



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ



ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΛΗΡΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥΣ ΣΕ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Ναταλίας Ι. Ρέτσα

Επιβλέπων:

Ευστράτιος Γ. Μπαδογιάννης | Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2021

ΕΟΣ ΔΕ 2021/04

Ρέτσα Ν. Ι. (2021).
Συγκριτική αξιολόγηση πληρωτικών υλικών κατά την εφαρμογή τους σε
αυτοσυμπυκνούμενα κονιάματα
Διπλωματική Εργασία ΕΟΣ ΔΕ 2021/04
Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Retsa N. I. (2021).
Comparative assessment of fillers when applied to self-compacting mortars
Diploma Thesis ΕΟΣ ΔΕ 2021/04
Laboratory of Reinforced Concrete, National Technical University of Athens, Greece

Πίνακας Περιεχομένων

| | |
|--|-----|
| Περίληψη..... | vi |
| Abstract..... | vii |
| 1 Εισαγωγή..... | 1 |
| 1.2 Πλεονεκτήματα εφαρμογής ΑΣΣ και ΑΣΚ..... | 1 |
| 1.3 Προβληματισμοί εφαρμογής ΑΣΣ και ΑΣΚ..... | 2 |
| 2 ΑΣΣ και ΑΣΚ – Βιβλιογραφική ανασκόπηση..... | 3 |
| 2.1 Ιστορική αναδρομή ΑΣΣ..... | 3 |
| 2.2 Εφαρμογές ΑΣΣ και ΑΣΚ..... | 4 |
| 2.3 Ρεολογικές ιδιότητες ΑΣΣ – Μοντέλο Bingham..... | 7 |
| 2.3.1 Ικανότητα πλήρωσης..... | 7 |
| 2.3.2 Ικανότητα διέλευσης..... | 7 |
| 2.3.3 Σταθερότητα - Αντίσταση έναντι διαχωρισμού ή απόμιξης..... | 7 |
| 2.3.4 Μοντέλο Bingham..... | 7 |
| 2.3.5 Ο ρόλος των πληρωτικών υλικών στη ρεολογία του ΑΣΣ και ΑΣΚ και παρουσίαση των βασικότερων..... | 8 |
| 2.3.6 Ο ρόλος των χημικών πρόσμικτων στο ΑΣΣ και ΑΣΚ και παρουσίαση των βασικότερων..... | 11 |
| 2.4 Δοκιμές και χαρακτηρισμός ιδιοτήτων ΑΣΣ και ΑΣΚ..... | 12 |
| 2.4.1 Δοκιμή εξάπλωσης ΑΣΣ (Slump flow test)..... | 13 |
| 2.4.2 Δοκιμή εξάπλωσης ΑΣΚ (Mini slump flow test)..... | 14 |
| 2.4.3 Δοκιμή χρόνου εξάπλωσης t_{500} ΑΣΣ..... | 14 |
| 2.4.4 Δοκιμή χρόνου εξάπλωσης t_{20} ΑΣΚ..... | 14 |
| 2.4.5 Δοκιμή χοάνης ΑΣΣ (V-funnel test)..... | 14 |
| 2.4.6 Δοκιμή χοάνης ΑΣΚ (Mini V-funnel test)..... | 15 |
| 2.4.7 Δοκιμή δοχείου L ΑΣΣ (L-box test)..... | 16 |
| 2.4.8 Δοκιμή δοχείου U ΑΣΣ (U-box test)..... | 16 |
| 2.4.9 Δοκιμή δακτυλίου J ΑΣΣ (J-ring test)..... | 17 |
| 2.4.10 Δοκιμή σταθερότητας μέσω κοσκίνησης ΑΣΣ (Screen stability test)..... | 18 |
| 3 Μελέτη σύνθεσης ΑΣΣ και ΑΣΚ – Βιβλιογραφική ανασκόπηση..... | 20 |
| 3.1 Εισαγωγή..... | 20 |
| 3.2 Τρέχουσα ερευνητική δραστηριότητα..... | 20 |
| 4 Πειραματικό μέρος..... | 23 |
| 4.1 Υλικά..... | 23 |
| 4.1.1 Λεπτόκοκκα πληρωτικά υλικά..... | 23 |
| 4.1.2 Χημικά πρόσμικτα..... | 24 |
| 4.1.3 Τσιμέντο..... | 25 |
| 4.1.4 Αδρανή υλικά..... | 26 |
| 4.1.5 Νερό..... | 27 |
| 4.2 Συνθέσεις κονιαμάτων..... | 27 |
| 4.3 Πειραματικές μέθοδοι και διαδικασίες..... | 29 |
| 4.3.1 Μέθοδοι χαρακτηρισμού λεπτόκοκκων πληρωτικών υλικών..... | 29 |
| 4.3.2 Μέθοδοι χαρακτηρισμού νωπού κονιάματος..... | 30 |
| 4.3.3 Μέθοδοι χαρακτηρισμού σκληρυμένου κονιάματος..... | 33 |
| 5 Αποτελέσματα και συζήτηση..... | 35 |
| 5.1 Χαρακτηρισμός λεπτόκοκκων πληρωτικών υλικών..... | 35 |

| | |
|---|----|
| 5.1.1 Φαινόμενη πυκνότητα | 35 |
| 5.1.2 Μέγεθος σωματιδίων..... | 35 |
| 5.2 Χαρακτηρισμός νωπού κονιάματος..... | 36 |
| 5.2.1 Ρεολογικές ιδιότητες | 36 |
| 5.2.2 Πυκνότητα και περιεκτικότητα σε αέρα του νωπού κονιάματος | 42 |
| 5.3 Χαρακτηρισμός σκληρυμένου κονιάματος | 42 |
| 5.3.1 Αντοχή σε κάμψη | 42 |
| 5.3.2 Αντοχή σε θλίψη | 44 |
| 5.3.3 Περιεκτικότητα σε αέρα του σκληρυμένου κονιάματος..... | 45 |
| 6 Προκαταρκτική οικονομικοτεχνική αξιολόγηση | 48 |
| 7 Συμπεράσματα | 50 |
| Βιβλιογραφία..... | 51 |
| Παράρτημα Α. Αποτελέσματα μέτρησης σωματιδίων με τη μέθοδο περίθλασης λέιζερ... | 54 |
| Παράρτημα Β. Φωτογραφίες δοκιμίων πριν και μετά την επεξεργασία τους..... | 60 |
| Παράρτημα Γ. Βήματα επεξεργασίας φωτογραφιών | 66 |
| Παράρτημα Δ. Τεχνικά φυλλάδια υλικών..... | 72 |

Πίνακας Εικόνων

| | |
|--|----|
| Εικόνα 2.1: Εργοταξιακή διάταξη δοκιμής αυτοσυμπύκνωσης (Okamura and Ozawa, 1996)..... | 4 |
| Εικόνα 2.2: Φαρμακείο Pentelica (Open House Athens, 2020) | 5 |
| Εικόνα 2.3: Πεζογέφυρα επί της Λ. Κηφισίας (Lafarge)..... | 6 |
| Εικόνα 2.4 : Έγχυση ΑΣΚ σε καλούπι προ-πληρωμένο με αδρανή (Khayat and Schutter, 2014)..... | 7 |
| Εικόνα 2.5: Εξοπλισμός δοκιμής εξάπλωσης ΑΣΣ (Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδας, 2014)..... | 13 |
| Εικόνα 2.6: Εξοπλισμός δοκιμής εξάπλωσης ΑΣΚ (EFNARC, 2002) | 14 |
| Εικόνα 2.7: Συσκευή δοκιμής χοάνης ΑΣΣ (EFNARC, 2002)..... | 15 |
| Εικόνα 2.8: Συσκευή δοκιμής χοάνης ΑΣΚ (EFNARC, 2002)..... | 15 |
| Εικόνα 2.9: Συσκευή δοκιμής δοχείου L (EFNARC, 2002)..... | 16 |
| Εικόνα 2.10: Συσκευή δοκιμής δοχείου U (EFNARC, 2002)..... | 17 |
| Εικόνα 2.11: Εξοπλισμός δοκιμής δακτυλίου J (EFNARC, 2002) | 17 |
| Εικόνα 2.12: Δοκιμή σταθερότητας μέσω κοσκίνησης (Διαμαντώνης, 2008)..... | 18 |
| Εικόνα 4.1: Ανάμιξη συνθέσεων (α) αναμικτήρας, (β) μίγμα σύνθεσης MP20 με περιεκτικότητα υπερρευστοποιητή 0.53%, (γ) μίγμα σύνθεσης MP80 με περιεκτικότητα υπερρευστοποιητή 0.75%..... | 28 |
| Εικόνα 4.2: Δοκίμια (α) πλήρωση των μητρών, (β) δοκίμια σύνθεσης PER | 29 |
| Εικόνα 4.3: Μέτρηση βάρους φιάλης..... | 30 |
| Εικόνα 4.4: Δοκιμή εξάπλωσης (α) διάταξη, (β) πλήρωση με κονίαμα, (γ) προσδιορισμός του T20, (δ) τελική εξάπλωση..... | 31 |
| Εικόνα 4.5: Δοκιμή χοάνης (α) διάταξη, (β) διαστάσεις διάταξης..... | 32 |
| Εικόνα 4.6: Συσκευή μέτρησης περιεκτικότητας αέρα νωπού κονιάματος | 32 |
| Εικόνα 4.7: Μέτρηση μοναδιαίου βάρους..... | 33 |
| Εικόνα 4.8: Δοκιμή κάμψης και θλίψης (α) διάταξη, (β) διάταξη κάμψης τριών σημείων, (γ) διάταξη μονοαξονικής θλίψης..... | 34 |
| Εικόνα 5.1: Εξάπλωση μίγματος σύνθεσης MP20 | 37 |
| Εικόνα 5.2: Εξάπλωση μίγματος σύνθεσης MSILICA με περιεκτικότητα υπερρευστοποιητή (α) 1.11%, (β) 1.17%..... | 38 |
| Εικόνα 5.3: Εξάπλωση μίγματος σύνθεσης PER με περιεκτικότητα υπερρευστοποιητή (α) 1.01%, (β) 1.12% | 38 |
| Εικόνα 5.4: Εξάπλωση μίγματος σύνθεσης PUM | 39 |
| Εικόνα 5.5: Εξάπλωση μίγματος σύνθεσης NOF | 39 |
| Εικόνα 5.6: Δοκίμιο μετά τη δοκιμή κάμψης | 43 |
| Εικόνα 5.7: Δοκίμιο μετά τη δοκιμή θλίψης | 44 |

Πίνακας Σχημάτων

| | |
|--|----|
| Σχήμα 4.1: Κοκκομετρική ανάλυση της ασβεστολιθικής άμμου..... | 27 |
| Σχήμα 5.1: Κοκκομετρικές αναλύσεις όλων των λεπτόκοκκων πληρωτικών υλικών .. | 36 |
| Σχήμα 5.2: Συσχέτιση διαμέτρου δοκιμής εξάπλωσης (cm) και ποσότητα υπερρευστοποιητή (%)..... | 40 |
| Σχήμα 5.3: Συσχέτιση χρόνου εξάπλωσης T20 (sec) και χρόνου χοάνης Vfunnel (sec)..... | 40 |
| Σχήμα 5.4: Συσχέτιση διαμέτρου δοκιμής εξάπλωσης (cm) και χρόνου δοκιμής χοάνης (sec)..... | 41 |
| Σχήμα 5.5: Συσχέτιση διαμέτρου δοκιμής εξάπλωσης (cm) και χρόνου εξάπλωσης (sec)..... | 41 |
| Σχήμα 5.6: Μέση καμπτική αντοχή (MPa) για κάθε σύνθεση σε κάθε ηλικία | 43 |
| Σχήμα 5.7: Μέση θλιπτική αντοχή (MPa) για κάθε σύνθεση σε κάθε ηλικία..... | 45 |
| Σχήμα 5.8: Μέση περιεκτικότητα σε αέρα για κάθε σύνθεση σε νωπό και σκληρυμένο κονίαμα..... | 46 |

Πίνακας Πινάκων

- Πίνακας 2.1: Κατηγορίες εξάπλωσης σύμφωνα με το πρότυπο EN 206-9
- Πίνακας 4.1: Φυσικές και οπτικές ιδιότητες των λεπτομερών μαρμάρου
- Πίνακας 4.2: Χημική σύσταση και φυσικές ιδιότητες πληρωτικών υλικών
- Πίνακας 4.3: Φυσικές ιδιότητες του τσιμέντου
- Πίνακας 4.4: Χημική ανάλυση του τσιμέντου
- Πίνακας 4.5 : Ποσότητες υλικών ανά σύνθεση και ιδιότητες νωπού σκυροδέματος
- Πίνακας 5.1: Υπολογισμοί μέτρησης φαινόμενης πυκνότητας για το πληρωτικό κίσηρης και περλίτη
- Πίνακας 5.2: Φαινόμενη πυκνότητα λεπτόκοκκων πληρωτικών υλικών
- Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα διαμέτρου εξάπλωσης (cm), χρόνου εξάπλωσης (sec) χοάνης (sec) και ποσότητες υπερρευστοποιητή (%)
- Πίνακας 5.4: Αποτελέσματα δοκιμών εξάπλωσης, T20 και χοάνης τελικών συνθέσεων και ποσότητες χημικών προσμίκτων
- Πίνακας 5.5: Πυκνότητα και περιεκτικότητα σε αέρα του νωπού κονιάματος
- Πίνακας 5.6: Αποτελέσματα καμπτικής αντοχής (MPa) 28 και 90 ημερών, μέση τιμή και τυπική απόκλιση 28 ημερών
- Πίνακας 5.7: Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής (MPa) 28 και 90 ημερών, μέση τιμή και τυπική απόκλιση
- Πίνακας 5.8: Συντελεστής αύξησης θλιπτικής αντοχής 90 ημ. σε σχέση με την αντοχή 28 ημ.
- Πίνακας 5.9: Αποτελέσματα περιεκτικότητας (%) εγκλωβισμένου αέρα σκληρυμένου κονιάματος, μέση τιμή και τυπική απόκλιση
- Πίνακας 6.1: Ενδεικτικό κόστος λεπτόκοκκων πληρωτικών υλικών
- Πίνακας 6.2: Ενδεικτικό κόστος χημικών προσμίκτων
- Πίνακας 6.3: Προσαύξηση της τιμής του ΑΣΚ ανά m^3 όταν προστεθούν σε αυτό λεπτόκοκκα πληρωτικά υλικά και χημικά πρόσμικτα

Συγκριτική αξιολόγηση πληρωτικών υλικών κατά την εφαρμογή τους σε αυτοσυμπυκνούμενα κονιάματα

Ρέτσα Ν.Ι. (Επιβλέπων: Μπαδογιάννης Ε.)

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η συγκριτική αξιολόγηση λεπτόκοκκων πληρωτικών υλικών (fillers) κατά την εισαγωγή τους στη σύνθεση αυτοσυμπυκνούμενων κονιαμάτων. Συγκεκριμένα, η έρευνα επικεντρώθηκε στην προσθήκη δύο ειδών λεπτομερών μαρμάρου (marble powder 20 και marble powder 80), πληρωτικού που προήλθε από κοσκίνισμα κίσηρης (pumice powder) και περλίτη (perlite powder) και αλεσμένου περλίτη (m silica). Συνολικά παρασκευάστηκαν και εξετάστηκαν πέντε (5) συνθέσεις αυτοσυμπυκνούμενων κονιαμάτων με λόγο νερού/τσιμέντου 0.44, η κάθε μία από τις οποίες περιείχε ένα διαφορετικό filler, και μια (1) σύνθεση αναφοράς χωρίς προσθήκη filler. Για κάθε filler πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός ιδιοτήτων, όπως η ξηρή φαινόμενη πυκνότητα και η κοκκομετρική διαβάθμιση. Όλες οι συνθέσεις υποβλήθηκαν σε μια σειρά από δοκιμές με σκοπό την περαιτέρω διερεύνηση της επίδρασης των πληρωτικών υλικών στις ιδιότητες του κονιάματος στη νωπή και στη σκληρυμένη φάση. Στο νωπό κονίαμα πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές εξάπλωσης, χρόνου εξάπλωσης και χρόνου εκκένωσης χοάνης σχήματος V, μέσω των οποίων εκτιμήθηκε η διελευσιμότητα και η σταθερότητα των συνθέσεων. Επίσης, στο σκληρυμένο κονίαμα προσδιορίστηκε η αντοχή σε κάμψη και θλίψη σε ηλικία 28 και 90 ημερών. Τέλος, μετρήθηκε η περιεκτικότητα σε αέρα του κονιάματος στη νωπή φάση με επί τόπου δοκιμή και στη σκληρυμένη φάση από την ανάλυση φωτογραφιών με το λογισμικό Image j. Παρατηρήθηκε ότι όλα τα μίγματα που εξετάστηκαν με την προσθήκη κατάλληλων ποσοτήτων χημικών προσμίκτων απέκτησαν αποδεκτές ρεολογικές ιδιότητες, που μπορούν να αποδώσουν ρεολογικά χαρακτηριστικά αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος. Η θλιπτική αντοχή όλων των συνθέσεων κρίθηκε ικανοποιητική καθώς ξεπέρασαν τα 59 MPa φτάνοντας έως τα 79 MPa στις 28 ημέρες. Τέλος, οι τιμές περιεκτικότητας σε αέρα που προέκυψαν από την πειραματική μέτρηση σε σκληρυμένο και νωπό κονίαμα, στις περισσότερες περιπτώσεις συνέκλιναν ικανοποιητικά.

Λέξεις Κλειδιά: αυτοσυμπυκνόμενο σκυρόδεμα, αυτοσυμπυκνόμενο κονίαμα, λεπτόκοκκα πληρωτικά υλικά, χημικά πρόσμικτα, ρεολογικές ιδιότητες, θλιπτική αντοχή

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
LABORATORY OF REINFORCED CONCRETE

DIPLOMA THESIS
ΕΟΣ ΔΕ 2021/04

Comparative assessment of fillers when applied to self-compacting mortars

Retsa N.I. (supervised by Badogiannis E.)

Abstract

The subject of this thesis is the comparative assessment of fine filler materials when applied to self-compacting mortars. In particular, the research was focused on the addition of two types of marble powders (marble powder 20 and marble powder 80), granulated pumice (pumice powder), granulated perlite (perlite powder) and filler came from perlite grinding (m silica). A total of five (5) self-compacting mortar mixtures were produced and examined with the ratio of water to cement (w/c) set as 0.44, each of them contained a different type of filler, and one (1) reference mixture without any filler. The properties of each filler such as the dry apparent density and the particle size distribution were determined. All of these mixtures were subjected to a series of tests for further research on the fillers' effect on properties of fresh and hardened mortar. The fresh properties of self-compacting mortar which include filling ability and stability were evaluated by mini slump flow, T20 flow time, and mini V-funnel tests. The hardened properties that were determined were bending and compressive strength at 28 and 90 days of curing. The air content of fresh mortar was determined for fresh mortar by air content test and for hardened mortar via image analysis on software Image j. It was observed that all the mixtures tested by the addition of appropriate amounts of chemical admixtures acquired acceptable rheological properties, which can provide rheological characteristics of self-compacting concrete. The compressive strength of all mortars was considered satisfactory as they exceeded 59 MPa reaching 79 MPa at 28 days. Finally, the air content values obtained from the experimental measurement in hardened and fresh mortar, in most cases converged satisfactorily.

Keywords: self-compacting concrete, self-compacting mortar, filler materials, chemical admixtures, rheological properties, compressive strength

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας τη διπλωματική μου εργασία, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν στην υλοποίησή της.

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τον κύριο Ευστράτιο Μπαδογιάννη, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος καθώς και για την άμεση βοήθεια και την πολύτιμη καθοδήγησή του. Η άρτια επιστημονική του κατάρτιση και το συνεχές ενδιαφέρον του αποτέλεσαν βασικό καταλύτη στην εκπόνηση της εργασίας.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Ανδρέα Κουνάδη, για την προθυμία και την υπομονή που έδειχνε κάθε φορά που χρειάστηκα τη βοήθειά του, με τον οποίο συνεργάστηκα άψογα τόσο κατά τη διεξαγωγή των πειραματικών δοκιμών όσο και κατά τη συγγραφή του κειμένου.

Ευχαριστίες οφείλω επίσης στο εργαστηριακό και διδακτικό προσωπικό του εργαστηρίου «Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας» της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ και ιδιαίτερα στον υποψήφιο διδάκτορα Κωνσταντίνο Ασπιώτη και στην κυρία Αναστασία Γεωργιάδου για την αμέριστη βοήθεια στη διεξαγωγή των πειραμάτων.

Ακόμη, ευχαριστώ θερμά τις εταιρείες Dionyssomarble και Domylco για τη βοήθεια τους στην προμήθεια των υλικών.

Ευχαριστίες ακόμα στους Επίκουρους Καθηγητές της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, κύριο Εμμανουήλ Βουγιούκα και κύριο Σάββα Τριανταφύλλου για τη συμμετοχή τους στην εκπαιδευτική διαδικασία της εξέτασης.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου και τους φίλους μου για τη στήριξή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

1 Εισαγωγή

1.1 Ορισμός ΑΣΣ και ΑΣΚ – Λόγοι για τους οποίους εμφανίστηκαν

Το αυτοσυμπυκνούμενο ή αυτοδονούμενο σκυρόδεμα (ΑΣΣ - self-compacting ή self-consolidating concrete - SCC) είναι ένα είδος σκυροδέματος και το αυτοσυμπυκνούμενο κονίαμα (ΑΣΚ - self-compacting mortar - SCM) ένα είδος κονιάματος, τα οποία μπορούν να πληρώσουν οποιοδήποτε τύπο και να αποκτήσουν ικανή συμπίκνωση, χωρίς τη χρήση μηχανικών μέσων, αποκλειστικά και μόνο με το ίδιο βάρος τους και τη ρεολογική τους συμπεριφορά. Βασικό χαρακτηριστικό του ΑΣΣ και του ΑΣΚ είναι η αυξημένη ρευστότητά του, σε συνδυασμό με τη διατήρηση της απαιτούμενης σταθερότητας, η οποία αποτελεί μέτρο της αντίστασης του μίγματος σε διαχωρισμό. Πρόκειται για σκυρόδεμα προηγμένης τεχνολογίας, με επιλεκτικά αναβαθμισμένες ιδιότητες το οποίο εμπίπτει στην κατηγορία των σκυροδεμάτων υψηλής επιτελεστικότητας και, σύμφωνα με την άποψη πολλών ερευνητών, αποτελεί τη μεγαλύτερη εξέλιξη στον τομέα της τεχνολογίας σκυροδέματος τα τελευταία πενήντα χρόνια. (Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδας, 2014)

Το ΑΣΣ δημιουργήθηκε για να αντιμετωπίσει συγκεκριμένα προβλήματα που αφορούσαν στην ατελή συμπύκνωση του σκυροδέματος λόγω είτε ελλιπούς είτε υπερβολικής δόνησης. Το προαναφερθέν φαινόμενο, που πιθανότατα οφείλεται στην έλλειψη ειδικευμένου προσωπικού, είχε σημαντικό αντίκτυπο στην ανθεκτικότητα των κατασκευών.

1.2 Πλεονεκτήματα εφαρμογής ΑΣΣ και ΑΣΚ

Όταν το ΑΣΣ και το ΑΣΚ παρασκευάζονται με τις κατάλληλες αναλογίες υλικών και διαστρώνονται σωστά έχουν σημαντικά οικονομικά και τεχνολογικά πλεονεκτήματα κατά τη διάρκεια της κατασκευής και κατά τη διάρκεια της ζωής του έργου.

Το ΑΣΣ και το ΑΣΚ μπορούν να πληρώσουν διατομές ιδιαίτερης αρχιτεκτονικής με περίπλοκη γεωμετρία και με πυκνό οπλισμό, χωρίς να χρειάζεται συμπύκνωση μειώνοντας το κόστος και επιταχύνοντας το ρυθμό διάστρωσης που οδηγεί σε αύξηση της παραγωγικότητας.

Η απαιτούμενη συμπύκνωση επιτυγχάνεται χωρίς δόνηση μειώνοντας τόσο το ενεργειακό αποτύπωμα λόγω της κατανάλωσης ενέργειας όσο και το κόστος αγοράς ή ενοικίασης κατάλληλου εξοπλισμού, καθώς και το κόστος συντήρησης και χρήσης του. Η απουσία της δόνησης μειώνει τη φθορά των ξυλοτύπων και οι μικρές εσωτερικές δυνάμεις του νωπού σκυροδέματος μειώνουν τη φθορά του αναδευτήρα. Αποφεύγονται οι κακοτεχνίες που οδηγούν σε εργασίες επισκευής και μειώνονται οι εργατοώρες και η ποσότητα των επισκευαστικών υλικών.

Ακόμη, μειώνεται ο εργοταξιακός θόρυβος που θα προκαλούνταν από τη δονητική συμπύκνωση οδηγώντας σε αναβάθμιση του περιβάλλοντος εργασίας λόγω του περιορισμού των ηχητικών ρύπων. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για τις κατασκευές σε αστικές περιοχές γιατί υπάρχει η δυνατότητα να επεκταθεί η διάρκεια της διάστρωσης και οι κατασκευαστικές διαδικασίες να πραγματοποιηθούν σε ώρες που δεν εμποδίζεται η κυκλοφορία της περιοχής. Η μείωση του θορύβου συμβάλει στη μείωση του κόστους αφού μειώνονται τα πιθανά ασφάλιστρα που υποχρεώνονται να πληρώσουν οι εγκαταστάσεις

προκατασκευής στις ασφαλιστικές εταιρείες, που είναι υπεύθυνες για τη θεραπεία των εργατών με προβλήματα ακοής.

Επίσης, οι τελικές επιφάνειες των δομικών στοιχείων είναι λείες, χωρίς σπηλαιώσεις και αποτυπώματα εξίδρωσης ή αποχρωματισμού και οδηγούν σε αποτελέσματα υψηλής αισθητικής.

Η σύνθεση του ΑΣΣ και του ΑΣΚ περιέχει αδρανή με μικρότερους κόκκους από το συμβατικό σκυρόδεμα και λεπτόκοκκα πληρωτικά υλικά τα οποία βελτιώνουν την απόδοση του υλικού και την ανθεκτικότητα των κατασκευών.

Συχνά χρησιμοποιούνται ως πληρωτικά υλικά στο ΑΣΣ και στο ΑΣΚ παραπροϊόντα αντικαθιστώντας ένα μέρος του τσιμέντου και έτσι περιορίζεται η ρύπανση του περιβάλλοντος. Το τσιμέντο παράγεται από την πυρομεταλλουργική κατεργασία των πρώτων υλών του μέσα σε περιστροφικές καμίνους. Κατά τη διαδικασία αυτή, οι πρώτες ύλες θερμαίνονται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες με χρήση καυσίμων (πετρέλαιο, γαιάνθρακες) και η κυριότερη πρώτη ύλη, το ανθρακικό ασβέστιο CaCO_3 , διασπάται σε CaO και CO_2 . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εκπέμπονται μεγάλες ποσότητες CO_2 στην ατμόσφαιρα. Οι εκπομπές αυτές παγκοσμίως αντιστοιχούν περίπου στο 5% των συνολικών εκπομπών CO_2 από όλες τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Όταν ένα μέρος του τσιμέντου αντικατασταθεί από παραπροϊόντα όπως η πυριτική παιπάλη, η ιπτάμενη τέφρα, και η σκωρία υψικαμίνου μειώνονται οι εκπομπές CO_2 στην ατμόσφαιρα. Επίσης, όταν τα παραπροϊόντα δεν απορρίπτονται ως περιττά υλικά και αξιοποιούνται στην παραγωγή σκυροδέματος μειώνεται το κόστος παραγωγής.

1.3 Προβληματισμοί εφαρμογής ΑΣΣ και ΑΣΚ

Για να επιτευχθεί αυξημένη ρευστότητα, ικανότητα διέλευσης και συνεκτικότητα στο ΑΣΣ και στο ΑΣΚ απαιτείται ειδική μελέτη για τη σύνθεσή τους. Για να παρασκευαστεί ένα αποδεκτό μίγμα απαιτείται να προηγηθούν δοκιμαστικά μίγματα τα οποία θα υποβληθούν σε διάφορες δοκιμές ώστε να διασφαλιστούν αυτές οι ιδιότητες. Η αξιολόγηση του μίγματος πραγματοποιείται με έναν συνδυασμό από δοκιμές καθώς δεν υπάρχει κάποια ικανή δοκιμή να εκτιμήσει ταυτόχρονα και τις τρεις βασικές ιδιότητες. Πολλοί ερευνητές έχουν αναπτύξει και προτείνει διάφορες δοκιμές, μέρος των οποίων έχει προτυποποιηθεί από τους αμερικανικούς και ευρωπαϊκούς κανονισμούς. Οι σημαντικότεροι κίνδυνοι που ελλοχεύουν σε περίπτωση μη αποδεκτής σύνθεσης είναι ο πιθανός διαχωρισμός, η απόμιξη και η έμφραξη λόγω εγκλωβισμού των αδρανών στους οπλισμούς.

Επίσης, πρέπει να εξασφαλιστεί και η ποιότητα της τελικής επιφάνειας. Η διαδικασία της συντήρησης, η οποία είναι παρόμοια με αυτή του συμβατικού σκυροδέματος, συστήνεται να ξεκινάει όσο το δυνατόν πιο άμεσα γιατί είναι πολύ κρίσιμη για την ποιότητα του ΑΣΣ και του ΑΣΚ. Αν υπάρξει μειωμένη εξίδρωση στην ελεύθερη επιφάνεια του σκυροδέματος μπορεί να προκύψει έντονη ρηγμάτωση λόγω πλαστικής συστολής, καθώς οι συνθέσεις των ΑΣΣ και των ΑΣΚ, που περιέχουν υψηλές ποσότητες λεπτόκοκκων και χημικών προσμίκτων, οδηγούν στην καθυστερημένη πήξη του σκυροδέματος και σε υψηλότερη τάση πλαστικής συστολής. Ακόμη, οι κλιματολογικές συνθήκες όπως οι υψηλές θερμοκρασίες και οι υψηλές ταχύτητες ανέμων συμβάλλουν στην ταχεία εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια του σκυροδέματος.

Η χρήση του ΑΣΣ σε πολλές εφαρμογές αποφεύγεται για οικονομικούς λόγους. Όπως ανέφεραν οι Παπανικολάου και Λυκούδης (2006) το ΑΣΣ είναι περίπου κατά 10% ως 20% ακριβότερο από το συμβατικό σκυρόδεμα. Ωστόσο αν χρησιμοποιηθούν παραπροϊόντα το κόστος μειώνεται, ενώ συγχρόνως το κόστος των εργατικών μειώνεται ως και 80% και η κατανάλωση ενέργειας κατά 10%.

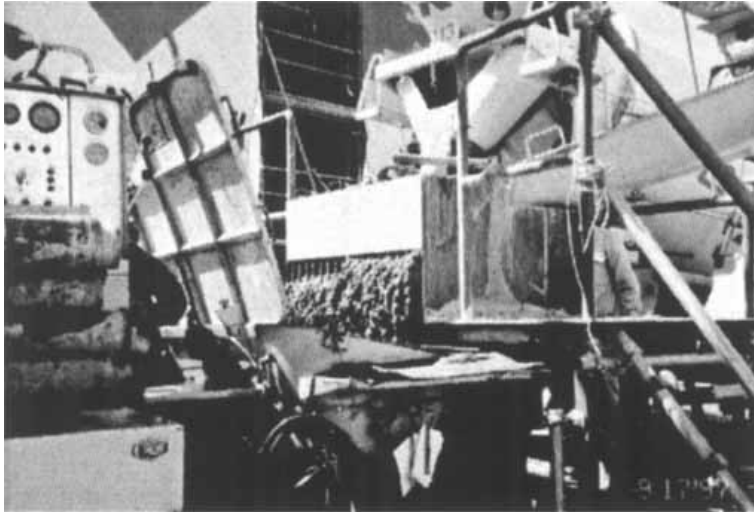
2 ΑΣΣ και ΑΣΚ – Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Ιστορική αναδρομή ΑΣΣ

Από το 1983 και για μερικά χρόνια στην Ιαπωνία υπήρχε ενδιαφέρον για την επίλυση του προβλήματος της ανθεκτικότητας των κατασκευών από σκυρόδεμα, λόγω της έλλειψης ειδικευμένων εργατών που οδηγούσε σε ατελή συμπύκνωση. Αυτό αντιμετωπίστηκε με το ΑΣΣ που μπορεί να συμπυκνωθεί χωρίς δόνηση. Η αναγκαιότητα του ΑΣΣ παρουσιάστηκε από τον Okamura το 1986 και οι Ozawa and Maekawa διεξήγαγαν έρευνες για την ανάπτυξη του στο πανεπιστήμιο του Τόκιο, όπως ανέφεραν οι Okamura and Ouchi (2003). Η πρωτότυπη σύνθεση ΑΣΣ ολοκληρώθηκε το 1988 χρησιμοποιώντας υλικά που υπήρχαν ήδη στην αγορά και είχε ικανοποιητική απόδοση. Οι Okamura and Ozawa ανέπτυξαν μια μέθοδο σχεδιασμού για το ΑΣΣ και για να πετύχουν την αυτοσυμπύκνωση περιόρισαν την περιεκτικότητα σε αδρανή, μείωσαν το λόγο νερού προς τσιμέντο και χρησιμοποίησαν υπερρυστοποιητή.

Όπως ανέφεραν οι Okamura and Ozawa (1996), ο Ozawa παρουσίασε το πρώτο επιστημονικό άρθρο για το ΑΣΣ τον Ιανουάριο του 1989, το Μάιο του 1992 ξεκίνησε η διάδοση της ιδέας του ΑΣΣ παγκοσμίως και το Νοέμβριο του 1994 η ιδέα του ΑΣΣ έγινε ενδιαφέρον θέμα για ερευνητές και μηχανικούς παγκοσμίως. Όπως ανέφερε ο Okamura, ερευνητές και μηχανικοί στη Βόρεια Αμερική επικεντρώθηκαν στο ΑΣΣ μετά από μια διάλεξή του το 1996 και την ίδια χρονιά οι Aictin et al ξεκίνησαν την έρευνα στον Καναδά. Τον Ιανουάριο του 1997 ιδρύθηκε μια επιτροπή για το ΑΣΣ με πρόεδρο τον Ozawa που συνέβαλε στην ανάπτυξη του ΑΣΣ και εκδόθηκαν σχετικές οδηγίες το 1998. Το πρώτο διεθνές εργαστήριο για το ΑΣΣ πραγματοποιήθηκε τον Αύγουστο του 1998 στο Kochi της Ιαπωνίας.

Όπως δημοσίευσαν οι Okamura and Ouchi (2003), το ΑΣΣ εφαρμόστηκε για πρώτη φορά σε ένα κτήριο τον Ιούνιο του 1990, ένα χρόνο μετά στην κατασκευή του πυλώνα της γέφυρας Shin-kiba Ohashi και το 1992 στο κύριο ζύγωμα μιας καλωδιωτής γέφυρας. Τα αντίβαρα αγκύρωσης της γέφυρας Akashi-Kaikyo στην Ιαπωνία κατασκευάστηκαν από ΑΣΣ και μειώθηκε ο χρόνος κατασκευής τους κατά 20%. Η κατασκευή αυτή ολοκληρώθηκε το 1998 και έχει το μεγαλύτερο κεντρικό άνοιγμα στον κόσμο (1991 m). Οι αγκυρώσεις αυτής τη γέφυρας κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας ΑΣΣ και μειώθηκε ο χρόνος κατασκευής τους κατά 20%. Επίσης, το ΑΣΣ χρησιμοποιήθηκε το 1993 στα τοιχεία μιας μεγάλης δεξαμενής υγροποιημένου φυσικού αερίου της εταιρείας Osaka Gas Company και είχε ως αποτέλεσμα να μειωθεί ο χρόνος κατασκευής από 22 σε 18 μήνες, κατά την κατασκευή της οποίας στο εργοτάξιο οι Ouchi et al ανέπτυξαν μια δοκιμή ελέγχου αυτοσυμπύκνωσης. Η δοκιμή αυτή πραγματοποιήθηκε με μια συσκευή που ήταν εγκατεστημένη ανάμεσα στο φορτηγό ανάμιξης και στην αντλία, η οποία φαίνεται στην εικόνα 2.1. Αν το σκυρόδεμα διερχόταν από τη συσκευή το χαρακτήριζαν ως αυτοσυμπυκνούμενο, αλλιώς προσάρμοζαν τη σύνθεσή του.



