

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΑΡΜΑΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Ν. Οικονόμου¹, Σ. Μαυρίδου², Π. Εσκίογλου³,

¹ Αναπληρωτής Καθηγητής, Εργαστήριο Δομικών Υλικών, 54124, Τ.Θ. 482, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,

E- mail: ikonomou@civil.auth.gr

² MSc Γεωλόγος Α.Π.Θ., Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός Α.Π.Θ., Υποψήφια Διδάκτορας Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ.

³ Αναπληρωτής Καθηγητής, Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην Ελλάδα δεκάδες χιλιάδες τόνοι στερεών αποβλήτων παράγονται κατά την επεξεργασία του μαρμάρου. Το υλικό που προκύπτει, με τη μορφή υδατικού αιωρήματος (μούργα) περιέχει λεπτόκοκκο, ασβεστολιθικό κυρίως, αδρανές (μαρμαρόσκονη), το οποίο είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές όπως για τη βελτίωση εδαφών είτε ως πρόσθετο σε δομικά προϊόντα.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η προσθήκη στερεού υπολείμματος αποβλήτων από την επεξεργασία μαρμάρου (Σ.Υ.Α.Ε.Μ.) σε τσιμεντοκονιάματα. Για το σκοπό αυτό παρήχθησαν συνθέσεις με το υλικό αυτό ως αδρανές, σε διάφορα ποσοστά και μελετήθηκαν φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των τσιμεντοκονιαμάτων. Από τα αποτελέσματα προκύπτει βελτίωση των χαρακτηριστικών των τσιμεντοκονιαμάτων με την προσθήκη του στερεού υπολείμματος αποβλήτων από την επεξεργασία μαρμάρου και κατά συνέπεια περιορισμός των αποθέσεων τους που αποτελούν τεράστιο περιβαλλοντικό πρόβλημα.

UTILIZATION OF WASTE FROM MARBLE TREATMENT IN THE PRODUCTION OF CEMENT MORTARS

Oikonomou N.¹, Mavridou S.², Eskioglou P.³

¹Associate Professor, Laboratory of Building Materials, 54124, P.O. Box 482, Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, E-mail: ikonomou@civil.auth.gr

² M.Sc Geologist, Civil Engineer, Ph.D Candidate, Dept. of Civil Engineering, A.U.Th.

³ Associate Professor, Department of Forestry and Physical Environment, A.U.Th.

ABSTRACT

In Greece, many thousands of tonnes of waste sludge originated during the processing of marble are generated annually. Its sludge consists of limestone, which can be used in the form of powder in various applications such as for soil stabilization or as additives in cement products.

The present study examines the potential for using this waste marble dust in cement mortars. For this purpose, a series of compositions have been conducted, where sludge has been used as a substitute for parts of aggregates (sand) in different amounts per weight of the sand and physical and mechanical characteristics of them have been examined.

Results showed an improvement of the characteristics of cement mortars modified with sludge from marble treatment. Thus its addition in such mortars and cement products in general is beneficial for the environment since it can lead to the reduction of the great volumes of these solid wastes.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ελλάδα αποτελεί μια χώρα, η οποία επεξεργάζεται και εξάγει τεράστιες ποσότητες μαρμάρων. Ενδεικτικά στην ευρύτερη περιοχή του Ν. Θεσσαλονίκης η ποσότητα αυτή υπερβαίνει τους 20.000 τόνους ετησίως. Ωστόσο κατά τη διαδικασία επεξεργασίας των μαρμάρων προκύπτει απόβλητο υδατικό αιώρημα, που περιέχει υλικό ασβεστολιθικής κυρίως σύστασης, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές, με την προϋπόθεση πως είναι γνωστή η επίδρασή του στα διάφορα χαρακτηριστικά των υλικών στα οποία προστίθεται. Το στερεό υπόλειμμα του αποβλήτου υδατικού αιωρήματος δρα θετικά σε εδαφικά μίγματα για τη σταθεροποίηση- ενίσχυση δασικών δρόμων[1-3], ως αντικατάστατο μέρους του τσιμέντου στην παραγωγή μιγμάτων slurry seal[4], ως φίλλερ για την κατασκευή οδοστρωμάτων στη θέση πούδρας αδρανών[5] ενώ πραγματοποιήθηκαν και μελέτες σχετικά με τη δυνατότητα προσθήκης του σε προϊόντα τσιμέντου[6,7].

