

## **Δάπεδα σκυροδέματος αθλοπαιδιών με χρήση ανακυκλωμένου ελαστικού. Βιοκινητικές μετρήσεις σε μεγάλης ηλικίας δάπεδα.**

**A. Μπάτσιος, I. Παπαγιάννη, Σ. Μαυρίδου**

*Εργαστήριο Δομικών Υλικών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΑΠΘ*

*Λέξεις κλειδιά: δάπεδα αθλοπαιδιών, ανακυκλωμένο ελαστικό, μηχανικά χαρακτηριστικά, βιοκινητικές μετρήσεις*

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Στην πλαίσια της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκαν βιοκινητικές μετρήσεις (με δυναμοδάπεδο) σε μεγάλης ηλικίας (1έτους) δάπεδα συμβατικού σκυροδέματος και σκυροδέματος με ανακυκλωμένο ελαστικό. Σχεδιάστηκαν μίγματα σκυροδέματος κατηγορίας C16/20. Αρχικά μετρήθηκαν τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους (αντοχή σε θλίψη, σε κάμψη, σε διάρρηξη καθώς και το δυναμικό και στατικό μέτρο ελαστικότητας). Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν βιοκινητικές μετρήσεις -κατακόρυφες αντιδράσεις εδάφους , χρόνος εκδήλωσης μέγιστης τιμής και συνολικός χρόνος επαφής-.

**Concrete mixtures with rubber from worn automobile tires proposed for usage as athletic pavements. Biomechanical characteristics in aged pavements**

**A. Batsios, I. Papayianni, S. Mavridou**

*Laboratory of Building Materials, Department of Civil Engineering, A.U.Th*

*Key-words: pavement for athletic activities, recycled tire rubber, concrete, biomechanical characteristics*

**ABSTRACT:** This study presents the biomechanical characteristics in 1 year's old concrete mixtures, with and without recycled rubber as aggregates, for athletic floors using force-plate. The category of these mixtures was set at C16/20 category. This paper examines mechanical characteristics (compression strength, bending strength, splitting tensile strength, dynamic and static modulus of elasticity) as well as biomechanical characteristics such as the maximum vGRF value, the contact time on the specimen ( $T_c$ ) and the time to achieve this value.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το δάπεδο των χώρων αθλοπαιδιών παίζει σημαντικό ρόλο στην απορρόφηση των κατακόρυφων αντιδράσεων που δέχεται ο αθλητής και που καταπονούν ιδιαίτερα τις αρθρώσεις των κάτω άκρων. Μεγάλο ποσοστό των σχολικών προαυλίων, συμπεριλαμβανομένων και των δαπέδων των χώρων για αθλοπαιδιές, καλύπτεται από σκυρόδεμα. Έχει καταγραφεί (McKay et al., 2005) ότι σε μαθητές δημοτικού σχολείου εφαρμόζονται κατακόρυφες δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους (vGRF) έως και πέντε φορές το βάρος του σώματός τους, ενώ η μέγιστη τιμή εμφανίζεται στα πρώτα 20-30 ms της κρούσης, πριν δηλαδή αναλάβει το έλεγχο της κίνησης ο νευρομυϊκός μηχανισμός τους. Σύμφωνα με τους Kollias et al (2004), η κατακόρυφη αντίδραση κατά την εκτέλεση κατακόρυφου άλματος από ύψος 60 εκατοστών μεταξύ αθλητών από διάφορα αθλήματα, βρέθηκε ίση μέχρι και 5 φορές το βάρος του σώματος.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού προτείνεται η δυνατότητα τροποποίησης του δαπέδου με χρήση κοκκοποιημένου ανακυκλωμένου ελαστικού αυτοκινήτων ως αδρανές υλικό, καθώς αρχικές μελέτες προσθήκης του ελαστικού σε προϊόντα με βάση το τσιμέντο κρίνουν ικανοποιητική την συμπεριφορά του ελαστικού σε αυτά (Οικονόμου κα, 2007).