Εικόνα 2.1: Εργοταξιακή διάταξη δοκιμής αυτοσυμπύκνωσης (Okamura and Ozawa, 1996)

Όπως ανέφερε ο Domone (2006), το 1993 χρησιμοποιήθηκε ΑΣΣ σε διάφορες κατασκευές στην Ιαπωνία όπως τα τοιχεία, τα υποστυλώματα ψηλών κτηρίων και τα βάθρα μιας καλωδιωτής γέφυρας, το 1994 σε αντίβαρα αγκύρωσης γεφυρών και για πρώτη φορά σε προκατασκευασμένα στοιχεία και το 1995 σε λιμενικές κατασκευές. Στην Ευρώπη το ΑΣΣ ξεκίνησε να χρησιμοποιείται πιλοτικά το 1996 στη Γαλλία για την κατασκευή τοιχείων, ακρόποδων και βάθρων. Το 1998 χρησιμοποιήθηκε στη Σουηδία στα πλαίσια ενός ερευνητικού προγράμματος. Το 1999 κατασκευάστηκε μια σήραγγα στην Ελβετία χρησιμοποιώντας ΑΣΣ και τοιχεία και καταστρώματα γέφυρας στη Σουηδία.

Στην Ελλάδα στο 14ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος στην Κω το 2003 παρουσιάστηκε η πρώτη εργαστηριακή παρασκευή μειγμάτων ΑΣΣ με ελληνικά υλικά και δύο εισηγήσεις σχετικά με την τεχνολογία του ΑΣΣ, όπως ανέφερε ο Σίδερης Κ. (2008).

2.2 Εφαρμογές ΑΣΣ και ΑΣΚ

Σήμερα το ΑΣΣ χρησιμοποιείται σε πολλές κατασκευές παγκοσμίως, όπως για παράδειγμα τα ψηλά κτήρια, τα κτήρια σύγχρονης αρχιτεκτονικής, οι σήραγγες και οι γέφυρες, σε προκατασκευασμένα στοιχεία και σε επισκευές. Μερικές από τις εφαρμογές του παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Όπως ανέφερε ο Nehdi (2013), το ψηλότερο κτήριο στον κόσμο που κατασκευάζεται, το Kingdom Tower (Jeddah), το οποίο αναμένεται να ξεπεράσει το 1 km ύψος θα κατασκευαστεί από ΑΣΣ. Πιο συγκεκριμένα, ΑΣΣ θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή των πασσάλων, της θεμελίωσης και των κατακόρυφων υποστυλωμάτων και βασικών στοιχείων. Επίσης, ΑΣΣ χρησιμοποιήθηκε στο κτήριο Trump International Hotel and Tower με ύψος 423 m. Η γενική κοιτόστρωση ύψους 3 m και όγκου 3600 m³ έγινε με μία συνεχόμενη σκυροδέτηση ΑΣΣ που διήρκεσε 22 ώρες, η οποία θεωρείται μέχρι τότε η μεγαλύτερη συνεχόμενη σκυροδέτηση ΑΣΣ στη Βόρεια Αμερική και ήταν η πρώτη εφαρμογή ΑΣΣ αντοχής 110 MPa σε ύψος πάνω από 200 m.

Όπως ανέφερε ο Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδας, για την κατασκευή του πύργου Burj Khalifa, χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά ΑΣΣ. Συνολικά σκυροδετήθηκαν 350,000 m³ κατά τη διάρκεια της νύχτας, προσθέτοντας πάγο στο μίγμα σκυροδέματος λόγω των υψηλών θερμοκρασιών στην περιοχή. Ακόμη, ανέφερε ότι ΑΣΣ χρησιμοποιήθηκε στο κτήριο της Mori στη Shanghai, το οποίο έχει ύψος 492 m και βραβεύτηκε το 2008 με το

βραβείο Best Tall Building in the World 2008 του Council on Tall Buildings and Urban Habitat, στον πύργο Millennium Tower ύψους 197 m, που είναι το ψηλότερο κτήριο στο San Francisco και στο κτήριο Tower One World Trade Center στους τοίχους από τη θεμελίωση μέχρι τον 30^ο όροφο.

Όπως είπαν οι Okrajnov-Bajic and Vasovic (2009), ο πύργος ελέγχου του αεροδρομίου Arlanda στη Στοκχόλμη ύψους 83 m κατασκευάστηκε με χρήση ΑΣΣ και υπήρχε δυνατότητα σκυροδέτησης τις νυχτερινές ώρες λόγω του μειωμένου θορύβου της διαδικασίας της σκυροδέτησης. Το μουσείο National Museum of 21st Century Arts (MAXXI) στη Ρώμη, το οποίο σχεδιάστηκε από τη Zaha Hadid και καλύπτει έκταση 30,000 m², κατασκευάστηκε με χρήση ΑΣΣ. Το ΑΣΣ παράχθηκε και αναμίχθηκε στο εργοτάξιο και η σκυροδέτηση διήρκησε ως και 18 ώρες, η οποία ήταν συνεχόμενη σκυροδέτηση στα τοιχία μήκους 70 m και ύψους ως 9 m και πραγματοποιήθηκε όταν η θερμοκρασία ήταν κάτω από 25°C. Ακόμη, για την κατασκευή του εμπορικού κέντρου Ušće στη Σερβία χρησιμοποιήθηκε ΑΣΣ στα υπόγεια περιφερειακά τοιχία, στα υπόγεια υποστυλώματα και στη γενική κοιτόστρωση.

Όπως ανέφεραν οι Ouchi et al (2003), με χρήση ΑΣΣ κατασκευάστηκαν στην Ιαπωνία οι γέφυρες Ritto και Higashi-Oozu. Ο ψηλότερος πυλώνας της γέφυρας Ritto είχε ύψος 65 m και επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ΑΣΣ λόγω του πυκνού οπλισμού και η γέφυρα Higashi-Oozu κατασκευάστηκε με προεντεταμένα προκατασκευασμένα δοκάρια διατομής T. Ακόμη, η εθνική οδός Sodra Lancken στη Σουηδία, που αποτελεί το μεγαλύτερο έργο υποδομής της χώρας κατασκευάστηκε από ΑΣΣ.

Όπως είπαν οι Abdul Jalil and Kahachi (2018), ΑΣΣ χρησιμοποιήθηκε στα παρακάτω κτήρια σχεδιασμένα από τη Zaha Hadid. Το ΑΣΣ επιλέχθηκε για να κατασκευαστούν οι γωνιακές και οι καμπύλες προεξοχές και τα τοιχία του κέντρου επιστήμης και πειραματισμού Phaeno Science Center στη Γερμανία. Επίσης, ΑΣΣ χρησιμοποιήθηκε στις κατασκευές των κτηρίων BMW Central στη Γερμανία, στο κέντρο σύγχρονης τέχνης στην πόλη Cincinnati στις ΗΠΑ και στην προέκταση του μουσείου Ordurpgaard στη Δανία.

Όπως ανέφεραν οι Hwang and Khayat (2009), το ΑΣΣ χρησιμοποιήθηκε στην επισκευή μιας γέφυρας στο Quebec και μιας γέφυρας στο Montreal.

Στην Ελλάδα το φαρμακείο Pentelica στη Νέα Πεντέλη, το οποίο έχει λάβει έπαινο ως «Καλύτερο πραγματοποιημένο έργο των ετών 2012-2016» από το περιοδικό Δομές, κατασκευάστηκε με χρήση ΑΣΣ, όπως ανέφερε το Open House Athens (2020). Το σχήμα του κτηρίου είναι τριγωνικό, έχει μέγιστο ύψος τα 9 m και τα υποστυλώματα του είναι υπό γωνία. Το κέλυφος του κτηρίου κατασκευάστηκε από ΑΣΣ και η μόνωση του περιβλήματος τοποθετήθηκε στην εσωτερική πλευρά ώστε το ΑΣΣ να παραμείνει εμφανές στην εξωτερική, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.2.



Εικόνα 2.2: Φαρμακείο Pentelica (Open House Athens, 2020)

Ακόμη, ΑΣΣ χρησιμοποιήθηκε στους πυλώνες της πεζογέφυρας επί της Λ. Κηφισίας στη Φιλοθέη, καθώς η αρχιτεκτονική μελέτη απαιτούσε σκυροδέτηση μεγάλου ύψους, χωρίς κατασκευαστικό αρμό και ο οπλισμός ήταν αρκετά πυκνός, όπως ανέφερε η εταιρία Lafarge. Η γέφυρα αποτελείται από δύο πυλώνες που εσωκλείουν τα φρεάτια ασανσέρ, την πλατφόρμα, τα κλιμακοστάσια καθώς και τις ράμπες για Α.Μ.Ε.Α, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.3.



Εικόνα 2.3: Πεζογέφυρα επί της Λ. Κηφισίας (Lafarge)

Όπως ανέφεραν οι Παπανικολάου κ.α (2006), στο εργοτάξιο της γέφυρας Ρίου-Αντιρρίου, παρήχθησαν δοκιμαστικά αναμίγματα και σκυροδετήσεις ΑΣΣ, διερευνώντας την πιθανότητα χρήσης του στο έργο, αν και μόνο ένα στοιχείο μεγέθους 36 m^3 , τελικά συμπεριλήφθηκε στη μόνιμη κατασκευή.

Το ΑΣΚ χρησιμοποιείται για αποκατάσταση και επισκευή των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, όπως ανέφεραν οι Felekoğlu et al. (2006), ως πληρωτικό υλικό σε σκυροδέτηση σε αδρανή που έχουν ήδη τοποθετηθεί σε καλούπια όπως ανέφεραν οι Khayat and Schutter (2014), ενώ χρησιμοποιείται και σαν ενδιάμεσο στάδιο της μελέτης σύνθεσης του ΑΣΣ. Επίσης, εκτός από την άμεση εφαρμογή του στο εργοτάξιο, χρησιμοποιείται και σε προκατασκευασμένα στοιχεία, όπως ανέφεραν οι Molin Filho et al. (2019).

Όπως είπαν οι Khayat and Schutter (2014) το ΑΣΚ χρησιμοποιήθηκε με τη μέθοδο της σκυροδέτησης σε αδρανή που έχουν ήδη τοποθετηθεί σε καλούπια (pre-placed aggregate concrete) στην ξηρά δεξαμενή του υδροηλεκτρικού σταθμού Baixo Sabor στην Πορτογαλία, το οποίο έχει μήκος 40 m και ύψος 6 m. Αρχικά, διερευνήθηκε η μέθοδος αυτή σε ένα πρωτότυπο καλούπι κυβικού σχήματος με εσωτερικές ακμές 1.97 m. Το καλούπι πληρώθηκε με αδρανή και μετά προστέθηκε το ΑΣΚ. Συνολικά προστέθηκε 39% ΑΣΚ, η προσθήκη του οποίου έγινε από σταθερό σημείο και διήρκησε 4 ώρες, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.4. Μετά, σκυροδετήθηκε το κεντρικό μέρος της δεξαμενής σε τρεις φάσεις και τέλος τα φράγματα Baixo Sabor's Dam και Salamonde's Dam.



Εικόνα 2.4 : Έγχυση ΑΣΚ σε καλούπι προ-πληρωμένο με αδρανή (Khayat and Schutter, 2014)

2.3 Ρεολογικές ιδιότητες ΑΣΣ – Μοντέλο Bingham

Το βασικό χαρακτηριστικό του ΑΣΣ είναι οι ρεολογικές ιδιότητες που έχει στη νωπή φάση καθώς στη στερεή του φάση παρουσιάζει όμοιες ιδιότητες με το συμβατικό σκυρόδεμα. Οι ιδιότητες αυτές είναι η ικανότητα πλήρωσης (filling ability, unconfined flowability), η ικανότητα διέλευσης (passing ability, confined flowability) και η σταθερότητα ή αντίσταση έναντι διαχωρισμού ή απόμιξης (stability, resistance to segregation).

2.3.1 Ικανότητα πλήρωσης

Η ικανότητα πλήρωσης είναι η ικανότητα του ΑΣΣ να ρέει ανεμπόδιστα και να πληρώνει όλα τα σημεία των τύπων αποκλειστικά λόγω του ίδιου βάρους του χωρίς να χρειάζεται δόνηση. Η επιλογή της μεθόδου σκυροδέτησης και της απόστασης μεταξύ των σημείων εκφόρτωσης/σκυροδέτησης συναρτάται από αυτήν την ιδιότητα.

2.3.2 Ικανότητα διέλευσης

Η ικανότητα διέλευσης είναι η ικανότητα του ΑΣΣ να ρέει μέσω στενών ανοιγμάτων και γύρω από εμπόδια, όπως τα κενά μεταξύ ράβδων οπλισμού χωρίς να παρατηρείται διαχωρισμός των συστατικών του ή έμφραξη σε περιοχές των τύπων λόγω συσσώρευσης αδρανών (blockage) και, επομένως δεν παρεμποδίζεται η ροή.

2.3.3 Σταθερότητα - Αντίσταση έναντι διαχωρισμού ή απόμιξης

Η σταθερότητα είναι η ικανότητα του ΑΣΣ να διατηρεί την ομοιογένειά του κατά τη μεταφορά, τη διάστρωση και την πήξη του. Διακρίνεται σε δυναμική σταθερότητα (dynamic stability) και σε στατική σταθερότητα (static stability). Η δυναμική σταθερότητα του μίγματος αναφέρεται στην αντίστασή του έναντι διαχωρισμού κατά τη μεταφορά του και κατά τη διάστρωση, δηλαδή, κατά τη ροή του. Η στατική σταθερότητα αναφέρεται στην αντίσταση έναντι ανάπτυξης φαινομένων εξίδρωσης, διαχωρισμού και επιφανειακής καθίζησης μετά το πέρας της διάστρωσης και κατά τη διάρκεια της πλαστικής του φάσης.

2.3.4 Μοντέλο Bingham

Το σκυρόδεμα ως ρευστό συνήθως κατατάσσεται στα ρευστά Bingham. Τα ρευστά Bingham για να αρχίσουν να ρέουν απαιτούν μια αρχική διατμητική τάση που ονομάζεται

τάση ολίσθησης, αλλιώς συμπεριφέρονται περίπου ως στερεά. Το μοντέλο Bingham περιγράφεται από την εξίσωση 2.1:

$$\tau = \tau_0 + n \times \frac{d\gamma}{dt} \quad (2.1)$$

όπου,

τ : η διατμητική τάση σε Pa

τ_0 : η τάση ολίσθησης σε Pa

n : το ιξώδες του υγρού σε Pa×s

$\frac{d\gamma}{dt}$: ο ρυθμός της διατμητικής παραμόρφωσης σε s⁻¹

Όταν αυξάνεται το νερό ανάμιξης μειώνεται η τάση ολίσθησης και το πλαστικό ιξώδες του μίγματος και οδηγεί σε διαχωρισμό των αδρανών από τον τσιμεντοπολτό. Αυτό ανετράπη καθώς έγινε δυνατό να ελεγχθούν και να ρυθμιστούν ανεξάρτητα οι τιμές του ορίου έναρξης ροής και του πλαστικού ιξώδους του τσιμεντοπολτού με την κατάλληλη χρήση χημικών πρόσμικτων και τη βελτιστοποίηση της περιεκτικότητας και κοκκομετρικής διαβάθμισης των αδρανών στο ανάμιγμα.

2.3.5 Ο ρόλος των πληρωτικών υλικών στη ρεολογία του ΑΣΣ και ΑΣΚ και παρουσίαση των βασικότερων

Τα λεπτόκοκκα πληρωτικά υλικά προσθέτονται στο ΑΣΣ και στο ΑΣΚ για να βελτιώσουν τα ρεολογικά χαρακτηριστικά και για να μειώσουν τον κίνδυνο διαχωρισμού ή εξίδρωσης. Τα υλικά αυτά διακρίνονται σε δύο τύπους, στα τύπου Ι ημι-αδρανή (semi-inert) και στα τύπου ΙΙ ποζολανικά ή υδραυλικά (pozzolanic or latent hydraulic). Σύμφωνα με τις οδηγίες της EFNARC τα ημι-αδρανή που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι λεπτόκοκκα πληρωτικά αδρανή σύμφωνα με το πρότυπο EN 12620 και χρωστικές ουσίες σύμφωνα με το πρότυπο EN 12878. Τα ποζολανικά πληρωτικά υλικά χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν τις μακροπρόθεσμες αντοχές του σκυροδέματος και μπορούν να είναι ιπτάμενη τέφρα σύμφωνα με το πρότυπο EN 450, πυριτική παιπάλη σύμφωνα με το EN 13263 και σκωρία υψικαμίνου σύμφωνα με το BS 6699. Στη συνέχεια παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποια από τα βασικότερα πληρωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ΑΣΣ και ΑΣΚ.

2.3.5.1 Ιπτάμενη Τέφρα (Fly Ash)

Η ιπτάμενη τέφρα είναι το κύριο παραπροϊόν των ενεργειακών σταθμών. Παράγεται κατά την καύση των κονιοποιημένων στερεών καυσίμων, όπως οι λιθάνθρακες, οι λιγνίτες και η τύρφη, στους λέβητες των θερμοηλεκτρικών σταθμών. Στη συνέχεια, συμπαρασύρεται από το ρεύμα των καυσαερίων και συλλέγεται στις εγκαταστάσεις αποκονίωσης με ηλεκτροστατικά φίλτρα. Αποτελείται από κόκκους με σφαιρικό σχήμα και αργιλοπυριτική σύσταση. Η δομή των κόκκων είναι υαλώδης σε ποσοστό 60-85%, κρυσταλλική σε ποσοστό 10-30% και περιέχουν άνθρακα σε κάποιο μικρό ποσοστό της τάξης του 5%. Για τη χρήση της ιπτάμενης τέφρας στη βιομηχανία τσιμέντου επιδιώκεται η πλειονότητα των σωματιδίων να διέρχεται από το κόσκινο των 45 μm.

Οι ιπτάμενες τέφρες αποτελούνται από τα οξείδια CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, Na₂O, K₂O και διακρίνονται ανάλογα με τη χημική τους σύσταση σε βασικές ή υψηλής ασβέστου και σε όξινης ή χαμηλής ασβέστου. Οι τέφρες που χαρακτηρίζονται βασικές, έχουν συντελεστή CaO/SiO₂ ≥ 1 ενώ τέφρες με CaO/SiO₂ < 0.3 χαρακτηρίζονται ως όξινης. Στη χώρα μας, παράγονται κατά κανόνα βασικές τέφρες στους ενεργειακούς σταθμούς της Δυτικής Μακεδονίας ενώ στους σταθμούς της Μεγαλόπολης όξινης και η ετήσια συνολική παραγωγή έχει ξεπεράσει τους 13×10⁶ τόνους.

Η ιπτάμενη τέφρα χρησιμοποιείται συχνά στο ΑΣΣ λόγω της ιδιότητας να μειώνει το διαθέσιμο νερό για το υπόλοιπο μίγμα καθώς και της επίδρασης των σφαιρικών σωματιδίων της στο θιξοτροπικό χαρακτήρα του σκυροδέματος. Επίσης, μειώνεται ο διαχωρισμός των αδρανών στο κονίαμα.

2.3.5.2 Σκωρία Υψικαμίνου (Granulated Blast Furnace Slag)

Η σκωρία υψικαμίνου είναι ένα παραπροϊόν υψικαμίνων σιδηρομεταλλευμάτων σε μορφή σκωρίας. Παράγεται κατά την τήξη του σιδηρομεταλλεύματος σε υψικαμίνους κατά την οποία οι σκωρίες επιπλέουν στο μέταλλο και στη συνέχεια η λειωμένη σκωρία ψύχεται και στερεοποιείται. Οι κόκκοι των σκωριών είναι γωνιώδεις και συμπεριλαμβάνουν ακανόνιστου σχήματος αμμόδη υλικά. Αν το μέγεθος των κόκκων είναι μικρότερο από 10 μm, τότε συνεισφέρουν σημαντικά στην ανάπτυξη αντοχής σε σκυρόδεμα ηλικίας μέχρι 28 ημερών, αν είναι από 10 μέχρι 45 μm τότε συνεισφέρουν στην αντοχή σε μεγαλύτερες ηλικίες, ενώ μεγαλύτεροι κόκκοι ενυδατώνονται πολύ δύσκολα.

Η σκωρία υψικαμίνου αποτελείται κυρίως από οξειδία ασβεστίου, σιδήρου και μαγνησίου (CaO, FeO, MgO) και άλλα οξειδία και στοιχεία σε μικρότερες ποσότητες (SiO, MnO, Al₂O₃, P₂O₅, S). Προστίθεται στο ΑΣΣ για να βελτιώσει τις ιδιότητές του στη νωπή και σκληρυμένη φάση.

2.3.5.3 Πυριτική Παιπάλη (Silica Fume)

Η πυριτική παιπάλη είναι ένα παραπροϊόν της βιομηχανίας πυριτικών μετάλλων και σιδηροπυριτικών κραμάτων. Παράγεται από την οξείδωση και συμπύκνωση ατμών SiO₂ και χαρακτηρίζεται από μεγάλη ποζολανικότητα. Είναι ένα εξαιρετικά λεπτόκοκκο υλικό, με σφαιρικούς κόκκους με μέση διάμετρο της τάξης του 0.1 μm.

Προστίθεται στο ΑΣΣ για να βελτιώσει τις ρεολογικές και μηχανικές ιδιοτητές του. Λόγω της λεπτότητας της μπορεί να προσκολλάται επιφανειακά στα αδρανή και να γεμίζει τα κενά μεταξύ των σωματιδίων τσιμέντου. Με αυτόν τον τρόπο προσδίδει συνεκτικότητα στο μίγμα και αναβαθμίζονται οι ιδιότητές του που συνδέονται με τη μικρορηγματώση στη διεπιφάνεια αδρανών – πάστας, όπως η διαπερατότητα.

2.3.5.4 Μετακαολίνης (Metakaolin)

Ο μετακαολίνης είναι ένα προϊόν που παράγεται από την έψηση καθαρού καολινίτη. Ο καολινίτης είναι μια τεχνητή ποζολάνη με πολύ υψηλή ποζολανική δραστικότητα σε σχέση με τις φυσικές ποζολάνες. Ανήκει στην ομάδα των αργιλικών ορυκτών με δομή 1:1, δηλαδή ένα φύλλο τετραέδρων πυριτίου εναλλάσσεται με ένα φύλλο οκταέδρων αργιλίου. Έχει λευκό χρώμα, λεπτόκοκκη υφή, μεγάλη διασπορά και είναι χημικά αδρανής. Το πέτρωμα που αποτελείται κυρίως από το ορυκτό καολινίτη, ονομάζεται καολίνης.

Στην Ελλάδα υπάρχουν κοιτάσματα καολίνη στη Λέσβο, Κίμωλο, Κω, Θήρα, Ροδόπη, Κιλκίς, Μήλο και Δράμα. Ο καολίνης εξορύσσεται περιοδικά μόνο από τα κοιτάσματα της Μήλου και της Δράμας. Όμως, η ποιότητα του είναι χαμηλή καθώς ο καολίνης της Μήλου περιέχει οπαλιοειδή SiO₂ και αλουνίτη (θειούχο ορυκτό) και ο καολίνης της Δράμας περιέχει χαλαζία, αστρίους και μαρμαρυγίες. Τα ενδεικτικά αποθέματα καολίνη (κυρίως της Μήλου και της Δράμας) είναι 50 εκατ. τόνοι.

Η προσθήκη μετακαολίνη στο ΑΣΣ συμβάλει θετικά στη διαπερατότητα σε αέρα, στην υδατοαπορροφητικότητα, στη διάχυση των χλωριόντων Cl⁻ και στην αντοχή σε θλίψη. Επίσης, η λεπτότητα των κόκκων του, καλύπτει τα κενά μεταξύ των κόκκων τσιμέντου και μειώνει το πορώδες.

2.3.5.5 Πληρωτικό ασβεστόλιθου (Limestone filler)

Ο ασβεστόλιθος είναι ένα ιζηματογενές πέτρωμα και αποτελείται κυρίως από ασβεστίτη (CaCO_3). Δημιουργείται με τη διαδικασία της ιζηματογένεσης, δηλαδή την αποσάθρωση, τη μεταφορά, την απόθεση και τη διαγένεση. Η απόθεση του ασβεστίτη μπορεί να είναι είτε χημική, όπως η καθίζηση λόγω κορεσμού στο υδατικό διάλυμα, είτε βιογενής από τα σκελετικά στοιχεία ζωικών ή φυτικών οργανισμών. Ανάλογα με τη διαδικασία σχηματισμού τους οι ασβεστόλιθοι έχουν διάφορα χρώματα και συστάσεις.

Στην Ελλάδα υπάρχουν τεράστια αποθέματα ασβεστόλιθου πολύ καλής ποιότητας κυρίως στην Ανατολική Ελλάδα όπως στην Αττική, Λοκρίδα, Όρθρυ, Βόλο, Εύβοια, Σποράδες, Ανατολική Πελοπόννησο, Νάξο και Ικαρία. Στη βιομηχανία σκυροδέματος, ο ασβεστόλιθος χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή τσιμέντου, ενώ εισάγεται στο σκυρόδεμα και με τη μορφή ασβεστολιθικών αδρανών.

2.3.5.6 Λεπτομερές μαρμάρου (Marble powder)

Τα λεπτομερή από μάρμαρο χρησιμοποιούνται στο ΑΣΣ και στο ΑΣΚ ως πληρωτικά υλικά. Το μάρμαρο είναι ένα πέτρωμα που έχει προέλθει από τη μεταμόρφωση του ασβεστόλιθου. Αποτελείται κυρίως από ασβεστίτη (CaCO_3) ή από το συνδυασμό ασβεστίτη και δολομίτη ($(\text{Ca,Mg})(\text{CO}_3)_2$). Ο δολομίτης είναι σκληρότερο ορυκτό από τον ασβεστίτη, δυσχεραίνει την κατεργασία του μαρμάρου και επιταχύνει τη φθορά του. Το μάρμαρο πολύ συχνά μπορεί να περιέχει και άλλες προσμίξεις, όπως αιματίτη και σιδηροπυρίτη, που διασχίζουν τη μάζα του μαρμάρου με τη μορφή φλεβών. Μπορεί να έχει διάφορα χρώματα όπως λευκό, γκρι, ροζ και πράσινο με διάφορες μπάντες και φλέβες.

Στην Ελλάδα τα πιο γνωστά μάρμαρα είναι της Πάρου και της Πεντέλης. Το μάρμαρο της Πάρου έχει κατάλευκο χρώμα χωρίς στίγματα ή φλέβες και εμφανίζει μεγάλη διαφάνεια. Αποτελείται από καθαρό ασβεστίτη και δεν περιέχει προσμίξεις. Θεωρείται το καλύτερο μάρμαρο του κόσμου και χρησιμοποιήθηκε σε πολλές κατασκευές στην αρχαιότητα. Το Πεντελικό μάρμαρο έχει λευκό χρώμα και διασχίζεται από κυανίζουσες ή υπότεφρες γραμμές. Αν εκτεθεί στην ατμόσφαιρα για μεγάλο χρονικό διάστημα αποκτά το χρώμα της σκουριάς λόγω μιας μικρής αναλογίας οξειδίων που περιέχει. Περιέχει κυρίως οξείδιο του σιδήρου και πιο σπάνια του χαλαζία που δυσκολεύει την επεξεργασία του.

2.3.5.7 Αλεσμένο γυαλί (Ground glass filler)

Το πληρωτικό από αλεσμένο γυαλί που χρησιμοποιείται στο ΑΣΣ και στο ΑΣΚ προέρχεται από ανακυκλωμένο γυαλί με μέγιστο μέγεθος κόκκου 0.1 mm και ελάχιστη ειδική επιφάνεια 2500 cm^2/g . Η χρησιμοποίησή του χρήζει προσοχής, καθώς αν το γυαλί περιέχει μεγαλύτερους κόκκους ίσως προκαλέσουν αλκαλοπυριτική αντίδραση (Alkali-Silica reaction).

2.3.5.8 Λεπτομερές γρανίτη (Granite powder)

Ο γρανίτης είναι ένα πυριγενές πέτρωμα που δημιουργείται όταν το μάγμα στερεοποιείται αργά μέσα στον φλοιό σε βάθος. Σχηματίζεται σε παρεισφρητικούς πλουτώνιους ενδογενείς όγκους κάτω από την επιφάνεια της γης. Αποτελείται περίπου από 25% ορθόκλαστο, 30% χαλαζία, 20% πλαγιόκλαστο, 5% μοσχοβίτη, 10% βιοτίτη και 10% αμφίβολο. Η δομή του συχνά είναι πολύπλοκη λόγω της δράσης ισχυρών πιέσεων και η ροή από το ρευστό τήγμα και η αλληλεπίδραση με τα τοιχώματα των παρακείμενων πετρωμάτων την κάνουν ακόμα πιο πολύπλοκη. Στο κέντρο του πετρώματος ο κύριος πυρήνας εμφανίζει

τυχαία διευθέτηση των ορυκτών ενώ στα όρια του πυρήνα υπάρχουν αναδιπλώσεις λόγω ροής. Έξω από τον πυρήνα παρουσιάζονται μεταμορφωμένα πετρώματα και διάφορες φλέβες με λεπτόκοκκη ή χονδρόκοκκη υφή.

2.3.5.9 Εξαιρετικά λεπτοαλεσμένη άμορφη κολλοειδής πυριτία (Nanosilica)

Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται στο τσιμέντο και στο σκυρόδεμα νανοϋλικά, όπως η εξαιρετικά λεπτοαλεσμένη άμορφη κολλοειδής πυριτία (nanosilica), για να βελτιώσουν την απόδοσή τους. Η προσθήκη της στη σύνθεση τροποποιεί το πορώδες του μίγματος καθώς η μικροδομή του γίνεται πυκνότερη και συμπαγέστερη. Επίσης, μειώνεται η απορρόφηση του νερού, η τριχοειδής απορρόφηση, ο ρυθμός απορρόφησης, η διαπερατότητα του νερού και η διείδυση των χλωριόντων βελτιώνοντας την ανθεκτικότητα. Κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου πραγματοποιείται η ποζολανική αντίδραση nanosilica με $\text{Ca}(\text{OH})_2$, η οποία παράγει επιπλέον ένυδρες ασβεστοπυριτικές ενώσεις (C-S-H), που είναι το κύριο συστατικό για την αντοχή και την πυκνότητα του σκληρυμένου σκυροδέματος. Ταυτόχρονα καταναλώνεται το υδροξείδιο του ασβεστίου ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) το οποίο δεν βοηθάει στην ανάπτυξη της αντοχής. Η εξαιρετικά λεπτοαλεσμένη άμορφη κολλοειδής πυριτία χρησιμοποιείται συνήθως σε ποσοστό 5% κ.β. επί των τσιμεντοειδών υλικών για να περιορίσει την εξίδρωση και να συμβάλλει στη σταθεροποίηση του μίγματος.

2.3.5.10 Χαλαζιακή σκόνη

Ο χαλαζίας (SiO_2) είναι ένα από τα πιο σκληρά ορυκτά και ανήκει στα κλαστικά ιζήματα. Αντέχει τη μηχανική διάβρωση στη διαδικασία συσσώρευσης φερτών υλικών στα ποτάμια ή τις παραλίες και είναι σχετικά ανθεκτικό σε χημική φθορά.

2.3.5.11 Παιπάλη κιμωλίας

Η κιμωλία είναι ένα ασβεστολιθικό πέτρωμα που σχηματίζεται από λείψανα τρηματοφόρων. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της είναι το λευκό χρώμα, το υψηλό πορώδες, οι χαμηλές τιμές αντοχών και η εύκολη τριβή. Το τσιμέντο Portland όταν δημιουργήθηκε το 1824 από τον Joseph Aspdin περιείχε λεπτά αλεσμένη κιμωλία.

2.3.6 Ο ρόλος των χημικών πρόσμικτων στο ΑΣΣ και ΑΣΚ και παρουσίαση των βασικότερων

Τα χημικά πρόσμικτα είναι χημικές ουσίες, που προστίθενται στο μίγμα του ΑΣΣ και του ΑΣΚ κατά την ανάμιξη για να βελτιώσουν τις ιδιότητες του νωπού ή και του σκληρυμένου σκυροδέματος. Συνήθως η προστιθέμενη ποσότητα κυμαίνεται μεταξύ του 0.3% και 2% κ.β. του τσιμέντου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικότερα χημικά πρόσμικτα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ΑΣΣ και ΑΣΚ.

2.3.6.1 Ρευστοποιητές-Πλαστικοποιητές (High range water-reducing admixtures-HRWRA, Superplasticizers)

Οι ρευστοποιητές είναι οργανικά πολυμερή υλικά, με πολύ μικρότερο μέγεθος από το μέγεθος του τσιμέντου και δρουν στην επιφάνεια των συστατικών του σκυροδέματος.

Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες για την ίδια εργασιμότητα σκυροδέματος, στους συνήθεις ρευστοποιητές-πλαστικοποιητές και στους υπερρευστοποιητές-υπερ-πλαστικοποιητές.

Οι συνήθεις ρευστοποιητές-πλαστικοποιητές μειώνουν το ενεργό νερό μέχρι 12% (συνήθως η μείωση είναι από 5% ως 10%). Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι αποτελούνται από λιγνοσουλφονικά άλατα ή παράγωγα λιγνοσουλφονικού οξέος (LS), υδροξυλιωμένα πολυμερή, παράγωγα υδροκαρβοξυλικών οξέων, πολυκαρβοξυλικούς αιθέρες (PCE) ή από έναν συνδυασμό προσθέτων λιγνοσουλφονικής βάσης με όλα τα παραπάνω.

Οι υπερρευστοποιητές- υπερ-πλαστικοποιητές μειώνουν το ενεργό νερό από 12% μέχρι και πάνω από 30%. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι αποτελούνται από σουλφοριωμένα συμπυκνώματα ναφθαλενίου – φορμαλδεϋδης (SNF), σουλφοριωμένα συμπυκνώματα μελαμίνης φορμαλδεϋδης (SMF), πολυκαρβοξυλικούς αιθέρες, παράγωγα συμπολυμερών βινιλίου και συμπυκνώματα αμινοσουλφονικής φορμαλδεϋδης και από έναν συνδυασμό των προηγούμενων μεταξύ τους ή με πρόσθετα λιγνοσουλφονικής βάσης.

Προστίθενται στο μίγμα ΑΣΣ και ΑΣΚ για να μειώσουν τις τριβές μεταξύ των συστατικών του σκυροδέματος, για να επιβραδύνουν την πήξη και τη σκλήρυνση και συνήθως μειώνουν το λόγο N/T με αποτέλεσμα την αύξηση των αντοχών. Επίσης, διαλύουν τα συσσωματώματα και απομακρύνουν και διασκορπίζουν τους κόκκους τσιμέντου.

Βέβαια η αποτελεσματικότητα των ρευστοποιητών εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η χρονική στιγμή της εισαγωγής τους στο μίγμα, η πλήρης και ομοιόμορφη ανάμιξη, η ποσότητα ενεργού νερού και τσιμέντου στο μίγμα, το είδος του τσιμέντου και των αδρανών, η ύπαρξη εισηγμένου αέρα, η θερμοκρασία του σκυροδέματος και η αλληλεπίδραση μεταξύ των προσθέτων.

