

Χρήση πούδρας ανακυκλωμένων ελαστικών σε επισκευαστικά τσιμεντοκονιάματα

Σ. Μαυρίδου, Ι. Παπαγιάννη

*Εργαστήριο Δομικών Υλικών,, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ, 54124, Θεσσαλονίκη,
e-mails: smavrido@civil.auth.gr; papayian@civil.auth.gr*

Λέξεις κλειδιά: τσιμεντοκονιάματα, ανακυκλωμένα ελαστικά, μηχανικές αντοχές, πορώδες, διείσδυση χλώριο-ιόντων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται πειραματικά αποτελέσματα τσιμεντοκονιαμάτων με ανακυκλωμένο ελαστικό ως πρόσθετο αδρανές υλικό. Το ανακυκλωμένο ελαστικό, σε μορφή πούδρας, προήλθε από μηχανική επεξεργασία -τεμαχισμό- ελαστικών οχημάτων μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους. Στην εργασία παρουσιάζονται φυσικά χαρακτηριστικά του ανακυκλωμένου ελαστικού, ενώ παράλληλα εξετάζονται ιδιότητες των παραγόμενων τσιμεντοκονιαμάτων- συμβατικών και με ελαστικό- τόσο σε νωπή όσο και σε σκληρυμένη κατάσταση. Επιπρόσθετα μετριέται η αντίσταση τους στη διείσδυση χλώριο-ιόντων μέσω τριχοειδούς ανύψωσης. Με βάση τα αποτελέσματα, προκύπτει πως είναι δυνατή η παραγωγή τσιμεντοκονιαμάτων με πούδρα ανακυκλωμένου ελαστικού με ικανοποιητικά μηχανικά χαρακτηριστικά και αυξημένη αντίσταση στη διείσδυση χλώριο-ιόντων συγκριτικά με τα αντίστοιχα συμβατικά.

Use of recycled tire rubber in repair cement mortars

S. Mavridou, I. Papayianni

*Laboratory of Building Materials, Aristotle University of Thessaloniki (A.U.Th)
e-mails: smavrido@civil.auth.gr; papayian@civil.auth.gr*

Keywords: cement mortars, recycled rubber, mechanical strengths, porosity, penetration of chloride ions

ABSTRACT: This report presents laboratory results of cement mortars with recycled rubber as additional aggregate. Recycled rubber, in the form of powder, came from mechanical shredding of end of life worn mobile tires. The report consists of the physical characteristics of recycled tire rubber, while characteristics of cement mortars in fresh and hardened state are examined. Moreover, resistance to chloride ion penetration is measured through capillarity by suction. Based on the results, it seems possible to produce cement mortars with recycled rubber with satisfactory mechanical strengths and greater resistance to chloride ion penetration than the conventional ones.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον όρο χρησιμοποιημένα ελαστικά χαρακτηρίζονται τα ελαστικά, τα οποία έχουν συμπληρώσει το χρόνο λειτουργίας τους και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν πλέον σε οχήματα. Μέχρι σήμερα, οι σωροί των φθαρμένων ελαστικών είτε θάβονταν σε χωματερές είτε εναποτίθετο ανεξέλεγκτα σε ρέματα και κοιλάδες Στην Ευρώπη το ποσό των φθαρμένων ελαστικών που συγκεντρώνεται ανέρχεται στα 250 εκατομμύρια κομμάτια, ενώ περίπου το 60% αυτών καταλήγει στις χωματερές [ETRA, Used Tire Working Group]. Τα ελαστικά αυτά αποτελούν ένα μεγάλο πρόβλημα παγκοσμίως καθώς καταλαμβάνουν μεγάλο ειδικό όγκο, έχουν πολύ ανθεκτική δομή κατασκευής τόσο φυσικά όσο και χημικά με συνέπεια να δυσχεραίνεται πολύ οποιαδήποτε διαδικασία επεξεργασίας και κατ' επέκταση ανακύκλωσής τους.