Το ανακυκλωμένο ελαστικό προέρχεται από μηχανικό τεμαχισμό ελαστικών οχημάτων μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, σύμφωνα με στοιχεία της European Tire Recycling Association -E.T.R.A-, αποσύρονται περίπου 3δισ τόνοι ενώ στην Ελλάδα οι ετήσιες ποσότητες φθαρμένων ελαστικών ανέρχονται σε περισσότερους από 58500 τόνους. Υπάρχει ήδη θεσμοθετημένη νομοθεσία και συγκεκριμένα το υπ'αριθμόν 109/75/2004 Προεδρικό Διάταγμα που θέτει προδιαγραφές και στόχους για την εναλλακτική διαχείριση των μεταχειρισμένων ελαστικών. Σύμφωνα με αυτό, η

αξιοποίηση των μεταχειρισμένων αποβλήτων ελαστικών οχημάτων πρέπει να καλύπτει τουλάχιστον το 65% των αποσυρόμενων ελαστικών με ταυτόχρονη ανακύκλωση 10% της συνολικής τους ποσότητας (ΠΔ 109/2004).

Σε παλαιότερη εργασία μετρήθηκαν οι βιοκινητικές παράμετροι 28 ημέρες μετά τη σκυροδέτηση των μιγμάτων σκυροδέματος (Batsios et al, 2008). Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η μέτρηση των βιοκινητικών αυτών παραμέτρων σε δάπεδα μεγάλης ηλικίας (1 έτους) και σύγκριση των αποτελεσμάτων.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### Υλικά, συνθέσεις

Παρασκευάστηκαν τέσσερις σειρές μιγμάτων σκυροδέματος κατηγορίας C16/20. Στην πρώτη σύνθεση (M) χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο CEM IV B 32.5N, άμμος θραυστή ασβεστολιθική (0-4mm), ρύζι (4-8mm), γαρμπίλι (8-16mm) και ρευστοποιητής Pozzolith 390N (BASF CC HELLAS SA). Στη δεύτερη (K30) και τρίτη (K60) σύνθεση χρησιμοποιήθηκε ίδιας κατηγορίας τσιμέντο, ρύζι και ασβεστολιθική άμμος, η οποία όμως αντικαταστάθηκε σε ποσοστό 30% και 60% κατ'όγκον από ανακυκλωμένο ελαστικό αυτοκινήτων ελληνικής προέλευσης (Καραμπάς Ελληνική Αντιρρυπαντική Ανακύκλωσης ΑΕΒΕ, Λιβανάτες Λοκρίδος) αντίστοιχης κοκκομετρίας (0-4mm)-εικόνα 1. Στην τέταρτη σύνθεση (Y60) χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο υψηλής αντοχής CEM I 42.5 αντί κοινού τσιμέντου, ενώ τα υπόλοιπα συστατικά παρέμειναν κοινά με τα αντίστοιχα της K60. Οι μηχανικές αντοχές (αντοχή σε θλίψη, σε κάμψη, σε διάρρηξη καθώς και το στατικό και το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας) εξετάστηκαν με τυποποιημένες διαδικασίες στο πιστοποιημένο (DIN EN ISO 9001:2000) Εργαστήριο Δομικών Υλικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Α.Π.Θ. Παράλληλα, στα παραχθέντα μίγματα καθορίστηκαν η κατακόρυφη αντίδραση σε διάφορα είδη αλμάτων, παράλληλα με τις μηχανικές αντοχές (θλίψη, κάμψη, διάρρηξη, δυναμικό και στατικό μέτρο ελαστικότητας).



Εικόνα 1. Ανακυκλωμένο ελαστικό – μικροσκόπιο, σκυροδέτηση-

Πίνακας 1.Αναλογίες της 1 <sup>ης</sup> σύνθεσης σκυροδέματος(M)	
Τσιμέντο CEM IV/B 32.5	325,0 Kg
Νερό (N/T=0,60)	195,0 Kg
Άμμος (33%)	598,5 Kg
Ρύζι (27%)	489,7 Kg

Γαρμπίλι (40%)	725,5 Kg
Ρευστοποιητής 1% κ.β.τσιμ.	3,25 Kg
Νέος λόγος N/T=0,55	178,7 Kgr
Κάθιση	4,0 cm

Πίνακας 2.Αναλογίες της 2<sup>ης</sup> σύνθεσης σκυροδέματος (K30)

Τσιμέντο CEM IV/B 32.5	325,0 Kg
Νερό (N/T=0,60)	195,0 Kg
Άμμος (50%)	634,8 Kg
Ρύζι (50%)	906,8 Kg
Λάστιχο 30% κ.ό. της άμμου	92,9 Kg
Ρευστοποιητής 1% κ.β.τσιμ.	3,25 Kg
Νέος λόγος N/T=0,50	162,5 Kgr
Κάθιση	1,5 cm

