

ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΩΝ ΤΟΥΒΛΩΝ ΩΣ ΑΔΡΑΝΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Σπυράγγελος Λυκούδης

Προϊστάμενος Εργαστηρίου ΠΥΘ, Εγνατία Οδός Α.Ε.

Θωμάς Κοτρώτσιος

Αναπληρωτής Προϊστάμενος Εργαστηρίου ΠΥΘ, Εγνατία Οδός Α.Ε.

Λέξεις κλειδιά: Ανακυκλωμένα τούβλα, ανακύκλωση αδρανών, αδρανή σκυροδέματος, απορροφητικότητα, συρρίκνωση, οικολογικό σκυρόδεμα, clay bricks, green concrete, recycled clay bricks..

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Τις τελευταίες δεκαετίες, είναι γενικά παραδεκτό ότι τα απόβλητα των εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων αυξάνονται, γεγονός που καθιστά επιβεβλημένη την ορθολογιστική διαχείρισή τους. Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο αναθέωρησε την οδηγία για την ανακύκλωση εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων, προκειμένου να πραγματοποιείται σε ποσοστό έως 70%, μέχρι το 2020.

Η παρούσα εργασία, διερευνά τη χρήση τούβλων τα οποία προέρχονται από κατεδαφίσεις οικοδομών, σαν αδρανή υλικά για την παραγωγή σκυροδέματος. Τα θραυσμένα τούβλα σαν αδρανή έχουν ξεχωριστό ενδιαφέρον, δεδομένου ότι μπορούν να συνεισφέρουν αποφασιστικά στη μείωση των οικοδομικών αποβλήτων και ταυτόχρονα να εξοικονομήσουν υλικά από φυσικές πηγές. Υπάρχουν βέβαια κάποια εμπόδια για τη χρήση των ανακυκλωμένων τούβλων σαν αδρανή, όπως οι υψηλές απορροφητικότητες, η συστολή ξήρανσης του σκυροδέματος και η έλλειψη γνώσης από τη χρήση τους.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αντιστοιχούν περίπου 480 κιλά οικοδομικών αποβλήτων ανά κάτοικο. Στην Ελλάδα, μεγάλο μέρος οικοδομικών αποβλήτων οδηγείται ανεξέλεγκτα σε ρέματα και δασικές εκτάσεις, ενώ σύμφωνα με εκτιμήσεις ένα ποσοστό της τάξης του 0,5%, ανακυκλώνεται.

Η πρώτη χρήση σπασμένων τούβλων σαν αδρανή σκυροδέματος αναφέρεται στην Γερμανία το 1860, αλλά η πρώτη σημαντική χρήση

σπασμένων τούβλων σαν αδρανή σκυροδέματος, καταγράφεται κατά την ανοικοδόμηση μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο.

Ο στόχος της παρούσας εργασίας, είναι η αντικατάσταση σε διάφορα ποσοστά των ασβεστολιθικών αδρανών από ανακυκλωμένα τούβλα και η μελέτη των χαρακτηριστικών του σκυροδέματος σε φρέσκια και σκληρυμένη μορφή.

3. ΤΟΥΒΛΑ-ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΤΟΥΒΛΑ

Κατά τη διάρκεια της έρευνας, δεν κατέστη δυνατή η εύρεση τούβλων από κατεδαφισθείσα οικοδομή, οπότε η προμήθειά τους έγινε από παραγωγό. Τα τούβλα είναι Οικοδομικά, Γλώσσα Νο 75, Διαστάσεων $35 \times 15 \times 7,8 \text{ cm}$, σύμφωνα με το EN 771-1 “Specification for Masonry Units – Part 1 Clay Masonry Units” (Φωτ. 1).



Φωτογραφία 1. Οικοδομικό
Τούβλο, Γλώσσα Νο 75.

Σύμφωνα με το EN 772, τα χαρακτηριστικά των τούβλων, αντοχή σε θλίψη, αντοχή σε βρασμό, Υγεία, φαίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά τούβλων.