Στην Ελλάδα, από το 2004, έχει θεσπισθεί Προεδρικό Διάταγμα σχετικά με τα μέτρα και τους όρους για την εναλλακτική διαχείριση των φθαρμένων ελαστικών οχημάτων σύμφωνα με το οποίο, από τα μέσα του 2006 θα έπρεπε να αξιοποιείται το 65% της αποτιθέμενης ποσότητάς τους και να ανακυκλώνεται αντίστοιχα το 10%. Για το έτος 2007, η ποσότητα που θεωρητικά ανακυκλώθηκε ανήλθε στο 78.5% της συλλογικής ποσότητας που συλλέχθηκε από το μοναδικό εγκεκριμένο φορέα συλλογικής διαχείρισης μεταχειρισμένων ελαστικών οχημάτων –Ecoelastika-(Μαυριάς Γ., 2008). Ωστόσο αρνητικό στοιχείο αποτελεί το γεγονός της μη ευρείας διάθεσης του κοκκοποιημένου ελαστικού λόγω και των περιορισμένων –επί του παρόντος- χρήσεων του στη χώρα μας.

Με βάση προηγούμενες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Δομικών Υλικών του ΑΠΘ, προσθήκη ανακυκλωμένου ελαστικού ως αντικατάστατο μέρους των φυσικών αδρανών- της άμμου- σε τσιμεντοκονιάματα επιφέρει μείωση των μηχανικών αντοχών ενώ ενισχύει την αντίσταση αυτών στη διείσδυση χλώριο-ιόντων [Oikonomou N and Mavridou S, 2009].

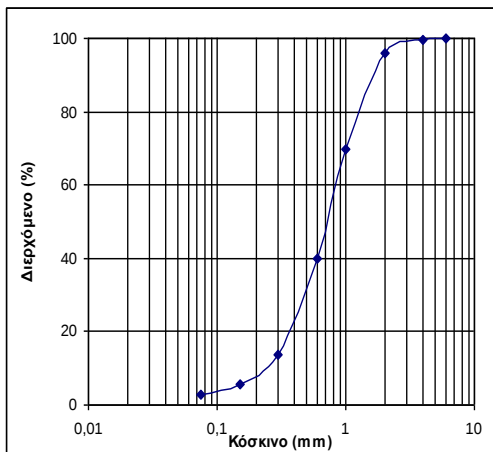
Στην παρούσα εργασία μελετάται η επίδραση της προσθήκης ανακυκλωμένου ελαστικού, ως πρόσθετο αδρανές υλικό- σε ιδιότητες τσιμεντοκονιαμάτων σε νωπή και σκληρυμένη κατάσταση. Η χρήση του ανακυκλωμένου ελαστικού ως πρόσθετο υλικό είχε ως στόχο την επίτευξη υψηλότερων μηχανικών αντοχών σε σύγκριση με τις αντίστοιχες κονιαμάτων όπου το ελαστικό αντικαθιστούσε μέρος της άμμου ενώ οι πραγματοποιούμενοι έλεγχοι περιελάμβαναν μέτρηση της εργασιμότητας μέσω της εξάπλωσης, του φαινομένου ειδικού βάρους σκληρυμένου κονιάματος, του πορώδους καθώς και μηχανικών χαρακτηριστικών. Η μελέτη ολοκληρώθηκε με έλεγχο της φθοράς των τσιμεντοκονιαμάτων από χλώριο-ιόντα προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για την πιθανή εφαρμογή τους ως επισκευαστικά κονιάματα.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

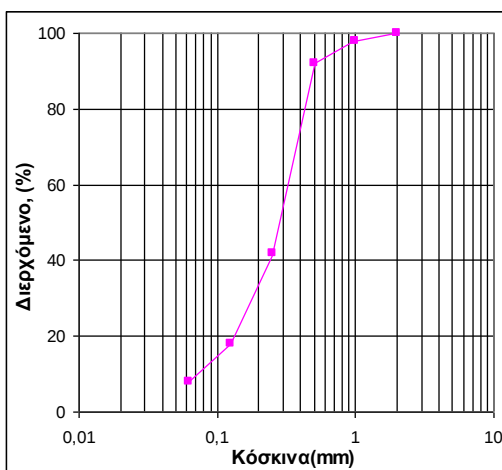
Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

