

## **ΜΕΛΕΤΗ ΜΙΚΡΟΔΟΜΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΜΕ ΦΘΑΡΜΕΝΑ ΕΛΑΣΤΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ**

**Ν.Οικονόμου, Μ. Στεφανίδου, Σ. Μαυρίδου**

*Εργαστήριο Δομικών Υλικών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ, 54124 Θεσσαλονίκη*

**Π. Εσκίογλου**

*Εργαστήριο Μηχανικών Επιστημών και Τοπογραφίας, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ.*

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Στην παρούσα εργασία παρατίθενται τα αποτελέσματα δοκιμαστικών συνθέσεων τσιμεντοκονιαμάτων με προσθήκη δυο πηγών κονιοποιημένου φθαρμένου ελαστικού -ελληνικό και γερμανικό-. Μελετήθηκαν διάφορες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των τσιμεντοκονιαμάτων αυτών ενώ παράλληλα πραγματοποιήθηκε μικροσκοπική μελέτη της δομής τους, με σκοπό την παρατήρηση της συνάφειας του ελαστικού με την κονία. Από τα αποτελέσματα προκύπτει πως είναι απαραίτητη η εύρεση τρόπου βελτίωσης της συνάφειας μεταξύ των κόκκων του φθαρμένου ελαστικού και τσιμεντόπαστας. Επίσης, παρά την αναμενόμενη πτώση των μηχανικών αντοχών, παρατηρήθηκε μείωση του ενεργού πορώδους και της τριχοειδούς απορρόφησης.

*Λέξεις κλειδιά: ανακύκλωση, φθαρμένα ελαστικά αυτοκινήτων, τσιμεντοκονιάματα, μικροδομή*

# **STUDY OF THE MICROSTRUCTURE OF MORTARS MODIFIED WITH RUBBER FROM WORN AUTOMOBILE TIRES**

**N. Oikonomou., M. Stefanidou, S. Mavridou**

*Laboratory of Building Materials, Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, 54124, Thessaloniki*

**P. Escioglou**

*Laboratory of Mechanical Sciences and Topography, Department of Forestry and Physical Environment, Aristotle University of Thessaloniki*

**ABSTRACT:** This paper presents the results from laboratory tests of rubberized mortars. Two sources of worn automobile tires have been used -Greek and German-. Several physical and mechanical properties of these mortars have been studied, while at the same time a study of their microstructure took place in order to observe the bonding between rubber and mortar. Results certify that it is necessary to improve the bonding between worn tire particles and cement paste. Despite the loss in mechanical properties, open porosity and capillarity were improved.

*Keywords: recycling, worn automobile tires, cement mortars, microstructure*

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σημαντικό θέμα της απόθεσης των φθαρμένων ελαστικών αυτοκινήτων αποκτά ιδιαίτερη σημασία και για την χώρα μας (Ελλάδα) μετά την πρόσφατη θεσμοθέτηση του υπ' αριθμόν 109/75/2004 Προεδρικού Διατάγματος σχετικά με τα μέτρα και τους όρους για την εναλλακτική διαχείριση των μεταχειρισμένων ελαστικών των οχημάτων. Σύμφωνα με αυτό η εναλλακτική διαχείριση των μεταχειρισμένων ελαστικών διέπεται από τις γενικές αρχές εναλλακτικής διαχείρισης του άρθρου 4 του Ν2939/2001. Επίσης σύμφωνα με το άρθρο 6 της 29407/3508/2002 ΚΥΑ «Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων» μετά την 16<sup>η</sup> Ιουλίου 2003, δεν γίνονται αποδεκτά σε ΧΥΤΑ : i) ολόκληρα μεταχειρισμένα ελαστικά οχημάτων, εκτός από τα υλικά που προορίζονται για χρήση σε κατασκευαστικά έργα εντός του ΧΥΤΑ, και ii) τεμαχισμένα μεταχειρισμένα ελαστικά οχημάτων μετά την 16<sup>η</sup> Ιουλίου 2006. Ταυτόχρονα έως την 31<sup>η</sup> Ιουλίου 2006, η αξιοποίηση των μεταχειρισμένων αποβλήτων ελαστικών οχημάτων πρέπει να καλύπτει τουλάχιστον το 65% των αποσυρόμενων ελαστικών. Εντός του ίδιου χρονικού ορίου, η ανακύκλωση πρέπει να φτάνει τουλάχιστον στο 10%. Επομένως κρίνεται επιτακτική η άμεση διαχείριση των ελαστικών αυτών (Προεδρικό Διάταγμα υπ' αριθμ.109, 2004). Οι παραγωγοί ελαστικών και οι θυγατρικές τους εταιρίες ανακύκλωσης, ερευνητικά κέντρα, εταιρίες ανακύκλωσης ελαστικού και οι παραγωγοί εξοπλισμού έχουν πραγματοποιήσει μεγάλη πρόοδο στην εκτεταμένη έρευνα σχετικά με τα χαρακτηριστικά και τις πιθανές χρήσεις των ελαστικών οχημάτων μετά το πέρας της χρήσης τους, αλλά και τις οικολογικές επιπτώσεις των προτεινόμενων εφαρμογών (E.T.R.A., 2004).

