



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Έλεγχος ποιότητας ανακυκλωμένης άμμου για παραγωγή κονιαμάτων»

Λογοθέτη Αλεξία



Εξεταστική Επιτροπή

Γαλετάκης Μιχαήλ, Καθηγητής (Επιβλέπων)

Κομνίτσας Κωνσταντίνος, Καθηγητής

Τριανταφύλλου Γεώργιος, Δρ. Μηχανικός Ορυκτών Πόρων (ΕΔΙΠ)

Χανιά, 2022

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος σπουδών της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης και η έρευνα της έλαβε χώρα στην ερευνητική μονάδα Έλεγχος Ποιότητας-Υγιεινή και Ασφάλεια στη Μεταλλευτική.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο τη παραγωγή και το ποιοτικό έλεγχο κονιαμάτων με διαφορετικά ποσοστά αντικατάστασης της φυσικής άμμου από ανακυκλωμένη άμμο που προήλθε από απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Γαλετάκη Μιχάλη για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας και την καθοδήγηση του. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κα. Ράκα Στέλλα για την ανεκτίμητη βοήθεια και αφιέρωση του χρόνου της στην πραγματοποίηση της διπλωματικής μου.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Κομνίτσα Κωνσταντίνο και τον κ. Τριανταφύλλου Γεώργιο για το χρόνο που αφιέρωσαν για τη διόρθωση της συγκεκριμένης εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Εταιρεία «ANYK AEBE» για την παροχή των υλικών που εξετάστηκαν στην συγκεκριμένη εργασία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την μητέρα μου για την αγάπη και τη στήριξή της σε εμένα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αντικατάσταση των φυσικών αδρανών με ανακυκλωμένα αδρανή από απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ) θεωρείται ένας εναλλακτικός τρόπος στην παραγωγή νέων δομικών υλικών που αποδίδει αξία σε υλικά που συχνά θεωρούνται απόβλητα. Με αυτό το τρόπο δημιουργούνται νέες ευκαιρίες στην αγορά, αποφεύγεται η διάθεσή των ΑΕΚΚ σε χώρους υγειονομικής ταφής και προκύπτει έτσι σημαντικό περιβαλλοντικό όφελος.

Η χρήση ανακυκλωμένων αδρανών στην παραγωγή κονιαμάτων φαίνεται να είναι μια καλή επιλογή για τη μείωση των απορριμμάτων ΑΕΚΚ, τη μείωση της κατανάλωσης φυσικών πόρων και την εύρεση κατάλληλων υποκατάστατων για τα πρωτογενή αδρανή (φυσικά ή θραυστά). Για τον λόγο αυτό, στόχος της παρούσας μελέτης είναι η παραγωγή κονιαμάτων με διάφορα ποσοστά αντικατάστασης της πρωτογενούς λατομικής άμμου από άμμο ($< 4\text{mm}$) που προήλθε από απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων. Δημιουργήθηκαν 4 συνθέσεις κονιαμάτων με ποσοστά αντικατάστασης 0%, 20%, 50% και 100% της λατομικής άμμου. Στην εργασία αυτή γίνεται ο ποιοτικός έλεγχος της ανακυκλωμένης άμμου, των νωπών κονιαμάτων και τέλος των σκληρυμένων κονιαμάτων.

Για τον ποιοτικό έλεγχο της άμμου, υποβλήθηκε τόσο η λατομική όσο και η ανακυκλωμένη άμμος σε χημική και ορυκτολογική ανάλυση. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε κοκκομετρική ανάλυση όλων των δειγμάτων άμμου μέσω συμβατικής κοσκίνισης.

Στην συνέχεια, παρασκευάστηκαν μίγματα για τη δημιουργία δοκιμίων κονιάματος με χρήση της ανακυκλωμένης άμμου σε διάφορα ποσοστά αντικατάστασης και εξετάστηκε η εργασιμότητα των μιγμάτων. Η απαιτούμενη ποσότητα νερού καθορίστηκε με βάση τη δοκιμή της τράπεζας εξάπλωσης του νωπού κονιάματος.

Μετά την παραγωγή και ωρίμανση των δοκιμίων, πραγματοποιήθηκε ποιοτικός έλεγχος των σκληρυμένων δοκιμίων. Τα δοκίμια εξετάστηκαν ως προς τη συρρίκνωσή τους και για την αντοχή τους σε θλίψη και κάμψη. Η συρρίκνωση των δοκιμίων ελέγχθηκε κατά την 7^η, 14^η και 21^η μέρα ωρίμανσης τους. Ενώ για τη αντοχή των δοκιμίων πραγματοποιήθηκε μέτρηση για πρώιμη αντοχή την 7^η μέρα ωρίμανσης και τελική αντοχή για την 28^η μέρα.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τις πρώτες μέρες η συρρίκνωση μεταβάλλεται μέχρι την 21^η μέρα που έπειτα αρχίζει η τιμή να σταθεροποιείται. Όσο αυξάνεται το ποσοστό

αντικατάστασης της λατομικής άμμο από ανακυκλωμένη, τόσο αυξάνεται η συρρίκνωση των κονιαμάτων. Παρόμοια, η μηχανική αντοχή τους επηρεάζεται με το ποσοστό αντικατάστασης της λατομικής από την ανακυκλωμένη. Για την αντοχή σε κάμψη για πρώιμη αντοχή παρατηρείται μείωση της όσο αυξάνεται το ποσοστό αντικατάστασης. Ενώ για την τελική αντοχή σε κάμψη, όσο αυξάνεται το ποσοστό αντικατάστασης η αντοχή μειώνεται μέχρι το ποσοστό αντικατάστασης 50% ενώ έπειτα σταθεροποιείται. Όσον αφορά την πρώιμη αντοχή σε θλίψη παρατηρείται μείωση της όσο αυξάνεται το ποσοστό αντικατάστασης, ενώ για την τελική αντοχή υπάρχει μία αύξηση σε ποσοστό υποκατάστασης 20%, ενώ ακολουθεί στη συνέχεια μείωσή της με περαιτέρω αύξηση του ποσοστού αντικατάστασης.

Η χρήση ανακυκλωμένων αδρανών στην κατασκευή κονιαμάτων θα μπορούσε να είναι μια ικανοποιητική εναλλακτική λύση που θα στηρίζει τη βιώσιμη ανάπτυξη στον οικοδομικό τομέα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	2
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.1. Απόβλητα από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις (ΑΕΚΚ)	11
1.2. Σύνθεση και Ιδιότητες Ανακυκλωμένων Υλικών από ΑΕΚΚ.....	11
1.3. Διεθνής Ανασκόπηση Διαχείρισης ΑΕΚΚ	13
1.4. Διαχείριση ΑΕΚΚ στην Ευρώπη	16
1.5. Διαχείριση ΑΕΚΚ στην Ελλάδα	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ-ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	27
2.1. Κονιάματα - κατηγορίες και σύσταση	27
2.1.1. Κατηγορίες κονιαμάτων	27
2.1.2. Συνδετική ύλη κονιαμάτων (Κονία).....	28
2.1.3. Αδρανή υλικά στα κονιάματα.....	28
2.1.3.1. Παραγωγή Άμμου	29
2.1.4. Νερό.....	30
2.2. Χαρακτηριστικά και ιδιότητες κονιαμάτων	31
2.3. Φυσικομηχανικές ιδιότητες των κονιαμάτων από ανακυκλωμένα αδρανή.	31
2.3.1. Εργασιμότητα	32
2.3.2. Συρρίκνωση	33
2.3.3. Αντοχή σε θλίψη.....	33
2.3.4.Αντοχή σε κάμψη	34
2.3.5. Ποσοστά αντικατάστασης φυσικής άμμου για παραγωγή κονιάματος.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΗΣ ΑΜΜΟΥ	36
3.1. Ορυκτολογική και χημική ανάλυση	36

3.2 Κοκκομετρική ανάλυση	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΝΩΠΟΥ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ.....	40
4.1 Συνθέσεις και παρασκευή κονιαμάτων	40
4.2 Ποιοτικός έλεγχος νωπού κονιάματος	42
4.2.1 Διαδικασία μέτρησης εργασιμότητας.....	42
4.2.2. Μέτρηση εργασιμότητα.....	43
4.2.3. Συνθέσεις και αποτελέσματα μετρήσεων εργασιμότητας και συνθέσεις..	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΚΛΗΡΥΜΕΝΟΥ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ	47
5.1 Συρρίκνωση-Συστολή ξήρανσης.....	47
5.2. Μηχανικές ιδιότητες δοκιμών κονιάματος	49
5.2.1. Αντοχή σε κάμψη τριών σημείων.....	50
5.2.1. Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	57
6.1. Επίδραση του ποσοστού αντικατάστασης στις ιδιότητες των κονιαμάτων	57
6.2. Σύγκριση με τα στοιχεία από τη βιβλιογραφία	60
6.2.1 Εργασιμότητα	60
6.2.2 Συρρίκνωση	60
6.2.3. Αντοχή σε θλίψη.....	62
6.2.3. Αντοχή σε κάμψη	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	65
7.1 Συμπεράσματα	65
7.2. Προτάσεις.....	66
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	67
Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία	69

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1.	Συνολικά απόβλητα που παράγονται στην Ευρώπη το 2017.....	12
Σχήμα 1.2.	Παραγωγή μη επικίνδυνων ορυκτών αποβλήτων (Mt) από κατασκευές και κατεδαφίσεις για χώρες της Ευρώπης του έτους 2018 (Eurostat, 2021).....	18
Σχήμα 1.3.	Ποσοστό ανάκτησης αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων(%) για κάθε χώρα της Ευρώπης το έτος 2018 (Eurostat, 2021).....	21
Σχήμα 1.4.	Ποσότητα παραγωγής ΑΕΚΚ ανά περιφέρεια Ελλάδος το 2011.....	23
Σχήμα 1.5.	Ποσοστιαία κατανομή παραγόμενων ποσοτήτων ΑΕΚΚ ανά περιφέρεια.....	23
Σχήμα 3.1.	Ακτινοδιάγραμμα περίθλασης ακτινών-X δείγματος ανακυκλωμένης άμμου.....	32
Σχήμα 3.2.	Σειρά κόσκινων διαφορετικής διαμέτρου με συσκευή δόνησης.....	33
Σχήμα 3.3.	Κοκκομετρική καμπύλη ανακυκλωμένης και λατομικής άμμου με όρια ταξινόμησης άμμου κατά ASTM C 33-02.....	33
Σχήμα 4.1.	Μίγμα κονιάματος σε πρισματικές μήτρες πριν το ξεκαλούπωμα και δείγματα δοκιμών κονιάματος με 50% αντικατάσταση της λατομικής άμμου.....	38
Σχήμα 4.2.	Τράπεζα εξάπλωσης (μοντέλο UTCM-0660E) που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση της εργασιμότητας.....	39
Σχήμα 4.3.	Διάγραμμα εργασιμότητας για κάθε σύνθεση κονιάματος.....	42
Σχήμα 4.4.	Διάγραμμα εργασιμότητας με λόγο νερό προς τσιμέντο για κάθε σύνθεση κονιάματος.....	42
Σχήμα 4.5.	Διάγραμμα λόγου νερό προς τσιμέντο για κάθε ποσοστό αντικατάστασης της λατομικής άμμου από την ανακυκλωμένη.....	45
Σχήμα 5.1.	Συσκευή μέτρησης της συρρίκνωσης Matest E077.....	44
Σχήμα 5.2.	Συστολή ξήρανσης κάθε σύστασης κονιάματος ανά 7 ημέρες.....	46

Σχήμα 5.3. Μηχανή συμπίεσης και κάμψης διπλής εμβέλειας E161-03N (Servo-plus evolution 500/15 kN (matest.com)) και κελί θλίψης για πρίσματα 40x40x160mm (Flexure devices for prisms (matest.com)).....	47
Σχήμα 5.4. Διάγραμμα αντοχής σε κάμψη για όλες τις συστάσεις κονιαμάτων (Λ, 2Α8Λ, 5Α5Λ και Α).....	49
Σχήμα 5.5. Κελί θλίψης για πρίσματα 40x40x160mm.....	50
Σχήμα 5.6. Διάγραμμα αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για κάθε σύνθεση κονιάματος (Λ, 2Α8Λ, 5Α5Λ, Α).....	52
Σχήμα 6.1. Μεταβολή της εργασιμότητας σε σχέση με το ποσοστό αντικατάστασης της λατομικής άμμου.....	53
Σχήμα 6.2. Μεταβολή της αντοχής σε κάμψη σε σχέση με το ποσοστό αντικατάστασης της λατομικής άμμου.....	54
Σχήμα 6.3. Μεταβολή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη σε σχέση με το ποσοστό αντικατάστασης της λατομικής άμμου.....	54
Σχήμα 6.4. Πρώιμη αντοχή σε κάμψη και θλίψη για όλες τις συνθέσεις.....	55
Σχήμα 6.5. Τελική αντοχή σε κάμψη και θλίψη για όλες τις συνθέσεις.....	55
Σχήμα 6.6. Μεταβολή εργασιμότητας σε σχέση με το ποσοστό αντικατάστασης και σύγκριση αποτελεσμάτων εκείνα των Fernández-Ledesma et al. (2016).....	60
Σχήμα 6.7. Αποτελέσματα συρρίκνωση κονιάματος του Neno et al. (2014) για ποσοστά αντικατάστασης 0% και 20%.....	60
Σχήμα 6.8. Αποτελέσματα συρρίκνωσης συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.....	60
Σχήμα 6.9. Μεταβολή αντοχής σε μονοαξονική θλίψη σε σχέση με το ποσοστό αντικατάστασης και σύγκριση αποτελεσμάτων με του Fernández-Ledesma et al. (2016).....	60
Σχήμα 6.10. Μεταβολή αντοχής σε κάμψη σε σχέση με το ποσοστό αντικατάστασης και σύγκριση αποτελεσμάτων με του Fernández-Ledesma et al. (2016).....	60

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1. Οι δεκαπέντε κορυφαίοι παραγωγοί ΑΕΚΚ παγκοσμίως για το 2014.....	14
Πίνακα 1.2. Παραγωγή μη επικίνδυνων ορυκτών αποβλήτων (Mt) από κατασκευή και κατεδάφισή για διάφορες ευρωπαϊκές χώρες.....	16
Πίνακας 1.3. Ποσοστό ανάκτησης αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων (%) για χώρες της Ευρώπης για τα έτη 2010-2018.....	19
Πίνακας 1.4. Επίδοση της Ελλάδος στη εναλλακτική διαχείριση των Αποβλήτων Εκσκαφών, Κατασκευών και Κατεδαφίσεων για τα έτη 2016, 2017 και 2018.(ΕΟΑΝ, 2021).....	22
Πίνακας 3.1: Χημική ανάλυση κύριων στοιχείων ανακυκλωμένης άμμου σε μορφή οξειδίων.....	31
Πίνακας 3.2: Ορυκτολογική ανάλυση κύριων συστατικών ανακυκλωμένης άμμου.....	32
Πίνακας 3.3. Διάμετροι κόκκων για ποσοστό 10%, 50% και 90% της λατομικής και ανακυκλωμένης άμμου.....	38
Πίνακας 4.1. Συνθέσεις κονιαμάτων και άμμου.....	35
Πίνακας 4.2. Ποσότητες υλικών (σε gr) που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των δοκιμίων κάθε μιας σύνθεσης και προκύπτουσες αναλογίες.....	38
Πίνακας 4.3. Μετρήσεις εργασιμότητας (%), διαμέτρων εξάπλωσης (mm) και αντίστοιχοι λόγοι νερό/τσιμέντο για όλες τις συνθέσεις κονιάματος.....	39
Πίνακας 5.1. Αποτελέσματα μετρήσεων συρρίκνωση ανά 7 ημέρες για όλες τις συνθέσεις σε σύγκριση με την ημέρα αναφοράς (7η μέρα).....	44
Πίνακας 5.2. Αποτελέσματα μετρήσεων συρρίκνωσης (%) ανά 7 ημέρες για όλες τις συνθέσεις σε σύγκριση με την ημέρα αναφοράς (7η μέρα).....	47
Πίνακας 5.3. Αποτελέσματα πρώιμης αντοχής σε κάμψη για όλες τις συνθέσεις....	48
Πίνακας 5.4. Αποτελέσματα τελικής αντοχής σε κάμψη για όλες τις συνθέσεις..	48
Πίνακας 5.5. Τελικά αποτελέσματα αντοχής σε κάμψη για όλες τις συνθέσεις (Λ, 2Α8Λ, 5Α5Λ, Α).....	50

Πίνακας 5.6.	Πίνακας 5.6. Μετρήσεις πρώιμης αντοχής σε θλίψη για όλες τις συνθέσεις.....	51
Πίνακας 5.7.	Μετρήσεις τελικής αντοχής σε θλίψη για όλες τις συνθέσεις.....	50
Πίνακας 5.8.	Σύγκριση αντοχής σε μονοαξονική θλίψη με το δοκίμιο αναφοράς.....	50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Απόβλητα από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις (ΑΕΚΚ)

«Απόβλητα από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις» (ΑΕΚΚ) ορίζονται στην Ελλάδα υλικά προερχόμενα από κατασκευές, εκσκαφές και κατεδαφίσεις που θεωρούνται απόβλητα σύμφωνα με το άρθρο 2 (στοιχείο α) του ΚΥΑ 50910/2727/2003 (Μέτρα και όροι Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης-εισαγωγή του Ευρωπαϊκού Καταλόγου Αποβλήτων στην ελληνική νομοθεσία) σε συνδυασμό με την παρ. 4 του άρθρου 2 του ν. 2939 του 2001 (όσον αφορά την εναλλακτική διαχείριση στερεών αποβλήτων) και περιλαμβάνεται στο παράρτημα Ι (που απαριθμεί τους κωδικούς της ομάδας κατηγορίας αποβλήτων 17 του Ευρωπαϊκού Καταλόγου Αποβλήτων) του άρθρου 17 της ΚΥΑ 36259/1757/Ε103/2010 (European Commission, 2021).

Τα ΑΚΚ (εκτός εκσκαφής) είναι από τα πιο ογκώδη και βαριά απόβλητα που παράγονται στην Ευρωπαϊκή Ένωση και αντιπροσωπεύουν το 30% του συνόλου των αποβλήτων της. Προέρχονται από δραστηριότητες όπως κατασκευές, κατεδαφίσεις και συντήρηση κτηρίων ή αστικών έργων (Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης, 2021).

Τα ΑΚΚ ορίζονται ως απόβλητα υλικά από εργασίες κατασκευής, ανακατασκευής, μετατροπή, επέκταση, συντήρηση και κατεδάφιση κτιρίων και άλλων υποδομών. Παράγονται σχεδόν σε όλες τις δραστηριότητες που σχετίζονται με τους τομείς κατασκευών και κατεδαφίσεων, όπως η κατασκευή κτιρίων, σπιτιών, δρόμων, γεφυρών κ.λπ. Τα απόβλητα αυτά αποτελούνται από διάφορους τύπους υλικών και μπορούν να περιέχουν οποιοδήποτε συστατικό που αποτελεί μέρος ενός κτιρίου ή υποδομής ή οποιασδήποτε κατασκευαστικής εργασίας (Simoes et al., 2021).

1.2. Σύσταση και Ιδιότητες Ανακυκλωμένων Υλικών από ΑΕΚΚ

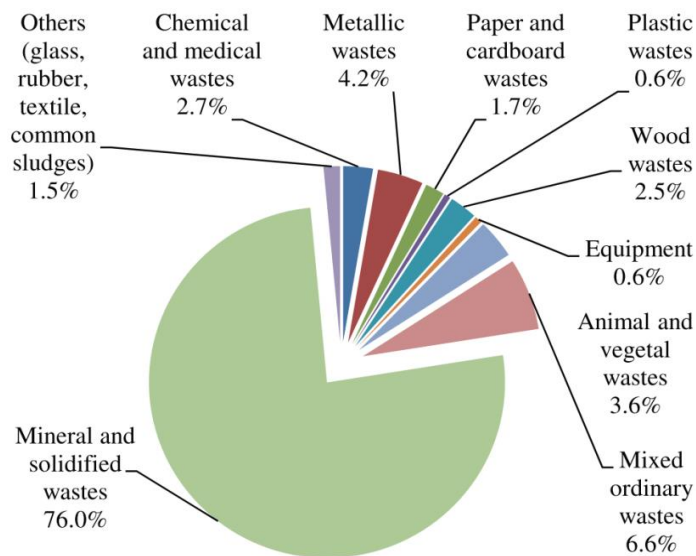
Η συλλογή και καταγραφή δεδομένων της παραγωγής αποβλήτων οδηγεί στην ακόλουθη λίστα υλικών:

- Σκυρόδεμα, που αποτελεί κατά μέσο όρο το 60-70% των ΑΕΚΚ
- Ξύλο, που αποτελεί κατά μέσο όρο το 32% των ΑΕΚΚ
- Πλαστικό
- Γυαλί

- Τούβλα, πλακάκια και κεραμικά
- Μείγματα ασφάλτου, πίσσας, λιθανθρακόπισσας και προϊόντα πίσσας
- Μέταλλα (συμπεριλαμβανομένων των κραμάτων τους)
- Χώματα (συμπεριλαμβανομένων των χωμάτων εκσκαφής από ρυπασμένες περιοχές, π.χ. βιομηχανικές εγκαταστάσεις και τοποθεσίες), πέτρες και μπάζα εκσκαφών
- Μονωτικά υλικά και υλικά δομικών κατασκευών που περιέχουν αμίαντο
- Υλικά με βάση τη γύψο
- Ανάμεικτα απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων
- Απόβλητα με επικίνδυνα συστατικά όπως αμίαντος, βαρέα μέταλλα (μόλυβδος), διαλυτικά και κόλλες.

Η σύσταση των ανακυκλωμένων αδρανών εξαρτάται κυρίως από τις πηγές τους (σκυρόδεμα, τοιχοποιία, τούβλα, δρόμοι, κ.λπ.) και μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την τοποθεσία. Σε ορισμένες χώρες, κεραμικά τούβλα είναι το κύριο υλικό κατασκευής, ενώ σε άλλες κύρια είναι υλικά τοιχοποιίας και το ξύλο. Η τεχνολογία δόμησης και κατασκευής έχει μεγάλη επίδραση στη χημική σύνθεση των ΑΕΚΚ. Για παράδειγμα, η παρουσία θεικών αλάτων ή γυαλιού από εφυσωμένα κεραμικά πλακίδια μπορεί να επηρεάσει τη χρήση τους καθώς θεωρούνται επικίνδυνα απόβλητα. Ένα απόβλητο θεωρείται επικίνδυνο λόγω της παρουσίας μίας ή περισσότερων ουσιών, οι οποίες συγκεντρώνουν χαρακτηριστικά τοξικότητας, οξύτητας, ερεθιστικότητας, αναφλεξιμότητας, καρκινογένεσης, κτλ. Για παράδειγμα ένα δομικό υλικό που περιέχει αμίαντο χαρακτηρίζεται ως επικίνδυνο απόβλητο.