Ο Εσκίογλου(1996) σταθεροποίησε δασικούς δρόμους σε δασικά συμπλέγματα της Δράμας, του Έβρου και της Ξάνθης με χρήση στερεού υπολείμματος αποβλήτου από την επεξεργασία μαρμάρων (Σ.Υ.Α.Ε.Μ.). Απέδειξε ότι ο δείκτης πλαστικότητας των εδαφών μειώθηκε και ακόμα περισσότερο σε εδάφη με πλαστικότητα. Η μείωση αυτή κυμάνθηκε μεταξύ 15-30% με ταυτόχρονη αύξηση της αντοχής των σταθεροποιημένων εδαφών κατά 25-50%. Η μέγιστη αντοχή παρατηρήθηκε όταν το ποσοστό Σ.Υ.Α.Ε.Μ. ήταν 8% και η διάρκεια σταθεροποίησης 28 ημέρες. Παράλληλα, η παραμορφωσιμότητα του εδάφους μειώθηκε κατά 11% ενώ το CBR αυξήθηκε κατά 50%.

Στα πλαίσια προγράμματος αποκατάστασης του περιβάλλοντος και ανάδειξης της πολιτιστικής κληρονομιάς από τις Εφορίες Αρχαιοτήτων, ερευνήθηκε η δυνατότητα ενίσχυσης των χωματοδρόμων προσέγγισης, με τη μέθοδο της σταθεροποίησης εδαφών σε 4 αρχαιολογικούς χώρους(περιοχή Μεσαιωνικής γέφυρας Πολυάνθου, βυζαντινοί ναοί του Παπίκιου όρους, Αρχαίο Μαρώνεια και Μεσήμβρια) με προσθήκη Σ.Υ.Α.Ε.Μ. από κοντινά λατομεία Δράμας, Θάσου και Καβάλας. Τα αποτελέσματα της έρευνας ήταν ενθαρρυντικά καθώς πέρα από την μείωση της πλαστικότητας των εδαφών μέχρι και 32% για ποσοστό Σ.Υ.Α.Ε.Μ 8% ιδίως σε αργιλώδη- πηλώδη εδάφη, παρατηρήθηκε αύξηση της βέλτιστης υγρασίας κατά 20% και μείωση της μέγιστης ξηρής πυκνότητας κατά 22%[2].

Παρόλα τα θετικά χαρακτηριστικά λατεριτικών εδαφών με προσθήκη Σ.Υ.Α.Ε.Μ., αυτά δεν κρίνονται ικανά για χρήση ως βάσεις σε υψηλού κυκλοφοριακού φόρτου οδοστρώματα, μπορούν ωστόσο να αποτελέσουν υλικό βάσεων οδοστρωμάτων χαμηλού κυκλοφοριακού φόρτου ή υλικό υπο-βάσεων για αντίστοιχα υψηλού κυκλοφοριακού φόρτου[8].

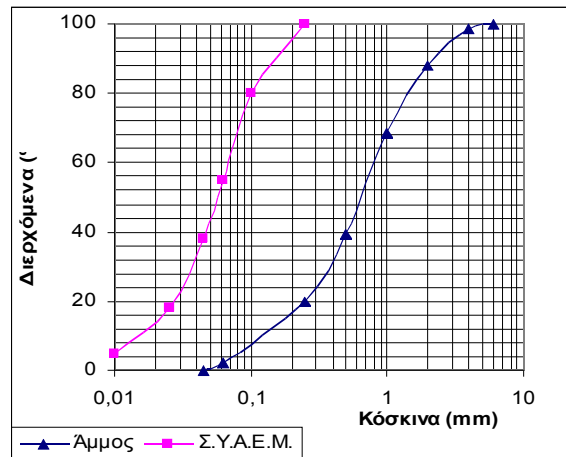
Μια άλλη δυνατή εφαρμογή του στερεού αυτού υπολείμματος αποβλήτων είναι χρήση του στην παραγωγή προϊόντων τσιμέντου. Τσιμεντοκονιάματα με Σ.Υ.Α.Ε.Μ εμφανίζουν υψηλότερες τιμές μηχανικών αντοχών σε σύγκριση με πρότυπα μίγματα για προσθήκη Σ.Υ.Α.Ε.Μ. σε ποσοστό ως 9%[3]. Παράλληλα η προσθήκη Σ.Υ.Α.Ε.Μ στο σκυρόδεμα κρίνεται ιδιαίτερα αποτελεσματική καθώς βελτιώνει ιδιότητες όπως μηχανικές αντοχές, αντίσταση σε απότριψη αλλά και ανθεκτικότητα όσον αφορά στην αντίσταση σε διείδυση CI-[6].