2.3.6.2 Ρυθμιστές ιξώδους (Viscosity modifying agents - VMAs)

Οι ρυθμιστές ιξώδους βελτιώνουν το ιξώδες των μιγμάτων, το οποίο μειώνει την τάση προς διαχωρισμό των αδρανών. Συνήθως η προστιθέμενη ποσότητα είναι από 0.1% έως 0.2% κ.β. τσιμέντου. Διακρίνονται σε βελτιωτικά άντλησης με βάση τη σελουλόζη και σε διαλύματα πολυαιθυλενίου-γλυκόλης. Όπως ανέφερε η Grabiec A. (2013) οι ρυθμιστές ιξώδους περιέχουν μεγάλες αλυσίδες πολυμερών, οι οποίες συνδέονται με τα μόρια του νερού και απορροφούν ένα μέρος του αυξάνοντας τον όγκο τους, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το ιξώδες του νερού και του μίγματος. Επίσης, τα μόρια των γειτονικών πολυμερικών αλυσίδων έχουν μια ελκτική δύναμη η οποία μειώνει την κινητικότητα του νερού και αυξάνει το ιξώδες. Σε χαμηλή ταχύτητα διάτμησης και σε μεγάλες συγκεντρώσεις των πολυμερών, οι αλυσίδες του μπορούν να συνδεθούν και να στρέφονται αυξάνοντας το φαινόμενο ιξώδες. Με τον αυξανόμενο ρυθμό διάτμησης μπορούν να χαλαρώσουν οι σύνδεσμοι και να αποσυνδεθούν μειώνοντας τη διατμητική αντοχή.

2.3.6.3 Αερακτικά (Air entraining admixtures - AEA)

Τα αερακτικά είναι χημικά πρόσμικτα που δημιουργούν πλήθος μικροσκοπικών φυσαλίδων που περιέχουν αέρα με διάμετρο μικρότερη από 0.3 mm. Αυτές οι φυσαλίδες εξισορροπούν και εκτονώνουν την πίεση στο τριχοειδές σύστημα πόρων του σκυροδέματος προσφέροντας προστασία έναντι ψύξης και απόψυξης. Επίσης, βελτιώνουν τη ρεολογία, ελαττώνουν τον λόγο N/T και αποτρέπουν το διαχωρισμό του μίγματος.

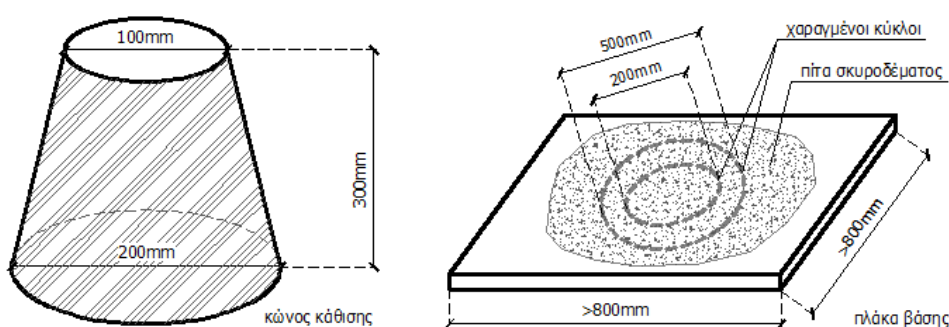
2.4 Δοκιμές και χαρακτηρισμός ιδιοτήτων ΑΣΣ και ΑΣΚ

Για την εκτίμηση των ρεολογικών ιδιοτήτων του ΑΣΣ και του ΑΣΚ έχουν αναπτυχθεί και προταθεί διάφορες δοκιμές, μέρος των οποίων έχει προτυποποιηθεί από τους

αμερικανικούς και ευρωπαϊκούς κανονισμούς, οι βασικότερες από τις οποίες παρουσιάζονται παρακάτω.

2.4.1 Δοκιμή εξάπλωσης ΑΣΣ (Slump flow test)

Η δοκιμή εξάπλωσης ΑΣΣ χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της ελεύθερης οριζόντιας ροής του ΑΣΣ απουσία εμποδίων και, ειδικότερα, της ρευστότητας και της ταχύτητας ροής κατά την οποία μετράται η διάμετρος οριζόντιας εξάπλωσης του νωπού σκυροδέματος. Χρησιμοποιείται η ίδια συσκευή της δοκιμής κάθισης του συμβατικού σκυροδέματος, δηλαδή ένας μεταλλικός κώνος κώνος, η μεγάλη περιφέρεια του οποίου εφαρμόζει καλά σε λεία επιφάνεια, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.5.



Εικόνα 2.5: Εξοπλισμός δοκιμής εξάπλωσης ΑΣΣ (Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδας, 2014)

Ο κώνος πληρώνεται με σκυρόδεμα σε μία φάση, χωρίς να συμπτκνωθεί. Στη συνέχεια, ο κώνος ανασηκώνεται και το σκυρόδεμα αρχίζει να εξαπλώνεται. Όταν σταθεροποιηθεί μετράται η διάμετρος εξάπλωσης του σκυροδέματος που σχηματίζεται, η οποία αναφέρεται ως εξάπλωση, σύμφωνα με το πρότυπο EN 12350-8. Πιο συγκεκριμένα, μετρώνται οι διάμετροι σε δυο κάθετες διευθύνσεις και λαμβάνεται ο μέσος όρος. Όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές της ανεμπόδιστης εξάπλωσης, τόσο αυξημένη είναι η δυνατότητα κάλυψης μεγαλύτερων αποστάσεων από το σημείο έγχυσης. Στον πίνακα 2.1 παρουσιάζονται οι κατηγορίες εξάπλωσης σύμφωνα με το πρότυπο EN 206-9.

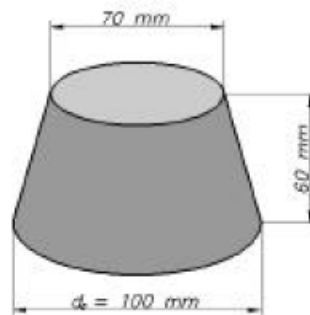
Πίνακας 2.1: Κατηγορίες εξάπλωσης σύμφωνα με το πρότυπο EN 206-9

| Κατηγορία | Εξάπλωση (mm) |
|-----------|---------------|
| SF1 | 550 έως 650 |
| SF2 | 660 έως 750 |
| SF3 | 760 έως 850 |

Επίσης μπορεί να αξιολογηθεί οπτικά η σταθερότητα του μίγματος από την παρατήρηση του εξαπλωμένου σκυροδέματος. Αν το μίγμα δεν εμφανίσει απόμιξη, τότε χαρακτηρίζεται σταθερό, ενώ αν εμφανίσει τότε χαρακτηρίζεται ασταθές.

2.4.2 Δοκιμή εξάπλωσης ΑΣΚ (Mini slump flow test)

Η δοκιμή εξάπλωσης ΑΣΚ πραγματοποιείται όπως για το ΑΣΣ με τη μόνη διαφορά ότι χρησιμοποιείται διαφορετικός εξοπλισμός. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται ένας μεταλλικός κώλουρος κώνος με διαφορετικές διαστάσεις από τον κώνο που χρησιμοποιείται για τη δοκιμή του ΑΣΣ, οι οποίες φαίνονται στην εικόνα 2.6. Η δοκιμή πραγματοποιείται σύμφωνα με τις οδηγίες της EFNARC και για να είναι αποδεκτό το μίγμα του ΑΣΚ θα πρέπει η διάμετρος εξάπλωσης να είναι από 24 έως 26 cm.



Εικόνα 2.6: Εξοπλισμός δοκιμής εξάπλωσης ΑΣΚ (EFNARC, 2002)

2.4.3 Δοκιμή χρόνου εξάπλωσης t_{500} ΑΣΣ

Η δοκιμή χρόνου εξάπλωσης t_{500} ΑΣΣ πραγματοποιείται ταυτόχρονα με τη δοκιμή εξάπλωσης σύμφωνα με το πρότυπο EN 12350-8. Μετράται ο χρόνος από τη χρονική στιγμή έναρξης της ανασήκωσης του κώνου, μέχρι οποιοδήποτε άκρο του εξαπλωνόμενου σκυροδέματος να φτάσει τη διάμετρο των 500 mm. Ο χρόνος αυτός αποτελεί μία ένδειξη της ταχύτητας ροής και συνδέεται με το ιξώδες του μίγματος. Οι μικροί χρόνοι εξάπλωσης χαρακτηρίζουν μίγματα με χαμηλό ιξώδες ενώ οι μεγαλύτεροι χρόνοι υποδηλώνουν υψηλότερο ιξώδες. Σύμφωνα με το πρότυπο EN206-9, αν ο χρόνος εξάπλωσης μετρηθεί μικρότερος από 2 s, τότε το μίγμα ανήκει στην κατηγορία VS1, αλλιώς ανήκει στην κατηγορία VS2.

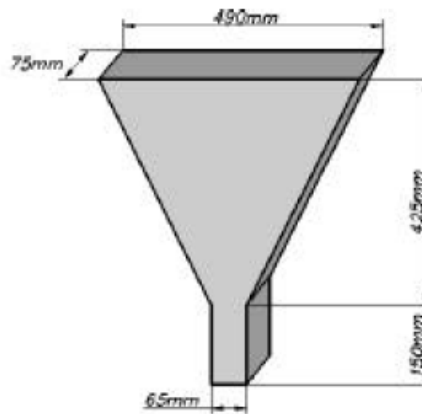
2.4.4 Δοκιμή χρόνου εξάπλωσης t_{20} ΑΣΚ

Η δοκιμή χρόνου εξάπλωσης t_{20} ΑΣΚ πραγματοποιείται ταυτόχρονα με τη δοκιμή εξάπλωσης σύμφωνα με τις οδηγίες της EFNARC. Μετράται ο χρόνος από τη χρονική στιγμή έναρξης της ανασήκωσης του κώνου, μέχρι οποιοδήποτε άκρο του εξαπλωνόμενου σκυροδέματος να φτάσει τη διάμετρο των 20 cm. Ο χρόνος αυτός αποτελεί μία ένδειξη της ταχύτητας ροής και συνδέεται με το ιξώδες του μίγματος. Οι μικροί χρόνοι εξάπλωσης χαρακτηρίζουν μίγματα με χαμηλό ιξώδες ενώ οι μεγαλύτεροι χρόνοι υποδηλώνουν υψηλότερο ιξώδες.

2.4.5 Δοκιμή χοάνης ΑΣΣ (V-funnel test)

Η δοκιμή χοάνης πραγματοποιείται σύμφωνα με το πρότυπο EN 12350-9 και εκτιμά την ικανότητα διέλευσης του μίγματος διαμέσου στενών ανοιγμάτων και συνεισφέρει στον προσδιορισμό του ιξώδους. Πραγματοποιείται με μια συσκευή τύπου χοάνης ορθογωνικής

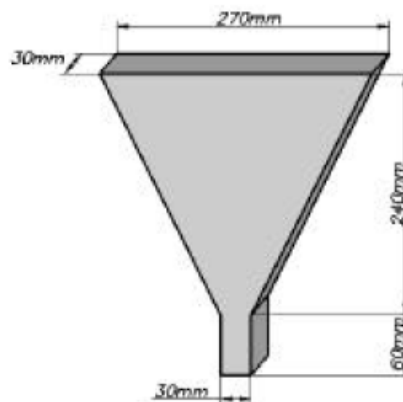
διατομής το άκρο της οποίας καταλήγει σε μια θύρα εκροής, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.7. Η χοάνη πληρώνεται με το νωπό σκυρόδεμα και ανοίγει η θύρα εκροής. Μετράται ο χρόνος εκροής, ο οποίος ξεκινά από τη στιγμή ανοίγματος της θύρας μέχρι τη στιγμή που φαίνεται φως στη θέση της θύρας κοιτάζοντας από πάνω. Στη συνέχεια, το δοχείο επαναπληρώνεται με το ίδιο υλικό και παραμένει σε ηρεμία για 5 λεπτά. Η δοκιμή επαναλαμβάνεται και μετράται ο νέος χρόνος εκροής. Η επανάληψη αυτή δίνει μία εκτίμηση για την τάση του μίγματος να απομιγνύεται. Οι μεγαλύτεροι χρόνοι εκροής κατά την επανάληψη της δοκιμής υποδεικνύουν φαινόμενα απόμιξης.



Εικόνα 2.7: Συσκευή δοκιμής χοάνης ΑΣΣ (EFNARC, 2002)

2.4.6 Δοκιμή χοάνης ΑΣΚ (Mini V-funnel test)

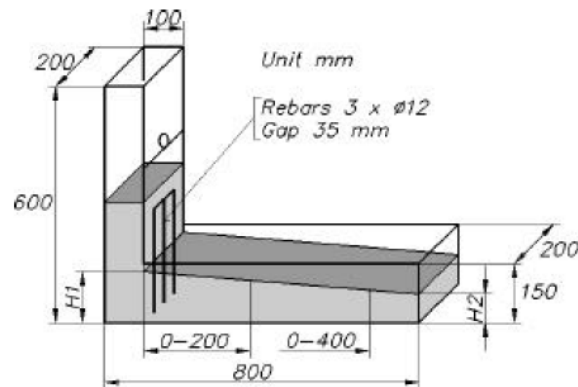
Η δοκιμή εκκένωσης της χοάνης σχήματος V με ΑΣΚ πραγματοποιείται όπως για το ΑΣΣ αλλά σε διάταξη μικρότερης κλίμακας. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται μια συσκευή τύπου χοάνης ορθογωνικής διατομής με διαφορετικές διαστάσεις από αυτήν που χρησιμοποιείται για τη δοκιμή του ΑΣΣ, οι οποίες φαίνονται στην εικόνα 2.8. Η δοκιμή πραγματοποιείται σύμφωνα με τις οδηγίες της EFNARC και για να είναι αποδεκτό το μίγμα του ΑΣΚ θα πρέπει ο χρόνος εκκένωσης της χοάνης να είναι από 7 έως 11 sec.



Εικόνα 2.8: Συσκευή δοκιμής χοάνης ΑΣΚ (EFNARC, 2002)

2.4.7 Δοκιμή δοχείου L ΑΣΣ (L-box test)

Η δοκιμή δοχείου L εκτιμά την ικανότητα διέλευσης του μίγματος διαμέσου πυκνών οπλισμών ή στενών ανοιγμάτων. Πραγματοποιείται σύμφωνα με το πρότυπο EN 12350-10 με μια συσκευή που αποτελείται από ένα δοχείο ορθογωνικής διατομής σχήματος L, με ένα κατακόρυφο και ένα οριζόντιο τμήμα. Τα δύο τμήματα χωρίζονται από κινούμενη θύρα, μπροστά από την οποία είναι τοποθετημένες δύο ή τρεις κατακόρυφες λείες ράβδοι χάλυβα, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.9.



Εικόνα 2.9: Συσκευή δοκιμής δοχείου L (EFNARC, 2002)

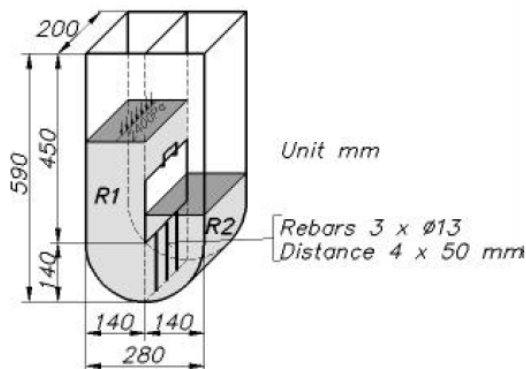
Το κατακόρυφο τμήμα του δοχείου πληρώνεται με ΑΣΣ και αμέσως μετά, η θύρα ανασηκώνεται και το μίγμα ρέει στο οριζόντιο τμήμα του δοχείου. Όταν ολοκληρωθεί η ροή, το ύψος του σκυροδέματος στο άκρο του οριζόντιου τμήματος εκφράζεται ως ποσοστό του εναπομείναντος ύψους του σκυροδέματος στο κατακόρυφο τμήμα του δοχείου.

Ο ελάχιστος επιτρεπόμενος λόγος υψών θεωρείται ίσος με 0.80, ενώ αν υπολογιστεί κοντά στο 1, τότε υποδεικνύει καλύτερη δυναμική ροή του μίγματος ΑΣΣ. Αρχικά η δοκιμή πραγματοποιείται με τρεις κατακόρυφες ράβδους χάλυβα και αν ο λόγος υψών υπολογιστεί μικρότερος από 0.8, τότε η δοκιμή επαναλαμβάνεται με δύο κατακόρυφες ράβδους. Σε περίπτωση που μείνουν χονδρόκοκκα αδρανή πίσω από τις ράβδους οπλισμού ή εμφανιστεί απόμειξη στο άκρο του οριζόντιου τμήματος πρέπει να μεταβληθούν οι αναλογίες των συστατικών του μίγματος ώστε να γίνει σταθερό. Σύμφωνα με το πρότυπο EN206-9, αν ο λόγος υψών μετρηθεί μεγαλύτερος ή ίσος του 0.8 όταν χρησιμοποιηθούν 2 ράβδοι χάλυβα, τότε το μίγμα ανήκει στην κατηγορία PL1, αλλιώς αν χρησιμοποιηθούν 3 ράβδοι τότε ανήκει στην κατηγορία PL2.

2.4.8 Δοκιμή δοχείου U ΑΣΣ (U-box test)

Η δοκιμή δοχείου U εκτιμά και αυτή την ικανότητα διέλευσης του μίγματος διαμέσου πυκνών οπλισμών ή στενών ανοιγμάτων. Πραγματοποιείται με μια συσκευή που αποτελείται από ένα δοχείο ορθογωνικής-κυκλικής διατομής σχήματος U, με δύο κατακόρυφα διαμερίσματα. Τα δύο διαμερίσματα χωρίζονται από κινούμενη θύρα, μπροστά από την οποία είναι τοποθετημένες τρεις κατακόρυφες λείες ράβδοι χάλυβα, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.10. Το διαμέρισμα του δοχείου που βρίσκεται από την αντίθετη πλευρά των ράβδων πληρώνεται με ΑΣΣ και αμέσως μετά η θύρα ανασηκώνεται και το μίγμα ρέει στο άλλο διαμέρισμα του δοχείου μέχρι να ισοροπήσει στα δύο διαμερίσματα βάσει της αρχής

των συγκοινωνούντων δοχείων. Όταν ολοκληρωθεί η ροή μετράται η υψομετρική διαφορά μεταξύ των δύο διαμερισμάτων.

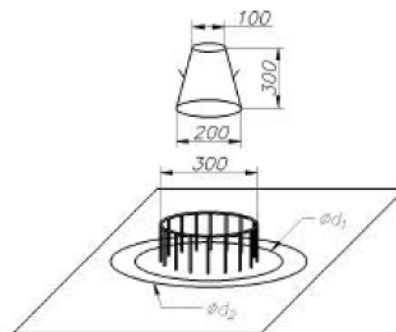


Εικόνα 2.10: Συσκευή δοκιμής δοχείου U (EFNARC, 2002)

Η μέγιστη επιτρεπόμενη υψομετρική διαφορά μεταξύ των δύο διαμερισμάτων είναι ίση με 30 mm. Αν το ΑΣΣ ρέει ελεύθερα, τότε η στάθμη στα δύο διαμερίσματα θα βρίσκεται στο ίδιο ύψος. Αν όμως η υψομετρική διαφορά είναι μεγάλη, τότε φαίνεται η ικανότητα διέλευσης ή ο βαθμός στον οποίο εμποδίζεται η διέλευση του ΑΣΣ διαμέσου των οπλισμών. Αν η πλευρά της συσκευής είναι διαφανής και παρατηρηθούν χονδρόκοκκα αδρανή πίσω από τις ράβδους οπλισμού ή απόμιξη στο άκρο του οριζόντιου τμήματος, πρέπει να μεταβληθούν οι αναλογίες των συστατικών του μίγματος ώστε να γίνει σταθερό. Τέτοια φαινόμενα δεν μπορούν να παρατηρηθούν αν η πλευρά της συσκευής δεν είναι διαφανής.

2.4.9 Δοκιμή δακτυλίου J ΑΣΣ (J-ring test)

Η δοκιμή δακτυλίου J εκτιμά την ικανότητα διέλευσης του ΑΣΣ διαμέσου ράβδων οπλισμού. Πραγματοποιείται σύμφωνα με το πρότυπο EN 12350-12 με έναν πρότυπο κώνο του Abrams που περιβάλλεται από έναν δακτύλιο με κάθετες λείες ράβδους, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.11.



Εικόνα 2.11: Εξοπλισμός δοκιμής δακτυλίου J (EFNARC, 2002)

Ο κώνος πληρώνεται με σκυρόδεμα σε μία φάση χωρίς να συμπυκνωθεί. Έπειτα, ανασηκώνεται και το σκυρόδεμα ρέει διαμέσου των ράβδων. Όταν σταθεροποιηθεί μετράται η διάμετρος του εξαπλωμένου σκυροδέματος που σχηματίζεται, η οποία αναφέρεται ως ροή διαμέσου του δακτυλίου J. Πιο συγκεκριμένα, μετρώνται οι διάμετροι σε δυο κάθετες

διευθύνσεις και λαμβάνεται ο μέσος όρος. Επίσης, μετράται η διαφορά υψών του μίγματος στην εσωτερική και την εξωτερική πλευρά του δακτυλίου σε 4 σημεία και υπολογίζεται ο μέσος όρος.

Η μέγιστη επιτρεπόμενη υψομετρική διαφορά θεωρείται ίση με 10 mm. Αρχικά, η δοκιμή πραγματοποιείται με 16 κατακόρυφες ράβδους χάλυβα και αν η υψομετρική διαφορά υπολογιστεί μεγαλύτερη από 10 mm, τότε η δοκιμή επαναλαμβάνεται με 12 κατακόρυφες ράβδους. Οι υψηλότερες τιμές εξάπλωσης διαμέσου του δακτυλίου J υποδηλώνουν τη δυνατότητα κάλυψης μεγαλύτερων αποστάσεων από το σημείο έγχυσης και τη δυνατότητα ταχύτερης πλήρωσης τύπων. Σε περίπτωση που μείνουν χονδρόκοκκα αδρανή εντός του δακτυλίου πίσω από τις ράβδους οπλισμού, πρέπει να μεταβληθούν οι αναλογίες των συστατικών του μίγματος ώστε να γίνει σταθερό και να μειωθεί η πιθανότητα έμφραξης. Σύμφωνα με το πρότυπο EN206-9 αν η υψομετρική διαφορά μετρηθεί μικρότερη ή ίση των 10 mm όταν χρησιμοποιηθούν 12 ράβδοι χάλυβα, τότε το μίγμα ανήκει στην κατηγορία PJ1, αλλιώς αν χρησιμοποιηθούν 16 ράβδοι τότε ανήκει στην κατηγορία PJ2.

Η διαφορά μεταξύ της διαμέτρου της δοκιμής δακτυλίου J και της δοκιμής εξάπλωσης αποτελεί ένδειξη του βαθμού στον οποίο εμποδίζεται η διέλευση διαμέσου ράβδων οπλισμού.

2.4.10 Δοκιμή σταθερότητας μέσω κοσκίνησης ΑΣΣ (Screen stability test)

Η δοκιμή σταθερότητας μέσω κοσκίνησης εκτιμά την ικανότητα αντίστασης του μίγματος σε πιθανή απόμιξη και πραγματοποιείται για να προσδιοριστεί η σταθερότητά του. Πραγματοποιείται σύμφωνα με το πρότυπο EN 12350-11 με ένα δοχείο δειγματοληψίας και ένα κόσκινο με τετραγωνικά ανοίγματα 5 mm και διάμετρο 350 mm το οποίο είναι τοποθετημένο πάνω από ένα δοχείο υποδοχής.

Ένα δείγμα 10 L από το νωπό σκυρόδεμα αφήνεται μέσα στο δοχείο δειγματοληψίας σε ηρεμία για 15 λεπτά, το οποίο σκεπάζεται για να αποφευχθεί η εξάτμιση. Αν παρατηρηθούν φαινόμενα εξίδρωσης καταγράφονται. Αμέσως μετά 2 L από την επιφάνειά του μεταφέρονται σε άλλο δοχείο, του οποίου μετράται η μάζα αφού προστεθεί το μίγμα. Έπειτα, εκχύνονται στο κόσκινο από ύψος 0.5 m και με ομαλή και συνεχή ροή, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.12.



Εικόνα 2.12: Δοκιμή σταθερότητας μέσω κοσκίνησης (Διαμαντώνης, 2008)

Η μάζα του σκυροδέματος που άδειασε πάνω στο κόσκινο υπολογίζεται από τη διαφορά της μάζας του γεμάτου και του άδειου δοχείου. Μετά από 2 min ζυγίζεται το δοχείο υποδοχής και υπολογίζεται η μάζα του ΑΣΣ που διαπέρασε το κόσκινο, το ποσοστό του

διερχόμενου υλικού και η ποσοστιαία απόμιξη. Η ποσοστιαία απόμιξη υπολογίζεται από την εξίσωση 2.2.

$$SR = \frac{W_{ps} - W_p}{W_c} \times 100 \quad (2.2)$$

όπου,

SR : η ποσοστιαία απόμιξη %

W_{ps} : το μικτό βάρος του δοχείου υποδοχής μαζί με το κοσκινισμένο υλικό

W_p : το καθαρό βάρος του δοχείου υποδοχής

W_c : το μικτό βάρος του κόσκινου και του σκυροδέματος που άδειασε

Οι χαμηλές τιμές της ποσοστιαίας απόμιξης προκαλούν προβλήματα εγκλεισμού φυσαλίδων αέρα, ενώ μεγαλύτερες τιμές οδηγούν σε σημαντική πιθανότητα απόμιξης κατά την κατασκευή. Σύμφωνα με το πρότυπο EN206-9, αν η ποσοστιαία απόμιξη είναι μικρότερη ή ίση από 20%, τότε το μίγμα ανήκει στην κατηγορία SR1, ενώ αν είναι μικρότερη ή ίση από 15% τότε ανήκει στην κατηγορία SR2.

3 Μελέτη σύνθεσης ΑΣΣ και ΑΣΚ – Βιβλιογραφική ανασκόπηση

3.1 Εισαγωγή

Πολλές έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα για την παραγωγή συνθέσεων ΑΣΣ και ΑΣΚ με βελτιωμένα μηχανικά και ρεολογικά χαρακτηριστικά. Πολλοί μελετούν την επιρροή των πληρωτικών υλικών στην ανθεκτικότητα των κατασκευών. Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα ερευνητικών εργασιών σχετικά με την καμπτική και θλιπτική αντοχή, τις δοκιμές της νωπής φάσης και την περιεκτικότητα σε αέρα του ΑΣΣ και ΑΣΚ.

3.2 Τρέχουσα ερευνητική δραστηριότητα

Οι Felekoğlu et al. (2006) διερεύνησαν τις ρεολογικές και τις μηχανικές ιδιότητες στο ΑΣΚ που περιέχει ως πληρωτικό υλικό ασβεστόλιθο (limestone) ή ιπτάμενη τέφρα (fly ash). Τα πληρωτικά χρησιμοποιήθηκαν σε περιεκτικότητες 20%, 40% και 60% κ.β. τσιμέντου σε συνδυασμό με έναν υπερρυστοποιητή πολυκαρβοξυλικής βάσης και συνολικά παρασκευάστηκαν τρεις συνθέσεις με ιπτάμενη τέφρα, τρεις με ένα είδος ασβεστόλιθου, τρεις με άλλο είδος ασβεστόλιθου και μια σύνθεση χωρίς πληρωτικό υλικό. Για τη διερεύνηση των ρεολογικών ιδιοτήτων διεξήχθησαν οι δοκιμές εξάπλωσης, χρόνου εξάπλωσης, χοάνης και μέτρησης ιξώδους και για τη διερεύνηση των μηχανικών ιδιοτήτων η δοκιμή θλίψης. Οι συνθέσεις στις οποίες προστέθηκε πληρωτικό ασβεστόλιθου εμφάνισαν μεγαλύτερους χρόνους στη δοκιμή χοάνης από τη σύνθεση χωρίς πληρωτικό υλικό. Το αρχικό ιξώδες αυξήθηκε με την προσθήκη πληρωτικού ιπτάμενης τέφρας και του ενός είδους ασβεστόλιθου. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις δοκιμή σε θλίψη έδειξαν ότι όλες οι συνθέσεις με ασβεστόλιθο ανέπτυξαν μεγαλύτερες πρώιμες αντοχές από τις συνθέσεις με ιπτάμενη τέφρα, ενώ μετά την ηλικία των 28 ημερών οι συνθέσεις με ιπτάμενη τέφρα εμφάνισαν υψηλότερες αντοχές λόγω των ποζολανικών ιδιοτήτων της.

Οι Belaidi et al. (2011) μελέτησαν την επίδραση της φυσικής ποζολάνης (natural pozzolana) και του λεπτομερούς μαρμάρου (marble powder) ως πληρωτικά υλικά σε συνδυασμό με έναν υπερρυστοποιητή πολυκαρβοξυλικής βάσης στις ρεολογικές και μηχανικές ιδιότητες του ΑΣΣ και του ΑΣΚ. Για το νωπό σκυρόδεμα πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές εξάπλωσης, χρόνου εξάπλωσης, χοάνης, δοχείου L, δακτυλίου J και σταθερότητας μέσω κοσκίνησης και για το σκληρυμένο η δοκιμή θλίψης. Παρασκευάστηκαν συνολικά 12 συνθέσεις κάποιες από τις οποίες περιείχαν το πληρωτικό φυσικής ποζολάνης σε ποσοότητες 5%, 10%, 15%, 20% και 25% κ.β. τσιμέντου και συνθέσεις που περιείχαν πληρωτικά φυσικής ποζολάνης και μαρμάρου σε συνολικές ποσοότητες 10%, 15%, 20%, 30% και 40% κ.β. τσιμέντου. Στις συνθέσεις που περιείχαν και τα δύο πληρωτικά υλικά ο ασβεστόλιθος βελτίωσε τις ρεολογικές ιδιότητες, ωστόσο η αντοχή σε θλίψη μειώθηκε σε σύγκριση με το συμβατικό σκυρόδεμα. Στις συνθέσεις που περιείχαν μόνο φυσική ποζολάνη βελτιώθηκε η λειτουργικότητα και η αντοχή σε θλίψη σε ηλικία 90 ημερών. Οι μέγιστες αντοχές που καταγράφηκαν ήταν σε ηλικία 28 ημερών στη σύνθεση που περιείχε 5% φυσική ποζολάνη και στη σύνθεση που περιείχε πληρωτικά 5% φυσικής ποζολάνης και 5% μαρμάρου.

Οι Jawahar et al. (2013) διερεύνησαν την επίδραση του υπερρυστοποιητή και του ρυθμιστή ιξώδους στις ρεολογικές ιδιότητες του ΑΣΚ. Στη μελέτη τους παρασκεύασαν τρεις συνθέσεις ΑΣΚ που περιείχε ιπτάμενη τέφρα (fly ash) ως πληρωτικό υλικό. Κατά την ανάμιξη μετέβαλαν τις ποσοότητες των χημικών πρόσμικτων μέχρι να βελτιστοποιηθούν οι ρεολογικές ιδιότητες. Για τη διερεύνηση των ρεολογικών ιδιοτήτων διεξήχθησαν οι δοκιμές

εξάπλωσης και χρόνου εξάπλωσης. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη σύνθεση παρασκευάστηκε χωρίς την προσθήκη ρυθμιστή ιξώδους και με αρχική ποσότητα υπερρρευστοποιητή 0.6% που αυξήθηκε μέχρι 1.5% κ.β. τσιμέντου. Η δεύτερη σύνθεση αρχικά παρασκευάστηκε με ποσότητα υπερρρευστοποιητή 0.7% και χωρίς ρυθμιστή ιξώδους, μετά ο υπερρρευστοποιητής αυξήθηκε σε 0.8%, μετά προστέθηκε 0.2% ρυθμιστή ιξώδους και ο υπερρρευστοποιητής αυξήθηκε μέχρι 1.1% κ.β. τσιμέντου. Η τρίτη σύνθεση παρασκευάστηκε με αρχική ποσότητα υπερρρευστοποιητή 0.7% που αυξήθηκε μέχρι 0.9% και χωρίς ρυθμιστή ιξώδους, όμως τελικά προστέθηκε σε ποσοστό 0.2% κ.β. τσιμέντου. Παρατήρησαν ότι η αύξηση της δόσης του υπερρρευστοποιητή αύξανε την εξάπλωση και μείωνε το ιξώδες μέχρι να προκύψει η μέγιστη εξάπλωση, ενώ μετά την μέγιστη εξάπλωση μείωνε την εξάπλωση, αύξανε το ιξώδες και προκαλούσε διαχωρισμό. Η χρήση ρυθμιστή ιξώδους μείωσε την εξίδρωση και αύξησε τη συνεκτικότητα χωρίς να επηρεάσει τη μέγιστη εξάπλωση. Επίσης, η αύξηση της άμμου στο κονίαμα μείωσε την εξάπλωση και αύξησε το ιξώδες.

Οι Neromuceno et al. (2014) διερεύνησαν το σχεδιασμό συνθέσεων ΑΣΣ χρησιμοποιώντας ΑΣΚ και χονδρόκοκκα αδρανή. Οι συνθέσεις του ΑΣΚ που χρησιμοποιήθηκαν παρασκευάστηκαν με πληρωτικά ασβεστόλιθου (limestone powder), ιπτάμενης τέφρας (fly ash) και γρανίτη (granite filler) σε συνδυασμό με έναν υπερρρευστοποιητή πολυκαρβοξυλικής βάσης. Σε πρώτη φάση παρασκεύασαν 74 συνθέσεις κονιάματος οι οποίες σε δεύτερη φάση χρησιμοποιήθηκαν μαζί με προσθήκη αδρανών για να παρασκευαστούν 60 συνθέσεις σκυροδέματος. Για τη διερεύνηση των ρεολογικών ιδιοτήτων διεξήχθησαν οι δοκιμές εξάπλωσης, χοάνης, δοχείου L και μια τροποποιημένη δοκιμή δοχείου U και για τη διερεύνηση των μηχανικών ιδιοτήτων μετρήθηκε η πυκνότητα και η θλιπτική αντοχή. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ικανότητα διέλευσης εκτιμάται καλύτερα με τη δοκιμή εξάπλωσης και η δοκιμή χοάνης δεν πρέπει να αντικαθίσταται από τη δοκιμή χρόνου εξάπλωσης κατά το σχεδιασμό των συνθέσεων. Επίσης, η ικανότητα διέλευσης που εκτιμήθηκε από τη δοκιμή δοχείου L εξαρτάται από το συνδυασμό του όγκου των λεπτόκοκκων αδρανών προς τον όγκο του κονιάματος και τον όγκο των χονδρόκοκκων αδρανών στο σκυρόδεμα. Όταν αυξανόταν ο όγκος των χονδρόκοκκων αδρανών χρειαζόταν να αυξηθεί ο λόγος του όγκου των λεπτόκοκκων αδρανών προς τον όγκο του κονιάματος για να διατηρηθεί η διεισυσμότητα του σκυροδέματος. Σε κάποιες συνθέσεις αν και η τροποποιημένη δοκιμή δοχείου U έδειχνε ότι το μίγμα πληρούσε τα ρεολογικά κριτήρια της αυτοσυμπύκνωσης, η δοκιμή δοχείου L έδειχνε το αντίθετο. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι μετά την προσθήκη μιας συγκεκριμένης ποσότητας πληρωτικών, η ικανότητα διέλευσης καθοριζόταν από τον συνολικό όγκο των πληρωτικών, ενώ μέχρι τότε την καθόριζε ο τύπος τσιμέντου.