Το σχήμα 1.1 δείχνει τα γενικά χαρακτηριστικά και τη σύσταση των στερεών αποβλήτων που παράχθηκαν στην Ευρώπη το 2017. Το κλάσμα των ορυκτών αποβλήτων (σκυρόδεμα, τοιχοποιία, τούβλα, κεραμικά, χώμα, κ.λπ.) είναι πολύ υψηλά και φτάνουν έως και 76%, και προέρχονται κυρίως από οικοδομικές και κατεδαφιστικές δραστηριότητες. Οι συνθέσεις των αδρανών εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη φύση των αδρανών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή τους, όπως τύπος τσιμέντου, άμμου και αδρομερών αδρανών (Simoes et al., 2021).



Σχήμα 1.1. Συνολικά απόβλητα που παράχθηκαν στην Ευρώπη το 2017 (Simoes et al., 2021).

1.3. Διεθνής Ανασκόπηση Διαχείρισης ΑΕΚΚ

Σε παγκόσμιο επίπεδο, δισεκατομμύρια τόνοι αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ) απορρίπτονται σε χώρους υγειονομικής ταφής κάθε χρόνο, προκαλώντας σοβαρές κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές βλάβες. Έχει πλέον υιοθετηθεί σ' όλο τον κόσμο η γνωστή ιεραρχία: μείωση, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και ανάκτηση. Στις ευρωπαϊκές χώρες, έχει οριστεί οδηγία-πλαίσιο (2008τ/98/ΕΚ) από την ΕΕ για τη διαχείριση των ΑΕΚΚ, όπου έχει θεσπιστεί στόχος μέχρι το 2020 η ανακύκλωση των μη επικίνδυνων ΑΕΚΚ να ανέρχεται τουλάχιστον στο 70% του βάρους τους. Κάποια κράτη έχουν υιοθετήσει ειδική νομοθεσία. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, είναι απαραίτητη η επιτόπια μείωση των αποβλήτων μέσω διαλογής και ανακύκλωσης. Η Αυστραλία προωθεί την επιτόπια επαναχρησιμοποίηση των ΑΕΚΚ, την εφαρμογή βιώσιμων οικοδομικών πρακτικών κ.λπ. Στις ΗΠΑ καθορίζεται η χρήση ανακυκλωμένων υλικών στην κατασκευή αυτοκινητοδρόμων. Στη Βραζιλία είναι υποχρεωτική η χρήση των ανακυκλωμένων αδρανών υλικών σε εργασίες ασφαλτόστρωσης. Οι κυβερνητικές πολιτικές της Κίνας ενθαρρύνουν τη χρήση ανακυκλωμένων δομικών υλικών σε εργασίες θεμελίωσης και βάσης οδοποιίας. (Menegaki et al., 2018).

Τα απόβλητα από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των αποβλήτων και όσο αυξάνεται η αστικοποίηση στον κόσμο τόσο αυξάνεται

και ο όγκος των αποβλήτων ΑΕΚΚ. Η Κίνα, οι Ηνωμένες Πολιτείες (ΗΠΑ) και η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) αποτελούν τις 3 μεγαλύτερες οικονομίες, σαφώς και τις 3 κορυφαίες παραγωγούς ΑΕΚΚ. Η ποσότητα παραγωγής ΑΕΚΚ το 2018 από την Κίνα εκτιμήθηκε σε 1704 Mt, όπου το ποσοστό ανάκτησης ήταν λιγότερο από 10%. Οι ποσότητες παραγωγής ΑΕΚΚ όμως από την ΕΕ και τις ΗΠΑ είναι πολύ μικρότερες, 372 Mt και 600 Mt αντίστοιχα (χωρίς τα απόβλητα εκσκαφών), αλλά με αξιοσημείωτα ποσοστά ανάκτησης σε 90% και 76% που οφείλεται στην καλύτερη διαχείριση των ΑΕΚΚ (Zhang et al, 2022).

Επίσης, στην Αυστραλία παράχθηκαν 19,5 εκατομμύρια τόνοι ΑΕΚΚ το 2014, ενώ στο Πεκίνο την ίδια χρονιά παράχθηκαν περίπου 40 εκατομμύρια τόνοι ΑΕΚΚ. Αντίθετα, εκείνη τη χρονιά, στο Χονγκ Κονγκ, παράχθηκαν περίπου 58.000 τόνοι ΑΕΚΚ ημερησίως, δηλαδή περίπου 20 εκατομμύρια τόνοι ετησίως. Στην Τζέντα, μια πόλη που κατοικεί το 14% του συνολικού πληθυσμού του Βασιλείου της Σαουδικής Αραβίας, παράγονται 4,5-6,35 εκατομμύρια τόνοι ΑΕΚΚ κάθε χρόνο. Ας σημειωθεί ακόμη ότι, το 2015, περίπου 45 εκατομμύρια τόνοι ΑΕΚΚ παρήχθησαν στη Βραζιλία και 5,3 εκατομμύρια τόνοι στο Βιετνάμ, αντίστοιχα (Menegaki et al., 2018).

Στον πίνακα 1.1. παρουσιάζεται οι 15 κορυφαίες παραγωγοί χώρες ΑΕΚΚ σ' όλο τον κόσμο μαζί με τον πληθυσμό και την παραγωγή ΑΕΚΚ κάθε χώρας για το 2014, εμφανίζοντας έτσι τη παραγωγή ΑΕΚΚ ανά κάτοικο. Η Κίνα και οι ΗΠΑ αποτελούν τις μεγαλύτερες παραγωγές ΑΕΚΚ, όμως το Χονγκ Κονγκ διαθέτει τη μεγαλύτερη παραγωγή ΑΕΚΚ ανά κάτοικο, αφού η παραγωγή του είναι σχεδόν τέσσερις φορές υψηλότερη από τον μέσο όρο παραγωγής σ' όλο τον κόσμο και δύο φορές υψηλότερη σε σύγκριση με της Κίνας και των ΗΠΑ. Αντίθετα, η Σλοβενία, η Σλοβακία, η Ισπανία, η Πορτογαλία και η Πολωνία παράγουν πιο μικρές ποσότητες, πιο συγκεκριμένα λιγότερο από 100 εκατομμύρια τόνους. Οι υψηλότερες τιμές μπορεί να οφείλονται σε μεγάλα έργα υποδομής, τα οποία βρίσκονταν εκείνη την περίοδο υπό κατασκευή, και επίσης έχει σημασία ότι οι πλουσιότερες χώρες είναι πιο σπάταλες. Επιπλέον, το μέγεθος του πληθυσμού φαίνεται να επηρεάζει την παραγόμενη ποσότητα ΑΕΚΚ, καθώς οι κορυφαίοι παραγωγοί ΑΕΚΚ συγκαταλέγονται στις μεγάλες οικονομίες (Menegaki et al., 2018).

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο κατασκευαστικός κλάδος παράγει περίπου το 44% των αποβλήτων υγειονομικής ταφής στο Ηνωμένο Βασίλειο, το 44% στην Αυστραλία, το

40% στη Βραζιλία, το 29% στις Ηνωμένες Πολιτείες, το 27% στον Καναδά και το 25% στο Χονγκ Κονγκ. (Kabirifar et al., 2020).

Πίνακας 1.1. Οι δεκαπέντε κορυφαίοι παραγωγοί ΑΕΚΚ παγκοσμίως για το 2014
(Menegaki et al., 2018).

	Χώρα	Παραγωγή ΑΕΚΚ (εκατομμύρια τόνοι)	Πληθυσμός 2018 (εκατομμύρια)	ΑΕΚΚ κατά κεφαλήν (τόνοι)
1	Κίνα	1130	1393	0,81
2	Ηνωμένες Πολιτείες	534	326,8	1,63
3	Γερμανία	85,99	82,91	1,04
4	Γαλλία	65,31	67,1	0,99
5	Ηνωμένο Βασίλειο	58,25	55,98	1,04
6	Ιταλία	38,81	60,42	0,64
7	Ολλανδία	22,23	17,23	1,29
8	Χονγκ Κονγκ	20,27	7,45	2,72
9	Αυστραλία	19,5	24,98	0,78
10	Αυστρία	9,4	8,84	1,06
11	Ισπανία	7,5	46,8	0,16
12	Πολωνία	5,17	37,97	0,14
13	Δανία	3,84	5,79	0,66
14	Τσεχία	3,02	10,63	0,28
15	Πορτογαλία	1,07	10,28	0,1

1.4. Διαχείριση ΑΕΚΚ στην Ευρώπη

Τα ορυκτά απόβλητα (σκυρόδεμα, τούβλα, σοβάδες, πλακάκια, κεραμίδια και είδη υγιεινής) αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό κατά βάρος, αποτελώντας πάνω από το 80% της συνολικής ποσότητας ΑΕΚΚ που παράγεται στην Ευρώπη. Η ΕΕ των 28 παρήγαγε περίπου 372 Mt ΑΕΚΚ (επικίνδυνα και μη επικίνδυνα) το 2018, ενώ η παραγωγή ΑΕΚΚ συμπεριλαμβάνοντας τα απόβλητα από εκσκαφές τριπλασιάστηκε σε 977 Mt. Η ποσότητα ΑΕΚΚ που παράγεται στη Γερμανία, την Ιταλία, το Ηνωμένο Βασίλειο, τη Γαλλία, την Ισπανία και τις Κάτω Χώρες αντιστοιχεί στο 88% της ποσότητας ΑΕΚΚ στην ΕΕ των 28 (Eurostat, 2021).

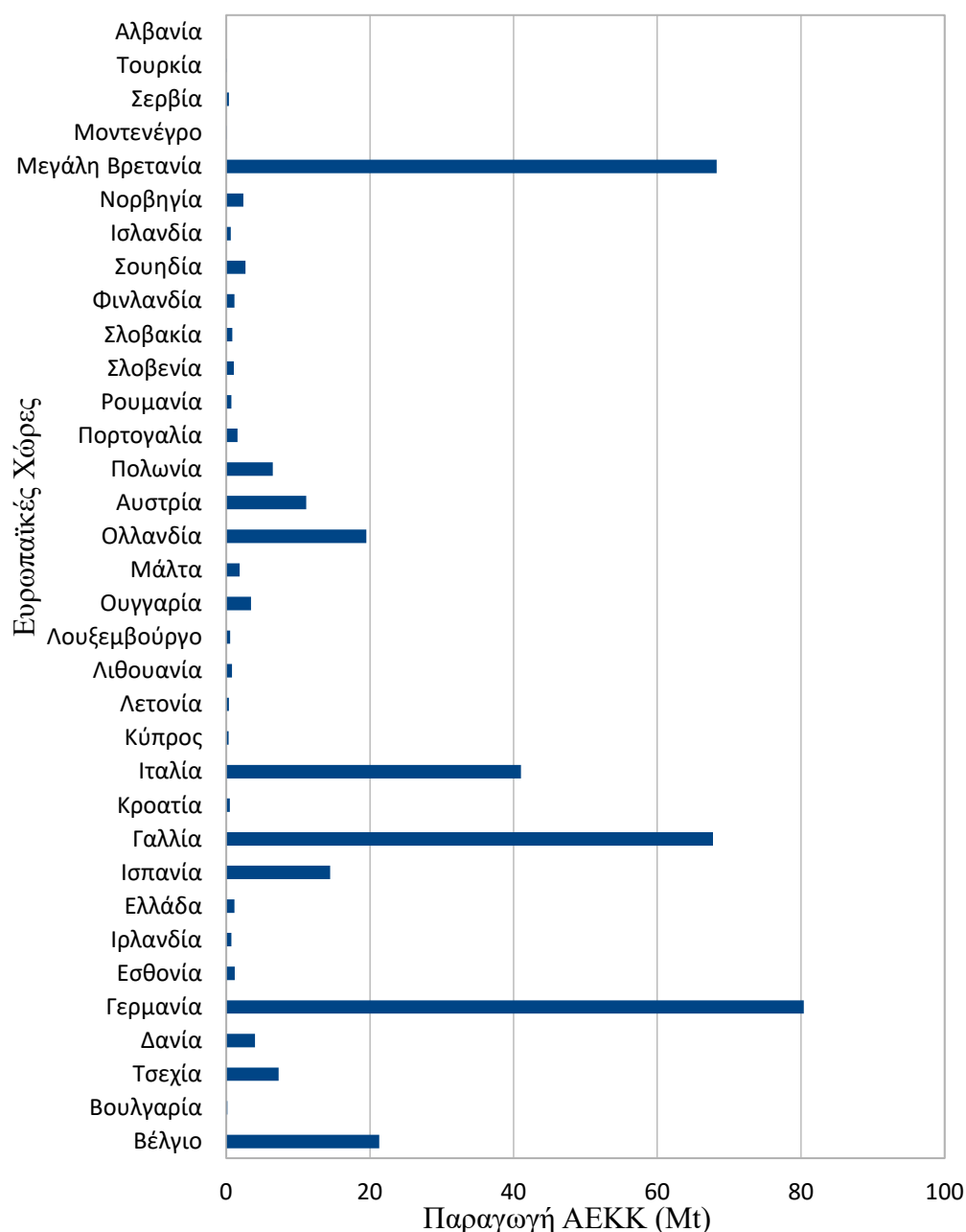
Στο πίνακα 1.2. απεικονίζεται η ποσότητα ΑΕΚΚ που παράγεται σε κάθε κράτος της Ευρώπης για ορυκτά απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις (όχι εκσκαφής) και μόνο για μη επικίνδυνα. Οι χώρες που δεν έχουν στοιχεία σημαίνει ότι δεν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες. Ορισμένες χώρες έχουν ανοδική τάση της παραγωγής ΑΕΚΚ, όπως το Βέλγιο, η Αυστρία, η Μάλτα και η Εσθονία. Ενώ κάποιες άλλες παραγωγές παραμένουν σχετικά σταθερές, όπως της Γερμανία, του Λουξεμβούργου, των Κάτω Χωρών, της Γαλλίας και του Ηνωμένου Βασιλείου. Από την άλλη, κάποιες χώρες δείχνουν μια αυξανόμενη τάση, όπως η Ιρλανδία, η Ελλάδα, η Ισπανία, η Σλοβενία και η Λετονία. Η Φινλανδία, μετά το 2010, παρουσιάζει απότομη πτώση, η οποία οφείλεται πιθανόν στις έντονες δραστηριότητες κατεδάφισης πριν από το 2010. Στο σχήμα 1.1. παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα για την παραγωγή ΑΕΚΚ (εκτός από απόβλητα εκσκαφής) κάθε ευρωπαϊκής χώρας για το έτος 2018. Παρατηρείται ότι οι μεγαλύτερες παραγωγές ΑΕΚΚ, για το έτος 2018, προέρχονται από τη Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, τη Γαλλία και την Ιταλία (Eurostat, 2021).

Πίνακα 1.2. Παραγωγή μη επικίνδυνων ορυκτών αποβλήτων (Mt) από κατασκευές και κατεδαφίσεις για διάφορες ευρωπαϊκές χώρες (Eurostat, 2021).

	2010	2012	2014	2016	2018
ΕΕ-27 χώρες (2020-)	269,86	273,76	244,61	268,13	292,4
ΕΕ-28 χώρες (2013-2020)	327,54	328,82	306,31	334,59	360,67

Βέλγιο	14,07	15,6	16,55	19,1	21,29
Βουλγαρία	0,14	0,74	0,68	0,71	0,15
Τσεχία	2,35	2,85	2,89	3,52	7,3
Δανία	2,04	2,64	3,18	3,36	4,01
Γερμανία	73,12	73,81	74,87	81,42	80,4
Εσθονία	0,28	0,47	0,62	0,72	1,19
Ιρλανδία	1,43	0,2	0,43	0,26	0,7
Ελλάδα	1,54	0,6	0,37	0,16	1,14
Ισπανία	11,27	27,33	7,04	13,52	14,45
Γαλλία	64,42	61,2	59,96	63,41	67,75
Κροατία	0,02	0,25	0,28	0,55	0,49
Ιταλία	35,74	33,76	34,01	35,15	41,02
Κύπρος	0,15	0,14	0,15	0,33	0,32
Λετονία	0,14	0,39	0,57	0,39	0,38
Λιθουανία	0,39	0,56	0,64	0,8	0,79
Λουξεμβούργο	0,56	0,55	0,52	0,63	0,54
Ουγγαρία	3,42	3,29	2,68	2,51	3,45
Μάλτα	0,8	0,5	0,99	1,3	1,88
Ολλανδία	20,64	19,6	19,21	18,62	19,5
Αυστρία	5,8	6,28	9,16	10,05	11,13
Πολωνία	3,65	3,48	4,35	3,64	6,48
Πορτογαλία	1,22	1,03	0,82	1,33	1,55
Ρουμανία	0,93	1,32	1,05	1,26	0,72
Σλοβενία	0,74	0,17	0,23	0,63	1,06

Σλοβακία	0,56	0,51	0,54	0,72	0,82
Φινλανδία	23,5	15,63	1,04	1,38	1,15
Σουηδία	0,91	0,84	1,74	2,65	2,68
Ισλανδία	0,01	0	0,34	0,47	0,61
Νορβηγία	0,96	0,84	1,85	2,25	2,37
Μεγάλη Βρετανία	57,68	55,06	61,7	66,46	68,27
Μαυροβούνιο	-	0	0,01	0,01	0,01
Σερβία	0	0,09	0,06	0,28	0,38
Τουρκία	-	-	-	-	-
Αλβανία	-	-	-	-	-



Σχήμα 1.2. Παραγωγή μη επικίνδυνων ορυκτών αποβλήτων (Mt) από κατασκευή και κατεδάφιση για χώρες της Ευρώπης του έτους 2018 (Eurostat, 2021).

Σύμφωνα με την Οδηγία (2008/98/ΕΚ), τα κράτη μέλη έπρεπε να θέσουν ένα στόχο για ανακύκλωση των μη επικίνδυνων ΑΕΚΚ τουλάχιστον στο 70% του βάρους τους έως το 2020. Πιο συγκεκριμένα «Έως το 2020, η προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και ανάκτηση άλλων υλικών, συμπεριλαμβανομένων των εργασιών πλήρωσης αποβλήτων που χρησιμοποιούν απόβλητα για την αντικατάσταση άλλων υλικών, μη επικίνδυνων ΑΕΚΚ, εξαιρουμένων των φυσικών

υλικών που ορίζονται στην κατηγορία 170504 στον κατάλογο αποβλήτων, αυξάνεται σε τουλάχιστον 70% κατά βάρος» (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2008).

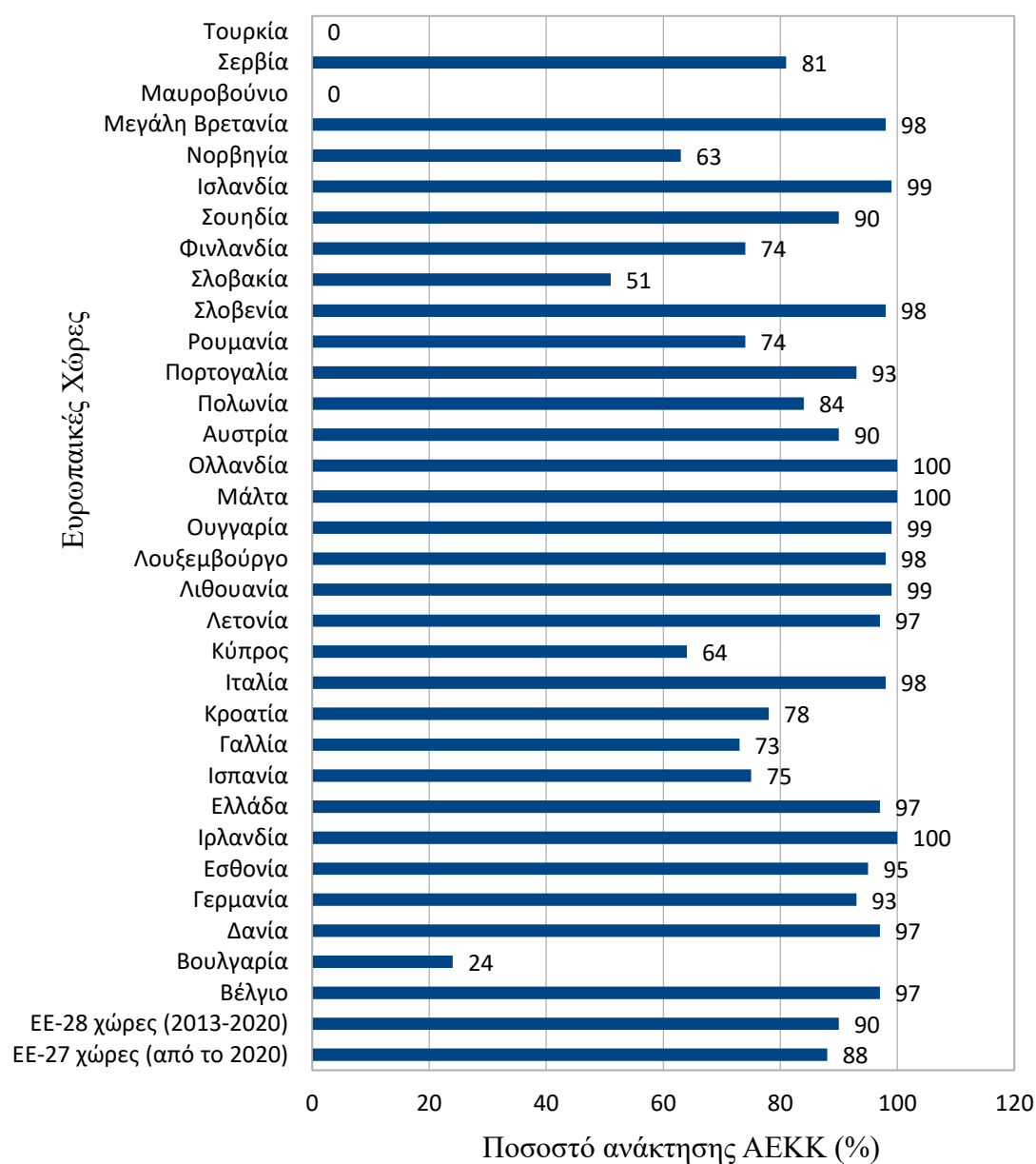
Οι επιδόσεις κάθε κράτους μέλους για την επίτευξη αυτού του στόχου αναφέρονται στον πίνακα 1.3. και στο σχήμα 1.2. Τα ποσοστά ανάκτησης ΑΕΚΚ των ευρωπαϊκών χωρών για το διάστημα 2010-2018, (πίνακα 1.3. και σχήμα 1.2.) βασίζονται σε στατιστικά δεδομένα της Ευρωπαϊκής Στατιστικής Υπηρεσίας (Eurostat, 2022). Οι χώρες που δεν έχουν στοιχεία σημαίνει ότι δεν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες. Οι ιδιαίτερα ανεπτυγμένες χώρες, όπως το Λουξεμβούργο, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ιταλία, η Ιρλανδία και οι Κάτω Χώρες έχουν ποσοστά ανάκτησης άνω του 90% από το 2010. Οι ιδιαίτερα ανεπτυγμένες χώρες αντιπροσωπεύουν 10 από τις 28 χώρες. Οι ανεπτυγμένες χώρες αντιπροσωπεύουν χώρες με ποσοστό ανάκτησης μεταξύ 40% και 80% το 2010, όπου αυξάνεται στο 60%-100% το 2018, όπως η Σουηδία, η Γαλλία και η Ισλανδία, ανήκοντας στις 9 από τις 28 χώρες. Μια ραγδαία αναπτυσσόμενη χώρα, έχει ποσοστό ανάκτησης μικρότερο από 20% το 2010 με γρήγορη ανάπτυξη στο 60% το 2018, όπως το Βέλγιο, η Ελλάδα και η Φινλανδία. Μέχρι το 2018, οι αργά αναπτυσσόμενες χώρες Σλοβακία και Μαυροβούνιο παρέμειναν κάτω του 60%. Σε γενικές γραμμές, οι 28 χώρες της ΕΕ είχαν εξαιρετικά καλή επίδοση στην ανάκτηση ΑΕΚΚ, με ποσοστό ανάκτησης 90% το 2018 (πίνακας 1.3.).