1. Τσιμέντο Portland τύπου CEM IV/B 32,5N (TITAN)
2. Αδρανές υλικό: ποτάμια άμμος Αξίου μεγίστου κόκκου 4mm (διάγραμμα 1)
3. Ανακυκλωμένο ελαστικό μεγίστου κόκκου 2mm, που προήλθε από τεμαχισμό φθαρμένων ελαστικών στο Εργοστάσιο Καραμπάς Αντιρρυπαντική ΑΕΒΕ
4. Υπερρευστοποιητής eco-4 και βελτιωτικό latex SBR της εταιρείας SIKΑ S.A
5. Ανιονικό ασφαλικό γαλάκτωμα της ΒΙΤΟΥΜΙΝΑ Α.Ε καθώς και
6. Στεγανωτικό μάζας της εταιρείας Vimatec

Το ανακυκλωμένο ελαστικό, σε μορφή πούδρας, προστέθηκε στα παραγόμενα μίγματα ως πρόσθετο αδρανές υλικό. Η υδατοαπορρόφησή του υπολογίσθηκε εργαστηριακά ίση με 0%, το φαινόμενο ειδικό βάρος του ίσο με $0,9\text{gr}/\text{cm}^3$ ενώ η κοκκομετρική του διαβάθμιση δίνεται στο διάγραμμα 2.



Διάγραμμα 1. Κοκκομετρική διαβάθμιση άμμου ποταμού Αξιού



Διάγραμμα 2. Κοκκομετρική διαβάθμιση ανακυκλωμένου ελαστικού

Σε όλες τις συνθέσεις χρησιμοποιήθηκε ρευστοποιητής προκειμένου να επιτευχθεί σταθερή εξάπλωση $11\pm 1\text{cm}$ χωρίς να προστεθεί επιπλέον ποσότητα νερού, η οποία θα επηρέαζε αρνητικά τα χαρακτηριστικά των κονιαμάτων.

Με βάση προηγούμενες μελέτες [Οικονόμου κ.α, 2006], προέκυψε ότι η χρήση βελτιωτικών μέσων όπως ανιονικό ασφαλτικό γαλάκτωμα και αιώρημα συμπολυμερών στυρενίου – βουταδιενίου ενισχύουν τις μηχανικές αντοχές των μιγμάτων. Παράλληλα έγινε χρήση και στεγανωτικού μάζας ως πρόσθετο βελτιωτικό.

Στο Εργαστήριο Δομικών Υλικών του ΑΠΘ παρασκευάστηκαν 19 συνθέσεις τσιμεντοκονιαμάτων. Τα ποσοστά προσθήκης του ελαστικού, ο λόγος νερού προς τσιμέντο, το ποσοστό του

υπερρευστοποιητή, καθώς και το είδος και το ποσοστό των πρόσθετων βελτιωτικών τσιμεντοκονιαμάτων ήταν οι μεταβλητές που ενδεχομένως άλλαζαν σε κάθε σύνθεση. Οι συνθέσεις περιγράφονται αναλυτικά στους πίνακες 1-3 ενώ η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε 3 στάδια. Στο πρώτο στάδιο παρασκευάστηκαν μητρικές συνθέσεις, χωρίς ανακυκλωμένο ελαστικό με χρήση ρευστοποιητή και πρόσθετων βελτιωτικών, σε διάφορα ποσοστά, προκειμένου να εξετασθεί η επίδραση των βελτιωτικών στις ιδιότητες των μιγμάτων (συνθέσεις Α-Ζ). Στη συνέχεια στις ίδιες συνθέσεις προστέθηκε 2.5% κβ της άμμου ελαστικό(συνθέσεις Α'-Ζ'). Τέλος, πραγματοποιήθηκε ακόμα μια σειρά με προσθήκη 5% κβ άμμου ανακυκλωμένο ελαστικό με περισσότερη ποσότητα ρευστοποιητή με στόχο την επίτευξη ικανοποιητικής εργασιμότητας στα μίγματα(συνθέσεις Η-Ν),όπου με Η συμβολίζεται η πρότυπη σύνθεση χωρίς ελαστικό με 2% ρευστοποιητή.