Ο Granata (2015) μελέτησε την επίδραση της κίσηρης (pumice powder), της πυριτικής παιπάλης (silica fume) και του ασβεστόλιθου (calcareous powder) ως πληρωτικά υλικά του ΑΣΣ στα ρεολογικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του. Παρασκεύασαν τρεις συνθέσεις ΑΣΣ, μια με πυριτική παιπάλη και κίσηρη, μια με ασβεστόλιθο και μια με κίσηρη, στις οποίες πρόσθεσαν και ένα ακόμα είδος ασβεστόλιθου (marble powder), πλαστικοποιητή πολυκαρβοξυλικής βάσης και ρυθμιστή ιξώδους και μία σύνθεση συμβατικού σκυροδέματος. Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν για το νωπό σκυρόδεμα ήταν η δοκιμή εξάπλωσης, χοάνης, δοχείου L, δοχείου U και δακτυλίου J και για το σκληρυμένο ήταν οι δοκιμές θλίψης, διάρρηξης για την εκτίμηση της εφελκυστικής αντοχής, κάμψης τριών σημείων για την εκτίμηση της ενέργειας θραύσης και δοκιμή συμπίκνωσης για σύγκριση με τα χαρακτηριστικά του συμβατικού σκυροδέματος. Το μίγμα που περιείχε πυριτική παιπάλη και κίσηρη εμφάνισε τις καλύτερες ρεολογικές ιδιότητες. Το μίγμα που περιείχε ασβεστόλιθο παρουσίασε τη μεγαλύτερη εξάπλωση ενώ το μίγμα που περιείχε κίσηρη τη χαμηλότερη ικανότητα διέλευσης, πιθανόν λόγω του γωνιώδους σχήματος των κόκκων της που χρειάστηκαν περισσότερο υπερρρευστοποιητή από τις υπόλοιπες συνθέσεις. Η σύνθεση

που περιείχε κίσηρη εμφάνισε την υψηλότερη θλιπτική και εφελκυστική αντοχή, ενώ παρουσίασε μειωμένη ολκιμότητα. Επίσης, παρατήρησαν ότι η αντοχή της σύνθεσης με κίσηρη αυξήθηκε με αργό ρυθμό λόγω των ποζολανικών ιδιοτήτων της.

Οι Benjeddou et al. (2017) μελέτησαν την επιρροή του μεγέθους των κόκκων του ασβεστόλιθου ως πληρωτικό υλικό (limestone filler) σε συνδυασμό με έναν υπερρρευστοποιητή πολυκαρβοξυλικής βάσης στις ρεολογικές ιδιότητες του νωπού ΑΣΣ. Στη μελέτη τους παρασκεύασαν 4 συνθέσεις ΑΣΣ με τιμές ειδικής επιφάνειας των πληρωτικών υλικών κατά Blaine (blaine specific surface) 3064, 3162, 3959 και 4405 cm²/g. Στο νωπό σκυροδέμα πραγματοποιήσαν τις δοκιμές κώνου Marsh, εξάπλωσης, δοχείου L, χοάνης V, σταθερότητας μέσω κοσκίνησης και μέτρησης περιεκτικότητας σε αέρα και στο σκληρυμένο τη δοκιμή σε θλίψη. Παρατήρησαν ότι η δοσολογία των πληρωτικών ασβεστόλιθου μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τις ρεολογικές ιδιότητες και την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος και όταν χρησιμοποιηθεί πληρωτικό με μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια, τότε η εξάπλωση του σκυροδέματος μειώνεται.

Οι Kadhim et al. (2019) μελέτησαν την επιρροή του νανό-υλικού σκόνης αποκονίωσης περιστροφικών καμίνων (nano cement kiln dust) ως πληρωτικό στις ιδιότητες του ΑΣΚ. Συνολικά παρήχθησαν 5 συνθέσεις με πληρωτικό σκόνης αποκονίωσης περιστροφικών καμίνων σε ποσοστά 1%, 2%, 3%, 4% και 5% κ.β. τσιμέντου σε συνδυασμό με πληρωτικά περλίτη (micro silica powders) και ενός υπερρρευστοποιητή πολυκαρβοξυλικής βάσης και μια σύνθεση χωρίς πληρωτικό για σύγκριση των αποτελεσμάτων. Στη νωπή φάση των κονιαμάτων πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές εξάπλωσης και χοάνης και στη σκληρυμένη φάση μετρήθηκαν η πυκνότητα, η απορρόφηση νερού, το πορώδες, η αντοχή σε θλίψη, σε εφελκυσμό και σε κάμψη, ενώ πραγματοποιήθηκε ανάλυση με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Παρατήρησαν ότι η αύξηση της ποσότητας της σκόνης αποκονίωσης περιστροφικών καμίνων οδήγησε σε αύξηση της εξάπλωσης και μείωση του χρόνου χοάνης, δηλαδή βελτίωσε την εργασιμότητα του νωπού κονιάματος, λόγω της καλύτερης διασποράς και της ομαλής και πυκνής επιφάνειας των κόκκων. Στα σκληρυμένα κονιάματα η πυκνότητα και όλες οι αντοχές αυξήθηκαν με την προσθήκη του πληρωτικού, ενώ η απορρόφηση νερού και το ολικό πορώδες μειώθηκαν. Τέλος, η ανάλυση με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο έδειξε ότι η μικροδομή των σωματιδίων του σκληρυμένου κονιάματος ήταν περισσότερο πυκνή.

4 Πειραματικό μέρος

Σε αυτό το κεφάλαιο μελετάται η επίδραση της προσθήκης πέντε λεπτόκοκκων πληρωτικών υλικών στα χαρακτηριστικά του νωπού και του σκληρυσμένου κονιάματος. Παρουσιάζονται τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, οι συνθέσεις που παρασκευάστηκαν και οι μέθοδοι και οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν.

Η πειραματική διαδικασία διεξάχθηκε στο Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ και στο Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ.

4.1 Υλικά

Για την παρασκευή των κονιαμάτων χρησιμοποιήθηκαν διάφορα λεπτόκοκκα πληρωτικά υλικά, χημικά πρόσμικτα, τσιμέντο, αδρανή υλικά και νερό.

4.1.1 Λεπτόκοκκα πληρωτικά υλικά

Τα λεπτόκοκκα πληρωτικά υλικά που επιλέχθηκαν είναι δύο είδη λεπτομερών μαρμάρου διαφορετικής κοκκομετρίας (marble powder 20 και marble powder 80), πληρωτικό από κοσκίνισμα κίσηρης (pumice powder) και περλίτη (perlite powder) και αλεσμένος περλίτης (m silica), τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω και στον πίνακα 4.2 φαίνονται η χημική σύσταση και οι φυσικές ιδιότητές τους.

4.1.1.1 Λεπτομερή μαρμάρου

Τα δύο είδη λεπτομερών μαρμάρου είναι υψηλής λευκότητας προερχόμενα από το κοίτασμα λευκού μαρμάρου στο Διόνυσο Αττικής, της εταιρείας Dionyssomarble και έχουν εμπορική ονομασία Novocarb 20 και Novocarb 80. Οι φυσικές και οι οπτικές ιδιότητες των λεπτομερών μαρμάρου όπως δίνονται από την εταιρεία παραγωγής παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Φυσικές και οπτικές ιδιότητες των λεπτομερών μαρμάρου

| Ιδιότητα | Marble powder 20 | Marble powder 80 |
|---------------------------------------|---------------------|----------------------|
| Λεπτότητα κόκκων d (0.97) | 16-20 μm | 78 -82 μm |
| Μέσο μέγεθος κόκκων d (0.50) | 4-6 μm | 21-24 μm |
| Κόκκοι λεπτότεροι από 2 μm | 14-26% | 5 -7% |
| Ειδικό βάρος | 2.6 | 2.6 |
| Φαινόμενο βάρος | 0.7 g/cm^3 | 1.01 g/cm^3 |
| Ελαιοαπορροφητικότητα | 20 g/100 g | 18 g/100 g |
| Σκληρότητα (κλίμακα Mohs) | 3 | 3 |
| Λευκότητα (Whiteness index ASTM 313) | $\geq 97,5$ | ≥ 96 |

4.1.1.2 Πληρωτικό κίσηρης

Το πληρωτικό κίσηρης προήλθε από κοσκίνιση κλάσματος κίσηρης με μέσο μέγεθος κόκκων < 125 μm .

4.1.1.3 Πληρωτικό περλίτη

Το πληρωτικό περλίτη προήλθε από κοσκίνιση κλάσματος περλίτη και είχε μέσο μέγεθος κόκκων < 125 μm .

4.1.1.4 Αλεσμένος περλίτης

Το πληρωτικό που χρησιμοποιήθηκε προήλθε από άλεση του λεπτού κλάσματος (0-2 mm) αδιόγκωτου περλίτη.

Πίνακας 4.2: Χημική σύσταση και φυσικές ιδιότητες πληρωτικών υλικών

| Χημική ένωση | Marble powder 20 | Marble powder 80 | Pumice powder | Perlite powder | M Silica |
|------------------------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|----------|
| SiO ₂ (%) | 0.35 | 0.35 | 68.58 | 74.00 | 71.00 |
| Al ₂ O ₃ (%) | - | - | 11.89 | 13.00 | 13.70 |
| Fe ₂ O ₃ (%) | 0.07 | 0.07 | 1.16 | 1.00 | 1.00 |
| CaO (%) | - | - | 4.11 | 1.40 | 0.70 |
| MgO (%) | 0.75 | 0.75 | 0.44 | 0.25 | 0.50 |
| K ₂ O (%) | - | - | 4.02 | 3.50 | 4.00 |
| Na ₂ O (%) | - | - | 2.77 | 4.50 | 3.30 |
| P ₂ O ₅ (%) | - | - | 0.03 | - | - |
| TiO ₂ (%) | - | - | 0.12 | - | - |
| CaCO ₃ (%) | 98.00 | 98.00 | - | - | - |
| Mn ₂ O ₃ (%) | 0.01 | 0.01 | - | - | - |
| LOI (%) | - | - | 7.41 | 2.60 | 5.00 |
| IR (%) | 0.20 | 0.20 | - | - | - |
| Spec. Gravity (Kg/m ³) | 2700 | 2700 | 2200 | 2500 | 2300 |
| SSA (cm ² /g) | 12700 | 2800 | 1890 | 730 | 30000 |

4.1.2 Χημικά πρόσμικτα

Τα χημικά πρόσμικτα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ένας υπερρευστοποιητής (superplasticizer - SP) σε συνδυασμό με έναν ρυθμιστή ιξώδους (viscosity modifying agent - VMA) και πληρούν τις προδιαγραφές του EN 934 - 2.

4.1.2.1 Υπερρευστοποιητής

Ο υπερρευστοποιητής που χρησιμοποιήθηκε ήταν της εταιρείας Domylo και έχει εμπορική ονομασία Chemium NT2. Είναι ένας υπερρευστοποιητής πολυκαρβοξυλικής βάσης νέας γενιάς και επιλέχθηκε για να προσδώσει ρευστότητα πολύ μεγάλης διάρκειας.

Χρησιμοποιείται στην παραγωγή μεταφερόμενου σκυροδέματος, προστίθεται αποκλειστικά στον αναμεικτήρα και είναι ιδανικός για σκυροδέματα με πολύ χαμηλό λόγο N/T.

Επιτυγχάνει ρευστό αντλήσιμο σκυρόδεμα με πολύ χαμηλό λόγο N/T χωρίς να προκαλείται πτώση κάθισης και δεν απαιτείται δόνηση. Η στεγανότητα αυξάνεται και η απαίτηση χρήσης θέρμανσης στις προκατασκευές ελαττώνεται ή αφαιρείται. Επίσης, επιτυγχάνονται πολύ υψηλές πρώιμες και τελικές αντοχές και υψηλές πυκνότητες σκυροδέματος. Η δομή και η εμφάνιση του σκυροδέματος βελτιώνονται, αυξάνεται η πρόσφυση του σκυροδέματος στον οπλισμό και μειώνονται ο ερπυσμός και οι ρηγματώσεις.

Η δοσολογία του εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την ποσότητα και την ποιότητα τσιμέντου και αδρανών και από το λόγο N/T. Η εταιρεία παραγωγής συνιστά για συνήθεις θερμοκρασίες και για τα ελληνικά τσιμέντα να προστίθεται 0.3-2% κατά μάζα τσιμέντου.

4.1.2.2 Ρυθμιστής ιξώδους

Ο ρυθμιστής ιξώδους που προστέθηκε ήταν της εταιρείας Domylco και έχει εμπορική ονομασία Chemium vna. Ανήκει στα πρόσμικτα σκυροδέματος νέας γενιάς, προστίθεται μετά τα αδρανή σε σκυροδέματα που περιέχουν υπερρευστοποιητές της ίδιας κατηγορίας, της Chemium, για να βελτιώσει τις ρεολογικές ιδιότητες και είναι ιδανικός για αυτοσυμπυκνούμενα και προεντεταμένα σκυροδέματα.

Προστίθεται και μετριέται εύκολα λόγω του πολύ χαμηλού ιξώδους και βελτιώνει την αντλησιμότητα. Επίσης, το σκυρόδεμα με χαμηλό λόγο N/T μπορεί να επιτύχει την αυτοσυμπύκνωση χωρίς να επηρεάζεται από την ποιότητα των αδρανών και επιτυγχάνεται υψηλή συνοχή στη νωπή φάση. Το σκυρόδεμα γίνεται ανθεκτικό στη δόνηση και την άντληση και αυξάνεται η στεγανοποίηση. Η επιφανειακή υφή και το τελείωμα του σκυροδέματος βελτιώνονται και οι ρωγμές συρρίκνωσης μειώνονται.

Η δοσολογία του εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την ποσότητα και την ποιότητα τσιμέντου και αδρανών, την ποσότητα του υπερρευστοποιητή και από το λόγο N/T. Η εταιρεία παραγωγής συνιστά για συνήθεις συνθήκες να προστίθεται 0.1-0.3% κατά μάζα τσιμέντου.

4.1.3 Τσιμέντο

Για την παρασκευή των συνθέσεων χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο Portland CEM I 42.5 R. Οι φυσικές ιδιότητες και η χημική ανάλυση του τσιμέντου παρουσιάζονται στους πίνακες 4.3 και 4.4 αντίστοιχα.

Πίνακας 4.3: Φυσικές ιδιότητες του τσιμέντου

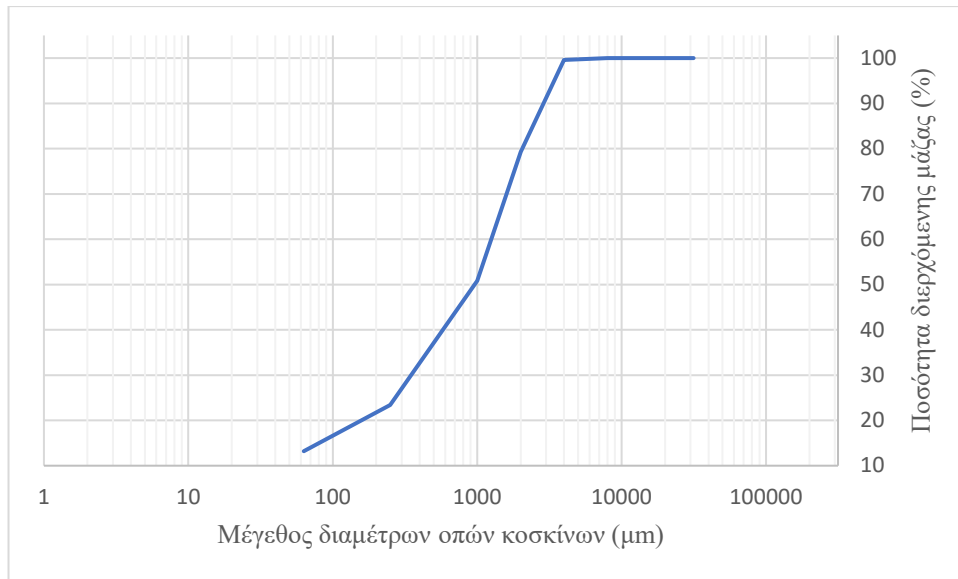
| Φυσική ιδιότητα | Αποτέλεσμα |
|--|------------|
| R45 (%) | 2.01 |
| R90 (%) | 0.06 |
| Ειδική επιφάνεια (cm ² /gr) | 3470 |
| Μεταβολή όγκου (mm) | 1.00 |
| Αρχικός χρόνος πήξης (min) | 250 |
| Τελικός χρόνος πήξης (min) | 295 |
| Νερό πρότυπης συνεκτικότητας (%) | 29.80 |
| Αντοχή 1 ημέρας (MPa) | 18.30 |
| Αντοχή 2ημερών (MPa) | 31.20 |
| Αντοχή 7ημερών (MPa) | 46.50 |
| Αντοχή 28ημερών (MPa) | 60.70 |

Πίνακας 4.4: Χημική ανάλυση του τσιμέντου

| Χημικό στοιχείο | Ποσοστό (%) |
|--------------------------------|-------------|
| SiO ₂ | 19.00 |
| Al ₂ O ₃ | 4.59 |
| Fe ₂ O ₃ | 3.63 |
| CaO | 63.38 |
| MgO | 2.02 |
| SO ₃ | 3.48 |
| K ₂ O | 0.47 |
| Na ₂ O | 0.28 |
| P ₂ O ₅ | 0.17 |
| TiO ₂ | 0.28 |
| LOI | 2.62 |
| IR | 0.20 |

4.1.4 Αδρανή υλικά

Τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ασβεστολιθική άμμος (0 – 4 mm) με ειδικό βάρος 2.67 g/cm³ και μέτρο λεπτότητας 2.73. Η κοκκομετρική ανάλυση της ασβεστολιθικής άμμου παρουσιάζεται στο σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1: Κοκκομετρική ανάλυση της ασβεστολιθικής άμμου

4.1.5 Νερό

Το νερό που χρησιμοποιήθηκε προήλθε από δίκτυο ύδρευσης και ήταν απαλλαγμένο από επιβλαβείς ουσίες.

4.2 Συνθέσεις κονιαμάτων

Για τις ανάγκες των πειραμάτων της παρούσας εργασίας παρήχθησαν συνολικά έξι συνθέσεις αυτοσυμπυκνούμενου κονιάματος, με την προσθήκη λεπτόκοκκων πληρωτικών υλικών στις πέντε από αυτές.

Στον πίνακα 4.5 παρουσιάζονται οι κωδικοποιήσεις των συνθέσεων καθώς και τα συστατικά τους. Η κωδικοποίηση για τις συνθέσεις έγινε ώστε το όνομα της κάθε σύνθεσης να αναφέρεται στο όνομα του λεπτόκοκκου πληρωτικού υλικού που περιέχει στην αγγλική γλώσσα. Για παράδειγμα, η σύνθεση στην οποία προστέθηκε μαρμαρόσκονη με λεπτότητα κόκκων διαμέτρου μικρότερη από 20 μm ονομάστηκε MP20. Το συνολικό νερό εκφράζει το άθροισμα του ενεργού νερού και του νερού που αναμένεται να απορροφηθεί από την περιεχόμενη ποσότητα ασβεστολιθικής άμμου.

Πίνακας 4.5 : Ποσότητες υλικών ανά σύνθεση και ιδιότητες νωπού σκυροδέματος

| Kg/m ³ | MP20 | MP80 | MSILICA | PER | PUM | NOF |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| ΤΣΙΜΕΝΤΟ | 603.91 | 603.91 | 603.91 | 603.91 | 603.91 | 620.57 |
| FILLER | 181.17 | 181.17 | 154.33 | 168.35 | 148.22 | 0 |
| ΑΜΜΟΣ | 1271.77 | 1271.77 | 1271.77 | 1271.77 | 1271.77 | 1418.13 |
| ΕΝΕΡΓ ΝΕΡΟ | 268.40 | 268.40 | 268.40 | 268.40 | 268.40 | 275.81 |
| ΣΥΝ ΝΕΡΟ | 273.24 | 273.24 | 273.24 | 273.24 | 273.24 | 281.20 |
| SP | 5.44 | 6.03 | 7.06 | 6.77 | 6.77 | 4.66 |
| VMA | 0.62 | 0.60 | 0 | 0.60 | 0.45 | 1.77 |
| N/T | 0.44 | 0.44 | 0.44 | 0.44 | 0.44 | 0.44 |
| Πυκνότητα νωπού | 2212.5 | 2205.8 | 2185.2 | 2219.8 | 2208.4 | 2202.4 |

Αρχικά, για κάθε σύνθεση αναμίχθηκαν η άμμος, το τσιμέντο και το λεπτόκοκκο πληρωτικό υλικό για 60 sec, έπειτα το νερό για 120 sec και τέλος η αρχική ποσότητα χημικών προσμίκτων για 60 sec. Μετά, πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές εξάπλωσης και χοάνης τα αποτελέσματα των οποίων καθόρισαν τις τελικές ποσότητες των χημικών προσμίκτων. Οι συνθέσεις παρασκευάστηκαν σύμφωνα με τις οδηγίες της EFNARC, ώστε η διάμετρος εξάπλωσης να είναι από 24 έως 26 cm και ο χρόνος εκκένωσης της χοάνης να είναι από 7 έως 11 sec. Το αρχικό ανάμιγμα υποβλήθηκε στη δοκιμή εξάπλωσης και αν το αποτέλεσμα ήταν αποδεκτό ακολουθούσε η δοκιμή χοάνης, αλλιώς προστίθεντο επιπλέον χημικά πρόσμικτα, αναμιγνύονταν για 60 sec και η δοκιμή εξάπλωσης πραγματοποιούνταν ξανά. Αν ο χρόνος εκκένωσης της χοάνης δεν ήταν αποδεκτός, τότε προστίθεντο επιπλέον χημικά πρόσμικτα και πραγματοποιούνταν ξανά οι δοκιμές. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε μέχρι να μετρηθούν αποδεκτά αποτελέσματα και έτσι προέκυψαν οι τελικές συνθέσεις.

Ο αναμικτήρας ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για όλες τις παρασκευές φαίνεται στην εικόνα 4.1(α). Στην εικόνα 4.1(β) φαίνεται το μίγμα της σύνθεσης MP20 το οποίο περιέχει υπερρυστοποιητή σε ποσοστό 0.53% και στην εικόνα 4.1(γ) φαίνεται το μίγμα της σύνθεσης MP80 το οποίο περιέχει υπερρυστοποιητή σε ποσοστό 0.75%. Για κάθε σύνθεση παρασκευάστηκε 1.5 lt κονιάματος με σταθερό λόγο νερού προς τσιμέντο ίσο με 0.44. Η ποσότητα του τσιμέντου και των αδρανών ήταν ίδια για όλες τις συνθέσεις εκτός της σύνθεσης αναφοράς χωρίς την προσθήκη λεπτόκοκκου πληρωτικού υλικού.



(α)



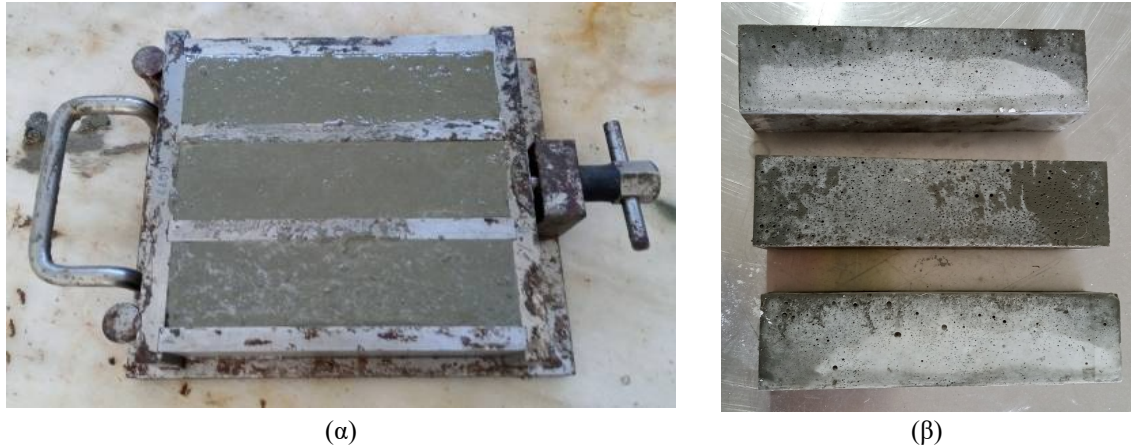
(β)



(γ)

Εικόνα 4.1: Ανάμιξη συνθέσεων (α) αναμικτήρας, (β) μίγμα σύνθεσης MP20 με περιεκτικότητα υπερρυστοποιητή 0.53%, (γ) μίγμα σύνθεσης MP80 με περιεκτικότητα υπερρυστοποιητή 0.75%

Στη συνέχεια, αφού μετρήθηκε η νωπή πυκνότητα και η περιεκτικότητα του μίγματος σε αέρα, το ανάμιγμα τοποθετήθηκε σε συστοιχία τριών πρισματικών μητρών διαστάσεων 160x40x40mm όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2(α). Μετά την παραμονή τους στις μήτρες για 24 ώρες σε υγρό περιβάλλον (σκεπασμένα με υγρό ύφασμα) τα δοκίμια αφαιρέθηκαν από τις μήτρες, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2(β), και τοποθετήθηκαν μέσα σε νερό ώστε να ωριμάσουν και να συντηρηθούν.



Εικόνα 4.2: Δοκίμια (α) πλήρωση των μητρών, (β) δοκίμια σύνθεσης PER

4.3 Πειραματικές μέθοδοι και διαδικασίες

Κατά την πειραματική διερεύνηση ακολουθήθηκαν μέθοδοι για το χαρακτηρισμό των λεπτόκοκκων πληρωτικών υλικών και του νωπού και σκληρυμένου κονιάματος.

4.3.1 Μέθοδοι χαρακτηρισμού λεπτόκοκκων πληρωτικών υλικών

Για το χαρακτηρισμό του πληρωτικού κίσηρης και περλίτη πραγματοποιήθηκαν η μέτρηση της φαινόμενης πυκνότητας και ο προσδιορισμός της κοκκομετρικής κατανομής των κόκκων τους.

4.3.1.1 Μέτρηση φαινόμενης πυκνότητας

Η φαινόμενη πυκνότητα υπολογίστηκε σύμφωνα με το πρότυπο C128-01 όπως περιγράφεται ακολούθως. Αρχικά, για το κάθε υλικό μετρήθηκε το βάρος μιας άδειας φιάλης, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.3 και μετά το βάρος της αφού γέμισε με νερό. Το κάθε υλικό περάστηκε από κόσκινο ανοίγματος 125 μm και το διερχόμενο υλικό τοποθετήθηκε στη φιάλη και μετρήθηκε το βάρος του υλικού και της φιάλης. Τέλος, προστέθηκε νερό και μετρήθηκε το βάρος της φιάλης, του υλικού και του νερού σύμφωνα με την εξίσωση 4.1:

$$P_{φαιν} = \frac{M_4}{M_4 - (M_5 - M_2)} \quad (4.1)$$

όπου,

$P_{φαιν}$: η φαινόμενη πυκνότητα σε g/cm^3 της κάθε άμμου

M_2 : το βάρος της φιάλης και του νερού

M_4 : το βάρος της ξηρής άμμου

M_5 : το βάρος της φιάλης, της άμμου και του νερού



Εικόνα 4.3: Μέτρηση βάρους φιάλης

4.3.1.2 Μέτρηση μεγέθους σωματιδίων

Η ανάλυση του μεγέθους των σωματιδίων έγινε με τη μέθοδο περίθλασης λέιζερ (laser diffraction particle size analysis). Το μέγεθος των σωματιδίων υπολογίστηκε μετρώντας τη γωνία σκέδασης και την ένταση του φωτός που διασκορπίζεται στα σωματίδια. Χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Mastersizer micro MAF 5000, της εταιρείας Malvern Instruments. Ο μηχανισμός ανάδευσης αποτελείται από μια βυθιζόμενη αντλία, μια κεφαλή ανάδευσης με συνεχώς μεταβαλλόμενη αξονική αντλία, έναν αναδευτήρα και μια συνεχώς μεταβαλλόμενη βέργα υπερήχων. Η βαλβίδα αντιστάθμισης της κεφαλής ανάδευσης βυθίστηκε σε ένα δοχείο ζέσεως 600 έως 1000 ml στο οποίο είχε διαλυθεί το δείγμα.

4.3.2 Μέθοδοι χαρακτηρισμού νωπού κονιάματος

Για κάθε νωπό κονίαμα που παρασκευάστηκε μετρήθηκαν οι ρεολογικές ιδιότητες με τις δοκιμές εξάπλωσης (mini slump flow), χρόνου εξάπλωσης (T20) και χοάνης (mini V-funnel) σύμφωνα με τις οδηγίες της EFNARC 2005. Επίσης μετρήθηκε η πυκνότητα σύμφωνα με το πρότυπο EN1015-6 και η περιεκτικότητα σε αέρα σύμφωνα με το πρότυπο EN1015-7.

4.3.2.1 Δοκιμές εξάπλωσης και χρόνου εξάπλωσης

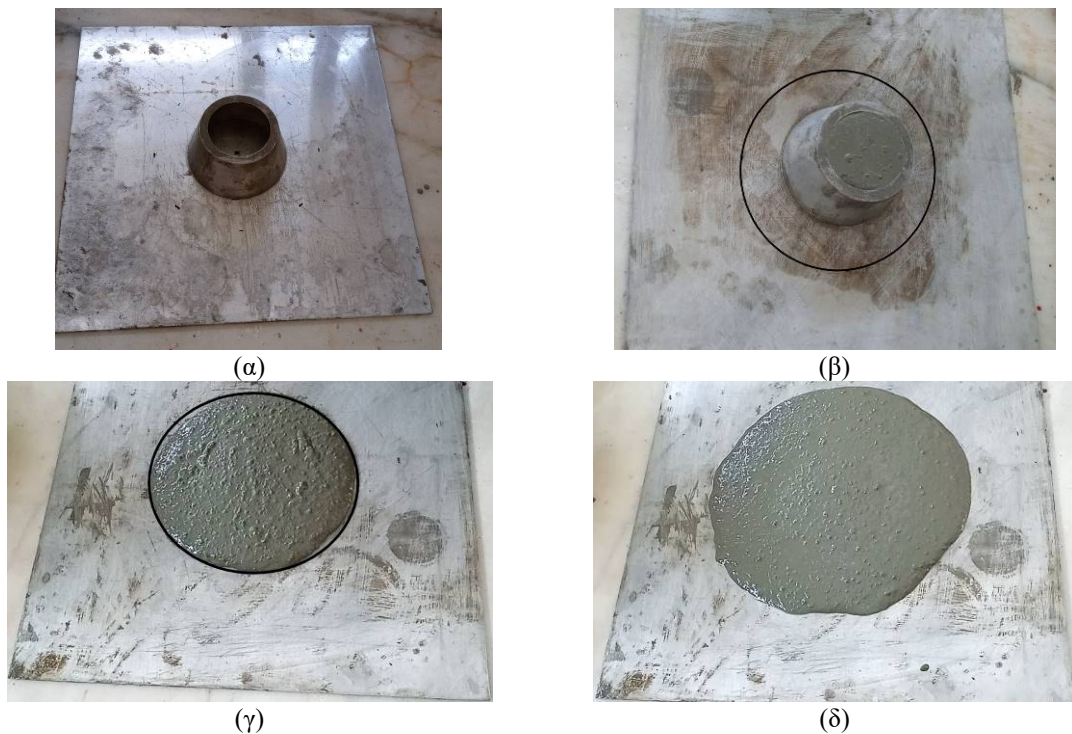
Οι δοκιμές εξάπλωσης και χρόνου εξάπλωσης πραγματοποιήθηκαν ταυτόχρονα με την ίδια πειραματική διάταξη. Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από έναν κώνο με διάμετρο άνω βάσης 70 mm, διάμετρο κάτω βάσης 100 mm και ύψος 60 mm και μια μεταλλική πλάκα στην οποία είχε χαραχθεί ένας κύκλος διαμέτρου 200 mm. Αρχικά, τοποθετήθηκε ο κώνος στο κέντρο της μεταλλικής βάσης και πληρώθηκε με το νωπό κονίαμα, όπως φαίνεται στις εικόνες 4.4(α) και 4.4(β).

Στη συνέχεια ο κώνος ανασηκώθηκε και το κονίαμα άρχισε να εξαπλώνεται. Όταν το κονίαμα σταθεροποιήθηκε, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.4(δ), μετρήθηκε η διάμετρος του

εξαπλωμένου κονιάματος. Συγκεκριμένα, μετρήθηκαν δύο διάμετροι κάθετες μεταξύ τους και υπολογίστηκε η μέση τιμή, η οποία αναφέρεται ως εξάπλωση.

Παράλληλα, καταγράφηκε ο χρόνος που χρειάστηκε από τη στιγμή ανασήκωσης του κώνου μέχρι οποιοδήποτε άκρο του εξαπλωμένου κονιάματος να φτάσει τη διάμετρο των 20 cm, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.4(γ). Ο χρόνος αυτός αποτελεί μια ένδειξη της ταχύτητας ροής και του ιξώδους του μίγματος.

Οι δοκιμές αυτές πραγματοποιήθηκαν από δύο έως τέσσερις φορές για την κάθε σύνθεση, προσθέτοντας χημικά πρόσθετα ώστε η διάμετρος εξάπλωσης να είναι στα επιτρεπτά όρια δηλαδή από 24 έως 26 cm.



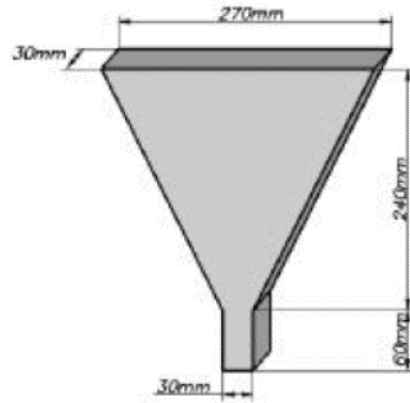
Εικόνα 4.4: Δοκιμή εξάπλωσης (α) διάταξη, (β) πλήρωση με κονίαμα, (γ) προσδιορισμός του T20, (δ) τελική εξάπλωση

4.3.2.2 Δοκιμή χοάνης

Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε με χοάνη σχήματος V ορθογωνικής διατομής το άκρο της οποίας καταλήγει σε μια θύρα εκροής και είναι τοποθετημένη σε μια μεταλλική βάση όπως φαίνεται στην εικόνα 4.5(α). Το πάνω μέρος της χοάνης ήταν διαστάσεων 270×30 mm και το κάτω μέρος 30×30 mm, το τριγωνικό μέρος είχε ύψος 240 mm και το ορθογωνικό 60 mm, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.5(β). Αρχικά η χοάνη πληρώθηκε με το νωπό κονίαμα και η θύρα εκροής άνοιξε. Μετρήθηκε ο χρόνος εκροής, ο οποίος ξεκίνησε από τη στιγμή ανοίγματος της θύρας μέχρι τη στιγμή που φάνηκε φως στη θέση της θύρας κοιτάζοντας από πάνω. Η δοκιμή αυτή επαναλήφθηκε, προσθέτοντας χημικά πρόσμικτα μέχρι ο χρόνος εκροής να είναι στα επιτρεπτά όρια δηλαδή από 7 έως 11 sec.



(α)



(β)

Εικόνα 4.5: Δοκιμή χοάνης (α) διάταξη, (β) διαστάσεις διάταξης

4.3.2.3 Μέτρηση περιεκτικότητας αέρα του νωπού κονιάματος

Η μέτρηση περιεκτικότητας αέρα έγινε με κατάλληλη συσκευή η οποία αποτελείται από έναν μεταλλικό κύλινδρο χωρητικότητας 1 lt και ένα κάλυμμα με βαλβίδες και αντλία όπως φαίνεται στην εικόνα 4.6. Αρχικά, ο κύλινδρος της συσκευής πληρώθηκε με το νωπό κονίαμα και μετά έκλεισε με το κάλυμμα. Έπειτα, τα κενά γέμισαν με νερό και οι βαλβίδες έκλεισαν. Με την αντλία του αέρα η εσωτερική πίεση αυξήθηκε, το κονίαμα συμπιέστηκε και η στάθμη του νερού του κυλίνδρου έπεσε. Η ένδειξη της στάθμης του νερού καταγράφηκε όταν ασκήθηκε η μέγιστη πίεση. Στη συνέχεια η πίεση ελευθερώθηκε, η στάθμη του νερού ανέβηκε και η ένδειξη καταγράφηκε. Η διαφορά στις στάθμες του νερού είναι η περιεκτικότητα του φαινόμενου αέρα.



