Έτσι, υπάρχουν αργιλικά ορυκτά τα οποία διογκώνονται και άλλα που δεν διογκώνονται. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν κυρίως ορυκτά της οικογένειας των σμηκτιτών, με πιο

αντιπροσωπευτικό τον μοντιμοριλλονίτη. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκει ο πυρροφυλλίτης, ο μαργαρίτης αλλά και ο ιλλίτης (Mitcell 1993).

Το ζήτημα της καθαρότητας των αδρανών υλικών λοιπόν, ανάγεται όχι μόνο στον προσδιορισμό της παρουσίας αργιλικών συστατικών αλλά και της ικανότητας αυτών για διόγκωση ή όχι. Για τον προσδιορισμό της παρουσίας αργιλικών συστατικών χρησιμοποιείται ο έλεγχος του ισοδυνάμου άμμου, ενώ για την εξακρίβωση της δραστηριότητας αυτών ο έλεγχος του μπλε του μεθυλενίου.

### 3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ

#### 3.1 Έλεγχος του ισοδυνάμου άμμου

Ο έλεγχος εκτελείται με σκοπό το γρήγορο καθορισμό της σχετικής αναλογίας της λεπτότατης σκόνης αργιλώδους μορφής και της άμμου στα αδρανή που προορίζονται για υποβάσεις, βάσεις και ασφαλτομίγματα, καθώς και στα χαλικομιγή ή αμμώδη εδάφη. Η ύπαρξη χαμηλού ποσοστού ισοδυνάμου άμμου χαρακτηρίζει τα αδρανή ως μη «καθαρά» και αποτελεί μια ένδειξη, μόνο, της ύπαρξης επιβλαβούς ποσότητας πολύ λεπτών κόκκων διαστάσεων αργίλου.

Ο έλεγχος εκτελείται σε κλάσμα αδρανών υλικών 0/2mm σύμφωνα με την προδιαγραφή ΕΛΟΤ EN 933-8. Από αντιπροσωπευτικό δείγμα του υπό δοκιμή υλικού, λαμβάνεται ποσότητα 120gr και τοποθετείται σε ειδικό διαφανή ογκομετρικό σωλήνα. Ακολούθως, προστίθεται στο σωλήνα ειδικό υδατικό διάλυμα χλωριούχου ασβεστίου, μέχρι το ύψος των 100 mm περίπου. Το δείγμα του υλικού και το διάλυμα αφήνονται σε ηρεμία για 10 λεπτά περίπου. Με το πέρας του χρονικού αυτού διαστήματος, το περιεχόμενο του σωλήνα αναταράσσεται με παλινδρομικές κινήσεις για  $30 \pm 1$  δευτερόλεπτα. Κατόπιν προστίθεται επιπλέον ποσότητα διαλύματος από σωλήνα με σύστημα άρδευσης, μέχρι την πάνω στάθμη των  $380 \pm 0.25$  mm. Το διάλυμα με τα αδρανή αφήνεται σε ηρεμία για 20 min και κατόπιν μετράται το ύψος της άμμου ( $h_s$ ) και το ύψος της αργίλου ( $h_c$ ) (θολό αιώρημα). Η τιμή του ισοδυνάμου άμμου (SE) υπολογίζεται από την εξίσωση 1:

$$SE = (h_s / h_c) \times 100 \quad (1)$$

Η τιμή του ισοδυνάμου άμμου για το συγκεκριμένο αδρανές προσδιορίζεται από το μέσο όρο δύο ογκομετρικών σωλήνων και το αποτέλεσμα στρογγυλοποιείται στον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό.

Οι ελάχιστες επιτρεπτές τιμές ισοδυνάμου άμμου για αδρανή υλικά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή ασφαλτομιγμάτων ή στην κατασκευή βάσεων και υποβάσεων δίνονται στον Πίνακα 1.

#### 3.2 Έλεγχος του μπλε του μεθυλενίου

Ο έλεγχος μπλε του μεθυλενίου χρησιμοποιείται για την εξακρίβωση των ενεργών αργιλικών ορυκτών στα αδρανή. Τα ενεργά αργιλικά ορυκτά, σε αντίθεση με τα μη ενεργά, έχουν την τάση να διογκώνονται ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε νερό. Η διόγκωση αυτή έχει καταστροφικές συνέπειες τόσο για το ασφαλτόμιγμα, όσο και στις ασύνδετες στρώσεις του οδοστρώματος.