Αντοχή σε θλίψη (EN 772-16)	Βρασμός (EN 772-00)	Υγεία (EN 772-00)
3,2MPa	2,7MPa	9,7%

Τα τούβλα θραύστηκαν με μηχανικό τρόπο (σφυρί σε μεταλλική πλάκα) και κοσκινίστηκαν προκειμένου να παρασκευασθούν κλάσματα εφάμιλλης κοκκομετρίας με τα ασβεστολιθικά (Φωτ. 2, 3)



Φωτογραφία 2. Θραύση τούβλων.

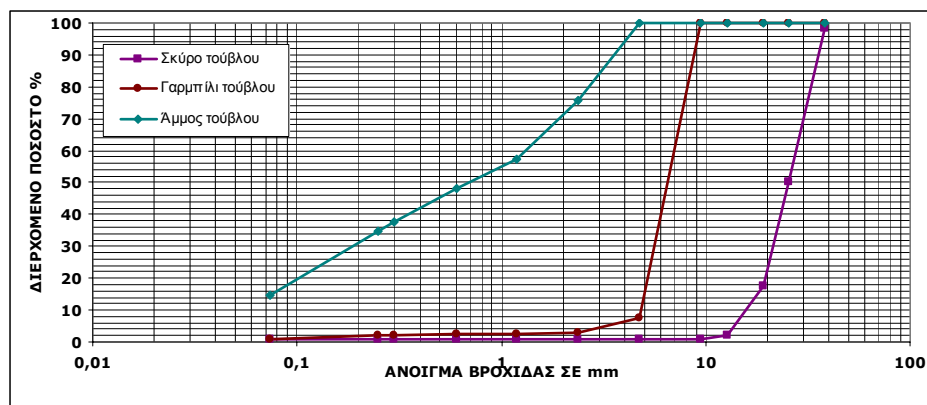


Φωτογραφία 3. Κοσκίνισμα τούβλων.

Τα χαρακτηριστικά των αδρανών που παράχθηκαν από τα τούβλα, φαίνονται στον Πίνακα 2 και οι κοκκομετρικές καμπύλες τους, στο Σχήμα 1.

Πίνακας 2. Ασβεστολιθικά αδρανή υλικά, προερχόμενα από τούβλα.

Αδρανές	Άμμος τούβλου	Γαρμπίλι τούβλου	Σκύρα τούβλου
Ισοδύναμο άμμου	68	---	---
Μπλε του μεθυλενίου	0,3 (MB)/1,33(MB _f)	---	---
Ειδικό βάρος	2,533	---	2,452
Απορροφητικότητα Los Angeles	3,036	---	10,359
Δείκτης Πλακοειδούς	---	43	80



Σχήμα 1. Κοκκομετρικές καμπύλες αδρανών, προερχόμενων από τούβλα.

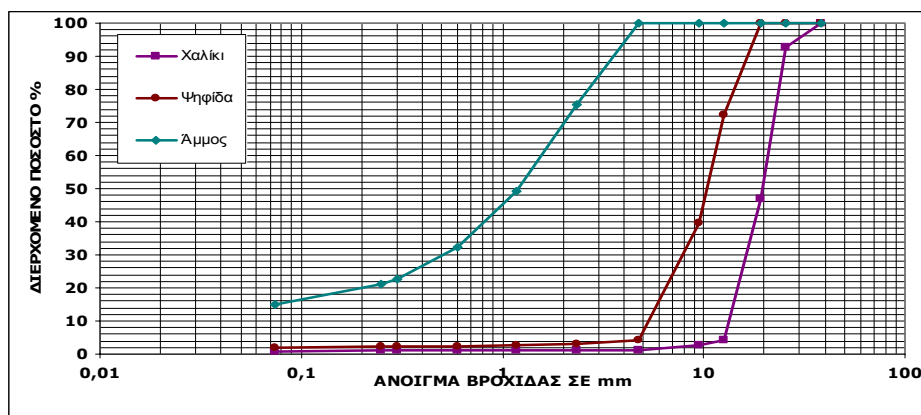
Σημειώνεται εδώ ότι η απότριψη σε τριβή και κρούση (Los Angeles), είναι απαγορευτική, σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ.-97. Πλην όμως η έρευνα προχώρησε, προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα.