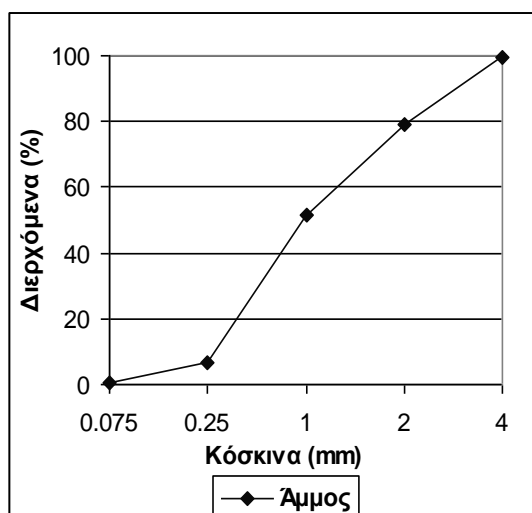
Η παρούσα εργασία μελετά ορισμένες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες τσιμεντοκονιαμάτων με χρήση κονιοποιημένου φθαρμένου ελαστικού αυτοκινήτων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην μελέτη της μικροδομής των τροποποιημένων με ελαστικά τσιμεντοκονιαμάτων, προκειμένου να ευρεθεί η συνάφεια μεταξύ του ελαστικού και της κονιάς. Το ελαστικό προέρχεται από δυο πηγές (ελληνικό και γερμανικό). Κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν αυτές οι δυο πηγές για τον έλεγχο καταλληλότητας της ποιότητας αυτών ως πρόσθετα σε προϊόντα τσιμέντου λόγω της διαφορετικής τεχνολογίας παραγωγής τους και να συγκριθούν τα αποτελέσματα των προϊόντων αυτών. Το ποσοστό της αντικατάστασης του αδρανούς (άμμου) από ελαστικό είναι 2.5%, δεδομένου ότι σε προηγούμενη εργασία αυτό το ποσοστό κρίθηκε το πλέον κατάλληλο, όσον αφορά στις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των μελετούμενων τσιμεντοκονιαμάτων (Οικονόμου Ν., 2005). Επίσης η κοκκομετρία του ελαστικού επιλέχθηκε με βάση τη βιβλιογραφία σύμφωνα με την οποία μεγαλύτερης κοκκομετρίας ελαστικά επιφέρουν σημαντική μείωση των μηχανικών αντοχών των τσιμεντοκονιαμάτων (Ali, N.A., 1993- Eldin, N.N., 1993- Khatib Z.K., 1999- Rostami, H., 1993 - Siddique Rafat , 2004- Topcu, I.B., 1995 -Turatsinze A., 2005, ).

Τροποποιημένα με ελαστικά προϊόντα τσιμέντου είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές όπου κυρίαρχο ρόλο δεν παίζουν οι μηχανικές αντοχές τους, όπως σε στηθαία αναχαίτισης αυτοκινήτων (Topcu, I.B., 1995) -τα οποία υπόκεινται σε άμεσες επιπτώσεις κρούσης, σε ηχοπετάσματα, στην παραγωγή κυβόλιθων, πλακών πεζοδρομίου, πλακιδίων δαπέδου, αντικραδασμικών βάσεων κ.τ.λ. (Κανακόπουλος Δ., 2005).

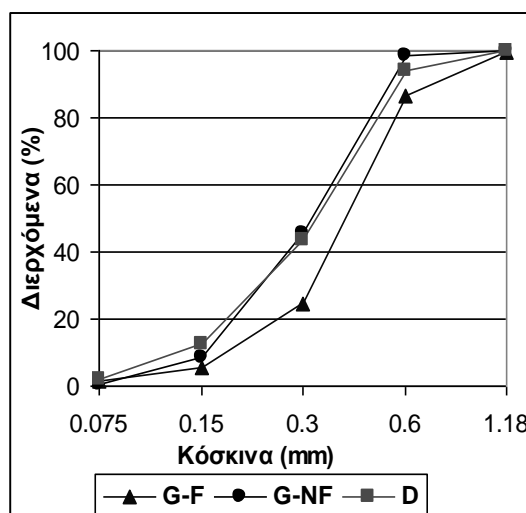
## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των τσιμεντοκονιαμάτων στην παρούσα μελέτη ήταν τσιμέντο, άμμος ποταμού Αξιού (μετά από ξήρανσή της σε ξηραντήριο στους 105 °C) και πούδρα κονιοποιημένου φθαρμένου ελαστικού αυτοκινήτων. Έγινε χρήση υψηλής αντοχής τσιμέντου (CEM I- 42.5 N) της εταιρείας TITAN A.E.

Η πούδρα των ελαστικών είχε προέλευση από Ελλάδα<sup>1</sup> και από Γερμανία<sup>2</sup>. Οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις του αδρανούς υλικού (άμμος ποταμού) και των δύο τύπων ελαστικού (G & D) φαίνονται στα σχήματα 1 και 2, αντίστοιχα. Πρέπει να σημειωθεί πως η πούδρα ελαστικού ελληνικής προέλευσης περιείχε μικρό ποσοστό(3-5%) υφασμάτων ινών 0,3-0,6mm. Κρίθηκε σκόπιμη η παρασκευή τσιμεντοκονιαμάτων και με ελαστικό που περιείχε υφασμάτινες ίνες (G-F) καθώς και με ελαστικό χωρίς ίνες (G-NF) προκειμένου να μελετηθεί η πιθανή επιρροή των υφασμάτων ινών στις μελετούμενες ιδιότητες των τσιμεντοκονιαμάτων



Σχήμα 1: Κοκκομετρική διαβάθμιση άμμου



Σχήμα 2 : Κοκκομετρική διαβάθμιση ελληνικού (G-F,G-NF) και γερμανικού (D) ελαστικού

Για το κονίαμα αναφοράς A, (όπως φαίνεται στον πίνακα 1) χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο, άμμος και νερό χωρίς φθαρμένο ελαστικό αυτοκινήτων. Για την παρασκευή όλων των υπολοίπων συνθέσεων μεταβλήθηκαν οι ποσότητες της άμμου και του ελαστικού καθώς έγινε αντικατάσταση μέρους της άμμου -σε ποσοστό 2.5%- από πούδρα φθαρμένου ελαστικού αυτοκινήτων. Για όλες τις συνθέσεις ο λόγος νερού προς τσιμέντο ήταν 0.5 και η εργασιμότητα του τσιμεντοκονιάματος  $11 \pm 1$  cm. Οι συνθέσεις των τροποποιημένων τσιμεντοκονιαμάτων με ελαστικά φαίνονται στον πίνακα 1.

