

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

με θέμα

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟ ΜΕ
ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΑΔΡΑΝΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΠΟΖΟΛΑΝΗΣ ΚΑΙ
ΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ ΣΕ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΑΜΜΟΥ ΚΑΤΑ
20 %

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ

ΤΙΜΟΣ ΜΑΡΑΣΙΔΗΣ
ΣΤΡΑΤΟΣ ΝΤΑΛΑΡΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΔΡΙΒΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2017

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟ ΜΕ
ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΑΔΡΑΝΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΠΟΖΟΛΑΝΗΣ ΚΑΙ
ΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ ΣΕ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΑΜΜΟΥ ΚΑΤΑ
20 %

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο μελέτης της παρούσας μελέτης αποτελεί η διερεύνηση της μεταβολής της αντοχής του σκυροδέματος όταν αυτό παρασκευάζεται με ανακυκλωμένα αδρανή και προσθήκη ποζολάνης αλλά και ιπτάμενης τέφρας σε αντικατάσταση της άμμου 20%. Ποσοστό ποζολάνης 15% και ιπτάμενης τέφρας 5 %. Η εργασία αναπτύσσεται σε δύο κυρίως ενότητες. Στην πρώτη ενότητα πραγματοποιείται διερεύνηση του θέματος της παρούσας πτυχιακής εργασίας εφαρμόζοντας βιβλιογραφική έρευνα (Deskresearch). Η δεύτερη ενότητα αποτελεί την έρευνα πεδίου (Fieldresearch) προκειμένου να διευκρινιστεί η μεταβολής της αντοχής του σκυροδέματος όταν αυτό παρασκευάζεται με ανακυκλωμένα αδρανή και προσθήκη ποζολάνης αλλά και ιπτάμενης τέφρας σε αντικατάσταση της άμμου 20%.

Συγκεκριμένα έγιναν οι εξής εργασίες

Αρχικώς έγινε η σύνθεση σκυροδέματος c25/30 S3 με κάθιση 103mm με προσθήκη υπερρέυστοποιητη. Προστέθηκε ρευστοποιητής 0.319 kg στην τελική σύνθεση. Σκυροδετήθηκαν 19 κύβοι και 9 κυλίνδροι.

Στην συνέχεια έγινε δοκιμή αντοχών 7 ημερών για 2 κύβους στη συνέχεια στις 28 ημέρες έγινε δοκιμή αντοχών όλων των δοκιμίων

Τέλος έγινε η νέα σκυροδέτηση με το ανακυκλωμένο και φτιάχτηκαν 12 κυβικά δοκίμια. Σπάστηκαν στις 28 μέρες για να δούμε την θλιπτική αντοχή τους

Η εργασία ολοκληρώνεται με τις προτάσεις μας και τα απαραίτητα συμπεράσματα.

ABSTRACT

Object of this study is to investigate the variation of the concrete strength when it is prepared with recycled aggregates and adds of pozzolans and fly ash in place of sand 20%. The work is developed in two main sections. The first section is carried out research on the issue of this thesis applying literature search (Desk research). The second section is the field work (Field research) to clarify the variation in concrete strength when it is made with recycled aggregates and adding pozzolan and fly ash in place of sand 20%. The original concrete composition was C25 / 30 S3 with 103mm slump and superplasticizer addition. Plasticizer added 0.200 kg in the final composition. Concreting 19 cubes and cylinders 9

Then we made seven days strength test for two blocks then in 28 days we test strength of all samples. Next step was the recycling of the broken pieces and since we broke LOS ANGELES test at 200 rpm to obtain aggregates.

Finally we made the new concrete with recycled and we made eight cubic specimens. The broke 28 days to see their compressive strength

The research is completed by our proposals and the necessary conclusions.

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
i. Αντικείμενο Μελέτης.....	7
ii. Στόχος	7
iii. Μεθοδολογία Εργασιών	8
1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	8
1.1 Τσιμέντο	9
1.1.1 Βασικά Συστατικά	9
1.1.2 Παραγωγή Τσιμέντου	9
1.2 Αδρανή Υλικά	11
1.2.1 Προέλευση Τεχνητών Αδρανών	13
1.2.1.1 Ανακυκλώσιμα Τεχνητά Αδρανή από Υλικά Κατεδαφίσεων Σκυροδέματος	17
1.2.1.2 Ασφαλής Μετατροπή Ραδιενεργών Αποβλήτων σε Αδρανή Υλικά..	20
1.2.1.3 Ανακυκλώσιμα Τεχνητά Αδρανή από Ασφαλτικά Έργα.....	22
1.2.1.4 Προέλευση Τεχνητών Αδρανών από Αδρανή Απόβλητα	24
1.2.1.5 Προέλευση Τεχνητών Αδρανών από Παραπροϊόντα Σκωρίας.....	25
1.2.1.6 Προέλευση Τεχνητών Αδρανών από Παραπροϊόντα Ιπτάμενης Τέφρας	29
1.3 Χρήσεις του Σκυροδέματος	31
1.4 Κατηγοριοποίηση Σκυροδέματος βάσει της Ποιότητας του.....	32
2. ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΜΜΟΥ ΑΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΑΔΡΑΝΗ.....	36
2.1 Πρώτες Ύλες και Μέθοδοι Προσδιορισμού της Σύστασης Ανακυκλωμένων Υλικών Κατεδάφισης.....	36
2.2 Χημική Σύσταση Αδρανών	36
2.3 Ορυκτολογική Σύσταση Αδρανών	37
2.4 Φυσικομηχανικές Ιδιότητες Τσιμέντων	38

2.5	Αντοχή σε Θλίψη	39
2.6	Χρόνος Πήξης - Απαιτήση σε Νερό και Σταθερότητα Όγκου	40
2.7	Ρυθμός Ενυδάτωσης Τσιμεντών με Θερμική Ανάλυση	40
2.8	Επίδραση Υψηλών Θερμοκρασιών στην Αντοχή Ανακυκλωμένων Σκυροδεμάτων	41
2.9	Οι Απαιτήσεις για το Μέλλον	41
3.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	44
3.1	Σκοπός.....	44
3.2	Μεθοδολογία Πειράματος.....	44
3.3	Μελέτη Σύνθεσης.....	44
3.4	Παρασκευή Σκυροδέματος C25/30 με Προσθήκη Υπερρυστοποιητή.....	47
3.5	Ξεκαλούπωμα Δοκιμίων	48
3.5.1	Δοκίμιο Αντοχών 7 Ημερών.....	50
3.5.2	Δοκίμιο Αντοχών 28 Ημερών	52
3.6	Δοκιμή Los Angeles.....	54
3.7	Διαχωρισμός των Αδρανών με Κοσκίνισμα στη Μηχανή Κοσκινίσματος ..	55
3.8	Κοκκομετρική Ανάλυση Κανονικών Αδρανών για Παρασκευή Σκυροδέματος C25/30 S3	57
3.9	Κοκκομετρική Ανάλυση των Ανακυκλωμένων Αδρανών	61
3.10	Παρασκευή Ανακυκλωμένου Σκυροδέματος με προσθήκη Ποζολάνης και Ιπτάμενης Τέφρας σε Αντικατάσταση Άμμου κατά 20%.....	64
3.4.1	Διαστάσεις Δοκιμίων	64
3.4.2	Δοκίμιο Αντοχών 28 Ημερών	65
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	68

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

i. Αντικείμενο Μελέτης

Αντικειμενικός στόχος του μηχανικού αποτελεί η κατασκευή έργων βασισμένα σε ένα ορθολογικό οικονομικό σχεδιασμό. Τόσο σε ιδιωτικό όσο και σε δημόσιο επίπεδο η δυνατότητα παροχής οικονομικά προσιτών τεχνικών λύσεων αποτελούσε πρωταρχικό προνόμιο για έναν μηχανικό.

Στον ελληνικό χώρο, η έντονη αστικοποίηση που καταγράφηκε στις περασμένες δεκαετίες, δημιούργησε αστικά σύνολα με σαφή επιτεταμένα όρια. Το φαινόμενο αυτό συνοδεύτηκε από οικιστικές ανάγκες οι οποίες αδυνατούν να καλυφτούν μέσω της συμβατικής κατασκευής (πολυκατοικίες από οπλισμένο σκυρόδεμα).

Το ζήτημα που θέτει η παρούσα εργασία είναι αν η εναλλακτική κατασκευή δύναται να ανταποκριθεί στο αίτημα για ταχεία ποιοτική και οικονομικά ανταγωνιστική δόμηση.

Πιο συγκεκριμένα αντικείμενο μελέτης της παρούσας μελέτης αποτελεί η διερεύνηση της μεταβολής της αντοχής του σκυροδέματος όταν αυτό παρασκευάζεται με ανακυκλωμένα αδρανή και προσθήκη ποζολάνης αλλά και ιπτάμενης τέφρας σε αντικατάσταση της άμμου 20%.

ii. Στόχος

Το θέμα της ανακύκλωσης των δομικών υλικών και ιδιαίτερα των δομικών απορριμμάτων που προέρχονται από τις παλιές κατασκευές και αποτελούνται κυρίως από σκυρόδεμα και υλικά τοιχοποιίας, είναι σημαντικό για πολλούς λόγους στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης. Η αξιοποίηση των οικοδομικών απορριμμάτων ως εναλλακτικών πρώτων υλών στη βιομηχανία τσιμέντου εμφανίζεται ιδιαίτερα ελκυστική αφού συμβάλλει τόσο στην ανακύκλωσή τους όσο και στη μείωση των εξορυσσόμενων φυσικών πρώτων υλών.

Στόχος της εργασίας είναι μέσα από την πειραματική διαδικασία να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τις θλιπτικές αντοχές 7 και 28 ημερών ωρίμανσης των

δοκιμίων από ανακυκλωμένο σκυρόδεμα με προσθήκη ποζολάνης και ιπτάμενης τέφρας, συγκρινόμενα με αρχικά δοκίμια αποσ σκυρόδεμα C25/30

iii. Μεθοδολογία Εργασιών

Η εργασία αναπτύσσεται σε δύο κυρίως ενότητες. Στην πρώτη ενότητα πραγματοποιείται διερεύνηση του θέματος της παρούσας πτυχιακής εργασίας εφαρμόζοντας βιβλιογραφική έρευνα (Deskresearch). Η δεύτερη ενότητα αποτελεί την έρευνα πεδίου (Fieldresearch) προκειμένου να διευκρινιστεί η μεταβολής της αντοχής του σκυροδέματος όταν αυτό παρασκευάζεται με ανακυκλωμένα αδρανή και προσθήκη ποζολάνης αλλά και ιπτάμενης τέφρας σε αντικατάσταση της άμμου 20%.

Συγκεκριμένα έγιναν οι εξής εργασίες

- 1) Σύνθεση σκυροδέματος c25/30 S3 με κάθιση 103mm με προσθήκη υπερενυστευτοποιητή. Προστέθηκε ρευστοποιητής 0.200 kg στην τελική σύνθεση. Σκυροδετήθηκαν 19 κύβοι και 9 κυλίνδροι.
- 2) Έγινε δοκιμή αντοχών 7 ημερών για 2 κύβους στη συνέχεια στις 28 ημέρες έγινε δοκιμή αντοχών όλων των δοκιμίων
- 3) Τέλος έγινε η νέα σκυροδέτηση με το ανακυκλωμένο και φτιάχτηκαν 8 κυβικά δοκίμια. Σπάστηκαν στις 28 μέρες για να δούμε την θλιπτική αντοχή τους.

Η εργασία ολοκληρώνεται με τις προτάσεις μας και τα απαραίτητα συμπεράσματα.

1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

1.1 Τσιμέντο

Το τσιμέντο (cement) είναι μία υδραυλική συνδετική ύλη, δηλαδή ένα λεπτότατα αλεσμένο ανόργανο υλικό το οποίο, όταν αναμειχθεί με νερό, σχηματίζει ένα πολτό που πήζει και σκληραίνει δια μέσου αντιδράσεων και μηχανισμών ενυδάτωσης και το οποίο, μετά τη σκλήρυνση, διατηρεί την αντοχή και τη σταθερότητά του ακόμη και μέσα στο νερό.

¹Η ανάμιξη του τσιμέντου με άμμο και νερό δημιουργεί την κονία του τσιμέντου (cementmortar). Η ανάμιξη του τσιμέντου με άμμο, χαλίκια (σκύρα) και νερό δημιουργεί το σκυρόδεμα ήμπετόν (cementconcrete, beton). Ο συνδυασμός του χάλυβα με το σκυρόδεμα ονομάζεται οπλισμένο σκυρόδεμα ή οπλισμένο μπετόν (reinforcedconcrete, bétonarmé).²

1.1.1 Βασικά Συστατικά

Τα βασικά συστατικά του τσιμέντου από στοιχειακή άποψη είναι το Ca, το Si, το Al και ο Fe.

- Τα στοιχεία αυτά λαμβάνονται από μη μεταλλικές ορυκτές ύλες, όπως ο ασβεστόλιθος, οι ασβεστολιθικές μάργες, οι σχίστες, οι άργιλοι κ.ά.
- Για λόγους αριστοποίησης της ποιότητας ή οικονομικότητας της παραγωγικής διαδικασίας χρησιμοποιούνται και άλλες ύλες όπως βωξίτης, πυριτική άμμος, καολίνη, αποφρύγματα σιδηροπυρίτη

1.1.2 Παραγωγή Τσιμέντου

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα στάδια παραγωγής τσιμέντου. Συνολικά διακρίνονται οκτώ στάδια.

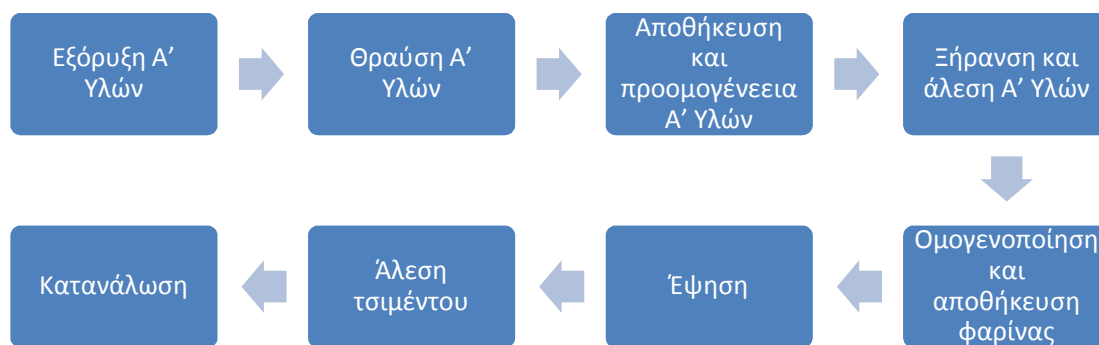
¹Μοροπούλου Α, Λαμπρόπουλος Κ., Τσιμέντο και Σκυρόδεμα – Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ - <https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CHEMENG114/Cement%20and%20Concrete.pdf>

² Η Χρήση του Σκυροδέματος στην Κατασκευή Έργων Πολιτικού Μηχανικού – ΤΕΙ Πειραιά - file:///C:/Users/User/Downloads/pol_00567.pdf

Πίνακας 1 Στάδια παραγωγής τσιμέντου

Εξόρυξη Α' Υλών	Οι πρώτες ύλες εξορύσσονται με τη χρήση εκρηκτικών υλών ή ισχυρών εκσκαπτικών μηχανημάτων. Μεταφορά Α' Υλών Οι εξορυσσόμενες πρώτες ύλες φορτώνονται με τη βοήθεια φορτωτή σε φορτηγά αυτοκίνητα και μεταφέρονται στο χώρο θραύσης τους.
Θραύση Α' Υλών	Τα υλικά θραύονται σε μεγάλους θραυστήρες σε τεμάχια, συνήθως μικρότερα των 30mm.
Αποθήκευση και προομογένεια Α' Υλών	Οι θραυσμένες πρώτες ύλες αποθηκεύονται χωριστά ανά κατηγορία με ταυτόχρονη ανάμιξη διαφορετικών ποιοτήτων σε ειδικές αποθήκες προομοιογενοποίησης. Σιλό αποθήκευσης Α' Υλών και τροφοδοσία στους μύλους άλεσης Μετά την προομοιογενοποίηση οι πρώτες ύλες αποθηκεύονται σε ξεχωριστά για κάθε τύπο υλικού σιλό και από εκεί τροφοδοτούνται στους μύλους άλεσης σε αυστηρά καθορισμένη και συνεχώς ελεγχόμενη δοσολογία.
Ξήρανση και άλεση Α' Υλών	Η ξήρανση και η άλεση γίνονται σε οριζόντιους ή κατακόρυφους μύλους. Οι οριζόντιοι μύλοι είναι μεταλλικοί κύλινδροι με ισχυρή εσωτερική μεταλλική θωράκιση και περιέχουν πολλούς τόνους από χαλύβδινες σφαίρες (αλεστικά σώματα). Κατά την περιστροφική κίνηση των μύλων οι σφαίρες συνθλίβουν τις πρώτες ύλες σε κόκκους κατάλληλης διαμέτρου. Οι κατακόρυφοι μύλοι κονιορτοποιούν το υλικό συμπιέζοντας το με κωνικούς ρόλους πάνω σε μια χαλύβδινη περιστρεφόμενη τράπεζα. Η ξήρανση επιτυγχάνεται αξιοποιώντας τα θερμά αέρια που εκλύονται από τους κλιβάνους. Το προϊόν των μύλων ονομάζεται φαρίνα.
Ομογενοποίηση και αποθήκευση φαρίνας	Η φαρίνα οδηγείται σε ειδικά σιλό όπου συντελείται η ομοιογενοποίηση.
Έγψηση	Μετά την ομογενοποίηση η φαρίνα οδηγείται στον περιστροφικό κλίβανο όπου μετατρέπεται σε κλίνκερ. Οι περιστροφικοί κλίβανοι είναι περιστρεφόμενοι οριζόντιοι μεταλλικοί κύλινδροι διαμέτρου 3-5m και μεγάλου μήκους με μια μικρή κλίση προς την έξοδο του

	υλικού και λόγω των υψηλών θερμοκρασιών έχουν εσωτερική επένδυση από ειδικά πυρίμαχα τούβλα. Η φαρίνα πριν την είσοδό της στον κλίβανο υφίσταται μια προοδευτική θέρμανση έως τους 900οC στον Προθερμαντή καθώς έρχεται, κατ' αντιρροή, σε επαφή με τα θερμά αέρια που εξέρχονται από τον κλίβανο.
Άλεση τσιμέντου	Το τσιμέντο ως τελικό προϊόν είναι μια πολύ λεπτή σκόνη. Για τη δημιουργία του απαιτείται συνάλεσηκλίνκερ, γύψου και ορισμένων φυσικών ή τεχνητών υλικών σε μύλους ανάλογους με αυτούς της φαρίνας. Η δοσολογία των πρώτων υλών είναι αυστηρά καθορισμένη και συνεχώς ελεγχόμενη. Οι διάφοροι τύποι τσιμέντων και το επίπεδο αντοχών τους, που αποτελεί και το σημαντικότερο χαρακτηριστικό τους, διαμορφώνονται από τη χημική σύσταση του κλίνκερ, το βαθμό άλεσης του τσιμέντου και την παρουσία ή όχι διαφόρων πρόσθετων
Κατανάλωση	Το τσιμέντο διατίθεται στην κατανάλωση χύμα ή σε σακκί. Οι μεγαλύτερες ποσότητες διατίθενται χύμα με ειδικά σιλοφόρα αυτοκίνητα ή πλοία.