Πίνακας 1. Επιμέρους ποσότητες των συστατικών για κάθε σύνθεση αναφοράς-χωρίς ανακυκλωμένο ελαστικό- (σε g)

Υλικό	A	B	Γ	Δ	E	Z
Τσιμέντο CEM IV/B 32.5N(gr)	450	450	450	450	450	450
Άμμος ποταμού Αξιού (gr)	1350	1350	1350	1350	1350	1350
Πούδρα ελαστικού (gr)	0	0	0	0	0	0
Ρευστοποιητής (gr)	7	7	7	7	7	7
Latex (gr)	0	9	22,5	0	0	0
Ασφαλτικό γαλάκτωμα (gr)	0	0	0	9	22,5	0
Στεγανωτικό μάζας (gr)	0	0	0	0	0	5,4
Νερό (gr)	200	195	188	195	188	200
Εξάπλωση (cm)	12	12,1	12	12	11,8	12
Ειδικό βάρος νωπού κονιάματος(gr/cm ³)	2,21	2,08	2,1	2,08	1,76	2,08

Πίνακας 2. Επιμέρους ποσότητες των συστατικών για κάθε σύνθεση με προσθήκη 2.5% κβ της άμμου (σε g)

Υλικό	A'	B'	Γ'	Δ'	E'	Z'
Τσιμέντο CEM IV/B 32.5N(gr)	450	450	450	450	450	450
Άμμος ποταμού Αξιού(gr)	1350	1350	1350	1350	1350	1350
Πούδρα ελαστικού (gr)	33,75	33,75	33,75	33,75	33,75	33,75
Ρευστοποιητής (gr)	7	7	7	7	7	7
Latex (gr)	0	9	22,5	0	0	0
Ασφαλτικό γαλάκτωμα (gr)	0	0	0	9	22,5	0
Στεγανωτικό μάζας (gr)	0	0	0	0	0	5,4
Νερό (gr)	200	195	188	195	188	200
Εξάπλωση (cm)	12,3	11,8	12	11,8	11,9	11,7
Ειδικό βάρος νωπού κονιάματος(gr/cm ³)	1,95	1,95	2,02	1,95	1,82	1,91

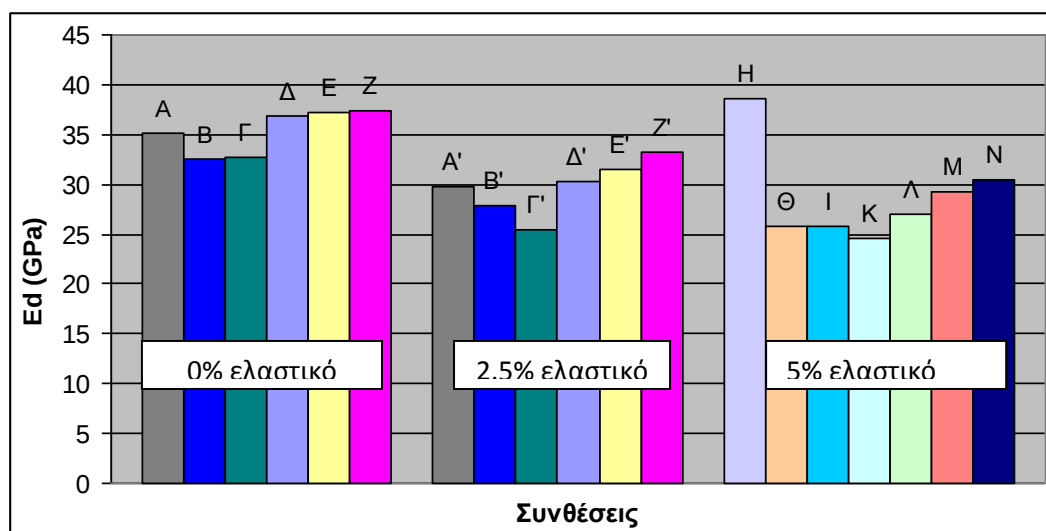
Πίνακας 3. Επιμέρους ποσότητες των συστατικών για κάθε σύνθεση με προσθήκη 5% κβ της άμμου (σε g)