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η επίδραση που επιφέρει το στερεό υπόλειμμα που προέρχεται από ξήρανση του αποβλήτου υδατικού αιωρήματος μετά την επεξεργασία του μαρμάρου(Σ.Υ.Α.Ε.Μ.) σε τσιμεντοκονιάματα σε ποσοστά μικρότερα και μεγαλύτερα του 9%. Η προσθήκη του Σ.Υ.Α.Ε.Μ κυμάνθηκε από 0%-20% κ.β της άμμου. Τα παραγόμενα κονιάματα ελέγχθηκαν τόσο ως προς φυσικά τους (εργασιμότητα) όσο και μηχανικά τους χαρακτηριστικά (αντοχή σε θλίψη, αντοχή σε κάμψη, δυναμικό μέτρο ελαστικότητας). Παράλληλα μετρήθηκε το πορώδες και η τριχοειδής ανύψωση αυτών.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Υλικά- παραγωγή συνθέσεων

Για την παρασκευή των τσιμεντοκονιαμάτων χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο κατηγορίας CEM IV/B 32.5 N της εταιρείας TITAN, άμμος ποταμού και στερεό υπόλειμμα αποβλήτων από την επεξεργασία μαρμάρου αποτελούμενο κυρίως από CaCO_3 και MgCO_3 σε ποσοστά 88.2 και 11.4%, αντίστοιχα, που διατέθηκε από τη μονάδα επεξεργασίας μαρμάρων Ζλάκιος Π. και Σια, Ο.Ε.[9]. Οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις των αδρανών υλικών δίνονται στο διάγραμμα 1.



Διάγραμμα 1. Κοκκομετρικές καμπύλες άμμου και Σ.Υ.Α.Ε.Μ.

Οι συνθέσεις των τσιμεντοκονιαμάτων με και χωρίς Σ.Υ.Α.Ε.Μ. έγιναν στο Εργαστήριο Δομικών Υλικών, του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, του Α.Π.Θ. ενώ η ποσοτική τους σύστασή καθώς και η εξάπλωση των μιγμάτων φαίνονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Παραγόμενες συνθέσεις τσιμεντοκονιαμάτων με και χωρίς Σ.Υ.Α.Ε.Μ.

Συστατικά	Συνθέσεις	R	1M	2M	3M	4M
Τσιμέντο, CEM IV/B 32.5 N, gr		450.0	450.0	450.0	450.0	450.0
Άμμος ποταμού, gr		1350.0	1282.5	1215.0	1147.5	1080.0
Σ.Υ.Α.Ε.Μ, % κ.β. άμμου			5.0	10.0	15.0	20.0
Σ.Υ.Α.Ε.Μ, gr		0.0	67.5	135	202.5	270
Νερό, gr		225	230	240	250	255
Εξάπλωση, cm		11	10.7	10.6	10.4	10.4

Επεξήγηση συμβόλων πίνακα

R: Πρότυπη σύνθεση χωρίς Σ.Υ.Α.Ε.Μ

1M: Σύνθεση με Σ.Υ.Α.Ε.Μ σε ποσοστό 5.0% κ.β. της άμμου

2M: Σύνθεση με Σ.Υ.Α.Ε.Μ σε ποσοστό 10.0% κ.β. της άμμου

3M: Σύνθεση με Σ.Υ.Α.Ε.Μ σε ποσοστό 15.0% κ.β. της άμμου

4M: Σύνθεση με Σ.Υ.Α.Ε.Μ σε ποσοστό 20.0% κ.β. της άμμου

Το στερεό υπόλειμμα αποβλήτων από την επεξεργασία μαρμάρου (Σ.Υ.Α.Ε.Μ), αντικατέστησε μέρος της άμμου σε ποσοστά 5, 10, 15 και 20% κ.β.

