



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Χημικών Μηχανικών

Τομέας III. "Επιστήμη & Τεχνική των Υλικών"

**“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΣΥΜΒΟΛΗΣ ΜΕΘΟΔΩΝ
ΜΗ-ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΗ ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΚΑΙ
ΣΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗΝ ΑΕΙΦΟΡΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ”**



Διδακτορική Διατριβή

κ. Νικόλαου Σ. Κατσιώτη

Διπλ. Μηχανικού Μεταλλείων – Μεταλλουργών Ε.Μ.Π.

Επιβλέπουσα:

Αντωνία Μοροπούλου

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα,

Οκτώβριος 2015

Η παρούσα έρευνα έχει συγχρηματοδοτηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο - ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) – Ερευνητικό Χρηματοδοτούμενο Έργο: Ηράκλειτος II. Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Συμβουλευτική Επιτροπή:

Καθ. Αντωνία Μοροπούλου - Επιβλέπουσα

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών

Καθ. Θεόδωρος Ματίκας

Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Τμήμα Μηχανικών Επιστήμης Υλικών

Καθ. Roko Žarnić

University of Ljubljana, Faculty of Civil Engineering and Geodesy

Εξεταστική Επιτροπή:

κα. Αντωνία Μοροπούλου, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

κ. Θεόδωρος Ματίκας, Καθηγητής Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

κ.. Roko Žarnić, Καθηγητής Πανεπιστημίου Ljubljana

κα. Μαρία Λοϊζίδου-Μαλαμή, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

κ. Κωνσταντίνος Χαριτίδης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

κ. Αστέριος Μπακόλας-Καραγιάννης, Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

κ. Αναστάσιος Δουλάμης, Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Copyright © Νικόλαος Σ. Κατσιώτης, 2015.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος / All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στην χρήση της Διατριβής για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον Συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα σε αυτήν την Διατριβή εκφράζουν τον Συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

“Η έγκριση της Διδακτορικής Διατριβής από την Ανωτάτη Σχολή Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του Συγγραφέα” (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202)

ΓΙΑ ΤΗΝ
ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ
ΜΟΥ

[Alla mia Famiglia, che mi ha supportato e sopportato]

για όλους τους 

“τήν γενιά μου πού τήν κοίμησαν σχολεῖα καί τηλεοράσεις”

“Μήγαρις ἔχω ἄλλο στὸ νοῦ μου πάρεξ “ἐλευθερία καὶ γλώσσα;”

Διονύσιος Σολωμός (1798-1857)

*“Γνωρίζετε ὅτι γράφω με αργὸ ρυθμὸ. Αυτό οφείλεται κυρίως στο ὅτι δεν εἶμαι ποτέ
ικανοποιημένος ἕως ὅτου ἔχω πει ὅσο το δυνατόν περισσότερο με λίγες λέξεις
-και η συνοπτικὴ γραφὴ απαιτεῖ πολὺ περισσότερο χρόνο ἀπὸ την εκτενὴ γραφὴ.”*

Johann Carl Friedrich Gauß (1777 - 1855)

*“Να προτιμούμε τις θλίψεις καὶ να τις δεχόμαστε καλύτερα ἀπὸ τις
χαρές. Το πικρὸ φάρμακο πολλές φορές εἶναι καλύτερο ἀπὸ το γλυκό,
διότι θεραπεύει. Η πραγματικὴ χαρὰ γεννιέται ἀπὸ τον πόνο.”*

Ασυρματιστὴς Αρσένιος Εξνεπίδης (1924 - 1994)

*Χρέος σου, σε πάσα στιγμή, μέρα και νύχτα, σε χαρὰ και σε θλίψη, μέσα ἀπὸ την καθημερινὴν ἀνάγκη, να
ξεχωρίσεις την Κραυγὴ τούτη, να την ξεχωρίσεις ορμητικὰ ἢ συγκρατημένα, ὅπως βολεῖ στη φύση σου,
γελώντας ἢ κλαίγοντας, ενεργώντας ἢ στοχαζόμενος, και να μάχεσαι να νιώσεις ποιος εἶναι αὐτὸς που
κιντυνεύει και φωνάζει· και πῶς μπορούμε εμεῖς να στρατευτούμε, ὅλοι μαζί, και να τότεν λευτερώσουμε.*

Νίκος Καζαντζάκης ~ “Ασκητικὴ” (1927)

*"No man knows till he has suffered from the night
how sweet and dear to his heart and eye the morning can be."*

Bram Stoker (1847 - 1912)

*Καὶ ἐκεῖ πού 'ναι ἡ Ἁγία Σοφία // μὲς στοὺς λόφους τοὺς ἐπτὰ,
ὄλα τ' ἄψυχα κορμιά, // βραχοσύντριφτα, γυμνά,
σωριασμένα νὰ τὰ σπρώξη // ἡ κατάρρα τοῦ Θεοῦ,
κι ἀπ' ἐκεῖ νὰ τὰ μαζώξη // ὁ ἀδελφὸς τοῦ Φεγγαριοῦ.*

Διονύσιος Σολωμός ~ “Ἕμνος εἰς τὴν Ἐλευθερίαν” (1825)

*Περικυκλωμένος ἀπ' τα χρώματα του ουρανοῦ // ἔρχονται καταπάνω μου εἶναι ἡ διαύγεια του νοῦ
απορροφώντας κάθε γέυση που μου δίνει ἡ ζωὴ // εἶμαι μέσα σε μία σπείρα χωρὶς τέλος οὔτε ἀρχὴ
ἕνας κόσμος χωρὶς ψέμα, προδοσία, ρουφιανιά // ἕνας κόσμος χωρὶς ἐχθρες, χωρὶς ὅπλα, σύνορα
εδὼ ἡ ἀγάπη, ἡ ἀλληλεγγύη και ὁ σεβασμὸς εἶναι για ὅλους τους ἀνθρώπους ὁ πρωταρχικὸς σκοπὸς*

Σπείρα ~ “Παραμένεις Ἐλεύθερος”

Κοινόχρηστα Ὀνειρα (2008)

*...ὅταν θ' ἀγαπήσεις το γέλιο σου και την ἀναπνοὴ σου
και δεις πως ἔχεις κάτι να μας πεις...*

*...στο πλάι σου ὁ ἀνθρώπος που διάλεξε βιτρίνα στη ζωὴ σου,
τριᾶκοντα ἀργύρια ἀντίτιμο σιωπῆς...*

*κι ὅπως μου δίδαξες με τη στάση σου ἔτσι λοιπὸν ἀντέχω
πάντα με θάρρος και πείσμα μα πιο πολὺ πίστη
θα 'σαι ὁ φάρος, το πρίσμα πριν την ὑστατη κρίση...*

Πρίγκηπας Π. Σιδηρόπουλος ~ “Στην Κ” (1978)

FF.C. ~ “Ὅσα μου ἔμαθες ἐσύ”

Κλασσικὰ Ηχογραφημένα (2004)

"...IGNORAMUS ET IGNORABIMUS..."

Emil du Bois-Reymond

(*"Über die Grenzen des Naturerkennens"*, 1872)

"WIR MUSSEN WISSEN — WIR WERDEN WISSEN!"

David Hilbert

(*Gesellschaft der Deutschen Naturforscher und Ärzte, Königsberg, 8/9/1930*)

"..ποιά είναι η ουσία του Θεού μας; Ο αγώνας για την ελευτερία.."

N. Καζαντζάκης

(*"Ασκητική"*, Β': Σχέση ανθρώπου κι ανθρώπου)

"Οι λέξεις φταίνε. Αυτές ενθάρρυναν τα πράγματα ν' αρχίσουν να συμβαίνουν."

Κική Δημουλά

"THE CHESS-BOARD IS THE WORLD, THE PIECES ARE THE PHENOMENA OF THE UNIVERSE, THE RULES OF THE GAME ARE WHAT WE CALL THE LAWS OF NATURE. THE PLAYER ON THE OTHER SIDE IS HIDDEN FROM US."

Thomas Huxley

Άγγλος φυσιοδίφης/βιολόγος, 1825-1895, γνωστός ως το "μπουλντόγκ του Δαρβίνου", πρωτεργάτης της επιστημονικής εκλαΐκευσης της Επιστήμης, επινοητής του όρου "αγνωστικισμός".

"σκεπάσματος δέομαι, ιμάτιον δὲ σκέπασμα· ιματίου δέομαι. οὐ δέομαι, ποιητέον· ιματίου δέομαι· ιμάτιον ποιητέον. καὶ τὸ συμπέρασμα, τὸ ιμάτιον ποιητέον, πρᾶξις ἐστίν."

Αριστοτέλης

(Κεφάλαιο 7, *"Περὶ ζῶων κινήσεως"*/"*De Motu Animalium*")

"IF WE HAD COMPUTERS THAT KNEW EVERYTHING THERE WAS TO KNOW ABOUT THINGS—USING DATA THEY GATHERED WITHOUT ANY HELP FROM US—WE WOULD BE ABLE TO TRACK AND COUNT EVERYTHING, AND GREATLY REDUCE WASTE, LOSS, AND COST. WE WOULD KNOW WHEN THINGS NEEDED REPLACING, REPAIRING OR RECALLING, AND WHETHER THEY WERE FRESH OR PAST THEIR BEST. THE INTERNET OF THINGS HAS THE POTENTIAL TO CHANGE THE WORLD, JUST AS THE INTERNET DID. MAYBE EVEN MORE SO."

Kevin Ashton

"IT IS NOT FOR NOTHING THAT THE SCHOLAR INVENTED THE PHD THESIS AS HIS PRINCIPAL CONTRIBUTION TO LITERARY FORM. THE PHD THESIS IS THE PERFECT IMAGE OF HIS WORLD. IT IS WORK DONE FOR THE SAKE OF DOING WORK - PERFECTLY CONSCIENTIOUS, PERFECTLY LABORIOUS, PERFECTLY IRRESPONSIBLE."

Archibald Macleish

(*"The Irresponsibles: A Declaration"*, 1940)

"Always use the method that works best. Whether it is scientific or empirical or in-between, that is secondary." Sandor Popovics

"εἷς ἐμοὶ μύριοι, ἐὰν ἄριστος"

Ηράκλειτος (*Fragmenta DK 49*)

Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο “Επιστήμης & Τεχνικής Υλικών” της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, το Πανεπιστήμιο της Ljubljana και την Διεύθυνση Έρευνας & Ποιότητας της Α.Ε. Τσιμεντών “TITAN”, με την χρηματοδοτική υποστήριξη μέσω του Υπουργείου Παιδείας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Πρόγραμμα “Ηράκλειτος II – Ενίσχυση του ανθρώπινου ερευνητικού δυναμικού μέσω της υλοποίησης διδακτορικής έρευνας”).

Το τσιμέντο και το σκυρόδεμα είναι ζωτικής σημασίας μοντέρνα κατασκευαστικά υλικά –το τσιμέντο ώντας γνωστό από τα αρχαία χρόνια– εφάμιλλης χρηστικής, εμπορικής/οικονομικής και κοινωνικής αξίας με το ξύλο, το ασφάλι και το πετρέλαιο. Όσον αφορά την δομική τους χρησιμότητα, το τσιμέντο και το σκυρόδεμα έχουν επιδείξει εξαιρετική προσαρμοστικότητα στις ανάγκες, τις χρήσεις και τα διάφορα περιβάλλοντα εφαρμογής αυτών.

Σε παγκόσμιο επίπεδο το κέρδος ετησίως των τσιμεντοπαραγωγικών εταιρειών ανέρχεται στα \$250 δις ενώ η παγκόσμια ζήτηση και ανάγκη σε τσιμέντο δεν περιορίζεται ούτε στις εφαρμογές του (καθώς επιδεικνύει ιδιάζων εύρος – από χρήση σε κατασκευή δρόμων και υποδομών, κατοικιών και συγκροτημάτων, μέχρι ανθεκτικών έργων σε εξαιρετικά δυσμενή περιβάλλοντα) ούτε και στην διεθνή κατανομή της ζήτησης του.

Όσον αφορά το σκυρόδεμα, αποτελεί το κυρίαρχο δομικό υλικό της Εποχής μας και η φαινομενικά απλή ή λιτή “συνταγή” παρασκευής του “αδικεί” την σκέψη, σύνθεση, τεχνολογική αρτιότητα και τα επιστημονικά επιτεύγματα πίσω από την προσαρμογή τους στις εκάστοτε ανάγκες. Ως πολυσύνθετο υλικό με σύνθετη μικροδομή και εξαιρετικά ευρύ φάσμα παραμετροποίησης των συστατικών αυτού, είναι εξαιρετικά δύσκολη η θεωρητική προσέγγιση στην μελέτη του – εντούτοις, οι προκλήσεις της σύγχρονης Εποχής μας απαιτούν ακριβώς αυτό.

Κλείνοντας τον σύντομο αυτό Πρόλογο, σημειώνεται ότι η Διδακτορική Διατριβή απαρτίζεται και αποτελείται από 3 Μέρη (Θεωρητικό, Πειραματικό και Συμπεράσματα, Προοπτικές και Προτάσεις για Μελλοντικά Βήματα), συνολικά 7 Ενότητες/Κεφάλαια, 3 Παραρτήματα (Βιογραφικό σημείωμα συγγραφέα, Αλγόριθμος ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας που αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε στα πλαίσια της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής, Στατιστικές συσχετίσεις) και συνολικά 409 σελίδες, στις οποίες πραγματεύονται τα θέματα χημείας & τεχνολογίας τσιμέντου/σκυροδέματος, μη-καταστρεπτικών δοκιμών και τεχνικών όρασης υπολογιστή με απώτερο στόχο την διερεύνηση δυνατοτήτων συμβολής μεθόδων Μη-Καταστρεπτικού ελέγχου στη διάγνωση και στον έλεγχο ποιότητας δομικών υλικών με έμφαση στην Αειφόρο Κατασκευή.

Στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή παρουσιάζεται η διερεύνηση των δυνατοτήτων συμβολής μεθόδων μη-καταστρεπτικού ελέγχου στη διάγνωση και στον έλεγχο ποιότητας δομικών υλικών με έμφαση στην Αειφόρο Κατασκευή. Ως προς το παραπάνω σκοπό, πραγματοποιήθηκε εκτενής μελέτη των υπό έρευνα δομικών υλικών (δοκιμίων σκυροδεμάτων 5 συνθέσεων, έκαστη σύνθεση αποτελούμενη από διαφορετικό τύπο, ποιότητα και κατηγορία αντοχών του περιεχόμενου τσιμέντου) μέσω τόσο συμβατικών/παραδοσιακών (καταστρεπτικών) τεχνικών ανάλυσης όσο και καινοτόμων μη-καταστρεπτικών τεχνικών χαρακτηρισμού.

Η μέθοδος που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής αφορά την συνδυαστική και συνεργατική εφαρμογή των μη-καταστρεπτικών τεχνικών της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών και της Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας. Περισσότερο συγκεκριμένα, παρασκευάστηκαν δοκίμια σκυροδεμάτων στον ξυλότυπο (“καλούπι”) των οποίων είχε προσαρμοστεί κατάλληλο πλαίσιο (“παράθυρο”) παρατήρησης και λήψης εικόνων μέσω του οποίου εφαρμόστηκε Μικροσκοπία Οπτικών Ινών σε τακτά διαστήματα πραγματικού χρόνου (“real-time”) κατά την διάρκεια της τοποθέτησης/σκυροδέτησης αυτών. Εν συνεχεία, οι εικόνες υψής αυτές επεξεργάστηκαν κατάλληλα μέσω αλγορίθμου Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας (ο οποίος αναπτύχθηκε και αριστοποιήθηκε για τις ανάγκες της συγκεκριμένης Έρευνας και εφαρμογής) σε υπολογιστικό περιβάλλον MatLab®, και εξήχθησαν ποσοτικές πληροφορίες χαρακτηρισμού της δεδομένης εικόνας ανά χρονική στιγμή λήψης αυτής.

Τα πειραματικά αποτελέσματα αυτά τροφοδοτήθηκαν αυτομάτως (και σε πραγματικό χρόνο - “real-time”) σε κατάλληλη πληροφοριακή γνωσιακή βάση δεδομένων, η οποία αποτέλεσε το έναυσμα για περαιτέρω αξιοποίηση των περιεχόμενων πληροφοριών, υπό την μορφή εύρεσης και έκφρασης κατάλληλου μαθηματικού συσχετισμού (“correlation”). Εν συνεχεία και βάσει του αναπτυχθέντος ημιεμπειρικού μαθηματικού μοντέλου, έλαβε χώρα μετάβαση σε έμπειρο σύστημα υποστήριξης απόφασης (“expert system”), ικανό να ανταποκρίνεται στις ανάγκες της Κατασκευής (σε πραγματικό τόπο, χρόνο και κλίμακα).

Στα Συμπεράσματα της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής συμπεριλαμβάνεται η επιτυχής συνδυαστική αξιοποίηση μη-καταστρεπτικών τεχνικών Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών και Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας ως προς την λήψη αντιπροσωπευτικών επιφανειακών εικόνων υψής/μικροδομής (“image patterns”) σε ορισμένες χρονικές στιγμές αμέσως μετά την έναρξη της σκυροδέτησης (αρχή, + 5, +10, +15, +20, +25, +30, +40, +50, 60λεπτά). Οι ληφθείσες ψηφιακά επεξεργασμένες εικόνες μικροδομής συσχετίστηκαν (μέσω εκτεταμένου προγράμματος γραμμικών παλινδρομήσεων) με τις τελικές μηχανικές αντοχές των παραχθέντων σκυροδεμάτων και συμπεραίνεται η εντονότερη βαρύτητα/σχέση των μορφολογικών παραμέτρων του “κεντροειδούς” και του “αριθμού Euler” (καθόλες τις χρονικές στιγμές), σε μεγέθυνση 25x και όριο κατωφλίσωσης/threshold 110. Πέραν αυτών, η αποτίμηση της μικροδομής από τα ληφθέντα image pattern ενσωματώνεται επιτυχώς σε εξειδικευμένη γνωσιολογική βάση δεδομένων και η Γνώση αυτή μετατρέπεται (μέσω τεχνητής νοημοσύνης και εφαρμογής γενετικών αλγορίθμων σε περιβάλλον MatLab®) σε έμπειρο σύστημα (“expert system”) υποβοήθησης/υποστήριξης αποφάσεων (“decision support system”) Αειφορίας στην Κατασκευή.

Abstract

Περίληψη

This Doctoral Thesis presents the investigation of the possibilities for the contribution of Non-Destructive methods of Testing in the diagnosis and quality control of building materials with emphasis on Sustainable Construction. Towards this goal, an extensive study was conducted concerning three building materials examined (*concrete samples of five different compositions, each consisting of a different cement constituent, by type and strength category*) via both traditional/mainstay (destructive) methods of analysis/testing as well via innovative non-destructive methods of characterization.

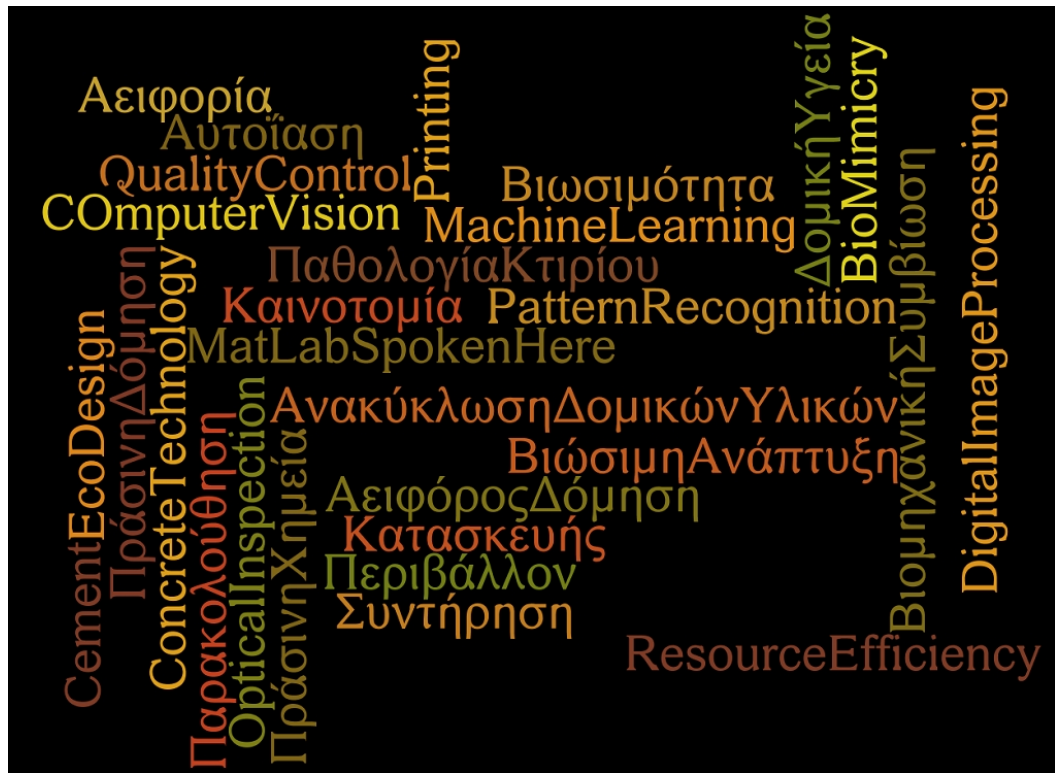
The holistic method that was developed during the course and framework of this present doctoral research consists and revolves around the combination and synergistic application of the non-destructive techniques of Fiber Optic Microscopy (*FOM*) and Digital Image Processing (*DIP*). More specifically, concrete samples were prepared and cured while under study via a suitable observation window which was fitted in the concrete framework; through this window, fiber optic microscopy images were taken in due time increments –in real time– during the initial pouring and setting. Following this stage, these images (*“image patterns”*) were treated via Digital Image Processing; a suitable tuned algorithm was developed (*which was compiled and fine-tuned specifically for the needs of this niche Research and application*) in the MatLab® computational environment. Quantitative results were gathered from the information within the images themselves; these characterized the specific image at the corresponding time instances.

These experimental results were utilized as real-time automated input and feeded into a specifically designed database & knowledge-based system via which further processing and utilization of the information stored within led to a suitable mathematical correlation model. Furthermore, this semi-empiric mathematical model led to the development of a decision support system (*“expert system”*) capable to withstand the needs of the construction field (*real time, space and scale*).

The conclusions of the Doctorate Research include both the successfully combination and utilization of non-destructive techniques (*Fiber Optic Microscopy and Digital Image Processing*) towards the capture of representative surface image patterns at specified time intervals immediately after the start of the concrete placing (*start, + 5, +10, +15, +20, +25, +30, +40, +50, 60minutes*). The finalized digitally processed image patterns were correlated (*via an extensive programme of liner regression study*) to the final mechanical strength of the produced concrete samples; the greater impact/relationship of the morphological properties of the *“centroid”* and the *“Euler number”* (*throughout the time intervals*) at a magnification 25x and threshold value of 110 was identified. Besides this, the assessment of the concrete microstructure as per the digital processing of the collected image patterns was incorporated successfully in a suitable specialized Knowledge database and this Knowledge was converted (*through Artificial Intelligence and more specifically the application of genetic algorithms in a MatLab® environment*) to an Expert System designed for Decision Support concerning Sustainability in the Construction Sector.

Λέξεις-κλειδιά

keywords



Ευχαριστίες

acknowledgements

Προσωπικές ευχαριστίες αποδίδονται στην Επιβλέπουσα της Διδακτορικής Διατριβής μου, την **Καθ. Αντωνία Μοροπούλου**, το “μεγαλύτερο σχολείο” για εμένα, αστείρευτη πηγή προσωπικής έμπνευσης και κινητοποίησης, στήριξης και συμβουλευτικής σε πληθώρα θεμάτων (τα οποία άπτονται Πανανθρώπινου ενδιαφέροντος, εύρους Κοινωνικού, Πολιτικού έως και διαχείρισης των καθημερινών εμποδίων/δυσκολιών – πράγματι, δεν είναι τα χιλιόμετρα περπατήματος αλλά το χαλίκι εντός της μπότας...). Για την ανταπόκριση Αυτής της μεγαλύτερης-από-την-Ζωή (*larger than life*) Γυναίκας Καθηγήτριας, για τον προσωπικό χρόνο και κόπο που αφιέρωσε, για την στάση της και την συμπαράσταση της σε όλη την διαδικασία “ακαδημαϊκής ενηλικίωσης” μου κατά την διάρκεια της εκπόνησης της Διδακτορικής Διατριβής, πραγματικά ένα ευχαριστώ δεν αρκεί για να περιγράψει τα αισθήματα μου.

Θερμότερες ευχαριστίες πρέπει να δώσω στον **Καθ. Θεόδωρο Ματίκα**, ο οποίος ήταν για εμένα παραπάνω από Μέλος της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, ένας αεικίνητος, ζεστός, χαμογελαστός άνθρωπος ο οποίος δεν κουράστηκε στιγμή να υποδέχεται (τόσο στο Γραφείο του όσο και σε πλήθος περιβαλλόντων/συγκυριών/ηπειρών!) και να συζητάει με έναν αλαφιασμένο Υ.Δ. από το Μετσόβιο. Εκτίμησα ιδιαιτέρως και εκτιμώ εφ’ όρου ζωής την στάση και υποστήριξη του, ιδιαιτέρως κατά την έναρξη αυτού του προσωπικού μου ακαδημαϊκού ανηφορικού αγώνα, τον οποίο ονομάζουμε τόσο εύγλωττα, “εκπόνηση διδακτορικού πονήματος/διατριβής”.

Εν συνεχεία, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου για την συμμετοχή του **Καθ. Roko Žarnić**, πρώην Υπουργού Περιβάλλοντος της Σλοβενίας (επί Κυβέρνησης Borut Pahor, 2008-2012) στην Τριμελή Συμβουλευτική Επιτροπή της Διδακτορικής Διατριβής μου. Ο πολυπράγμων αυτός άνθρωπος πραγματικά με ενέπνευσε και στις συζητήσεις μας – τόσο κατ’ιδίαν όσο και μέσω ηλεκτρονικών μέσων – ενώ διαφαίνεται ξεκάθαρα το βάθος της κατοχής επιστημονικών θεμάτων και ταυτόχρονα σχεδιασμού κατάλληλων πολιτικών Αειφορίας και Κοινωνικής συνοχής.

Προσωπικές ευχαριστίες θα ήθελα να αποδώσω ξεχωριστά στα Μέλη της Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής: την **Καθ. Μαρία Λοϊζίδου-Μαλαμή**, τον **Καθ. Κωνσταντίνο Χαριτίδη**, τον **Επικ. Καθ. Α. Μπακόλα-Καραγιάννη** και τον **Λέκτορα Αναστάσιο Δουλάμη**, για την αμέριστη υποστηρικτική διάθεση και χρησιμότερες παρατηρήσεις τους ως προς το παρόν πόνημα. Είμαι πεπεισμένος, πέραν κάθε αμφιβολίας, ότι το τελικό κείμενο, έχοντας λάβει υπόψιν και ενσωματώσει τις επιστημονικές διορθώσεις τους αναδεικνύει καλύτερα και ακριβέστερα το έργο το οποίο έλαβε χώρα. Για τον λόγο αυτό, τους είμαι ιδιαίτερα ευγνώμων και διατελώ υπόχρεος.

Ευχαριστώ επίσης, τον **κ. Νικόλαο Δεπούνη**, υπεύθυνο Επιμέλειας και Διασφάλισης Ποιότητας (QA) και Ποιοτικού Ελέγχου (QC), Διεύθυνση Κατασκευών Κτιριακών Έργων της ΑΚΤΩΡ Α.Τ.Ε., τόσο για την υποστήριξη και συμβουλές του κατά την αρχική φάση σχεδιασμού του πειραματικού σχεδιασμού όσο και για το εφαρμοστικό μέρος.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να αποδώσω στους **κ. Μανώλη Χανιωτάκη**, **κ. Δημήτριο Παπαγεωργίου** και **κ. Ιωάννη Μαρίνο** από την Α.Ε. Τσιμέντων “TITAN” για την πολύτιμη τους συμβολή τόσο στην προμήθεια και κατάλληλη επιλογή των υλικών που μελετήθηκαν, όσο και στο “ανοικτό Γραφείο” τους για τις ερευνητικές συζητήσεις επί του θέματος της Διδακτορικής μου Διατριβής. Για τους λόγους αυτούς και όχι μόνο, θέλω με την ευκαιρία αυτή να εκφράσω όχι μόνο τις ευχαριστίες αλλά και τον βαθύ σεβασμό μου για τους Ανθρώπους της Βιομηχανίας της Χώρας μας, ιδιαίτερα σε αυτή την εποχή της Κρίσης που διανύουμε. Η Κρίση μαστίζει τόσο τις ανθρώπινες ζωές (Κοινωνικό επίπεδο) όσο και τις ανθρώπινες δομές συνάμα (Εταιρικό επίπεδο) - η Α.Ε. Τσιμέντων “TITAN” και οι Άνθρωποι της αποτελούν Πρότυπο Εταιρείας, ακόμα και εν καιρώ Κρίσης.

Χωρίς διάθεση υπερβολής, θα ήθελα να εκφράσω τις εγκάρδιες ευχαριστίες μου και συναδελφικούς χαιρετισμούς (*camaraderie*) τόσο σε συνοδοιπόρους της Ακαδημαϊκής Ατραπού, ανθρώπους που με στήριξαν σε ανθρώπινο επίπεδο και τους οφείλω πολλά (**Υ.Δ. κ. Β. Γεωργίλας**, **Υ.Δ. κ. Ε. Προφήτης**) όσο και σε Μηχανικούς-Ερευνητές, οι οποίοι –εν μέσω της “Κρίσης” [sic] – παρέμειναν στην χώρα μας, αποτελούν υποδείγματα τεχνικής παρουσίας και εργασίας, με συνεχή και επιμελή αγωνιστική ταξισυνειδησία, αποφεύγοντας περαιτέρω απώλεια σημαντικής συσσωρευμένης βιομηχανικής εμπειρίας και Τεχνογνωσίας αλλά και αποδυνάμωσης της Στάθμης

της Γνώσης/Επιστήμης στην πατρίδα μας (βλέπε *συνεχές/διαδραματιζόμενο “brain drain”, χρόνια πλέον αφαίμαξη επιστημονικού δυναμικού*): **κ. Ζαχαρίας Γκέτσης, Δρ. Πέτρος Τσακιδίδης και Δρ. Δημήτριος Αγγέλης**. Ένα ευχαριστώ είναι το ελάχιστο που μπορώ να εκφράσω.

Με την ευκαιρία αυτή, νιώθω ότι ιδιαίτερη μνεία πρέπει να λάβει χώρα προς στους **Δασκάλους** μου, Ανθρώπους οι οποίοι με τον τρόπο τους αγωνίζονται μόνοι (αλλά όχι μονάχοι..) ενάντια στην Φθορά και στην νιχιλιστική/ωχαδερφική (κυρι)άρχουσα άποψη ετούτης της “μάταιης” [sic] Εποχής μας και δίνουν δύναμη δείχνοντας τον Δρόμο:

κ. Θ.Π. Τάσσιος, κ. Κ. Δερβένης, κ. Κ. Καραλής, κ. Ι. Χάχαλης, Αννης(ΕΜ) Σ. Λαμπάκης

Ολόψυχες ευχαριστίες εκφράζονται στην κα. **Κωνσταντίνα Μπούντρη**, συνοδοιπόρο ζωής μου σε αυτή την μεγάλη ατραπό για το βασίλειο της Ελευθερίας, εξαιρετικά σπάνιο άνθρωπο αμέμπτου ηθικής υπόστασης και συμπαράστασης, της οποίας αφενός τον χρόνο και τα (+)αισθήματα εκτιμώ ιδιαιτέρως (και εξακολουθώ να μην θεωρώ κατ’οιανδήποτε τρόπο “δεδομένα”) και αφετέρου δεν παραγνωρίζω τις παράταιρες συμπεριφορές, πράξεις και ελλείψεις/στερήσεις στις οποίες υποβλήθηκε στα πλαίσια της καθημερινότητας της Ακαδημίας, Έρευνας και “ζωής”[“?”] ενός Υποψήφιου Διδάκτορα/Ερευνητή.

Τέλος, στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω την **Οικογένεια** μου για την αμέριστη στήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια εκπόνησης της Διδακτορικής Διατριβής μου – και όχι μόνο –, τόσο σε επίπεδο μετάδοσης γνώσεων, διάθεσης για *συνεχή* αναζήτηση και *συνεχή* επεξεργασία δεδομένων και φυσικά σκληρής δουλειάς αλλά και ενστερνισμού ενός συστήματος αξιών (κοινωνικών και πανανθρώπινων). Για όλα τα παραπάνω και αντίστοιχα άλλα τόσα, η Διδακτορική Διατριβή αυτή πρώτα από όλα αφιερώνεται στον **Πατέρα** μου, **Σταύρο** (ο οποίος μου δίδαξε και συνεχίζει να διδάσκει τίποτα και συνάμα τα Πάντα), στην **Μητέρα** μου, **Μαργαρίτα** (η οποία μου δείχνει με την στάση και τις αντοχές της τον Δρόμο της Αξιοπρέπειας) και στον **Αδερφό** μου, **Μάριο** (για την απέραντη του αγάπη και υποστήριξη).

...για όσα ήρθαν και όσα θα’ρθουν – may you find // piece of mind...

“GM” **Νικόλαος Σ. Κασιώτης**



Υ.Γ.: Δεν παραλείπεται έκφρασις ευχαριστιών προς αγνώστους/άνωνυμους υπουργούς (< υπό + έργον, προσφέροντες έργο), δημιουργούς (< δήμος + έργον, παράγοντες έργο εκ του μηδενός), μαγίστρους+μινίστρους (τεχνήτες/βοηθούς) του συλλογικού υποσυνείδητου (“collective unconscious” κατά C. Jung).

Περιεχόμενα

contents

Πρόλογος	i.
Περίληψη & Λέξεις-κλειδιά	ii.
Ευχαριστίες	v.
Περιεχόμενα	vii.
Κατάλογος/Ευρετήριο Εικόνων	x.
Κατάλογος/Ευρετήριο Πινάκων	xviii.
ΜΕΡΟΣ Α' - ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	1
ΓΕΝΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ I. Η Αειφόρος Ανάπτυξη και οι έννοιες της Αειφόρου Δόμησης και Αειφορίας των Κατασκευών: Πολιτικές και Στρατηγικές Αειφορίας στην Βιομηχανία της Κατασκευής και των Δομικών Προϊόντων Τσιμέντου & Σκυροδέματος	3
I.a. Εισαγωγή – Ορισμός “Αειφορίας”	3
I.b. Η κατάσταση για τον ελληνικό κλάδο δομικών προϊόντων τσιμέντου/σκυροδέματος	5
I.c. Θεσμικό Πλαίσιο, Νομοθεσία και μετάβαση στην έννοια της Ανθεκτικότητας ως βάση της Αειφορίας	7
I.d. Πολιτική Καινοτομίας στον κλάδο της Κατασκευής για την επίτευξη Αειφορίας	8
Βιβλιογραφία Κεφαλαίου I	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ II. Χημεία & Τεχνολογία Σκυροδέματος	13
II.a Εισαγωγή – Το σκυρόδεμα ως δομικό υλικό	13
II.b. Ορισμοί & σύντομο ιστορικό – Η φυσική δομή του Σκυροδέματος	14
II.c. Πρώτες ύλες/συστατικά του σκυροδέματος	16
II.d. Περί Χημείας & Τεχνολογίας Τσιμέντου	18
II.e. Βασικοί τύποι αλλά και ειδικές εφαρμογές του σκυροδέματος	20
II.f. Τι μας επιφυλάσσει το (όχι τόσο μακρινό...) μέλλον	23
II.g. Εν κατακλείδι, η σημασία της έννοιας “Ανθεκτικότητα Σκυροδέματος”	25
Βιβλιογραφία Κεφαλαίου II	26
ΕΙΔΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ III. Μη-Καταστροφικοί Έλεγχοι, Μέθοδοι & Τεχνικές Υλικών (Non-Destructive Techniques)	33
III.a. Σύντομη εισαγωγή και ορισμοί	33
III.b. Διαθέσιμες μέθοδοι ΜΚΕ, πεδία εφαρμογής και σημαντικοί σταθμοί-σημεία αναφοράς	34

III.c. Η σχέση μεταξύ μεθόδων ΜΚΕ και ποιοτικού ελέγχου σκυροδέματος	36
III.d. Η Μη-Καταστροφική Μέθοδος Ελέγχου της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών (Fiber Optic Microscopy)	38
III.e. Εν κατακλείδι περί μεθόδων μη-καταστροφικού ελέγχου, Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών, Οπτοηλεκτρονικής και Σκυροδέματος	41
Βιβλιογραφία Κεφαλαίου III	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV. Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας (Digital Image Processing) με χρήση MatLab®	47
IV.a. Τι είναι η Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας - γενικά	47
IV.b. Οι “Προσωπικοί” Υπολογιστές (sic) και... τα Πρόσωπα (“Εμείς”)	49
IV.c. Η Όραση του Υπολογιστή και ο Υπολογισμός της Όρασης	52
IV.d. Πεδία εφαρμογών Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας και Όρασης Υπολογιστή	54
IV.e. Σύνοψη αναφορά στην Εποποιία του Γνωσιακού Μηχανικού [ίσως; σε λίγο; λίγο ακόμα;] και την μετάβαση σε μία Νέα Βιομηχανική/Κατασκευαστική Πραγματικότητα	56
IV.f. Το MatLab® ως επιστημονικό λογισμικό κάλυψης αναγκών του σύγχρονου Μηχανικού	58
Βιβλιογραφία Κεφαλαίου IV	64
<u>ΣΚΟΠΟΣ, ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ και ΠΡΩΤΟΤΥΠΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ</u>	75
Σκοπός, τοποθέτηση προβλήματος και πρωτοτυπία της Διδακτορικής Διατριβής	76
<u>ΜΕΡΟΣ Β’ – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</u>	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ V. Πειραματικός Σχεδιασμός, Εκτέλεση και Συζήτηση Πειραματικών Αποτελεσμάτων	79
a. Σχεδίαση και οργάνωση του πειραματικού προγράμματος της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής	79
a.I. Επιλογή και χαρακτηρισμός πρώτων υλών ως προς την παρασκευή δειγμάτων σκυροδέματος	80
a.II. Σχεδιασμός συνδυασμού πειραματικής εφαρμογής βασικών μη-καταστρεπτικών τεχνικών	83
a.III. Σχεδιασμός εφαρμογής Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών και Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας των ληφθέντων εικόνων ως προς την μελέτη και αποτίμηση της μικροδομής αυτών	84
a.IV. Θεμελίωση της συσχέτισης μεταξύ των (ψηφιακά επεξεργασμένων) εικόνων μικροδομής (ληφθέντων μέσω εφαρμογής της τεχνικής της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών) και των τελικών μηχανικών αντοχών των δοκιμών/δειγμάτων σκυροδέματος	85
a.V. Δημιουργία κατάλληλης πληροφοριακής Βάσης Δεδομένων	86

a.VI. Δημιουργία κατάλληλου Έμπειρου Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων	87
b. Εκτέλεση πειραματικού σχεδιασμού και συζήτηση πειραματικών αποτελεσμάτων	88
b.I. Επιλογή και χαρακτηρισμός πρώτων υλών ως προς την παρασκευή δειγμάτων σκυροδέματος	88
b.II. Συνδυασμός πειραματικής εφαρμογής βασικών μη-καταστρεπτικών τεχνικών	125
b.III. Εφαρμογή Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών και Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας των ληφθέντων εικόνων ως προς την μελέτη και αποτίμηση της μικροδομής αυτών	131
b.IV. Θεμελίωση της συσχέτισης μεταξύ των (ψηφιακά επεξεργασμένων) εικόνων μικροδομής (ληφθέντων μέσω εφαρμογής της τεχνικής της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών) και των τελικών μηχανικών αντοχών των δοκιμίων/δειγμάτων σκυροδέματος	266
b.V. Δημιουργία κατάλληλης πληροφοριακής Βάσης Δεδομένων	272
b.VI. Δημιουργία κατάλληλου Έμπειρου Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων	274
c. Πιλοτική εφαρμογή και δοκιμή της Μεθόδου στην κλίμακα της Κατασκευής	279
<u>ΜΕΡΟΣ Γ' – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ και ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ για ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ</u>	280
ΚΕΦΑΛΑΙΟ VI. Συμπεράσματα, Προοπτικές και Προτάσεις για Μελλοντικά Βήματα	281
a. Συμπεράσματα παρούσας Διδακτορικής Διατριβής	281
b. Προοπτικές και Προτάσεις για μελλοντικά ερευνητικά βήματα	282
<u>ΜΕΡΟΣ Δ' – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ</u>	287
Appendix.a. Βιογραφικό σημείωμα συγγραφέα	288
Appendix.b. Αλγόριθμος ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας που αναπτύχθηκε & εφαρμόστηκε στα πλαίσια της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής	289
Appendix.c. Στατιστικές συσχετίσεις	291

Ευρετήριο Εικόνων και Σχημάτων

Index of Images and Figures

<u>Αρίθμηση / Περιγραφή:</u>	<u>σελ:</u>
Σχήμα I.1. Η πυξίδα της Αειφορίας / Βιώσιμης Ανάπτυξης	6
Σχήμα I.2. Έλεγχος ποιότητας υλικών αιεφόρου ανάπτυξης	8
Σχήμα V.1. Θλιπτικές αντοχές τύπων τσιμέντων προς παρασκευή δοκιμίων σκυροδέματος Δ.Δ.	89
Σχήμα V.2. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM I 42.5 (2 ημέρες)	91
Σχήμα V.3. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM II 42.5 (2 ημέρες)	92
Σχήμα V.4. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM II 32.5 (2 ημέρες)	93
Σχήμα V.5. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM IV 32.5 (2 ημέρες)	94
Σχήμα V.6. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM I 52.5 (2 ημέρες)	95
Σχήμα V.7. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM I 42.5 (7 ημέρες)	96
Σχήμα V.8. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM II 42.5 (7 ημέρες)	97
Σχήμα V.9. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM II 32.5 (7 ημέρες)	98
Σχήμα V.10. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM IV 32.5 (7 ημέρες)	99
Σχήμα V.11. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM I 52.5 (7 ημέρες)	100
Σχήμα V.12. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM I 42.5 (28 ημέρες)	101
Σχήμα V.13. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM II 42.5 (28 ημέρες)	102
Σχήμα V.14. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM II 32.5 (28 ημέρες)	103
Σχήμα V.15. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM IV 32.5 (28 ημέρες)	104
Σχήμα V.16. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM I 52.5 (28 ημέρες)	105
Σχήμα V.17. Αποτελέσματα ανάλυσης XRD σε δείγμα "CEM I 42.5" (2, 7, 28 ημέρες)	107
Σχήμα V.18. Αποτελέσματα ανάλυσης XRD σε δείγμα "CEM II 42.5" (2, 7, 28 ημέρες)	107
Σχήμα V.19. Αποτελέσματα ανάλυσης XRD σε δείγμα "CEM II 32.5" (2, 7, 28 ημέρες)	108
Σχήμα V.20. Αποτελέσματα ανάλυσης XRD σε δείγμα "CEM IV 32.5" (2, 7, 28 ημέρες)	108
Σχήμα V.21. Αποτελέσματα ανάλυσης XRD σε δείγμα "CEM I 52.5" (2, 7, 28 ημέρες)	109
Σχήμα V.22. Αποτελέσματα ποροσιμετρίας αζώτου (BET) σε δείγμα CEM I 42.5 (2 ημέρες)	110
Σχήμα V.23. Αποτελέσματα ποροσιμετρίας αζώτου (BET) σε δείγμα CEM I 42.5 (7 ημέρες)	110
Σχήμα V.24. Αποτελέσματα ποροσιμετρίας αζώτου (BET) σε δείγμα CEM I 42.5 (28 ημέρες)	111
Σχήμα V.25. Αποτελέσματα ποροσιμετρίας αζώτου (BET) σε δείγμα CEM II 42.5 (2 ημέρες)	111
Σχήμα V.26. Αποτελέσματα ποροσιμετρίας αζώτου (BET) σε δείγμα CEM II 42.5 (7 ημέρες)	112
Σχήμα V.27. Αποτελέσματα ποροσιμετρίας αζώτου (BET) σε δείγμα CEM II 42.5 (28 ημέρες)	112
Σχήμα V.28. Αποτελέσματα ποροσιμετρίας αζώτου (BET) σε δείγμα CEM II 32.5 (2 ημέρες)	113
Σχήμα V.29. Αποτελέσματα ποροσιμετρίας αζώτου (BET) σε δείγμα CEM II 32.5 (7 ημέρες)	113
Σχήμα V.30. Αποτελέσματα ποροσιμετρίας αζώτου (BET) σε δείγμα CEM II 32.5 (28 ημέρες)	114

Σχήμα V.31.	Αποτελέσματα ποροσιμετρίας αζώτου (BET) σε δείγμα CEM IV 32.5 (2 ημέρες)	114
Σχήμα V.32.	Αποτελέσματα ποροσιμετρίας αζώτου (BET) σε δείγμα CEM IV 32.5 (7 ημέρες)	115
Σχήμα V.33.	Αποτελέσματα ποροσιμετρίας αζώτου (BET) σε δείγμα CEM IV 32.5 (28 ημέρες)	115
Σχήμα V.34.	Αποτελέσματα ποροσιμετρίας αζώτου (BET) σε δείγμα CEM I 52.5 (2 ημέρες)	116
Σχήμα V.35.	Αποτελέσματα ποροσιμετρίας αζώτου (BET) σε δείγμα CEM I 52.5 (7 ημέρες)	116
Σχήμα V.36.	Αποτελέσματα ποροσιμετρίας αζώτου (BET) σε δείγμα CEM I 52.5 (28 ημέρες)	117
Σχήμα V.37.	Αποτελέσματα Ποροσιμετρίας BET (ειδική επιφάνεια) δειγμάτων τσιμέντου	117
Σχήμα V.38.	Αποτελέσματα Ποροσιμετρίας BET (συνολικός όγκος πόρων) δειγμάτων τσιμέντου	118
Σχήμα V.39.	Συνολικό διάγραμμα αποτελεσμάτων θερμοδομετρίας σε δείγματα τσιμέντων Δ.Δ.	119
Σχήμα V.40.	Φωτογραφίες εργαστηριακού εξοπλισμού ισόθερμης θερμοδομετρίας	119
Σχήμα V.41.	Θάλαμος συντήρησης δοκιμών σκυροδέματος (εγκαταστάσεις TITAN, Καμάρι)	123
Σχήμα V.42.	Προετοιμασία και παρασκευή κυβικών μητρών από plexiglass	125
Σχήμα V.43.	Εφαρμογή υπέρυθρης θερμογραφίας	126
Σχήμα V.44.	Πολυκάναλη εφαρμογή μεθόδου ωριμότητας	127
Σχήμα V.45.	Συνδυαστική εφαρμογή μεθόδου ωριμότητας & υπερηχοσκόπησης	128
Σχήμα V.46.	Συνδυαστική εφαρμογή ακουστικής εκπομπής & μικροσκοπίας οπτικών ινών	129
Σχήμα V.47.	Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασία εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: t_0)	135
Σχήμα V.48.	Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασία εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 5 \text{ min}$)	136
Σχήμα V.49.	Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασία εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 10 \text{ min}$)	137
Σχήμα V.50.	Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασία εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 15 \text{ min}$)	138
Σχήμα V.51.	Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασία εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 20 \text{ min}$)	139
Σχήμα V.52.	Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασία εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 25 \text{ min}$)	140
Σχήμα V.53.	Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασία εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 30 \text{ min}$)	141
Σχήμα V.54.	Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασία εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 40 \text{ min}$)	142
Σχήμα V.55.	Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασία εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 50 \text{ min}$)	143
Σχήμα V.56.	Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασία εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 60 \text{ min}$)	144

	CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 50x και τιμή κατωφλίωσης 110)	
Σχήμα V.165.	Σχηματικές απεικονίσεις ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 50x και τιμή κατωφλίωσης 80)	264
Σχήμα V.166.	Σχηματικές απεικονίσεις ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 50x και τιμή κατωφλίωσης 110)	265
Σχήμα V.167.	Επιτυχής συσχέτιση προβλεπόμενων-μηχανικών αντοχών για τα παραχθέντα σκυροδέματα (C25/30) - μεγέθυνση 25x, κατωφλίωση 110, χρονική στιγμή t_0	267
Σχήμα V.168.	Επιτυχής συσχέτιση προβλεπόμενων-μηχανικών αντοχών για τα παραχθέντα σκυροδέματα (C25/30) - μεγέθυνση 25x, κατωφλίωση 110, χρονική στιγμή $t_0 + 5min$	268
Σχήμα V.169.	Επιτυχής συσχέτιση προβλεπόμενων-μηχανικών αντοχών για τα παραχθέντα σκυροδέματα (C25/30) - μεγέθυνση 25x, κατωφλίωση 110, χρονική στιγμή $t_0 + 10min$	268
Σχήμα V.170.	Επιτυχής συσχέτιση προβλεπόμενων-μηχανικών αντοχών για τα παραχθέντα σκυροδέματα (C25/30) - μεγέθυνση 25x, κατωφλίωση 110, χρονική στιγμή $t_0 + 15min$	268
Σχήμα V.171.	Επιτυχής συσχέτιση προβλεπόμενων-μηχανικών αντοχών για τα παραχθέντα σκυροδέματα (C25/30) - μεγέθυνση 25x, κατωφλίωση 110, χρονική στιγμή $t_0 + 20min$	269
Σχήμα V.172.	Επιτυχής συσχέτιση προβλεπόμενων-μηχανικών αντοχών για τα παραχθέντα σκυροδέματα (C25/30) - μεγέθυνση 25x, κατωφλίωση 110, χρονική στιγμή $t_0 + 25min$	269
Σχήμα V.173.	Επιτυχής συσχέτιση προβλεπόμενων-μηχανικών αντοχών για τα παραχθέντα σκυροδέματα (C25/30) - μεγέθυνση 25x, κατωφλίωση 110, χρονική στιγμή $t_0 + 30min$	269
Σχήμα V.174.	Επιτυχής συσχέτιση προβλεπόμενων-μηχανικών αντοχών για τα παραχθέντα σκυροδέματα (C25/30) - μεγέθυνση 25x, κατωφλίωση 110, χρονική στιγμή $t_0 + 40min$	270
Σχήμα V.175.	Επιτυχής συσχέτιση προβλεπόμενων-μηχανικών αντοχών για τα παραχθέντα σκυροδέματα (C25/30) - μεγέθυνση 25x, κατωφλίωση 110, χρονική στιγμή $t_0 + 50min$	270
Σχήμα V.176.	Επιτυχής συσχέτιση προβλεπόμενων-μηχανικών αντοχών για τα παραχθέντα σκυροδέματα (C25/30) - μεγέθυνση 25x, κατωφλίωση 110, χρονική στιγμή $t_0 + 60min$	270
Σχήμα V.177.	Σχηματική απεικόνιση πόρων C-S κατά την διάρκεια της ενυδάτωσης και επίδειξη εξέλιξης σχέσης μεταξύ λόγου νερού/τσιμέντο και πορώδους	271
Σχήμα V.178.	Σχηματική απεικόνιση προόδου ενυδάτωσης και πυκνότητας στίβαξης	271
Σχήμα V.179.	Φωτογραφίες δοκιμής εφαρμογής σε πραγματική κλίμακα	279

Ευρετήριο Πινάκων

Index of Tables

<u>Αρίθμηση / Περιγραφή:</u>	<u>σελ:</u>
Πίνακας II.1. Εξελικτικοί σταθμοί στην ιστορία του Σκυροδέματος	14
Πίνακας III.1. Ιστορικοί σταθμοί στην εφαρμογή των ΜΚΕ	35
Πίνακας V.1. Χημικές συστάσεις επιλεχθέντων τύπων τσιμέντων προς παρασκευή δοκιμών σκυροδεμάτων Δ.Δ.	88
Πίνακας V.2. Επιπλέον χαρακτηριστικά επιλεχθέντων τύπων τσιμέντων προς παρασκευή δοκιμών σκυροδεμάτων Δ.Δ.	88
Πίνακας V.3. Θλιπτικές αντοχές τύπων τσιμέντων προς παρασκευή δοκιμών σκυροδεμάτων Δ.Δ.	89
Πίνακας V.4. Μετρήσεις απαίτησης σε νερό και χρόνου πήξης τύπων τσιμέντων προς παρασκευή δοκιμών σκυροδεμάτων Δ.Δ.	89
Πίνακας V.5. Ειδική Επιφάνεια (cm ² /g) κατά Blaine τύπων τσιμέντων προς παρασκευή δοκιμών σκυροδεμάτων Δ.Δ.	90
Πίνακας V.6. Διαστολή (mm) τύπων τσιμέντων προς παρασκευή δοκιμών σκυροδεμάτων Δ.Δ.	90
Πίνακας V.7. Αποτελέσματα Ποροσιμετρίας BET σε δείγματα τσιμέντων Δ.Δ.	117
Πίνακας V.8. Γενικές πληροφορίες εκτέλεσης πειράματος θερμιδομετρίας	118
Πίνακας V.9. Επιλεχθείσες τελικές συνθέσεις σκυροδεμάτων C 25/30	121
Πίνακας V.10. Αποτελέσματα μετρήσεων ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών συνθέσεων νωπών σκυροδεμάτων	122
Πίνακας V.11. Πειραματικά αποτελέσματα ιδιοτήτων συνθέσεων σκληρυμένων σκυροδεμάτων	123
Πίνακας V.12. Κωδικοποίηση πειραματικών σειρών/συνθέσεων σκυροδεμάτων	133
Πίνακας V.13. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντου CEM I 42.5, μεγέθυνση 25x και όριο κατωφλίωσης 80	236
Πίνακας V.14. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντου CEM I 42.5, μεγέθυνση 25x και όριο κατωφλίωσης 110	236
Πίνακας V.15. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντου CEM II 42.5, μεγέθυνση 25x και όριο κατωφλίωσης 80	237
Πίνακας V.16. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντου CEM II 42.5, μεγέθυνση 25x και όριο κατωφλίωσης 110	237
Πίνακας V.17. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντου CEM II 32.5, μεγέθυνση 25x και όριο κατωφλίωσης 80	238
Πίνακας V.18. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντου CEM II 32.5, μεγέθυνση 25x και	238

Πίνακας V.32. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντου CEM I 52.5, μεγέθυνση 50x και όριο κατωφλίωσης 110

245



"Science discovers, genius invents, industry applies, and man adapts himself to, or is molded by, new things...Individuals, groups, entire races of men fall into step with science and industry."

Science Finds, Industry Applies, Man Conforms.

[*"A Century of Progress International Exposition", Chicago World Fair, 1933*]

ΜΕΡΟΣ Α' – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ 



“Και συ, τσούλα των δήμιων, Επιστήμη, της Αλήθειας εσχάτη τεφροδόχα (...)”
[Κώστας Βάρναλης – “ΠΡΟΛΟΓΟΣ” (Ελεύθερος Κόσμος), 1979]

ΓΕΝΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Κεφάλαιο Ι.

Η Αειφόρος Ανάπτυξη και οι έννοιες της Αειφόρου Δόμησης και Αειφορίας των Κατασκευών: Πολιτικές και Στρατηγικές Αειφορίας στην Βιομηχανία της Κατασκευής και των Δομικών Προϊόντων Τσιμέντου & Σκυροδέματος

"Αειφορία": < αεί + -φορία, θηλυκό, χωρίς πληθυντικό αριθμό. Ορίζεται και αποτελεί βασική αρχή της δασοπονίας, η οποία αποσκοπεί στην απόδοση του ίδιου ποσού δασικών προϊόντων ετησίως ή κατά περιόδους. Δηλαδή, η εσκεμμένη παραγωγή ενός αγαθού από ένα δάσος να λαμβάνει χώρα με τέτοιο τρόπο ώστε να μην μειώνεται, αλλά να βελτιώνεται η παραγωγική ικανότητα και να μην επηρεάζονται οι περιβαλλοντικές σχέσεις του. Εννοιολογικά αναφέρεται στη χρήση των φυσικών οικοσυστημάτων και των πηγών ενέργειας, ώστε να εξασφαλίζεται η μελλοντική ποιότητα και ισορροπία στην φύση. Χρησιμοποιείται κυρίως συνεκδοχικά και σημαίνει την πρόοδο και βιώσιμη ανάπτυξη. [στοιχεία από: Μπαμπινιώτης Γ., "Λεξικό της Νέας Ελληνικής Γλώσσας", Δ' έκδοση, 2012]

Περιεχόμενα Κεφαλαίου Ι:

- I.a. Εισαγωγή – Ορισμός "Αειφορίας"*
- I.b. Η κατάσταση για τον Ελληνικό κατασκευαστικό κλάδο δομικών προϊόντων (Τσιμέντου/Σκυροδέματος)*
- I.c. Θεσμικό Πλαίσιο, Νομοθεσία και μετάβαση στην έννοια της "Ανθεκτικότητας ως βάση της Αειφορίας"*
- I.d. Πολιτική Καινοτομίας στον κλάδο της Κατασκευής για την επίτευξη Αειφορίας*

I.a. Εισαγωγή – Ορισμός "Αειφορίας"

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ορίζει την **"Αειφόρο Ανάπτυξη"** ως ένα πρότυπο ανάπτυξης όπου καλύπτονται οι ανάγκες των τρεχουσών γενεών χωρίς να υπονομεύεται η ικανότητα των επομένων γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες (Έκθεση *"Our Common Future"* προς την Παγκόσμια Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη - *"Επιτροπή Brundtland"* 1987). Η Αειφόρος Ανάπτυξη αποσκοπεί σε καλύτερη ποιότητα ζωής και συνθήκες διαβίωσης για όλους, τώρα αλλά και για τις μελλοντικές γενεές και ως τέτοια, αποτελεί κύρια και πρωταρχική προτεραιότητα της Ευρωπαϊκής Ένωσης ήδη από το 1997 ενώ έχει υιοθετηθεί ως Ευρωπαϊκή Στρατηγική από το 2001. [I. 1-2] Η αρχή βέβαια των περιβαλλοντικών ανησυχιών είχε λάβει χώρα αρκετά νωρίτερα του έτους 2001, με εξαιρετικά έντονες συζητήσεις τόσο σε οικονομικό, κοινωνικό και επιστημονικό επίπεδο όπως οι κάτωθι:

- ✧ 1^η **Συνδιάσκεψη του ΟΗΕ** για το Ανθρώπινο Περιβάλλον (Στοκχόλμη, Σουηδία – 1972)
- ✧ **"Τα Όρια της Ανάπτυξης"** (βιβλίο/μελέτη χρηματοδοτούμενη από το Volkswagen Foundation και ανατεθειμένη από την "Λέσχη της Ρώμης" στην Ομάδα Δυναμικών Συστημάτων του MIT, Meadows et al – 1972)
- ✧ **Συνδιάσκεψη του Ρίο** για το *"Περιβάλλον και την Ανάπτυξη"* και εθελοντικό πρόγραμμα δράσεων *"Agenda 21"* (Rio Earth Summit, Βραζιλία – 1992)
- ✧ 1^ο **Διεθνές Συνέδριο για την Αειφόρο Κατασκευή** (Tampa, Florida USA – 6-9 Νοεμβρίου 1994)
- ✧ Έκδοση βιβλίου **"Factor Four – Doubling Wealth, Halving Resource Use"** (von Weizsäcker, 1995)
- ✧ 2^η **Σύνοδος για την Κλιματική Αλλαγή** (Κυότο, Ιαπωνία – 1997)
- ✧ **"Sustainable Development and the Future of Construction"** (δημοσίευση από τον Luc Bourdeau, εν έτει 1999)

Το Ευρωπαϊκό όραμα της Αειφόρου Ανάπτυξης συμπεριλαμβάνει πολλαπλούς στόχους οικονομικής ανάπτυξης: αποτελεσματικής, κοινωνικά δίκαιης και περιβαλλοντικά βιώσιμης. Αυτοί όμως δεν θα επιτευχθούν μόνο μέσω στείρας υιοθέτησης και εφαρμογής πολιτικών κοινωνικού, οικονομικού και περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος αλλά θα λάβει χώρα μέσω της ουσιαστικής αλλαγής κοινωνικών νοοτροπιών όσον αφορά την σκέψη, τις κοινωνικο-οικονομικές δομές, την κατανάλωση αλλά και την ίδια την παραγωγή. Η Στρατηγική της Αειφόρου Ανάπτυξης, όπως αναθεωρήθηκε το 2006, αποτελείται από ένα ευρύ πεδίο όπου η οικονομική ανάπτυξη, κοινωνική συνοχή και η προστασία του περιβάλλοντος συμβαδίζουν αλληλοϋποστηριζόμενες. Μέσω αυτής, προωθείται η εταιρική

κοινωνική ευθύνη (και συνεπώς, δίνονται ευκαιρίες για τις Επιχειρήσεις να συνδυάσουν οικονομικούς, κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς στόχους) αλλά εφαρμόζεται και σχέδιο δράσης για την αειφόρο κατανάλωση και παραγωγή και την αειφόρο βιομηχανική πολιτική (μέσω του οποίου –μεταξύ άλλων– θα βελτιωθούν οι περιβαλλοντικές επιδόσεις των προϊόντων). [I. 3-4]

Ο Τομέας της Κατασκευής οφείλεται για το μεγαλύτερο κομμάτι της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (με συμμετοχή 42%) ενώ ταυτόχρονα παράγει 35% των συνολικών εκπομπών αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου. [I. 5] Συνεπώς είναι προφανές ο λόγος για τον οποίο η **Αειφόρος Κατασκευή** αποτελεί μία από τις έξι πρωτοπόρες αγορές που συμπεριλαμβάνονται στην Πρωτοβουλία για τις Πρωτοπόρες Αγορές (“Lead Market Initiative”), καθώς είναι ιδιαίτερα καινοτόμος, διαθέτει ισχυρή τεχνολογική και βιομηχανική βάση στην Ε.Ε., επηρεάζεται έντονα από τα μέτρα δημόσιας πολιτικής (π.χ. νομοθεσία, τυποποίηση, επισήμανση και πιστοποίηση) και επωφελείται από μία περισσότερο προορατική και προσανατολισμένη στην καινοτομία προσέγγιση των δημοσίων συμβάσεων.

Οι βιώσιμες κατασκευές αλλά και ο γενικότερος κατασκευαστικός/κτιριακός Τομέας με την αντίστοιχη αγορά της Κατασκευής, έχουν αντιμετωπίσει ζητήματα περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος και “πράσινης” ανάπτυξης. Εντούτοις, η αγορά αυτή χαρακτηρίζεται από έντονη παρουσία διαθέσιμων τεχνικών λύσεων όπου όμως η ζήτηση αυτών είναι κατακερματισμένη σε υψηλό βαθμό. Ένα μεγάλο ποσοστό (40%) της ζήτησης προέρχεται από τον δημόσιο τομέα και ταυτόχρονα σημειώνεται έλλειψη γνώσεων σχετικά με τις δημόσιες συμβάσεις, οι οποίες θα μπορούσαν να προσανατολίσουν την ζήτηση προς βιώσιμες/αειφόρες λύσεις καθοδηγούμενες βάσει της Καινοτομίας. [I. 6-7]

Οι πολιτικές και προτεραιότητες της Έρευνας για την επίτευξη της “Αειφόρου Κατασκευής” έχουν καταγραφεί και αναλυθεί διεξοδικά από την Ελληνική Πλατφόρμα Έρευνας & Τεχνολογίας για την Κατασκευή (ΕΠΕΤΚ), η οποία έχει εκτενώς τονίσει την ανάγκη εισαγωγής ερευνητικών καινοτομιών ούτως ώστε:

1. να μειωθούν οι επιπτώσεις της κατασκευής στο περιβάλλον και τα περιβαλλοντικά φορτία προς την κατασκευή.
2. να μεγιστοποιηθεί ο χρόνος ζωής/υπηρεσίας της κατασκευής/έργου.
3. να εφαρμοσθούν υψηλής μετρητικής τεχνολογίας παρακολούθησης & ελέγχου (υλικών, έργων, παραγωγικών διεργασιών) σε πραγματικό χρόνο και σε πραγματική κλίμακα, με παράλληλο σχεδιασμό και ανάπτυξη βάσεων δεδομένων, συστημάτων ποιότητας και έμπειρων συστημάτων για την αποτίμηση των δεδομένων. [I. 8]

Εν συνεχεία των παραπάνω, έχει επίσης διαπιστωθεί πως η μελέτη και διερεύνηση της εμφανούς σχέσης “περιβάλλον – δομικά προϊόντα” είναι θεμελιώδης προς την επίτευξη της Αειφορίας στην Κατασκευή: η βιομηχανία της Κατασκευής στην Ε.Ε. καταναλώνει το 50% των φυσικών πρώτων υλών, 40% της Ενέργειας και παράγει το 50% των απορριμμάτων. Συνεπώς, το αναπτυξιακό δυναμικό της είναι προφανές, με την Εναρμόνιση του Κλάδου ως προς τα ευρωπαϊκά περιβαλλοντικά πρότυπα να είναι σημαίνουσα σημασία. [I. 9]

Επί τούτου, όσον αφορά τις υποχρεωτικές ενεργειακές πολιτικές, είναι εξαιρετικά σημαντικό να σημειωθεί η Ευρωπαϊκή Ένωση, πιστή στις δεσμεύσεις και στους στόχους της για μείωση έως το 2050 των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 80-95% κάτω από τα μετρούμενα επίπεδα του 1990, υιοθέτησε στις 15 Δεκεμβρίου 2011 τον “**Ενεργειακό Χάρτη Πορείας για το 2050**”, με βασικούς άξονες την μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενη ενέργεια, την μεγιστοποίηση της διείσδυσης των ΑΠΕ, την επίτευξη σημαντικής μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) μέχρι το 2050 και την προστασία του τελικού καταναλωτή. Στο κείμενο παρουσιάζονται αναλύσεις σεναρίων επίτευξης των στόχων, τα οποία περιλαμβάνουν τις τρέχουσες τάσεις, πολιτικές, μακροπρόθεσμες προβολές ρυθμών

οικονομικής ανάπτυξης με απώτερο σκοπό την επίτευξη ευέλικτου συνδυασμού μέτρων “απανθρακοποίησης”. [I. 10]

Επίσης, το δεκαετές πλάνο πολιτικών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η αναπτυξιακή στρατηγική “**Ευρώπη 2020**” συμπεριλαμβάνει -μεταξύ άλλων- ως κύριους κλιματικούς στόχους και ενεργειακές στρατηγικές την μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 20% (συγκρινόμενο με τα επίπεδα του 1990), την αύξηση και εξασφάλιση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε 20% όπως καθώς και την αύξηση κατά 20% της ενεργειακής απόδοσης. Αυτοί οι πρωταρχικοί στόχοι της στρατηγικής “**Ευρώπη 2020**” μετατρέπονται σε εθνικούς στόχους για κάθε Κράτος-Μέλος και αντικατοπτρίζουν τις διαφορετικές καταστάσεις και συνθήκες της κάθε χώρας. [I. 11–14]

Όσον αφορά τους στόχους που αφορούν την κλιματική αλλαγή, την ενεργειακή βιωσιμότητα και την διατηρήσιμη οικονομική ανάπτυξη (“*Sustainable Growth*”), ο συντονισμός των πρωτοβουλιών γίνεται μέσω της εμβληματικής πρωτοβουλίας “**Μια Ευρώπη που χρησιμοποιεί αποτελεσματικά τους πόρους της**” (“*A resource-efficient Europe*” *flagship initiative*), καίρια βασική πρόταση της οποίας είναι η “**Ενέργεια 2020: Μια στρατηγική για ανταγωνιστική, αειφόρο και ασφαλή ενέργεια**”. Αυτή η Ενέργεια απαριθμεί τις πολιτικές και προτεραιότητες βιώσιμου ενεργειακού εφοδιασμού της ΕΕ όσον αφορά: την μείωση της κατανάλωσης (εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της ενεργειακής απόδοσης, επισήμανση των προϊόντων βάσει της ενεργειακής απόδοσης τους), την ενοποίηση των αγορών (άνοιγμα των εθνικών ενεργειακών αγορών με στόχο την προσέλκυση επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές), την ασφάλεια του εφοδιασμού πρώτων υλών, στην προώθηση της τεχνολογικής καινοτομίας και στις σχέσεις με την διεθνή αγορά (συγκέντρωση διαπραγματευτικής ισχύς έναντι προμηθευτών/εφοδιαστών ενέργειας). [I. 15-16]

I.b. Η κατάσταση για τον ελληνικό κλάδο δομικών προϊόντων τιμέντου/σκυροδέματος

Όλες οι παραπάνω αναφερθείσες πολιτικές και στρατηγικές Αειφορίας ουσιαστικά εν καιρώ Κρίσης, βρίσκουν την **Ελληνική Τιμεντοβιομηχανία** να αγωνίζεται ώστε να αποφύγει την μετάβαση/διολίσθηση από θέση ισχύος σε δεινή θέση, καθώς η διεθνής οικονομική Κρίση και οι συνεπαγόμενες οικονομικές επιπτώσεις (ή/και καιροσκοπικές συγκυρίες) αλλά και η δυσχερέστατη διαπραγματευτική θέση της Ελλάδος δεν ήταν δυνατό να μην την επηρέαζαν αρνητικά. [I. 17-26]

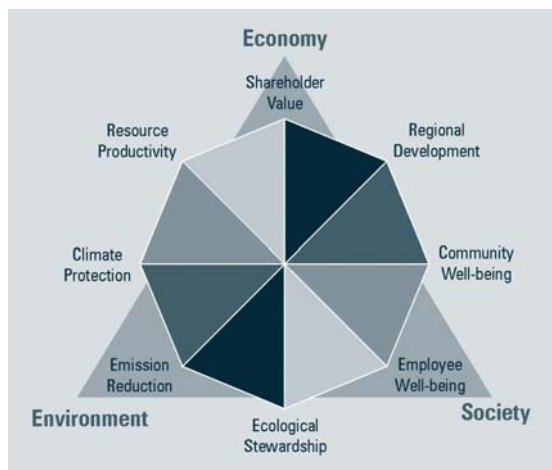
Σημειώνεται επίσης ότι οι όμορες διεθνείς γεωστρατηγικές/πολιτικές εξελίξεις στην Βόρειο Αφρική και την Εγγύς Ανατολή (Αραβική Άνοιξη, έλλειψη διάδοσης σταθερής Κυβέρνησης στην Αίγυπτο, Συριακός εμφύλιος) και οι επιπτώσεις τους, επηρέασαν δυσμενώς την εμπορική δραστηριότητα της ελληνικής τιμεντοβιομηχανίας στον μεσογειακό επιχειρησιακό χώρο και προβλέπεται να διατηρήσουν τον ανασταλτικό τους χαρακτήρα σε βάθος χρόνου. [I. 27–31]

Ενδεικτικά εντούτοις, βάσει των εκθέσεων δραστηριοτήτων του Συνδέσμου Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων, είναι προφανές ότι η τρέχουσα περίοδος 2012-2015 χαρακτηρίζεται από οξύτατη μείωση στην ζήτηση ορυκτών πρώτων υλών (ΟΠΥ) και με εξαιρετική αστάθεια στις διεθνείς αγορές πρώτων υλών, συνδυαστικά επιφέροντας επιπρόσθετα κόστη λειτουργίας και ενέργειας στις βιομηχανίες του χώρου. Επιπροσθέτως, η κατάρρευση της αγοράς των ακινήτων στην Χώρα μας, απόρροια στην αποτυχημένη διαχείριση της οικονομικής Κρίσης από την Πολιτεία, οδήγησε στην πλήρη συρρίκνωση της εγχώριας ζήτησης δομικών προϊόντων όπως καθώς και στην ουσιαστική παύση κάθε είδους οικοδομικής και κατασκευαστικής δραστηριότητας, καταδικάζοντας την ελληνική τιμεντοβιομηχανία σε καταγραφή ρεκόρ ζημιών. [I. 32-33]

Μονόδρομος και “σανίδα σωτηρίας” (επί της παρούσης) για την ελληνική τσιμεντοβιομηχανία αποτελούν οι αυξημένες εξαγωγές, προσφέροντας ακόμα και πρόσκαιρη παραγωγική ανάκαμψη για το τρέχον έτος (2015) καθότι ο παραγόμενος όγκος τσιμέντου Πόρτλαντ αυξήθηκε κατά 15% σε σχέση με τα αντίστοιχα μεγέθη της ίδιας χρονικής περιόδου του 2012 – εντούτοις, υπολείπεται κατά 66% από τα αντίστοιχα μεγέθη του έτους 2005. Αξιοσημείωτη αύξηση της τάξης του 6,7% παρουσίασαν τα κέρδη της τσιμεντοβιομηχανίας ελληνικών συμφερόντων “TITAN ΑΕ Τσιμέντων”, τα οποία οφείλονται στην διεύρυνση των εξαγωγών και αύξηση του κύκλου εργασιών της Εταιρείας. [I. 34-39]

Εντούτοις –και παρά τις εξωγενείς πιέσεις και γηγενείς αντιξοότητες–, η Ελληνική Τσιμεντοβιομηχανία είχε από νωρίς αναγνωρίσει το σημαντικό ρόλο της στην επίτευξη και ολοκλήρωση της Αειφόρου Ανάπτυξης και αναλάβει τα ηγετικά ηνία, όντας οδηγός και πρωτοπόρος όσον αφορά την **βιομηχανική οικολογία** (χρήση εναλλακτικών πρώτων υλών, καυσίμων και βιομηχανικών απορριμμάτων), την **διαχείριση των εκπομπών CO₂** (μέσω σχεδιασμού στρατηγικών και καθιέρωσης στόχων μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, συστηματικοποίησης της μέτρησης των εκπομπών, συνεχούς εφαρμογής περιβαλλοντικών όρων αλλά και εφαρμογής Best Available Techniques) αλλά και την ουσιαστική επένδυση σε **σχέσεις αμοιβαίας εμπιστοσύνης** με τις τοπικές κοινωνίες (μέσω της ενίσχυσης της ποιότητας ζωής της τοπικής κοινωνίας, της συνεργασίας με τους εμπλεκόμενους τοπικούς φορείς και την προώθηση της τοπικής οικονομικής ανάπτυξης). [I. 40]

Ήδη από τον Μάρτιο του 2002, το Παγκόσμιο Επιχειρηματικό Συμβούλιο για την Βιώσιμη Ανάπτυξη (World Business Council for Sustainable Development – WBCSD: παγκόσμιο δίκτυο/φορέας/πλατφόρμα αποτελούμενος από περίπου 200 εταιρείες –σε επίπεδο ανώτατης διοίκησης– σε 36 χώρες και 22 κύριους βιομηχανικούς κλάδους που ασχολείται αποκλειστικά με την αειφόρο ανάπτυξη στον τομέα των επιχειρήσεων [I. 41-42]) είχε φέρει στο φως ανεξάρτητη μελέτη (διεξαχθείσα από την αμερικάνικη συμβουλευτική εταιρεία Battelle), η οποία ερευνούσε μείζονα θέματα αειφορίας και βιώσιμης ανάπτυξης για την βιομηχανία τσιμέντου σε βάθος 20ετίας. [I. 43-44] Βάσει της προαναφερθείσας μελέτης, υπάρχουν οκτώ κρίσιμες περιοχές που θα καθορίζουν καθοριστικά την πορεία της τσιμεντοβιομηχανίας προς την βιώσιμη ανάπτυξη αλλά και δέκα συστάσεις προς συγκεκριμένους τομείς (βλέπε **Σχήμα I.1.**).



Σχήμα I.1. Η πυξίδα της Αειφορίας / Βιώσιμης Ανάπτυξης

(πηγή: Ε. Χανιωτάκης, "Αειφορία στη βιομηχανία τσιμέντου", Ελληνική πλατφόρμα για την έρευνα και τεχνολογία στην κατασκευή με έμφαση στην αειφόρο κατασκευή και την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς, ΤΕΕ, Αθήνα 19/10/2005)

Εν συνεχεία των παραπάνω και ενδεικτική της μακροπρόθεσμης δέσμευσης από μεριάς της ελληνικής τσιμεντοβιομηχανίας, η συμμετοχή και η ευκαιρία που της δόθηκε όντας ενεργό μέλος της Πρωτοβουλίας της Αειφορίας του Τσιμέντου (Cement Sustainability Initiative – CSI) του WBCSD οδήγησε σε ανάληψη ηγετικών πρωτοβουλιών και δράσεων, σε

συνεργασία με άλλες 24 τσιμεντοβιομηχανίες από 14 χώρες. Ξεχωρίζει η ενεργός συμμετοχή και παρουσία σε Ομάδες Εργασίας (σχετικά με την βιωσιμότητα του σκυροδέματος και τον ρόλο αυτού στην βιώσιμη δόμηση, την κλιματική προστασία, την βιοποικιλότητα και διαχείριση της γης αλλά και τις αέριες εκπομπές), με απώτερο και αποκλειστικό στόχο την επίτευξη και προώθηση της αειφόρου ανάπτυξης μέσω της προσήλωσης και τήρησης των υψηλότερων δυνατών αξιών της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας και αειφορίας. [I. 45-46]

Εν συνεχεία, αξίζει να τονισθεί ότι οι δυνατότητες αειφόρου ανταγωνιστικότητας της βιομηχανίας τσιμέντου και σκυροδέματος έχουν πολλάκις αναγνωρισθεί και σημειωθεί, με ταυτόχρονο καθορισμό επιμέρους στόχων προς εκπλήρωση, όπως: την βελτίωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, την μείωση των περιβαλλοντικά-απαιτητικών πρώτων υλών, την επαύξηση της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος και την εισαγωγή στοιχείων αειφορίας στους κανονισμούς σχεδιασμού.

I.c. Θεσμικό Πλαίσιο, Νομοθεσία και μετάβαση στην έννοια της Ανθεκτικότητας ως βάση της Αειφορίας

Με γνώμονα τα παραπάνω και έχοντας πλέον σκιαγραφήσει μία συνοπτική εικόνα της έννοιας “Αειφορία” αλλά και της παρούσας κατάστασης της Βιομηχανίας της Κατασκευής πρέπει να τονισθεί ότι η Νομοθεσία και το Θεσμικό Πλαίσιο τα οποία τα διέπουν, πρέπει να διακρίνουν και να ρυθμίζουν επιτυχώς τόσο την αειφορία της οικοδομικής δραστηριότητας αυτής καθεαυτής (περιβαλλοντική και συνολική) όσο και την βιωσιμότητα και αντοχή των κατασκευών/έργων στο ανθρώπινο/δομημένο περιβάλλον. Συνεπώς, σε αυτή την κρίσιμη στιγμή/σταυροδρόμι υπεισέρχεται η έννοια της Ανθεκτικότητας όπου ιδιαίτερης σημασίας είναι να σημειωθεί η μεταστροφή του σχεδιασμού έργων σκυροδέματος από την μέτρηση και επίτευξη αντοχών στην ουσιαστική απαίτηση της ανθεκτικότητας ως προαπαιτούμενο και έμπρακτης επίτευξης των αναγκαίων αντοχών. Αυτή η ολιστική προσέγγιση και φιλοσοφία αειφορίας έγκειται στο να καταστεί εφικτή η δημιουργία ανθεκτικών/“υπερβατικών” έργων με την χρήση υπαρκτών/φθαρτών/εφήμερων πρώτων υλών/υλικών, συνδέοντας άρρηκτα και ουσιαστικά την Αειφορία και Ποιότητα Ζωής με την Ανθεκτικότητα των δομικών υλικών. [I. 47-50]

Σε συνέχεια αυτής της εξαιρετικά σημαντικής διαπίστωσης πρέπει να τονισθεί ότι έχει διαμορφωθεί ένα εκτεταμένο νομοθετικό πλαίσιο ευρωπαϊκών προτύπων σχετικά με την Αειφορία των έργων Κατασκευής, με την συνεργασία ευρύτατου φάσματος φορέων, ενδιαφερομένων, εταιρειών και συναρμόδιων Επιτροπών. Τα σημαντικότερα Πρότυπα σχετικά με το έργο από σκυρόδεμα, τα συστατικά του σκυροδέματος αλλά και τις Κατασκευές από σκυρόδεμα είναι τα κάτωθι:

- ✧ **Οδηγία 89/106 ΕΟΚ** “Για την προσέγγιση των νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων των κρατών μελών όσον αφορά τα προϊόντα του τομέα των δομικών κατασκευών” (και το αντίστοιχο Π.Δ. 334/94 “Προϊόντα Δομικών Κατασκευών”) όπου εισήχθη η έννοια της καταλληλότητας ενός δομικού προϊόντος για μία προβλεπόμενη χρήση (κάτι το οποίο τεκμαίρεται μέσω της σημάσεως “CE”)
- ✧ **Κανονισμός 305/2011**, “Για την θέσπιση εναρμονισμένων όρων εμπορίας προϊόντων του τομέα των δομικών κατασκευών και για την κατάργηση της Οδηγίας 89/106”
- ✧ Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ-97)
- ✧ **ΕΛΟΤ EN 206-1** +Εθνικό Προσάρτημα (National Annex) “Σκυρόδεμα – Μέρος 1^ο: Προδιαγραφή, Επιτελεστικότητα, Παραγωγή και Συμμόρφωση”
- ✧ **ΕΛΟΤ EN 197-1** “Τσιμέντο - Μέρος 1^ο: Σύνθεση, Προδιαγραφές και Κριτήρια Συμμόρφωσης για Κοινά Τσιμέντα”
- ✧ **ΕΚΩΣ 2000** (Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος)
- ✧ **ΚΑΝ.ΕΠΕ** (Κανονισμός Επεμβάσεων σε κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, 1^η αναθεώρηση Ιούλιος 2013, εναρμόνιση με Ευρωκώδικες)

- ✧ **ΕΛΟΤ EN 12620** “Αδρανή για σκυρόδεμα”
- ✧ **ΕΛΟΤ EN 934-2** “Πρόσθετα Σκυροδέματος, Κονιαμάτων και Ενεμάτων - Μέρος 2^ο: Πρόσθετα σκυροδέματος-Ορισμοί απαιτήσεις, συμμόρφωση, σήμανση και επισήμανση”
- ✧ **ΕΛΟΤ EN 206-9** “Πρόσθετοι κανόνες για το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα”
- ✧ **ΕΛΟΤ EN 13670** “Εργασίες κατασκευής δομημάτων από σκυρόδεμα” (*Execution of concrete structures*)
- ✧ **ΕΛΟΤ EN 14487-1, 2** “Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα – Προδιαγραφές και Εκτέλεση”
- ✧ **ΕΛΟΤ EN 1504-1 έως 10** “Προϊόντα και συστήματα για την προστασία και επισκευή κατασκευών από σκυρόδεμα”

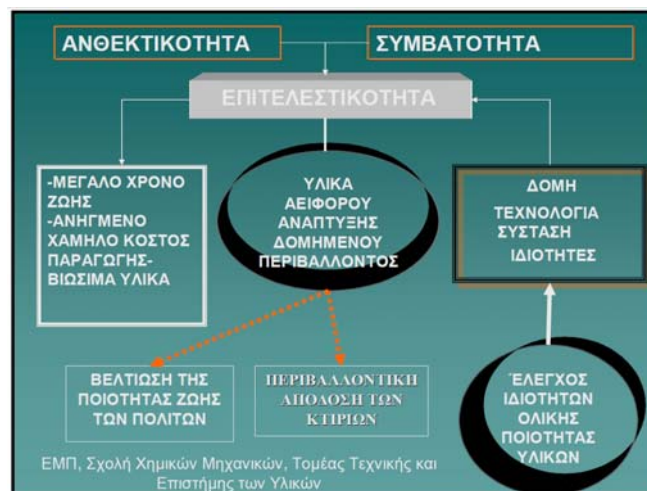
Εκτεταμένη συζήτηση και προβληματισμός έχει λάβει χώρα ανά τα χρόνια σχετικά με τις ερχόμενες μεταβολές στις τρέχουσες πρακτικές, στα ενδεχόμενα ζητήματα που θα προκύψουν, την εναρμόνιση με τις απαιτήσεις που θα περιγράφονται σε Πρότυπα που θα ακολουθήσουν, με την χρήση υλικών για τα οποία δεν έχουν εκδοθεί ακόμα ευρωπαϊκές προδιαγραφές αλλά και ότι διαπιστώνονται καθυστερήσεις και ουσιαστική αδυναμία ελέγχων όπως αυτοί προβλέπονται και ρυθμίζονται στο Κανονιστικό Πλαίσιο. **[I. 51-55]**

Εντούτοις, η έννοια της ανθεκτικότητας έχει αποκτήσει καίριας σημασίας ρόλο ως προς την επίτευξη αειφορίας στην Κατασκευή και η μεταστροφή αυτή αντανακλάται τόσο στον σχεδιασμό και υιοθέτηση νέων κανονισμών και προτύπων όσο και στην προσέγγιση των μείζονων θεμάτων αυτών από τις αντίστοιχες Επιτροπές (π.χ. CEN/TC 104 “Σκυρόδεμα και συναφή προϊόντα”, CEN/TC 51 “Τσιμέντα και κονίες”, CEN/TC 250 “Ευρωκώδικες”, CEN/TC 229 “Προκατασκευασμένα προϊόντα από σκυρόδεμα”, CEN/TC 177 “Προϊόντα από αυτόκλειστο κυψελωτό σκυρόδεμα” κ.λ.π.). **[I. 56-57]**

Σε συνέχεια και βάσει αυτού, η θέσπιση νέου νομοθετικού πλαισίου (με την ταυτόχρονη προσφορά κινήτρων από την Πολιτεία) υιοθετεί απαραίτητως την Αειφορία ως την κατευθυντήρια αρχή στον οικιστικό, χωροταξικό και αναπτυξιακό σχεδιασμό και υποδεικνύει την έντονη ανάγκη επιτυχούς θέσπισης δεικτών αειφορίας (σε περιβαλλοντικό, κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο), οι οποίοι συμβαδίζουν απόλυτα με την ανάγκη υιοθέτησης δεικτών ανθεκτικότητας των δομικών υλικών. **[I. 58-61]**

1.d. Πολιτική Καινοτομίας στον κλάδο της Κατασκευής για την επίτευξη Αειφορίας

Έχοντας εδραιώσει την σημασία των αρχών της αειφορίας και της ανθεκτικότητας όσον αφορά την Κατασκευή και με γνώμονα τα παραπάνω, υπεισέρχεται η πολιτική των ελέγχων ποιότητας (για την εφαρμογή κριτηρίων αειφορίας των έργων – βλέπε **Σχήμα 1.2.**), όπου εξέχουσα θέση έχουν οι μη-καταστρεπτικοί έλεγχοι. **[I. 62-64]**



Σχήμα 1.2. Έλεγχος ποιότητας υλικών αειφόρου ανάπτυξης
(πηγή: Α. Μοροπούλου, “Υλικά και βιώσιμες κατασκευές”, Συνάντηση SUSCON, ΕΜΠ 18/9/2008)

Η πολιτική του ελέγχου ποιότητας (μέσω καινοτομικών εφαρμογών μη-καταστρεπτικών τεχνικών) προς επίτευξη ανθεκτικότητας και ουσιαστικής Αειφορίας στην Κατασκευή περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες τεχνικές και ενέργειες που απαιτούνται για να εκπληρωθούν οι απαιτήσεις ποιότητας ενώ οδηγεί σε πραγματική αποτίμηση των υλικών, αξιοποιώντας την σημαντικότερη συγκεντρωμένη εμπειρία στον τομέα αυτό ενώ λαμβάνει υπόψιν την ρεαλιστική ποσοτικοποίηση των κατασκευαστικών στόχων.