Πίνακας 1.3. Ποσοστό ανάκτησης αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων (%) για χώρες της Ευρώπης για τα έτη 2010-2018 (Eurostat,2021).

	2010	2012	2014	2016	2018
ΕΕ-27 χώρες (2020-)	-	-	87	87	88
ΕΕ-28 χώρες (2013-2020)	-	-	89	89	90
Βέλγιο	17	18	32	95	97
Βουλγαρία	62	12	96	90	24
Τσεχία	91	91	90	92	-
Δανία	0	91	92	90	97

Γερμανία	95	94	-	-	93
Εσθονία	96	96	98	97	95
Ιρλανδία	97	100	100	96	100
Ελλάδα	0	0	0	88	97
Ισπανία	65	84	70	79	75
Γαλλία	66	66	71	71	73
Κροατία	2	51	69	76	78
Ιταλία	97	97	97	98	98
Κύπρος	0	60	38	57	64
Λετονία	-	-	92	98	97
Λιθουανία	73	88	92	97	99
Λουξεμβούργο	98	99	98	100	98
Ουγγαρία	61	75	86	99	99
Μάλτα	16	100	100	100	100
Ολλανδία	100	100	100	100	100
Αυστρία	92	92	94	88	90
Πολωνία	93	92	96	91	84
Πορτογαλία	58	84	95	97	93
Ρουμανία	47	67	65	85	74
Σλοβενία	94	92	98	98	98
Σλοβακία	-	-	54	54	51
Φινλανδία	5	12	83	87	74
Σουηδία	78	81	55	61	90
Ισλανδία	75	100	99	99	99

Νορβηγία	44	75	77	71	63
Μαυροβούνιο	-	-	-	0	0
Μεγάλη Βρετανία	96	96	96	96	98
Σερβία	-	-	-	80	81
Τουρκία	-	-	-	-	-



Σχήμα 1.3. Ποσοστό ανάκτησης αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων(%) για κάθε χώρα της Ευρώπης το έτος 2018 (Eurostat, 2021).

1.5. Διαχείριση ΑΕΚΚ στην Ελλάδα

Συμμόρφωση με τη νομοθεσία της ΕΕ για τη διαχείριση επικίνδυνων υλικών και στερεών αποβλήτων είχε αρχίσει να πραγματοποιείται με την Κοινή Υπουργική Απόφαση, 69728/824/96 για την υπογραφή της εξέτασης της διαχείρισης ΑΕΚΚ ως χωριστή ροή αποβλήτων. Ωστόσο, μέχρι το 1998, δεν υπήρχαν ούτε δημοσιονομικές πολιτικές ούτε νομοθεσία για τη διαχείριση της χωριστής ροής αποβλήτων των ΑΕΚΚ. Μάλιστα, ακόμη το 1999 δεν υπήρχαν δεδομένα για την παραγωγή και διαχείριση ΑΕΚΚ στην Ελλάδα. Το πλαίσιο για τη διαχείριση των ΑΕΚΚ ορίστηκε με τον Ν. 2939/2001. Αυτό αποτέλεσε ένα ορόσημο, δεδομένου ότι η οικοδομική έκρηξη πριν (και λίγο μετά) τους Ολυμπιακούς Αγώνες της Αθήνας 2004 επηρέαζε την παραγωγή ΑΕΚΚ σε ολόκληρη τη χώρα και όχι μόνο στην πρωτεύουσα. Με την εισαγωγή του νόμου αυτού ιδρύθηκε ο εθνικός οργανισμός εναλλακτικής διαχείρισης συσκευασιών και άλλων προϊόντων (Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π.) (Fatta et al., 2003).

Ο Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π., που ελέγχεται από το Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε., είναι νομικό πρόσωπο ιδιωτικού δικαίου με πλήρη διοικητική και οικονομική αυτοτέλεια και δεν έχει κερδοσκοπικό χαρακτήρα. Κύριος σκοπός του είναι ο σχεδιασμός και η εφαρμογή της πολιτικής για την εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και των άλλων προϊόντων (Σκορδύλης κ.ά., 2008).

Οι βασικές αρχές της εναλλακτικής διαχείρισης είναι (Σκορδύλης κ.ά., 2008):

- η αρχή της πρόληψης της δημιουργίας των αποβλήτων
- η αρχή της επαναχρησιμοποίησης
- η αρχή της ανακύκλωσης
- η αρχή της ανάκτησης ενέργειας
- η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει»
- η αρχή της ευθύνης όλων όσων ασχολούνται με τη διαχείριση των προϊόντων (προμηθευτές, υλικών, παραγωγοί, εισαγωγείς, έμποροι, διανομείς, δημόσιες αρχές, οργανισμοί τοπικής αυτοδιοίκησης, ινστιτούτα και ιδρύματα)
- η αρχή της δημοσιότητας προς τους χρήστες και καταναλωτές
- η αρχή της μη διάκρισης των προϊόντων.

Το 2011 ξεκίνησε το πρώτο σύστημα συλλογικής διαχείρισης αποβλήτων στην Ελλάδα. Το συλλογικό Σύστημα Εναλλακτικής Διαχείρισης (ΣΣΕΔ) είναι αρμόδιος φορέας για την εναλλακτική διαχείριση ΑΕΚΚ στην περιοχή εμβέλειάς της. Τα ΣΣΕΔ

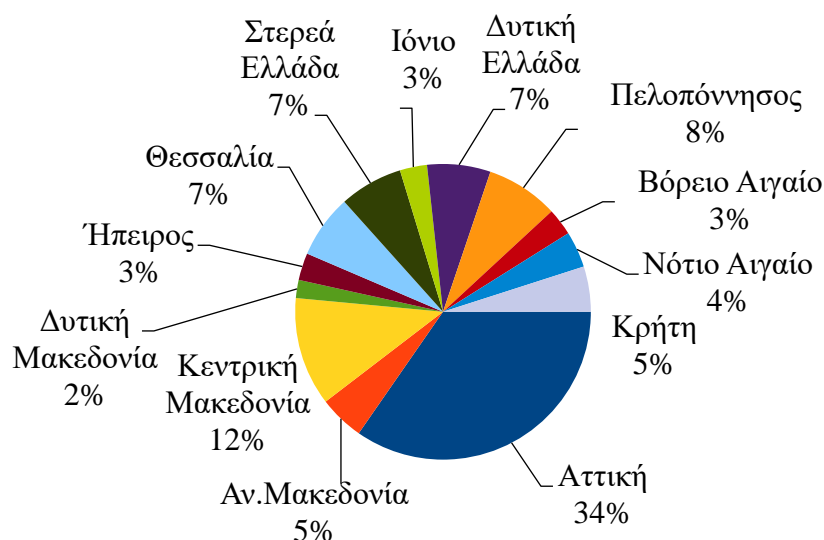
είναι οργανωμένα ως εταιρείες που δεν επιδιώκουν κέρδος σε καμία νομική μορφή, σε ατομική ή συλλογική βάση. Έχουν ως σκοπό την οργάνωση, το συντονισμό και την επίβλεψη όλης της διαδικασίας διαχείρισης των ΑΕΚΚ για την αποτροπή δημιουργίας απορριμμάτων και την εναλλακτική διαχείρισή τους, δηλαδή οι δραστηριότητες τους περιλαμβάνουν εργασίες συλλογής, μεταφοράς, προσωρινής αποθήκευσης, επαναχρησιμοποίησης, επεξεργασίας και αξιοποίησης των ΑΕΚΚ με στόχο την επαναφορά ανακτημένων ή ανακυκλωμένων υλικών στην αγορά (ΑΝΑΚΕΜ, 2021).

Ως το έτος 2018 δημιουργήθηκαν εννέα αδειοδοτημένα συστήματα συλλογικής διαχείρισης, τα οποία καλύπτουν το 57,7% της επικράτειας αν και βάσει της ΚΥΑ 36259/1757/2010 θα έπρεπε ως 2014 να καλύπτονται όλες οι περιφέρειες της χώρας. Επιπλέον, σύμφωνα με το άρθρο 12 της ΚΥΑ 36259/1757/Ε103 τέθηκε στην Ελλάδα η υποχρέωση μέχρι το 2020 η επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση, ανάκτηση υλικών ή αποβλήτων να ανέλθει έως 70 %, ως προς το συνολικό βάρος των παραγομένων ΑΕΚΚ (Βίζμπα, 2021).

Το 2017 ο συνολικός όγκος των ΑΕΚΚ στην Ελλάδα, ανήλθε σε 990.445 τόνους (πίνακας 1.4.), παρουσιάζοντας αύξηση κατά 87,2% σε σύγκριση με το έτος 2016. Αντίστοιχα, το 2018 η αύξηση ήταν αξιοσημείωτη, της τάξης του 188,17% σε σύγκριση με το 2017 που σχετίζεται με την τήρηση της νομοθεσίας και την αύξηση της κατασκευαστικής δραστηριότητας. Τα επεξεργασμένα αδρανή υλικά που εξήλθαν, χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για την επίχωση και πίστρωση αγροτικών δρόμων (Βίζμπα, 2021).

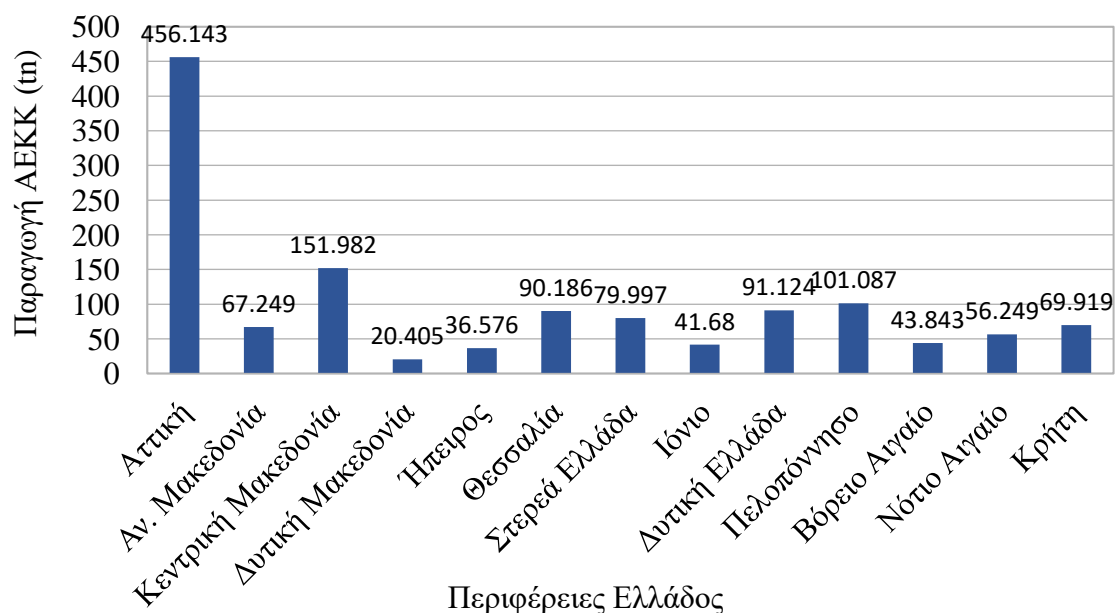
Πίνακας 1.4. Εναλλακτική διαχείριση των Αποβλήτων Εκσκαφών, Κατασκευών και Κατεδαφίσεων στην Ελλάδα για τα έτη 2016, 2017 και 2018 (ΕΟΑΝ, 2021).

Έτος	Εισερχόμενα ΑΕΚΚ (tn)			Εξερχόμενα ΑΕΚΚ (tn)		
	Απόβλητα Εκσκαφών	ΑΚΚ	Σύνολο ΑΕΚΚ	Ανακύκλωση	Επίχωση	Σύνολο
2016	335,655	193,429	529,084	128,815	135,108	263,923
2017	556,065	434,390	990,455	196,925	540,884	737,809
2018	1,693,887	1,160,304	2,854,191	599,755	1,564,712	2,164,467



Σχήμα 1.4. Ποσοστιαία κατανομή παραγόμενων ποσοτήτων ΑΕΚΚ ανά περιφέρεια (Καμελίδης, 2020).

Οι μεγαλύτερες ποσότητες ΑΕΚΚ στη χώρα (Σχήμα 1.3.) αντιστοιχούν στην Αττική και στην κεντρική Μακεδονία με ποσοστό 35% και 12% αντίστοιχα (Σχήμα 1.4.). Λόγω της έντονης ανάπτυξης της αστικοποίησης σε αυτές τις περιοχές, είναι λογικό να έχουν και τις μεγαλύτερες ποσότητες παραγωγής ΑΕΚΚ.



Σχήμα 1.5. Ποσότητα παραγωγής ΑΕΚΚ ανά περιφέρεια Ελλάδος το 2011 (Καμελίδης, 2020)

Να σημειωθεί πως η μείωση της παραγόμενης ποσότητας ΑΕΚΚ στην Ελλάδα από 2.084.500 το 2010 σε 1.306.500 το 2011, οφείλεται στην οικονομική κρίση της χώρας και στη μείωση της οικοδομικής δραστηριότητας εκείνη την περίοδο (Καμελίδης, 2020).

Από τον Εθνικό Οργανισμό Ανακύκλωσης (Ε.Ο.ΑΝ.) έχουν αδειοδοτηθεί 12 Συστήματα Εναλλακτικής Διαχείρισης των ΑΕΚΚ μέχρι σήμερα. Το πρώτο σύστημα ανακύκλωσης ΑΕΚΚ «Ανακύκλωση Αδρανών Βορείου Ελλάδας Α.Ε - ΑΝ.Α.Β.Ε. Α.Ε», εγκρίθηκε το 2011 από τον Ε.Ο.ΑΝ., όπου ακολουθούσαν άλλα τέσσερα συλλογικά συστήματα το 2012, δύο συστήματα ΑΕΚΚ το 2013, δύο συστήματα το 2014, και τέλος τρία ακόμη συστήματα το 2021. Μέχρι και το 2014 μόνο το μισό περίπου της ελληνικής επικράτειας καλυπτόταν από το δίκτυο πιστοποιημένων Εναλλακτικών Συστημάτων Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΟΑΝ, 2021).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ-ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

2.1. Κονιάματα - κατηγορίες και σύσταση

Το κονίαμα θεωρείται οικοδομικό υλικό και χρησιμοποιείται ως συνδετικό υλικό ή για να καλύψει και να προστατεύσει τις κάθετες επιφάνειες των κτιρίων. Το κονίαμα θεωρείται μίγμα που αποτελείται από (Ξενίδη, 2017):

- I. Νερό, το οποίο για τη χρήση του στα κονιάματα πρέπει να είναι πόσιμο ή από κατάλληλες πηγές, απαλλαγμένο από χημικές ουσίες (κυρίως από θειικά) και διαυγές.
- II. Κονίες, όπως τσιμέντο, ασβέστης, γύψος και ρητίνες ή μαγνησιούχα συνδετικά.
- III. Αδρανή υλικά, δηλαδή από ασβεστολιθική ή χαλαζιακή άμμο που μπορεί να είναι τεχνητής και φυσικής προέλευσης. Θα μπορούσε όμως να αποτελείται και από διογκωμένη άργιλο, περλίτη, θραύσματα κεραμικών, ελαφρόπετρα κ.ά. Πρέπει, όμως, τα αδρανή να είναι καθαρά, συμβατά με τις κονίες που θα αναμιχθούν και απαλλαγμένα από βλαβερές ουσίες.

2.1.1. Κατηγορίες κονιαμάτων

Οι διάφορες κατηγορίες κονιαμάτων είναι (Ξενίδη, 2017):

- Βάσει σύνθεσης: τσιμεντοκονιάματα, ασβεστοκονιάματα, γυψοκονιάματα, πηλοκονιάματα, μαρμαροκονιάματα, ασβεστογυψοκονιάματα, ασβεστοτσιμεντοκονιάματα, κονιάματα ρητινών.
- Βάσει χρήσης: κονιάματα τοιχοποιίας (συγκόλλησης), κονιάματα δαπέδων (πλήρωσης ή εξομάλυνσης), κονιάματα επιχρισμάτων, στεγανωτικά κονιάματα, πυρίμαχα κονιάματα, επισκευαστικά αρμοκονιάματα, θερμομονωτικά κονιάματα.
- Βάσει τρόπου πήξης και σκλήρυνσης: υδραυλικά ή αερικά (εξαρτάται το είδος της κονίας).
- Βάσει μέγιστου μεγέθους κόκκου: χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα.
- Βάσει της μορφής και της φάσης εφαρμογής τους: ξηρό κονίαμα (το ομοιογενές μίγμα όλων των υλικών χωρίς το νερό), νωπό κονίαμα (το πλήρες αναμιγμένο κονίαμα), σκληρυμένο κονίαμα (το κονίαμα μετά την εφαρμογή του).
- Βάσει συνεκτικότητας και κατεργασίας τους: μαλακά, ρευστά, σφιχτά, ενέματα, πεταχτά.

- Βάσει πυκνότητας: ελαφριά (έως 1500kg/m^3) ή βαριά (άνω των 1500kg/m^3).
- Βάσει σύνθεσης: σχεδιασμένο κονίαμα ή κονίαμα συγκεκριμένης σύνθεσης.
- Βάσει παρασκευής: εργοταξιακά ή εργοστασιακά (έτοιμο κονίαμα)
- Βάσει αντοχής: μικρής αντοχής (έως 5 MPa), μεσαίας αντοχής (5-10 MPa), μεγάλης αντοχής (άνω των 10 MPa). Η διάκριση της αντοχής καθορίζεται από τον τύπο και την ποσότητα της συνδετικής κονίας.

Οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες κατηγορίες κονιαμάτων είναι τα κονιάματα δαπέδων, τοιχοποιίας, επιχρισμάτων και επισκευαστικά.

2.1.2. Συνδετική ύλη κονιαμάτων (Κονία)

Η κονία ή συνδετική ύλη, είναι υλικό σε στερεή κατάσταση υπό μορφή σκόνης, η οποία όταν αναμιχθεί με υγρό (συνήθως νερό) γίνεται πλαστική και παρουσιάζει συγκολλητικές ιδιότητες. Αυτό το υλικό στερεοποιείται βαθμιαία, μέχρι να πάρει τη μορφή μίας σκληρής και συμπαγούς μάζας. Με άλλα λόγια μετά την πάροδο του χρόνου, αφού πήξει και σκληρύνει αποτελεί το συνδετικό υλικό των κονιαμάτων. Όσο πιο λεπτόκκοκη είναι η κονία, τόσο πιο αποτελεσματική είναι η αντίδρασή της με το νερό και τόσο ταχύτερα εμφανίζει τις ιδιότητές της. Στην αρχική πήξη της κονίας, χάνεται ένα μεγάλο ποσοστό της πλαστικότητας και των συγκολλητικών ιδιοτήτων της, ενώ στην τελική πήξη εμφανίζεται σιγά σιγά η μηχανική αντοχή (Πατσουμαδάκης κ.ά., 2018).

Οι κύριες πρώτες ύλες των κονιών είναι τα αργιλικά, ασβεστολιθικά και πετρώματα πλούσια σε αργιλοπυριτικές προσμείξεις, οι σκωρίες των υψικαμίνων, οι ιπτάμενες τέφρες των καμινάδων και οι ηφαιστειακές γαίες. Τα βασικά συστατικά της κονίας είναι η άσβεστος, το οξείδιο του μαγνησίου, η πυριτία και τα τριοξείδια αργιλίου και σιδήρου, που αντιδρούν με το νερό ή/και με το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας και ξεκινούν να πήζουν και να σκληρύνονται (Πατσουμαδάκης κ.ά., 2018).

2.1.3. Αδρανή υλικά στα κονιάματα

Η ονομασία των αδρανών υλικών οφείλεται στο γεγονός ότι παραμένουν χημικώς αδρανή, αντίθετα με το νερό και την κονία. Με τη βοήθεια της κονίας, τα αδρανή υλικά συνδέονται και συγκολλούνται μεταξύ τους και συμβάλουν μηχανικά στην αντοχή του

κονιάματος. Λόγω του μεγάλου τμήματος που καταλαμβάνουν στο κονίαμα, η απόδοση και οι ιδιότητες του νωπού και του σκληρυμένου κονιάματος επηρεάζονται από τα χαρακτηριστικά των αδρανών υλικών. Παραδείγματα σημαντικών ιδιοτήτων είναι: γραμμικός συντελεστής θερμικής διαστολής, χημική αδράνεια και ανθεκτικότητα. Οι πιο σπουδαίες όμως ιδιότητες των κονιαμάτων είναι το σχήμα και η διαβάθμιση των λεπτόκοκκων αδρανών (Ξενίδη, 2017).