Εικόνα 4.6: Συσκευή μέτρησης περιεκτικότητας αέρα νωπού κονιάματος

4.3.2.4 Μέτρηση πυκνότητας

Πριν τις παραπάνω δοκιμές και όταν ο μεταλλικός κύλινδρος χωρητικότητας 1 lt πληρώθηκε με το υλικό πραγματοποιήθηκε η μέτρηση του μοναδιαίου βάρους του νεπού κονιάματος, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.7 και υπολογίστηκε η πυκνότητα νεπού κονιάματος.



Εικόνα 4.7: Μέτρηση μοναδιαίου βάρους

4.3.3 Μέθοδοι χαρακτηρισμού σκληρυμένου κονιάματος

Τα δοκίμια που παρασκευάστηκαν υποβλήθηκαν σε δοκιμές κάμψης και θλίψης για να μελετηθούν οι μηχανικές τους ιδιότητες σε ηλικία 28 και 90 ημερών. Ακόμη μετρήθηκε ξανά η περιεκτικότητα σε αέρα με τη χρήση του λογισμικού Image j μετά από κατάλληλη ακολουθία εντολών που αναπτύχθηκαν.

4.3.3.1 Δοκιμή αντοχής σε κάμψη τριών σημείων

Η δοκιμή κάμψης τριών σημείων πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το πρότυπο EN1015-11 και με τη διάταξη που φαίνεται στις εικόνες 4.8(α) και 4.8(β). Το κάθε πρισματικό δοκίμιο τοποθετήθηκε στη συσκευή και υποβλήθηκε σε κάμψη. Η τιμή της τάσης στο πρισματικό δοκίμιο υπολογίστηκε για το μέσο του μήκους του από τη σχέση 4.2:

$$\sigma_f = \frac{3 \times P \times L}{2 \times d_1 \times d_2^2} \quad (4.2)$$

όπου,

σ_f : η τιμή της τάσης του πρισματικού δοκιμίου σε MPa

P : το φορτίο αστοχίας του υπό κάμψη πρισματικού δοκιμίου σε mm

L : η απόσταση μεταξύ των δύο σημείων έδρασης του υπό κάμψη πρισματικού δοκιμίου σε mm

d_1 : το πλάτος του υπό κάμψη πρισματικού δοκιμίου σε mm

d_2 : το ύψος του υπό κάμψη πρισματικού δοκιμίου σε mm

Ξεκίνησε να ασκείται φορτίο 2.00 KN και αυξανόταν με ρυθμό 1.50 KN/sec μέχρι να ασκηθεί το φορτίο αστοχίας. Στο τέλος της δοκιμής η οθόνη της συσκευής έδειχνε το φορτίο και την τάση αστοχίας.

4.3.3.2 Δοκιμή αντοχής σε μονοαξονική θλίψη

Τα δύο επιμέρους πρισματικά τεμάχια που προέκυψαν από την αστοχία σε κάμψη του ενός δοκιμίου υποβλήθηκαν το καθένα σε δοκιμή αντοχής σε μονοαξονική θλίψη σύμφωνα με το πρότυπο EN1015-1. Το κάθε δοκίμιο τοποθετήθηκε στη διάταξη που φαίνεται στην εικόνα 4.8(γ). Η τιμή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη υπολογίστηκε από την σχέση 4.3:

$$\sigma_c = \frac{P}{A_c} \quad (4.3)$$

όπου,

σ_c : η τιμή της τάσης θραύσεως σε MPa

P : το φορτίο αστοχίας του υπό θλίψη πρισματικού δοκιμίου σε N

A_c : το εμβαδό της επιφάνειας που ασκείται το φορτίο σε mm²

Ξεκίνησε να ασκείται φορτίο 0.50 KN και αυξανόταν με ρυθμό 0.05 KN/sec μέχρι να ασκηθεί το μέγιστο φορτίο. Στο τέλος της δοκιμής η οθόνη της συσκευής έδειχνε το φορτίο και την τάση αστοχίας.



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 4.8: Δοκιμή κάμψης και θλίψης (α) διάταξη, (β) διάταξη κάμψης τριών σημείων, (γ) διάταξη μονοαξονικής θλίψης

4.3.3.3 Μέτρηση περιεκτικότητας αέρα του σκληρυμένου κονιάματος με χρήση του λογισμικού Image j

Δοκίμια κάθε σύνθεσης κόπηκαν κατάλληλα με τροχό, ώστε να προκύψουν από δύο λείες ελεύθερες επιφάνειες. Στη συνέχεια λήφθηκαν φωτογραφίες από τα δοκίμια οι οποίες επεξεργάστηκαν κατάλληλα με χρήση του λογισμικού Image j. Αρχικά, οι φωτογραφίες κόπηκαν σε σχήμα τετραγώνου και μετατράπηκαν σε ασπρόμαυρες. Στη συνέχεια, τροποποιήθηκε η φωτεινότητα και η αντίθεση και εφαρμόστηκε φίλτρο για να μειωθεί ο θόρυβος της εικόνας. Η φωτεινότητα και η αντίθεση προσαρμόστηκαν ξανά, ώστε να προκύψει η μέγιστη αντίθεση και η κλίμακα τροποποιήθηκε για να εντοπιστούν όλα τα κενά αέρα. Αφαιρέθηκε ο θόρυβος των λευκών εικονοστοιχείων (pixel) της εικόνας με το κατάλληλο φίλτρο. Τέλος, μετρήθηκε το ποσοστό του μαύρου χρώματος το οποίο αντιστοιχεί στα κενά αέρα. Η κάθε φωτογραφία επεξεργάστηκε δύο φορές, μετρήθηκε το ποσοστό του αέρα σε 2 ενδεικτικές περιοχές της κάθε επεξεργασμένης εικόνας και υπολογίστηκε ο μέσος όρος.

5 Αποτελέσματα και συζήτηση

5.1 Χαρακτηρισμός λεπτόκοκκων πληρωτικών υλικών

5.1.1 Φαινόμενη πυκνότητα

Η φαινόμενη πυκνότητα για το πληρωτικό της κίσηρης υπολογίστηκε 2.21 g/cm^3 και για του περλίτη 2.51 g/cm^3 βάσει των ακόλουθων υπολογισμών, όπως φαίνονται στον πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1: Υπολογισμοί μέτρησης φαινόμενης πυκνότητας για το πληρωτικό κίσηρης και περλίτη

| Μέγεθος | Συμβολισμός | Υλικό Κίσηρης | Υλικό Περλίτης |
|---|-------------|------------------|-------------------|
| Βάρος φιάλης | M1 | 60.52 | 63.29 |
| Βάρος φιάλης με νερό | M2 | 557.11 | 558.71 |
| Βάρος ξηρής άμμου εντός φιάλης | M3 | 80.51 | 87.68 |
| Βάρος ξηρής άμμου | M4 | 19.99 | 24.39 |
| Βάρος φιάλης +Βάρος άμμου +Βάρος νερού | M5 | 568.05 | 573.38 |
| $M4/[M4-(M5-M2)] \times P_{\text{νερ}}$ | Pφαιν | 2.20 | 2.50 |

Στον πίνακα 5.2 παρουσιάζονται οι φαινόμενες πυκνότητες όλων των λεπτόκοκκων πληρωτικών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν .

Πίνακας 5.2: Φαινόμενη πυκνότητα λεπτόκοκκων πληρωτικών υλικών

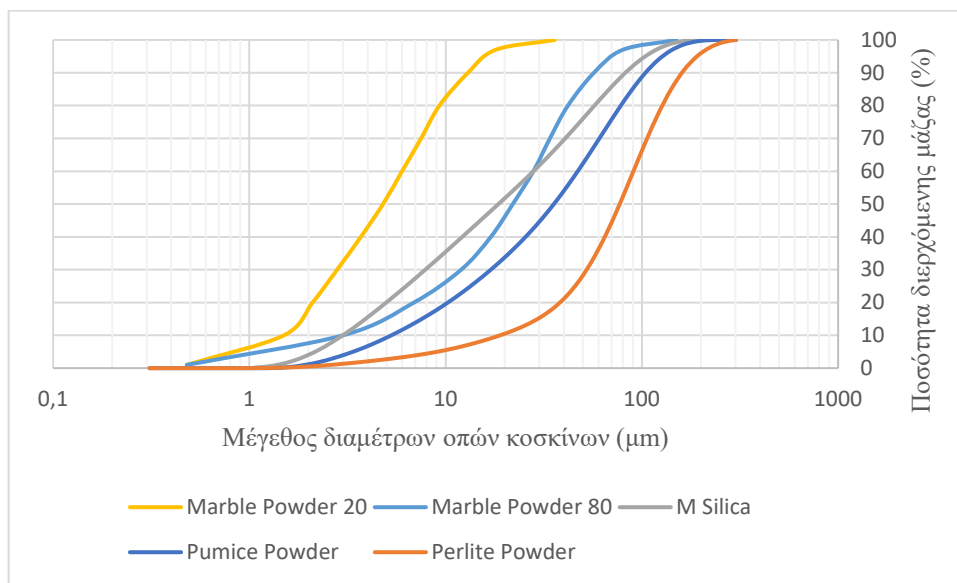
| Υλικό | Φαινόμενη πυκνότητα (g/cm^3) |
|------------------|---|
| Marble powder 20 | 2.70 |
| Marble powder 80 | 2.70 |
| Pumice powder | 2.21 |
| Perlite powder | 2.51 |
| M silica | 2.30 |

5.1.2 Μέγεθος σωματιδίων

Το μέγεθος των σωματιδίων του πληρωτικού κίσηρης και περλίτη μετρήθηκε με τη μέθοδο περίθλασης λέιζερ για το διερχόμενο από κόσκινο ανοίγματος $125 \mu\text{m}$ κλάσμα. Η σπή κοσκίνου από την οποία διέρχεται το 90% των σωματιδίων (D90) προσδιορίστηκε σε $108.50 \mu\text{m}$ και $188.68 \mu\text{m}$ για την κίσηρη και τον περλίτη αντίστοιχα. Η κοκκομετρική ανάλυση του πληρωτικού κίσηρης και περλίτη όπως προέκυψε κατά τη μέτρηση παρουσιάζεται στο Παράρτημα Α.

Η διάμετρος των κόκκων του περλίτη μετρήθηκε μεγαλύτερη από το άνοιγμα του κόσκινου από το οποίο διήλθε (125 μm) λόγω δημιουργίας συσσωματωμάτων. Στη συνέχεια, έγινε προσπάθεια διαχωρισμού των συσσωματωμάτων με υπερήχους κατά τη μέτρηση χωρίς όμως σημαντικές διαφορές καθώς, η διάμετρος (D90) των κόκκων της κίσηρης μετρήθηκε 104.28 μm και του περλίτη 160.07 μm . Η κοκκομετρική ανάλυση του πληρωτικού κίσηρης και περλίτη, όπως προέκυψε κατά την επανάληψη της μέτρησης, και των υπόλοιπων πληρωτικών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζεται στο Παράρτημα Α.

Στο σχήμα 5.1 παρουσιάζονται οι κοκκομετρικές αναλύσεις όλων των λεπτόκοκκων πληρωτικών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν. Όπως φαίνεται, το λεπτό κλάσμα της μαρμαρόσκονης Marble Powder 20 αποτελεί το λεπτότερο πληρωτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε, ενώ το πληρωτικό περλίτη το χονδρότερο.



Σχήμα 5.1: Κοκκομετρικές αναλύσεις όλων των λεπτόκοκκων πληρωτικών υλικών

5.2 Χαρακτηρισμός νωπού κονιάματος

5.2.1 Ρεολογικές ιδιότητες

Τα αποτελέσματα των δοκιμών εξάπλωσης, χρόνου εξάπλωσης και χοάνης καθώς και η ποσοτήτα υπερρευστοποιητή που περιείχε το μίγμα κάθε δοκιμής φαίνονται στον πίνακα 5.3. Στη συνέχεια αναλύονται τα αποτελέσματα των δοκιμών σε κάθε σύνθεση πριν προκύψουν οι τελικές ποσοτήτες των χημικών προσμίκτων καθώς και οι παρατηρήσεις για τη σταθερότητα των νωπών κονιαμάτων.

Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα διαμέτρου εξάπλωσης (cm), χρόνου εξάπλωσης (sec) χοάνης (sec) και ποσοτήτες υπερρευστοποιητή (%)

| Σύνθεση | Ποσότητα SP (%cem) | Εξάπλωση (cm) | Χρόνος T20 (sec) | Χρόνος Vfunnel (sec) |
|---------|--------------------|---------------|------------------|----------------------|
| MP20 | 0.79 | 23.00 | 2.75 | |
| | 0.90 | 27.50 | 1.33 | 7.20 |
| MP80 | 0.75 | 17.50 | | |
| | 1.00 | 26.00 | 2.01 | 9.14 |
| MSILICA | 1,01 | 18.50 | | |
| | 1,11 | 23.25 | 1.57 | 13.48 |
| | 1,17 | 25.50 | 1.73 | 11.89 |
| PER | 0.87 | 19.25 | | |
| | 1.01 | 30.00 | 1.82 | |
| | 1.01 | 22.50 | 3.12 | |
| | 1.12 | 26.75 | 1.96 | 10.12 |
| PUM | 1.00 | 21.75 | 5.24 | |
| | 1.12 | 24.50 | 2.22 | 10.49 |
| NOF | 0.50 | 18.75 | | |
| | 0.75 | 26.75 | 1.00 | 4.26 |
| | | 25.75 | 1.00 | 6.15 |
| | | 24.25 | 1.87 | 6.91 |

Στη σύνθεση MP20 πραγματοποιήθηκε η δοκιμή εξάπλωσης όταν το μίγμα κονιάματος περιείχε υπερρευστοποιητή σε ποσοστό 0.79%, η εξάπλωση μετρήθηκε 23.00 cm οπότε προστέθηκε επιπλέον ποσότητα 0.11% για να αυξηθεί η διάμετρος και το τελικό αποτέλεσμα ήταν 27.50 cm. Σε αυτή τη σύνθεση παρατηρήθηκε απόμιξη που υποδηλώνει αστάθεια του μίγματος όπως φαίνεται στην εικόνα 5.1, λόγω μεγαλύτερης ποσότητας υπερρευστοποιητή από αυτήν που έπρεπε. Η εξάπλωση και η απόμιξη θα μπορούσαν να μειωθούν αν είχε προστεθεί λιγότερη ποσότητα υπερρευστοποιητή ή είχε προστεθεί ρυθμιστής ιξώδους.



Εικόνα 5.1: Εξάπλωση μίγματος σύνθεσης MP20

Στη σύνθεση MP80 πραγματοποιήθηκε η δοκιμή εξάπλωσης όταν το μίγμα κονιάματος περιείχε υπερρρευστοποιητή σε ποσοστό 0.75%, η εξάπλωση μετρήθηκε 17.50 cm, οπότε προστέθηκε επιπλέον ποσότητα 0.25% και η τελική διάμετρος μετρήθηκε 26.00 cm.

Στη σύνθεση MSILICA πραγματοποιήθηκε η δοκιμή εξάπλωσης όταν το μίγμα κονιάματος περιείχε υπερρρευστοποιητή σε ποσοστό 1.01% και η εξάπλωση μετρήθηκε 18.50 cm. Μετά προστέθηκε επιπλέον ποσότητα 0.10% η διάμετρος εξάπλωσης ήταν 23.50 cm και όπως φαίνεται στην εικόνα 5.2(α) παρουσιάστηκε μια ελάχιστη απόμιξη και ο χρόνος της δοκιμής χοάνης μετρήθηκε 13.48 sec. Για να μειωθεί ο χρόνος χοάνης προστέθηκε επιπλέον 0.06% και ο χρόνος μετρήθηκε 11.89 sec, η διάμετρος 25.50 cm και όπως φαίνεται στην εικόνα 5.2(β) το τελικό μίγμα ήταν ευσταθές.



(α)



(β)

Εικόνα 5.2: Εξάπλωση μίγματος σύνθεσης MSILICA με περιεκτικότητα υπερρρευστοποιητή (α) 1.11%, (β) 1.17%

Στη σύνθεση PER πραγματοποιήθηκε η δοκιμή εξάπλωσης όταν το μίγμα κονιάματος περιείχε υπερρρευστοποιητή σε ποσοστό 0.87% και η εξάπλωση μετρήθηκε 19.50 cm. Στη συνέχεια προστέθηκε επιπλέον ποσότητα 0.14% και η διάμετρος εξάπλωσης ήταν 30 cm και το μίγμα παρουσίασε υψηλή αστάθεια όπως φαίνεται στην εικόνα 5.3(α). Για να μειωθεί, προστέθηκε επιπλέον ποσότητα ρυθμιστή ιξώδους, η διάμετρος μειώθηκε στα 22.50 cm. Τελικά προστέθηκε επιπλέον 0.11% υπερρρευστοποιητή και η διάμετρος εξάπλωσης μετρήθηκε 26.75 cm, ο χρόνος της δοκιμής χοάνης 10.12 sec και μειώθηκε αρκετά η απόμιξη όπως φαίνεται στην εικόνα 5.3(β).



(α)



(β)

Εικόνα 5.3: Εξάπλωση μίγματος σύνθεσης PER με περιεκτικότητα υπερρρευστοποιητή (α) 1.01%, (β) 1.12%

Στη σύνθεση PUM πραγματοποιήθηκε η δοκιμή εξάπλωσης όταν το μίγμα κονιάματος περιείχε υπερρυστοποιητή σε ποσοστό 1.00%, η εξάπλωση κονιάματος μετρήθηκε 21.75 cm και προστέθηκε επιπλέον ποσότητα 0.12% για να αυξηθεί η διάμετρος. Η τελική διάμετρος μετρήθηκε 24.50 cm, ο χρόνος της δοκιμής χοάνης 10.49 sec και δεν παρατηρήθηκε απόμιξη όπως φαίνεται στην εικόνα 5.4.



Εικόνα 5.4: Εξάπλωση μίγματος σύνθεσης PUM

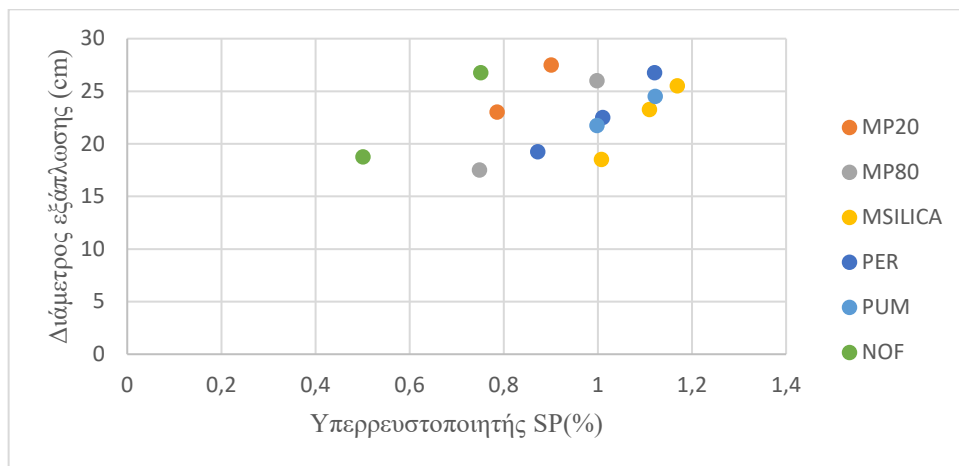
Στη σύνθεση NOF πραγματοποιήθηκε η δοκιμή εξάπλωσης όταν το μίγμα κονιάματος περιείχε 0.10% ρυθμιστή ιξώδους και 0.75% υπερρυστοποιητή. Η εξάπλωση κονιάματος μετρήθηκε 18.75 cm και συνέχεια προστέθηκαν επιπλέον ποσότητες ρυθμιστή ιξώδους. Αρχικά προστέθηκαν επιπλέον 0.11% η διάμετρος εξάπλωσης αυξήθηκε στα 26.75 cm και ο χρόνος της δοκιμής χοάνης ήταν 4.26 sec. Για να αυξηθεί ο χρόνος χοάνης προστέθηκαν επιπλέον 0.05% και ο χρόνος αυξήθηκε στα 6.15 sec. Τελικά προστέθηκαν επιπλέον 0.03% και ο χρόνος χοάνης μετρήθηκε 6.91 sec, η διάμετρος εξάπλωσης 24.25 cm αλλά παρά τη μεγάλη ποσότητα ρυθμιστή ιξώδους παρατηρήθηκε υψηλή αστάθεια όπως φαίνεται στην εικόνα 5.5. Η απόμιξη που παρουσιάστηκε ήταν αναμενόμενη καθώς η σύνθεση δεν περιείχε καθόλου πληρωτικό υλικό.



Εικόνα 5.5: Εξάπλωση μίγματος σύνθεσης NOF

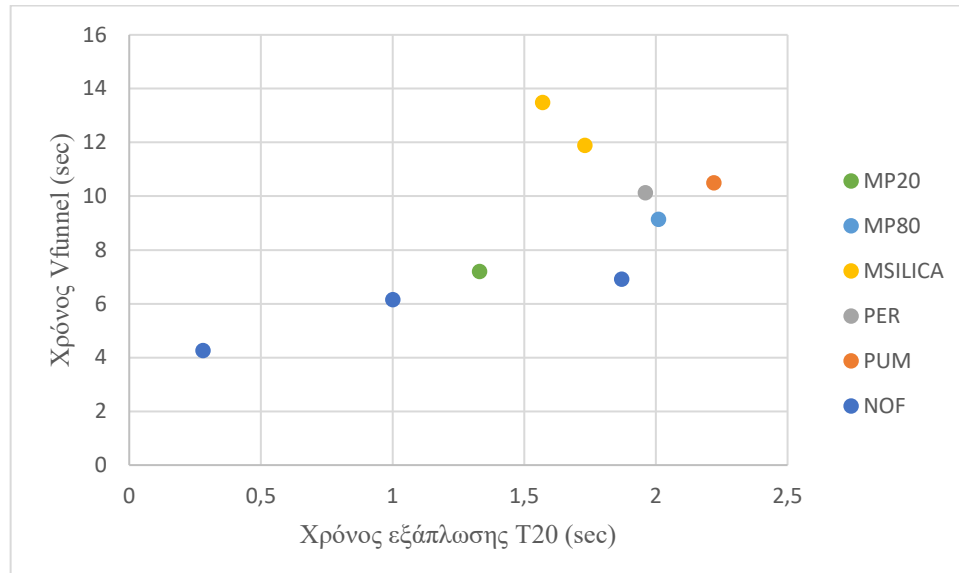
Για τη διερεύνηση της συσχέτισης της εξάπλωσης κονιάματος και της ποσότητας υπερρυστοποιητή που περιέχει δίνεται το σχήμα 5.2 στο οποίο φαίνονται τα αποτελέσματα της δοκιμής εξάπλωσης και οι περιεκτικότητες υπερρυστοποιητή για κάθε μίγμα

κονιάματος που μελετήθηκε για κάθε σύνθεση. Παρατηρείται ότι η αύξηση της ποσότητας του υπερρυστοποιητή στο μίγμα αυξάνει την εξάπλωση αυτοσυμπυκνούμενου κονιάματος, με μάλλον γραμμικό τρόπο σε αυτά τα ποσοστά προσθήκης και κατά περίπτωση σύνθεσης.



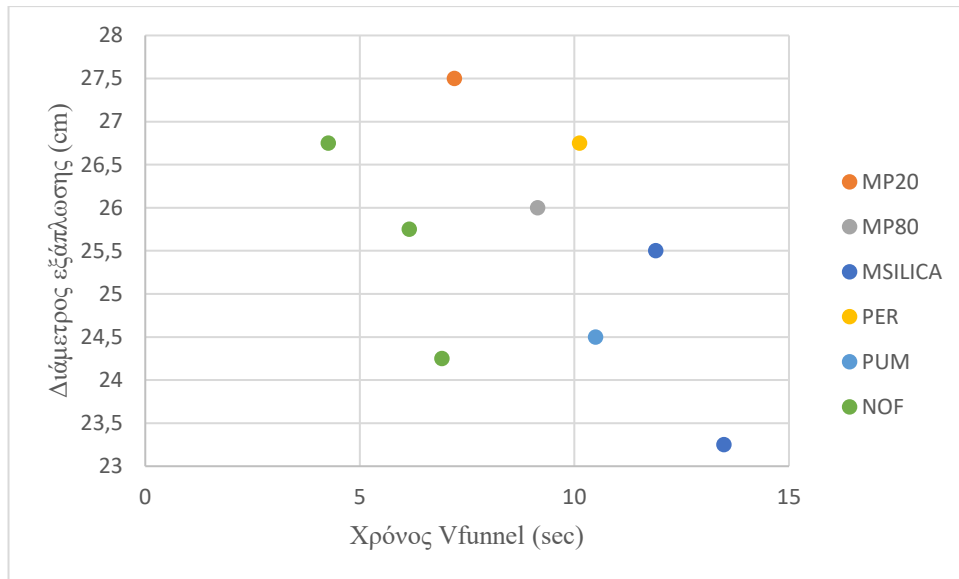
Σχήμα 5.2: Συσχέτιση διαμέτρου δοκιμής εξάπλωσης (cm) και ποσότητα υπερρυστοποιητή (%)

Για τη διερεύνηση της συσχέτισης των χρόνων των δοκιμών εξάπλωσης και χοάνης παρουσιάζεται το σχήμα 5.3 στο οποίο φαίνονται οι καταγραφές των χρόνων αυτών για κάθε μίγμα κονιάματος που μελετήθηκε για κάθε σύνθεση. Παρατηρείται ότι οι χρόνοι των δοκιμών αυτών έχουν κοινή τάση, καθώς και οι δύο αποτελούν έμμεσους δείκτες του ιξώδους του μίγματος.



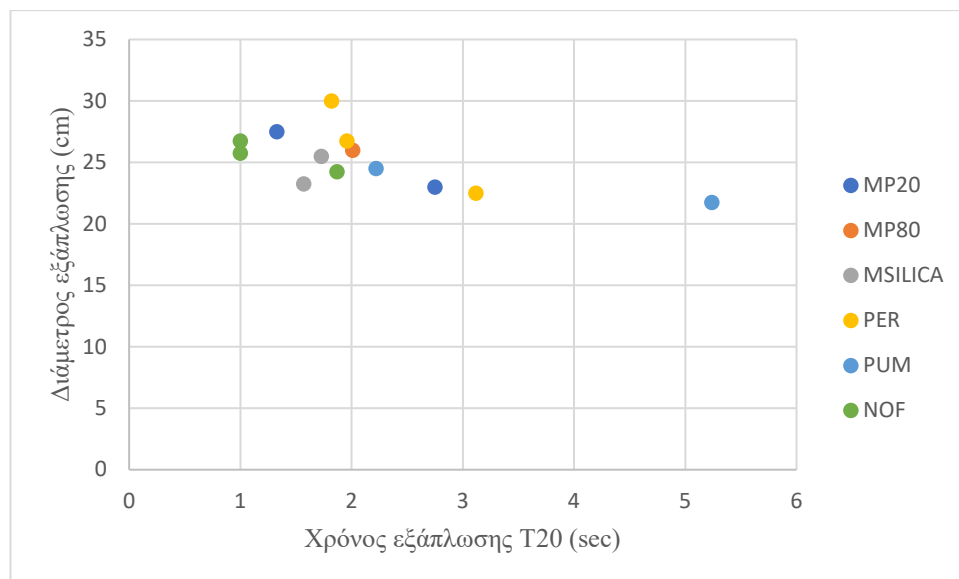
Σχήμα 5.3: Συσχέτιση χρόνου εξάπλωσης T20 (sec) και χρόνου χοάνης Vfunnel (sec)

Για τη διερεύνηση της συσχέτισης της εξάπλωσης κονιάματος και του χρόνου της δοκιμής χοάνης δίνεται το σχήμα 5.4 στο οποίο φαίνονται οι μετρήσεις των δοκιμών εξάπλωσης και χοάνης για κάθε μίγμα κονιάματος που μελετήθηκε. Παρατηρείται ότι κατά βάση, όταν μετρήθηκε η μικρότερη διάμετρος εξάπλωσης τότε καταγράφηκε ο μεγαλύτερος χρόνος χοάνης.



Σχήμα 5.4: Συσχέτιση διαμέτρου δοκιμής εξάπλωσης (cm) και χρόνου δοκιμής χοάνης (sec)

Για τη διερεύνηση της συσχέτισης της εξάπλωσης κονιάματος και του χρόνου της δοκιμής εξάπλωσης δίνεται το σχήμα 5.5 στο οποίο φαίνονται τα αποτελέσματα των δοκιμών εξάπλωσης και χρόνου εξάπλωσης για κάθε μίγμα κονιάματος που μελετήθηκε για κάθε σύνθεση. Παρατηρείται ότι κατά βάση όταν αυξάνεται η διάμετρος εξάπλωσης τότε μειώνεται ο χρόνος της δοκιμής εξάπλωσης.



Σχήμα 5.5: Συσχέτιση διαμέτρου δοκιμής εξάπλωσης (cm) και χρόνου εξάπλωσης (sec)

Τα αποτελέσματα των δοκιμών εξάπλωσης, χρόνου εξάπλωσης και χοάνης που προέκυψαν για τις τελικές συνθέσεις και οι ποσότητες των χημικών προσμίκτων που περιέχουν παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4: Αποτελέσματα δοκιμών εξάπλωσης, T20 και χοάνης τελικών συνθέσεων και ποσότητες χημικών προσμίκτων

| | MP20 | MP80 | MSILICA | PER | PUM | NOF |
|---------------------------|-------------|-------------|----------------|------------|------------|------------|
| d(cm) | 27.5 | 26 | 25.5 | 26.75 | 24.5 | 24.25 |
| t ₂₀ (sec) | 1.33 | 2.01 | 1.73 | 1.96 | 2.22 | 1.87 |
| t _{funnel} (sec) | 7.2 | 9.14 | 11.89 | 10.12 | 10.49 | 6.91 |
| SP (%cem) | 0.90 | 1.00 | 1.17 | 1.12 | 1.12 | 0.75 |
| VMA (%cem) | 0.10 | 0.10 | 0 | 0.10 | 0.07 | 0.28 |

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα η μεγαλύτερη διάμετρος της δοκιμής εξάπλωσης μετρήθηκε στη σύνθεση MP20 και η μικρότερη στη σύνθεση NOF. Στη σύνθεση MP20 καταγράφηκε ο μικρότερος χρόνος εξάπλωσης ο οποίος ήταν πολύ μικρότερος σε σχέση με τις υπόλοιπες συνθέσεις. Η σύνθεση NOF παρουσίασε το μικρότερο χρόνο στη δοκιμή χοάνης και η σύνθεση MSILICA το μεγαλύτερο.

5.2.2 Πυκνότητα και περιεκτικότητα σε αέρα του νωπού κονιάματος

Η πυκνότητα και η περιεκτικότητα σε αέρα των συνθέσεων όπως μετρήθηκε στο νωπό κονιάμα φαίνεται στον πίνακα 5.5. Το μικρότερο ποσοστό αέρα καταγράφηκε στη σύνθεση MSILICA και ήταν 3.74% και το μεγαλύτερο στη σύνθεση NOF που μετρήθηκε 5.55%, γεγονός που μπορεί να εξηγηθεί από την έντονη παρουσία χημικών προσμίκτων στη σύνθεση αναφοράς, ειδικότερα ρυθμιστή ιξώδους.

Πίνακας 5.5: Πυκνότητα και περιεκτικότητα σε αέρα του νωπού κονιάματος

| | MP20 | MP80 | MSILICA | PER | PUM | NOF |
|--------------------------------|-------------|-------------|----------------|------------|------------|------------|
| πυκνότητα (kg/m ³) | 2212.5 | 2205.8 | 2185.2 | 2219.8 | 2208.4 | 2202.4 |
| περιεκτικότητα αέρα (%) | 5.14 | 4.55 | 3.74 | 5.23 | 4.71 | 5.55 |

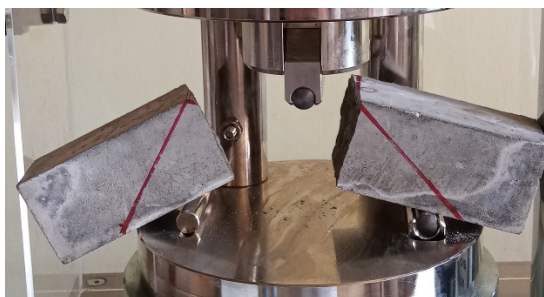
5.3 Χαρακτηρισμός σκληρυμένου κονιάματος

5.3.1 Αντοχή σε κάμψη

Τα αποτελέσματα της καμπτικής αντοχής για κάθε δοκίμιο σε κάθε ηλικία, καθώς και η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση σε ηλικία 28 ημερών παρουσιάζονται στον πίνακα 5.6 και στην εικόνα 5.6 φαίνεται ένα δοκίμιο μετά τη δοκιμή κάμψης.

Πίνακας 5.6: Αποτελέσματα καμπτικής αντοχής (MPa) 28 και 90 ημερών, μέση τιμή και τυπική απόκλιση 28 ημερών

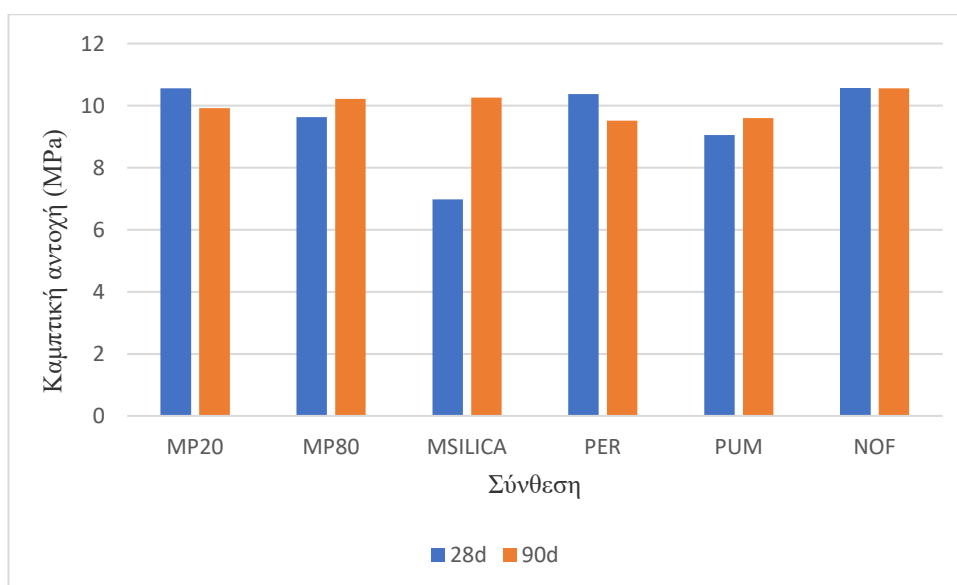
| Καμπτική αντοχή (MPa) | δοκίμιο | Σύνθεση | | | | | |
|-----------------------|---------|---------|-------|---------|-------|------|-------|
| | | MP20 | MP80 | MSILICA | PER | PUM | NOF |
| 28 ημερών | 1 | 10.61 | 10.85 | 7.48 | 10.14 | 8.48 | 11.50 |
| | 2 | 10.51 | 8.42 | 6.48 | 10.60 | 9.62 | 9.63 |
| Μέση τιμή | | 10.56 | 9.63 | 6.98 | 10.37 | 9.05 | 10.56 |
| Τυπική απόκλιση | | 0.07 | 1.72 | 0.72 | 0.32 | 0.81 | 1.32 |
| 90 ημερών | 3 | 9.92 | 10.22 | 10.26 | 9.52 | 9.60 | 10.56 |



Εικόνα 5.6: Δοκίμιο μετά τη δοκιμή κάμψης

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα αλλά και από τα διαγράμματα του σχήματος 5.6 στην ηλικία των 28 ημερών η μεγαλύτερη τιμή της καμπτικής αντοχής καταγράφηκε στις συνθέσεις MP20 και NOF που σημείωσαν παραπλήσιες τιμές αντοχής, ξεπερνώντας τα 10.5 MPa. Ακολούθησε η σύνθεση PER με καμπτική αντοχή πάνω από 10 MPa. Η σύνθεση MSILICA παρουσίασε τη μικρότερη αντοχή σε κάμψη η οποία ήταν περίπου 7 MPa.