Η διασφάλιση Ποιότητας στις Κατασκευές δεν έγκειται μόνο στην αποτροπή εμφάνισης αστοχιών στον λειτουργικό χρόνο ζωής τους αλλά ουσιαστικά προβάλλει την επιτακτική ανάγκη ελαχιστοποίησης των σφαλμάτων από τον αρχικό σχεδιασμό, στην κατασκευή και στην λειτουργία του έργου (συμπεριλαμβανομένου της καταγραφής των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα αλλά και της διεργασίας ελαχιστοποίησης των αιτιών που προκαλούν μη-ικανοποιητική απόδοση –βάσει προτύπων και προδιαγραφών). Η προτυποποίηση της μεθοδολογίας διάγνωσης με την χρήση μη-καταστρεπτικών τεχνικών είναι σημαντικό μέρος της πολιτικής της Καινοτομίας στον Κλάδο της Κατασκευής. [I. 65-66]

Βιβλιογραφία Κεφαλαίου I:

- I.1. "European Commission: Sustainable Development" <http://ec.europa.eu/environment/eussd/>
- I.2. "Sustainable development in the European Union: Monitoring report of the EU sustainable development strategy", Έκδοση 2011 http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-31-11-224/EN/KS-31-11-224-EN.PDF
- I.3. Ανακοίνωση της Επιτροπής στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, στο Συμβούλιο, στην Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και στην Επιτροπή των Περιφερειών, "Εντάσσοντας τη διάσταση της αειφόρου ανάπτυξης στις πολιτικές της ΕΕ", Αναθεώρηση 2009 της Στρατηγικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την Αειφόρο Ανάπτυξη (COM/2009/0400 τελικό) <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52009DC0400:EN:NOT>
- I.4. Ανακοίνωση της Επιτροπής στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, στο Συμβούλιο, στην Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και στην Επιτροπή των Περιφερειών όσον αφορά το σχέδιο δράσης για τη βιώσιμη κατανάλωση και παραγωγή και τη βιώσιμη βιομηχανική πολιτική (COM/2008/397) http://ec.europa.eu/prelex/detail_dossier_real.cfm?CL=el&DoslId=197277
- I.5. "European Commission: Sustainable Construction" http://ec.europa.eu/enterprise/policies/innovation/policy/lead-market-initiative/sustainable-construction/index_en.htm#h2-2nd-generation-eurocodes
- I.6. Commission Staff Working Document, "A Lead Market Initiative for Europe: Action Plan for Sustainable Construction" Brussels, 21.12.2007, SEC (2007) 1729 http://ec.europa.eu/enterprise/policies/innovation/policy/lead-market-initiative/files/action_plan_construction_en.pdf
- I.7. "European Commission: Demand-side policies" http://ec.europa.eu/enterprise/policies/innovation/policy/lead-market-initiative/files/lmi_brochure_el.pdf
- I.8. Στρατηγική της Ελληνικής Πλατφόρμας Έρευνας & Τεχνολογίας για την Κατασκευή http://www.hctp.tee.gr/ethniki_stratigiki.html
- I.9. Μοροπούλου Α., "Σύγχρονες Τάσεις στην Κατεύθυνση της Αειφόρου Κατασκευής. Η σχέση Περιβάλλοντος – Σκυροδέματος", 16^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, 21-23/10/2009, Πάφος, Κύπρος http://library.tee.gr/digital/m2456/m2456_moropoulou.pdf
- I.10. Ανακοίνωση της Επιτροπής στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των Περιφερειών: "Ενεργειακός χάρτης πορείας για το 2050" (COM/2011/0885) <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52011DC0885:EL:NOT>
- I.11. European Commission: Energy Roadmap 2050 http://ec.europa.eu/energy/energy2020/roadmap/index_en.htm
- I.12. ΥΠΕΚΑ, "Οδικός Ενεργειακός Χάρτης Πορείας για το 2050", Σύνοψη σχεδίου Οδικού Χάρτη Πορείας της Ελλάδας στο Τομέα της Ενέργειας με ορίζοντα το 2050 (Επιτροπή Εθνικού Ενεργειακού Σχεδιασμού ΥΠΕΚΑ) <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=rTTnMW11RCc%3D&tabid=785&language=el-GR>
- I.13. Ευρωπαϊκή Επιτροπή: Ευρώπη 2020 ec.europa.eu/europe2020/index_el.htm
- I.14. Στόχοι της "Ευρώπη 2020" http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/targets_el.pdf
- I.15. Μια Ευρώπη που χρησιμοποιεί αποτελεσματικά τους πόρους της - Εμβληματική πρωτοβουλία της στρατηγικής "Ευρώπη 2020" http://ec.europa.eu/resource-efficient-europe/index_el.htm

- I.16.** Ανακοίνωση της Επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των Περιφερειών: "Ενέργεια 2020, Μια στρατηγική για ανταγωνιστική, αειφόρο και ασφαλή ενέργεια" (COM/2010/639)
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0639:FIN:EL:HTML>
- I.17.** Χρυσικόπουλος Νίκος, "Τιτάν: Στα επίπεδα του 1960 η ζήτηση τσιμέντου!"
<http://www.capital.gr/Articles.asp?id=1187708>
- I.18.** ΤΙΤΑΝ: Ζημιογόνο το α' τρίμηνο <http://www.capital.gr/news.asp?id=1187186>
- I.19.** Τσιμεντοβιομηχανία: Αυξάνεται η παραγωγή, αλλά παραμένουν οι ζημιές (5/8/2013)
http://www.kathimerini.gr/4dcgi/_w_articles_kathremote_1_05/08/2013_512777
- I.20.** Η Ελληνική Βιομηχανία 2012-2013 <http://inr.gr/?p=a26>
- I.21.** Η ελληνική τσιμεντοβιομηχανία δίνει μάχη επιβίωσης (30/7/2013)
<http://www.ered.gr/gr/articles/inside.php?art=28138>
- I.22.** Μειωμένη Ζήτηση και Ενεργειακό Κόστος Καταδικάζουν την Εγχώρια Τσιμεντοβιομηχανία
http://www.energia.gr/article.asp?art_id=71041
- I.23.** Κοτζαμάνης Σ., "Μένουν» από εξαγωγές οι τσιμεντοβιομηχανίες"
<http://www.euro2day.gr/news/economy/124/articles/681883/Article.aspx>
- I.24.** "ΤΙΤΑΝ: Έκτακτες ζημιές 21,8 εκατ. ευρώ στο δμηνο" www.euro2day.gr/news/enterprises/article/1122304/titan-zhmies
- I.25.** Ρουσάνογλου Ν., "Η ΑΓΕΤ Ηρακλής κλείνει το εργοστάσιο της Χαλκίδας"
http://news.kathimerini.gr/4dcgi/_w_articles_economyepix_1_27/03/2013_515310
- I.26.** Έξοδο από την Ελλάδα εξετάζει η τσιμεντοβιομηχανία "ΤΙΤΑΝ"
<http://www.iefimerida.gr/node/94299#ixzz2nmiaq8ww>
- I.27.** Οι επενδυτικές κινήσεις των Ελλήνων στο εξωτερικό <http://www.dealnews.gr/epixeiriseis/item/16772-0%CE%B9-%CE%B5%CF%80%CE%B5%CE%BD%CE%B4%CF%85%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82-%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%AE%CF%83%CE%B5>
- I.28.** "Κανελλόπουλος Ανδρέας: "Ρωγμές" στα τσιμέντα της ΤΙΤΑΝ σε Αίγυπτο και ΗΠΑ"
<http://www.dealnews.gr/leaders/item/38350-A%CE%9D%CE%94%CE%A1%CE%95%CE%91%CE%A3-K%CE%91%CE%9D%CE%95%CE%9B%CE%9B%CE%9F>
- I.29.** "Η Λιθύη πλήττει την ελληνική τσιμεντοβιομηχανία και χαλυβουργία"
<http://www.reporter.gr/Aropseis/Anemodeikths/item/175808-%CE%97-%CE%9B%CE%B9%CE%B2%CF%8D%CE%B7>
- I.30.** Ντόκας Α., "Οι παραχές έχουν προκαλέσει μείωση της ζήτησης και στασιμότητα στην οικονομική δραστηριότητα" http://news.kathimerini.gr/4dcgi/_w_articles_economyepix_2_23/08/2013_530811
- I.31.** ΤΙΤΑΝ: Διατηρεί overweight η Euroxx <http://www.euro2day.gr/news/market/article/1127448/titan-diathrei-overweight-h-euroxx.html>
- I.32.** Σύλλογος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων, Έκθεση Δραστηριοτήτων Έτους 2012
<http://www.sme.gr/ektheseis?download=240%3Aekthesi-drastiriotion-2012>
- I.33.** Σύλλογος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων, Δελτίο Τύπου "Εξαγωγές Μελών, 25/11/2013"
<http://www.sme.gr/enimerosi/deltia-tyrou?download=266%3A25112013->
- I.34.** Βελτίωση το 2014 για τα μεταλλουργικά και τα εξορυκτικά προϊόντα (26/11/2013)
http://news.kathimerini.gr/4dcgi/_w_articles_economyepix_2_26/11/2013_541038
- I.35.** Τιτάν - Α.Κανελλόπουλος: Τούτη η οικονομική λαίλαπα θα κοπάσει
<http://www.imerisia.gr/article.asp?catid=12517&subid=2&pubid=112823849>
- I.36.** Ομιλία κ. Ανδρέα Α. Κανελλόπουλου, Προέδρου Α.Ε. Τσιμέντων ΤΙΤΑΝ <http://www.titan.gr/el/titan-group/100-years/speech-akanelloupolou/>
- I.37.** Ελληνική τσιμεντοβιομηχανία: Παραγωγική ανάκαμψη λόγω αυξημένων εξαγωγών
<http://www.tovima.gr/finance/article/?aid=525112>
- I.38.** Η τσιμεντοβιομηχανία «κρύβει» μήνυμα για την ανάκαμψη <http://www.euro2day.gr/strathgikos-analyths/article-blog-strathgikos-analyths/1137884/h-tsimentoviomhhania-kryvei-mhnyma-gia-thn.html>
- I.39.** Θεόδωρος Παπαλεξόπουλος: «Τιτάν και Ελληνική Τσιμεντοβιομηχανία- Ιστορικό και μνήμες, όπως τα ζήσαμε»
<http://www.mywaypress.gr/%CE%B8%CE%B5%CF%8C%CE%B4%CF%89%CF%81%CE%BF%CF%82-%CF%80%CE%B1%CF%80%CE%B1%CE%BB%CE%B5%CE%BE%CF%8C%CF%80%CE%BF%CF%85%CE%BB%CE%BF%CF%82-%CF%84%CE%B9%CF%84%CE%AC%CE%BD-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%B5/>
- I.40.** Χανιωτάκης Ε., "Αειφορία στη Βιομηχανία Τσιμέντου", Ελληνική Πλατφόρμα για την Έρευνα και Τεχνολογία στην Κατασκευή με Έμφαση στην Αειφόρο Κατασκευή και την Προστασία της Πολιτιστικής Κληρονομιάς, ΤΕΕ, Αθήνα 19 Οκτωβρίου 2005 http://library.tee.gr/digital/m2091/m2091_haniotakis.pdf
- I.41.** Σύνδεσμος Επιχειρήσεων και Βιομηχανιών (ΣΕΒ): "Παρουσίαση του World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)" http://sev.org.gr/Uploads/pdf/parousiasi_WBCSD.pdf
- I.42.** Greenpeace - Περιήληψη της Έκθεσης "Who's holding us back", Δεκέμβριος 2011
<http://www.greenpeace.org/greece/Global/greece/report/2011/climate/holdback.pdf>

- I.43.** Nicholls M., "Corporate Responsibility - Setting Sustainability in Stone", Environmental Finance, May 2002
<http://www.wbcscement.org/index.php/mediacoveragearchive/299-setting-sustainability-in-stone> και
http://wbcscement.org/pdf/env_finance.pdf
- I.44.** Battelle – "Towards a sustainable cement industry", March 2002 (independent study commissioned by the World Business Council for Sustainable Development) <http://62.50.73.67/web/publications/toward-a-sustainable-cement-industry.pdf> και <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?rep=rep1&type=pdf&doi=10.1.1.123.3145>
- I.45.** Seretis C., "The WBCSD Cement Sustainability Initiative and the leadership of TITAN Cement", 6th International Conference on Sustainable Development in the Minerals Industry ("SDIMI 2013"), Milos Islnd, 30th of June - 3 July 2013
- I.46.** ΤΙΤΑΝΕΣ, "Συμμετοχή του ΤΙΤΑΝ στο WBCSD/CSI", Τεύχος 115, Ιούνιος 2011
- I.47.** Peris Mora, E., "Life cycle, sustainability and the transcendent quality of building materials", Building and Environment, volume 42, 2007, p.p. 1329–1334.
- I.48.** Swamy, R.N., "Designing Concrete and Concrete Structures for Sustainable Development", CANMET/ACI International Symposium on Concrete Technology for Sustainable Development, Vancouver, BC, Canada, April 19-20, 2000.
- I.49.** Swamy, R.N., "Durability Design - A Holistic Philosophy for Sustainable Construction, a New Concrete Code for the 21st Century", African Concrete Code (ACC) Symposium, Tripoli, Libya, November 28-29, 2005.
- I.50.** Swamy, R.N., "Sustainable Concrete for the 21st Century Concept of Strength through Durability", Japan Society of Civil Engineers, Concrete Committee Newsletter, 2008, volume 13.
- I.51.** Κατσαράκης, Γ., "EN 206-1 και κοινοτική νομοθεσία", Ημερίδα ΤΕΕ, "Ευρωπαϊκό Πρότυπο Σκυροδέματος: Προδιαγραφές, Επιτελεστικότητα, Παραγωγή και Συμμόρφωση (EN 206-1)", Αθήνα, 25 Νοεμβρίου 2004.
- I.52.** Πάνου Θ., "Εθνικό Προσάρτημα (κείμενο εφαρμογής) του ΕΛΟΤ EN 206-1 και αναγκαίες ενδιάμεσες τροποποιήσεις του υφιστάμενου Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος", Ημερίδα ΤΕΕ, "Ευρωπαϊκό Πρότυπο Σκυροδέματος: Προδιαγραφές, Επιτελεστικότητα, Παραγωγή και Συμμόρφωση (EN 206-1)", Αθήνα, 25 Νοεμβρίου 2004.
- I.53.** Καρασούλας Κ., "Το σκυρόδεμα και οι θέσεις της βιομηχανίας παραγωγής του για τους κανονισμούς που το διέπουν. Το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 206-1 – Σήμα ποιότητας στο σκυρόδεμα", ΤΕΕ - Περιφερειακό Τμήμα Θράκης, Ημερίδα "Χάλυβες Οπλισμού Σκυροδέματος και Σκυρόδεμα: Νέα Πρότυπα και Κανονισμοί", Αλεξανδρούπολη, 21 Ιουνίου 2008.
- I.54.** Δραγκιώτης Θ., "Σκέψεις Γύρω από τον Κανονισμό EN 206-1 και τον Ελληνικό Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος", Ελληνοϊαπωνική Ημερίδα συνδιοργανωμένη από το ΤΕΕ – Ελληνικό Τμήμα Σκυροδέματος και την Japan Society of Civil Engineers, "Νέες εξελίξεις στην τεχνολογία και στο κανονιστικό πλαίσιο για το οπλισμένο σκυρόδεμα στην Ευρώπη και στην Ιαπωνία", Αθήνα, 20 Νοεμβρίου 2009.
- I.55.** Αναγνωστόπουλος, Π., "Η έλευση του Προτύπου ΕΛΟΤ EN 13670 καθιστά επιτακτική την ανάγκη συστηματοποίησης του συνόλου των κανονιστικών κειμένων που αφορούν τις κατασκευές από σκυρόδεμα", 22^η Αυγούστου 2012, <http://documents.scribd.com.s3.amazonaws.com/docs/5midniylvk1roq3y.pdf?z=1345607225>
- I.56.** Μαρίνος Ι., "Ανθεκτικότητα Κατασκευών από Σκυρόδεμα: Η Νέα Προσέγγιση Κατά ΕΛΟΤ EN 206-1", Συνδιοργάνωση ΕΛΟΤ-ΤΕΕ-ΣΠΜΕ, Εσπερίδα "Πρότυπο Σκυροδέματος ΕΛΟΤ EN 206-1", Αθήνα, 6^η Μαρτίου 2012.
- I.57.** Βογιατζής Χ., "Η Επίδραση του ΕΛΟΤ EN 206-1 στην Παραγωγή Ετοίμου Σκυροδέματος", Συνδιοργάνωση ΕΛΟΤ-ΤΕΕ-ΣΠΜΕ, Εσπερίδα "Πρότυπο Σκυροδέματος ΕΛΟΤ EN 206-1", Αθήνα, 6^η Μαρτίου 2012.
- I.58.** Μπριασούλη, Ε., "Δείκτες Αειφορίας: Κριτική Ανασκόπηση της Βιβλιογραφίας", ΤΟΠΟΣ Επιθεώρηση Αστικών και Περιφερειακών Μελετών, 12/97, ISSN 1105-3267, σσ. 55-75.
- I.59.** "Η Έννοια της Αειφορίας και η Ενσωμάτωση της στο Εθνικό Θεσμικό πλαίσιο", Εθνική Σχολή Δημόσιας Διοίκησης, ΙΓ' Εκπαιδευτική Σειρά, Τμήμα Γενικής Διοίκησης, Σεμινάριο "Κοινωνία, Πολιτική και Διοίκηση", Αθήνα, 2002.
- I.60.** Farsari Y., Prastacos P., "Sustainable Development Indicators: An Overview", Regional Analysis Division, Institute of Applied and Computational Mathematics (IACM), Foundation for the Research and the Technology Hellas (FORTH). <http://www.iacm.forth.gr/papers/Asteras-English.pdf>
- I.61.** Λιάκου Κ., "Οι Εφαρμογές Των Δεικτών Αειφόρου Ανάπτυξης Στην Ελλάδα", Τεχνικά Χρονικά, Μάρτιος-Απρίλιος 2006.
- I.62.** Μοροπούλου Α., "Υλικά και Βιώσιμες Κατασκευές", SUSCON Meeting, ΕΜΠ, Αθήνα, 18^η Σεπτεμβρίου 2008.
- I.63.** Μοροπούλου Α., "ΕΠΕΤΚ-НСТР: Δομικά Υλικά - Προτεραιότητες & Έλεγχος Ποιότητας", Ημερίδα ΚΑΠΕ "Ενεργειακή Αποδοτικότητα στον Σχεδιασμό, την Κατασκευή και την Λειτουργία ενός Κτιρίου", Αθήνα, 3^η Οκτωβρίου 2007
- I.64.** Μοροπούλου Α., Καρόγλου Μ., Αβδελίδης Ν., Αγγελακοπούλου Ε., "Αποτίμηση Αειφορίας Κατασκευών-Υποδομών με Μη-Καταστρεπτικό Έλεγχο", HELECO '05 "Διεθνής έκθεση και συνέδριο για την τεχνολογία περιβάλλοντος", Αθήνα, 3-6 Φεβρουαρίου 2005.

I.65. Μοροπούλου Α., Τογκαλίδου Τ., Καρόγλου Μ., Αβδελίδης Ν., “Πρότυπα, μεθοδολογία και τεχνικές για τον ολικό έλεγχο ποιότητας στις κατασκευές και τα έργα υποδομών με μη-καταστρεπτικές μεθόδους - Ο ρόλος και η ανάγκη συνεργασίας των ερευνητικών εργαστηρίων δημοσίου και ιδιωτικού τομέα”, Ημερίδα ΤΕΕ “Ο ρόλος των Κρατικών Εργαστηρίων στην επιδίωξη ποιότητας υλικών και έργων”, Αθήνα, 10^η Νοεμβρίου 2005.

I.65. Μοροπούλου Α., “Στόχοι και Περιεχόμενα του Διαλόγου για την Αειφόρο Κατασκευή (Lifetime Engineering)” (πρόλογος), HELECO’ 03 “4^ο Διεθνές Συνέδριο & Έκθεση για την Τεχνολογία του Περιβάλλοντος”, Αθήνα, 2 Φεβρουαρίου 2003.

Κεφάλαιο II.

Χημεία και Τεχνολογία Σκυροδέματος

“concretus” / “caementum” < ανεπτυγμένο, αναμειγμένο, σύνθετο, συνδυσμένο, δεμένο, σκληρυμένο, σχηματοποιημένο, αυξημένο, συμπυκνωμένο, συμπαγές / σπασμένο, θραυσμένο, λατομημένο

Περιεχόμενα Κεφαλαίου II:

- II.a.** Εισαγωγή – Το Σκυρόδεμα ως δομικό υλικό
- II.b.** Ορισμοί & σύντομο ιστορικό – Η φυσική δομή του Σκυροδέματος
- II.c.** Πρώτες ύλες/συστατικά του σκυροδέματος
- II.d.** Περί Χημείας & Τεχνολογίας Τσιμέντου
- II.e.** Βασικοί τύποι αλλά και ειδικές εφαρμογές του σκυροδέματος
- II.f.** Τι μας επιφυλάσσει το (όχι τόσο μακρινό...) μέλλον
- II.g.** Εν κατακλείδι, η σημασία της έννοιας “Ανθεκτικότητα Σκυροδέματος”

II.a. Εισαγωγή – Το Σκυρόδεμα ως δομικό υλικό

Το σκυρόδεμα αποτελεί το περισσότερο διαδεδομένο δομικό υλικό με εξαιρετικά ευρύ φάσμα εφαρμογών παγκοσμίως ενώ αποτελεί εξαιρετικά ενδεικτικό στοιχείο/χαρακτηριστικό (“trait”) της παγκόσμιας πληθυσμιακής αύξησης και αστικοποίησης. Ως υλικό έχει αδιαμφισβήτητητα σημαδέψει την Κατασκευή και τους τρόπους οικοδόμησης του 20^{ου} αιώνα, τόσο σε επίπεδο υποδομών (π.χ. εφαρμογές σε οδικά δίκτυα, πεζοδρόμια, γέφυρες, φράγματα, αεροδρόμια, λιμάνια) όσο σε επίπεδο κάλυψης αναγκών στέγασης (κατοικίες, καταλύματα) και εμπορικών δραστηριοτήτων/υπηρεσιών (εμπορικά κτίρια, ξενοδοχεία, εργοστάσια), αποτελώντας ουσιαστικά το περισσότερο ανθρώπινα παραγόμενο (κατ’ όγκο) υλικό (“man-made material”) στον κόσμο και το δεύτερο περισσότερο καταναλισκόμενο/αξιοποιούμενο προϊόν (“commodity”) παγκοσμίως (30δισ τόνοι το έτος 2006, ενώ στην πρώτη θέση βρίσκεται το νερό). [II. 1-2]

Στη συνέχεια, είναι εξαιρετικής σημασίας να λάβει χώρα μία “εισαγωγική” παρουσίαση της έννοιας “σκυρόδεμα” προτού αναφερθούν οι τεχνικές φύσεως λεπτομέρειες, κανονισμοί, πρότυπα, επιστημονική γνώση και τεχνογνωσία που συγκεντρώνεται στον όρο αυτό: ως εκ τούτου, σκυρόδεμα (με την ευρεία έννοια) μπορεί να θεωρηθεί ως το τεχνητό πέτρωμα, προϊόν ή μάζα αποτελέσματος χρήσης ενός μέσου πρόσδεσης (“τσιμέντωσης”). Το μέσο αυτό γενικά είναι προϊόν της αντίδρασης υδραυλικού τσιμέντου και νερού και ως εκ τούτου, υπό την έννοια “σκυρόδεμα” καλύπτεται ένα εξαιρετικά ευρύ φάσμα προϊόντων: διάφοροι τύποι τσιμέντου, με συμμετοχή ποζολάνης, ιπτάμενης τέφρας, σκωρίας ηλεκτροκαμίνων και υψικαμίνων, πρόσθετων, προσμίκτων, πολυμερών ινών κλπ. [II. 3-4]

Επίσης, η κατάσταση στο εργοτάξιο διαφέρει ριζικά όσον αφορά την επιτυχή χρήση και εφαρμογή σκυροδέματος σε έργα έναντι π.χ. κατασκευών από χάλυβα: η έμφαση στην περίπτωση μας είναι ότι το συνολικά παραχθέν και τοποθετημένο σκυρόδεμα αποτελεί το τελικό δομικό υλικό και όχι τα επί μέρους στοιχεία του ή τα χαρακτηριστικά τους. Ενώ π.χ. ο χάλυβας παρασκευάζεται υπό εξαιρετικά συγκεκριμένες συνθήκες και ελέγχονται/καθορίζονται οι ιδιότητες του υπό εργαστηριακές συνθήκες ούτως ώστε να υπακούουν/ανταπεξέρχονται στις ανάγκες και απαιτήσεις του εκάστοτε έργου (το οποίο πιστοποιείται από τον κατασκευαστή), εντούτοις στην περίπτωση του σκυροδέματος, αυτό που διακρίνει και διαφοροποιεί το “καλό” από το “κακό” σκυρόδεμα δεν είναι τα συστατικά ή οι ιδιότητες τους αλλά η τεχνογνωσία, ο τρόπος δημιουργίας του τελικού προϊόντος και η εσωτερική κατανόηση των διαφοροποιήσεων λεπτομερειών στην παρασκευή του. [II. 5] Συνεχίζοντας τα παραπάνω, το σκυρόδεμα ως “καλό” δομικό υλικό έχει συγκεκριμένες ιδιότητες οι οποίες το καθιστούν ιδανικό για κατασκευαστικές χρήσεις.

II.b. Ορισμοί & σύντομο ιστορικό – Η φυσική δομή του Σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα ως τεχνητό δομικό υλικό, ορίζεται βάσει του ΕΛΟΤ EN 206-1 “Σκυρόδεμα – Προδιαγραφή, παραγωγή, επιδόσεις, παραγωγή και συμμόρφωση” ως εξής: “το υλικό που σχηματίζεται μέσω της ανάμιξης τσιμέντου/συνδετικής κονιάς, χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων αδρανών, νερού, με ή χωρίς την ενσωμάτωση προσμίκτων (“admixtures”) και προσθέτων (“additions”/“additives”), ενώ αναπτύσσει τις ιδιότητες του μέσω της ενυδάτωσης του τσιμέντου. Ουσιαστικά, το σκυρόδεμα είναι μία μονολιθική μάζα –προϊόν ανάμιξης διαφορετικών πρώτων υλών– και αποτελεί ένα εξαιρετικά σύνθετο και ετερογενές υλικό, όπου λόγω της ενυδάτωσης του τσιμέντου (χημική ένωση με το νερό) εγκλωβίζονται εντός της μάζας του σκυροδέματος (σκληρυμένος τσιμεντοπολτός) τα αδρανή υλικά. [II. 6]

Εντούτοις, είναι ιδιαζούσης σημασίας να λάβει χώρα μία ιστορική αναδρομή στην έννοια αυτού του κυρίαρχου δομικού υλικού: γνωστό στους Ρωμαίους, Αιγύπτιους, ακόμα και σε πολιτισμούς της νεολιθικής εποχής, έπρεπε να περάσουν χιλιετίες μέχρι την σύγχρονη εποχή και τα τεχνολογικά επιτεύγματα του 20^{ου} και 21^{ου} αιώνα. Σε μία ιστορική αναδρομή μπορεί να καταγραφούν οι κάτωθι σταθμοί/ιστορικά σημεία στον παρακάτω Πίνακα II.1: [II. 7 - 12]

Πίνακας II.1. Εξελικτικοί σταθμοί στην ιστορία του Σκυροδέματος	
Χρονολογία:	Περιγραφή ιστορικού γεγονότος / στιγμιότυπου:
8.000 - 7.000 π.Χ.	Ισραήλ , Νότιος Γαλιλαία, χωριό Yiftah El – Κατά την διάρκεια ανασκαφών και εκσκαφών για την κατασκευή ενός δρόμου, ανακαλύφθηκε πάτωμα κατασκευασμένο από σκυρόδεμα (ασβεστολιθικό κονίαμα – η καύση του ασβεστόλιθου παράγει άνυδρο ασβέστη ο οποίος όταν αναμιγνύεται με νερό και πέτρες σχηματίζει ένα πρώιμο σκυρόδεμα). Ανακαλύφθηκε το 1985 και αποτελεί το αρχαιότερο γνωστό έως σήμερα σκυρόδεμα ενώ η έκταση και η ποιότητα του πατώματος είναι ενδεικτική της τεχνολογικής ανάπτυξης του ανθρώπου της ύστερης Εποχής του Λίθου. Αντίστοιχα πατώματα αυτής της περιόδου –με παρόμοια τεχνολογία κατασκευής και τεχνογνωσία παρασκευής σκυροδέματος– έχουν βρεθεί στην Τουρκία (κονιάματα με βάση τον ασβεστόλιθο) και στο Ιράν (κονιάματα με βάση την γύψο).
5.600 π.Χ.	Σερβία , όχθες του ποταμού Δούναβη – Κατά την διάρκεια ανασκαφών σε αυτό το χωριό – σημαντικό αρχαιολογικό χώρο της Μεσολιθικής Περιόδου– ανακαλύφθηκαν πατώματα (σχήματος τραπεζίου) από σκυρόδεμα με πάχος ≈250mm. Το σκυρόδεμα που χρησιμοποιήθηκε είχε ως πρώτη ύλη κόκκινο ασβεστόλιθο (ο οποίος μεταφέρθηκε 300χιμ ανοδικά/αντίθετα προς την φορά του ποταμού Δούναβη), πέτρα, άμμο και χαλίκι, στα οποία προστέθηκε νερό.
3.000 π.Χ.	Κίνα – Τσιμεντοειδή υλικά χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του Μεγάλου Τείχους.
3.000 – 2.000 π.Χ.	Αίγυπτος – Η αρχαιότερη ίσως απεικόνιση χρήσης του σκυροδέματος εμφανίζεται σε τοιχογραφία των Θηβών. Σε αυτήν εμφανίζονται εργάτες σε διάφορες φάσεις της παρασκευής κονιάματος και σκυροδέματος. Σημειώνεται ότι στην τοιχογραφία το σκυρόδεμα (κονιάματα με γύψο σαν πρώτη ύλη και κονιάματα με ασβεστόλιθο) απεικονίζεται να χρησιμοποιείται ως πληρωτικό υλικό για πέτρινη τοιχοποιεία και όχι ως ένα ipso facto δομικό υλικό.
2.500 π.Χ.	Αντικρουόμενα ερευνητικά ευρήματα και συνεχιζόμενη ερευνητική ενασχόληση δείχνει πιθανή χρήση και εφαρμογή σκυροδέματος στις πλάκες/πέτρες επικάλυψης της Μεγάλης Πυραμίδας της Γκίζας , το μόνο σωζόμενο από τα Επτά Θαύματα του Αρχαίου Κόσμου. Οι κυριάρχουσες απόψεις/θεωρίες συμπεριλαμβάνουν την χρήση ασβεστολιθικού σκυροδέματος, την καύση γύψου για παραγωγή υλικού τσιμέντωσης, ακόμη και την Παρασκευή των πλακών αυτούσιων από σκυρόδεμα.
800 – 500 π.Χ.	Οι Αρχαίοι Έλληνες χρησιμοποιούν συνθέσεις με βάση τον ασβεστόλιθο ούτως ώστε να

	καλύψουν τείχους από τούβλα ξηραμένα στον ήλιο. Αυτές οι λάσπες κτισίματος που παρασκευάζαν είχαν υψηλότερες αντοχές από τις μετέπειτα Ρωμαϊκές εφαρμογές ενώ στοιχεία αναφέρουν ότι τα Παλάτια του Κροΐσου και του Αττάλου είχαν κατασκευαστεί με τον παραπάνω τρόπο. Επίσης, αναφέρονται οι χρήσεις των συνθέσεων αυτών τόσο στην σύνδεση τούβλων και πέτρας όσο και ως σφραγιστικό του πορώδους ασβεστόλιθου (ο οποίος χρησιμοποιούταν στην οικοδόμηση ναών).
500 π.Χ.	Ρόδος – Ανασκαφές στο νησί της Ρόδου ανέδειξαν μία υπόγεια δεξαμενή αποθήκευσης νερού, η οποία είχε κατασκευαστεί από πέτρα και λεπτόκοκκο σκυρόδεμα ώστε να είναι υδατοστεγής. Η δεξαμενή αυτή είχε εκτιμώμενη χωρητικότητα 600.000 λίτρα νερού και χρησιμοποιήθηκε από την πόλη της Καμείρου έως το 200 – 300 π.Χ.
300 π.Χ. – 150 μ.Χ.	Οι Ρωμαίοι , επηρεασμένοι από την τεχνολογία των Αρχαίων Ελλήνων, μεταφέρουν ηφαιστειακή τέφρα από την πόλη Pozzuoli (26χμ δυτικά του ηφαιστειακού Βεζούβιου) και θεωρώντας την ως άμμο, την αναμειγνύουν με ασβεστόλιθο και συνειδητοποιούν ότι το παραχθέν σκυρόδεμα έχει μεγαλύτερες αντοχές από όλες τις προηγούμενες συνθέσεις. Αυτή η πρώτη χρήση ποζολανικού υλικού (λεπτόκοκκης ηφαιστειακής τέφρας, η οποία περιείχε πυρίτιο και οξείδιο του αργιλίου) στην παρασκευή σκυροδέματος επηρέασε άρρηκτα τις εξελίξεις. Από τις πρώτες εφαρμογές μεγάλης κλίμακας του νέου αυτού υλικού (ποζολανικό τσιμέντο) ήταν το Μεγάλο Θέατρο της Πομπηίας (75 π.Χ.), το Κολοσσαίο (82 μ.Χ.), το Πάνθεο της Ρώμης (127 μ.Χ.) αλλά και σειρά από λιμενικά έργα, γέφυρες, υδραγωγεία και υδρευτικά έργα (όπως ο αγωγός νερού στο Pont du Gard στην Νιμ, νότιος Γαλλία – 150 μ.Χ.).
150 – 500 μ.Χ.	Η χρήση σκυροδέματος βρίσκει ευρύτατη εφαρμογή στα οχυρωματικά έργα της εποχής της παρακμής της (Δυτικής) Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας (5 ^{ος} αιώνας μ.Χ.). Λόγω αδυναμίας μεταφοράς/προμήθειας ηφαιστειακής τέφρας από την πόλη Pozzuoli, τα περισσότερα έργα είναι εφαρμογές ασβεστολιθικού σκυροδέματος. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται δύο φάροι στο Dover, το Τείχος του Αδριανού (“Vallum Aelium”) καθώς και το Κάστρο του Portchester (αμυντικό οχυρό έναντι των επιθέσεων σαξονικών φύλων).
500 – 1600 μ.Χ.	Η συγκεντρωμένη γνώση και τεχνολογία όσον αφορά το υλικό σκυρόδεμα καθώς και τις εφαρμογές του χάνεται κατά την διάρκεια του Μεσαίωνα . Ανασκαφές δείχνουν αναλαμπές/ψήγματα της προηγούμενης στάθμης της τεχνικής (“state of the art”) από τους Σάξονες (700 μ.Χ.) και τους Νορμανδούς. Παρατηρείται πτώση εφαρμογής ποιοτικών υδραυλικών υλικών και η χρήση ασβέστη και ποζολάνης διακόπτεται.
1756	Ένας Μηχανικός από το Leeds, ο John Smeaton αναλαμβάνει να χτίσει τον τρίτο φάρο στο Eddystone Rocks (Κορνουάλη) και ανακαλύπτει ότι η ασβεστοποίηση ασβεστολιθικών πετρωμάτων που περιέχουν άργιλο, παράγει υδραυλικό ασβέστη, ο οποίος μπορεί να σκληρύνεται υποθαλάσσια. Ουσιαστικά, τα πειράματα αυτά του Smeaton ανοίγουν τον δρόμο για τα σύγχρονα τσιμέντα ενώ το βιβλίο του “A narrative on the Eddystone Lighthouse” αγοράστηκε τυχαία το 1813 από έναν τοιχοποιό του Leeds, τον Joseph Aspdin και πιθανότατα αποτέλεσε το έναυσμα ενασχόλησης του με την έρευνα του τσιμέντου.
1779 – 1780	Ο Bry Higgins παίρνει δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για παραγωγή υδραυλικού τσιμέντου (stucco) για χρήση ως εξωτερικό επίχρισμα και δημοσιεύει το “Experiments and Observations Made With the View of Improving the Art of Composing and Applying Calcereous Cements and of Preparing Quicklime”.
1796	Ο Αιδεσιμότατος James Parker στο Northfleet, Kent (Αγγλία) ανακαλύπτει τυχαία ένα νέο είδος τσιμέντου: πετάει ένα βότσαλο (συλλεγμένο από την κοντινή παραλία) στην φωτιά και αυτό ασβεστοποιείται. Μετά από πειράματα πατεντάρει το φυσικό υδραυλικό τσιμέντο που παρασκευάζεται μέσω της ασβεστοποίησης (θέρμανσης/ψήσιματος) ακάθαρτου ασβεστόλιθου που περιέχει άργιλο και το ονομάζει “τσιμέντο Parker” ή “Ρωμαϊκό τσιμέντο” (καθώς θεωρεί ότι αυτός ήταν ο τρόπος παρασκευής τσιμέντου κατά τους αρχαίους χρόνους). Αντίστοιχες διαδικασίες παρασκευής παρόμοιων “Ρωμαϊκών τσιμέντων” χρησιμοποιούνται στην Γαλλία (1802 μ.Χ.).
1810	Ο Edgar Dobbs λαμβάνει δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για παρασκευή υδραυλικών κονιαμάτων, stucco και επιχρισμάτων, αν και επρόκειτο για υλικά χαμηλής ποιότητας (λόγω περιορισμών των καμίνων).
1812 – 1813	Ο Γάλλος Luis Vicat παρασκευάζει συνθετικό υδραυλικό ασβέστη μέσω της θέρμανσης συνθετικών μιγμάτων ασβεστόλιθου και αργίλου.
1818 – 1822	Σημαντικός αριθμός πρώιμων ερευνητικών αποτελεσμάτων οδηγεί σε διπλώματα ευρεσιτεχνιών τόσο σχετικά με υδραυλικά τσιμέντα (Maurice St. Leger, John Tickell, Abraham Chambers) όσο και παρασκευή συνθετικού υδραυλικού ασβέστη (“British Cement” από τον James Frost).
1824	Ένα καίριο σημείο για την ιστορία του σκυροδέματος είναι η εφεύρεση του τσιμέντου τύπου Portland (“Portland cement”) από τον Joseph Aspdin . Το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας

	κατοχυρώθηκε στις 21 Οκτωβρίου 1824 και ήταν αποτέλεσμα ερευνητικών προσπαθειών δεκαετίας. Το τσιμέντο τύπου Portland (το όνομα οφείλεται στο χρώμα των εξαιρετικής ποιότητας πετρών κτισίματος που εξορύσσονται στην περιοχή του Portland, Dorset) είναι προϊόν θέρμανσης λεπτά τριμμένης κιμωλίας και αργίλου σε κλίβανο ασβεστοποιίας (ώσπου να απομακρυνθεί το CO ₂) όπου εν συνεχεία, το κρυσταλλωμένο παράγωγο αλέθεται. Τα πρώτα έργα από τον Aspdin με τσιμέντο τύπου Portland έλαβαν χώρα στο Kirkgate, Wakefield το 1828 μ.Χ. ενώ το μόνο κτήριο με τσιμέντο τύπου Portland που σώζεται μέχρι σήμερα είναι το Wakefield Arms (1843 – 1845 μ.Χ.), όπου το εξωτερικό της τουβλοδομής είναι επικαλυμμένο ώστε να μοιάζει με πέτρες Portland.
1825 – 1845	Η πρώτη εφαρμογή τσιμέντου τύπου Portland σε κατασκευαστικό έργο αποδίδεται στον Isambard Kingdom Brunel για την υποθαλάσσια σήραγγα του Τάμεση. Όπως καταμαρτυρεί ο γιός του Joseph Aspdin, William, ο Brunel χρησιμοποίησε τσιμέντο τύπου Portland τόσο για την σφράγιση και αποστράγγιση της υποθαλάσσιας σήραγγας όσο και για παρασκευή αναγκαίων κατασκευαστικών κονιαμάτων.
1830	Η πρώτη βιομηχανική παραγωγή ασβέστη και υδραυλικού τσιμέντου λαμβάνουν χώρα στον Καναδά.
1836	Οι πρώτοι συστηματικοί έλεγχοι εφελκυστικής αντοχής λαμβάνουν χώρα στην Γερμανία.
1845 – 1856	Ο Isaac Johnson βελτιώνει την διαδικασίας παρασκευής του τσιμέντου, εξαγοράζει το εγκαταλελειμένο εργοστάσιο του Aspdin στο Gateshead-on-Tyne και ανεβάζει την θερμοκρασία στην οποία πυρώνεται το τσιμέντο. Θεωρείται από πολλούς ως ο Πατέρας του μοντέρνου τσιμέντου τύπου Portland.
1849	Οι Rettenkofer και Fuches εκτελούν επιτυχώς την πρώτη ακριβή μέτρηση χημικής ανάλυσης του τσιμέντου τύπου Portland.
1860	Ξεκινάει η εποποιία του τσιμέντου τύπου Portland σύγχρονης σύνθεσης
1880	Ο James Grant επιδεικνύει την σημασία της χρήσης του σκληρότερου και πυκνότερου κλάσματος του κλίνκερ ενώ αναλύονται χημικά τα καίρια συστατικά του κλίνκερ.
1886	Εισάγεται στην Αγγλία η πρώτη περιστροφική κάμινος, η οποία αντικαθιστά τις κάθετες φρεατώδεις καμίνους.
1887	Ο Henri Le Chatelier καθορίζει τις αναλογίες οξειδίων ούτως ώστε να προετοιμάζεται ικανή ποσότητα ασβέστη για την παραγωγή τσιμέντου τύπου Portland. Ονομάζει τα συστατικά αλίτη (πυριτικό τριασθέστιο), βελίτη (πυριτικό διασθέστιο) και φερρίτη (σιδηραργλικό τετρασθέστιο). Προτείνει ότι η σκλήρυνση οφείλεται στο σχηματισμό κρυσταλλικών προϊόντων μεταξύ του τσιμέντου και το νερού.
1889	Κτίζεται η πρώτη γέφυρα από σκυρόδεμα.
1891	Ο George Bartholomew κατασκευάζει στις ΗΠΑ τον πρώτο δρόμο από σκυρόδεμα.
1900	Οι βασικές δοκιμές τσιμέντου προτυποποιούνται και τυποποιούνται.
1903	Ο πρώτος ουρανοξύστης από σκυρόδεμα κατασκευάζεται στις ΗΠΑ.
1909	Ο Thomas Edison λαμβάνει δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για την περιστροφική κάμινο.
1930	Εισάγονται για πρώτη φορά τα αερακτικά πρόσθετα στο σκυρόδεμα, ούτως ώστε να βελτιώσουν την αντίστασή του σε φθορά από κύκλους ψύξης/απόψυξης.
1936	Κτίζονται τα πρώτα σημαντικά φράγματα από σκυρόδεμα: το Hoover Dam και το Grand Coulee Dam.
1945	Πρώτη δημοσίευση στην Ελλάδα των μεταφρασμένων Γερμανικών DIN 1045 (Τεχνικά Χρονικά ΤΕΕ).
1954	Εκδίδεται ο πρώτος Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος.
1970	Εισάγεται η ενίσχυση του σκυροδέματος με ίνες.
1970 – 1981	Υιοθετούνται οι γερμανικές κατηγορίες B25, B35.
1980	Εισάγονται στο σκυρόδεμα ως πρόσθετα οι υπερρυστοποιητές/πλαστικοποιητές.
1985	Εκδίδεται ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΦΕΚ 266/Β/9.5.85).
1997	Αναθεώρηση του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος με έκδοση του ΚΤΣ-97 (ΦΕΚ/315/Β/17.4.97).
2002	Προσαρμογή του ΚΤΣ-97 στα Ευρωπαϊκά Πρότυπα, ενώ εισάγονται οι κατηγορίες κάθισης S1-S5.
2012	Σύνθεση Επιτροπής Αναθεώρησης του ΚΤΣ-97 σύμφωνα με τα Πρότυπα του ΕΛΟΤ EN 206-1 (ΦΕΚ/1318 /Β/14.9.06).

II.c. Πρώτες ύλες/συστατικά του σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα –όπως αναφέρεται παραπάνω– είναι μία συνδυαστική πάστα εντός της οποίας ενσωματώνονται κόκκοι και θραύσματα αδρανών (όταν η συνδυαστική αυτή κονία αποτελείται από υδραυλικό τσιμέντο και νερό αναφερόμαστε σε σκυρόδεμα υδραυλικού

τσιμέντου). Εντούτοις, τα βασικά συστατικά παρασκευής του συγχρόνου σκυροδέματος έχουν ορισθεί λεπτομερώς τόσο από το American Concrete Institute (ACI) όσο και την American Society for Testing and Materials (ASTM) [II. 13 - 15] και έχουν ως κάτωθι:

“Τσιμέντο” ονομάζεται το λεπτότατα αλεσμένο/κονιοποιημένο ξηρό ανόργανο υλικό, το οποίο δύναται να αναπτύξει συνδεδετικές ιδιότητες (ως αποτέλεσμα των αντιδράσεων και μηχανισμών ενυδάτωσης), τις οποίες διατηρεί (π.χ. μηχανικές αντοχές και σταθερότητα) μετά το πέρας της σκλήρυνσης. Ιδιαίτερη έμφαση και εμβάθυνση θα δοθεί σε αυτό το συστατικό του σκυροδέματος παρακάτω.

“Αδρανή” υλικά (“aggregates”) ονομάζονται τα κοκκώδη λατομικά προϊόντα (π.χ. άμμος, χαλίκι, γαρμπίλι, σκύρα, σκωρία υψικαμίνων, απορρίμματα κατασκευών/κατεδαφίσεων), τα οποία κατά την ανάμιξη με κάποιο συνδεδετικό υλικό/μέσο – *cementing medium*– (συγκολλητικές κονίες όπως τσιμεντοκονία, ασβεστοκονία, άσφαλτο κ.λ.π.) δεν αντιδρούν χημικά (σε σχέση με το τσιμέντο και το νερό) αλλά παράγουν σκυρόδεμα (όπου συμβάλλουν μηχανικά στην ανάπτυξη των αντοχών του τελικού προϊόντος). Ουσιαστικά, τα αδρανή υλικά αποτελούν τις περισσότερο χρησιμοποιούμενες φυσικές πρώτες ύλες μετά τον αέρα και το νερό, ενώ ταξινομούνται σε χονδρόκοκκα αδρανή (μέγεθος κόκκου > 4,75mm), λεπτόκοκκα αδρανή (75μm < μέγεθος κόκκου < 4,75mm). Τα κυριότερα χαρακτηριστικά τα οποία επηρεάζουν την ποιότητα του παραγόμενου σκυροδέματος/κονιάματος είναι η κοκκομετρική διαβάθμιση τους, το σχήμα των κόκκων, η καθαρότητα από προσμίξεις, η χημική ανθεκτικότητα και συμπεριφορά τους, η πρόσφυση με την κονία και η επαρκής αντοχή του μητρικού πετρώματος. Τέλος, στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12620 περιλαμβάνονται πλέον των φυσικών αδρανών (προερχόμενα από εξόρυξη κατάλληλων πετρωμάτων), τα τεχνητά (προερχόμενα από επεξεργασία βιομηχανικών προϊόντων) καθώς και τα ανακυκλούμενα αδρανή. [II. 16 - 21]

“Νερό ανάμιξης” ονομάζεται το νερό το οποίο χρησιμοποιείται για την παρασκευή σκυροδέματος: αυτό αντιδράει χημικά με το συνδεδετικό υλικό/τσιμέντο (η διαδικασία αυτή ονομάζεται ενυδάτωση) και αποτέλεσμα της αντίδρασης αυτής είναι η πήξη/σκλήρυνση του μείγματος και η απόκτηση των επιθυμητών ιδιοτήτων στο παραγόμενο σκυρόδεμα. Η καταλληλότητα χρήσης του νερού προς παραγωγή σκυροδέματος κρίνεται βάσει της προέλευσης αυτού και βάσει του ΕΛΟΤ EN 1008 (αποτέλεσμα εργασίας της CEN/TC 104 Working Group 5 – “Mixing water for concrete”) προβλέπονται οι κάτωθι κατηγορίες: α. πόσιμο νερό, β. ανακτηθέν νερό από διαδικασίες της βιομηχανίας σκυροδέματος, γ. νερό υπογείων υδάτων, δ. επιφανειακά νερά και νερά βιομηχανικών διεργασιών, ε. θαλασσινό και υφάλμυρο νερό και στ. νερά αποβλήτων. Στο Πρότυπο αυτό προδιαγράφονται τόσο οι τρόποι ελέγχου της καταλληλότητας και οι απαιτήσεις που πρέπει να πληροί το νερό προς παραγωγή σκυροδέματος όσο και οι μέθοδοι προσδιορισμού/μετρήσεως αυτών. Η καίρια επίδραση της ποιότητας του νερού ανάμιξης στο προς παραγωγή σκυρόδεμα έγκειται τόσο στην απόκτηση των επιθυμητών αντοχών όσο και στην αποφυγή ύπαρξης πιθανών “ακαθαρσιών” (ανεπιθύμητων χημικών στοιχείων) που πιθανώς να επιφέρουν αρνητική επίδραση στην ανάπτυξη αντοχών και στην ανθεκτικότητα αυτού (π.χ. καθυστέρηση πήξης του σκυροδέματος, διάβρωση του οπλισμού αυτού κλπ). Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην παρουσία οργανικών και ανοργάνων οξέων, λιπών και λαδιών, διαλυτών σακχάρων, αιωρούμενων ουσιών και συγκεντρώσεων διαλυμένων κυρίως θεικών και χλωριούχων αλάτων.

Τέλος, τονίζεται πως ενδιαφέρον σημασίας είναι η αναλογία νερού προς τσιμέντο (*water/cement ratio, w/c*) στο μείγμα. Ο συνδυασμός νερού με ένα τσιμεντοειδές υλικό σχηματίζει μία πάστα τσιμέντου μέσω της διαδικασίας της ενυδάτωσης, όπου αυτή η πάστα τσιμέντου προσδένει τα αδρανή του σκυροδέματος μαζί, συμπληρώνει τα κενά εντός αυτού και του προσδίδει ρευστότητα/ροή. Σημειώνεται δε ότι αυτή η αναλογία νερού προς τσιμέντο (*w/c*) εντός του σκυροδέματος διαδραματίζει ιδιαίτερο ρόλο για την πλειοψηφία

των κύριων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος (π.χ. ανθεκτικότητα, μηχανικές αντοχές, ρευστότητα κλπ). Καθώς οι χημικές διεργασίες της ενυδάτωσης και τα προϊόντα αυτής εξελίσσονται και ολοκληρώνονται, το σκυρόδεμα αποκτάει στερεή μάζα. [II. 22 – 27]

“Πρόσθετα” (“*admixtures*”) βάσει του ΕΛΟΤ EN 934 ορίζονται ως “υλικά τα οποία προστίθενται κατά την διεργασία ανάμιξης του σκυροδέματος σε ποσότητα όχι μεγαλύτερη του 5% κατά μάζα του περιεχομένου τσιμέντου στο σκυρόδεμα, ούτως ώστε να τροποποιηθούν οι ιδιότητες του μείγματος στη νωπή ή/ και στη σκληρυμένη κατάσταση”. Η προσθήκη των βελτιωτικών αυτών χημικών ουσιών αποσκοπεί στην περαιτέρω ανάπτυξη ή/και μεταβολή συγκεκριμένων ιδιοτήτων στο παραγόμενο σκυρόδεμα ενώ η απουσία τους θα κατασττούσε αδύνατη την κατασκευή σημαντικού αριθμού έργων από σκυρόδεμα (ειδικά αυτών σε εχθρικά περιβάλλοντα και υπό αντίξοες συνθήκες σκυροδέτησης). Αναλόγως της χρήσης και του μηχανισμού λειτουργίας τους διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες όπως: α. μειωτήρες νερού (*water reducing admixtures*) ή ρευστοποιητές ή πλαστικοποιητές (*plasticizers*) νωπών μειγμάτων σκυροδέματος, β. αερακτικά πρόσθετα (*air-entraining admixtures*), γ. μειωτές εξίδρωσης (*water retaining/bleeding reducing admixtures*), δ. επιταχυντικά πήξης (*set accelerators*), ε. επιταχυντικά σκλήρυνσης (*hardening accelerators*), ε. επιβραδυντικά πήξης (*set retarders*), στ. μειωτές απορροφητικότητας τριχοειδούς (*water resisting admixtures*). Επίσης, υπάρχουν πρόσθετα με συνδυαστικές ενέργειες και πολλαπλές επιδράσεις στο παραχθέν σκυρόδεμα αλλά και ξεχωριστή κατηγορία ειδικών πρόσθετων με αντιπαγωτικές, διογκωτικές και αντιδιαβρωτικές ιδιότητες (π.χ. αναστολείς διάβρωσης οπλισμού, ρυθμιστές ιξώδους νωπού σκυροδέματος και διογκωτικά πρόσθετα). [II. 28 – 31]

“Πρόσμικτα” (“*additions*”) βάσει του ΕΛΟΤ EN 206-1 ορίζονται τα ανόργανα υλικά λεπτής διαβάθμισης τα οποία χρησιμοποιούνται στην παρασκευή σκυροδέματος ούτως ώστε να βελτιωθούν συγκεκριμένες ιδιότητες ή να επιτευχθούν ειδικές συμπεριφορές και χαρακτηριστικά. Τα πρόσμικτα κατηγοριοποιούνται στους κάτωθι δύο τύπους: α. σχεδόν αδρανή πρόσμικτα (Τύπος I) και β. ποζολανικά ή λανθάνοντα υδραυλικά πρόσμικτα (Τύπος II). Συγκεκριμένα, στα “Τύπου I” πρόσμικτα συμπεριλαμβάνονται ο ασβεστόλιθος (πληρωτικό/*filler* βάσει ΕΛΟΤ 12620) και τα πιγμέντα/χρωστικές ουσίες (βάσει ΕΛΟΤ EN 12878) ενώ κατάλληλα ως “Τύπου II” πρόσμικτα χαρακτηρίζονται βιομηχανικά παραπροϊόντα όπως η ιπτάμενη τέφρα (σύμφωνα με ΕΛΟΤ EN 450), η σκωρία υψικαμίνων, η πυριτική παιπάλη (βάσει ΕΛΟΤ EN 13263) αλλά και ποζολάνες (φυσικές αλλά και τεχνητές όπως ο μετακαολίνης). [II. 32 – 34]

II.d. Περί Χημείας & Τεχνολογίας Τσιμέντου

Ως “τσιμέντο”, ορίζεται βάσει ΕΛΟΤ EN 197-1 η υδραυλική συνδετική κονία, δηλαδή το λεπτότατα αλεσμένο ανόργανο υλικό το οποίο όταν αναμιγνύεται με νερό σχηματίζει μία πάστα (η οποία πήζει και σκληραίνει μέσω αντιδράσεων ενυδάτωσης) και το οποίο μετά την σκλήρυνση του διατηρεί τις αντοχές και την σταθερότητα του ακόμα και υπό το νερό. Ακολούθως, ως “τσιμέντο τύπου CEM” ορίζεται ένα τσιμέντο το οποίο συμμορφώνεται στις προδιαγραφές και απαιτήσεις του ΕΛΟΤ EN 197-1 και συνεπώς, υποχρεούται –όταν ποσοτικοποιηθεί κατάλληλα και αναμιχθεί με αδρανή και νερό– να είναι ικανό να παράγει σκυρόδεμα ή κονίαμα το οποίο να διατηρεί την εργασιμότητα του για επαρκές χρονικό διάστημα και –μετά από καθορισμένες χρονικές περιόδους– να αποκτάει συγκεκριμένα επίπεδα αντοχών καθώς και να κατέχει μακροχρόνια σταθερότητα όγκου. [II. 35]

Η σκλήρυνση παρουσία νερού του τσιμέντου τύπου CEM οφείλεται πρωτίστως στην ενυδάτωση των ασβεστοπυριτικών ενώσεων (C_2S , C_3S), και ασβεστοαργιλικών ενώσεων να συμμετέχουν στην διαδικασία της πήξης (π.χ. αργιλικά όπως C_3A , C_4AF) ενώ το άθροισμα των αναλογούντων συγκεντρώσεων του δραστικού οξειδίου του ασβεστίου (CaO) και του

δραστικού διοξειδίου του πυριτίου (SiO_2) πρέπει να είναι τουλάχιστον 50% κατά μάζα όταν αυτές οι συγκεντρώσεις έχουν προσδιοριστεί σε συμφωνία με το EN 196-2. [II. 36] Σημειώνεται επίσης ότι τα τσιμέντα τύπου CEM αποτελούνται από διαφορετικά υλικά και η σύνθεσή τους είναι στατιστικά ομοιογενής ως αποτέλεσμα ποιοτικά διασφαλισμένης παραγωγής καθώς και διεργασιών χειρισμού των υλικών – αυτή ακριβώς η σύνδεση μεταξύ των διεργασιών παραγωγής και χειρισμού υλικών και της συμμόρφωσης του παραγόμενου τσιμέντου προς το Ευρωπαϊκό Πρότυπο 197-1 διευκρινίζεται περαιτέρω μέσω του ΕΛΟΤ EN 197-2. [II. 37]

Βάσει EN 197-1 το τσιμέντο συνίσταται από τα κύρια συστατικά (*“main constituents”*), τα δευτερεύοντα συστατικά (*“minor constituents”*), το θειικό ασβέστιο και τα πρόσμικτα (*“additives”*). Περισσότερο συγκεκριμένα και αναλυτικά, στα κύρια συστατικά του συμπεριλαμβάνονται πέραν του δεσπόζοντος κλίνκερ του τσιμέντου Portland, η σκωρία υψικαμίνων, τα διάφορα ποζολανικά υλικά (*φυσικά και τεχνητά*), διάφορες τέφρες (*πυριτικές, ασβεστιτικές*), ψημένος σχιστόλιθος, ασβεστόλιθος και πυριτική παιπάλη. Το κλίνκερ του τσιμέντου Portland (*το σημαντικότερο κύριο συστατικό του τσιμέντου*) είναι υδραυλικό υλικό το οποίο συνίσταται κατά τα 2/3 κ.β. από πυριτικό τριασβέστιο (C_3S) και πυριτικό διασβέστιο (C_2S) ενώ το υπόλοιπο συνίσταται κυρίως από αργίλιο και σίδηρο (*σημειώνεται ότι η αναλογία CaO/SiO_2 δεν πρέπει να είναι μικρότερη του 2 και ότι το περιεχόμενο MgO δεν πρέπει να ξεπερνά το 5% κ.β.*). Η παρασκευή του κλίνκερ του τσιμέντου Portland λαμβάνει χώρα με έψηση σε θερμοκρασία κλινκεροποίησης ($1380-1420^\circ C$) ενός λεπτομερώς καθορισμένου και επιλεγμένου, πλήρως ομογενοποιημένου και κατάλληλα αλεσμένου μείγματος πρώτων υλών (*“raw meal”*) το οποίο περιέχει στοιχεία, εκφράσμενα με την μορφή οξειδίων ($CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3$) όπως καθώς και μικρές ποσότητες από άλλα υλικά. Τα δευτερεύοντα συστατικά συμπεριλαμβάνουν τα ανωτέρω αναφερθέντα, υπό τον περιορισμό ότι η αναλογία τους δεν θα ξεπερνά το 5% κ.β. της συνολικής ποσότητας των κυρίων και δευτερευόντων συστατικών. Το θειικό ασβέστιο (*συνήθως φυσική γύψος*) προστίθεται για να ρυθμιστεί ο ρυθμός πήξης του τσιμέντου ενώ ως πρόσμικτα εννοούνται τα συστατικά που δεν περιλαμβάνονται παραπάνω και προστίθενται για να βελτιωθεί η παρασκευή/παραγωγική διαδικασία ή οι ιδιότητες του παραγόμενου τσιμέντου (*η επιτρεπόμενη μέγιστη ποσότητα είναι 1% κ.β. επί της μάζας του τσιμέντου*). [II. 38]

Σχετικά τώρα με την κωδικοποίηση των νέων τύπων κοινών τσιμέντων, το ΕΛΟΤ EN 197-1 προδιαγράφει τους πέντε γενικούς τύπους:

- CEM I – Τσιμέντα Portland**
- CEM II – Σύνθετα τσιμέντα Portland**
- CEM III – Σκωριοτσιμέντα**
- CEM IV – Ποζολανικά τσιμέντα**
- CEM V – Σύνθετα τσιμέντα**

και ο συμβολισμός ακολουθεί την εξής σημειολογία: αναφορά κύριου τύπου τσιμέντου, ποσοστό περιεχόμενου clinker, τύπος κύριου συστατικού, κατηγορία αντοχών και επίπεδο πρώιμων αντοχών. [II. 39]

Εν συνεχεία, πρέπει να αναφερθεί ότι οι υδραυλικές ιδιότητες του τσιμέντου (*το γεγονός ότι σε λεπτόκοκκο διαμερισμό και μετά από ανάμειξη με νερό, μπορεί να πήξει και να σκληραίνει, με αποτέλεσμα ένα στερεό προϊόν*) είναι αποτέλεσμα της ενυδάτωσης των συστατικών του τσιμέντου, μίας διαδικασίας που συνοδεύεται από έκλυση θερμότητας και περιλαμβάνει χημικές και φυσικοχημικές μεταβολές. Οι μετατροπές των άνυδρων ενώσεων στις αντίστοιχες ενυδατωμένες πραγματοποιούνται είτε με μηχανισμό μέσω διαλύματος (*όπου τα αντιδρώντα διαλύονται με αποτέλεσμα να ελευθερωθούν ιόντα στο διάλυμα, τα οποία συνενώνονται σχηματίζοντας προϊόντα τα οποία καταβυθίζονται*) είτε με απ'ευθείας

τοποχημικές αντιδράσεις στερεάς κατάστασης (όπου οι αντιδράσεις πραγματοποιούνται απ'ευθείας στην επιφάνεια του στερεού). [II. 40 - 41]

Καθώς το τσιμέντο συνίσταται από διαφορετικά συστατικά, η ενυδάτωση του ερευνάται και εξετάζεται μέσω της επιμέρους ανεξάρτητης εξέτασης ενυδάτωσης κάθε συστατικού του, συνεπώς περισσότερο συγκεκριμένα: α. το πυριτικό τριασβέστιο ($Ca_3SiO_5 - C_3S$), αποτελεί το 50-70% του κλίνκερ και όντας το κυριότερο συστατικό καθορίζει την πορεία της πήξης και σκλήρυνσης (προσδίδοντας τις πρώιμες και μακροχρόνιες αντοχές του τσιμέντου), κατά τον σχηματισμό ενσωματώνει στο πλέγμα και άλλα ιόντα (παράγοντας στερεό διάλυμα το οποίο λέγεται αλίτης) ενώ το προϊόν της ενυδάτωσης είναι ένυδρο πυριτικό ασβέστιο (άμορφη φάση), β. το πυριτικό διασβέστιο ($Ca_2SiO_4 - C_2S$), προσδίδει μακροχρόνιες αντοχές στο τσιμέντο, είναι λιγότερο δραστικό σε σχέση με το C_3S , υφίσταται υπό την μορφή β - C_2S (μπελίτης) και τα προϊόντα ενυδάτωσης του είναι παραπλήσια με του C_3S , γ. το αργλικό τριασβέστιο (C_3A), προσδίδει πρώιμες αντοχές στο τσιμέντο και ουσιαστικά θα αντιδρούσε ταχύτατα με το νερό (πήζοντας άμεσα το τσιμέντο) αλλά η παρουσία της γύψου εμποδίζει την έκβαση αυτή καθώς η γύψος αντιδράει με το C_3A και έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό ετρινγκίτη (βελονοειδείς κρύσταλλοι ένυδρου θειικού αργλικού τριασβεστίου). Αυτός ο σχηματισμός στοιβάδας ετρινγκίτη στην επιφάνεια των κόκκων του C_3A δρα ανασταλτικά στην ενυδάτωση του, καθιστώντας ρυθμιστή για την πήξη και σκλήρυνση του τσιμέντου το C_3S , ενώ όταν και μόνο όταν καταναλωθεί πλήρως η γύψος προχωράει η αντίδραση του C_3A με τον ετρινγκίτη με αποτέλεσμα παραγωγή μονοθειικού ενυδατωμένου άλατος, δ. το αργλιοσιδηρικό τετρασβέστιο (φάση φερρίτη) του οποίου η ενυδάτωση επιβραδύνεται ιδιαίτερα λόγω της γύψου. Η πρόοδος της διαδικασίας ενυδάτωσης εξαρτάται από πληθώρα παραγόντων, εκ των οποίων οι σημαντικότεροι είναι η ηλικία/χρόνος, η σύσταση του τσιμέντου (ποσοτικές φάσεις του κλίνκερ του τσιμέντου Portland), η λεπτότητα, ο λόγος νερού/τσιμέντο, η θερμοκρασία και η παρουσία πρόσθετων. [II. 42 - 43]

II.e. Βασικοί τύποι αλλά και ειδικές εφαρμογές του σκυροδέματος

Ακολουθεί μία σύντομη καταγραφή της εκτεταμένης ποικιλίας των τύπων σκυροδέματος, καθένας εκ των οποίων έχει σχεδιαστεί ούτως ώστε να επιτελεί συγκεκριμένο ρόλο, ανταποκρινόμενος σε ιδιαίτερες απαιτήσεις πληθώρας έργων, τόσο σε επίπεδο αντοχών, επιτελεστικότητας, ανθεκτικότητας, αισθητικών απαιτήσεων του σκυροδέματος όσο και σε θέματα νομοθεσίας και κατασκευαστικών κανονισμών αλλά και για αντίξοες συνθήκες σκυροδέτησης κλπ. Ως εκ τούτου, αξίζει να σημειωθεί ότι το σκυρόδεμα ως σύγχρονο δομικό υλικό, είναι ικανό να ανταπεξέλθει σε πληθώρα απαιτήσεων και για τον λόγο αυτό απαιτείται σχεδιασμός ή μελέτη σύνθεσης σκυροδέματος ("concrete mix design"), δηλαδή η διαδικασία του ορισμού των απαιτούμενων και καθοριζόμενων χαρακτηριστικών ενός μείγματος σκυροδέματος, προσεγγιζόμενα τόσο από την άποψη των διαθέσιμων υλικών όσο και από τα επιθυμητά επίπεδα απόδοσης (βασισμένα στην προτιθέμενη χρήση, στο περιβάλλον και συνθήκες σκυροδέτησης κλπ). Εν συνεχεία, ακολουθεί ο ορισμός και η τήρηση των αναλογιών του μείγματος ("mix proportioning"), δηλαδή η διαδικασία η οποία συνίσταται στον ακριβή ποσοτικό καθορισμό των συστατικών, ούτως ώστε να καλύπτονται οι απαιτήσεις του σχεδιασμού (έχοντας παράλληλα ως γνώμονα την διαθεσιμότητα των πρώτων υλών αλλά και τα σχετικά οικονομικά μεγέθη κόστους/μεταφοράς κλπ). [II. 44 - 49]

Εντούτοις, μερικοί από τους χαρακτηριστικότερους και σημαντικότερους τύπους και εφαρμογές σκυροδέματος περιλαμβάνουν τις κάτωθι:

- το οπλισμένο σκυρόδεμα ("reinforced concrete"), όπου χάλυβας (οπλισμός) τοποθετείται εντός του σκυροδέματος (υπό την μορφή ράβδων ή πλέγματος) για

την ανάληψη εφελκυστικών τάσεων και επίτευξη στατικής επάρκειας του έργου. Οι κατασκευές έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι ο κανόνας στον αντισεισμικό σχεδιασμό και την ενίσχυση κτηρίων ενώ η δυνατότητα προέντασης του οπλισμού οδήγησε στην παραγωγή του προεντεταμένου σκυροδέματος (*“prestressed concrete”*), ικανό και κατάλληλο για κατασκευή έργων μεγάλου ανοίγματος (όπως πλακών, δοκών, πατωμάτων, γεφυρών και κελυφών κλειστών σταδίων). Το εκτενές εύρος των σχετικών Κανονισμών και Προτύπων (π.χ. Ευρωκώδικες 2 και 8, EN 1998-1:2004, ACI 318-05 *“Building Code Requirements for Structural Concrete”*) είναι ενδεικτικό τόσο της σημασίας που αποδίδεται στην αντισεισμική θωράκιση (*δυνατότητα αποτίμησης της απόκρισης και συμπεριφοράς των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα σε σεισμικές δράσεις και καταπονήσεις*) όσο και στην αποφυγή αστοχιών μέσω της ορθής πρακτικής δομικού σχεδιασμού και ανάλυσης αλλά και της εναρμόνισης των Τεχνικών Προτύπων, Προδιαγραφών και Κανονισμών. [II. 50 – 62]

- το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (*“self-compacting concrete”* ή *“self-consolidating concrete”*), το οποίο επιδεικνύει ιδιαίτερα χαρακτηριστική ρεολογική συμπεριφορά έναντι των συμβατικών σκυροδεμάτων. Η εξαιρετική εργασιμότητα, ταχύτητα ροής, απουσία ανάγκης δόνησης, διατήρηση ομοιογένειας καθώς και οι ρεολογικές ιδιότητες του Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος (*“ΑΣΣ”*) το καθιστούν βιώσιμη εναλλακτική λύση για την αντιμετώπιση των προκλήσεων των μοντέρνων τεχνικών έργων καθότι ανταποκρίνεται σε εύρος απαιτήσεων, περίπλοκων γεωμετριών κατασκευής, πυκνής διάταξης οπλισμών και ομοιόμορφης πλήρωσης οποιουδήποτε ξυλότυπου/μεταλλότυπου (λόγω της ρευστότητας αλλά και της αντίστασης στον διαχωρισμό των συστατικών του ΑΣΣ). Πρωτοπόροι της εφαρμογής και διάδοσης του ΑΣΣ θεωρούνται οι Ιάπωνες, οι οποίοι όχι μόνο ανέπτυξαν αυτό-επιπεδούμενο σκυρόδεμα (*“self-leveling concrete”*) –απομακρύνοντας την ανάγκη συμπύκνωσης μέσω μηχανικής δόνησης– αλλά κάλυψαν ανάγκες και απαιτήσεις ταχύτητας, ομοιομορφίας και αξιοπιστίας της κατασκευής, ουσιαστικά οδηγώντας τις εξελίξεις στο θέμα της ανθεκτικότητας των έργων από σκυρόδεμα. Άλλα πλεονεκτήματα χρήσης του ΑΣΣ συμπεριλαμβάνουν κατασκευαστικά οφέλη (π.χ. ταχύτητα αποπεράτωσης σκυροδέτησης), περιβαλλοντικά οφέλη (π.χ. εξοικονόμηση ενέργειας), οικονομικά οφέλη (π.χ. εξοικονόμηση αγοράς δονητών συμπύκνωσης σκυροδέματος), αύξηση χρόνου ζωής ξυλότυπων και μεταλλότυπων (ελλείψη δόνησης) και μεγαλύτερη προστασία του οπλισμού [II. 63 – 69]
- τα σκυροδέματα υψηλών αντοχών, σκυροδέματα υψηλής επιτελεστικότητας και σκυροδέματα υπερ-υψηλής επιτελεστικότητας (*“high strength concrete”*, *“high-performance concrete”* και *“ultra-high performance concrete”* αντιστοίχως), τα οποία επιδεικνύουν εξαιρετικά μεγαλύτερες αντοχές από αυτές που ορίζονται στους Κανονισμούς, κάτι το οποίο οφείλεται σε συνδυασμό παραγόντων σχεδιασμού (μείωση νερού ανάμιξης στο ελάχιστο αναγκαίο, αύξηση ποσότητας περιεχόμενου τσιμέντου, μείωση μεγίστου κόκκου αδρανών, προσθήκη πυριτικής παιπάλης και υπερρευστοποιητών) ενώ σημειώνεται εξαρχής, ότι τα σκυροδέματα υψηλών αντοχών θεωρούνται υψηλής επιτελεστικότητας, ενώ αντιστρόφως τα σκυροδέματα υψηλής επιτελεστικότητας δεν είναι κατ’ανάγκην υψηλών αντοχών. Εξαιρετική σημασία αποδίδεται τόσο στον ορισμό που έχει δοθεί στην έννοια/οικογένεια σκυροδεμάτων *“υψηλής επιτελεστικότητας”* (ως αυτά τα οποία είναι ικανά να φέρουν εις πέρας εξειδικευμένο συνδυασμό τόσο απαιτήσεων απόδοσης όσο και ομοιομορφίας, ο οποίος δεν είναι πάντα δυνατό να επιτευχθεί με την χρήση

αυστηρά συμβατικών υλικών, μεθόδων ανάμιξης και τοποθέτησης αλλά και πρακτικών συντήρησης/γήρανσης) αλλά και στο ιδιαίτερο βάρος που τοποθετείται σε ζητήματα ανθεκτικότητας του (έναντι αυστηρών κριτηρίων αντοχής). Ουσιαστικά, η νέα αυτή γενιά τεχνολογίας παρασκευής καινοτόμων σκυροδεμάτων βασίζεται στην μικροδομή (σε νάνο- και μικρο- κλίμακες) ούτως ώστε να επιτευχθούν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα και υπέρτερες μηχανικές ιδιότητες, ενώ πεδίο εφαρμογής αυτών των σκυροδεμάτων είναι τόσο αντισεισμικά έργα όσο και οχυρωματικά/αμυντικά. Τέλος, το πεδίο των τρεχουσών εξελίξεων ενέχει την διερεύνηση μεθόδων επιτυχούς εμπορευματοποίησης της συγκεκριμένης τεχνολογίας παρασκευής σκυροδέματος. [II. 70 – 78]

- το διαπερατό/υδατοπερατό ή πορώδες σκυρόδεμα (*“pervious concrete”* και *“porous concrete”* αντιστοίχως), το οποίο –λόγω του εξαιρετικά υψηλού πορώδους χονδρόκοκκου μίγματος– επιτρέπει στο νερό να διαπερνά την μάζα του και χρησιμοποιείται κατά κόρον ως υλικό κατασκευής εξωτερικών δαπέδων (χώροι στάθμευσης, πεζοδρόμια) και σε έργα αποστράγγισης υπογείων νερών. Καθώς το διαπερατό σκυρόδεμα απορροφά ουσιαστικά τα όμβρια ύδατα, διευκολύνει την φυσική απορροή τους στο υπέδαφος (συμβάλλοντας στην ασφάλεια του οδοστρώματος) ενώ για την παρασκευή του δεν απαιτείται άμμος (λεπτόκοκκο αδρανές). Επισημαίνεται επίσης ότι πέρα από την ορθή διαχείριση των όμβριων υδάτων, το διαπερατό σκυρόδεμα συνεισφέρει στην βελτίωση της ποιότητας του αέρα καθώς, όντας ανοικτότερου χρώματος, μεγαλύτερης φωτοανάκλασης και χαμηλότερης πυκνότητας σε σχέση με τα συμβατικά σκυροδέματα υποβαθμίζουν την ατμοσφαιρική θερμότητα, μειώνοντας την δημιουργία “νησίδων θέρμανσης”, καθιστώντας περισσότερο από προφανή τα σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη διαχείρισης και ελαχιστοποίησης των επιπτώσεων της αστικής δόμησης στον φυσικό κύκλο του νερού. [II. 79 – 84]
- το θειόδεμα ή θειούχο σκυρόδεμα (*“sulfur concrete”*), το οποίο συνίσταται στην αξιοποίηση (utilization/valorization) του θείου ως συνδετικού μέσου στην παρασκευή σκυροδέματος. Το θείο είναι καίριο παραπροϊόν της διαδικασίας υδρογονοαποθείωσης που εφαρμόζεται στην βιομηχανία πετρελαίου/φυσικού αερίου και παράγεται σε σημαντικές ποσότητες παγκοσμίως. Εντούτοις, το θειούχο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται σε εξειδικευμένες εφαρμογές –τόσο στην βιομηχανία παραγωγής όσο και στις μεταφορές–, εκεί όπου το συμβατικό σκυρόδεμα αποτυγχάνει λόγω έκθεσης σε εξαιρετικά αντίξοα χημικά περιβάλλοντα (οξέα, άλατα). Ονομάζεται και σεληνιακό σκυρόδεμα (*“lunar concrete”*) καθότι υπάρχει έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον για χρήση σε κατασκευές μόνιμων διαστημικών βάσεων στην Σελήνη, το οποίο βασίζεται τόσο στην έλλειψη ανάγκης του για νερό και τσιμέντο όσο και στην ραγδαία απόκτηση των αντοχών του. [II. 85 – 91]
- τα ινοπλισμένα σκυροδέματα, όπου έχουν προστεθεί φυσικές ή τεχνητές ίνες στην μάζα του σκυροδέματος. Η παρουσία των μεταλλικών, γυάλινων ή/και πλαστικών ινών αυξάνει την πλαστιμότητα και τυπικό πεδίο εφαρμογής του ινοπλισμένου σκυροδέματος είναι τα δάπεδα και οι επενδύσεις των σηράγγων. [II. 92 – 96]
- το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (*“sprayed concrete”* ή *“shotcrete”*), όπου πεπιεσμένος αέρας εκτοξεύει/σκυροδετεί με πίεση σκυρόδεμα λεπτής διαβάθμισης αδρανών σε επιφάνεια (πλαίσιο ή δομή), οριζόντια ή κάθετη, επιτρέποντας την χρήση του τόσο σε επισκευές και επενδύσεις σηράγγων όσο

σε εφαρμογές όπου απουσιάζουν οι ξυλότυποι (αποφυγή χαλάρωσης πετρώματος, ενισχύσεις εδαφών, άμεσης ανάγκης επεμβάσεων/επενδύσεων). [II. 97 - 98]

- Άλλοι διαδεδομένοι τύποι σκυροδέματος περιλαμβάνουν το προκατασκευασμένο σκυρόδεμα (“*precast concrete*”) με εξαιρετικά ευρύ φάσμα εφαρμογών σε έργα και δομές σκυροδέματος, τα σκυροδέματα με ανακυκλούμενα υλικά, (το παλαιό σκυρόδεμα χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη αδρανών για παρασκευή σκυροδέματος όπου για να επιτευχθεί αυτό απαιτείται κατάτμηση και θραύση σε κατάλληλη κοκκομετρική διαβάθμιση του ανακυκλούμενου σκυροδέματος) και το αυτόκλειστο κυψελωτό σκυρόδεμα (“*autoclaved aerated concrete*”). [II. 98 - 102]

II.f. Τι μας επιφυλάσσει το (όχι τόσο μακρινό...) μέλλον

Το θέμα των αντοχών των κατασκευών και δομικών προϊόντων από σκυρόδεμα έχει απασχολήσει διαχρονικά την επιστημονική και κατασκευαστική κοινότητα, ιδιαίτερα δε όσον αφορά τα ζητήματα της δομικής ευστάθειας, της ανθεκτικότητας και της αειφορίας στην Κατασκευή. Εντούτοις, οι καινοτομίες που έχουν λάβει χώρα στην βιομηχανία αυτή αφορούν όλους τους τομείς της, όπως την παραγωγική διαδικασία και την επεξεργασία των υλικών, την εξοικονόμηση και επιτελεσματικότητα ενέργειας (“*energy efficiency*”), θέματα ασφαλείας και περιβαλλοντικής ευθύνης αλλά και κοινωνικής υπευθυνότητας. [II. 103 - 108]

Σε επίπεδο βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών (“*best available technologies*”), καθαρότερων τεχνολογιών για την προστασία του περιβάλλοντος και την μείωση της εξάρτησης από ορυκτές πηγές ενέργειας έχουν ήδη προταθεί και εφαρμοστεί προσεγγίσεις ενδεικτικές της σύνδεσης της Αειφορίας και της Οικονομικής Ανθεκτικότητας (“*economic resilience*”) με την Ανθεκτικότητα των δομικών έργων και κατασκευών από Σκυρόδεμα στην Έξυπνη Πόλη του Μέλλοντος. Ενδεικτικά, αναφέρεται η δημιουργία και προώθηση βιοεμπνευσμένων (“*βιομιμητικών*”) υλικών, τσιμεντοειδών συνθέτων υλικών (“*engineered cementitious composites*”) αλλά και πολυλειτουργικών “έξυπνων” υλικών, τα οποία επιδεικνύουν δυνατότητες αυτό-ίασης (“*self-healing*”) μέσω μηχανισμών βακτηρίων, κοίλων ίνων, μικρο-ενθυλάκωσης, διογκωτικών/κρυσταλλικών προσθέτων αλλά και ιδιοτήτων μνήμης του σχήματος αυτών (“*shape memory alloys*”). [II. 109 - 115]

Επιπλέον, τα μελλοντικά τσιμεντοειδή υλικά θα παρουσιάζουν ιδιότητες καθαρισμού αέριων ρύπων αλλά και αυτο-καθαρισμού μέσω της φωτοκατάλυσης νανοδομημένων οξειδίων της τιτανίας, επιδεικνύοντας περίτρανα την συνεχή δέσμευση της βιομηχανίας τσιμέντου και σκυροδέματος τόσο στο να αντισταθμιστούν οι αρνητικές συνέπειες όσο και στο να προωθηθούν βιώσιμες και αειφόρες λύσεις/εφαρμογές χρησιμοποιώντας νανοτεχνολογίες αιχμής. Τα αυτοκαθαριζόμενα/αντιμικροβιακά αυτά υλικά (με εφαρμογές π.χ. ως φωτο καταλυτικά οδοστρώματα ή πεζοδρόμια), είναι μόνο μία σύντομη εικόνα του “τι μέλει γενέσθαι” όσον αφορά τις εξελίξεις στον τομέα της νανοτεχνολογίας. [II. 116 - 121]

Εντούτοις, η μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος είναι η βασική επιδίωξη και ο πρωταρχικός στόχος του σύγχρονου μέλλοντος: η χρήση εναλλακτικών καυσίμων όπως και η –ταυτόχρονη– διαχείριση αποβλήτων/απορριμμάτων και αξιοποίηση τους στην παραγωγή της ενέργειας (η οποία απαιτείται για την παραγωγή του τσιμέντου) αποτελούν διακαείς πόθους και συνάμα πεδίο δόξας λαμπρό για επίδοξους ερευνητές. [II. 122 - 125] Αποτελέσματα των παραπάνω βασικών αξιών είναι ο επανασχεδιασμός τόσο των δομικών υλικών και της οικο-αποδοτικής κατασκευής (“*eco-efficient construction*”) αλλά και η εφαρμογή αρχών Πράσινης Αρχιτεκτονικής (με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας, μείωση

εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, διατήρηση νερού, μείωση κόστους συντήρησης και λειτουργίας κλπ). [II. 126 - 129]

Βάσει των παραπάνω, σημειώνεται δε ότι η βιοέμπνευση (“βιομημητισμός”) αποτελεί καίριο χαρακτηριστικό της στροφής προς μία περισσότερο βιώσιμη διαδικασία παραγωγής και σχεδιασμό των υλικών, με την προηγμένη τεχνολογία να επιτρέπει την μετάβαση στην μικρο- και νάνο- κλίμακα, επιτρέποντας την μεταχείριση και τροποποίηση των ιδιοτήτων των εν λόγω υλικών. [II. 130 - 131] Αυτή η μεταστροφή πολιτικής λαμβάνει χώρα σε συνδυασμό με περιβαλλοντικές και υγειονομικές προϋποθέσεις, οικοδομικούς κανονισμούς και υποχρεώσεις δημοσιοποίησης της απόδοσης των πράσινων κτηρίων. [II. 132 - 135]

Τέλος, πέραν από τις ραγδαίες εξελίξεις στον τομέα της νανοτεχνολογίας και τεχνολογίας δομικών υλικών, δύο καίρια σημεία του “μέλλοντος που έρχεται” χρήζουν ιδιαίτερης μνείας και πρέπει να αναδειχθούν: το πρώτο είναι οι εξελίξεις και η πρόοδος της τεχνολογίας όσον αφορά την τρισδιάστατη εκτύπωση. Η πρωτοπόρα κατασκευαστική αυτή τεχνολογία αποτελεί πραγματική καινοτόμο βιομηχανική επανάσταση και θα κριθεί εάν θα αποτελέσει –ως μία μέθοδος “παραδειγματικής αλλαγής” (“*paradigm shift*”) – αφορμή για ρηξικέλευθη αλλαγή του τρόπου κατασκευής (και όχι μόνο). [II. 136] Ως “3D printing” (3D/τρειςδιάστατη εκτύπωση), “*contour crafting*” (περιγραμματοποιητική κατασκευή), “*additive manufacturing*” (“προσθετική κατασκευή”), “*rapid prototyping*” (“ταχεία προτυποποίηση”) νοείται η κατασκευαστική μέθοδος αντικειμένων ή κατασκευών –μελλοντικά ίσως και ιατρικών εμφυτευμάτων ή και τροφίμων!– ως προϊόντων διαδοχικής προσθήκης επάλληλων στρώσεων κατάλληλου υλικού. [II. 137 - 141] Διάφοροι τύποι υλικών μπορεί να αξιοποιηθούν (αναλόγως των απαιτήσεων και των ιδιοτήτων που επιθυμούμε να προσδώσουμε στα προς κατασκευή 3διάστατα αντικείμενα/δομήματα) ενώ όπως είναι προφανές η τεχνική αυτή απέχει παρασάγγας από τις παραδοσιακές κατασκευαστικές μεθόδους όπου είτε αφαιρείται υλικό (κοπή/τόρνευση) είτε χρησιμοποιούνται καλούπια μορφοποίησης. Πέραν από τις συζητήσεις (τόσο σε φιλοσοφικό, επιστημονικό, κοινωνικό αλλά και οικονομικό επίπεδο π.χ. μείωση κόστους κατασκευής, ερευνητικές χρηματοδοτήσεις στοχευμένης/εφαρμοσμένης έρευνας αλλά και επιπτώσεις σε δικαιώματα ευρεσιτεχνιών/κατοχυρωμένα πνευματικά δικαιώματα), την προώθηση της Ομότιμης Παραγωγής (“*commons-based peer production*”) κατά Καθ. Υ. Benkler αλλά και την συνεχιζόμενη έρευνα όσον αφορά τα πιθανά πεδία εφαρμογής, η τεχνολογία αυτή είναι σίγουρο ότι θα αποτελέσει χώρο αναζήτησης και σύγκρουσης, συνεπώς: Εξελίξεις. [II. 142 - 148] Άξιος αναφοράς και ενδεικτικός του ευρύτατου φάσματος πιθανών εφαρμογών της 3D εκτύπωσης, είναι τόσο οι σχολικές/μαθησιακές (συμπεριλαμβανομένου των μαθητών με αναπηρίες -τυφλότητα) όσο και οι εξαιρετικά εξειδικευμένες κατασκευαστικές (π.χ. πλήρης κατασκευή οικείας ή δομήματος μόνο με 3D εκτύπωση σε χρονικό διάστημα λιγότερο της μίας ημέρας, με επόμενο βήμα σχεδιασμού την αυτοματοποιημένη κατασκευή διαστημικής βάσης!). [II. 149 - 154] Επί της παρούσης, τα κύρια αρνητικά στοιχεία της τεχνικής αυτής είναι το κόστος των υλικών και του 3D εκτυπωτή όπως καθώς και η συγκριτικά μικρή ταχύτητα κατασκευής (έναντι των καθιερωμένων γραμμών μαζικής παραγωγής), ενώ γίνεται δε εύκολα αντιληπτό ότι αυτή η τεχνολογία θα αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του μέλλοντος μας.