Πίνακας 1. Όρια ισοδύναμου άμμου

Αδρανή για:	Ισχύουσες Ελληνικές προδιαγραφές	Προσχέδιο νέων Ελληνικών προδιαγραφών
Ασφαλτομίγματα στρώσεων κυκλοφορίας	≥55	≥55
Ασφαλτομίγματα ασφαλικής βάσης	≥50	
Βάση από ασύνδετα αδρανή	≥50	≥40
Υπόβαση από ασύνδετα αδρανή	≥40	
Ψυχρά ασφαλτομίγματα		
- για επιφανειακή στρώση	≥55	-
- για ασφαλική βάση	≥45	
Ασφαλικές επαλείψεις	≥55	-

Ο έλεγχος βασίζεται στην αρχή της προσρόφησης, επί της ενεργής επιφάνειας των αργιλικών ορυκτών, των μορίων του μπλε του μεθυλενίου. Κατά τη δοκιμή μετράται η ποσότητα μπλε του μεθυλενίου για τη μοριακή επικάλυψη όλων των αργιλικών συστατικών των αδρανών. Η δοκιμή εκτελείται σύμφωνα με την προδιαγραφή ΕΛΟΤ EN 933-09.

Κατάλληλη ξηρή ποσότητα του υπό δοκιμή υλικού (200g-210g για κλάσμα 0/2mm ή 30±0.1 g για κλάσμα 0/0.125mm αδρανούς υλικού) προστίθεται σε 500+5ml αποσταγμένου νερού. Το διάλυμα αναδεύεται για 5 min και μετά το πέρας της ανάδευσης εισάγεται μέσα σε αυτό, μία δόση των 5 ml χρωστικής ουσίας (μπλε του μεθυλενίου). Εκτελείται νέα ανάδευση, για τουλάχιστον 1 λεπτό. Στη συνέχεια εκτελείται μια δοκιμή «κηλίδας». Η δοκιμή συνίσταται στο σχηματισμό με μια σταγόνα διαλύματος και πάνω σε διηθητικό χαρτί, μιας κηλίδας που αποτελείται από μία κεντρικά αποτιθέμενη ουσία με γενικά στερεό μπλε χρώμα, που περιβάλλεται από μία άχρωμη ζώνη. Η δοκιμή θεωρείται θετική όταν σχηματιστεί, περιφερειακά της κεντρικής απόθεσης, μία στεφάνη από ένα συνεχή δακτύλιο χρώματος ανοιχτού μπλε, γύρω στο 1 mm. Εάν μετά την προσθήκη της αρχικής ποσότητας των 5 ml χρωστικού διαλύματος δεν εμφανιστεί η στεφάνη, προστίθενται επιπλέον 5 ml χρωστικού διαλύματος, πραγματοποιείται ανάδευση για 1 λεπτό και εκτελείται μία δεύτερη δοκιμή «κηλίδας». Εάν εξακολουθεί να μην εμφανίζεται η στεφάνη η διαδικασία επαναλαμβάνεται, κατά τον ίδιο ακριβώς τρόπο, έως ότου αυτή εμφανιστεί. Η στεφάνη πρέπει να παραμείνει για 5 min, ώστε να θεωρησουμε ότι η δοκιμή περατώθηκε. Αν εξαφανιστεί στα 4 min, προστίθενται επιπλέον 5 ml χρωστικού διαλύματος. Αν εξαφανιστεί κατά τη διάρκεια του πέμπτου λεπτού, προστίθενται μόνο 2 ml χρωστικού διαλύματος. Μετά το πέρας της δοκιμής, καταγράφεται ο συνολικός όγκος του χρωστικού διαλύματος  $V_i$ , που προστέθηκε για να παραχθεί η στεφάνη, η οποία διατηρείται για 5 min, με ακρίβεια 1 ml.