Τα δοκίμια που παρασκευάστηκαν είχαν διαστάσεις 4x4x16cm, τοποθετήθηκαν σε τρίδυμες μεταλλικές μήτρες και συντηρήθηκαν σε ειδικό θάλαμο με σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ) και υγρασίας (>95%). Στα δοκίμια έγιναν έλεγχοι προσδιορισμού των μηχανικών χαρακτηριστικών τους, όπως η θλιπτική αντοχή, η εφελκυστική αντοχή από κάμψη καθώς και το ενεργό πορώδες, η τριχοειδής απορρόφηση και μελέτη της μικροδομής τους με χρήση Σαρωτικού Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου(SEM).

<sup>1</sup> Καραμπάς Ελληνική Αντιρρυπαντική Ανακύκλωσης Α.Ε.Β.Ε., 35007 Λιβανάτες Φθιώτιδος, e-mail: kkarabas@otenet.gr

<sup>2</sup> RTW, Rubber Technology Weidmann, GmbH & Co, Bindlacher Straße 4, 95448 Bayreuth, Germany, www.weidmann.de/RTW

Πίνακας 1 : Συνθέσεις τσιμεντοκονιαμάτων με και χωρίς φθαρμένα ελαστικά αυτοκινήτων

Αναλογίες*	Κωδ.συνθέσεων			
	A	G-F	G-NF	D
Τσιμέντο CEM I 42.5N	1	1	1	1
Άμμος ποταμού (0-4mm)	3	2.925	2.925	2.925
Ελληνικό ελαστικό χωρίς ίνες(0-1.18mm)			0.075	
Ελληνικό ελαστικό με ίνες (0-1.18mm)		0.075		
Γερμανικό ελαστικό (0-1.18mm)				0.075
Νερό	0.5	0.5	0.5	0.5
Εξάπλωση, cm	11.6	10.3	10.4	10.5

#### *Επεξήγηση συμβόλων Πίνακα 1*

G : ελληνικό ελαστικό

D : γερμανικό ελαστικό

A: πρότυπη σύνθεση

F/ NF : με / χωρίς ίνες

\*: όλες οι αναλογίες σε μέρη βάρους, μ.β.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### *Ιδιότητες νωπού τσιμεντοκονιάματος*

#### *- Εργασιμότητα*

Κατά την παρασκευή των δοκιμών των τσιμεντοκονιαμάτων παρατηρήθηκε πτώση της εργασιμότητας με προσθήκη πούδρας ελαστικού, όπως φαίνεται στον πίνακα 1. Επίσης μεγαλύτερη πτώση της εργασιμότητας παρατηρήθηκε στη σύνθεση G-F, που οφειλόταν στην ύπαρξη ποσοστού υφασμάτων ινών στην ελληνικής προέλευσης πούδρα ελαστικού. Η παρατηρούμενη μείωση ήταν αναμενόμενη και σύμφωνη με τη βιβλιογραφία [Khatib Z.K., Bayomy, F.M., 1999- Siddique Rafat, Naik R T., 2004).

#### *- Συμπύκνωση*

Κατά την παρασκευή των τσιμεντοκονιαμάτων επιλέχθηκαν δυο τρόποι συμπύκνωσής τους, ένας με χρήση μεταλλικής ράβδου και ένας δεύτερος με χρήση δονητικής τράπεζας 60 χτύπων. Από τα πειραματικά αποτελέσματα προέκυψε πως τα δοκίμια που συμπυκνώθηκαν με τη δονητική τράπεζα των 60 χτύπων παρουσίασαν αυξημένες μηχανικές ιδιότητες σε σχέση με τα αντίστοιχα που συμπυκνώθηκαν με μεταλλική ράβδο καθώς και μειωμένο ενεργό πορώδες και τριχοειδή απορρόφηση. Η βελτίωση των μηχανικών αντοχών, με συμπύκνωση σε τράπεζα 60 χτύπων, ανήλθε σε 38% ενώ η μείωση του πορώδους έφτασε το 50 %.

### Ιδιότητες σκληρυμένου τσιμεντοκονιάματος

Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μηχανικών χαρακτηριστικών και του πορώδους των τροποποιημένων τσιμεντοκονιαμάτων με και χωρίς την προσθήκη των δύο τύπων πούδρας φθαρμένων ελαστικών αυτοκινήτων. Τα αποτελέσματα αυτά προέρχονται από δοκίμια με την καλύτερη συμπίκνωση, δηλαδή σε δονούμενη τράπεζα 60 χτύπων.