Το δεύτερο σημαντικό πεδίο έντονου ερευνητικού ενδιαφέροντος, ενδεικτικό του τι μπορούμε να αναμένουμε στο άμεσο μέλλον είναι οι μαζικές λύσεις/εφαρμογές δομικών υλικών σε έργα υποδομής –ιδιαιτέρως στις αναπτυσσόμενες χώρες, αλλά και στις αναπτυσσόμενες χώρες–, όπως τα κάτωθι έργα και δομήματα: αντιολισθηρά/ασφαλτικά οδοστρώματα από σκυρόδεμα, βιομηχανικά δάπεδα από σκυρόδεμα, οροφές, προκατασκευασμένοι κυβόλιθοι, πλάκες πεζοδρομίου και κράσπεδα. Στα παραπάνω αυτά, η χρήση “πράσινων” υλικών επιτυγχάνει την πραγμάτωση αρχών σχεδιασμού Οικο-Καινοτομίας (“*Eco-Innovation*”) και επιφέρει την αξιοποίηση και πρόσδοση προστιθέμενης αξίας σε εξαιρετικά ευρύ φάσμα υλικών, από βιομηχανικά παραπροϊόντα μέχρι οικοδομικά

απορρίμματα και ανακυκλωμένο σκυρόδεμα από την βιομηχανία της Κατασκευής. Οι χρήσεις αυτές προσανατολίζονται προς αλλά και συμπεριλαμβάνουν τόσο εφαρμογές φωτοκαταλυτικών υλικών και ψυχρών υλικών υψηλής ανακλαστικότητας (“cool materials”), –τα οποία αποδομούν αέριους κυκλοφοριακούς ρύπους και περιορίζουν το φαινόμενο των θερμικών νησίδων στο αστικό δομημένο περιβάλλον– όσο και εφαρμογές ενίσχυσης/προστασίας αλλά και δυνατοτήτων χαμηλής ανάγκης συντήρησης των έργων, με έμφαση στην ανθεκτικότητα τους. [II. 155 - 168] Σημειώνεται δε, ότι ο τομέας των Μεταφορών και Υποδομών παγκοσμίως αποτελεί θεμελιώδες πεδίο ερευνητικής, οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης καθώς η ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών (π.χ. μέσω των οποίων αξιοποιούνται απόβλητα, βιομηχανικά παραπροϊόντα και ανακυκλωμένα υλικά) βελτιώνει ζητήματα τόσο του παραγωγικού κύκλου όσο και θέματα Αειφορίας, αποδοτικότητας κόστους (“cost-efficiency”), ενεργειακής αποδοτικότητας (“energy-efficiency”) και περιβαλλοντικής διαχείρισης (π.χ. μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, μείωση αποτυπώματος άνθρακα των παραγόμενων προϊόντων, μείωση οικονομικών εξόδων περιβαλλοντικά φιλικά απόθεσης αποβλήτων και βιομηχανικών παραπροϊόντων).

II.g. Εν κατακλείδι, η σημασία της έννοιας “Ανθεκτικότητα Σκυροδέματος”

Η τελευταία υποενότητα του Κεφαλαίου πραγματεύεται της έννοιας “Ανθεκτικότητα Σκυροδέματος”, υπό την θέαση του δομημένου ανθρώπινου περιβάλλοντος και δη των εξαιρετικά δυσμενών συνθηκών στις οποίες υποβάλλεται το σκυρόδεμα όπως καθώς και της ανάγκης εξασφαλισμένης μακροχρόνιας υπηρεσίας και χρόνου ζωής (*service life time*). Η ειδοποιός διαφορά των εφαρμογών/έργων από σκυρόδεμα σε σχέση με π.χ. ιστορικές κατασκευές (οι οποίες επιβιώνουν μέχρι τις ημέρες μας) έγκειται στο ότι το σκυρόδεμα τοποθετείται με πρόβλεψη και σχεδιασμό ικανό ώστε να ανταπεξέρχεται και να συνεχίζει να επιτελεί έργο στο διηνεκές (έναντι του να υφίσταται μεν, αλλά ανίκανο να φέρει σε πέρας τον σκοπό της κατασκευής του χωρίς ανάγκη για εκτεταμένη και κοστοβόρα συντήρηση).

Για τον λόγο αυτό, η επιζητούμενη “Αειφόρος Κατασκευή” συνάδει και είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ιδιότητα της “Ανθεκτικότητας” του σκυροδέματος, της οποίας ο ορισμός έχει ως εξής: “Ανθεκτικότητα σκυροδέματος ορίζεται η ικανότητα αυτού να αντιστέκεται για όλη την διάρκεια ζωής του σε δυσμενείς επιδράσεις φθοράς και διάβρωσης λόγω του περιβάλλοντος/καιρικών συνθηκών, χημικών επιθέσεων αλλά και της τριβής ενώ ταυτόχρονα διατηρεί τις επιθυμητές μηχανικές του ιδιότητες και την δυνατότητα του να επιτελεί το έργο για το οποίο έχει σχεδιαστεί να αναλάβει.”. [II. 170 - 171]

Εντούτοις, διαγράφεται ξεκάθαρα και μόνο βάσει του ορισμού της, ότι η Ανθεκτικότητα είναι η “λεωφόρος” μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η μακροβιότητα του σκυροδέματος, “καθ’οδόν” και στο όνομα του τελικού προορισμού: της επιτυχούς αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών προκλήσεων αλλά και της επίτευξης Αειφορίας και Βιώσιμης Ανάπτυξης. [II. 172 - 173] Αυτή η στρατηγική μετάβαση και έμφαση, ουσιαστικά περικλείει αρχές Ασφαλείας (“Safety”), Ανθεκτικότητας (“Durability”), Λειτουργικότητας (“Functionality”) αλλά και ευκολίας Συντήρησης (“Serviceability”), όλες εκ των οποίων οδηγούν ολιστικά στην Αειφορία. Εν συνεχεία, τονίζεται ότι αυτή η Κοινωνική ανάγκη και η πίεση προς την δημιουργία ολιστικών/καινοτόμων αειφόρων προϊόντων και έργων από σκυρόδεμα αποτελεί εφαλτήριο και κίνητρο προς την αντιμετώπιση θεμάτων ανθεκτικότητας σκυροδέματος: διακύβευμα δεν αποτελεί μόνο η εκπλήρωση των λειτουργικών προδιαγραφών των έργων από σκυρόδεμα (με ταυτόχρονα ικανοποιημένες τις συνθήκες πρόβλεψης ανακύκλωσης μετά το πέρας της χρήσης, ελαχιστοποιημένου κόστους συντήρησης και ικανότητας των έργων να παραμένουν σε συνθήκες λειτουργικότητας και “εύκολης” επισκευής/συντήρησης για εκτεταμένα χρονικά διαστήματα) αλλά και η εύρεση της υποκείμενης

ολιστικής θεωρίας, η οποία να πραγματεύεται/θεραπεύει επιτυχώς αυτά τα μείζονα θέματα ανθεκτικότητας. [II. 174 - 177]

Η Αειφορία του Σκυροδέματος αποτελεί ένα πεδίο με εξαιρετικό εύρος και ερευνητικό ενδιαφέρον, συνεπώς αναφερόμενοι στην ενότητα της ανθεκτικότητας αυτού, μοιραία υπεισέρχονται στην συζήτηση ζητήματα φθοράς και συντήρησης του σκυροδέματος, τα οποία άπτονται τόσο σε καθαρής φύσεως θέματα “χημείας & τεχνολογίας τσιμέντου και σκυροδέματος” όσο σε προσεγγιστικές θεωρήσεις παθολογίας των κτιρίων (μέσω π.χ. της θεώρησης της φθοράς του σκυροδέματος ως αρχική υπόθεση εργασίας προς μελέτη και πρόβλεψη χρόνου ζωής ενός δομήματος από σκυρόδεμα). Κύριο λόγο στα παραπάνω έχει ο σχεδιασμός για Ανθεκτικότητα, ο οποίος βασίζεται στην ανάπτυξη ποσοτικών μοντέλων απεικόνισης και πρόβλεψης των φαινομένων φθοράς βάσει των οποίων θα “χαραχτούν” πολιτικές και ντιρεκτίβες σχεδιασμού σκυροδέματος σε συγκεκριμένες συνθήκες/περιβάλλοντα και για συγκεκριμένους χρόνους ζωής (“service lifetime”). [II. 178]

Τέλος, εξαιρετικό πεδίο δυνητικού ερευνητικού ενδιαφέροντος αποτελεί η επιτυχής ποσοτικοποίηση των ολιστικών/συνδυασμένων επιδόσεων των Κατασκευών σε ολόκληρο το εύρος και χρόνο λειτουργίας αυτών. [II. 179]

Βιβλιογραφία Κεφαλαίου II:

- II.1. World Business Council for Sustainable Development – Cement Sustainability Initiative, “Sustainability Benefits of Concrete”, <http://www.wbcscement.org/index.php/about-cement/benefits-of-concrete>
- II.2. World Business Council for Sustainable Development – Cement Sustainability Initiative, “Recycling Concrete”, <http://www.wbcscement.org/pdf/CSI-RecyclingConcrete-Summary.pdf>
- II.3. Mehta P., Monteiro, P., “Concrete: Structure, Properties and Materials”, 3rd Edition, 2006, McGraw-Hill.
- II.4. Neville A., Brooks J., “Concrete Technology”, 2nd Edition, 2010, Prentice-Hall.
- II.5. Neville A., “Properties of Concrete”, 4th Edition. 1995, Prentice-Hall.
- II.6. ΕΛΟΤ EN 206-1, “Σκυρόδεμα – Προδιαγραφή, παραγωγή, επιδόσεις, παραγωγή και συμμόρφωση”
- II.7. TITAN A.E., “Η ιστορία του σκυροδέματος”, <http://www.interbeton.gr/default.asp?pageid=38&langid=1>
- II.8. British Cement Association, “Concrete Through the Ages”, 1999.
- II.9. Stanley C., “Highlights in the History of Concrete”, British Cement Association, 1979.
- II.10. Irish Cement, “History of Cement”, <http://www.irishcement.ie/about/history-of-cement/>
- II.11. Hitchcock D., “Lepenski Vir - a Mesolithic site on the Iron Gates Gorge of the Danube”, <http://donsmaps.com/lepenski.html>
- II.12. Department of Materials Science and Engineering, University of Illinois Urbana-Champaign, “Materials Science and Technology - The History of Concrete: Textual”, 2014, <http://matse1.matse.illinois.edu/concrete/hist.html>
- II.13. ACI Committee 116, “Cement & Concrete Terminology”, 2005
- II.14. ACI CT-13, “ACI Concrete Terminology”, Ιανουάριος 2013
- II.15. ASTM C 125 – 13b, “Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates”
- II.16. INTERBETON Δομικά Υλικά Α.Ε., “Τι είναι τα αδρανή υλικά”, <http://www.interbeton.gr/default.asp?langid=1&pageid=65>
- II.17. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής, “Ορυκτοί Φυσικοί Πόροι – Λατομικά Ορυκτά”, <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=297>
- II.18. Χρυσοβελίδου, Δ., “Αδρανή σκυροδέματος: Εφαρμογή των Προτύπων ΕΛΟΤ EN 206-1 και ΕΛΟΤ EN 12620”, Ενημερωτική Εσπερίδα ΕΛΟΤ & ΤΕΕ “Ελληνικό Πρότυπο σκυροδέματος ΕΛΟΤ EN 206-1”, Αθήνα, 6^η Μαρτίου 2012.
- II.19. ΕΛΟΤ 408, “Προσδιορισμός αντοχής μητρικού πετρώματος αδρανών υλικών”, 1979.
- II.20. ΕΛΟΤ EN 12620, “Αδρανή για Σκυρόδεμα”, 2013.
- II.21. Λίτινας, Ν, “Αδρανή υλικά στο σκυρόδεμα”, http://skyrodemanet.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=47

- II.22.** ΕΛΟΤ EN 1008, “Νερό ανάμιξης σκυροδέματος - Προδιαγραφή για δειγματοληψία, έλεγχο και αξιολόγηση της καταλληλότητας του νερού, συμπεριλαμβανομένου του νερού που ανακτάται από διεργασίες στη βιομηχανία σκυροδέματος, για τη χρήση του ως νερό ανάμιξης σκυροδέματος”, 2002.
- II.23.** ΕΛΟΤ 345, “Το ύδωρ αναμίξεως και συντηρήσεως σκυροδέματος”, 1979.
- II.24.** Hirschi T., Knauber H., Lanz M., Schlumpf J., Schrabach J., Spirig C., Waebe U., “Εγχειρίδιο Τεχνολογίας Σκυροδέματος Sika”, Ιανουάριος 2007.
- II.25.** Kosmatka S., Kerkhoff B., Panarese W., “Design and Control of Concrete Mixtures – Chapter 4, Mixing water for concrete”, PCA, 2003.
- II.26.** ASTM C1602M, “Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete”, 2012.
- II.27.** Goud, N, “Role of Water in “Man Made Rock”, Larsen & Toubro (L&T) Construction, 2011.
- II.28.** ΕΛΟΤ EN 934, “Πρόσθετα Σκυροδέματος, Κονιαμάτων και Ενεμάτων - Μέρος 2: Πρόσθετα σκυροδέματος, ορισμοί, απαιτήσεις, συμμόρφωση, σήμανση και επισήμανση”, 2005.
- II.29.** ASTM C494M, “Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete”, 2013.
- II.30.** ASTM G109, “Standard Test Method for Determining Effects of Chemical Admixtures on Corrosion of Embedded Steel Reinforcement in Concrete Exposed to Chloride Environments”, 2013.
- II.31.** Μπατής Γ., Μπεάζη- Κατσιώτη Μ. “Τα Πρόσθετα Σκυροδέματος”, Buildnet.gr, 2010 <http://www.buildnet.gr/default.asp?pid=156&la=1&catid=121&artid=1757>
- II.32.** Ζέρης Χ., “Στοιχεία τεχνολογίας σκυροδέματος Τα επί μέρους υλικά”, Δεκέμβριος 2013 http://courses.arch.ntua.gr/fsr/145804/2_Υλικά-2.pdf
- II.33.** ΕΛΟΤ EN 12878, “Πιγμέντα για το χρωματισμό δομικών υλικών, που βασίζονται στο τσιμέντο ή/και στον ασβέστη-Προδιαγραφές και μέθοδοι δοκιμής”, 2012.
- II.34.** ΕΛΟΤ EN 450-1, “Ιπτάμενη τέφρα για σκυρόδεμα – Μέρος 1: Ορισμός, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης”, 2012.
- II.35.** ΕΛΟΤ EN 197-1, “Τσιμέντο - Μέρος 1: Σύνθεση, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης για κοινά τσιμέντα”, 2000.
- II.36.** ΕΛΟΤ EN 196-2, “Μέθοδοι δοκιμής τσιμέντου – Μέρος 2: Χημική ανάλυση τσιμέντου”, 2000.
- II.37.** ΕΛΟΤ EN 197-2, “Αξιολόγηση συμμόρφωσης”, 2000.
- II.38.** Τσακαλάκης Κ., “Τεχνολογία Παραγωγής Τσιμέντου και Σκυροδέματος”, ΕΜΠ, Αθήνα, 2010.
- II.39.** Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος, “Πρότυπα τσιμέντου”, <http://www.hcia.gr/6aGR.html>
- II.40.** Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος, “Υδραυλικές ιδιότητες τσιμέντου”, <http://www.hcia.gr/3cGR.html>
- II.41.** Tan Zhijun, “Hydration Mechanisms of Portland Cement: Topochemical or Through-Solution Reaction?”, Cement Science – World of Cementitious Materials, 2012, <http://www.cementscience.com/2012/11/hydration-mechanisms-of-portland-cement-topochemical-or-through-solution-reaction.html>
- II.42.** Taylor H., “Cement Chemistry”, First edition: Academic Press (1990), 2nd edition, Thomas Telford (1997).
- II.43.** Labahn O., Kohlhas, B, “Cement Engineers’ Handbook”, 4th edition, International Public Service, 1982.
- II.44.** Newman, J., “Advanced Concrete Technology, Part 3: Processes”, 1st edition, Butterworth-Heinemann, 2003.
- II.45.** Teychenne, D., Franklin R., Ernroy H., “Design of normal concrete mixes”, Building Research Establishment Reports, 1988.
- II.46.** Marsh B., “Design of normal concrete mixes”, Building Research Establishment, 1997.
- II.47.** Maso J., “Combining Materials: Design, production and properties”, Proceedings of the 1st international Congress held by RILEM (the International Union of Testing and Research Laboratories for Materials & Structures), Palais des Congres, Versailles, France, 7-11th September 1987, Chapman & Hall, 1987.
- II.48.** Portland Cement Association, “Design and control of concrete mixtures”, 15th edition, 2003.
- II.49.** ACPA Education & Training, “Concrete properties & mix design”, <http://www.astecinc.com/images/concrete/presentations/ACPA%20MIX%20DESIGN%20PRESENTATION.pdf>
- II.50.** Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, “ΕΚΩΣ 2000 - Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος”, Αθήνα, 2000.
- II.51.** Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, “ΕΑΚ 2000 - Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός”, Αθήνα, 2000.
- II.52.** Κανελλόπουλος Α., “Αντισεισμικός σχεδιασμός και ενίσχυση κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα”, Cubus Hellas, Αθήνα, 2007.
- II.53.** ΦΕΚ 1416/Β/17.7.2008, “ΚΤΧ 2008 - Νέος κανονισμός τεχνολογίας χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος”, Αθήνα, 2008.

- II.54. Οικονόμου, Μ., Καραγιάννης, Χ., "Προεντεταμένο Σκυρόδεμα", Τεκδοτική Α.Ε., Αθήνα, 2007.
- II.55. El-Reedy, M., "Advanced materials and techniques for reinforced concrete structures", CRC Press, 2009.
- II.56. Bungale T., "Wind and earthquake resistant buildings: Structural analysis and design", CRC Press, 2004.
- II.57. Whittle R., "Failures in concrete structures case studies in reinforced & prestressed concrete", CRC, 2013.
- II.58. Mosley, W.H., "Reinforced concrete design: to Eurocode 2", Palgrave Macmillan, 2007.
- II.59. Gioncu V., Mazzolani F., "Earthquake engineering for structural design", CRC Press, 2010.
- II.60. MacGregor J., Wight J., "Reinforced concrete, mechanics and design", 4th edition, 2005.
- II.61. Yoo C., Lee, S., "Stability of structures: principles and applications", Butterworth-Heinemann, 2011.
- II.62. Mohiuddin A., "Earthquake-resistant structures", Butterworth-Heinemann, 2013.
- II.63. Daczko J., "Self-consolidating concrete: applying what we know", CRC Press, 2012.
- II.64. Γεωργίου Κ., "ΑΣΣ και ελληνική πραγματικότητα. Λύσεις με ΑΣΣ στην Ελλάδα από INTERMPETON", "Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα", Αθήνα, 7 Μαΐου, 2008.
- II.65. Διαμαντώνης Ν., "Ιδιότητες πάσας ταιμένου σε αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα", Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2008.
- II.66. Διαμαντώνης Ν., Μαρίνος Ι., Κασιώτης Μ., Σακελλαρίου Α., Παπαθανασίου Α., Καλοϊδής Β., Μπεάζη-Κασιώτη Μ., "Επίδραση λεπτόκοκκων υλικών στο ιξώδες της πάσας ταιμένου για αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα", 16^ο Συνέδριο Σκυροδέματος ΤΕΕ & Ελληνικό Τμήμα Σκυροδέματος, ΕΤΕΚ, Πάφος, Κύπρος, 21-23 Οκτωβρίου, 2009.
- II.67. Concrete Lab, Department of Civil Engineering, Faculty of Science & Engineering of CHYO University, <http://www.civil.chuo-u.ac.jp/lab/concre/kougishiryō.pdf>
- II.68. Self-Compacting Concrete European Project Group, "European SCC guidelines - specification and guidelines for self-compacting concrete", May 2005.
- II.69. ΠΕΤΕΠ 01-01-06-00, "Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα", Μάιος 2006.
- II.70. Aïtcin P., "High performance concrete - Modern concrete technology", CRC Press, 1998.
- II.71. Shi C., "High-performance construction materials: Science and applications (engineering materials for technological needs)", World Scientific Publishing Company, 2008.
- II.72. Μαρίνος Ι., Κερμετζόγλου Α., Καλοϊδής Β., Ρουβέλας Γ., "Ινοπλισμένο κονίαμα υψηλών αντοχών", 15^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, Αλεξανδρούπολη, 25-27 Οκτωβρίου, 2006.
- II.73. Monteiro P., "High performance concrete"
http://www.ce.berkeley.edu/~paulmont/241/high_performance_concrete.pdf
- II.74. Monteiro P., "High strength and high performance concrete"
<http://www.ce.berkeley.edu/~paulmont/241/HSC.pdf>
- II.75. Xincheng P., "Super-high-strength high performance concrete", CRC Press, 2013.
- II.76. U.S. Department of Homeland Security, "Ultra high performance concrete - Pathway to commercialization", <http://www.dhs.gov/xlibrary/assets/ultra-high-performance-concrete-roadmap.pdf>
- II.77. Ahlborn T., "Ultra high-performance concrete offers untapped potential for the U.S. precast market", <http://precast.org/precast-possibilities/case-studies/ultra-high-performance-concrete/>
- II.78. The Economist, "Bunker-busting: smart concrete", 3rd of March, 2012.
<http://www.economist.com/node/21548918>
- II.79. American Concrete Institute, "ACI 522R-10 - Report on pervious concrete", March 2010.
- II.80. Hodson C., "The practical implications of infiltratable (ecological) block paving", 6th International Conference on Concrete Block Pavings, Tokyo, Japan, 2000.
- II.81. National Concrete Pavement Technology Center, "Sustainable concrete pavements: A manual of practice", January 2012.
- II.82. Λυκούδης Σ., "Διαπερατό σκυρόδεμα (pervious concrete)"
<http://www.buildnet.gr/files/ebooks/72/diaperato%20skirodema.pdf>
- II.83. Yadav N., Shah j., Shah R., "Pervious concrete: Solution for low cost construction", International Journal of Innovative Science and Modern Engineering (IJISME), Volume 1, Issue 10, September 2013, pp 2319–6386.
- II.84. Priyadarshana T., Jayathunga T., Dissanayake R., "Pervious concrete – A sustainable choice in civil engineering and construction", ICSBE 2012: International Conference on Sustainable Built Environment, Sri Lanka, 14-16th December, 2012.
- II.85. Mohamed A., Gamal M., "Sulfur concrete for the construction industry: A sustainable development approach (civil & environmental engineering)", J. Ross Publishing, 2010.
- II.86. ACI Committee 548, "ACI 548.2R - Guide for Mixing and Placing Sulfur Concrete in Construction", 1988.

- II.87.** McBee W., Sullivan T., Jong B., "Industrial Evaluation of Sulfur Concrete in Corrosive Environments", Bureau of Mines Report of Investigations, 1983.
- II.88.** Loov R., Vroom A., Ward M., "Sulfur concrete-a new construction material", PCI Journal, Jan-Feb 1974.
- II.89.** Weber H., "New applications and expanding markets for sulphur polymer cement concrete", The Sulphur Institute, 1993.
- II.90.** Okumura H., "Sulfurcrete - Sulfur concrete technology", The Sulphur Institute.
- II.91.** Casanova, I., "Feasibility and applications of sulfur concrete for lunar base development: A preliminary study", 28th Lunar & Planetary Science Conference, Texas, 17-21st March, 1997.
- II.92.** Parra-Montesinos G., Reinhardt H., Naaman A., "High performance fiber reinforced cement composites 6: HPRCC 6 (RILEM Bookseries)", Springer, 2011.
- II.93.** Karbhari V., "Rehabilitation of metallic civil infrastructure using fiber reinforced polymer (FRP) composites: Types properties and testing methods (Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering)", Woodhead Publishing, 2014.
- II.94.** Bank L., "Composites for construction: Structural design with FRP materials", Wiley, 2006.
- II.95.** Bentur A., Mindess S., "Fibre reinforced cementitious composites", Wiley, 2006.
- II.96.** Balaguru P., Nanni A., Giancaspro J., "FRP composites for reinforced and prestressed concrete structures - A guide to fundamentals and design for repair and retrofit", Taylor & Francis, 2009.
- II.97.** ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΤΔΕ, "Σχέδιο Προδιαγραφής για το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα", 2000.
- II.98.** EFNARC, "European specification for sprayed concrete - Guidelines for specifiers and contractors", 1999.
- II.99.** Bachmann H., Steinle A., "Precast concrete structures", Ernst & Sohn, 2011.
- II.100.** Bennett D., "The art of precast concrete", Birkhäuser Architecture, 2005.
- II.101.** Kim E., "Precast Concrete Structures", CRC Press, 2002.
- II.102.** Bachmann H., Steinle A., "Precast Concrete Structures", Ernst & Sohn, 2011.
- II.103.** Case J., Lord C., Ross, C., "Strength of Materials & Structures", 4th Edition, Butterworth-Heinemann, 1999.
- II.104.** Portland Cement Association, "Proceedings of the Emerging Technologies Symposium on Cement and Concrete in the Global Environment", March 10-11th, 1993, O'Hare Marriott Hotel, Chicago, Illinois.
- II.105.** Whittle R., "Failures in concrete structures: Case studies in reinforced/prestressed concrete", CRC, 2013.
- II.106.** Bangash M., "Earthquake resistant buildings: Dynamic analyses, numerical computations, codified methods, case studies and examples", Springer, 2011.
- II.107.** Bhatti J., MacGregor Miller F., Kosmatka S., "Innovations in Portland Cement Manufacturing", Portland Cement Association, 2004.
- II.108.** Gould F., "Managing the construction process", 4th Edition, Prentice Hall, 2011.
- II.109.** Gasparini P., Manfredi G., Asprone D., "Resilience & Sustainability in Relation to Natural Disasters: A challenge for future cities (SpringerBriefs in Earth Sciences)", Springer, 2014.
- II.110.** Hollaway L., Chryssanthopoulos M., Moy S., "Advanced polymer composites for structural applications in construction: ACIC 2004 (Series in Civil & Structural Engineering)", Woodhead Publishing, 2004.
- II.111.** White S., Sottos N., Geubelle P., Moore J., Kessler M., Sriram S., Brown E., Viswanathan S., "Autonomic healing of polymer composites", Nature 409, 2001, pp 794-797
- II.112.** Wua M., Johannesson B., Geiker M., "A review: Self-healing in cementitious materials and engineered cementitious composite as a self-healing material", Construction and Building Materials 28, 2012, pp 571-583.
- II.113.** De Belie N., Van der Zwaag S., Gruyaert E., Van Tittelboom K., Debbaut B., "Proceedings of the Fourth International Conference on Self-Healing Materials - ICSHM2013", Ghent (Belgium), June 16-20th 2013.
- II.114.** Schlangen E., "Self healing concrete and asphalt", BETONICA webinar
<http://www.betonica.be/index.cfm?n01=elearning&n02=webinars>
- II.115.** Li V., Kanda T., "Engineered cementitious composites for structural applications", ASCE Journal of Materials in Civil Engineering 10 (2), 1998, pp 66-69.
- II.116.** Barboza T., "To clean the air, Dutch scientists invent pavement that eats smog", LA Times, July 5th, 2013.
<http://articles.latimes.com/2013/jul/05/science/la-sci-sn-smog-eating-street-20130705>
- II.117.** Κατσιώτης Μ., "Μελέτη του πορώδους νανοκρυσταλλικών υλικών και της ενυδάτωσης φωτοκαταλυτικών κονιαμάτων που περιέχουν Τιτανία με Φασματοσκοπία Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού και Μικροσκοπία Ατομικών Δυνάμεων", Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, 2009.
- II.118.** Hanus M., Harris A., "Nanotechnology innovations for the construction industry", Progress in Materials Science 58 (7), 2013, pp 1056-1102.
- II.119.** Kumar, P., Azarmi, F., Mulheron, M., "Enlightening and noxious shades of nanotechnology application in concrete", Nanotechnology Construction Engineering 9, 2013, pp. 255-287.

- II.120.** Boonen E., "Photocatalytic roads - From lab tests to real scale applications", Young Researchers Seminar 2011, DTU, Denmark, June 8-10th, 2011.
- II.121.** Στέγη Ελληνικής Βιομηχανίας (ΣΕΒ), "Τεχνολογία & Καινοτομία: Νανοτεχνολογία", Ενημερωτικό Δελτίο, Νοέμβριος 2012.
- II.122.** Mehta K., "Reducing the environmental impact of concrete", Concrete Int., October 2001, pp 61-66.
- II.123.** "Sustainable cement production: Co-processing of Alternative Fuels and Raw Materials in the Cement Industry", January 2009.
- II.124.** Τέας Χ., Καλημέρης Β., Ριζιώτη Φ., Χανιωτάκης Ε., "Εναλλακτικά καύσιμα στην παραγωγική διαδικασία τσιμέντου", Πρακτικά "1^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου για την Αξιοποίηση των Βιομηχανικών Παραπροϊόντων στη Δόμηση (ΕΒΙΠΑΡ)", Θεσσαλονίκη, 24-26 Νοεμβρίου 2005.
- II.125.** Richardson A., "Reuse of Materials and Byproducts in Construction: Waste Minimization and Recycling (Green Energy and Technology)", Springer, 2013.
- II.126.** Pacheco-Torgal F., "Eco-efficient construction and building materials: Life cycle assessment (LCA), eco-Labeling and case studies", Woodhead Publishing, 2014.
- II.127.** Liu C., "Green architecture", LST Publishing House, 2011.
- II.128.** Attaf B., "Advances in composite materials - Ecodesign and analysis", Intech, 2014.
- II.129.** Talaba D., Roche T., "Product engineering: Eco-design, technologies and green energy", Springer, 2005.
- II.130.** Nosonovsky M., "Biomimetics in Materials Science: Self-Healing, Self-Lubricating, and Self-Cleaning Materials (Springer Series in Materials Science)", Springer, 2011.
- II.131.** Van Der Zwaag S., "Self-healing materials: An alternative approach to 20 centuries of materials science (Springer Series in Materials Science)", Springer, 2007.
- II.132.** Yudelson J., "Green building through intergrated design", McGraw-Hill, 2009.
- II.133.** Yudelson J., "The green building revolution", Island Press, 2007.
- II.134.** Reeder L., "Guide to green building rating systems (Wiley Series in Sustainable Design)", Wiley, 2010.
- II.135.** Woolley T., "Low impact building: Housing using renewable materials", Wiley-Blackwell, 2013.
- II.136.** Kuhn T., "The structure of scientific revolutions", 2nd edition, University of Chicago Press, 1970.
- II.137.** Winnan C., "3D printing: The next technology gold rush (future factories and how to capitalize on distributed manufacturing)", CreateSpace Independent Publishing Platform, 2013.
- II.138.** Fisher G., "Blender 3D printing essentials", Packt Publishing, 2013.
- II.139.** Stokes M., "3D printing for architects with MakerBot", Packt Publishing, 2013.
- II.140.** Kaelin B., "Cornell students 3D print with food", 3D Printer World, July 18th, 2013.
<http://www.3dprinterworld.com/article/cornell-students-3d-print-with-food>
- II.141.** Kelion L., "CES'14: 3D food printers create sweets and chocolates", BBC News Technology, January 8th 2014, <http://www.bbc.com/news/technology-25647918>
- II.142.** Weinberg M., "It will be awesome if they don't screw it up", 3Ders.org, January 19th, 2012.
<http://www.3ders.org/articles/20120119-michael-weinberg-it-will-be-awesome-if-they-dont-screw-it-up.html>
- II.143.** Weinberg M., "What is the deal with copyright and 3D printing?", 3Ders.org, January 30th, 2013.
<http://www.3ders.org/articles/20130130-new-white-paper-so-what-is-the-deal-with-copyright-and-3d-printing.html>
- II.144.** Arthur C., "Is 3D printing about to hit the mainstream?", The Guardian, April 30th, 2013.
<http://www.theguardian.com/technology/2013/apr/30/3d-printing-mainstream-technology>
- II.145.** Zurcher A., "The disruptive power of 3Ds printing", BBC News, March 26th, 2014.
<http://www.bbc.com/news/blogs-echochambers-26755692>
- II.146.** Vance A., "3D printing spurs a manufacturing revolution", New York Times, September 13th, 2010.
www.nytimes.com/2010/09/14/technology/14print.html
- II.147.** Conference "3D printing: Destiny, doom or dream?", eLaw, the Centre for Law in the Information Society, Leiden University, Leiden Law School, The Netherlands, November 2013.
<http://elawconferences.org/eLaw-Conference-2013/welcome.html>
- II.148.** The White House, Office of the Press Secretary, "Obama Administration Launches Competition for Three New Manufacturing Innovation Institutes", May 9th, 2013.
<http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2013/05/09/obama-administration-launches-competition-three-new-manufacturing-innova>
- II.149.** Merlin J., "How 3D printing is changing the shape of lessons", BBC News, April 15th, 2014.
<http://www.bbc.com/news/business-26871084>
- II.150.** "Το P2P Lab φέρνει την επανάσταση της 3D εκτύπωσης στα σχολεία", Κυριακάτικη Ελευθεροτυπία, 24 Μαρτίου 2013, <http://www.enet.gr/?i=news.el.episthmh-technologia&id=351969>
- II.151.** Knill O., Slavkovsky E., "Thinking like Archimedes with a 3D printer", Cornell University, January 21st, 2013.

<http://arxiv.org/abs/1301.5027>

- II.152.** Rose D., "Could 3D printing provide new solutions for disabled people?", BBC News, January 31st, 2014.
<http://www.bbc.com/news/blogs-ouch-25947021>
- II.153.** Mearian L., "3D printing techniques will be used to construct buildings, here and in outer space", Computerworld, September 18th, 2013.
http://www.computerworld.com/s/article/print/9242482/3D_printing_techniques_will_be_used_to_construct_buildings_here_and_in_outer_space_
- II.154.** Khoshnevis B., "Contour crafting simulation plan for lunar settlement infrastructure build-up", NASA Space Technology Mission Directorate, February 16th, 2013.
http://www.nasa.gov/directorates/spacetech/niac/khoshnevis_contour_crafting.html
- II.155.** Fwa T., "The handbook of highway engineering", CRC Press, 2005.
- II.156.** O'Flaherty C., "Highways: The location, design, construction & maintenance of pavements", 4th edition, CRC Press, 2002.
- II.157.** Fennis, S., "Design of ecological concrete by particle packing optimization", PhD thesis TU Delft, the Netherlands, 2011.
- II.158.** Lavin P., "Asphalt pavements: A practical guide to design production and maintenance for engineers and architects", CRC Press, 2003.
- II.159.** British Cement Association, "Worked examples for the design of concrete buildings", BCA, 1994.
- II.160.** Νεοκλέους Κ., Πηλακούτας Κ., Χατζημίσης Δ., Νεοφύτου Π., Θεμιστοκλέους Κ., Καλλής Σ., "Ανάπτυξη νέου τύπου οδοστρωμάτων σκυροδέματος: Πιλοτικός δρόμος στην Πάφο", 16^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, 21-23/10/2009, Πάφος, Κύπρος.
- II.161.** Poon C., Chan D., "Paving blocks made with recycled concrete aggregate and crushed clay brick", Construction and Building Materials 20, 2006, pp. 569–577.
- II.162.** Μαρίνος Ι., "Ειδικές υδραυλικές κονίες οδοστρωμάτων", ΕΒΙΠΑΡ "Επιμορφωτικό Σεμινάριο για μηχανικούς: Οδοστρώματα από σκυρόδεμα", Θεσσαλονίκη, 4-8 Δεκεμβρίου 2006.
- II.163.** Κατσάκου Μ., Κόλιας Σ., "Μηχανικά χαρακτηριστικά ανακυκλωμένων με τσιμέντο μιγμάτων θραυστού αμμοχάλικου και φρεζαρισμένου ασφαλτομίγματος", 15^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, Αλεξανδρούπολη, 25-27 Οκτωβρίου, 2006.
- II.164.** Goulias D., "Development of low cost and innovative smart materials for highways and civil engineering structures", Computational Methods for Smart Structures and Materials II (Structures and Materials), WIT Press Computational Mechanics, 2000.
- II.165.** Pezzi L., De Luca P., Nagy J., Nastro, A., "Cement floor as ecological building materials", MEDICTA 2005: Mediterranean Conference on Calorimetry & Thermal Analysis, Proceedings 7TH, Thessaloniki, 2005, pp. 333-336.
- II.166.** Shackel B., "The design of concrete flag pavements", JIPEA World Congress, Japan, 2000, pp 453–462.
- II.167.** Abolin Co., "Cool and photocatalytic benefits at the service of public health and the environment", http://www.abolinco.com/downloads/downloads/Environmental_Handbook.pdf
- II.168.** Bissonnette B., Courard L., Fowler D., Granju J-L., "Bonded cement-based material overlays for the repair, the lining or the strengthening of slabs or pavements: State-of-the-art report of the RILEM Technical Committee 193-RLS", Springer, 2011.
- II.169.** PCI Committee on Parking Structures, "Precast prestressed concrete parking structures: Recommended practice for design and construction", Precast/Prestressed Concrete Institute, 1997.
- II.170.** Portland Cement Association, "Durability".
<http://www.cement.org/for-concrete-books-learning/concrete-technology/durability>
- II.171.** Όμιλος Εταιριών TITAN, "Εγχειρίδιο Σκυροδέτησης".
http://www.interbeton.gr/UserFiles/File/media_kit/185807_askiste_beton.pdf
- II.172.** Jahren P., Sui T., "Concrete and sustainability", CRC Press, 2013.
- II.173.** Arliguie G., Hornain H., "GraDduBé: Grandeurs associées à la durabilité des bétons", Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 2007.
- II.174.** Swamy R., "Holistic design – Key to sustainability in concrete construction", Proceedings of the ICE Structures and Buildings, Vol. 146, Issue 4, November 2001, pp. 371–79
- II.175.** Page C., Page M., "Durability of concrete and cement composites (Woodhead publishing series in civil and structural engineering)", Woodhead Publishing, 2007.
- II.176.** Sakai K., Noguchi T., "The sustainable use of concrete", CRC Press, 2012.
- II.177.** Macdonald A., "Structure and architecture", Routledge, 2001.
- II.178.** Douglas J., "Building adaptation", Routledge, 2002.
- II.179.** Smil V., "Making the modern world: Materials and dematerialization", Wiley, 2013.



WWW.OURFATHERZAYED.AE



THIS IMAGE IS RESERVED BY ABU DHABI MEDIA COMPANY

“Το ερημικό περιβάλλον μας έχει διδάξει να είμαστε υπομονετικοί μέχρι να καρποφορίσει η γη δίνοντας μας απλόχερα τους καρπούς της. Συνεπώς, πρέπει να είμαστε σθεναροί, να υποστηρίζουμε την οδύσσεια της ανάπτυξης και της μετάβασης ώστε να επιτευχθούν οι προσδοκίες του λαού μας.”

Η Αυτού Υψηλότητα, Σεΐχης Ζαγιέντ μπιν Σουλτάν αλ Ναγιάν, Πρόεδρος ΗΑΕ

ΕΙΔΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ 

Κεφάλαιο III.

Μη-Καταστροφικοί Έλεγχοι, Μέθοδοι & Τεχνικές Υλικών (*Non-Destructive Techniques*)

Περιεχόμενα Κεφαλαίου III:

III.a. Σύνοψη εισαγωγή και ορισμοί

III.b. Διαθέσιμες μέθοδοι ΜΚΕ, πεδία εφαρμογής και σημαντικοί σταθμοί-σημεία αναφοράς

III.c. Η σχέση μεταξύ μεθόδων ΜΚΕ και ποιοτικού ελέγχου σκυροδέματος

III.d. Η Μη-Καταστροφική Μέθοδος Ελέγχου της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών (Fiber Optic Microscopy)

III.a. Σύνοψη εισαγωγή και ορισμοί

Ένα γενικός ορισμός των Μη-Καταστροφικών Ελέγχων (ΜΚΕ) (*“Non Destructive Testing - NDT”*) είναι ως οι δοκιμές και μέθοδοι οι οποίες *“εξασφαλίζουν γρήγορο, αξιόπιστο, οικονομικό και ασφαλή έλεγχο -ιδιαίτερα στις κατασκευές υψηλού κινδύνου- μέσω της εξέτασης ενός αντικειμένου με τεχνολογίες οι οποίες δεν επηρεάζουν την μελλοντική του χρησιμότητα”*. [III. 1] Συνεπώς, οι ΜΚΕ των υλικών αποσκοπούν στην εκτίμηση (*“evaluation”*), διάγνωση (*“diagnosis”*), αξιολόγηση (*“inspection”*), έλεγχο κατάστασης (*“inspection”*) και την επιτυχή παρακολούθηση της δομικής ακεραιότητας (*“structural health monitoring”*) αυτών μέσω –ουσιαστικά– κάθε εξέτασης, δοκιμής ή εκτίμησης/αξιολόγησης, η οποία λαμβάνει χώρα σε οποιοδήποτε τύπο και μορφή δοκιμαστικού (αντιπροσωπευτικού) δείγματος χωρίς να επηρεάζει, αλλάζει ή επιδρά μόνιμα σε αυτό (υπό οιαδήποτε τρόπο), ούτως ώστε να εκτιμηθεί η παρουσία ή απουσία συνθηκών (ή ασυνεχειών) οι οποίες μπορεί να έχουν επίδραση στην χρησιμότητα ή επισκευασιμότητα (*“serviceability”*) του αντικειμένου. [III. 2]

Το γεγονός ότι οι ΜΚΕ επιτρέπουν την επιθεώρηση ενός τεμαχίου ώστε να διακριβωθεί η απόδοση και λειτουργικότητα του χωρίς να επηρεάζουν την ικανότητα αυτού να τεθεί άμεσα σε χρήση/λειτουργία ξανά, τις καθιστούν ως ξεχωριστό κλάδο της Μηχανικής, ο οποίος ενέχει όλες τις αντίστοιχες μεθόδους αποτίμησης ποιότητας, εκτίμησης της κατάστασης αλλά και ανίχνευσης ελαττωμάτων στα υλικά. Επιπλέον, αυτή ακριβώς η διακριτή τους ιδιότητα έχει οδηγήσει στην ραγδαία άνοδο και αύξηση χρήσης των ΜΚΕ στις βιομηχανίες παραγωγής (*“manufacturing”*), κατασκευής (*“construction”*), ενέργειας, συντήρησης (*“maintenance”*) αλλά και στην Έρευνα (βασική και εφαρμοσμένη). [III. 3] Η δέουσα προσοχή/σημασία πρέπει να δοθεί τόσο στην εστίαση/προσέγγιση των ΜΚΕ προς την αναγνώριση ελαττωμάτων (*“defects/flaws”*) (για την εγγύηση καλής λειτουργίας αλλά για επιτυχή ποιοτικό έλεγχο των υλικών) αλλά και ότι απευθύνονται και στοχεύουν προς την ποσοτικοποίηση (*“quantitativeness”*) τόσο των ιδιοτήτων (*“properties”*) όσο και των φορτίσεων (*“stresses”*), καθιστώντας το πεδίο εφαρμογών των ΜΚΕ εξαιρετικά ευρύ. Επί τούτου, σημειώνεται ότι μπορεί μεν η απευθείας πρόσβαση σε γνώση των μακροσκοπικών μηχανικών ιδιοτήτων και συμπεριφοράς υπό φορτίων να είναι περιορισμένη, εντούτοις η τρέχουσα στάθμη της τεχνικής (*“state of the art”*) και τεχνογνωσία μας επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων μακροσκοπικών ιδιοτήτων από την μη-καταστροφική λήψη μικροδομικών δεδομένων. [III. 4]

Σκόπιμο είναι την στιγμή αυτή να λάβει χώρα μία διευκρίνιση των λεπτών διαφορών προσέγγισης στους όρους που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν όσες τεχνικές εμπεριέχονται και εμπίπτουν στην κατηγορία εφαρμογών των Μη-Καταστρεπτικών Ελέγχων. Η χρήση του όρου *“μη-καταστροφική αξιολόγηση”* (*“non-destructive evaluation”*) συμπεριλαμβάνει τόσο την δοκιμή την ίδια όσο και την συμμετοχή αυτής στην διαδικασία και είναι ο γενικότερος περιγραφικός όρος. Αντιθέτως, οι όροι *“μη-καταστροφική εξέταση/επιθεώρηση”* (*“non-destructive examination/inspection”*) αναφέρονται σε εφαρμογές

πέραν του ελέγχου διεργασιών ενώ ο όρος “μη-καταστροφικός χαρακτηρισμός” (“non-destructive characterization”) αναφέρεται σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και ιδιότητες υλικών (όντας ο περισσότερο “στενός” όσον αφορά το πεδίο εφαρμογών/ορισμού). Όλοι οι παραπάνω όροι όμως είναι ενδεικτικοί της ζωτικής σημασίας που έχουν οι ΜΚΕ για τη δημιουργία και συντήρηση κάθε εξαρτήματος/κατασκευής, την λειτουργικότητά καθώς και την έγκαιρη ενημέρωση μας για την “υγεία” αυτής (“health monitoring”) και τον υπολειπόμενο/προβλεπόμενο χρόνο ζωής και υπηρεσίας (“residual & service lifetime”). [III. 5]

Αυτή ακριβώς η παρακολούθηση της κατάστασης (“condition monitoring”) μέσω της εφαρμογής μη-καταστρεπτικών τεχνικών επαφίεται τόσο στο ότι αυτές διέπονται από γενικές κατευθυντήριες αρχές (συσχετιζόμενες με τις συνθήκες ενός συγκεκριμένου συστήματος/εφαρμογής, π.χ. κατάσταση υλικού, τύποι αναμενόμενης φθοράς κλπ) αλλά και προϋποθέτουν εκτενή γνώση του χαρακτήρα των μετρητικών δυνατοτήτων και περιορισμών των διαθεσίμων μεθόδων. Αυτή η μεθοδολογία προσέγγισης/επίλυσης του προβλήματος καθορισμού κριτηρίων αποδοχής ενός υλικού (πάντα υπό το πρίσμα της παρακολούθησης της κατάστασης αυτού) συνήθως προϋποθέτει την θέσπιση κατάλληλων διαδικασιών, οι οποίες θα εξαρτώνται από τις πραγματικής συνθήκες λειτουργίας/χρήσης αυτού (συμπεριλαμβανομένου π.χ. φόρτου εργασίας/λειτουργίας ή περιβαλλοντικών παραγόντων). [III. 6]

Τα παραπάνω, σε συνδυασμό με την “ιδιοσυγκρασία” και στενή διασύνδεση των ΜΚΕ με την διεπιστημονική μέθοδο προσέγγισης των τεχνικών ζητημάτων (και την πληθώρα των συσχετιζόμενων επιστημονικών ειδικοτήτων) μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η ακόμα μεγαλύτερη εξάπλωση και ευρύτερη διάδοση εφαρμογής των ΜΚΕ επαφίεται όχι μόνο στην δημοσίευση και διάχυση των μεθόδων αυτών καθεαυτών, αλλά και των τεχνικών οδηγιών/Προτύπων, τα οποία τις συνοδεύουν. Τέλος, στην σημερινή ψηφιακή Νέα Εποχή και Κοινωνία της (Τεχνολογίας της) Πληροφορίας, οι ΜΚΕ αποτελούν καίριο πεδίο ερευνητικών εφαρμογών συνδυάζοντας τόσο την Γνώση όσο και τον βιώσιμο χαρακτήρα της Μηχανικής: τεχνολογική πρόβλεψη έναντι της εκ των υστέρων θεραπείας. [III. 7]

III.b. Διαθέσιμες μέθοδοι ΜΚΕ, πεδία εφαρμογής & σημαντικοί σταθμοί-σημεία αναφοράς

Στις μεθόδους μη-καταστρεπτικού ελέγχου συμπεριλαμβάνονται οι κάτωθι τεχνικές:

- Ακουστική Εκπομπή (*Acoustic Emission*)
- Υπερηχοσκόπηση (*Ultrasounds*)
- Οπτικός Έλεγχος (*Visual Inspection*)
- Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας (*Digital Image Processing*)
- Μικροσκοπία Οπτικών Ινών (*Fiber Optic Microscopy*)
- Θερμογραφία Υπερύθρου (*Infrared Thermography*)
- Γεωραντάρ (*Ground Penetrating Radar*)
- Μαγνητικά Σωματίδια (*Magnetic Particles Inspection*)
- Βιομηχανική Ραδιογραφία ακτίνων Χ ή ακτίνων γ (*Industrial Radiography*)
- Δινορεύματα ή Ρεύματα Foucault (*Eddy-Current Testing*)
- Διεσδυτικά Υγρά (*Liquid Penetrant*)
- Φθορίζοντα Διεσδυτικά Υγρά (*Fluorescent-Penetrant Inspection*)
- Κρουσιμετρία Σκυροδέματος με Σφύρα Schmidt (*Concrete Hardness Test using the Schmidt Rebound Hammer*)

- Μέθοδος προσδιορισμού θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος μέσω εξόλκευσης ήλων (*Nail Pull-Out Test*)
- Παχυμέτρηση Ελασμάτων (*Ultrasonic Thickness Gauging*)
- Σκληρομέτρηση Μετάλλων (*Hardness Test*)

και άλλες. [III. 8 - 10]

Τα πεδία εφαρμογής των παραπάνω περιλαμβάνουν (και δεν περιορίζονται μόνο) τόσο τις Επιστήμες του Μηχανικού (π.χ. Μηχανολογία, Αεροναυπηγική, Επιστήμη Υλικών, Χημική Μηχανική, Έργα Πολιτικού Μηχανικού –με εύρος από τον εναπομείναντα χρόνο υπηρεσίας μέχρι την πλήρη παρακολούθηση δομικής ακεραιότητας και επίτευξη Αειφορίας στον κύκλο ζωής ενός δομήματος–, Διασφάλιση Ποιότητας, Αυτόματοι Έλεγχοι, Επιστήμη Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων κλπ) όσο και βρίσκουν εξαιρετικές χρήσεις στις Επιστήμες Υγείας (κατά κόρον εφαρμογή στις απεικονιστικές μεθόδους της Διαγνωστικής Ιατρικής), στην Τέχνη & τον Πολιτισμό (με έμφαση στην Συντήρηση της Πολιτιστικής Κληρονομιάς) αλλά και σε ζητήματα που άπτονται στην Ασφάλεια (“*Security*”) και καταπολέμηση του εγκλήματος/Τρομοκρατίας. [III. 11 - 17]

Εν συνεχεία, στον Πίνακα III.1. δίνεται μία σύντομη καταγραφή των σημαντικότερων ιστορικών σημείων εφαρμογής μεθόδων ΜΚΕ. [III. 18 - 19]

Πίνακας III.1. Ιστορικοί σταθμοί στην εφαρμογή των ΜΚΕ	
1854, Χαρτφορντ, Κονέκτικατ (ΗΠΑ)	Έκρηξη λέβητα με απώλεια 21 ανθρωπίνων ζωών και 50 σοβαρούς τραυματισμούς, αναγκάζοντας την Πολιτεία του Κονέκτικατ να νομοθετήσει περί υποχρεωτικού ετήσιου (οπτικού) ελέγχου των λέβητων.
1880 – 1920	Μέθοδος ελέγχου ασοχιών στην βιομηχανία ραγών από χάλυβα μέσω πρώτης εφαρμογής διεισδυτικών υγρών.
1895	Ανακάλυψη ακτίνων Χ από τον W.C. Röntgen, όπου στην πρώτη του επιστημονική δημοσίευση (“ <i>Über eine neue Art von Strahlen</i> ”, 28/12/1895) συζήτησε την δυνατότητα ανίχνευσης ασοχιών.
1920, 1924	Ανάπτυξη και πρώτη εφαρμογή της βιομηχανικής ραδιογραφίας μετάλλων από τον H.H. Lester.
1926	Το πρώτο όργανο ηλεκτρομαγνητικών δινορευμάτων χρησιμοποιείται για την επιτυχή μέτρηση πάχους υλικών.
1927 – 1928	Οι E. Sperry και H.C. Drake αναπτύσσουν το πρώτο σύστημα μαγνητικής επαγωγής για την ανίχνευση ασυνεχειών σε ράγες σιδηροδρόμων.
1929	Οι A.V. DeForest και F.B. Doane πρωτοπορούν στην ανάπτυξη μεθόδων και εξοπλισμού ελέγχου με μαγνητικά σωματίδια.
Δεκαετία του 1930	Ο R.F. Mehl επιδεικνύει τεχνικές απεικόνισης με ραδιογραφία ακτίνων-γ (εκπεμπομένων από το ραδιενεργό στοιχείο Ράδιο) για την εξέταση υλικών με μεγαλύτερο πάχος (την εποχή όπου ο αντίστοιχος έλεγχος με εξοπλισμό ακτίνων-Χ χαμηλής ενέργειας ήταν αδύνατος/μη-διαθέσιμος).
1935 – 1940	Οι E. Betz, F.B. Doane και A.v. DeForest αναπτύσσουν την μέθοδο διεισδυτικών υγρών.
1935 – 1940	Οι H.C. Knerr, C. Farrow, T. Zuschlag και F.F. Foerster αναπτύσσουν εξοπλισμό δινορευμάτων.
1940 – 1944	Ανάπτυξη μεθόδων υπερήχων από τον F. Firestone, ο οποίος κάνει αίτηση και λαμβάνει δίπλωμα ευρεσιτεχνίας (US Patent Grant No 2.280.226 on 21/4/1942). Στην εισαγωγή του διπλώματος ευρεσιτεχνίας περιγράφει με ακρίβεια τόσο την βάση της τεχνικής όσο και το σκοπό (<i>score</i>) αυτής, θέτοντας τις γενικές κατευθυντήριες αρχές για το ευρύ φάσμα εφαρμογών αυτής.
1946	Ο B.F. Peters παράγει τις πρώτες ραδιογραφίες νετρονίων.
1950	Εφευρίσκεται η μέθοδος κρουσιμετρίας με σφύρα Schmidt (η οποία χρησιμοποιεί την πρώτη παγκοσμίως προστατευμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας του σκυροδέματος).
1950	Ο J. Kaiser εισάγει την ακουστική εκπομπή ως μέθοδο ΜΚΕ.
1963	Οι F.G. Weighart's και J. McNulty's εφευρίσκουν την μέθοδο της ψηφιακής ραδιογραφίας.

Από τον παραπάνω Πίνακα 1. είναι εμφανές ότι η “χρυσή εποχή” των μεθόδων ΜΚΕ ήταν η περίοδος του Μεσοπόλεμου και μετά τον 2^ο Παγκόσμιο Πόλεμο, όπου ο βιομηχανικός ποιοτικός έλεγχος και η διασφάλιση ποιότητας απέκτησαν πρωτεύοντα ρόλο και βαρύνουσα σημασία. Τέλος, από την απαρχή των μεθόδων ΜΚΕ δίνεται έμφαση στο ότι οι απώτεροι/συγκεκριμένοι στόχοι της εφαρμογής μίας μεθόδου ΜΚΕ μπορεί να συμπεριλαμβάνουν τόσο τον έλεγχο κατάστασης (προληπτικό ή μη) μίας κατασκευής/επέμβασης, όσο και την νομική κάλυψη/προστασία των εμπλεκόμενων, πάντα στα πλαίσια βελτιστοποίησης της απόδοσης/ποιότητας συμπεριφοράς των δομικών υλικών και του σχεδιασμού αυτών. [III. 20 - 25]

III.c. Η σχέση μεταξύ μεθόδων ΜΚΕ και ποιοτικού ελέγχου σκυροδέματος

Οι μέθοδοι ΜΚΕ έχουν μακρά ιστορία και συσσωρευμένη εμπειρία εφαρμογής στον έλεγχο μεταλλικών υλικών, αποτελώντας μία εδραιωμένη και αναγνωρισμένη πλέον διεθνή πρακτική (η οποία διέπεται από πληθώρα εθνικών και διεθνών Προτύπων). Εντούτοις, στην περίπτωση της εφαρμογής ΜΚΕ στο σκυρόδεμα είναι εμφανής μία καθυστέρηση στην πρόοδο και την εξάπλωση τους. [III. 26]

Ουσιαστικά, η ειδοποιός διαφορά του σκυροδέματος όσον αφορά την αργή ανάπτυξη και εγκαθίδρυση αναγνωρισμένων μεθόδων ΜΚΕ έγκειται στο γεγονός ότι μπορεί να κατασκευαστεί μέσω άπειρων συνδυασμών κατάλληλων υλικών (όντας ένα εγγενώς ιδιαίτερα ανομοιογενές σύνθετο υλικό με μεγάλο εύρος συνθέσεων και διαφορετικών πρώτων υλών) και πως οι τελικές του ιδιότητες εξαρτώνται κατά μεγάλο βαθμό από την επεξεργασία που δέχεται αφού καταφθάσει στο εργοτάξιο. [III. 27]

Με την εξαίρεση των προκατασκευασμένων δομημάτων από σκυρόδεμα (“precast concrete units”), τα οποία παρασκευάζονται σε εργοστάσιο και μεταφέρονται ως τελικά προϊόντα, η πλειοψηφία του σκυροδέματος παράγεται σε μονάδες παραγωγής σκυροδέματος (“ready-mix concrete plants”) και μεταφέρεται στην τοποθεσία κατασκευής όπου και θα τοποθετηθεί. Εκεί -στο πεδίο- κρίσιμη σημασία για την επίτευξη του μέγιστου δυνατού ποιοτικότερου σκυροδέματος έχουν η τοποθέτηση, συμπύκνωση (“consolidation”) και η γήρανση (“curing”) αυτού. Συνεπώς, τόσο η ίδια η φύση του προϊόντος, η μέθοδος της κατασκευής που εφαρμόστηκε αλλά και το ότι το σκυρόδεμα είναι ένα επιρρεπές υλικό σε περιβαλλοντικούς παράγοντες διάβρωσης/φθοράς (οι οποίοι περιορίζουν την επιτελεστικότητα και το εύρος ζωής/υπηρεσίας του) οδηγούν σε ένα ιδιαίτερα “ατίθασο” υλικό ως προς την εγκαθίδρυση διεθνώς εδραιωμένων πρακτικών ΜΚΕ. [III. 28]

Πέραν των παραπάνω αρχικών ενδοιασμών, πρέπει να σημειωθεί ότι η ανάγκη για μεθόδους επί τόπου (“in-situ”) δοκιμών των ιδιοτήτων του σκυροδέματος (τόσο για ποιοτικό έλεγχο/διασφάλιση όσο και για εκτίμηση/παρακολούθηση της κατάστασης αυτού) πάντα ήταν και είναι σε ζήτηση. Συνεπώς, με την πάροδο του χρόνου έχει πλέον υπερκεραστεί η αρχική δυσκολία της μεταφοράς της τεχνολογίας/γνωσίας (“technology/knowledge transfer”) στον έλεγχο του σκυροδέματος με μεθόδους ΜΚΕ, έχοντας ως αποτέλεσμα αρκετές μεθόδους να έχουν προτυποποιηθεί (κατά ASTM, CSA, ISO, BSI κτλ) [III. 29]

Περνώντας στην ουσία της εφαρμογής μεθόδων ΜΚΕ και σκυροδέματος τονίζεται ότι αν και οι μη-καταστροφικές δοκιμές δεν μπορεί να αντικαταστήσουν τις καταστροφικές δοκιμές (όσον αφορά τον άμεσο και ακριβή -σε απόλυτες τιμές- καθορισμό μηχανικών και άλλων ιδιοτήτων του σκυροδέματος), ουσιαστικά έχουν πλέον αναπτυχθεί μέθοδοι συσχετισμού (“correlation”) και τεκμαρτής εξαγωγής χαρακτηριστικών της απόδοσης του σκυροδέματος. Αυτές ακριβώς οι μέθοδοι ΜΚΕ του σκυροδέματος μπορεί να ταξινομηθούν στις εξής δύο διακριτές οικογένειες (η καθεμία με διαφορετικό σκοπό και προσέγγιση):

α. Εκτίμησης αντοχών, όπου προκαλείται ελάχιστη (επιφανειακή συνήθως) ζημιά. Π.χ. επιφανειακή σκληρότητα (“*surface hardness*”), αντίσταση σε διείσδυση (“*penetration resistance*”), αντοχή εφελκυσμού (“*pullout*”), δύναμη αποκόλλησης (“*pull-off*”), και μέθοδο ωριμότητας (“*maturity method*”).

β. Εκτίμησης ακεραιότητας (ή εντοπισμού ελαττωμάτων ή φθοράς όπως: ασυνέχειες, διαστρωματική ανομοιογένεια, κενά, ρωγμές κλπ) όπου δεν προκαλείται καμία φθορά στο υπό εξέταση υλικό. Π.χ. περιεχόμενη υγρασία (“*moisture content*”), πυκνότητα (“*density*”), πάχος (“*thickness*”), ειδική αντίσταση (“*resistivity*”), διαπερατότητα (“*permeability*”), διάδοση ελαστικών κυμάτων (“*stress wave propagation*”), γεωραντάρ (“*ground penetrating/probing radar*”) και τεχνικές υπέρυθρης θερμογραφίας (“*infrared thermography*”).

Οι παραπάνω δύο αυτές γενικές κατηγορίες ιστορικά (κατά το ρου των τελευταίων 50+ χρόνων) έχουν πλέον αποκτήσει την διαχρονική τους θέση στον 21^ο αιώνα όπου η “κρίση” των “γηρασμένων” υποδομών και έργων από σκυρόδεμα βρήκε στο πρόσωπο τους αξιόπιστες μεθόδους επιθεώρησης και εκτίμησης της κατάστασης τους, διορθώνοντας εσφαλμένες πρακτικές του παρελθόντος. [III. 30 - 34]

Η στρατηγική στροφή των πολιτικών όσον αφορά τον έλεγχο σκυροδέματος με μη-καταστροφικές μεθόδους (με ιδιαίτερη έμφαση στην ανθεκτικότητα και την δομική/επιτελεστική ακεραιότητα του) έγινε λόγω σωρείας παραγόντων όπως:

- Αλλαγές στην παραγωγή του τσιμέντου και των προδιαγραφών του.
- Αυξημένη αντικατάσταση μέρους του τσιμέντου με άλλα υλικά (παραπροϊόντα διεργασιών κλπ).
- Ελλιπής εφαρμογή και εκτέλεση Προτύπων από το εργατικό δυναμικό (αλλά και ελλιπής επίβλεψη αυτών).
- Ανεπαρκή γνώση και εφαρμογή των ισχυόντων Διεθνών Προτύπων (ειδικά σε σχέση με την έκθεση του σκυροδέματος στα θειϊκά).
- Αναγνώριση ανεπάρκειας των ελέγχων συμμόρφωσης (π.χ. μέτρηση ανάπτυξης αντοχών στις 28 ημέρες), τα οποία αντανakλούν και σκιαγραφούν την όποια ανεπάρκεια του συγκεκριμένου υλικού υπό έλεγχο (αντί της τήρησης των συνολικών προδιαγραφών του οικοδομήματος).
- Ανικανότητα πρόβλεψης “σημαδιών φθοράς” (“*tell-tale wear signs*”), προτού αυτά εκδηλωθούν και χρήζουν αντιμετώπισης (συνήθως με εξαιρετικό κόστος).

Σε όλα τα παραπάνω, η χρήση μεθόδων ΜΚΕ στο σκυρόδεμα προσφέρει λύσεις, οι οποίες περιορίζονται όχι από τα όρια και την αξιοπιστία των τεχνικών αλλά μόνο από τα όρια που οι ίδιοι οι Μηχανικοί θέτουν στον εαυτό τους όσον αφορά την πρακτική εφαρμογή των μεθόδων ΜΚΕ (ειδικότερα δε, έμφαση πρέπει να δίνεται στα στάδια του πειραματικού σχεδιασμού αλλά και της ερμηνείας των πειραματικών αποτελεσμάτων ως προς τον έλεγχο συμμόρφωσης του υλικού). Τονίζεται δε, ότι οι εφαρμογές μεθόδων ΜΚΕ στο σκυρόδεμα στηρίζονται ιδιαίτερος στη διεπιστημονική προσέγγιση και ενσωμάτωση διαφορετικών επιστημονικών ειδικοτήτων, τόσο με υπόβαθρο και επιστημονικές γνώσεις Χημικής Μηχανικής, Επιστήμης Υλικών, Πληροφορικής, Φυσικής αλλά και Μαθηματικών (καθότι απαιτείται συνέργεια σε πολλαπλά επίπεδα για την ακριβή και αξιόπιστη ερμηνεία των δεδομένων), παραμένοντας πιστοί στο δόγμα “*Design – Build - Maintain*” [III. 35 - 40]

Κλείνοντας το συγκεκριμένο κομμάτι και αναφορικά τώρα με περισσότερο συγκεκριμένα πεδία εφαρμογής των μεθόδων ΜΚΕ στο σκυρόδεμα, πρέπει να αναφερθούν τα εξής δύο εξειδικευμένα (“*niche*”) επιστημονικά πεδία εφαρμογών/ενδιαφέροντος: **i. μελέτη πρώιμης ενυδάτωσης του τσιμέντου** και **ii. μελέτη μικροσκοπίας του τσιμέντου**. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται σε αυτές τις δύο θεματικές καθότι η επιτόπια εκτίμηση αντοχών

του σκυροδέματος (τόσο για λόγους ποιοτικού ελέγχου, επίδοσης αλλά και ανάγκης επιδιόρθωσης/συντήρησης) προϋποθέτει συγκεκριμένη μεθοδολογία (με συνακόλουθα συγκεκριμένο πρόγραμμα επιλογής μοντέλλου, διαδικασίας βαθμονόμησης και επεξεργασίας των αποκτηθεισών δεδομένων), ικανή να εκτιμήσει και να ποσοτικοποιήσει (με ικανοποιητικά επίπεδα εμπιστοσύνης) την μεταβλητικότητα (“variability”) του προϊόντος, τόσο σε επίπεδο υλικού όσο και στην κλίμακα κατασκευής. [III. 41 - 49]

III.d. Η Μη-Καταστροφική Μέθοδος Ελέγχου της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών (Fiber Optic Microscopy)

Το “όνομα του παιχνιδιού” είναι πολύ απλά η Παρακολούθηση της Δομικής Ακεραιότητας των Κατασκευών (“structural health monitoring”) - και δη, περισσότερο συγκεκριμένα, δύο γενικοί τύποι δομημάτων/έργων από σκυρόδεμα είναι καίριας σημασίας: τα προβληματικά “γηρασμένα” κτίρια, τα οποία έχουν επιτελέσει τον σκοπό τους και πλέον χρήζουν τα ίδια θεραπείας/αντιμετώπισης και τα καινοτόμα “υπερδομήματα” (“ultrastructures”), τα οποία αψηφούν τις νόρμες, τις δυσμενείς συνθήκες (π.χ. αντίξοα περιβάλλοντα, τοποθεσίες, έλλειψη πρώτων υλών κλπ) και στέκουν με έπαρση ενάντια όλων των συγκυριών (π.χ. σεισμοί, αστοχίες υλικών, τρομοκρατικές ενέργειες κλπ). Στόχος είναι όχι μόνο η ασφαλής επέκταση του χρήσιμου προσδόκιμου ζωής/υπηρεσίας αλλά και η ίδια η εξασφάλιση των ήδη διαθεσίμων δομικών/κτιριακών έργων/εγκαταστάσεων από σκυρόδεμα. Στον τομέα αυτό, όπου η παροχή ακριβούς και έγκαιρης πληροφορίας (τόσο της δομικής κατάστασης όσο και της επίδοσης ενός έργου από σκυρόδεμα) είναι ύψιστης σημασίας, η μη-καταστροφική μέθοδος της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών (“Fiber Optic Microscopy – FOM”) δύναται να διαδραματίσει πρωτεύοντα ρόλο. [III. 50]

Οι μη-καταστροφικές τεχνολογίες διάγνωσης και ανίχνευσης της κατάστασης ενός κτιρίου οι οποίες βασίζονται στις οπτικές ίνες, έχουν αποτελέσει κινητήρια δύναμη τόσο στο ερευνητικό πεδίο της Παρακολούθησης της Δομικής Ακεραιότητας (ιδιαίτερα στα στάδια μεθοδολογίας, επιλογής, σχεδιασμού και χρήσης κατάλληλου ενόργανου συστήματος παρακολούθησης – “instrumentation monitoring system”) όσο και στα πλαίσια της ανάπτυξης “έξυπνων” κατασκευών/δομών (“smart structures”) αλλά και “έξυπνων” υλικών (“smart materials”). Στα παραπάνω πλαίσια, οι τεχνολογίες οπτικών ινών έχουν επιτρέψει όχι μόνο την ανάπτυξη αισθητήρων, συστημάτων συλλογής (και επεξεργασίας/ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο) δεδομένων και παρακολούθησης κατασκευών και διεξαγωγής συμπερασμάτων αλλά και την καλλιέργεια μίας “κουλτούρας” (σχολής/νοοτροπίας) αξιόπιστης παρακολούθησης των κατασκευών από σκυρόδεμα σε πραγματικό χρόνο. Αποτέλεσμα αυτού είναι ο επιτυχής και συνεχής έλεγχος της “συμπεριφοράς” ενός έργου από σκυρόδεμα καθόλες τις φάσεις λειτουργίας του και σε όλο το εύρος της υπηρεσιακής του ζωής (“service lifetime”). [III. 51 - 58]

Τα δύο κύρια συγκριτικά πλεονεκτήματα, τα οποία καθιστούν τις οπτικές ίνες ως ένα εξαιρετικά υποσχόμενο κλάδο αξιόπιστων και οικονομικών εφαρμογών ελέγχου πληθώρας δομών από σκυρόδεμα είναι τόσο η ταχύτητα μετάδοσης της πληροφορίας όσο και η δυνατότητα τους να καλύψουν εξαιρετικό εύρος εξειδικευμένων αναγκών παρακολούθησης – τα δύο αυτά εξηγούν γιατί έλαβε χώρα τέτοιας κλίμακας μεταφορά από το Εργαστήριο προς το Πεδίο – χωρίς να εκτίθεται το υπό εξέταση υλικό/έργο σε οποιαδήποτε καταπόνηση ή φθορά. Επί τούτου, η παγκόσμια ζήτηση και ανάγκη υποστήριξη των υπο-συντηρημένων (“undermaintained”) (υπο)δομών από σκυρόδεμα έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη επιτελεστικών συστημάτων ΜΚΕ υψηλής ακρίβειας, στα οποία οι οπτικές ίνες αποτελούν αναπόσπαστο μέρος. [III. 59 - 65]

Η Μικροσκοπία Οπτικών Ινών (“Fiber Optic Microscopy – FOM”) αποτελεί μία καινοτόμα μη-καταστροφική μέθοδο εξέτασης επιφανειών και αποτίμησης των

χαρακτηριστικών μικροδομής και υφής των υλικών, η οποία χρησιμοποιεί ως κωδικοποιημένη πληροφορία το φως (αντί π.χ. ηλεκτρικών σημάτων) και ως μέσο/φορέα τις οπτικές ίνες (σε αντίθεση π.χ. με τους μεταλλικούς αγωγούς). Ουσιαστικά, οι οπτικές ίνες έχουν εξελιχθεί (σε χρονικό βάθος 40ετίας) σε ένα υπέρ-του-δέοντος εξαιρετικά επιτελεστικό μέσο διάδοσης πληροφοριών, αναγνωρισμένες ως το κεντρικό στοιχείο των μοντέρνων συστημάτων και δικτύων τηλεπικοινωνιών. [III. 66 - 67]

Το προς μετάδοση ηλεκτρομαγνητικό σήμα (φωνή, εικόνα, δεδομένα κ.τ.λ.) μετατρέπεται στο ένα άκρο της οπτικής ζεύξης σε ακολουθία ψηφιακών παλμών που διοχετεύονται στην οπτική ίνα ενώ στο άλλο άκρο ανιχνεύονται αυτοί οι παλμοί και μετατρέπονται στο αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα. Η δομή της οπτικής ίνας (σύνθετο κεραμικό υλικό που περιέχουν βόριο και πυρίτιο) είναι τέτοια ώστε να επιτρέπεται η κατευθυνόμενη διάδοση του φωτός. [III. 68]

Τα μέρη της οπτικής ίνας είναι ένας υαλώδης κυλινδρικός πυρήνας και ένα περίβλημα από το ίδιο υλικό μεν, αλλά με ελαφρά μικρότερο δείκτη διάθλασης από αυτόν του πυρήνα. Αυτή η διαφορά στον δείκτη διάθλασης έχει ως συνέπεια όταν η ακτίνα φωτός εισέρχεται στην ίνα υπό κατάλληλη γωνία, να ανακλάται διαδοχικά στο περίβλημα και να μεταδίδεται “παγιδευμένη” στην ίνα. [III. 69]

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των οπτικών ινών είναι τεράστιο εύρος ζώνης (συχνότητες τάξης THz), ελάχιστη απόσβεση (<0,2 dB/km), δεν εμφανίζουν διαφωνία μεταξύ τους ή άλλες ηλεκτρομαγνητικές παρενοχλήσεις και είναι μικρές σε όγκο και βάρος (περίπου 0,5mm με το περίβλημα, περίπου 28gr/km). [III. 70]

Αναλόγως της κατασκευής της οπτικής ίνας και τον τρόπο διάδοσης του φωτός εντός αυτής, διακρίνονται τρεις τύποι οπτικών ινών: i. “multimode step-index fiber”, με βηματική μεταβολή του δείκτη διάθλασης, δηλαδή απότομη μεταβολή από την ίνα στο περίβλημα και πολλαπλά κύματα (“modes”) μετάδοσης, στο φως διαδίδεται με ολικές ανακλάσεις στη διαχωριστική επιφάνεια πυρήνα – περιβλήματος. Ο πυρήνας στον τύπο αυτό έχει διάμετρο 100-200μm και το περίβλημα είναι 140-280μm. Τα πολλαπλά κύματα διανύουν διαφορετικές διαδρομές με την ίδια ταχύτητα και φτάνουν σε διαφορετικούς χρόνους στο τέρμα του αγωγού. ii. “multimode graded-index fiber”, με βαθμιαία μεταβολή του δείκτη διάθλασης και πολλαπλά κύματα. Ο δείκτης διάθλασης “n” μειώνεται εκθετικά από το κέντρο προς την περιφέρεια της ίνας με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ταχύτητα των κυμάτων όσο πλησιάζουν την περιφέρεια. Έτσι παρόλο που διανύουν μεγαλύτερες αποστάσεις φθάνουν περίπου στον ίδιο χρόνο στο τέρμα με τα κύματα που κινούνται παράλληλα στον άξονα. iii. Η πιο εξελιγμένη ίνα είναι η τύπου “monomode” ή “single mode-index fiber”, με μεταβολή του δείκτη διάθλασης και ένα μόνο κύμα. Αυτό επιτυγχάνεται με πολύ μικρό πυρήνα (~10μm) που απαιτεί μεγάλη ακρίβεια στη σύζευξη της ίνας με το φωτοπομπό και το φωτοφωρατή. [III. 71 - 73]

Σχετικά με την μετάδοση του φωτός σε οπτικούς αγωγούς, η διάδοση της ενέργειας εντός μίας οπτικής ίνας μπορεί να περιγραφεί από την τιμή της κανονικοποιημένης συχνότητας V: $V = 2\pi (\alpha_1/\lambda) (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} = 2\pi (\alpha_1/\lambda) X A_n$, όπου α_1 είναι η ακτίνα του πυρήνα, n_1 και n_2 οι δείκτες διάθλασης του πυρήνα και του περιβλήματος αντίστοιχα, λ το μήκος κύματος της φωτεινής πηγής και A_n το αριθμητικό διάφραγμα (“numerical aperture”). Το A_n αποτελεί μέτρο της ικανότητας συλλογής φωτός και είναι συνάρτηση του δείκτη διάθλασης του μέσου που παρεμβάλλεται ανάμεσα στο δείγμα και το φακό. Μόνο το φως που περιέχεται στον κώνο που σχηματίζεται από την περιστροφή μιας ακτίνας φωτός κατά γωνία φ_c' γύρω από τον άξονα της οπτικής ίνας θα διαδοθεί μέσα από την οπτική ίνα ενώ οι ακτίνες που φτάνουν στο περίβλημα υπόκεινται σε ισχυρή εξασθένηση. Μια μαθηματική έκφραση του A_n για οπτικές ίνες βαθμωτού προφίλ προκύπτει ακολουθώντας: $\sin\vartheta_c = n_2/n_1$, αλλά $n_0 \sin\varphi_c' = n_1 \sin\varphi_c = n_1 (1 - \sin^2 \vartheta_c)^{1/2}$ όπου n_0 ο δείκτης διάθλασης του

παρεμβαλλόμενου μέσου (αέρας). Το αριστερό μέλος της τελευταίας σχέσης είναι το A_n , οπότε: $A_n = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$. Είναι προφανές ότι με αύξηση του n_0 επιτυγχάνεται αύξηση του A_n και τελικά καλύτερη διακριτική ικανότητα. [III. 74 - 75]

Η μετάδοση του φωτός στους οπτικούς αγωγούς χαρακτηρίζεται από δύο παράγοντες: την *απόσβεση* και τη *διασπορά* του φωτός. Η απόσβεση οφείλεται κυρίως στη σκέδαση ("scattering") και στην απορρόφηση ("absorption") του φωτός. Περισσότερο συγκεκριμένα, η σκέδαση του φωτός (που το οδηγεί εκτός πυρήνα) προκύπτει από ανομοιομορφίες στη διάμετρο της ίνας και ανομοιομορφίες της πυκνότητας του γυαλιού (φαινόμενο Rayleigh). Η απόσβεση Rayleigh μειώνεται με αύξηση του μήκους κύματος λ (ανάλογα με $1/\lambda^4$) και έχει ελάχιστη τιμή γύρω στα 1600nm. Αντίστοιχα, η απορρόφηση οφείλεται στο ίδιο το γυαλί και κυρίως σε προσμίξεις του (ιόντα OH^{-1} , Cu^{++} , Fe^{++}) που σε ορισμένα μήκη κύματος (στα οποία η ενέργεια των φωτονίων αντιστοιχεί στο έργο ιονισμού των ατόμων του γυαλιού ή των προσμίξεων) απορροφούν φωτόνια. Στα μήκη αυτά παρουσιάζονται χαρακτηριστικές αιχμές απόσβεσης. Η διασπορά του σήματος, φαινόμενο που οδηγεί σε διεύρυνση του παλμού στο δέκτη, οφείλεται στη διασπορά πολλαπλών κυμάτων και στη χρωματική διασπορά. Η διεύρυνση των παλμών στην πρώτη περίπτωση παρουσιάζεται λόγω του διαφορετικού χρόνου διαδρομής των κυμάτων ενώ στην δεύτερη περίπτωση της χρωματικής διασποράς, οφείλεται στο ότι οι πηγές φωτός εκ κατασκευής τους δεν είναι πλήρως μονοχρωματικές, αλλά παρουσιάζουν ορισμένο φάσμα εκπομπής "Δλ". Οι διαφορετικές συχνότητες εκπομπής φθάνουν σε διαφορετικούς χρόνους στην έξοδο με αποτέλεσμα να διευρύνονται οι παλμοί που αποστέλλονται. Εντούτοις και στις δύο περιπτώσεις διασποράς παρουσιάζονται προβλήματα λόγω διασυμβολικής παρεμβολής, όταν οι παλμοί φωτός αποστέλλονται με μεγάλη ταχύτητα. Το εκμεταλλεύσιμο εύρος ζώνης του αγωγού εξαρτάται από το είδος της ίνας, από το φωτοπομπό (λ , $\Delta\lambda$) και από το μήκος του αγωγού, με δεδομένο ότι η διασπορά αυξάνει με το μήκος. [III. 76 - 77]

Το σημαντικότερο τμήμα του μικροσκοπίου οπτικών ινών είναι οι φακοί οπτικών ινών, καθώς χρησιμοποιεί ως φωτεινή πηγή λευκό φως (και συγκεκριμένα: λάμπα αλογόνου). Το λευκό φως χαρακτηρίζεται από μήκη κύματος 400nm-760nm περίπου. Επειδή τα χαρακτηριστικά μεγέθη του πλέγματος των κρυστάλλων του προς παρατήρηση υλικού κυμαίνονται από 0.15 μέχρι 2nm, είναι δηλαδή τρεις τάξεις μεγέθους μικρότερα, οι κρύσταλλοι φαίνονται σαν συνεχές μέσον όταν φωτίζονται από λευκό φως. Οι οπτικές ιδιότητες των άμορφων και των κρυσταλλικών σωμάτων οφείλονται στην αλληλεπίδρασή τους με το προσπίπτον φως. Τα κύρια φαινόμενα που καθορίζουν αυτή την αλληλεπίδραση είναι η ανάκλαση, η διάθλαση και η απορρόφηση. Τα φαινόμενα αυτά αντιμετωπίζονται στην οπτική μικροσκοπία με βάση τις εξισώσεις του Maxwell για τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Η φωτεινή πηγή περιγράφεται σαν ένας αρμονικός ταλαντωτής που χαρακτηρίζεται από τις μεταβολές του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου στο χώρο και στο χρόνο. Όλες οι σχέσεις που διέπουν την οπτική μικροσκοπία βασίζονται στην πόλωση του φωτός που επιτυγχάνεται με τα πρίσματα Nicols. Στη μικροσκοπία οπτικών ινών χρησιμοποιείται όμως λευκό φως που δεν είναι ούτε πολωμένο ούτε μονοχρωματικό, κάτι που καθιστά αδύνατη την ποσοτικοποίηση των συμπερασμάτων που εξάγονται με τη μικροσκοπία οπτικών ινών χωρίς φυσικά να αναιρεί τη ποιοτική σημασία των παρατηρήσεων που λαμβάνονται. [III. 79 - 82]

Τα κυριότερα τμήματα της συσκευής είναι: *i.* λάμπα αλογόνου (η οποία λειτουργεί στα 100W), *ii.* σύστημα ελέγχου της έντασης του φωτός (η ποσότητα φωτός που ανακλάται από το αντικείμενο εξαρτάται από το χρώμα και το υλικό του αντικειμένου υπό εξέταση - το μικροσκόπιο προσαρμόζει αυτόματα την ένταση του φωτός της λάμπας ούτως ώστε να υπάρχει ένα σταθερό επίπεδο φωτεινότητας στη λαμβανόμενη εικόνα), *iii.* σύστημα εστίασης και *iv.* αντικειμενικοί φακοί, οι οποίοι συνδέονται στο σύστημα μετάδοσης

εικόνας μέσω οπτικών ινών (κατά τη διάρκεια της εφαρμογής μπορεί να αλλάξει κανείς περισσότερους φακούς, για να πάρει εικόνες διαφορετικών μεγεθύνσεων). Γενικά, οι αντικειμενικοί φακοί των μικροσκοπίων οπτικών ινών χαρακτηρίζονται από τα ακόλουθα μεγέθη: το άνοιγμα A_n (“numerical aperture”), την μικρότερη μετρήσιμη διάσταση μεταξύ δυο σημείων d (μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση του Abbe για τη διακριτική ικανότητα: $d = k\lambda/A_n$, όπου το k είναι σταθερά) και το βάθος εστίασης (το οποίο δίνεται από τη σχέση του Rayleigh: $\Delta z = \lambda/n\sin^2\theta$ και χαρακτηρίζει την απόσταση μεταξύ σημείων εστίασης, στα οποία η εικόνα εμφανίζει αποδεκτή καθαρότητα). Κατά τη διαδικασία της μικροσκοπικής εξέτασης, το φως πρέπει να πέφτει κατακόρυφα στην επιφάνεια του δείγματος και ανακλάται πίσω διαμέσου των αντικειμενικών φακών. Χαρακτηριστικά της επιφάνειας, σε θέσεις πλάγιες σχετικά με τη δέση φωτός εμφανίζουν μεγαλύτερο κοντράστ από την υπόλοιπη εικόνα διότι ανακλάσεις με γωνίες μεγαλύτερες του A_n συνεπάγονται απώλειες φωτός. Τέλος, το μικροσκόπιο οπτικών ινών διαθέτει έξοδο τυποποιημένου βίντεο σήματος (PAL) που παρέχει τη δυνατότητα σύνδεσης με video, μόνιτορ και συσκευή εγγραφής. Οι εικόνες καταγράφονται σε μαγνητικό μέσο και έτσι μπορούν να αναπαραχθούν ανά πάσα στιγμή με ευκολία στο βίντεο. Η τυποποιημένη έξοδο σήματος επιτρέπει την εισαγωγή της εικόνας και σε υπολογιστή και κατ’ επέκταση σε σύστημα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας, παρέχοντας περαιτέρω δυνατότητες επεξεργασίας. [III. 83 - 87]

III.e. Εν κατακλείδι περί μεθόδων μη-καταστροφικού ελέγχου, Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών, Οπτοηλεκτρονικής και Σκυροδέματος

Πολλά μπορεί να γραφούν αναφορικά με τις μεθόδους ΜΚΕ, τόσο από την σκοπιά των εξαιρετικά ανεπτυγμένων αισθητήρων, από την άποψη της διασφάλισης ποιότητας, πιστοποίησης και προτυποποίησης, από τις “έξυπνες” εφαρμογές παρακολούθησης της κατάστασης, την εκτεταμένη δυνατότητα κατάλληλης επιλογής μεθόδου και προσαρμογής σε πληθώρα αυτοματοποιημένων (και μη) διεργασιών/αναγκών ελέγχου, μέχρι και το εξαιρετικά ευρύ φάσμα εφαρμογών των μεθόδων ΜΚΕ. Εντούτοις, αυτό που πρέπει να τονισθεί είναι το ουσιαστικά διαφοροποιό στοιχείο στον “αυστηρό” ορισμό και κατάταξη μίας τεχνικής/δοκιμής ως “μη-καταστροφικής” (σε αντίθεση με τις καταστροφικές μεθόδους αποτίμησης της κατάστασης ενός υλικού), το οποίο έγκειται στα εξής δύο καίρια σημεία:

- ότι μετά το πέρας εκτέλεσης αυτής (ασχέτως τόσο του πλήθους εκτελέσεων/επαναλήψεων όσο και της στιγμής διεξαγωγής του ελέγχου), το υλικό (εξάρτημα/έργο/αντικείμενο υπό μελέτη) δεν θα έχει καταστεί ακατάλληλο για την μελλοντική του χρήση/αξιοποίηση ενώ δεν θα έχει επηρεαστεί ουδόλως προς το δυσμενέστερο ο χρόνος λειτουργικής ζωής του (“service life”) και ότι
- η στρατηγική της εφαρμογής αυτής, αποτελεί αναπόσπαστο μέρος μίας πληρέστερης συνδυαστικής και ολιστικής αντιμετώπισης, όπου η διαγνωστική διάταξη προσφέρει όχι μόνο την “ζωντανή” πληροφορία δομικής αξιολόγησης αλλά αποτελεί το μέσο για την επιτυχή παρακολούθηση του υλικού/κτηρίου, πάντα στα πλαίσια ενός διακεκριμένου πλάνου λειτουργίας και ρόλου στην βιομηχανία Κατασκευής και Αειφόρου Ανάπτυξης.