Η τιμή του μπλε του μεθυλενίου, MB, εκφρασμένη σε γραμμάρια χρωστικής ουσίας ανά χιλιόγραμμο αδρανούς υλικού κλάσματος 0/2mm δίνεται από την εξίσωση 2:

$$MB = (V_i / M_i) * 10 \quad (\text{g/kg}) \quad (2)$$

Όπου  $M_i$  είναι η μάζα του δείγματος σε γραμμάρια και  $V_i$ , είναι ο συνολικός όγκος του προστιθέμενου χρωστικού διαλύματος σε χιλιοστόλιτρα.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται το κλάσμα 0/0.125mm το αποτέλεσμα καταγράφεται ως  $MB_F$ . Σε κάθε περίπτωση η τιμή μπλε του μεθυλενίου καταγράφεται με ακρίβεια 0.1g χρωστικής ουσίας ανά χιλιόγραμμο του κλάσματος.

Οι επιτρεπτές τιμές του μπλε του μεθυλενίου, που συνιστώνται από τις Γαλλικές προδιαγραφές (NF XP P 18-540), το προσχέδιο των Ελληνικών προδιαγραφών για ασφαλικό σκυρόδεμα κλειστού τύπου (A-100), καθώς και άλλες διεθνείς προδιαγραφές αναλόγως του που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν τα αδρανή, δίνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Επιτρεπτές τιμές μπλε του μεθυλενίου σύμφωνα με διεθνείς προδιαγραφές

Αδρανή υλικά για :	Επιτρεπτές τιμές μπλε του μεθυλενίου			
	Κατά NF XP P 18-540		Προσχέδια νέων Ελληνικών προδιαγραφών	
	MB	MB <sub>F</sub>	MB	MB <sub>F</sub>
Βάσεις και υποβάσεις, ή	≤2.0 όταν S.E.<60		-	-
	≤2.5 όταν S.E. <50	≤10	(≤3.0 <sup>(α)</sup> )	(≤10 <sup>(α)</sup> )
Ασφαλτικές βάσεις, ή	≤3.0 όταν S.E.<40		-	≤10
Συνδετικές στρώσεις			-	<10
Επιφανειακές ασφαλτικές στρώσεις	≤2	≤10	-	≤10
Σκυροδέματα	≤1	≤10	-	-
Σιδηροδρομικές γραμμές:				
Βάσεις έδρασης	1 ή 2	-	-	-
	Επιτρεπτές τιμές μπλε του μεθυλενίου <sup>(β)</sup>			
Ψυχρά ασφαλτομίγματα για μικρο-επιφανειακές στρώσεις		≤7, ή ≤8, ή ≤10		

(α) Κατά Εγνατία Οδό Α.Ε., απόφαση 354/12/29.8.03

(β) Σύμφωνα με προδιαγραφές άλλων χωρών

#### 4. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΣΘΗΚΑΝ

Τα αδρανή υλικά που εξετάστηκαν στην παρούσα ανακοίνωση προέρχονται από δεκαπέντε (15) λατομεία των περιοχών της Μακεδονίας, της Θράκης, της Ηπείρου και της Θεσσαλίας. Επίσης εξετάστηκε και ένα δείγμα σκωρίας. Τα οκτώ (8) αδρανή ήταν ασβεστολιθικής προέλευσης και τα επτά (7) μη ασβεστολιθικής προέλευσης που χαρακτηρίζονται μαζί με τη σκωρία ως σκληρά αδρανή, ή αδρανή για επιφανειακές στρώσεις. Στον Πίνακα 3 δίνεται η περιοχή προέλευσης των αδρανών υλικών και η αντίστοιχη αρίθμηση που επιλέχθηκε για τις ανάγκες της παρούσης. Σημειώνεται ότι, τα δείγματα 15-8 έως 15-14 προήλθαν από δειγματοληψία από ήδη διαστρωθείσες στρώσεις οδοστρωσίας (βάση ή υπόβαση) σε αντίθεση με όλα τα άλλα δείγματα που προέρχονται από σωρούς αποθήκευσης.

Πριν την εκτέλεση των δοκιμών ισοδυνάμου άμμου και μπλε του μεθυλενίου σε όλα τα δείγματα, πλην του Νο. 15, εκτελέστηκε και η κοκκομετρική ανάλυση αυτών, δεδομένου ότι η δειγματοληψία έγινε στο κλάσμα της άμμου. Οι κοκκομετρικές καμπύλες των ασβεστολιθικών αδρανών υλικών δίνονται στο Σχήμα 1, ενώ των μη ασβεστολιθικών υλικών και της σκωρίας στο Σχήμα 2. Στα δύο σχήματα δίνονται και τα συνιστώμενα όρια της άμμου για την παραγωγή ασφαλτικού σκυροδέματος κατά Α-100 (προσχέδιο νέων Ελληνικών προδιαγραφών για ασφαλτικό σκυρόδεμα).