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά μηχανικών αντοχών και πορώδους των τσιμεντοκονιαμάτων

Χαρακτηριστικά	Συνθέσεις			
	A	G-F	G-NF	D
Θλιπτική αντοχή (MPa)	39.57	32.39	34.26	33.44
Εφελκυστική αντοχή (MPa)	7.25	6.25	6.60	6.40
Ενεργό Πορώδες (%)	8.77	8.20	7.41	8.01

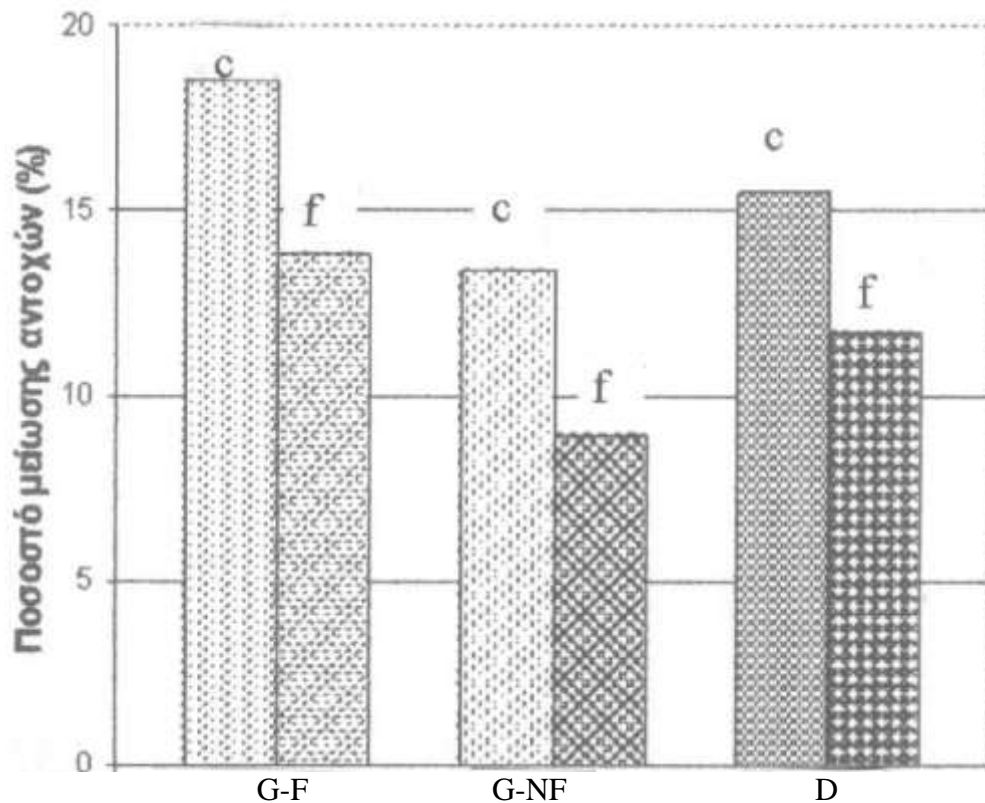
#### - Θλιπτική αντοχή

Προσθήκη φθαρμένων ελαστικών αυτοκινήτων, σε διάφορα ποσοστά και κοκκομετρίες, επιφέρει μείωση των μηχανικών αντοχών των προϊόντων τσιμέντου στα οποία προστίθενται, σύμφωνα και με τη βιβλιογραφία (Ali, N.A., 1993- Eldin, N.N., 1993- Khatib Z.K., 1999- Rostami, H.,1993 - Siddique Rafat, 2004- Turatsinze A.,2005). Όσον αφορά στις συγκεκριμένες συνθέσεις της παρούσας εργασίας και για προσθήκη κονιοποιημένου φθαρμένου ελαστικού αυτοκινήτων σε ποσοστό 2.5%, ως αντικατάστατο μέρους του αδρανούς (της άμμου), μικρότερη μείωση της θλιπτικής αντοχής παρουσίασε η σύνθεση G-NF, η οποία ήταν της τάξης του 13.42%, ενώ μεγαλύτερη μείωση η σύνθεση G-F, η οποία περιείχε φθαρμένο ελαστικό αυτοκινήτων με υφασμάτινες ίνες, μείωση της τάξης του 18.15%, σε σχέση με την πρότυπη σύνθεση A. Η σύνθεση με το γερμανικής προέλευσης ελαστικό παρουσίασε ενδιάμεση συμπεριφορά, δηλαδή η πτώση της θλιπτικής αντοχής έφτασε το 15.5%, σε σχέση με τη σύνθεση A.

#### - Εφελκυστική αντοχή από κάμψη

Παρόμοια συμπεριφορά σημειώθηκε στην εφελκυστική αντοχή από κάμψη των υπό μελέτη τσιμεντοκονιαμάτων. Ωστόσο η μείωση του έμμεσου εφελκυσμού ήταν μικρότερη από την αντίστοιχη της θλιπτικής αντοχής. Η μείωση ήταν μεγαλύτερη για τη σύνθεση με κωδικό G-F 13.8%, και μικρότερη για την σύνθεση G-NF 8.97%, συγκρινόμενη με την αντίστοιχη της πρότυπης σύνθεσης με κωδικό A. Η σύνθεση D παρουσίασε μειωμένη εφελκυστική αντοχή της τάξης του 11.7%, σε σχέση με την πρότυπη σύνθεση, A .

Στο σχήμα 3 φαίνονται συγκεντρωτικά τα ποσοστά μείωσης των μηχανικών αντοχών των τσιμεντοκονιαμάτων με φθαρμένο ελαστικό σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές αντοχών της πρότυπης σύνθεσης A.