Επισημαίνεται ότι η “ερμηνεία” των δεδομένων τα οποία λαμβάνονται από μία ΜΚΕ μέθοδο πρέπει να γίνεται πάντα από έμπειρο τεχνικό προσωπικό και Μηχανικούς, γνώστες των πλεονεκτημάτων και αδυναμιών της συγκεκριμένης μεθόδου ΜΚΕ, σε συνδυασμό με κατάλληλο γνωστικό υπόβαθρο Χημικής Μηχανικής, Επιστήμης Υλικών (και συγκεκριμένα εδώ: Τεχνολογίας Σκυροδέματος). Όσον αφορά την μέθοδο ΜΚΕ της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών, ο ρόλος της –τόσο από άποψη Οπτοηλεκτρονικής όσο και Μηχανικής– είναι βαρύνουσας και συνεχώς αυξανόμενης σημασίας σε αυτή την “Εποχή της

Πληροφορίας”. Η παρατηρηθείσα –τις τελευταίες δεκαετίες– τεράστια αύξηση της χρήσης, αξιοποίησης και εφαρμογών των οπτικών ινών (οι οποίες εμπεριέχουν τόσο εμπορικές, δικτυακές, ερευνητικές αλλά ακόμη και στρατιωτικές δραστηριότητες/σκοπούς) μπορεί να αποδοθεί όχι μόνο στο μικρότερο οικονομικό κόστος και στα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτών (π.χ. τεράστιο εύρος ζώνης –“bandwidth”–, της κλίμακας των 50THz) αλλά και στην αναγνώριση των δυνατοτήτων και της αξίας τους. [III. 88 - 91]

Σε αυτό το χώρο λοιπόν, μελέτης ιδιοτήτων των υλικών μέσω της Ύλης, του Φωτός και των αλληλεπιδράσεων τους, ερευνητικό πεδίο σύγκλισης τόσο της μικρό- όσο και της νάνο- κλίμακας, λαμβάνει χώρα η επόμενη Παραδειγματική Αλλαγή (“paradigm shift”) (κλίμακας του Ίντερνετ των Πραγμάτων –“Internet of Things”), παίρνοντας υπόσταση στην ανάπτυξη του επόμενου επίπεδου/βαθμού οπτοηλεκτρονικών συσκευών/αισθητήρων (“optoelectronic devices/sensors”). [III. 92 - 95] Αυτή η νέα Γενιά εφαρμογών οπτικών ινών θα επαναπροσδιορίσει άρδην τις εφαρμογές μη-καταστροφικών μεθόδων –ειδικά στον Τομέα της Κατασκευής– με την δημιουργία αυτό-συνεκτικών και λογικών συστημάτων ανίχνευσης, στα οποία καίριο λειτουργικό φορτίο θα φέρουν τα “έξυπνα” οπτικά δίκτυα [III. 96 - 102] Εκεί πλέον, οι Τεχνολογίες των Υλικών και της Οπτικής/Φωτονικής δεν θα –“απλά” (sic)- συνυπάρχουν/“συμβιώνουν” σε αγαστή συνεργασία, αλλά εντούτοις θα αποτελούν αδιάκριτο “Όλο” Πληροφορίας, ενσωματωμένο στην Κατασκευή και στην Φύση (στο Υλικό) αυτής. [III. 103 - 104]

Βιβλιογραφία Κεφαλαίου III:

- III.1. Ελληνική Εταιρεία Μη Καταστρεπτικών Ελέγχων (ΕΛΕΜΚΕ), “Ιστορικό της ΕΛΕΜΚΕ ως ένας ανεξάρτητος διαπιστευμένος κατά ΕΛΟΤ-ISO-EN/IEC 17024 φορέας”, Ιανουάριος 2006.
<http://hsnt.gr/wp-content/uploads/2014/05/ISTORIKON2005.pdf>
- III.2. Hellier C., “Handbook of Nondestructive Evaluation”, McGraw-Hill Professional, 2001.
- III.3. Shull P., “Nondestructive Evaluation: Theory, Techniques, and Applications”, CRC Press, 2002.
- III.4. Holler P., Hauk V., Dobmann G., Rund C.P., Green R.E., “Nondestructive Characterization of Materials”, Proceedings of the 3rd International Symposium Saarbrücken, FRG, October 3-6, 1988”, Springer, 1989.
- III.5. Mix P., “Introduction to Nondestructive Testing: A Training Guide”, Wiley-Interscience, 2nd Edition, 2005.
- III.6. Boving K., “NDE Handbook: Non-Destructive Examination Methods for Condition Monitoring”, American Educational Systems, 2001.
- III.7. Büyüköztürk O., “Nondestructive Testing of Materials and Structures: 6 (RILEM Bookseries)”, Springer, 2012.
- III.8. Μοροπούλου Α., “Χαρακτηρισμός, έλεγχος ποιότητας, διάγνωση φθοράς και συντήρηση δομικών υλικών. Μεθοδολογία ενόργανων και μη καταστρεπτικών Τεχνικών”, Μάθημα “Φθορά και Προστασία Υλικών”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2011.
- III.9. Ματίκας Θ., “Εργαστηριακές Ασκήσεις για το μάθημα: Εργαστήριο Υλικών VI - Πειραματική Μηχανική Συμπεριφορά & Ποιοτικός Έλεγχος”, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Ιωάννινα, 2010.
- III.10. Αγγέλης Δ., “Μη Καταστροφικός Έλεγχος Υλικών (διαφάνειες διαλέξεων)”, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Ιωάννινα, 2012.
- III.11. Colton J., “Quality Inspection and Testing”, ENG 4793 course on Composite Materials and Processes, Georgia Institute of Technology, Spring, 2002.
<http://www-old.me.gatech.edu/jonathan.colton/me4793/ndt.pdf>
- III.12. Rockall A., “Diagnostic Imaging”, Wiley-Blackwell, 7th Edition, 2013.
- III.13. Dickersin R., “Diagnostic Electron Microscopy: A Text/Atlas”, Springer, 2nd Edition, 2000.
- III.14. Zhou M., “Digital Preservation Technology for Cultural Heritage”, Springer, 2012.
- III.15. Bilotta E., “Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites”, CRC Press, 2013.
- III.16. Grant B., “Remote Sensing, Imagery analysis: standards needed for the drone age”, SPIE Newsroom, 2014.
http://spie.org/x109912.xml?pf=true&highlight=x2420&WT.mc_id=
- III.17. Dobranović Ž., Toth I., Stranjik A., “Development of Detection and Protection Technologies of Rail Security System against Terrorism”, 9th European NDT Conference (ECNDT), Session “Humanitarian Safety and Public Security”, ECNDT, Berlin 25-29/9/2006.

- III.18. Hellier C., *"Handbook of Nondestructive Evaluation"*, McGraw-Hill Professional, 2001.
- III.19. Cartz L., *"Nondestructive Testing: Radiography, Ultrasonics, Liquid Penetrant, Magnetic Particle, Eddy Current"*, ASM International, 1995.
- III.20. Radford G.S., *"The Control of Quality in Manufacturing"*, Ronald Press Co., 1922.
- III.21. Shewhart W.A., Walter A., *"Economic Control of Quality of Manufactured Product"*, D. Van Nostrand Co., Inc., 1931.
- III.22. Juran J.M., *"Quality-Control Handbook"*, McGraw-Hill, 1951.
- III.23. Feigenbaum A.V., *"Total Quality Control"*, Harvard University Press, Harvard Business Review 34 (6), 1956, pp 93–101.
- III.24. Juran J.M., *"A History of Managing for Quality: The Evolution, Trends, and Future Directions of Managing for Quality"*. The American Society for Quality Control, 1995.
- III.25. Van Der Eijk W., Pero H., *"Presentation of the Next BRITE-EURAM-Programme (1989–1992)"*, Proceedings of the 3rd International Symposium Saarbrücken, FRG, October 3-6, 1988", Springer, 1989, pp 3-7.
- III.26. Malhotra V. M., *"Handbook on Nondestructive Testing of Concrete"*, CRC Press, 2004.
- III.27. Carino N., *"Nondestructive Test Methods"*, *"Concrete Construction Engineering Handbook"* edited by E.G. Nawy, Chapter 19, CRC Press, 2nd Edition, 2012, pp 19/1-19/68.
- III.28. Büyüköztürk O., Taşdemir M., Güneş O., Akkaya Y., *"Nondestructive Testing of Materials and Structures"*, Proceedings of NDTMS-2011, Istanbul, Turkey, 15-18/5/2011, Springer, 2013.
- III.29. Zongjin L., *"Chapter 8: Nondestructive Testing in Concrete Engineering"*, Advanced Concrete Technology, Wiley. 2011.
- III.30. Bungey J., Millard S., Grantham M., *"Testing of Concrete in Structures"*, CRC Press, 4th Edition, 2006.
- III.31. International Atomic Energy Agency (IAEA), *"Guidebook on Non-Destructive Testing of Concrete Structures"*, Training Course Series no. 17, Vienna, 2002.
- III.32. Carino N.J., *"Nondestructive Testing of Concrete: History and challenges"*, *"Concrete Technology: Past, Present & Future (Special Publication)"*, American Concrete Institution, SP 144-30, 1994, pp. 623-678
- III.33. Ingvarsson H., *"Non-Destructive Condition Assessment of Concrete"*, *"Monitoring of Large Structures and Assessment of their Safety"*, IABSE Colloquium Reports, Volume 56, 1987, pp. 76-81.
- III.34. Maierhofer C., Reinhardt H., Dobmann G., *"Strengthening and Rehabilitation of Civil Infrastructures Using Fibre-Reinforced Polymer (FRP) Composites: Volume 1. Deterioration processes and standard test methods"*, Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, 2008.
- III.35. Forde M.C., *"Differences in International Strategy for the NDT of Concrete"*, *"Nondestructive Testing of Materials and Structures: 6 (RILEM Bookseries)"* edited by O. Büyüköztürk, Springer, 2012.
- III.36. Green S.D., *"Making Sense of Construction Improvement"*, Wiley-Blackwell, 2011.
- III.37. The Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE), *"Maintenance Engineering and Management"*, CIBSE, 2008.
- III.38. Tomsett H.N., *"Non-Destructive Testing of In-Situ Concrete Structures"*, NDT International, Volume 14, No. 6, 1981, pp. 315-320.
- III.39. Singh, R.B. *"Popular Non Destructive Testing of Concrete Structure - Review of Std. Methods"*, NBMCW October 2010.
<http://nbmcw.com/articles/concrete/18707-popular-non-destructive-testing-of-concrete-structure.html>
- III.40. Irie H., Yoshida Y., Sakurada Y., Ito T., *"Non-destructive-testing Methods for Concrete Structures"*, NTT Technical Review, Volume 6, No. 5, 2008.
- III.41. McCann D.M., Forde M.C., *"Review of NDT methods in the assessment of concrete and masonry structures"*, NDT&E International, Volume 34, 2001, pp. 71–84.
- III.42. Denoyelle A., Tenoufji F., Constantopoulos C., *"Caracterisation des materiaux a base de ciment par methode acoustique"*, Dess capteurs Et Systems De Mesure, 2003.
- III.43. Sayers C.M., Grenfell R.L., *"Ultrasonic Propagation Through Hydrating Cements"*, Ultrasonics, Volume 31, No. 3, 1993, pp. 147-153.
- III.44. Chotard T.J., Smith A., Rotureau D., Fargeota D., Gault C., *"Acoustic emission characterisation of calcium aluminate cement hydration at an early stage"*, Journal of the European Ceramic Society, Volume 23, 2003, pp. 387–398.
- III.45. Chotard T.J., Boncoeur-Martel M.P., Smith A., Dupuy J.P., Gault C., *"Application of X-ray computed tomography to characterise the early hydration of calcium aluminate cement"*, Cement & Concrete Composites, Volume 25, 2003, pp. 145–152.

- III.46. Sun Z., Voigt T., Shah S.P., "Rheometric and ultrasonic investigations of viscoelastic properties of fresh Portland cement pastes", *Cement and Concrete Research*, Volume 36, 2006, pp. 278 – 287.
- III.47. Abo-Qudais S.A., "Effect of concrete mixing parameters on propagation of ultrasonic waves", *Construction and Building Materials*, Volume 19, 2005, pp. 257–263.
- III.48. Zou X., Chao A., Tian Y., Wuc N., Zhang H., Yu T., Wang X., "An experimental study on the concrete hydration process using Fabry–Perot fiber optic temperature sensors", *Measurement*, Volume 45, 2012, pp. 1077–1082.
- III.49. Zou X., Chao A., Wu N., Tian Y., Yu T., Wang X., "A novel Fabry-Perot fiber optic temperature sensor for early age hydration heat study in Portland cement concrete", *Smart Structures and Systems*, Volume 12, No. 1, 2013, pp. 41-54.
- III.50. Glisic B., "Fibre Optic Methods for Structural Health Monitoring", Wiley-Interscience, 2007.
- III.51. Al-Azzawi A., "Fiber Optics: Principles and Practices", CRC Press, 2007.
- III.52. Grattan S.K.T., Taylor S.E., Basheer P.A.M., Sun T., Grattan K.T.V., "Structural Health Monitoring – better solutions using fiber optic sensors?", IEEE 8th Annual IEEE Conference on Sensors, New Zealand, 25-28/10/2009.
- III.53. Iniewski K., "Smart Sensors for Industrial Applications (Devices, Circuits, and Systems)", CRC Press, 2013.
- III.54. Baldini F., D'Amico A., Di Natale C., Siciliano P., Seeber R., De Stefano L., Bizzarri R., Andò B., "Sensors: Proceedings of the 1st National Conference on Sensors, Rome 15-17/2/2012 (Lecture Notes in Electrical Engineering)". Springer, 2014.
- III.55. Fernando G.F., Hameed A., Winter D., Tetlow J., Leng J., Barnes R., Mays G., Kister G., "Structural Integrity Monitoring of Concrete Structures via Optical Fiber Sensors: Sensor Protection Systems", *Structural Health Monitoring*, Volume 2, 2003, pp. 123-13.
- III.56. Kung P., "Fiber optic sensors to monitor reinforced concrete corrosion", SPIE Newsroom, 15/4/2014. http://spie.org/x107489.xml?pf=true&WT.mc_id=KNRSENSEMEAE
- III.57. Wolfbeis O.S., "Fiber-Optic Chemical Sensors and Biosensors", *Analytical Chemistry*, Volume 78, 2006, pp. 3859-3874.
- III.58. Beiwen L., Song Z., Pan O., "Superfast 3D optical sensing with fiber interference", SPIE Newsroom, 29/8/2014, http://spie.org/x109940.xml?pf=true&WT.mc_id=KNRSENSEMEAE
- III.59. Weber H.G., Nakazawa M., "Ultrahigh-Speed Optical Transmission Technology (Optical and Fiber Communications Reports)", Springer, 2007.
- III.60. Yue Y., Bai Y., Basheer M., Boland J., Wang J., "Monitoring the cementitious materials subjected to sulfate attack with optical fiber excitation Raman spectroscopy", *Optical Engineering*, Volume 52, No. 10, 2013, pp. 104107/1-104107/10.
- III.61. Zeni L., Minardo A., Porcaro G., Giannetta D., Bernini R., "Monitoring railways with optical fibers", SPIE Newsroom, 2/12/2013, http://spie.org/x104852.xml?WT.mc_id=KNROPTOELECE
- III.62. Vázquez C., Tapetado A., Miguélez H., "Monitoring machining temperature using optical fibers", SPIE Newsroom, 3/7/2014, http://spie.org/x108710.xml?pf=true&highlight=x2422&WT.mc_id=
- III.63. Wan K.T., "A distributed optical crack sensor for concrete structures: Theoretical investigations and its applications", PhD Thesis, Hong Kong University of Science and Technology, 2005.
- III.64. Dong L., Zainah I., Hangzhou Y., Zubaidah I., "Use of Tapered Optical Fiber Sensors in Study of the Hydration Process of Cement Paste", *IEEE Sensors*, Volume 13, No. 9, 2013, pp. 3415-3420.
- III.65. Spicer J.B., Wagner J.W., "Fiber-optic Based Heterodyne Interferometer for Noncontact Ultrasonic Determination of Acoustic Velocity and Attenuation in Materials", *Nondestructive Characterization of Materials*, 1989, pp 691-698.
- III.66. Μοροπούλου Α., "Σημειώσεις εργαστηριακών ασκήσεων μαθήματος "Υλικά", 7^{ου} Εξαμήνου Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ: Μη-καταστρεπτικές μέθοδοι εξέτασης των υλικών-εφαρμογή στο εργαστήριο και επί τόπου", ΕΜΠ, Αθήνα, 2014, σελ.100.
- III.67. Μοροπούλου Α., "Σημειώσεις μαθήματος "Υλικά Ι", 9^{ου} Εξαμήνου Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ: Φυσικοχημεία της φθοράς και τεχνική της συντήρησης των δομικών υλικών", ΕΜΠ, Αθήνα, 2014.
- III.68. Thyagarajan, K. S., "Fiber Optic Essentials", Wiley-IEEE Press, 2007.
- III.69. C-Tech Associates, "Introduction to Fiber Optics: The Physical Layer", C-Tech, 2001.
- III.70. Agrawal G., "Nonlinear Fiber Optics", Academic Press, 2012.
- III.71. Rhodes W.T., "Fibre Optic Communication: Key Devices", Springer Series in Optical Sciences, 2012.
- III.72. Mitschke F., "Fiber Optics: Physics and Technology", Springer, 2010.
- III.73. Kumar S., "Fiber Optic Communications: Fundamentals and Applications", Wiley, 2014.
- III.74. Hayes J., "Fiber Optics Technician's Manual", Cengage Learning, 4th Edition, 2010.

- III.75. Elliott B., "Fiber Optic Cabling", Newnes, 2nd Edition, 2001.
- III.76. Thevenaz L., "Advanced Fiber Optics", EPFL Press, 2011.
- III.77. Fang Z., "Fundamentals of Optical Fiber Sensors", Wiley, 2012.
- III.78. Tilley R.J.D., "Colour and the Optical Properties of Materials: An Exploration of the Relationship between Light, the Optical Properties of Materials and Colour", Wiley, 2nd Edition, 2011.
- III.79. Holtzschue L., "Understanding Color: An Introduction for Designers", Wiley, 4th Edition, 2011.
- III.80. Matikas P., "Color Perception: Physiology, Processes and Analysis", Nova Science Publishers, Inc., 2009.
- III.81. Kuehni R.G., "Color Space and Its Divisions: Color Order from Antiquity to the Present", Wiley-Interscience, 2003.
- III.82. Hunt R.W.G., "The Reproduction of Colour", Wiley, 6th Edition, 2004.
- III.83. Agrawal G., "Fiber-Optic Communication Systems", Wiley-Interscience, 3rd Edition, 2002.
- III.84. Anderson D.R., "Troubleshooting Optical Fiber Networks: Understanding and Using Optical Time-Domain Reflectometers", Academic Press, 2004.
- III.85. Kaminow I., Li T. Willner A.E., "Optical Fiber Telecommunications, Vol. 5, Part B: Systems and Networks", Academic Press, 5th Edition, 2008.
- III.86. Senior J., "Optical Fiber Communications: Principles and Practice", Prentice Hall, 3rd Edition, 2008.
- III.87. Tong X.C., "Advanced Materials for Integrated Optical Waveguides", Springer, 2014.
- III.88. Khare R.P., "Fiber Optics and Optoelectronics", Oxford University Press, 2004.
- III.89. Tricker R., "Optoelectronics and Fiber Optic Technology", Newnes, 2002.
- III.90. Rosencher E., "Optoelectronics", Cambridge University Press, 2002.
- III.91. Parker M., "Physics of Optoelectronics", CRC Press, 2005.
- III.92. Rigneault H., Lourtioz J-M., Delalande C., Levenson A., "Nanophotonics", Wiley-ISTE, 2006.
- III.93. Piprek, J., "Optoelectronic Devices: Advanced Simulation and Analysis", Springer, 2005.
- III.94. Martinez-Duart J., "Nanotechnology for Microelectronics and Optoelectronics", Elsevier Science, 2006.
- III.95. Wiersma D.S., "Nano Optics and Atomics: Transport of Light and Matter Waves. Vol. 173, International School of Physics "Enrico Fermi", Proceedings", IOS Press, 2011.
- III.96. Haskins R., "Innovative Technologies for Condition Assessment and Monitoring of Concrete", US Army Corps of Engineers, http://chl.erc.usace.army.mil/dirs/events/15/Inspection%20Session/41906_1050_Haskins.ppt
- III.97. Wang Y., "High Speed Fiber Optic Spectrometer", PhD Thesis, Bradley Department of Electrical and Computer Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University (Virginia Tech), Blacksburg, December 2007.
- III.98. Kreger S., Sang A., Garg N., Michel J., "High-resolution distributed fiber-optic sensing for dynamic structural monitoring", SPIE Newsroom, 14/6/2013, http://spie.org/x94801.xml?pf=true&InvalidQS=WT.mc_id=KNRSE
- III.99. Kumar S., "Impact of Nonlinearities on Fiber Optic Communications", Springer, 2011.
- III.100. Kai Tai W., "A Distributed Optical Crack Sensor for Concrete Structures: Theoretical Investigations and its Applications", PhD Thesis, Hong Kong University, September 2005.
- III.101. Delaney P., Harris M., "Fiber-Optics in Scanning Optical Microscopy", Handbook of Biological Confocal Microscopy, 3rd Edition, Edited by Pawley J.B., Springer Science+Business Media, 2006, pp. 501-515.
- III.102. Wang Y., "A Non-destructive Damage Detection Method for Reinforced Concrete Structures Based on Modal Strain Energy", PhD Thesis, Faculty of Engineering and Information Technology, University of Technology, Sydney, February 2010.
- III.103. Kartalopoulos S., "Next Generation Intelligent Optical Networks: From access to backbone", Springer, 2008.
- III.104. Laca P., "Game Theory for Control of Optical Networks. Static & Dynamic Game Theory: Foundations & Applications", Birkhäuser, 2012.

Κεφάλαιο IV.

Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας (*Digital Image Processing- DIP*) με χρήση MatLab®

Περιεχόμενα Κεφαλαίου IV:

- IV.a.* Τι είναι η Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας - γενικά
- IV.b.* Οι “Προσωπικοί” Υπολογιστές (*sic*) και... τα Πρόσωπα (“Εμείς”)
- IV.c.* Η Όραση του Υπολογιστή και ο Υπολογισμός της Όρασης
- IV.d.* Πεδία εφαρμογών Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας και Όρασης Υπολογιστή
- IV.e.* Η Εποποιία του Γνωσιακού Μηχανικού [: ίσως; σε λίγο; λίγο ακόμα;] και η μετάβαση στην Βιομηχανική/Κατασκευαστική Πραγματικότητα.
- IV.f.* Το MatLab® ως επιστημονικό λογισμικό κάλυψης αναγκών του σύγχρονου Μηχανικού

IV.a. Τι είναι η Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας - γενικά

Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας (“*Digital Image Processing*” - *DIP*) ονομάζεται η διαδικασία ανάλυσης και τροποποίησης μίας (δισδιάστατης) εικόνας (ή και σειράς εικόνων) μέσω της χρήσης ηλεκτρονικών υπολογιστών καθώς και εξειδικευμένου λογισμικού/αλγορίθμων ούτως ώστε να καθίσταται πιθανή η απόληψη είτε περισσότερης (ποσοτικά) είτε ποιοτικότερης πληροφορίας. Δεν αποτελεί απλώς μία μέθοδο “χειραγώγησης” δεδομένης πληροφορίας (αποθηκευμένη υπό την μορφή δισδιάστατης εικόνας) αλλά εντούτοις είναι εργαλείο ανάδειξης του πλούτου της πληροφορίας. [IV. 1]

Η επεξεργασία της εικόνας αλλά και η κατανόηση αυτής έχουν αποτελέσει το σημείο-σταθμό εφαρμογών αιχμής –ενδεικτικά– τόσο σε θέματα “τεχνητής” νοημοσύνης (“*artificial intelligence*”), τεχνολογίας γραφικών υπολογιστή (“*computer graphics*”), επεξεργασίας αρχείων (“*archive/document processing*”) αλλά και στις επιστήμες της Ιατρικής και φυσιολογίας, ανοίγοντας ουσιαστικά τον δρόμο (μετά την απελευθέρωση της υπολογιστικής ισχύος –“*computational proliferation*”) τόσο στην ανάπτυξη και πρόοδο της Όρασης Υπολογιστή (“*Computer Vision*”), βιομηχανικής κλίμακας παρακολούθησης και αυτοματοποίησης, Απομακρυσμένης Ανίχνευσης (“*Remote Sensing*”) αλλά και παρακολούθησης (“*surveillance*”) σε θέματα Ασφαλείας/Αντιτρομοκρατίας. [IV. 2]

Ουσιαστικά η επεξεργασία της εικόνας μέσω υπολογιστών είναι βιομηχανική πραγμάτωση της μετάβασης της ανθρώπινης νόησης των οπτικών ερεθισμάτων στην κλίμακα/πεδίο μίας υπέρτατης μηχανής (“*ultimate machine*”), ικανής να επιτελέσει όλες τις βασικές δραστηριότητες (οι οποίες βασίζονται στις οπτικές λειτουργίες και ιδιότητες) των έμβιων όντων. Ιστορικά, τα επίπεδα επιτυχίας των πρακτικών και προσπαθειών αυτών ήταν περιορισμένα, εντούτοις όλα τα πεδία εφαρμογής αρχών και πρακτικών *DIP*, όπως η Μηχανική, τα Μαθηματικά, η Οπτική, η Ηλεκτρονική, η Φωτογραφία, η Ψυχολογία (και η Ψυχοφυσική –“*Psychophysics*”, η οποία αναφέρεται στην μελέτη σχέσεων μεταξύ των φυσικών/περιβαλλοντικών ερεθισμάτων/ιδιοτήτων και την ένταση της αισθητηριακής εμπειρίας/αντίληψης την οποία προκαλούν), η Φυσιολογία κλπ, συνηγορούνε στο εξής γενικό/καθολικό συμπέρασμα: τα θέματα/προβλήματα Μηχανικής Νοημοσύνης (“*Machine Intelligence*”) είναι κυρίως μαθηματικής φύσης και όντας τέτοια, χρήζουν “*bottom-up*” διεπιστημονικής προσέγγισης και θεραπείας/ανάλυσης. [IV. 3-4]

Η επεξεργασία αυτή καθεαυτή λαμβάνει χώρα μέσω εφαρμογής πληθώρας τεχνικών και λειτουργιών (ενδεικτικά/π.χ. *preprocessing, spatial filtering, image enhancement, pattern recognition, feature detection, image compression, image restoration*), με εφαλτήριο μία δισδιάστατη εικόνα και αποδέκτη των πληροφοριών τον χρήστη, ο οποίος είναι και κριτής της τελικής κατανόησης αυτής αλλά και της ευόδωσης των πειραματικών/ερευνητικών στόχων που έχουν τεθεί. Σημειώνεται δε, ότι τόσο η

μείωση του συνολικού κόστους του αναγκαίου υπολογιστικού εξοπλισμού/ισχύος (ασχέτως του πεδίου εφαρμογής) αλλά και η αύξηση του διαθέσιμου “οπλοστασίου” (αλγόριθμοι/λογισμικό επεξεργασίας) αποτελούν ισχυρά κίνητρα και ενδείξεις περαιτέρω πρόοδου στον συγκεκριμένο επιστημονικό/ερευνητικό κλάδο. [IV. 5 - 6]

Η Ψηφιακή Επεξεργασία (και Ανάλυση) Εικόνας, όντας μία επιστήμη και τεχνολογία αιχμής αποσκοπεί όχι μόνο στην επεξεργαστική βελτίωση της ποιότητας μίας εικόνας αλλά ουσιαστικά, στην ακριβή/ποιοτική συμβολική περιγραφή αλλά και ποσοτική αναγνώριση του περιεχομένου αυτής, πάντα στα πλαίσια της Συνέργειας με τις σχετικές συναφείς επιστημονικές περιοχές [π.χ. της Τεχνητής Νοημοσύνης και των Βάσεων δεδομένων νέας γενιάς (“Multimedia Systems”)]. [IV. 7] Σημειώνεται δε ότι η αριθμητική (“αριθμητικοποιημένη”) μορφή μίας ψηφιακής/ψηφιοποιημένης (δισδιάστατης) εικόνας εμπεριέχουν εξαιρετικό πλούτο πληροφορίας, προς αξιοποίηση και ανάδειξη της οποίας χρησιμοποιείται πληθώρα υπολογιστικών εργαλείων. Αυτή ακριβώς η επεξεργασία της “χαρτογραφημένης” (/ψηφιοποιημένης) αναπαράστασης του φυσικού/οπτικού κόσμου επαφίεται τόσο στην συνειδητή αποφυγή/υπερκέραση μηχανισμών ποιοτικής φθοράς όσο και στην επίτευξη ενιαίων ομογενών κατατμημένων περιοχών προς επεξεργασία. [IV. 8 - 10]

Από την παραπάνω παράθεση γενικών/εισαγωγικών γεγονότων και στοιχείων γίνεται περισσότερο από εμφανές η ανάγκη εμβάθυνσης και πραγματείας επί θεμάτων οπτικών μοτίβων (“visual patterns”) και δομών που εμφανίζονται (από υπολογιστική/μαθηματική σκοπιά) σε ψηφιακές εικόνες, δομές οι οποίες διακατέχονται και χαρακτηρίζονται από κοντινά σημεία ενδιαφέροντος με σχετική/τοπική συνάφεια ή/και τοπολογική σχέση/συσχετισμό (“topological correlation”). [IV. 11] Το καίριο κοινό χαρακτηριστικό των προαναφερθεισών οπτικών μοτίβων και δομών είναι ότι μελετώνται εκτός του φυσικού κόσμου εκ του οποίου προέρχονται: εισάγονται ως οπτική πληροφορία και αποτελούν μία ψευδο-απεικόνιση της Πραγματικότητας, μία “ψηφιοποιημένη ψευδαίσθηση” εκ της οποίας μπορούμε να εκμαιεύσουμε (μέσω της εφαρμογής συγκεκριμένων υπολογιστικών αλγορίθμων) απτές και αξιοποιήσιμες πληροφορίες/δεδομένα, όντας το σημείο συνάντησης “Όρασης – Επεξεργασίας Σήματος μέσω Η/Υ – Φυσικής Επιστήμης”. [IV. 12]

Εν συνεχεία πρέπει να τονισθεί ότι αυτός ακριβώς ο χώρος διεπιστημονικής συνεργασίας μεταξύ ηλεκτρονικής εφαρμογής και επεξεργασίας του φυσικού χώρου και των ιδιοτήτων των υλικών ενέχει δυσκολίες και προκλήσεις, τόσο λόγω της εγγενούς μαθηματικοποίησης των φυσικών επιστημών όσο και λόγω των τεραστίων αλμάτων που λαμβάνουν χώρα σε πραγματικό χρόνο (σε επίπεδο εφαρμογών αλλά και διαθέσιμων εργαλείων). Αυτά οδηγούν σε επιτυχή ποσοτικοποίηση και μετάβαση από το “Αντικείμενο” στην αναπαραστημένη “Εικόνα”, στην εξαγωγή των χαρακτηριστικών/ιδιοτήτων ενδιαφέροντος (“feature extraction”) αυτής, στην ταξινόμηση/περαιτέρω επεξεργασία αυτών και εν τέλει στις εφαρμογές εκ των οποίων θα επωφεληθεί η Ακαδημία/Ερευνα, η Βιομηχανία και η Κοινωνία. [IV. 13 - 14]

Κλείνοντας αυτή την σύντομη περιγραφή των δυνατοτήτων και πλεονεκτημάτων της Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας, πρέπει να ειπωθεί ότι τόσο οι βασικές θεωρήσεις και προσεγγιστικές μεθοδολογίες όσο και οι μορφολογικές χωρικές συσχετίσεις/αποδόσεις ιδιοτήτων (που αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της τεχνικής αυτής) αποτελούν συνεχώς εξελισσόμενο Ερευνητικό πεδίο, διακύβευμα του οποίου είναι όχι μόνο η ακριβής αναγνώριση/περιγραφή και εικονική/ψηφιακή αναπαραστάση της υλικής Πραγματικότητας αλλά ουσιαστικά η ανταπόκριση στις ανάγκες και ευσεβείς πόθους μίας σύγχρονης Κοινωνίας όπου η πρόσβαση στην γηγενή –απροσπέλαστη γαρ και αναξιοποίητη ως τώρα– Γνώση είναι προαπαιτούμενο για την Κοινωνική Τεχνολογική Ευμάρεια [IV. 15 - 16]

IV.b. Οι “Προσωπικοί” Υπολογιστές (sic) και... τα Πρόσωπα (“Εμείς”)

Προτού συνεχίσουμε και μεταβούμε στο ενδότερα της Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας, αξίζει να γίνει αναφορά και να τονιστεί ότι οι εξελίξεις στο μείζον θέμα της αυξανόμενης διείσδυσης των Προσωπικών Υπολογιστικών σε παραδοσιακά “Ανθρώπινους” χώρους (εκεί όπου η Ανθρώπινη επικυριαρχία στέκει -;- αναμφίβολη) είναι πλέον μέρος της καθημερινότητας μας (και όχι μόνο σε επίπεδο Ενημέρωσης & Πληροφόρησης). Παραδείγματα πεδίων εφαρμογών των Η/Υ –προϊόντα αποδελτίωσης των τρεχόντων νέων– αποτελούν τόσο η Τέχνη (π.χ. Ζωγραφική, Ποίηση, στιχουργική) όσο και περισσότερο βασισμένες σε λογική ή μαθηματικά (αλλά και την “Ανθρώπινη” φαντασία!) θεματικές περιοχές (π.χ. Σκάκι, μουσική Σύνθεση και Αρμονία). [IV. 17 - 26]

Για τον λόγο αυτό, εισερχόμαστε –μέσω του σχεδιασμού συστημάτων εξαγωγής και διαχείρισης πληροφορίας– στο μείζον θέμα της Υπολογιστικής Νοημοσύνης (“Computational Intelligence”), των Γνωσιακών Μηχανών (“Cognitive Machines”) και της Τεχνητής Νοημοσύνης (“Artificial Intelligence”), με ιδιαίτερη έμφαση τόσο στην Μηχανική Μάθηση (“Machine Learning”), τα Νευρωνικά Δίκτυα (“Neural Networks”) (συμπεριλαμβανομένου βαθιών νευρωνικών αρχιτεκτονικών – “deep learning”), των Εμπείρων Συστημάτων (“Expert Systems”) (τα οποία θα πραγματευθούμε στην συνέχεια) όσο και στην Εξόρυξη Δεδομένων (“Data Mining”). Η σημαίνουσα και διαφοροποιός/εναλλακτική προσέγγιση που έχει παρατηρηθεί ωστόσο τα τελευταία χρόνια όσον αφορά την Τεχνητή Νοημοσύνη (και την Νοήμονα Συμπεριφορά εν γένει) έγκειται στην αλλαγή στρατηγικού σχεδιασμού από την γραμμική μετάβαση: “ερέθισμα → τεχνητές/υπολογιστικές διεργασίες → ανταπόκριση (και ανατροφοδότηση)” στην έμφαση προς μοντελοποιημένες γνωσιακές διεργασίες του ανθρώπινου νου, ταύτιση ή συσχέτιση με αυτές και απόφαση κατάλληλης μηχανικής απόκρισης ανά περίπτωση/περιστατικό. [IV. 27 - 30] Η Τεχνητή Νοημοσύνη, τόσο ως κλάδος της Πληροφορικής αλλά και ως θεμέλιο της Γνωσιακής Επιστήμης (“Cognitive Science”), αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της σημερινής καθημερινότητας και έχει ξεπεράσει τα όρια του στενού ορισμού αυτής από τους Barr και Feigenbaum, υπηρετώντας επιτυχώς τον σύγχρονο Άνθρωπο και ταυτόχρονα ωθώντας τα όρια της Κυβερνητικής Επιστήμης (“Cybernetics”). Σημειώνεται δε, ότι οι εφαρμογές Τεχνητής Νοημοσύνης (συμπεριλαμβανομένου της Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας) ενέχουν όχι μόνο τεχνολογικές αλλά και φιλοσοφικές προεκτάσεις (θέτοντας εξαιρετικά ερωτήματα τα οποία ταλαντεύαν την ανθρώπινη νόηση και ύπαρξη από την αρχή της καταγεγραμμένης Ιστορίας π.χ. ορισμός της έννοιας “Νοημοσύνη”; δύναται μη-έμβια όντα να κατέχουν Νοημοσύνη ή έστω “IQ”; η μαθηματική λογική μεταφέρεται/μεταφράζεται επακριβώς σε γλώσσα μηχανής; εάν ναι, μπορεί να αποτελεί θέλος στην φαρέτρα ενός σύγχρονου Γνωσιακού Μηχανικού; κλπ) και για τον λόγο αυτό η προσέγγιση αυτής χρίζει σαφούς οριοθέτησης του κάθε προβλήματος προς αντιμετώπιση (μέσω επιλογής κατάλληλων τρόπων περιγραφής/αναπαράστασης της πληροφορίας/Γνώσης και φυσικά, αλγορίθμων αναζήτησης των λύσεων). [IV. 31 - 34]

Εν συνεχεία, τίθεται το ζήτημα της Λογικής, πάντα υπό το πρίσμα και στα πλαίσια τόσο της Υπολογιστικής Επιστήμης όσο και των Επιστημών του Μηχανικού: η επεξεργασία και η ανάλυση της εικόνας διέπονται από νοήμονες συλλογισμούς (υπό την μορφή αλγορίθμων), οι οποίοι ουσιαστικά είναι πραγμάτωση μίας θεωρητικής προσέγγισης/μοντέλου εργασίας (το οποίο ανταποκρίνεται ικανοποιητικά ή όχι στο παρατηρούμενο φαινόμενο/συμπεριφορά). Ως τέτοιο, κάθε λογικό μοντέλο (προσέγγισης της Πραγματικότητας) απλοποιεί το υπό διαπραγματέυση θέμα στα ουσιώδη μέρη του ούτως ώστε να είναι δυνατή η λογική κατανόηση και εκλογίκευσή του. Εντούτοις, το πεδίο της (Ανθρώπινης) Λογικής, όπου μία δήλωση ή πρόταση μπορεί να είναι “αληθής” ή “ψευδής” (εξαρτώμενη πάντα από τις συγκεκριμένες συνθήκες και ορισμένες παραμέτρους), μεταφέρεται μεν στα συστήματα της Υπολογιστικής Επιστήμης υπό την

μορφή λογικών εκφράσεων (μαζί με την δυική διάσταση/κατάσταση των δηλώσεων/χαρακτηριστικών) αλλά “γεννάει” μία νέα υπολογιστική συλλογιστική διάσταση, αφήνοντας εκτός το ανθρώπινο κομμάτι της μαθηματικής/λογικής μεταφυσικής. Εάν ο στόχος ενός φορμαλιστικού “λογικού” προγράμματος είναι να δικαιωθούν οι εμπειρικές αξιώσεις –εκ των προτέρων γνωστές στον χρήστη– τότε η (μαθηματική) Λογική η ίδια περιέρχεται σε απαξία (ως ένα σύνολο υπολογιστικών κανόνων χειραγώγησης συμβόλων). [IV. 35 - 39] Η σημασία όμως της Λογικής δεν έγκειται μόνο στην επιστημοποίηση μαθηματικών δομών και θεωριών αλλά στην ουσιαστική “καρδιά” του ζητήματος: ακριβής περιγραφή και μεταφορά της Πραγματικότητας στο υπολογιστικό περιβάλλον, χωρίς να εμπλακούμε σε ζητήματα εκφραστικότητας μεν αλλά μη-υπολογισιμότητας δε (καίριο χαρακτηριστικό Λογικής Πρώτης Τάξεως – “First Order Logic”) [IV. 40 - 43]

Τα παραπάνω έχουν ιδιαίτερη σημασία και νόημα αναλογιζόμενοι την ραγδαία άνοδο της Παράλληλης Μηχανικής (“Concurrent Engineering”) και της Μηχανικής Υποβοηθούμενης από Η/Υ (“Computer-Aided Engineering”), όπου η ανάπτυξη μίας κατασκευής ή ενός προϊόντος (σε βιομηχανική κλίμακα μεγέθους) χρήζει μελέτης και ανάλυσης μέσω υπολογιστικού λογισμικού (το οποίο επιταχύνει τον κύκλο ανάπτυξης και υποστήριξης του προϊόντος). Αυτή ακριβώς η επιτυχής λογική προσομοίωση δυναμικών μοντέλων και ο εκτενής υπολογιστικός πειραματισμός επιτρέπουν εξαιρετικά ευρύ φάσμα μηχανικών συστημάτων και απαιτήσεων (με ταυτόχρονη ακριβή πρόβλεψη της συμπεριφοράς των προϊόντων), ενώ ταυτόχρονα αποτελούν “σημάδι των καιρών”, ενδεικτικό της Καινοτομικής μετάβασης από την παροχή “προϊόντων βασισμένων στους πόρους” στην Ολιστική παροχή “προϊόντων βασισμένων στην Γνώση”. Η κυρίαρχη θέση των Υπολογιστών είναι αδιαμφισβήτητη και στην περίπτωση αυτή. [IV. 44 - 49] Εντούτοις, αυτές οι επιστημονικές τεχνικές προγραμματισμού επαφίονται πρωτίστως στην Οπτική Αντίληψη (μέσω αισθητήρων) (“Visual Sensory Perception”) και ως εκ τούτου, είναι μία εξαιρετικά πολύπλοκη διεργασία όσον αφορά την ακριβή λογική ψηφιοποίηση και επιτυχή μεταφορά αυτής της Κουλτούρας της Εικόνας ή Οπτικής Κουλτούρας προς εξαγωγή απτών/αξιοποιήσιμων χαρακτηριστικών. Η οργάνωση, αναγνώριση και ακριβής μετάφραση/απόδοση “νοήματος”(Ερμηνείας) της πρωτόλειας πληροφορίας είναι η βάση για την κατανόηση του (υλικού/φυσικού) Περιβάλλοντος και για τον λόγο αυτό, η Υπολογιστική Επιστήμη και ο επιστημονικός Προγραμματισμός εξαρτώνται άμεσα ως προς τους λογικούς μηχανισμούς τους. [IV. 50 - 54] Βάσει των παραπάνω, καθίσταται εμφανής η ουσία και της Υπολογιστικής Νοημοσύνης (“Computational Intelligence”), τόσο από την σκοπιά του Επιστημονικού Προγραμματισμού όσο και της βιομηχανικής συνέργειας μεταξύ της Μηχανικής Ευφυΐας (“Machine Intelligence”) και της Εξελικτικής Υπολογιστικής (“Evolutionary Computing”): η ερμηνεία και αξιοποίηση δεδομένων διαφορετικής φύσης και υπόστασης της συμβολικά αναπαριστούμενης πληροφορίας Γνώσης. Περαιτέρω εντρυφήση στα “άδυστα” αυτής της Επιστήμης της Πολυπλοκότητας/Χάους μας αναδεικνύει τους γηγενείς σοβαρούς περιορισμούς της και την στροφή/τάση προς αύξηση των πρωτογενών υπολογιστικών/αριθμητικών δεδομένων έναντι μίας αέναης ανάγκης για αναλυτικά περιγραφικά μοντέλα αναπαράστασης της Γνώσης σε υψηλό επίπεδο. Εντούτοις, η συλλογή αλγορίθμων (ιδιαιτέρως εξελικτικών) και μεθόδων αντιμετώπισης καταστάσεων και αναδυόμενων συμπεριφορών (“emerging behaviours”) οδηγεί τις τελευταίες δεκαετίες σε επιτυχή αναπαράσταση της δυναμικής αλληλεπίδρασης αυτών και παράγει υπολογιστική ευφυή συμπεριφορά λειαινώντας το έδαφος προς την Τεχνητή Ζωή (“Artificial Life”), με συστοιχία ακριβή υπολογιστική μεταφορά των ανώτερων ανθρώπινων πνευματικών λειτουργιών (οι οποίες προσεγγίζονται ως “Συστήματα Κατανομημένης Επεξεργασίας ή Συνδεδειγμένης Υπόθεσης” – “Distributed Representation Processing / Connectionism”) [IV. 55 - 61]

Έχοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω, προχωράμε στην Επιστήμη της Επεξεργασίας της Εικόνας αυτή καθαυτή, η οποία προσεγγίζει τόσο τα απτά ζητήματα ψηφιοποίησης και κωδικοποίησης μίας εικόνας (ούτως ώστε να διευκολυνθεί η μετάδοση της πληροφορίας

και η αξιοποίηση/εκμετάλλευση της π.χ. εκτύπωση/ασφαλής αποθήκευση), όσο και θέματα βελτίωσης/αποκατάστασης της ποιότητας αυτής με σκοπό την μεγιστοποίηση της ανακτώμενης πληροφορίας προς περαιτέρω αξιοποίηση. Ωστόσο, από Υπολογιστική σκοπιά η ανάλυση μίας εικόνας μέσω Η/Υ δεν έγκειται/περιορίζεται μόνο στην απόδοση (μέσω υπολογισμών) ιδιοτήτων του φυσικού κόσμου από μία ή περισσότερες ηλεκτρονικές εικόνες/πηγές αλλά ενέχει την μελέτη μεθόδων και τεχνικών όπου συστήματα τεχνητής όρασης (τα οποία θα πραγματευθούμε επομένως) κατασκευάζονται και εφαρμόζονται ούτως ώστε να δύναται ικανή η λήψη χρήσιμων αποφάσεων όσον αφορά τις πραγματικές αισθήσεις (ως εισαγωγή δεδομένων) ή τα υλικά αντικείμενα. Επίσης, η “χειραγώγηση”/ανάδειξη της γηγενούς πληροφορίας υπό την μορφή εικόνας στοχεύει αφενός στην καλύτερη κατανόηση αυτής από τον Άνθρωπο (χειριστή ή αποδέκτη της υπηρεσίας/προϊόντος) και αφετέρου στην διεργασία “Κατανόησης” αυτής από τον Η/Υ (βλέπε αυτοματοποιημένες/μηχανικές επεξεργασίες δεδομένων). Η μετάβαση από τον αναλογικό κόσμο στον ψηφιακό (υπό την μορφή διακεκριμένου σήματος), με το συνεπακόλουθο εξαιρετικά ευρύ φάσμα εφαρμογών (περιλαμβανομένου του τεράστιου εμπορικού, ερευνητικού και βιομηχανικού ενδιαφέροντος) χρήζει ιδιαίτερης προσοχής καθότι επαφίεται στην εμπειρία και γνωσιακό παρελθόν του χρήστη/ενδιαφερόμενου. **[IV. 62 - 67]** Οι βασικές αρχές αυτής της μετάβασης αποτελούν κοινό χώρο μελέτης/έρευνας και εφαρμογής πληθώρας επιστημονικών προσεγγίσεων ενώ οι πολύπλοκοι αλγόριθμοι μετατροπής προσφέρουν τόσο εκλεπτυσμένους αλλά και εξεζητημένους βαθμούς απόδοσης/απάντησης σε πλήθος εφαρμογών, καθιστώντας την χρήση αναλογικών μεθόδων ασύμφορη και εντέλει αδύνατη, ωθώντας αυτές στις “πίσω σελίδες” της επιστημονικής/ερευνητικής Ιστορίας. Επίσης, από φυσικής/εξελικτικής σκοπιάς, είναι άξιο παρατήρησης ότι η πολυπλοκότητα των αισθητηρίων συστημάτων στην Φύση είναι αποτέλεσμα/εξάρτηση του χρόνου, ενώ τα βήματα που έχουν λάβει χώρα στην Υπολογιστική Επιστήμη δεν έχουν περιορισθεί από το πέρας του χρόνου (συγκριτικά απειροελάχιστο χρονικό διάστημα) αλλά μόνο από την -ραγδαία τα τελευταία τριάντα χρόνια- άνοδο της Υπολογιστικής ισχύος αυτών, ενώ το γνωστό ρητό “μία εικόνα ισούται χίλιες λέξεις” υπό την οπτική της Επεξεργασίας Εικόνας δεν περιγράφει πλήρως/συμπεριλαμβάνει τις δυνατότητες αυτής (σε επίπεδα εξαγωγής, ανάκτησης, μεταφοράς ή συγκράτησης χρήσιμης πληροφορίας αλλά και διατήρησης του ενδιαφέροντος του χρήστη). Η τελευταία διαπίστωση “στέκεται” και είναι λογικά αποδεκτή ασχέτως ακαδημαϊκού/επιστημονικού υποβάθρου προσέγγισης (είτε πρόκειται για μαθηματική θέαση εφαρμοσμένων/στατιστικών θεωριών/εξισώσεων είτε ζήτημα μορφών υψηλής διάστασης ανάλυσης σήματος): μία ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα αναιρεί και αναθεωρεί εκ βάθρων την όποια ποσοτικοποίηση αυτής. **[IV. 68 - 72]**

Με την ανωτέρω μετατόπιση παραδείγματος/θεώρησης (“paradigm shift”) κατά νου, καταλήγουμε/επιστρέφουμε στην αρχή της περιπλάνησης/εντρύφησης μας σε αυτήν την διασύνδεση της ζωντανής Ανθρώπινης Ύπαρξης/Νοημοσύνης με το ανθρώπινο κατασκευάσμα, τους Ηλεκτρονικούς Υπολογιστές και την Ηλεκτρονική/Υπολογιστική Επιστήμη. Μπορεί μεν η ανθρώπινη ευφυΐα να αποτέλεσε την βάση για τα επόμενα (και τον ορυμαγδό των επιστημονικών εξελίξεων), εντούτοις η Φύση της η ίδια δεν είναι ιδιαιτέρως “φιλική προς τον χρήστη” (“user-friendly”) σε σχέση με τις σημερινή γενιά υπολογιστικών μηχανών: οι Η/Υ ανέχονται και ευδοκιμούν έναντι καταϊγισμού πολύπλοκων δεδομένων (έναντι του ανθρώπινου πεπερασμένου) ενώ η φυσική “εξελικτική” απόρροια τους οδήγησε και επέφερε θεμελιώδη στροφή αντιμετώπισης τους (από “απλούς” περατωτές τεράστιου πλήθους και πολυπλοκότητας πράξεων αποτελούν πλέον το “μέσο” το ίδιο της επικοινωνίας και μετάδοσης της Πληροφορίας). Η καίρια αυτή μεταστροφή είναι προϊόν τόσο του επιπέδου ικανότητας/ικανής απόδοσης όσο και της δυνατότητας “ευφυούς” εξαγωγής αξιόπιστων συμπερασμάτων από τις Μηχανές (ακόμα και σε θέματα ευριστικής προσέγγισης ή και χωρίς a priori γνώση δοθείσα από μέρους του χειριστή/χρήστη –

Ανθρώπου!). Το διακύβευμα εν προκειμένη δεν είναι μόνο η αριστοποιημένη (επί)λύση ενός δεδομένου προβλήματος βελτιστοποίησης (π.χ. μέσω της εύρεσης κατάλληλης ομάδας παραμέτρων, εφαρμογής τεχνικών χαρακτηρισμού, καθορισμού μοντέλων εμφάνισης και συμπεριφοράς ιδιοτήτων) αλλά η ίδια η απόδοση νοήματος, διάδραση και αλληλεπίδραση των Μηχανών μέσω οπτικών ερεθισμάτων και αισθητήρων (ιδιάζουσας σημασίας για την “επιβίωση” τους). [IV. 73 - 77]

IV.c. Η Όραση του Υπολογιστή και ο Υπολογισμός της Όρασης

Η “Όραση Υπολογιστή” (“Computer Vision”) βρίσκεται στο σταυροδρόμι δύο κύριων διακριτών αλλά συνάμα συναφών επιστημονικών πεδίων, της Τεχνητής Νοημοσύνης και της Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας. Ως τέτοια, η Όραση Υπολογιστή νοείται ως το πεδίο έρευνας της απόδοσης δυνατοτήτων εκμετάλλευσης οπτικών αισθητηριακών εισροών σε Η/Υ, με στόχο την τελική επίτευξη μίας Νοήμων Μηχανής (“Intelligent Automata”). Ένας γενικός ορισμός της Όρασης Υπολογιστή είναι ως η επιστήμη που πραγματεύεται την μηχανική οπτική αντίληψη (νόηση και κατανόηση των οπτικών ερεθισμάτων) και συμπεριλαμβάνει όλες τις τεχνικές και μεθόδους κτήσης και επεξεργασίας δεδομένων (υπό την μορφή ψηφιακής εικόνας-πληροφορίας) από τον Πραγματικό Κόσμο, ούτως ώστε να καταστεί δυνατή η λήψη αποφάσεων (μέσω την αξιοποίησης της αριθμητικής ή συμβολικής πληροφορίας) εκ μέρους του Η/Υ. Αυτή ακριβώς η λογική δημιουργία και κατασκευή ακριβών, αξιοποιήσιμων και “νοήμων” περιγραφών του φυσικού κόσμου και των αντικειμένων του (μέσω των εικόνων ως οπτικών πηγών πληροφορίας/αισθήσεως) αποτελεί το διαφοροποιό στοιχείο μεταξύ της πλήρους κατανόησης μίας εικόνας και της (όποιας) υπολογιστικής επεξεργασίας της. [IV. 78 - 79] Εντούτοις, η (μηχανική) κατανόηση πολύπλοκων πληροφοριακών δεδομένων υψηλών διαστάσεων ενέχει (και απαιτεί) αξιοποίηση και συνέργεια μεταξύ τόσο υπολογιστικών τεχνικών όσο και μεθόδων φυσικών επιστημών καθότι το πραγματικό ζήτημα/ερώτημα έγκειται στην επίτευξη κατάλληλου επιπέδου υπολογιστικής πολυπλοκότητας (με ικανή την επιτυχή αλγοριθμική επίλυση του διεπιστημονικού προβλήματος) και συνάμα την σύνδεση της με τα φυσικά χαρακτηριστικά του προς επίλυση ζητήματος. Η επίτευξη αυτής της λεπτής ισορροπίας επιφέρει την εις βάθος αναγνώριση του αντικείμενου (και των χαρακτηριστικών ενδιαφέροντος αυτού) ενώ έπεται αμέσως μετά η ενσωμάτωση της πληροφορίας στην αρχιτεκτονική του συστήματος της Όρασης Υπολογιστή (και τις απτές προεκτάσεις/εφαρμογές αυτού, είτε βιομηχανικές, τεχνικές και επιστημονικές). [IV. 80 - 82]

Ουσιαστικά, η Όραση Υπολογιστή αποτελεί ένα διαλεκτικό/νοητικό σύνορο το οποίο συνεχώς επεκτείνεται. Η Αντίληψη του Κόσμου (μέσω των εισερχομένων χρωματικών οπτικών δεδομένων) εμπεριέχει ποιοτική/χρήσιμη μεν πληροφορία αλλά και περίσσεια παραπλανητικής/εσφαλμένης (“άχρηστης”) πληροφορίας. Για τον λόγο αυτό η πρόκληση έγκειται στην κατηγορηματική/ρητή και ακριβή δήλωση/επιλογή των υπό μελέτη χαρακτηριστικών ενδιαφέροντος: αυτά θα καθορίσουν τόσο την θεώρηση της αναπαριστούμενης Πραγματικότητας όσο και τους υπολογιστικούς μηχανισμούς που θα εκτελεστούν με αυτή την εισαχθείσα γνώση. Η περαιτέρω επιτυχία του παραπάνω εγχειρήματος εναπόκειται τόσο στην προαναφερθείσα εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων για το “ξεμπέρδεμα” του κουβαριού όσο και στην δημιουργία αξιόπιστων πηγών/Αρχών Γνώσης: αποτέλεσμα του συνδυασμού αυτών των δύο κινητήριων “πιστεύω” και με εφαλτήριο την ταυτόσημη δημιουργία αποδοτικών συμβολικών περιγραφών του κόσμου της Εικόνας μέσω της εικόνας του Κόσμου, τα όρια αυτού του Γενναίου και Θαυμαστού Νέου Κόσμου (όπου η Υπολογιστική Επιστήμη και η Μηχανική γίνονται ένα) δεν γνωρίζουν τέλος. [IV. 83 - 86]

Έχοντας αναφερθεί στην Νοημοσύνη των Υπολογιστών, είναι αναγκαία να τονισθεί η αλληλεπίδραση μεταξύ Ανθρώπων και Υπολογιστών (*“Human-Computer Interaction -HCI”*) καθώς τα συστήματα Όρασης Υπολογιστή αποτελούν την πραγμάτωση υπολογιστικών τεχνικών σε καινοτόμους τομείς διάδρασης των Η/Υ με τον ανθρώπινο Εγκέφαλο και Νου. Κατ’ επέκταση, η εφαρμογή και ενσωμάτωση αρχών Όρασης Υπολογιστή (και αναγνώρισης μοτίβων ή *“εκμάθησης συμπεριφορών”* εκ μέρους της *Τεχνητής Νοημοσύνης*) κατέχει πρωτεύουσα θέση και αξιοσημείωτο ενδιαφέρον στο επίπεδο της παροχής (και ενσωμάτωσης) Ανθρώπινης Γνώσης στο Νοήμον Υπολογιστικό Σύστημα. Τα ανθρώπινα μέσα αντίληψης/αισθητήριου ερεθισμού σε συνδυασμό με τις αποκρίσεις αυτών αποτελούν έναυσμα για περαιτέρω *“μίξη”* (*“fusion”*) της Τεχνολογίας, όπου οι πληροφορίες (υπό την μορφή ψηφιακών σημάτων –*“digital signals”*) επεξεργάζονται και μεταφράζονται σε απτά δεδομένα (τα οποία παραμένουν εντός του γενικότερου πλαισίου της παρεχόμενης πληροφορίας και εξαρτόμενα από αυτό). [IV. 87 - 89] Η στρατηγική στροφή της ανθρώπινης προσέγγισης έχει λάβει ήδη χώρα: η μονοσήμαντη και απευθείας τροφοδότηση (και χειραγώγηση) της παρεχόμενης (από τον Άνθρωπο) πληροφορίας προς τον Η/Υ έχει ανέλθει πλέον στο επίπεδο συζήτησης της Ανάθεσης σε *“αυτόνομα σκεπτόμενες”* (sic) Μηχανές (οι οποίες *“συμπεριφέρονται”* και *“επικοινωνούνε”* εντός αποδεκτών νορμών). Τα παραπάνω γίνονται περισσότερο εμφανή αναλογιζόμενοι τόσο τις ιδιάζουσες (υπολογιστικές) απαιτήσεις σε πραγματικούς χρόνους απόκρισης (*“real time/interactive time”*) όσο και τις αξιοθαύμαστες εφαρμόσιμες επεκτάσεις τους, π.χ. στην ερευνητική περιοχή της Επαυξημένης Πραγματικότητας (*“Augmented Reality”*) αλλά και ιδιαιτέρως των Διεπαφών Ανθρώπινου Εγκεφάλου – Υπολογιστή (*“Brain – Computer Interactions”*) στην βάση των μοντέλλων επικοινωνίας των οποίων έγκειται η *“οπτικά καθοδηγούμενη συμπεριφορά”* και η *“οπτικά-προκαλούμενη εμπειρία”* (καθότι –υπό την σκοπιά της *Νευροεπιστήμης* και των *Μηχανικών Ρομποτικής*– τα οπτικά ερεθίσματα προκαλούν –και είναι– η αφορμή γνωσιακών βιωμάτων –). [IV. 90 - 92]

Οι γηγενείς δυσκολίες της Όρασης Υπολογιστών έχουν καταγραφεί και η αντιμετώπιση τους αποτελεί μείζον ζήτημα χωρο-χρονικής φύσης (*“spatio-temporal domain”*). Τα οπτικά χαρακτηριστικά μίας δεδομένης Εικόνας έγκεινται σε απτές κατανομές τοπικών στοιχείων πληροφορίας σε μία δεδομένη χωρική γειτονιά (*“spatial neighborhood”*), ως εκ τούτου η επεξεργασία αυτών προϋποθέτει την ύπαρξη και αξιοποίηση θεσμικών/δομικών νόμων συσχέτισης των μερών και της ευρύτερης εικόνας (π.χ. *εγγύτητα, ομογένεια, συνάφεια, συμμετρία, συνέχεια, κοινή συμπεριφορά/μετακίνηση έναντι του χρόνου κλπ*). Αναλογιζόμενοι τα παραπάνω, είναι εμφανές ότι αφενός οι εικόνες εν γένει περιέχουν *“περιττή”* (μη-αξιοποιήσιμη) Πληροφορία και αφετέρου, υπάρχει ένα εννοιολογικό χάσμα (*“semantic gap”*) μεταξύ της πρωτόλειας Πληροφορίας και της ορθής αναπαράστασης αυτής προς εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων/πληροφοριών. Η κατανόηση μίας δεδομένης εικόνας εκ μέρους του Υπολογιστή προϋποθέτει επίσης μία πολύ-επίπεδη διεργασία μίξης (*“fusion”*) της Πληροφορίας, όπου στόχος είναι η υψηλότερη απόληψη αποδοτικών δεδομένων προς επιτυχή αναγνώριση και αξιοποίηση των οπτικών πληροφοριών. Αυτή η μίξη όσον αφορά την Όραση Υπολογιστή είναι εξαιρετικά σημαίνον ερευνητικό πεδίο, με ιδιάζουσες δυσκολίες και εξαιρετικές ερευνητικές προσέγγισης προς επίλυση αυτών (π.χ. *“bottom-up image driven”* προσέγγιση, όπου η κίνηση, η αντίθεση και η γεωμετρία μίας δεδομένης οπτικής σκηνής καθώς και η χρονική αλληλουχία αυτής *“ενώνονται”* προς αναγνώριση γεγονότων ενδιαφέροντος για τον τελικό χρήστη). [IV. 93 - 95] Πέραν αυτών, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στις δυσκολίες σχεδίασης και εφαρμογής αλγορίθμων Όρασης Υπολογιστή ικανών να μεταφερθούν σε υπολογιστικές δομές Αρχιτεκτονικής της Όρασης (*“Vision Architecture”*), αναγκαίας προϋπόθεσης για την επιτυχή μετάβαση από το *“software”* στο *“hardware”* (π.χ. *σχεδιασμό πλακιδίων ολοκληρωμένων κυκλωμάτων/μικροεπεξεργαστών*). Εδώ, το οπτικό περιεχόμενο και η επεξεργασία του μέσω των υπολογιστικών δομών εναποθέτει ιδιαίτερο βάρος τόσο στην (υπολογιστική)

ιεραρχία της Όρασης όσο και στις συσκευές οι οποίες θα κληθούν να εκτελέσουν/πραγματοποιήσουν εντολές ή να λάβουν αποφάσεις βάσει της δοθείσας οπτικής Πληροφορίας. [IV. 96 - 98] Τέλος, επιστρέφοντας στα ζητήματα της ταξινόμησης (“classification”), ταξινόμησης συναρτήσεως τοπικότητας (“classification with localization”) καθώς και ανίχνευσης (“detection”) των γηγενών οπτικών δεδομένων, είναι σημαντικό να τονισθεί ότι ως διεργασία βελτιστοποίησης, η Όραση Υπολογιστών (ως μία μέθοδος επίτευξης ενός επιδιωκόμενου ποσοστού προσλήψιμης αλλά και άμεσα αξιοποιήσιμης Πληροφορίας) χρήζει ιδιαίτερης προσοχής λόγω των συνεχών επεκτεινόμενων ορίων αυτής: οι διεπιστημονικές προσεγγίσεις των ψηφιακών αλλά και μαθηματικών τοπολογιών των δομικών στοιχείων μίας εικόνας συνεχώς εξελίσσονται και ανταποκρίνονται όλο και ακριβέστερα στην Πραγματικότητα, όπως την βιώνουν και νοούν οι ανθρώπινοι χρήστες. Αυτή ακριβώς η “ρεαλιστική” ψηφιακή απεικόνιση αλλά και ερμηνεία γεγονότων/συμβάντων του ανθρωπίνου σύμπαντος, υπό την ματιά ενός Ηλεκτρονικού Υπολογιστή, επαφίεται σε μία διαρκώς διογκούμενη δεξαμενή Γνώσης, η οποία συνεχώς αυξάνεται και βελτιστοποιείται, μέσω της βελτίωσης αλλά και προσθήκης νέων θεωρητικών και πρακτικών μορφολογικών προσεγγίσεων/εργαλείων. [IV. 99 - 102]

IV.d. Πεδία εφαρμογών Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας και Όρασης Υπολογιστή

Τα πεδία εφαρμογών και αρχών Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας και Όρασης Υπολογιστή αρχής είναι πολυπληθή και συνεχώς αυξάνονται, εντούτοις ακολουθεί διακρίνονται ορισμένες θεματικές, αρχής γενομένης με την πρόοδο που έχει λάβει χώρα στο πεδίο του Βιομηχανικού Ελέγχου μέσω της εξέλιξης των τεχνικών ανίχνευσης σφαλμάτων (“fault detection”). [IV. 103 - 104] Επί τούτου, τονίζεται η συνέργεια της Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας με την Μηχανική Ελέγχου (“Control Engineering”), όπου επέρχεται στα επόμενα χρόνια μία μεταστροφή στρατηγικής προσέγγισης των αναλογικών/ολοκληρωτικών/παραγωγικών ελεγκτών (“PID controllers”) καθώς θα είναι δυνατή πλέον η αυτορύθμιση (“self-tuning”) αυτών των βιομηχανικών συστημάτων ελέγχου. [IV. 105 - 106]

Επίσης, εξαιρετικά ιδιαίζον πεδίο εφαρμογών αιχμής (“niche applications”) της Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας αποτελεί η αναγνώριση προσώπου (“facial recognition”), με πολλαπλά επίπεδα ενδιαφέροντος (π.χ. ανάλυση μοτίβων, τεχνητή νοημοσύνη και μάθηση, βιομετρικές τεχνολογίες, αναγνώριση Ανθρώπων/Πολιτών κλπ) και εξαιρετικά διευρυμένο εύρος πιθανών τελικών χρηστών. [IV. 107 - 109] Στην ερευνητική θεματική αυτή εντάσσονται τόσο εφαρμογές κοινωνικής ψυχολογίας (μέσω της συσχέτισης των ανθρωπίνων μορφολογικών χαρακτηριστικών αλλά και της ψηφιακής τους επεξεργασίας με υπό μελέτη προσωπικά χαρακτηριστικά ενδιαφέροντος –όπως εγκληματολογικής φύσεως–), όσο και θέματα ασφάλειας συναλλαγών/ελέγχων ηλεκτρονικής ασφαλείας (μέσω αναγνώρισης εντολών δια “νευμάτων” ή αναγνώρισης προσώπων μέσω προσωπικών χαρακτηριστικών τους π.χ. τις κινήσεις των κορών των ματιών του χρήστη, η ταχύτητα πληκτρολόγησης αυτού κλπ). [IV. 110 - 117] Επιστέγασμα των παραπάνω εφαρμογών φυσικά είναι οι τεχνολογικές εξελίξεις που άπτονται σε “ευαίσθητα” θέματα κρατικής/εθνικής ασφάλειας: η καταπολέμηση/αποτροπή τρομοκρατικών ενεργειών, η εξέλιξη/βελτίωση των υπολογιστικών αλγορίθμων αντιτρομοκρατικών δράσεων, η βελτίωση της παρακολούθησης (“surveillance”) αλλά και παρακολούθησης/επιτήρησης (“monitoring”) προσώπων ενδιαφέροντος προς τις Κρατικές Αρχές Ασφαλείας, η αξιοποίηση οπτικών και ψηφιακών τεχνολογιών κατά την εκτέλεση στρατιωτικών αποστολών, η επίτευξη αξιόπιστων και ασφαλών δομών προστασίας των υποδομών (και κρίσιμων σημείων κρατικού ενδιαφέροντος), η διαλεύκανση πολύπλοκων εγκλημάτων μέσω της αναγνώρισης ανθρωπίνων δράσεων/πράξεων και χρήση καμερών βάθους (τόσο σε αστικό όσο και περιστατικό περιβάλλον) όσο και η περιφρούρηση/επιτήρηση των συνόρων, όλα

αυτά συνάδουν με τα απτά τεχνολογικά πλεονεκτήματα της Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας και Όρασης Υπολογιστή. [IV. 118 - 132] Εντούτοις, η απουσία/παντελής έλλειψη Ανθρωπίνων Ηθικών ορίων στις υπολογιστικές εφαρμογές (βλέπε φόβους καταπάτησης της ιδιωτικής ζωής ή/και τρομοκράτησης των Πολιτών – υπό το πρίσμα του γνωστού διλήμματος “*Quis custodes ipsos custodiet*”) αποτελεί σημείο τριβής και θερμής συζήτησης με τους Πολίτες του Μέλλοντος, τους Ενεργούς Πολίτες των πολλαπλά δοκιμαζόμενων -κοινωνικά και οικονομικά- καιρών μας. [IV. 133 - 135]

Εν συνεχεία γίνεται σύντομη αναφορά στο ευρύτατο φάσμα των εφαρμογών της Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας, η οποία επεκτείνει το οπλοστάσιο τόσο της διαγνωστικής Ιατρικής και Φυσιολογίας [IV. 136 - 139] όσο και των Επιστημών Τηλεπικοινωνιών (μέσω της βελτίωσης της ταχύτητας, απόδοσης, ποιότητας και συμπύκνωσης του υπό μετάδοση σήματος) [IV. 140 - 145] αλλά και την τέχνη της Φωτογραφίας (στην Εποχή της Ηλεκτρονικής Εικόνας, η “μετα-επεξεργασία” –*post-processing*– μίας ψηφιακής φωτογραφίας είναι ένας σύγχρονος “Μικρός Θεός”). [IV. 146 - 148] Έτερη ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα θεματική όπου η Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας και η Όραση Υπολογιστή έχουν αποκτήσει διαρκώς αυξανόμενο ρόλο είναι η επεξεργασία δεδομένων υψηλών διαστάσεων (“*high-dimensional data*”), καθώς μέσω της ανάλυσης που εφαρμόζεται αφενός εξορύσσονται χρήσιμες/αξιοποιήσιμες πληροφορίες και αφετέρου πραγματοποιείται κατάλληλη συγκέντρωση σε ομάδες ανάλυσης (“*clustering*”) και στατιστικής μοντελοποίησης. [IV. 150 - 151] Σε παρόμοια πλαίσια, η Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας “ανοίγει” διάπλατα τις μαθηματικές επεκτάσεις και θεωρητικές αναζητήσεις, όπως πχ θέματα βελτιστοποίησης (μέσω της ελαχιστοποίησης της αντικειμενικής συνάρτησης η οποία έχει επιλεχθεί/καθορισθεί για την συγκεκριμένη/διακριτή περίπτωση εφαρμογής): εδώ η Ψηφιακή Επεξεργασία ως προσέγγιση και μέθοδο εργασίας/επίλυσης υπερτερεί των “κλασικών”/αυστηρά μαθηματικών προσεγγίσεων και βρίσκει αθρόο πεδίο εφαρμογής. [IV. 152 - 155] Αυτή ακριβώς η διευρυμένη μαθηματική διερεύνηση και προσέγγιση μέσω αρχών Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας βρίσκει αντίκτυπο/ανταπόκριση και σε περισσότερο εξεζητημένες εφαρμογές όπως η Ψηφιακή Ολογραφία (και φυσικά την επέκταση αυτής, την Ψηφιακή Ολογραφική Συμβολομετρία, όπου διενεργούνται μετρήσεις ακριβείας σε μικροσκοπικό επίπεδο) [IV. 156 - 157] αλλά και εφαρμογές Προστασίας της Πολιτιστικής Κληρονομιάς, ένα ιδιαίτερος ευαίσθητο ερευνητικό πεδίο όπου τα “λάθη” ή οι επιστημονικές “αστοχίες” δεν επιτρέπονται εν όψει της τεράστιας αρχαιολογικής, ιστορικής και πολιτιστικής αξίας των υπό μελέτη και θεραπεία αντικειμένων/κτηρίων. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον δε, παρουσιάζουν τόσο οι προσεγγιστικές εφαρμογές αυτοματισμών και ποσοτικοποίησης της φθοράς των μνημείων όσο και οι εκπαιδευτικής φύσεως ακαδημαϊκές προσεγγίσεις. [IV. 158 - 168]

Κλείνοντας αυτή την σύντομη περιγραφή και καταγραφή δεν πρέπει να λείπει αναφορά σε περισσότερο κλασικές/πεπατημένες ερευνητικές θεματικές, εκεί όπου η Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας ξεκίνησε μεν τα δειλά πρώτα βήματα αλλά επέστρεψε για να διαπρέψει: στα ολοκληρωμένα συστήματα ελέγχου και διαχείρισης της παραγωγής μέσω συστημάτων πληροφορικής, στην υποβοηθούμενη μέσω Η/Υ ανάλυση των ενεργειακών συστημάτων, στην ανάλυση και σχεδίαση ψηφιακών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων αλλά και ψηφιακών φίλτρων, σε εφαρμογές υπολογιστικής Χημείας και Χημικής Μηχανικής χωρίς βέβαια να αγνοούνται οι πρωταρχικές εφαρμογές και λύσεις σε επίπεδα επεξεργασίας εικόνας (η οποία πλέον έχει αναχθεί σε επιστήμη σχεδιασμού ολοκληρωμένων συστημάτων αληθινών εφαρμογών και “αντιληψιακής” κωδικοποίησης) αλλά και αναγνώρισης προτύπων (όπου πλέον η νόρμα ενέχει υπολογιστικές ευφυίες ικανές να πραγματοποιήσουν/διατελέσουν οπτική αναγνώριση προτύπων από πληθώρα πηγών, προσέγγιση βασισμένη και εμπνευσμένη από την Φύση/Βιολογία). [IV. 169 - 185]

IV.e. Σύνοψη αναφορά στην Εποποιία του Γνωσιακού Μηχανικού [· ίσως; σε λίγο; λίγο ακόμα;] και την μετάβαση σε μία Νέα Βιομηχανική/Κατασκευαστική Πραγματικότητα

Έχοντας τα παραπάνω υπόψιν, μεταβαίνουμε σε ένα κομβικό σημείο για τον μοντέρνο Μηχανικό: η εντρύφηση με την (ψηφιακή) πληροφορία, την επεξεργασία και οργάνωση αυτής αλλά και την ανάπτυξη των κατάλληλων/περισσότερο πρόσφορων αλγορίθμων για την ανάλυση και κατανόηση των πληροφοριών ουσιαστικά τον καθιστά ένα σύγχρονο Μηχανικό, Επιστήμονα Δεδομένων (“*Data Scientist*”) και συνάμα Γνωσιακό Εργάτη (“*Knowledge Worker*”), πραγμάτωση του πεδίου των Φυσικών Υπολογισμών (“*Natural Computing*”) σε συνδυασμό με την έμπρακτη σχεδίαση και πραγματοποίηση έξυπνων συστημάτων υλικών. [IV. 186 - 188]

Αυτός ο Γνωσιακός Μηχανικός, ικανός να μεταπηδά κλίμακες μεγέθους εφαρμόζοντας τις ίδιες πρακτικά υπολογιστικές/αναλυτικές προσεγγίσεις σε ριζικά “διαφορετικές” εικόνες –αξιοποιώντας όμως πάντα τα πραγματικά μορφολογικά χαρακτηριστικά των οπτικών πληροφοριών– αποσκοπεί στην ουσιαστική συνέργεια τεχνολογιών αιχμής ως προς την επίλυση απτών ζητημάτων “ανάκτησης περιεχομένου”: ο πλούτος της Πληροφορίας είναι “εκεί” και μέσω της σχεδίασης και εφαρμογής κατάλληλων υπολογιστικών αλγορίθμων αναδεικνύεται. Ως εκ τούτου, η συνεισφορά ενός Μηχανικού δεν έγκειται μόνο/απλώς στον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός “ολοκληρωμένου πακέτου λογισμικού”, όσον στην γνώση των ορίων ακρίβειας και αναπαράστασης της υπό εξέταση Πραγματικότητας. Καίρια θεματική ενός συγχρόνου Γνωσιακού Μηχανικού είναι τόσο τα υπολογιστικά μοντέλλα συστημάτων με αναδυόμενη πολυπλοκότητα (όπως π.χ. τα νευρωνικά δίκτυα αλλά και τα κυτταρικά/κυψελικά αυτόματα) με τα χαρακτηριστικά τους ζητήματα/προβλήματα προς διαχείριση (π.χ. θεώρηση, αντιμετώπιση και αποκωδικοποίηση τους ως εξειδικευμένους επεξεργαστές αντίδρασης-διάχυσης) όσο και η Γνώση/Τεχνογνωσία καινοτόμων προσεγγίσεων σε αρχιτεκτονικές σχεδίασης λογισμικού. [IV. 189 - 194]

Ως εκ τούτου, το καίριο σημείο συζήτησης πλέον έχει μεταφερθεί στο πεδίο αξιοποιήσιμων εφαρμογών υπό ανάπτυξη (και επίδειξη πάντα στην πραγματική κλίμακα χώρου και χρόνου) που “ανοίγεται” διάπλατα: αισθητήρες σε “έξυπνα” κτήρια, κάμερες βάθους ικανές να “αισθάνονται” και να “μαθαίνουν” συμπεριφορές και δράσεις “έξω” στον πραγματικό κόσμο, νανο-αισθητήρια οπτικά υλικά (με ιδιαίτερη έμφαση στα μικρο-ηλεκτρο-μηχανικά και μικρο-οπτο-ηλεκτρο-μηχανικά συστήματα), τηλεπικοινωνίες του Μέλλοντος, στοχαστικές και ευριστικές μέθοδοι βελτιστοποίησης, νέα ερευνητική “πνοή” σε θεωρητικά θέματα υπολογιστικής Χημείας, καινοτόμα συστήματα πυρασφάλειας υποδομών (με ταυτόχρονη αξιολόγηση τόσο της “ετοιμότητας” τους όσο και της συνολικής τους επίδοσης), πρόοδος σε θέματα μοντέλλων επικοινωνίας Ανθρώπου και Υπολογιστή (τόσο σε εφαρμογές Αλληλεπίδρασης Ανθρώπου-Μηχανής αλλά και σε Διεπαφές Εγκεφάλου-Υπολογιστή), σταδιακή μετάβαση σε έναν Κόσμο όπου η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι ο Κανόνας (και ως “νόρμα” έχει αφήσει το στίγμα της τόσο στο επιστημονικό, ιατρικό, καθημερινό αλλά και καλλιτεχνικό επίπεδο) αλλά και Κόσμο όπου εφαρμογές Μηχανικής (“Μηχανολογία + Ηλεκτρονική + Πληροφορική”) και Ρομποτικής θα είναι αναπόσπαστο μέρος της καθημερινότητας ενός Μελλοντικού Πολίτη (στην καρδιά της οποίας υβριδικής Επιστήμης της Ρομποτικής έγκειται η ψηφιακή αναπαραγωγή ανθρώπινων και εγκεφαλικών λειτουργιών). [IV. 195 - 213] Σε όλα τα παραπάνω, κοινός και ρυθμιστικός παρονομαστής είναι ο Ανθρώπινος σχεδιαστικός και εκτελεστικός παράγοντας: ο ρόλος και η αποστολή του σύγχρονου Γνωσιακού Μηχανικού είναι πρόδηλα κατευθυνόμενος και ταγμένος προς την τεχνολογική αναβάθμιση της Κοινωνικής Πραγματικότητας μέσω δημιουργίας νέων υλικών με συνυφασμένα ευφυή υπολογιστικά συστήματα, Μηχανικής επόμενης γενεάς και φυσικά επίτευξης Καινοτομίας (ώντας

προϊόν/σύζευξη πρακτικών Ακαδημίας & Βιομηχανίας) αλλά και πραγματικής Αειφόρου Ανάπτυξης. Στην κατεύθυνση αυτή –και προτού λάβει χώρα αναφορά στο σημερινό Κατασκευαστικό γίνεσθαι– πρέπει να τονισθεί ότι η Επιστήμη των Υπολογιστών (και δη της Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας) έχει ήδη κινήσει τα γρανάζια της (βιομηχανικής) Αλλαγής: οι νέες Τεχνολογίες έχουν ήδη συμπεριληφθεί στην τρέχουσα στάθμη της τεχνικής (“state-of-the-art”) και ως εκ τούτου, η Έρευνα στο εκτενές πεδίο αυτό έχει προσδώσει στέρεες βάσεις και απαντήσεις σε “δύσκολα” επιστημονικά θέματα και εφαρμογές Όρασης Υπολογιστή (όπως π.χ. η τρισδιάστατη όραση και μικροσκοπία Η/Υ, η επιτυχής αναγνώριση συνθέτων οπτικών πληροφοριών, η σχεδίαση αλγορίθμων χαρτογράφησης βάθους, αλλά και η σύνθεση, μοντελοποίηση, ανάλυση και επαν-οπτικοποίηση ψηφιακά επεξεργασμένων γεωμετρικών εικόνων). [IV. 214 - 220]

Προχωρώντας στην Κατασκευαστική διάσταση του θέματος (αξιοποίηση της συνέργειας των τεχνολογιών Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας και της κτηθείσας τεχνογνωσίας εφαρμογών στην παρασκευή δομικών υλικών και υποδομών), ο σύγχρονος Γνωσιακός Μηχανικός έχει ήδη συμβάλει καίρια στην επίτευξη και εφαρμογή υπολογιστικής νοημοσύνης ικανής να διαγνώσει αστοχίες/σφάλματα. [IV. 221 - 223] Αυτή όμως είναι ήταν μόνο η αρχή, εφελτήριο για την εξέλιξη και ουσιαστική πραγμάτωση της Ψηφιακής Παθολογίας, εφαρμοσθείσας στην Κατασκευή και στην Επιστήμη των Δομικών Υλικών (όπου αυτό το πληροφοριακό περιβάλλον που βασίζεται σε οπτικές πληροφορίες, θα επιτρέπει σε πραγματικό χρόνο την πλήρη διαχείριση –από την σκοπιά του χρήστη Μηχανικού– τόσο της πρωτόλειας πληροφορίας όσο και των πληροφοριακών επεκτάσεων αυτής μέσω εφαρμογών και εργαλείων τεχνητής νοημοσύνης). Η συγκεκριμένη αυτή τεχνολογία και η νεότερη δυνατότητα/ελευθερία της “τηλεπαθολογίας” που επιτρέπει στον σύγχρονο Μηχανικό έρχονται σε πλήρη συμφωνία με τις τρέχουσες ανάγκες της Κοινωνίας: την ποιοτική διασφάλιση κατάστασης και επίδοσης των κτιριακών υποδομών (ιδιαίτερα δε έναντι δυσχερών καταστάσεων/φορτίων όπως σεισμοί, τρομοκρατικές δράσεις κλπ) αλλά και την διαρκώς αυξανόμενη ανάγκη αναβάθμισης/επικαιροποίησης των αντίστοιχων Κατασκευαστικών Κωδίκων και Προτύπων (ώστε να συμπεριλαμβάνονται και να εφαρμόζονται τα νεότερα αυτά εργαλεία πρόληψης και αποτροπής αποτυχίας υλικών και έργων, ασχέτως της ανθρώπινης υπερβολής ή σφάλματος). [IV. 224 - 230]

Συνεπώς, η νέα επιστημονική ατραπός που διαγράφεται παραπάνω, βρίσκεται ουσιαστικά ήδη προ των πυλών για τον σύγχρονο Μηχανικό και αποτελείται από θέματα που άπτονται ιδιαίτερης διεπιστημονικής προσέγγισης και επίλυσης: περισσότερο συγκεκριμένα, ζητήματα Αειφορίας Κατασκευής, “έξυπνων” κτιρίων, ανθεκτικότητας υλικών, εφαρμογής μη-καταστρεπτικών τεχνικών αλλά και έμπρακτης κατοχής/γνώσης της σωστής πρακτικής/αξιοποίησης δομών από σκυρόδεμα. [IV. 231 - 234] Στα παραπάνω ο Μηχανικός καλείται να ανταποκριθεί τόσο σε σχεδιαστικό επίπεδο των αναγκαίων επεμβάσεων/έργων (συμπεριλαμβανομένου τόσο των λειτουργικών όσο και οικονομικών δεσμευτικών απαιτήσεων κάθε περίπτωσης –ειδικότερα δε όταν πρόκειται για έργα υποδομών και κοινής ωφελείας, όπως π.χ. γέφυρες, φράγματα, οδοστρώματα ή ακόμα και ανεμογεννήτριες από σκυρόδεμα) όσο και σε επίπεδο ψηφιακών συστημάτων αλγορίθμων (ικανών να αντιληφθούν και να φέρουν επιτυχώς σε πέρας το υπολογιστικό μέρος του εγχειρήματος). [IV. 235 - 239] Σε αυτό το σημείο είναι άξιο αναφοράς ότι οι διεθνείς ερευνητικές κατευθύνσεις και ενδιαφέροντα συνάδουν: η Σύγχρονη Βιομηχανία, Επιστήμη και Τεχνολογία του Σκυροδέματος παγκοσμίως συμφωνούν στην ύπαρξη σχετικών “αληθειών” (έναντι μίας “απόλυτης”/μόνης αποδεκτής θεώρησης) όσον αφορά το σκυρόδεμα και τις εφαρμογές του. Κάθε θεώρηση και αντιμετώπιση έχει το εύρος και παραμέτρους “επιτυχούς” εφαρμογής της, εντούτοις η μηχανική πρακτική και βιομηχανική πραγματικότητα είναι οι σύγχρονοι φορείς διαλεκτικής και εξέλιξης του χώρου. [IV. 240 - 241] Στο μείζον θέμα αυτό πρωταρχικό ρόλο διαδραματίζουν και οι Μη-Καταστροφικές Τεχνικές, τόσο στο στρατηγικό επίπεδο της δομικής αναγνώρισης και διάγνωσης της

φθοράς, όσο και στην μακροπρόθεσμη παρακολούθηση και επιδιόρθωση των δομημάτων/έργων από σκυρόδεμα: τα μηχανικά μοντέλλα υπολογισμού της φέρουσας ικανότητας ενός οργανισμού από σκυρόδεμα επωφελούνται της υπολογιστικής ακρίβειας (προς εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων) όπου οι μη-καταστροφικές τεχνικές έχουν ήδη συμβάλλει προς την επαλήθευση των δομικών περιγραφών των μαθηματικών μοντέλλων της υπό μελέτη συμπεριφοράς των δομικών υλικών. Η αξιοποίηση των αριθμητικών υπολογιστικών εργαλείων συμπληρώνει τους αναλυτικούς υπολογισμούς, καθιστώντας τις Μη-Καταστροφικές Τεχνικές το πραγματικό μέτρο συσχέτισης της διαγνωστικής Μηχανικής με την επιτυχή ποσοτικοποίηση της δεδομένης υπολειπόμενης ασφάλειας (“*residual safety*”) ενός δομήματος/έργου και του εύρους ζωής/υπηρεσίας του. [IV. 244 - 245]

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο βιομηχανικός τομέας της Κατασκευής έχει ήδη συμπεριλάβει στα επικαιροποιημένα κατασκευαστικά εγχειρίδια αναφοράς (“*handbooks*”) αλλά και τόσο στους στρατηγικούς οδικούς χάρτες (“*roadmaps*”) όσο και στα *non-papers* εργασίας, τις προχωρημένες θεωρήσεις σχεδιασμού, πραγματοποίησης και αποκατάστασης έργων (ειδικά των “μεγάλων” έργων υποδομών όπως αυτοκινητόδρομοι, γέφυρες, υδροηλεκτρικά φράγματα κλπ), ενσωματώνοντας τόσο θεμελιώδεις αρχές Μηχανικής (π.χ. η διεπιστημονικότητα και η συνέργεια διαφορετικών ειδικοτήτων προς επίτευξη της Καινοτομίας) όσο συνδυαστικές προσεγγίσεις της βιομηχανικής πρακτικής/εμπειρίας με την υπολογιστική επιστήμη. Πάλι, ο ρόλος και η θέση ευθύνης του Μηχανικού της Γνώσης είναι καίριοι και σε συνάρτηση με τα υπό διαπραγμάτευση κοινωνικά και οικονομικά μεγέθη: αυτά ακριβώς αποτελούν εφελκυστήρα και ωθούν τον Σύγχρονο Μηχανικό προς την κατεύθυνση της Αειφορίας σε επίπεδο διαχείρισης ανθρωπίνων πόρων, ποσοτικοποίησης των μοντέλλων για ακριβέστερη αξιολόγηση και συγκρισιμότητα των προσεγγίσεων, επιτυχή μακροχρόνια επιδιόρθωση και αντιμετώπιση της φθοράς έναντι πληθώρας αντίξων περιβάλλοντων, κατασκευαστικών θεμάτων διαχείρισης των έργων (π.χ. συγγραφή προδιαγραφών διεθνών συμβάσεων) αλλά και ουσιαστικής συγκέντρωσης της κτηθείσας Γνώσης προς περαιτέρω συλλογή, οργάνωση και διάχυση σε Μηχανικούς και επαγγελματίες του χώρου. Τέλος, ο Μηχανικός της Γνώσης θα κριθεί από τον Ιστορικό του Μέλλοντος στην ενεργή του συμμετοχή προς την επόμενη βιομηχανική Επανάσταση: αυτή θα είναι τόσο Κοινωνικής φύσεως (ειδικότερα δε εστιασμένη στο επίπεδο της Εταιρικής Υπευθυνότητας) όσο και Γνωσιακής (έχοντας εμβαθύνει και εφαρμόσει στην καθημερινότητα αρχές της Υπολογιστικής Επιστήμης). [IV. 246 - 254] Για όλα τα παραπάνω, ένας Μηχανικός επαφίεται αφενός πρωτίστως στις γνώσεις και στην εμπειρία (ιδιαιτέρως την συλλογικώς κτηθείσα) αφετέρου στα εργαλεία της εργασίας του: το καίριο εργαλείο και “όπλο” της επιλογής είναι το υπολογιστικό “πακέτο”/λογισμικό “*MatLab*”®, το οποίο παρουσιάζεται ενδελεχώς ακολούθως.