Αξιοσημείωτη είναι η μεταβλητότητα της κοκκομετρικής διαβάθμισης της άμμου μεταξύ διαφορετικών λατομείων, όπως επίσης και του ποσοστού της παιπάλης που παράγεται. Το ποσοστό της παιπάλης κυμαίνεται από 8.5% έως 18.9% για τα ασβεστολιθικά αδρανή και από 4.5% έως 12.5% για τα μη ασβεστολιθικά αδρανή.

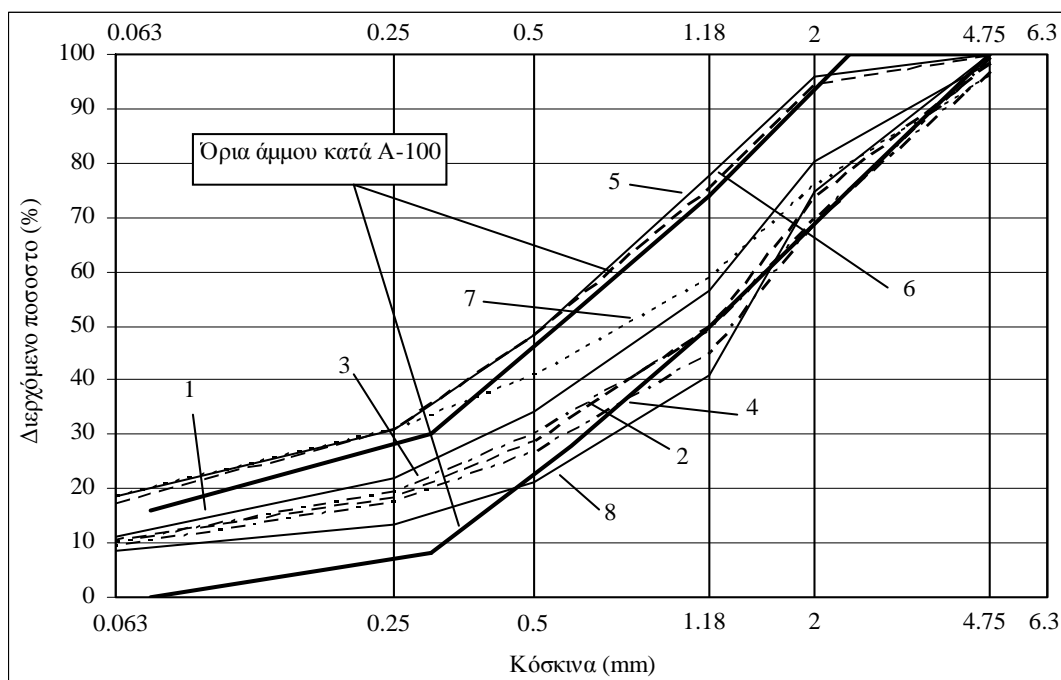
#### 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ

Τα αποτελέσματα των δοκιμών ισοδυνάμου άμμου και μπλε του μεθυλενίου συγκεντρωτικά δίνονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 3 Περιοχή προέλευσης δειγμάτων και αρίθμηση αυτών

Ασβεστολιθικά αδρανή		Μη ασβεστολιθικά αδρανή	
Περιοχή προέλευσης	Αρίθμηση	Περιοχή προέλευσης	Αρίθμηση
Νομός Έβρου	1	Νομός Έβρου	9
Περιοχή Θεσσαλονίκης	2-1 και 2-2	Νομός Μαγνησίας	10
Νομός Καβάλας	3	Νομός Ιωαννίνων	11
Νομός Έβρου	4	Νομός Γρεβενών	12
Νομός Ιωαννίνων	5	Νομός Κιλκίς	13
Νομός Ιωαννίνων	6	Νομός Πέλλας	14
Νομός Έβρου	7	Νομός Θεσσαλονίκης	15-1 έως 15-7 και 15-8 έως 15-14
Νομός Ιωαννίνων	8	Σκωρία	16