3. ΥΛΙΚΑ

Τα αδρανή υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα είναι θραυστά ασβεστολιθικά αδρανή κοκκομετρίας 10/25,4/10,0/4mm, τα οποία καλύπτονται από το EN 12620. Τα χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον Πίνακα 3, ενώ οι κοκκομετρικές τους καμπύλες φαίνονται στο Σχήμα 2.

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά ασβεστολιθικών αδρανών υλικών.

Αδρανές	Ασβεστολιθική άμμος	Γαρμπίλι	Σκύρα
Ισοδύναμο άμμου	72	---	---
Μπλε του μεθυλενίου	0,4 (MB), 1,33(MB _f)	---	---
Ειδικό βάρος	2,712	2,683	2,682
Απορροφητικότητα	2,2	0,4	0,4
Los Angeles	---	---	23



Σχήμα 2. Κοκκομετρικές καμπύλες ασβεστολιθικών αδρανών.

Το τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα, είναι τύπου Π 32,5.

Το νερό που χρησιμοποιήθηκε είναι του δικτύου ύδρευσης.
Το πρόσμεικτο που χρησιμοποιήθηκε, είναι ρευστοποιητής νέας γενιάς (πολυκαρβοξυλικού αιθέρα), σύμφωνα με το EN 934-2:2001.

4. ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΑ ΑΝΑΜΕΙΓΜΑΤΑ

Επί της αρχικής σύνθεσης σκυροδέματος κατηγορίας C16/20 και κάθισης S4, η οποία ήταν όλη φτιαγμένη με ασβεστολιθικά αδρανή, πραγματοποιήθηκαν αντικαταστάσεις με αδρανή παραγόμενα από θραυστά τούβλα, σε ποσοστό 0-20-40-50-60-80-100% σε σκύρο και γαρμπίλι αντίστοιχα, ενώ όσον αφορά την άμμο έγινε αντικατάσταση σε ποσοστό 15 και 30%.

Οι αναλογίες, η κάθιση και οι θλιπτικές αντοχές της Σύνθεσης Μάρτυρα (μείξη χωρίς ανακυκλωμένα τούβλα), κατηγορίας C 16/20 και κάθισης S4, φαίνονται στον ακόλουθο Πίνακα:

Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά Σύνθεσης Μάρτυρα.

	Αναλογίες (kg/m ³)	Κάθιση (cm)	Αντοχές (MPa)
Τσιμέντο Π 32,5	330	t ₀ : 19	16h: 7,3
Άμμος θραυστή	1020	t ₃₀ : 17	24h: 9,7
Γαρμπίλι	260	t ₆₀ : 15	7d: 22
Σκύρο	550	t ₉₀ : 12,5	28d: 28,5
Νερό	215		
Ενεργός λόγος W/C	0,591		
Ρευστοποιητής	2		

Επί της σύνθεσης του Μάρτυρα πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες αντικαταστάσεις:

Αντικατάσταση στο Σκύρο σε ποσοστά 20, 40, 50, 60, 80, 100 επί του ασβεστολιθικού αδρανούς, αντικατάσταση στο Γαρμπίλι σε ποσοστά 20, 40, 50, 60, 80, 100 επί του ασβεστολιθικού αδρανούς, αντικατάσταση στην Άμμο σε ποσοστά 15, 30 % επί της ασβεστολιθικής άμμου. Τα αποτελέσματα των θλιπτικών αντοχών είναι αποτέλεσμα μέσου όρου τριών δοκιμών. Τα χαρακτηριστικά των δοκιμαστικών αναμειγμάτων σε φρέσκια και σκληρυμένη μορφή φαίνονται στον Πίνακα 5 και στα Σχήματα 3, 4.

Χρησιμοποιήθηκαν ακριβώς οι ίδιες αναλογίες με τον μάρτυρα, προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για την θλιπτική αντοχή και την μεταβολή της κάθισης.

Σημειώνεται εδώ ότι όσο αυξάνεται το χρησιμοποιηθέν ποσοστό των τούβλων που χρησιμοποιείται, το χρώμα του φρέσκου σκυροδέματος μετατρέπεται από ανοικτό γκρι σε κοκκινωπό.