IV.f. Το *MatLab*® ως επιστημονικό λογισμικό κάλυψης αναγκών του σύγχρονου Μηχανικού

Το *MatLab* (“*MATrix LABoratory – MatLab*®”) είναι μία προγραμματιστική γλώσσα 4^{ης} γενιάς και περιβάλλον αριθμητικής υπολογιστικής (με δυνατότητα πολλαπλών προγραμματιστικών παραδειγμάτων – “*multi-paradigm*”), ικανό για την εκτέλεση/επίλυση πολύπλοκων αριθμητικών υπολογισμών (μέσω χρήσης πινάκων και διανυσμάτων), την αξιόπιστη και εύχρηστη απεικόνιση των αποτελεσμάτων αλλά και την ανάλυση/μοντελοποίηση της πληροφορίας. Ουσιαστικά το λογισμικό πακέτο *MatLab* αποτελεί ένα εξαιρετικά υψηλών προδιαγραφών διαδραστικό περιβάλλον (ικανό για πολύπλοκους αριθμητικούς υπολογισμούς και γραφική απεικόνιση αυτών), το οποίο συμπεριλαμβάνει ενσωματωμένες συναρτήσεις τεχνικών υπολογισμών, γραφικών και δυνατοτήτων απόδοσης κίνησης σε εικόνες (“*animation*”). Τα παραπάνω εργαλεία αυτά προσφέρουν στο *MatLab* ευρύτατο φάσμα εφαρμογών όπως υπολογισμοί γραμμικής

άλγεβρας, ανάλυση δεδομένων, επεξεργασία σήματος, αλγόριθμοι βελτιστοποίησης και αριθμητική επίλυση των συνήθων διαφορικών εξισώσεων. [IV. 255 - 256]

Ως γλώσσα προγραμματισμού, το MatLab είναι εξαιρετικά δημοφιλές στους βιομηχανικούς, ερευνητικούς, ακαδημαϊκούς/εκπαιδευτικούς, μηχανικούς αλλά και οικονομικούς κύκλους, κάτι το οποίο εν μέρει οφείλεται τόσο στην επεξεργαστική ισχύ του (έναντι του δεδομένου χρόνου) όσο και στην ευκολία εκμάθησης/χρήσης του. Ιδιαίτερη θέση στο περιβάλλον του MatLab έχουν οι διαθέσιμες εργαλειοθήκες ("*toolboxes*") –έτοιμα υπολογιστικά προϊόντα των προγραμματιστών του MatLab– οι οποίες λειτουργούν τόσο ως συλλογές συναρτήσεων ειδικού σκοπού (π.χ. στατιστική επεξεργασία, παράλληλη επεξεργασία, σχεδίαση συστημάτων ελέγχου, ανάλυση σήματος, επεξεργασία εικόνας και όραση υπολογιστή, νευρωνικά δίκτυα κλπ), όσο και ως "έτοιμα" προϊόντα γραφικών περιβάλλοντων για τον χρήστη. Επίσης, ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στην διαφορετική προσέγγιση του MatLab, ως προς τον θεμελιώδη τύπο διαχειρίσιμων δεδομένων: η πληροφορία αποθηκεύεται και επεξεργάζεται υπό την μορφή πίνακα (διατεταγμένη μορφή πληροφορίας) –το γεγονός αυτό "δίνει" και το όνομα στο πρόγραμμα: "MATrix LABoratory"– έναντι διανυσματικών πακέτων λογισμικού. [IV. 257 - 258]

Ιστορικά, η πρωταρχική έκδοση του προγραμματιστικού κώδικα του MatLab (σε γλώσσα Fortran) γράφτηκε από τον Cleve Moler (Αμερικάνος μαθηματικός και προγραμματιστής, με ειδικευση στην αριθμητική ανάλυση) την δεκαετία του 1970, υπό την μορφή ακαδημαϊκών βοηθημάτων (εκτέλεση/επίλυση αριθμητικής γραμμικής άλγεβρας μέσω συστημάτων Η/Υ αλλά και αριθμητικός υπολογισμός ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων σε πίνακες) για το Τμήμα Επιστήμης Η/Υ στο Πανεπιστήμιο του Νέου Μεξικού. Η επιστημονική κοινότητα των εφαρμοσμένων μαθηματικών "αγκάλιασε" την νέα αυτή προγραμματιστική προσέγγιση (χρήση "έτοιμων" βιβλιοθηκών Fortran χωρίς να χρειάζεται περαιτέρω συγγραφή κώδικα σε γλώσσα Fortran) και ο Moller μαζί με τον Jack Little (Μηχανικός ελέγχου, απόφοιτος του Πανεπιστημίου Stanford και εκπαιδευμένος στο MIT) ιδρύουν την εταιρεία "MathWorks" το έτος 1984, εμπορευματοποιώντας την ιδέα και σταδιακά εξελίσσοντας το όλο εγχείρημα στο πλήρες εμπορικό πακέτο λογισμικού MatLab (γραμμένο πλέον σε γλώσσα C). [IV. 259 - 260]

Σε μερικά από τα πλεονεκτήματα χρήσης του MatLab (στην νεότερη εμπορικά διαθέσιμη έκδοση του) συμπεριλαμβάνονται τα ακόλουθα:

- Εκτέλεση συμβολικών υπολογισμών: πεδίο "τριθής" έναντι άλλων εμπορικά διαθέσιμων πακέτων λογισμικού (όπως το Wolfram Research "Mathematica"® ή το Maplesoft "Maple"®), το MatLab είναι ικανό να εκτελέσει υπολογισμούς συμβολικής άλγεβρας (ώντας κυρίως λογισμικό πακέτο αριθμητικών υπολογισμών).
- Ταχύτητα υπολογισμών και διαχείριση μνήμης σε συνδυασμό με την αυξημένη υπολογιστική απόδοση και ακρίβεια.
- Συγκριτικά γρηγορότερη μαθησιακή διαδικασία/καμπύλη εκμάθησης των δυνατοτήτων του λογισμικού από τον ενδιαφερόμενο/χρήστη.
- Εξαιρετική δυνατότητα συγγραφής κώδικα σε γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου.
- Ευκολία διαδραστικής παρακολούθησης εκτέλεσης και επιδιόρθωσης ("*debugging*") του προγραμματιστικού κώδικα.
- Ενεργότατη παγκοσμίως διαδικτυακή κοινότητα, όπου διαμοιράζεται τόσο η Πληροφορία (υπό την μορφή φορητών και εκτελέσιμων αρχείων, κατάληξης ".m") όσο και τεχνική υποστήριξη από μεριάς των ίδιων των χρηστών. [IV. 261 - 263]

Ως γλώσσα προγραμματισμού υψηλής επίδοσης για τεχνικούς υπολογισμούς, το MatLab επιτυγχάνει την ενσωμάτωση και αξιοποίηση τόσο υπολογιστικών αρχών, όσο και γραφικών/απεικονισιακών (“*visualization*”) αλλά και προγραμματιστικών αρχών: τα παραπάνω συμπεριλαμβάνονται στο όλο πακέτο λογισμικού με τέτοιο τρόπο ώστε να ο χρήστης να μπορεί να τα επικαλεστεί/χρησιμοποιήσει με χρήση απλή μαθηματικής γραφής/ανάκλησης, ενώ ταυτόχρονα επιτυγχάνεται περισσότερο παραγωγική έκφραση πληροφορίας (από την σκοπιά των υπολογιστικών μηχανών). Ταυτόχρονα, η ανοικτή αρχιτεκτονική του προγράμματος επιτρέπει την εύκολη χρήση του MatLab (αλλά και των υπόλοιπων συναφών εμπορικών προϊόντων της “οικογένειας” της μητρικής εταιρείας MathWorks) για την εξερεύνηση δεδομένων, ανάπτυξη αλγορίθμων και δημιουργία “προσωποποιημένων” εργαλείων από τον ίδιο τον χρήστη: όλα αυτά συνάδουν με το ιδιαίτερα βελτιστοποιημένο περιβάλλον χρήστη και τις δυνατότητες που προσφέρει η διαισθητική προγραμματιστική γλώσσα έκφρασης των προβλημάτων (αλλά και των λύσεων τους) τόσο μαθηματικά όσο και γραφικά/οπτικοποιημένα. Ασχέτως του επιστημονικού/ακαδημαϊκού παρελθόντος και του γνωσιακού προφίλ του κάθε χρήστη, το MatLab αποτελεί ιδιαίτερα ισχυρό εργαλείο τόσο ως υπολογιστικό μαθηματικό βοήθημα (σε επίπεδο ταχύτατου ελέγχου και υψηλής ακρίβειας αποτελεσμάτων) όσο και ως γραφικό/σχεδιαστικό βοήθημα (ειδικά σε περιπτώσεις όπου οι αναλυτικές επιλύσεις δεν επαρκούν ή δεν είναι δυνατές: εκεί η γραφική απεικόνιση μίας αριθμητικής επίλυσης μέσω MatLab είναι σωτήρια). [IV. 263 - 266]

Εν συνεχεία, είναι ιδιαίτερος σημαντικό να σημειωθεί ότι το MatLab είναι πρακτικά ένα ισχυρότατο υπολογιστικά “μέσο/όχημα” μέσω του οποίου λαμβάνουν χώρα εξαιρετικά πολύπλοκοι υπολογισμοί (οι οποίοι δύναται να έχουν εξειδικευθεί επακριβώς βάσει των αναγκών του χρήστη) για την επίλυση ευρύτατου φάσματος προβλημάτων. Ταυτόχρονα, το υπολογιστικό περιβάλλον του MatLab επιτρέπει την εκτέλεση των συναρτήσεων και εργαλείων (ενσωματωμένων στο λογισμικό πακέτο) τόσο αυτόνομα όσο και σε “προσωποποιημένα” προγράμματα των ίδιων των χρηστών, κάτι που ουσιαστικά αποτελεί την επιτομή της “υβριδικής” φύσης του εγχειρήματος: η απόδοση ενός/όποιου προγραμματιστικού κώδικα MatLab έγκειται τόσο στην προγραμματιστική δεινότητα του χρήστη (βασικές αρχές αλλά και κατοχή προχωρημένων θεωριών/Υπολογιστικής Γνώσης) όσο και στις εγγενείς δυνατότητες του πακέτου λογισμικού (τόσο σε υπολογιστικό επίπεδο όσο και προσομοιώσεων –“*simulation*”). Σε αυτό το καίριο σημείο καθίσταται ουσιώδης η “φιλόδοξη” φύση του λογισμικού: τόσο ως γλώσσα προγραμματισμού όσο και ως ολοκληρωμένο περιβάλλον, το Matlab προσδίδει έμφαση στον προγραμματιστικό πειραματισμό, στην διάδραση δεδομένων και αλγορίθμων και στην έκφραση (σύνταξη κώδικα) τόσο ευμετάβλητων/“ελαστικών” προγραμματιστικών γραμμών αλλά συνάμα και εξαιρετικά αποδοτικών. Συνεπώς, ως εργαλείο το MatLab είναι πολύ περισσότερο από απλώς μία εξειδικευμένη αριθμομηχανή και η πραγματική “δυσκολία” για τον χρήστη έγκειται στην γνώση και κατάλληλη επιλογή της μεθόδου προσέγγισης και επίλυσης ενός δεδομένου προβλήματος. [IV. 267 - 269]

Στην συνέχεια, ιδιαίτερη σημασία ενέχει η αναφορά του ιδιαίτερου εύρους εφαρμογών του MatLab, καίριο χαρακτηριστικό τόσο της ευρύτατης αποδοχής/χρήσης του όσο και της αξιοπιστίας/αποτελεσματικότητας αυτού, αρχής γενομένης με καινοτόμες εφαρμογές αιχμής όπως:

- Μοντελοποίηση της ανάπτυξης ιατροφαρμακευτικών προϊόντων αλλά και εφαρμογή αρχών όρασης υπολογιστή (πάντα μέσω υπολογιστικού περιβάλλοντος MatLab) για εφαρμογές ψηφιακής εικονοποίησης (“*digital imaging*”) όπως αξονικές τομογραφίες, μαγνητικές τομογραφίες κλπ. [IV. 270 - 271]
- Οικονομικές μοντελοποιήσεις, είτε μέσω της εισαγωγής νέων μοντέλων εξήγησης συμπεριφοράς μίας δεδομένης αγοράς, είτε μέσω της βελτίωσης της ανάλυσης και

κατανόησης μίας παρούσας θεωρίας/προσέγγισης. Το υπολογιστικό περιβάλλον του MatLab αποτελεί πρόσφορο έδαφος τόσο για τα Οικονομικά όσο και την Επιστήμη της Λογιστικής: οι αριθμητικές μέθοδοι πρόβλεψης της Μηχανικής των Οικονομικών εντάσσονται τόσο στην σφαίρα επιρροής των προχωρημένων αλγορίθμων και εφαρμογών βελτιστοποίησης όσο και στις Επιστήμες των Υπολογιστών και Επιχειρησιακής Έρευνας (*“Operations Research”*) μέσω αξιόπιστων μοντέλων προσομοίωσης εταιρικών συμπεριφορών. [IV. 272 - 274]

- Αξιοποίηση των δυνατοτήτων του MatLab στις περισσότερο πρόσφατες καινοτόμες ερευνητικές περιοχές όπως η Μηχανική (όπου τα προσαρμοστικά μηχανικά συστήματα επαφίονται και βασίζονται στις νεότερες υπολογιστικές εξελίξεις για την προσομοίωση αρχών μηχανικής, ελέγχου, ηλεκτρονικής αλλά και ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων), η Συμπεριφορά & Μηχανική των Υλικών (όπου το MatLab διαπρέπει τόσο στο “δύσκολο” υπολογιστικό κομμάτι των σύνθετων υλικών όσο και στην τήρηση των “δύσβατων” προσομοιωτικά αρχών/θεωριών, όπως η ομογένεια ενός υλικού αλλά και η μηχανική της φθοράς) αλλά και η περιβαλλοντική μοντελοποίηση (όπου προσομοιώνεται μέσω μαθηματικών και χρήσης Η/Υ τόσο η φυσική όσο και η χημική διάσταση των φαινομένων που παρατηρούνται στο περιβάλλον). [IV. 275 - 278]
- Όπως έχει τονισθεί επαρκώς προηγουμένως, η Όραση Υπολογιστή (μέσω της αξιοποίησης της γλώσσας προγραμματισμού MatLab) είναι έμπρακτη σχεδίαση και εφαρμογή Υπολογιστικής και Τεχνητής Νοημοσύνης, ειδικότερα δε επαφίεται σε “εμπειρική” αυτό-διόρθωση και αξιολόγηση (έναντι ενός “άκαμπτου” προγραμματισμού). Εντούτοις, η χρήση MatLab προσφέρει “έτοιμες” προς αξιοποίηση εργαλειοθήκες (*“toolboxes”*) εξειδικευμένες προς αυτή την κατεύθυνση εφαρμογών (π.χ. νευρωνικά δίκτυα, ασαφή συστήματα ελέγχου, εξελικτική υπολογιστική, νοημοσύνη σμήνους κλπ) και για τον λόγο αυτό έχει παρατηρηθεί μία στροφή της κατανόησης της “Δημιουργίας” (όσον αφορά πάντα τους Ανθρώπους και τις Μηχανές): η Δημιουργία προϋποθέτει εξαρχής την ανάλυση (πρωτόλειων) δεδομένων (ειδικότερα δε σε μεγάλες ποσότητες), την αξιολόγηση αυτών και εξαγωγή σχετικού περιεχόμενου (*“data content extraction”*) και ενδιαφέροντος (προς τους πιθανούς χρήστες), όπου εν συνεχεία ακολουθεί η επεξεργασία αυτών των δεδομένων (μόνο εάν αυτά τα πραγματικά δεδομένα είναι προσβάσιμα από παντού και ανά πάσα στιγμή, συνεπώς πρέπει να είναι αποθηκευμένα σε μία μορφή μετάδοσης τόσο μέσω φυσικών όσο και ασυρμάτων δικτύων/καναλιών). Είναι πασιφανές ότι οι Η/Υ υπερτερούν και οδηγούν τον σύγχρονο Μηχανικό στο να μεταστρέψει την προσέγγιση του προς αυτούς: “δεν επαρκεί η εκμάθηση και χρήση ενός δεδομένου λογισμικού, αλλά είναι καίριας σημασίας η κατανόηση του πως δημιουργήθηκε και με ποιο σκεπτικό”. [IV. 279 - 282]
- Εφαρμογές αιχμής σε θέματα που άπτονται τόσο στην Φυσική όσο και στην Ηλεκτρονική Επιστήμη, π.χ. Ηλεκτρομαγνητική (και η μοντελοποίηση των θεωριών του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου σε υπολογιστικό περιβάλλον MatLab), μοντέλλα προσομοίωσης laser οπτικών ινών, σχεδίαση δυναμικών συστημάτων (μέσω χρήσης συμβολικών μαθηματικών σε περιβάλλον MatLab), σχεδίαση συστημάτων ψηφιακής πραγματικότητας με αξιοποίηση διαισθητικών δυνατοτήτων και τυχαίων διεργασιών σε γλώσσα MatLab αλλά και επεξεργασία αιχμής από/σε οπτικά και ηχητικά μέσα. [IV. 283 - 290]
- Αξιόλογη πρόοδος έχει γίνει στην αξιοποίηση του περιβάλλοντος MatLab για τις αριθμητικές και στατιστικές μεθόδους σε Βιολογικές και Βιο-Μηχανικές εφαρμογές (*“Bioengineering”*), όπου πρωταρχικό ρόλο έχουν τόσο οι κλινικές δοκιμές της Επιστήμης της Βιο-Πληροφορικής (*“Bioinformatics”*) όσο και οι δοκιμές των

υποθέσεων εργασίας στα Βιο-Μηχανικά συστήματα. Τα Βιο-Σήματα (“*Biosignals*”) “κουβαλούν” ιδιαίτερο φορτίο “*θορύβου*”, ειδικά δε κατά την μετατροπή τους από αναλογικά σε ψηφιακά, συνεπώς η χρήση MatLab βελτιώνει την ποιότητα του επεξεργασμένου/τελικού σήματος προς αξιοποίηση (“*signal-to-noise ratio*” – *SNR*). [IV. 291 - 293]

- Εν συνεχεία, ιδιαίτερα σημαίνουσες είναι οι επιστημονικές/ερευνητικές εξελίξεις στο πεδίο της οπτικής και των (αναλογικών και ψηφιακών) τηλεπικοινωνιακών συστημάτων (όπου το MatLab προσφέρει υπολογιστικές λύσεις σε μείζονα θέματα ακουστο-οπτικής και ηλεκτρο-οπτικής). [IV. 294 - 296]
- Τέλος, όσον αφορά τις εφαρμογές αιχμής της γλώσσας προγραμματισμού MatLab, αξιόλογη αναφορά πρέπει να λάβει χώρα στην πρόοδο της αισθητήριας τεχνολογίας (“*sensing technology*”): η επεξεργασία της πληροφορίας, η κατάλληλη προσαρμογή αυτής, η μίξη και χρήση των κτηθέντων δεδομένων (“*multi-sensor data fusion*”), η επαναβαθμονόμηση και αξιοπιστία των νέων “έξυπνων” συστημάτων αισθητήρων, τελευταίας τεχνολογίας και υψηλής επίδοσης (σε πραγματικό χρόνο και κλίμακα), όλα τα παραπάνω επαφίονται στις δυνατότητες και τις εργαλειοθήκες του πακέτου λογισμικού MatLab. [IV. 297 - 299]

Προχωρώντας στις περισσότερο θεμελιώδεις περιοχές εφαρμογών του Matlab, πρέπει να αναφερθούν τόσο οι τρέχουσες εξελίξεις στο τομέα των Προηγμένων Μαθηματικών που εντάσσονται στην Επιστήμη του Μηχανικού (όπως διαφορικές εξισώσεις, γραμμική/πολυγραμμική άλγεβρα, σύνθετες μεταβλητές, σειρές Fourier, μετασχηματισμοί Fourier και Laplace, φασματικές μέθοδοι, διερευνητική ανάλυση δεδομένων, θεωρία παιγνίων κλπ) όσο και η συνεχής πρόοδος που έχει επιτελεσθεί στα πλαίσια επίλυσης εφαρμοσμένων μαθηματικών προβλημάτων. [IV. 300 - 307] Η στάθμη της τεχνικής (“*state-of-the-art*”) εμπεριέχει την προσέγγιση της “Υπολογιστικής Σκέψης” (“*Computational Thinking*”), της οποίας δομική θεώρηση και βάση είναι τα Μαθηματικά: ο χρήστης προσεγγίζει περισσότερο το μαθηματικό υπόβαθρο ενός δεδομένου κώδικα (“*script*”) παρά το αυστηρά υπολογιστικό και εκτελεστικό μέρος αυτού. Επίσης η ανάλυση και διεξοδική μελέτη/προσέγγιση προβλημάτων που άπτονται τόσο σε μαθηματική όσο και μηχανική γνώση, αναδεικνύει την πραγματική “φύση” του MatLab: ισχυρότατη υπολογιστική δεινότητα με πρότερα προκαθορισμένους βαθμούς ακρίβειας. [IV. 308 - 315]

Άλλη μείζον επιστημονική θεματική είναι οι εφαρμοσμένες αριθμητικές μέθοδοι, όπου το περιβάλλον του MatLab είναι ιδανικό για την αριθμητική επίλυση ευρύτατου φάσματος μαθηματικών προβλημάτων (π.χ. συνήθεις και μερικές διαφορικές εξισώσεις) σε συνδυασμό με τρισδιάστατες γραφικές απεικονίσεις. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την εφαρμογή που βρίσκει το MatLab για ζητήματα μαθηματικής προσέγγισης “*δυσπρόσιτων*” φαινομένων μεταφοράς θερμότητας, ελλειπτικών, υπερβολικών ή παραβολικών μερικών διαφορικών εξισώσεων αλλά και για την μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων αναδεικνύουν την αξιοπιστία των μαθηματικών υπολογισμών και αποτελεσμάτων που μας προσφέρει. [IV. 316 - 318] Οι αριθμητικοί αλγόριθμοι, εκφρασμένοι και πραγματοποιημένοι εντός του περιβάλλοντος MatLab, ουσιαστικά αποτελούν χώρο πειραματισμού εκ της μεριάς του ενδιαφερόμενου/χρήστη: έκφραση σε υπολογιστικό κώδικα μεν, εντούτοις δε, κάτι πολύ παραπάνω, καθώς το MatLab επιτρέπει την ακριβή προσαρμογή και διερεύνηση των μαθηματικών προεκτάσεων του κάθε προβλήματος προς επίλυση με ταυτόχρονη χρήση ισχυρότατων υπολογιστικών βοηθημάτων και εργαλείων. Για τον λόγο αυτό, οι ίδιοι αλγόριθμοι βρίσκουν εφαρμογές τόσο σε βιοεπιστήμες, αρχιτεκτονική νευρωνικών δικτύων αλλά και θεωριών Χάους/μορφοκλασματικής γεωμετρίας (“*fractal geometry*”). [IV. 319 - 320] Επίσης, πάντα στο πλαίσιο αναφοράς των υπολογιστικών μαθηματικών, όπου οι Η/Υ κυριαρχούν θριαμβευτικά τόσο στο κομμάτι της ταχύτητας όσο και της ακρίβειας των αριθμητικών και

λογικών διεργασιών, αξίζει να σημειωθεί ότι σημαίνουσα βαρύτητα δεν παύει να έχει ο Ανθρώπινος παράγων: ακόμα και αν είναι ακριβής και σχετική μία μαθηματική έκφραση/μοντέλο (όσον αφορά τα φυσικά φαινόμενα/παρατηρήσεις), ακόμα και αν η χρησιμοποιηθείσα αριθμητική μέθοδος είναι η ακριβέστερη (έχοντας επιλέξει και ορίσει κατάλληλα τις θεμελιώδεις εξισώσεις), εντούτοις, το όλο εγχείρημα καταλήγει στην ορθή υπολογιστική μέθοδο/προσέγγιση περιγραφής και “εισαγωγής” του προβλήματος στο περιβάλλον του Η/Υ. [IV. 321 - 322] Αυτό το λεπτό σημείο μεταξύ της έμφασης σε αμιγώς αριθμητικές μεθόδους και των υπολογιστικών/προγραμματιστικών προσεγγίσεων αυτών είναι το καίριο και διαχειριστικό καθότι οι Μηχανικοί καλούνται να εντρυφήσουν και επιλύσουν ένα δεδομένο πρόβλημα. Η συγγραφή ενός κώδικα Η/Υ συναρτήσεων και υπορουτινών, ειδικά αν πρόκειται “συρραφή”, επιλογή ή προγραμματιστική μίξη/σύζευξη ήδη υπαρχόντων προγραμματιστικών δυνατοτήτων του MatLab προσφέρει μία ειδυλλιακή έξοδο έναντι του ενδεχόμενου αμιγούς μαθηματικής επίλυσης. Σημειώνεται δε, ότι ο κώδικας MatLab ipso facto είναι πρακτικά “άχρηστος” εάν απομακρυνθεί η κατανόηση του προβλήματος/κατάστασης που οδήγησε στην δημιουργία/συγγραφή του. [IV. 323 - 324] Ιδιαίτερη σημασία έχει επίσης να τονισθεί ότι, λαμβάνοντας υπόψη την συνεχή μείωση του κόστους εξοπλισμού (Η/Υ, υπολογιστική μνήμη, κόστος λογισμικού κλπ) σε συνάρτηση με την συνεχώς αυξανόμενη υπολογιστική ισχύ των Η/Υ, είναι βέβαιο ότι τα επόμενα χρόνια θα αυξηθεί περαιτέρω η διείσδυση των αριθμητικών υπολογιστικών μεθόδων με MatLab ακόμα και σε πεδία εφαρμογών ιδιαίτερα “ανθεκτικά” (π.χ. Επιστήμες της Γεωλογίας, Μετεωρολογίας, Οικονομίας κλπ). Ακόμα και έτσι, η ουσία θα παραμένει ότι μόνο η λεπτομερής γνωσιακή κατοχή ενός δεδομένου/συγκεκριμένου αλγορίθμου αριθμητικής επίλυσης (“κινητήρας”) του MatLab (“όχημα”) σε συνδυασμό με την γνώση και ορθή χρήση αυτού (“οδήγηση”) θα επιφέρει την σωστή και βιώσιμη επίλυση του προβλήματος (“προορισμός”). [IV. 325 - 327]

Άλλα εξαιρετικά ευρύτατα πεδία εφαρμογών για το λογισμικό Matlab είναι: το ερευνητικό/επιστημονικό πεδίο της Μεθόδου των Πεπερασμένων Στοιχείων (“Finite Element Method”), όπου η χρήση MatLab για την θεώρηση και υπολογισμό των οριακών συνθηκών (“boundary conditions”) “λύνει τα χέρια” στον χρήστη του και επιτρέπει επίλυση θεμάτων τόσο γραμμικής ελαστικής δομικής μηχανικής όσο και εξεζητημένων υπολογιστικών προσεγγίσεων: σε αυτές, ο χρήστης δύναται να τροποποιήσει κατά το δοκούν τα έτοιμα/προσφερόμενα υπολογιστικά εργαλεία ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή υπολογιστική ακρίβεια. Παραδείγματα αξιοποίησης των δυνατοτήτων πεπερασμένων στοιχείων του MatLab αποτελούν τόσο ζητήματα στατικής ή δυναμικής κάμψης (σε 2D και 3D), υπολογισμού φορτίων υποστήριξης, ελεύθερες ταλαντώσεις δοκών και πλακών κλπ. [IV. 328 - 331] Εν συνεχεία, άλλο πεδίο εφαρμογής είναι η προσομοίωση/μοντελοποίηση συστημάτων μέσω MatLab, π.χ. με σκοπό την Μηχανική Ελέγχου. Η χρήση προσομοιωμένων πειραμάτων (ειδικότερα δε εάν αυτά είναι σχεδιαστικά προϊόντα ενδεδειγμένης παρατήρησης και εφαρμογής μίας θεωρίας προς επιτυχή πρόβλεψη συμπεριφοράς και έλεγχο) αποτελεί σημείο διεθνούς ερευνητικού και βιομηχανικού ενδιαφέροντος καθώς ένα δεδομένο μοντέλλο πρέπει να είναι ταυτόχρονα ρεαλιστικό όσο και “απλό” προς κατανόηση και κατάλληλη επεξεργασία/“χειραγώγηση”. Το MatLab αποτελεί εξαιρετικό χώρο επίλυσης αυτού του παράδοξου (ένα “απλό” μοντέλλο πρόβλεψης συμπεριφοράς/προσομοίωση σπάνια είναι ρεαλιστικό και ένα ρεαλιστικό μοντέλλο δύσκολα είναι “απλό”), καθώς η μετάβαση από την φυσική παρατήρηση στον σχηματισμό μίας αρχικής υπόθεσης εργασίας και εν τέλει μαθηματικού μοντέλλου εξήγησης και κατάλληλης “πρόγνωσης” της συμπεριφοράς ενός δεδομένου/ορισμένου συστήματος πλέον ελαχιστοποιείται. [IV. 332 - 338] Επίσης, στο ερευνητικό κομμάτι του επιστημονικού υπολογισμού αξίζει να σημειωθεί η αξιοσημείωτη πρόοδος της αξιοποίησης των Η/Υ (και ειδικότερα δε, του MatLab) για την επίλυση ιδιαίτερα απαιτητικών τεχνικών ζητημάτων, τα οποία απαραίτητως χρήζουν πληθώρας διαφορετικών υπολογιστικών

προσεγγίσεων (π.χ. συμβολικών, αριθμητικών, παράλληλης επεξεργασίας κλπ). Τα πιθανά οφέλη επιτυχούς εφαρμογής αρχών επιστημονικού υπολογισμού, ως μέθοδος επιστημονικής αναζήτησης, είναι τεράστια και αφορούν μείζονα θέματα ενδιαφέροντος όπως (ενδεικτικά): αποθήκευση ηλιακής ενέργειας, μετακίνηση ρύπων, πολύπλοκα διανυσματικά μοντέλλα, πολυεπεξεργαστικά υπολογιστικά συστήματα, μοντέλλα διασποράς επιδημιών, συμπεριφορά χρηματιστηριακών τίτλων και ομολόγων κλπ. [IV. 339 - 342] Αυτή η κατακλυσμική στροφή προς το λογισμικό συνοδεύεται δε με αντίστοιχη ανάπτυξη ηλεκτρονικών συσκευών και ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, πάλι με χρήση του υπολογιστικού πακέτου MatLab: οι λεπτεπίλεπτοι υπολογισμοί σχεδίασης κυκλωμάτων, η αναγκαία ανάλυση του φάσματος σε συνάρτηση με θέματα σχεδίασης ηλεκτρονικής ισχύος ("power electronics") αλλά και σχεδίασης ενσωματωμένων συστημάτων ("embedded systems"), όλα τα παραπάνω αξιοποιούνε την υπολογιστική ισχύ του MatLab (για την εύρεση π.χ. κατάλληλων λειτουργικών παραμέτρων, αριθμητική ενσωμάτωση/διαφοροποίηση, στατιστική ανάλυση αλλά και πλήρη ανάλυση ενός ηλεκτρονικού κυκλώματος). [IV. 343 - 351] Στο σημείο αυτό, αξίζει να γίνει αναφορά στις εφαρμογές συστημάτων ελέγχου μέσω MatLab, τόσο για έλεγχο σφαλμάτων (θέμα εφαρμογής) όσο και περισσότερο θεμάτων κατανομής παραμέτρων συστήματος, ελέγχου χρονο-ευαίσθητων συστημάτων αλλά και αριθμητικής αντιστροφής του μετασχηματισμού Laplace (κλασσικά θέματα βελτιστοποιημένου ελέγχου σε ενεργειακά συστήματα). [IV. 352 - 358] Τέλος, τα πεδία εφαρμογής και αξιοποίησης του λογισμικού πακέτου MatLab συμπεριλαμβάνουν την Επιστήμη της Γης και τις Γεω-επιστήμες [IV. 359 - 360], την τεχνολογία ανάλυσης και σχεδίασης συστημάτων Ραντάρ [IV. 361 - 364] αλλά και τον προγραμματισμό γραφικών και οπτικοποίησης δεδομένων. [IV. 365 - 368]

Βιβλιογραφία Κεφαλαίου IV:

- IV.1. Castleman K.R., "Digital Image Processing". Prentice Hall, 1995.
- IV.2. Zahid H., "Digital Image Processing: Practical Applications on Parallel Processing Techniques", Ellis Horwood Ltd, 1991.
- IV.3. Jain A.K., "Fundamentals of Digital Image Processing", Prentice Hall, 1988.
- IV.4. Petrou M., Bosdogianni P., "Image Processing: The Fundamentals", Wiley, 1999.
- IV.5. Kovalevsky V.A., "Image Pattern Recognition", Springer, 1980.
- IV.6. Bovik A., "Advances in Image Processing and Understanding: A Festschrift for Thomas S. Huang", World Scientific Publishing, Series in Machine Perception and Artificial Intelligence, 2003.
- IV.7. Πήτας Ι., "Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας", ιδιωτική έκδοση, 1999.
- IV.8. Niblack W., "An Introduction to Digital Image Processing", Prentice Hall, 1986.
- IV.9. Russ J., "The Image Processing Handbook", CRC Press, 4th Edition, 2002.
- IV.10. Acharya T., "Image Processing: Principles and Applications", Wiley-Interscience, 2005.
- IV.11. Peters J., "Topology of Digital Images: Visual Pattern Discovery in Proximity Spaces", Springer, Intelligent Systems Reference Library, 2014.
- IV.12. Glassner A., "Principles of Digital Image Synthesis", Morgan Kaufmann, Series in Computer Graphics 2-Volume Set, 1995.
- IV.13. Jähne B., "Practical Handbook on Image Processing for Scientific and Technical Applications", CRC Press, 2nd Edition, 2004.
- IV.14. Jähne B., "Digital Image Processing: Concepts, Algorithms, Scientific Applications", Springer, 5th Edition, 2002.
- IV.15. Gonzalez R., Woods R., "Digital Image Processing", Addison-Wesley Pub, 3rd Edition, 1992.
- IV.16. Pratt W., "Digital Image Processing: PIKS Scientific Inside", Wiley-Interscience, 4th Edition. 2007
- IV.17. Ναυτεμπορική (Τεχνολογία-Επιστήμη), "Υπολογιστές ως ιστορικοί τέχνης", 19^η Αυγούστου 2014. <http://www.naftemporiki.gr/printStory/847111>
- IV.18. Ναυτεμπορική (Τεχνολογία-Επιστήμη), "Υπολογιστές εκτιμούν τον κυβισμό", 5^η Οκτωβρίου 2014. <http://www.naftemporiki.gr/story/863567>

- IV.19.** Zolfagharifard E., "Spot the ROBOT: Website challenges you to tell difference between man and droid-written poetry – and it's harder than you might think", 5th March 2014.
<http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2573816/Can-YOU-spot-ROBOT-Website-shows-human-droid-created-poetry-harder-tell-difference-think.html>
- IV.20.** Carlson B., "Garry Kasparov on the Supremacy of the Chess Machines", 18th April 2010.
<http://www.chess.com/blog/KingsEnemy/garry-kasparov-on-the-supremacy-of-the-chess-machines>
- IV.21.** Ένωση Σκακιστικών Σωματείων Πελοποννήσου, "Σκάκι και Υπολογιστής", 30^η Ιανουαρίου 2002.
<http://www.greekchess.com/essp/mach.htm>
- IV.22.** Smith S., "Iamus: Is this the 21st century's answer to Mozart?", 3rd January 2013.
<http://www.bbc.com/news/technology-20889644>
- IV.23.** Hambrick J., "Computer-Generated Music That Rivals Beethoven?", 20th June 2012.
<http://wosu.org/2012/classical101/computer-generated-music-that-rivals-beethoven/>
- IV.24.** Northcott B., "But is it Mozart?", 5th September 1997.
<http://www.independent.co.uk/arts-entertainment/music/but-is-it-mozart-1237509.html>
- IV.25.** Gadd S., "Computer creates piece of orchestral music in just 8 minutes", 11th July 2012.
<http://www.classical-music.com/news/computer-creates-piece-orchestral-music-just-8-minutes>
- IV.26.** Barr A., "Handbook of Artificial Intelligence – Volume 1", William Kaufmann Inc, 1981.
- IV.27.** Barr A., "Handbook of Artificial Intelligence – Volume 2", William Kaufmann Inc/HeurisTech Press, 1982.
- IV.28.** Cohen P., Feigenbaum E., "The Handbook of Artificial Intelligence – Volume 3", William Kaufmann Inc, 1986.
- IV.29.** Boden M., "The Philosophy of Artificial Intelligence", Oxford Readings in Philosophy, Oxford University Press, 1990.
- IV.30.** Τζαφέστας Σπύρος Γ., "Εισαγωγή στην τεχνητή νοημοσύνη και τα έμπειρα συστήματα", Εκδόσεις Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, Αθήνα, 1988.
- IV.31.** Βλαχάβας Ι, "Τεχνητή Νοημοσύνη", Εκδόσεις Γαρταγάνη, 3^η Έκδοση, 2011.
- IV.32.** Russell S., Norvig P., "Artificial Intelligence: A Modern Approach" Prentice Hall, 3rd Edition, 2009,
- IV.33.** Bramer M., "Artificial Intelligence in Theory and Practice II: IFIP 20th World Computer Congress, TC 12: IFIP AI 2008 Stream, September 7-10, 2008, Milano, Italy", Springer, 2008.
- IV.34.** Thomas P., "Artificial Intelligence", Lucent Library of Science and Technology, 2005.
- IV.35.** Hamburger H., "Logic and Language Models for Computer Science", Prentice Hall, 2002.
- IV.36.** Kountchev R., Nakamatsu K., "Advances in Reasoning-Based Image Processing Intelligent Systems: Conventional and Intelligent Paradigms", Springer, 2012.
- IV.37.** Addis T., "Natural and Artificial Reasoning: An Exploration of Modelling Human Thinking", Springer, 2014.
- IV.38.** Restall G., "Logic: An Introduction", Routledge, 2005.
- IV.39.** Hsu J., "Computer Logic: Design Principles and Applications", Springer, 2012.
- IV.40.** Tiles M., "Mathematics and the Image of Reason", Routledge, 1991.
- IV.41.** Floyd T., "Digital Fundamentals", Pearson Education Limited, 10th Edition, 2013.
- IV.42.** Constable R., Silva A., "Logic and Program Semantics: Essays Dedicated to Dexter Kozen on the Occasion of his 60th Birthday", Springer, 2012.
- IV.43.** Zelkowitz M., "Advances in Computers - Volume 80", Academic Press, 2010.
- IV.44.** Marquardt W., Pantelidis C., "16th European Symposium on Computer Aided Process Engineering and 9th International Symposium on Process Systems Engineering - Volume 21B", Elsevier Science, 2006.
- IV.45.** Plesu V., Agachi P., "17th European Symposium on Computed Aided Process Engineering - Volume 24", Elsevier Science, 2007.
- IV.46.** Braunschweig B., Joulia X., "18th European Symposium on Computer Aided Process Engineering – ESCAPE 18", Elsevier, 2008.
- IV.47.** Chin C., "Computer-Aided Control Systems Design: Practical Applications Using MATLAB® and Simulink®", CRC Press, 2012.
- IV.48.** Cascini G., "Computer-Aided Innovation (CAI): IFIP 20th World Computer Congress, Proceedings of the Second Topical Session on Computer-Aided Innovation, WG 5.4/TC Computer-Aided Innovation, September 7-10, 2008, Milano, Italy", Springer, 2008.
- IV.49.** Leondes C., "Computer-Aided Design, Engineering, and Manufacturing: Systems Techniques and Applications - Volume II, Computer-Integrated Manufacturing", CRC Press, 2000.
- IV.50.** Lukac R., "Perceptual Digital Imaging: Methods and Applications", CRC Press, 2012.
- IV.51.** Barth F., Klein H., "Sensory Perception: Mind and Matter", Springer, 2012.

- IV.52.** Rose G., Tolia-Kelly D., *"Visuality/Materiality: Images, Objects and Practices"*, Ashgate Pub Co, 2012.
- IV.53.** Leta F., *"Visual Computing: Scientific Visualization and Imaging Systems (Augmented Vision and Reality)"*, Springer, 2014.
- IV.54.** Manghani S., Piper A., *"Images: A Reader"*, SAGE Publications Ltd, 2006.
- IV.55.** Zachary J., *"Introduction to Scientific Programming: Computational Problem Solving Using Maple and C"*, Springer, 2014.
- IV.56.** Naumann U., Schenk O., *"Combinatorial Scientific Computing"*, Chapman & Hall/CRC Computational Science, 2012.
- IV.57.** Konar A., *"Computational Intelligence: Principles, Techniques and Applications"*, Springer, 2005.
- IV.58.** Rutkowski L., *"Computational Intelligence: Methods and Techniques"*, Springer, 2008.
- IV.59.** Ruan D. *"Computational Intelligence: Foundations and Applications, Proceedings of the 9th International FLINS Conference"*, World Scientific Publishing Company, 2010.
- IV.60.** Dudek G., *"Computational Principles of Mobile Robotics"*, Cambridge University Press, 2nd Edition, 2010.
- IV.61.** Preparata F., *"Theoretical Computer Sciences: Lectures given at a Summer School of the Centro Internazionale Matematico Estivo (C.I.M.E.) held in Bressanone (Bolzano), Italy, June 9-17, 1975"*, Springer, 2011.
- IV.62.** Elmoataz A., Lezoray O., Nouboud F., Mammass D., *"Image and Signal Processing: 6th International Conference, ICISP 2014, Cherbourg, France, June 20 - July 2, 2014, Proceedings"*, Springer, 2014.
- IV.63.** Barneva R., Brimkov V., Slapal J., *"Combinatorial Image Analysis: 16th International Workshop, IWCIA 2014, Brno, Czech Republic, May 28-30, 2014, Proceedings"*, Springer, 2014.
- IV.64.** Binh L., *"Digital Processing: Optical Transmission and Coherent Receiving Techniques"*, CRC Press, 2013.
- IV.65.** Leung H., Sun M., Ma W., Hu S., *"Advances in Multimedia Information Processing - PCM 2007: 8th Pacific Rim Conference on Multimedia, Hong Kong, China, December 11-14, 2007, Proceedings"*, Springer, 2007.
- IV.66.** Petrou M., *"Image Processing: The Fundamentals"*, Wiley, 2nd Edition, 2010.
- IV.67.** Koschan A., *"Digital Color Image Processing"*, Wiley-Interscience, 2008.
- IV.68.** Burger, W., Burge, M., *"Principles of Digital Image Processing - Advanced Methods"*, Springer, 2013.
- IV.69.** Lopes D., *"Important Concepts in Signal Processing, Image Processing and Data Compression"*, University Publications, 2012.
- IV.70.** Crane R., *"A Simplified Approach to Image Processing: Classical and Modern Techniques"*, Prentice Hall, 1996.
- IV.71.** Myler H., *"Computer Imaging Recipes"*, Har/Dis. Prentice Hall, 1993.
- IV.72.** Yoo T., *"Insight into Images: Principles and Practice for Segmentation, Registration, and Image Analysis"*, A K Peters/CRC Press, 2004.
- IV.73.** Haykin S., Kosko B., *"Intelligent Signal Processing"*, Wiley-IEEE Press, 2001.
- IV.74.** Cichocki A., *"Adaptive Blind Signal and Image Processing"*, Wiley, 2002.
- IV.75.** Guan L., *"Adaptive Image Processing: A Computational Intelligence Perspective"*. CRC Press. 2001.
- IV.76.** Kramer O., *"Self-Adaptive Heuristics for Evolutionary Computation"*, Springer, 2008.
- IV.77.** Satapathy S., Udgata S., Biswal B., *"Proceedings of the International Conference on Frontiers of Intelligent Computing: Theory and Applications (FICTA) 2013"*, Springer, 2013.
- IV.78.** Ballard D., Brown C., *"Computer Vision"*, Prentice Hall, 1982.
- IV.79.** Jähne B., Haussecker H., Geissle P., *"Handbook of Computer Vision and Applications - Volume 1: Sensors and Imaging"*, Academic Press, 1999.
- IV.80.** Jähne B., Haussecker H., Geissle P., *"Handbook of Computer Vision and Applications - Volume 2: Signal Processing and Pattern Recognition"*, Academic Press, 1999.
- IV.81.** Jähne B., Haussecker H., Geissle P., *"Handbook of Computer Vision and Applications - Volume 3: Systems and Applications"*, Academic Press, 1999.
- IV.82.** Jähne B., Haussecker H., *"Computer Vision and Applications: A Guide for Students and Practitioners"*, Academic Press, 2000.
- IV.83.** Fisher R., Breckon T., Dawson-Howe T., Fitzgibbon A., Robertson C., Trucco E., Williams C., *"Dictionary of Computer Vision and Image Processing"*, Wiley, 2nd Edition, 2014.
- IV.84.** Forsyth D., Ponce J., *"Computer Vision: A Modern Approach"*, Prentice Hall, 2nd Edition, 2011.
- IV.85.** Prince S., *"Computer Vision"*, Cambridge University Press, 2012.
- IV.86.** Ikeuchi K., *"Computer Vision: A Reference Guide"*, Springer, 2014.
- IV.87.** Kisačanin B., Pavlović V., Huang T., *"Real-Time Vision for Human-Computer Interaction"*. Springer, 2005.

- IV.88.** Cipolla R., Pentland R., "Computer Vision for Human-Machine Interaction", Cambridge University Press, 1998.
- IV.89.** Hassanien A., Azar A., "Brain-Computer Interfaces: Current Trends and Applications", Springer, 2014.
- IV.90.** Gasteratos A., Vincze M. Tsotsos J., "Computer Vision Systems: 6th International Conference on Computer Vision Systems, ICVS 2008 Santorini, Greece, May 12-15, 2008, Proceedings", Springer, 2008.
- IV.91.** Cipolla R., Battiato S., Farinella G., "Computer Vision: Detection, Recognition and Reconstruction", Springer, 2010.
- IV.92.** Krig S., "Computer Vision Metrics: Survey, Taxonomy, and Analysis", Apress, 2014.
- IV.93.** Farinella G., Battiato S., Cipolla R., "Advanced Topics in Computer Vision", Springer, 2013.
- IV.94.** Ionescu B., Benois-Pineau J., Piatrik T., Quenot G., "Fusion in Computer Vision: Understanding Complex Visual Content", Springer, 2014.
- IV.95.** Itô D., "Robot Vision: Strategies, Algorithms and Motion Planning", Nova Science Pub Inc., 2009.
- IV.96.** Jeong H., "Architectures for Computer Vision: From Algorithm to Chip with Verilog", Wiley, 2014.
- IV.97.** Treiber M., "Optimization for Computer Vision: An Introduction to Core Concepts and Methods", Springer, 2013.
- IV.98.** Carver G., "New Visions in Performance: The Impact of Digital Technologies", Routledge, 2004.
- IV.99.** Sakim H., Mustafa M., "The 8th International Conference on Robotic, Vision, Signal Processing & Power Applications: Innovation Excellence towards Humanistic Technology", Springer, 2014.
- IV.100.** Dawson-Howe K. "A Practical Introduction to Computer Vision with OpenCV", Wiley, 2014.
- IV.101.** Favorskaya M., Jain L., "Computer Vision in Control Systems-1: Mathematical Theory", Springer, 2014.
- IV.102.** Davies E., "Computer and Machine Vision, Fourth Edition: Theory, Algorithms, Practicalities", Academic Press, 4th Edition, 2012.
- IV.103.** Ding S., "Model-Based Fault Diagnosis Techniques: Design Schemes, Algorithms and Tools (Advances in Industrial Control)", Springer, 2nd Edition, 2012.
- IV.104.** Zhang W., "Fault Detection", InTech, 2010.
- IV.105.** Bequette W., "Process Control: Modeling, Design and Simulation", Prentice Hall, 2003.
- IV.106.** Bobál V., "Digital Self-tuning Controllers: Algorithms, Implementation and Applications (Advanced Textbooks in Control and Signal Processing)", Springer, 2005.
- IV.107.** Zhang Y.-J., "Advances in Face Image Analysis: Technologies", IGI Publishing Hershey, 2011.
- IV.108.** Colmenarez A., "Facial Analysis from Continuous Video with Applications to Human-Computer Interface", Springer, 2004.
- IV.109.** Karande J., "Independent Component Analysis of Edge Information for Face Recognition", Springer, 2013.
- IV.110.** Naumann L., Vazire S., Rentfrow P., Gosling S., "Personality Judgments Based on Physical Appearance", Personality & Social Psychology Bulletin 2009; 35; pp. 1661-1671.
- IV.111.** Little A., Perrett D., "Using composite images to assess accuracy in personality attribution to faces", The British Psychological Society, 2007, Volume 98, Issue 1, pp. 111–126.
- IV.112.** Valla J., Ceci S., Williams W., "The accuracy of inferences about criminality based on facial appearance", Journal of Social, Evolutionary and Cultural Psychology, Volume 5 (1), January 2011, pp. 66-91.
- IV.113.** Stelmach G.E., Vroon P.A., "Applications of Parallel Processing in Vision (Advances in Psychology)", North Holland, 1992.
- IV.114.** Brooks M., Aragon C., Komogortsev O., "Identifying people by eye movements a potential replacement for passwords", SPIE Newsroom, October 11th, 2013.
http://spie.org/x103854.xml?highlight=x2412&WT.mc_id=KNRDEFSECE
- IV.115.** Hern A., "Hacker fakes German minister's fingerprints using photos of her hands", The Guardian, December 30th, 2014.
<http://www.theguardian.com/technology/2014/dec/30/hacker-fakes-german-ministers-fingerprints-using-photos-of-her-hands>
- IV.116.** Δεληγιάννης Κ., "Δώστε εντολές με... νεύματα", Καθημερινή, Κόσμος, 11^η Αυγούστου 2013.
<http://www.kathimerini.gr/495700/article/epikairothta/kosmos/dwste-entoles-me-neymata>
- IV.117.** Qualitative and Quantitative Competition - Multi-modal Gesture Recognition and Interaction.
<http://gesture.chalearn.org/mmdata>
- IV.118.** Yunqian M., Gang Q., "Intelligent Video Surveillance: Systems and Technology", CRC Press, 2009.
- IV.119.** Quaglia A., Epifano C., "Face Recognition: Methods, Applications and Technology", Nova Science Publishers, 2012.
- IV.120.** Lewis T., "Critical Infrastructure Protection in Homeland Security: Defending a Networked Nation", Wiley, 2nd Edition, 2014.

- IV.121.** Argamon S., Howard, N., *“Computational Methods for Counterterrorism”*, Springer, 2009.
- IV.122.** Purpura P., *“Terrorism and Homeland Security: An Introduction with Applications (The Butterworth-Heinemann Homeland Security Series)”*, Butterworth-Heinemann, 2006.
- IV.123.** Rahulkar A., *“Iris Image Recognition: Wavelet Filter-banks Based Iris Feature Extraction Schemes (SpringerBriefs in Electrical and Computer Engineering / SpringerBriefs in Signal Processing)”*, Springer, 2014.
- IV.124.** Wang J., *“Human Action Recognition with Depth Cameras”*, Springer, 2014.
- IV.125.** Knabl P., *“Helmet-mounted displays to improve pilot situation awareness”*, SPIE Newsroom, October 23rd, 2013, http://spie.org/x104005.xml?highlight=x2412&WT.mc_id=KNRDEFSECE
- IV.126.** Doehler H.-U., *“Improving visual-conformal displays for helicopter guidance”*, SPIE Newsroom, October 24th, 2013, http://spie.org/x103999.xml?highlight=x2412&WT.mc_id=KNRDEFSECE
- IV.127.** Ναυτεμπορική, *“Χρήση του Kinect για επιτήρηση συνόρων στη Ν. Κορέα”*, 4 Φεβρουαρίου 2014. <http://www.naftemporiki.gr/story/761455/xrisi-tou-kinect-gia-epitirisi-sunoron-sti-n-korea>
- IV.128.** Federal Bureau of Investigation – *“Next Generation Identification (NGI) / Identification and Investigative Services”*, 2014. http://www.fbi.gov/about-us/cjis/fingerprints_biometrics/ngi
- IV.129.** The New York Times, *“Βιομετρικό Σύστημα Οπτικής Παρακολούθησης στις ΗΠΑ”*, Καθημερινή, Κόσμος 22 Αυγούστου 2013. <http://www.kathimerini.gr/496499/article/epikairothta/kosmos/viometriko-systhma-optikhs-parakoloy8hshs-stis-hpa>
- IV.130.** Sheng Y., Sahli S., Ouyang Y., Lavigne D., *“Object detection: from optical correlator to intelligent recognition surveillance system”*, SPIE Newsroom, October 21st, 2013. http://spie.org/x103985.xml?WT.mc_id=KNRIMSIGE
- IV.131.** Schultz G., *“Improving technology for detecting underground bombs”*, SPIE Newsroom, October 2014 http://spie.org/x110068.xml?pf=true&highlight=x2412&WT.mc_id=
- IV.132.** Broek S., Hove J., Hollander R., Burghouts G., *“Automated recognition of human activities in video streams in real time - A system using standard surveillance cameras senses human activities relevant for early detection of military threats”*, SPIE Newsroom, June 30th, 2014. http://spie.org/x108891.xml?pf=true&highlight=x2412&WT.mc_id=
- IV.133.** Τζίμας Σ., *“Ούτε κουνούπι δεν περνά από το φράχτη στον Έβρο”*, Καθημερινή, 9 Φεβρουαρίου 2013. <http://www.kathimerini.gr/480361/article/epikairothta/ellada/oyte-kounoypi-den-perna-apo-to-fraxth-ston-evro>
- IV.134.** BBC News Technology, *“Privacy fears over FBI facial recognition database”*, April 15th, 2014. <http://www.bbc.com/news/technology-27037009>
- IV.135.** Mega Γεγονότα, *“Διατεθειμένος να φορέσει βραχιόλι παρακολούθησης ο Ν. Ρωμανός”*, 8 Δεκεμβρίου 2014, <http://www.megatv.com/megagegonota/article.asp?catid=27369&subid=2&pubid=34242076>
- IV.136.** Wasen K., *“Emerging Health Technology: Relocation of Innovative Visual Knowledge and Expertise (SpringerBriefs in Health Care Management and Economics)”*, Springer, 2012.
- IV.137.** Tripoliti E., Sakellarios A., Peroulis M., Petrakis E., Zervakis M., *“Real-Time Simulation for Safer Vascular Stenting – The Training Application”*, 34th Annual International Conference of the IEEE in Medicine and Biology Society (EMBC'2012), San Diego, California, August 28 - September 1, 2012.
- IV.138.** Lessard C., *“Signal Processing of Random Physiological Signals”*, Springer, Morgan & Claypool Publishers, 2006.
- IV.139.** Auricchio A., Singh J., Rademakers F., *“Cardiac Imaging in Electrophysiology”*, Springer, 2012.
- IV.140.** Proakis J., Salehi M., *“Communication Systems Engineering”*, Prentice Hall, 2nd Edition, 2002.
- IV.141.** Chitode J., *“Digital Communications”*, Technical Publications, 2011.
- IV.142.** Lathi B.-P., Ding Z., *“Modern Digital and Analog Communication Systems”*, The Oxford Series in Electrical & Computer Engineering, 4th Edition, 2009.
- IV.143.** Rabbani M., *“Digital Image Compression Techniques (SPIE Tutorial Text Vol. TT07 - Tutorial Texts in Optical Engineering)”*, SPIE Publications, 1991.
- IV.144.** Cowley J., *“Communications and Networking: An Introduction (Undergraduate Topics in Computer Science)”*, Springer, 2nd Edition, 2012
- IV.145.** Madhow U., *“Fundamentals of Digital Communication”*, Cambridge University Press, 2008.
- IV.146.** Lukac R., *“Computational Photography: Methods and Applications (Digital Imaging and Computer Vision)”*, CRC Press, 2012.
- IV.147.** Montabone S., *“Beginning Digital Image Processing: Using Free Tools for Photographers”*, Apress, 2010.
- IV.148.** Nakamura J., *“Image Sensors and Signal Processing for Digital Still Cameras (Optical Science and Engineering)”*, CRC Press, 2005.
- IV.149.** Ashida Y., *“Data Processing of Reflection Seismic Data by Use of Neural Network”*, Journal of Applied Geophysics 35, 1996, pp. 89-98.

- IV.150.** Benbrahim M., Daoudi A., Benjelloun D., Ibenbrahim, A., "Discrimination of Seismic Signals Using Artificial Neural Networks", Engineering and Technology, 4, 2005, pp. 4-7.
- IV.151.** Bishop C., "Neural Networks for Pattern Recognition", Oxford University Press, 1995.
- IV.152.** Siarry P., "Optimization in Signal and Image Processing", Wiley-IST, 2009.
- IV.153.** Vaidyanathan P.P., "Signal Processing for Transceiver Systems", Cambridge University, 2010.
- IV.154.** Banavar M., "Signal Processing for Solar Array Monitoring, Fault Detection, and Optimization (Synthesis Lectures on Power Electronics)", Morgan & Claypool Publishers, 2012.
- IV.155.** Bensoussan A., "Analysis and Optimization of Systems: Proceedings of the 9th International Conference Antibes, June 12-15, 1990 (Lecture Notes in Control and Information Sciences)", Springer-Verlag, 1990.
- IV.156.** Yaroslavsky L., "Digital Image Processing: Principles, Methods, Algorithms", Springer 2010.
- IV.157.** Bjelkhagen H., "Ultra-Realistic Imaging: Advanced Techniques in Analogue and Digital Colour Holography", CRC Press, 2013.
- IV.158.** Aldhouse-Green M., "An Archaeology of Images: Iconology and Cosmology in Iron Age and Roman Europe", Routledge, 2004.
- IV.159.** Kapsalas, P., Zervakis, M., Maravelaki-Kalaitzaki, P., "Evaluation of image segmentation approaches for non-destructive detection and quantification of corrosion damage on stonework", Corrosion Science, 49 (12), 2007, pp. 4415-4442.
- IV.160.** Zezza F., "Digital Image Processing in Weathering Damage Analysis and Recovery Treatments Monitoring", Digital Heritage - Lecture Notes in Computer Science Volume 6436, 2010, pp. 71-84.
- IV.161.** Alexopoulou A., Kaminari A., Panagopoulos A., Pöhlmann E., "Multispectral Documentation and Image Processing Analysis of the Papyrus of Tomb II at Daphne, Greece", Journal of Archaeological Science, 40 (2), 2013, pp. 1242-1249.
- IV.162.** Kapsalas, P., Maravelaki-Kalaitzaki, P., Zervakis, M., Delegou, E.T., Moropoulou, A., "A morphological fusion algorithm for optical detection and quantification of decay patterns on stone surfaces", Construction and Building Materials, 22 (3), 2008, pp. 228-238.
- IV.163.** Žarnić R., Rajčić V., Moropoulou A., "Identity Card of Cultural Heritage: How to Collect and Organize Data", EuroMed 2012, LNCS 7616, 2012, pp. 340-348.
- IV.164.** Akerboom A., "Visual Inspection Applied to Cultural Heritage", EU-CHIC, International Conference on Cultural Heritage Preservation, May 29 – June 1, 2012, Split, Croatia.
- IV.165.** Kapsalas P., Zervakis M., Maravelaki-Kalaitzaki P., Delegou E., Moropoulou A., "Automated Detection of Robust Morphology Regions to Quantify Corrosion Damage & Identify its Type", CMA4CH 2010, Mediterranean Meeting Application of Multivariate Analysis and Chemometry to Cultural Heritage and Environment, 3rd Edition., Sicily, Italy, 26-29 September 2010.
- IV.166.** Kapsalas P., Zervakis M., Maravelaki-Kalaitzaki P., Delegou E., Moropoulou A., "Machine Vision Schemes Towards Detecting & Estimating The State Of Corrosion", Pattern Recognition and Signal Processing in Archaeometry: Mathematical and Computational Solutions for Archaeology (Premier Reference Source)", IGI Global, 2012.
- IV.167.** Lobovikov-Katz A., Konstanti A., Labropoulos K., Moropoulou A., Cassar J., Angelis R., "The EUROMED 4 Project "ELAICH": e-Tools for a Teaching Environment on EU Mediterranean Cultural Heritage", EuroMed 2012, LNCS 7616, 2012, pp. 340-348.
- IV.168.** Τάσιος Θ., "Τι τα θέμε τα μνημεία...", Το Βήμα – Γνώμες, 7 Ιουνίου 2009.
<http://www.tovima.gr/opinions/article/?aid=272286>
- IV.169.** Leondes C., "Computer-Aided Design, Engineering, and Manufacturing: Systems Techniques and Applications - Volume II, Computer-Integrated Manufacturing", CRC Press, 2000.
- IV.170.** Natarajan R., "Computer-Aided Power System Analysis (Power Engineering -Willis)", CRC Press, 2002.
- IV.171.** Marien H., "Analog Organic Electronics: Building Blocks for Organic Smart Sensor Systems on Foil (Analog Circuits and Signal Processing)", Springer, 2013.
- IV.172.** Schlichthärle D., "Digital Filters: Basics and Design", Springer, 2010.
- IV.173.** Thede L., "Practical Analog and Digital Filter Design", Artech House Microwave Library, 2004.
- IV.174.** Lipkowitz K., Boyd D., "Reviews in Computational Chemistry (Volume 13)", Wiley-VCH, 1999.
- IV.175.** Jensen F., "Introduction to Computational Chemistry", Wiley, 2nd Edition, 2006.
- IV.176.** Finlayson B., "Introduction to Chemical Engineering Computing", Wiley, 2nd Edition, 2012.
- IV.177.** Bazilevs Y., "Computational Fluid-Structure Interaction: Methods and Applications", Wiley, 2013.
- IV.178.** Bovik A., "Handbook of Image and Video Processing (Communications, Networking and Multimedia)", Academic Press, 2nd Edition, 2005.

- IV.179.** Wu H.R., Rao K.R., *“Digital Video Image Quality and Perceptual Coding”*, CRC Taylor & Francis, 2006.
- IV.180.** Moeslund T., *“Introduction to Video and Image Processing: Building Real Systems and Applications (Undergraduate Topics in Computer Science)”*, Springer, 2012.
- IV.181.** Dhanani S., *“Digital Video Processing for Engineers: Embedded Systems Design”*, Newnes, 2012.
- IV.182.** Luo D., *“Pattern Recognition and Image Processing (Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials)”* Woodhead Publishing, 1998.
- IV.183.** Bow S.-T., *“Pattern Recognition and Image Preprocessing (Signal Processing and Communications)”*, CRC Press, 2nd Edition, 2002.
- IV.184.** Chen C.H., Pau L.F., Wang P.S.P., *“Handbook of Pattern Recognition & Computer Vision”*, World Scientific Pub Co Inc., 2nd Edition, 1999.
- IV.185.** Cortada J., *“Rise of the Knowledge Worker (Knowledge-Based Economy Resources)”*, Routledge, 1998.
- IV.186.** Rozenberg G., *“Handbook of Natural Computing: 4 Volume Set (Springer Reference)”*, Springer, 2012.
- IV.187.** Nakamori Y., *“Enabling Systemic Knowledge Synthesis”*, Chapman & Hall/CRC, 2013.
- IV.188.** Leo D., *“Engineering Analysis of Smart Material Systems”*, Wiley, 2007.
- IV.189.** Heilbronner R., *“Image Analysis in Earth Sciences: Microstructures and Textures of Earth Materials (Lecture Notes in Earth Sciences)”*, Springer, 2014.
- IV.190.** Soille P., *“Morphological Image Analysis: Principles and Applications”*, Springer, 2010.
- IV.191.** Rosin P., Adamatzky A., Sun X., *“Cellular Automata in Image Processing and Geometry (Emergence, Complexity and Computation)”*, Springer, 2014.
- IV.192.** Adamatzky A., *“Reaction-Diffusion Computers”*, Elsevier Science, 2005.
- IV.193.** Chountas P., Petrounias I., Kacprzyk J., *“Intelligent Techniques and Tools for Novel System Architectures (Studies in Computational Intelligence)”*, Springer, 2008.
- IV.194.** Maciaszek L., Filipe J., *“Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering: 7th International Conference, ENASE 2012, Wroclaw, Poland, June 29-30, 2012, Revised Selected Papers (Computer and Information Science)”*, Springer, 2013.
- IV.195.** Jakšić Z., *“Micro and Nanophotonics for Semiconductor Infrared Detectors: Towards an Ultimate Uncooled Device”*, Springer, 2014.
- IV.196.** Shao L., Han J., Kohli P., Zhang Z., *“Computer Vision and Machine Learning with RGB-D Sensors (Advances in Computer Vision and Pattern Recognition)”*, Springer, 2014.
- IV.197.** Gassmann O., Meixner H., *“Sensors Applications - Volume 2: Sensors in Intelligent Buildings”*, Wiley-VCH, 2nd Edition, 2001.
- IV.198.** Seminario J., *“Design and Applications of Nanomaterials for Sensors (Challenges and Advances in Computational Chemistry and Physics)”*, Springer, 2014.
- IV.199.** Zhang Y., *“Future Communication, Computing, Control and Management: Volume 1 (Lecture Notes in Electrical Engineering)”*, Springer, 2012.
- IV.200.** Lee K.Y., El-Sharkawi M.A., *“Modern Heuristic Optimization Techniques: Theory and Applications to Power Systems”*, Wiley-IEEE Press, 2008.
- IV.201.** Gardiner C. W., *“Handbook of Stochastic Methods: For Physics, Chemistry and Natural Sciences (Springer Series in Synergetics)”*, Springer, 2nd Edition, 1985.
- IV.202.** Ghosh S.K., *“Concepts and Methods in Modern Theoretical Chemistry: Electronic Structure and Reactivity (Atoms, Molecules, and Clusters)”*, CRC Press, 2013.
- IV.203.** Ghosh S.K., *“Concepts and Methods in Modern Theoretical Chemistry: Statistical Mechanics (Atoms, Molecules, and Clusters)”*, CRC Press, 2013.
- IV.204.** Bromann M., *“Fire Protection for Commercial Facilities”*, CRC Press, 2010.
- IV.205.** Burke R., *“Fire Protection: Systems and Response”*, CRC Press, 2007.
- IV.206.** Dornhege G., Millán J., Hinterberger T., McFarland D., Müller K.-R., *“Toward Brain-Computer Interfacing (Neural Information Processing series)”*, The MIT Press, 2007.
- IV.207.** Miranda E., Castet J., *“Guide to Brain-Computer Music Interfacing”*, Springer, 2014.
- IV.208.** Fazel-Rezai R., *“Brain-Computer Interface Systems – Recent Progress and Future Prospects”*, InTech, 2013.
- IV.209.** Ναυτεμπορική, *“Σε έναν κόσμο, όπου όλα εκτυπώνονται τρισδιάστατα - Έκθεση «3D printing», στη Στέγη Γραμμάτων και Τεχνών”*, 14 Δεκεμβρίου 2014.
<http://www.naftemporiki.gr/story/890167/se-enan-kosmo-opou-ola-ektuponontai-trisdiastata>
- IV.210.** Πρατικάκης Β., *“Το εργαλείο που σχεδιάστηκε στη Γη και εκτυπώθηκε στο Διάστημα”*, 19 Δεκεμβρίου 2014, <http://www.tovima.gr/science/physics-space/article/?aid=661039>

- IV.211.** Waldron K., *“Advanced Robotics: 1989: Proceedings of the 4th International Conference on Advanced Robotics Columbus, Ohio, June 13-15, 1989”*, Springer, 2011.
- IV.212.** Henderson H., *“Modern Robotics: Building Versatile Machines (Milestones in Discovery and Invention)”*, Chelsea House Pub, 2006.
- IV.213.** Onwubolu G., *“Mechatronics: Principles and Applications”*, Butterworth-Heinemann, 2005.
- IV.214.** Ma Y., *“An Invitation to 3-D Vision: From Images to Geometric Models”*, Springer, 2010.
- IV.215.** Herman G., Frank J., *“Computational Methods for Three-Dimensional Microscopy Reconstruction (Applied and Numerical Harmonic Analysis)”*, Birkhäuser, 2014.
- IV.216.** Gere J., *“Mechanics of Materials”*, Cengage Learning, 8th Edition, 2012.
- IV.217.** Varadan V., *“Smart Material Systems and MEMS: Design and Development Methodologies”*, Wiley, 2006.
- IV.218.** Ovaska S., *“Computationally Intelligent Hybrid Systems: The Fusion of Soft Computing and Hard Computing (IEEE Press Series on Computational Intelligence)”*, Wiley-IEEE Press, 2004.
- IV.219.** Vernon D., *“Machine Vision: Automated Visual Inspection and Robot Vision”*, Prentice Hall, 1991.
- IV.220.** Yu Sun Y. Behal A., Chung C., *“New Development in Robot Vision”*, Springer, 2014.
- IV.221.** Palade V., Bocaniala C.-D., Jain L., *“Computational Intelligence in Fault Diagnosis (Advanced Information and Knowledge Processing)”*, Springer, 2006.
- IV.222.** Shukla A., Ravichandran G., Rajapakse Y., *“Dynamic Failure of Materials and Structures”*, Springer, 2009.
- IV.223.** Recho N., *“Fracture Mechanics and Crack Growth”*, Wiley-ISTE, 2012.
- IV.224.** Sucaet Y., Waelput W., *“Digital Pathology”*, Springer, 2014.
- IV.225.** Popp J., *“Ex-vivo and In-vivo Optical Molecular Pathology”*, Wiley-Blackwell, 2014.
- IV.226.** Fischinger M., *“Performance-Based Seismic Engineering: Vision for an Earthquake Resilient Society (Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering)”*, Springer, 2014.
- IV.227.** Day R., *“Geotechnical Earthquake Engineering”*, McGraw-Hill Professional, 2nd Edition, 2012.
- IV.228.** Paz M., *“International Handbook of Earthquake Engineering: Codes, Programs, Examples”*, Springer, 2012
- IV.229.** Bozorgnia Y., Bertero V., *“Earthquake Engineering: From Engineering Seismology to Performance-Based Engineering”*, CRC Press, 2004.
- IV.230.** Πρατικάκης Β., “Μυστηριώδεις σεισμοί στην Ιταλία αποδίδονται στην τσιμεντοβιομηχανία”, Το Βήμα, 8 Δεκεμβρίου 2014, <http://www.tovima.gr/science/technology-planet/article/?aid=657465>
- IV.231.** Bermejo R., *“Handbook for a Sustainable Economy”*, Springer, 2014.
- IV.232.** Baker J.M., Nixon P.J., Majumdar A.J., Davies H. *“Durability of Building Materials and Components: Proceedings of the Fifth International Conference”*, Spon Press, 1990.
- IV.233.** Wang S., *“Intelligent Buildings and Building Automation”*, Routledge, 2009.
- IV.234.** Maierhofer C., Reinhardt H.W., Dobmann G., *“Non-Destructive Evaluation of Reinforced Concrete Structures: Deterioration Processes and Standard Test Methods: 2”*, Woodhead Publishing, 2010.
- IV.235.** Nilson A., *“Design of Concrete Structures”*, McGraw-Hill, 14th Edition, 2009
- IV.236.** Kamara M., *“Simplified Design of Reinforced Concrete Buildings”*, Portland Cement Ass, 4th Edition, 2011.
- IV.237.** Lavin P., *“Asphalt Pavements: A Practical Guide to Design, Production and Maintenance for Engineers and Architects”*, CRC Press, 2003.
- IV.238.** Grünberg J., *“Concrete Structures for Wind Turbines”*, Ernst & Sohn, 2013.
- IV.239.** Myers D., *“Construction Economics: A New Approach”*, Routledge, 3rd Edition, 2013.
- IV.240.** Yang W., *“The Issues and Discussion of Modern Concrete Science”*, Springer, 2014.
- IV.241.** Armstrong T., *“An overview of global cement - Sector trends - Insights from the Global Cement Report 10th Edition”*, International Cement Review, XXX Technical Congress, FICEM-APCAC, Lima, Peru, September 2nd, 2013.
- IV.242.** Morassi A., Vestroni F., *“Dynamic Methods for Damage Detection in Structures (CISM International Centre for Mechanical Sciences)”*, Springer, 2009.
- IV.243.** Zehnder A., *“Fracture Mechanics (Lecture Notes in Applied and Computational Mechanics, Vol. 62)”*, Springer, 1st Edition, 2012.
- IV.244.** Langenberg K.-J., *“Ultrasonic NDT of Materials: Theoretical Foundations”*, CRC Press, 2012.
- IV.245.** Wilson D., *“McGraw-Hill Manual of Laboratory and Diagnostic Tests”*, McGraw-Hill Professional, 2007.
- IV.246.** Kind-Barkauskas F., *“Concrete Construction Manual (Construction Manuals)”*, Birkhäuser, 2002.
- IV.247.** Jansen R.B., *“Advanced Dam Engineering for Design, Construction, and Rehabilitation”*, Springer, 2011.
- IV.248.** Benaim R., *“The Design of Prestressed Concrete Bridges: Concepts and Principles”*, CRC Press, 2007.