Σχήμα 1. Κοκκομετρική διαβάθμιση ασβεστολιθικών άμμων



## 6. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

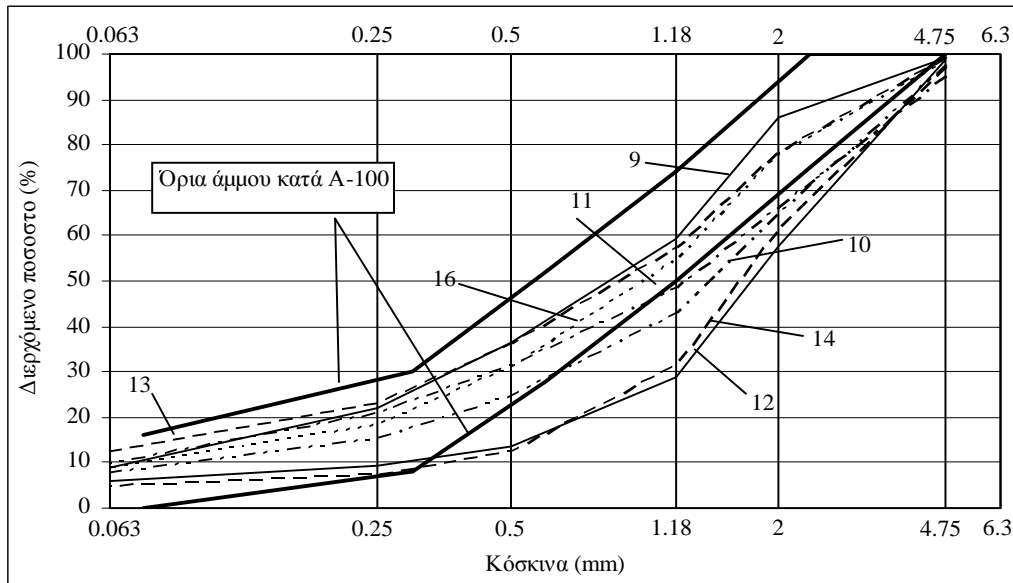
### 6.1 Ισοδύναμο άμμου

Όσον αφορά το ισοδύναμο άμμου των ασβεστολιθικών αδρανών κυμάνθηκε από 58 έως 80. Αντίστοιχα των μη ασβεστολιθικών από 22 έως 90. Βάσει των Ελληνικών προδιαγραφών όλα τα ασβεστολιθικά αδρανή που εξετάστηκαν κρίνονται κατάλληλα για οδοστρωσία καθώς και για παραγωγή ασφαλτικών μιγμάτων.

Για τα μη ασβεστολιθικά αδρανή ορισμένα μόνο κρίνονται κατάλληλα για οδοστρωσία και παραγωγή ασφαλτομιγμάτων. Από τα οκτώ εξετασθέντα υλικά μόνο τα πέντε, βάσει του κριτηρίου του ισοδύναμου άμμου, κρίνονται κατάλληλα για όλες τις εργασίες. Τα υπόλοιπα όπως το αδρανές Νο. 10 είναι κατάλληλο μόνο για κατασκευή υπόβασης και το Νο. 9 είναι κατάλληλο για οδοστρωσία γενικότερα αλλά όχι για ασφαλτομίγματα. Το αδρανές Νο. 15, λόγω της

μεταβλητότητας που παρουσιάζει, κρίνεται ακατάλληλο τόσο για οδοστρώσια όσο και για παραγωγή ασφαλτικών μιγμάτων.

Σχήμα 2. Κοκκομετρική διαβάθμιση μη ασβεστολιθικών άμμων



Πίνακας 4. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών

Αδρανές	Ασβεστολιθικά αδρανή			Αδρανές	Μη ασβεστολιθικά αδρανή		
	S.E	MB	MB <sub>F</sub>		S.E	MB	MB <sub>F</sub>
1	68	0.5	1.7	9	54	11.3	16.7
2-1	69	0.5	3.3	10	43	3.8	11.7
2-2	74	0.3	2.6	11	59	1.3	3.3
3	76	0.3	1.7	12	81	1.8	6.7
4	79	1.3	3.3	13	55	2.3	5.0
5	58	0.5	1.7	14	90	2.8	8.3
6	61	0.8	3.3	15-1 έως 15-7	45, 40, 30, 41, 34, 36, 40	1.8, 1.8, 2.0, 1.8, 1.8, 1.8, 0.8	5.0, 5.0, 5.0, 5.0, 3.3,
7	70	0.3	1.7	15-8 έως 15-14	22, 22, 23, 24, 22, 49, 48	2.5, 2.6, 2.7, 2.2, 1.9, 1.9, 2.0	5.0, 6.1, 6.7, 5.0, 5.0, 5.0, 5.0
8	80	0.3	1.7	16	77	0.3	1.7