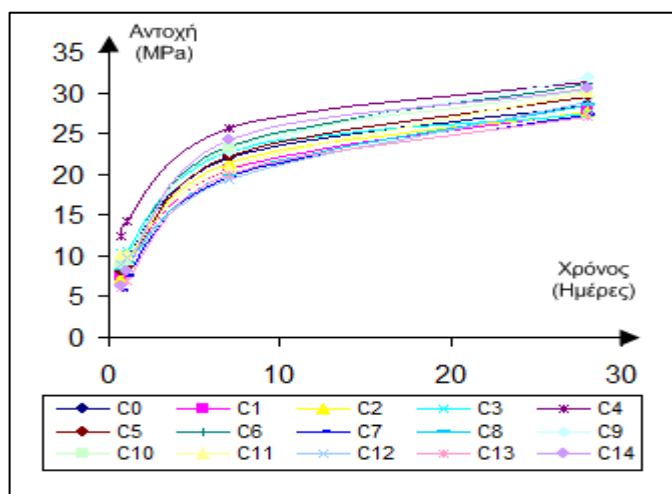
Πίνακας 5. Χαρακτηριστικά σκυροδέματος.

	Ποσοστά Αδρανών (%)						Κάθιση (cm) $t_0/t_{30}/t_{60}/t_{90}$	Θλιπτική αντοχή (MPa) 16h/24h/7d/28d
	* $\Sigma_{\text{ΑΣΒ}}$	$\Sigma_{\text{ΤΟΥ}}$	$\Gamma_{\text{ΑΣΒ}}$	$\Gamma_{\text{ΤΟΥ}}$	$A_{\text{ΑΣΒ}}$	$A_{\text{ΤΟΥ}}$		
C ₀	100	0	100	0	100	0	19/17/15/13	7,3/9,7/22/28,5
C ₁	100	0	80	20	100	0	18/11/6/5	7,4/9/20,5/25,7
C ₂	100	0	40	60	100	0	18/11/10/6	7,4/9,1/21,3/27,7
C ₃	100	0	50	50	100	0	10/6/5/3	10,3/10,5/22,8/27,5
C ₄	100	0	40	60	100	0	8/5/3/2	12,4/14,3/25,6/31,3
C ₅	100	0	20	80	100	0	7/5/3/2	8,2/8,5/22,1/29,5
C ₆	100	0	0	100	100	0	5/3/2/1	8,4/9,9/23,4/31,2
C ₇	80	20	100	0	100	0	14/10/8/6	5,7/7,5/19,8/27,2
C ₈	60	40	100	0	100	0	9/7/4/3	8,4/9,1/20/28,4
C ₉	50	50	100	0	100	0	5/3/2	9,7/10,1/22,8/31,9
C ₁₀	40	60	100	0	100	0	5/3/1	9/9,3/23,1/30,4
C ₁₁	20	80	100	0	100	0	2/1	10,1/10,2/20,7/30,1
C ₁₂	0	100	100	0	100	0	1	9/9,7/19,3/28,9
C ₁₃	100	0	100	0	85	15	17/14/8/6	6,2/6,9/20/27,1
C ₁₄	100	0	100	0	70	30	4/2	6,3/8,2/24,2/30,6

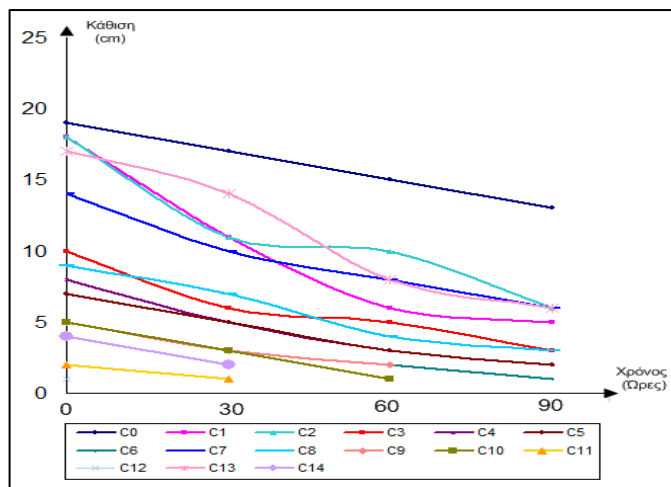
* $\Sigma_{\text{ΑΣΒ}}$: Σκύρο ασβεστολιθικό, $\Sigma_{\text{ΤΟΥ}}$: Σκύρο τούβλου

$\Gamma_{\text{ΑΣΒ}}$: Γαρμπίλι ασβεστολιθικό, $\Gamma_{\text{ΤΟΥ}}$: Γαρμπίλι τούβλου

$A_{\text{ΑΣΒ}}$: Άμμος ασβεστολιθική, $A_{\text{ΤΟΥ}}$: Άμμος τούβλου



Σχήμα 3. Ανάπτυξη θλιπτικής αντοχής αναμιγμάτων.