- IV.249.** Page J., “Conceptual Cost Estimating Manual”, Gulf Professional Publishing, 2nd Edition, 1996.
- IV.250.** Zhu J., “Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking: Data Envelopment Analysis with Spreadsheets (Operations Research & Management Science)”, Springer, 2nd Edition, 2008.
- IV.251.** Dowling P., “International Human Resource Management”, Cengage Learning EMEA, 6th Edition, 2013.
- IV.252.** Li Z., “Structural Renovation in Concrete”, CRC Press, 2009.
- IV.253.** Hewitt A., “Construction Claims and Responses: Effective Writing and Presentation”, Wiley, 2011.
- IV.254.** Grantham M., “Concrete Repair: A Practical Guide”, CRC Press, 2011.
- IV.255.** Pratap R., “Getting Started with MATLAB”, Oxford University Press, 2009.
- IV.256.** Gilat A., “MATLAB: An Introduction with Applications”, Wiley, 5th Edition, 2014
- IV.257.** Colgren, R. “Basic MATLAB®, Simulink® and Stateflow® (AIAA Education)”, AIAA, 2006.
- IV.258.** Higham D., “MATLAB Guide”, Society for Industrial and Applied Mathematics, 2nd Edition, 2005.
- IV.259.** Johnson R., “The Elements of MATLAB Style”, Cambridge University Press, 2010.
- IV.260.** Γεωργίου Γ., Ξενοφώντος Χ., “Εισαγωγή στη MATLAB”, Kantzilaris Publications, Nicosia, Cyprus, 2007.
- IV.261.** Dukkupati R., “MATLAB: An Introduction with Applications”, Anshan Publishers, 2010.
- IV.262.** McMahon D., “MATLAB Demystified”, McGraw-Hill Professional, 2007.
- IV.263.** Attaway S., “Matlab: A Practical Introduction to Programming & Problem Solving”, Butterworth-Heinemann, 2009.
- IV.264.** Beucher O., “Introduction to MATLAB & SIMULINK”, Infinity Science Press, 3rd Edition, 2007.
- IV.265.** “MATLAB® The Language of Technical Computing – Mathematics, Version 7”, MathWorks Inc., 2004.
- IV.266.** Knight A., “Basics of MATLAB and Beyond”, Chapman and Hall/CRC, 1999.
- IV.267.** Driscoll T., “Learning MATLAB”, Society for Industrial and Applied Mathematics, 2009.
- IV.268.** Hunt B., “A Guide to MATLAB”, Cambridge University Press, 2nd Edition. 2006.
- IV.269.** Sigmon K., “MATLAB Primer”, Chapman and Hall/CRC, 8th Edition, 2004.
- IV.270.** Gieschke R., “Development of Innovative Drugs via Modeling with MATLAB”, Springer, 2013.
- IV.271.** Gopi E.S., “Digital Signal Processing for Medical Imaging Using Matlab”, Springer, 2012.
- IV.272.** Anderson L., “Business Economics and Finance with MATLAB”, Chapman & Hall/CRC, 2004.
- IV.273.** Brandimarte P., “Numerical Methods in Finance and Economics: A MATLAB-Based Introduction”, Wiley-Interscience, 2nd Edition, 2006.
- IV.274.** Kienitz J., “Financial Modelling: Theory, Implementation and Practice with MATLAB Source (The Wiley Finance Series)”, Wiley, 2013.
- IV.275.** Giurgiutiu V., “Micromechanics: Modeling, Analysis, and Design with MATLAB, Second Edition (Nano- and Microscience, Engineering, Technology and Medicine)”, CRC Press, 2nd Edition, 2009.
- IV.276.** VoyiadjisG., “Mechanics of Composite Materials with MATLAB”, Springer, 2005.
- IV.277.** Turcotte L., “Computer Applications in Mechanics of Materials using MATLAB”, Prentice Hall, 1997.
- IV.278.** Holzbecher E., “Environmental Modeling: Using MATLAB”, Springer, 2nd Edition, 2012.
- IV.279.** Sumathi S., “Computational Intelligence Paradigms: Applications using MATLAB”, CRC Press, 2010.
- IV.280.** McCormack J., Inverno M., “Computers and Creativity”, Springer, 2012.
- IV.281.** Camastra F., “Machine Learning for Audio, Image and Video Analysis: Theory and Applications (Advanced Information and Knowledge Processing)”, Springer, 2007.
- IV.282.** Sivanandam S.N., “Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB”, Springer, 2006.
- IV.283.** Lonngren K., “Fundamentals of Electromagnetics with MATLAB”, SciTech Publishing, 2nd Edition, 2007.
- IV.284.** Binh L.G., “Ultra-Fast Fiber Lasers: Principles and Applications with MATLAB® Models (Optics and Photonics)”, CRC Press, 2010.
- IV.285.** Lynch S., “Dynamical Systems with Applications using MATLAB®”, Birkhäuser, 2nd Edition, 2014.
- IV.286.** Khaled N., “Virtual Reality and Animation for MATLAB® and Simulink® Users: Visualization of Dynamic Models and Control Simulations”, Springer, 2012.
- IV.287.** Kay S., “Intuitive Probability and Random Processes using MATLAB”, Springer, 2005.
- IV.288.** Siogkas G., “Visual Media Processing Using Matlab Beginner’s Guide”, Packt Publishing, 2013.
- IV.289.** Gopi E.S., “Digital Speech Processing Using Matlab (Signals Technology)”, Springer, 2013.
- IV.290.** Banchs R., “Text Mining with MATLAB®”, Springer, 2012.
- IV.291.** Semmlow J., “Signals and Systems for Bioengineers, Second Edition: A MATLAB-Based Introduction (Biomedical Engineering)”, Academic Press, 2nd Edition, 2011.

- IV.292.** Elnashaie S., *"Numerical Techniques for Chemical and Biological Engineers Using MATLAB®: A Simple Bifurcation Approach"*, Springer, 2006.
- IV.293.** King M., *"Numerical and Statistical Methods for Bioengineering: Applications in MATLAB (Cambridge Texts in Biomedical Engineering)"*, Cambridge University Press, 2010.
- IV.294.** Poon T.C., *"Engineering Optics with Matlab"*, World Scientific Pub Co Inc, 2006.
- IV.295.** Proakis J. Salehi M., Bauch G., *"Contemporary Communication Systems Using MATLAB"*, Cengage Learning, 3rd Edition, 2012.
- IV.296.** Proakis J., *"Contemporary Communication Systems Using Matlab"*, Pap/Dis, Pws Pub Co, 1998.
- IV.297.** Swanson D., *"Signal Processing for Intelligent Sensor Systems with MATLAB®, Second Edition (Signal Processing and Communications)"*, CRC Press, 2nd Edition, 2012.
- IV.298.** Raol J., *"Multi-Sensor Data Fusion with MATLAB®"*, CRC Press, 2009.
- IV.299.** Mukhopadhyay S., Jayasundera K., Fuchs A., *"Advancement in Sensing Technology: New Developments and Practical Applications (Smart Sensors, Measurement and Instrumentation)"*, Springer, 2012.
- IV.300.** Duffy D., *"Advanced Engineering Mathematics with MATLAB"*. Chapman and Hall/CRC, 2nd Edition, 2003.
- IV.301.** Lopez C., *"MATLAB Differential Equations"*, Apress, 2014
- IV.302.** Xue D., *"Solving Applied Mathematical Problems with MATLAB"*, Chapman and Hall/CRC, 2008.
- IV.303.** Lopez C., *"MATLAB Linear Algebra"*, Apress, 2014.
- IV.304.** Halpern D., *"Advanced Mathematics and Mechanics Applications Using MATLAB"*, Chapman and Hall/CRC, 3rd Edition, 2002.
- IV.305.** Cooper J., *"A Matlab Companion for Multivariable Calculus"*, Academic Press, 2001.
- IV.306.** Lopez C., *"MATLAB Differential and Integral Calculus"*, Apress, 2014.
- IV.307.** Martinez W., *"Exploratory Data Analysis with MATLAB, Second Edition (Chapman & Hall/CRC Computer Science & Data Analysis)"*, CRC Press, 2nd Edition, 2010.
- IV.308.** Lyche T., *"Exercises in Computational Mathematics with MATLAB"*, Springer, 2014.
- IV.309.** Barnes B., *"Mathematical Modelling with Case Studies: A Differential Equations Approach using Maple and MATLAB, Second Edition (Textbooks in Mathematics)"*, Chapman and Hall/CRC, 2nd Edition, 2008.
- IV.310.** Lopez C., *"MATLAB Matrix Algebra"*, Apress, 2014.
- IV.311.** Shampine L.F., *"Solving ODEs with MATLAB"*, Cambridge University Press, 2003.
- IV.312.** Lee H.J., *"Ordinary and Partial Differential Equation Routines in C, C++, Fortran, Java, Maple, and MATLAB"*, Chapman and Hall/CRC, 2003.
- IV.313.** Agarwal R., *"Creators of Mathematical and Computational Sciences"*, Springer, 2014.
- IV.314.** Trefethen L., *"Spectral Methods in MATLAB (Software, Environments, Tools). Edition. SIAM: Society for Industrial and Applied Mathematics"*, 2001.
- IV.315.** Constantinides A., *"Numerical Methods for Chemical Engineers with MATLAB"*, Prentice Hall, 1999.
- IV.316.** Stanoyevitch A., *"Introduction to Numerical Ordinary and Partial Differential Equations Using MATLAB"*, Wiley-Interscience, 2004.
- IV.317.** Linfield G., *"Numerical Methods Using Matlab (Ellis Horwood Series in Mathematics & Its Applications)"*, Prentice Hall PTR, 1995.
- IV.318.** Chapra S., *"Applied Numerical Methods W/MATLAB"*, McGraw-Hill Science, 3rd Edition, 2011.
- IV.319.** Mathews J., *"Numerical Methods Using MATLAB"*, Prentice Hall College Div, 3rd Edition, 1998.
- IV.320.** Bober W., *"Numerical and Analytical Methods with MATLAB (Computational Mechanics and Applied Analysis)"*, CRC Press, 2011.
- IV.321.** Lopez C., *"MATLAB Programming for Numerical Analysis"*, Apress, 2014.
- IV.322.** Kiusalaas J., *"Numerical Methods in Engineering with MATLAB®"*, Cambridge Press, 2nd Edition, 2010.
- IV.323.** Karris S., *"Numerical Analysis Using MATLAB and Spreadsheets"*, Orchard Publications, 2001.
- IV.324.** Moler C., *"Numerical Computing with Matlab"*, Society for Industrial and Applied Mathematics, 2004.
- IV.325.** Yang W., *"Applied Numerical Methods Using MATLAB"*, Wiley-Interscience, 2005.
- IV.326.** Otto S., *"An Introduction to Programming and Numerical Methods in MATLAB"*, Springer, 2005.
- IV.327.** Woodford C., *"Numerical Methods with Worked Examples: Matlab"*, Springer, 2nd Edition, 2011.
- IV.328.** Kwon Y., *"The Finite Element Method Using MATLAB (Mechanical and Aerospace Engineering Series)"*, CRC Press, 1996.
- IV.329.** Khennane A., *"Introduction to Finite Element Analysis Using MATLAB® and Abaqus"*, CRC Press, 2013.
- IV.330.** Kattan P., *"MATLAB Guide to Finite Elements: An Interactive Approach"*, Springer, 2nd Edition, 2007

- IV.331.** Ferreira A., “*MATLAB Codes for Finite Element Analysis: Solids and Structures (Solid Mechanics and Its Applications)*”, Springer, 2008.
- IV.332.** Ong C., “*Dynamic Simulations of Electric Machinery: Using MATLAB/SIMULINK*”, Prentice Hall, 1997.
- IV.333.** Chaturvedi D., “*Modeling and Simulation of Systems Using MATLAB and Simulink*”, CRC Press, 2009.
- IV.334.** Wouwer A., “*Simulation of ODE/PDE Models with MATLAB®, OCTAVE and SCILAB: Scientific and Engineering Applications*”, Springer, 2014.
- IV.335.** Spiegel C., “*PEM Fuel Cell Modeling and Simulation Using Matlab*”, Academic Press, 2008.
- IV.336.** Hatch M., “*Vibration Simulation Using MATLAB and ANSYS*”, Chapman and Hall/CRC, 2000.
- IV.337.** White R., “*Elements of Matrix Modeling and Computing with MATLAB*”, Chapman and Hall/CRC, 2011.
- IV.338.** Ramamurthy K., “*MATLAB Software for the Code Excited Linear Prediction Algorithm: The Federal Standard-1016 (Synthesis Lectures on Algorithm & Software in Engineering)*”, Morgan & Claypool Publishers, 2010.
- IV.339.** Gander W., “*Scientific Computing - An Introduction using Maple and MATLAB (Texts in Computational Science and Engineering)*”, Springer, 2014.
- IV.340.** Zhang Y., “*Parallel Solution of Integral Equation-Based EM Problems in the Frequency Domain*”, Wiley-IEEE Press, 2009.
- IV.341.** Gander W., “*Solving Scientific Computing Problems Using Maple/MATLAB®*”, Springer, 3rd Edition, 2001.
- IV.342.** White R., “*Computational Mathematics: Models, Methods, and Analysis with MATLAB and MPI (Textbooks in Mathematics)*”, Chapman and Hall/CRC, 2003.
- IV.343.** Shaffer R., “*Fundamentals of Power Electronics with Matlab*”, Charles River Media, 2006.
- IV.344.** Karris S., “*Circuit Analysis I with MATLAB Applications*”, Orchard Publications, 2003.
- IV.345.** Karris S., “*Circuit Analysis II with MATLAB Applications*”, Orchard Publications, 2004.
- IV.346.** Karris S., “*Electronic Devices and Amplifier Circuits: With Matlab / Simulink / SimElectronics Examples*”, Orchard Pubns, 3rd Edition, 2012.
- IV.347.** Karris S., 2009. *Circuit Analysis II with MATLAB Computing and Simulink / SimPowerSystems Modeling*. Edition. Orchard Publications.
- IV.348.** Attia J., “*PSPICE and MATLAB for Electronics: An Integrated Approach, Second Edition (VLSI Circuits)*”. CRC Press, 2nd Edition, 2010.
- IV.349.** Attia J., “*Electronics and Circuit Analysis Using MATLAB*”, CRC Press, 1999.
- IV.350.** Semmlow J., “*Circuits, Signals, and Systems for Bioengineers: A MATLAB-Based Introduction (Biomedical Engineering)*”, Academic Press, 2005.
- IV.351.** Dai X., “*Rapid BeagleBoard Prototyping with MATLAB and Simulink*”, Packt Publishing, 2013.
- IV.352.** Phillips C., “*Digital Control System Analysis and Design*”, Prentice Hall, 3rd Edition, 1994.
- IV.353.** Perutka K., “*MATLAB for Engineers: Applications in Control, IT, Robotics*”, InTech, 2011.
- IV.354.** Guzinski J., “*High Performance Control of AC Drives with Matlab / Simulink Models*”, Wiley, 2012.
- IV.355.** Jing Y., “*A Practical Guide to Error-Control Coding Using MATLAB*”, Artech House, 2010.
- IV.356.** Lopez C., “*MATLAB Control Systems Engineering*”, Apress, 2014.
- IV.357.** Gu D., “*Robust Control Design with MATLAB®*”, Springer, 2005.
- IV.358.** Chau P., “*Process Control: A First Course with MATLAB (Cambridge Series in Chemical Engineering)*”, Cambridge University Press, 2002
- IV.359.** Trauth M., “*MATLAB® and Design Recipes for Earth Sciences: How to Collect, Process and Present Geoscientific Information*”, Springer, 2012.
- IV.360.** Trauth M., “*MATLAB® Recipes for Earth Sciences*”, Springer, 2nd Edition, 2007.
- IV.361.** Mahafza B., “*MATLAB Simulations for Radar Systems Design*”, Chapman and Hall/CRC, 2003.
- IV.362.** Mahafza B., “*Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB*”, Chapman & Hall/CRC, 3rd Edition, 2013.
- IV.363.** Barton D., “*Radar Technology Encyclopedia (Artech House Radar Library)*”, Artech, 1997
- IV.364.** Makarov S., “*Antenna and EM Modeling with Matlab*”, Wiley-Interscience, 2002.
- IV.365.** Holland O., “*Graphics and GUIs with MATLAB, Third Edition (Graphics & GUIs with MATLAB)*”, Chapman and Hall/CRC, 3rd Edition, 2002.
- IV.366.** Majumdar N., “*MATLAB Graphics and Data Visualization Cookbook (Quick Answers to Common Problems)*”, Packt Publishing, 2012.
- IV.367.** Lopez C., “*MATLAB Graphical Programming: Practical hands-on MATLAB solutions*”, Apress, 2014.
- IV.368.** Hunt B., “*A Guide to MATLAB: For Beginners and Experienced Users*”, Cambridge University Press, 2001.



Αρχιτεκτονική Art Nouveau (“Jugendstils”) στην Ρήγα [19^{ος}-20^{ος} αιώνας]

Το ιστορικό κέντρο της πρωτεύουσας της Λεττονίας είναι αναγνωρισμένο και ενταγμένο μνημείο παγκόσμιας κληρονομιάς της UNESCO.

[8 Antonijas Street, Rīga Latvija, Αρχιτέκτονας Konstantīns Pēkšēns, 1903]

56.958283, 24.111604

ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ 

Σκοπός, τοποθέτηση προβλήματος και πρωτοτυπία της Διδακτορικής Διατριβής

Το πρόβλημα το οποίο πραγματεύεται και αποσκοπεί να επιλύσει αυτή η Διδακτορική Διατριβή είναι η διερεύνηση των δυνατοτήτων συμβολής τεχνικών μη-καταστροφικού ελέγχου όσον αφορά την επιτυχή ακριβή διάγνωση και έλεγχο ποιότητας (καίριο χαρακτηριστικό εδώ η ιδιότητα της ανθεκτικότητας των υλικών) των δομικών υλικών (τσιμέντο/σκυροδέμα) με ιδιαίτερη έμφαση την Αειφόρο Κατασκευή μέσω του σχεδιασμού, ανάπτυξης και πλήρης εφαρμογή μίας καινοτόμου τεχνικής μεθόδου μη-καταστρεπτικού επιτόπιου (“in-situ”) ελέγχου σε πραγματικό χρόνο (“real-time”) και πραγματικό μέγεθος (“real-scale”), για την εκτίμηση, έλεγχο και αξιολόγηση της ποιότητας του σκυροδέματος κατά την στιγμή της κατασκευής.

Μέσω της “ζωντανής” παρακολούθησης του σκυροδέματος κατά την διάρκεια της διάστρωσης αυτού (κατά την διαδικασία σκυροδέτησης, όχι στον τόπο μίξης ή παραγωγής του σκυροδέματος αλλά εκεί όπου πραγματικά λαμβάνει χώρα η δόμηση της κατασκευής) μέσω της μη-καταστρεπτικής μεθόδου της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών (“Fiber Optic Microscopy – FOM”) και της ταυτόχρονης Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας (“Digital Image Processing - DIP”) των ληφθέντων εικόνων υψής, συσχετίζεται (μέσω ανάπτυξης κατάλληλου ημιεμπειρικού μαθηματικού μοντέλλου) και ταυτοποιείται η δεδομένη μορφολογία της μικροδομής του σκυροδέματος, η οποία αντιστοιχίζεται με τιμές μηχανικών ιδιοτήτων σύμφωνα με δεδομένα αποθηκευμένα σε κατάλληλη Βάση Δεδομένων εικόνων μικροδομής (μικροδομή: υπό την έννοια της δομής σε μικροκλίμακα του υλικού υπό μελέτη, όπως αυτή αναδεικνύεται και αποτυπώνεται μέσω της εφαρμογής ΜΚΕ Μικροσκοπίου Οπτικών Ινών) νωπού σκυροδέματος καθώς και αποθηκευμένων/καταγεγραμμένων αντίστοιχων μελλοντικών τελικών αντοχών.

Η δημιουργία αυτής της καινοτόμου βάσης δεδομένων αποτελεί τον πυρήνα υποστηρικτικού λογισμικού για την προβολή (“projection”) αξιόπιστων τελικών αντοχών, πάντα σε πραγματικό χρόνο και πραγματική κλίμακα, ενώ τα πειραματικά αποτελέσματα οδηγούν στην δημιουργία εμπειρικού (“expert”) γνωσιακού συστήματος όπου αξιολογείται αυτόματα/μηχανικά η Ποιότητα της Κατασκευής (πάντα την ίδια/ακριβή στιγμή της σκυροδέτησης αυτής). Με τον τρόπο αυτό, βελτιώνεται σημαντικά η διαδικασία λήψης αποφάσεων για την Κατασκευή, με αποτέλεσμα την καλύτερη Ποιότητα σκυροδέματος, Κατασκευής με μεγαλύτερο χρόνο ζωής, μικρή συντήρηση, μεγαλύτερη επιτελεστικότητα και εντέλει, επίτευξη Αειφορίας στην Κατασκευή.

Σημειώνεται ότι η πρωτοτυπία του εγχειρήματος δεν έγκειται μόνο στα “αυστηρά” επιστημονικά όρια της Επιστήμης της Τεχνολογίας Τσιμέντου και Σκυροδέματος αλλά επιδιώκει την Συνέργεια –στο πεδίο και σε πραγματικό χρόνο– μεταξύ Μεθόδων Μη-Καταστροφικού Ελέγχου και Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας με σκοπό την πραγματική μεταφορά/κλιμάκωση από το επίπεδο της “Εποχής της Πληροφορίας” (“Information Age”) στην επόμενη βαθμίδα αυτής, την “Εννοιολογική Εποχή” (“Conceptual Age”) σε συνδυασμό με τις συμβατές/συμβατικές μετρήσεις.

Η επιλογή δε των υπό μελέτη δομικών υλικών (τσιμέντων και σκυροδεμάτων) έλαβε χώρα λαμβάνοντας υπόψη της ιδιαιτερότητας και τα δομημένα συμφέροντα της ελληνικής αγοράς και πραγματικότητας, ενώ ιδιαίτερη σημασία και μέριμνα δόθηκε στους κυρίαρχους εμπορικούς τύπους τσιμέντου οι οποίοι παράγονται στην Ελλάδα (ακόμα και τα τελευταία χρόνια όπου μαινεται η οικονομική κρίση, με σημαντικότερες επιπτώσεις στην εσωτερική οικοδομική δραστηριότητα) και εξάγονται στην παγκόσμια αγορά.

Τα τσιμέντα που επιλέχθηκαν προς μελέτη επιδεικνύουν συναφή μικροδομή και συμπεριφορά (ειδικότερα ως προς τις φυσικομηχανικές τους ιδιότητες, και την ανθεκτικότητά τους) ενώ επιλέχθηκε κατηγορία αντοχών σκυροδέματος αντιπροσωπευτική της ελληνικής πραγματικότητας και ενδιαφέροντος.

Η προτεινόμενη επιστημονική κατεύθυνση τονίζει την εν-λειτουργία (*“on-line”*), επί-τόπια (*“in-situ”*) και σε πραγματικό χρόνο (*“real-time”*) παρακολούθηση και πρόβλεψη της κατάστασης με στόχο τον έλεγχο ποιότητας και την διάγνωση/πρόγνωση αστοχίας υλικού, αποτελώντας ουσιαστικά ένα εξαιρετικό εργαλείο συστημικής πρόγνωσης και διαχείρισης υγείας του υλικού (*“prognostics & health management - PHM”*).



“Slavers throwing overboard the dead and dying—Typhoon coming on”

*[Joseph Mallord William Turner, 1775-1851,
Museum of Fine Arts, Boston, λάδι σε καμβά, 90.8×122.6 cm, 1840]*

ΜΕΡΟΣ Β' – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ 

Κεφάλαιο V.

Πειραματικός Σχεδιασμός, Εκτέλεση και Συζήτηση Πειραματικών Αποτελεσμάτων

Περιεχόμενα Κεφαλαίου V:

V.a. Σχεδίαση & οργάνωση του πειραματικού προγράμματος της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής

V.a.I. Επιλογή & χαρακτηρισμός πρώτων υλών ως προς την παρασκευή δειγμάτων σκυροδέματος

V.a.II. Σχεδιασμός συνδυασμού πειραματικής εφαρμογής βασικών μη-καταστρεπτικών τεχνικών

V.a.III. Σχεδιασμός εφαρμογής Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών και Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας των ληφθέντων εικόνων ως προς την μελέτη και αποτίμηση της μικροδομής αυτών.

V.a.IV. Θεμελίωση της συσχέτισης μεταξύ των (ψηφιακά επεξεργασμένων) εικόνων μικροδομής (ληφθέντων μέσω εφαρμογής της τεχνικής της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών) και των τελικών μηχανικών αντοχών των δοκιμίων/δειγμάτων σκυροδέματος.

V.a.V. Δημιουργία κατάλληλης πληροφοριακής Βάσης Δεδομένων

V.a.VI. Δημιουργία κατάλληλου Έμπειρου Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων

V.b. Εκτέλεση πειραματικού σχεδιασμού και συζήτηση πειραματικών αποτελεσμάτων

V.b.I. Επιλογή & χαρακτηρισμός πρώτων υλών ως προς την παρασκευή δειγμάτων σκυροδέματος

V.b.I.a. Τύποι τσιμέντων

V.b.I.a.1. Αποτελέσματα χημικής ανάλυσης τσιμέντων με XRF

V.b.I.a.2. Αποτελέσματα μηχανικών αντοχών τσιμέντων σε θλίψη

V.b.I.a.3. Αποτελέσματα μετρήσεων απαίτησης σε νερό και χρόνο πήξης τσιμέντων

V.b.I.a.4. Αποτελέσματα μετρήσεων ειδικής επιφάνειας τσιμέντων

V.b.I.a.5. Αποτελέσματα μετρήσεων διαστολής τσιμέντων

V.b.I.a.6. Αποτελέσματα μετρήσεων Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης

V.b.I.a.7. Αποτελέσματα μετρήσεων Περίθλασης Ακτίνων Χ

V.b.I.a.8. Αποτελέσματα Ποροσιμετρίας Αζώτου και ανάλυσης μέσω μεθόδου BET

V.b.I.a.9. Αποτελέσματα μετρήσεων Ισόθερμης Θερμιδομετρίας

V.b.I.β. Συνθέσεις σκυροδέματος

V.b.I.β.1. Αποτελέσματα μετρήσεων κάθισης, πυκνότητας και περιεχόμενου αέρα

V.b.I.β.2. Αποτελέσματα μετρήσεων αντοχή σε θλίψη, αντοχή σε κάμψη, αντοχή σε εφελκυστική τάση, βάθος διείσδυσης νερού υπό πίεση, προσδιορισμός χαρακτηριστικών κενών αέρος, συρρίκνωση

V.b.II. Σχεδιασμός συνδυασμού πειραματικής εφαρμογής βασικών μη-καταστρεπτικών τεχνικών

V.b.III. Σχεδιασμός εφαρμογής Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών και Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας των ληφθέντων εικόνων ως προς την μελέτη και αποτίμηση της μικροδομής αυτών.

V.b.IV. Θεμελίωση της συσχέτισης μεταξύ των (ψηφιακά επεξεργασμένων) εικόνων μικροδομής (ληφθέντων μέσω εφαρμογής της τεχνικής της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών) και των τελικών μηχανικών αντοχών των δοκιμίων/δειγμάτων σκυροδέματος.

V.b.V. Δημιουργία κατάλληλης πληροφοριακής Βάσης Δεδομένων

V.b.VI. Δημιουργία κατάλληλου Έμπειρου Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων

V.c. Εφαρμογή αναπτυχθείσας μεθοδολογίας στην Κλίμακα της Κατασκευής

a. Σχεδίαση και οργάνωση του πειραματικού προγράμματος της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής

Βάσει του προηγούμενου **Κεφαλαίου IV**. “Σκοπός, τοποθέτηση προβλήματος και πρωτοτυπία της Διδακτορικής Διατριβής” ορίζεται και παρουσιάζεται ακολούθως ο πειραματικός σχεδιασμός της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής. Τονίζεται εξ αρχής ότι βάσει του προαναφερθέντος Σκοπού της Διδακτορικής Διατριβής (και της τοποθέτησης του προβλήματος το οποίο πραγματεύεται η παρούσα Έρευνα), είναι ιδιαιτέρως άξια αναφοράς τόσο η “φιλοσοφία” όσο και το πραγματιστικό/ρεαλιστικό “πνεύμα” της πειραματικής προσέγγισης: ο πειραματικός σχεδιασμός και διαδικασία βασίζονται στον συνδυασμό τόσο του κλασσικού ελέγχου ποιότητας του σκυροδέματος με εφαρμογή παραδοσιακών εργαστηριακών δοκιμών (χαρακτηρισμού/αξιολόγησης της κατάστασης) όσο και στην καινοτόμα προσέγγιση της συνεργατικής αξιοποίησης τεχνικών Μη-Καταστρεπτικού Ελέγχου επιδιώκοντας την Αειφορία στην Κατασκευή.

Ως εκ τούτου και προς επίτευξη των παραπάνω, είναι αναγκαία η σχεδίαση εφαρμογής επι-τόπιων (*in-situ*) ελέγχων ποιότητας σε πραγματικό χρόνο (*real-time*) και πραγματικό μέγεθος (*real-scale*), επιτρέποντας με τον τρόπο αυτό την άμεση εκτίμηση της ποιότητας του σκυροδέματος κατά την δημιουργία του στον χώρο της συγκεκριμένης δόμησης/κατασκευής, συμβάλλοντας ουσιαστικά στην διαδικασία λήψης αποφάσεων (π.χ. βελτιστοποίηση του χρόνου έκχυσης του σκυροδέματος από το όχημα τροφοδοσίας).

Η πειραματική δομή η οποία σχεδιάσθηκε είναι αντιπροσωπευτική τόσο της διεπιστημονικής προσέγγισης όσο και του αναγκαίου βαθμού ελάχιστης δυνατής πολυπλοκότητας, ούτως ώστε να επιτυγχάνεται λήψη αξιόπιστων και ικανοποιητικών πειραματικών δεδομένων. Ως προς την εκπλήρωση όλων των παραπάνω έγκειται η εκπλήρωση των κάτωθι ερευνητικών επιδιώξεων, βημάτων και στόχων:

a.i. Επιλογή και χαρακτηρισμός πρώτων υλών ως προς την παρασκευή δειγμάτων σκυροδέματος

Η αρχή του πειραματικού σχεδιασμού της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής έγκειται στην σαφή επιλογή και χαρακτηρισμό των πρώτων υλών. Ουσιαστικά η επιλογή (ή αντίστοιχα ο αποκλεισμός) των υλικών (για την σύνθεση των πειραματικών σειρών σκυροδέματος) ήταν εξαιρετικά σημαντική ως προς την επιτυχή εκτέλεση της καινοτόμου μεθοδολογίας και λαμβάνει υπόψιν τις καίριες/διακρίνουσες παραμέτρους ενδιαφέροντος των υπό μελέτη υλικών (π.χ. μικροδομή, εικόνας υφής, τελικές μηχανικές αντοχές) καθώς και τις αντίστοιχες δυναμικές ανάπτυξης αυτών (π.χ. χρόνοι πήξης και σκλήρυνσης) αλλά και κύριων ιδιοτήτων των υπό παραγωγή συνθέσεων σκυροδεμάτων (π.χ. εργασιμότητα, αντοχές, πορώδες, διαπερατότητα, ανθεκτικότητα, εύρος εφαρμογών και καινοτομία).

Ειδικότερα περί του τρόπου/μεθοδολογίας εκτέλεσης των τεχνικών και παρασκευής των απαραίτητων δοκιμών ακολουθούν οι αναγκαίες σύντομες περιγραφές:

Χαρακτηρισμός τσιμέντων:

- **Μέτρηση μηχανικών αντοχών:** Οι μετρήσεις της μηχανικής αντοχής πρισματικών δοκιμών (διαστάσεων 40x40x160mm) έναντι θλίψης έγιναν σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 196-1. Για την ορθή εκτέλεση της μέτρησης χρησιμοποιούνται οι εξής συσκευές: αναμκτήρας (δοχείο ανάμιξης και μίκτρο με συγκεκριμένες ταχύτητες ανάμιξης/λειτουργίας), καλούπια (αποτελούμενα από τρία οριζόντια διαμερίσματα με συγκεκριμένες διαστάσεις), ελάσματα και μεταλλική ράβδος (για τη διάστρωση του δείγματος), συσκευή συμπίκνωσης με κρούση (ορθογώνια τράπεζα η οποία ανυψώνεται με την βοήθεια έκκεντρου και επιτρέπεται να πέσει ελεύθερα από συγκεκριμένο ύψος) και μηχανή δοκιμής αντοχής σε θλίψη (υδραυλικό έμβολο, το οποίο εφαρμόζει φόρτιση στο κέντρο του δοκιμίου με ρυθμό 2400±200N/s, μέχρι την θραύση αυτού). Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των δοκιμών κονιαμάτων ήταν το υπό μελέτη τσιμέντο, απιονισμένο νερό και πρότυπη πυριτική άμμος CEN (κοκκομετρίας και υγρασίας σύμφωνης με το Πρότυπο), ενώ η προετοιμασία του κονιάματος ακολούθησε την προβλεπόμενη διαδικασία (μηχανική ανάμιξη με τοποθέτηση του νερού πρώτα στο δοχείο ανάμιξης και προσθήκη του τσιμέντου, χαμηλή ταχύτητα λειτουργίας μίκτρο για τα πρώτα 30sec και προσθήκη με σταθερό ρυθμό της άμμου για τα επόμενα 30sec – μετά επιλέγεται η μεγαλύτερη ταχύτητα λειτουργίας μίκτρο για 30sec, διακόπτεται η λειτουργία για 1.30min και απομακρύνεται το κονίαμα το οποίο έχει επικολληθεί στα τοιχώματα, ενώ η ανάμιξη ολοκληρώνεται σε υψηλή ταχύτητα λειτουργίας μίκτρο για 60sec). Η προετοιμασία των δοκιμών έγινε με χρήση σέσουλας και ειδικού ελάσματος (για την τοποθέτηση και διάστρωση των στρωμάτων στο

καλούπι) με κατάλληλη συμπύκνωση του πρώτου και δεύτερου στρώματος (60 κρούσεις κάθε φορά) ενώ αφαιρείται η περίσσεια με μεταλλική ράβδο και το καλούπι απομακρύνεται από την τράπεζα κρούσης. Τα δοκίμια στη συνέχεια συντηρούνται ως εξής: τοποθετείται πάνω στο καλούπι μία γυάλινη πλάκα και εισάγονται στον υγρό θάλαμο/χώρο για 24h, όπου όσα δοκίμια έχουν επιλεγεί για δοκιμές θραύσης ηλικίας 24h ξεκαλουπώνονται και οδηγούνται στην συσκευή μέτρησης ενώ τα υπόλοιπα βυθίζονται μετά το ξεκαλούπωμα σε νερό θερμοκρασίας $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ εντός κατάλληλων δεξαμενών από όπου απομακρύνονται 15min πριν την αντίστοιχη ηλικία δοκιμής (1, 2, 7 και 28 ημέρες). Τέλος, η μέτρηση των αντοχών σε θλίψη (R_c) υπολογίζεται σε N/mm^2 ως εξής: $R_c = F_c/1600$, όπου F_c είναι το μέγιστο φορτίο στο σημείο θραύσης σε N και 1600 είναι η επιφάνεια/εμβαδόν των πλακών επαφής ($40\text{mm} \times 40\text{mm}$) σε mm^2 . Τα αποτελέσματα των δοκιμών αντοχής εκφράζονται ως ο αριθμητικός μέσος έξι τιμών από τους προσδιορισμούς των αντοχών σε θλίψη που πραγματοποιήθηκαν για μία ομάδα τριών πρισμάτων.

- **Μέτρηση απαίτησης σε νερό:** Η μέτρηση γίνεται με την συσκευή Vicat σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 196-3, όπου προβλέπεται η ανάμιξη του τσιμεντοπολτού (ζύγιση και προσθήκη $500\pm 1\text{gr}$ τσιμέντου σε 125gr νερού) για 90sec, παύση για 15sec (όπου αφαιρείται ο πολτός ο οποίος έχει επικολληθεί έξω από την ζώνη ανάμιξης και επαναφέρεται στο μίγμα υπό ανάμιξη) και στην συνέχεια ακολουθεί το γέμισμα του καλουπιού (χωρίς έντονη συμπύκνωση ή δόνηση μεταφέρεται ο τσιμεντοπολτός στο καλούπι το οποίο έχει τοποθετηθεί σε μία ελαφρά λιπασμένη γυάλινη πλάκα στηρίξεως) ενώ αφαιρείται το περίσσειμα. Ως ένδειξη της κλίμακας στη συσκευή Vicat θεωρείται η απόσταση μεταξύ της κάτω πλάκας στήριξης και το περιεχόμενο νερό στο πολτό είναι εκφρασμένο ως ποσοστό επί της μάζας τσιμέντου. Η δοκιμή επαναλαμβάνεται με πολτούς οι οποίοι περιέχουν διαφορετικά ποσά νερού μέχρι να βρεθεί κάποιο που να φέρει αποτέλεσμα απόστασης μεταξύ του εμβόλου και της πλάκας στήριξης ίσο με $6\pm 1\text{mm}$ – το νερό αυτό $\pm 0,5\%$ ονομάζεται νερό κανονικής συνεκτικότητας
- **Μέτρηση χρόνου πήξης (προσδιορισμός αρχής και τέλους πήξης):** Για να προσδιορισθεί η αρχική πήξη ρυθμίζεται η προαναφερθείσα συσκευή Vicat με την βελόνα προσαρμοσμένη πριν από την δοκιμή, χαμηλωμένη ώστε να ακουμπάει την πλάκα στήριξης που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ενώ ο δείκτης ρυθμίζεται να είναι στο μηδέν της κλίμακας. Εν συνεχεία, ανυψώνεται η βελόνα στην θέση αναμονής και γεμίζεται το καλούπι. Η βελόνα χαμηλώνει έως ότου έρθει σε επαφή με τον τσιμεντοπολτό και σταματάει στην θέση αυτή για 1-2sec ώστε να μην υπάρχει αρχική ταχύτητα ή επιτάχυνση των κινητών μερών της διάταξης. Έπειτα, απελευθερώνονται τα κινητά μέρη γρήγορα και επιτρέπεται στην βελόνα να διεισδύσει κατακόρυφα μέσα στον τσιμεντοπολτό, όπου γίνεται ανάγνωση της ένδειξης της κλίμακας είτε όταν παύσει η διείσδυση ή μετά το πέρας των 30sec μετά την απελευθέρωση της βελόνας. Η τιμή της κλίμακας που δείχνει την απόσταση μεταξύ του άκρου της βελόνας και της πλάκας στήριξης καταγράφεται, μαζί με τον χρόνο στον οποίο πέρασε από το χρόνο μηδέν, ενώ η δοκιμή διείσδυσης επαναλαμβάνεται στο ίδιο δοκίμιο σε κατάλληλα τοποθετημένες θέσεις που απέχουν τουλάχιστον 10mm από το χείλος του καλουπιού ή μεταξύ αυτών (σε κατάλληλα χρονικά διαστήματα, με συντήρηση σε υγρό θάλαμο ή υγρό κλειστό χώρο). Ο χρόνος που σημειώνεται από τον χρόνο μηδέν μέχρι την στιγμή όπου η απόσταση της βελόνας και της πλάκας στήριξης είναι $4\pm 1\text{mm}$ καταγράφεται ως αρχή της πήξης (με προσέγγιση 5min), ενώ η απαιτούμενη ακρίβεια μπορεί να εξασφαλιστεί μέσω της μείωσης των χρονικών διαστημάτων μεταξύ των δοκιμών πλησίον του τέλους του προσδιορισμού (εάν τα διαδοχικά αποτελέσματα δεν

αποκλίνουν πολύ). Σχετικά με τον προσδιορισμό του τέλους πήξης, αναποδογυρίζεται το γεμισμένο καλούπι πάνω στην πλάκα στήριξης ούτως ώστε να εκτελούνται οι δοκιμές του τέλους πήξης στην πλευρά του δοκιμίου που ήταν αρχικά σε επαφή με την πλάκα στήριξης. Εν συνεχεία, προσαρμόζεται η βελόνα με το δακτυλιοειδές προσάρτημα ώστε να διευκολύνεται η ακριβής παρατήρηση των μικρών διεισδύσεων (σημειώνεται δε ότι τα χρονικά διαστήματα παρατήρησης/καταγραφής των δοκιμών διείσδυσης μπορεί να αυξηθούν αναλόγως) και καταγράφεται ο χρόνος με προσέγγιση 15min.

- **Μέτρηση ειδικής επιφάνειας:** Οι μετρήσεις της ειδικής επιφάνειας των τσιμέντων έλαβαν χώρα βάσει της Μεθόδου Blaine, σε συμφωνία με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 196-6.
- **Μέτρηση σταθερότητας όγκου/διαστολής τσιμέντων:** Βάσει ΕΛΟΤ EN 196-3.
- **Μέτρηση Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης:** Η τεχνική του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (*“Scanning Electron Microscopy” – SEM*) βασίζεται στο ότι όταν μία ακτίνα πρωτογενών ηλεκτρονίων προσπίπτει σε έναν στερεό όγκο, τα ηλεκτρόνια διασπείρονται ή απορροφούνται, δημιουργώντας ταυτόχρονα ποικιλία σημάτων. Τα προσπίπτοντα ηλεκτρόνια διασπείρονται σε έναν όγκο σχήματος αχλαδιού μέσα στο στερεό και επιπλέον, παράγονται τα δευτερογενή ηλεκτρόνια, τα ανακλώμενα ηλεκτρόνια, οι ακτίνες Χ, τα ηλεκτρόνια Auger και άλλες αποκρίσεις. Επίσης, υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι παρατήρησης ή/και μικροανάλυσης, οι οποίοι επιτρέπουν την παρακολούθηση του προς εξέταση αντικειμένου. Οι συνηθέστεροι τρόποι εξέτασης ηλεκτρονικής μικροσκοπίας ηλεκτρονίων συμπεριλαμβάνουν την συλλογή των δευτερογενών και ανακλώμενων ηλεκτρονίων ενώ οι μικροαναλυτικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται (*βασιζόμενες στην ανίχνευση των ακτίνων Χ*) είναι η ανάλυση της διασπειρόμενης ενέργειας των ακτίνων Χ (EDX) και η ανάλυση της διασποράς κυματαριθμού(WD). Τέλος, η ένταση των ανακλώμενων ηλεκτρονίων είναι ανάλογη με τον ατομικό αριθμό των ατόμων που υπάρχουν στο υπό εξέταση αντικείμενο και την πυκνότητα του υλικού. Το ενεργειακό επίπεδο των πρωτογενών ηλεκτρονίων είναι περίπου έως 50eV και το ίδιο ισχύει για τα διασπειρόμενα ηλεκτρόνια, ενώ από τα διακριτικά χαρακτηριστικά των ανακλώμενων ηλεκτρονίων είναι η σχετικά υψηλή ενέργεια τους όπως καθώς και ότι όλες οι αποκρίσεις παράγονται σε μία επιφανειακή ζώνη πάνω από τον στόχο.
- **Μέτρηση Περίθλασης Ακτίνων Χ:** Η μέθοδος της Περίθλασης Ακτίνων Χ είναι ο ελαστικός διασκορπισμός των φωτονίων ακτίνων Χ μέσω ατόμων μέσα σε ένα περιοδικό πλέγμα, όπου οι διασκορπισμένες μονοχρωματικές Ακτίνες Χ αλληλοεπιδρούν με την δομή και επιτρέπουν τον υπολογισμό των αποστάσεων του πλέγματος με χρήση του νόμου του Bragg: $n\lambda = 2d \sin\theta$ (όπου n είναι η διάταξη της ανάκλασης, λ είναι το μήκος κύματος της ακτίνας Χ, d είναι η χαρακτηριστική απόσταση μεταξύ των κρυσταλλικών επιπέδων ενός δεδομένου δείγματος και θ είναι η γωνία μεταξύ προσπίπτουσας ακτινοβολίας και του επιπέδου ανάκλασης του πλέγματος). Μέσω της μέτρησης των γωνιών θ υπό τις οποίες οι ακτίνες βγαίνουν από τον κρύσταλλο έχοντας επιδράσει στην δομή του υπολογίζονται οι διεπιπεδικές αποστάσεις d . Τα παραπάνω βρίσκουν εφαρμογή στην ταυτοποίηση μίας άγνωστης ουσίας, όπου με την βοήθεια διαθλασιόμετρου καταγράφεται το διάγραμμα περίθλασης και δημιουργείται κατάλληλη λίστα με τις τιμές d και τις σχετικές εντάσεις των γραμμών περίθλασης. Εν συνεχεία, τα πειραματικά δεδομένα αυτά συγκρίνονται με πρότυπα διαγράμματα που είναι διαθέσιμα για διάφορες ουσίες σε αντίστοιχες βάσεις δεδομένων και πρακτικά μέσω της ύπαρξης/εμφάνισης ή μη των τριών βασικών γραμμών του προτύπου μίας ουσίας πιστοποιείται/αποδεικνύεται η παρουσία αυτής της κρυσταλλικής φάσης (είτε σε

καθαρή μορφή είτε εντός μίγματος). Επιπλέον, είναι πιθανή η διάκριση μεταξύ δύο ή περισσότερων φάσεων μέσω της σύγκρισης και των υπολοίπων χαρακτηριστικών γραμμών ενώ εξαιρετική σημασία έχει η εκ των προτέρων γνώση της τάξης των υπό διερεύνηση υλικών καθώς και η ύπαρξη δεδομένων χημικής ανάλυσης. Μέσω ποιοτικών ταυτοποιήσεων ορυκτών ή συστατικών φάσεων υπολογίζονται τόσο η καταλληλότητα πρώτων υλών ως προς την παραγωγή κλίνκερ, η ποιότητα του κλίνκερ προς παραγωγή, η επίτευξη των επιθυμητών σχηματισμών τσιμέντου μέσω της επίδρασης στην φύση των αντιδράσεων ενυδάτωσης αλλά και η μελέτη των διαφορετικών προσθέτων, η κατάσταση του μετασχηματισμού φάσεων του σκυροδέματος και ο πιθανός σχηματισμός προϊόντων φθοράς.

Χαρακτηρισμός σκυροδεμάτων:

- Μέτρηση μηχανικών αντοχών σε θλίψη: Οι μετρήσεις αντοχής σε θλίψη πραγματοποιήθηκαν σε κυβικά δοκίμια που παρασκευάστηκαν βάσει του Προτύπου EN 206.
- Αποτελέσματα μετρήσεων κάθισης, πυκνότητας και περιεχόμενου αέρα.
- Αποτελέσματα μετρήσεων αντοχή σε θλίψη, αντοχή σε κάμψη, αντοχή σε εφελκυστική τάση, βάθος διείσδυσης νερού υπό πίεση, προσδιορισμός χαρακτηριστικών κενών αέρος, συρρίκνωση.

a.II. Σχεδιασμός συνδυασμού πειραματικής εφαρμογής βασικών μη-καταστρεπτικών τεχνικών

Σε συνέχεια των παραπάνω εκτιμάται η επίδραση της εφαρμογής μη-καταστροφικών ελέγχων στον έλεγχο των ιδιοτήτων του σκυροδέματος κατά τις πρώιμες ηλικίες. Οι καταγεγραμμένες ιστορικές αποτυχίες και η αύξηση του κόστους συντήρησης των δομών σκυροδέματος έχουν αποδεδειγμένα συσχετισθεί με τις πρώτες κρίσιμες φάσεις της τοποθέτησης αυτού, συνεπώς η δυνατότητα καθορισμού των ιδιοτήτων του σκυροδέματος απευθείας στο υπό κατασκευή έργο/δόμημα (*"in-situ"*), σε πραγματικό χρόνο (*"real-time"*) είναι εξαιρετικής επιστημονικής σημασίας και εντός των ερευνητικών ενδιαφερόντων της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής.

Οι περισσότερες μη-καταστρεπτικές μέθοδοι οι οποίες εφαρμόζονται στα έργα σκυροδέματος ουσιαστικά χρησιμοποιούν και βασίζονται σε εμπειρικές σχέσεις, όπου ιδιαίτερη βαρύτητα έχουν τόσο η υποστήριξη/συμπλήρωση αυτών με περαιτέρω τεχνικές/μεθόδους ή η εξειδικευμένη ρύθμιση/βαθμονόμηση του οργάνου για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Στα πλαίσια της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής μελετάται η δυνατότητα συνδυασμού/συνέργειας μη-καταστροφικών τεχνικών με απώτερο στόχο την ανάπτυξη μεθόδου/μεθοδολογίας μελέτης των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών του σκυροδέματος βάσει/μέσω της μικροδομής αυτού έναντι των εμπειρικών νόμων και κανόνων. Σε συνέχεια αυτού, μελετάται και καθορίζεται τόσο η σχέση των πειραματικών αποτελεσμάτων διαφόρων μη-καταστρεπτικών τεχνικών με την αυτή καθαυτή διαδικασία της ενυδάτωσης (και απόκτησης μηχανικών αντοχών) του σκυροδέματος όσο και η δυνατότητα δημιουργίας/καθορισμού θεμελιωδών σχέσεων μεταξύ της εξελισσόμενης/προοδευτικής μικροδομής και των φυσικομηχανικών αντοχών (π.χ. μέτρο ελαστικότητας, βαθμός ενυδάτωσης, πορώδες, θλιπτικές αντοχές κλπ). Επί τούτου, διερευνάται η δυνατότητα συμπλήρωσης των πειραματικών έργων μέσω αριθμητικών μοντέλων ενυδάτωσης του σκυροδέματος και περισσότερο συγκεκριμένα, την αξιοποίηση των υπολογιστικών λογισμικών CEMHYD3D, HYMOSTRUC και μΙC, ούτως ώστε να είναι δυνατή/εφικτή η επαλήθευση των πειραματικών δεδομένων.

Περαιτέρω στόχος του παρόντος πειραματικού συνδυασμού είναι η εύρεση/αναγνώριση μίας διγραμμικής σχέσης μεταξύ των μηχανικών αντοχών και των μη-

καταστρεπτικών πειραματικών αποτελεσμάτων, βάσει της οποίας θα είναι εφικτός τόσο ο επανασχεδιασμός της εφαρμογής των μη-καταστρεπτικών τεχνικών όσο και η δυνατότητα της επέμβασης/επανασχεδιασμού του υπό παραγωγή/τοποθέτηση δομικού υλικού (μέσω της πρόβλεψης των επί-τόπου μηχανικών αντοχών σε πρώιμες χρονικές στιγμές –πάντα σε συνθήκες πεδίου– έναντι των βιβλιογραφικών/θεωρητικών δεδομένων).

Για την επίτευξη όλων των παραπάνω ερευνητικών σκοπών λήφθηκε υπόψη τόσο η επίδραση του βαθμού ενυδάτωσης στην συμπεριφορά του σκυροδέματος, όσο και η αναλογία πήγματος/κενών (“gel/space ratio”) αλλά και η (προοδευτική) διασυνδεσιμότητα των σωματιδίων τσιμέντου υπό ενυδάτωση. Οι πειραματικές και αριθμητικά κτηθείσες τιμές και σχέσεις αξιοποιήθηκαν στην δημιουργία θεμελιώδους μοντέλλου καθορισμού των μηχανικών αντοχών σε σχέση με τα πειραματικά αποτελέσματα εφαρμογής μη-καταστροφικών τεχνικών, ενώ ιδιάζον χαρακτηριστικό του παραπάνω σχεδιασμού είναι η βαρύτητα η οποία δίνεται στην έλλειψη περαιτέρω ανάγκης βαθμονόμησης των μεθόδων.

Τέλος, η μελέτη του πειραματικού συνδυασμού μη-καταστρεπτικών τεχνικών έλαβε χώρα αποκλειστικά στις πρώτες χρονικές στιγμές παραγωγής και εφαρμογής του σκυροδέματος, ούτως ώστε να μελετώνται οι πρώιμες ιδιότητες αυτού και να επιτυγχάνεται ασφαλής συσχέτιση με τις απαιτήσεις της Βιομηχανίας και Κοινωνίας για υψηλά επίπεδα δυνατότητας συντήρησης και επιδιόρθωσης (“servicability”), ανθεκτικότητας (“durability”) και αισθητικής.

a.III. Σχεδιασμός εφαρμογής Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών και Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνων των ληφθέντων εικόνων ως προς την μελέτη και αποτίμηση της μικροδομής αυτών.

Εν συνεχεία, λαμβάνει χώρα η αποτίμηση των εικόνων μικροδομής των δοκιμίων σκυροδέματος μέσω των ληφθεισών εικόνων υφής (*image patterns*), όπου πραγματοποιούνται οι εξής αναλύσεις: αρχικά ταυτοποιούνται οι ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος, με ιδιαίτερο βάρος στην μικροδομή και στην ρεολογία (όπου κρίσιμο ρόλο διαδραματίζει η δυνατότητα μέτρησης των προαναφερθέντων ιδιοτήτων στο χώρο της Κατασκευής και συγκεκριμένα κατά τη διάσπρωση του σκυροδέματος μέσω της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών) και στην συνέχεια, εφαρμόζεται Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνων (*Digital Image Processing*) στις ληφθείσες εικόνες μικροδομής του νωπού σκυροδέματος βάσει πρότερης αποκτηθείσας ερευνητικής εμπειρίας της Ερευνητικής Ομάδος του Εργαστηρίου Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ (βλέπε π.χ. P. Kapsalas, P. Maravelaki-Kalaitzaki, M. Zervakis, E.T. Delegou, A. Moropoulou, “Optical inspection for quantification of decay on stone surfaces”, *NDT&E International* 40, 2007, 2–11, A. Moropoulou, E.T. Delegou, V. Vlahakis, E. Karaviti, “Digital processing of SEM images for the assessment of evaluation indexes of cleaning interventions on Pentelic marble surfaces”, *Materials Characterization* 58 (2007) 1063–1069 καθώς και A. Moropoulou, M. Kouli, P. Theoulakis, C. Kourteli, F. Zezza, “Digital Image Processing for the Environmental Impact Assessment on Architectural Surfaces”, *J. Environmental Chemistry and Technology*, 1, 1995, pp. 23-32].

Η ανάγκη της επί τόπου (και σε πραγματικό χρόνο) μελέτης του νωπού σκυροδέματος μέσω της τεχνικής Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών οδηγεί ουσιαστικά την Έρευνα προς την μελέτη του “*image pattern*” της μικροδομής, καθιστώντας την Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνων αναπόσπαστο εργαλείο της μεθόδου καθώς η έλλειψη τελικής/σταθεροποιημένης μικροδομής (η οποία δημιουργείται μετά το πέρας ημερών και την μετέπειτα πρόσληψη των αναμενόμενων πλήρως μηχανικών αντοχών) δεν επιτρέπει τον ενδιαφερόμενο Ερευνητή ούτε π.χ. να λάβει τομές υπολογιστικής τομογραφίας (*CT-Scan*) τις οποίες μετέπειτα θα ήτο δυνατό να επεξεργαστεί μέσω Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνων ούτως ώστε να καταλήξει σε ασφαλή συμπεράσματα για την μικροδομή αλλά ούτε βεβαίως μπορεί να διεξάγει μελέτη ποροσιμετρίας για να εκτιμήσει την πρωταρχική μικροδομή. Επί

τούτου, η εξέλιξη της μικροδομής συν τον χρόνο έχει μελετηθεί εκτενώς από την Ερευνητική Ομάδα του Εργαστηρίου Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, υπό την επίβλεψη της Καθ. Α. Μοροπούλου, κυρίως σε εφαρμογές κονιαμάτων με παραδοσιακές πρώτες ύλες, όπου μετρήθηκε η συσχέτιση της εξέλιξης της μικροδομής με τις αντοχές (στους πρώτους 3, 6, 9 μήνες) και μελετήθηκε η μικροδομή με χρήση ποροσιμετρίας υδραργύρου, όπου διαπιστώθηκε η ύπαρξη της συσχέτισης αυτής [βλέπε π.χ. E. Delegou, N. Avdelidis, E. Karaviti, A. Moropoulou, "NDT&E techniques and SEM-EDS for the assessment of cleaning interventions on Pentelic marble surfaces", *X-Ray Spectrometry* 37, 2008, pp. 435-443, P. Kapsalas, P. Maravelaki-Kalaitzaki, M. Zervakis, E. Delegou, A. Moropoulou, "A morphological fusion algorithm for optical detection and quantification of decay patterns on stone surfaces" *Construction and Building Materials* 22, 2008 pp. 228-238 καθώς και A. Moropoulou, E.T. Delegou, N. P. Avdelidis, A. Athanasiadou, "Integrated diagnostics using advanced in situ measuring technology", 10th DBMC International Conférence on Durability of Building Materials and Components, Lyon, France, 17-20 April 2005].

Σε προηγούμενη ερευνητική εργασία στο δεδομένο επιστημονικό αντικείμενο εφαρμογής και αξιοποίησης της Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας σε δομικά υλικά τοιχοποιίας (είτε σε εικόνες μικροσκοπίας αυτών με μεγάλη μεγέθυνση -κυρίως μέσω ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης, SEM-, είτε σε μακροσκοπικές εικόνες), είναι εφικτό να αποδοθούν φυσικοχημικές ιδιότητες με κάποια ψευδή χρώματα ("pseudo-colours") βάσει κριτηρίου (διακρίνουσας) που επιλέγει ο ίδιος ο χρήστης, δίνοντας μετέπειτα την ουσιαστική υπόσταση (και φυσική διάσταση) στα (ψευδο)χρώματα, υπολογίζοντας π.χ. το πορώδες, την κυκλικότητα των πόρων, την κατανομή κυκλικότητας πόρων, την κατανομή του ολικού όγκου σε σχέση με τις ακτίνες των πόρων κλπ. Εντούτοις δε και βεβαίως όσον αφορά το σκυρόδεμα (όπου ο χρόνος της ωρίμανσης και πρόσληψης των πλήρων αντοχών είναι 28 ημέρες κατά τεκμήριο), η συσχέτιση της μικροδομής του νωπού σκυροδέματος με την τελική μικροδομή και πρόσληψη των αντοχών είναι περισσότερο αξιόπιστη.

a.IV. Θεμελίωση της συσχέτισης μεταξύ των (ψηφιακά επεξεργασμένων) εικόνων μικροδομής (ληφθέντων μέσω εφαρμογής της τεχνικής της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών) και των τελικών μηχανικών αντοχών των δοκιμών/δειγμάτων σκυροδέματος.

Περισσότερο αναλυτικά, ο πειραματικός σχεδιασμός αποσκοπεί στην αξιοποίηση αυτής της δυνατότητας της επιτόπου αξιολόγησης της ποιότητας του σκυροδέματος, κατά την διάρκεια της Κατασκευής, μέσω της πρωταρχικής και θεμελιώδους συσχέτισης της μικροδομής του νωπού σκυροδέματος (σε εξαιρετικά σύντομους χρόνους αμέσως μετά την σκυροδέτηση) με τις τελικές μηχανικές αντοχές. Αυτό αποτελεί καίριο ερευνητικό στόχο καθότι όπως είναι γνωστό από την διεθνή βιβλιογραφία [βλέπε π.χ. J. Schafer, H.K. Hilsdorf, "Ancient and new lime mortars - The correlation between their composition, structure and properties" RILEM edited by M.-J. Thiel *Conservation of stone and other materials, Unesco, Paris, June 29 - July 1, 1993, p.p. 605-612*] οι μηχανικές ιδιότητες του τσιμέντου (και κατ' επέκταση του σκυροδέματος), συνδέονται με την μικροδομή του. Περισσότερο συγκεκριμένα όσον αφορά το σκυρόδεμα, εξαιρετικά σημαντικές ιδιότητες αυτού (όπως το πορώδες, η κατανομή μεγέθους πόρων, η κάθιση και η πληρωτική ικανότητα) αποτελούν συνάμα και τις χαρακτηριστικές παραμέτρους που καθορίζουν τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού (όπως την αντοχή σε κάμψη, σε θλίψη και σε εφελκυσμό, την διαπερατότητα και την ανθεκτικότητα). Αν και ιδιαίτερο βάρος δίνεται στην συσχέτιση των παραμέτρων αυτών με τις αντίστοιχες ιδιότητες στην σκληρυμένη μορφή του σκυροδέματος, είναι γνωστή και δεδομένη η ύπαρξη συσχέτισης των παραμέτρων του νωπού σκυροδέματος με τις ιδιότητες του σκληρυμένου σκυροδέματος [βλέπε π.χ. "Performance Criteria for Concrete Durability", RILEM REPORT 12, *State Of The Art Report prepared by RILEM Technical Committee TC116-PCD on the Performance of Concrete as a Criterion of its Durability, edited by J. Kropp, Institut fur Massivbau Und Baustofftechnologie Universitat, Karlsruhe, Germany 1995*].

Περί νωπού σκυροδέματος δε, σημειώνεται εξαρχής ότι καίριες και χαρακτηριστικές ιδιότητες αυτού νοούνται η Σύνθεση του (το είδος και οι ποσότητες των υλικών), η Ρεολογία του και η Μικροδομή του ενώ, ως γνωστόν το νωπό σκυρόδεμα συμπεριφέρεται ως ρευστό τύπου Bingham [βλέπε π.χ. J.Y. Petit, E. Wirquin, Y. Vanhone, K. Khayat, "Yield stress and viscosity equations for mortars and self-consolidating concrete", *Cement & Concrete Research* 37 (2007), pp 655-670 καθώς και C.F. Ferraris, "Measurement of the rheological properties of high-performance concrete: state of the art report", *Journal of Research of NIST, Vol 24 (1999), pp. 461-478*] όπου οι ρεολογικές του ιδιότητες (χαρακτηριστικό εκ των οποίων είναι το ιξώδες) καθορίζουν πολλές από τις μελλοντικές του ιδιότητες. Σημαντικό ρόλο στην ρεολογία του νωπού σκυροδέματος παίζει η θερμοκρασία και η ανάπτυξη των θερμοκρασιών κατά την ενυδάτωση [βλέπε π.χ. G. Lemaire, E. Ringot, F. Cussigh, "Colorimétrie des parements de béton", "Colloque Visualisation Image Modélisation", VIM 2001, 15-17 May 2001 καθώς και I. Lallement, P. Rougeau, J-L. Gallias, R. Cabrillac, "Contribution of Microscopy to the Characterisation of Concrete Surfaces presenting Local Tint Defects", 22EM Conference Internationale Sur Microscopy Cement" 2000], ο λόγος νερού προς τσιμέντου που χρησιμοποιείται (w/c), το μέγεθος και η κατανομή μεγέθους των αδρανών όπως καθώς και ο περιεχόμενος αέρας. Συνεπώς, η Μικροδομή του νωπού σκυροδέματος συνδέεται άμεσα με την Ρεολογία του, αντίθετα με το σκληρυμένο σκυρόδεμα στο οποίο η Μικροδομή επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τα προϊόντα της ενυδάτωσης: ενδεικτικά όσον αφορά το σκληρυμένο σκυρόδεμα, χαρακτηριστικές ιδιότητες του (που καθορίζουν την ποιότητα και τη διάρκεια ζωής της Κατασκευής) αποτελούν η αντοχή σε κάμψη, θλίψη και εφελκυσμό (όπου η απόκτηση των αντοχών εξαρτάται από την μικροδομή του υλικού και την ενυδάτωση του τσιμέντου –βλέπε π.χ. A. Boumiz, C. Vernet, F.C. Tenoudji, "Mechanical Properties of cement pastes and mortars at early ages. Evolution with time and degree of hydration", *Advanced Cement-Based Materials* 3, 1992, pp. 94-106 καθώς και E. Ringot, A. Bascoul, "About the analysis of microcracking in concrete", CECO 788, *Cement & Concrete Composites*, 2000] και η Ανθεκτικότητα (η οποία εξαρτάται από το πορώδες αλλά και από την διείσδυση βλαβερών ιόντων π.χ. χλωριόντων, θειϊκών –βλέπε A. Moropoulou, G. Batis, A. Bakolas, M. Karoglou, E. Aggelakopoulou, "Damage Assessment of concrete structures exposed to aggressive marine environment by NDT and Laboratory Techniques", 6 CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete, Editor V.M. Malhotra].

Κοινός παρονομαστής στις ιδιότητες του νωπού και του σκληρυμένου σκυροδέματος αποτελεί η Μικροδομή του, η οποία μεταβάλλεται χρονικά. Αυτή η σύνδεση των δύο ιδιοτήτων με εφαρμογή θεωρητικών και ημιεμπειρικών μοντέλων οδηγεί σε δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης των ιδιοτήτων του νωπού σκυροδέματος [βλέπε π.χ. O. Bernard, F.J. Ulm, E. Lemarchand, "A Multiscale Micromechanics-Hydration Model for the early-age Elastic Properties of Cement-based Materials", MIT, Cambridge, April 17, 2002, A. Moropoulou, A. Cakmak, K. Labropoulos, R. Van Grieken, K. Torfs, "Accelerated microstructural evolution of a calcium-silicate-hydrate (C-S-H) phase in pozzolanic pastes using fine siliceous sources: comparison with historic pozzolanic mortars", *Cement and Concrete Research*, 34, 2004, pp. 1-6 καθώς και A. Bakolas, E. Aggelakopoulou, A. Moropoulou, S. Anagnostopoulou, "Evaluation of pozzolanic activity and physico-mechanical characteristics in metakaolin-lime pastes", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 84, 2006, pp. 157-163], ενώ περαιτέρω σημεία ερευνητικού ενδιαφέροντος είναι η τεκμηρίωση της δυναμικής/κινητικής της εξέλιξης της μικροδομής κατά την πρόσληψη των αντοχών, παρακολούθηση της οποίας θα λαμβάνει χώρα μέσω Διαφορικής Θερμικής Ανάλυσης (DTA) και Διαφορικής Θερμοβαρυτομετρικής Ανάλυσης (DTG), η οποία θα ελέγχει την μορφοποίηση των υδραυλικών φάσεων.

a.V. Δημιουργία κατάλληλης πληροφοριακής Βάσης Δεδομένων

Εν συνεχεία, έχοντας λάβει χώρα η αποτίμηση των εικόνων μικροδομής (μέσω της τεχνικής της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών) των δοκιμίων νωπού σκυροδέματος μέσω της ψηφιακής επεξεργασίας των ληφθεισών εικόνων υφής (*image patterns*), πραγματοποιείται (πάντα σε πραγματικό χρόνο και κλίμακα) ο ουσιαστικός συνδυασμός αυτών με από

αποτέλεσμα τόσο την είσοδο (“input”) των εικόνων υφής ως πληροφοριακών δεδομένων για περαιτέρω αξιοποίηση μέσω της μεθόδου της Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας προς επιτυχή αξιολόγηση της μικροδομής όσο και την μετέπειτα τελική ενσωμάτωση και συμπερίληψη αυτών των δεδομένων σε κατάλληλα δημιουργημένη πληροφοριακή βάση δεδομένων.

Μέσω αυτής της βάσης δεδομένων επιτυγχάνεται τόσο η υπολογιστική καταγραφή της αρχικής συσχέτισης μίας συγκεκριμένης εικόνας μικροδομής ως προς τις αναφερόμενες τελικές μηχανικές αντοχές, ενώ με κατάλληλη ανάδραση επί της συγκεκριμένης εικόνας (ληφθείσας πάντα σε πραγματικό χρόνο και στην πραγματική κλίμακα της Κατασκευής) βάσει της συνολικής αυτής αναπτυχθείσας συνδυαστικής τεχνικής Μη-Καταστρεπτικών Τεχνικών (και του τελικού συνδυασμένου λογισμικού), προβάλλονται οι τελικές μηχανικές αντοχές (έναντι κάμψης, θλίψης ή εφελκυσμού).

Σημειώνεται δε ότι καθώς μέσω της αποτίμησης της μικροδομής από τις εικόνες υφής (*image patterns*) όσον αφορά τις επιθυμητές τελικές μηχανικές ιδιότητες, επιτυγχάνεται ένα πρωταρχικό μοντέλο προβολής (*projection*) των αρχικών ιδιοτήτων της μικροδομής σε πραγματική κλίμακα (π.χ. είναι δυνατό να αξιολογηθεί η συμπύκνωση – *contraction*- και συνεπώς, αναδρώντας ως προς αυτή να κριθεί εάν έχει επιτευχθεί ο σωστός λόγος νερού προς κονία, κονίας προς αδρανές καθώς και η σωστή ανάμιξη), είναι εμφανές ότι η “καρδιά” της καινοτομίας της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής είναι η χρήση Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών με ταυτόχρονη Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας (ούτως ώστε να επιτευχθεί ικανό μοντέλο προβολής των τελικών αντοχών και πληροφορίες κατάλληλα αποθηκευμένες σε σχετική βάση δεδομένων).

a.VI. Δημιουργία κατάλληλου Έμπειρου Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων

Βάσει της προαναφερθείσας βάσης δεδομένων είναι πλέον εφικτό να δίνονται απαντήσεις καταλληλότητας του υλικού στον πραγματικό χρόνο, χώρο και κλίμακα της Κατασκευής, όσον αφορά τις απαιτήσεις ενός συγκεκριμένου έργου, όπου μέσω της λήψης δεδομένου αριθμού ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων υφής και σύγκρισης με την υπάρχουσα αποθηκευμένη Πληροφορία στην Βάση Δεδομένων, θα κρίνεται το παρασκευασθέν υλικό αποδεκτό είτε όχι. Με τον τρόπο αυτό οδηγείται ο χρήστης (μέσω της συγκέντρωσης των πειραματικών αποτελεσμάτων) από την δημιουργία και λειτουργία της πρωταρχικής βάσης δεδομένων στην μετέπειτα πραγμάτωση και επίτευξη ενός Έμπειρου Συστήματος Υποστήριξης Απόφασης (“*Decision Support Expert System*”).

Δηλαδή, μετά την συλλογή και αποθήκευση των πειραματικών δεδομένων (λήψη εικόνων μικροδομής μέσω Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών και ταυτόχρονη μελέτη της εικόνας υφής –*image pattern*– με εφαρμογή Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας για την επιτυχή συσχέτιση αυτών με τις τελικές μηχανικές αντοχές και συναφείς φυσικοχημικές ιδιότητες) βάσει των οποίων δημιουργείται κατάλληλη/συνακόλουθη Βάση Δεδομένων εικόνων μικροδομής νηπού σκυροδέματος και συσχέτισης αυτών με τις αντίστοιχες μελλοντικές τελικές μηχανικές αντοχές, ακολουθεί η ανάπτυξη ενός ημιεμπειρικού μαθηματικού μοντέλλου.

b. Εκτέλεση πειραματικού σχεδιασμού και συζήτηση πειραματικών αποτελεσμάτων

Εν συνεχεία ακολουθεί η εκτέλεση του πειραματικού σχεδιασμού, η οποία σημειώνεται εξ αρχής ότι έλαβε χώρα σε συνεργασία με το Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής Υλικών της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, το Εργαστήριο Μηχανικής και Αντοχής Υλικών του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, του Εργαστηρίου Υλικών & Κατασκευών του Πανεπιστημίου της Ljubljana και το Εργαστήριο Τεχνολογίας Σκυροδέματος, υπό την Διεύθυνση Έρευνας & Ποιότητας της Α.Ε. Τιμέντων "TITAN" (Εργοστάσιο στο Καμάρι Βοιωτίας).

b.1. Επιλογή και χαρακτηρισμός πρώτων υλών ως προς την παρασκευή δειγμάτων σκυροδέματος

Σε αυτήν την ενότητα δίδονται οι χημικές αναλύσεις, μετρήσεις χαρακτηρισμού/μελέτης καθώς και τα αποτελέσματα των φυσικομηχανικών χαρακτηριστικών των πρώτων υλών που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των πειραματικών συνθέσεων σκυροδέματος. Εν συνεχεία ακολουθεί η παρουσίαση και περιγραφή τόσο της επιλογής και χαρακτηρισμού των πρώτων υλών όσο και του τρόπου/μεθοδολογίας παρασκευής των απαραίτητων δοκιμίων, αναγκαίων για την διεξαγωγή των πειραμάτων που προβλέπονται στο πειραματικό σχεδιασμό της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής. Συνεπώς, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των δοκιμίων σκυροδέματος περιλαμβάνουν τα κάτωθι:

b.1.α. Τύποι τιμέντων (σύσταση, ιδιότητες):

Χρησιμοποιήθηκαν τιμέντα τύπων **CEM I 42.5**, **CEM II 42.5**, **CEM II 32.5**, **CEM IV 32.5**, και **CEM I 52.5**, των οποίων οι χημικές αναλύσεις μέσω Φασματοσκοπίας με Φθορισμό των Ακτίνων Χ ("X-Ray Fluorescence" - XRF) παρουσιάζονται ακολούθως στους κάτωθι **Πίνακα V.1.** και **Πίνακα V.2.**:

b.1.α.1. Αποτελέσματα χημικής ανάλυσης τιμέντων με XRF

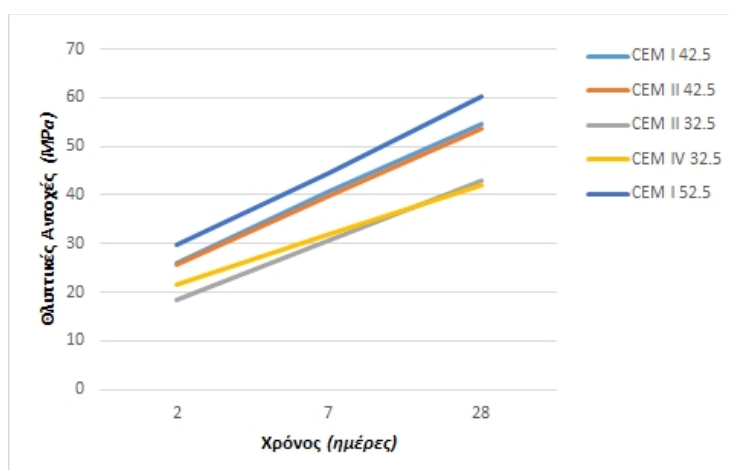
Πίνακας V.1. Χημικές συστάσεις επιλεγθέντων τύπων τιμέντων προς παρασκευή δοκιμίων σκυροδεμάτων Δ.Δ.									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Σύνολο:
CEM I 42.5	19,96	4,71	3,68	64,72	3,65	2,62	0,55	0,20	100,09
CEM II 42.5	24,16	5,27	3,40	59,06	3,21	2,76	0,84	0,40	99,1
CEM II 32.5	25,90	6,27	3,57	53,98	2,89	2,98	0,96	0,45	97
CEM IV 32.5	27,78	8,52	2,79	51,47	1,64	2,50	1,22	0,40	96,32
CEM I 52.5	20,08	4,72	3,77	64,85	3,52	2,93	0,54	0,19	100,6

Πίνακας V.2. Επιπλέον χαρακτηριστικά επιλεγθέντων τύπων τιμέντων προς παρασκευή δοκιμίων σκυροδεμάτων Δ.Δ.											
	Na ₂ O eq	Αδιάλυτο Υπόλειμμα (IR)	FCaO	45	LOI	%Clk	%Gyp	%Poz	%Ash	%Lime	Cr ⁶
CEM I 42.5	0,56	0,21	0,96	6,63	2,91	92,53	3,81	0,00	0,00	3,67	0,46
CEM II 42.5	0,95	7,20	0,94	3,88	3,55	82,08	4,57	9,00	0,00	4,36	0,17
CEM II 32.5	1,08	11,48	0,87	7,66	6,13	66,33	5,25	10,59	7,99	9,85	0,10
CEM IV 32.5	1,06	15,14	1,49	7,28	4,92	65,15	5,6	12,15	7,15	9,95	0,07
CEM I 52.5	0,55	0,20	1,03	2,68	2,49	93,10	4,39	0,00	0,00	2,51	0,05

b.1.a.2. Αποτελέσματα μετρήσεων μηχανικών αντοχών τσιμέντων σε θλίψη

Όσον αφορά τις ιδιότητες των επιλεχθέντων τύπων τσιμέντων, ακολούθως παρουσιάζονται στον ακόλουθο **Πίνακα V.3.** και **Σχήμα V.1.** οι αντοχές αυτών σε θλίψη (σε ηλικίες 2, 7 και 28 ημερών), όπως αυτές μετρήθηκαν σύμφωνα με το Πρότυπο **ΕΛΟΤ EN 196-1** (σε πρισματικά δοκίμια 40x40x160mm).

Πίνακας V.3. Θλιπτικές αντοχές τύπων τσιμέντων προς παρασκευή δοκιμίων σκυροδεμάτων Δ.Δ.			
	2 ημέρες	7 ημέρες	28 ημέρες
CEM I 42.5	26,1	40,7	54,6
CEM II 42.5	25,7	39,9	53,5
CEM II 32.5	18,3	30,7	42,9
CEM IV 32.5	21,6	32,0	42,1
CEM I 52.5	29,8	44,5	60,2



Σχήμα V.1. Θλιπτικές αντοχές τύπων τσιμέντων προς παρασκευή δοκιμίων σκυροδέματος Δ.Δ.

b.1.a.3. Αποτελέσματα μετρήσεων σε νερό και χρόνο πήξης τσιμέντων

Ακολούθως δίνονται στον **Πίνακα V.4.** οι μετρήσεις απαίτησης σε νερό και χρόνου πήξης για τα επιλεχθέντα τσιμέντα, βάσει Προτύπου **ΕΛΟΤ EN 196-3**:

Πίνακας V.4. Μετρήσεις απαίτησης σε νερό και χρόνου πήξης τύπων τσιμέντων προς παρασκευή δοκιμίων σκυροδεμάτων Δ.Δ.			
	Αρχή πήξης (min)	Τέλος πήξης (min)	Απαίτηση σε νερό (%)
CEM I 42.5	161	213	25,9
CEM II 42.5	162	219	28,0
CEM II 32.5	186	250	28,7
CEM IV 32.5	217	265	30,0
CEM I 52.5	155	208	27,4

Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ότι τα πέντε αυτά τσιμέντα έχουν την ίδια απαίτηση σε νερό αλλά διαφορετικούς χρόνους πήξης γεγονός το οποίο μπορεί να αποδοθεί στον διαφορετικό χρόνο άλεσης των πέντε τσιμέντων που έχει ως αποτέλεσμα την διαφορετική κοκκομετρική κατανομή και τελικά την διαφορετικό χρόνο πήξης.

b.1.a.4. Αποτελέσματα μετρήσεων ειδικής επιφάνειας τσιμέντων

Εν συνεχεία, δίνονται στον κάτωθι **Πίνακα V.5.** οι μετρήσεις ειδικής επιφάνειας των τσιμέντων μετρούμενες με την μέθοδο Blaine, σύμφωνα με το Πρότυπο **ΕΛΟΤ EN 196-6:**

Πίνακας V.5. Ειδική επιφάνεια κατά Blaine (cm²/gr) τύπων τσιμέντων προς παρασκευή δοκιμών σκυροδεμάτων Δ.Δ.	
CEM I 42.5	3836
CEM II 42.5	4364
CEM II 32.5	4316
CEM IV 32.5	4683
CEM I 52.5	4015

b.1.a.5. Αποτελέσματα μετρήσεων διαστολής τσιμέντων τσιμέντων

Ακολούθως δίνονται στον **Πίνακα V.6.** τα αποτελέσματα των μετρήσεων διαστολής με την μέθοδο Le Chatelier (σταθερότητα όγκου), όπως αυτή περιγράφεται στο Πρότυπο **ΕΛΟΤ EN 196-3.**

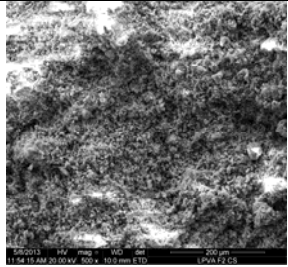
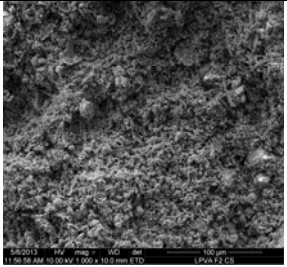
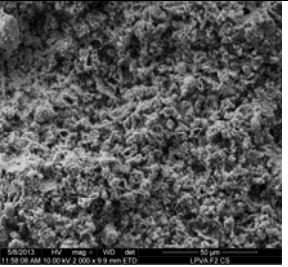
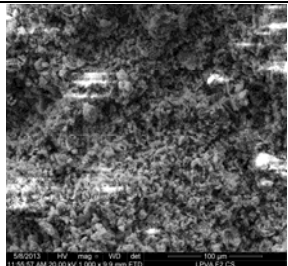
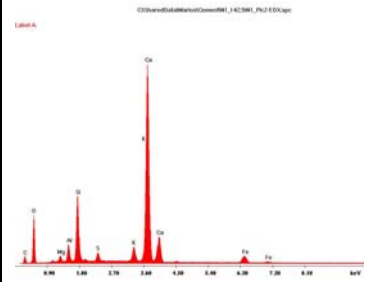
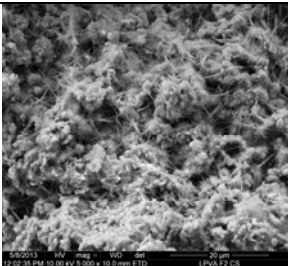
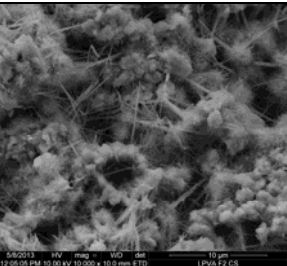
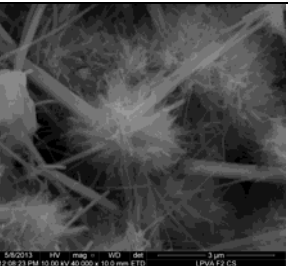
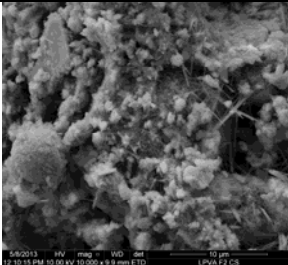
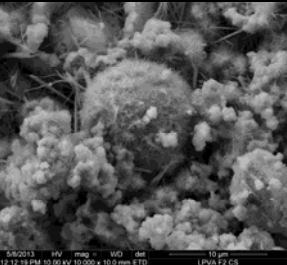
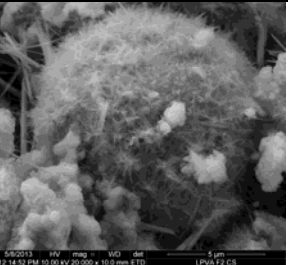
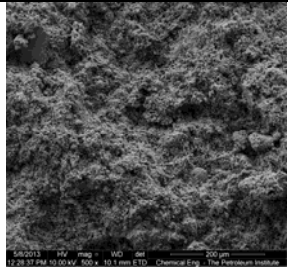
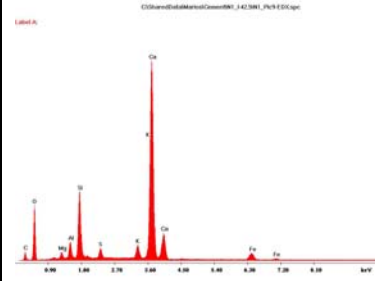
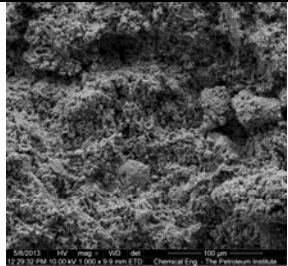
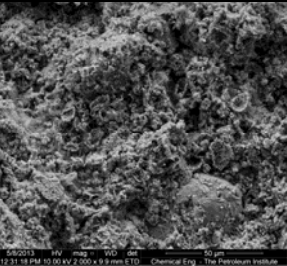
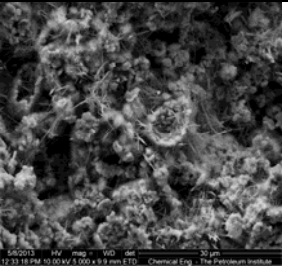
Πίνακας V.6. Διαστολή (mm) τύπων τσιμέντων προς παρασκευή δοκιμών σκυροδεμάτων Δ.Δ.	
CEM I 42.5	0,5
CEM II 42.5	0,5
CEM II 32.5	0,5
CEM IV 32.5	0,5
CEM I 52.5	0.5

Η διαστολή των τσιμέντων που επιλέχθηκαν στον πειραματικό σχεδιασμό της Διατριβής είναι εξαιρετικά κρίσιμη παράμετρος καθότι επηρεάζει τόσο την επιφανειακή εικόνα προς απόληψη μέσω του Μικροσκοπίου Οπτικών Ινών όσο και προκαλεί σημαντική φθορά στο σκυρόδεμα (π.χ. ασυνέχειες, ρωγμές κλπ). Οι παραπάνω πειραματικά μετρούμενες τιμές βρίσκονται καθαρά εντός των προδιαγραφών του Προτύπου **ΕΛΟΤ EN 197-1** (όπου προβλέπεται μέγιστη οριακή τιμή διαστολής: 10mm).