Η μερική ή ολική ακαταλληλότητα των αδρανών υλικών βασίζεται, λόγω της φύσεως της δοκιμής, στο γεγονός ότι τα αδρανή αυτά εμπεριέχουν πολύ λεπτούς κόκκους στην περιοχή της αργίλου (<2μm), δίχως να εξετάζεται η δραστηριότητα των κόκκων.

## 6.2 Μπλε του μεθυλενίου

Οι τιμές μπλε του μεθυλενίου για τα ασβεστολιθικά αδρανή υλικά κυμάνθηκαν από 0.3 έως 1.3 για το κλάσμα 0/2mm και από 1.7 έως 3.3 για το κλάσμα 0/0.125mm.





Αυτό που μπορεί να ειπωθεί είναι ότι τα ασβεστολιθικά αδρανή που προέρχονται από θραύση καθαρών όγκων μητρικών πετρωμάτων έχουν υψηλές τιμές ισοδύναμου άμμου και μετά βεβαιότητας ικανοποιούν και το κριτήριο μπλε του μεθυλενίου.

Αντίθετα τα σκληρά πετρώματα, ακόμη και εάν ικανοποιούν το κριτήριο του ισοδύναμο άμμου είναι πολύ πιθανόν να περιέχουν αργιλικά ορυκτά που διογκώνονται και προκαλούν ανεπιθύμητες συνέπειες στην κατασκευή των οδοστρωμάτων. Εάν αυτά τα αδρανή χρησιμοποιηθούν στην οδοστρωσία, σπάνια περίπτωση λόγω μη επαρκών αποθεμάτων και σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις υψηλού κόστους, θα προκαλέσουν διόγκωση παρουσία υγρασίας και/ή παγετού. Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ασφαλτικών μιγμάτων θα προκαλέσουν μείωση της συνεκτικότητας του ασφαλτομίγματος και πρόωρη αποκόλληση των αδρανών από την επιφάνεια του οδοστρώματος παρουσία ύδατος.

## 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την εξέταση των αδρανών υλικών που προαναφέρθηκαν εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

1. Τα ασβεστολιθικά αδρανή όταν προέρχονται από θραύση καθαρών μητρικών πετρωμάτων έχουν υψηλές τιμές ισοδύναμου άμμου έναντι της πλειοψηφίας των μη ασβεστολιθικών (σκληρών) αδρανών που εξετάστηκαν.
2. Η δοκιμή του ισοδύναμου της άμμου δεν είναι ασφαλής για την απόρριψη ή την αποδοχή των αδρανών υλικών σε έργα οδοποιίας, ιδιαίτερα των μη ασβεστολιθικών αδρανών.
3. Για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας χρήσης των αδρανών υλικών για οδοστρωσία και/ή ασφαλτικά θα πρέπει, οπωσδήποτε, να εκτελείται και η δοκιμή μπλε του μεθυλενίου.
4. Όσον αφορά το κλάσμα στο οποίο είναι προτιμότερο να γίνεται ο έλεγχος, δεν φαίνεται να υπάρχει ουσιαστική διαφορά δεδομένου ότι τα αποτελέσματα και στις δύο περιπτώσεις δίνουν την αυτή πληροφορία. Με τη χρήση του κλάσματος 0/0.125mm παρατηρήθηκε μικρότερη διασπορά αποτελεσμάτων για το ίδιο πέτρωμα και καλύτερη επαναληψιμότητα. Επιπροσθέτως, η χρήση του κλάσματος 0/0.125mm απαιτεί μικρότερη ποσότητα αντιπροσωπευτικού δείγματος.
5. Από τα εξετασθέντα δείγματα των αδρανών υλικών (ασβεστολιθικών και μη ασβεστολιθικών) παρατηρήθηκε ότι μεταξύ λατομείων υπάρχει μεγάλη μεταβλητότητα όσον αφορά την κοκκομετρική τους διαβάθμιση.
6. Κατά κανόνα το παραγόμενο ποσοστό παιπάλης είναι μεγαλύτερο στα ασβεστολιθικά αδρανή έναντι των μη ασβεστολιθικών αδρανών.