Τα αδρανή αποτελούν το βασικότερο μέρος του μείγματος του κονιάματος και καθορίζουν κυρίως το μέτρο ελαστικότητας, τη μεταβολή του όγκου του κονιάματος και το βάρος. Επιπλέον, είναι υπεύθυνα για την παραλαβή φορτίων και την ανάπτυξη των αντοχών των συνθετικών υλικών. Διακρίνονται ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων, σε άμμο, σκύρα και γαρμπίλι. Όταν το αδρανές διαθέτει όλων των μεγεθών κόκκους, καλείται αμμοχάλικο (Πατσουμαδάκης κ.ά., 2018).

Επιπλέον, τα αδρανή χωρίζονται ανάλογα με την προέλευση σε φυσικά, τεχνητά και ανακυκλωμένα. Τα φυσικά αδρανή προέρχονται από το περιβάλλον και λαμβάνονται από φυσικό τεμαχισμό των στερεών πετρωμάτων. Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως η χρήση τους πραγματοποιείται χωρίς καμία επεξεργασία. Παραδείγματα φυσικών αδρανών υλικών είναι η χαλαζιακή άμμος από τις παραλίες και η ποταμίσια άμμος. Τα τεχνητά αδρανή λαμβάνονται από τεχνητό τεμαχισμό με μηχανική θραύση των λίθων. Σε αντίθεση με τα φυσικά αδρανή, τα τεχνητά έχουν μεγαλύτερη ποικιλία στο μέγεθος των κόκκων και είναι πιο ομοιογενή. Οι διαστάσεις τους κυμαίνονται από 0.25 mm μέχρι 7 mm. Τα ανακυκλωμένα αδρανή προκύπτουν από τη θραύση δομικών υλικών που έχουν προέλθει από κατασκευές και κατεδαφίσεις (Ξενίδη, 2017, Πατσουμαδάκης κ.ά., 2018).

Ανάλογα με το σχήμα τους, διακρίνονται σε γωνιώδη, στρογγυλά, κυβοειδή, επιμήκη και πλακοειδή. Είναι σημαντικό και βασικό να έχουν προσδιοριστεί τα βασικά χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες των αδρανών υλικών όπως μορφή, πυκνότητα, διαβάθμιση, υγρασία και μηχανικές ιδιότητες, για την επιλογή τους στην σύνθεση των κονιαμάτων (Πατσουμαδάκης κ.ά., 2018).

2.1.3.1. Παραγωγή Άμμου

Άμμος θεωρείται ένα αδρανές υλικό που οι διαστάσεις των κόκκων του κυμαίνονται μεταξύ 0,25-4mm. Το αδρανές υλικό με μέγεθος μικρότερο από 0,63mm, καλείται παιπάλη (Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος, 2016).

Στον κατασκευαστικό τομέα, η άμμος είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο αδρανές σε τσιμεντοκονίαμα. Από τη μία πλευρά, υπάρχει παγκόσμια έλλειψη καλής ποιότητας φυσικής άμμου, ενώ σε χώρες όπου η διαθεσιμότητα άμμου είναι επαρκής, το κόστος εξόρυξης και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με την εξόρυξη, την επεξεργασία και τη μεταφορά είναι άλλες σημαντικές ανησυχίες για τη συνεχώς αυξανόμενη χρήση αυτού του φυσικού πόρου (Simoes et al., 2021).

Σύμφωνα με την τελευταία έκθεση του UNEP (United Nations Environmental Program) «Άμμος και βιωσιμότητα: Εύρεση νέων λύσεων για την περιβαλλοντική διακυβέρνηση των παγκόσμιων πόρων άμμου» υπολόγισε μια ζήτηση άμμου περίπου 50 δισεκατομμυρίων τόνων ετησίως, κατά μέσο όρο 18 κιλά ανά άτομο ανά μέρα. Η αλλαγή των καταναλωτικών προτύπων, η αύξηση του πληθυσμού, η αυξανόμενη αστικοποίηση και η ανάπτυξη υποδομών έχουν τριπλασιάσει τη ζήτηση τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Με αφορμή και το σκοπό της ΕΕ να πετύχουν τα κράτη μέλη ποσοστό ανακύκλωσης πάνω από 70% έως το 2020, τα τελευταία χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί μελέτες στη χρήση υλικών ΑΕΚΚ για αντικατάσταση της άμμου σε υλικά σκυροδέματος (Simoes et al., 2021).

Από περιβαλλοντική άποψη, η χρήση της λεπτής ανακυκλωμένης άμμου μπορεί να φέρει πολλά πλεονεκτήματα, όπως: (Ι) μειώνει την εξόρυξη άμμου, η οποία προκαλεί τεράστιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε όλο τον κόσμο, (ΙΙ) μειώνει την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές CO₂ και (ΙΙΙ) περιορίζει τις παράνομες αποθέσεις και την υγειονομική ταφή (Simoes et al., 2021).

Ωστόσο, το κύριο ζήτημα που αφορά την ποιότητα των ανακυκλωμένων αδρανών από ΑΕΚΚ για τη παραγωγή άμμου είναι η παρουσία των πορωδών και χαμηλής αντοχής φάσεων (κολλημένο κονίαμα). Παράγεται άμμος χαμηλής ποιότητας που όταν χρησιμοποιείται σε τσιμεντοειδή υλικά (σκυρόδεμα ή κονίαμα), μειώνει την εργασιμότητα και τη μηχανική αντοχή σε σκληρυμένη κατάσταση. Για αυτούς τους λόγους, στις περισσότερες χώρες, η ανακυκλωμένη άμμος (προερχόμενη από ΑΕΚΚ) δεν επιτρέπεται στην παραγωγή δομικών τσιμεντοειδών υλικών (Simoes et al., 2021).

2.1.4. Νερό

Το τρίτο και σημαντικό συστατικό του κονιάματος είναι το νερό. Η κονία και το νερό είναι τα ενεργά συστατικά στο κονίαμα. Το νερό μέσα από μία σειρά χημικών

αντιδράσεων, μέσω της δημιουργίας ένυδρων κρυστάλλων, βοηθά στην πήξη και σκλήρυνση του κονιάματος. Δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην ποιότητά του, καθώς δεν πρέπει να περιέχονται αιωρούμενα ή διαλυμένα στερεά (άλατα). Τα άλατα μπορούν να επηρεάσουν την ανθεκτικότητα του τελικού προϊόντος (Πατσουμαδάκης κ.ά.,2018).

Κατά τη σύνθεση ενός κονιάματος, ένα μέρος του νερού καταναλώνεται στην πραγματοποίηση των αναγκαίων χημικών αντιδράσεων για την πήξη της κονίας, δηλαδή στον σχηματισμό ένυδρων χημικών ενώσεων. Το άλλο μέρος του νερού, χρησιμοποιείται στη διαβροχή των κόκκων των αδρανών υλικών και στην αύξηση της πλαστικότητας του κονιάματος. Για μη επαρκή ποσότητα νερού, ένα μέρος της κονίας μένει ανενεργό, το οποίο οδηγεί στη μερική σύνδεση των αδρανών. Όταν η ποσότητα του νερού βρίσκεται σε περίσσεια τα συστατικά δεν απορροφούν το νερό με αποτέλεσμα τη δημιουργία πόρων και κοιλοτήτων κατά την εξάτμισή του. Αυτό οδηγεί στην ελάττωση της αντοχής και της συνεκτικότητας του κονιάματος. Οπότε πρέπει να δίνεται προσοχή στην ποσότητα του νερού για την επιθυμητή σύσταση του κονιάματος (Πατσουμαδάκης κ.ά.,2018).

2.2. Χαρακτηριστικά και ιδιότητες κονιαμάτων

Οι επιθυμητές ιδιότητες για ένα πρότυπο κονίαμα είναι οι εξής (Λεκατσά,2018) :

- I. Πλαστικό και εργάσιμο, δηλαδή ικανό το νωπό κονίαμα να διατηρεί την ομοιογένεια του κατά τους διάφορους χειρισμούς του.
- II. Υψηλή μηχανική αντοχή (θλίψη και εφελκυσμός).
- III. Καμία προσβολή από νερό και ατμοσφαιρικές συνθήκες.
- IV. Ικανή εσωτερική τριβή, τέτοια ώστε να συγκρατείται στις κατακόρυφες επιφάνειες και να μην διαφεύγει στους αρμούς της τοιχοποιίας.
- V. Σταθερότητα, δηλαδή να μην υποκύπτει σε μεγάλες συστολές και διαστολές και να μην δημιουργούνται ρωγμές.

2.3. Φυσικομηχανικές ιδιότητες των κονιαμάτων από ανακυκλωμένα αδρανή.

Κατά τη μελέτη κονιαμάτων που χρησιμοποιούν ανακυκλωμένα αδρανή για αντικατάσταση της φυσικής ή λατομικής άμμου, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις φυσικομηχανικές ιδιότητες όπως η εργασιμότητα, η συρρίκνωση, η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη και κάμψη των κονιαμάτων. Το ποσοστό αντικατάστασης της

φυσικής ή λατομικής άμμου από ανακυκλωμένα αδρανή θεωρείται η κρίσιμη παράμετρος που επηρεάζει τις ιδιότητες του κονιάματος.

2.3.1. Εργασιμότητα

Η εργασιμότητα των μιγμάτων με ανακυκλωμένα αδρανή μειώνεται με τη μείωση του νερού. Αυτό το αποτέλεσμα είναι πιο εμφανές στα πρώτα 15 λεπτά μετά την ανάμειξη, που σημαίνει ότι η ανακυκλωμένη άμμος απορροφά το μεγαλύτερο μέρος του νερού κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου (Silva et al., 2016).

Απαιτείται επιπλέον ποσότητα νερού για τη διατήρηση της συνοχής του κονιάματος. Η υψηλότερη αναλογία νερό/τσιμέντο οδηγεί σε ασθενέστερο και πιο πορώδη τσιμεντοπολτό (Silva et al., 2016).

Για την επίτευξη επιθυμητής εργασιμότητας, πρέπει να προσαρμοστεί η περιεκτικότητα σε νερό. Για να γίνει αυτό, μπορεί να προστεθεί μια επιπλέον ποσότητα νερού κατά την ανάμειξη για να αποτραπεί υπερβολική απορρόφηση από την ανακυκλωμένη άμμο ή να προ- εμποτιστεί το ανακυκλωμένο κλάσμα 24 ώρες πριν την ανάμειξη. Ωστόσο, η πρώτη μέθοδος προτιμάται καθώς επιτρέπει καλύτερο έλεγχο της ποσότητας νερού (Silva et al., 2016).

Περισσότερα πορώδη αδρανή θα απορροφήσουν μεγαλύτερο όγκο νερού. Ως εκ τούτου, η εργασιμότητα μειώνεται και απαιτείται περισσότερο νερό για να είναι εφαρμόσιμο το κονίαμα. Ωστόσο, οι υδραυλικές αντιδράσεις δεν καταναλώνουν όλο το νερό που χρησιμοποιείται. Το νερό που απορροφάται από τα ανακυκλωμένα αδρανή θα απελευθερωθεί αργότερα και θα εξατμιστεί, αυξάνοντας το πορώδες του κονιάματος. Η απορρόφηση του νερού εξαρτάται από τον όγκο και τη διάμετρο των πόρων εντός της ανακυκλωμένης άμμου (Gomes et al., 2021).

Σε μελέτες που έγιναν (Silva et al., 2016) φαίνεται ότι κονιάματα κατασκευασμένα με 100% λεπτόκοκκο αδρανές από ανακυκλωμένο σκυρόδεμα, ή από μικτά ανακυκλωμένα αδρανή ή από ανακυκλωμένα αδρανή τοιχοποιίας απαιτούσαν 19%, 30% και 52% επιπλέον νερό, αντίστοιχα.

2.3.2. Συρρίκνωση

Καθώς αυξάνεται το ποσοστό αντικατάστασης της φυσικής ή λατομικής άμμου από ανακυκλωμένη, αυξάνεται επίσης η συρρίκνωση. Αυτό οφείλεται συνήθως στο μεγαλύτερο πορώδες και στη μεγαλύτερη απορρόφηση νερού. Η μεγαλύτερη παρουσία νερού στους πόρους των ανακυκλωμένων αδρανών υλικών λόγω μεγαλύτερου πορώδους έχει ως αποτέλεσμα την απαίτηση μεγαλύτερης ποσότητας νερού σε σύγκριση με τα φυσικά ή λατομικά αδρανή Lima(Lima et al., 2012).

Ένα δοκίμιο κονιάματος μπορεί να υποστεί αλλαγές όγκου και συρρίκνωσης, ως αποτέλεσμα των αντιδράσεων ενυδάτωσης του τσιμέντου και της ξήρανσης λόγω της εξάτμισης του νερού που υπάρχει προσροφημένο από τους κόκκους των αδρανών των υλικών. Το φαινόμενο αυτό επηρεάζεται όχι μόνο από τη σύνθεση του ίδιου του υλικού αλλά και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες εκτίθεται το υλικό (Gomes et al., 2021).

2.3.3. Αντοχή σε θλίψη

Η αυξανόμενη ποσότητα ανακυκλωμένης άμμου στα κονιάματα φαίνεται να έχει ως αποτέλεσμα μια απώλεια στην αντοχή σε θλίψη στις περισσότερες περιπτώσεις. Δεδομένου ότι το ανακυκλωμένο αδρανές περιέχει συνήθως υψηλή ποσότητα προσκολλημένου κονιάματος ή εξαιρετικά πορώδη σωματίδια, είναι φυσικό τα εν λόγω αδρανή να έχουν υποδεέστερη μηχανική αντοχή από εκείνη της φυσικής ή λατομικής άμμου. Έχει παρατηρηθεί οριακή απώλεια αντοχής σε θλίψη και ακόμη και αύξηση αντοχής σε μείγματα όταν χρησιμοποιούν ανακυκλωμένα αδρανή των οποίων η αντοχή σε θλίψη ήταν υψηλότερη από εκείνη της αντοχής του νέου σκυροδέματος (Silva et al., 2016).

Εκτός από την επίδραση της ανακυκλωμένης άμμου στην αντοχή του κονιάματος, σημαντικό όλο διαδραματίζει η περιεκτικότητα σε τσιμέντο και την αναλογία νερού-τσιμέντου. Η αντοχή του κονιάματος αυξάνεται σημαντικά για χαμηλή αναλογία νερού προς τσιμέντο. Για τη διατήρηση της θλιπτικής αντοχής σε ικανοποιητικά επίπεδα, όταν γίνεται υποκατάσταση της πρωτογενούς άμμου με ανακυκλωμένη σε υψηλά ποσοστά, απαιτούνται μεγαλύτερες ποσότητες τσιμέντου στο κονίαμα (Lima., 2012).

2.3.4.Αντοχή σε κάμψη

Η αντοχή σε κάμψη ενός κονιάματος συσχετίζεται θετικά με την αντοχή του σε θλίψη. Όταν αυξάνεται η αντοχή του σε θλίψη, το ίδιο συμβαίνει και με την αντοχή σε κάμψη. Η αύξηση του ποσοστού σε ανακυκλωμένα αδρανή σε κονιάματα τοιχοποιίας οδήγησε σε μικρότερη αντοχή σε κάμψη (Silva et al., 2016).

2.3.5. Ποσοστά αντικατάστασης φυσικής άμμου για παραγωγή κονιάματος

Υπάρχουν δύο επιλογές για τη χρήση ανακυκλωμένων αδρανών υλικών: α) ανάπτυξη εναλλακτικών λύσεων για τη χρήση ανακυκλωμένων αδρανών υλικών χαμηλής ποιότητας και β) βελτίωση της ποιότητας των ανακυκλωμένων αδρανών για την αύξηση της χρήσης τους. Για το ποσοστό αντικατάστασης της φυσικής άμμου για την παραγωγή κονιάματος, παίζει ρόλο ποια ανακυκλωμένα αδρανή χρησιμοποιούνται και για τι χρήση προορίζεται το παραγόμενο κονίαμα (Ulsen et al., 2021).

Η αντικατάσταση άνω του 25% της άμμου απαιτεί σχετικά μεγαλύτερες ποσότητες νερού στο κονίαμα. Η απορρόφηση του νερού του κονιάματος αυξάνεται με το ποσοστό αντικατάστασης από ΑΕΚΚ. Ως εκ τούτου, δεν είναι δυνατή η χρήση ΑΕΚΚ άνω του 25%.

Σχετικά με την ενσωμάτωση λεπτών ανακυκλωμένων αδρανών σκυροδέματος παρουσιάζονται όρια για τη χρήση τους. Καθορίστηκε όριο αντικατάστασης της φυσικής άμμου κατά 50% από ανακυκλωμένη άμμο από σκυρόδεμα, για κονιάματα που χρησιμοποιούνται σε εσωτερικό περιβάλλον (Ulsen, 2021).

Σύμφωνα με επιστημονικές έρευνες είναι δυνατόν να αντικατασταθεί έως και 25% φυσική άμμος από ανακυκλωμένο σκυρόδεμα συνολικά κατά βάρος χωρίς μείωση της μηχανικής αντοχής, της εργασιμότητας και της συρρίκνωσης στο κονίαμα τοιχοποιίας (Vegas et al., 2009). Ακόμη μία έρευνα κατέληξε στα ίδια συμπεράσματα, αλλά περιόρισε την αναλογία αντικατάστασης σε 20% κατά βάρος (Dapena et al., 2011).

Χρησιμοποιώντας κεραμικά απόβλητα κατασκευασμένα από κόκκινη άργιλο στην παραγωγή κονιαμάτων, αποδείχτηκε ότι οι λόγοι αντικατάστασης έως και 20-50% βελτίωσαν τις φυσικομηχανικές ιδιότητες του κονιάματος, εκτός από τη συρρίκνωση, η οποία αυξήθηκε (Silva et al., 2016).

Για την παραγωγή κονιάματος τοιχοποιίας, το ποσοστό αντικατάστασης της φυσικής άμμου έως και 40% λεπτής ανακυκλωμένης άμμου είναι μια αποτελεσματική λύση. Ωστόσο, συνιστώνται χρήσεις σε εσωτερικούς χώρους για αποφυγή μεγάλης υγρασίας και προτείνεται να διερευνηθούν και άλλες απαραίτητες μελέτες για τη βελτίωση της εργασιμότητας (Ledesma et al.,2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΗΣ ΑΜΜΟΥ

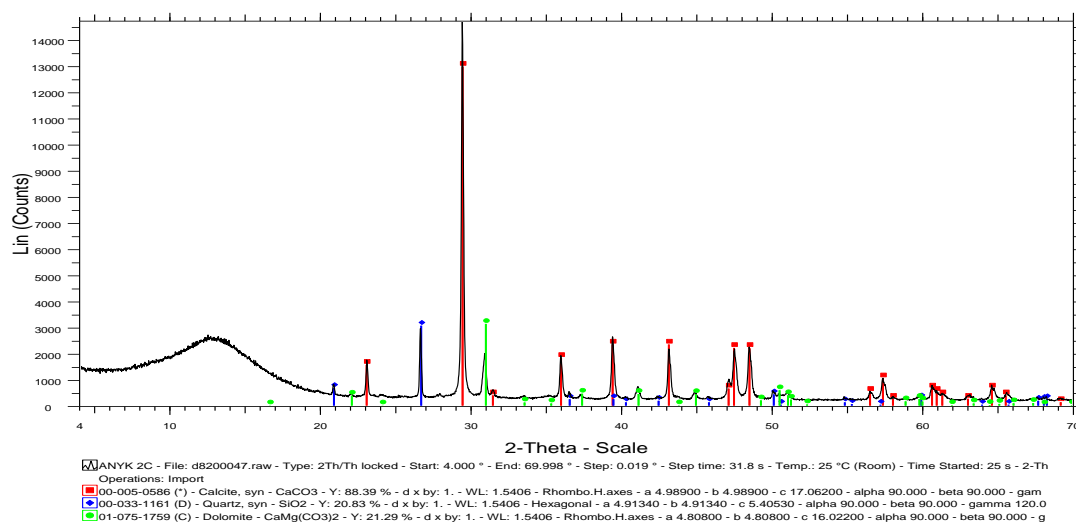
Η ανακυκλωμένη άμμος προήλθε από μονάδα διαχείρισης αποβλήτων εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων που βρίσκεται στο Ηράκλειο Κρήτης, με την επωνυμία Α.Ν.Υ.Κ. Α.Β.Ε.Ε. και ασχολείται με την παραγωγή και εμπορία ανακυκλωμένων υλικών από εκσκαφές και κατεδαφίσεις. Η εταιρία έχει ενταχθεί στο Συλλογικό Σύστημα Εναλλακτικής Διαχείρισης (ΣΣΕΔ) της ANABE ΑΕ από το 2014 με στόχο την ανακύκλωση ΑΕΚΚ στην Κρήτη. Το 2016 ανακυκλώθηκαν περίπου 20.000 tn ΑΕΚΚ από την εταιρία με συνεργασία του ΣΣΕΔ της ANABE ΑΒΕ, ενώ το 2017 διπλασιάστηκαν οι ποσότητες.

3.1. Ορυκτολογική και χημική ανάλυση

Αρχικά πραγματοποιήθηκε ορυκτολογική και χημική ανάλυση στο δείγμα ανακυκλωμένης άμμου, δηλαδή έγινε προσδιορισμός των κύριων ορυκτολογικών συστατικών που περιλαμβάνονται στο δείγμα και το χημισμού του, αντίστοιχα. Για την ορυκτολογική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ (XRD), όπου η ακτινοσκόπηση πραγματοποιήθηκε με χρήση λυχνίας Cu, καταμετρητή LynxEye και φίλτρο νικελίου, τάση $U=35KV$ και ένταση $I=35mA$, ενώ οι συνθήκες μέτρησης ήταν $4-70^\circ 2\theta$, βήμα $0,02^\circ$ και χρόνο μέτρησης $0,2 \text{ sec/βήμα}$. Η χημική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο φασματοσκοπίας ακτίνων-Χ φθορισμού (XRF). Στον πίνακα 3.1. δίνονται τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης. Στο σχήμα 3.1. και στους πίνακες 3.1. και 3.2. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την χημική και ορυκτολογική ανάλυση αντίστοιχα.

Πίνακας 3.1.: Χημική ανάλυση κύριων στοιχείων ανακυκλωμένης άμμου σε μορφή οξειδίων.

CO ₂	MgO	SiO ₂	CaO	Σύνολο
42,1	2,2	5,1	50,6	100



Σχήμα 3.1 Ακτινοδιάγραμμα περίθλασης ακτίνων-X δείγματος ανακυκλωμένης άμμου.