1.2 Αδρανή Υλικά

Ως αδρανή χαρακτηρίζονται τα διαβαθμισμένα υλικά ορυκτής ή βιομηχανικής προέλευσης, αλλά και υλικά ανακύκλωσης τα οποία χρησιμοποιούνται χωρίς ή με

κάποιο συγκολλητικό υλικό μέσο στα τεχνικά έργα. Ονομάζονται αδρανή γιατί δεν αντιδράνε χημικά με τις διάφορες συγκολλητικές ύλες.³

Σύμφωνα με τις Βρετανικές προδιαγραφές (BS812, BS105) σχετικά με τους τεχνικούς όρους για τους αυτοκινητόδρομους σαν αδρανή υλικά θεωρούνται τα ανενεργά τεμάχια ή και θραύσματα ορυκτών ή πετρωμάτων που αποτελούν τα κύρια συστατικά της δομής ενός μίγματος υλικών, όπως το σκυρόδεμα, η ασφαλτος ή και το πισσαρισμένο χαλικόστρωμα. Οι μέθοδοι ελέγχου βάσει των οποίων θα ελέγχονται τα αδρανή παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 2 Μέθοδοι ελέγχου αδρανών υλικών⁴

ΣΚ-319, ΣΚ-324, ASTM D75 AASHTO-T2, ΕΛΟΤ EN 932-1:1996	Δειγματοληψία αδρανών υλικών Δοκιμές προσδιορισμού γενικών χαρακτηριστικών. Μέθοδοι δειγματοληψίας αδρανών υλικών
AASHTO T-248 ASTM C702 ΕΛΟΤ EN 932-2:2000	Δοκιμές προσδιορισμού γενικών χαρακτηριστικών. Μέθοδοι μείωσης εργαστηριακών δειγμάτων
ΣΚ-320, AASHTO- T27, ASTM C –136 ΕΛΟΤ EN 933-1:1998	Κοκκομετρική Ανάλυση Δοκιμές προσδιορισμού των γεωμετρικών χαρακτηριστικών αδρανών- Προσδιορισμός της κοκκομετρίας. Κοκκομετρική ανάλυση με κοσκίνιση
ASTM C-566 ΕΛΟΤ EN 1097-5:2000	Προσδιορισμός Φυσικής Υγρασίας Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών και φυσικών χαρακτηριστικών αδρανών
ΣΚ 301, ΣΚ-302 ASTM C 127 ASTM C128 ΕΛΟΤ EN 1097-6:2000	Προσδιορισμός ειδικού βάρους και υδαταπορροφητικότητας χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων αδρανών Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών και φυσικών χαρακτηριστικών αδρανών
ΣΚ-346, ASTM D-2419 ΕΛΟΤ EN 933-8:2000	Δοκιμή Ισοδυνάμου άμμου Δοκιμές προσδιορισμού γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Ποιοτικός Προσδιορισμός Παιπάλης

³ ΛουπασάκηςΚ., Τεχνική Γεωλογία – ΕΜΠ – Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών – Σημειώσεις Διαλέξεων Μαθήματος Τεχνική Γεωλογία ΙΙ - 2013

⁴ Κανονιστικές Παραπομπές του ΤΕΕ σχετικά με τα Αδρανή, όπως προβλέπονται στο ΕΛΟΤ 13139:2002

ΕΛΟΤ EN 933-9:1999	Δοκιμές προσδιορισμού γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Ποιοτικός Προσδιορισμός Παιπάλης
ΕΛΟΤ EN 933-3:1997	Δοκιμές προσδιορισμού γεωμετρικών χαρακτηριστικών των αδρανών - Προσδιορισμός του δείκτη πλακοειδούς
ΣΚ-363 ASTM C-33 ΕΛΟΤ EN 1744-1:1999 (άρθρο 15-1)	Προσδιορισμός των οργανικών προσμίξεων στην άμμο με χρωματογραφική μέθοδο. Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών -
ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 15-2)	Προσδιορισμός των χημικών χαρακτηριστικών αδρανών - Χημική Ανάλυση - Προσδιορισμός της περιεκτικότητας σε φουλβικό οξύ
ASTM C-87 ΕΛΟΤ EN 1744 (άρθρο 15-3)	Προσδιορισμός της επιρροής οργανικών προσμίξεων λεπτόκοκκων αδρανών στην αντοχή κονιάματος. Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών -
ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 7)	Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών -
ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 8)	Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών - Χημική ανάλυση - Προσδιορισμός των ευδιάλυτων στο νερό Χλωριόντων (Ποτενσιομετρική Μέθοδος)
ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 11)	Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών
ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 12)	Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών
ΕΛΟΤ EN 1744-1 (άρθρο 19.1, 19.2)	Προσδιορισμός χημικών χαρακτηριστικών των αδρανών -
ASTM C-295 ΕΛΟΤ EN 932-3:1996	Πετρογραφική και ορυκτολογική εξέταση Απλοποιημένη Πετρογραφική Περιγραφή
ASTM C-227	Δυνητική Βλαπτικότητα Αδρανών

1.2.1 Προέλευση Τεχνητών Αδρανών

Με σκοπό την προώθηση της βιομηχανικής οικολογίας στον κατασκευαστικό τομέα, εκτός των άλλων ενεργειών, έχουν ξεκινήσει να χρησιμοποιούνται βιομηχανικά παραπροϊόντα, με σημαντικότερα αυτά που παρουσιάζονται στην επόμενη σελίδα

- Ιπτάμενη τέφρα

Η αξιοποίηση της ιπτάμενης τέφρας που προκύπτει από την καύση λιγνίτη, με φιλικές μεθόδους προς το περιβάλλον θεωρείται απαραίτητη. Το μεγαλύτερο ποσοστό

της τέφρας παραμένει αναξιοποίητο, ενώ το υπόλοιπο χρησιμοποιείται είτε ως αδρανές μετά από προσθήκη στο μπετόν, ή στις τσιμεντοβιομηχανίες σαν πρόσθετο του τσιμέντου ή στην οδοποιία σαν υλικά επίστρωσης. Χαρακτηριστικά, η ανάμειξη Ι.Τ. σε ποσοστό 5-10% μεθραυστά αδρανή και άσβεστο CaO (3-5%) δίνει προϊόν με ποσοστά αντοχής 50-70% της αντίστοιχης αντοχής στρώσεων οδοστρώσις με τσιμέντο.⁵

- Ερυθρά Ιλύς

Η ερυθρά ιλύς, το οποίο είναι ένα ρευστοστερεό απόβλητο, παραπροϊόν της διεργασίας Bayer για την παραγωγή αλουμίνας (Al_2O_3) από τον βωξίτη μπορεί να αποτελέσει πρώτη ύλη στη μεταλλουργία για την εξαγωγή των χρήσιμων συστατικών της. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη στη βιομηχανία για την παραγωγή τσιμέντου ή σε διάφορες άλλες εφαρμογές.⁶



Εικόνα 1 Απόθεση ερυθράς ιλύος σε χωματερή αποβλήτων

- Σκωρίες Χαλυβουργίας

Οι σκωρίες χαλυβουργίας είναι παραπροϊόντα που προέρχονται από την παραγωγική διαδικασία των χαλυβουργιών. Χρησιμοποιούνται ως κονίες ή ως

⁵ Η Χρήση του Σκυροδέματος στην Κατασκευή Έργων Πολιτικού Μηχανικού – ΤΕΙ Πειραιά - file:///C:/Users/User/Downloads/pol_00567.pdf

⁶ Λουπασάκης Κ., Τεχνική Γεωλογία – ΕΜΠ – Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών – Σημειώσεις Διαλέξεων Μαθήματος Τεχνική Γεωλογία ΙΙ - 2013

αδρανή υλικά και η εφαρμογή τους διεθνώς ποικίλλει σε οδικές και λοιπές κατασκευές. Εμφανίζει σημαντική βελτίωση στην συμπεριφορά του οδοστρώματος ως προς τους συντελεστές αντίστασης. Θεωρείται το πλέον διαδεδομένο αδρανές υλικό στην Ε.Ε. για χρήση στην οδοποιία. Οι κύριοι λόγοι που οδήγησαν στη χρήση των σκωριών στην οδοποιία είναι οι εξής:

- Οι υψηλές μηχανικές αντοχές των σκωριών,
- Διαδικασία φιλική προς το περιβάλλον αφού δεν απαιτείται η εξόρυξη φυσικών πετρωμάτων,
- Η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των αντιστοιχισμένων ταπήτων που κατασκευάζονται με σκωρία και
- Η έλλειψη «σκληρών» αδρανών στις περισσότερες χώρες⁷



Εικόνα 2 Αποθέματα σκωρίας στο εργοστάσιο επεξεργασίας αδρανών αποβλήτων της εταιρείας ΑΕΙΦΟΡΟΣ Α.Ε.⁸

- Στείρα Βωξίτη

⁷ Χουλιάρης Ι., Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος σύμφωνα με τον ΕΚΟΣ 2000

⁸ <http://www.aeiforos.gr>

Τα στεία βωξίτη αποτελούν παραπροϊόντα προερχόμενα από την εξόρυξη βωξίτη. Χρησιμοποιείται σε κατασκευή στρώσεων βάσης-υπόβασης. Εμφανίζει ικανοποιητική συμπεριφορά σε δευτερεύουσες οδούς.

- Φωσφογύψος

Προέρχεται από τις βιομηχανίες λιπασμάτων σαν παραπροϊόν. Η φωσφογύψος είναι ένα παραπροϊόν του CaSO_4 που παράγεται από την επεξεργασία του φωσφορικού οξέος. Η χημική αντίδραση περιλαμβάνει σχηματισμό φωσφορικού οξέος από το φυσικό φωσφορικάσβεστιο $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (ορυκτό φωσφορίτης) με επίδραση πυκνού θεικού οξέος 90-98%

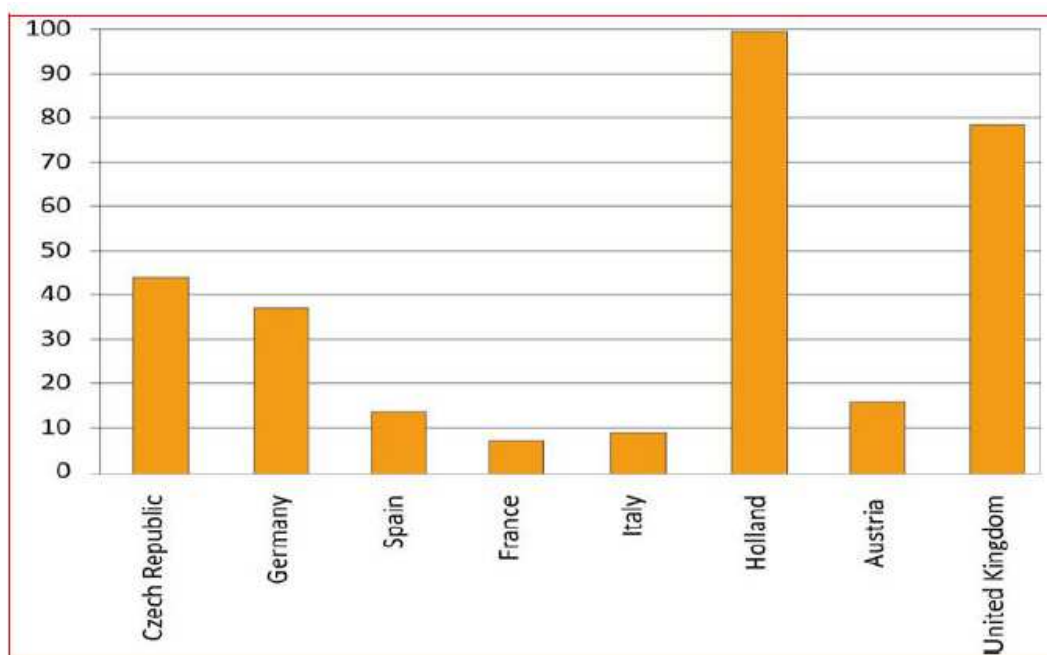
Πέραν των βιομηχανικών παραπροϊόντων αδρανή μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον κατασκευαστικό κλάδο και προϊόντα που προέρχονται από διαδικασίες ανακύκλωσης. Συγκεκριμένα τα ανακυκλώσιμα αδρανή προέρχονται από τις παρακάτω δραστηριότητες:

- Οικοδομικές εργασίες: ανεγέρσεις, κατεδαφίσεις, ανακαινίσεις, επισκευές, περιφράξεις και περιστοιχίσεις μεμονωμένων οικιών – κτιρίων και κτιριακών συγκροτημάτων.
- Τεχνικά έργα υποδομών: κατεδαφίσεις, κατασκευές ή και επιδιορθώσεις δρόμων, γεφυρών, σηράγγων, αποχετευτικών δικτύων, πεζοδρομίων, αναπλάσεις χώρων, κ.α..
- Φυσικές/ τεχνολογικές καταστροφές: σεισμοί, πλημμύρες, κατολισθήσεις, δυσμενείς κλιματολογικές συνθήκες και λοιπές καταστροφές οικοδομών.⁹

⁹ΛουπασάκηςΚ., Τεχνική Γεωλογία – ΕΜΠ – Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών – Σημειώσεις Διαλέξεων Μαθήματος Τεχνική Γεωλογία ΙΙ - 2013

1.2.1.1 Ανακυκλώσιμα Τεχνητά Αδρανή από Υλικά Κατεδαφίσεων Σκυροδέματος

Η ποσότητα των αποβλήτων που παράγονται από τις διάφορες οικοδομικέςεργασίες (κατασκευές και κατεδαφίσεις) ανέρχονται περίπου σε 4,5 εκατομμύρια τόνους ετησίως. Τα υλικά αυτά μπορεί να είναι χώματα, χαλίκι, κομμάτια ή στοιχεία απόσκυρόδεμα (οπλισμένο ή μη), επιχρίσματα, πλίνθοι (τούβλα), πλάκεςεπιστρώσεως, γύψος, μέταλλα, ξύλο, άμμος, λαξευμένες πέτρες, τρίμματαειδών υγιεινής κ.λπ.¹⁰



Εικόνα 3 Ποσοστό των αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις που ανακυκλώθηκαν το 2008¹¹

Τα υλικά κατεδαφίσεων χαρακτηρίζονται από μεγάληανομοιογένεια και προκύπτουν από την εξ ολοκλήρου ή επιμέρουςκατεδάφιση των κατασκευών.

Η σύσταση των υλικών αυτών ποικίλλειανάλογα με το είδος, την ηλικία, τη μορφή, τη χρήση και το μέγεθος τουκτιρίου/κατασκευής, ενώ για την κατεδάφιση σημαντική ρόλο παίζει ηιστορική πολιτιστική και οικονομική αξία της κατασκευής. Πηγές προέλευσης των αποβλήτων αυτών είναι:

¹⁰Καλδέλης Ι., Κωνσταντινίδης Π. – Σύγχρονες Εξελίξεις στον Τομέα της Ανακύκλωσης Οικοδομικών Υλικών στην Ευρωπαϊκή Ένωση – Πρακτικά συνεδρίου HELECO 2003 –Αθήνα.

¹¹UEPG, 2009-2010 και Eurostat, 2008 επεξεργασμένα από ANPAR

- Παλαιές, μη κατοικήσιμες οικοδομές που κατεδαφίζονται προκειμένου να αξιοποιηθεί το υποκείμενο οικόπεδο
- Οικοδομές μέσης ‘ηλικίας’ που υφίστανται σημαντικές εσωτερικές παρεμβάσεις, π.χ. καθαίρεση μεσοτοιχιών κ.λπ., για καλύτερη λειτουργικότητα των χώρων
- Οικοδομές που υφίστανται αντικαταστάσεις δαπέδων από πλακάκια, μωσαϊκά, μάρμαρα κ.λπ.
- Οικοδομές και τεχνικά έργα που υφίστανται φυσικές καταστροφές, π.χ. σεισμοί, πυρκαγιές κ.λπ.
- Τεχνικά έργα που καθαίρονται επειδή υποκαθίστανται από πλέον σύγχρονα.



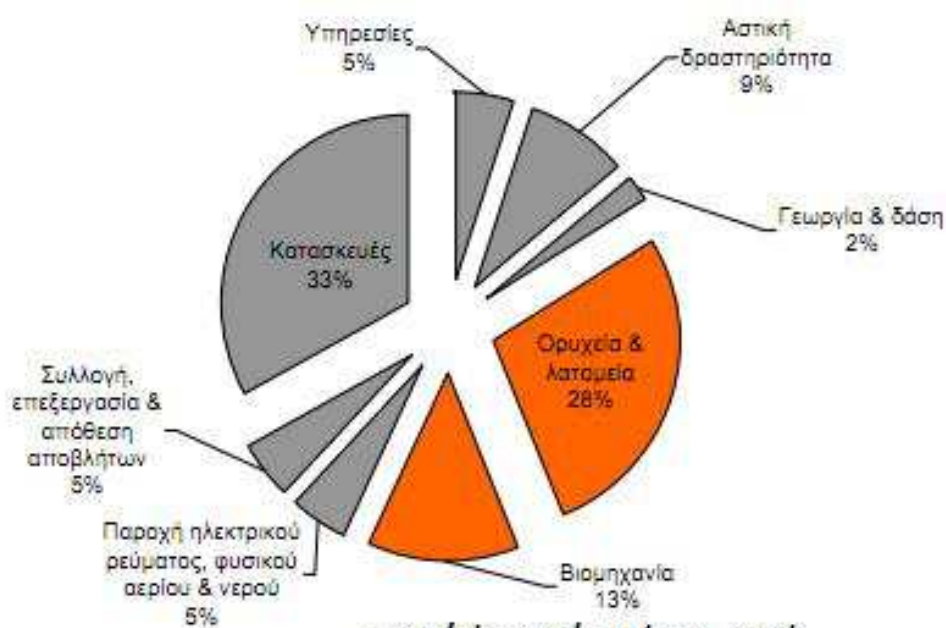
Εικόνα 4Μαγνητικός διαχωριστής σε σταθερή μονάδα ανακύκλωσης στην Πίζα, Ιταλία. Το μαγνητικό προϊόν ανακτάται ως μεταλλικό scrap¹²

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι συγκεκριμένα για τα απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις, εκτός της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται για την επεξεργασίας τους, σημαντικό ρόλο παίζει επίσης η τεχνική κατεδάφισης. Στην πραγματικότητα, όσο

¹²ANPAR, 2003

μεγαλύτερος είναι ο διαχωρισμός των αποβλήτων σε ομοιογενή κλάσματα κατά την διάρκεια του σταδίου «παραγωγής» (π.χ. της κατεδάφισης), τόσο η επακόλουθη διαδικασία ανακύκλωσης των αποβλήτων γίνεται απλούστερη και αποτελεσματικότερη.

Τα απόβλητα που παράγονται κατά την διάρκεια μια τυπικής κατεδάφισης περιλαμβάνουν μια πληθώρα υλικών μεταξύ των οποίων υπάρχουν και ανεπιθύμητα κλάσματα (όπως χαρτί, πλαστικό και ξύλο, γύψος, κ.α.), τα οποία μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά την ποιότητα των ανακυκλωμένων αδρανών υλικών που θα παραχθούν από την επεξεργασία τους.



Εικόνα 5 Ποσοστά αποβλήτων ανά οικονομική δραστηριότητα που παράχθηκαν το 2008 στις 27 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης με έμφαση στη βιομηχανία και μεταλλεία ¹³

Η προδιαλογή των αποβλήτων στην πηγή καθιστά δυνατή την εξοικονόμηση του κόστους για την απόθεση ή την επεξεργασία και εξασφαλίζει υψηλότερη ποιότητα για το ανακυκλωμένο προϊόν που προορίζεται να αντικαταστήσει φυσικά υλικά. Το παραπάνω κόστος αυξάνεται σημαντικά με την ετερογένεια των εν λόγω αποβλήτων και από την παρουσία ρυπογόνων ουσιών. Επιπρόσθετα, η διαλογή στην πηγή αυτών των αποβλήτων, εκτός από την ανάκτηση των τυπικών δομικών υλικών όπως τούβλα και σκυρόδεμα, καθιστά δυνατή την ανάκτηση, από τους αντίστοιχους τομείς, υλικών όπως ξύλο, πλαστικό, γυαλί και μέταλλα.

¹³Eurostat, 2008

Για να επιτευχθούν τα παραπάνω, η κατεδάφιση πρέπει να είναι σχεδιασμένη και οργανωμένη πριν από την αποσυναρμολόγηση όλου του κτιρίου. Η στρατηγική αυτού του είδους, ονομαζόμενη και εκλεκτική κατεδάφιση, δεν εφαρμόζεται ακόμα ευρέως διότι απαιτεί αυξημένα κόστη, εξαιτίας της αυξημένης απαιτούμενης ανθρωποδύναμης και των αυξημένων απαιτούμενων χρόνων υλοποίησης. Επίσης, η έλλειψη ενός οργανωμένου δικτύου, δηλαδή ενός πυκνού δικτύου εγκαταστάσεων και/ή υπηρεσιών ικανών να αξιοποιούν τα διαχωρισμένα υλικά, και μία αποτελεσματική αγορά αγαθών και/ή των υλικών για την απορρόφησή τους, έχει αποτρέψει μέχρι στιγμής τις εταιρίες κατεδάφισης να ασχοληθούν με κάτι τέτοιο.