Παρασκευάστηκαν δοκίμια διαστάσεων 4x4x16cm, τα οποία τοποθετήθηκαν σε τρίδυμες μεταλλικές μήτρες σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές Προδιαγραφές[10]. Τα δοκίμια ξεκαλονώθηκαν μετά από 24 ώρες και συντηρήθηκαν για 28 ημέρες σε θερμοκρασία $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ και υγρασία 100%. Μετά το πέρας του συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος, πραγματοποιήθηκαν σε αυτά έλεγχοι μηχανικών χαρακτηριστικών (αντοχή σε θλίψη, αντοχή σε κάμψη, δυναμικό μέτρο ελαστικότητας) και μετρήθηκαν ιδιότητες όπως το πορώδες και η τριχοειδής ανύψωση. Από κάθε σύνθεση χρησιμοποιήθηκαν 3 δοκίμια για κάθε έλεγχο και το τελικό αποτέλεσμα αποτελεί μέσο όρο κάθε τριάδας δοκιμίων.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΝΩΠΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ

3.1.1 ΕΡΓΑΣΙΜΟΤΗΤΑ

Η προσθήκη Σ.Υ.Α.Ε.Μ στα τσιμεντοκονιάματα είχε ως αποτέλεσμα μείωση της εργασιμότητας αυτών με αύξηση του ποσοστού του. Το λεπτόκοκκο στερεό υπόλειμμα αποβλήτου επεξεργασίας μαρμάρου απορροφούσε μεγαλύτερη ποσότητα νερού σε σχέση με την άμμο ποταμού, οπότε προκειμένου η εργασιμότητα των μιγμάτων να είναι ικανοποιητική και η εξάπλωσή τους να διατηρηθεί στα $11\pm 1\text{cm}$, κρίθηκε απαραίτητη η προσθήκη επιπλέον νερού. Αυτή η προσθήκη δεν επηρέασε αρνητικά τα μηχανικά χαρακτηριστικά των τσιμεντοκονιαμάτων.

3.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΚΛΗΡΥΜΕΝΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ

Στον πίνακα 2 δίνονται τα εργαστηριακά αποτελέσματα των μηχανικών χαρακτηριστικών των τσιμεντοκονιαμάτων με και χωρίς Σ.Υ.Α.Ε.Μ. Οι τιμές αποτελούν τον μέσο όρο 3 δοκιμίων.

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικές τιμές μηχανικών αντοχών, πορώδους και τριχοειδούς ανύψωσης τσιμεντοκονιαμάτων με και χωρίς Σ.Υ.Α.Ε.Μ.

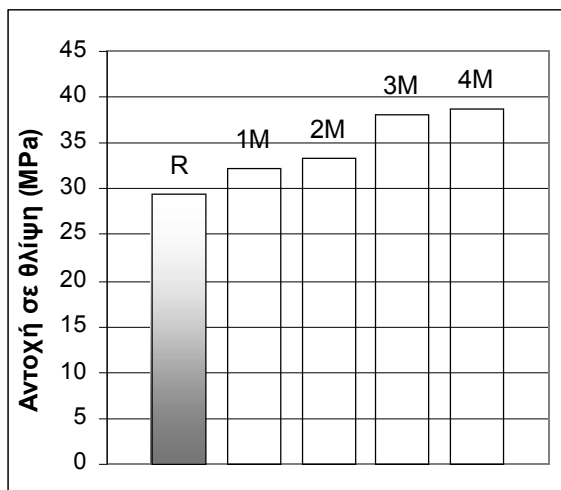
Χαρακτηριστικά	Συνθέσεις	R	1M	2M	3M	4M
Θλιπτική αντοχή, (MPa)		29.47	32.29	33.33	38.15	38.65
Εφελκυστική αντοχή από κάμψη, (MPa)		6.5	6.6	6.8	7.2	7.3
E_d (GPa)		26.79	30.16	31.22	32.07	33.16
Πορώδες, (%)		9.55	9.18	8.86	8.44	8.37
Τριχοειδής ανύψωση στις 24h, gr/cm^2		0.44	0.39	0.36	0.34	0.33