Πίνακας 3.2: Ορυκτολογική ανάλυση κύριων συστατικών ανακυκλωμένης άμμου.

Ορυκτολογική σύσταση	Περιεκτικότητα (%)
Ασβεστίτης	84,8
Χαλαζίας	5,1
Δολομίτης	10,1

Σύμφωνα με την ορυκτολογική ανάλυση, η ανακυκλωμένη άμμος αποτελείται από ασβεστίτη (CaCO_3) σε ποσοστό 84,8%, χαλαζίας (SiO_2) σε ποσοστό 5,1% και δολομίτης ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) σε ποσοστό 10,1%. Το μεγαλύτερο ποσοστό του δείγματος αποτελείται από ασβεστίτη. Δεν εμφανίζονται ίχνη οργανικών ή άλλων επιβλαβών για τα κονιάματα υλικών.

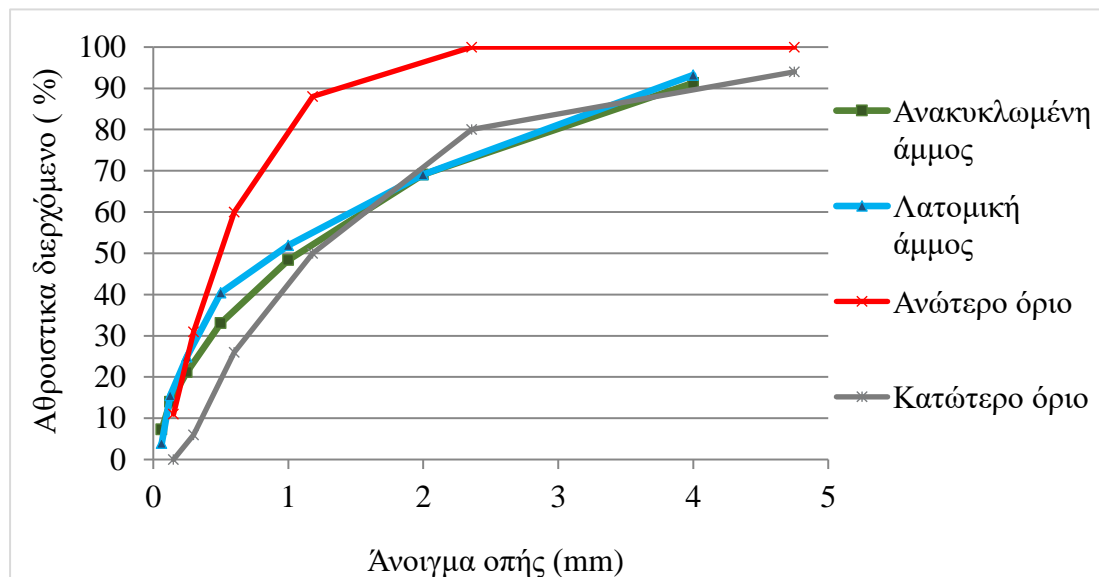
3.2 Κοκκομετρική ανάλυση

Η κοκκομετρική ανάλυση των δύο δειγμάτων άμμου (ανακυκλωμένη και λατομική άμμος) πραγματοποιήθηκε στην ερευνητική μονάδα Έλεγχος Ποιότητας- Υγιεινή και Ασφάλεια στη Μεταλλευτική της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του

Πολυτεχνείου Κρήτης. Η διαβάθμιση του μεγέθους των κόκκων επιτεύχθηκε με τη χρήση κόσκινων με οπές συγκεκριμένων διαστάσεων σε συνδυασμό με συσκευή δόνησης των κόσκινων (Σχήμα 3.2). Το μέγιστο μέγεθος κόκκου των δειγμάτων ήταν 4 mm. Από τα αποτελέσματα των δοκιμών, δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχες καμπύλες αθροιστικά διερχομένων κλασμάτων για κάθε δείγμα (Σχήμα 3.3.). Με τις καμπύλες κατανομής εμφανίζονται επίσης κατώτερες και ανώτερες οριακές διαβαθμίσεις για την άμμο, όπως ορίζονται στο Πρότυπο ASTM C 33-02.



Σχήμα 3.2. Σειρά κόσκινων διαφορετικής διαμέτρου με συσκευή δόνησης.



Σχήμα 3.3. Κοκκομετρική καμπύλη ανακυκλωμένης και λατομικής άμμου με όρια ταξινόμησης άμμου κατά ASTM C 33-02.

Οι κατανομές μεγέθους σωματιδίων αναλύθηκαν σύμφωνα με το Πρότυπο ASTM C 33/02. Όλα τα δείγματα άμμου αποτελούνται από σωματίδια κάτω από 4 mm. Σε γενικές γραμμές, οι καμπύλες διαβάθμισης λατομικής και ανακυκλωμένης άμμου βρίσκονται εντός ορίων των περιοριστικών καμπυλών διαβάθμισης, που σημαίνει ότι καλύπτουν τις προδιαγραφές του προτύπου. Η ανακυκλωμένη όμως άμμος είναι πιο χονδρομερής σε σχέση με τη λατομική άμμου σύμφωνα κα με τον Πίνακα 3.4. που αναγράφονται κάποιοι χαρακτηριστικοί διάμετροι που αντιστοιχούν στο 10%, 50% και 90% του διερχόμενου βάρους των δύο δειγμάτων άμμου.

Πίνακας 3.4. Διάμετροι κόκκων για ποσοστό 10%, 50% και 90% της λατομικής και ανακυκλωμένης άμμου.

Δείγμα	d ₁₀ (mm)	d ₅₀ (mm)	d ₉₀ (mm)	Εύρος διακύμανσης (d ₉₀ -d ₁₀)/d ₅₀
Λατομική άμμος	0,08	0,92	3,72	3,96
Ανακυκλωμένη άμμος	0,08	1,08	3,89	3,53

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΝΩΠΟΥ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ

4.1 Συνθέσεις και παρασκευή κονιαμάτων

Όπως προαναφέρθηκε, η παραγωγή κονιάματος απαιτεί άμμο, νερό και ένα συνδετικό υλικό (τσιμέντο ή ασβέστης). Σ' αυτή τη διπλωματική παρασκευάστηκαν δοκίμια από νερό, τσιμέντο και άμμο. Δημιουργήθηκαν 4 συνταγές κονιαμάτων με διαφορετικά ποσοστά αντικατάστασης της λατομικής άμμου. Τα επίπεδα αντικατάστασης της λατομικής άμμου από ανακυκλωμένη είναι 0%, 20% 50% και 100%. Σε όλα τα κονιάματα που εξετάστηκαν, η αναλογία τσιμέντου/αδρανών είναι 1:3 και διατηρείται σταθερή. Όσον αφορά το νερό, η ποσότητά του εξαρτάται από την εργασιμότητα κάθε σύστασης, καθώς πρέπει όλες οι συνθέσεις να έχουν ίδια εργασιμότητα με το κονίαμα αναφοράς που δεν περιέχει ανακυκλωμένη άμμο. Η διαδικασία προσαρμόστηκε πειραματικά σε εργαστήριο για να ληφθούν κονιάματα σύμφωνα με το πρότυπο EN 196-1. Στον πίνακα 4.1. αναγράφονται οι συνθέσεις κονιαμάτων και η σύσταση της άμμου κάθε σύνθεσης. Στον πίνακα 4.2. αναφέρονται οι τελικές αναλογίες μειγμάτων κονιαμάτων.

Πίνακας 4.1. Συνθέσεις κονιαμάτων και άμμου.

Σύνθεση	Ποσοστό	Ποσοστό
	ανακυκλωμένης άμμου (%)	λατομικής άμμου (%)
Λ	0	100
2A8Λ	20	80
5A5Λ	50	50
A	100	0

Η παρασκευή των δοκιμίων κονιάματος ξεκίνησε με την προετοιμασία των υλικών (νερό, τσιμέντο και άμμος), δηλαδή το ζύγισμά τους, με ιδιαίτερη προσοχή στη προσθήκη της άμμου όπου απαιτούνται διαφορετικά ποσοστά αντικατάστασης της

λατομικής άμμου σε κάθε σύνθεση. Τα κονιάματα αναμίχθηκαν σε εργαστηριακό αναμικτήρα κονιαμάτων σύμφωνα με το πρότυπο EN 196-1. Για την ανάδευση του μίγματος χρησιμοποιήθηκε εργαστηριακός αναμικτήρας MATEST Mortar mixer E094 με συνήθη ταχύτητα περιστροφής. Η ποσότητα κάθε σύστασης χωρίστηκε σε δύο μέρη, καθώς δεν ήταν εφικτό να παραχθούν όλα τα απαιτούμενα δοκίμια μίας σύστασης μόνο από ένα μίγμα, λόγω μικρής χωρητικότητας του αναμικτήρα. Κατά τη διαδικασία ανάμειξης των υλικών, προστέθηκε αρχικά στον κάδο του αναμικτήρα το τσιμέντο με την άμμο και έπειτα προστέθηκε το νερό. Μετά την ανάμειξη των υλικών μετريέται η εργασιμότητα, όπου προστίθεται ποσότητα νερού με στόχο όλες οι συνθέσεις να έχουν ίδια εργασιμότητα με το κονίαμα αναφοράς (0% ποσοστό αντικατάσταση της λατομικής άμμου). Αφού αναμειχθούν τα υλικά και γίνει ποιοτικός έλεγχος στο νωπό μίγμα, δηλαδή υπολογισμός της εργασιμότητας, το μίγμα χυτεύεται σε πρισματικές μήτρες διαστάσεων 40x40x160 mm (Σχήμα 4.1.), οι οποίες τοποθετούνται σε τράπεζα δόνησης για 1 λεπτό (60 χτυπήματα/λεπτό). Τέλος, τα δοκίμια παραμένουν στα καλούπια για 24 ώρες σε θερμοκρασία δωματίου, την επόμενη μέρα ξεκαλούπωνονται και τοποθετούνται σε κατάλληλο θάλαμο ωρίμανσης (στους $20 \pm 2^{\circ} \text{C}$ με σχετική υγρασία τουλάχιστον 95%). Όλα τα δοκίμια διατηρήθηκαν στις ίδιες συνθήκες.



Σχήμα 4.1. Μίγμα κονιάματος σε πρισματικές μήτρες πριν το ξεκαλούπωμα και δείγματα δοκιμίων κονιάματος με 50% αντικατάσταση της λατομικής άμμου.

4.2 Ποιοτικός έλεγχος νωπού κονιάματος

4.2.1 Διαδικασία μέτρησης εργασιμότητας

Μετά την ανάμειξη των υλικών στον αναμεικτήρα, πραγματοποιήθηκε ποιοτικός έλεγχος στο νωπό κονίαμα, δηλαδή μέτρηση και μελέτη της εργασιμότητας του κονιάματος. Για τη μέτρηση της εργασιμότητας χρησιμοποιήθηκε η δοκιμή με την τράπεζα εξάπλωσης σύμφωνα με το πρότυπο EN 1015-3. Χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο UTCM-0660E (Σχήμα 4.2.) της εταιρείας Matest που είναι εξοπλισμένο με τροχό χειρός και διαθέτει μία τράπεζα εξάπλωσης διαμέτρου 300mm και ένα κωνικό καλούπι από ορείχαλκο με διαστάσεις μεγάλης βάσης 100mm, μικρής βάσης 70 mm και ύψους 60mm. Αφού αναμιχθούν τα υλικά, μία ποσότητα του μίγματος μεταφέρεται μέσα στο καλούπι κώνου σε 2 στρώσεις όπου κάθε μία χτυπιέται 25 φορές με μία ράβδο. Εφόσον ο κώνος έχει γεμίσει από τις 2 στρώσεις του μίγματος, αφαιρείται και με τον τροχό χειρός υψώνεται και πέφτει η τράπεζα 15 φορές επανειλημμένα σε 15 δευτερόλεπτα. Τέλος, το μίγμα έχει εξαπλωθεί και μετριέται η διάμετρος εξάπλωσης σε 6 θέσεις με ένα παχύμετρο Vernier.

Η ποσοστιαία εργασιμότητα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{Εργασιμότητα(\%)} = \frac{\text{Διάμετρος εξάπλωσης} - \text{Διάμετρος μεγάλης βάσης κώνου}}{\text{Διάμετρος μεγάλης βάσης κώνου}} \times 100$$



Σχήμα 4.2. Τράπεζα εξάπλωσης (μοντέλο UTCM-0660E) που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση της εργασιμότητας.

Στόχος της μελέτης της εργασιμότητας, ήταν να παραχθούν κονιάματα με εργασιμότητα παραπλήσια του κονιάματος αναφοράς. Η ανακυκλωμένη άμμος απαιτεί μεγαλύτερες ποσότητες νερού σε σύγκριση με τη λατομική άμμο. Οπότε είναι αναγκαίος ο διαφορετικός λόγος νερού προς τσιμέντο σε κάθε σύνθεση. Η ρύθμιση της εργασιμότητας έγινε με σταδιακή μεταβολή του λόγου νερού προς τσιμέντο έτσι ώστε να αποκτήσει το κονίαμα που περιέχει ανακυκλωμένη άμμο την επιθυμητή εργασιμότητα. Οι μετρήσεις της εργασιμότητας όλων των συνθέσεων αναγράφονται στον πίνακα 4.3.

4.2.2. Μέτρηση εργασιμότητας

Η πρώτη μέτρηση εργασιμότητας που υπολογίστηκε ήταν του κονιάματος αναφοράς (Α), με λόγο νερού προς τσιμέντο 0,50 και εργασιμότητα 30,18% (Πίνακας 4.3.). Έπειτα ακολούθησε η σύνθεση 2Α8Λ, όπου μετρήθηκε λόγος νερού προς τσιμέντο 0,50 και εργασιμότητα 23,86%.

Εφόσον πραγματοποιήθηκε η παραγωγή και η ανάμιξη των υλικών του μίγματος 5Α5Λ, μετρήθηκε ο αρχικός λόγος νερού προς τσιμέντο σε 0,54. Η τιμή της εργασιμότητας δεν ήταν επιθυμητή, επομένως επαναλαμβάνεται η διαδικασία με αύξηση του λόγου νερού προς τσιμέντο σε 0,55. Η τιμή της εργασιμότητας είναι πάλι μικρή που μπορεί να οφείλεται στο χρόνο επεξεργασίας του μίγματος. Κατά τη διαδικασία ανάμιξη-μέτρηση εργασιμότητας-προσθήκη νερού το τσιμέντο αρχίζει να δρα με το νερό, που σημαίνει ότι ο χρόνος παρασκευής επηρεάζει σημαντικά την εργασιμότητα. Η περιεκτικότητα σε νερό έχει σημαντικό ρόλο στην εργασιμότητα του κονιάματος και καθορίζει την αρχική ροή του. Γι' αυτό πρέπει να καθορίζεται η σωστή ποσότητα νερού προσθήκης στο κονίαμα. Τέλος, υπολογίστηκε η εργασιμότητα της τελευταίας σύνθεσης (Α) σε 6,57% με λόγο νερό προς τσιμέντο 0,62.

4.2.3. Συνθέσεις και αποτελέσματα μετρήσεων εργασιμότητας και συνθέσεις.

Οι συνθέσεις των κονιαμάτων που παρασκευάστηκαν και οι τιμές εργασιμότητας του νωπού κονιάματος που μετρήθηκαν με την τράπεζα εξάπλωσης δίνονται στους Πίνακες 4.2 και 4.3.

Πίνακας 4.2. Ποσότητες υλικών (σε gr) που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των δοκιμίων κάθε μιας σύνθεσης και προκύπτουσες αναλογίες.

	Λ	2Α8Λ	5Α5Λ	Α
Τσιμέντο	150	150	150	150
Νερό	75	75	81	92
Λατομική άμμος	450	360	225	0
Ανακυκλωμένη άμμος	0	90	225	450
Λόγος νερό/τσιμέντο	0,5	0,5	0,54	0,61
Αναλογία τσιμέντο/άμμο	1:3	1:3	1:3	1:3
Ποσοστό υποκατάστασης της λατομικής άμμου από ανακυκλωμένη (%)	0	20	50	100

Πίνακας 4.3. Μετρήσεις εργασιμότητας (%), διαμέτρων εξάπλωσης (mm) και αντίστοιχοι λόγοι νερό/τσιμέντο για όλες τις συνθέσεις κονιάματος.

Σύνθεση	Λόγος νερό/τσιμέντο	Διορθωμένος λόγος νερό/τσιμέντο	Διάμετρος εξάπλωσης (mm)	Μέσος όρος μετρήσεων εργασιμότητας (%)
Λ	0,50	0,50	130,18	30,18
2Α8Λ	0,50	0,49	123,86	23,86
5Α5Λ	0,55	0,52	114,50	14,50
Α	0,62	0,53	107,00	6,57

Εάν ο λόγος νερού προς τσιμέντο είχε παραμείνει σταθερός σε όλα τα κονιάματα που παρασκευάστηκαν, τα ανακυκλωμένα κονιάματα θα ήταν πολύ δύσκολο να χυτευθούν (λόγω μικρής εργασιμότητας) για να επιτευχθεί επαρκής συμπίκνωση με συνέπεια οι φυσικομηχανικές ιδιότητες θα είχαν επηρεαστεί αρνητικά. Η εργασιμότητα μειώνεται όσο αυξάνεται το ποσοστό αντικατάστασης της λατομικής άμμου από ανακυκλωμένη αδρανή (Σχήμα 4.3.), παρόλο που ο λόγος νερό προς τσιμέντο είναι διαφορετικός σε κάθε σύνθεση. Όσο αυξάνεται ο λόγος νερό προς τσιμέντο τόσο μειώνεται η εργασιμότητα (Σχήμα 4.4.). Οι μέσες τιμές εργασιμότητας μειώθηκαν επειδή η απορρόφηση νερού από τη ανακυκλωμένη άμμο ήταν υψηλότερη από εκείνη της λατομικής και τα υλικά εισήχθησαν στεγνά στο μίξερ. Οι συνθέσεις που περιέχουν ανακυκλωμένη άμμο έχουν μεγαλύτερη απαίτηση σε νερό, όπου όσο αυξάνεται το ποσοστό αντικατάστασης τόσο μεγαλώνει ο λόγος νερό προς τσιμέντο (Σχήμα 4.5.).

Η αναλογία νερού προς τσιμέντο κυμαίνεται από 0,5 στη σύνθεση Λ έως 0,62 στη σύνθεση Α (Πίνακας 4.3.), ενώ ο διορθωμένος λόγος νερού προς τσιμέντο που προκύπτει αφαιρώντας τη διαφορά στο νερό που απορροφάται από την ανακυκλωμένη άμμο (υδατοαπορρόφηση) κυμαίνεται από 0,5 στη σύνθεση Λ έως 0,62 στη σύνθεση Α (Πίνακας 4.3.). Η υδατοαπορρόφηση της λατομικής άμμου υπολογίστηκε σε 1%, ενώ της ανακυκλωμένης άμμου σε 5.5%

Ο διορθωμένος λόγος νερού προς τσιμέντο υπολογίζεται από τη σχέση:

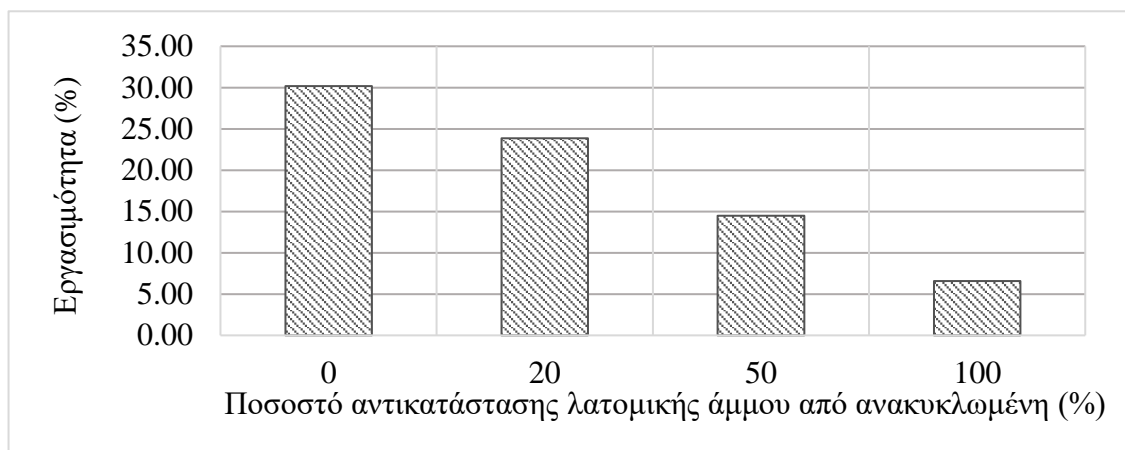
$$\text{Διορθωμένος λόγος νερό προς τσιμέντο (gr)} = \frac{m1 - m2}{b}$$

όπου:

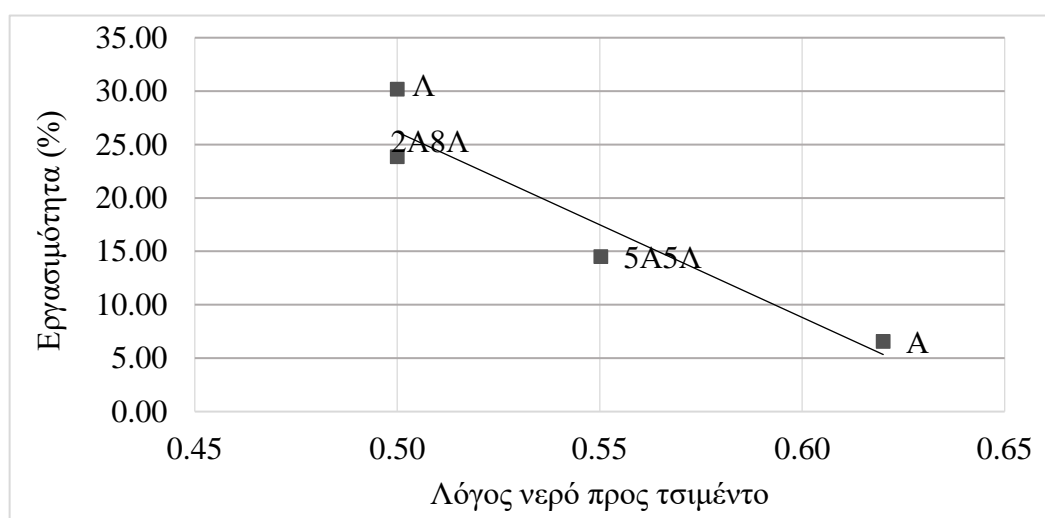
m1: συνολική ποσότητα νερού που χρησιμοποιήθηκε κατά τη παραγωγή κονιάματος

m2: απορροφημένη ποσότητα νερού από το αδρανές (άμμος πρωτογενής ή ανακυκλωμένη)

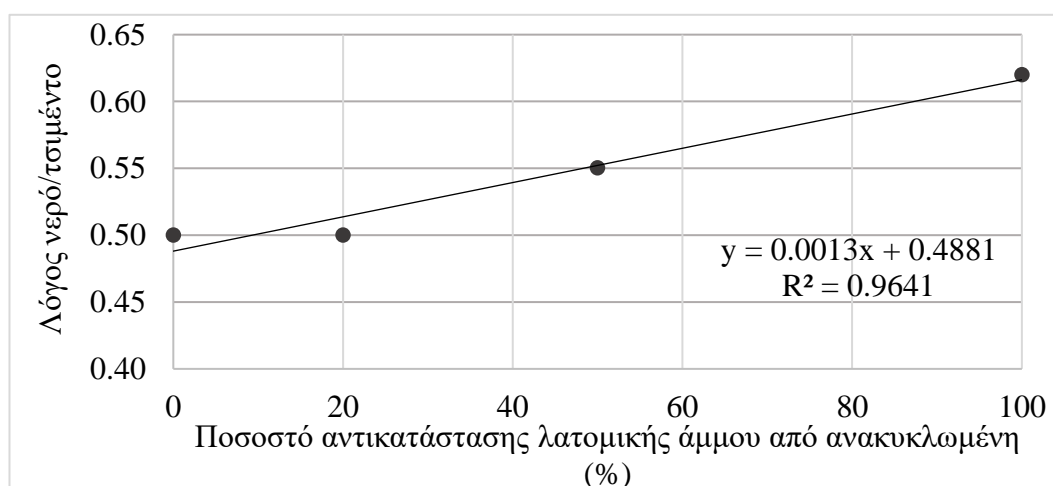
b: συνολική ποσότητα τσιμέντου κατά τη παραγωγή κονιάματος



Σχήμα 4.3. Διάγραμμα εργασιμότητας για κάθε σύνθεση κονιάματος.