Υλικό	H	Θ	I	K	Λ	M	N
Τσιμέντο CEM IV/B 32.5N(gr)	450	450	450	450	450	450	450
Άμμος ποταμού							
Αξιού(gr)	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350
Πούδρα ελαστικού (gr)	0	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5	67,5
Ρευστοποιητής (gr)	9	9	9	9	9	9	9
Latex (gr)	0	0	9	22,5	0	0	0
Ασφαλτικό γαλάκτωμα (gr)	0	0	0	0	9	22,5	0
Στεγανωτικό μάζας (gr)	0	0	0	0	0	0	5,4
Νερό (gr)	200	200	195	188	195	188	200
Εξάπλωση (cm)	12,5	12	11,5	11,4	11,5	11,6	11,2
Ειδικό βάρος νωπού κονιάματος(gr/cm3)	2,21	1,86	1,89	1,95	1,82	1,76	1,82

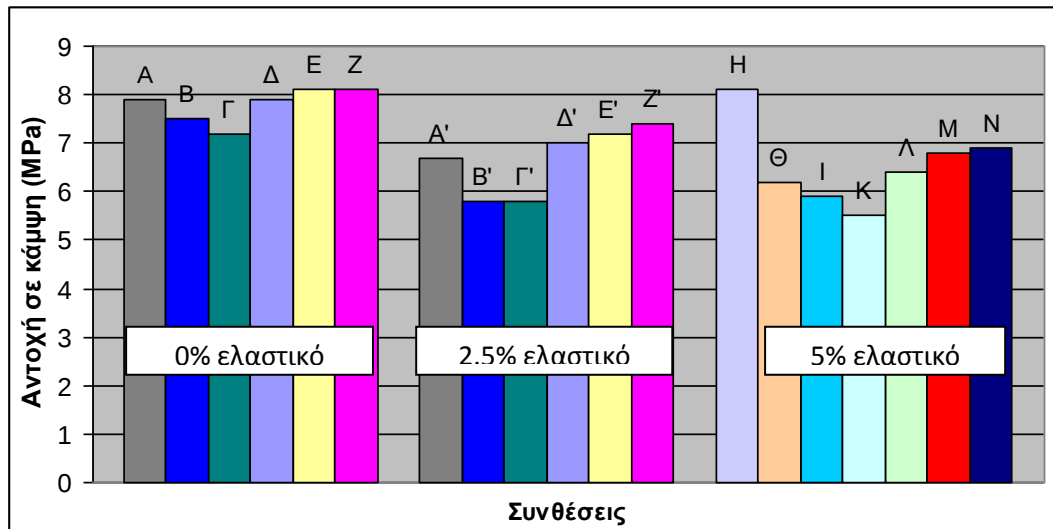
Από τις συνθέσεις αυτές προέκυψαν πρισματικά δοκίμια 4x4x16cm, τα οποία συντηρήθηκαν μέσα σε νερό και σε θερμοκρασία $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ μέχρι την ημερομηνία διεξαγωγής των ελέγχων. Τα δοκίμια ελέγχθηκαν σε μηχανικές ιδιότητες όπως δυναμικό μέτρο ελαστικότητας, καμπτική αντοχή, θλιπτική αντοχή- καθώς και στο πορώδες. Τέλος μέσω τριχοειδούς ανύψωσης εκτιμήθηκε ποιοτικά η διείδυση γλώριο-ιόντων σε δοκίμια διαστάσεων 4x4x8cm.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