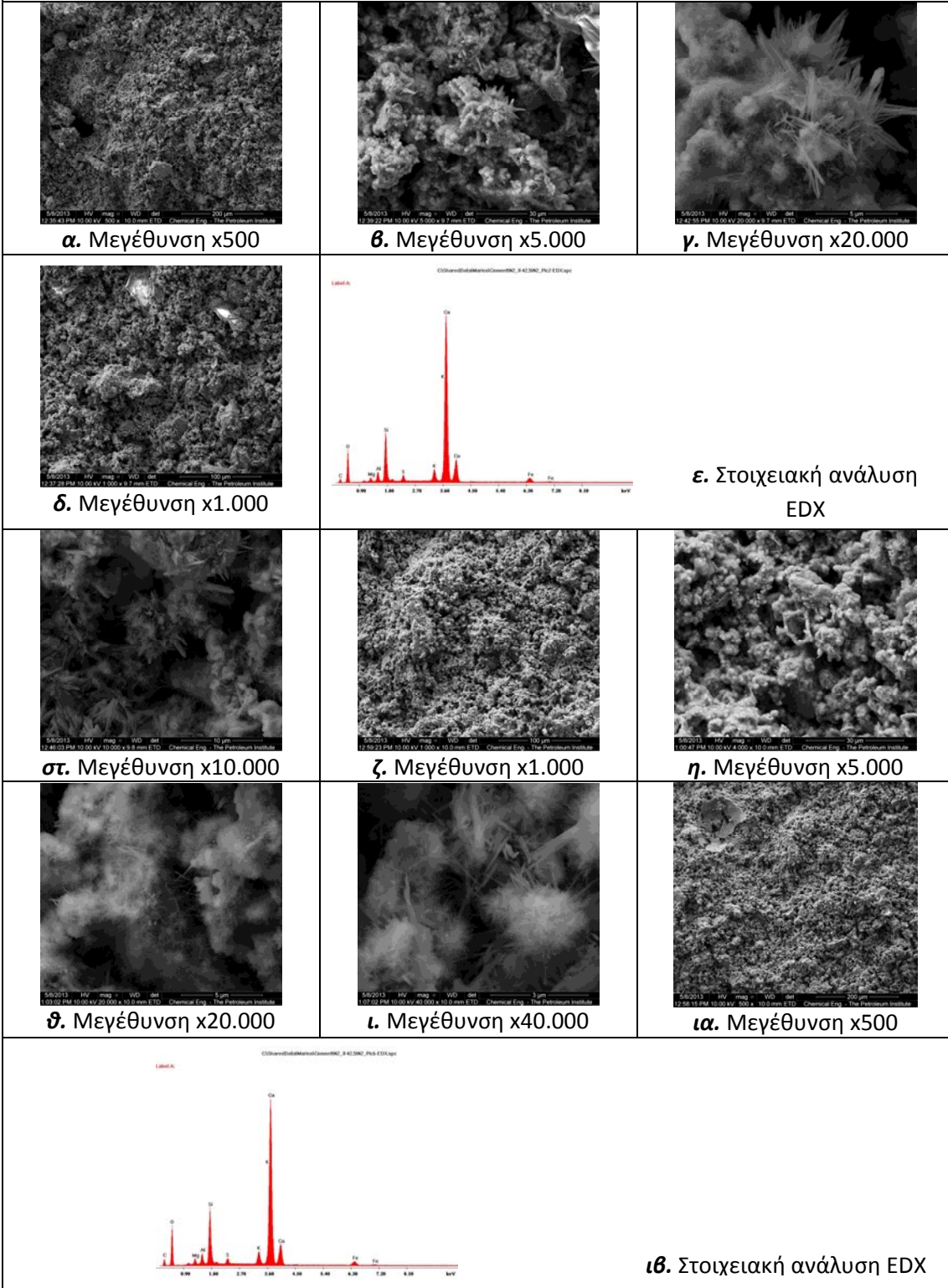
b.1.a.6. Αποτελέσματα μετρήσεων Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης

Ακολούθως εφαρμόστηκε η τεχνική της Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης με φασματομέτρο ενεργειακής διασποράς Ακτίνων-Χ (Scanning Electron Microscope with Energy Dispersive X-Ray Spectrometer -SEM-EDAX), και παρουσιάζονται αναλυτικά (βλέπε **Σχήματα V.2. – V.16.**) τα πειραματικά αποτελέσματα αυτής.

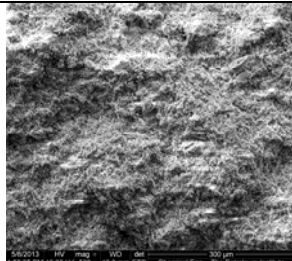
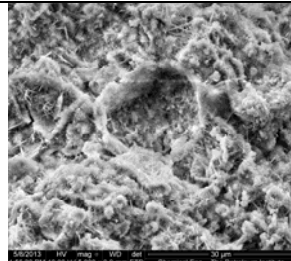
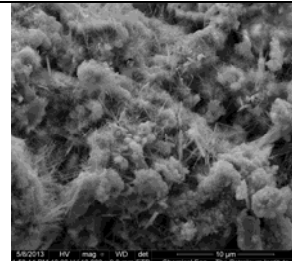
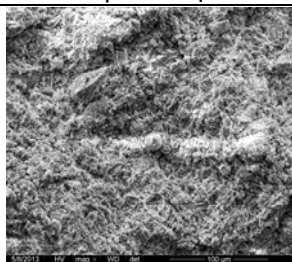
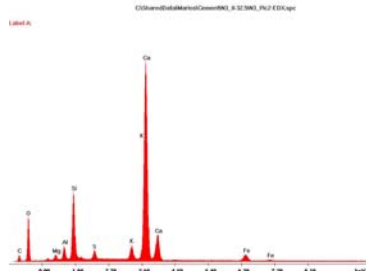
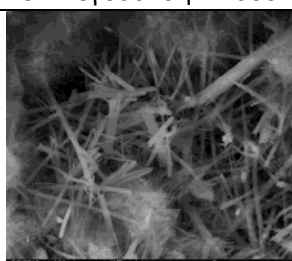
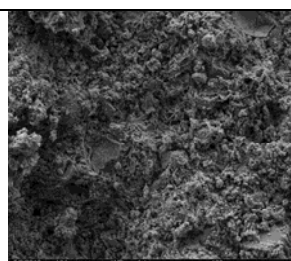
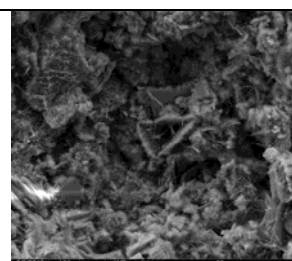
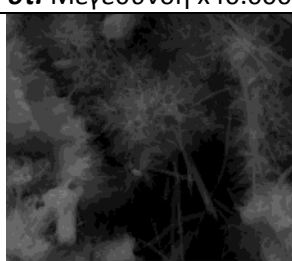
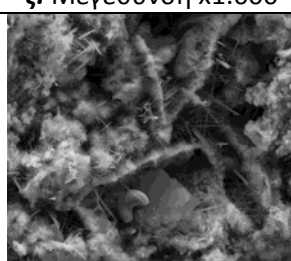
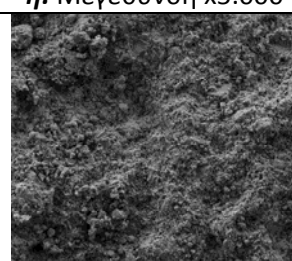
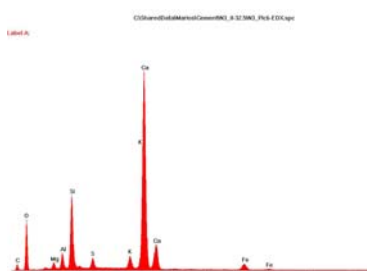
Σχήμα V.2. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM I 42.5 (2 ημέρες)

 <p>α. Μεγέθυνση x500</p>	 <p>β. Μεγέθυνση x1.000</p>	 <p>γ. Μεγέθυνση x2.000</p>
 <p>δ. Μεγέθυνση x1.000</p>	 <p>ε. Στοιχειακή ανάλυση EDX</p>	
 <p>στ. Μεγέθυνση x5.000</p>	 <p>ζ. Μεγέθυνση x1.0000</p>	 <p>η. Μεγέθυνση x40.000</p>
 <p>θ. Μεγέθυνση x10.000</p>	 <p>ι. Μεγέθυνση x10.000</p>	 <p>ια. Μεγέθυνση x20.000</p>
 <p>ιβ. Μεγέθυνση x500</p>	 <p>ιγ. Στοιχειακή ανάλυση EDX</p>	
 <p>ιδ. Μεγέθυνση x1.000</p>	 <p>ιε. Μεγέθυνση x2.000</p>	 <p>ιστ. Μεγέθυνση x5.000</p>

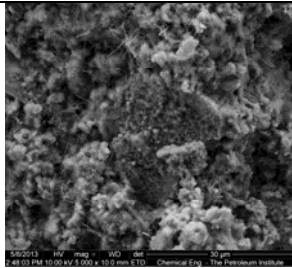
Σχήμα V.3. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM II 42.5 (2 ημέρες)



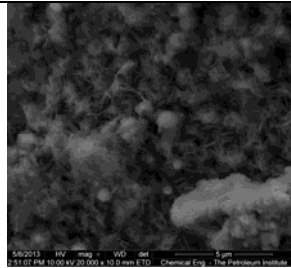
Σχήμα V.4. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM II 32.5 (2 ημέρες)

 <p>α. Μεγέθυνση x500</p>	 <p>β. Μεγέθυνση x5.000</p>	 <p>γ. Μεγέθυνση x10.000</p>
 <p>δ. Μεγέθυνση x1.000</p>	 <p>ε. Στοιχειακή ανάλυση EDX</p>	
 <p>στ. Μεγέθυνση x40.000</p>	 <p>ζ. Μεγέθυνση x1.000</p>	 <p>η. Μεγέθυνση x5.000</p>
 <p>θ. Μεγέθυνση x40.000</p>	 <p>ι. Μεγέθυνση x10.000</p>	 <p>ια. Μεγέθυνση x500</p>
		<p>ιβ. Στοιχειακή ανάλυση EDX</p>

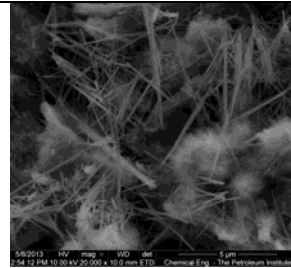
Σχήμα V.5. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM IV 32.5 (2 ημέρες)



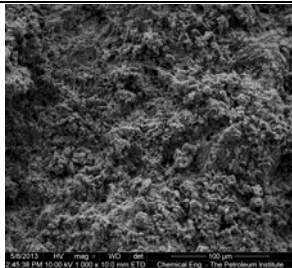
α. Μεγέθυνση x500



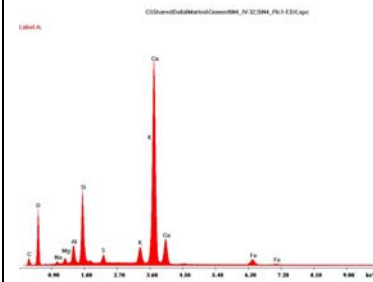
β. Μεγέθυνση x20.000



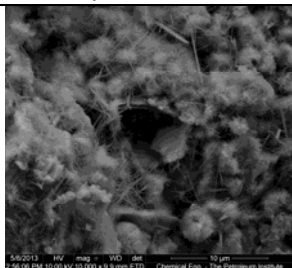
γ. Μεγέθυνση x20.000



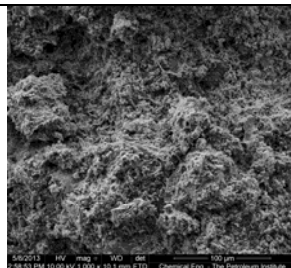
δ. Μεγέθυνση x1.000



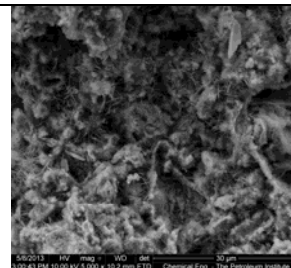
ε. Στοιχειακή ανάλυση EDX



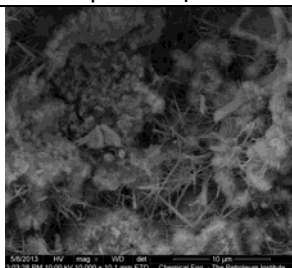
στ. Μεγέθυνση x10.000



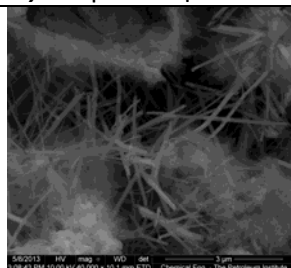
ζ. Μεγέθυνση x1.000



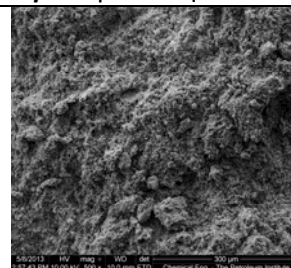
η. Μεγέθυνση x5.000



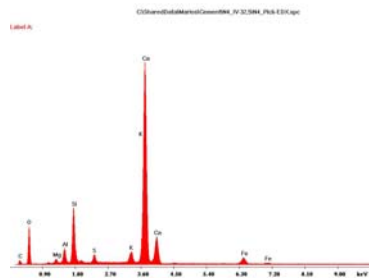
θ. Μεγέθυνση x10.000



ι. Μεγέθυνση x40.000

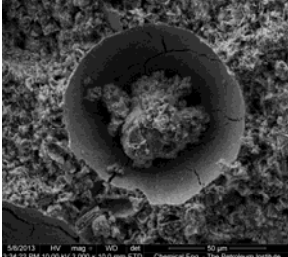
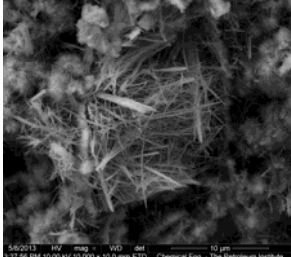
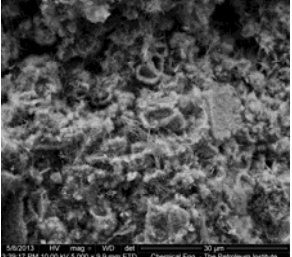
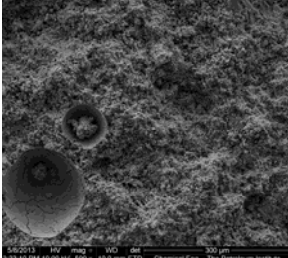
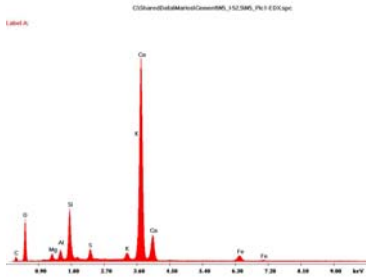
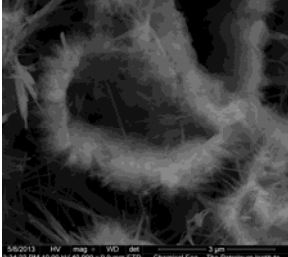
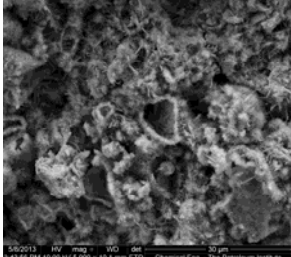
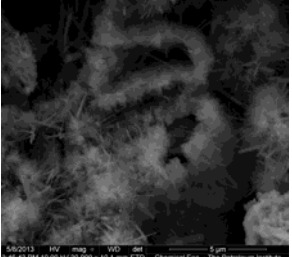
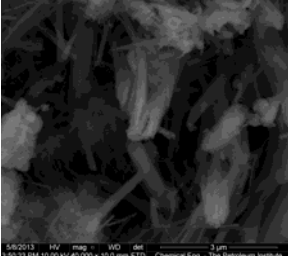
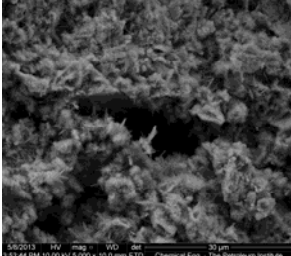
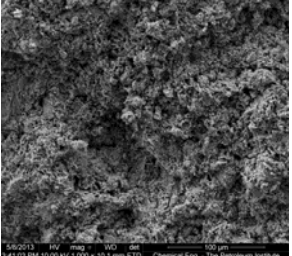
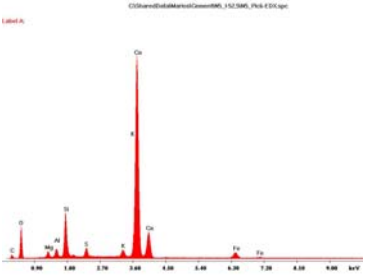


ια. Μεγέθυνση x500

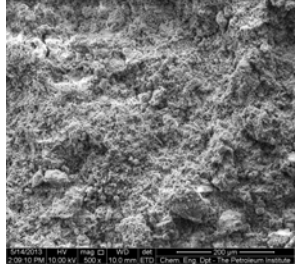
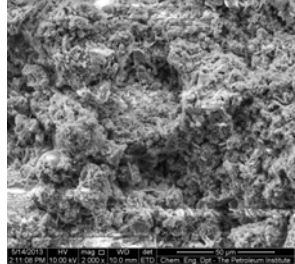
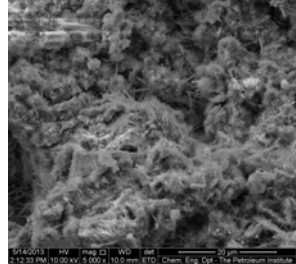
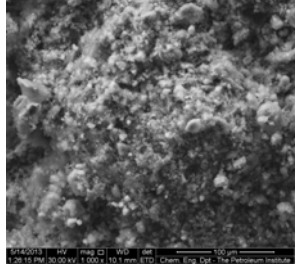
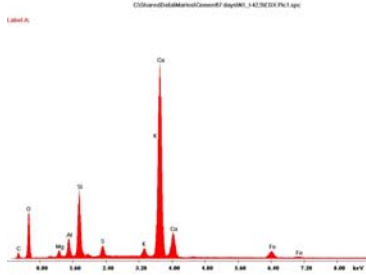
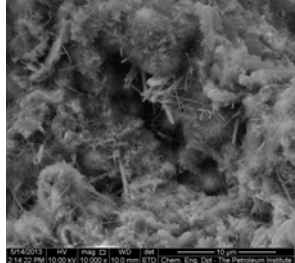
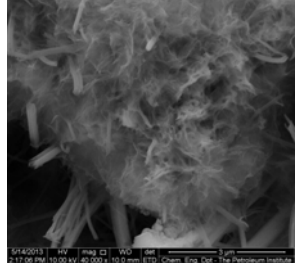
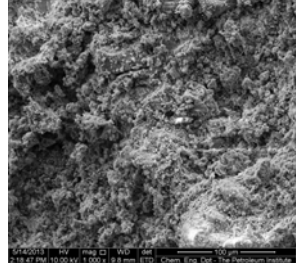
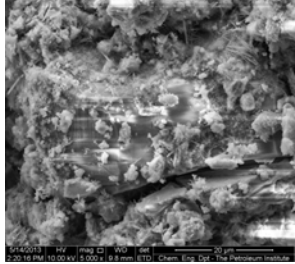
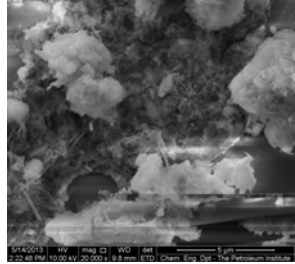
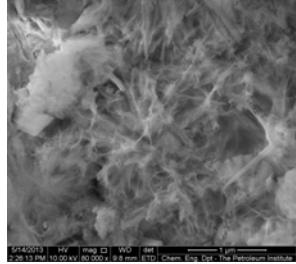


ιβ. Στοιχειακή ανάλυση EDX

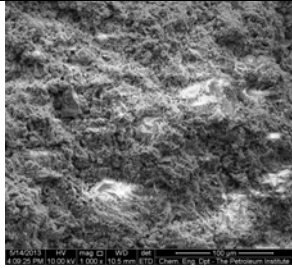
Σχήμα V.6. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM I 52.5 (2 ημέρες)

 <p>α. Μεγέθυνση x2.000</p>	 <p>β. Μεγέθυνση x10.000</p>	 <p>γ. Μεγέθυνση x5.000</p>
 <p>δ. Μεγέθυνση x5000</p>	 <p>ε. Στοιχειακή ανάλυση EDX</p>	
 <p>στ. Μεγέθυνση x40.000</p>	 <p>ζ. Μεγέθυνση x5.000</p>	 <p>η. Μεγέθυνση x20.000</p>
 <p>θ. Μεγέθυνση x40.000</p>	 <p>ι. Μεγέθυνση x5.000</p>	 <p>ια. Μεγέθυνση x1.000</p>
		<p>ιβ. Στοιχειακή ανάλυση EDX</p>

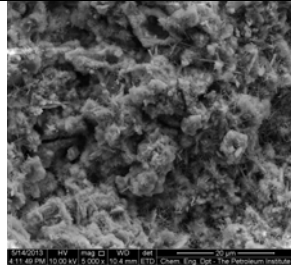
Σχήμα V.7. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM I 42.5 (7 ημέρες)

 <p>α. Μεγέθυνση x500</p>	 <p>β. Μεγέθυνση x2.000</p>	 <p>γ. Μεγέθυνση x5.000</p>
 <p>δ. Μεγέθυνση x1.000</p>	 <p>ε. Στοιχειακή ανάλυση EDX</p>	
 <p>στ. Μεγέθυνση x10.000</p>	 <p>ζ. Μεγέθυνση x40.000</p>	 <p>η. Μεγέθυνση x1.000</p>
 <p>θ. Μεγέθυνση x5.000</p>	 <p>ι. Μεγέθυνση x20.000</p>	 <p>ια. Μεγέθυνση x80.000</p>

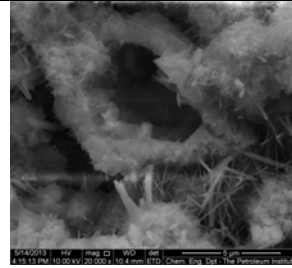
Σχήμα V.8. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM II 42.5 (7 ημέρες)



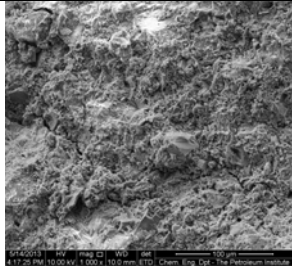
α. Μεγέθυνση x1.000



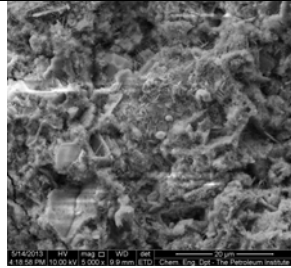
β. Μεγέθυνση x5.000



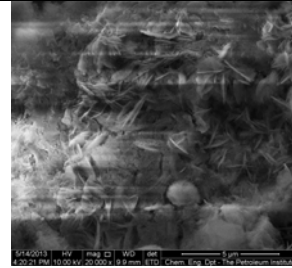
γ. Μεγέθυνση x20.000



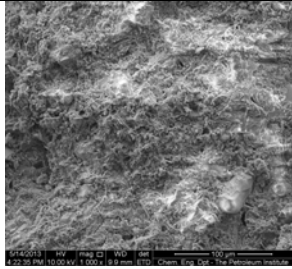
δ. Μεγέθυνση x1.000



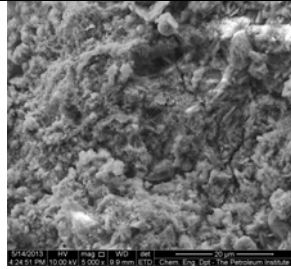
ε. Μεγέθυνση x5.000



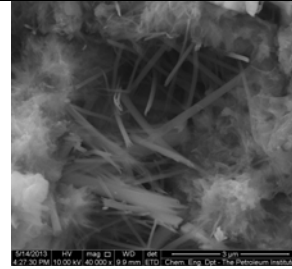
στ. Μεγέθυνση x20.000



ζ. Μεγέθυνση x1.000

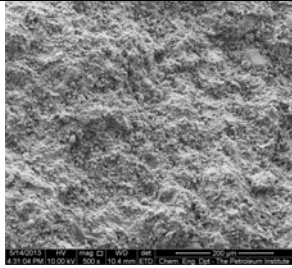


η. Μεγέθυνση x5.000

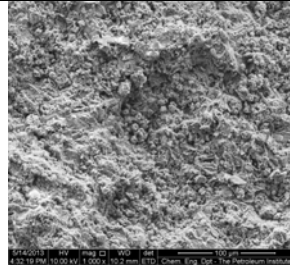


θ. Μεγέθυνση x40.000

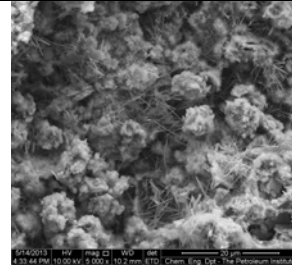
Σχήμα V.9. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM II 32.5 (7 ημέρες)



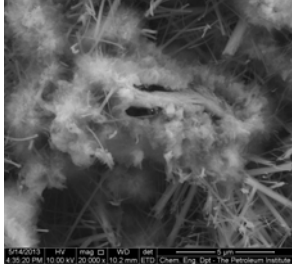
α. Μεγέθυνση x500



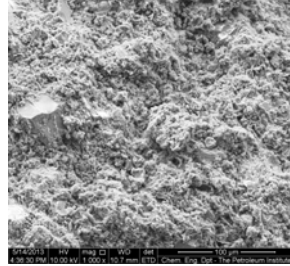
β. Μεγέθυνση x1.000



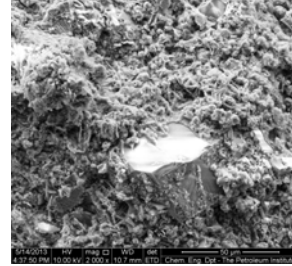
γ. Μεγέθυνση x5.000



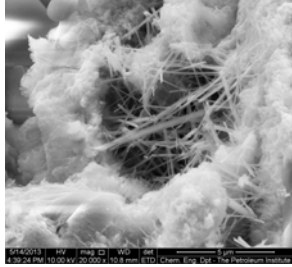
δ. Μεγέθυνση x20.000



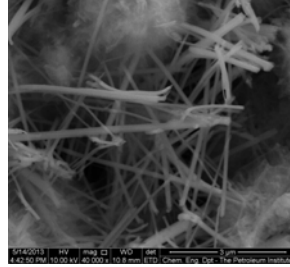
ε. Μεγέθυνση x1.000



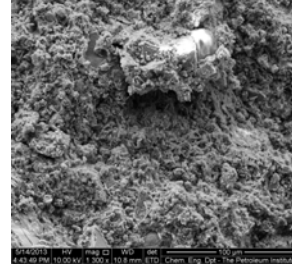
στ. Μεγέθυνση x2.000



ζ. Μεγέθυνση x20.000

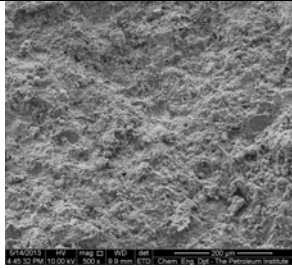


η. Μεγέθυνση x40.000

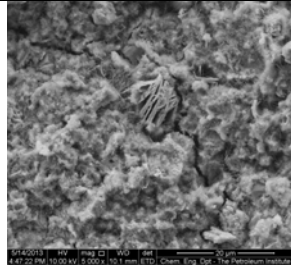


θ. Μεγέθυνση x3.000

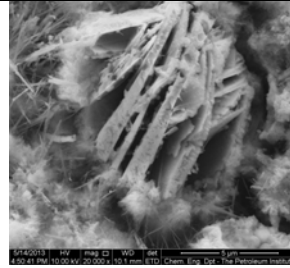
Σχήμα V.10. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM IV 32.5 (7 ημέρες)



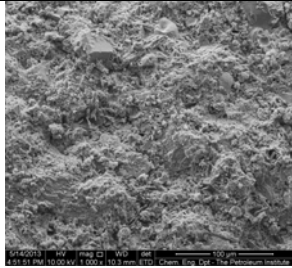
α. Μεγέθυνση x500



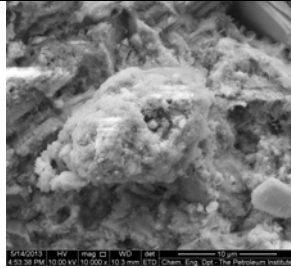
β. Μεγέθυνση x5.000



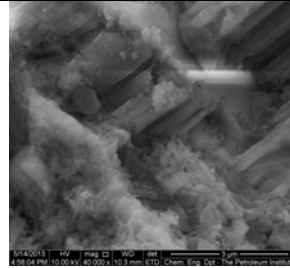
γ. Μεγέθυνση x20.000



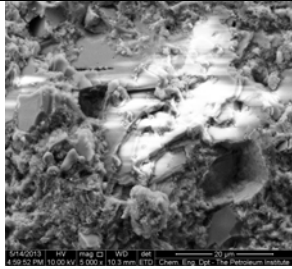
δ. Μεγέθυνση x1.000



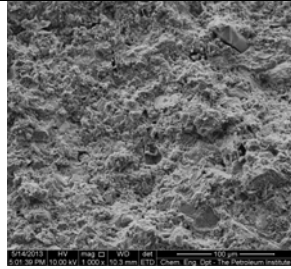
ε. Μεγέθυνση x10.000



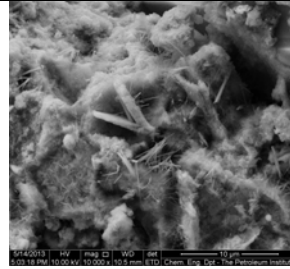
στ. Μεγέθυνση x40.000



ζ. Μεγέθυνση x5.000

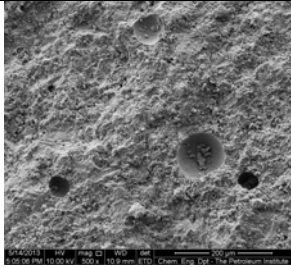


η. Μεγέθυνση x1.000

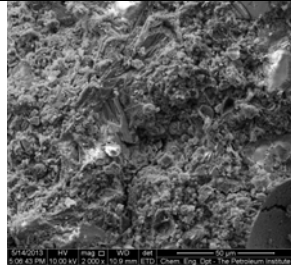


θ. Μεγέθυνση x10.000

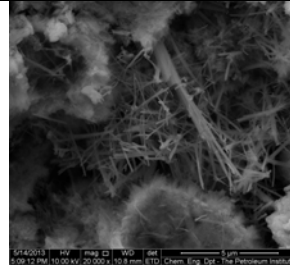
Σχήμα V.11. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM I 52.5 (7 ημέρες)



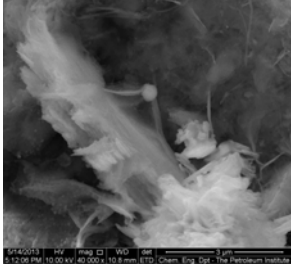
α. Μεγέθυνση x500



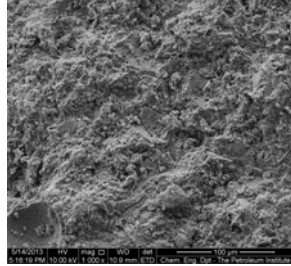
β. Μεγέθυνση x2.000



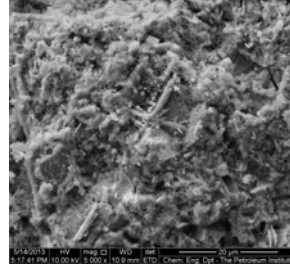
γ. Μεγέθυνση x20.000



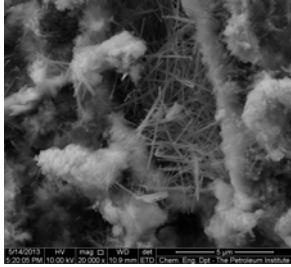
δ. Μεγέθυνση x20.000



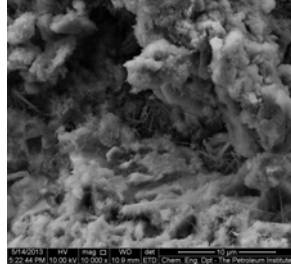
ε. Μεγέθυνση x40.000



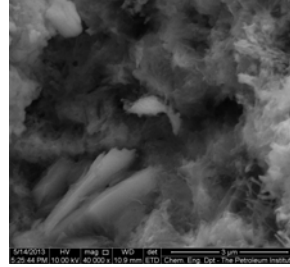
στ. Μεγέθυνση x1.000



ζ. Μεγέθυνση x5.000

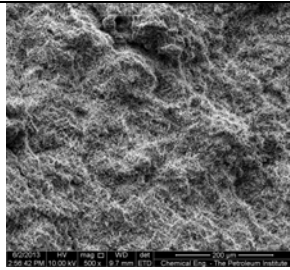
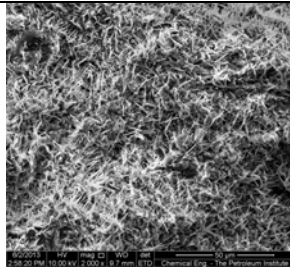
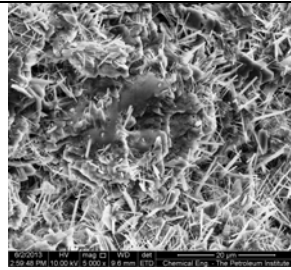
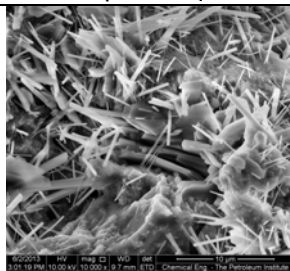
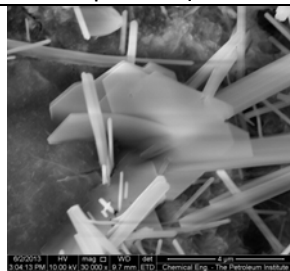
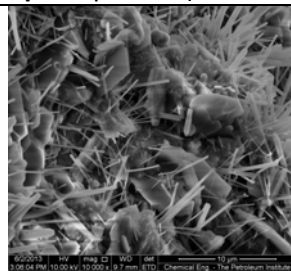
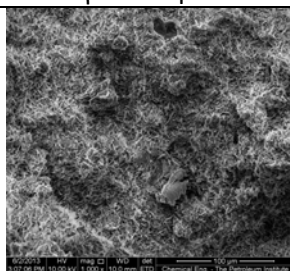
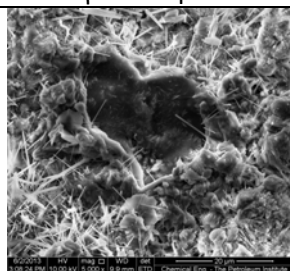
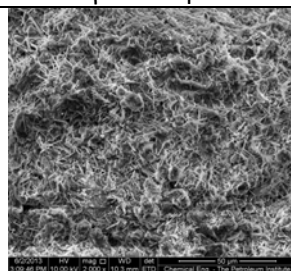
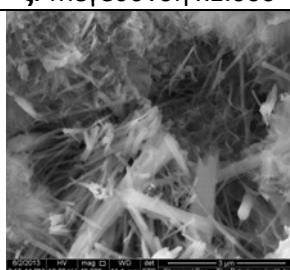
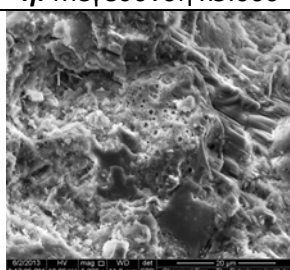
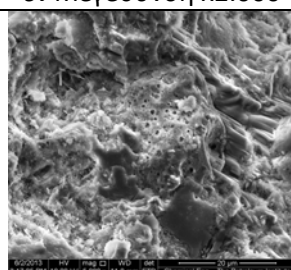
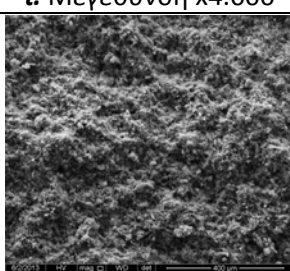
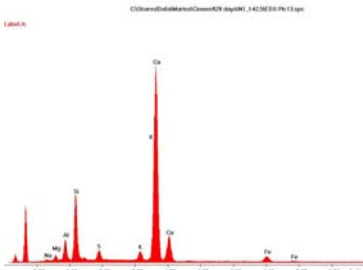


η. Μεγέθυνση x20.000

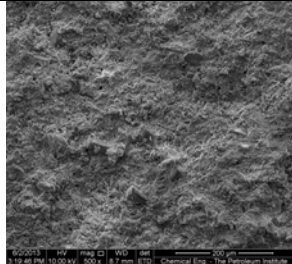
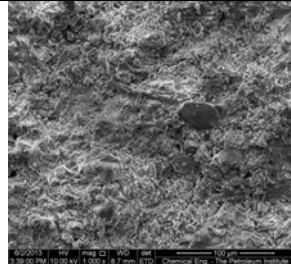
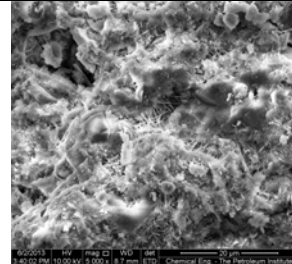
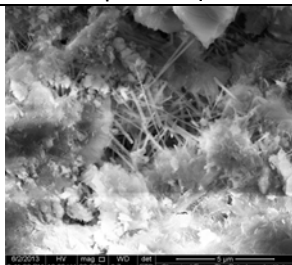
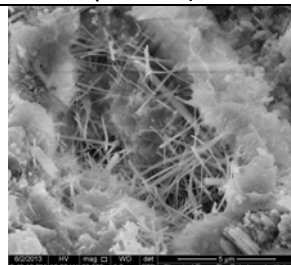
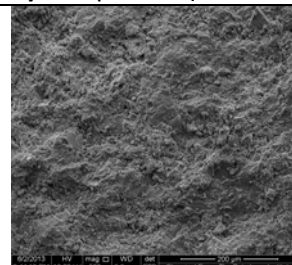
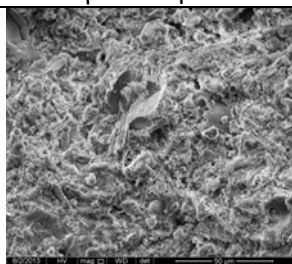
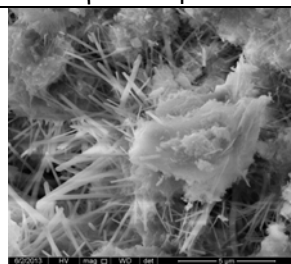
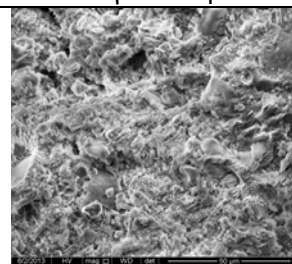
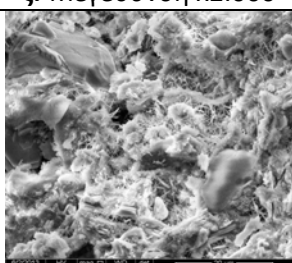
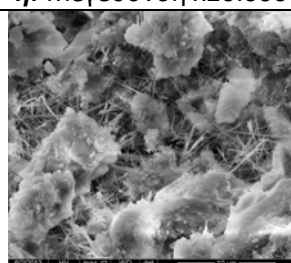
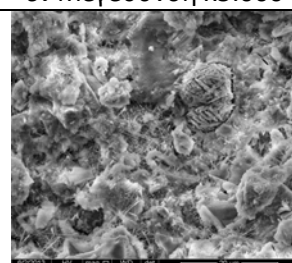
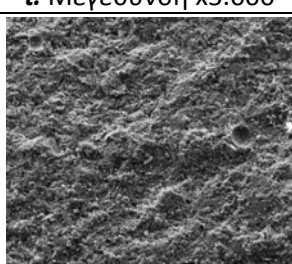
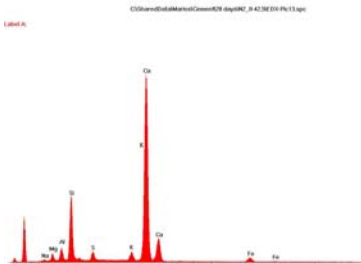


θ. Μεγέθυνση x40.000

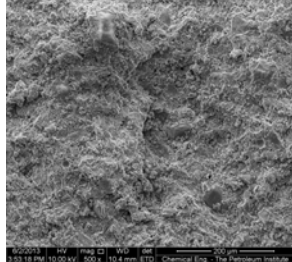
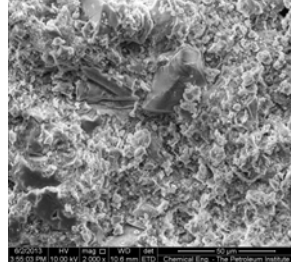
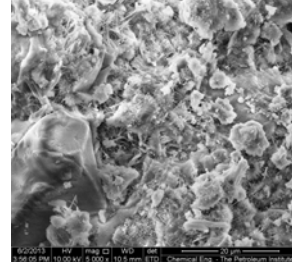
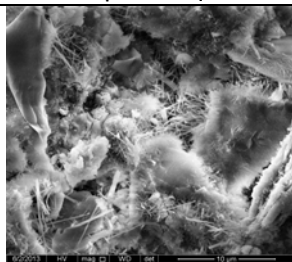
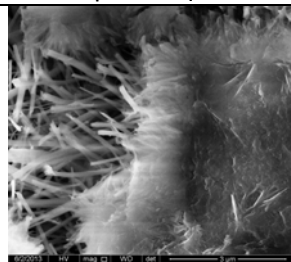
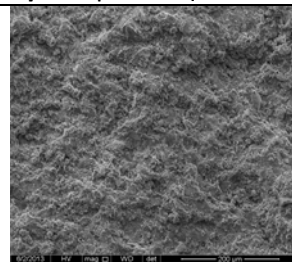
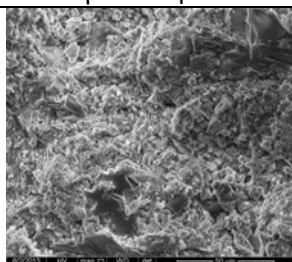
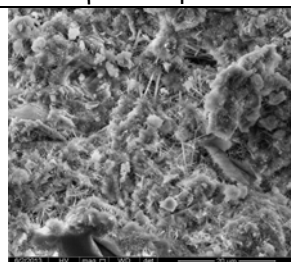
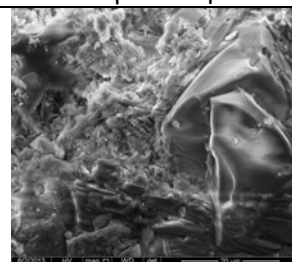
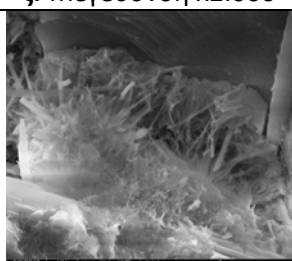
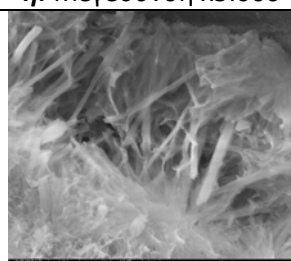
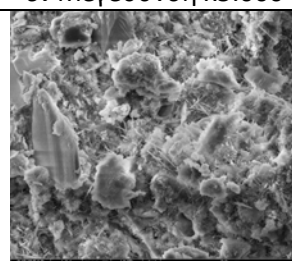
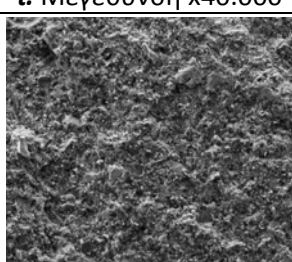
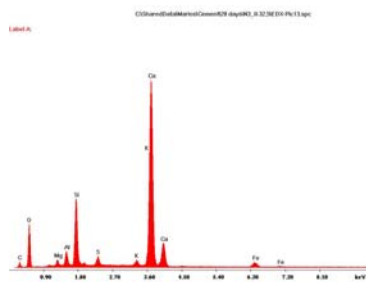
Σχήμα V.12. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM I 42.5 (28 ημέρες)

 <p>α. Μεγέθυνση x500</p>	 <p>β. Μεγέθυνση x2.000</p>	 <p>γ. Μεγέθυνση x5.000</p>
 <p>δ. Μεγέθυνση x10.000</p>	 <p>ε. Μεγέθυνση x30.000</p>	 <p>στ. Μεγέθυνση x10.000</p>
 <p>ζ. Μεγέθυνση x1.000</p>	 <p>η. Μεγέθυνση x5.000</p>	 <p>θ. Μεγέθυνση x2.000</p>
 <p>ι. Μεγέθυνση x4.000</p>	 <p>ια. Μεγέθυνση x40.000</p>	 <p>ιβ. Μεγέθυνση x5.000</p>
 <p>ιγ. Μεγέθυνση x300</p>	 <p>ιδ. Στοιχειακή ανάλυση EDX</p>	

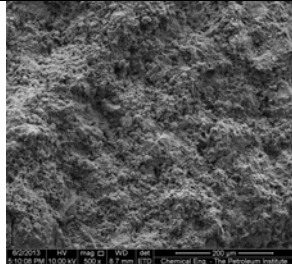
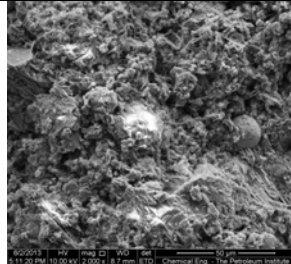
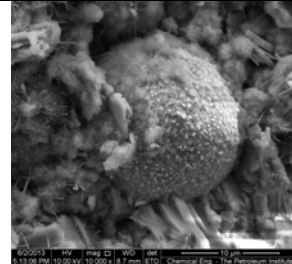
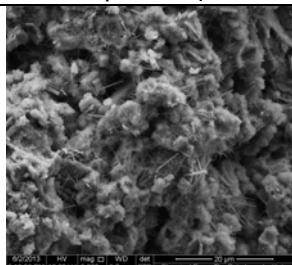
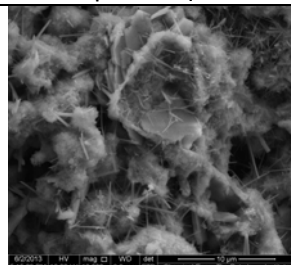
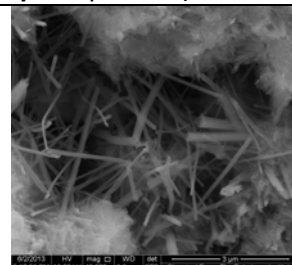
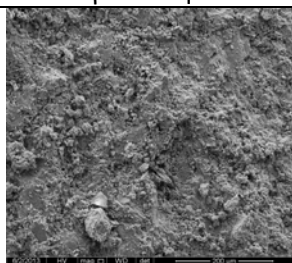
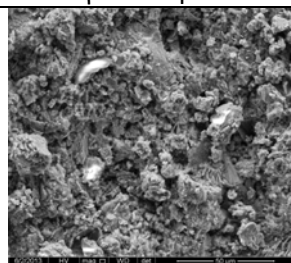
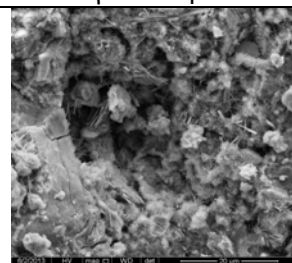
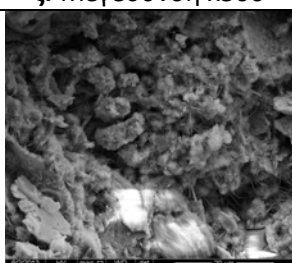
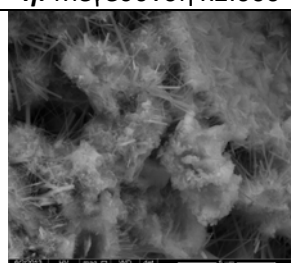
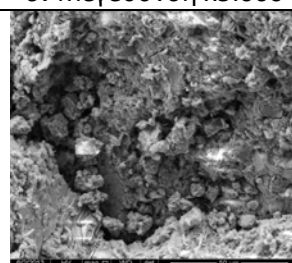
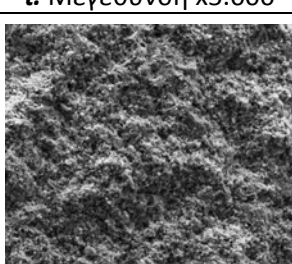
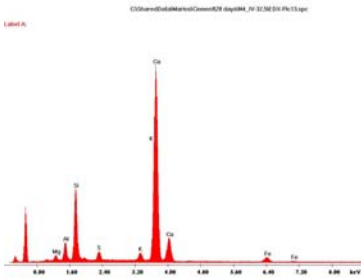
Σχήμα V.13. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM II 42.5 (28 ημέρες)

 <p>α. Μεγέθυνση x500</p>	 <p>β. Μεγέθυνση x1.000</p>	 <p>γ. Μεγέθυνση x5.000</p>
 <p>δ. Μεγέθυνση x20.000</p>	 <p>ε. Μεγέθυνση x20.000</p>	 <p>στ. Μεγέθυνση x500</p>
 <p>ζ. Μεγέθυνση x2.000</p>	 <p>η. Μεγέθυνση x20.000</p>	 <p>θ. Μεγέθυνση x5.000</p>
 <p>ι. Μεγέθυνση x5.000</p>	 <p>ια. Μεγέθυνση x10.000</p>	 <p>ιβ. Μεγέθυνση x5.000</p>
 <p>ιγ. Μεγέθυνση x300</p>	 <p>ιδ. Στοιχειακή ανάλυση EDX</p>	

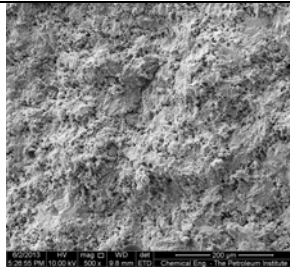
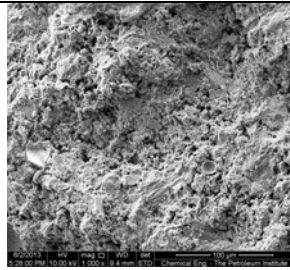
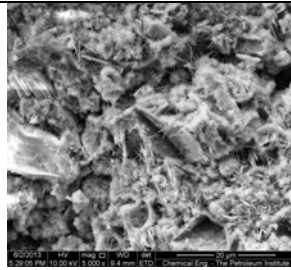
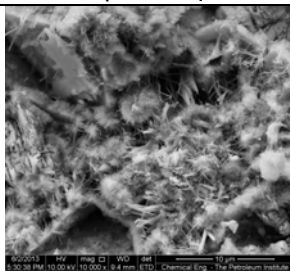
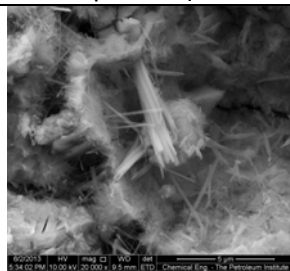
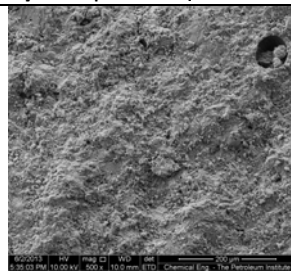
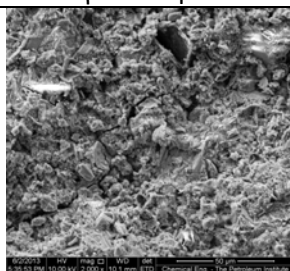
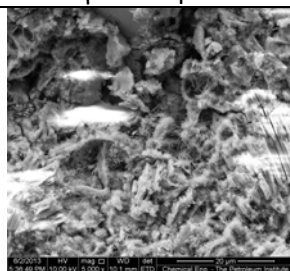
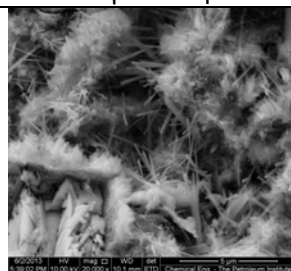
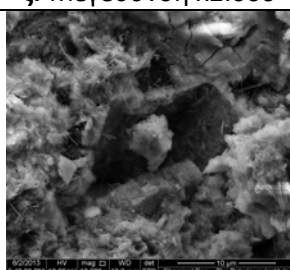
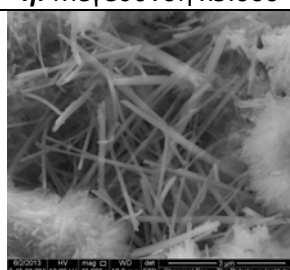
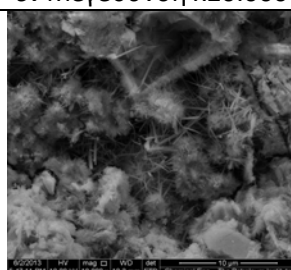
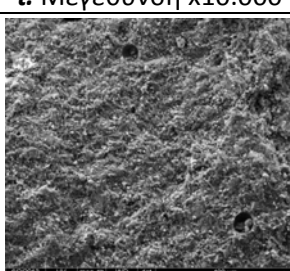
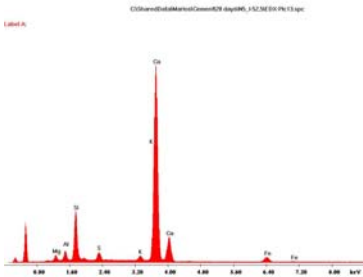
Σχήμα V.14. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM II 32.5 (28 ημέρες)

 <p>α. Μεγέθυνση x500</p>	 <p>β. Μεγέθυνση x2.000</p>	 <p>γ. Μεγέθυνση x5.000</p>
 <p>δ. Μεγέθυνση x10.000</p>	 <p>ε. Μεγέθυνση x40.000</p>	 <p>στ. Μεγέθυνση x500</p>
 <p>ζ. Μεγέθυνση x2.000</p>	 <p>η. Μεγέθυνση x5.000</p>	 <p>θ. Μεγέθυνση x5.000</p>
 <p>ι. Μεγέθυνση x40.000</p>	 <p>ια. Μεγέθυνση x80.000</p>	 <p>ιβ. Μεγέθυνση x5.000</p>
 <p>ιγ. Μεγέθυνση x300</p>	 <p>ιδ. Στοιχειακή ανάλυση EDX</p>	

Σχήμα V.15. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM IV 32.5 (28 ημέρες)

 <p>α. Μεγέθυνση x500</p>	 <p>β. Μεγέθυνση x2.000</p>	 <p>γ. Μεγέθυνση x10.000</p>
 <p>δ. Μεγέθυνση x5.000</p>	 <p>ε. Μεγέθυνση x10.000</p>	 <p>στ. Μεγέθυνση x40.000</p>
 <p>ζ. Μεγέθυνση x500</p>	 <p>η. Μεγέθυνση x2.000</p>	 <p>θ. Μεγέθυνση x5.000</p>
 <p>ι. Μεγέθυνση x5.000</p>	 <p>ια. Μεγέθυνση x20.000</p>	 <p>ιβ. Μεγέθυνση x4.000</p>
 <p>ιγ. Μεγέθυνση x300</p>	 <p>ιδ. Στοιχειακή ανάλυση EDX</p>	

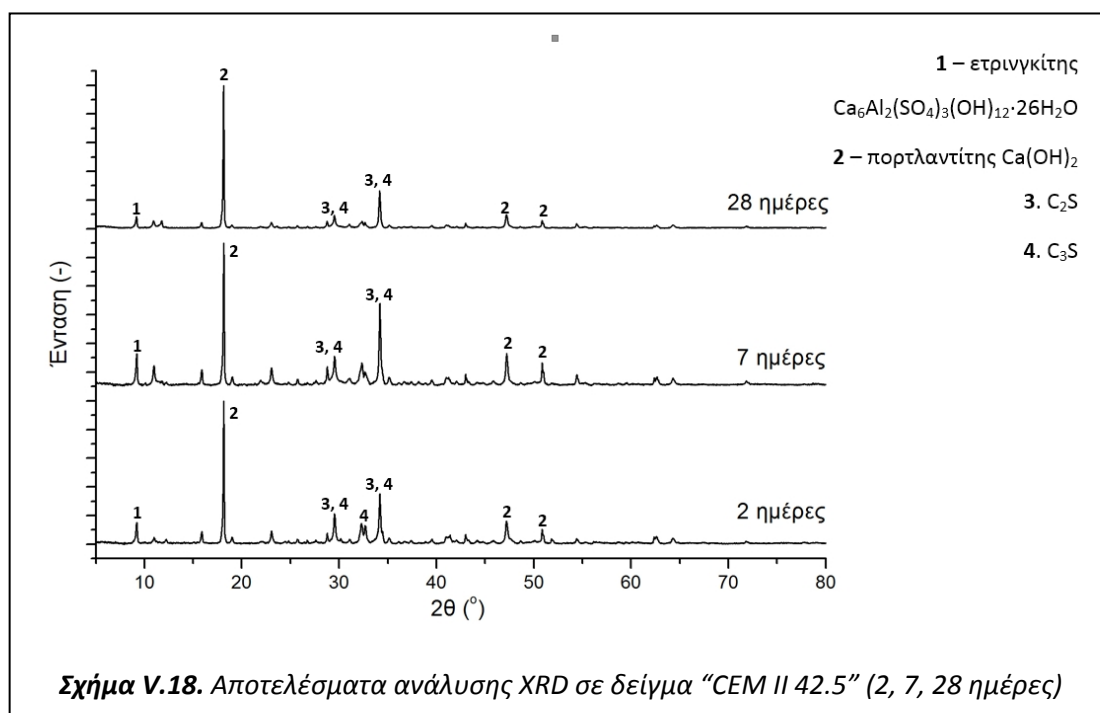
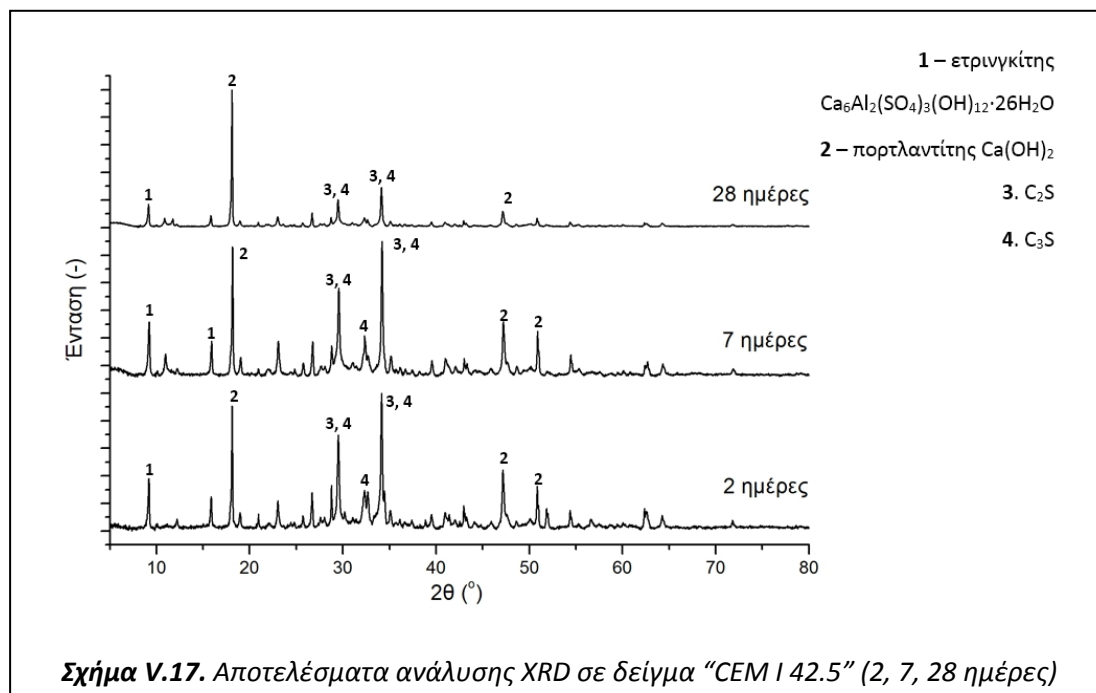
Σχήμα V.16. Αποτελέσματα ανάλυσης SEM σε δείγμα CEM I 52.5 (28 ημέρες)

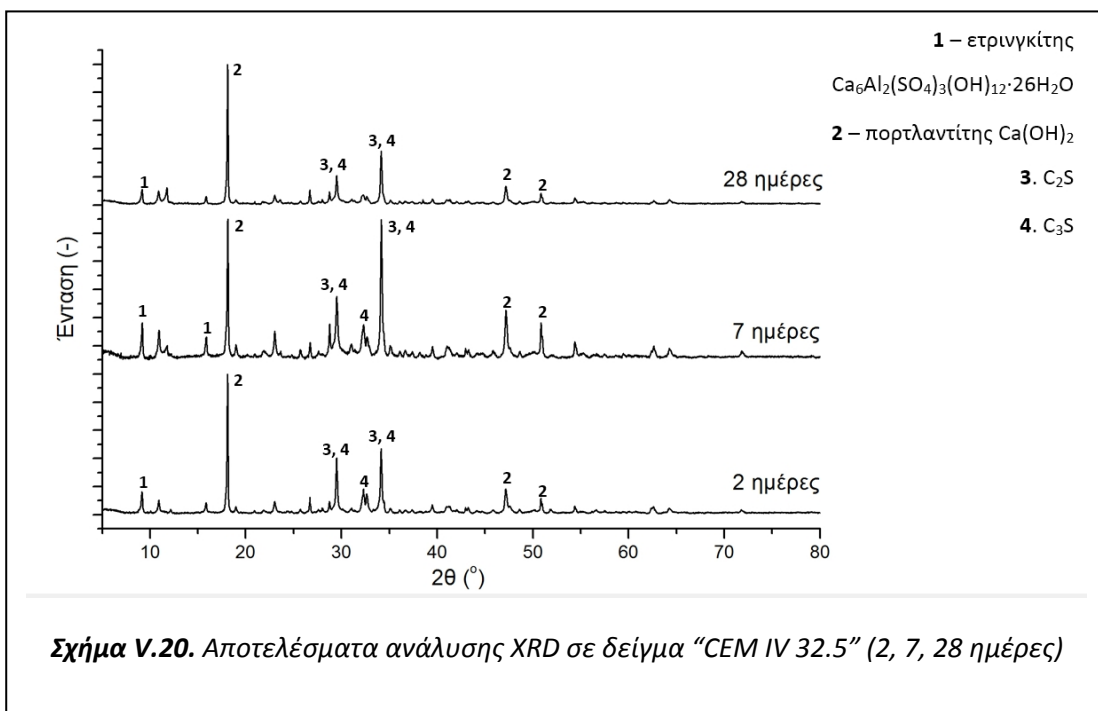
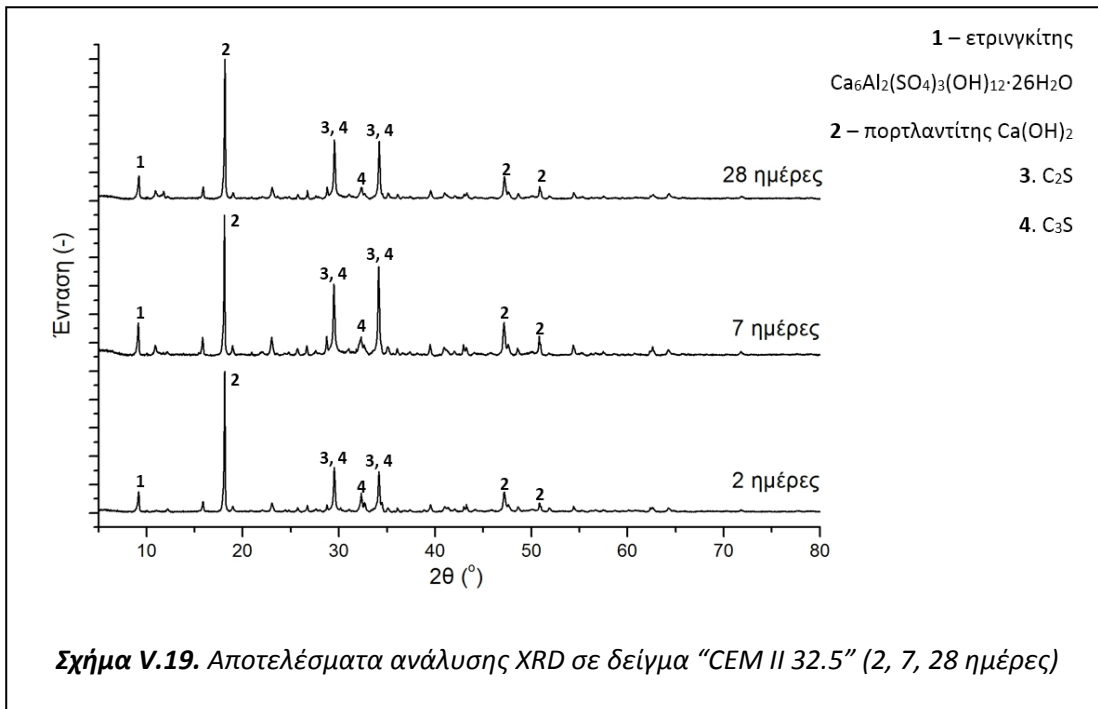
 <p>α. Μεγέθυνση x500</p>	 <p>β. Μεγέθυνση x1.000</p>	 <p>γ. Μεγέθυνση x5.000</p>
 <p>δ. Μεγέθυνση x10.000</p>	 <p>ε. Μεγέθυνση x20.000</p>	 <p>στ. Μεγέθυνση x500</p>
 <p>ζ. Μεγέθυνση x2.000</p>	 <p>η. Μεγέθυνση x5.000</p>	 <p>θ. Μεγέθυνση x20.000</p>
 <p>ι. Μεγέθυνση x10.000</p>	 <p>ια. Μεγέθυνση x40.000</p>	 <p>ιβ. Μεγέθυνση x10.000</p>
 <p>ιγ. Μεγέθυνση x300</p>	 <p>ιδ. Στοιχειακή ανάλυση EDX</p>	

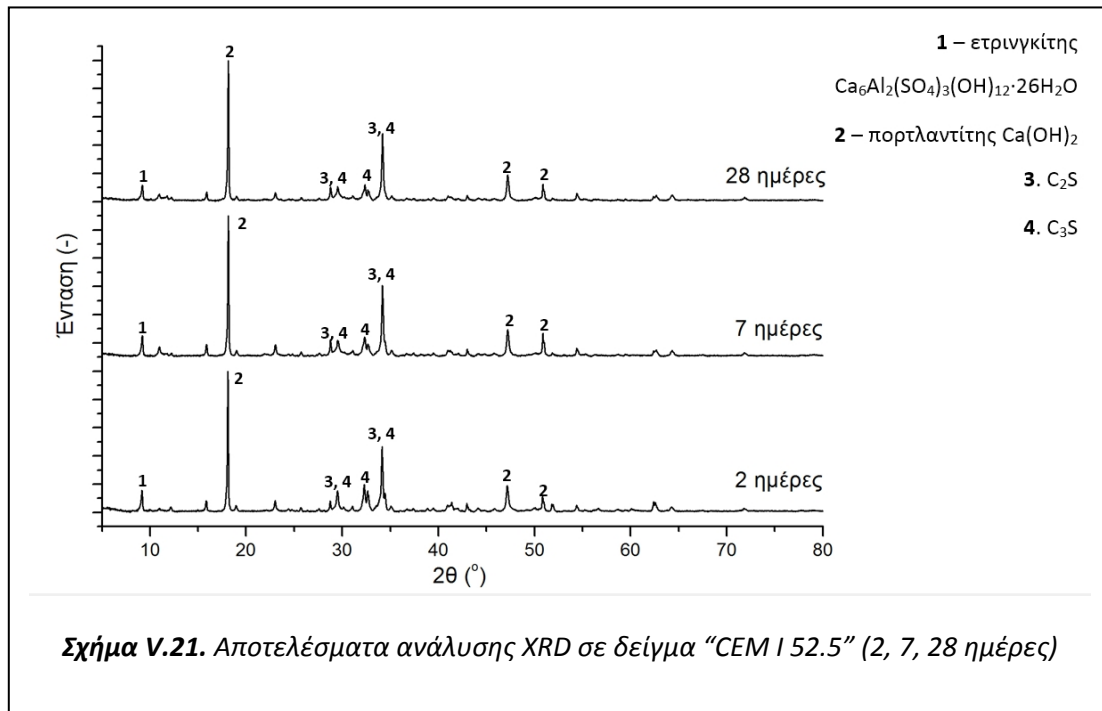
Εκ των παραπάνω ληφθέντων εικόνων Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης (*Scanning Electron Microscopy – SEM*) είναι εμφανής η πρόοδος της πορείας ενυδάτωσης (σε διάστημα 2, 7 και 28 ημερών) βάσει των προϊόντων αυτής. Παρατηρούνται οι κρύσταλλοι του πορτλαντίτη τόσο στο χρονικό διάστημα των 2 ημερών (π.χ. ενδεικτικά βλέπε **Σχήματα V.3.στ, V.4.στ, V.5.θ, V.6.στ**), στις 7 ημέρες (π.χ. ενδεικτικά βλέπε **Σχήματα V.7.ζ, V.8.θ, V.8.ζ, V.8.η, V.10.γ, V.11.δ**), όσο και στις 28 ημέρες σε μεγαλύτερη ανάπτυξη (π.χ. ενδεικτικά βλέπε **Σχήματα V.12.ε, V.13.η, V.14.ια, V.15.στ., V.16.ια**). Αντίστοιχα για τον ετρινγκίτη είναι εμφανής η ανάπτυξη του τόσο στις 2 ημέρες (π.χ. ενδεικτικά βλέπε χαρακτηριστικές βελόνες στα **Σχήματα V.2.η, V.3.γ, V.3.ι, V.4.στ, V.5.γ, V.5.ι, V.6.θ**), στις 7 ημέρες (π.χ. βλέπε ενδεικτικά **Σχήματα V.7.ζ, V.8.θ, V.9.ζ, V.9.η, V.10.γ, V.11.δ**) όσο και στις 28 ημέρες (π.χ. ενδεικτικά βλέπε **Σχήματα V.12.ε, V.13.η, V.14.ια, V.15.στ, V.16.ια**). Τα παραπάνω πειραματικά αποτελέσματα της μεθόδου Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης συνηγορούν στην καλή πορεία της ενυδάτωσης με διακριτά και εμφανή τα προϊόντα αυτής και ο σαφής χαρακτηρισμός των δειγμάτων. Τέλος, οι εικόνες ελήφθησαν με εξαιρετικές μεγάλες μεγεθύνσεις (έως x80.000) και ταυτοποιήθηκαν πολλαπλώς οι βελονοειδείς κρύσταλλοι του ετρινγκίτη.

b.1.a.7. Αποτελέσματα μετρήσεων Περίθλασης Ακτίνων Χ

Ακολούθως παρουσιάζονται στα **Σχήματα V.17.** έως **V.21.** τα αποτελέσματα Περίθλασης Ακτίνων Χ (*X-Ray Diffraction*) για κάθε έναν από τους επιλεγμένους τύπους σιμέντων στις ηλικίες 2, 7 και 28 ημερών.



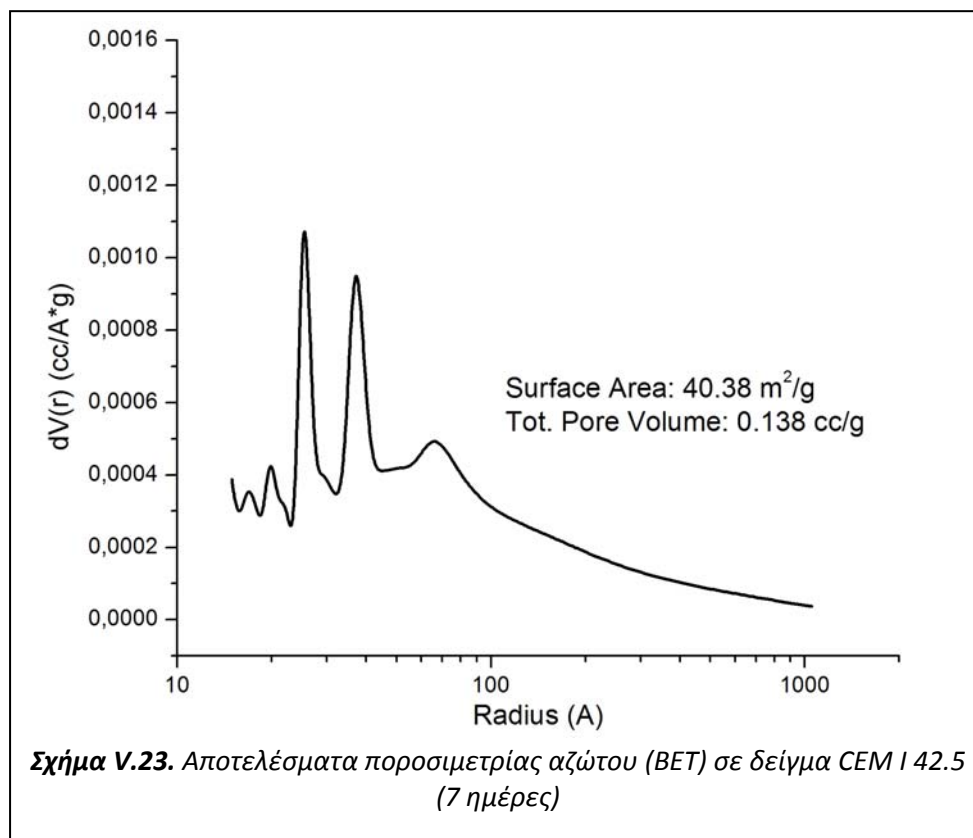
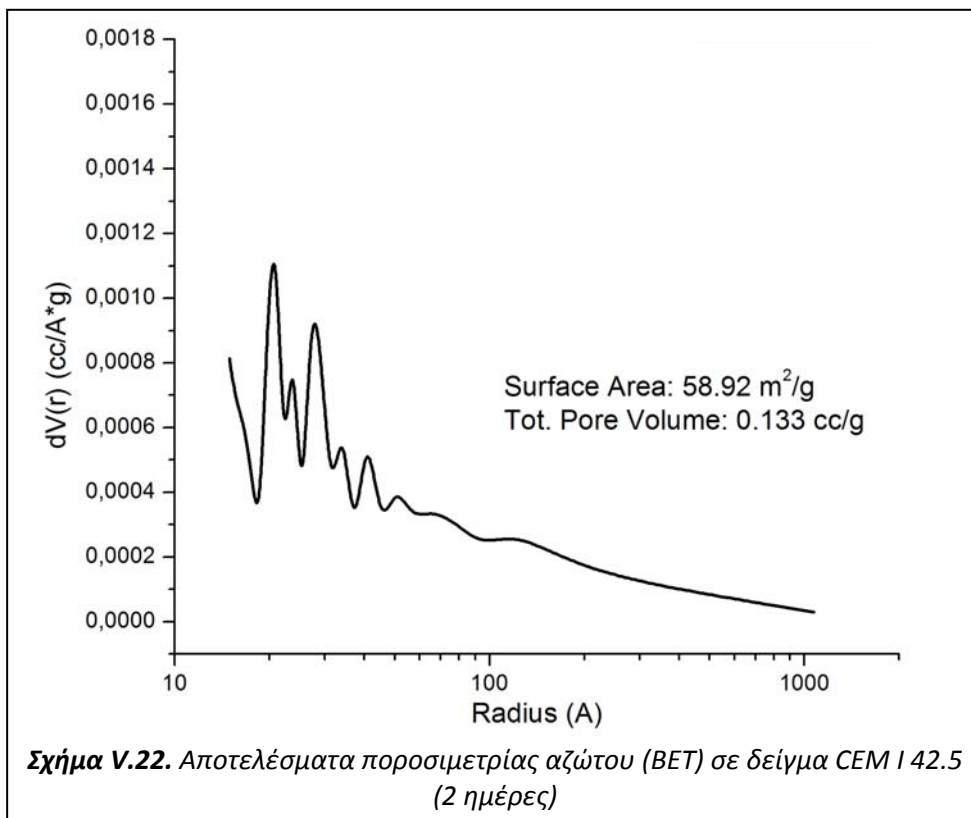


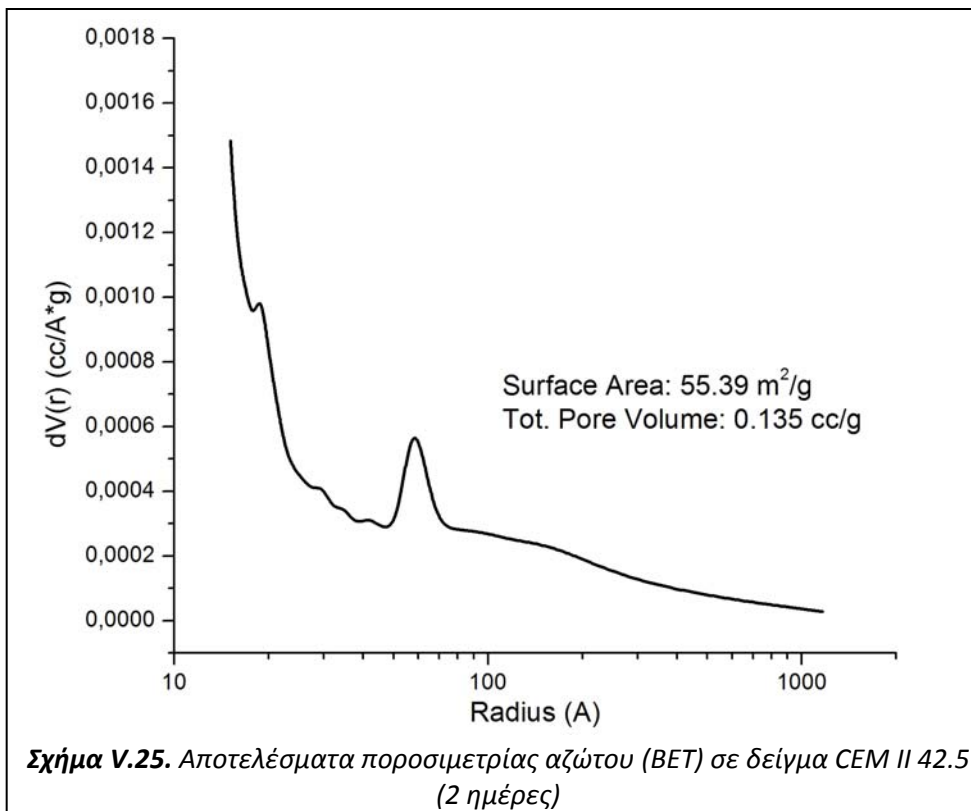
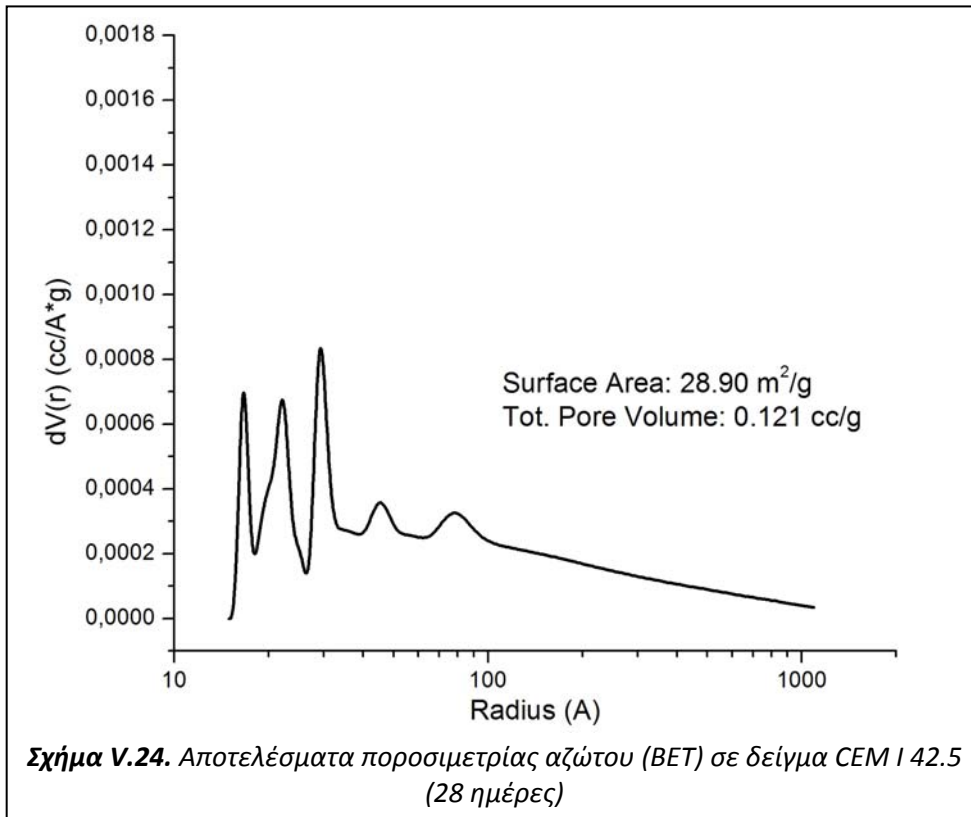


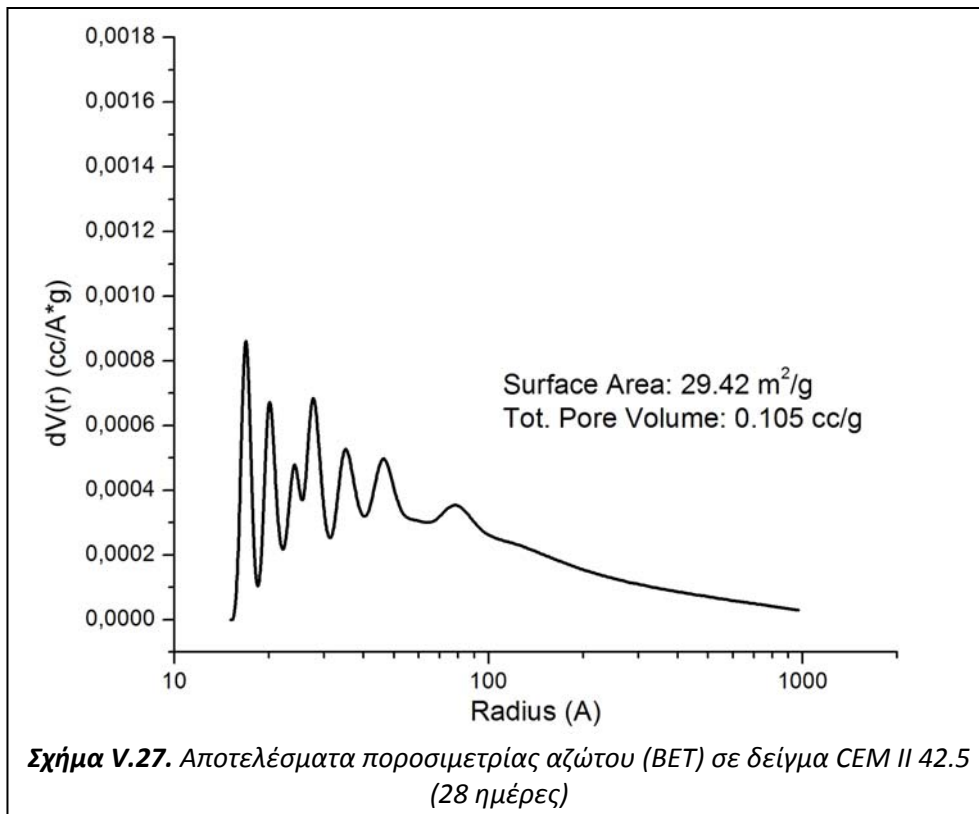
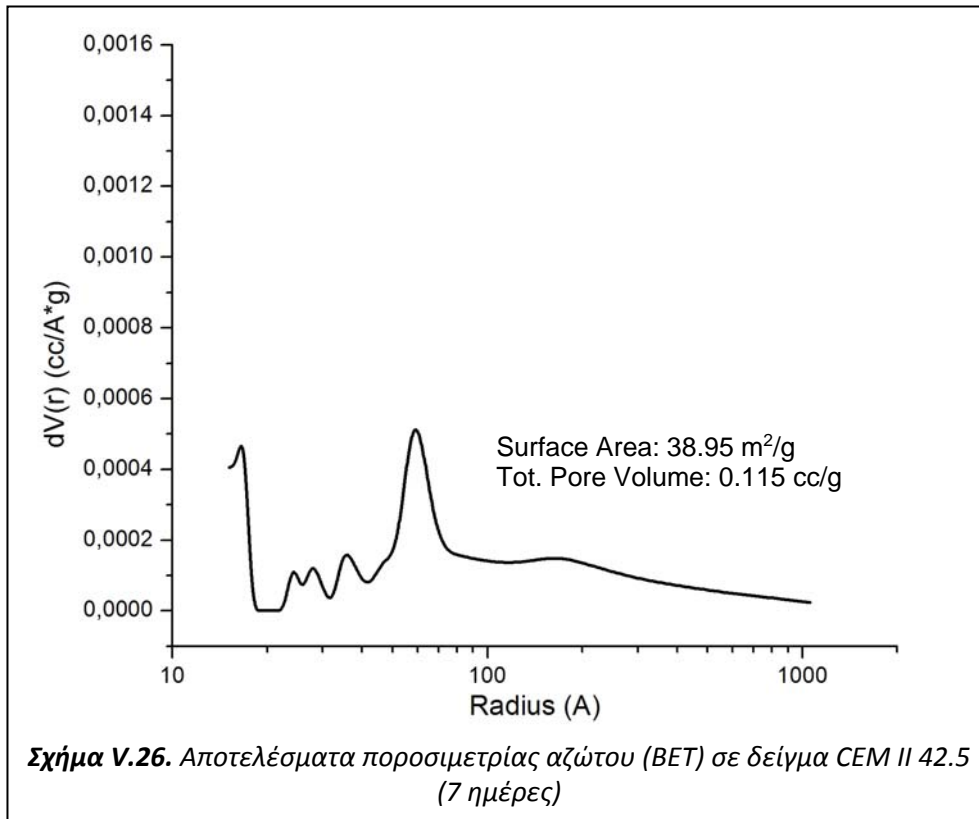
Από τα ως άνωθεν Σχήματα είναι εμφανές ότι επιβεβαιώνονται τα προϊόντα της ενυδάτωσης, ετρινγκίτης και πορτλαντίτης (όπως αυτά είχαν αρχικά παρατηρηθεί παραπάνω μέσω μεθόδου SEM) και μέσω εφαρμογής της μεθόδου Περίθλασης Ακτίνων Χ.