Σχήμα 4.4. Διάγραμμα εργασιμότητας με λόγο νερό προς τσιμέντο για κάθε σύνθεση κονιάματος.



Σχήμα 4.5. Διάγραμμα λόγου νερού προς τσιμέντου για κάθε ποσοστό αντικατάστασης της λατομικής άμμου από την ανακυκλωμένη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΚΛΗΡΥΜΕΝΟΥ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ

Ο έλεγχος ποιότητας πραγματοποιήθηκε και στο σκληρυμένο κονίαμα. Μετά τις διαδικασίες παραγωγής και ωρίμανσης, τα δείγματα ελέγχθηκαν σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα (EN) για τη συρρίκνωση, την αντοχή τους σε μονοαξονική θλίψη και κάμψη.

5.1 Συρρίκνωση-Συστολή ξήρανσης

Η συστολή ξήρανσης (συρρίκνωση) εξετάστηκε και στις 5 συστάσεις κονιαμάτων ανά 7 ημέρες. Τα δοκίμια μετρήθηκαν μετά από διάφορες περιόδους σκλήρυνσης (7, 14, 21 και 28 ημέρες), με αρχική μέτρηση την 7η μέρα ωρίμανσης. Σε κάθε μέτρηση τα δοκίμια παραμένουν 6 ημέρες στον θάλαμο ωρίμανσης για ένα 24ωρο σε θερμοκρασία δωματίου και την επόμενη μέρα πραγματοποιείται η μέτρηση της συρρίκνωσης. Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιήθηκε συσκευή Matest E077 KIT (length comparator) (Σχήμα 5.1.) σύμφωνα με το πρότυπο EN 12617-4. Κατά τη μέτρηση, πρώτα μετريέται η ράβδος αναφοράς από Invar και έπειτα το αντίστοιχο δοκίμιο. Η ράβδος από Invar θεωρείται ότι έχει εξαιρετικά μικρό συντελεστή θερμικής διαστολής (πρακτικά μηδέν) και οι μετρήσεις της χρησιμοποιούνται για να διορθώνονται οι μετρήσεις συρρίκνωσης των δοκιμίων ως προς τις θερμοκρασιακές μεταβολές του περιβάλλοντος του εργαστηρίου. Η συρρίκνωση των δοκιμίων υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$\text{Συρρίκνωση}(\%) = \frac{\Delta L - \Delta \rho}{G} \times 100,$$

όπου:

ΔL : η διαφορά της συρρίκνωσης του δοκιμίου την i ημέρα με τη συρρίκνωση του δοκιμίου την πρώτη ημέρα μέτρησης (7η μέρα ωρίμανσης δοκιμίου),

$\Delta \rho$: η διαφορά της μέτρησης της ράβδου αναφοράς μεταξύ της πρώτης ημέρας μέτρησης (7^η μέρα ωρίμανσης δοκιμίου) και της i ημέρας,

G : μήκος ράβδου (160 mm).

Στον πίνακα 5.1. φαίνονται οι μετρήσεις της ράβδου αναφοράς και των δοκιμίων όλων των συνθέσεων και τα αποτελέσματα συρρίκνωσης για κάθε σύνθεση. Στο σχήμα 5.2. απεικονίζεται η εξέλιξη της συστολής ξήρανσης για κάθε σύσταση κονιάματος.



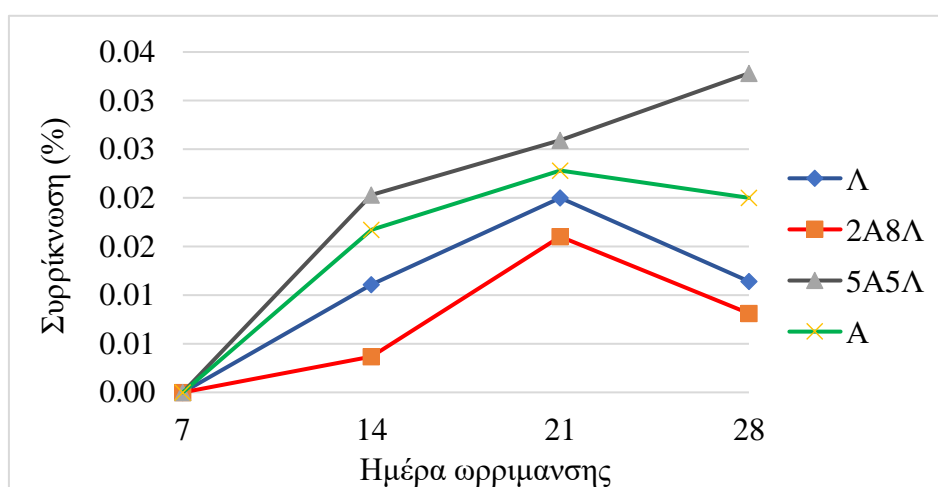
Σχήμα 5.1. Συσκευή μέτρησης της συρρίκνωσης Matest E077.

Πίνακας 5.1 Αποτελέσματα μετρήσεων συρρίκνωσης ανά 7 ημέρες για όλες τις συνθέσεις σε σύγκριση με την ημέρα αναφοράς (7η μέρα).

Σύνθεση	14η μέρα			21η μέρα			28η μέρα		
	ΔL (mm)	$\Delta \rho$ (mm)	Συρρί- κνωση (%)	ΔL (mm)	$\Delta \rho$ (mm)	Συρρί- κνωση (%)	ΔL (mm)	$\Delta \rho$ (mm)	Συρρί- κνωση (%)
Λ	0,018	0,006	0,011	0,032	0,020	0,020	0,018	0,017	0,011
2A8Λ	0,006	0,004	0,004	0,026	0,011	0,016	0,013	0,024	0,008
5A5Λ	0,033	0,008	0,020	0,042	0,013	0,026	0,053	0,013	0,033
A	0,027	0,014	0,017	0,036	0,011	0,023	0,032	0,016	0,020

Πίνακας 5.2. Αποτελέσματα μετρήσεων συρρίκνωσης (%) ανά 7 ημέρες για όλες τις συνθέσεις σε σύγκριση με την ημέρα αναφοράς (7η μέρα).

Σύνθεση	14η μέρα	21η μέρα	28η μέρα
Λ	0,011	0,020	0,011
2A8Λ	0,004	0,016	0,008
5A5Λ	0,020	0,026	0,033
A	0,017	0,023	0,020



Σχήμα 5.2. Μεταβολή της συρρίκνωσης σε σχέση με το χρόνο ωρίμανσης για τις συνθέσεις των κονιαμάτων.

Από το Σχήμα 5.2. παρατηρείται ότι μετά την 21^η μέρα ωρίμανσης, η συρρίκνωση των κονιαμάτων δείχνει να σταθεροποιείται. Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί πως όσο αυξάνεται το ποσοστό αντικατάστασης, τόσο αυξάνεται η συρρίκνωση των κονιαμάτων. Συγκρίνοντας το κονίαμα με μικρό ποσοστό αντικατάστασης με το κονίαμα αναφοράς, δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά στη συρρίκνωση, που οφείλεται στη μικρή επιπλέον απορρόφηση νερού. Επιπλέον, δεν παρατηρήθηκαν μακρό ή μικρό ρωγμές στη δομή κονιάματος κατά τη διάρκεια της ανάλυσης αλλαγής μήκους.

5.2. Μηχανικές ιδιότητες δοκιμίων κονιάματος

Έπειτα από τη παραμονή των δοκιμίων κονιάματος στον θάλαμο ωρίμανσης, μετρήθηκε την 7η και την 28η μέρα η αντοχή των δοκιμίων σε μονοαξονική θλίψη και κάμψη τριών σημείων. Η αντοχή που υπολογίστηκε την 7η μέρα θεωρήθηκε ως πρόιμη

αντοχή, ενώ η αντοχή της 28η μέρας ως τελική αντοχή. Η μέτρηση αντοχής εφαρμόστηκε σε 2 δοκίμια κάθε σύστασης, τα οποία αφαιρούνται από τον θάλαμο ωρίμανσης μία μέρα πριν την μέτρηση και παρέμεναν σε συνθήκες περιβάλλοντος στο χώρο του εργαστηρίου. Την ημέρα μέτρησης αντοχής, καταγράφεται το βάρος και οι διαστάσεις του δοκιμίου και ακολουθεί η δοκιμή προσδιορισμού της αντοχής σε κάμψη και σε θλίψη.

Η διαδικασία της δοκιμής αντοχής πραγματοποιήθηκε με πρέσα διπλής κλίμακας επιβολής μέγιστου φορτίου (500kN ή 15 kN) σύμφωνα με το Πρότυπο EN 196-1. Είναι τύπου Matest E161-03N και διαθέτει με μονάδα ελέγχου επιβολής φορτίου τύπου Servo-Plus με εισαγωγή των δεδομένων μέσω οθόνης αφής. Με τη χρήση των κατάλληλων κελιών φόρτισης μπορεί να πραγματοποιηθεί δοκιμή κάμψης τριών σημείων και δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης. Τα δοκίμια που χρησιμοποιούνται για τη δοκιμή κάμψης είναι διαστάσεων 40x40x160 mm. Τα δοκίμια που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της αντοχής σε θλίψη είναι τα δύο τμήματα του δοκιμίου που προέκυψαν από την αντοχή σε κάμψη (EN 196-1).

5.2.1. Αντοχή σε κάμψη τριών σημείων

Στη δοκιμή αντοχής σε κάμψη χρησιμοποιείται συσκευή που εφαρμόζει φορτία 10 kN με ακρίβεια καταγραφόμενου φορτίου $\pm 1\%$ και ρυθμό φόρτισης $50 \pm 10 \text{ N/s}$. Το κελί φόρτισης (Σχήμα 5.3.) της μηχανής E161-03N που χρησιμοποιείται στη κάμψη, έχει δύο χαλύβδινους κυλίνδρους διαμέτρου $10 \pm 0,5 \text{ mm}$ για την έδραση του πρισματικού δοκιμίου με απόσταση μεταξύ τους $100 \pm 0,5 \text{ mm}$. Στο μέσο της απόστασης των δύο κυλίνδρων υπάρχει και τρίτος κύλινδρος, ίδιας διαμέτρου, που εφαρμόζει το φορτίο (δοκιμή κάμψης τριών σημείων). Η μελέτη αντοχής σε κάμψη πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το πρότυπο EN 196-1.

Τοποθετείται το δοκίμιο στο κελί της συσκευής και εφαρμόζεται κατακόρυφο φορτίο αυξάνοντας γραμμικά με ρυθμό $50 \pm 10 \text{ N/s}$ μέχρι τη θραύση. Η αντοχή σε κάμψη των δοκιμίων υπολογίζεται από τη σχέση:

$$F_s = \frac{1,5 \times F_f \times l}{b^3}$$

όπου :

Fs: η αντοχή σε κάμψη (MPa),

b: η πλευρά της τετραγωνικής διατομής του πρίσματος (mm),

F_f : το φορτίο που εφαρμόζεται στο μέσο του πρίσματος κατά τη θραύση (N),

l: η απόσταση μεταξύ των στηριγμάτων (mm).

Για τις δοκιμές αντοχής σε κάμψη, όπως και στις θλίψεις, ελέγχθηκαν 4 δοκίμια από κάθε σύσταση. Για την πρώτη αντοχή δοκιμάστηκαν 2 δοκίμια κονιάματος και 2 δοκίμια για την τελική αντοχή (Πίνακας 5.3., Πίνακας 5.4. και Σχήμα 5.4.). Στον πίνακα 5.5. αναγράφονται τα τελικά αποτελέσματα αντοχής σε κάμψη για όλες τις συνθέσεις.



Σχήμα 5.3. (Αριστερά) Μηχανή δοκιμής σε κάμψη-θλίψη διπλής κλίμακας τύπου E161-03N (Servo-plus evolution 500/15 kN) της Matest. (Δεξιά) Κελί φόρτισης για δοκιμή σε κάμψη πρισματικών δοκιμίων 40x40x160mm. (www.matest.com)

Πίνακας 5.3. Αποτελέσματα πρώιμης αντοχής σε κάμψη για όλες τις συνθέσεις.

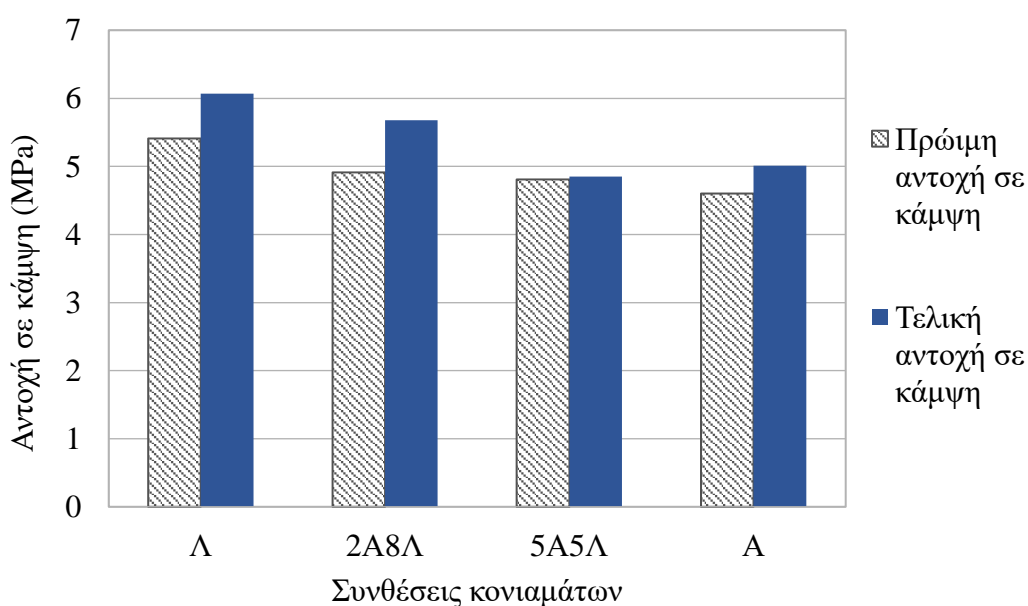
Σύνθεση	Αριθμός δοκιμίου	Ύψος (mm)	Πλάτος (mm)	Μέγιστο φορτίο F(N)	l	Αντοχή σε κάμψη (MPa)	Μέση αντοχή σε κάμψη (MPa)
Λ	Δοκίμιο 1	40,00	39,97	2172,00	100,00	5,09	5,41
	Δοκίμιο 2	40,00	40,00	2443,00	100,00	5,73	
2A8Λ	Δοκίμιο 1	40,00	39,53	2070,00	100,00	4,91	4,91
	Δοκίμιο 2	40,00	39,33	2059,00	100,00	4,91	
5A5Λ	Δοκίμιο 1	40,00	40,00	2034,00	100,00	4,77	4,81
	Δοκίμιο 2	40,00	40,00	2067,00	100,00	4,84	
Α	Δοκίμιο 1	40,00	39,37	1993,00	100,00	4,60	4,60
	Δοκίμιο 2	40,00	38,63	1895,00	100,00	4,60	

Πίνακας 5.4. Αποτελέσματα τελικής αντοχής σε κάμψη για όλες τις συνθέσεις.

Σύνθεση	Αριθμός δοκιμίου	Ύψος (mm)	Πλάτος (mm)	Μέγιστο φορτίο F(N)	l	Αντοχή σε κάμψη (MPa)	Μέση αντοχή σε θλίψη (MPa)
Λ	Δοκίμιο 1	40,00	40,03	2522,00	100,00	5,91	6,07
	Δοκίμιο 2	40,00	39,60	2631,00	100,00	6,23	
2A8Λ	Δοκίμιο 1	40,00	40,00	2330,00	100,00	5,46	5,68
	Δοκίμιο 2	40,00	40,00	2517,00	100,00	5,90	
5A5Λ	Δοκίμιο 1	40,00	40,00	1786,00	100,00	4,19	4,85
	Δοκίμιο 2	40,00	38,37	2258,00	100,00	5,52	
Α	Δοκίμιο 1	40,00	39,60	2118,00	100,00	5,01	5,01
	Δοκίμιο 2	40,00	39,10	2090,00	100,00	5,01	

Πίνακας 5.5. Τελικά αποτελέσματα αντοχής σε κάμψη για όλες τις συνθέσεις (Λ, 2Α8Λ, 5Α5Λ, Α).

Σύνθεση	Πρώιμη αντοχή σε κάμψη (MPa) (7η μέρα)	Τελική αντοχή σε κάμψη (MPa) (28η μέρα)	Διαφορά (%) πρώιμης αντοχής με κονίαμα αναφοράς (Λ)	Διαφορά (%) τελικής αντοχής με κονίαμα αναφοράς (Λ)
Λ	5,41	6,07	-	-
2Α8Λ	4,91	5,68	-9,30	-6,43
5Α5Λ	4,81	4,85	-11,09	-20,10
Α	4,60	5,01	-14,99	-17,46



Σχήμα 5.4. Διάγραμμα αντοχής σε κάμψη για όλες τις συστάσεις κονιαμάτων (Λ, 2Α8Λ, 5Α5Λ και Α).

5.2.1. Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη

Για την αντοχή σε θλίψη, η μηχανή περιλαμβάνει παράλληλες πλάκες φόρτισης για τη μεταφορά του φορτίου στο δοκίμιο και σφαιρική κεφαλή έδρασης στο πάνω μέρος του δοκιμίου. Από το ηλεκτρονικό σύστημα γίνεται επιβολή του φορτίου και καταγραφή

των δεδομένων και υπολογίζεται η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη από τη σχέση :

$$C_s = \frac{F_{max}}{A}$$

όπου:

C_s : η αντοχή σε θλίψη (MPa),

F_{max} : το μέγιστο φορτίο τη στιγμή της θραύσης (N),

A : η επιφάνεια της πλάκας φόρτισης (40x40 mm²).



Σχήμα 5.5. Κελί θλίψης για πρίσματα 40x40x160mm.

Στους πίνακες 5.6., 5.7. και 5.8. και στο Σχήμα 5.6. αναγράφονται τα αποτελέσματα αντοχής σε θλίψη για όλες τις συνθέσεις.

Πίνακας 5.6. Μετρήσεις πρώιμης αντοχής σε θλίψη για όλες τις συνθέσεις.

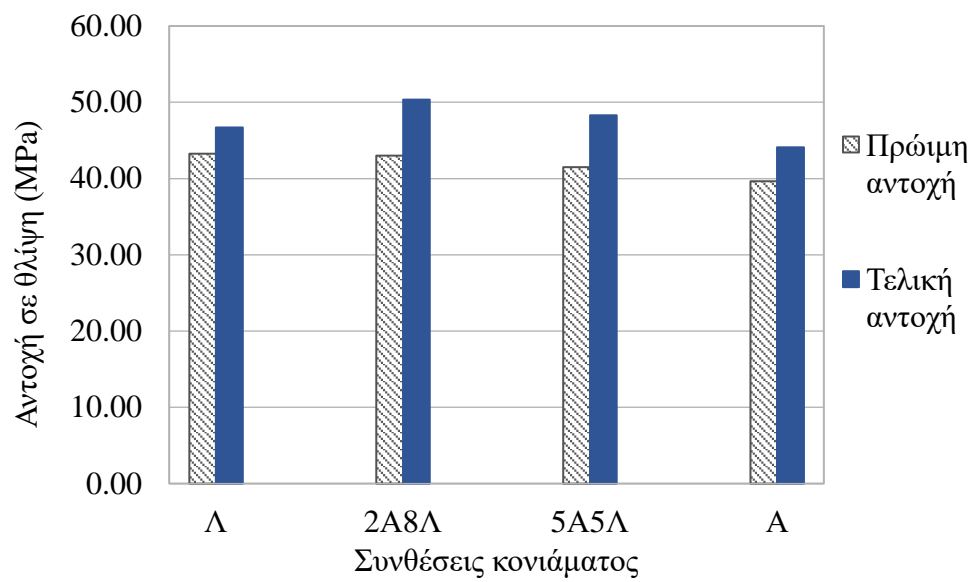
Σύνθεση	Αριθμός δοκιμίου	Ύψος (mm)	Πλάτος (mm)	Επιφάνεια (mm) ²	Μέγιστο φορτίο F(N)	Αντοχή σε θλίψη (MPa)	Μέση αντοχή σε θλίψη (MPa)
Λ	Δοκίμιο 1	39,97	40,00	1598,67	69599,00	43,54	43,25
	Δοκίμιο 2	40,00	40,00	1600,00	68740,00	42,96	
2Α8Λ	Δοκίμιο 1	39,53	40,00	1581,33	68550,00	43,35	43,01
	Δοκίμιο 2	39,33	40,00	1573,33	67148,00	42,68	
5Α5Λ	Δοκίμιο 1	40,00	40,00	1600,00	67159,00	41,97	41,49
	Δοκίμιο 2	40,00	40,00	1600,00	65593,00	41,00	
Α	Δοκίμιο 1	39,37	40,00	1574,67	62736,00	39,84	39,65
	Δοκίμιο 2	38,63	40,00	1545,33	60993,00	39,47	

Πίνακας 5.7. Μετρήσεις τελικής αντοχής σε θλίψη για όλες τις συνθέσεις.