## 9. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Για την διασφάλιση της ποιότητας της κατασκευής των οδοστρωμάτων προτείνεται όπως:

- α) Εισαχθεί άμεσα η δοκιμή μπλε του μεθυλενίου στις Ελληνικές προδιαγραφές ασφαλτικών μιγμάτων και οδοστρωσίας.
- β) Συνιστάται όπως η δοκιμή μπλε του μεθυλενίου εισαχθεί και στο Προσχέδιο των νέων Ελληνικών προδιαγραφών για υλικά οδοστρωσίας Ο-100 (2002). Σημειώνεται ότι η δοκιμή μπλε

του μεθυλενίου έχει ήδη εισαχθεί στο προσχέδιο των νέων Ελληνικών προδιαγραφών για ασφαλτικά σκυροδέματα Α-100 (2002).

γ) Ως όρια προτείνεται να χρησιμοποιηθούν τα ακόλουθα: για αδρανή υλικά ασύνδετων στρώσεων (βάση/υπόβαση):  $MB \leq 3$  ή  $MB_F \leq 10$ , β) για αδρανή υλικά ασφαλτικής βάσης και συνδετικής-ισοπεδωτικής στρώσης:  $MB \leq 2.5$  ή  $MB_F \leq 10$  και γ) για αδρανή υλικά επιφανειακών στρώσεων:  $MB \leq 2$  ή  $MB_F \leq 10$ .

δ) Ως κλάσμα που θα πρέπει να χρησιμοποιείται κατά τη δοκιμή συνιστάται να είναι το κλάσμα 0/0.125mm, εφόσον το ποσοστό της παιπάλης στο μίγμα των αδρανών είναι  $\geq 3\%$ , και το κλάσμα 0/2mm εφόσον το ποσοστό της παιπάλης στο μίγμα των αδρανών υλικών είναι  $< 3\%$ .

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Απόφαση 354/12/29.8.03, ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε

ΕΛΟΤ EN 933-08. Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών-Αξιολόγηση λεπτόκοκκου κλάσματος (παιπάλης)- Δοκιμή ισοδυνάμου άμμου.

ΕΛΟΤ EN 933-09. Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών- Ποιοτική αξιολόγηση λεπτόκοκκου κλάσματος- Δοκιμή μπλε του μεθυλενίου.

ISSA TB No 145, Methylene Blue Test. USA

Mitcell James K.1993. Fundamentals of soil behavior, 2<sup>nd</sup> edition, USA, John Wiley & Sons Inc.

Νικολαΐδης Αθανάσιος.2002. Οδοποιία: Οδοστρώματα, Υλικά, Έλεγχος ποιότητας, 2<sup>η</sup> έκδοση, Θεσσαλονίκη, Μ. Τριανταφύλλου & Σία.

Normalisation Fransaise XP P 18-540.1997. AFNOR.Granulats.

Σχέδιο Ελληνικής Πρότυπης Τεχνικής Προδιαγραφής Α-100.2002. Ασφαλτικό σκυρόδεμα κλειστού τύπου για ασφαλτικές στρώσεις. Επιτροπή Σύνταξης: Νικολαΐδης Αθ., Λοΐζος Ανδ., Μιχαηλίδης Εμμ., Μπαμπουνάκη Μ., Πραπίδης Μ.

Σχέδιο Ελληνικής Πρότυπης Τεχνικής Προδιαγραφής Ο-100.2002. Στρώσεις οδοστρωμάτων από ασύνδετα αδρανή υλικά. Επιτροπή Σύνταξης: Νικολαΐδης Αθ., Κόλιας Στ., Παπαβασιλείου Αν., Παπαμανώλης Θεοχ., Σουγλές Θεοφ.

Τσότσος Στέφανος.1991. Εδαφομηχανική: Θεωρία Μέθοδοι Εφαρμογές. Θεσσαλονίκη, Φ. Βερβερίδης & Π. Πολυχρονίδης Α.Ε.