Πίνακας 3.Αναλογίες της 3<sup>ης</sup> σύνθεσης σκυροδέματος (K60)

Τσιμέντο CEM IV/B 32.5	325,0 Kg
Νερό (N/T=0,60)	195,0 Kg
Άμμος (50%)	362,7 Kg
Ρύζι (50%)	906,8 Kg
Λάστιχο 60% κ.ό. της άμμου	186,2 Kg
Ρευστοποιητής 1%κ.β. τσιμ.	3,25 Kg
Νέος λόγος N/T=0,45	146,2 Kgr
Κάθιση	2,5 cm

Πίνακας 4.Αναλογίες της 4<sup>ης</sup> σύνθεσης σκυροδέματος (Y60)

Τσιμέντο CEM I 42.5	300,0 Kg
Νερό (N/T=0,70)	210,0 Kg
Άμμος (50%)	358,0 Kg
Ρύζι (50%)	895,0 Kg
Λάστιχο 60% κ.ό. της άμμου	183,0 Kg
Ρευστοποιητής 1%κ.β. τσιμ.	3,0 Kg
Νέος λόγος N/T=0,42	126,3 Kgr
Κάθιση	2,0 cm

#### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των μιγμάτων δίνονται στον πίνακα 5.

Πίνακας 5.Αναλογίες της 4<sup>ης</sup> σύνθεσης σκυροδέματος (Y60)

Παράμετρος		M	K30	K60	Y60
Θλιπτική αντοχή	(MPa)	28.0	14.5	6.5	9.9
Αντοχή σε κάμψη	(MPa)	4.95	4.60	4.40	4.70
Αντοχή σε διάρρηξη	(MPa)	2.57	2.21	2.02	2.12
Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας	(GPa)	44.8	32.7	18.6	25.9
Στατικό μέτρο ελαστικότητας	(GPa)	24.0	17.0	7.5	12.0
Ειδικό βάρος	(t/m <sup>3</sup> )	2.3	2.1	2.0	2.0

## ΒΙΟΚΙΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

### ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΒΙΟΚΙΝΗΤΙΚΗΣ

Οι βιοκινητικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Βιοκινητικής του Τ.Ε.Φ.Α.Α. – Α.Π.Θ. Κάθε δοκίμιο τοποθετήθηκε με τυχαία σειρά σε δυναμοδάπεδο AMTI OR6-5-1 (AMTI, Newton, MA), συνδεδεμένο με Η/Υ (2kHz) μέσω A/D κάρτας (PCL-812PG, Advantech Co, Taiwan). Το δυναμοδάπεδο είναι ένα συνηθισμένο όργανο μέτρησης της δύναμης στην αθλητική κίνηση. Πρόκειται για ένα όργανο με ορθογώνια επίπεδη επιφάνεια διαστάσεων συνήθως 50X60 cm, τοποθετείται στο δάπεδο με την επιφάνειά του να βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με αυτή του δαπέδου. Λόγω της χρησιμοποίησης τεσσάρων τρισδιάστατων μετατροπέων δύναμης, ένα σε κάθε γωνία, ένα δυναμοδάπεδο έχει την δυνατότητα της μέτρησης της εφαρμοζόμενης δύναμης στους τρεις καρτεσιανούς άξονες X, Y, Z και την δυνατότητα ορισμού του σημείου όπου εφαρμόζεται η συνισταμένη δύναμη (κέντρο πίεσης).



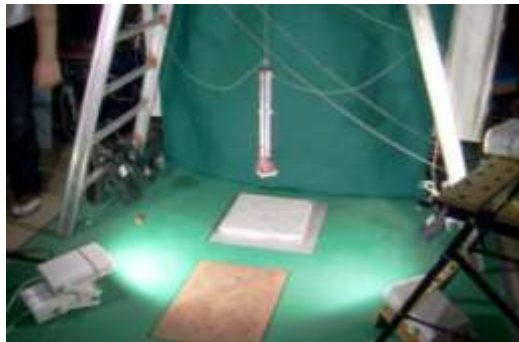
Εικόνα 2. Δυναμοδάπεδο.

### ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης ανθρώπινου σκέλους παρασκευάστηκε ατσάλινος συμπαγής κύλινδρος μήκους 41cm και διαμέτρου 6.5cm δημιουργώντας συνθήκες κρούσης. Στην επιφάνεια κρούσης του κυλίνδρου προσαρμόσθηκε η φτέρνα ενός κοινού αθλητικού υποδήματος μέσω τεφλόν πάχους 5cm. Το συνολικό βάρος του σκέλους ήταν 11.2kg, ενώ για την απελευθέρωση χρησιμοποιήθηκε ειδικός μηχανισμός σκανδάλης. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε δοκίμια διαστάσεων 36x36x5cm.



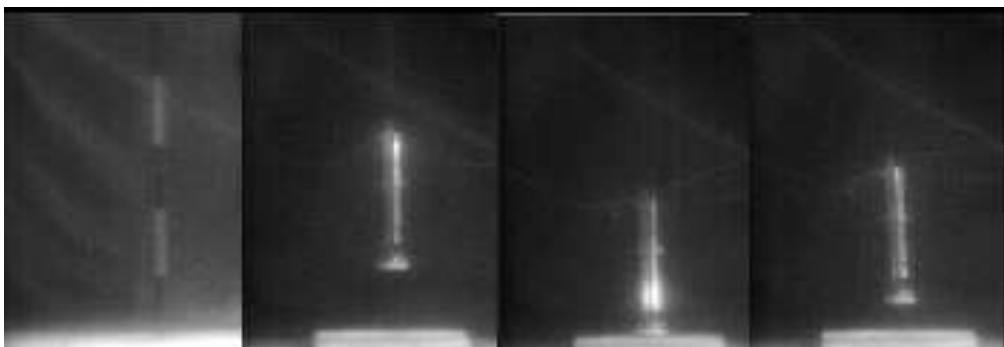
Εικόνα 3. Προσομοιωτής σκέλους.



Εικόνα 4. Συνολική παρουσίαση της διάταξης.

Υπολογίστηκε η κινητική ενέργεια που παράγεται σε άλμα ύψους 30 εκατοστών για μέσο όρο βάρους 76,5kg που ανταποκρίνεται για μαθητές λυκείου (Κόλλιας, 1997).

Κατά την προσομοίωση, κύλινδρος βάρους 11,2kg απελευθερώθηκε 30 φορές για κάθε δοκίμιο από ύψος 8,5εκ. ώστε να αναπαράγονται δυνάμεις αντίδρασης της τάξης μεγέθους περίπου 5 φορές το βάρος του σώματος σύμφωνα πάντα με τη βιβλιογραφία (McKay, 2005; Kollias, 2004). Για την επιβεβαίωση της καθετότητας κατά την κρούση, όλες οι προσπάθειες καταγράφηκαν με κάμερα Redlake MotionScope PCI 1000S (Redlake Imaging Corp., Morgan Hill, CA), με συχνότητα 1kfps.



Εικόνα 5. Στιγμιότυπα τη στιγμή της μέτρησης

#### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΙΟΚΙΝΗΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Πίνακας 6. Παράμετροι της κρούσης του σκέλους στα δοκίμια 28 ημερών  
(μέσος όρος,  $n=30$ )

Παράμετρος		M	K30	K60	Y60
vGRF	(kN)	4.6	4.4	4.0	3.9
Tc	(msec)	14.4	16.5	19.0	16.7
Tf	(msec)	7.1	8.0	9.0	8.8

Πίνακας 7. Παράμετροι της κρούσης του σκέλους στα δοκίμια μεγάλης ηλικίας (1 έτος)  
(μέσος όρος,  $n=30$ )

Παράμετρος		M	K30	K60	Y60
vGRF	(kN)	5.1	4.5	4.1	4.1
Tc	(msec)	15.4	16.4	17.1	18.2
Tf	(msec)	8.0	8.2	8.7	9.3

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα αποτελέσματα από την εξέταση των μηχανικών ιδιοτήτων των δοκιμίων των διαφόρων συνθέσεων σκυροδέματος που παρουσιάστηκαν διαπιστώνουμε ότι η προσθήκη ελαστικού προκαλεί σχετική μείωση των μηχανικών χαρακτηριστικών τους.