Σχήμα 4. Εξέλιξη της κάθισης σε συνάρτηση με το χρόνο.

4. ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ.-97, ο Δείκτης σε Τριβή και Απότριψη ($L.A.=69$), είναι απαγορευτικός για την παραγωγή σκυροδέματος. Επίσης ο τρόπος παραγωγής αδρανών που ακολουθήθηκε στην έρευνα, παρήγαγε αδρανή με υψηλό Δείκτη Πλακοειδούς. Παρόλα αυτά και δεδομένης της υψηλής απορροφητικότητας των Αδρανών των τούβλων, υπάρχει μεγάλη απώλεια της κάθισης σε μικρό χρονικό διάστημα.

Αντίστοιχα, προκειμένου να παραχθεί σκυρόδεμα ισοδύναμης κάθισης είναι απαραίτητη η προσθήκη ρευστοποιητή, γεγονός που ανεβάζει το κόστος. Δεδομένου ότι η απορροφητικότητα των τούβλων είναι μεγαλύτερη από των συμβατικών αδρανών, είναι απαραίτητη η ύπαρξη μέτρησης της συρρίκνωσης του σκυροδέματος. Επίσης, πρέπει να πραγματοποιηθούν μετρήσεις Ανθεκτικότητας στο χρόνο (Durability).

Σε γενικές γραμμές, η εργασία επιβεβαιώνει τις βιβλιογραφικές παραπομπές όπου τα θραυστά τούβλα μπορούν να αντικαταστήσουν τα συμβατικά αδρανή σε ένα σημαντικό ποσοστό.

5. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Bektas F., Wang K., Ceylan H., “Effects of crushed clay brick aggregate on mortar durability”, Construction and Building Materials (2008)
- Cultrone G, Sebastián E, Ortega Huertas M., “Durability of masonry systems: A laboratory study”, Construction and Building Materials, Department of Mineralogy and Petrology, University of Granada, 2005
- Debieb F., Kenai S., “The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete”, Construction and building materials 22 (2008) 866-893
- Dondi M., Principi P., Raimondo M., Zanarini G., “Water vapour permeability of clay bricks”, Construction and building materials 17 (2003) 253-258
- Khalaf F.M., “Recycling of clay as aggregate in asphalt concrete”, School of the build environment, Napier University, Edinburgh, Scotland, UK.
- Khalaf F.M and Devenny A.S., “Properties of New and Recycled Brick Aggregates for Use in Concrete”, Journal of Materials In Civil Engineering © ASCE, DOI: 10.1061/(ASCE) 0899-1561 (2005) 17:4 (456), 2005
- Levy S.M, Helene P,”Durability of recycle aggregates concrete: a safe way to sustainable development”, Cement and Concrete Research 34 (2004) 1975-1980
- Poon C.S., Chan D., “Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base”, Construction and building materials 20 (2006) 578-585
- Turanli L., Bektas F., Monteiro P.J.M. Monteiro, “ Use of ground clay brick as a pozzolanic material to reduce the alkali – silica reaction”, Cement and Concrete Research 33 (2003) 1539-1542
- EN 771, “Specification for masonry units - Part 1: clay masonry units”, BS EN 771-1:2003, Incorporating Amedment No.1
- Δ – 100, Πρότυπη Τεχνική Διαγραφή Τούβλων Τοιχοποιίας
- Εναλλακτική Διαχείριση Συσκευασιών και Άλλων Προϊόντων, Σεπτέμβριος 2008.
- Κιούκης Δ. “Ρυθμοί χελώνας στη διαχείριση μπάζων», Εργοταξιακά Θέματα, 2008