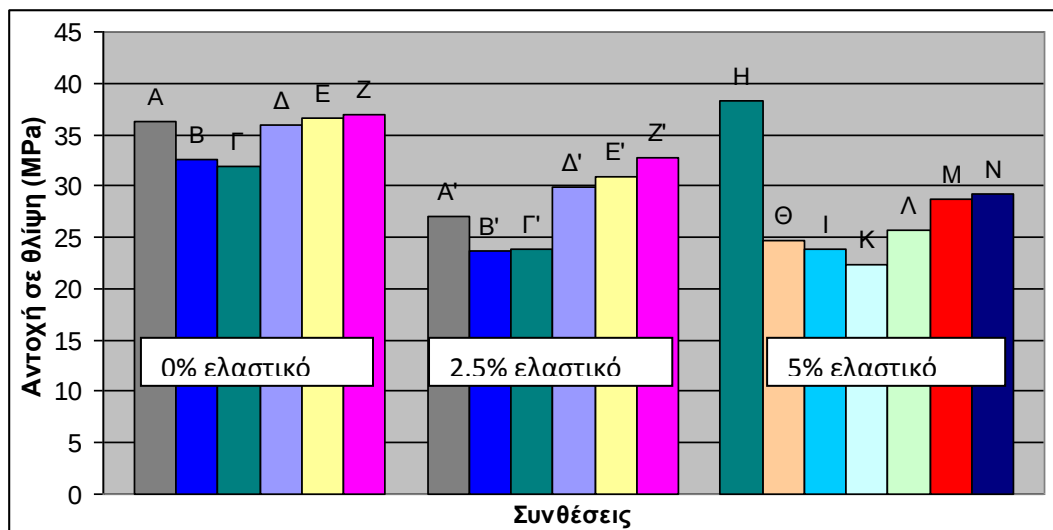
Στα παρακάτω διαγράμματα δίνονται τα αποτελέσματα των ιδιοτήτων των εργαστηριακών συνθέσεων, που αποτελούν μέσο όρο τριών τιμών.



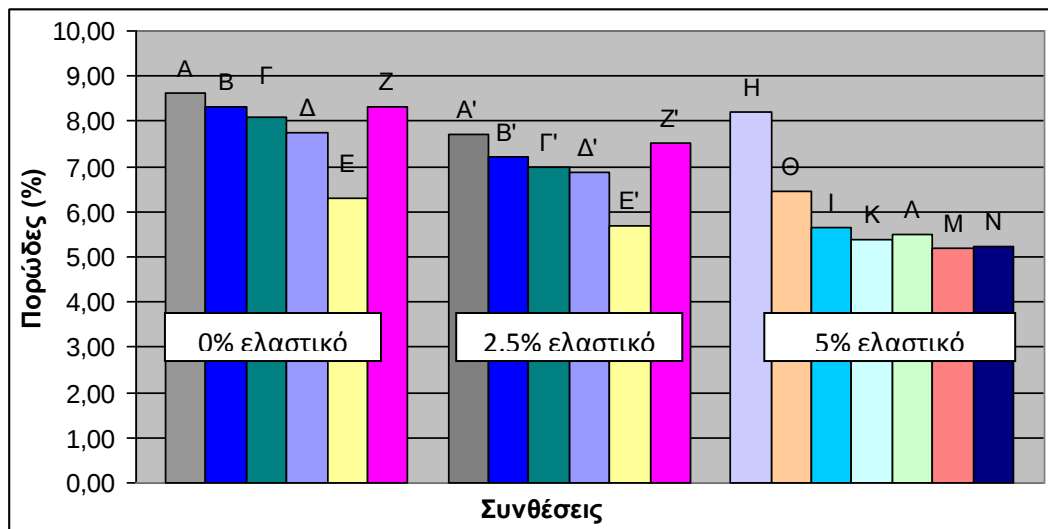
Διάγραμμα 3. Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας τσιμεντοκονιαμάτων