Στην πραγματικότητα κατά την διάρκεια επιλογής της τεχνικής που θα χρησιμοποιηθεί στην κατεδάφιση, το κόστος και η ταχύτητα ολοκλήρωσης της κατεδάφισης θεωρούνται τα πιο σημαντικά στοιχεία, ενώ η αναγκαιότητα αντικατάστασης των διάφορων τύπων αποβλήτων στην διαδικασία παραγωγής δεν λαμβάνονται υπόψη.

1.2.1.2 Ασφαλής Μετατροπή Ραδιενεργών Αποβλήτων σε Αδρανή Υλικά

Τα ραδιενεργά κατάλοιπα λόγω της τοξικότητάς τους, του μεγέθους της εξάπλωσης τους και της αθροιστικής τους δράσης, αποτελούν την πιο επικίνδυνη μορφή ρύπανσης του περιβάλλοντος. Μερικά από αυτά, και συγκεκριμένα τα υψηλού επιπέδου ραδιενεργά απόβλητα που παράγονται από σταθμούς παραγωγής πυρηνικής ενέργειας, παραμένουν επικίνδυνα για χιλιάδες χρόνια. Χαρακτηριστικά, να αναφέρουμε πως οι περισσότεροι πυρηνικοί αντιδραστήρες χρησιμοποιούν πλουτόνιο (^{238}Pu), το οποίο έχει χρόνο ημιζωής 200.000 χρόνια.¹⁴ Τα ραδιενεργά απόβλητα παράγονται από 4 ειδών δραστηριότητες:

- Πυρηνικούς αντιδραστήρες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- Λειτουργία ερευνητικών αντιδραστήρων
- Χρήση ραδιενεργών υλικών στην ιατρική και τη βιομηχανία
- Επεξεργασία υλικών που περιέχουν φυσικά ραδιονουκλεοτίδια.

Οι σημαντικότερες πηγές της εστιάζονται στις περιοχές που γίνονται οι πυρηνικές δοκιμές και εκρήξεις και εκεί που είναι εγκατεστημένες οι πυρηνικές

¹⁴ Διαχείριση Αποβλήτων – Απορριμμάτων <http://www.kee.gr/perivallontiki/diaxeirisi.pdf>

εγκαταστάσεις ή φυλάσσονται πυρηνικά όπλα και ραδιενεργά υλικά. Τα ραδιενεργά απόβλητα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τα επίπεδα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, χαρακτηριστικό που καθορίζει και τη μέθοδο διαχείρισής τους:

- Τα χαμηλού επιπέδου ραδιενεργά απόβλητα (π.χ. ιατρικά απόβλητα) καταλαμβάνουν το 90% του όγκου, αλλά μόλις το 1% της εκπεμπόμενης ραδιενέργειας εκ του συνόλου των ραδιενεργών αποβλήτων. Τα απόβλητα αυτά μπορούν να διατεθούν για ενταφιασμό.
- Τα μεσαίου επιπέδου ραδιενεργά απόβλητα (χημικές λάσπες, εξαρτήματα αντιδραστήρων κ.λπ.) καταλαμβάνουν το 7% του όγκου και το 4% της εκπεμπόμενης ραδιενέργειας εκ του συνόλου των ραδιενεργών αποβλήτων. Εκπέμπουν αρκετά υψηλή ποσότητα ραδιενέργειας ώστε να μην επιτρέπεται η εδαφική διάθεση (ενταφιασμός). Η πρακτική της διάθεσης σε μεγάλα βάθη στους ωκεανούς έχει χρησιμοποιηθεί κατά κύριο λόγο για τη διάθεση των αποβλήτων αυτών.¹⁵
- Τα υψηλού επιπέδου ραδιενεργά απόβλητα καταλαμβάνουν μόλις το 3% του όγκου, αλλά το 95% της εκπεμπόμενης ραδιενέργειας, εκ του συνόλου των ραδιενεργών αποβλήτων. Υφίστανται τη διαδικασία της υαλοποίησης (ενσωμάτωση σε βοριοπυριτικό γυαλί γνωστό ως Pyrex), το οποίο σφραγίζεται μέσα στα μεταλλικά κουτιά ανοξειδώτου χάλυβα, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα έκπλυσης ή εκχύλισής τους και διατίθενται για βαθύ ενταφιασμό σε ειδικούς χώρους εναπόθεσης.

Σήμερα πλέον έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι μετατροπής των ραδιενεργών αποβλήτων σε αδρανή υλικά και καθαρή ενέργεια. Συγκεκριμένα, τα ραδιενεργά απόβλητα εισάγονται σε έναν αντιδραστήρα και μέσω υψηλής θερμοκρασίας (μέσω πυρσών πλάσματος) τα μετατρέπουν σε αδρανή υλικά, μη ραδιενεργά. Τα υπολείμματα άνθρακα από την διαδικασία εξαερώνονται, και τα ανόργανα υλικά μετατρέπονται σε αδρανή.

Συγκεκριμένα, με τη διαδικασία που ονομάζεται PlasmaGasificationMeltingtechnology (PGM), το προϊόν που παράγεται από τον αντιδραστήρα είναι ένα σκληρό μαύρο υλικό σαν γυαλί, το οποίο δεν εκπέμπει ακτινοβολία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και για την ασφαλτόστρωση των

¹⁵ Διαχείριση Αποβλήτων – Απορριμμάτων <http://www.kee.gr/perivallontiki/diaxeirisi.pdf>

δρόμων ή μπορεί να χυτευθεί σε καλούπια για την παρασκευή τούβλων ή παρόμοιων υλικών για κατασκευές.

Κατά την διάρκεια της μετατροπής, παράγεται ηλεκτρική ενέργεια, το 70% της οποίας χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του αντιδραστήρα και ένα 30% μπορεί να διοχετευθεί στο δίκτυο ηλεκτροδότησης ή για όποιο άλλο σκοπό κριθεί απαραίτητο.

1.2.1.3 Ανακύκλωση Τεχνητά Αδρανή από Ασφαλτικά Έργα

Τα έργα Οδοποιίας αποτελούν ένα εξαιρετικό πεδίο εφαρμογής των τεχνικών της ανακύκλωσης στερεών αποβλήτων. Ο πρώτος βασικός λόγος είναι τα έργα οδοποιίας μπορούν να απορροφήσουν τεράστιες ποσότητες υλικών και αυτό είναι πολύ σημαντικό. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι, ειδικά η υπεραστική οδοποιία, προσφέρει εκτεταμένους και προσιτούς χώρους προσωρινής εναπόθεσης, ανάμιξης και τυχόν κατεργασίας.

Παρ' όλα αυτά υπάρχουν και για την οδοποιία κάποιοι περιορισμοί και, αντίστοιχα, συγκεκριμένες προϋποθέσεις για να μπορεί ένα παραπροϊόν να εφαρμοσθεί σε κατασκευές οδικών έργων. Οι προϋποθέσεις αυτές είναι οι εξής:

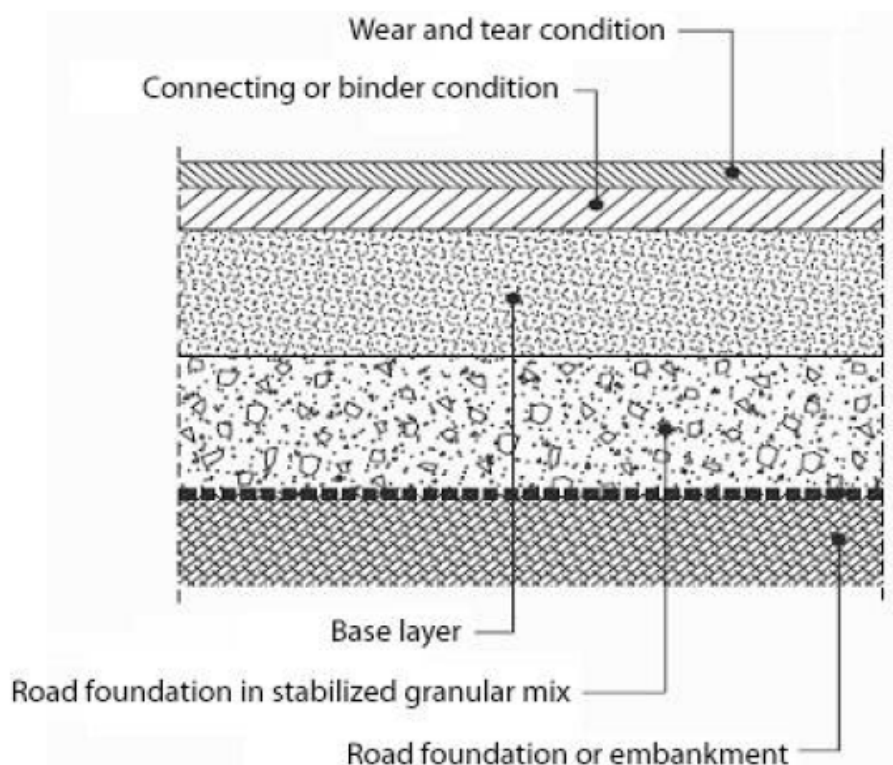
- Ο ρυθμός παραγωγής του παραπροϊόντος να είναι τουλάχιστον 50.000 τόνοι / έτος, ούτως ώστε να εξασφαλίζεται μια ποσότητα για ευρείας κλίμακας τεχνική εφαρμογή.
- Οι αποστάσεις μεταφοράς να παραμένουν μικρές, ούτως ώστε να μην αυξάνεται το κόστος των υλικών
- Το παραπροϊόν προς χρήση να μην είναι υπερβολικά τοξικό και, σε κάθε περίπτωση, να υφίσταται την απαραίτητη επεξεργασία
- Το παραπροϊόν να μην παρουσιάζει υψηλή διαλυτότητα στο νερό ούτως ώστε να μη ρυπαίνει τους υπόγειους και επιφανειακούς υδροφορείς

Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και την καταλληλότητα τους για έργα οδοποιίας, τα προς απόρριψη υλικά, κατατάσσονται σε 4 κατηγορίες:

- Κατηγορία I: Υλικά εξαιρετικής ποιότητας, είτε σε φυσική μορφή, είτε μετά από επεξεργασία

- Κατηγορία II: Υλικά καλής ποιότητας για τα οποία, προ της χρήσης, απαιτείται σημαντική επεξεργασία
- Κατηγορία III: Υλικά μέτριας ποιότητας που χρησιμοποιηθούν μόνον σε ειδικές περιπτώσεις
- Κατηγορία IV: Υλικά που δεν παρουσιάζουν ενδιαφέρον για την οδοποιία.

Τα πιο γνωστά στερεά απόβλητα και βιομηχανικά παραπροϊόντα κατατάσσονται ανάλογα με τη δομική τους εκμεταλλευσιμότητα, τον απαιτούμενο βαθμό προεπεξεργασίας και την τοξικότητά τους στις τέσσερις προαναφερθείσες κατηγορίες.



Εικόνα 6 Διάγραμμα εύκαμπτου οδοστρώματος

Τα ασφαλτικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην οδοποιία είναι κυρίως βιτουμινούχα υλικά, δηλαδή υδρογονανθρακούχα υλικά φυσικής ή πυρογενούς προελεύσεως, τα οποία έχουν συγκολλητικό χαρακτήρα. Στα βιτουμινούχα υλικά οδοποιίας περιλαμβάνονται οι άσφαλτοι και οι πίσσες. Οι άσφαλτοι βρίσκονται στη φύση, σε καθαρή κατάσταση ή αναμεμιγμένες με διάφορες ανόργανες ουσίες, ή προέρχονται από τη διύλιση του πετρελαίου. Οι πίσσες είναι βιτουμινούχα αποστάγματα που παράγονται με αποικοδομητική απόσταξη οργανικών υλών, όπως είναι ο λιθάνθρακας

και το ξύλο. Τα ασφαλτικά υλικά χρησιμοποιούνται κυρίως στην επίστρωση της επιφάνειας των δρόμων. Απόβλητα από τα υλικά που περιεγράφηκαν ανωτέρω, παράγονται σε κάθε εργασία ανακατασκευής, συντήρησης ή χάραξης δρόμων.

Υπάρχουν δύο διαδεδομένες μέθοδοι για την ανακύκλωση των υλικών κατασκευής του οδοστρώματος. Η μέθοδος της επιτόπιας ανακύκλωσης στο χώρο αποκατάστασης του δρόμου (insitu) και η μέθοδος της ανακύκλωσης σε κεντρική εγκατάσταση παραγωγής ασφαλτομίγματος (exsitu). Διευκρινίζεται ότι καμία από τις δύο μεθόδους δεν παρέχει διαχωρισμό των υλικών του ασφαλτικού οδοστρώματος στα δύο βασικά του συστατικά την άσφαλτο και τα αδρανή, καθώς και οι δύο βελτιώνουν απευθείας το αρχικό υλικό. Για την επιλογή της μεθόδου ανακύκλωσης, γίνεται δειγματοληψία του παλαιού υλικού του ασφαλτοτάπητα και με εργαστηριακές εξετάσεις καταγράφονται τα χαρακτηριστικά του. Εν συνεχεία προσδιορίζεται το περιεχόμενο ποσοστό της ασφάλτου καθώς και η ποιότητα της (π.χ. βαθμός οξείδωσης, σκληρότητας κ.α.). Τα αποτελέσματα αυτά θα καθορίσουν και τη μέθοδο ανακύκλωσης, καθώς και το βαθμό προσθήκης νέου ασφαλτομίγματος, αδρανών υλικών κ.α

Πίνακας 3 Είδος αποβλήτων ανά κατηγορία

Κατηγορία I	Κατηγορία II	Κατηγορία III	Κατηγορία IV
Σκωρίες Υψικαμίνων Ιπτάμενη Τέφρα Θειικά Απόβλητα Σκωρίες Κατεδαφίσεων Στείρα Άνθρακος	Φωσφόγυψος Ελαστικά Αστικά Κατεργασμένα Απορρίμματα Λοιπές Σκωρίες	Στείρα Χαλκού Ρητίνες Πλαστικά Γυαλί Ερυθρά Ιλύς	Δασικά Απόβλητα Λοιπά Παραπροϊόντα

1.2.1.4 Προέλευση Τεχνητών Αδρανών από Αδρανή Απόβλητα

Ως Αδρανή απόβλητα ορίζονται τα μη επικίνδυνα απόβλητα που δεν υφίστανται καμία σημαντική φυσική, χημική ή βιολογική μετατροπή. Τα αδρανή απόβλητα δεν διαλύονται, δεν καίγονται ούτε συμμετέχουν σε άλλες φυσικές ή χημικές αντιδράσεις, δεν βιοδιασπώνται ούτε επιδρούν δυσμενώς σε άλλα υλικά με τα οποία έρχονται σε

επαφή κατά τρόπο ικανό να προκαλέσει ρύπανση του περιβάλλοντος ή να βλάψει την υγεία του ανθρώπου (σύμφωνα με την υπ. αριθ. 29407/3508/02 ΚΥΑ). Επίσης, η συνολική αποπλυσιμότητα και περιεκτικότητα σε ρύπους των αποβλήτων και η οικοτοξικότητα των στραγγισμάτων πρέπει να είναι σύμφωνη με την Απόφαση 2003/33/ΕΚ του Συμβουλίου Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (ΕΕΛ 11/27/2003) και την υπ. αριθ. 29407/3508/02 ΚΥΑ και να μη θέτει σε κίνδυνο την ποιότητα των επιφανειακών ή και υπογείων υδάτων.

1.2.1.5 Προέλευση Τεχνητών Αδρανών από Παραπροϊόντα Σκωρίας

Οι σκωρίες είναι έκφραση που περιγράφει γενικά τα μη μεταλλικά ορυκτά συστατικά μέρη και διακρίνονται από τις τέφρες, που αποτελούν κατάλοιπα καύσης. Κατά τη βιβλιογραφία, η σκωρία του ηλεκτρικού κλιβάνου είναι ένα βιομηχανικά ληφθέν τεχνητό πέτρωμα, του οποίου η χημική σύνθεση, η ορυκτολογική σύσταση και οι μηχανικές ιδιότητες είναι ανάλογες των μαγματικών πετρωμάτων (π.χ. βασάλτης ή γρανίτης).

Ο παλαιοσίδηρος (σκραπ) αποτελεί την πρώτη ύλη των χαλυβουργείων. Αρχικά γίνεται διαχωρισμός από μονάδα άλεσης σε μεταλλικά μέρη. Στη συνέχεια, μόνο οι σιδηρούχες ύλες προωθούνται στο κλίβανο για τήξη, όπου προστίθενται ασβέστης και άλλα συλλιπάσματα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία της «μεταλλουργικής σκωρίας». Η σκωρία οδηγείται σε ρευστή κατάσταση (1630°C) από ειδική θυρίδα του κλιβάνου, συλλέγεται και οδηγείται σε χώρο συγκέντρωσης, όπου και ψύχεται. Η απότομη ψύξη της σκωρίας, της δίνει την άμορφη, υαλώδη μορφή προσδίδοντας έτσι τις άριστες μηχανικές της ιδιότητες. Από τη στιγμή αυτή η σκωρία παύει να είναι παραπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας του χαλυβουργείου και αποτελεί την πρώτη ύλη για την παραγωγή διαβαθμισμένων σκληρών αδρανών.

Για την παραγωγή των τελικών προϊόντων ακολουθείται σειρά μηχανικών διεργασιών, κατά σειρά προδιαλογή, ασιδήρωση, πρωτογενής θραύση, δευτερογενής θραύση και τελικά παραγωγή των τελικών προϊόντων από κοσκίνιση. Τα αδρανή που παράγονται, ταξινομούνται σε διάφορα κλάσματα και αποθηκεύονται σε σωρούς στις πελατείες τελικών προϊόντων.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως χρησιμοποιείται κυρίως σε οδικά έργα διότι χαρακτηρίζονται από

- υψηλές μηχανικές αντοχές
- φιλική διαδικασία προς το περιβάλλον αφού δεν απαιτείται η εξόρυξη φυσικών πετρωμάτων,
- μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των αντιολισθηρών ταπήτων που κατασκευάζονται με σκωρία και
- έλλειψη «σκληρών» αδρανών στις περισσότερες χώρες

Το κύριο πλεονέκτημα της σωστά επεξεργάσιμης σκωρίας ηλεκτρικού κλιβάνου είναι οι άριστες μηχανικές ιδιότητες που ικανοποιούν τόσο τις εγχώριες όσο και τις διεθνείς προδιαγραφές αδρανών για την κατασκευή επιφανειακών επιστρώσεων και συγκεκριμένα αντιολισθηρών ταπήτων. Η χρήση των αδρανών αυτών στην οδοποιία και ειδικά σε οδούς με μεγάλες απαιτήσεις αντίστασης σε ολίσθηση, όπως οδούς ταχείας κυκλοφορίας και αυτοκινητοδρόμους, επιδρά καταλυτικά στον τομέα της ασφάλειας. Η ποιότητα των οδοστρωμάτων αυτών μπορεί να συγκριθεί ποιοτικά με τα δίκτυα αυτοκινητοδρόμων στις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες.

Όσον αφορά τα μεταλλουργικά παραπροϊόντα, όπως οι σκωρίες πρώτης και δεύτερης επεξεργασίας μεταλλεύματος, περιλαμβάνονται στον κατάλογο των επικίνδυνων αποβλήτων της ΚΥΑ 69728/824 και η διαχείρισή τους προσδιορίζεται από την ΚΥΑ 19396/1546 σε εναρμόνιση με την αντίστοιχη κοινοτική οδηγία 91/689. Παρ' όλα αυτά από την ισχύουσα νομοθεσία δεν προσδιορίζονται περιβαλλοντικές προδιαγραφές για τη χρήση των σκωριών ως αδρανή σε έργα οδοποιίας και η καταλληλότητα τους αξιολογείται με βάση τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά.