Στην ηλικία των 90 ημερών η μεγαλύτερη τιμή της καμπτικής αντοχής καταγράφηκε στη σύνθεση NOF που ξεπέρασε τα 10.5 MPa. Ακολούθησαν οι συνθέσεις MP80 και MSILICA με καμπτική αντοχή πάνω από 10 MPa. Οι υπόλοιπες συνθέσεις παρουσίασαν και αυτές παραπλήσιες τιμές αντοχής σε κάμψη πάνω από τα 9.5 MPa.



Σχήμα 5.6: Μέση καμπτική αντοχή (MPa) για κάθε σύνθεση σε κάθε ηλικία

5.3.2 Αντοχή σε θλίψη

Τα αποτελέσματα της θλιπτικής αντοχής για κάθε δοκίμιο σε κάθε ηλικία, καθώς και η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση παρουσιάζονται στον πίνακα 5.7 και στην εικόνα 5.7 φαίνεται ένα δοκίμιο μετά τη δοκιμή θλίψης. Σημειώνεται ότι η μέτρηση της θλιπτικής αντοχής του ενός επιμέρους δοκιμίου που προέκυψε από τη δοκιμή κάμψης του 3^{ου} δοκιμίου της σύνθεσης MP20 απορρίφθηκε λόγω της πολύ μεγάλης απόκλισης από τη μέτρηση του άλλου δοκιμίου η οποία μοιάζει ακριβέστερη. Επίσης, απορρίφθηκαν οι μετρήσεις των δοκιμίων που προέκυψαν από τη θραύση του 2^{ου} δοκιμίου της σύνθεσης MSILICA καθώς η δοκιμή μονοαξονικής θλίψης πραγματοποιήθηκε στην επιφάνεια χύτευσης.

Πίνακας 5.7: Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής (MPa) 28 και 90 ημερών, μέση τιμή και τυπική απόκλιση

| Θλιπτική αντοχή (MPa) | δοκίμιο | Σύνθεση | | | | | |
|-----------------------|---------|---------|-------|---------|-------|-------|-------|
| | | MP20 | MP80 | MSILICA | PER | PUM | NOF |
| 28 ημερών | 1α | 65.79 | 62.61 | 79.96 | 61.30 | 60.90 | 65.47 |
| | 1β | 67.13 | 65.13 | 78.05 | 60.04 | 60.20 | 65.93 |
| | 2α | 66.69 | 66.08 | 43.18 | 57.52 | 61.59 | 63.73 |
| | 2β | 67.46 | 64.86 | 44.37 | 58.52 | 62.28 | 63.76 |
| Μέση τιμή | | 66.77 | 64.67 | 79.01 | 59.34 | 61.24 | 64.72 |
| Τυπική απόκλιση | | 0.73 | 1.47 | 1.36 | 1.66 | 0.90 | 1.15 |
| 90 ημερών | 3α | 67.49 | 65.74 | 97.68 | 69.12 | 78.29 | 69.51 |
| | 3β | 48.44 | 68.21 | 96.28 | 73.10 | 74.55 | 69.66 |
| Μέση τιμή | | 67.49 | 66.97 | 96.98 | 71.11 | 76.42 | 69.59 |
| Τυπική απόκλιση | | - | 1.75 | 0.99 | 2.81 | 2.65 | 0.10 |

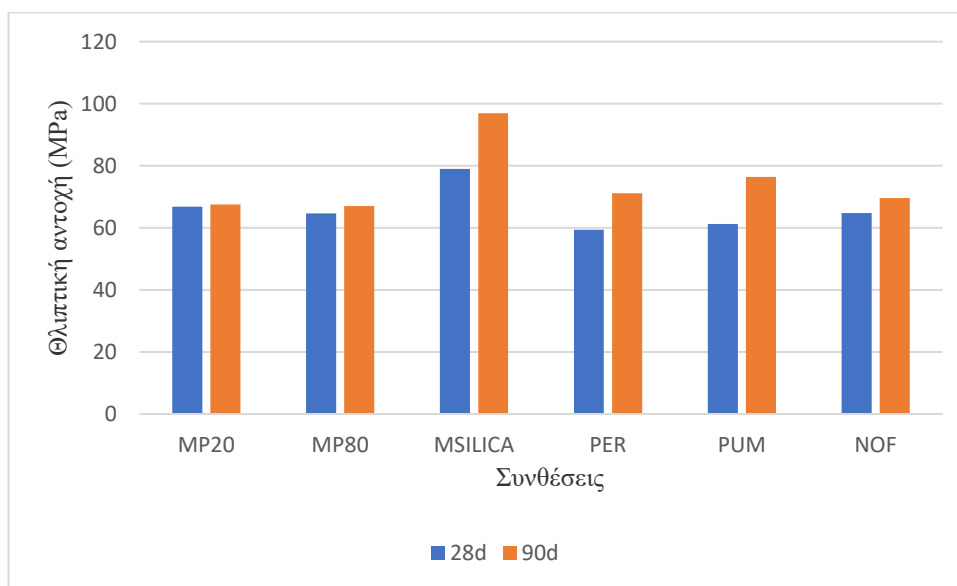


Εικόνα 5.7: Δοκίμιο μετά τη δοκιμή θλίψης

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα του σχήματος 5.7 στην ηλικία των 28 ημερών η μεγαλύτερη τιμή της θλιπτικής αντοχής καταγράφηκε στη σύνθεση MSILICA, στα 79.01 MPa. Ακολούθησε η σύνθεση MP20 με θλιπτική αντοχή πάνω από 66 MPa. Οι υπόλοιπες συνθέσεις παρουσίασαν αντοχή σε θλίψη μεγαλύτερη από 60 MPa εκτός από την σύνθεση PER που σημείωσε 59.34 MPa.

Αναμενόμενα, στην ηλικία των 90 ημερών καταγράφηκαν ακόμα υψηλότερες τιμές θλιπτικής αντοχής για όλες τις συνθέσεις. Η μεγαλύτερη τιμή θλιπτικής αντοχής καταγράφηκε εκ νέου στη σύνθεση MSILICA η οποία ήταν 96.98 MPa. Ακολούθησαν οι συνθέσεις PUM και PER ξεπερνώντας τα 76 MPa και 71 MPa αντίστοιχα. Οι υπόλοιπες συνθέσεις παρουσίασαν παραπλήσιες τιμές αντοχής σε θλίψη πάνω από τα 66 MPa. Οι

καμπτικές αντοχές σε όλες τις συνθέσεις ήταν υψηλές λόγω των λεπτόκοκκων πληρωτικών και των λεπτόκοκκων αδρανών που περιείχαν. Το μικρό μέγεθος των αδρανών αύξησε την εφελκυστική αντοχή και τελικά την καμπτική αντοχή.



Σχήμα 5.7: Μέση θλιπτική αντοχή (MPa) για κάθε σύνθεση σε κάθε ηλικία

Από την ποσοστιαία αύξηση της αντοχής μεταξύ 28 και 90 ημερών, μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα αναφορικά με την ποζολανικότητα των λεπτόκοκκων πληρωτικών υλικών. Πιο συγκεκριμένα όπως φαίνεται στον πίνακα 5.8 η σύνθεση PUM παρουσίασε την πιο έντονη ποζολανική δράση και ακολούθησε η σύνθεση MSILICA.

Πίνακας 5.8: Συντελεστής αύξησης θλιπτικής αντοχής 90 ημ. σε σχέση με την αντοχή 28 ημ.

| Θλιπτική αντοχή (MPa) | Σύνθεση | | | | | |
|-----------------------|---------|-------|---------|-------|-------|-------|
| | MP20 | MP80 | MSILICA | PER | PUM | NOF |
| 28 ημερών | 66.77 | 64.67 | 79.01 | 59.34 | 61.24 | 64.72 |
| 90 ημερών | 67.49 | 66.97 | 96.98 | 71.11 | 76.42 | 69.59 |
| λόγος 28ημ./90ημ. | 1.01 | 1.04 | 1.23 | 1.20 | 1.25 | 1.08 |

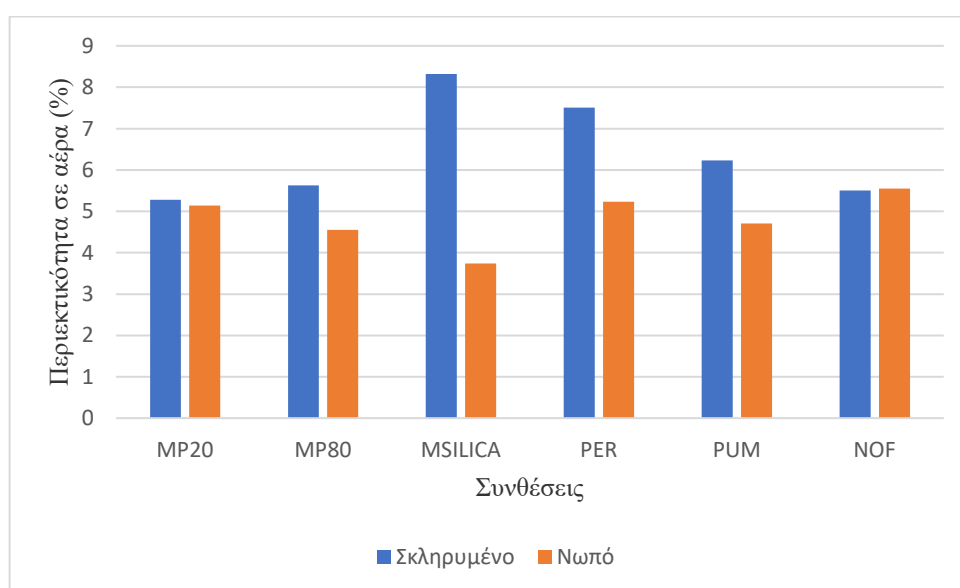
5.3.3 Περιεκτικότητα σε αέρα του σκληρυμένου κονιάματος

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της περιεκτικότητας σε αέρα των φωτογραφιών με χρήση του λογισμικού Image j καθώς και η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση παρουσιάζονται στον πίνακα 5.9. Σημειώνεται ότι για τη σύνθεση MP80 απορρίφθηκαν οι τιμές των μετρήσεων 1 έως 8 λόγω της μεγάλης τυπικής απόκλισης μεταξύ των τιμών.

Πίνακας 5.9: Αποτελέσματα περιεκτικότητας (%) εγκλωβισμένου αέρα σκληρυμένου κονιάματος, μέση τιμή και τυπική απόκλιση

| μέτρηση | Σύνθεση | | | | | |
|---------|---------|-------|---------|-------|-------|------|
| | MP20 | MP80 | MSILICA | PER | PUM | NOF |
| 1 | 4.31 | 8.20 | 11.29 | 9.02 | 7.20 | 5.27 |
| 2 | 4.20 | 10.07 | 7.64 | 5.60 | 8.78 | 5.52 |
| 3 | 4.31 | 9.39 | 8.40 | 9.29 | 8.16 | 6.66 |
| 4 | 5.29 | 9.62 | 7.85 | 6.01 | 10.74 | 5.83 |
| 5 | 6.64 | 7.94 | 6.61 | 10.18 | 8.34 | 6.55 |
| 6 | 6.59 | 7.01 | 8.95 | 7.32 | 6.74 | 7.61 |
| 7 | 6.42 | 7.89 | 7.28 | 9.91 | 8.92 | 5.22 |
| 8 | 5.95 | 7.08 | 1078 | 7.76 | 6.66 | 6.13 |
| 9 | 3.84 | 4.37 | 7.95 | 7.97 | 6.49 | 3.02 |
| 10 | 3.44 | 4.35 | 7.31 | 7.59 | 4.97 | 4.97 |
| 11 | 4.13 | 6.44 | 8.95 | 6.81 | 5.59 | 3.29 |
| 12 | 3.47 | 4.67 | 8.13 | 6.79 | 4.53 | 4.92 |
| 13 | 5.23 | 6.26 | 8.06 | 7.12 | 3.60 | 5.50 |
| 14 | 6.73 | 6.92 | 9.50 | 5.29 | 3.13 | 6.10 |
| 15 | 6.54 | 6.16 | 6.75 | 7.62 | 3.24 | 5.38 |
| 16 | 7.35 | 5.88 | 7.67 | 5.85 | 2.58 | 6.09 |
| | 5.28 | 5.63 | 8.32 | 7.51 | 6.23 | 5.50 |
| | 1.33 | 1.01 | 1.32 | 1.49 | 2.41 | 1.15 |

Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.8 η τιμή της περιεκτικότητας σε αέρα του νωπού κονιάματος είναι πολύ κοντά στην τιμή της περιεκτικότητας σε αέρα του σκληρυμένου κονιάματος για τις συνθέσεις MP20 και NOF, ενώ για τη σύνθεση MSILICA παρατηρείται η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ των τιμών αυτών. Επίσης, παρατηρείται ότι οι τιμές της περιεκτικότητας σε αέρα του σκληρυμένου κονιάματος υπολογίστηκαν μεγαλύτερες από τις τιμές του νωπού κονιάματος σε όλες τις συνθέσεις εκτός από τη σύνθεση NOF.



Σχήμα 5.8: Μέση περιεκτικότητα σε αέρα για κάθε σύνθεση σε νωπό και σκληρυμένο κονίαμα

Στους πίνακες του παραρτήματος Β φαίνονται οι φωτογραφίες που λήφθηκαν από κάθε δοκίμιο για κάθε σύνθεση πριν και μετά την επεξεργασία τους και στο παράρτημα Γ αναλύεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία τους.

6 Προκαταρκτική οικονομικοτεχνική αξιολόγηση

Στον πίνακα 6.1 παρουσιάζονται οι ενδεικτικές τιμές των λεπτομερών μαρμάρου (Marble powder 20 και Marble powder 80) και του αλεσμένου περλίτη (M silica) και στον πίνακα 6.2 οι ενδεικτικές τιμές του υπερρυστοποιητή (Chemium NT2) και του ρυθμιστή ιξώδους (Chemium VMA) που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Πίνακας 6.1: Ενδεικτικό κόστος λεπτόκοκκων πληρωτικών υλικών

| Λεπτόκοκκο πληρωτικό υλικό | Ενδεικτικό κόστος (€/tn) |
|----------------------------|--------------------------|
| Marble powder 20 | 85 |
| Marble powder 80 | 66 |
| M silica | 225 |

Πίνακας 6.2: Ενδεικτικό κόστος χημικών προσμίκτων

| Χημικό πρόσμικτο | Ενδεικτικό κόστος (€/kg) |
|------------------|--------------------------|
| Chemium VMA | 0.95 |
| Chemium NT2 | 0.89 |

Στον πίνακα 6.3 φαίνεται η αναμενόμενη επίδραση στην τιμή παρασκευής 1 m³ ΑΣΚ όταν προστεθούν σε αυτό τα παραπάνω υλικά. Υπολογίζονται οι προσαυξήσεις των επιμέρους υλικών στις συνθέσεις που παρήχθησαν στην παρούσα εργασία και η συνολική προσαύξηση της κάθε σύνθεσης.

Πίνακας 6.3: Προσαύξηση της τιμής του ΑΣΚ ανά m³ όταν προστεθούν σε αυτό λεπτόκοκκα πληρωτικά υλικά και χημικά πρόσμικτα

| Σύνθεση | Υλικό | Προστιθέμενη ποσότητα (kg/m ³) | Προσαύξηση υλικού (€/m ³) | Συνολική προσαύξηση (€/m ³) |
|---------|------------------|--|---------------------------------------|---|
| MP20 | Marble powder 20 | 181.17 | 15.40 | 20.83 |
| | Chemium NT2 | 5.44 | 4.84 | |
| | Chemium VMA | 0.62 | 0.59 | |
| MP80 | Marble powder 80 | 181.17 | 12.00 | 17.94 |
| | Chemium NT2 | 6.03 | 5.37 | |
| | Chemium VMA | 0.6 | 0.57 | |
| MSILICA | M silica | 154.33 | 34.72 | 41.00 |
| | Chemium NT2 | 7.06 | 6.28 | |
| NOF | Chemium NT2 | 4.66 | 4.15 | 5.83 |
| | Chemium VMA | 1.77 | 1.68 | |

Με βάση τα δεδομένα που προκύπτουν από τον πίνακα 6.3, γίνεται σαφές ότι το κόστος του ΑΣΚ αυξάνεται όταν περιέχει λεπτόκοκκα πληρωτικά σε συνδυασμό με χημικά

πρόσμικτα ή μόνο χημικά πρόσμικτα. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται στη σύνθεση ΑΣΚ με αλεσμένο περλίτη (M Silica) και η μικρότερη στη σύνθεση χωρίς καθόλου πληρωτικό υλικό. Ωστόσο, η αρχική δαπάνη για την προσθήκη των παραπάνω υλικών μπορεί να ισοσταθμιστεί κατά την παραγωγή, την εφαρμογή και τη συντήρηση του ΑΣΚ. Για να μειωθεί το κόστος παραγωγής μπορεί να μειωθεί η ποσότητα του τσιμέντου που χρησιμοποιήθηκε στις συνθέσεις, αφού οι αντοχές που αναπτύχθηκαν είναι πολύ υψηλές. Κατά την εφαρμογή του ΑΣΚ δεν απαιτείται δόνηση και μειώνεται τόσο το κόστος του κατάλληλου εξοπλισμού (αγοράς ή ενοικίασης, συντήρησης και χρήσης του) όσο και το κόστος του εργατικού προσωπικού. Επίσης, αποφεύγονται οι κακοτεχνίες στις σκυροδετήσεις, τα δομικά στοιχεία χρειάζονται λιγότερες επισκευές και έτσι μειώνονται οι εργατοώρες και η ποσότητα των επισκευαστικών υλικών. Το ΑΣΚ έχει μεγαλύτερη αξιοπιστία σχεδιασμού, καθώς δεν παρατηρούνται σημαντικές αποκλίσεις λόγω κακοτεχνίας κατά τη σκυροδέτηση. Ακόμη, μειώνεται ο εργοταξιακός θόρυβος που θα προκαλούταν από τη δονητική συμπίκνωση και, μειώνονται τα πιθανά ασφάλιστρα που θα ζητούσαν οι ασφαλιστικές εταιρείες προκειμένου να ασφαλίσουν τους εργάτες που χειρίζονται εξοπλισμό συμπίκνωσης.

7 Συμπεράσματα

Η μελέτη της ενσωμάτωσης λεπτόκοκκων πληρωτικών υλικών διαφορετικών μηχανικών, φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών στη σύνθεση αυτοσυμπυκνούμενου κονιάματος οδήγησε σε πολύ ενδιαφέροντα και χρήσιμα συμπεράσματα, τα σημαντικότερα από τα οποία συνοψίζονται παρακάτω:

- Όλες οι συνθέσεις αυτοσυμπυκνούμενου κονιάματος με τη χρήση των κατάλληλων δόσεων υπερρευστοποιητή και ρυθμιστή ιξώδους απέκτησαν αποδεκτές ρεολογικές ιδιότητες. Η σύνθεση που περιείχε λεπτομερές μαρμάρου με λεπτότητα κόκκων διαμέτρου μικρότερη από 20 μm παρουσίασε τη μικρότερη απαίτηση σε χημικά πρόσμικτα ενώ η σύνθεση με πληρωτικό περλίτη τη μεγαλύτερη. Η σύνθεση χωρίς καθόλου πληρωτικό υλικό χρειάστηκε τη μεγαλύτερη ποσότητα ρυθμιστή ιξώδους, όμως παρουσίασε προβλήματα διαχωρισμού.
- Η θλιπτική αντοχή όλων των συνθέσεων κρίθηκε πολύ υψηλή βάσει του λόγου N/T που επιλέχτηκε και η μεγαλύτερη τιμή καταγράφηκε στη σύνθεση που περιείχε αλεσμένο περλίτη φτάνοντας τα 79 MPa σε ηλικία 28 ημερών, χάρη στην υψηλή δραστικότητα του υλικού.
- Από τις θλιπτικές αντοχές 90 ημερών μπορεί να θεωρηθεί με ασφάλεια πως την πιο έντονη ποζολανική δράση ανάμεσα στα χρησιμοποιηθέντα πληρωτικά υλικά επέδειξαν το πληρωτικό κίσηρης και ο αλεσμένος περλίτης.
- Όλες οι συνθέσεις, όπως αναμενόταν από την έντονη παρουσία χημικών προσμίκτων, παρουσίασαν υψηλό βαθμό περιεκτικότητας σε αέρα. Στις μετρήσεις που έγιναν στη νωπή φάση του υλικού την υψηλότερη και χαμηλότερη περιεκτικότητα παρουσίασαν η σύνθεση χωρίς καθόλου πληρωτικό υλικό και η σύνθεση με την προσθήκη αλεσμένου περλίτη με 5.55% και 3.74% αντίστοιχα.
- Η προσπάθεια προσδιορισμού της περιεκτικότητας σε αέρα μέσω ανάλυσης εικόνας διατομής πρισματικού δοκιμίου στη σκληρυμένη φάση του, απέδωσε ικανοποιητικά, με την επίτευξη μιας αρκετά σημαντικής ταύτισης με τις τιμές που μετρήθηκαν στη νωπή φάση.
- Τα λεπτόκοκκα πληρωτικά υλικά σε συνδυασμό με τα χημικά πρόσμικτα αυξάνουν το κόστος παραγωγής του αυτοσυμπυκνούμενου κονιάματος, το οποίο όμως αντισταθμίζεται σε ένα βαθμό από τη μείωση του κόστους εφαρμογής του ΑΣΚ και του κόστους συντήρησης κατασκευών από ΑΣΚ.

Βιβλιογραφία

- Βαρβέρης Ι. (2010). Πειραματική διερεύνηση της δυνατότητας παραγωγής αυτοσυμπυκνούμενου μικροσκυροδέματος από λεπτομερή λατομικά παραπροϊόντα, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
- Διαμαντώνης Ν. (2008). Ιδιότητες πάστας τσιμέντου σε αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα
- Καλεντζώτης Α. (2007). Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, 13^ο Φοιτητικό Συνέδριο : Επισκευές Κατασκευών, Πάτρα
- Μοροπούλου Α. και Λαμπρόπουλος Κ. (2014). Δομικά υλικά. Σημειώσεις Προγράμματος προπτυχιακών σπουδών Ε.Μ.Π., Αθήνα
- Μπαδογιάννης Ε. (2019). Προχωρημένη τεχνολογία σκυροδέματος. Σημειώσεις Διατμηματικού Προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών Ε.Μ.Π. «Δομοστατικός Σχεδιασμός και Ανάλυση των Κατασκευών», Αθήνα
- Μπαδογιάννης Ε. (2019). Τεχνικά υλικά. Σημειώσεις Προγράμματος προπτυχιακών σπουδών Ε.Μ.Π., Αθήνα
- Νικολαΐδης Π. (2012). Δυνατότητα αξιοποίησης των ανθρακικών πετρωμάτων του λατομείου ξυροφάγου της Κύπρου ως πληρωτικών υλικών, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
- Παπανικολάου, Κ. Γ., & Λυκούδης, Σ. (2006). *Εφαρμογή αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος στην ελληνική προκατασκευή*. 25–27.
- Παπανικολάου Κ. Γ., Φρυγανάκης Δ. Γ., Τριανταφύλλου Αθ. Χ. (2006). Εργαστηριακός έλεγχος αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος χαμηλού κόστους
- Περυσινάκη Π. (2012). Διερεύνηση των οικολογικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος, Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα
- Ποτετσιανάκης Ε. (2019). Ανθεκτικότητα σκυροδέματος με τσιμεντοειδή πρόσθετα: Διερεύνηση της επίδρασης του χρόνου δοκιμής στον συντελεστή διείδυσης χλωριώντων, Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα
- Σιγούνη Α. (2018). Ενίσχυση τσιμεντοκονιαμάτων με φυσικές ίνες από φύκια *Posidonia Oceanica*, Διπλωματική Εργασία, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη
- Σιδέρης Κ. Κ. (2008). *Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα Και Ελληνική Πραγματικότητα: Παρούσα Κατάσταση Και Προοπτικές Εξέλιξης*. 1–17. http://library.tee.gr/digital/m2456/m2456_sideris.pdf
- Στιβανάκης Β. (2003). Έρευνα και ανάπτυξη νέων δομικών υλικών από στερεά παραπροϊόντα λιγνιτικής καύσης ενεργειακού κέντρου Μεγαλόπολης, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα
- Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδας (2014). Τεχνική Οδηγία 5: Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, Αθήνα
- Τσακαλάκης Κ. (2008). Τεχνολογία τσιμέντου και σκυροδέματος. Σημειώσεις Προγράμματος προπτυχιακών σπουδών Ε.Μ.Π., Αθήνα
- Abdul Jalil, W. D., & Kahachi, H. A. H. (2018). The Impact of Nano-Concrete in Contemporary Architecture. *Wasit Journal of Engineering Sciences*, 6(2), 38–45. <https://doi.org/10.31185/ejuow.vol6.iss2.90>
- Belaidi, A. S. E., Azzouz, L., Kadri, E., & Kenai, S. (n.d.). *Effect of natural pozzolana and marble powder on the properties of self-compacting concrete*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.109>

Benjeddou, O., Soussi, C., Jedidi, M., & Benali, M. (2017). *Experimental and theoretical study of the effect of the particle size of limestone fillers on the rheology of self-compacting concrete* *ARTICLE INFO*. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.02.003>

Domone, P. L. (2006). Self-compacting concrete: An analysis of 11 years of case studies. *Cement and Concrete Composites*, 28(2), 197–208. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2005.10.003>

EFNARC (2002). Specification and Guidelines for Self-Compacting

Felekoğlu, B., Tosun, K., Baradan, B., Altun, A., & Uyulgan, B. (2006). *The effect of fly ash and limestone fillers on the viscosity and compressive strength of self-compacting repair mortars*. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.04.002>

Grabiec, A. M. (2013). Influence of viscosity modifying agent on some rheological properties, segregation resistance and compressive strength of self-compacting concrete. *Journal of Civil Engineering and Management*, 19(1), 1–8. <https://doi.org/10.3846/13923730.2012.737830>

Granata, M. F. (n.d.). *Pumice powder as filler of self-compacting concrete*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.040>

Hwang, S. D., & Khayat, K. H. (2009). Durability characteristics of self-consolidating concrete designated for repair applications. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 42(1), 1–14. <https://doi.org/10.1617/s11527-008-9362-1>

Jawahar, J. G., Sashidhar, C., Reddy, I. V. R., & Peter, J. A. (2013). Optimization of Superplasticiser and Viscosity Modifying Agent in Self Compacting Mortar. In *ASIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING (BHRC)* (Vol. 14, Issue 1).

Kadhim, A. S., Atiyah, A. A., & Salih, S. A. (n.d.). *Properties of self-compacting mortar containing nano cement kiln dust*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.177>

Khayat, K., & Schutter, G. De. (2014). State-of-the-Art Report on the Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete (SCC). In *RILEM State-of-the-Art Reports*. <https://biblio.ugent.be/publication/4343086>

Molin Filho, R. G. D., Longhi, D. A., de Souza, R. C. T., Ferrer, M. M., Vanderlei, R. D., Paraíso, P. R., & Jorge, L. M. de M. (2019). Self-compacting mortar with sugarcane bagasse ash: development of a sustainable alternative for Brazilian civil construction. *Environment, Development and Sustainability*, 21(5), 2125–2143. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0127-x>

Nehdi, M. L. (2013). Only tall things cast shadows: Opportunities, challenges and research needs of self-consolidating concrete in super-tall buildings. *Construction and Building Materials*, 48(March), 80–90. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.051>

Nepomuceno, M. C. S., Pereira-De-Oliveira, L. A., & Lopes, S. M. R. (2014). *Methodology for the mix design of self-compacting concrete using different mineral additions in binary blends of powders*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.021>

Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). *Sel-Compacting Concrete, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.1, No.1, April 2003*. 1(1), 5–15.

Okamura, H., & Ozawa, K. (1996). Self-compacting high performance concrete. *Structural Engineering International: Journal of the International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE)*, 6(4), 269–270. <https://doi.org/10.2749/101686696780496292>

Okrajnov-Bajic, R., & Vasovic, D. (2009). Self-compacting concrete and its application in contemporary architectural practice. *Spatium*, 20, 28–34. <https://doi.org/10.2298/spat0920028o>

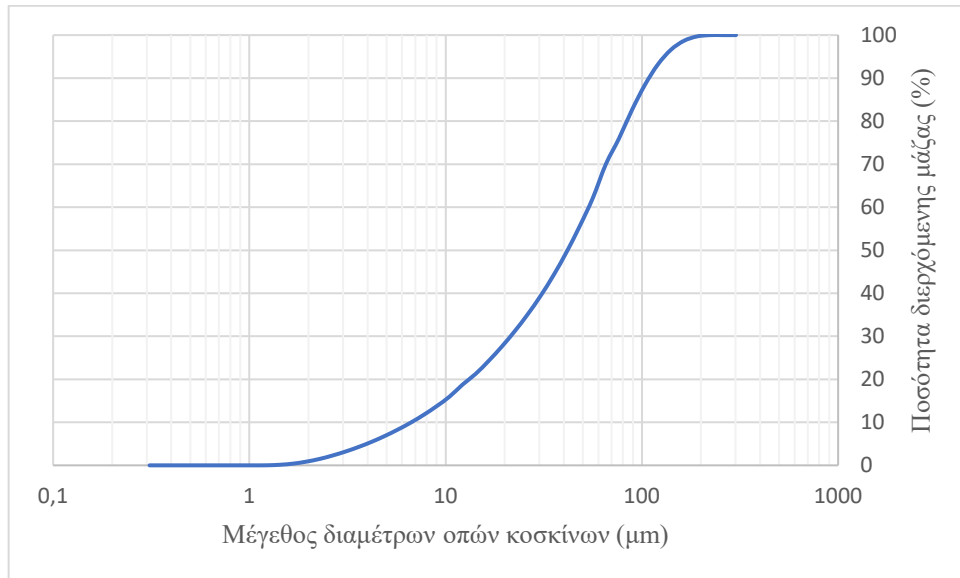
Ouchi, Nakamura, Osterson, Hallberg, and Lwin (2003). Applications of self-compacting concrete in Japan, Europe and the United States

<https://www.lafarge.gr/pezogefyra-kifisias>

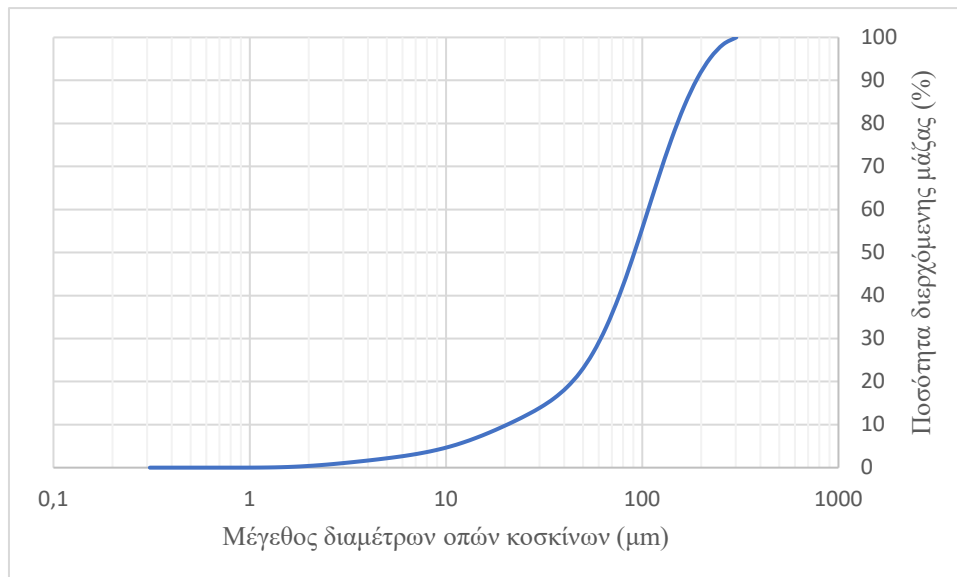
https://www.lafarge.gr/sites/greece/files/atoms/files/04_16selido_skyrodema_skyrodemata_prostithemenis_axias.pdf
https://www.openhouseathens.gr/building_type/office/
<https://www.openhouseathens.gr/portfolio-item/pentelica-pharmacy/>

Παράρτημα Α. Αποτελέσματα μέτρησης σωματιδίων με τη μέθοδο περίθλασης λέιζερ

Η κοκκομετρική ανάλυση και τα αναλυτικά αποτελέσματα μέτρησης σωματιδίων του πληρωτικού κίσηρης και περλίτη όπως προέκυψαν κατά την πρώτη μέτρηση φαίνονται στα σχήματα Α.1 και Α.2 και στους πίνακες Α.1 και Α.2 αντίστοιχα.