Διάγραμμα 4. Καμπτική αντοχή τσιμεντοκονιαμάτων



Διάγραμμα 5. Θλιπτική αντοχή τσιμεντοκονιαμάτων



Διάγραμμα 6. Πορώδες τσιμεντοκονιαμάτων

ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΧΛΩΡΙΟ-ΙΟΝΤΩΝ

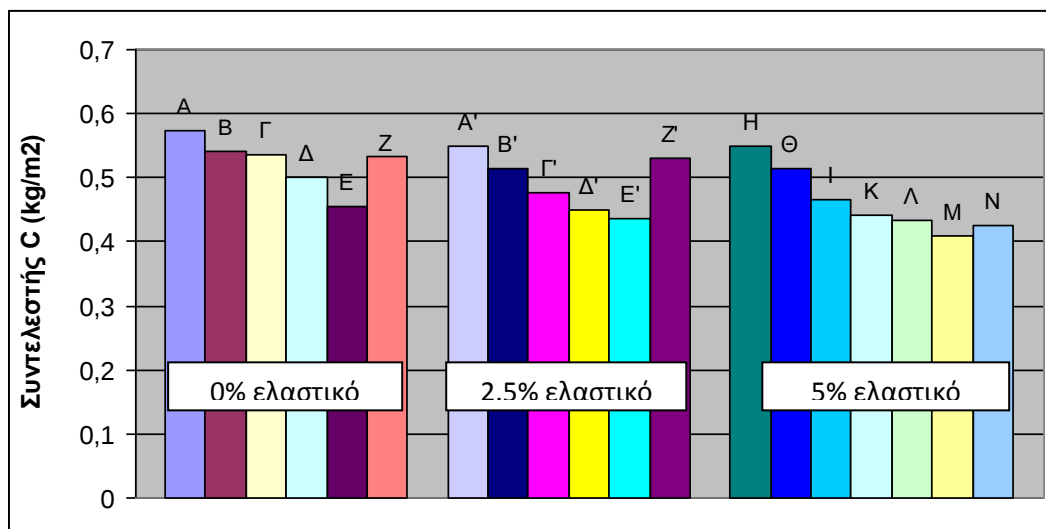
Με βάση προηγούμενη μελέτη προέκυψε πως η προσθήκη ανακυκλωμένου ελαστικού σε τσιμεντοκονιάματα ως αντικατάστατο μέρους της άμμου ενίσχυσε την αντίσταση αυτών έναντι διείσδυσης χλώριο-ιόντων [Oikonomou and Manridou, 2009].

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η ανθεκτικότητα σε χλώριο-ιόντα των τσιμεντοκονιαμάτων χωρίς και με ανακυκλωμένο ελαστικό ως πρόσθετο υλικό. Τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε δοχείο, στην κάτω επιφάνεια του οποίου υπήρχε εμποτισμένο με διάλυμα NaCl 3% κβ χαρτί διήθησης. Τα δοκίμια παρέμειναν στο διάλυμα για 24 ώρες και στο τέλος του πειράματος μετρήθηκε η διαφορά βάρους των τσιμεντοκονιαμάτων σε σύγκριση με το αντίστοιχο πριν τοποθετηθούν στο διάλυμα NaCl, ως ένδειξη της ποσότητας Cl⁻ που διείσδυσαν μέσω τριχοειδών κενών στα κονιάματα (εικόνα 7).



Εικόνα 7. Μέτρηση διείσδυσης χλώριο-ιόντων μέσω τριχοειδούς ανύψωσης

Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο συντελεστής τριχοειδούς ανύψωσης για όλα τα τσιμεντοκονιάματα, ο οποίος φαίνεται στο διάγραμμα 7.