Οι απαιτήσεις για να χρησιμοποιηθεί ένα κοκκώδες υλικό ως αδρανές σε σκυροδέματα προδιαγράφονται στο Ευρωπαϊκό πρότυπο (EN 12620: Aggregates for Concrete και το EN 13242: Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction). Στο πρότυπο (EN 206: Manual for concrete practice) συμπεριλαμβάνονται επίσης άρθρα που αφορούν τα αδρανή. Σχετικοί με τις απαιτήσεις αδρανών για σκυρόδεμα είναι και οι κανονισμοί (ASTM C33: Concrete Aggregates, ASTM C637: Aggregates for Radiation-Shielding Concrete), με τις μεθόδους δοκιμασίας που περιγράφονται στο ASTM (Annual Book of ASTM Standards Volume 04.02).

Σε σχέση με τους κανονισμούς που αφορούν στη χρήση κοκκωδών υλικών ως αδρανών σε ασφαλτομίγματα, (όπως είναι το πρότυπο EN 13043: Aggregates for bituminous mixtures and surface treatments for roads, airfields and other trafficked areas), η διαφοροποίηση είναι ιδιαίτερα πρότυπα EN 12620 και prEN 13242 οι σκωρίες χάλυβα ενσωματώνονται μέσα στο μείγμα τσιμέντου, ένα πήγμα μέγιστης συνδετικής ικανότητας με επαρκή ανθεκτικότητα και σταθερότητα στο χρόνο.

Στις παραγράφους περί σκοπιμότητας και ορισμού των παραπάνω προτύπων (EN 12620, EN 13242) καθορίζονται ως αδρανή τα κοκκώδη υλικά που προκύπτουν από την επεξεργασία φυσικών ή βιομηχανικά παρασκευασμένων ή και ανακυκλωμένων υλικών, που έχουν ξηρή πυκνότητα κόκκων μεγαλύτερη από 2,0 kg/m³ και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σκυρόδεμα συνήθων κατασκευών που εμπίπτουν στο EN 206-1 πρότυπο ή σε δρόμους, δάπεδα ή άλλα προϊόντα προκατασκευασμένου σκυροδέματος. Εξ ορισμού λοιπόν τα αδρανή σκωρίας χάλυβα εμπίπτουν στα πρότυπα εφ' όσον κατά τον έλεγχο πληρούνται οι απαιτήσεις που προδιαγράφονται σε αυτά.

Το μέγεθος των κόκκων των αδρανών σκωρίας χάλυβα καθορίζεται με θραύση και διαχωρισμό (μεκόσκινα) του πρωτογενούς συλλεγόμενου υλικού. Βάσει των προτύπων ο διαχωρισμός σε χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα ή ανάμιγμα γίνεται με το μέγεθος των κόσκινων κατώτερου (d) και μεγαλύτερου (D).

Πίνακας 4 Κοκκομετρικές απαιτήσεις αδρανών σύμφωνα με τον EN12620

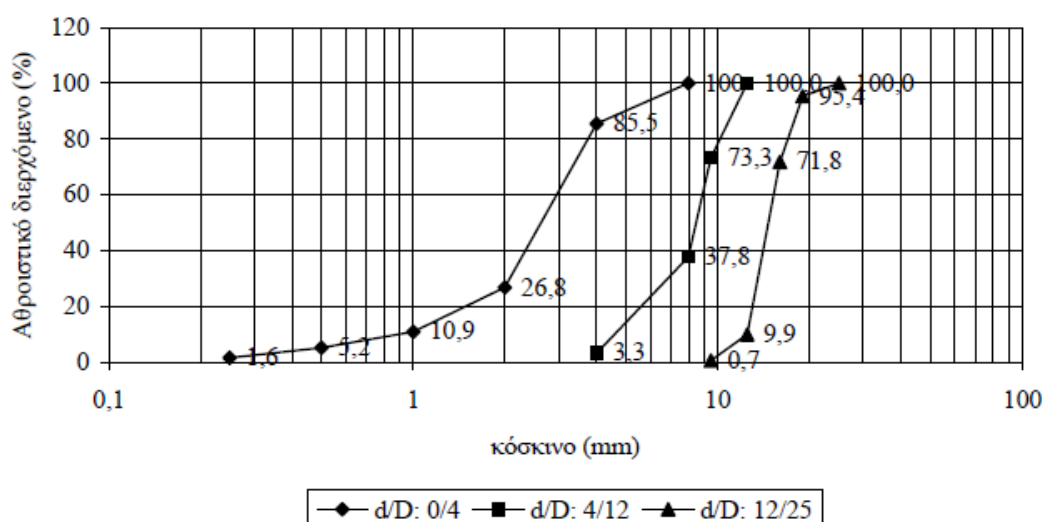
Αδρανές	Μέγεθος	Αθροιστικό διερχόμενο % κ.ο.					Κατηγορία
		2D	1.4D	D	d	d/2	
Χονδρόκοκκο	D/d<2mm ή D>11.2mm	100	98-100	85-99	0-20	0-5	Gc85/20
		100	98-100	80-99	0-20	0-5	Gc80/20
	D/d<2mm & D>11.2mm	100	98-100	90-99	0-15	0-5	Gc90/15
Λεπτόκοκκο	D<4mm & d=0	100	95-100	85-99	-	-	Gf85
Φυσ. Διαβ. 0-8	D=8mm & d=0	100	98-100	90-99	-	-	G _{NG} 90
Μονής Διαβ.	D<45mm & d=0	100	95-100	85-99	-	-	Gf85

*Όπου D και d η μέγιστη και ελάχιστη αντίστοιχα ονομαστική διάσταση του κλάσματος αδρανών

Πίνακας 5Κοκκομετρικές απαιτήσεις αδρανών σύμφωνα με τον EN13242

Αδρανές	Μέγεθος	Αθροιστικό διερχόμενο % κ.ο.					Κατηγορία
		2D	1.4D	D	d	d/2	
Χονδρόκοκκο	d<1mm& D>2mm	100	98-100	85-99	0-15	0-5	Gc85-15
		100	98-100	80-99	0-20	0-5	Gc80-20
Λεπτόκοκκο	d=0mm& D<6,3mm	100	98-100	85-99	-	-	GF85
		100	98-100	80-99	-	-	Gf80
Μονής Διαβ.	D<45mm &d=0	100	98-100	90-99	-	-	GA90
		100	98-100	85-99	-	-	GA85

*Όπου D και d η μέγιστη και ελάχιστη αντίστοιχα ονομαστική διάσταση του κλάσματος αδρανών



Εικόνα 7Ενδεικτικές κοκκομετρικές καμπύλες τριών κλασμάτων αδρανών σκωρίας ονομαστικής διάστασης d/D, 0/4, 4/12, 12/25

Όπως επισημαίνουν και στην εργασία τους οι Αναστασίου και Παπαγιάννης στο έργο τους «Κανονιστικό Πλαίσιο για τη χρήση βιομηχανικών παραπροϊόντων χαλυβουργίας ως αδρανών για την παρασκευή σκυροδέματος», παρόλο που τα τεχνητά αδρανή σκωρίας χαλύβων δεν έχουν πιστοποιηθεί σύμφωνα με την διαδικασία που προβλέπεται βάσει του σχετικού κανονιστικού πλαισίου, μπορεί να λεχθεί με βεβαιότητα ότι εμπίπτουν στις διατάξεις των κανονισμών ως αδρανή σκυροδέματος και ως αδρανή υδραυλικών αναμιγμάτων για οδοστρώσεις. Υπάρχει ήδη πάνω από 5 χρόνια εμπειρία από τη χρήση τους σε σκυροδέματα για διάφορες

εφαρμογές (οδοστρώματα, δάπεδο, κυβόλιθοι, σκυροδέματα μεγάλου ειδικού βάρους) σε εργαστηριακή και εργοταξιακή κλίμακα.

Έχει αποδειχθεί ότι ως τεχνητά αδρανή υλικά:

- Συνεργάζονται άριστα με το τσιμέντο ή συστήματα συνδετικών κονιών, όπως τσιμέντο ποζολανικά υλικά και υπάρχει ομαλή αύξηση αντοχών με το χρόνο.
- Έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορες κοκκομετρίες ή και σε συνεργασία με ποτάμια άμμο ή ασβεστολιθικά αδρανή χωρίς κανένα πρόβλημα.
- Δεν δημιουργεί ειδικές απαιτήσεις στην παρασκευή σκυροδέματος. Ακολουθούνται οι συμβατικοί τρόποι σχεδιασμού και παραγωγής σκυροδέματος.
- Το σκυρόδεμα εμφανίζει κατά τη θραύση ενισχυμένη τη διεπιφανειακή ζώνη αδρανών τσιμεντομείγματος.
- Δεν παρουσιάζει με το χρόνο ογκομετρικές μεταβολές πέρα των προβλεπόμενων για το σκυρόδεμα.
- Δεν παρουσιάζει κηλίδες στην επιφάνεια από οξείδωση σιδήρου.
- Οι δοκιμασίες εκπλυσιμότητας (leachingtests) που εφαρμόστηκαν έδειξαν μεγάλη δυνατότητα μετάλλων στο σκυρόδεμα με σκωριοαδρανή, κάτι που είναι ιδιαίτερα επιθυμητό και ενισχύει το οικολογικό προφίλ των σκωριοσκυροδεμάτων.
- Το σκυρόδεμα που προκύπτει με αδρανή σκωρίας χάλυβα είναι μεγάλου ειδικού βάρους ($\geq 2,8 \text{ tn/m}^3$) σε σχέση με τα συμβατικά σκυροδέματα. Το ειδικό βάρος μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί ανάλογα με την κοκκομετρική σύνθεση ή το συνδυασμό κοιτασμάτων αδρανών διαφορετικής προσέλευσης.

1.2.1.6 Προέλευση Τεχνητών Αδρανών από Παραπροϊόντα Ιπτάμενης Τέφρας

Με τον όρο τέφρα εννοούμε το λεπτό υπόλειμμα που προέρχεται από την καύση στερεών καυσίμων, το οποίο είναι παραπροϊόν καύσης κονιορτοποιημένου άνθρακα στους Σταθμούς Παραγωγής Ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικά για την χρήση της

ιπτάμενης τέφρας συνηγορούν η μεγάλη διαθεσιμότητά της και το χαμηλό κόστος της με αποτέλεσμα να αποτελεί ένα πρώτης τάξης εναλλακτικό προϊόν. Ταυτόχρονα όμως πρέπει να αναφερθεί και το οξύτατο πρόβλημα της διάθεσης της, αν ληφθούν υπόψιν η περιεκτικότητά της σε ραδιενεργά στοιχεία, όπως ραδόνιο 222 και ότι η υποβάθμιση των υπογείων υδάτων επιτείνεται από την εντατική άντληση για την προστασία των ορυχείων.

Αναφορικά με τις τεχνολογικές εφαρμογές της αξιοποιούμενης σήμερα ιπτάμενης τέφρας, το μεγαλύτερο ποσοστό της απορροφάτε στον κατασκευαστικό τομέα και ιδιαίτερα, όπως αναγράφεται και στην ακόλουθη λίσταστις εξής περιοχές.

- Προσθήκη στο μπετόν ως αδρανές,
- Στις τσιμεντοβιομηχανίες, ως πρόσθετο υλικό του τσιμέντου,
- Στην οδοποιία, ως υλικό επίστρωσης
- Στην σταθεροποίηση και στεγανοποίηση εδαφών
- Ως υλικό πλήρωσης κενών σε διάφορα έργα
- Ως υδραυλικό συνδετικό υλικό σε μίγμα με CaO
- Στην κατασκευή ελαφροβαρώντσιμεντολίθων και αδρανών
- Στο αεριομπετόν, το ασφαλτομπετόν και το κυλινδρούμενο σκυρόδεμα
- Στην κεραμική και πλινθοποιία
- Στην γεωργία και εξουδετέρωση όξινων εδαφών
- Στην εξυγίανση βιομηχανικών αποβλήτων και στην απορρύπανση
- Στην ανάκτηση ιχνοστοιχείων
- Στη χημεία για προσροφητικές και καταλυτικές δράσεις
- Στη βιομηχανία πλαστικών (υλικό πλήρωσης PVC, πολυστυρολίου και αφρωδών υλικών)
- Στη βιομηχανία χρωμάτων
- Στον εμπλουτισμό εδαφών σε ιχνοστοιχεία

Η χρήση της ιπτάμενης τέφρας συναντάται κυρίως στο έτοιμο σκυρόδεμα ως τέταρτο αυτοδύναμοσυστατικό μετά το τσιμέντο, τα αδρανή και το νερό.

Η ιπτάμενη τέφρα μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα προσκομιζόμενο αδρανές όταν το υπάρχον αδρανές είναι ακατάλληλο για σταθεροποίηση εξαιτίας περιεκτικότητας σε οργανικά, θειικά ή αργιλικά συστατικά, σε αυτή την περίπτωση η ιπτάμενη τέφρα χρησιμοποιείται ως λίθινο υλικό μέσα στον τσιμεντοπολτό. Στην περίπτωση αυτή η

ιπτάμενη τέφρα έχει θέση ελαφρούς αδρανούς, όμως λόγω της επεξεργασίας που έχει δεχτεί οδηγεί σε δυσμενείς οικονομικές επιπτώσεις στην παραγωγή.

Η Ι.Τ., ανάλογα με τις απαιτήσεις του πελάτη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για αντικατάσταση μέρους του τσιμέντου Portland, είτε μέρους των αδρανών. Οικονομικό όφελος υπάρχει κυρίως στην πρώτη περίπτωση, ενώ το τεχνικό όφελος υπάρχει στη δεύτερη περιλαμβάνοντας σημαντική αύξηση του χρόνου ζωής της κατασκευής.

1.3 Χρήσεις του Σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται ευρύτατα στις κατασκευές γιατί, σε σύγκριση με άλλα φυσικά (λίθοι) ή τεχνητά υλικά (πλίνθοι, κεραμικά, κονιάματα), οι πρώτες του ύλες είναι διαθέσιμες παντού, είναι σχετικά εύκολο να κατασκευασθεί και να μορφοποιηθεί, έχει χαμηλό κόστος και παρουσιάζει υψηλή αντοχή σε θλίψη.

Η ευρεία χρήση του σκυροδέματος οδήγησε στην παρασκευή πολλών ειδών τσιμέντου και σκυροδεμάτων, η ταξινόμηση των οποίων, στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ήταν μια χρονοβόρα και πολύπλοκη διαδικασία, η οποία κατέληξε το 2000 στο Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 197-1 «Τσιμέντο – Μέρος 1: Σύνθεση, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης για τα κοινά τσιμέντα» η Ελληνική έκδοση του οποίου είναι το ΕΛΟΤ EN 197-1.¹⁶

Πίνακας 6Είδη σκυροδέματος

Είδος	Περιγραφή
Σκυρόδεμα	Υλικό που προέρχεται από ανάμιξη τσιμέντου, χονδρών και λεπτών αδρανών και νερού, με ή χωρίς προσθήκη προσμίκτων και προσθέτων, το οποίο αναπτύσσει τις ιδιότητες του μέσω της ενυδάτωσης του τσιμέντου
Νωπό Σκυρόδεμα	Πλήρως αναμεμιγμένο σκυρόδεμα, το οποίο μπορεί να συμπυκνωθεί με κατάλληλα επιλεγμένη μέθοδο
Σκληρυμένο Σκυρόδεμα	Σκυρόδεμα σε στερεή κατάσταση, το οποίο έχει αναπτύξει μετρήσιμη αντοχή
Συμβατικό Σκυρόδεμα	Σκυρόδεμα πυκνότητας $800\text{kg/m}^3 < d < 2000\text{kg/m}^3$

¹⁶Βουθούνης Π. Τεχνική Μηχανική – Αντοχή των Υλικών – Εκδόσεις Αθηνά

Σκυρόδεμα Μεγάλου Ειδικού Βάρους	Σκυρόδεμα πυκνότητας $d > 2600 \text{ kg/m}^3$
Ελαφροσκυρόδεμα	Σκυρόδεμα πυκνότητα $800 \text{ kg/m}^3 < d < 2000 \text{ kg/m}^3$

1.4 Κατηγοριοποίηση Σκυροδέματος βάσει της Ποιότητας του

Η ποιότητα του σκυροδέματος εξαρτάται από την ποιότητα των χρησιμοποιούμενων υλικών για την κατασκευή του (τσιμέντο, άμμος, χαλίκια, νερό, πρόσθετα), από την αναλογία τους, τον τρόπο ανάμιξης τους, την συμπύκνωση μέσα στα καλούπια και την συντήρησή του ιδιαίτερα τις πρώτες 7 ημέρες από την παρασκευή του, καθώς στο διάστημα αυτό αποκτάει το μεγαλύτερο ποσοστό των ιδιοτήτων του.

Τα τσιμέντα CEM¹⁷ αποτελούνται από διαφορετικά υλικά και είναι στατιστικά ομοιογενή στη σύνθεση ως επακόλουθο ποιοτικά διασφαλισμένης παραγωγής και διεργασιών χειρισμού του υλικού. Η σύνδεση μεταξύ αυτών των διεργασιών παραγωγής και χειρισμού των υλικών και η συμμόρφωση του τσιμέντου με το ΕΛΟΤ EN 197-1 καθορίζεται στο ΕΛΟΤ EN 197-2 «Τσιμέντο-Μέρος 2: Αξιολόγηση συμμόρφωσης»

Σύμφωνα με τις διατάξεις του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος μετράται σε 28 ημέρες σε κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 150mm και ύψος 300mm ή κυβικά δοκίμια ακμής 150mm. Χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου δοκιμίου f_{ck} ή κυβικού δοκιμίου $f_{ck,cube}$ θεωρείται εκείνη η τιμή αντοχής κάτω της οποίας υπάρχει 5% πιθανότητα να βρεθεί η τιμή αντοχής ενός τυχαίου δοκιμίου. Τα κυλινδρικά δοκίμια χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος. Τα κυβικά δοκίμια χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος. Ο έλεγχος γίνεται σε πιστοποιημένα εργαστήρια ελέγχου ποιότητας. Ανάλογα με τη αντοχή του, το σκυρόδεμα διακρίνεται στις εξής κατηγορίες:

Κατηγορία σκυ/ματος	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
---------------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

¹⁷ τσιμέντο συμμορφούμενο με το ΕΛΟΤ EN 197-1

όπου (π.χ.) για την κατηγορία C12/15 το σύμβολο C = concrete = σκυρόδεμα, 12 η αντοχή του κυλίνδρου και 15 η αντοχή του κύβου.¹⁸

Οι κατηγορίες σκυροδέματος είναι οι ακόλουθες:

¹⁸ Η Χρήση του Σκυροδέματος στην Κατασκευή Έργων Πολιτικού Μηχανικού – ΤΕΙ Πειραιά - file:///C:/Users/User/Downloads/pol_00567.pdf

Πίνακας 7 Κατηγορίες σκυροδέματος και χαρακτηριστικές τιμές αυτών¹⁹

Κατηγορία σκυροδέματος	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
fck	12	16	20	25	30	35	40	45	50
fctk 0,05	1.10	1.30	1.50	1.80	2.00	2.20	2.50	2.70	2.90
fctm	1.60	1.90	2.20	2.60	2.90	3.20	3.50	3.80	4.10
fctk0,95	2.00	2.50	2.90	3.30	3.80	4.20	4.60	4.90	5.30
fcm	20	24	28	33	38	43	48	53	58
Ecm	26	27.5	29	30.5	32	33.5	35	36	37

¹⁹ Η Χρήση του Σκυροδέματος στην Κατασκευή Έργων Πολιτικού Μηχανικού – ΤΕΙ Πειραιά - file:///C:/Users/User/Downloads/pol_00567.pdf

Επεξήγηση συμβόλων

fck	Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή σκυροδέματος
fctk 0,05	Χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος για ποσοστημόριο 5%
fctm	Μέση εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος
Ecm	Μέση τιμή επιβατικού μέτρου ελαστικότητας σκυροδέματος.
fcm	Μέση θλιπτική αντοχή σκυροδέματος
fctk0,95	Χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος για ποσοστημόριο 95%

Η χρήση της κατηγορίας C12/15 σε οπλισμένο σκυρόδεμα επιτρέπεται μόνο για κτίρια χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας με τρεις το πολύ ορόφους.