3.2.1 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

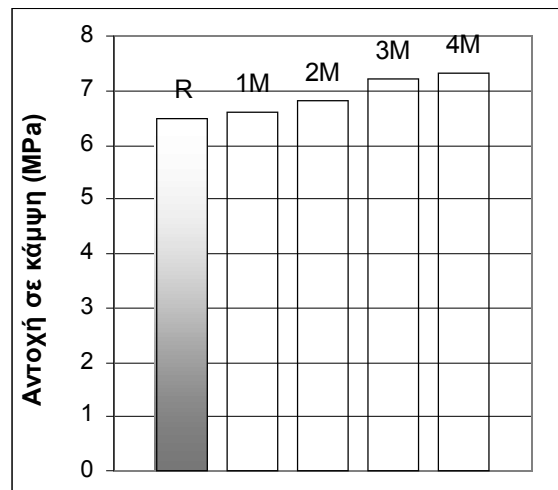
Από τον πίνακα 1 και τα διαγράμματα 2,3 και 4 όπου φαίνονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά (θλιπτική-καμπτική αντοχή καθώς και δυναμικό μέτρο ελαστικότητας, αντίστοιχα) των κονιαμάτων εξάγεται το γενικό συμπέρασμα πως προσθήκη Σ.Υ.Α.Ε.Μ σε τσιμεντοκονιάματα δρα θετικά στα μηχανικά χαρακτηριστικά τους. Συγκεκριμένα:

- Όσον αφορά στη θλιπτική αντοχή παρατηρούμε πως αυτή εμφανίζεται αυξημένη κατά 8.73-23.75%.
- Όσον αφορά στην καμπτική αντοχή, παρατηρούμε πως αυτή αυξάνεται με χαμηλότερο ρυθμό σε σχέση με την θλιπτική και ανέρχεται στο 10.96% για τη σύνθεση με κωδικό 4M, η οποία περιέχει Σ.Υ.Α.Ε.Μ. σε ποσοστό 20%.
- Το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας αυξάνεται με ρυθμό παρόμοιο με τον αντίστοιχο της θλιπτικής αντοχής. Η αύξηση αυτή δεν ξεπερνάει το 22.16% στα μελετούμενα μίγματα

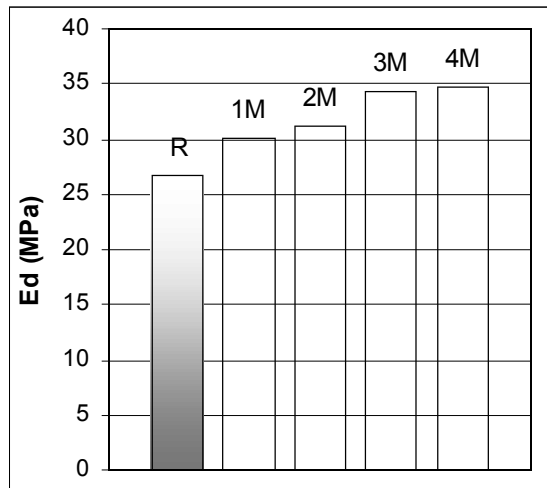
Γενικά, παρατηρείται μεγαλύτερη βελτίωση στη σύνθεση με κωδικό 4M, η οποία περιέχει 20% κ.β της άμμου Σ.Υ.Α.Ε.Μ, τιμή η οποία ωστόσο δε διαφέρει αισθητά από την αντίστοιχη της σύνθεσης 3M στην οποία το ποσοστό αντικατάστασης της άμμου είναι 15%. Παράλληλα με βάση τα διαγράμματα της ανάπτυξης των αντοχών των τσιμεντοκονιαμάτων προκύπτει βέλτιστη περιεκτικότητα Σ.Υ.Α.Ε.Μ 15-20%. Ωστόσο δεν αποκλείεται η προσθήκη Σ.Υ.Α.Ε.Μ και σε μεγαλύτερα ποσοστά (>20%), χωρίς όμως να αναμένεται αξιόλογη περαιτέρω βελτίωση.



Διάγραμμα 2. Θλιπτική αντοχή τσιμεντοκονιαμάτων με και χωρίς Σ.Υ.Α.Ε.Μ



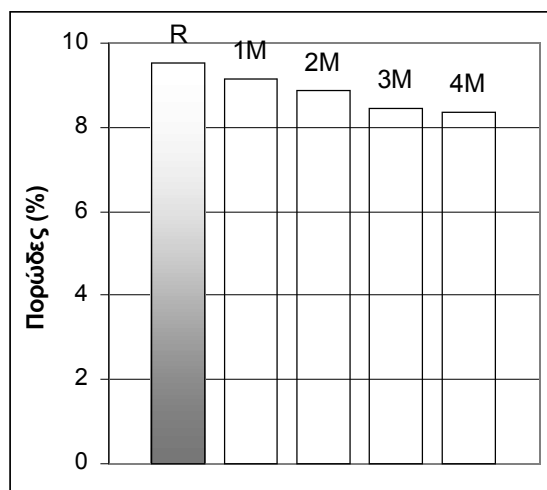
Διάγραμμα 3. Καμπτική αντοχή τσιμεντοκονιαμάτων με και χωρίς Σ.Υ.Α.Ε.Μ