Σύν- θεση	Αριθμός δοκίμιου	Ύψος (mm)	Πλάτος (mm)	Επιφάνεια (mm) ²	Μέγιστο φορτίο F(N)	Αντοχή σε θλίψη (MPa)	Μέση αντοχή σε θλίψη (MPa)
Λ	Δοκίμιο 1	40,00	40,00	1600,00	74361,00	46,48	46,70
	Δοκίμιο 2	39,60	40,00	1584,00	74336,00	46,93	
2A8Λ	Δοκίμιο 1	40,00	40,00	1600,00	78556,00	49,10	50,35
	Δοκίμιο 2	40,00	40,00	1600,00	82549,00	51,59	
5A5Λ	Δοκίμιο 1	39,98	40,00	1599,00	78783,00	49,27	48,30
	Δοκίμιο 2	38,43	40,00	1537,00	72756,00	47,34	
Α	Δοκίμιο 1	39,60	40,00	1584,00	71606,00	45,21	44,09
	Δοκίμιο 2	39,10	40,00	1564,00	67196,00	42,96	

Πίνακας 5.8. Σύγκριση αντοχής σε μονοαξονική θλίψη με το δοκίμιο αναφοράς.

Σύνθεση	Πρώιμη αντοχή σε θλίψη (MPa) (7 ^η μέρα)	Τελική αντοχή σε θλίψη (MPa) (28 ^η μέρα)	Διαφορά (%) πρώιμης αντοχής με κονίαμα αναφοράς (Λ)	Διαφορά (%) τελικής αντοχής με κονίαμα αναφοράς (Λ)
Λ	43,25	46,70	-	-
2A8Λ	43,01	50,35	-0,55	7,82
5A5Λ	41,49	48,30	-4,07	3,43
Α	39,65	44,09	-8,32	-5,59



Σχήμα 5.6. Διάγραμμα αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για κάθε σύνθεση κονιάματος (Λ, 2Α8Λ, 5Α5Λ, Α).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

6.1. Επίδραση του ποσοστού αντικατάστασης στις ιδιότητες των κονιαμάτων

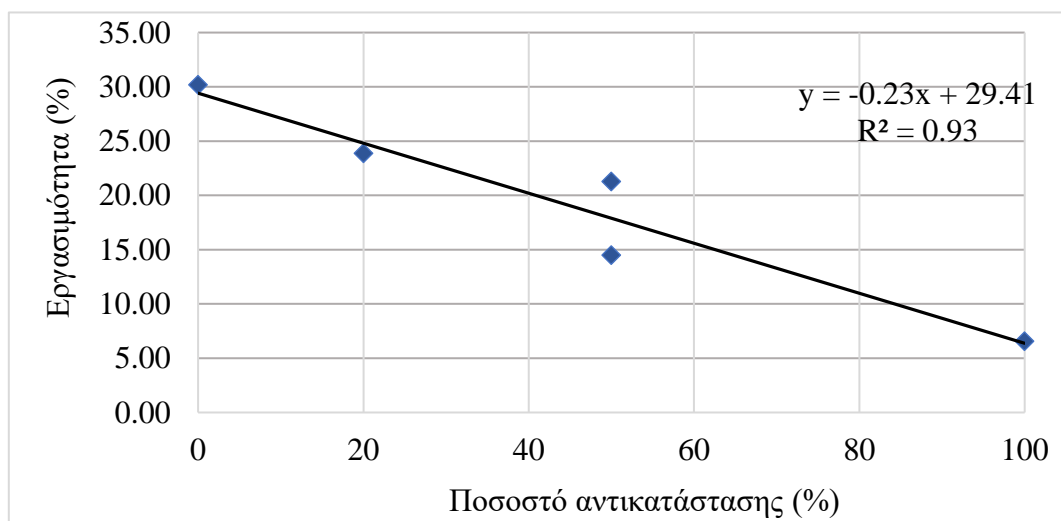
Στο Σχήμα 6.1. παρουσιάζονται οι μετρήσεις της εργασιμότητας προς κάθε ποσοστό αντικατάστασης της λατομικής άμμου. Ενώ στα Σχήματα 6.2 και 6.3. απεικονίζονται οι μεταβολές της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη και κάμψη ως προς το ποσοστό αντικατάστασης της λατομικής άμμου από ανακυκλωμένη. Τέλος, στα Σχήματα 6.4. και 6.5. δίνεται η συσχέτιση της πρώιμης και τελικής αντοχής σε μονοαξονική θλίψη με την αντοχή σε κάμψη.

Το ποσοστό αντικατάστασης έχει σημαντική επίδραση στην εργασιμότητα. Οι μέσες τιμές εργασιμότητας μειώνονται γραμμικά καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε ανακυκλωμένη άμμο. Με την αύξηση ποσοστού αντικατάστασης απαιτείται μεγαλύτερος λόγος νερό προς τσιμέντο για διατήρηση της εργασιμότητας. Αυτό συμβαίνει επειδή η ικανότητα απορρόφησης νερού της ανακυκλωμένης άμμου είναι υψηλότερη από αυτή της λατομικής.

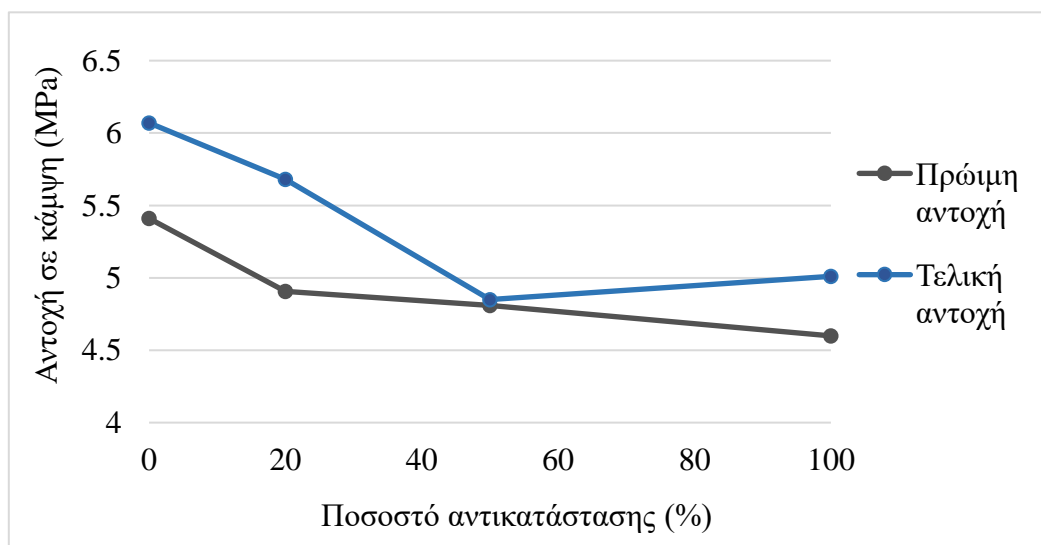
Όσον αφορά την αντοχή σε κάμψη για πρώιμη αντοχή παρατηρείται μείωση της αντοχής όσο αυξάνεται το ποσοστό αντικατάστασης. Ενώ για την τελική αντοχή, όσο αυξάνεται το ποσοστό αντικατάστασης η αντοχή μειώνεται μέχρι το ποσοστό αντικατάστασης 50% ενώ έπειτα σταθεροποιείται. Η μικρότερη αντοχή εμφανίζεται στο κονίαμα με το μεγαλύτερο ποσοστό αντικατάστασης (100%). Για την πρώιμη αντοχή (7η μέρα ωρίμανσης), η αντοχή σε κάμψη μειώνεται κατά 9-15%, ενώ για τελική αντοχή (28η μέρα ωρίμανσης) μειώνεται μεταξύ 6-17% (Πίνακας 5.5.).

Παρόμοια, το ποσοστό αντικατάστασης επηρεάζει την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη. Για την πρώιμη αντοχή παρατηρείται μείωση της αντοχής όσο αυξάνεται το ποσοστό αντικατάστασης, ενώ για την τελική αντοχή υπάρχει μία αύξηση της αντοχής σε ποσοστό υποκατάστασης 20% όπου ακολουθεί έπειτα μείωσή της όσο αυξάνεται το ποσοστό αντικατάστασης. Η κλίση της γραμμικής τάσης είναι ελαφρώς χαμηλότερη προς τις συνθέσεις με τα μεγαλύτερα ποσοστά αντικατάστασης. Μια μείωση 0,6-8% υπολογίζεται στη θλιπτική αντοχή μεταξύ του κονιάματος αναφοράς και των υπολοίπων συνθέσεων για την πρώιμη αντοχή. Για την τελική αντοχή, η αντοχή σε θλίψη αυξάνεται κατά 7-8% για τη σύνθεση με ποσοστό αντικατάστασης 20%, ενώ

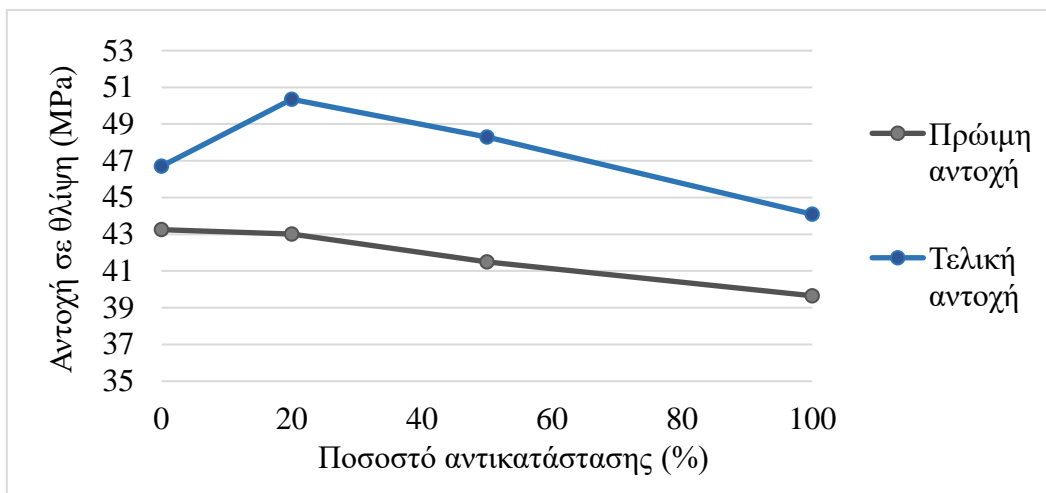
μειώνεται κατά 5-6% για ποσοστό αντικατάστασης 100% από ανακυκλωμένη άμμο (Πίνακας 5.8). Παρόλα αυτά δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές για την τελική αντοχή, ενώ στην πρώτη οι διαφορές είναι πιο μεγάλες.



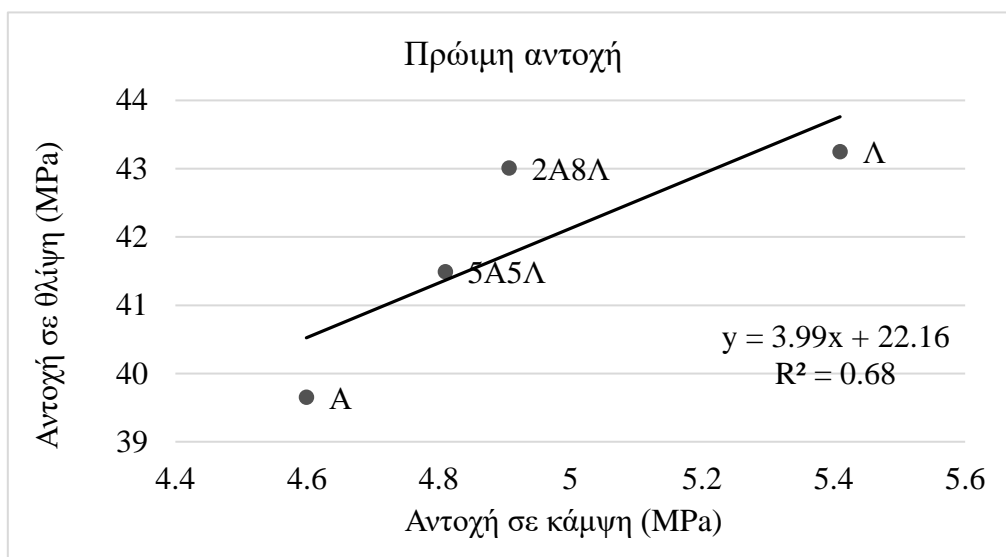
Σχήμα 6.1. Μεταβολή της εργασιμότητας σε σχέση με το ποσοστό αντικατάστασης της λατομικής άμμου.



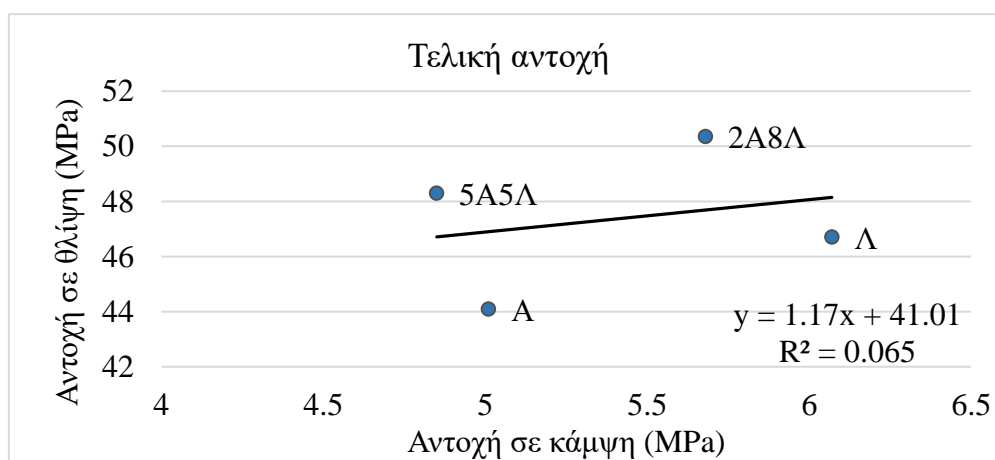
Σχήμα 6.2. Μεταβολή της αντοχής σε κάμψη σε σχέση με το ποσοστό αντικατάστασης της λατομικής άμμου.



Σχήμα 6.3. Μεταβολή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη σε σχέση με το ποσοστό αντικατάστασης της λατομικής άμμου.



Σχήμα 6.4. Πρώιμη αντοχή σε κάμψη και θλίψη για όλες τις συνθέσεις.

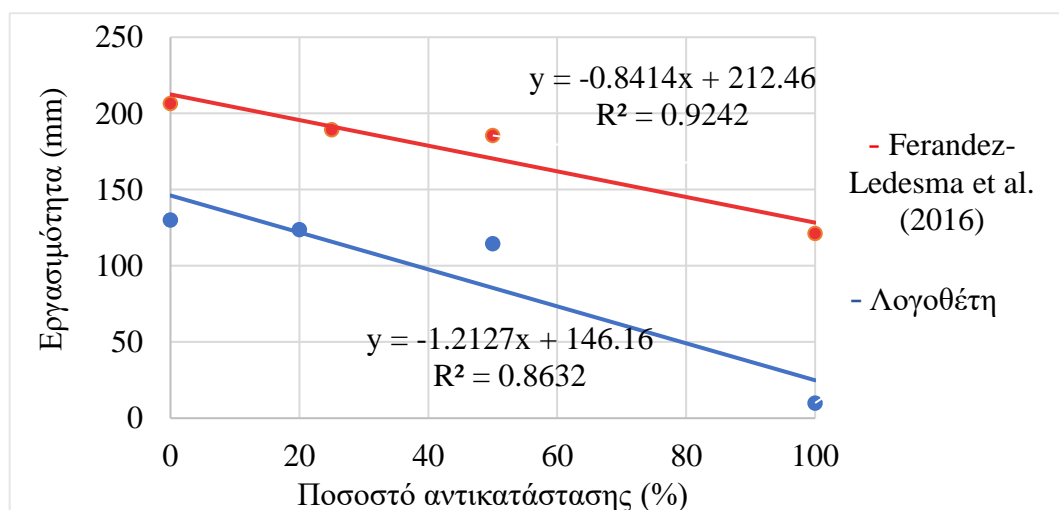


Σχήμα 6.5. Τελική αντοχή σε κάμψη και θλίψη για όλες τις συνθέσεις.

6.2. Σύγκριση με τα στοιχεία από τη βιβλιογραφία

6.2.1 Εργασιμότητα

Σύμφωνα με τον Fernández-Ledesma et al. (2016) παρουσιάζεται γραμμική μείωση των μετρήσεων μέσης τιμής εργασιμότητας για ποσοστό αντικατάστασης της άμμου 0%, 25%, 50% και 100% (Σχήμα 6.6.). Αυτό οφείλεται στη μεγαλύτερη απορρόφηση νερού της ανακυκλωμένης άμμου. Η μεταβολή της εργασιμότητας είναι σύμφωνη με τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Ο Fernández-Ledesma et al. (2016) προτείνει σύμφωνα με τα αποτελέσματα το μέγιστο ποσοστό αντικατάστασης να μην υπερβαίνει το 25% για την παραγωγή κονιάματος τοιχοποιίας για να διασφαλιστεί η σωστή απόδοση ως προς την εργασιμότητα. Οι υψηλότερες τιμές εργασιμότητας που αναφέρονται οφείλεται στο μεγαλύτερο λόγο νερό προς τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε και κυμαίνεται μεταξύ 0,78 και 0,97.



Σχήμα 6.6. Μεταβολή εργασιμότητας σε σχέση με το ποσοστό αντικατάστασης και σύγκριση αποτελεσμάτων εκείνα των Fernández-Ledesma et al. (2016).

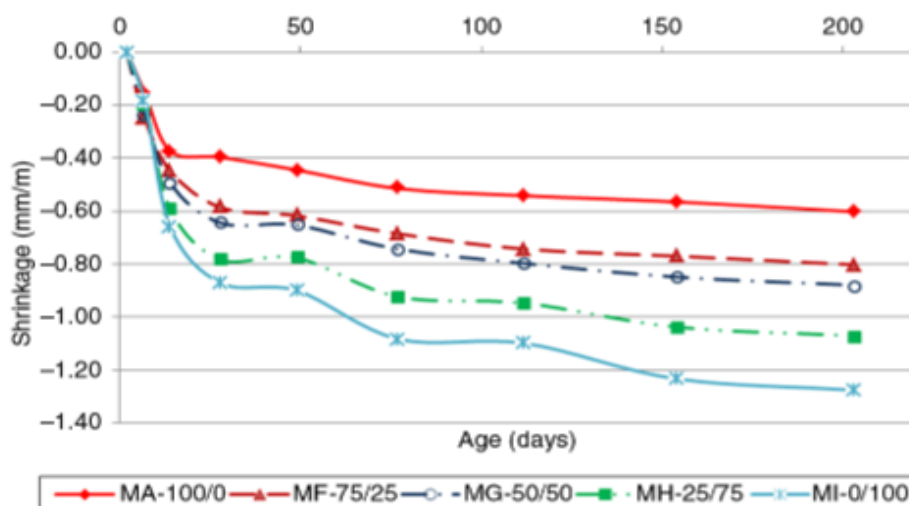
6.2.2 Συρρίκνωση

Στο Σχήμα 6.7. απεικονίζεται η συρρίκνωση κονιάματος που περιέχει 100% φυσική άμμο (MA), 75% φυσική και 25% ανακυκλωμένη (MF), 50% φυσική και 50% ανακυκλωμένη (MG), 25% φυσική και 75% ανακυκλωμένη (MH) και κονιάματος που έχει αντικατασταθεί η φυσική άμμο σε ποσοστό 100% από ανακυκλωμένη (MI) σύμφωνα με τον Fernández-Ledesma et al. (2016). Η συρρίκνωση της ξήρανσης του φυσικού και ανακυκλωμένου κονιάματος προσδιορίστηκε σε διάφορα χρονικά

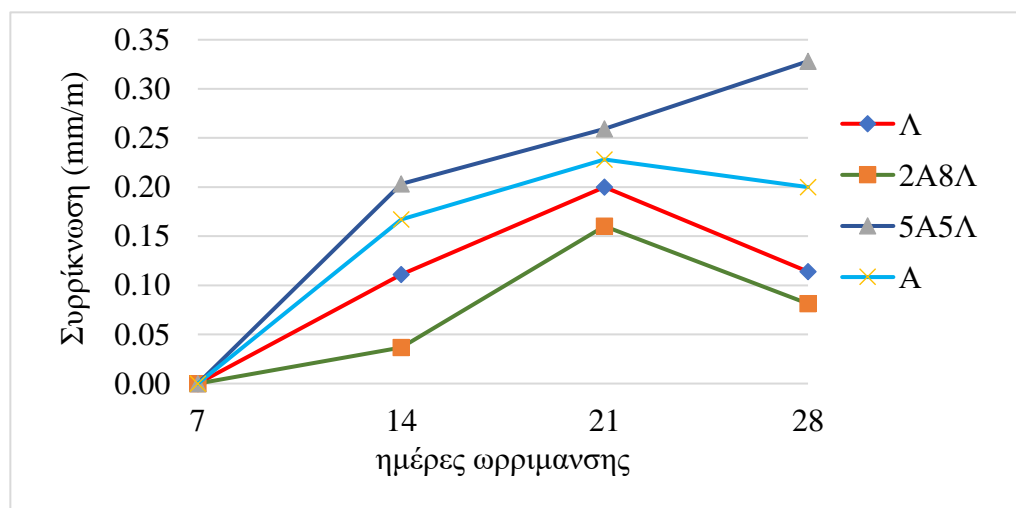
διαστήματα. Η μεταβολή της συρρίκνωσης είναι σημαντικά μικρότερη για το κονίαμα αναφοράς (MA) από εκείνη του κονιάματος που προέκυψε με χρήση ανακυκλωμένης άμμου σε ποσοστό 100% (MI). Ο Fernández-Ledesma et al. (2016) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το κονίαμα που περιέχει ανακυκλωμένη άμμο συρρικνώνεται πολύ περισσότερο από το κονίαμα αναφοράς. Αυτή η αύξηση της συρρίκνωσης μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι τα ανακυκλωμένα αδρανή περιέχουν πολύ πιο απορροφητικά και πορώδη σωματίδια από τη φυσική άμμο. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας δείχνουν ότι συμφωνούν με τα αποτελέσματα των Fernández-Ledesma et al. (2016) (Σχήμα 6.7. και 6.8.). Και στις δύο περιπτώσεις η συρρίκνωση μεταβάλλεται μέχρι την 21-28η μέρα και έπειτα σταθεροποιείται. Η μεταβολή της συρρίκνωσης στη ξένη βιβλιογραφία είναι μεγαλύτερη από ότι στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία που οφείλεται στην μεγαλύτερη υδαταπορρόφηση της ανακυκλωμένης άμμου που χρησιμοποίησε ο Fernández-Ledesma. Παρατηρώντας τον Πίνακα 6.1. ο λόγος νερού προς τσιμέντο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας μειώθηκε κατά 10-14% λόγω υδαταπορρόφησης της ανακυκλωμένης άμμου, ενώ ο λόγος νερού προς τσιμέντο των Fernández-Ledesma et al. (2016) μειώθηκε κατά 4-33%. Με άλλα λόγια η ανακυκλωμένη άμμος των Fernández-Ledesma et al. (2016) απορρόφησε μεγαλύτερη ποσοστό νερού που εξηγεί την μεγαλύτερη συρρίκνωση των κονιαμάτων τους.