Η χρήση της κατηγορίας C16/20 σε οπλισμένο σκυρόδεμα επιτρέπεται μόνο:

- Για κτίρια χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, ανεξαρτήτως του αριθμού των ορόφων.
- Για κτίρια με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, με τρεις το πολύ ορόφους,

Για **προεντεταμένο σκυρόδεμα δεν επιτρέπονται οι κατηγορίες C12/15 , C16/20 & C20/25**. Γενικά το σκυρόδεμα που χρησιμοποιείται στις προεντεταμένες κατασκευές έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:

- υψηλή αντοχή (παρατηρήσεις)
- περιορισμένη συστολή πήξεως (βλ. κεφάλαιο)
- περιορισμένο ερπυσμό (βλ. κεφάλαιο.)
- χαμηλή θερμότητα πήξεως

2. ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΜΜΟΥ ΑΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΑΔΡΑΝΗ

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζεται η δυνατότητα υποκατάστασης της άμμου του σκυροδέματος από ανακυκλωμένα υλικά που προέρχονται από κατεδαφίσεις κτιρίων για την παραγωγή κλίνκερ τσιμέντου. Οι πληροφορίες που παρατίθενται προέρχονται αποπρουάρχουσες ερευνητικές μελέτες.²⁰

2.1 Πρώτες Ύλες και Μέθοδοι Προσδιορισμού της Σύστασης Ανακυκλωμένων Υλικών Κατεδάφισης

Τα οικοδομικά απορρίμματα που ειδικότερα αντιμετωπίζονται είναι τα Ανακυκλωμένα Αδρανή Σκυροδέματος (ΑΑΣ) και τα Ανακυκλωμένα Αδρανή Τοιχοποιίας (ΑΑΤ), τα οποία προέρχονται από εργασίες κατεδάφισης κτιρίων.

Ο προσδιορισμός της σύστασης των ΑΑΣ και ΑΑΤ αποτελεί κρίσιμο παράγοντα προκειμένου να αξιολογηθεί η καταλληλότητα των ανωτέρω υλικών ως υποκατάστατων της βιομηχανικής φαρίνας (ΒΦ). Η ομοιότητα της σύστασης της φαρίνας τσιμέντου βιομηχανικής προέλευσης με την σύσταση των ανακυκλωμένων αδρανών μπορεί να αποτελέσει μία αρχική ένδειξη αναφορικά με τον επιθυμητό στόχο. Ο προσδιορισμός της σύστασης τόσο των ΑΑΣ και ΑΑΤ όσο και της ΒΦ δύναται να πραγματοποιηθεί με χημική και ορυκτολογική ανάλυση με χρήση φασματοφωτόμετρου φθορισμού ακτίνων Χ (X-Ray Fluorescence). Για τον εντοπισμό των κύριων ορυκτολογικών φάσεων σε κρυσταλλική μορφή των ανωτέρω υλικών χρησιμοποιείται η μέθοδος της περίθλασης με ακτίνες Χ (X-Ray Diffraction).

2.2 Χημική Σύσταση Αδρανών

Στον επόμενο πίνακα παρατίθενται αποτελέσματα χημικών αναλύσεων δειγμάτων ανακυκλωμένων αδρανών σκυροδέματος και τοιχοποιίας καθώς της φαρίνας τσιμέντου βιομηχανικής προέλευσης.

²⁰Γκαλμπένης Χ. Υποκατάσταση Φαρίνας Τσιμέντου από Ανακυκλωμένα Υλικά Κατεδάφισης Κτιρίων - Αθήνα : Ε.Μ.Π., 2011.

Πίνακας 8 Χημική σύσταση ΑΑΣ, ΑΑΤ και ΒΦ (% κ.β.)

Συστατικό	Ανακυκλωμένα Αδρανή Σκυροδέματος	Ανακυκλωμένα Αδρανή Τοιχοποιίας	ΒΦ
SiO ₂	4,78	44,59	13,55
Al ₂ O ₃	1,32	9,70	3,31
Fe ₂ O ₃	0,67	4,58	2,55
CaO	46,19	26,77	41,95
MgO	1,29	2,31	1,98
K ₂ O	0,11	0	0,41
Απώλεια Πύρωσης	40,36	9,14	35,12

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα, το δείγμα ανακυκλωμένων αδρανών σκυροδέματος εμφανίζει υψηλή περιεκτικότητα σε CaO, γεγονός που επιβεβαιώνει ασβεστολιθική προέλευση. Αντίστοιχα το δείγμα ανακυκλωμένων αδρανών τοιχοποιίας παρουσιάζει υψηλό ποσοστό σε SiO₂ και Al₂O₃, εξαιτίας σαφώς της παρουσίας των τούβλων σε αυτό, καθώς και υψηλό ποσοστό σε CaO λόγω της παρουσίας κονιάματος. Η σύσταση της ΒΦ επιβεβαιώνει την ασβεστολιθική, κατά κύριο λόγο, και πυριτική της προέλευση.²¹

2.3 Ορυκτολογική Σύσταση Αδρανών

Αναλύοντας τα ως άνω αποτελέσματα που τις πρίσμα της ορυκτολογικής τους προέλευσης φανερώνεται η κυρίαρχη παρουσία του καλσίτη (CaCO₃), επιβεβαιώνοντας την ασβεστολιθική του προέλευση. Η παρουσία του πορτλαντίτη καταδεικνύει την παρουσία της τσιμεντόπαστας, καθώς ο πορτλαντίτης αποτελεί μία από τις κυριότερες ορυκτολογικές φάσεις κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου Πόρτλαντ . Γενικότερα στα δείγματα ανακυκλωμένων αδρανών τοιχοποιίας δεσπόζει

²¹Γκερέκος&Καλογέρας Εναλλακτικές Πρώτες Ύλες Στην Τσιμεντοβιομηχανία - Αθήνα : 2009

η παρουσία του χαλαζία (SiO_2), γεγονός που επαληθεύει την πυριτική σύσταση του εν λόγω δείγματος. Η παρουσία του γκελενίτη και του διοξιδίου φανερώσει την ασβεστολιθική προέλευση της πάστας του κονιάματος που χρησιμοποιήθηκε στο δείγμα ΑΑΤ. Τέλος, η ασβεστολιθική και πυριτική σύσταση της φαρίνας επιβεβαιώνεται από την ισχυρή παρουσία του καλσίτη και του χαλαζία αντίστοιχα. Από αποτελέσματαχημικών και ορυκτολογικών αναλύσεωνεξεταζόμενων πρώτων υλών, φαίνεται ότι η σύσταση των ανακυκλωμένων αδρανών σκυροδέματος και τοιχοποιίας παρουσιάζονται χαρακτηριστικές ομοιότητες με την σύσταση της φαρίνας του τσιμέντουβιομηχανικής προέλευσης. Πράγματι, το υψηλό ποσοστό οξειδίων όπως το CaO και το SiO_2 και η ισχυρή παρουσία ορυκτολογικών φάσεων όπως ο καλσίτης και ο χαλαζίας τόσο στη φαρίνα τσιμέντουβιομηχανικής προέλευσης όσο και στα ανακυκλωμένα αδρανή, πιστοποιούν αυτήν την ομοιότητα. Επιπλέον, η ασβεστολιθική και πυριτική προέλευση των δειγμάτων ΑΑΣ και ΑΑΤ αντίστοιχα, αποτελεί σημαντικό κριτήριο προκειμένου τα υλικά αυτά να μπορούν να υποκαταστήσουν την φαρίνα αναφοράς (ΒΦ).

2.4 Φυσικομηχανικές Ιδιότητες Τσιμέντων

Προκειμένου να αξιολογηθούν ως προς τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά, τα τσιμέντα που παράγονται με υποκατάσταση της βιομηχανικής φαρίνας από ανακυκλωμένα υλικά, υποβάλλονται σε όλες τις δοκιμές που προβλέπονται από το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 197-1 σε σχέση με τις φυσικομηχανικές τους ιδιότητες. Πιο συγκεκριμένα, μετρούνται οι αντοχές θλίψης στις ηλικίες των 2,7,28 και 90 ημερών από την ημερομηνία παραγωγής τους. Για τον προσδιορισμό των θλιπτικών αντοχών ακολουθούνται αντίστοιχα όλα τα στάδια που προβλέπονται από το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 196-1. Η μέτρηση του χρόνου αρχής και τέλους πήξης γίνεται με τη βοήθεια της συσκευής Vicatσύμφωνα με το πρότυπο EN 196-3. Παράλληλα με τον προσδιορισμό των χρόνων πήξης, υπολογίζεται για το σύνολο των παραγόμενωντσιμέντων η απαίτηση τους σε νερό. Αναφορικά με την μέτρηση της σταθερότητας όγκου, αυτή πραγματοποιείται με τη δοκιμήLeChatelier όπως ορίζει το πρότυπο EN 196-3. Για την μελέτη του ρυθμού ενυδάτωσης των εξεταζόμενωντσιμέντων, παρασκευάζονται πάστες τσιμέντου με τιμή λόγου νερού:τσιμέντου ίση με 0,5. Μετά την ανάμιξη του απιονισμένου νερού με το

τσιμέντο, τα μίγματα που προκύπτουν μορφοποιούνται σε κατάλληλες μήτρες, οι οποίες διατηρούνται για 24h σε χώρο με 90% υγρασία και στη συνέχεια εμβαπτίζονται σε νερόθερμοκρασίας 20°C. Η διακοπή της ενυδάτωσης για το σύνολο των παστών γίνεται σταδιακά στις 2, 7, 28 και 90 ημέρες από την ημερομηνία παραγωγής τους. Σε κάθε μια από τις παραπάνω καθορισμένες ηλικίες τα δοκίμια αποσπάζονται από το λουτρό. Κάθε πάστα στη συνέχεια εμβαπτίζεται σε ακετόνη για 30 λεπτά και ακολούθως σε διαιθυλαιθέρα για άλλα 30 λεπτά. Ακολουθεί μεταφορά σε φούρνο υπό κενού προς ξήρανση τους για 24h. Οι πάστες που προκύπτουν με την παραπάνω διαδικασία μελετούνται με χρήση θερμικών μεθόδων ανάλυσης, χρησιμοποιώντας τις αναλυτικές τεχνικές της βαρυτομετρικής (TGA), της διαφορικής βαρυτομετρικής (DTGA) και διαφορικής θερμικής ανάλυσης (DTA) με το όργανο TGA/SDTA 851 της MettlerToledo. Το σύνολο των δειγμάτων υποβάλλονται σε θερμική κατεργασία στην περιοχή από 25°C έως 1000°C. Η αύξηση της θερμοκρασίας γίνεται με βήμα 10°C /min στη περιοχή από 25°C έως 600°C ενώ στο διάστημα από 600°C έως 1000°C επιλέχθηκε ρυθμός ανόδου 15°C /min καθώς δεν αναμένεται σημαντική μεταβολή βάρους σε αυτό το διάστημα. Για την διενέργεια των πειραμάτων χρησιμοποιείται αέριο άζωτο ως προστατευτικό αέριο, παροχής 50ml/min, προς αποφυγή ενανθράκωσης των δειγμάτων από τον ατμοσφαιρικό αέρα.²²

2.5 Αντοχή σε Θλίψη

Όπως έχει προκύψει από προγενέστερες έρευνες σχετικά με τα αποτελέσματα των αντοχών θλίψης, οι τιμές των πρώιμων αντοχών (2 και 7 ημέρες) των τσιμέντων που περιέχουν οικοδομικά αδρανή στο μίγμα των πρώτων υλών τους υπολείπονται σε σχέση με το τσιμέντο αναφοράς. Παρατηρείται ότι όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό υποκατάστασης της ΒΦ από τα ΑΑΣ και ΑΑΤ, τόσο μικρότερη είναι η τιμή των αντοχών θλίψης των παραγόμενων τσιμέντων στις προαναφερθείσες ηλικίες. Στην ηλικία των 28 ημερών τα τροποποιημένα τσιμέντα ακολουθούν την τάση που εμφανίζεται στις 2 και 7 ημέρες, με τη διαφορά ότι οι τιμές των θλιπτικών αντοχών έχουν συγκλίνει σημαντικά με την αντίστοιχη τιμή του τσιμέντου αναφοράς.

²²Γκαλμπένης Χ. Υποκατάσταση Φαρίνας Τσιμέντου από Ανακυκλωμένα Υλικά Κατεδάφισης Κτιρίων - Αθήνα : Ε.Μ.Π., 2011.

Σε σχέση με τις τιμές των αντοχών θλίψης των 90 ημερών, προκύπτει ότι εμφανίζονται τιμές που είναι παραπλήσιες με την τιμή του τσιμέντου αναφοράς. Στις περιπτώσεις, μάλιστα, των τσιμέντων που έχουν προκύψει από τις συνθέσεις Φ3, Φ4 και Φ5, οι αντοχές των 90 ημερών εμφανίζονται ελαφρώς μεγαλύτερες σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή του τσιμέντου αναφοράς. Για όλες τις ηλικίες, οι τιμές των αντοχών θλίψης κρίνονται αποδεκτές αφού βρίσκονται εντός των προβλεπόμενων ορίων που θέτει το πρότυπο EN 197-1 για τα τσιμέντα Portland τύπου I - κατηγορία αντοχών 42,5N.

2.6 Χρόνος Πήξης - Απαίτηση σε Νερό και Σταθερότητα Όγκου

Η εισαγωγή των ΑΑΣ και ΑΑΤ στο μίγμα των πρώτων υλών επιφέρει μία αύξηση των χρόνων αρχής και τέλους πήξης των προκυπτουσών τσιμέντων σε σχέση με τους αντίστοιχους χρόνους του τσιμέντου αναφοράς. Είναι χαρακτηριστικό ότι η αύξηση του ποσοστού υποκατάστασης της ΒΦ από τα ΑΑΣ και ΑΑΤ έχει ως αποτέλεσμα, σε γενικές γραμμές, την αύξηση των χρόνων πήξης. Σε κάθε περίπτωση όμως, οι τιμές των χρόνων πήξης κρίνονται αποδεκτές αφού ικανοποιούν τις απαιτήσεις του προτύπου EN 197-1.

Αναφορικά με την απαίτηση σε νερό των τσιμέντων που περιέχουν τα ΟΑ παρατηρείται ότι δεν παρουσιάζουν σημαντική μεταβολή σε σχέση με το τσιμέντο αναφοράς. Οι τιμές τους κρίνονται αποδεκτές σε κάθε περίπτωση. Η σταθερότητα όγκου των τροποποιημένων τσιμέντων κρίνεται αποδεκτή. Οι μετρούμενες διογκώσεις κυμαίνονται από 0-2mm την στιγμή που το πρότυπο EN 197-1 θέτει ως όριο τα 10mm.²³

2.7 Ρυθμός Ενυδάτωσης Τσιμέντων με Θερμική Ανάλυση

Από την αξιολόγηση των θερμογραφημάτων TG-DTG προκύπτουν τρεις χαρακτηριστικές περιοχές απώλειας βάρους: α) η περιοχή από 70 έως 400°C, όπου λαμβάνει χώρα η σταδιακή απομάκρυνση του χημικώς συνδεδεμένου νερού από τα ενυδατωμένα προϊόντα, β) η περιοχή από 400°C έως 550°C, όπου διασπάται ο

²³Γκαλμπένης Χ. Υποκατάσταση Φαρίνας Τσιμέντου από Ανακυκλωμένα Υλικά Κατεδάφισης Κτιρίων - Αθήνα : Ε.Μ.Π., 2011

πορτλαντίτης $\text{Ca}(\text{OH})_2$ και γ) η περιοχή από 650°C έως 950°C , όπου διασπάται το ανθρακικό ασβέστιο που πιθανόν να έχει σχηματιστεί από την ενανθράκωση του πορτλαντίτη. Κάθε καταγραφή απώλειας βάρους σε αυτό το διάστημα πρέπει να μετατραπεί σε αντίστοιχη ποσότητα πορτλαντίτη και να συνυπολογιστεί.

Με βάση τα ανωτέρω, ο συνολικός ρυθμός ενυδάτωσης μπορεί να αξιολογηθεί από το συνολικό νερό που αντιστοιχεί στα προϊόντα ενυδάτωσης (συνολική απώλεια βάρους μέχρι τους 550°C και συνυπολογισμός του νερού του πορτλαντίτη που έχει ενανθρακωθεί). Επιπρόσθετα, η ποσότητα του πορτλαντίτη που έχει σχηματιστεί αντιστοιχεί στον ρυθμό ενυδάτωσης των ασβεστοπυριτικών ενώσεων (C3S, C2S).

2.8 Επίδραση Υψηλών Θερμοκρασιών στην Αντοχή Ανακυκλωμένων Σκυροδεμάτων

Έχει παρατηρηθεί ότι στις υψηλές θερμοκρασίες, οι επιφάνειες των ανακυκλωμένων μαλακώνουν περισσότερο και δημιουργείται μεγαλύτερο δίκτυο μικρορωγμών, λόγω καταστροφής της προσκολλημένης στους κόκκους τσιμεντόπαστας, χωρίς όμως να επηρεάζεται η αντοχή. Οι απώλειες αντοχών που λαμβάνονται από το κρουσίμετρο είναι πολύ μικρότερες από αυτές που δίνει η θλιπτική αντοχή και το ηχώμετρο.

Η προσθήκη φυσικής άμμου στη θέση της ανακυκλωμένης μειώνει τις απώλειες των αντοχών και κάνει τα μείγματα πιο ανθεκτικά, έναντι των μειγμάτων με όλα τα αδρανή τους ανακυκλωμένα, σε όλες τις θερμοκρασίες.²⁴

2.9 Οι Απαιτήσεις για το Μέλλον

Η αξιοποίηση των οικοδομικών απορριμμάτων εμφανίζεται στις μέρες μας ιδιαίτερα ελκυστική εξαιτίας των περιβαλλοντικών οφελών που προκύπτουν από την χρήση των εν λόγω απορριμμάτων. Ειδικότερα στην Ελλάδα όπου η σύσταση οργανωμένων συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης οικοδομικών απορριμμάτων βρίσκεται προ των πυλών, διαφαίνεται η τάση δυναμικής διεύρυνσης των προϊόντων ανακύκλωσης στις υφιστάμενες αγορές αδρανών υλικών.

²⁴ Γκερέκος & Καλογέρας. Εναλλακτικές Πρώτες Ύλες Στην Τσιμεντοβιομηχανία - Αθήνα : 2009.

Δεδομένου ότι οι βιομηχανίες τσιμέντου αντιμετωπίζουν ή πρόκειται να αντιμετωπίσουν στο μέλλον προβλήματα που αφορούν στην εξεύρεση πρώτων υλών και στην εξοικονόμηση ενέργειας, τα υλικά αυτά θα μπορούσαν να αποτελέσουν μία πιθανή λύση στο πρόβλημα.

Τα αποτελέσματα μελετών δείχνουν ότι τα εξεταζόμενα υλικά παρουσίασαν χαρακτηριστικές ομοιότητες στη σύστασή τους σε σχέση με την σύσταση της φαρίνας του τσιμέντου. Η ασβεστολιθική και πυριτική προέλευση των ΑΑΣ και ΑΑΤ είναι συμβατή με την προέλευση της ΒΦ. Επιπλέον, από τις συνθέσεις της φαρίνας που πραγματοποιήθηκαν προέκυψε το συμπέρασμα ότι τα εξεταζόμενα υλικά θα μπορούσαν να υποκαταστήσουν τις φυσικές πρώτες ύλες ακόμη και σε ποσοστό 100%. Τα ανωτέρω αποτελέσματα αποτελούν μία αρχική ένδειξη αναφορικά με τον επιθυμητό στόχο. Περαιτέρω έρευνες οι οποίες σχετίζονται α) με την μελέτη ψησιμότητας των διαφόρων συνθέσεων της φαρίνας που περιέχουν τα υπό εξέταση υλικά και β) με τα ενεργειακά οφέλη αυτής της υποκατάστασης και γ) με τον έλεγχο των μηχανικών χαρακτηριστικών των τσιμέντων που θα προκύψουν, είναι απαραίτητες να γίνουν για την καλύτερη αξιολόγηση της καταλληλότητας των ανακυκλωμένων αδρανών για τη συγκεκριμένη χρήση.