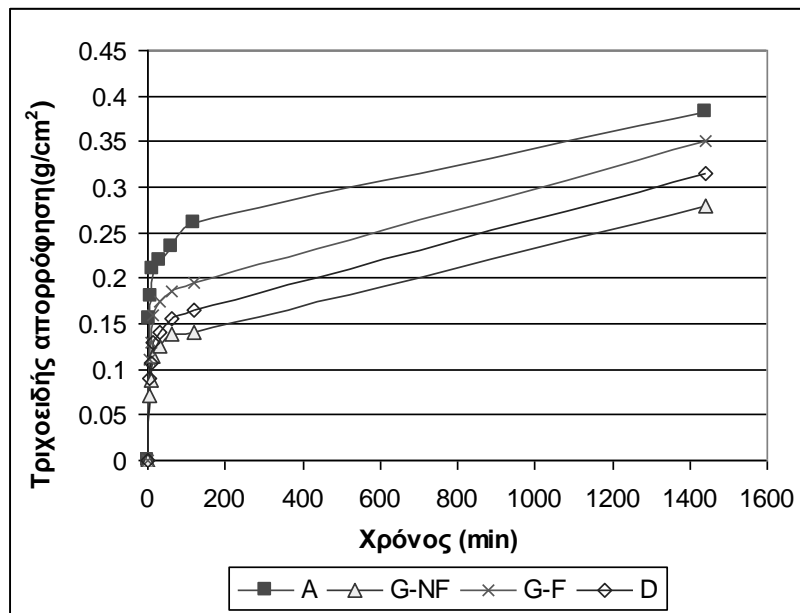
Σχήμα 3: Μείωση της θλιπτικής (c) και της εφελκυστικής (f) αντοχής των τσιμεντοκονιαμάτων των διαφόρων συνθέσεων με φθαρμένο ελαστικό σε σχέση με τις αντίστοιχες της πρότυπης σύνθεσης Α.

- *Ενεργό πορώδες*

Το ενεργό πορώδες αποτελεί μια ιδιότητα, η οποία βελτιώνεται με τη χρήση φθαρμένου ελαστικού αυτοκινητών. Με βάση τις συνθέσεις της παρούσας μελέτης καλύτερη συμπεριφορά σημειώθηκε στη σύνθεση G-NF, της οποίας το ενεργό πορώδες ήταν μικρότερο του αντίστοιχου της πρότυπης σύνθεσης Α κατά 15.5%. Αμέσως καλύτερα αποτελέσματα έδωσε η σύνθεση D με ποσοστό μείωσης του ενεργού πορώδους κατά 8.66% σε σχέση με την Α ενώ το πορώδες της σύνθεσης με χρήση ελληνικής προέλευσης ελαστικού με υφασμάτινες ίνες G-F ήταν μικρότερο του πορώδους της Α κατά 6.5%.

- *Τριχοειδής απορρόφηση*

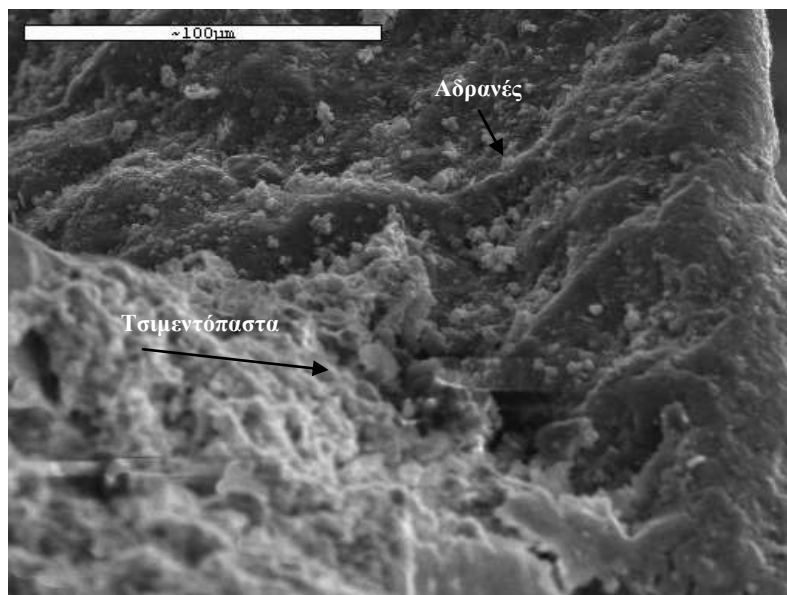
Σκοπός της συγκεκριμένης δοκιμής αποτέλεσε ο υπολογισμός της ποσότητας του νερού που προσροφάται μέσω τριχοειδών κενών σε κάθε δοκίμιο τσιμεντοκονιάματος. Τα αποτελέσματα καταγράφονται στο σχήμα 3. Με βάση το σχήμα αυτό παρατηρούμε πως μικρότερη τριχοειδής απορρόφηση εμφανίστηκε στα δοκίμια της σύνθεσης G-NF, αμέσως μεγαλύτερη στα δοκίμια της σύνθεσης με προσθήκη ελαστικού γερμανικής προέλευσης -D- και ακόμα μεγαλύτερη στα δοκίμια της σύνθεσης G-F, σε σχέση με τα δοκίμια της πρότυπης σύνθεσης αναφοράς Α. Το ποσοστό μείωσης της τριχοειδούς απορρόφησης έφτασε το 11.43, 17.4, και 28.8% για τις συνθέσεις D, G-F και G-NF αντίστοιχα στις 24 ώρες.