Σχήμα Α.1: Κοκκομετρική ανάλυση του πληρωτικού κίσηρης



Σχήμα Α.2: Κοκκομετρική ανάλυση του πληρωτικού περλίτη

Πίνακας Α.1: Αναλυτικά αποτελέσματα μέτρησης σωματιδίων κίσηρης

Result: Analysis Table

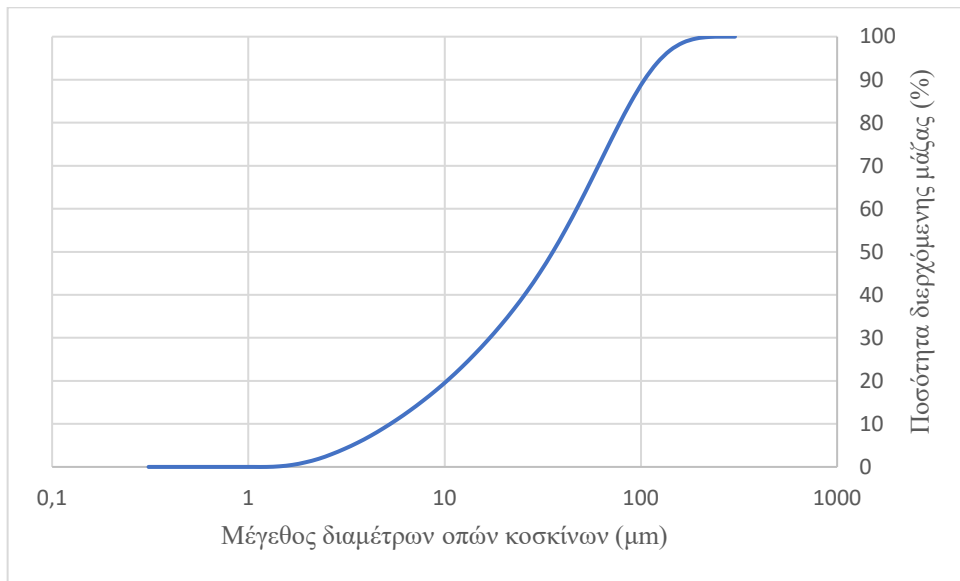
| | | | | | | | |
|--|-----------------------------------|--|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|
| ID: | Run No: 1 | Measured: 3/6/2020 11:00δ | | | | | |
| File: PUMICE | Rec. No: 1 | Analysed: 3/6/2020 11:00δ | | | | | |
| Path: C:\SIZERMU\DATA\ | | Source: Analysed | | | | | |
| Sampler: Internal Presentation: 4ODD Modifications: None | | Measured Beam Obscuration: 17.5 % Residual: 0.453 % | | | | | |
| Analysis: Poly disperse | | | | | | | |
| Conc. = 0.0458 %Vol | Density = 1.000 g/cm ³ | S.S.A. = 0.3574 m ² /g | | | | | |
| Distribution: Volume | D[4, 3] = 50.78 um | D[3, 2] = 16.79 um | | | | | |
| D(v, 0.1) = 6.68 um | D(v, 0.5) = 41.79 um | D(v, 0.9) = 108.50 um | | | | | |
| Span = 2.436E+00 | Uniformity = 7.679E-01 | | | | | | |
| Size (um) | Volume Under% | Size (um) | Volume Under% | Size (um) | Volume Under% | Size (um) | Volume Under% |
| 0.31 | 0.00 | 1.95 | 0.86 | 12.21 | 18.49 | 76.32 | 75.91 |
| 0.36 | 0.00 | 2.28 | 1.49 | 14.22 | 21.26 | 88.91 | 82.54 |
| 0.42 | 0.00 | 2.65 | 2.28 | 16.57 | 24.28 | 103.58 | 88.42 |
| 0.49 | 0.00 | 3.09 | 3.21 | 19.31 | 27.58 | 120.67 | 93.18 |
| 0.58 | 0.00 | 3.60 | 4.27 | 22.49 | 31.17 | 140.58 | 96.59 |
| 0.67 | 0.00 | 4.19 | 5.45 | 26.20 | 35.11 | 163.77 | 98.67 |
| 0.78 | 0.00 | 4.88 | 6.79 | 30.53 | 39.45 | 190.80 | 99.69 |
| 0.91 | 0.00 | 5.69 | 8.28 | 35.56 | 44.28 | 222.28 | 100.00 |
| 1.06 | 0.00 | 6.63 | 9.91 | 41.43 | 49.67 | 258.95 | 100.00 |
| 1.24 | 0.02 | 7.72 | 11.72 | 48.27 | 55.64 | 301.68 | 100.00 |
| 1.44 | 0.14 | 9.00 | 13.75 | 56.23 | 62.13 | | |
| 1.68 | 0.41 | 10.48 | 15.99 | 65.51 | 68.98 | | |

Πίνακας Α.2: Αναλυτικά αποτελέσματα μέτρησης σωματιδίων περλίτη

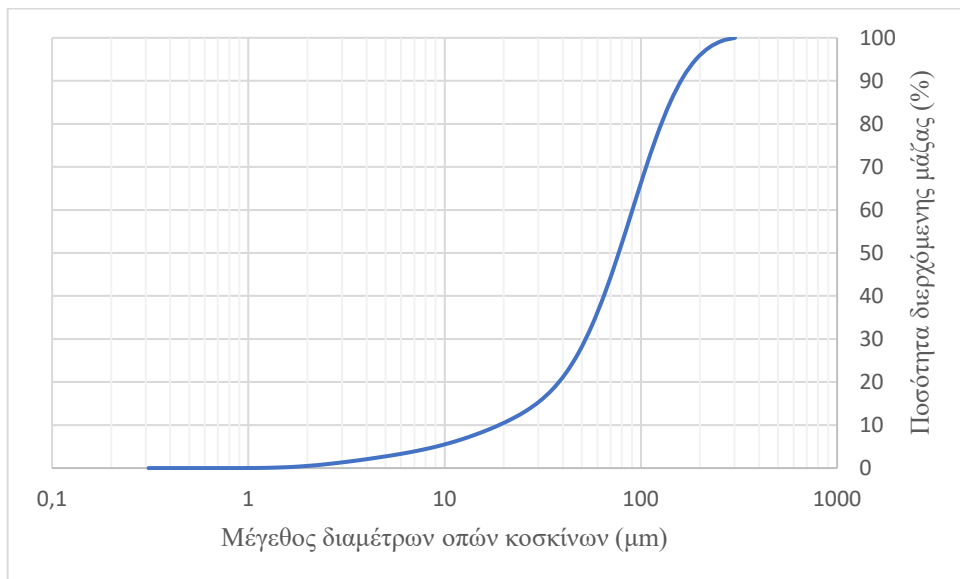
Result: Analysis Table

| | | | | | | | |
|--|-----------------------------------|--|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|
| ID: | Run No: 4 | Measured: 3/6/2020 11:17δ | | | | | |
| File: PER | Rec. No: 2 | Analysed: 3/6/2020 11:17δ | | | | | |
| Path: C:\SIZERMU\DATA\ | | Source: Analysed | | | | | |
| Sampler: Internal Presentation: 4ODD Modifications: None | | Measured Beam Obscuration: 21.4 % Residual: 1.043 % | | | | | |
| Analysis: Poly disperse | | | | | | | |
| Conc. = 0.1329 %Vol | Density = 1.000 g/cm ³ | S.S.A. = 0.1600 m ² /g | | | | | |
| Distribution: Volume | D[4, 3] = 99.81 um | D[3, 2] = 37.51 um | | | | | |
| D(v, 0.1) = 20.52 um | D(v, 0.5) = 91.24 um | D(v, 0.9) = 188.68 um | | | | | |
| Span = 1.843E+00 | Uniformity = 5.491E-01 | | | | | | |
| Size (um) | Volume Under% | Size (um) | Volume Under% | Size (um) | Volume Under% | Size (um) | Volume Under% |
| 0.31 | 0.00 | 1.95 | 0.37 | 12.21 | 5.83 | 76.32 | 39.94 |
| 0.36 | 0.00 | 2.28 | 0.58 | 14.22 | 6.91 | 88.91 | 48.46 |
| 0.42 | 0.00 | 2.65 | 0.83 | 16.57 | 8.12 | 103.58 | 57.77 |
| 0.49 | 0.00 | 3.09 | 1.12 | 19.31 | 9.45 | 120.67 | 67.24 |
| 0.58 | 0.00 | 3.60 | 1.43 | 22.49 | 10.86 | 140.58 | 76.19 |
| 0.67 | 0.00 | 4.19 | 1.76 | 26.20 | 12.39 | 163.77 | 84.03 |
| 0.78 | 0.00 | 4.88 | 2.12 | 30.53 | 14.09 | 190.80 | 90.42 |
| 0.91 | 0.00 | 5.69 | 2.51 | 35.56 | 16.12 | 222.28 | 95.21 |
| 1.06 | 0.01 | 6.63 | 2.96 | 41.43 | 18.72 | 258.95 | 98.40 |
| 1.24 | 0.04 | 7.72 | 3.49 | 48.27 | 22.15 | 301.68 | 100.00 |
| 1.44 | 0.10 | 9.00 | 4.13 | 56.23 | 26.72 | | |
| 1.68 | 0.21 | 10.48 | 4.90 | 65.51 | 32.63 | | |

Η κοκκομετρική ανάλυση και τα αναλυτικά αποτελέσματα μέτρησης σωματιδίων του πληρωτικού κίσηρης και περλίτη όπως προέκυψαν κατά την επανάληψη της μέτρησης φαίνονται στα σχήματα A.3 και A.4 και στους πίνακες A.3 και A.4 αντίστοιχα.



Σχήμα A.3: Κοκκομετρική ανάλυση του πληρωτικού κίσηρης στη δεύτερη μέτρηση



Σχήμα A.4: Κοκκομετρική ανάλυση του πληρωτικού περλίτη στη δεύτερη μέτρηση

Πίνακας Α.3: Αναλυτικά αποτελέσματα επανάληψης μέτρησης σωματιδίων κίσηρης

Result: Analysis Table

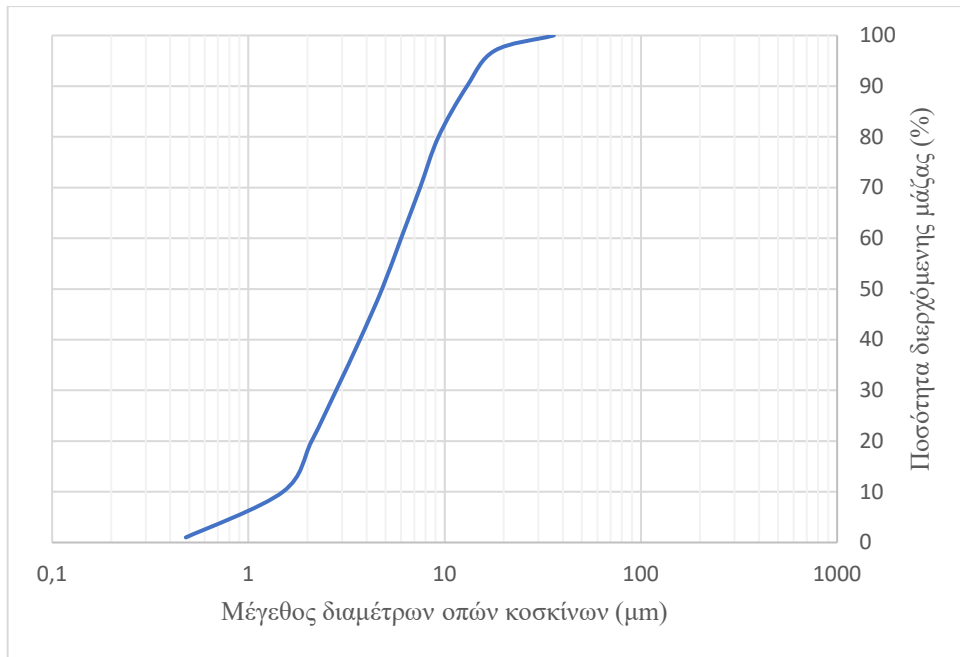
| ID: PUMICE2 | | Run No: 11 | | Measured: 9/6/2020 2:33ii | | | |
|------------------------|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------|-----------|---------------|
| File: PUMICE2 | | Rec. No: 2 | | Analysed: 9/6/2020 2:33ii | | | |
| Path: C:\SIZERMU\DATA\ | | | | Source: Analysed | | | |
| Sampler: Internal | | | Measured Beam Obscuration: 16.7 % | | | | |
| Presentation: 4ODD | | | Analysis: Poly disperse | | | | |
| Modifications: None | | | Residual: 0.425 % | | | | |
| Conc. = 0.0364 %Vol | | Density = 1.000 g/cm ³ | | S.S.A.= 0.4215 m ² /g | | | |
| Distribution: Volume | | D[4, 3] = 46.51 um | | D[3, 2] = 14.24 um | | | |
| D(v, 0.1) = 5.29 um | | D(v, 0.5) = 35.61 um | | D(v, 0.9) = 104.28 um | | | |
| Span = 2.780E+00 | | Uniformity = 8.793E-01 | | | | | |
| Size (um) | Volume Under% | Size (um) | Volume Under% | Size (um) | Volume Under% | Size (um) | Volume Under% |
| 0.31 | 0.00 | 1.95 | 1.06 | 12.21 | 23.17 | 76.32 | 79.09 |
| 0.36 | 0.00 | 2.28 | 1.88 | 14.22 | 26.20 | 88.91 | 84.78 |
| 0.42 | 0.00 | 2.65 | 2.94 | 16.57 | 29.44 | 103.58 | 89.80 |
| 0.49 | 0.00 | 3.09 | 4.20 | 19.31 | 32.91 | 120.67 | 93.85 |
| 0.58 | 0.00 | 3.60 | 5.62 | 22.49 | 36.64 | 140.58 | 96.78 |
| 0.67 | 0.00 | 4.19 | 7.21 | 26.20 | 40.68 | 163.77 | 98.61 |
| 0.78 | 0.00 | 4.88 | 9.00 | 30.53 | 45.11 | 190.80 | 99.56 |
| 0.91 | 0.00 | 5.69 | 10.95 | 35.56 | 49.95 | 222.28 | 99.93 |
| 1.06 | 0.00 | 6.63 | 13.05 | 41.43 | 55.24 | 258.95 | 100.00 |
| 1.24 | 0.00 | 7.72 | 15.31 | 48.27 | 60.92 | 301.68 | 100.00 |
| 1.44 | 0.14 | 9.00 | 17.74 | 56.23 | 66.90 | | |
| 1.68 | 0.48 | 10.48 | 20.35 | 65.51 | 73.03 | | |

Πίνακας Α4: Αναλυτικά αποτελέσματα επανάληψης μέτρησης σωματιδίων περλίτη

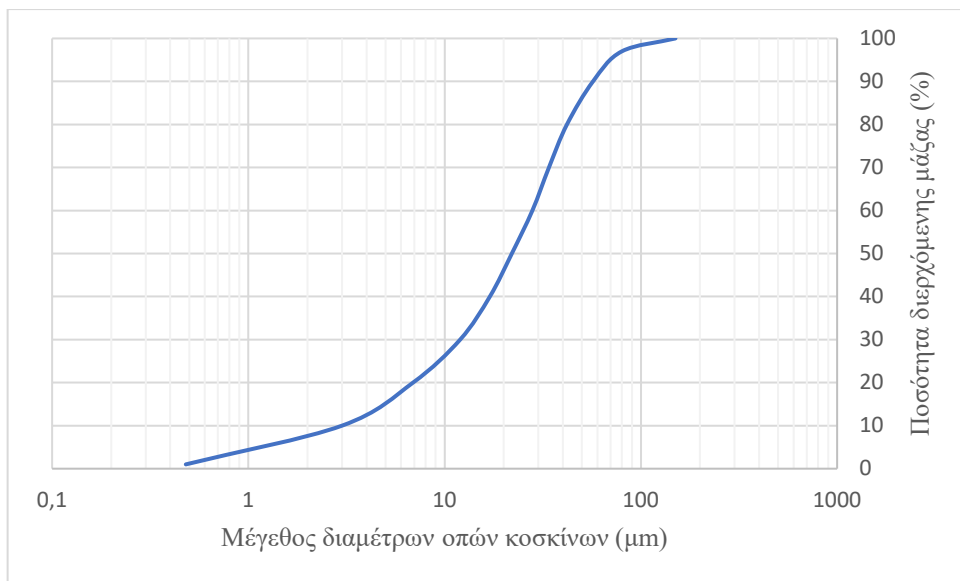
Result: Analysis Table

| ID: PER3 | | Run No: 9 | | Measured: 9/6/2020 12:18ii | | | |
|------------------------|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------|-----------|---------------|
| File: PER3 | | Rec. No: 2 | | Analysed: 9/6/2020 12:18ii | | | |
| Path: C:\SIZERMU\DATA\ | | | | Source: Analysed | | | |
| Sampler: Internal | | | Measured Beam Obscuration: 17.5 % | | | | |
| Presentation: 4ODD | | | Analysis: Poly disperse | | | | |
| Modifications: None | | | Residual: 0.851 % | | | | |
| Conc. = 0.0920 %Vol | | Density = 1.000 g/cm ³ | | S.S.A.= 0.1832 m ² /g | | | |
| Distribution: Volume | | D[4, 3] = 85.38 um | | D[3, 2] = 32.75 um | | | |
| D(v, 0.1) = 18.95 um | | D(v, 0.5) = 77.10 um | | D(v, 0.9) = 160.07 um | | | |
| Span = 1.830E+00 | | Uniformity = 5.552E-01 | | | | | |
| Size (um) | Volume Under% | Size (um) | Volume Under% | Size (um) | Volume Under% | Size (um) | Volume Under% |
| 0.31 | 0.00 | 1.95 | 0.47 | 12.21 | 6.67 | 76.32 | 49.38 |
| 0.36 | 0.00 | 2.28 | 0.72 | 14.22 | 7.71 | 88.91 | 58.85 |
| 0.42 | 0.00 | 2.65 | 1.04 | 16.57 | 8.87 | 103.58 | 68.40 |
| 0.49 | 0.00 | 3.09 | 1.39 | 19.31 | 10.17 | 120.67 | 77.28 |
| 0.58 | 0.00 | 3.60 | 1.78 | 22.49 | 11.65 | 140.58 | 84.86 |
| 0.67 | 0.00 | 4.19 | 2.20 | 26.20 | 13.39 | 163.77 | 90.78 |
| 0.78 | 0.00 | 4.88 | 2.65 | 30.53 | 15.56 | 190.80 | 94.99 |
| 0.91 | 0.00 | 5.69 | 3.13 | 35.56 | 18.36 | 222.28 | 97.71 |
| 1.06 | 0.02 | 6.63 | 3.67 | 41.43 | 22.05 | 258.95 | 99.29 |
| 1.24 | 0.06 | 7.72 | 4.27 | 48.27 | 26.90 | 301.68 | 100.00 |
| 1.44 | 0.14 | 9.00 | 4.96 | 56.23 | 33.09 | | |
| 1.68 | 0.27 | 10.48 | 5.76 | 65.51 | 40.64 | | |

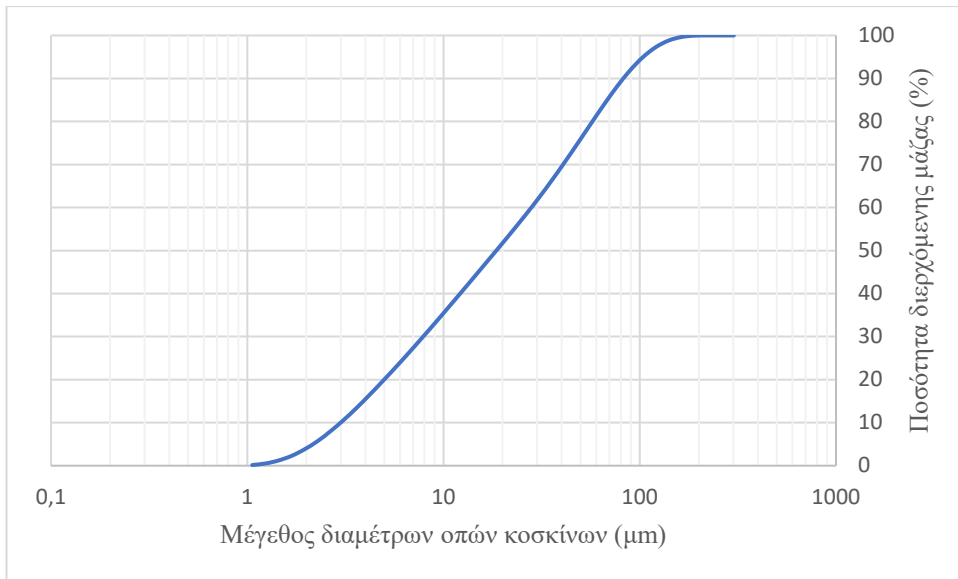
Η κοκκομετρική ανάλυση των υπόλοιπων πληρωτικών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν φαίνεται στα σχήματα Α.5, Α.6 και Α.7.



Σχήμα Α.5: Κοκκομετρική ανάλυση του λεπτομερούς μαρμάρου με λεπτότητα κόκκων διαμέτρου μικρότερη από 20 μm




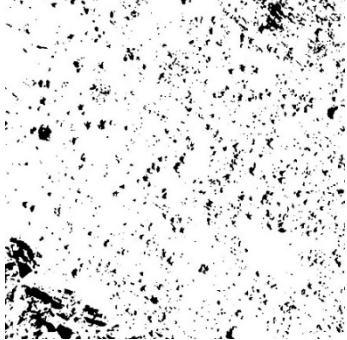
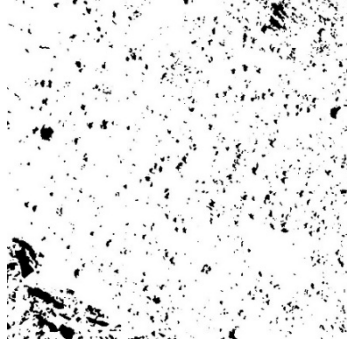

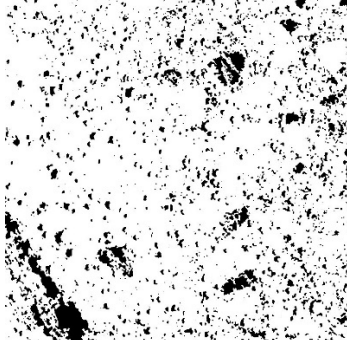
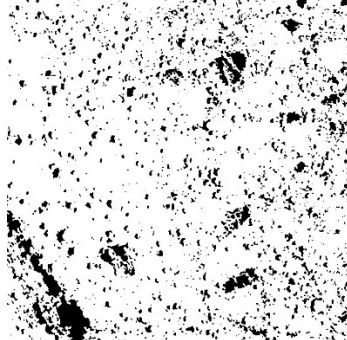

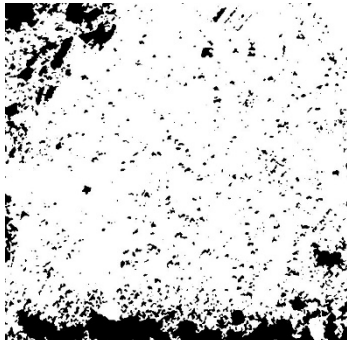
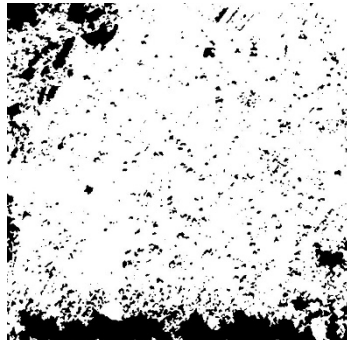

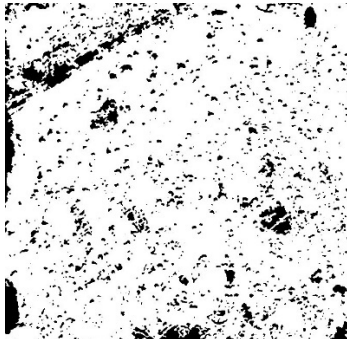
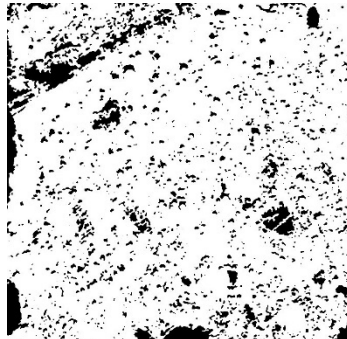
Σχήμα Α.6: Κοκκομετρική ανάλυση του λεπτομερούς μαρμάρου με λεπτότητα κόκκων διαμέτρου μικρότερη από 80 μm



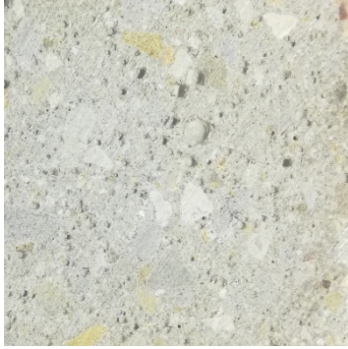
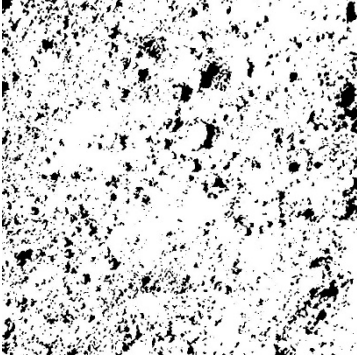
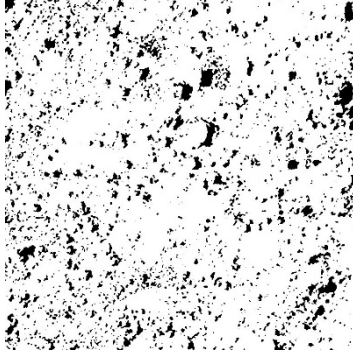

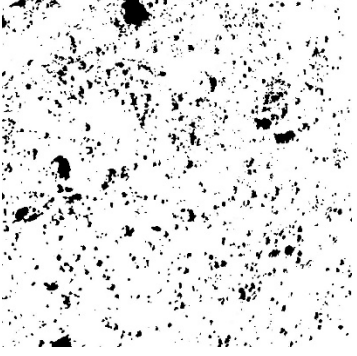

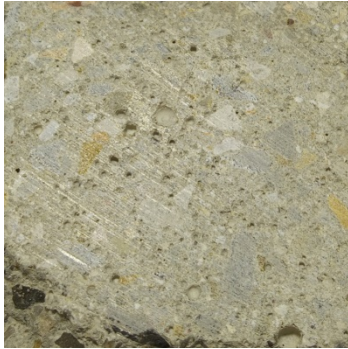
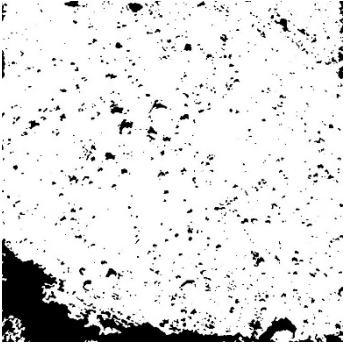
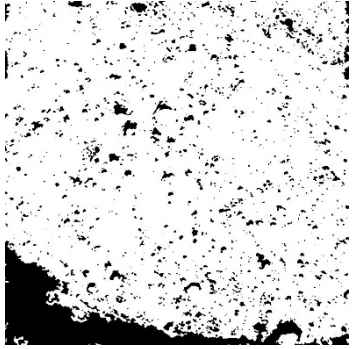
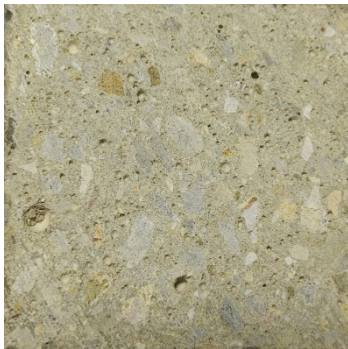
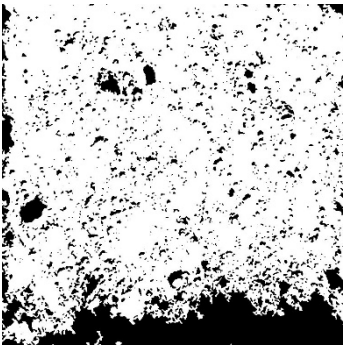
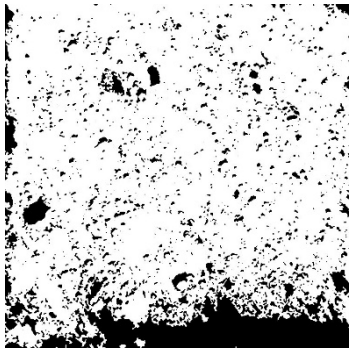
Σχήμα Α.7: Κοκκομετρική ανάλυση του αλεσμένου περλίτη

Παράρτημα Β. Φωτογραφίες δοκιμίων πριν και μετά την επεξεργασία τους


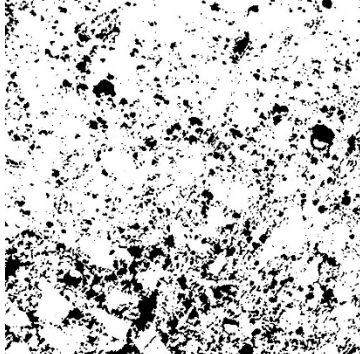
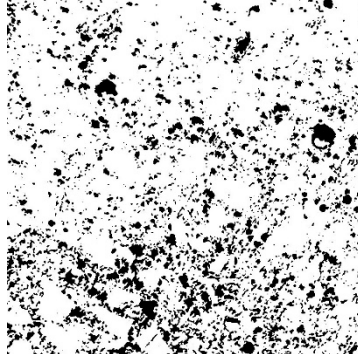



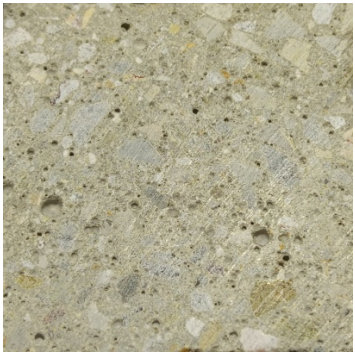
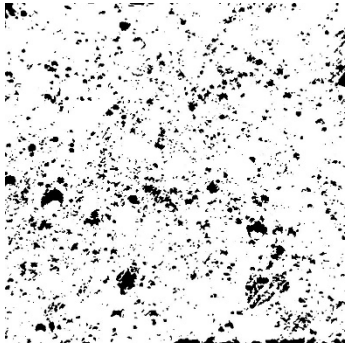
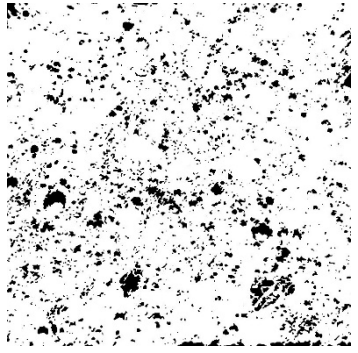

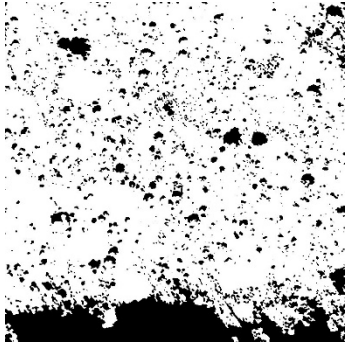
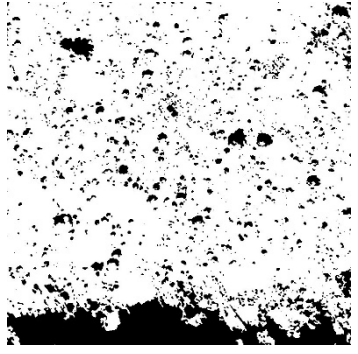
Πίνακας Β.1: Φωτογραφίες δοκιμίων σύνθεσης ΜΡ20 πριν και μετά την επεξεργασία τους

| Σύνθεση ΜΡ20 Πριν | Μετά | |
|---|---|---|
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |


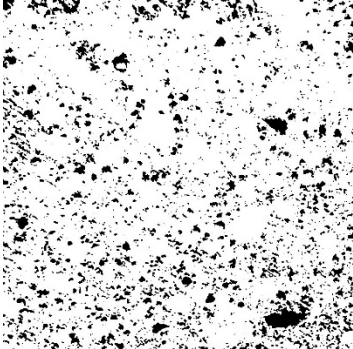
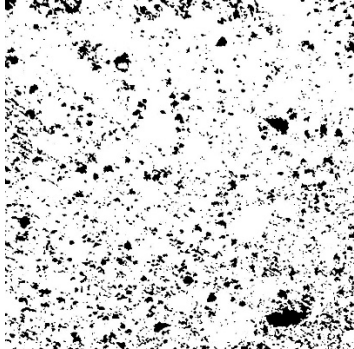

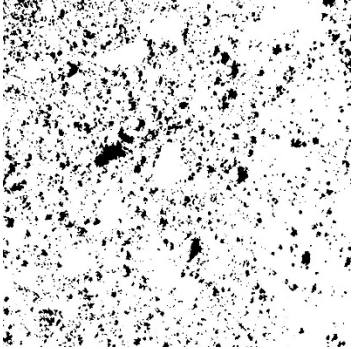
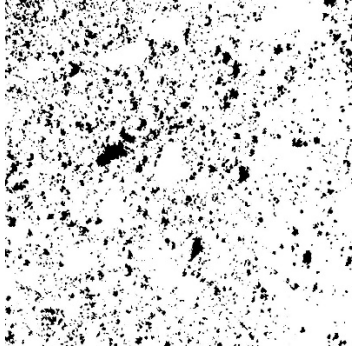

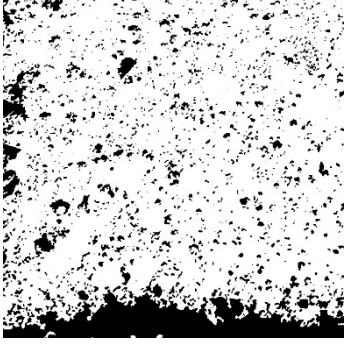
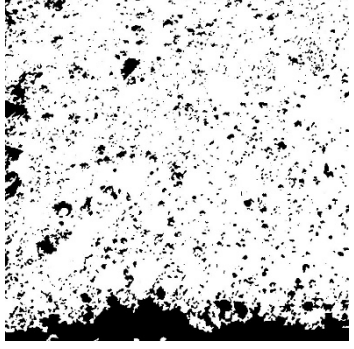

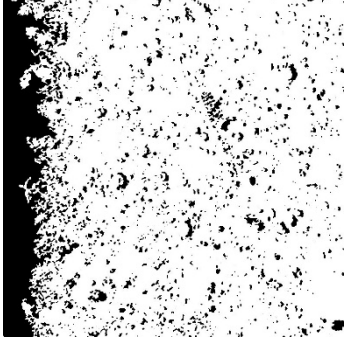
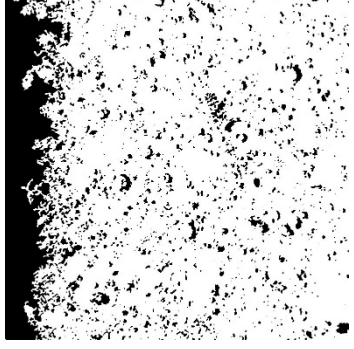
Πίνακας Β.2: Φωτογραφίες δοκιμίων σύνθεσης ΜΡ80 πριν και μετά την επεξεργασία τους

| Σύνθεση ΜΡ80 Πριν | Μετά | |
|---|--|---|
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

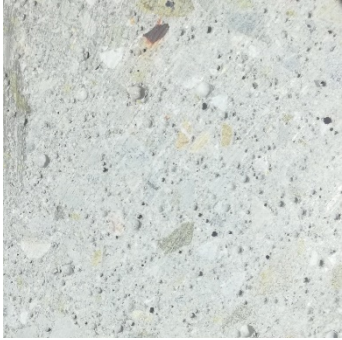



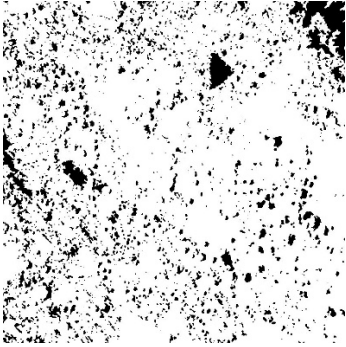
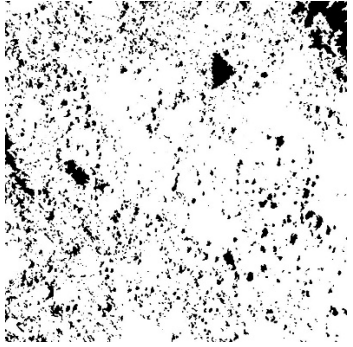

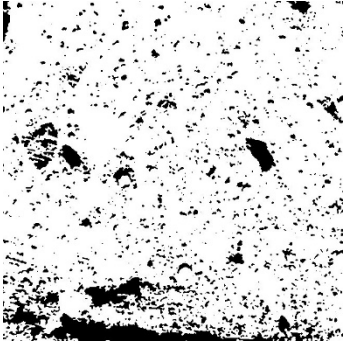
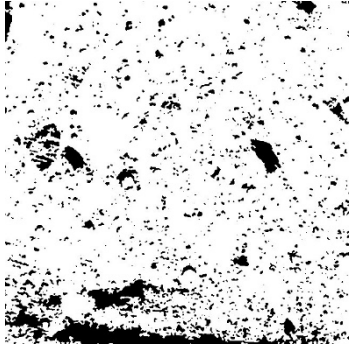
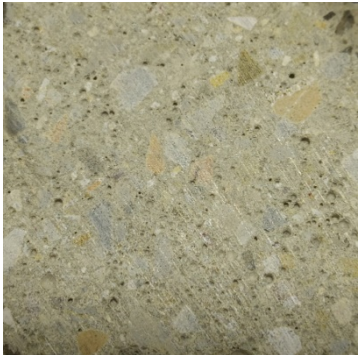
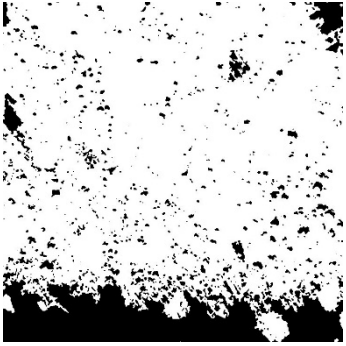
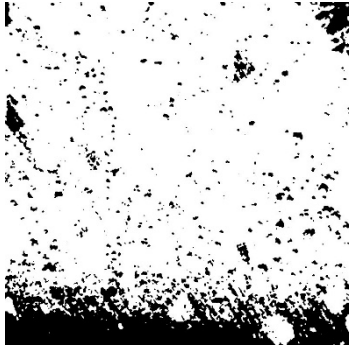
Πίνακας Β.3: Φωτογραφίες δοκιμίων σύνθεσης MSILICA πριν και μετά την επεξεργασία τους

| Σύνθεση MSILICA | | |
|---|---|---|
| Πριν | Μετά | |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