Τα βασικότερα συμπεράσματα που εξάγονται συνοψίζονται στα παρακάτω σημεία:

- Η εισαγωγή των ΑΑΣ και ΑΑΤ στο μίγμα των πρώτων υλών φαίνεται να ευνοεί την διαδικασία της έψησης, γεγονός που καταγράφηκε από την χαρακτηριστική μείωση του fCaO για το σύνολο των παραγόμενων κλίνκερ. Όσο μεγαλύτερη είναι η υποκατάσταση της ΒΦ από τα ΟΑ τόσο περισσότερο ευνοείται η διαδικασία της έψησης. Η ολοκλήρωση της έψησης πιστοποιήθηκε για το σύνολο των συνθέσεων που εξετάστηκαν, καθώς σχηματίστηκαν πλήρως οι κύριες ορυκτολογικές φάσεις των παραγόμενων κλίνκερ.²⁵
- Οι τιμές των θλιπτικών αντοχών των τσιμέντων που περιέχουν τα ΟΑ φαίνεται να υπολείπονται των αντίστοιχων τιμών του τσιμέντου αναφοράς για

²⁵ **Κόλια&Χριστούλα&Μαρσέλλος** Χρήση της Ι.Τ. στην οδοποιία - Αθήνα : Δελτίον Κ.Ε.Δ.Ε. τεύχη 3-4, 1986.

τις ηλικίες των 2,7 και 28 ημερών. Ωστόσο, με την πάροδο του χρόνου, στις προαναφερθείσες ηλικίες, οι τιμές των αντοχών θλίψης συγκλίνουν σημαντικά για το σύνολο των εξεταζόμενων τσιμέντων σε σχέση με το τσιμέντο αναφοράς. Στην ηλικία των 90 ημερών οι τιμές των αντοχών θλίψης εμφανίζονται παραπλήσιες με το τσιμέντο αναφοράς. Επίσης, αύξηση του ποσοστού υποκατάστασης της ΒΦ από τα ΟΑ επιφέρει μείωση των θλιπτικών αντοχών στις ηλικίες των 2,7 και 28 ημερών, ακολουθώντας την τάση που περιγράφηκε παραπάνω. Η εικόνα αυτή διαφοροποιείται στην ηλικία των 90 ημερών.

- Η αύξηση της προσθήκης των ΑΑΣ και ΑΑΤ στο μίγμα των πρώτων υλών, έχει ως αποτέλεσμα την αντίστοιχη αύξηση των χρόνων αρχής και τέλους πήξης των παραγόμενων τσιμέντων σε σχέση με το τσιμέντο αναφοράς. Αναφορικά με την απαίτηση σε νερό και την σταθερότητα όγκου, τα αποτελέσματα κρίνονται ικανοποιητικά για το σύνολο των εξεταζόμενων τσιμέντων.²⁶
- Τα όρια που θέτει το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 197-1 για τις δοκιμές αντοχών θλίψης, χρόνων πήξης, απαίτησης σε νερό και σταθερότητας όγκου, πληρούνται πλήρως για όλα τα τσιμέντα που μελετήθηκαν.
- Ο συνολικός ρυθμός ενυδάτωσης των τσιμέντων που περιλαμβάνουν τα ΟΑ φαίνεται να υστερεί ελαφρώς σε σχέση με το τσιμέντο αναφοράς. Η υστέρηση αυτή είναι πιο εμφανής στην ηλικία των 2 ημερών. Στις ηλικίες των 7, 28 και 90 ημερών ο ρυθμός ενυδάτωσης συγκλίνει περισσότερο με το τσιμέντο αναφοράς. Σε σχέση με την ενυδάτωση των ασβεστοπυριτικών ενώσεων (C3S, C2S) παρατηρείται ότι αύξηση των ΟΑ στο μίγμα των πρώτων υλών επιφέρει μείωση του ρυθμού ενυδάτωσης τους. Αυτό παρατηρείται εντονότερα στην ηλικία των 2 ημερών σε σχέση με τις ηλικίες των 7, 28 και 90 ημερών.²⁷

²⁶Γκαλμπένης Χ. Υποκατάσταση Φαρίνας Τσιμέντου από Ανακυκλωμένα Υλικά Κατεδάφισης Κτιρίων - Αθήνα : Ε.Μ.Π., 2011

²⁷Τριανταφύλλου Δομικά υλικά - Αθήνα , 2008

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

3.1 Σκοπός

Σκοπός του εργαστηριακού μέρους της εργασίας αποτέλεσε η διερεύνηση των θλιπτικών αντοχών στις 28 ημέρες ωρίμανσης των δοκιμίων από ανακυκλωμένο σκυρόδεμα με προσθήκη ιπτάμενης τέφρας και ποζολάνης, με τα αντίστοιχα αρχικά δοκίμια από σκυρόδεμα C25/30.

3.2 Μεθοδολογία Πειράματος

Συγκεκριμένα έγιναν οι εξής εργασίες

- 1) Σύνθεση σκυροδέματος c25/30 S3 με κάθιση 103mm με προσθήκη υπερευστοποιητη. Προσθέθηκε ερευστοποιητής 0.200 kg στην τελική σύνθεση. Σκυροδετήθηκαν 19 κύβοι και 9 κυλίνδροι.
- 2) Εγινε δοκιμή αντοχών 7 ημερών για 2 κύβους στη συνέχεια στις 28 ημέρες εγινε δοκιμή αντοχών όλων των δοκιμίων
- 3) Τελος εγινε η νέα σκυροδέτηση με το ανακυκλωμένο και φτιάχτηκαν 12 κυβικά δοκίμια σε αντικατάσταση της αμμού 20% με 15% ποζολάνη και 5% ιπτάμενη τέφρα. Τα δοκιμια θράυστηκαν στις 28 μέρες για να δούμε την θλιπτική αντοχή τους.

3.3 Χαρακτηριστικά Υλικών Παρασκευής Δοκιμίων

Παρακάτω παρουσιάζονται οι μηχανικές ιδιότητες και οι αναλογίες σε σύνθεση σκυροδέματος των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των δοκιμίων. Συγκεκριμένα αναλύεται το τσιμέντο και ο υπερευστοποιητής που χρησιμοποιήθηκαν

3.3.1 Τσιμέντο

Για το δεύτερο μέρος του πειράματος χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο CEM IV / B (P-W) 32,5 R. Πρόκειται για ένα Ποζολανικό τσιμέντο ιπτάμενης τέφρας -

ποζολάνηςπρώμων αντοχών κατάλληλο για όλες τις οικοδομικές εφαρμογές (έργα πολιτικού μηχανικού, οικοδομικά έργα, έτοιμο σκυρόδεμα και προϊόντα σκυροδέματος).

Το CEM IV / B (P-W) 32,5 R ανταποκρίνεται πλήρως στις σύγχρονες απαιτήσεις των κατασκευών για αντοχή και μεγάλη διάρκεια ζωής. Σε σύγκριση με το τσιμέντο CEM I είναι ανθεκτικό στην προσβολή θεικών και έχει χαμηλή θερμότητα ενυδάτωσης. Έχει ως βάση κλίνκερ τύπου Πόρτλαντ, που έχει αλεσθεί μαζί με πρόσθετα (συνδετικά). Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 197-1, είναι κατηγορίας αντοχής 32,5 R (πρώωρες αυξημένες αντοχές). Το CEM IV / B (P-W) 32,5 R καλύπτει πλήρως τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ EN 197-1, είναι πιστοποιημένο από ανεξάρτητο φορέα και φέρει σήμα CE.

Εφαρμογές

- Οπλισμένο σκυρόδεμα κατασκευών
- Παραθαλάσσιο σκυρόδεμα
- Τσιμέντο με σχετικά χαμηλή θερμότητα ενυδάτωσης, για την αποφυγή θερμικών τάσεων σε μεγάλους όγκους και επιφάνειες σκυροδέματος.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις περισσότερες εφαρμογές, που είναι κατάλληλες για τσιμέντο Πόρτλαντ CEM I ή σύνθετο τσιμέντο CEM II.

Θα πρέπει να γίνει αναφορά στον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Πίνακας 12.4 ΚΤΣ 97).

Ιδιότητες

Φαίο χρώμα

Σταθερότητα στην αντοχή, που ικανοποιεί όλα τα κριτήρια συμμόρφωσης του προτύπου ΕΛΟΤ EN 197-1.

Συμβατό με πρόσθετα σκυροδέματος.

Συνιστάται να γίνονται δοκιμές, ώστε να προσδιορίζονται οι βέλτιστες αναλογίες ανάμιξης.²⁸²⁹

²⁸ Πηγή :http://www.lafarge.gr/wps/portal/gr/el/2_3_B-BulkDetail?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/lib_gr/Site_gr/AllProductDataSheet/ProductDatasheet_1257861173501/ProductDatasheet_FR

²⁹ <http://www.alchimica.com/en/1/products-c6.html>

3.3.2 Υπερρυστοποιητής

Ο υπερρυστοποιητής που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα αποτελεί ισχυρό υλικό υψηλής δραστηριότητας μειωτής νερού. Ο υπερρυστοποιητής χρησιμοποιείται για την επιτάχυνση σκλήρυνσης και ρυστοποίησης του σκυροδέματος. Αυξάνει την στεγανότητα του σκυροδέματος. Η αναλογία που χρησιμοποιείται στην παραγωγή σκυροδέματος είναι της τάξεως 0.3%-0.8% στο βάρος τσιμέντου.

Χρώμα	Μορφή	Συσκευασία	Κατανάλωση
Καφέ Σκούρο	Υγρό	20 κιλών	0.3%-0.8% στο βάρος τσιμέντου

3.4 Μελέτη Σύνθεσης

Η σύνθεση που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή του αρχικού σκυροδέματος είναι η ακόλουθη και αφορά όγκο ενός κυβικού μέτρου.

Νερό	Τσιμέντο	Άμμος	Γαρμπίλι	Χαλίκι
189 κιλά	330 κιλά	920 κιλά	210 κιλά	740 κιλά

Μετά την αναγωγή των παραπάνω σε όγκο 18 κυβικών και 9 κυλινδρικών δοκιμίων (0,109 μ²) έχουμε :

Νερό	Τσιμέντο	Άμμος	Γαρμπίλι	Χαλίκι
20,601 κιλά	35,97 κιλά	100,28 κιλά	22,89 κιλά	80,66 κιλά

Στην συνέχεια οι προηγούμενες ποσότητες αυξήθηκαν κατά 10% οπότε η τελική σύνθεση έχει ως εξής :

Νερό	Τσιμέντο	Άμμος	Γαρμπίλι	Χαλίκι
22,66 κιλά	39,367 κιλά	110,308 κιλά	25,179 κιλά	88,726 κιλά

3.5 Παρασκευή Σκυροδέματος C25/30 με Προσθήκη

Υπερρευστοποιητή

Κατά την παρασκευή του σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκε υπερρευστοποιητής με αναλογία 0,8% ως προς το τσιμέντο, οπότε λαμβάνοντας υπόψη και την αύξηση των υλικών κατά 10% χρησιμοποιήθηκαν 0,319 κιλά υπερρευστοποιητή.

Επίσης θα πρέπει να αναφερθεί πως το τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή των αρχικών καθώς και των ανακυκλωμένων δοκιμίων είναι ενισχυμένο και έχει ως βάση κλίνκερ τύπου Πόρτλαντ με πρόσθετα συνδετικά.

Κατά σειρά ανάμειξης τοποθετήθηκαν αρχικά στην μπετονιέρα η μισή ποσότητα νερού και χαλικιού και σταδιακά τα υπόλοιπα υλικά χωρισμένα σε κλάσματα με σκοπό την καλύτερη δυνατή ανάμειξη τους. Στο τελευταίο στάδιο της ανάμειξης προστέθηκε και η απαιτούμενη ποσότητα υπερρευστοποιητή.

Την ανάμειξη του νωπού σκυροδέματος ακολούθησε η δοκιμή κάθισης με την πρότυπη διαδικασία, ώστε να επιβεβαιωθεί πως το δείγμα ήταν κατηγορίας S3, όπου διαπιστώθηκε κάθιση της τάξης των 11cm που επιβεβαιώνει την μελέτη σύνθεσης.

Ακολούθησε η διάστρωση του σκυροδέματος στις κυβικές (15*15*15) και στις κυλινδρικές (30*15) μήτρες αρχικά μέχρι το μέσο τους.

Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν στην μηχανή δόνησης και δονήθηκαν για περίπου 30 δευτερόλεπτα, έως ότου δηλαδή να δραπετεύσει το μεγαλύτερο μέρος του άερα που υπήρχε μέσα τους. Μετά από την πρώτη δόνηση, οι μήτρες γέμισαν έως την άνω ακμή τους και τοποθετήθηκαν ξανά στην μηχανή δόνησης για την δεύτερη φάση της δόνησης. Τέλος η άνω επιφάνεια των μητρών επιπεδώθηκε και καθαρίστηκε με μυστρ. Για την σωστή πήξη του σκυροδέματος και την αποφυγή ρωγμών από τη συστολή ξήρανσης, οι μήτρες τοποθετήθηκαν στον εσωτερικό χώρο του εργαστηρίου και καλύφθηκαν με υγρά πανιά σε όλη τους την ελεύθερη επιφάνεια.



Εικόνα 8 Διαδικασία και υλικά για την κατασκευή των δοκιμίων

3.6 Ξεκαλούπωμα Δοκιμίων

Την επόμενη μέρα της σκυροδέτησης τα δοκίμια ξεκαλουπώθηκαν από τις μήτρες, μετρήθηκαν οι διαστάσεις τους με τη χρήση ηλεκτρονικού μικρομέτρου και

τοποθετήθηκαν στην πισίνα του εργαστηρίου, όπου και αφέθηκαν να ωριμάσουν βυθισμένα σε νερό για 28 ημέρες.



Εικόνα 9 Τα δοκίμια πριν και μετά το ξεκαλούπωμα

Στην συνέχεια οι μήτρες καθαρίστηκαν και λιπάνθηκαν με ορυκτέλαιο ώστε να είναι έτοιμες για την επόμενη σκυροδέτηση.



Εικόνα 10 Διαδικασία καθαρισμού και λίπανσης των καλουπιών

3.5.1 Δοκίμο Αντοχών 7 Ημερών

Μετά το πέρας των επτά ημερών από την ημέρα της σκυροδέτησης, δύο κυβικά δοκίμια τοποθετήθηκαν στην υδραυλική πρέσα του εργαστηρίου για να υπολογιστεί η

θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος στις 7 ημέρες, και να υπάρξει μια αρχική εικόνα για τις αντοχές των 28 ημερών.

Θα πρέπει επίσης να αναφέρουμε πως η δοκιμή θλιπτικής αντοχής 7 ημερών θεωρητικά αντιπροσωπεύει το 60-80%της πραγματικής αντοχής των 28 ημερών, γεγονός όμως που επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες με αποτέλεσμα ο υπολογισμός των αντοχών των 28 ημερών με βάση τις αντοχές των επτά ημερών να στερείται μεγάλης αξιοπιστίας.

Τα δύο δοκίμια βγήκαν από το υγρό περιβάλλον όπου και ωρίμαζαν για 7 ημέρες και αφέθηκαν σε κλειστό περιβάλλον για να στεγνώσουν επιφανειακά και ξαναμετρήθηκαν οι διαστάσεις τους με την χρήση ηλεκτρονικού μικρομέτρου.

Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν στην υδραυλική πρέσα και πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές θλίψης όπως φαίνεται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 9 Αποτελέσματα δοκιμών θλίψης 7 ημερών

7 ημέρες	Κύβος No 16	Κύβος No 12
Δύναμη Θραύσης (KN)	674	706
Επιφάνεια (m ²)	0.0225	0.0225
Τάση Θραύσης (MPa)	29.95	31.37

Παρατηρήθηκε πως οι αντοχές των δοκιμών είναι ήδη αρκετά υψηλές ως προς το όριο ασφαλείας των 30MPa γεγονός που σημαίνει πως στις 28 ημέρες θα υπάρξει ακόμα μεγαλύτερη αντοχή και θλίψη.

τα θραύσματα από τις δοκιμές θλίψης συντηρηθήκαν με σκοπό την χρησιμοποίησή τους στην ανακυκλωμένη σύνθεση σκυροδέματος.

3.5.2 Δοκίμιο Αντοχών 28 Ημερών

Ακολούθησε η ίδια διαδικασία και τις 28 ημέρεςωρίμανσης τα δοκίμια αφέθηκαν να στεγνώσουν επιφανειακά και ξανά μετρήθηκαν οι διαστάσεις τους. Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν στην υδραυλική πρέσα και πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές θλίψης.

Πίνακας 10Αποτελέσματα αντοχών κυβικών δοκιμίων στις 28 ημέρες

Δοκίμιο 28 ημέρες	Δύναμη Θραύσης (KN)	Επιφάνεια (m ²)	Τάση Θραύσης (MPa)
Κύβος 1	932.20	0.0225	41.43
Κύβος 2	874.52	0.0225	38.68
Κύβος 3	878.46	0.0226	38.87
Κύβος 4	919.65	0.0225	40.87
Κύβος 5	925.22	0.0226	40.94
Κύβος 6	894.52	0.0225	39.76
Κύβος 7	871.21	0.0225	38.72
Κύβος 8	901	0.0225	40.04
Κύβος 9	874.52	0.0226	38.70
Κύβος 10	878.46	0.0225	39.04
Κύβος 11	880.6	0.0225	39.14
Κύβος 13	875.85	0.0225	38.93
Κύβος 14	890.54	0.0225	39.58
Κύβος 15	898.5	0.0226	39.76
Κύβος 16	874.52	0.0225	38.87
Κύβος 17	898.2	0.0225	39.92
Κύβος 18	880.6	0.0225	39.14
Κύβος 19	907.15	0.0225	40.32

Μέσος όρος τάσης θραύσης κυβικών δοκιμίων για τις 28 ημέρες :37,52MPa

Πίνακας 11 Αποτελέσματα αντοχών κυλινδρικών δοκιμίων στις 28 ημέρες

Δοκίμιο 28 ημέρες	Δύναμη Θραύσης (KN)	Επιφάνεια (m ²)	Τάση Θραύσης (MPa)
Κύλινδρος 1	333.203	0.018	18.51
Κύλινδρος 2	579.11	0.0177	32.72
Κύλινδρος 3	487.51	0.0177	27.54
Κύλινδρος 4	402.24	0.018	22.35
Κύλινδρος 5	564.87	0.0177	31.91
Κύλινδρος 6	487.51	0.0177	27.54
Κύλινδρος 7	580.25	0.0177	32.78
Κύλινδρος 8	498.56	0.0177	28.17
Κύλινδρος 9	489.91	0.0179	27.37

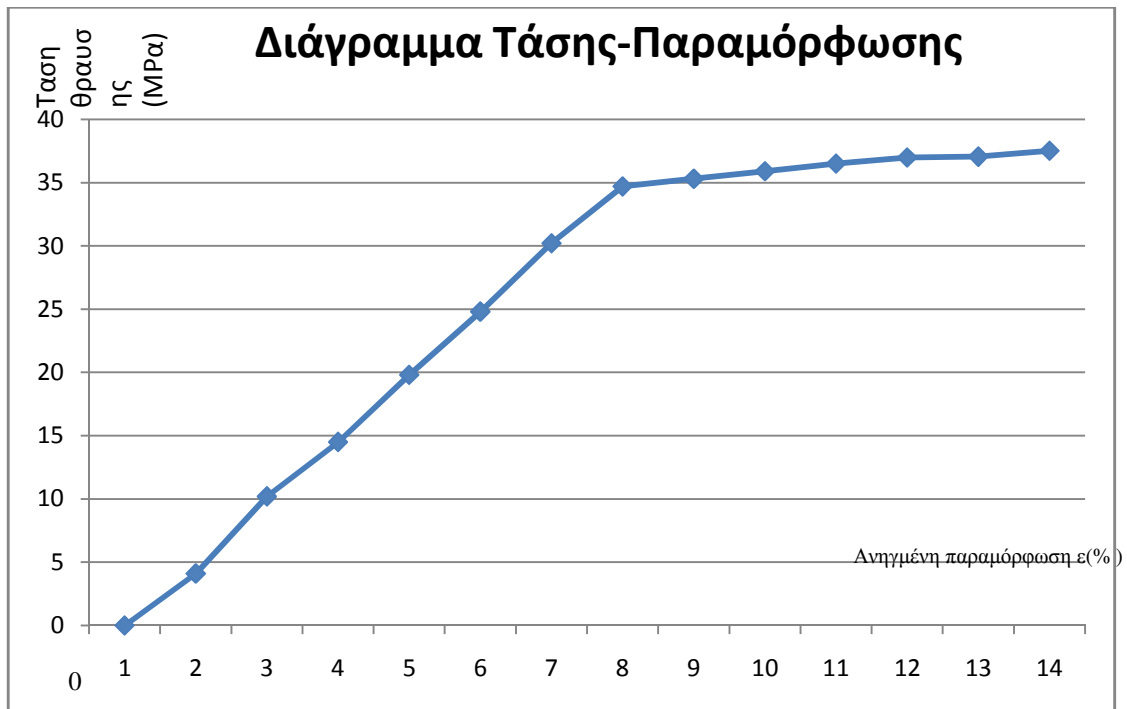
Μέσος όρος τάσης θραύσης κυλινδρικών δοκιμίων για τις 28ημέρες :27,64MPa

Αντιπροσωπευτικό διάγραμμα τάσης παραμόρφωσης για τακυβικά δοκίμια των 28 ημερών. Θα κατασκευαστεί διάγραμμα τάσης παραμόρφωσης του κύβου 1 με εμβαδό : 0,0225μ² δύναμη θραύσης και τάση θραύσης 37.52MPa

$$\sigma = \varepsilon * E$$

Όπου σ είναι η δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας ή αλλιώς τάση, E το μέτρο ελαστικότητας του υλικού και ε είναι η αναλογία του παραμορφωμένου μήκους προς το αρχικό ή ανηγμένη παραμόρφωση.