Όσον αφορά τις βιοκινητικές μετρήσεις, οι παράμετροι που εξετάστηκαν κατά την κρούση του σκέλους ήταν ο χρόνος επαφής του σκέλους στο δοκίμιο (TC) και ο χρόνος εμφάνισης της μέγιστης τιμής vGRF (TF). Από την παρατήρηση του πίνακα 6 (28 ημέρες από τη σκυροδέτηση) για τις ενδεικτικές τιμές vGRF για τις συνθέσεις M, K30, K60 και Y60, βλέπουμε τη διαδοχική μείωση της μέγιστης τιμής vGRF, αύξηση του TC και του TF. Από την παρατήρηση των τιμών του πίνακα 7 (1 έτος από τη σκυροδέτηση) βλέπουμε μικρή αύξηση της απόλυτης τιμής της κατακόρυφης αντίδρασης, του συνολικού χρόνου επαφής και του χρόνου εκδήλωσής της για τον μάρτυρα. Παράλληλα οι τιμές αυτές παραμένουν σε ίδια επίπεδα για τις συνθέσεις με ελαστικό, παρουσιάζοντας αναλογικά μείωση όπως και οι αρχικές μετρήσεις.

Σαν πρώτο συμπέρασμα λοιπόν, μπορούμε να πούμε πως η απορροφητικότητα των κατακόρυφων αντιδράσεων παραμένει στα ίδια επίπεδα 1 έτος μετά τη σκυροδέτηση. Επίσης, όπως και στις αρχικές μετρήσεις έτσι και τώρα, οι χρόνοι επαφής και εκδήλωσης της μέγιστης τιμής έχουν αυξηθεί σε σχέση με τον μάρτυρα. Άρα η χρήση του ελαστικού συνεχίζει να δρα -1 έτος μετά τη σκυροδέτηση- κατά τον ίδιο ωφέλιμο τρόπο, αυξάνοντας τον χρόνο επαφής και εκδήλωσης της μέγιστης δύναμης αντίδρασης του εδάφους.

Τέλος, η βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών αυτών των συνθέσεων σκυροδέματος, αλλά και η ευρύτερη χρήση του σε δάπεδα αθλοπαιδιών, αποτελεί θέμα περαιτέρω έρευνας.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή του ΤΕΦΑΑ-ΑΠΘ Ηρακλή Κόλλια, Διευθυντή του Εργαστηρίου Βιοκινητικής, για τη συμβολή του στην κατασκευή των οργάνων (προσομοιωτής σκέλους, μηχανισμός απελευθέρωσης) καθώς και τον υποψήφιο διδάκτορα του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού Βασίλη Πανουτσακόπουλο, για τη βοήθειά του στις μετρήσεις που έγιναν στο χώρο του Εργαστηρίου Βιοκινητικής του Τ.Ε.Φ.Α.Α.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Μπάτσιος Α., Παπαγιάννη Ι., Μαυρίδου Σ., Η. Κόλλιας, “Σκυρόδεμα με προσθήκη ανακυκλωμένου ελαστικού αυτοκινήτων για χρήση σε δάπεδα αθλοπαιδιών”, Πρακτικά 1<sup>ου</sup> Συνεδρίου Δομικών Υλικών και Στοιχείων, Αθήνα, 21-23 Μαΐου 2008, 799-810.

Οικονόμου Ν., Μαυρίδου Σ., Καζακόπουλος Α., (2007), Μελέτη κρασπέδων σκυροδέματος τροποποιημένων με φθαρμένα ελαστικά αυτοκινήτων, 4<sup>ο</sup> Διεθνές Συνέδριο Ασφαλικών Μιγμάτων και Οδοστρωμάτων, Θεσσαλονίκη, 19-20 Απριλίου.

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

Hyoku, C., Shibukawa, K., Ae, M., Hashihara, Y., Yokoi, T., & Kawabata, A. (1984). Effect of dropping height on a buffer action in landing. *Proceedings for Japanese Society of Biomechanics* (pp. 203-207).

Kollias I., Panoutsakopoulos V., & Papaiakovou G., “Comparing jumping ability among athletes of various sports: vertical drop jumping from 60 cm”, *Journal of Strength and Conditioning Research*,18(3), 2004, 546-550

McKay H., Tsang G., Heinonen A., MacKelvie K., Sanderson D., Khan K., “Ground reaction forces associated with an effective elementary school based jumping intervention”, (2005)

Siddique Rafat, Naik R T. 2004. Properties of concrete containing scrap-tire rubber-an overview, *Waste Management* 24, (2004), 563-569

Batsios A., Panoutsakopoulos V., Mavridou S., Papayanni I., Kollias, I. (2008), “Mechanical characteristics of concrete mixtures with rubber from worn automobile tires proposed for usage as school-yard surfaces”, *Book of Abstracts of the 3<sup>rd</sup> Conference of the Hellenic Society of Biomechanics*, 37-38.