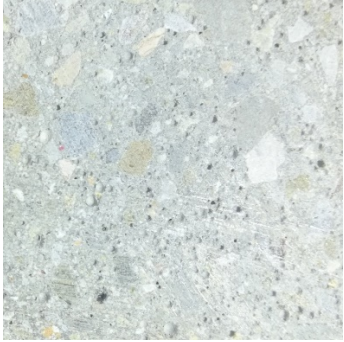
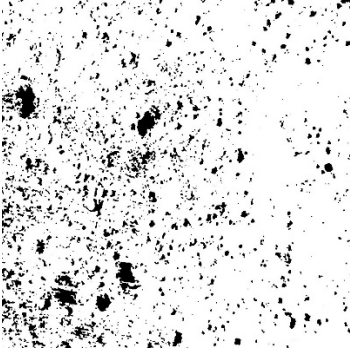
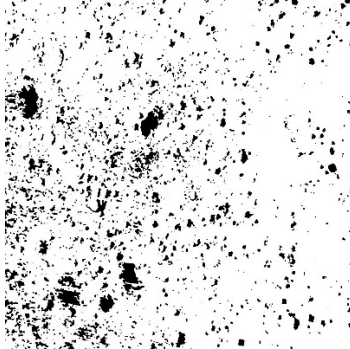

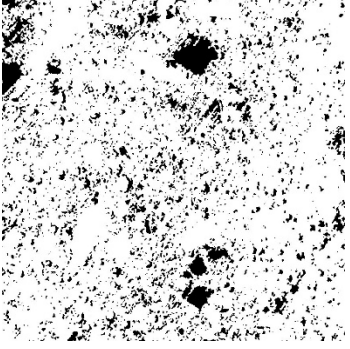
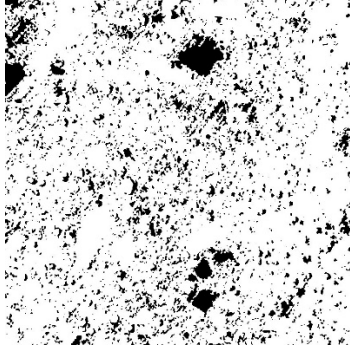

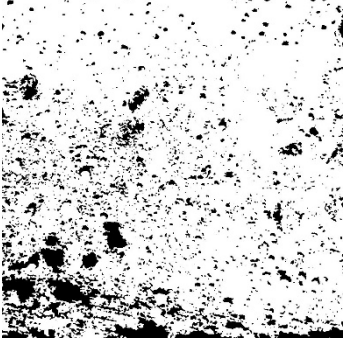
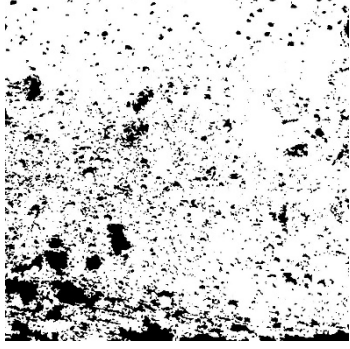

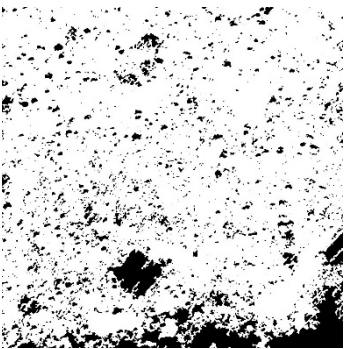
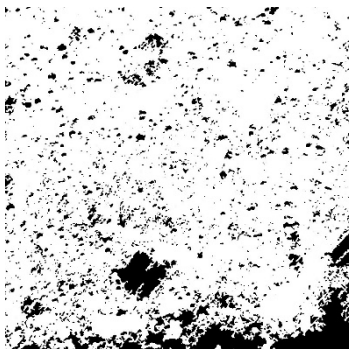
Πίνακας Β.4: Φωτογραφίες δοκιμίων σύνθεσης PER πριν και μετά την επεξεργασία τους

| Σύνθεση PER Πριν | Μετά | |
|---|---|---|
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

Πίνακας Β.5: Φωτογραφίες δοκμίων σύνθεσης ΡUM πριν και μετά την επεξεργασία τους

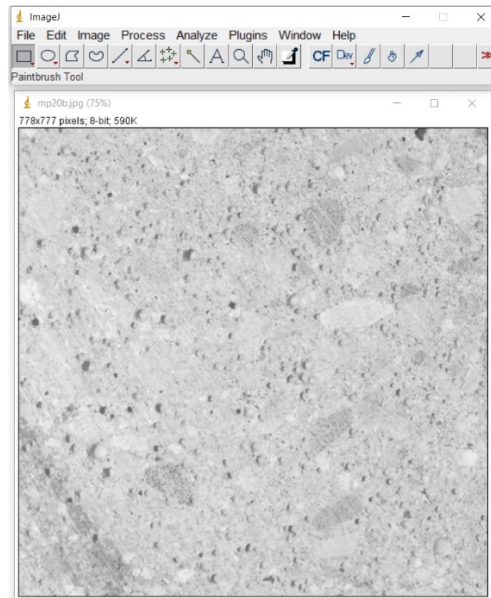
| Σύνθεση ΡUM | Μετά | |
|---|---|---|
| Πριν | | |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

Πίνακας Β.6: Φωτογραφίες δοκιμίων σύνθεσης NOF πριν και μετά την επεξεργασία τους

| Σύνθεση NOF Πριν | Μετά | |
|---|---|---|
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

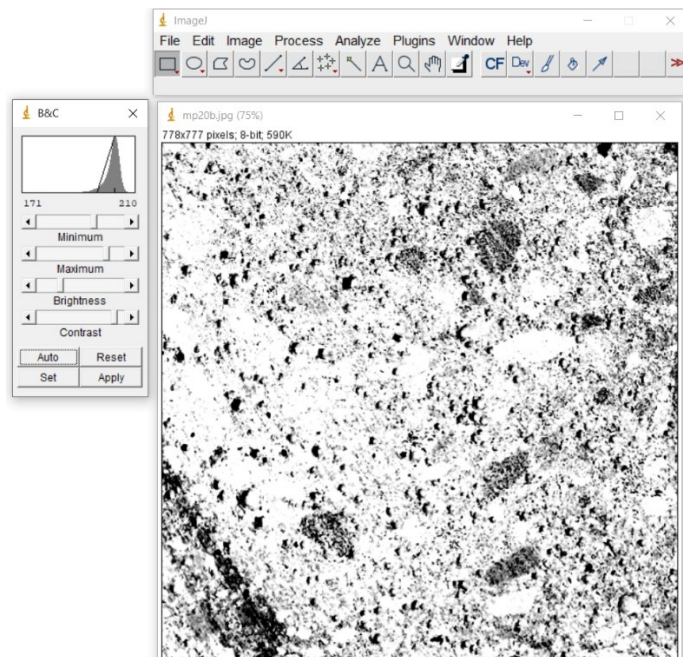
Παράρτημα Γ. Βήματα επεξεργασίας φωτογραφιών

Αρχικά, η κάθε φωτογραφία εισάχθηκε στο λογισμικό και ο τύπος της φωτογραφίας μετατράπηκε σε ασπρόμαυρος 8-bit με τις εντολές *Image-Type-8bit*, όπως φαίνεται στην εικόνα Γ.1.

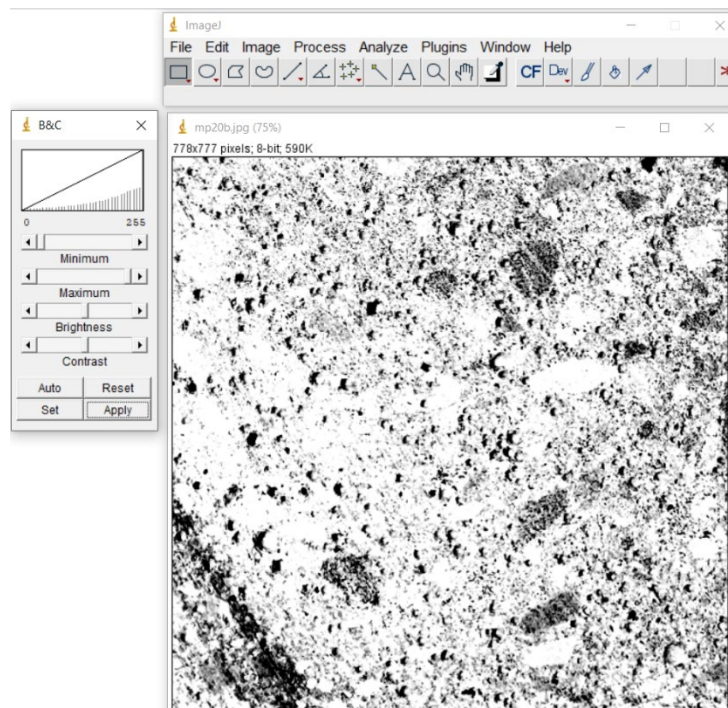


Εικόνα Γ.1: Επεξεργασία φωτογραφίας – μετατροπή σε 8-bit

Στη συνέχεια, άλλαξε η φωτεινότητα και η αντίθεση της φωτογραφίας με τις εντολές *Image-Adjust-Brightness/Contrast* και προσαρμόζοντας το εύρος των τιμών του ιστογράμματος, όπως φαίνεται στις εικόνες Γ.2 και Γ.3.

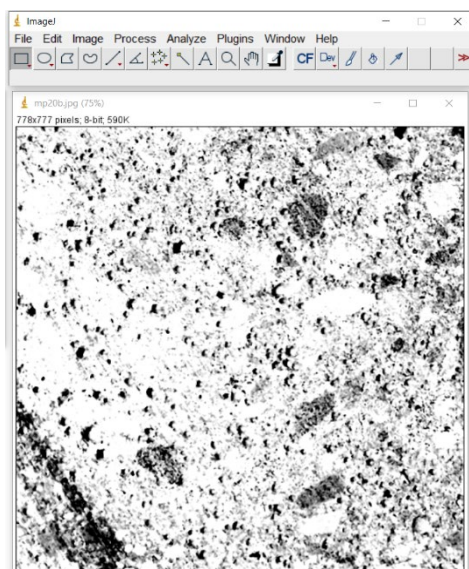


Εικόνα Γ.2: Επεξεργασία φωτογραφίας – προσαρμογή φωτεινότητας/αντίθεσης

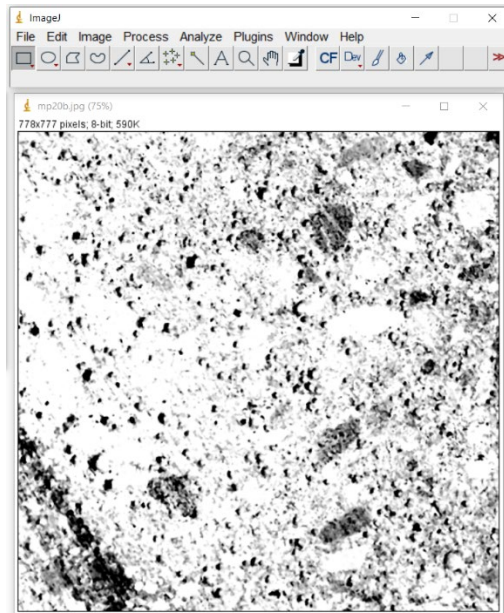


Εικόνα Γ.3: Επεξεργασία φωτογραφίας – προσαρμογή φωτεινότητας/αντίθεσης

Μετά, εφαρμόστηκε το φίλτρο Median, ακολουθώντας τις εντολές *Process-Filters-Median* και επιλέγοντας *Radius 1pixels* όπως φαίνεται στην εικόνα Γ.4 και μειώθηκε ο θόρυβος της εικόνας με τις εντολές *Process-Noise-Despeckle*, όπως φαίνεται στην εικόνα Γ.5.

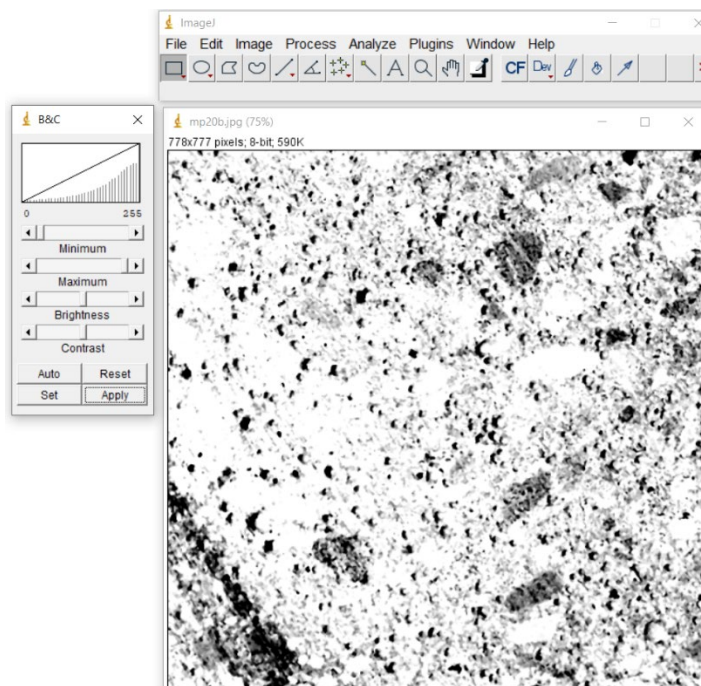


Εικόνα Γ.4: Επεξεργασία φωτογραφίας – εφαρμογή φίλτρου *median*



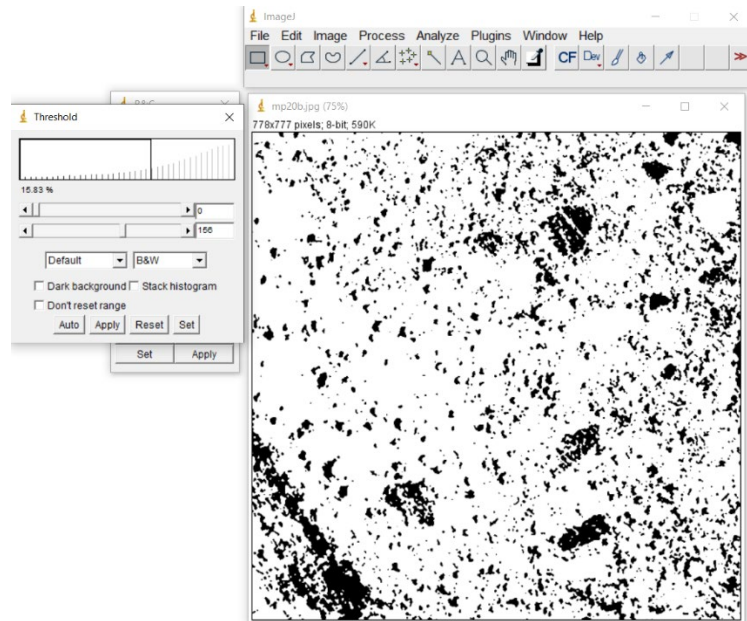
Εικόνα Γ.5: Επεξεργασία φωτογραφίας – μείωση θορύβου

Η φωτεινότητα και η αντίθεση προσαρμόστηκαν ξανά ώστε να προκύψει η μέγιστη αντίθεση με τις εντολές *Image-Adjust-Brightness/Contrast* και προσαρμόζοντας το εύρος των τιμών του ιστογράμματος, όπως φαίνεται στην εικόνα Γ.6.

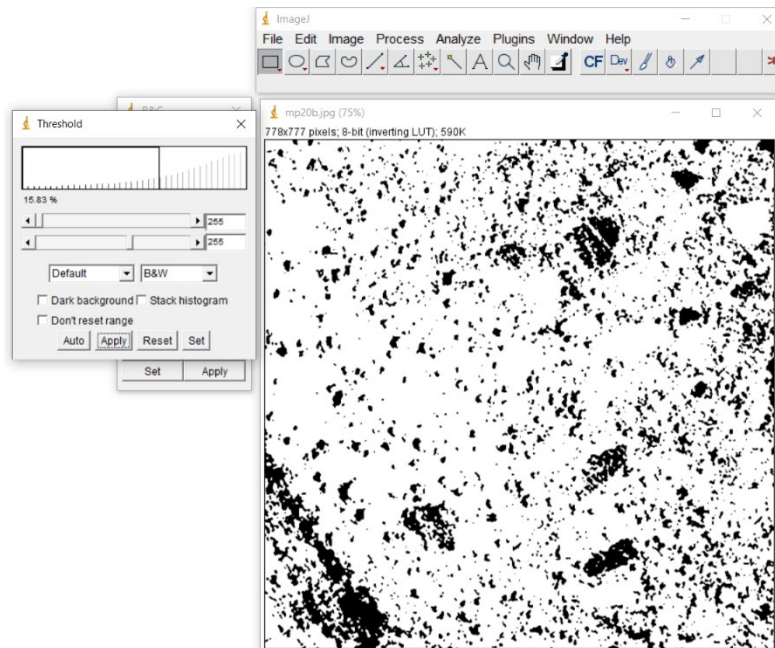


Εικόνα Γ.6: Επεξεργασία φωτογραφίας – προσαρμογή φωτεινότητας/αντίθεσης

Μετά, εφαρμόστηκαν οι εντολές *Image-Adjust-Threshold*, όπως φαίνεται στις εικόνες Γ.7 και Γ.8.

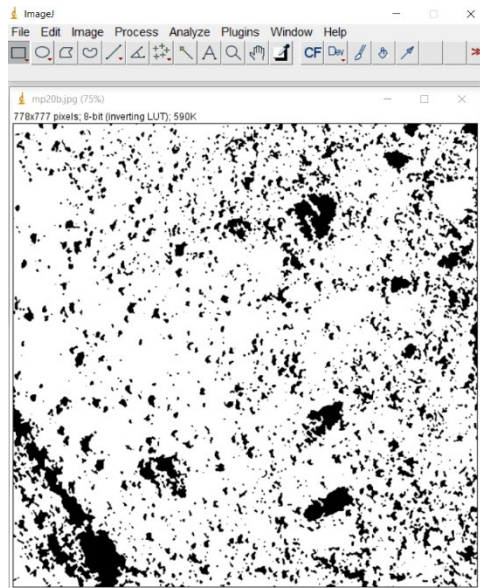


Εικόνα Γ.7: Επεξεργασία φωτογραφίας – εφαρμογή *threshold*



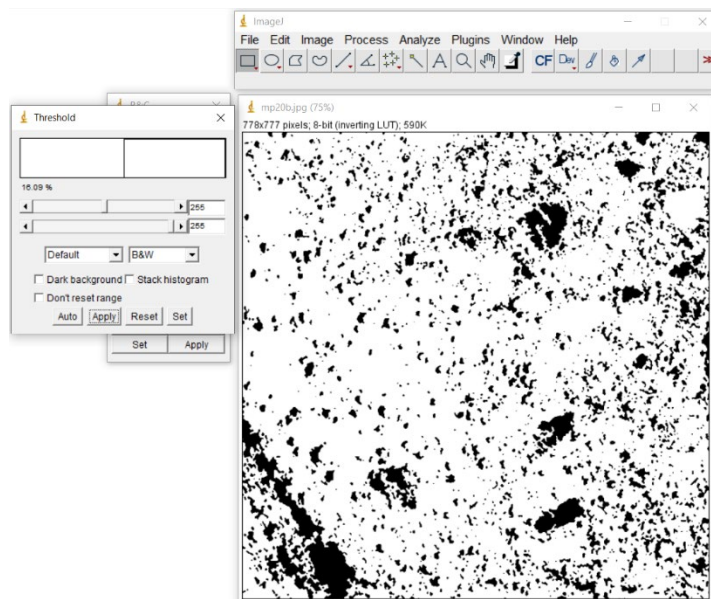
Εικόνα Γ.8: Επεξεργασία φωτογραφίας – εφαρμογή *threshold*

Μετά, αφαιρέθηκε ο θόρυβος των λευκών εικονοστοιχείων (pixel) της φωτογραφίας με τις εντολές *Process-Binary-Fill holes*, όπως φαίνεται στην εικόνα Γ.9.



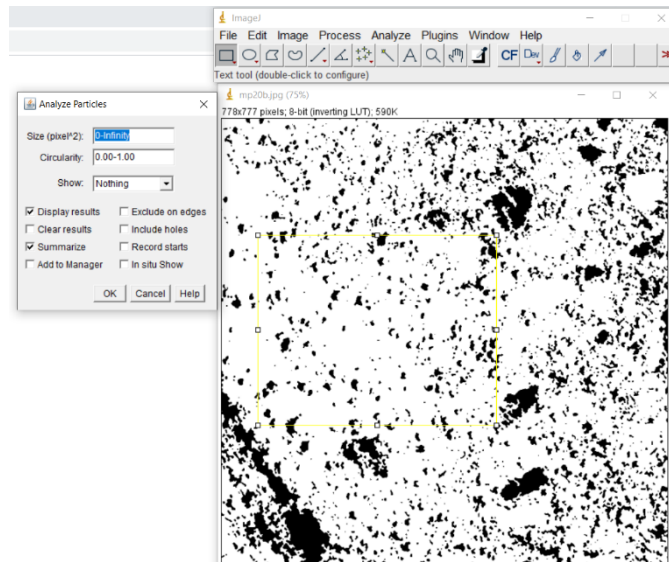
Εικόνα Γ.9: Επεξεργασία φωτογραφίας – μείωση θορύβου λευκών εικονοστοιχείων

Οι εντολές *Image-Adjust-Threshold* εφαρμόστηκαν ξανά, όπως φαίνεται στην εικόνα Γ.10.

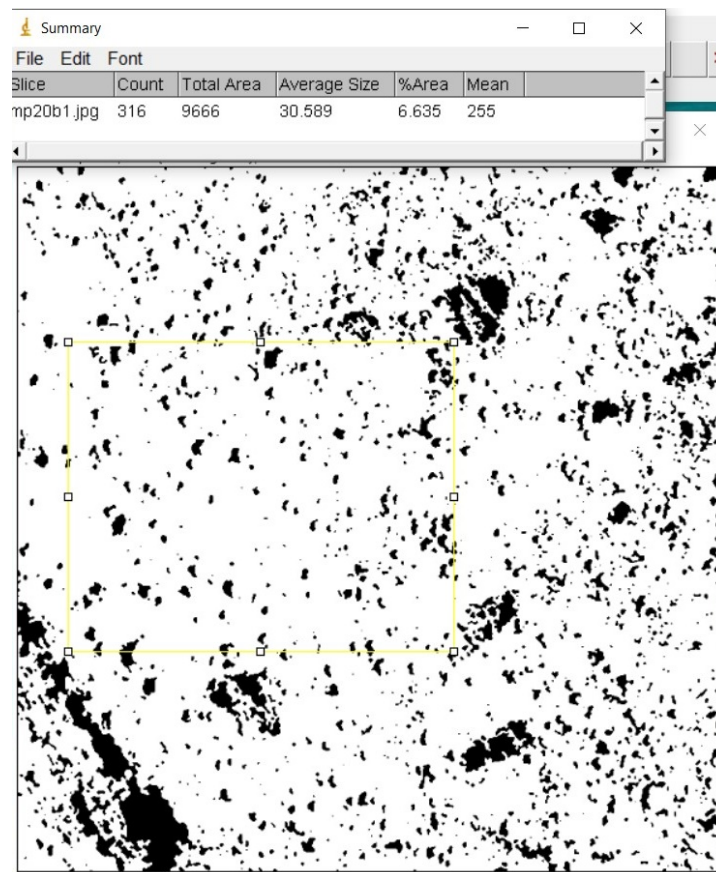


Εικόνα Γ.10: Επεξεργασία φωτογραφίας – εφαρμογή *threshold*

Τέλος, επιλέχθηκε ένα αντιπροσωπευτικό κομμάτι της φωτογραφίας και με τις εντολές *Analyze-Analyze particles* και επιλέγοντας κλίμακα *0-infinity*, όπως φαίνεται στην εικόνα Γ.11, μετρήθηκε το ποσοστό του μαύρου χρώματος το οποίο αντιστοιχεί στα κενά αέρα, όπως φαίνεται στην εικόνα Γ.12.




Εικόνα Γ.11: Επεξεργασία φωτογραφίας – επιλογή αντιπροσωπευτικού δείγματος και μέτρηση ποσοστού του μαύρου χρώματος



Εικόνα Γ.12: Επεξεργασία φωτογραφίας – αποτέλεσμα μέτρησης ποσοστού του μαύρου χρώματος
 Παράρτημα Δ. Τεχνικά φυλλάδια υλικών

Παράρτημα Δ. Τεχνικά φυλλάδια υλικών

| | | |
|--|--|---------------|
|  MONADA FILLER | Α.Ε.Β.Ε. ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΜΑΡΜΑΡΟΥ ΔΙΟΝΥΣΟΥ - ΠΕΝΤΕΛΗΣ Έδρα: Κηφισίας 364 & Δεελφών 1 - Χαλάνδρι 15233 Τηλ. Εργαστ. Διονύσου: 2106211400 - 6, Fax: 2106211408 | ΠΡ-Φ-05.01.20 |
| | <small>SP-0405.01.20, 19-9-2019</small> | |

NOVOCARB No 20 ΦΥΣΙΚΟ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟ ΑΣΒΕΣΤΙΟ

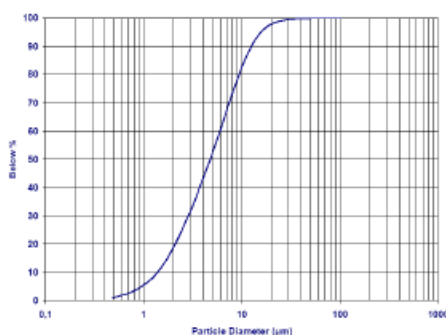
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ: Λεπτόκοκκο φυσικό κρυσταλλικό ανθρακικό ασβέστιο, υψηλής λευκότητας, προερχόμενο από το κοίτασμα λευκού μαρμάρου στο Διόνυσο Αττικής.

ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ:

| | | | | | | | |
|-------------------|---|------|---|--------------------------------|---|------|---|
| CaCO ₃ | ≥ | 98,0 | % | Fe ₂ O ₃ | ≤ | 0,07 | % |
| SiO ₂ | ≤ | 0,35 | % | Mn ₂ O ₃ | ≤ | 0,01 | % |
| MgO | ≤ | 0,75 | % | Περιεχόμενη υγρασία | ≤ | 0,2 | % |

ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ:

| | |
|------------------------------|----------|
| Λεπτότητα κόκκων d (0,97) | 16-20 μm |
| Μέσο μέγεθος κόκκων d (0,50) | 4-6 μm |
| Κόκκοι λεπτότεροι από 2 μm | 14-26 % |



| | |
|---------------------------|-----------------------|
| Ειδικό βάρος | 2,6 |
| Φαινόμενο βάρος | 0,7 g/cm ³ |
| Ελαιοαπορροφητικότητα | 20 g/100 g |
| Σκληρότητα (κλίμακα Mohs) | 3 |

ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ:

Λευκότητα (Whiteness index ASTM 313) ≥ 97,5

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ:

Κάποιες από τις συνήθεις χρήσεις του ως πληρωτικό υλικό:
 -Χρώματα (Υδροχρώματα εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών, αλκυδικά χρώματα, αστάρια κτλ...)
 -Προϊόντα από PVC (Καλύμματα δαπέδων και κάποια άλλα προϊόντα σε μορφή φύλλων)
 -Συγκολλητικές ύλες
 -Στόκος με πολυεστερική βάση

ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ


Σακιά των 25 kg με παλετοποίηση 1250 kg (50 σακιά)

ΠΩΛΗΣΗΣ:

Big Bags 600 kg ή 800 kg / Χύμα σε σιλοφόρο 25 tn

Οι παραπάνω τιμές είναι ενδεικτικές. Βασίζονται σε αποτελέσματα δοκιμών που εκτελούνται σε εξωτερικά εργαστήρια, καθώς και σε συνεχείς μετρήσεις που λαμβάνουν χώρα μέσα στα πλαίσια του εφαρμοζόμενου συστήματος διαχείρισης ποιότητας ISO 9001



| | | |
|---|--|----------------------|
|  | A.Ε.Β.Ε. ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΜΑΡΜΑΡΟΥ ΔΙΟΝΥΣΟΥ - ΠΕΝΤΕΛΗΣ Έδρα: Κηφισίας 364 & Δελφών 1 - Χαλάνδρι 15233 Τηλ. Εργαστ. Διονύσου: 2106211400 – 6, Fax: 2106211408 | ΠΡ-Φ-05.01.26 |
| | <small>ΠΡ-Φ-05.01.26, 19-3-2013</small> | |

NOVOCARB No 80 ΦΥΣΙΚΟ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟ ΑΣΒΕΣΤΙΟ

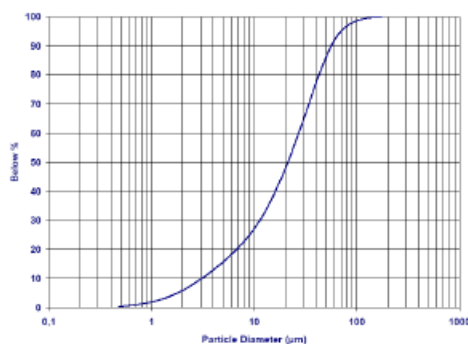
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ: Λεπτόκοκκο φυσικό κρυσταλλικό ανθρακικό ασβέστιο, υψηλής λευκότητας, προερχόμενο από το κοίτασμα λευκού μαρμάρου στο Διόνυσο Αττικής.

ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ:

| | | | | | | | |
|-------------------|---|------|---|--------------------------------|---|------|---|
| CaCO ₃ | ≥ | 98 | % | Fe ₂ O ₃ | ≤ | 0,07 | % |
| SiO ₂ | ≤ | 0,35 | % | Mn ₂ O ₃ | ≤ | 0,01 | % |
| MgO | ≤ | 0,75 | % | Περιεχόμενη υγρασία | ≤ | 0,2 | % |

ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ:

| | |
|------------------------------|-----------|
| Λεπτότητα κόκκων d (0,97) | 78 -82 μm |
| Μέσο μέγεθος κόκκων d (0,50) | 21-24 μm |
| Κόκκοι λεπτότεροι από 2 μm | 5 -7 % |



| | |
|----------------------------|------------------------|
| Ειδικό βάρος | 2,6 |
| Φαινόμενο βάρος | 1,01 g/cm ³ |
| Ελαιοσποροφητικότητα | 18 g/100 g |
| Σκληρότητα (κλίμακα Mohs) | 3 |

ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ:

Λευκότητα (Whiteness index ASTM 313) **≥ 96**

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ:

Κάποιες από τις συνήθεις χρήσεις του ως πληρωτικό υλικό:
 Μονωτικά ασφαλτικά, Ακρυλικός στόκος
 Μοκέτες, Εντομοκτόνα, Φυτοφάρμακα
 Λάστιχα, Λιπάσματα, Ζωοτροφές

ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ

Σακιά των 25 kg ή 35 kg με παλετοποίηση 1500 kg (60 σακία) ή 1400 kg (40 σακία) αντίστοιχα /Big Bags 600 kg ή 800 kg /Χύμα σε σιλοφόρο 25 tn

ΠΩΛΗΣΗΣ:

Οι παραπάνω ημές είναι ενδεικτικές. Βασίζονται σε αποτελέσματα δοκιμών που εκτελούνται σε εξωτερικά εργαστήρια, καθώς και σε συνεχείς μετρήσεις που λαμβάνουν χώρα μέσα στα πλαίσια του εφαρμοζόμενου συστήματος διαχείρισης ποιότητας ISO 9001



RHEOLOGY CONCRETE ADMIXTURE AND PUMPING-FLOW IMPROVEMENT AGENT

Category: CHEMIUM Range: New Generation Concrete Admixtures

DESCRIPTION

CHEMIUM VMA is an aqueous solution of low viscosity ready for use with extremely efficient rheological properties. Combined with superplasticizers of the CHEMIUM range, it complies with EN 934-2 Table 13.

USE

CHEMIUM VMA is an ideal novel admixture for self-compacting and prestressed concretes. In parallel to the improvement of pumpability it also achieves high consistence of fresh concrete.

ADVANTAGES

- Possibility of achievement of self compactability for concretes without a very low W/C ratio, not being affected by the quality fluctuations of the aggregates.
- It is added and dosed easily, due to its extremely low viscosity.
- It increases watertightness of concrete, due to the high uniformity of concrete.
- It renders the concrete durable to vibration and pumping.
- It ameliorates the surface texture and finish of concrete.
- It reduces shrinking cracking.

INSTRUCTIONS

CHEMIUM VMA is added to concrete containing superplasticizer of CHEMIUM range, after mixing raw materials. It is not recommended to pre-mix it with other admixtures.

Dosage: For normal conditions from 0.1 to 0.3% on cement weight. The dosage depends on the temperature, the quantity and quality of cement and aggregates, the quantity of superplasticizer, the W/C ratio, etc.

ΥΠΕΡΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΗΣ ΝΕΑΣ ΓΕΝΙΑΣ - ΠΑ ΜΕΓΑΛΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΡΕΥΣΤΟΤΗΤΑΣ - ΠΑ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ - ΠΑ ΓΡΗΓΟΡΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΝΤΟΧΩΝ

Κατηγορία: Σειρά CHEMIUM: Πρόσθετα Σκυροδέματος Νέας Γενιάς

Το CHEMIUM NT 2 είναι υδατικό διάλυμα τροποποιημένων πολυμερών έτοιμο για χρήση, πολύ μεγάλης απόδοσης τόσο σε ρευστότητα όσο και σε διάρκεια ρευστότητας. Πληροί την προδιαγραφή EN 934-2 πίνακες 3.1, 3.2 και 11.1, 11.2.

ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

Το CHEMIUM NT 2 είναι ιδανικό πρόσθετο για μεταφερόμενα σκυροδέματα μεγάλων απαιτήσεων όπως π.χ. πολύ χαμηλός λόγος νερού/τσιμέντου. Έχοντας αυτήν την δυνατότητα χρησιμοποιείται στην παραγωγή μεταφερόμενου σκυροδέματος επιτυγχάνοντας πολύ υψηλές πρώιμες και τελικές αντοχές και υψηλές πυκνότητες σκυροδέματος. Προσδίδει ρευστότητα πολύ μεγάλης διάρκειας.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Ρευστό αντλητό σκυρόδεμα με πολύ χαμηλό λόγο νερού/τσιμέντου χωρίς πτώση κάθισης.
- Αυξάνει τη στεγανότητα λόγω υψηλής μείωσης του νερού.
- Ελαττώνει ή και αφαιρεί την απαίτηση χρήσης θέρμανσης στις προκατασκευές.
- Δεν απαιτεί δόνηση του σκυροδέματος.
- Βελτώνει τη δομή και την εμφάνιση του σκυροδέματος.
- Αυξάνει πολύ τις πρώιμες (12-24 ώρες) και τελικές αντοχές.
- Αυξάνει την πρόσφυση του σκυροδέματος στον οπλισμό.
- Μειώνει τον ερπισμό και τις ρηγματώσεις.

ΤΡΟΠΟΣ ΧΡΗΣΗΣ

Το CHEMIUM NT 2 λόγω της μεγάλης διάρκειας ρευστότητας που προσδίδει στο σκυρόδεμα προστίθεται αποκλειστικά στον αναμεικτήρα της μονάδας παραγωγής. Διάρκεια ρευστότητας 1-2 ώρες στους 20°C.

Δοσολογία: Για συνήθεις θερμοκρασίες και για τα ελληνικά τσιμέντα συνιστάται δοσολογία 0,3-2,0% του βάρους του τσιμέντου. Για την επίτευξη λόγων νερού/τσιμέντο κάτω από 0,4, η δόση μπορεί να αυξηθεί έως και 5% του βάρους του τσιμέντου ή και παραπάνω ανάλογα με τις ανάγκες, κατόπιν δοκιμών, χωρίς παρενέργειες. Η δοσολογία εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την ποσότητα και την ποιότητα τσιμέντου και αδρανών, από το λόγο N/T κλπ.