Σχήμα 4 : Τριχοειδής απορρόφηση των διαφόρων συνθέσεων των τροποποιημένων τσιμεντοκονιαμάτων με πούδρα φθαρμένου ελαστικού αυτοκινήτων

- Μελέτη μικροδομής

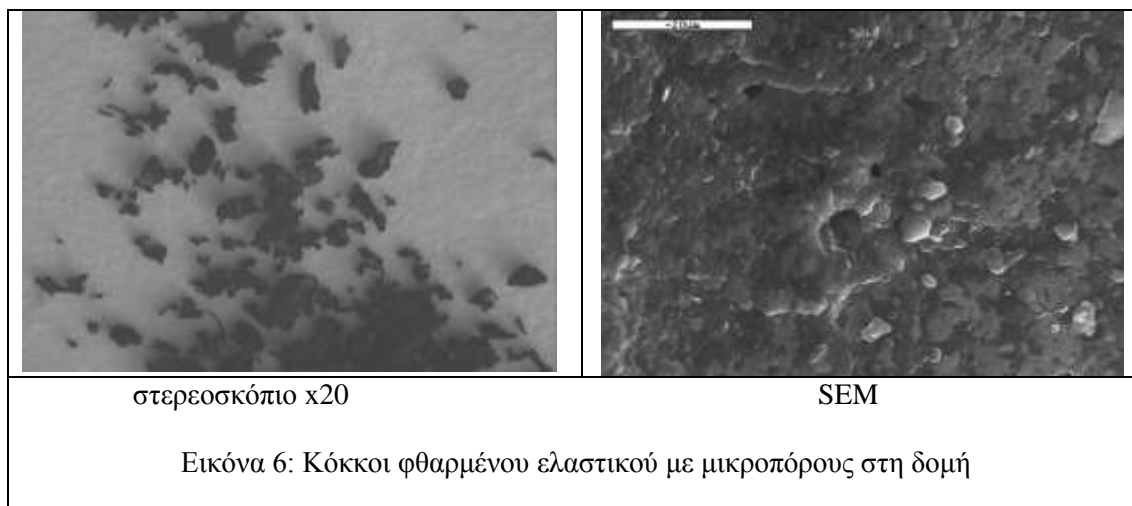
Μέρος της εργασίας αποτέλεσε η μελέτη των κόκκων κονιοποιημένου φθαρμένου ελαστικού αυτοκινήτων στη μικροδομή των τσιμεντοκονιαμάτων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε ειδικές εφαρμογές. Η άμμος Αξιού είναι φυσικής προέλευσης και πυριτικής κατά βάση σύστασης (χαλαζιοαστριούχα πετρώματα). Η επιφάνειά των κόκκων της είναι ελαφρώς τραχειά και οι επαφές τους με την πάστα είναι ισχυρές (εικόνα 5).



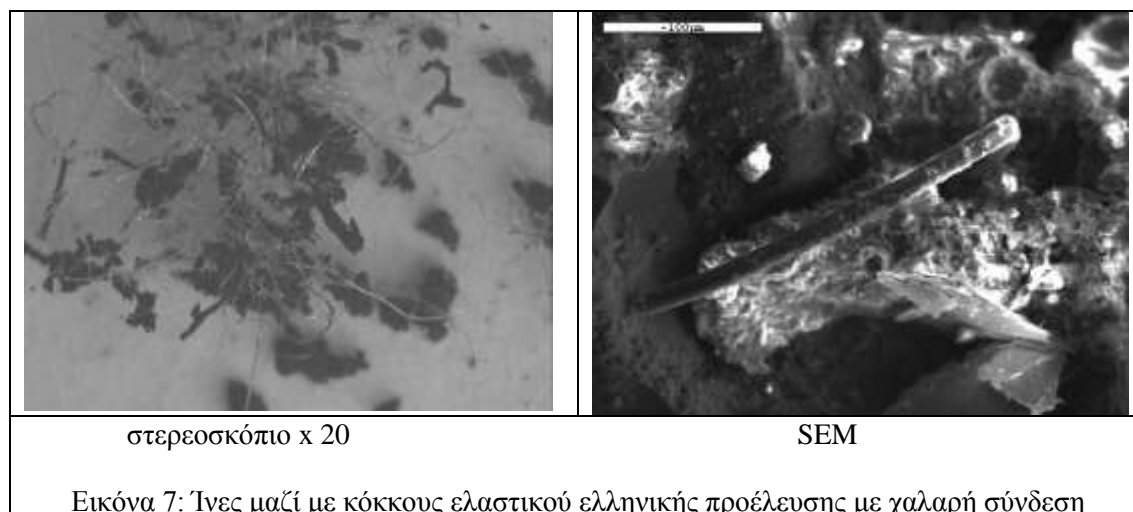
Εικόνα 5: Ισχυρή επαφή τσιμεντόπαστας με φυσικό αδρανές( κονίαμα αναφοράς)



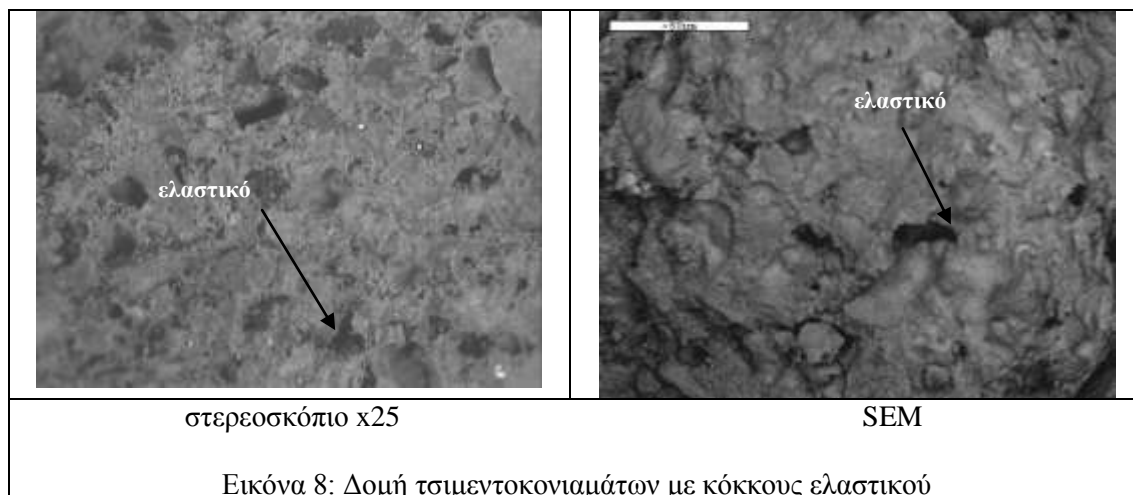
Οι κόκκοι τόσο του ελληνικής όσο και του γερμανικής προέλευσης ελαστικού, όπως φαίνεται από στερεοσκοπική μελέτη και από ανάλυση με σαρωτικό μικροσκόπιο, έχουν τυχαίο, ακανόνιστο σχήμα ενώ η επιφάνειά τους δεν είναι τελείως λεία. Χαρακτηριστικό είναι ότι έχουν ένα μικρό ποσοστό πόρων διαμέτρου 1,5-2 $\mu$ m (εικόνα 6).