Διάγραμμα 4. Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας τσιμεντοκονιαμάτων με και χωρίς Σ.Υ.Α.Ε.Μ

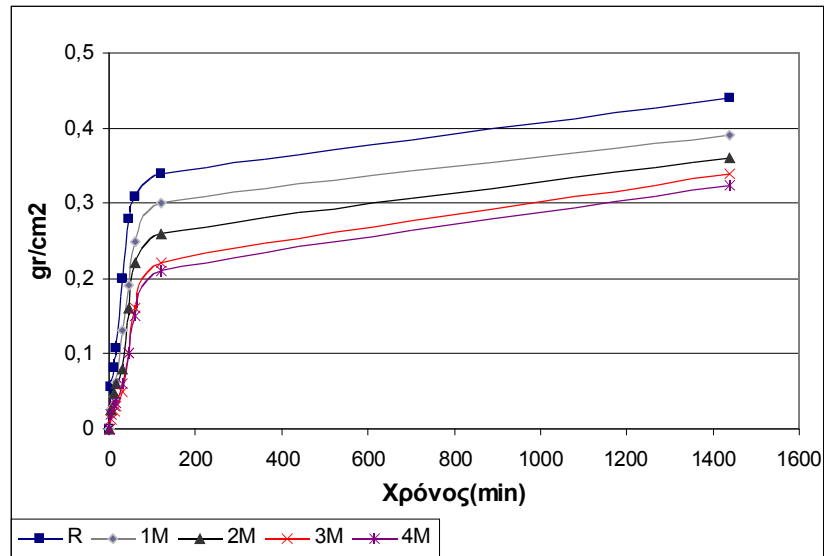
3.2.2 ΠΟΡΩΔΕΣ- ΤΡΙΧΟΕΙΔΗΣ ΑΝΥΨΩΣΗ

Το πορώδες των τσιμεντοκονιαμάτων μετρήθηκε σύμφωνα με τις προδιαγραφές (RILEM CPC3.11- υδατοαπορρόφηση υπό κενό αέρος[11]) στις 28 ημέρες ενώ οι τιμές του για τα τσιμεντοκονιάματα με και χωρίς Σ.Υ.Α.Ε.Μ δίνονται στον πίνακα 1 και στο διάγραμμα 5, αντίστοιχα. Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων προκύπτει μείωση του πορώδους των τσιμεντοκονιαμάτων με αύξηση του ποσοστού Σ.Υ.Α.Ε.Μ.



Διάγραμμα 5. Πορώδες τσιμεντοκονιαμάτων με και χωρίς Σ.Υ.Α.Ε.Μ

Όσον αφορά στην τριχοειδή ανύψωση, τα αποτελέσματα της μέτρησης της ιδιότητας αυτής δίνονται στο διάγραμμα 6, στο οποίο φαίνεται πως ο ρυθμός της απορρόφησης του νερού καθώς και η τελική τιμή της υδατοαπορρόφησης μειώνεται με την προσθήκη του στερεού υπολείμματος αποβλήτων από την επεξεργασία μαρμάρου στα μίγματα. Αυτό σημαίνει πως η τριχοειδής ανύψωση για τα τσιμεντοκονιάματα με Σ.Υ.Α.Ε.Μ είναι μικρότερη από την αντίστοιχη συμβατικών τσιμεντοκονιαμάτων, γεγονός που οδηγεί στην παραγωγή περισσότερο υδατοστεγανών μιγμάτων.