τάση σ (MPa)



3.7 Δοκιμή Los Angeles

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν στις αντοχές θλίψης αρχικά αποθηκεύτηκαν και στη συνέχεια θραύστηκαν με χρησιμοποίηση χαλύβδινης βαριοπούλας, όπως φαίνεται στις φωτογραφίες που ακολουθούν.

Η πειραματική αυτή διαδικασία θραύσης των δοκιμίων είχε ως σκοπό τα μεγαλύτερα σε κόκκοθραύσματα να έχουν μέγεθος ελάχιστα μεγαλύτερο από τον μέγιστο αποδεκτό κόκκο του χαλικιού.

Αυτό συνέβη διότι το επόμενο βήμα του εργαστηριακού μέρους ήταν η τοποθέτηση των θραυσμάτων στην μηχανή Los Angeles, όπου μειώθηκε το μέγεθος των κόκκων του δείγματος, ώστε να ικανοποιεί τα απαιτούμενα μεγέθη κόκκων για σκυροδέτηση.

Τα θραύσματα του σκυροδέματος στην συνέχεια τοποθετήθηκαν στην μηχανή Los Angeles, ανα 10 κιλά κάθε φορά, (λόγω χωρητικότητας) και αλέστηκαν για 200 στροφές.

Διαπιστώθηκε κατά τη διαδικασία ότι η μηχανή Los Angeles αύξησε σημαντικά την ποσότητα παιπάλης στο δείγμα μας, λόγω της κονιορτοποίησης του τσιμέντου που περιείχε το δείγμα, όπως ήταν αναμενόμενο.

Επίσης διαπιστώθηκε πως μερικά από τα εξερχόμενα από την μηχανή Los Angeles θραύσματα χαλικιών είχαν μεγαλύτερο κόκκο από τον επιθυμητό, και για

τον λόγο αυτό το υλικό κοσκινίστηκε χειρωνακτικά με το κόσκινο της μιάμισης ίντσας 1 1/2 ,ώστε οι μη αποδεκτοί κόκκοι να αφαιρεθούν από το δείγμα.



Εικόνα 11H μηχανή Los Angeles

3.8 Διαχωρισμός των Αδρανών με Κοσκίνισμα στη Μηχανή Κοσκινίσματος

Για να επαναχρησιμοποιηθεί το υλικό μας στην Παρασκευή του ανακυκλωμένου σκυροδέματος, απαιτούνταν να χωριστεί σε χαλίκι, γαρμπίλι και άμμο. Για να γίνει ο διαχωρισμός αυτός, ολόκληρο το υλικό κοσκινίστηκε στη μηχανή κοσκινίσματος, χρησιμοποιώντας μόνο τα ονομαστικά μεγέθη κοσκίνων για το κάθε αδρανές, ώστε να ικανοποιούνται τα προβλεπόμενα όρια μεγέθους για το καθένα.

Τοποθετήθηκαν κατά σειρά τα κόσκινα

Υ 3/8, Νο4, Νο200

Η διαδικασία κοσκινίσματος διήρκεσε 5 λεπτά ανά φορά και είχε ως αποτέλεσμα το διαχωρισμό των αδρανών με αρκετά μεγάλη ακρίβεια. Πρέπει επίσης να σημειωθεί πως κατά τη διαδικασία αυτή, η παιπάλη που συγκεντρώθηκε στον υποδοχέα της μηχανής αφαιρέθηκε από το δείγμα των αδρανών διότι όπως αναφέρθηκε νωρίτερα το ποσοστό της ήταν υπερβολικά υψηλό.



Εικόνα 12Μηχανή κοσκινίσματος



Εικόνα 13Κοσκίνιση και διαβάθμιση υλικού στη μηχανή κοσκινίσματος



Εικόνα 14 Στιγμιότυπο από την διαδικασία ζύγισης των αδρανών υλικών

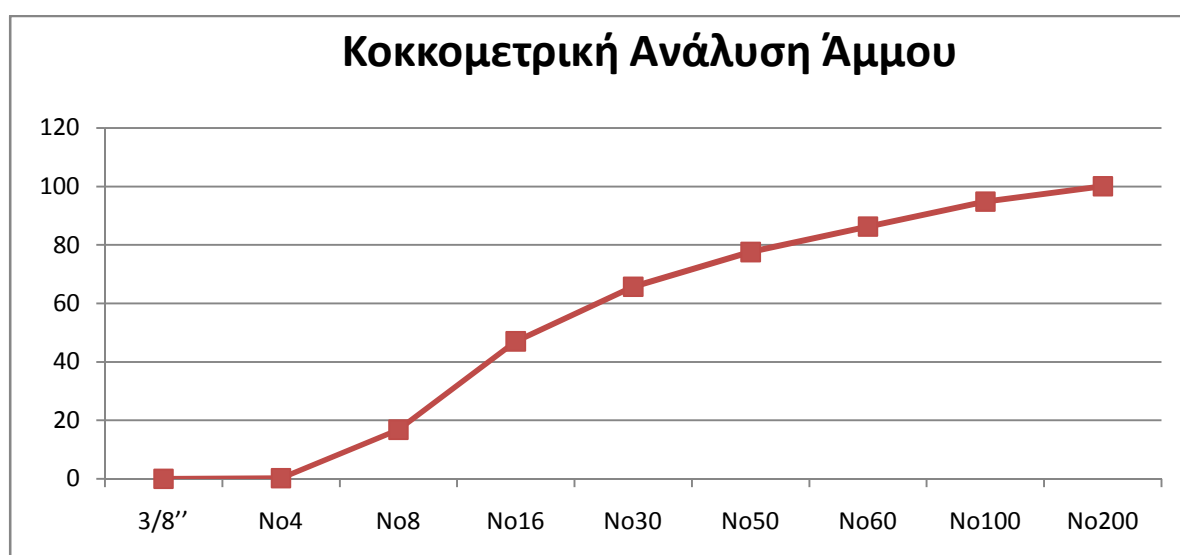
3.9 Κοκκομετρική Ανάλυση Κανονικών Αδρανών για Παρασκευή Σκυροδέματος C25/30 S3

Στη συνέχεια έγινε κοκκομετρική ανάλυση στα κανονικά αδρανή που είχαν χρησιμοποιηθεί για την Παρασκευή του αρχικού σκυροδέματος C25/30 S3 με σκοπό να υπάρξει μια εικόνα για την κοκκομετρική διαβάθμιση τους, το οποίο βοήθησε καλύτερα στην κοκκομετρική ανάλυση των ανακυκλωμένων αδρανών που θα γινόταν στη συνέχεια.

Τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων φαίνονται στους παρακάτω πίνακες και τα αντίστοιχα διαγράμματα.

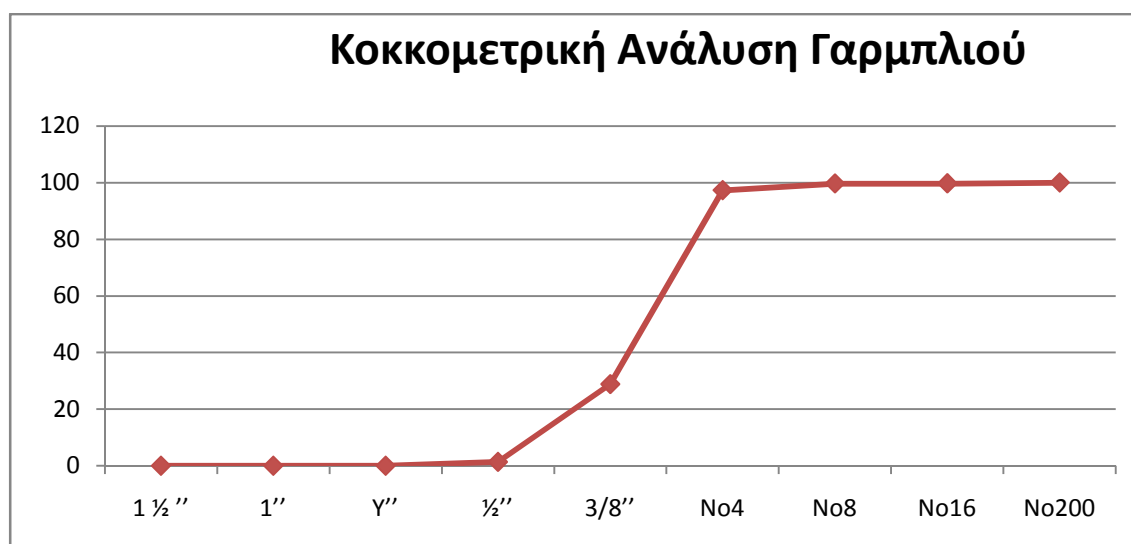
Πίνακας 12Κοκκομετρική ανάλυση άμμου

Κόσκινο ASTM	Άνοιγμα βροχίδας (mm)	Μερικό συγκρατούμενο r(g)	Ολικό συγκρατούμενο R(g)	% Ολικό συγκρατούμενο %R	% Ολικό διερχόμενο %P
3/8''	9.5		0	0	0
No4	5	10.5	10.5	0.1687	99.8313
No8	2.36	1034.5	1045	16.7912	83.2088
No16	1.18	1878.5	2923.5	46.9752	53.0248
No30	0.6	1163	4086.5	65.6624	34.3376
No50	0.3	739	4825.5	77.5368	22.4632
No60	0.25	541	5366.5	86.2296	13.7704
No100	0.15	530	5896.5	94.7457	5.2543
No200	0.075	327	6223.5	100.0000	0
Υποδοχέας	66				
Περ.	0.15				
Ολ. Βάρος	62235				



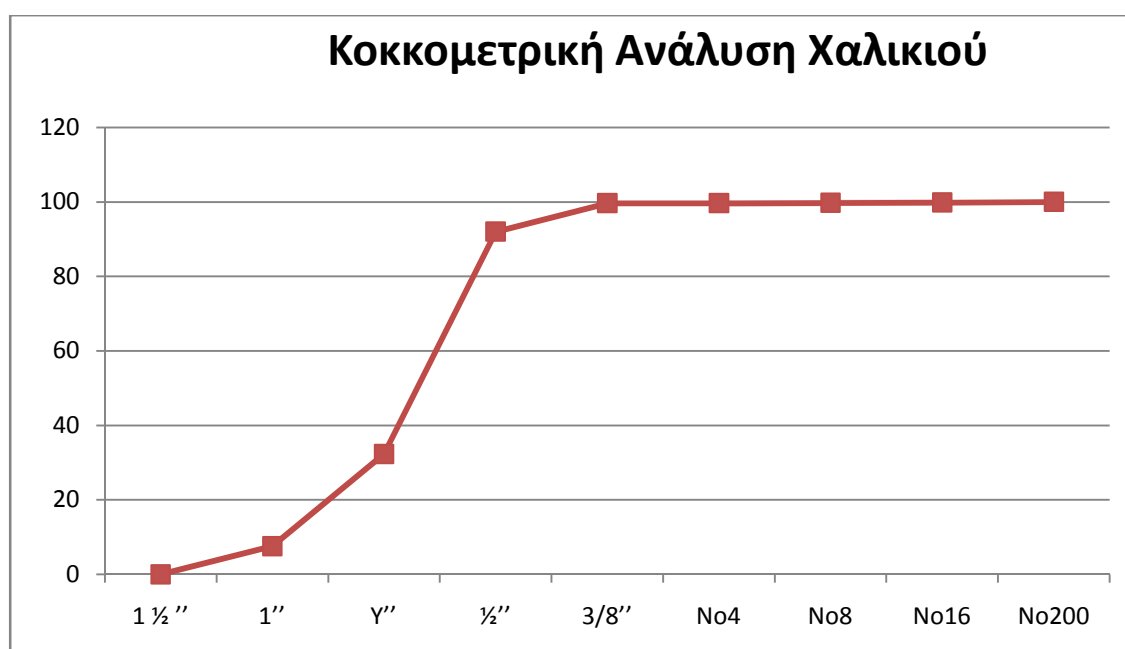
Πίνακας 13Κοκκομετρική ανάλυση γαρμπιλιού

Κόσκινο ASTM	Άνοιγμα βροχίδας (mm)	Μερικό συγκρατούμενο r(g)	Ολικό συγκρατούμενο R(g)	% Ολικό συγκρατούμενο %R	% Ολικό διερχόμενο %P
1 ½’’	37.5	0	0	0	100
1’’	25.4	0	0	0	100
Υ’’	19	0	0	0	100
½’’	12.5	19	19	1.34	98.66
3/8’’	9.5	390	409	28.80	71.20
No4	4.75	972.4	1381.4	97.28	2.72
No8	2.36	33.9	1415.3	99.67	0.33
No16	1.18	0.5	1415.8	99.70	0.30
No200	0.075	4.1	1419.9	99.99	0.01
Υποδοχέας	1				
Περ.	1.5				
Ολ. Βάρος	1420				



Πίνακας 14Κοκκομετρική ανάλυση χαλκιού

Κόσκινο ASTM	Άνοιγμα βροχίδας (mm)	Μερικό συγκρατούμενο r(g)	Ολικό συγκρατούμενο R(g)	% Ολικό συγκρατούμενο %R	% Ολικό διερχόμενο %P
1 ½''	37.5	0	0	0	100
1''	25.4	378.5	378.5	7.562286468	92.4377
Υ''	19	1239	1617.5	32.31703662	67.683
½''	12.5	2988.5	4606	92.02613334	7.97387
3/8''	9.5	381.5	4987.5	99.64835867	0.35164
No4	4.75	0.2	4987.7	99.6523546	0.34765
No8	2.36	3.6	4991.3	99.72428123	0.27572
No16	1.18	4.5	4995.8	99.81418953	0.18581
No200	0.075	8.4	5004.2	99.98201834	0.01798
Υποδοχέας	1				
Περ.	1.5				
Ολ. Βάρος	5005.1				

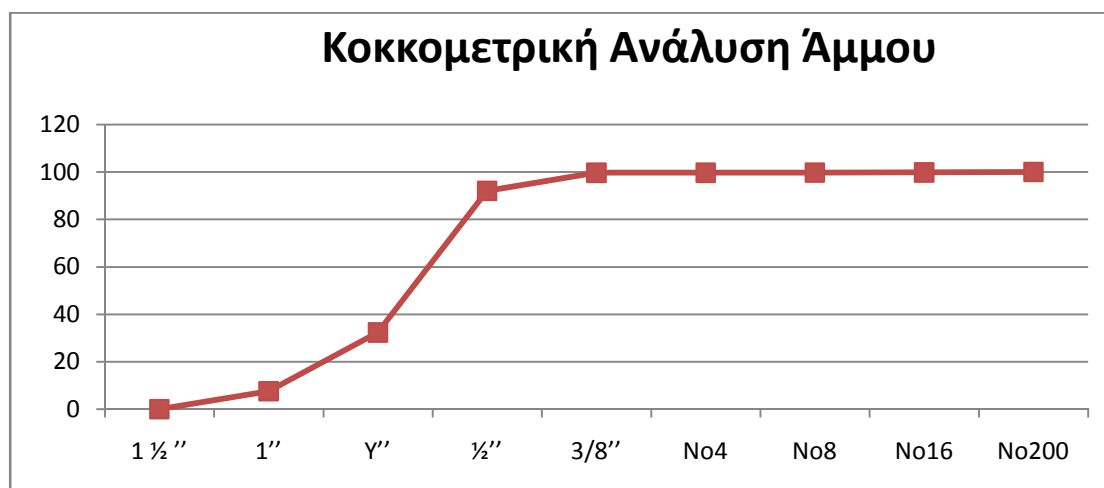


3.10 Κοκκομετρική Ανάλυση των Ανακυκλωμένων Αδρανών

Επόμενοβήμα ήταν η πειραματική διαδικασία κοκκομετρικής των αδρανών με σκοπό να υπάρξει μια εικόνα για την κοκκομετρική διαβάθμιση τους. Το χαλίκι, το γαρμπίλι και η άμμος ζυγίστηκαν στην ηλεκτρονική ζυγαριά του εργαστηρίου και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν στην μηχανή κοσκινίσματος όπου κοσκινίστηκαν για 10 λεπτά το καθένα. Τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων φαίνονται στους παρακάτω πίνακες και τα αντίστοιχα διαγράμματα.

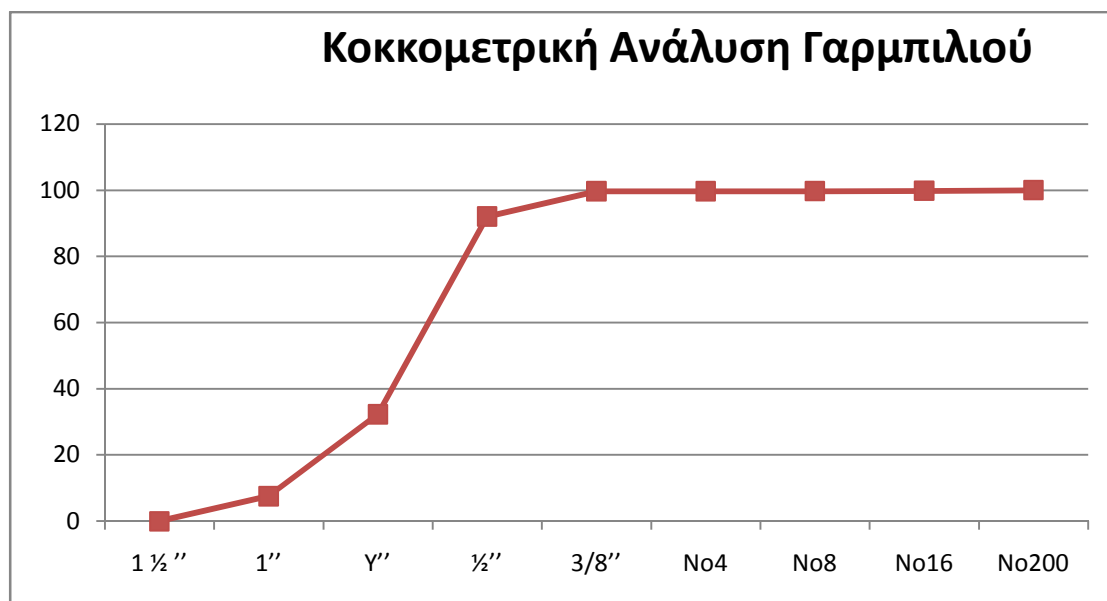
Πίνακας 15 Κοκκομετρική ανάλυση άμμου

Κόσκινο ASTM	Άνοιγμα βροχίδας (mm)	Μερικό συγκρατούμενο r(g)	Ολικό συγκρατούμενο R(g)	% Ολικό συγκρατούμενο %R
3/8''	9,5	0	0	0
No4	5,00	7	7	0.11
No8	2,36	1775	1782	28.70
No16	1,18	1666	3448	55.52
No30	0,6	1001.5	4449.5	71.65
No50	0,3	650	5099.5	82.12
No60	0,25	60	5159.5	83.08
No100	0,15	795	5954.5	95.89
No200	0,075	189.5	6144	98.94
Υποδοχέας	66			
Περ.	0.15			
Ολ. Βάρος	6210			