Διάγραμμα 7. Συντελεστής τριχοειδούς ανύψωσης σε διάλυμα NaCl

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε η δυνατότητα χρήσης πούδρας ανακυκλωμένου ελαστικού για την παραγωγή τσιμεντοκονιαμάτων ως πρόσθετο υλικό σε ποσοστά 2.5 και 5% κβ της άμμου.

Τα κύρια συμπεράσματα που προκύπτουν είναι :

- ❖ Η προσθήκη του ανακυκλωμένου ελαστικού προκαλεί μείωση των μηχανικών χαρακτηριστικών των παραγόμενων μιγμάτων, η οποία αυξάνεται αναλογικά με την ποσότητα του προστιθέμενου ελαστικού. Ωστόσο τα μίγματα αυτά παρουσιάζουν ικανοποιητικά μηχανικά χαρακτηριστικά, βελτιωμένα κατά 10-13% σε σύγκριση με τα αντίστοιχα στα οποία η πούδρα ελαστικού αντικαθιστούσε μέρος του αδρανούς υλικού-άμμου-.
- ❖ Η προσθήκη ρευστοποιητή σε όλες τις συνθέσεις κρίθηκε απαραίτητη προκειμένου να μην αυξηθεί η ποσότητα του περιεχόμενου νερού και συνεπώς ο λόγος νερό/τσιμέντο, γεγονός που θα επέφερε μείωση των μηχανικών αντοχών.
- ❖ Από τα βελτιωτικά που χρησιμοποιήθηκαν παρατηρούμε πως καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά στις μηχανικές αντοχές έδωσαν οι συνθέσεις με χρήση ανιονικού ασφαλτικού γαλακτώματος και στεγανωτικού μάζας. Παρόμοια συμπεριφορά παρατηρείται και στην περίπτωση που το ανακυκλωμένο ελαστικό αντικαθιστά μέρος της άμμου.
- ❖ Η προσθήκη ανακυκλωμένου ελαστικού σε όλες τις συνθέσεις όπου χρησιμοποιήθηκε επέφερε μείωση του πορώδους. Η μείωση αυτή είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη σε μίγματα με χρήση πούδρας ελαστικού ως αντικατάστατο μέρους της άμμου.

- ❖ Τέλος, σημαντική ιδιότητα αποτελεί η αντίσταση σε διείσδυση Cl⁻. Φαίνεται πως οι κόκκοι του ελαστικού αποτρέπουν τη διείσδυση Cl⁻ στο εσωτερικό των τσιμεντοκονιαμάτων μέσω τριχοειδών.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θερμές ευχαριστίες εκφράζονται στον Καθηγητή του ΤΠΜ ΑΠΘ Οικονόμου Νικόλαο για την πολύτιμη βοήθειά του κατά τη διάρκεια εκπόνησης του πειραματικού και του θεωρητικού μέρους της εργασίας.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. European Tire Recycling Association, ETRA, <http://www.etra-eu.com>
2. Used Tire Working Group (UTWG), Tire Recycling, Department of Trade and Industry, London, UK
3. N. Oikonomou, S. Mavridou, “Improvement of chloride ion penetration resistance in cement mortars modified with rubber from worn automobile tires”, corrected proof στο περιοδικό *Cement and Concrete Composites*, 2009.
4. Οικονόμου Ν., Στεφανίδου Μ., Μαυρίδου Σ., Βελτίωση της πρόσφυσης ανακυκλωμένων ελαστικών αυτοκινήτων σε προϊόντα τσιμέντου, *Πρακτικά 15^ο Συνέδριο Συνέδριο ΤΕΕ*, σελ. 234-242, Αλεξανδρούπολη, 25-27 Οκτωβρίου 2006.
5. Γ. Μαυριάς, (2008), «Συλλογικό Σύστημα Εναλλακτικής Διαχείρισης Μεταχειρισμένων Ελαστικών Οχημάτων, 08/05/2008, Κύπρος