Διάγραμμα 6. Τριχοειδής ανύψωση τσιμεντοκονιαμάτων με και χωρίς Σ.Υ.Α.Ε.Μ

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη χώρα μας τεράστιες ποσότητες αποβλήτων από την επεξεργασία μαρμάρων παράγονται ετησίως. Τα απόβλητα αυτά αποτελούνται από νερό και ασβεστολιθικό κυρίως αδρανές ενώ το στερεό υπόλειμμα μετά την ξήρανσή τους (Σ.Υ.Α.Ε.Μ) είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές, όπως σε εδάφη για τη σταθεροποίηση και ενίσχυσή τους, ως εναλλακτικό φίλλερ (ως αντικατάστατο μέρους του τσιμέντου) σε μίγματα slurry seal για τη συντήρηση οδοστρωμάτων καθώς και ως πρόσθετο σε προϊόντα τσιμέντου. Σε όλες τις παραπάνω εφαρμογές, το στερεό υπόλειμμα αποβλήτων από την επεξεργασία μαρμάρου επιφέρει βελτίωση στις γεωτεχνικές ιδιότητες όταν χρησιμοποιείται σε εδάφη, είτε στις μηχανικές- φυσικές όταν προστίθεται σε προϊόντα τσιμέντου και ασφαλτικά μίγματα.

Στην παρούσα εργασία μελετάται η επίδραση προσθήκης Σ.Υ.Α.Ε.Μ σε ποσοστά ως 20% κ.β. της άμμου σε τσιμεντοκονιάματα. Μεγαλύτερο ποσοστό δεν εξετάστηκε καθώς με βάση τα εργαστηριακά αποτελέσματα η αντοχή σταθεροποιείται για ποσοστά 15-20%. Τα παραγόμενα μίγματα ελέγχθηκαν ως προς μηχανικές αντοχές (θλίψη και κάμψη, δυναμικό μέτρο ελαστικότητας) καθώς και πορώδες και τριχοειδή ανύψωση.

Τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά, καθώς αύξηση του ποσοστού Σ.Υ.Α.Ε.Μ επιφέρει βελτίωση τόσο των φυσικών όσο και των μηχανικών χαρακτηριστικών των τσιμεντοκονιαμάτων που μελετήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η απορρόφηση μεγάλου μέρους των παραγόμενων από την επεξεργασία μαρμάρου αποβλήτων και κατ' επέκταση η ελάττωση των τεράστιων αποθέσεων αυτών με ιδιαίτερα θετικές συνέπειες για το περιβάλλον. Παράλληλα τα παραγόμενα μίγματα (εδαφικά, ασφαλτικά, προϊόντα τσιμέντου) παρουσιάζουν βελτιωμένες ιδιότητες αλλά και μειωμένο κόστος παραγωγής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. P.Eskioglou (1996) 'Influence of soil type on stabilization with marble dust for forest road construction', International Conference on Soil Stabilization, Unterwaz.

2. Εσκίογλου Π. (2000) 'Έρευνα για την ενίσχυση με μαρμαρόσκονη δρόμων μέσα σε αρχαιολογικούς χώρους', Προσυνέδριο 5^ο Παγκοσμίου Συνεδρίου θρακών, Ξάνθη, 2000, σελ.211-218.
3. Arslan E. Isil, Aslan S., Ipek U., Altun S. and Yazicioglu (2005) 'Physico-chemical treatment of marble processing wastewater and the recycling of its sludge', Waste Management and Research 23:550-559, ISWA 2005.
4. Oikonomou N. and Eskioglou P. (2007) 'Alternative fillers for use in slurry seal', Global Nest Journal, Vol. 9, No 2, pp.182-186.
5. Tuncan M., Tuncan A. & Cetin A. (2003) 'The use of waste materials in asphalt concrete mixtures', Waste Management & Research, 21, pp.83-92.
6. Binici H., Kaplan H. And Yilmaz S. (2007) 'Influence of marble and limestone dusts as additives on some mechanical properties of concrete', Scientific Research and Essay, Vol.2 (9), pp.372-379, Full Length Research Paper.
7. Wu K.R, Chen B., Yao W. & Zhang D (2001) 'Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of high-performance concrete', Cement and Concrete Research, 31, pp.1421-1425.
8. Okagbue C.O and Onyeobi T.U.S (1999) 'Potential of marble dust to stabilise red tropical soils for road construction', Engineering Geology, 53, pp.371-380.
9. Zlakios P. & CO. O.E., 10^ο χλμ. Εθνικής οδού Θεσσαλονίκης- Καβάλας, Δερβένι, e-mail: zlakios@spark.net.gr
10. EN 196-1, (1994) Methods of testing cement-Part1: Determination of strength.
11. RILEM CPC 11.3 1984. Absorption of water by immersion under vacuum, Materials and Structures, Volume 17, no 101, pp 391-394.