Το ελληνικό δείγμα περιέχει ένα ποσοστό υφασμάτων ινών που η σκαναρισμένη ανάλυση με το σαρωτικό μικροσκόπιο έδειξε ότι πρόκειται για ανθρακονήματα. Οι ίνες αυτές ενώ φαίνονται να συνδέονται με τους κόκκους, λεπτομερής ανάλυση δείχνει ότι μετά την κατεργασία που έχουν υποστεί ένα μικρό μόνο ποσοστό έχει ισχυρή σύνδεση ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό εύκολα διαχωρίζεται και μπορεί να απομακρυνθεί (εικόνα 7). Αυτό αποδεικνύεται και με απομάκρυνση των ινών με απλό κοσκίνισμα.



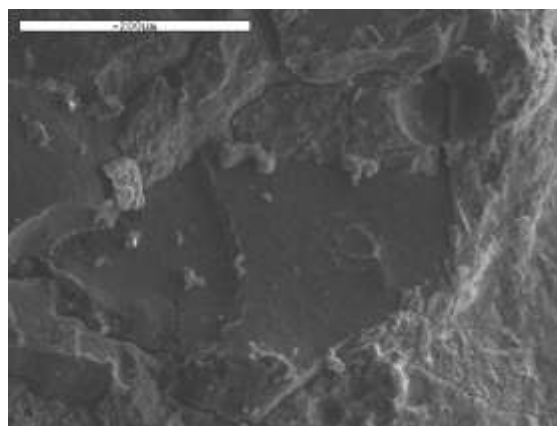
Η παρουσία των κόκκων του φθαρμένου ελαστικού στη δομή των τσιμεντοκονιαμάτων (Εικόνα 8) είναι αισθητή με προσεκτική μόνο παρατήρηση εξαιτίας του μικρού τους ποσοστού και της συγκεκριμένης κοκκομετρικής τους διαβάθμισης.



Εικόνα 8: Δομή τσιμεντοκονιαμάτων με κόκκους ελαστικού

Η μακρο-δομή του πρότυπου κονιάματος ελάχιστα τροποποιείται με την προσθήκη του ελαστικού αφού τόσο η μορφή όσο και το ποσοστό των μεγάλων πόρων που εμφανίζονται μέσα στην κονία πιθανόν να εξαρτάται από άλλους παράγοντες όπως το ποσοστό νερού και την συμπύκνωση των κονιαμάτων ενώ η μικρορηγιμάτωση μέσα στην κονία δεν διαφέρει στο πρότυπο και στα δείγματα με ελαστικό.

Η συνάφεια των κόκκων ελαστικού (ελληνικής και γερμανικής προέλευσης) με την τσιμεντόπαστα φαίνεται αρκετά ισχυρή (Εικόνα 9). Περιμετρικά των κόκκων του ελαστικού παρατηρήθηκαν ρωγμές μέσου εύρους 5μm, οι οποίες είναι βέβαιο ότι θα περιοριστούν με τη βελτίωση της πρόσφυσης τσιμεντόπαστας-κόκκων ελαστικού με διάφορους τρόπους.



Εικόνα 9: Επαφή ελαστικού με τσιμεντόπαστα (SEM)

Επίσης οι κόκκοι ελαστικού φαίνεται να εμποδίζουν την εξέλιξη των ρωγμών που σχηματίζονται μέσα στην κονία, σύμφωνα και με τη βιβλιογραφία [Turatsinze A., 2005] κάτι που έχει αποδειχθεί ότι ισχύει και στα φυσικά αδρανή [Stefanidou M., Papayanni I., 2005].

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το σημαντικό θέμα της απόθεσης των φθαρμένων ελαστικών αυτοκινήτων αποκτά ιδιαίτερη σημασία και για την χώρα μας μετά την πρόσφατη θέσπιση του υπ' αριθμόν 109/75/2004 Προεδρικού Διατάγματος σχετικά με τα μέτρα και τους όρους για την εναλλακτική διαχείριση των μεταχειρισμένων ελαστικών των οχημάτων. Στην παρούσα εργασία, η οποία είχε ως αφορμή το διάταγμα αυτό, μελετήθηκαν μηχανικές και φυσικές ιδιότητες τροποποιημένων τσιμεντοκονιαμάτων με φθαρμένα ελαστικά αυτοκινήτων καθώς και μελέτη της μικροδομής τους με χρήση Σαρωτικού Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε κονιοποιημένο φθαρμένο ελαστικό αυτοκινήτων ελληνικής και γερμανικής προέλευσης. Το ελληνικής προέλευσης φθαρμένο ελαστικό περιείχε μικρό ποσοστό υφασμάτων ινών, με αποτέλεσμα να προκαλεί μεγαλύτερες πτώσεις των μηχανικών αντοχών (Οικονόμου, Ν., 2005). Για το λόγο αυτό παρασκευάστηκαν και μελετήθηκαν και συνθέσεις που περιείχαν ελληνικής προέλευσης ελαστικό με και χωρίς την ύπαρξη υφασμάτων ινών σε αυτό (μετά από σχετικό κοσκίνισμα).