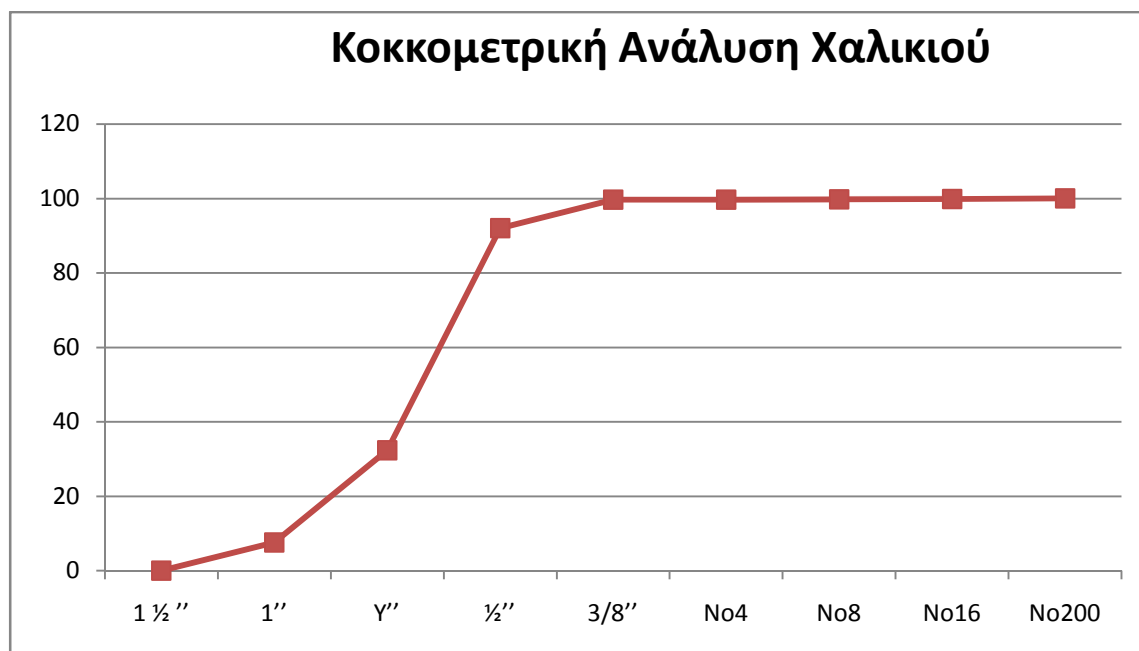
Πίνακας 16Κοκκομετρική ανάλυση γαρμπιλιού

Κόσκινο ASTM	Άνοιγμα βροχίδας (mm)	Μερικό συγκρατούμενο r(g)	Ολικό συγκρατούμενο R(g)	% Ολικό συγκρατούμενο %R	% Ολικό διερχόμενο %P
1 ½’’	37.5	0	0	0	100
1’’	25.4	0	0	0	100
Υ’’	19	0	0	0	100
½’’	12.5	20.5	20.5	1.45	98.55
3/8’’	9.5	445	465.5	32.85	67.15
No4	4.75	902.5	1368	96.54	3.46
No8	2.36	43.5	1411.5	99.61	0.39
No16	1.18	0.5	1412	99.65	0.35
No200	0.075	4	1416	99.93	0.07
Υποδοχέας	1				
Περ.	1.5				
Ολ. Βάρος	1417				



Πίνακας 17Κοκκομετρική ανάλυση χαλκιού

Κόσκινο ASTM	Άνοιγμα βροχίδας (mm)	Μερικό συγκρατούμενο r(g)	Ολικό συγκρατούμενο R(g)	% Ολικό συγκρατούμενο %R	% Ολικό διερχόμενο %P
1 ½’’	37.5	0	0	0	100
1’’	25.4	370.5	370.5	7.4241058	92.5759
Υ’’	19	1337	1707.5	34.2150085	65.785
½’’	12.5	2988.5	4696	94.0987877	5.90121
3/8’’	9.5	280.5	4976.5	99.719467	0.28053
No4	4.75	2.5	4979	99.7695622	0.23044
No8	2.36	1	4980	99.7896002	0.2104
No16	1.18	0.5	4980.5	99.7996193	0.20038
No200	0.075	7.5	4988	99.9499048	0.0501
Υποδοχέας	1				
Περ.	1.5				
Ολ. Βάρος	4990.5				



3.11 Παρασκευή Ανακυκλωμένου Σκυροδέματος με προσθήκη Ποζολάνης και Ιπτάμενης Τέφραςσε Αντικατάσταση Άμμου κατά 20%

Χρησιμοποιώντας την ίδια σύνθεση και την ίδια διαδικασία με το απλό σκυρόδεμα C25/30S3 πραγματοποιήθηκε η νέα σκυροδέτηση του ανακυκλωμένου σκυροδέματος με αντικατάσταση ποσότητας 20% (9,30 κιλά) της άμμου με ποζολάνη σε ποσοστό 15% (7,00 κιλά) και ιπτάμενη τέφρα σε ποσοστό 5% (2,30 κιλά) και προσθήκη υπερρυστοποιητή παρασκευάστηκαν 12 κύβοι.

Λόγω της φύσης της ποζολάνης, η κοκκομετρική της διαβάθμιση διαφέρει κατά πολύ με εκείνη της άμμου. Για τον λόγο αυτό πριν προστεθεί στο μείγμα του σκυροδέματος, κοσκινίστηκε χρησιμοποιώντας το κόσκινο Νο4, το ονομαστικό κόσκινο δηλαδή της άμμου, ώστε να έχουν την ίδια κοκκομετρική διαβάθμιση.³⁰ όπως και στην πρώτη διαδικασία σκυροδέτησης, οι μήτρες γεμίστηκαν σε δύο φάσεις, δονήθηκαν και αφέθηκαν να πήξουν στον εσωτερικό χώρο του εργαστηρίου καλυμμένα με υγρά πανιά.

Την επόμενη ημέρα τα δοκίμια ξεκαλουπώθηκαν και βυθίστηκαν σε νερό. Οι μήτρες καθαρίστηκαν και λιπάνθηκαν με ορυκτέλαιο.

3.4.1 Διαστάσεις Δοκιμίων

Δοκίμιο	χ	ψ	Εμβαδό (mm ²)
Κύβος 1	150.620	149.180	22.469
Κύβος 2	149.900	150.657	22.583
Κύβος 3	150.100	150.050	22.523
Κύβος 4	150.038	151.120	22.674
Κύβος 5	150.620	150.780	22.710

³⁰ Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΕ-97), 3^η έκδοση, Ιανουάριος 2000, Αθήνα, Νοέμβριος 1997

Κύβος 6	150.100	150.105	22.531
Κύβος 7	150.100	149.458	22.434
Κύβος 8	150.038	150.038	22.511
Κύβος 9	150.100	150.620	22.608
Κύβος 10	150.038	150.780	22.623
Κύβος 11	149.000	150.605	22.440
Κύβος 12	149.920	150.038	22.494



Εικόνα 15 Στιγμιότυπα από την διαδικασία της σκυροδέτησης, του καλουπώματος και του ξεκαλουπώματος

3.4.2 Δοκίμιο Αντοχών 28 Ημερών

Ακολουθήσαμε την ίδια διαδικασία και τις 28 ημέρες ωρίμανσης τα δοκίμια αφέθηκαν να στεγνώσουν επιφανειακά και ξανά μετρήθηκαν οι διαστάσεις τους. Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν στην υδραυλική πρέσα και πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές θλίψης.

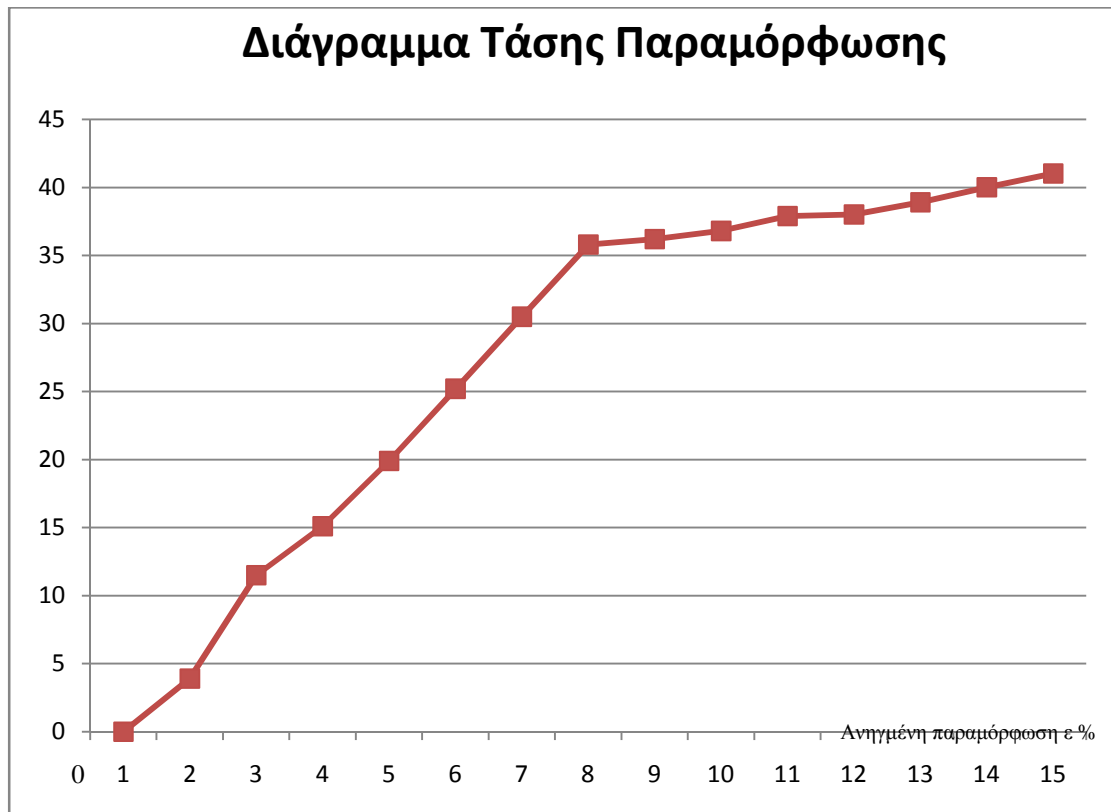
Δοκίμιο 28 ημέρες	Δύναμη Θραύσης (KN)	Επιφάνεια (m ²)	Τάση Θραύσης (MPa)
-------------------	---------------------	-----------------------------	--------------------

Κύβος 1	928	0.0225	41.24
Κύβος 2	915	0.0226	40.49
Κύβος 3	979	0.0225	43.51
Κύβος 4	931	0.0227	41.01
Κύβος 5	948	0.0227	41.76
Κύβος 6	791	0.0225	35.16
Κύβος 7	956	0.0224	42.68
Κύβος 8	928	0.0225	41.24
Κύβος 9	922	0.0226	40.80
Κύβος 10	945	0.0226	41.81
Κύβος 11	935	0.0224	41.74
Κύβος 12	919	0.0225	40.84

Μέσος όρος τάσης θραύσης κυβικών δοκιμίων για τις 28 ημέρες :41,024

Αντιπροσωπευτικό διάγραμμα τάσης παραμόρφωσης για τα κυβικά δοκίμια των 28 ημερών θα κατασκευαστεί διάγραμμα τάσης παραμόρφωσης του κύβου 1 με εμβαδό : 0,0225μ² δύναμη θραύσης 936KN και τάση θραύσης 41,024MPa

τάση σ ΜΡα



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ

Από την σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο πειραμάτων προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- 1 Το ανακυκλωμένο σκυρόδεμα παρουσιάζει μεγαλύτερο όριο διαρροής σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα, όπως διακρίνεται στα διαγράμματα τάσης παραμόρφωσης
- 2 Αντίστοιχα το ανακυκλωμένο σκυρόδεμα παρουσιάζει μεγαλύτερη όριο αντοχής σε σχέση με το συμβατικό. Συγκεκριμένα η αντοχή του ανακυκλωμένου σκυροδέματος είναι 41,04MPa ενώ του συμβατικού σκυροδέματος 37,52MPa Αυτό οφείλεται στην αντικατάσταση της άμμου με ποζολάνη και ιπτάμενη τέφρα κατά 20% 2 υλικων που προσφέρουν μεγαλύτερες αντοχές.
- 3 Όσον αφορά το κόστος των υλικών δεν παρουσιάζονται σημαντικές αποκλείσεις
- 4 Επίσης στα πλεονεκτήματα του ανακυκλωμένου σκυροδέματος είναι ακριβώς το χαρακτηριστικό του ότι αξιοποιεί μέρος κατεστραμμένου σκυροδέματος ως αδρανές υλικό και προσφέρει στην αειφορία του κλάδου

Αρχικά Δοκίμια	Ανακυκλωμένα Δοκίμια
37,52 MPa Αντοχή Σκυροδέματος	41,024 MPa Αντοχή Σκυροδέματος

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Μοροπούλου Α, Λαμπρόπουλος Κ., Τσιμέντο και Σκυρόδεμα – Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ -
<https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CHEMENG114/Cement%20and%20Concrete.pdf>
2. Η Χρήση του Σκυροδέματος στην Κατασκευή Έργων Πολιτικού Μηχανικού – ΤΕΙ Πειραιά - file:///C:/Users/User/Downloads/pol_00567.pdf
3. Λουπασάκης Κ., Τεχνική Γεωλογία – ΕΜΠ – Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών – Σημειώσεις Διαλέξεων Μαθήματος Τεχνική Γεωλογία ΙΙ - 2013
4. Κανονιστικές Παραπομπές του ΤΕΕ σχετικά με τα Αδρανή, όπως προβλέπονται στο ΕΛΟΤ 13139:2002
5. Κατσιαμπούλας Α., Η συνεισφορά της Ελληνικής Τσιμεντοβιομηχανίας στη βιώσιμη διαχείριση των αποβλήτων – ΤΙΤΑΝ – Εθνικός Σχεδιασμός Διαχείρισης Αποβλήτων 2014 <http://docplayer.gr/1692948-Ethnikos-shediasmos-diaheirisis-apovlition-10-fevroyariou-2014.html>
6. Χουλιάρας Ι., Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος σύμφωνα με τον ΕΚΟΣ 2000
7. <http://www.aeiforos.gr>
8. Καλδέλης Ι., Κωνσταντινίδης Π. – Σύγχρονες Εξελίξεις στον Τομέα της Ανακύκλωσης Οικοδομικών Υλικών στην Ευρωπαϊκή Ένωση – Πρακτικά συνεδρίου HELECO 2003 – Αθήνα.
9. UEPG, 2009-2010 και Eurostat, 2008 επεξεργασμένα από ANPAR
10. ANPAR, 2003

11. Eurostat, 2008
12. Διαχείριση Αποβλήτων – Απορριμμάτων
<http://www.kee.gr/perivallontiki/diaxeirisi.pdf>
13. Βουθούνης Π. Τεχνική Μηχανική – Αντοχή των Υλικών – Εκδόσεις Αθηνά
14. Τσιμέντο συμμορφούμενο με το ΕΛΟΤ EN 197-1
15. Η Χρήση του Σκυροδέματος στην Κατασκευή Έργων Πολιτικού Μηχανικού – ΤΕΙ Πειραιά - file:///C:/Users/User/Downloads/pol_00567.pdf
16. Γκαλμπένης Χ. Υποκατάσταση Φαρίνας Τσιμέντου από Ανακυκλωμένα Υλικά Κατεδάφισης Κτιρίων - Αθήνα : Ε.Μ.Π., 2011.
17. Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΕ-97), 3^η έκδοση, Ιανουάριος 2000, Αθήνα, Νοέμβριος 1997

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Στάδια παραγωγής τσιμέντου.....	10
Πίνακας 2 Μέθοδοι ελέγχου αδρανών υλικών	12
Πίνακας 3 Είδος αποβλήτων ανά κατηγορία.....	24
Πίνακας 4 Κοκκομετρικές απαιτήσεις αδρανών σύμφωνα με τον EN12620.....	27
Πίνακας 5 Κοκκομετρικές απαιτήσεις αδρανών σύμφωνα με τον EN13242.....	28
Πίνακας 6 Είδη σκυροδέματος	31
Πίνακας 7 Κατηγορίες σκυροδέματος και χαρακτηριστικές τιμές αυτών.....	34
Πίνακας 8 Χημική σύσταση ΑΑΣ, ΑΑΤ και ΒΦ (% κ.β.)	37
Πίνακας 9 Αποτελέσματα δοκιμών θλίψης 7 ημερών	51
Πίνακας 10 Αποτελέσματα αντοχών κυβικών δοκιμίων στις 28 ημέρες.....	52
Πίνακας 11 Αποτελέσματα αντοχών κυλινδρικών δοκιμίων στις 28 ημέρες.....	53
Πίνακας 12 Χαρακτηριστικά στοιχεία των μετρήσεων του πειράματος LosAngeles.....	
Πίνακας 13 Κοκκομετρική ανάλυση άμμου.....	58
Πίνακας 14 Κοκκομετρική ανάλυση γαρμπιλιού	59
Πίνακας 15 Κοκκομετρική ανάλυση χαλικιού	60
Πίνακας 16 Κοκκομετρική ανάλυση άμμου	61
Πίνακας 17 Κοκκομετρική ανάλυση γαρμπιλιού	62
Πίνακας 18 Κοκκομετρική ανάλυση χαλικιού	63
Πίνακας 19 Αποτελέσματα δοκιμών θλίψης 7 ημερών	

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Απόθεση ερυθράς ιλύος σε χωματερή αποβλήτων	14
Εικόνα 2 Αποθέματα σκωρίας στο εργοστάσιο επεξεργασίας αδρανών αποβλήτων της εταιρείας ΑΕΙΦΟΡΟΣ Α.Ε.	15
Εικόνα 3 Ποσοστό των αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις που ανακυκλώθηκαν το 2008	17
Εικόνα 4 Μαγνητικός διαχωριστής σε σταθερή μονάδα ανακύκλωσης στην Πίζα, Ιταλία. Το μαγνητικό προϊόν ανακτάται ως μεταλλικό scrap	18
Εικόνα 5 Διάγραμμα εύκαμπτου οδοστρώματος.....	23
Εικόνα 6 Ενδεικτικές κοκκομετρικές καμπύλες τριών κλασμάτων αδρανών σκωρίας ονομαστικής διάστασης d/D, 0/4, 4/12, 12/25.....	28
Εικόνα 7 Διαδικασία και υλικά για την κατασκευή των δοκιμίων.....	48
Εικόνα 8 Τα δοκίμια πριν και μετά το ξεκαλούπωμα.....	49
Εικόνα 9 Διαδικασία καθαρισμού και λίπανσης των καλουπιών.....	50
Εικόνα 10 Η μηχανή LosAngeles	55
Εικόνα 11 Μηχανή κοσκίνισματος.....	56
Εικόνα 12 Κοσκίνιση και διαβάθμιση υλικού στη μηχανή κοσκίνισματος	56
Εικόνα 13 Στιγμιότυπο από την διαδικασία ζύγισης των αδρανών υλικών	57
Εικόνα 14 Στιγμιότυπα από την διαδικασία της σκυροδέτησης, του καλουπώματος και του ξεκαλουπώματος	65

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

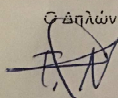
Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/σα.....ΤΙΜΟΛΩΝ ΜΑΡΑΣΙΔΗΣ του
ΤΡΗΓΑΡΙΩΤΗ φοιτητής του Τμήματος ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Τ.

του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ., πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου,
δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του
συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και
πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται
αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια
πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα
πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο
συγγραφέας της Π.Ε, ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και
άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το
Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης
του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση
του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε με άλλο θέμα και
διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε πρέπει να
ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού δμήνου από την ημερομηνία
ανάθεσής της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18. παρ.5
του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού».

Υπογραφή


Ημερομηνία

30/3/17

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

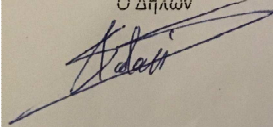
Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/η ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ ΝΤΑΛΑΡΗΣ.....του
Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Τ......
του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ., πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου,
δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του
συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και
πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται
αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια
πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα
πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο
συγγραφέας της Π.Ε, ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και
άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το
ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης
του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση
του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε με άλλο θέμα και
διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε πρέπει να
ολοκληρώσει εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού δμήνου από την ημερομηνία
ανάθεσής της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18. παρ.5
του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού».

Ο Δηλών



Ημερομηνία

30/3/17