Πίνακας 6.1. Λόγος νερό/τσιμέντο και διορθωμένος λόγος νερό/τσιμέντο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας και εκείνων των Fernández-Ledesma et al. (2016).

	Αποτελέσματα Λογοθέτη			Αποτελέσματα Fernández-Ledesma	
	Λόγος νερό/τσιμέντο	Διορθωμένος λόγος νερό/τσιμέντο		Λόγος νερό/τσιμέντο	Διορθωμένος λόγος νερό/τσιμέντο
Σύνθεση			Σύνθεση		
Λ	0,50	0,50	MA	0,78	0,75
2A8Λ	0,50	0,49	MF	0,83	0,72
5A5Λ	0,55	0,52	MG	0,87	0,69
A	0,62	0,53	MI	0,97	0,65



Σχήμα 6.7. Αποτελέσματα συρρίκνωση κονιάματος των Fernández-Ledesma et al. (2016) για ποσοστά αντικατάστασης 0%, 25%, 50%, 75% και 100%.

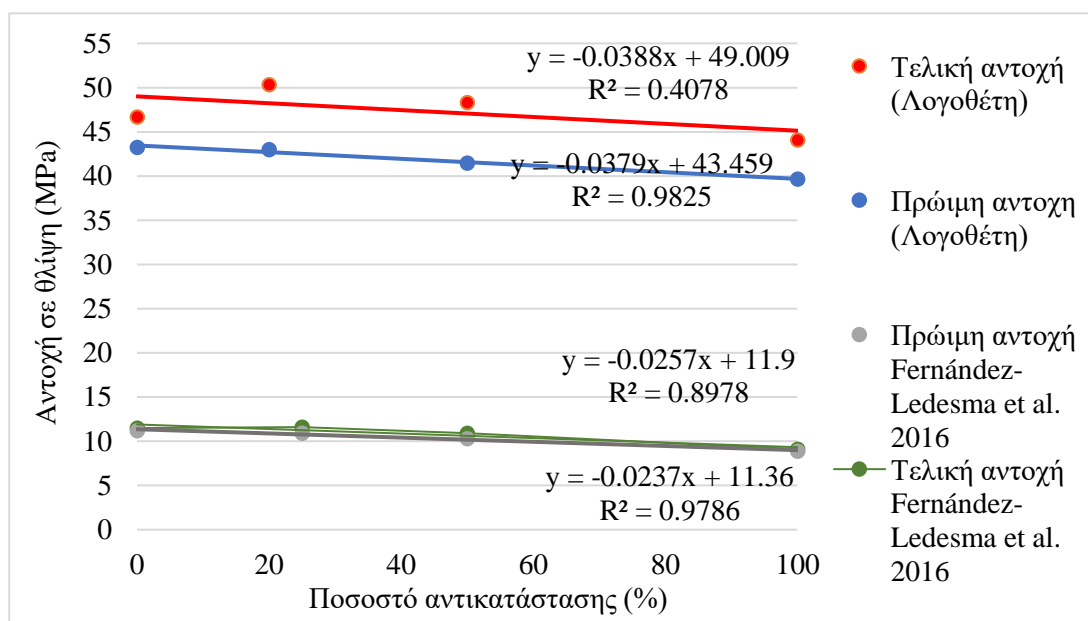


Σχήμα 6.8. Αποτελέσματα συρρίκνωσης συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

6.2.3. Αντοχή σε θλίψη

Ο Fernández-Ledesma et al. (2016) έδειξε ότι οι αναλογίες αντικατάστασης της φυσικής άμμου από λεπτόκοκκη ανακυκλωμένη άμμο έως και 40% δεν επηρέασαν τις μηχανικές ιδιότητες του κονιάματος. Παρόμοια με την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία φάνηκε ότι η μηχανική αντοχή μειώνεται στα κονιάματα όταν η φυσική άμμος αντικαθίσταται από ανακυκλωμένη (Σχήμα 6.9.). Όσον αφορά τη θλιπτική αντοχή προτείνεται μέγιστο ποσοστό αντικατάστασης 50% για την εξασφάλιση σωστής απόδοσης από τον Fernández-Ledesma. Στη συγκριμένη διπλωματική εργασία

χρησιμοποιήθηκε σταθερή αναλογία τσιμέντου προς άμμο 1:3, ενώ ο Fernández-Ledesma χρησιμοποίησε διαφορετική αναλογία τσιμέντου προς άμμο σε κάθε σύνθεση μεταξύ 1:5 και 1:4. Η μεγαλύτερη αναλογία σε ποσότητα τσιμέντου στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εξηγεί τις μεγαλύτερες τιμές στην αντοχή σε θλίψη και κάμψη που παρατηρήθηκαν. Επιπλέον, ο Fernández-Ledesma αύξανε τον λόγο τσιμέντου προς άμμο όσο αυξανόταν το ποσοστό αντικατάστασης της φυσικής άμμου από την ανακυκλωμένη και κρατώντας σταθερή την ποσότητα του τσιμέντου. Για παράδειγμα χρησιμοποιήθηκε αναλογία τσιμέντο/άμμο ίσο με 1:5 για τη σύνθεση κονιάματος που περιέχει 100% φυσική άμμο, ενώ για τη σύνθεση κονιάματος που περιέχει 100% ανακυκλωμένη άμμο η αναλογία τσιμέντο/άμμο ήταν 1:3. Με αυτό το τρόπο επιχειρείται να αποτραπεί μεγάλη μείωση της αντοχής σε κάμψη θλίψη.

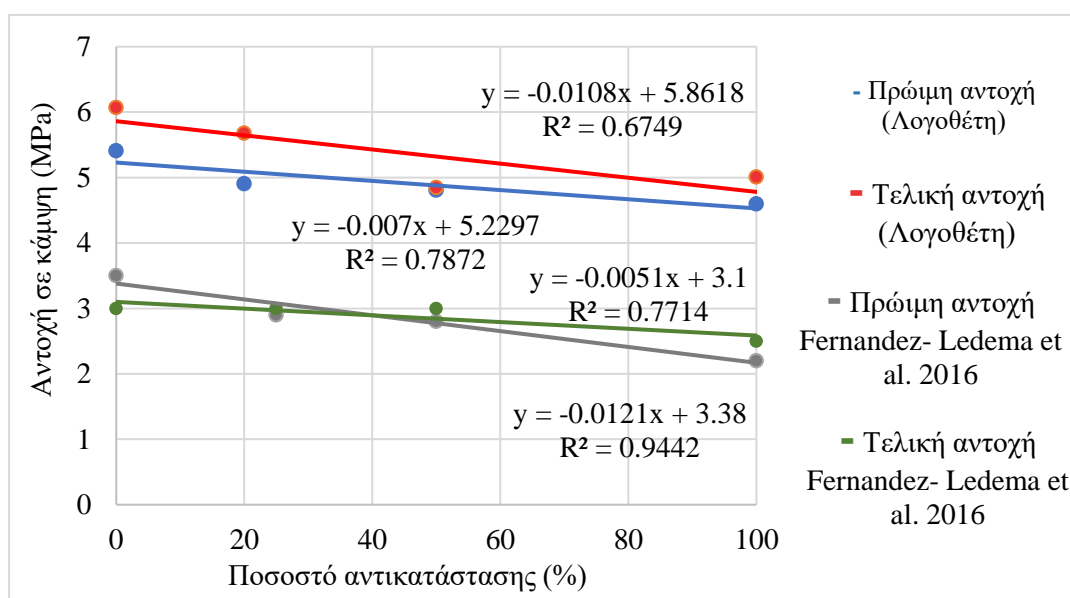


Σχήμα 6.9. Μεταβολή αντοχής σε μονοαξονική θλίψη σε σχέση με το ποσοστό αντικατάστασης και σύγκριση αποτελεσμάτων με του Fernández-Ledesma et al. (2016).

6.2.3. Αντοχή σε κάμψη

Ο παράγοντας «ποσοστό αντικατάστασης» έχει σημαντική επίδραση και στην αντοχή στην κάμψη σύμφωνα με τον Fernández-Ledesma et al. (2016). Στην 7η μέρα ωρίμανσης των δοκιμίων κονιάματος η αντοχή σε κάμψη, για ποσοστό αντικατάστασης 100% φυσικής άμμου από ανακυκλωμένη, μειώθηκε κατά 36%, σε σχέση με το κονίαμα αναφοράς, ενώ στις 180 μέρες η μείωση ήταν 28%. Η αντοχή στην κάμψη

μειώθηκε γραμμικά με την αύξηση του ποσοστού αντικατάστασης. Όπως παρατηρήθηκε για την αντοχή σε θλίψη, η πρώιμη αντοχή στην κάμψη επηρεάστηκε περισσότερο σε σύγκριση με την τελική αντοχή σε κάμψη. Επιπλέον η αντοχή σε θλίψη επηρεάστηκε περισσότερο από την αντοχή σε κάμψη με τη χρήση της ανακυκλωμένης άμμου. Το ίδιο συμβαίνει και στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, όπου η αντοχή σε κάμψη παρουσιάζει χαμηλότερη μείωση (0,6-8%) από την αντοχή στη θλίψη (6-17%). Τέλος, οι μεγαλύτερες τιμές της αντοχής σε κάμψη που παρατηρήθηκαν σε αυτή τη διπλωματικής εργασίας σε σύγκριση με του Fernández-Ledesma, όπως και στην θλίψη, οφείλονται στον μεγαλύτερο λόγο τσιμέντο/άμμο που χρησιμοποιήθηκε.



Σχήμα 6.10. Μεταβολή αντοχής σε κάμψη σε σχέση με το ποσοστό αντικατάστασης και σύγκριση αποτελεσμάτων με του Fernández-Ledesma et al. (2016).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

7.1 Συμπεράσματα

Στη διπλωματική αυτή εργασία αξιολογήθηκε η αντικατάσταση της λατομικής άμμου από ανακυκλωμένη άμμο για την παραγωγή τσιμεντοκονιαμάτων. Παρασκευάστηκαν πέντε συνθέσεις κονιαμάτων με διαφορετικά ποσοστά αντικατάστασης της λατομικής άμμου από ανακυκλωμένη 0%, 20%, 50% και 100% κατά βάρος.

Η ανακυκλωμένη άμμος που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται κυρίως από ασβεστίτη (84,8%), χαλαζία (5,1%) και δολομίτη (10,1%).

Οι καμπύλες κοκκομετρικής διαβάθμισης της λατομικής και ανακυκλωμένης άμμου βρίσκονται εντός ορίων των περιοριστικών καμπυλών διαβάθμισης, που σημαίνει ότι καλύπτουν τις προδιαγραφές του προτύπου για τσιμεντοκονιάματα. Η ανακυκλωμένη όμως είναι σχετικά πιο αδρομερής εν συγκρίσει με το δείγμα της λατομικής άμμου που χρησιμοποιήθηκε.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα ελέγχου του νωπού κονιάματος, οι τιμές εργασιμότητας του μειώνονται όσο αυξάνεται το ποσοστό αντικατάστασης της λατομικής από την ανακυκλωμένη άμμο γεγονός που οφείλεται στη υψηλή απορρόφηση νερού της ανακυκλωμένης άμμο σε σύγκριση με τη λατομική. Οι συνθέσεις που περιέχουν ανακυκλωμένη άμμο έχουν μεγαλύτερη απαίτηση σε νερό και κατά συνέπεια αυξάνεται και ο λόγος νερό προς τσιμέντο στο κονίαμα. Η περιεκτικότητα σε νερό και ο χρόνος ανάμιξης επηρεάζουν την εργασιμότητα του κονιάματος και κατά συνέπεια ο καθορισμός της σωστής ποσότητας νερού κατά τη παρασκευή του κονιάματος είναι σημαντικός.

Η αύξηση του ποσοστού αντικατάστασης της λατομικής άμμου με ανακυκλωμένη οδηγεί σε αύξηση του λόγου νερό προς τσιμέντο (για την επίτευξη της απαιτούμενης εργασιμότητας) με αποτέλεσμα την αύξηση της συρρίκνωσης και τη μείωση των μηχανικών αντοχών. Η συρρίκνωση αυξάνεται μέχρι την 21^η μέρα ωρίμανσης, όπου μετά η τιμή της αρχίζει να σταθεροποιείται ενώ δεν εμφανίστηκαν ρωγμές συρρίκνωσης στα δοκίμια.

Για πρώιμη και τελική αντοχή σε κάμψη παρατηρείται μείωση της όσο αυξάνεται το ποσοστό αντικατάστασης. Όσο αυξάνεται το ποσοστό αντικατάστασης η τελική αντοχή μειώνεται μέχρι το ποσοστό αντικατάστασης 50% ενώ έπειτα σταθεροποιείται.

Η πρώιμη αντοχή σε κάμψη (7η μέρα ωρίμανσης) των δοκιμίων μειώθηκε κατά 9-15%, ενώ η τελική αντοχή (28η μέρα ωρίμανσης) μειώθηκε κατά 6-17%. Η μικρότερη τελική αντοχή σε κάμψη μετρήθηκε στο κονιάμα που έχει χρησιμοποιηθεί αποκλειστικά ανακυκλωμένη άμμος.

Για την πρώιμη αντοχή σε θλίψη παρατηρείται μείωση (1-8%) όσο αυξάνεται το ποσοστό αντικατάστασης, ενώ για την τελική αντοχή υπάρχει μία αύξηση της (7-8%) για ποσοστό υποκατάστασης έως 20% και ακολουθεί στη συνέχεια μείωσή της (5-6%) όσο αυξάνεται περαιτέρω το ποσοστό αντικατάστασης.

7.2. Προτάσεις

Η μεγαλύτερη απορρόφηση νερού της ανακυκλωμένης άμμου επηρεάζει σημαντικά τις ιδιότητες του κονιάματος. Μία εναλλακτική λύση για τη βελτίωση της εργασιμότητας του κονιάματος είναι ο προ-κορεσμός της ανακυκλωμένης άμμου ή και η χρήση χημικών πρόσθετων (υπερρευστοποιητές) που μπορούν να βελτιώσουν την εργασιμότητα χωρίς την προσθήκη επιπλέον νερού.

Προτείνεται λοιπόν να διερευνηθούν σε μελλοντικές εργασίες και οι παράγοντες αυτοί καθώς επίσης και η επίδραση της κοκκομετρικής κατανομής και της μορφολογίας των κόκκων που είναι γνωστό από την τεχνολογία του σκυροδέματος ότι επηρεάζουν την εργασιμότητα τους και τις ιδιότητες των σκληρυμένων προϊόντων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βίζμπα, Δ. (2021). Διαχείριση αποβλήτων εκσκαφών και κατασκευών (ΑΕΚΚ) στα κατασκευαστικά έργα-Νομοθεσία-Συγκριτική μελέτη κόστους της μεθόδου της επιλεκτικής κατεδάφισης, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Θετικών Επιστημών Διαχείριση Τεχνικών Έργων, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

Δασκαλάκης Θ. (2019) Παραγωγή και έλεγχος ποιότητας αναβαθμισμένων αδρανών υλικών από απόβλητα εκσκαφών και κατεδαφίσεων, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Καμελίδης, Α. Φ. (2020). Ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση αποβλήτων εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Λεκατσά Α. (2018). Έτοιμα παραδοσιακά κονιάματα εμπορίου για αναστηλώσεις σε Ελλάδα και Ευρώπη, Ερευνητική Εργασία, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Ξενίδη Α. (2017). Χαρακτηρισμός και συντήρηση κονιαμάτων: εφαρμογή στο Φιρκά Χανίων, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Πατσουμαδάκης Ε., Κατσίμπρας Κ. (2018). Σύγκριση συνθέσεων ποζολανικών κονιαμάτων υπό την επιλεκτική εφαρμογή νανο-τιτανίας και μελέτη συμπεριφοράς τους ως συνδετικό υλικό σε τυπικά πρίσματα τοιχοποιίας, Ερευνητική Εργασία, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Πιπερίδη Χ. (2017). Εργαστηριακή διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης ανακυκλωμένων αδρανών υλικών για παραγωγή δομικών στοιχείων, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Σκορδύλης, Δ. Α., & ΓΕΔΣΑΠ, Π. (2008). Η Εναλλακτική Διαχείριση των Στερεών Αποβλήτων. Η κοινωνία της ανακύκλωσης–Παρόν και προοπτικές στην Ελλάδα.

Dapena, E., Alaejos, P., Lobet, A., & Pérez, D. (2011). Effect of recycled sand content on characteristics of mortars and concretes. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(4), 414-422.

European Commission (2015) Construction and Demolition Waste management in Greece <https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycli...>

Fatta, D., Papadopoulos, A., Avramikos, E., Sgourou, E., Moustakas, K., Kourmoussis, F. & Loizidou, M. (2003). Generation and management of construction and demolition waste in Greece—an existing challenge. *Resources, Conservation and Recycling*, 40(1), 81-91.

Ledesma, E. F., Jiménez, J. R., Ayuso, J., Corinaldesi, V., & Godino, F. I. (2016). A proposal for the maximum use of recycled concrete sand in masonry mortar design. *Materiales de construcción*, (321), 3.

Gomes, R. I., Farinha, C. B., Veiga, R., de Brito, J., Faria, P., & Bastos, D. (2021). CO₂ sequestration by construction and demolition waste aggregates and effect on mortars and concrete performance-An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 152, 111668-111679.

Kabirifar, K., Mojtahedi, M., Wang, C., & Tam, V. W. (2020). Construction and demolition waste management contributing factors coupled with reduce, reuse, and recycle strategies for effective waste management: A review. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121265-121277.

Ledesma, E. F., Jiménez, J. R., Fernández, J. M., Galvín, A. P., Agrela, F., & Barbudo, A. (2014). Properties of masonry mortars manufactured with fine recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*, 71, 289-29

Menegaki, M., & Damigos, D. (2018). A review on current situation and challenges of construction and demolition waste management. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 8-15.

Neno, C., Brito, J. D., & Veiga, R. (2014). Using fine recycled concrete aggregate for mortar production. *Materials research*, 17(1), 168-177.

Lima, P., & Leite, M. (2012). Influence of CDW recycled aggregate on drying shrinkage of mortar. *Open Journal of Civil Engineering*, 2(2), 53-57. doi: 10.4236/ojce.2012.22009

Reddy, B. V., & Gupta, A. (2008). Influence of sand grading on the characteristics of mortars and soil–cement block masonry. *Construction and Building Materials*, 22(8), 1614-1623.

Reis, G., Quattrone, M., Ambrós, W. M., Grigore Cazacliu, B., & Hoffmann Sampaio, C. (2021). Current Applications of Recycled Aggregates from Construction and Demolition: A Review. *Materials* 2021, 14, 1700-1721.

Silva, R. V., De Brito, J., & Dhir, R. K. (2016). Performance of cementitious renderings and masonry mortars containing recycled aggregates from construction and demolition wastes. *Construction and Building Materials*, 105, 400-415.

Simoes Dos Reis, G., Quattrone, M., Monteiro Ambrós, W., Cazacliu, B. G., & Hoffmann Sampaio, C. (2021). Current Applications of Recycled Aggregates from Construction and Demolition: A Review. *Materials* 2021, 14, 1700-1721.

Ulsen, C., Antoniassi, J. L., Martins, I. M., & Kahn, H. (2021). High quality recycled sand from mixed CDW—is that possible?. *Journal of Materials Research and Technology*, 12, 29-42.

Vegas, I., Azkarate, I., Juarrero, A., & Frías, M. (2009). Design and performance of masonry mortars made with recycled concrete aggregates. *Materiales de Construcción*, 59 (295), 5-18.

Zhang, C., Hu, M., Di Maio, F., Sprecher, B., Yang, X., & Tukker, A. (2022). An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe. *Science of the Total Environment*, 803, 149892-149905.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

[ANAKEM A.E. – Ανακύκλωση AEKK Κεντρικής Μακεδονίας A.E. \(anakem.gr\)](http://anakem.gr) (πρόσβαση στις 5 Φεβρουαρίου 2022)

[Απόβλητα Εκσκαφών Κατασκευών & Κατεδαφίσεων \(AEKK\) – EOAN](http://eoan.gr) (πρόσβαση στις 5 Φεβρουαρίου 2022)

[Μονάδες Ανακύκλωσης AEKK | ANABE](http://anabe.gr) (πρόσβαση στις 5 Φεβρουαρίου 2022)

[Material testing equipment | Matest](http://matest.com) (πρόσβαση στις 5 Φεβρουαρίου 2022)

[Lenght comparator \(matest.com\)](http://matest.com) (πρόσβαση στις 5 Φεβρουαρίου 2022)

[Servo-plus evolution 500/15 kN \(matest.com\)](http://matest.com) (πρόσβαση στις 5 Φεβρουαρίου 2022)

[Flexure devices for prisms \(matest.com\)](http://matest.com) (πρόσβαση στις 5 Φεβρουαρίου 2022)

[SandSust.pdf](#) (πρόσβαση στις 10 Μαΐου 2022)

[Statistics | Eurostat \(europa.eu\)](http://europa.eu) (πρόσβαση στις 23 Μαΐου 2022)

[Statistics | Eurostat \(europa.eu\)](http://europa.eu) (πρόσβαση στις 23 Μαΐου 2022)