Από τη μελέτη της μικροδομής φαίνεται ότι βασικό πρόβλημα στη χρήση κόκκων ελαστικού στα τσιμεντοκονιάματα και κατ' επέκταση σε όλα τα προϊόντα σκυροδέματος είναι η συνάφεια με την τσιμεντόπαστα. Θετικός όμως είναι ο ρόλος τους στις φυσικές ιδιότητες των κονιαμάτων αυτών αφού μειώνεται η τριχοειδής απορρόφηση και το ενεργό πορώδες με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα της παρούσας εργασίας. Βελτίωση της συνάφειας των κόκκων ελαστικού με διάφορους τρόπους σαφώς θα βελτίωνε την επίδρασή τους στις ιδιότητες των κονιαμάτων αυτών, στόχος που αποτελεί αντικείμενο περαιτέρω μελέτης μας.

Επίσης τα τσιμεντοκονιάματα με φθαρμένο ελαστικό χωρίς ίνες παρουσίασαν καλύτερα αποτελέσματα. Κατά συνέπεια ιδιαίτερη σημασία έχει ο τρόπος και η διαδικασία παραγωγής του κονιοποιημένου φθαρμένου ελαστικού, το οποίο θα πρέπει να είναι απαλλαγμένο από υπολείμματα (ίνες) που περιέχονται στο πλέγμα του οπλισμού του ελαστικού.

Παρά το γεγονός ότι το προστιθέμενο ποσοστό κονιοποιημένου φθαρμένου ελαστικού αυτοκινήτων στα τσιμεντοκονιάματα που μελετήθηκαν ήταν μόλις 2.5%, δεν θεωρείται αμελητέο δεδομένου πως υπάρχει μια πληθώρα εφαρμογών σε έργα πολιτικού μηχανικού, όπου κατά κύριο λόγο δεν απαιτούνται ιδιαίτερα υψηλές μηχανικές αντοχές όπως στην παραγωγή ηχοπετασμάτων, κυβόλιθων, πλακών πεζοδρομίου, τσιμεντόλιθων κτλ. Επίσης το τσιμέντο και προϊόντα με βάση το τσιμέντο κυριαρχούν στη σημερινή εποχή και επομένως η προσθήκη σε αυτά έστω και μικρών ποσοτήτων φθαρμένων ελαστικών αυτοκινήτων μπορεί να συμβάλει στη μείωση του τεράστιου όγκου των αποθέσεων των ελαστικών και συνεπώς στην προστασία του περιβάλλοντος.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Ali, N.A., Amos, A.D., Roberts, M., (1993), Use of ground rubber tires in portland cement concrete. In: Dhir, R.K. (Ed.), Proceedings of the International Conference on Concrete 2000, University of Dundee, Scotland, UK, pp. 379–390.
2. Eldin, N.N., Senouci, A.B., (1993), Rubber-tire particles as concrete aggregates, ASCE Journal of Materials in Civil Engineering 5 (4), pp 478–496.
3. E.T.R.A., EUROPEAN TYRE RECYCLING ASSOCIATION, Εισαγωγή στην ανακύκλωση των ελαστικών, σελ.2-7, <http://www.etra.eu.com>.

4. Κανακόπουλος Δ., (2005), Ολοκληρωμένες εγκαταστάσεις ανακύκλωσης ελαστικών, Πρακτικά 5<sup>ης</sup> Διεθνούς Εκθέσεως και Συνεδρίου για την Τεχνολογία Περιβάλλοντος, Heleco 2005, Αθήνα.
5. Khatib Z.K., Bayomy, F.M., (1999), Rubberized Portland cement concrete, *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering* 11 (3), pp 206-213.
6. Οικονόμου Ν., Σικαλίδης Κ., Μαυρίδου Σ., (2005), Χρήση φθαρμένων ελαστικών αυτοκινήτων στην παραγωγή προϊόντων τσιμέντου, Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Περιβαλλοντικού Συνεδρίου Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη.
7. Προεδρικό Διάταγμα ΥΠ' ΑΡΙΘΜ.109,(2004), Μέτρα και όροι για την εναλλακτική διαχείριση των μεταχειρισμένων ελαστικών των οχημάτων. Πρόγραμμα για την εναλλακτική διαχείρισή τους, 5 Μαρτίου 2004, Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Τεύχος Πρώτο.
8. Rostami, H., Lepore, J., Silverstraim, T., Zundi, I., (1993), Use of recycled rubber tires in concrete. In: Dhir, R.K. (Ed.), *Proceedings of the International Conference on Concrete 2000*, University of Dundee, Scotland, UK, pp. 391–399. Rubber Manufacturer's Association, 2000. Washington, DC.
9. Siddique Rafat, Naik R T., (2004), Properties of concrete containing scrap-tire rubber-an overview, *Waste Management* 24, pp 563-569.
10. Stefanidou M., Papayanni I., (2005), The role of aggregates on the structure and properties of lime mortars, *Cement and Concrete Composites Vol.27 Issues 9-10*, October-November 2005, pp 914-919.
11. Topçu, I.B., (1995), The properties of rubberized concrete, *Cement and Concrete Research* 25 (2),pp 304–310.
12. Turatsinze A., Bonnet S., Granju J.-L., (2005), Mechanical characterization of cement-based mortar incorporating rubber aggregates from recycled worn tyres, *Building and Environment* Vol.40, pp 221-226.