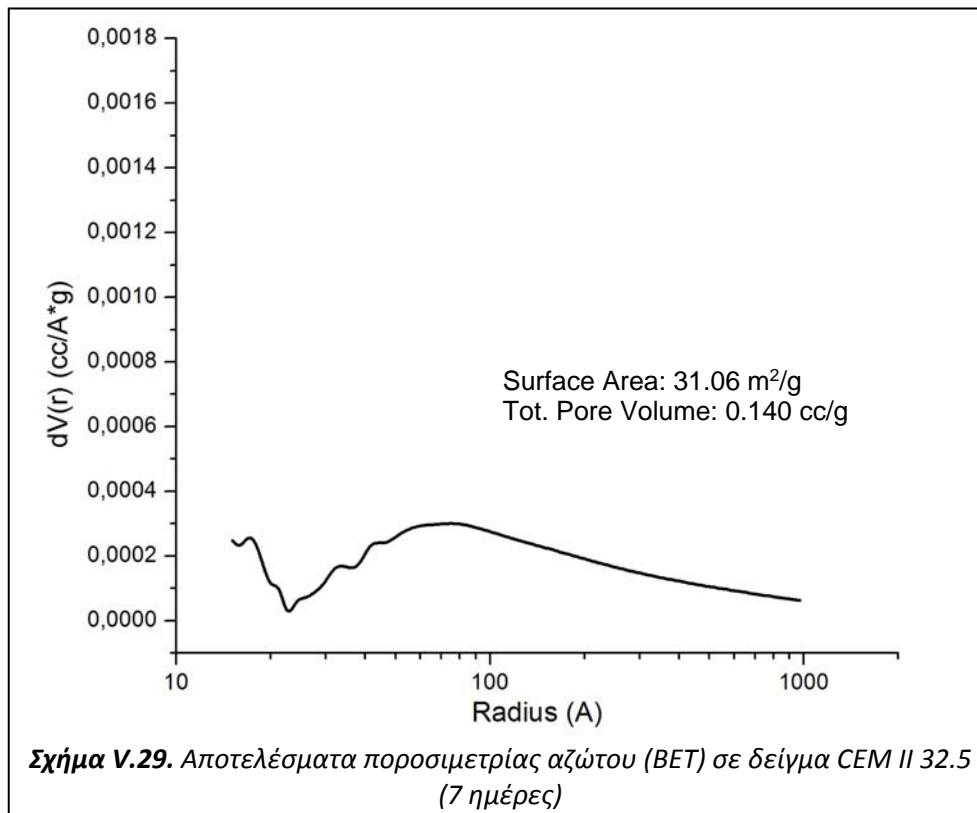
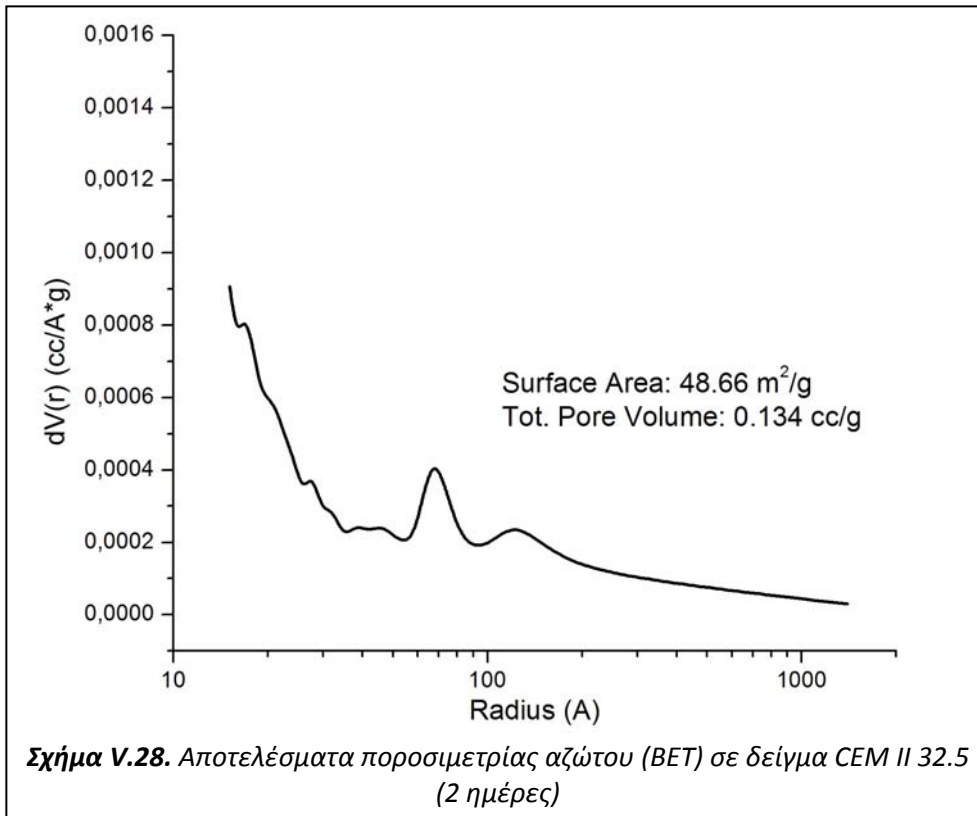
b.1.a.8. Αποτελέσματα Ποροσιμετρίας Αζώτου και ανάλυσης μέσω μεθόδου BET

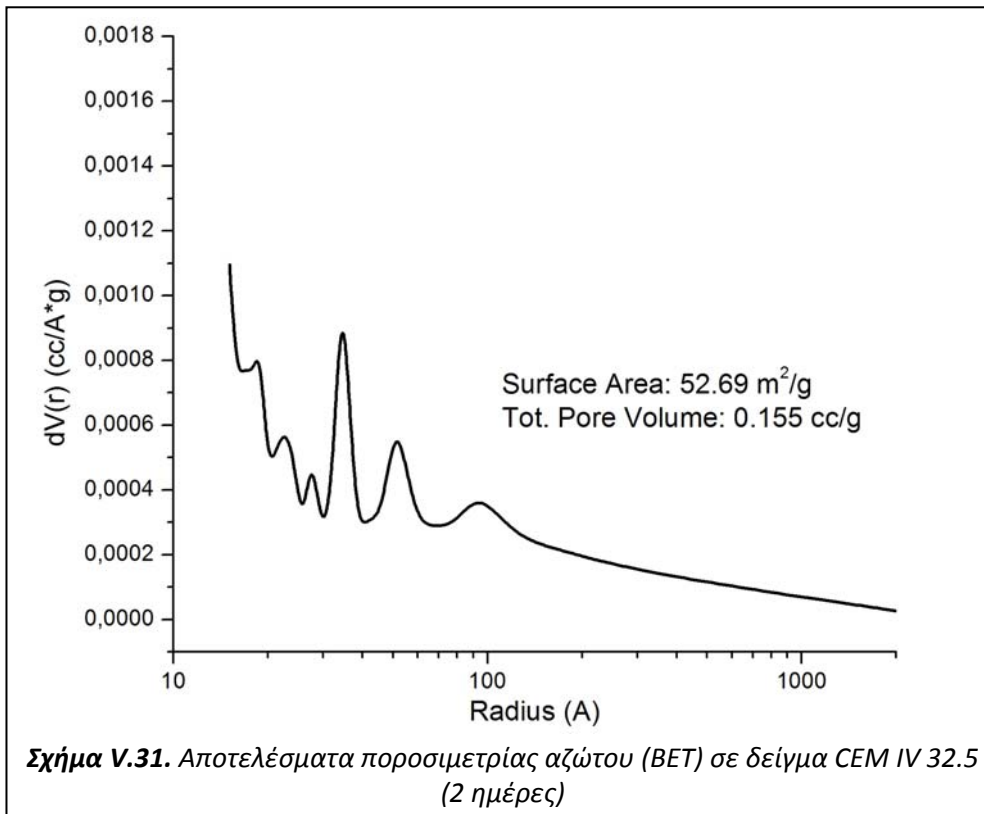
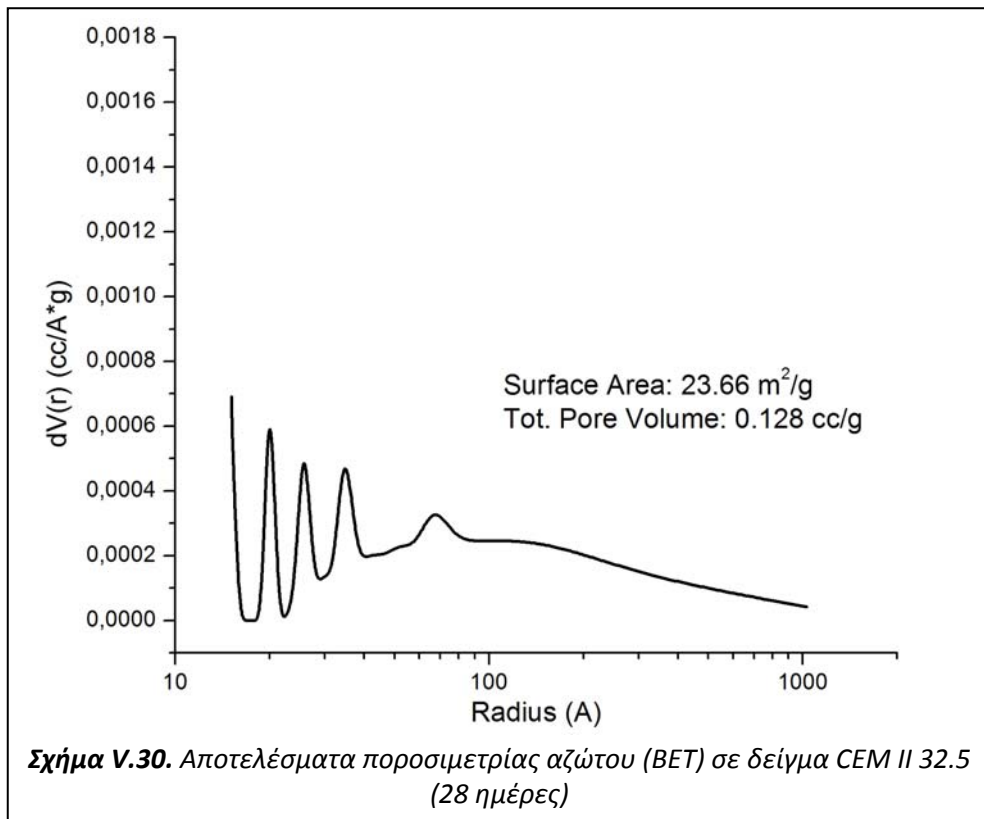
Στην συνέχεια παρουσιάζονται στα **Σχήματα V.22. - V.36.** τα αποτελέσματα της Ποροσιμετρίας Αζώτου (N_2) και ανάλυσης μέσω της μεθόδου Brunauer/Emmett/Teller (BET) για τον προσδιορισμό ειδικής επιφάνειας και κατανομής μεγέθους μικρών πόρων για κάθε έναν από τους επιλεγμένους τύπουςτσιμέντων (σε ηλικίες 2, 7 και 28 ημερών),

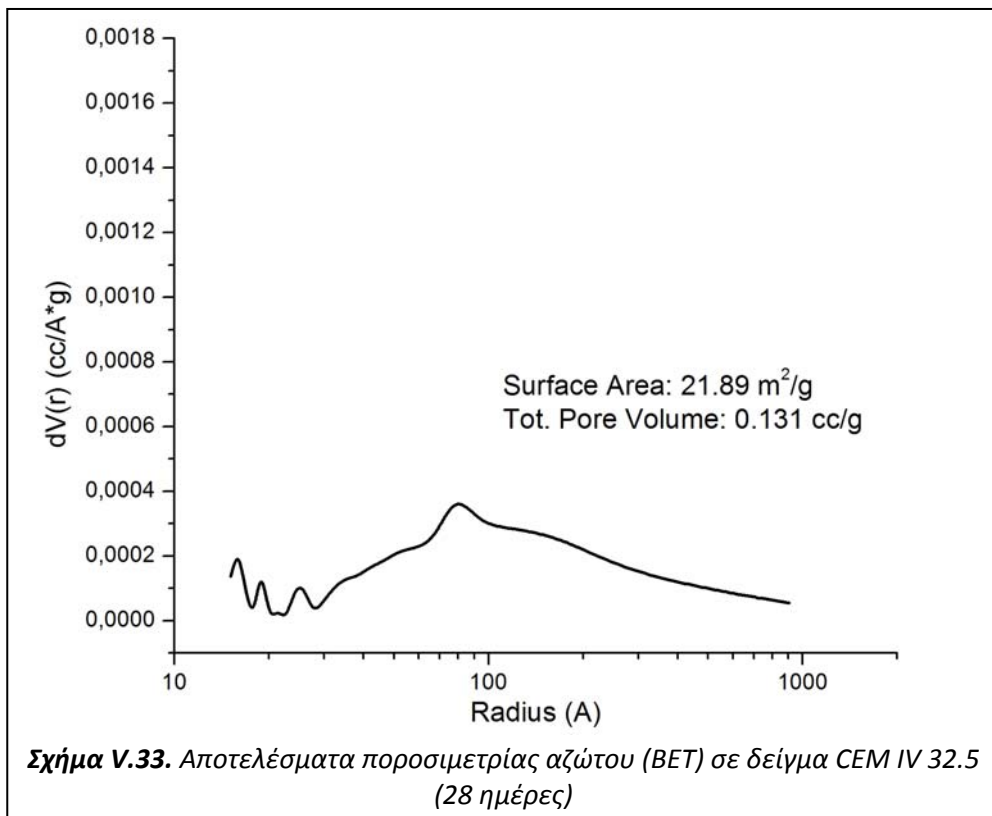
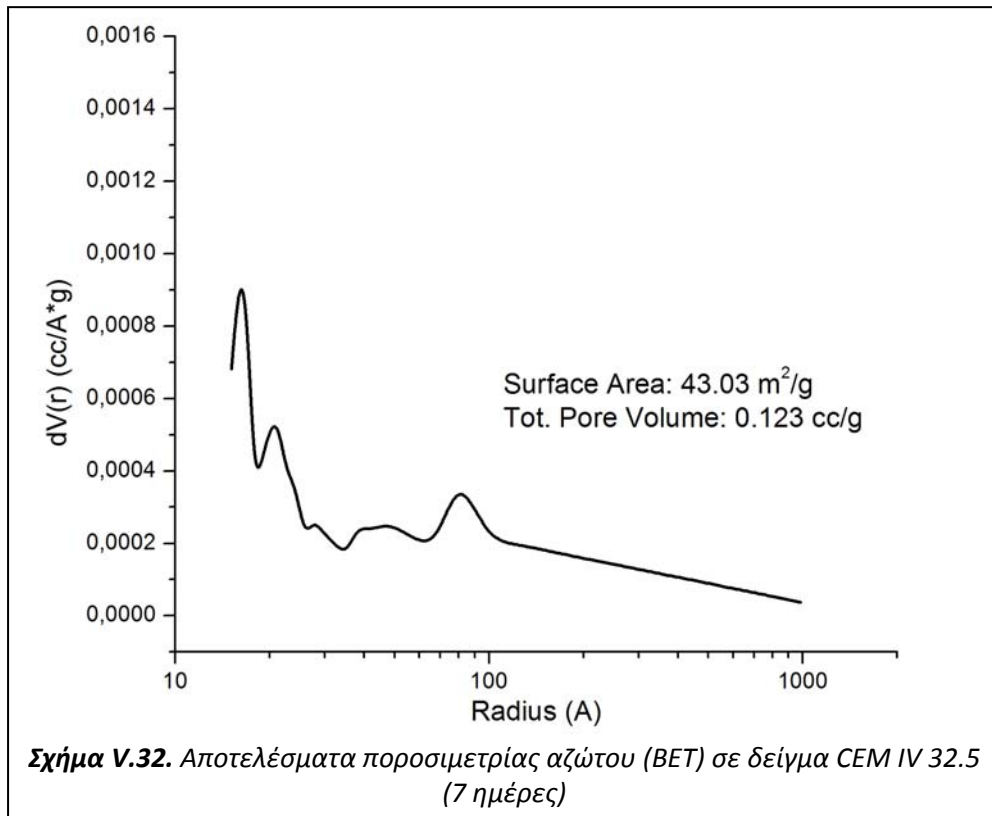


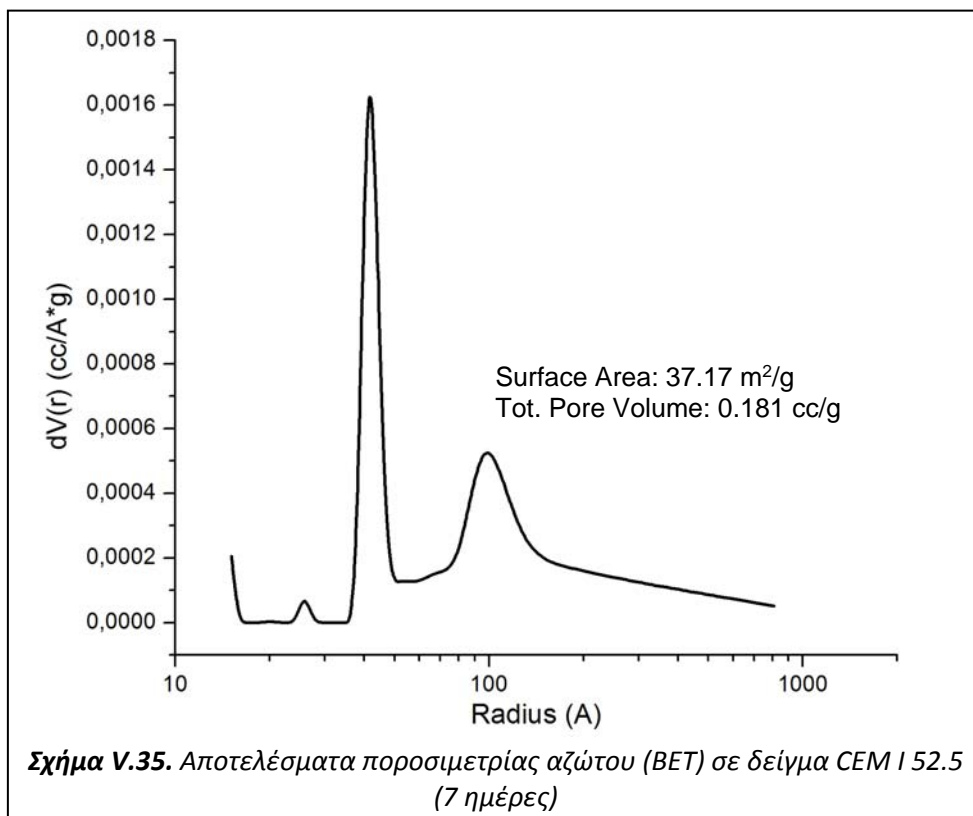
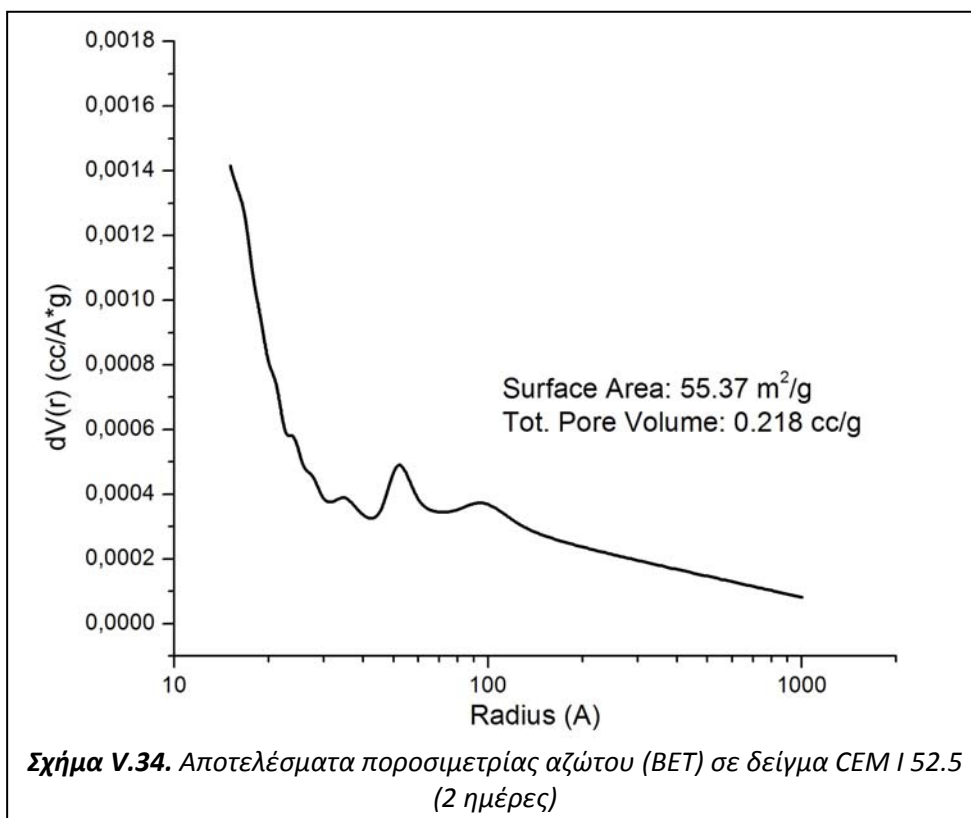


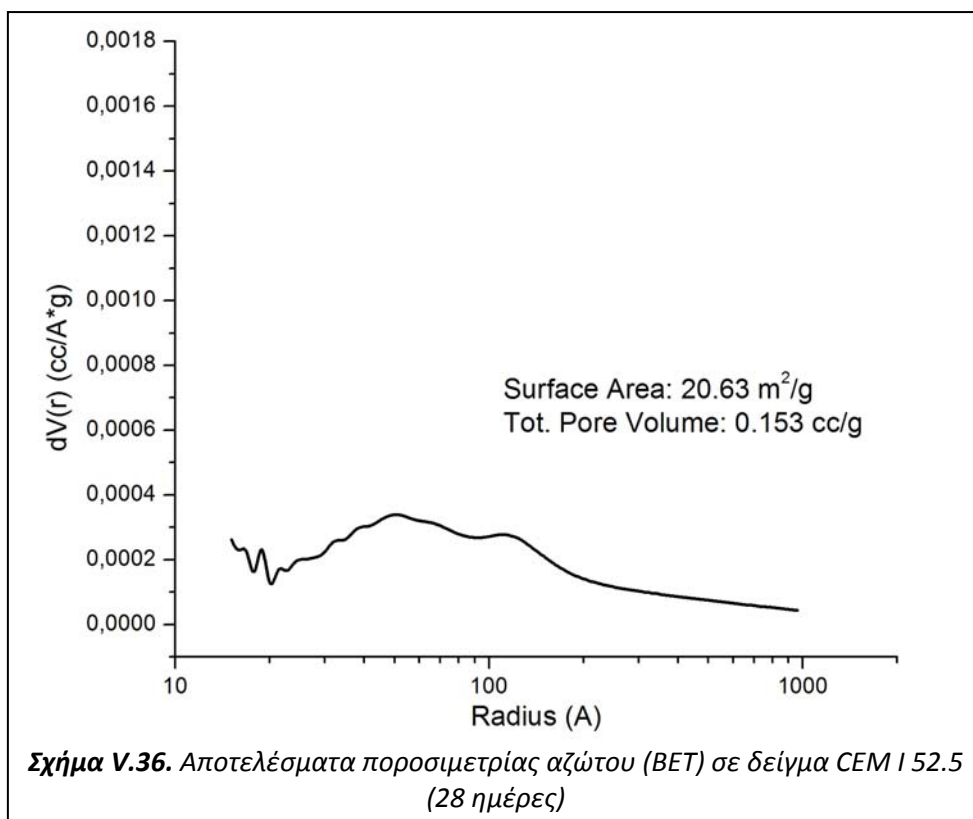






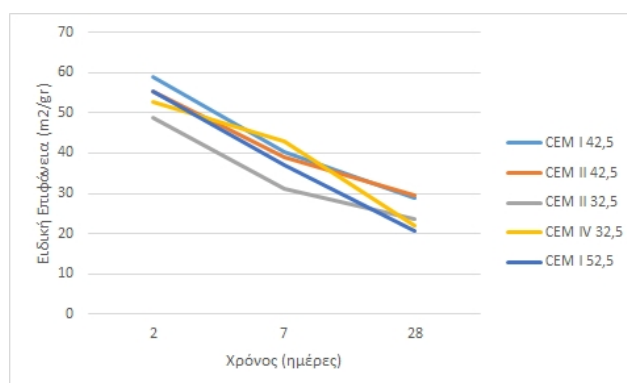




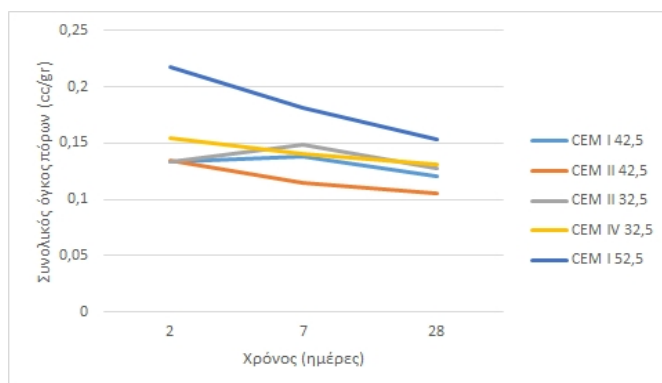


Από τα ως άνωθεν Σχήματα προκύπτει ο κάτωθι **Πίνακας V.7.** όπου παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα της Ποροσιμετρίας BET και τα αντίστοιχα διαγράμματα (βλέπε **Σχήματα V. 37, V.38**).

Πίνακας V.7. Αποτελέσματα Ποροσιμετρίας BET σε δείγματα τσιμέντων Δ.Δ.						
	Ειδική Επιφάνεια (m ² /gr)			Συνολικός όγκος πόρων (cc/gr)		
	2 ημέρες	7 ημέρες	28 ημέρες	2 ημέρες	7 ημέρες	28 ημέρες
CEM I 42,5	58,92	40,38	28,9	0,133	0,138	0,121
CEM II 42,5	55,39	38,95	29,42	0,135	0,115	0,105
CEM II 32,5	48,66	31,06	23,66	0,134	0,140	0,128
CEM IV 32,5	52,69	43,03	21,89	0,155	0,123	0,131
CEM I 52,5	55,37	37,17	20,63	0,218	0,181	0,153



Σχήμα V.37. Αποτελέσματα Ποροσιμετρίας BET (ειδική επιφάνεια) δειγμάτων τσιμέντου



Σχήμα V.38. Αποτελέσματα Ποροσιμετρίας BET (συνολικός όγκος πόρων) δειγμάτων τσιμέντου

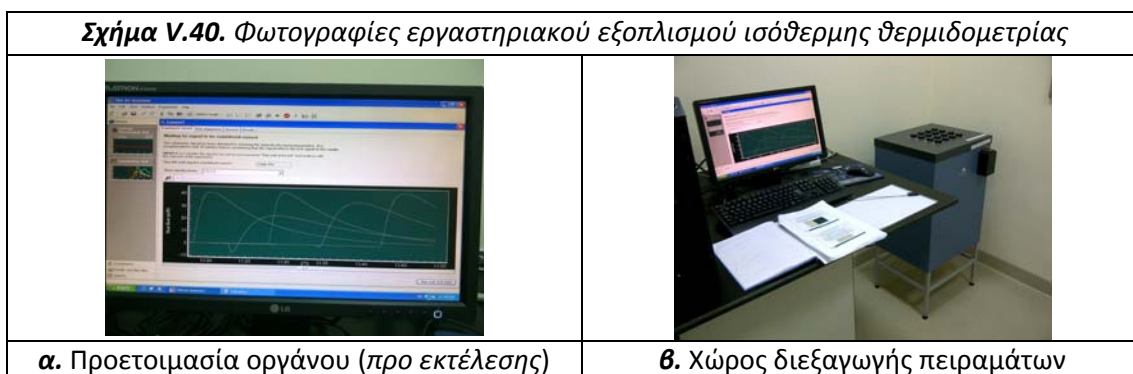
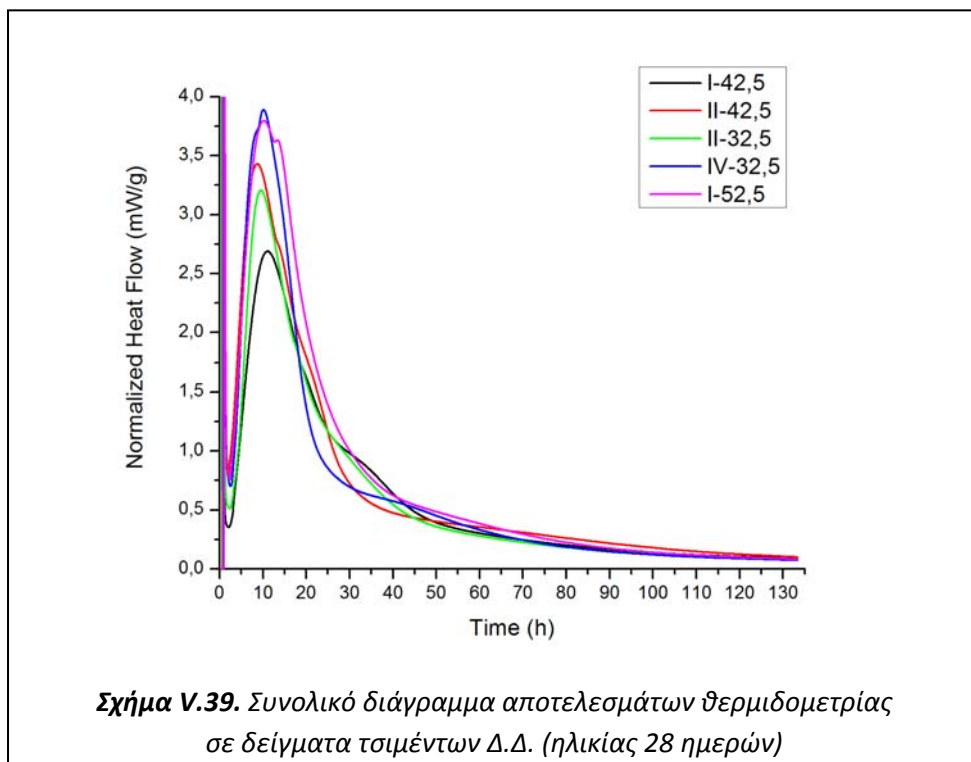
Από τα παραπάνω, είναι εμφανές ότι κατά την διάρκεια της πορείας ενυδάτωσης μειώνεται η ειδική επιφάνεια, ο συνολικός όγκος πόρων και κατ'επέκταση, το πορώδες λόγω του σχηματισμού των προϊόντων ενυδάτωσης, σε κάθε έναν από τους υπό μελέτη πέντε διαφορετικούς τύπους (και διαφορετικής κατηγορίας αντοχών) τσιμέντων.

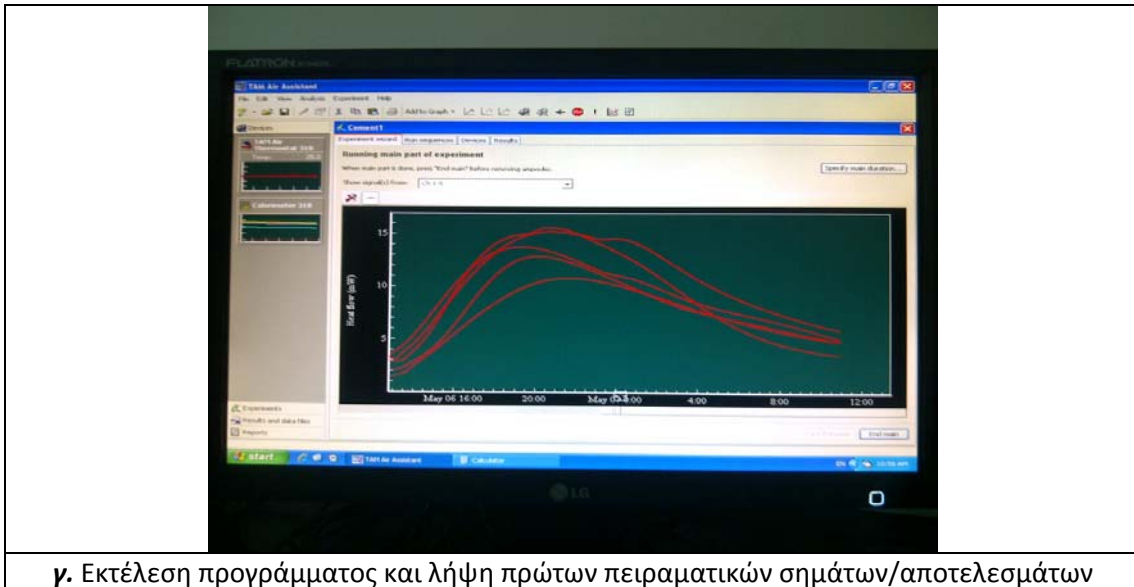
b.1.a.9. Αποτελέσματα μετρήσεων Ισόθερμης Θερμιδομετρίας

Ακολούθως εφαρμόστηκε η τεχνική της Ισόθερμης Θερμιδομετρίας ("Isothermal Calorimetry") ώστε να μελετηθεί η ενυδάτωση του τσιμέντου, η οποία αποτελεί κομβικό παράγοντα για την βελτιστοποίηση των συνθέσεων σκυροδέματος και επηρεάζει καίριες ιδιότητες αυτού (όπως ανθεκτικότητα, αντίσταση στον παγετό, αντίσταση σε χημικές προσβολές κλπ). Σημειώνεται σχετικά με την μελέτη της θερμιδομετρίας ότι χρησιμοποιήθηκε θερμιδόμετρο ισόθερμης τιτλοδότησης ("isothermal titration calorimetry") του Οίκου "TA Instruments", μοντέλο "TAM AIR".

Στην συνέχεια παρουσιάζονται στο **Σχήμα V.39.** τα αποτελέσματα της θερμιδομετρίας για κάθε έναν από τους επιλεγμένους τύπους τσιμέντου (σε ηλικία 28 ημερών), όπου περιέχονται διαγραμματικές πληροφορίες σχετικά με την κανονικοποιημένη ροή θερμότητας ("normalized heat flow") επί της ποσότητας του περιεχόμενου τσιμέντου σε κάθε δείγμα που μελετήθηκε. Επίσης, δίνονται ακολούθως τόσο η περιγραφή του πειράματος (βλέπε **Πίνακα V.8.**) όσο και φωτογραφίες του χώρου και εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε (βλέπε **Σχήμα V.40.**).

Πίνακας V.8. Γενικές πληροφορίες εκτέλεσης πειράματος θερμιδομετρίας					
Θερμοκρασία λουτρού: 25°C					
	Sample - Ch 1	Sample - Ch 2	Sample - Ch 3	Sample - Ch 4	Sample - Ch 5
Total mass	6g	6g	6g	6g	6g
Name	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
ID	I 42,5	II 42,5	II 32,5	IV 32,5	I 52,5
	Component - Cement I 42,5	Component - Cement II 42,5	Component - Cement II 32,5	Component - Cement IV 32,5	Component - Cement I 52,5
Mass	4g	4g	4g	4g	4g
Name	Cement I 42,5	Cement II 42,5	Cement II 32,5	Cement IV 32,5	Cement I 52,5
ID	cement	cement	cement	cement	cement
Physical shape	powder	powder	powder	powder	powder
	Component - Deionized water	Component - Deionized water	Component - Deionized water	Component - Deionized water	Component - Deionized water
Mass	2g	2g	2g	2g	2g
Name	Deionized water	Deionized water	Deionized water	Deionized water	Deionized water
ID	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O
Physical shape	liquid	liquid	liquid	liquid	liquid





Τα συμπεράσματα της μελέτης ενυδάτωσης των τσιμέντων μέσω θερμιδομετρίας ενέχουν εξαιρετικό ενδιαφέρον τόσο από την σκοπιά της θερμότητας του διαλύματος (όπως αυτή μετρείται π.χ. βάσει ASTM C186) όσο και από την παραδοσιακή θέαση/σκοπιά της ακριβούς μέτρησης της θερμότητας ενυδάτωσης (όπως αυτή μετρείται βάση π.χ. ASTM C 1702), καθότι επιτρέπουν ασφαλή πρόβλεψη της συμπεριφοράς πήξης (“setting behavior”) των διαφόρων τσιμέντων. Σημειώνεται δε ότι οι παρατηρούμενες καμπύλες ροών θερμότητας όχι μόνο “αντανακλούν” την διαδικασία ενυδάτωσης αλλά είναι ενδεικτικές καθορισμού των διαφόρων φάσεων που λαμβάνουν χώρα στην πολύπλοκη διαδικασία αυτής, ενώ επιτρέπουν την μελέτη τόσο της κινητικής των αντιδράσεων όσο και την σχέση/εξάρτηση αυτών των αντιδράσεων ενυδάτωσης με την θερμοκρασία (χρήσιμο εργαλείο ανάλυσης ποιοτικού ελέγχου και βελτιστοποίησης συνθέσεων τσιμέντου).

Σχετικά με τα δείγματα τσιμέντων της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής, παρατηρείται εντονότατη ροή θερμότητας κατά την πρώτη αρχική φάση (όπου διαλύονται τα ιόντα και λαμβάνει χώρα η έναρξη της διαδικασίας ενυδάτωσης) ενώ ακολουθεί χρονικά η αδρανής περίοδος (“dormant period”), όπου η αργή διάλυση των πυριτικών εντός των τσιμέντων συσχετίζεται με μικρότερη εξέλιξη της θερμότητας των διαλυμάτων. Συνέχεια των παραπάνω είναι η ενυδάτωση των πυριτικών (περίοδος επιτάχυνσης) μέχρις ότου εξαντληθούν τα περιεχόμενα θειικά των τσιμέντων και επιβραδυνθεί η συνολική διαδικασία της ενυδάτωσης. Τέλος, τονίζεται ότι η ενυδάτωση του τσιμέντου είναι μία διαδικασία εξαρτώμενη της θερμοκρασίας και πολύπλοκη όσον αφορά τις εμπλεκόμενες φάσεις και διεργασίες.

b.1.β. Συνθέσεις σκυροδέματος:

Μετά από την παραπάνω ολοκληρωμένη μελέτη των χρησιμοποιηθέντων τσιμέντων στα πλαίσια της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής, έλαβε χώρα ο σχεδιασμός των συνθέσεων σκυροδεμάτων. Όσον αφορά τα υπόλοιπα συστατικά (πλέον του τσιμέντου) ως προς την Παρασκευή σκυροδεμάτων, σημειώνονται τα κάτωθι:

Αδρανής: Στα πλαίσια των αναγκών του πειραματικού σχεδιασμού χρησιμοποιήθηκαν αδρανής (άμμος λατομείου δεδομένης κοκκομετρικής διαβάθμισης, χαλίκι, γαρμπίλι).

Νερό ανάμιξης για την παραγωγή σκυροδεμάτων: Για όλες τις προβλεπόμενες και πραγματοποιηθείσες συνθέσεις και επαναλήψεις παρασκευής δοκιμών σκυροδεμάτων χρησιμοποιήθηκε κατάλληλο (πόσιμο) νερό, προερχόμενο τόσο από την παροχή/τοπικό δίκτυο του Εργαστηρίου Τεχνολογίας Σκυροδέματος στο Εργοστάσιο Καμαρίου (Καμάρι) του ΤΙΤΑΝ όσο από τα αντίστοιχα/ανάλογα δίκτυα ύδρευσης όπου έλαβε χώρα η Έρευνα και οι επιμέρους μετρήσεις (Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου, Πανεπιστημιούπολης Ιωαννίνων και Πανεπιστημίου Ljubljana). Σημειώνεται δε, ότι ιδιαίτερη μέριμνα ελήφθη ως προς το νερό που χρησιμοποιήθηκε/αξιοποιήθηκε να ήταν πόσιμο, καθαρό και απαλλαγμένο από εν δυνάμει βλαπτικές ουσίες για τις αντιδράσεις ενυδάτωσης. Ειδικότερα, λόγω της δυσμενούς επίδρασης στην πρόοδο της ενυδάτωσης (καθότι αποφέρουν αισθητή μείωση των τελικών μηχανικών αντοχών ή/και καθυστέρηση της πήξης του σκυροδέματος) αποφεύχθηκαν παροχές νερού με οργανικές ουσίες, λίπη/έλαια, οξέα (π.χ. ανθρακικό οξύ) και σάκχαρα.

Πρόσθετα: Σημειώνεται ότι μετρήθηκε η απαίτηση σε ρευστοποιητή (καθώς σε σκυροδέματα με υψηλό ποσοστό ποζολανικών κύριων συστατικών –στα οποία επιδιώκεται χαμηλός λόγος νερού προς τσιμέντο– είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται ρευστοποιητές), ούτως ώστε ο λόγος w/c να είναι σταθερός για όλες τις συνθέσεις δοκιμών σκυροδέματος. Ανάλογα με τον τύπο του τσιμέντου (κύριου συστατικού του παρασκευασθέντος σκυροδέματος) χρησιμοποιήθηκε ίδια ποσότητα χημικού προσθέτου, ρευστοποιητή ναφθαλενικού τύπου.

Εν συνεχεία και αναφορικά τις σχεδιασθείσες και επιλεγθείσες πειραματικές συνθέσεις των σκυροδεμάτων σημειώνονται τα εξής: στα πλαίσια της αναπτυχθείσας συνεργασίας μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων (Ακαδημίας–Βιομηχανίας) αποφασίστηκαν και επιλέχθηκαν πειραματικές συνθέσεις σκυροδέματος οι οποίες θα διέφεραν ως προς το κύριο συστατικό τους, τον τύπο και τις κατηγορίες αντοχών του περιεχόμενου τσιμέντου. Για τον λόγο αυτό επιλέχθηκαν πέντε τύποι τσιμέντου (CEM I 42.5, II 42.5, II 32.5, IV 32.5 και I 52.5) και παρήχθησαν ισάριθμες συνθέσεις σκυροδεμάτων τύπου C25/30 και λόγου νερού προς τσιμέντο w/c = 0,5.

Τονίζεται δε, ο έντονος εφαρμοστικός χαρακτήρας της μελέτης των συγκεκριμένων συνθέσεων σκυροδεμάτων καθώς δοκιμάζονται χαρακτηριστικά συστατικά υλικά (τύποι περιεχομένων τσιμέντων) ως προς τις διακρίνουσες παραμέτρους καίριου ενδιαφέροντος (π.χ. μικροδομή, εικόνες υφής/image patterns, τελικές μηχανικές αντοχές κλπ) καθώς και της δυναμικής ανάπτυξης αυτών (χρόνοι πήξης και σκλήρυνσης). Στον παρακάτω **Πίνακα V.9** εμφανίζονται οι ακριβείς πειραματικές συνθέσεις των σκυροδεμάτων της Δ.Δ.:

	#1	#2	#3	#4	#5
Τσιμέντο	CEM I 42.5	CEM II 42.5	CEM II 32.5	CEM IV 32.5	CEM I 52.5
	300	300	350	350	300
Νερό	156	153	196	193	144
Άμμος	965	982	935	945	997
Γαρμπίλι	230	226	274	277	238
Χαλίκι	713	661	635	642	737
Υπερρευστοποιητής	0,8% κ.β.	0,8% κ.β.	0,8% κ.β.	0,8% κ.β.	0,8% κ.β.
Λόγος νερού/τσιμέντο	0,52	0,51	0,56	0,55	0,48

Όσον αφορά τώρα την κατάλληλη προτυποποίηση των παρασκευασθέντων δοκιμών (ιδιαίτερως αναφορικά/ως προς την εφαρμογή μη-καταστροφικών ελέγχων) εξαρχής σημειώνεται ότι τα δοκίμια είναι κυβικού σχήματος (διαστάσεων 10x10cm, βάσει ΚΤΣ-97) και μελετώνται σε βάθος τριών ηλικιών (2, 7, και 28 ημέρες), όπου σε κάθε ηλικία οι δοκιμές εφαρμόζονται σε τρία δείγματα για χάριν ακρίβειας, επαναληψιμότητας,

διασφάλισης αντιπροσωπευτικότητας και αξιοπιστίας των διαφόρων δοκιμών (μικροδομής, παρακολούθησης ανάπτυξης υδραυλικών φάσεων κτλ). Για τις δοκιμές μη-καταστρεπτικών ελέγχων (συνδυασμένη εφαρμογή Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών και Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας, Υπερηχοσκοπίας κλπ) έχει προβλεφθεί ένα τέταρτο εγκυβωτισμένο δοκίμιο, του οποίου ο ξυλότυπος πληροί τους κατασκευαστικούς όρους και προδιαγραφές ούτως ώστε να μπορεί να ληφθεί μικροσκοπική εικόνα μικροδομής μέσω Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών (επί τόπου και σε πραγματικό χρόνο, *in-situ* και *real-time*). Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της κατασκευής τόσο κατάλληλου καλουπιού όσο και ξυλότυπου (*formwork*) με ενσωματωμένο “παράθυρο” (διόπτρα) από διαφανές πολυμεθακρυλικό μεθύλιο (PMMA). Με τον τρόπο αυτό καθίσταται να είναι εφικτή η αποτίμηση της μικροδομής μέσω της λήψης εικόνων Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών και περαιτέρω επεξεργασία μέσω εφαρμογής Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας.

Ακολουθως παρουσιάζονται οι δοκιμές επί νωπού σκυροδέματος (με παράλληλη διασφάλιση και τήρηση των προτύπων νωπού σκυροδέματος), όπου για τις ανωτέρω συνθέσεις σκυροδέματος της Δ.Δ. μετρήθηκαν οι εξής ρεολογικές ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος (*fresh concrete*): κάθιση, πυκνότητα και περιεχόμενος αέρας (βάσει αντιστοίχων Προτύπων ΕΛΟΤ EN). Τα πειραματικά αποτελέσματα των παραπάνω ιδιοτήτων παρουσιάζονται στον κάτωθι Πίνακα V.10.

b.1.β.1. Αποτελέσματα μετρήσεων κάθισης, πυκνότητας και περιεχόμενου αέρα

Πίνακας V.10. Αποτελέσματα μετρήσεων ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών συνθέσεων νωπών σκυροδεμάτων: κάθιση, πυκνότητα και περιεχόμενος αέρας			
Δοκιμή:	Κάθιση (slump)	Πυκνότητα (density)	Περιεχόμενος αέρας (air content)
Πρότυπο:	ΕΛΟΤ EN 12350-2	ΕΛΟΤ EN 12350-6	ΕΛΟΤ EN 12350-7
Δείγματα σκυροδεμάτων:			
#1 - CEM I 42.5	115mm	2370	2,4 (2,5%)
#2 - CEM II 42.5	110mm	2330	2,4 (2,5%)
#3- CEM II 32.5	90mm	2400	1,1 (1,0%)
#4 - CEM IV 32.5	90mm	2420	1,1 (1,0%)
#5 - CEM I 52.5	120mm	2450	2,5 (2,5%)

Σχετικά και όσον αφορά την παρασκευή και συντήρηση των παρασκευασθέντων δοκιμών σημειώνονται τα εξής: η παρασκευή όλων των δοκιμών έλαβε χώρα βάσει των εν ισχύει Κανονισμών (ειδικότερα δε, του ΚΤΣ-97, όσον αφορά την πρότυπη παρασκευή δοκιμών σκυροδεμάτων) και των προβλέψεων βάσει αντιστοίχων Προτύπων. Βάσει του ανωτέρω περιγραφηθέντος προγραμματισμού των πειραματικών αναγκών, παρασκευάσθηκε ικανός αριθμός δοκιμών (σε αναλογία με τις συνθέσεις σκυροδεμάτων) για τις ηλικίες στις οποίες μελετώνται οι επιθυμητές ιδιότητες (ειδικότερα δε, η ανάπτυξη και πρόοδος των μηχανικών αντοχών και η εφαρμογή των μη-καταστρεπτικών τεχνικών) ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Επίσης σημειώνεται δε, ότι μετά τον καθορισμό των τελικών πειραματικών συνθέσεων των δοκιμών σκυροδέματος και τον πειραματικό προγραμματισμό/σχεδιασμό όλων των αναγκαίων δοκιμών (και συνεπώς, του αριθμού των αναγκαίων δοκιμών), έλαβε χώρα η ολική παρασκευή των αναγκαίων ποσοτήτων των συνθέσεων σκυροδέματος, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τις πειραματικές ανάγκες των μετρήσεων της Διδακτορικής Διατριβής.

Τέλος δε, μετά των απεγκυβωτισμό των δοκιμών, αυτά ελέγχονταν περαιτέρω με τις ως άνωθεν τεχνικές και συντηρούντο καταλλήλως κατά τα προβλεπόμενα βάσει ΚΤΣ-97: η συντήρηση όλων των δοκιμών έλαβε χώρα σε πρότυπο θάλαμο συντήρησης δοκιμών

σκυροδέματος στις Εγκαταστάσεις της τσιμεντοβιομηχανίας "TITAN AE", στο Καμάρι Αττικής (βλέπε Σχήμα V.41).



Ακολούθως παρατίθενται συγκεντρωμένοι οι έλεγχοι/δοκιμές που έλαβαν χώρα επί των σκληρυμένων σκυροδεμάτων, μετά τον απεγκυβωτισμό/ξεκαλούπωμα και την συντήρηση αυτών, όπως προβλέπεται επακριβώς τόσο βάσει ΚΤΣ-97, EN 206-1, όσο και βάσει άλλων (π.χ. Γερμανικών, όπως DIN 1048-5:1991 ή Ελβετικών, όπως SIA 262/1 app.F ή SN 505 262/1) Ευρωπαϊκών Προτύπων σε ισχύ. Ειδικότερα δε, έλαβε χώρα συνεργασία όσον αφορά τον γραμμικό καθορισμό των χαρακτηριστικών και επιπέδων κατανομής κενών σε δοκίμια σκληρυμένων σκυροδεμάτων, χρησιμοποιώντας Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο HIROX (βάσει EN 480-11).

b.i.β.2. Αποτελέσματα μετρήσεων αντοχή σε θλίψη, αντοχή σε κάμψη, αντοχή σε εφελκυστική τάση, βάθος διείσδυσης νερού υπό πίεση, προσδιορισμός χαρακτηριστικών κενών αέρος, συρρίκνωση

Τα αποτελέσματα των δοκιμών και μετρήσεων καθορισμού των χαρακτηριστικών των συνθέσεων σκληρυμένων σκυροδεμάτων (πάντα βάσει ισχυόντων Προτύπων) παρουσιάζονται στον κάτωθι **Πίνακα V.11**.

Πίνακας V.11. Πειραματικά αποτελέσματα ιδιοτήτων συνθέσεων σκληρυμένων σκυροδεμάτων: αντοχή σε θλίψη, αντοχή σε κάμψη, αντοχή σε εφελκυστική τάση, βάθος διείσδυσης νερού υπό πίεση, προσδιορισμός χαρακτηριστικών κενών αέρος, συρρίκνωση

Δοκιμή:	Αντοχή σε θλίψη (compressive strength) MPa			Αντοχή σε κάμψη (flexural strength) MPa			Αντοχή σε εφελκυστική τάση (tensile splitting strength) MPa			Βάθος διείσδυσης νερού υπό πίεση (depth of penetration of water under pressure) mm	Προσδιορισμός χαρακτηριστικών κενών αέρος (determination of air void characteristics) %	Συρρίκνωση (shrinkage) mm/M
	EN 12390-3			EN 12390-5			EN 12390-6					
Πρότυπο:	EN 12390-3			EN 12390-5			EN 12390-6			EN 12390-8	EN 480-11	SIA 262/1 appendix F
Ημέρες:												
Δείγματα σκυροδεμάτων:	2	7	28	2	7	28	2	7	28			
#1 - CEM I 42.5	26.3	34.9	41.8	2.7	4.1	5.1	2.7	4.3	5.6	5.7	2	-0.030
#2 - CEM II 42.5	25.7	34.2	40.6	2.6	3.8	4.8	2.9	4.6	5.4	5.6	2	-0.030
#3 - CEM II 32.5	19.7	27.4	34.1	2.0	3.2	4.3	2.1	3.0	4.1	8.9	2	-0.009
#4 - CEM IV 32.5	15.8	24.5	32.9	1.8	2.8	4.0	2.0	2.7	4.0	8.7	2	-0.008
#5 - CEM I 52.5	34.5	52.7	62.4	2.9	5.6	7.3	2.9	4.4	5.8	5.2	2	-0.040

Βάσει του παραπάνω Πίνακα συμπεραίνεται ότι ολοκληρώθηκε επιτυχώς ο πλήρης χαρακτηρισμός των σκυροδεμάτων και όλες οι συνθέσεις δοκιμίων σκυροδέματος που παρασκευάστηκαν ικανοποιούν τις επιθυμητές ιδιότητες συμπεριφορών, σημειώνοντας δε τόσο το επίπεδο των ελάχιστων απαιτήσεων όσο δε και στο επίπεδο/γεγονός ότι (λόγω των διαφορετικών ιδιοτήτων των τύπων τσιμέντου που χρησιμοποιήθηκε προς παρασκευή σκυροδεμάτων) υπάρχει ευρεία γκάμα μηχανικών αντοχών, η οποία θα συνδράμει προς την συσχέτιση αυτών με την συνδυαστική μη-καταστροφική προσέγγιση που παρουσιάζεται στα πλαίσια της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής).

b.II. Σχεδιασμός συνδυασμού πειραματικής εφαρμογής βασικών μη-καταστρεπτικών τεχνικών

Στη συνέχεια, έλαβε χώρα εφαρμογή βασικών μη-καταστροφικών δοκιμών ελέγχου της μηχανικής συμπεριφοράς των δοκιμών/συνθέσεων σκυροδεμάτων και περισσότερο συγκεκριμένα: *Ακουστική Εκπομπή, Μέθοδος Ωριμότητας, Υπέρυθρη Θερμογραφία, Υπερηχοσκόπηση*. Τονίζεται εξ'αρχής ότι σκοπός της πειραματικής αυτής συστοιχίας δεν ήταν οι αυτές καθαυτές εφαρμογές μεμονωμένων μεθόδων μη-καταστρεπτικού ελέγχου, αλλά ο βαθύτερος και ολιστικός συνδυασμός τους, σε πραγματικό χρόνο και εργαστηριακή κλίμακα.




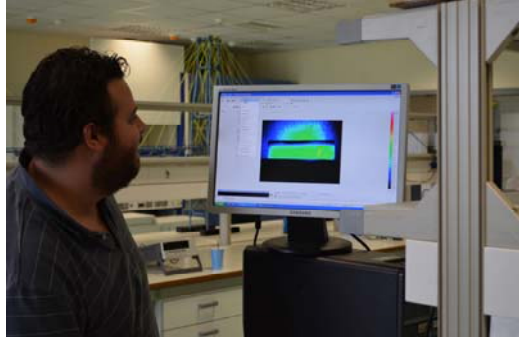

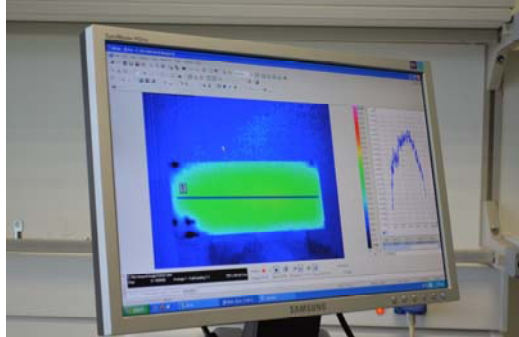
Για τον λόγο αυτό, προγραμματίστηκε κατάλληλος πειραματικός σχεδιασμός και κατασκευάστηκαν επί τόπου κυβικές μήτρες από plexiglass (κυρίως διαστάσεων 5x5x5cm αλλά και διαφορετικών διαστάσεων, αναλόγως τις πειραματικές ανάγκες της κάθε συνδυαστικής εφαρμογής), όπως φαίνεται στο ακόλουθο **Σχήμα V.42**:



Στη συνέχεια ακολουθούν ενδεικτικές φωτογραφίες/στιγμιότυπα της εκτέλεσης αυτού του πειραματικού σχεδιασμού, ο οποίος έλαβε χώρα στις εγκαταστάσεις του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Υπέρυθρη Θερμογραφία ("Infrared Thermography"):

Η μη-καταστρεπτική τεχνική της υπέρυθρης θερμογραφίας (βλέπε **Σχήμα V.43**) ουσιαστικά συνίσταται στην μέτρηση και καταγραφή της θερμότητας (υπέρυθρης ακτινοβολίας) η οποία εκπέμπεται από ένα σώμα (αντικείμενο, υλικό, κατασκευή). Μέσω ειδικής κάμερας ανιχνεύεται η υπέρυθρη ακτινοβολία χωρίς να απαιτείται επαφή με το υπό μελέτη αντικείμενο και "χαρτογραφείται"/εμφανίζεται η χωρική κατανομή της θερμοκρασίας στις επιφάνειες αυτού.

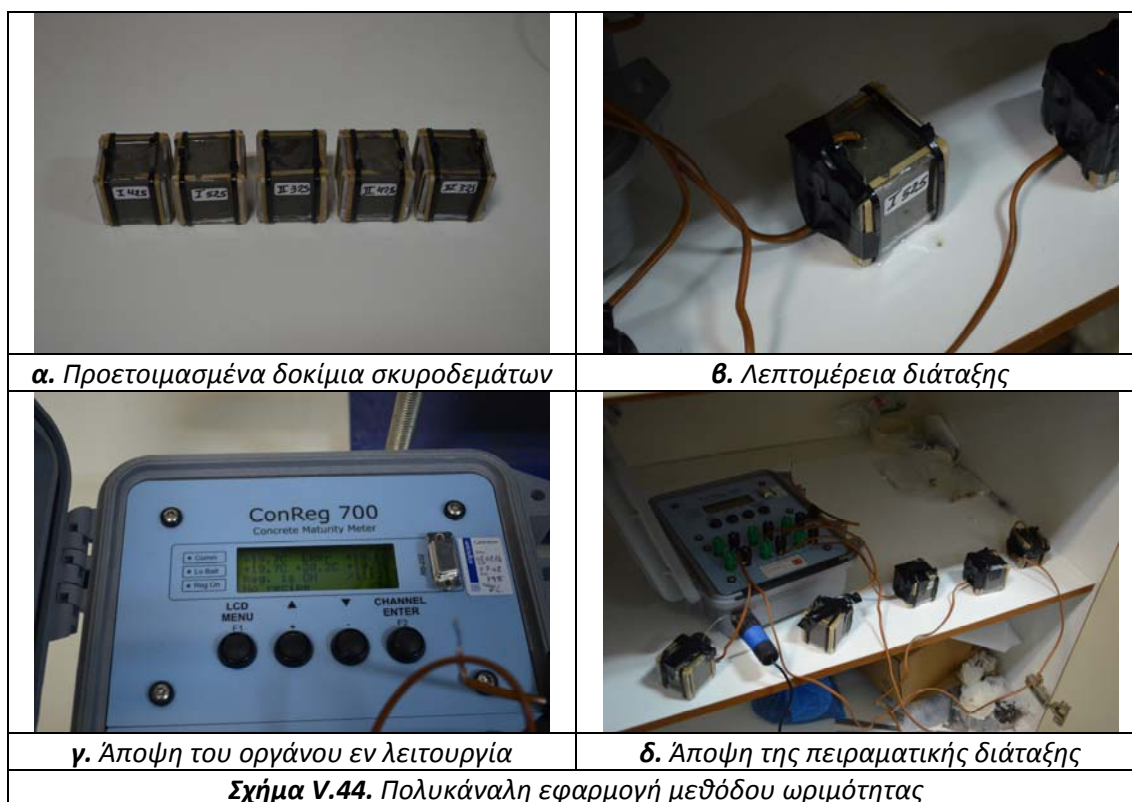
	
α. Γενική άποψη της εργαστηριακής διευθέτησης (setup)	β. Υπέρυθρη θερμική κάμερα Cedip Jade (με εστιακό φακό μεγέθους 320x240 pixels)
	
γ. Άποψη του δοκιμαστικού δοκιμίου	δ. Αρχική προσαρμογή (calibration ή adjustment) διάταξης & εφαρμογή μεθόδου
	
ε. Διαφορετική διάταξη εφαρμογής	στ. Άποψη της οθόνης του χειριστή/χρήστη
Σχήμα V.43. Εφαρμογή υπέρυθρης θερμογραφίας	

Αυτή ακριβώς η διττή προσέγγιση των υπό μελέτη αντικειμένων, τόσο από πλευράς ανίχνευσης υπέρυθρης ακτινοβολίας εκπεμπόμενης από το υλικό (και ανάλογης της θερμοκρασίας του) αλλά και από την σκοπιά της αποτύπωσης αυτής της θερμικής πληροφορίας (μετατροπή και απεικόνιση του θερμικού αποτυπώματος σε θερμική εικόνα), την καθιστούν ιδανική μέθοδο τόσο για εφαρμογές ενεργειακής επιθεώρησης κτιρίων/εγκαταστάσεων όσο και για πλήθος μη-καταστρεπτικών εφαρμογών (π.χ. σε κτιριακές/ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις, στην αεροναυπηγική κλπ).

Το θερμογράφημα, αυτή η έγχρωμη “θερμική εικόνα” -δηλαδή εικόνα χωρικής θερμοκρασιακής κατανομής ενός δεδομένου υλικού υπό συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες- αποτελεί την πρώτη ύλη αρχικής εξαγωγής συμπερασμάτων και εκτίμησης της υπάρχουσας κατάστασης. Βάσει αυτού είναι εφικτοί και περαιτέρω ποσοτικοί (πέραν των ποιοτικών) χαρακτηρισμοί αλλά και γραφικές απεικονίσεις, οι οποίες είναι ιδιαίτερης σημασίας για την παρακολούθηση (“*monitoring*”) και προβλεπτική συντήρηση (“*predictive maintenance*”) των υπό μελέτη υλικών/έργων ενδιαφέροντος.

Μέθοδος ωριμότητας (“*Maturity Method*”)

Η Μέθοδος ωριμότητας (ή ωρίμανσης) του σκυροδέματος (βλέπε **Σχήματα V.44 έως V.45**) είναι μη-καταστρεπτική τεχνική όπου εκτιμάται η επιτόπια (*in-situ*) αντοχή του σκυροδέματος σε ένα δεδομένο έργο/κατασκευή βάσει συσχέτισης της ανάπτυξης των αντοχών του εφαρμοζόμενου σκυροδέματος ως συνάρτηση της θερμοκρασίας και χρόνου. Ουσιαστικά η αρχή λειτουργίας αυτής της Μη-Καταστρεπτικής Μεθόδου ελέγχου έγκειται στο ότι τόσο οι μηχανικές αντοχές του σκυροδέματος, όσο και άλλες ιδιότητες και χαρακτηριστικά του, σχετίζονται άμεσα με την ηλικία και το ιστορικό της θερμοκρασίας (θερμοκρασιακό ιστορικό προφίλ) και ως εκ τούτου, συγκεκριμένα μείγματα σκυροδέματος με κοινή τιμή ωριμότητας θα ισοδυναμούν με αντίστοιχες/παραπλήσιες τιμές μηχανικών αντοχών, ασχέτως/ανεξαρτήτως από τον συνδυασμό χρόνου/θερμοκρασίας ο οποίος απέδωσε την συγκεκριμένη ωριμότητα.

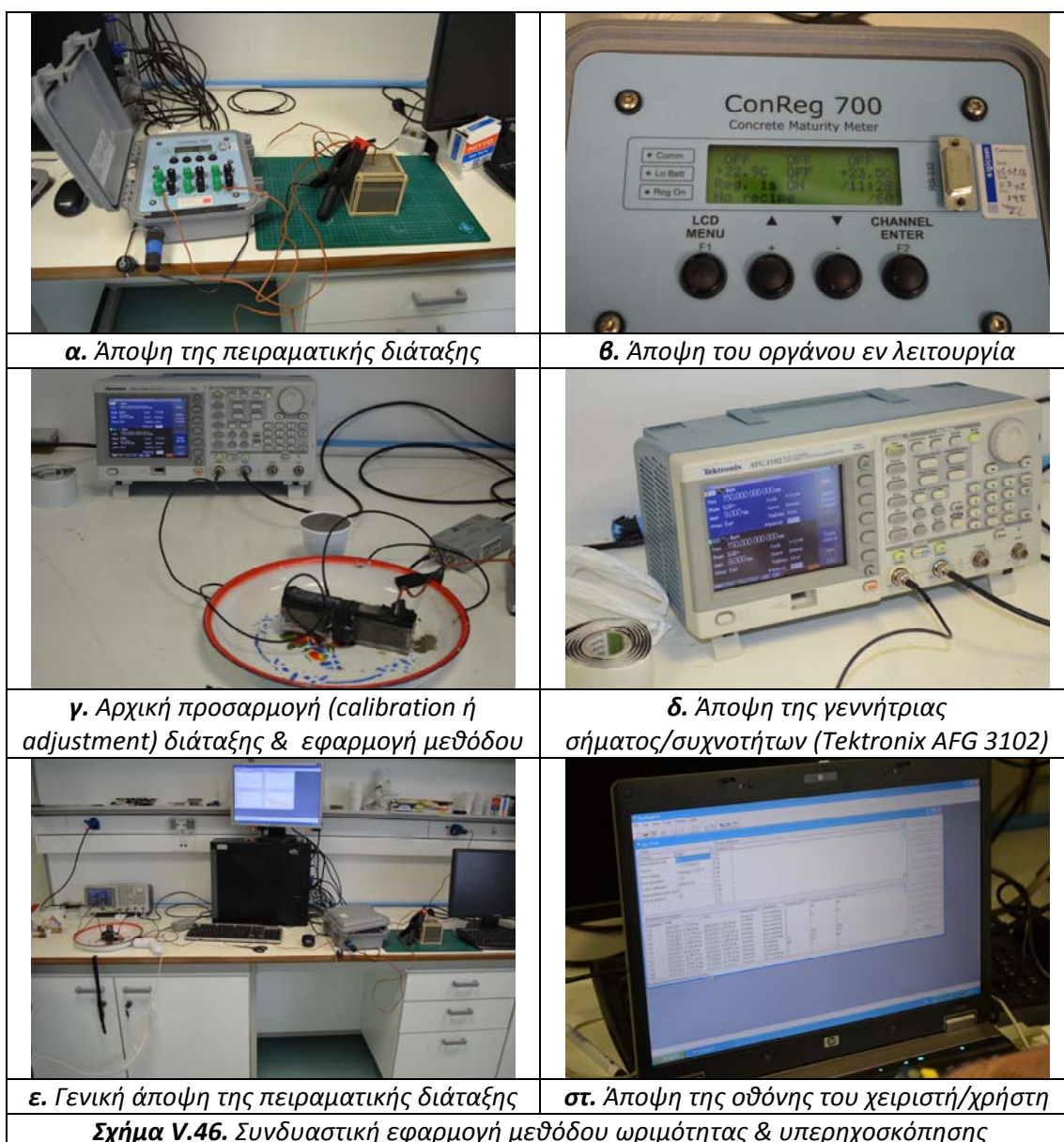


Σημειώνεται ότι η γνώση την ανάπτυξης των πρώιμων αντοχών του σκυροδέματος ουσιαστικά επιφέρει καίρια μεταβολή στο αυστηρά κατασκευαστικό μέρος ενός συγκεκριμένου έργου (π.χ. καθώς επιτρέπει την νωρίτερη απομάκρυνση των ξυλοτύπων – ξεκαλούπωμα– ή των καθορισμό του τέλους των συμβατικών υποχρεώσεων ενός έργου – ποιοτικός έλεγχος–, μείωση ανάγκης δειγματοληψίας και αντίστοιχων εργασιών ελέγχων, αποφυγή πρώιμης απομάκρυνσης ξυλοτύπων/έγκρισης έργου προς χρήση κλπ), ενώ συμβαδίζει απόλυτα με τις σύγχρονες αυξημένες κατασκευαστικές ανάγκες και

προτεραιότητες (π.χ. ραγδαία αύξηση μηχανικών αντοχών έναντι του χρόνου χωρίς όμως αυτή να συνοδεύεται από μειούμενη ποιότητα ή συμπεριφορά από τα προβλεπόμενα).

Όπως είναι γνωστό, το σκυρόδεμα αυξάνει τις μηχανικές αντοχές του μέσω της σταδιακής/προοδευτικής ανάπτυξης των ένυδρων CSH, όπου αυτή η ευθεία σχέση του βαθμού ενυδάτωσης και των αντοχών επηρεάζεται από την θερμοκρασία (όσον αφορά την κινητική αυτής). Αυτή ακριβώς η παρατήρηση γίνεται ευκολότερα αντιληπτή όταν συγκριθούνε σκυροδέματα που τοποθετούνται και συντηρούνται σε υψηλότερες θερμοκρασίες (π.χ. κατά το θέρος/καλοκαίρι) έναντι χαμηλότερων/ψυχρότερων θερμοκρασιών (π.χ. κατά την διάρκεια του χειμώνα). Αυτή η ιδιότητα, της συσχέτισης χρόνου-θερμοκρασίας με συγκεκριμένη σύνθεση σκυροδέματος, εκφράζεται μέσω του προαναφερθέντος δείκτη ωριμότητας.

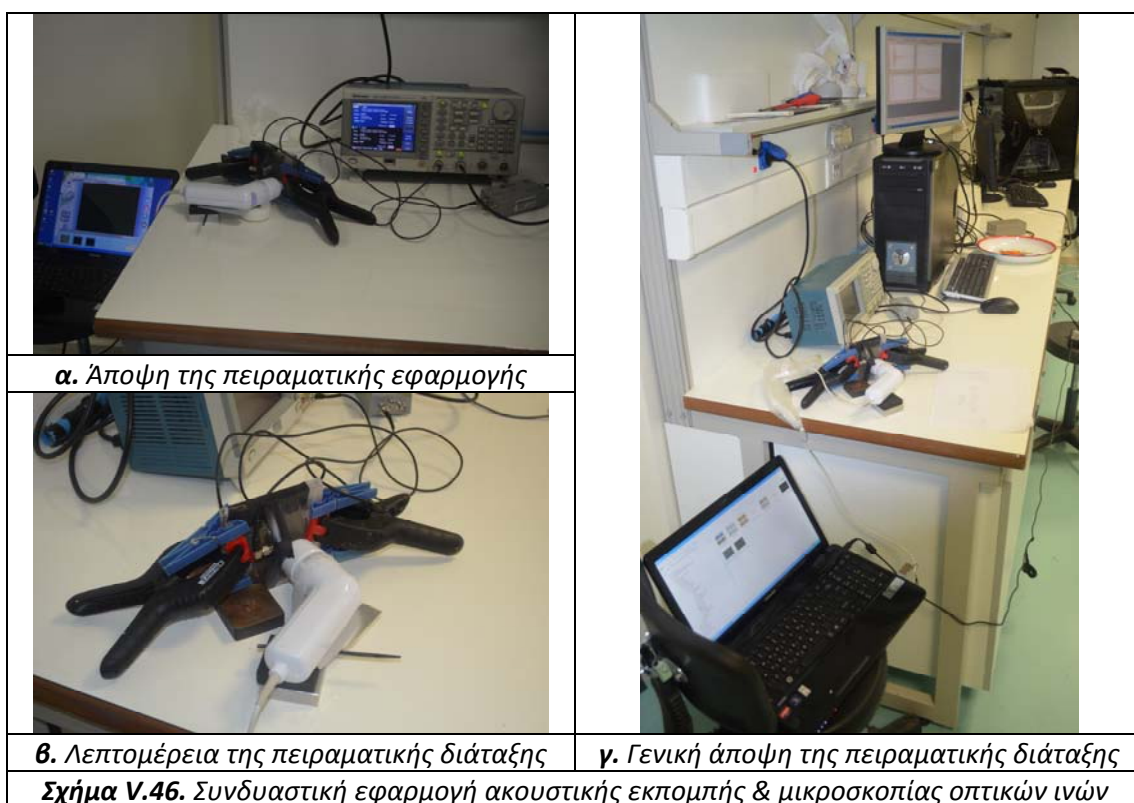
Η ωριμότητα ενός συγκεκριμένου/τοποθετημένου σκυροδέματος, ως μέτρο προόδου της ενυδάτωσης αυτού, καταγράφεται μέσω του θερμοκρασιακού ιστορικού του υπό μελέτη σκυροδέματος με ειδικά συστήματα αισθητήρων και είτε μέσω μαθηματικών σχέσεων είτε με αξιοποίηση μετρητή ωριμότητας ("maturity meter"), λαμβάνει χώρα ποσοτικοποίηση και συσχέτιση με τις αντοχές του σκυροδέματος ("δείκτης ωριμότητας").



Σχήμα V.46. Συνδυαστική εφαρμογή μεθόδου ωριμότητας & υπερηχοσκόπησης

Ακουστική εκπομπή (Acoustic Emission)

Ως Μέθοδος Μη-Καταστρεπτικού Ελέγχου, η Ακουστική Εκπομπή (βλέπε **Σχήμα V.46**) βασίζεται στην μετατροπή ακουστικών/ελαστικών κυμάτων (τα οποία παράγονται εντός ενός υλικού με απότομη απελευθέρωση ενέργειας) σε ηλεκτρικά σήματα, μέσω κατάλληλων πιεζοηλεκτρικών αισθητήρων (των οποίων το εύρος συχνοτήτων διέγερσης υπερήχων είναι από 20 έως 3000 kHz). Περισσότερο λεπτομερώς, ως ακουστική εκπομπή νοείται και ορίζεται το φαινόμενο των μεταβατικών τασικών κυμάτων, τα οποία παράγονται/προέρχονται από το υλικό αυτό καθ'εαυτό κατά την απότομη απελευθέρωση ενέργειας (είτε λόγω έναρξης και διάδοσης αστοχίας εντός του υλικού, είτε λόγω άλλης διάδοσης προϋπάρχουσας ζημιάς εντός αυτού). Επίσης, άλλες πηγές ακουστικής εκπομπής μπορεί να είναι η τήξη του υλικού και η αλλαγή φάσης, ενώ λόγω της κοινής συνισταμένης των παραγόμενων φορτίσεων/τάσεων, το φαινόμενο ονομάζεται και "Έκπομπή Κυμάτων Τάσης" ("Stress-Wave Emission").



Είναι εμφανές ότι το υπό μελέτη σήμα στην Μη-Καταστρεπτική Μέθοδο της Ακουστικής Εκπομπής προέρχεται από το υλικό αυτό καθ'εαυτό και όχι από κάποια εξωτερική πηγή, ενώ οι αισθητήρες που αναφέρθηκαν προηγουμένως αρκεί να τοποθετηθούν στην επιφάνεια του υπό εξέταση υλικού, όπου και μετατρέπουν τα τασικά αυτά κύματα από "μικρο-αστοχίες" σε ηλεκτρικά σήματα τα οποία ενισχύονται, φιλτράρονται και επεξεργάζονται περαιτέρω από κατάλληλα πολυκάναλα συστήματα και λογισμικό συλλογής/επεξεργασίας δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Η Ακουστική Εκπομπή παρέχει άμεσες πληροφορίες τόσο για την κατάσταση, απόκριση και συμπεριφορά ενός υλικού, όσο και για την συσσώρευση βλάβης και πιθανής έναρξης αστοχίας αυτού. Συνεπώς, βρίσκει εξαιρετικό πεδίο εφαρμογών ανίχνευσης και ποσοτικοποίησης σημάτων, τα οποία συσχετίζονται με το φορτίο και τον προσδιορισμό της συσσωρευμένης βλάβης στο υλικό. Για την ακριβέστερη και αποδοτικότερη ανάλυση της πληροφορίας, τα σύγχρονα συστήματα Ακουστικής Εκπομπής αξιοποιούν αρχιτεκτονική

παράλληλης επεξεργασίας με εξαιρετικά ισχυρή υπολογιστική ισχύ επεξεργασίας σήματος και πολλαπλούς αισθητήρες, ενώ η μελέτη και διερεύνηση των ληφθέντων παλμών αποτελεί πολύπλοκη διαδικασία.

Τα χαρακτηριστικά ενός παλμού Ακουστικής Εκπομπής συμπεριλαμβάνουν τον χρόνο ανόδου (TR), την συνολική διάρκεια (TD) και το πλάτος του παλμού (*εφόσον πάντα αυτός υπερβαίνει ένα καθορισμένο μέγεθος ορίου/κατωφλίου –threshold*). Ως προς την εξαγωγή συμπερασμάτων, τα πρωτόλεια πειραματικά δεδομένα φιλτράρονται κατάλληλα από εξειδικευμένα κυκλώματα και επεξεργάζονται αρχικά γραφικά και ύστερα υπολογιστικά/αριθμητικά. Μέσω κατάλληλης επιλογής παραμέτρων και επεξεργασίας, εξάγονται τόσο διαγράμματα τάσης-παραμόρφωσης, μήκους ρωγμής-κύκλων φόρτισης όσο και συσχέτισης συνολικής ενέργειας παλμών προς συντελεστή έντασης τάσεων (K).

Κλείνοντας, είναι ιδιαίτερης σημασίας να τονισθεί ότι μέσω εφαρμογής Ακουστικής Εκπομπής, ο χρήστης δύναται να προσδιορίσει ταχύτητα, με χαμηλό κόστος και με εξαιρετική ακρίβεια την πιθανή θέση ασυνέχειας/ατέλειας ή εν δυνάμει ελαττώματος σε ένα υλικό (*μέσω της εφαρμογής πολλαπλών αισθητήρων υπερήχων και χρονικής συσχέτισης των ληφθέντων σημάτων*).

b.III. Σχεδιασμός εφαρμογής Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών και Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνων των ληφθέντων εικόνων ως προς την μελέτη και αποτίμηση της μικροδομής αυτών.

Στη συνέχεια, λαμβάνει χώρα η αποτίμηση της δυναμικής συσχέτισης της μικροδομής με τις μηχανικές αντοχές, όπου εξαρχής τονίζεται ότι για να λάβει χώρα αυτή η συσχέτιση (“*correlation*”) της επιφανειακής μικροδομής των δοκιμίων σκυροδέματος με τις τελικές μηχανικές αντοχές αυτών (στις 28 ημέρες μετά την τοποθέτηση/σκυροδέτηση) και να αποτιμηθεί αυτή η δυναμική σχέση, επεξεργάζονται κατάλληλα οι ληφθείσες εικόνες υφής (“*image patterns*”) της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών μέσω Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνων και τα πειραματικά αποτελέσματα αυτά συσχετίζονται ως προς τις τελικές μηχανικές αντοχές των δοκιμίων σκυροδέματος. Συνεπώς, είναι εμφανές ότι αυτή η καινοτόμος συνδυαστική και συνεργατική εφαρμογή Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών με Ψηφιακή Επεξεργασία αφορά τις εξαιρετικά πρώιμες ηλικίες του νωπού (“*fresh*”) σκυροδέματος και αποσκοπεί στην μελέτη της μικροδομής αυτού με απώτερο σκοπό την συσχέτιση με επιθυμητές ιδιότητες (ήτοι, μηχανικές αντοχές). Δηλαδή, η ιδιαίτερη σημασία της εφαρμογής της Μεθόδου έγκειται στην εφαρμογή αυτής στις πρώιμες ηλικίες του νωπού σκυροδέματος: ως σκυρόδεμα των αρχικών/πρώιμων ηλικιών ορίζεται/νοείται το σκυρόδεμα κατά τις πρώτες ώρες της τοποθέτησης/σκυροδέτησης του, διάρκεια κατά την οποία αυτό πήζει και οι αντοχές του δεν έχουν αναπτυχθεί ακόμα ώστε να φέρουν κάποιο ελάχιστο φορτίο (επιτρέποντας π.χ. την αφαίρεση των ξυλοτύπων και την συνέχιση της σκυροδέτησης).

Κατά την ιδιαίτερα σημαντική αυτή χρονική περίοδο (σημαντική για τα μελλούμενα και τις ιδιότητες που θα αποκτήσει), το σκυρόδεμα (αμέσως μετά την ανάμιξη των συστατικών και παραγωγή του) αποτελεί ένα πλαστικό ρευστό υλικό, εντός του οποίου λαμβάνουν χώρα διεργασίες καίριας σημασίας για την μετέπειτα σκληρυμένη κατάσταση του. Η διεθνής βιβλιογραφία στο συγκεκριμένο ερευνητικό πεδίο του πρώιμου σκυροδέματος (“*fresh concrete*” ή “*early-age concrete*”) είναι εξαιρετικά ευρεία και ερευνά όλες τις εκφάνσεις αυτού (π.χ. μακροπρόθεση συμπεριφορά, θλιπτική αντοχή f_c , μέτρο ελαστικότητας E_c , ερπυσμός, ανθεκτικότητα κλπ) ενώ έχει ορίσει όλες τις υπό μελέτη ιδιότητες που επηρεάζουν το τελικό προϊόν σκυροδέματος (π.χ. εργασιμότητα, απώλεια κάθισης, διαχωρισμός, εξίδρωση, ρηγματώσεις κατά την πλαστική φάση λόγω ξήρανσης, χρόνος πήξης, θερμοκρασία).

Ως εκ τούτου, η Μέθοδος που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής εφαρμόζεται στα πρώτα λεπτά (έως το πέρας της πρώτης ώρας) από την έναρξη της σκυροδέτησης/τοποθέτησης του σκυροδέματος και περιγράφεται λεπτομερώς. Ο απόλυτος και πρωταρχικός σκοπός της ψηφιακής επεξεργασίας μίας εικόνας είναι η ανάδειξη και εξαγωγή όσο το δυνατόν περισσότερων σημαντικών πληροφοριών και χαρακτηριστικών από αυτήν, με στόχο την απόδοση ιδιοτήτων και εν τέλει, της πληρέστερης κατανόησης της περιεχόμενης Πληροφορίας. Επιπλέον, η ευχρηστία του υπολογιστικού περιβάλλοντος του MatLab® και ειδικότερα δε, το εκτενέστατο “οπλοστάσιο” πανίσχυρων αλγορίθμων και αξιόπιστων συναρτήσεων για την επεξεργασία πολυδιάστατων πινάκων (όπως π.χ. στην περίπτωση των εικόνων, θεωρημένων ως δυσδιάστατους πίνακες) το οποίο εμπεριέχει (“*Image Processing Toolbox*”), καθιστά το MatLab® αναπόσπαστο εργαλείο για την προσέγγιση και κατανόηση μίας εικόνας μέσω Ψηφιακής Επεξεργασίας. Μερικοί χρήσιμοι εισαγωγικοί ορισμοί έχουν ως εξής:

- Ως “εικόνα” μπορεί να ορισθεί μία συνάρτηση δύο διαστάσεων $f(x, y)$, όπου x και y είναι οι χωρικές συντεταγμένες και η τιμή της f (φωτεινότητας) σε καθένα δεδομένο ζευγάρι συντεταγμένων x, y ονομάζεται ένταση (“*intensity*”) της εικόνας στο δεδομένο χωρικό σημείο.

- Ως “γκρίζο επίπεδο” (“gray level”) ορίζεται ως η ένταση μονόχρωμων εικόνων, ενώ ως “έγχρωμες εικόνες” ορίζονται οι συνδυασμοί ξεχωριστών/ανεξάρτητων δυοδιάστατων εικόνων (π.χ. στο χρωματικό σύστημα “RGB”, μία έγχρωμη εικόνα αποτελείται από τρία διαφορετικά χρωματικά επίπεδα: μία κόκκινη εικόνα, μία πράσινη και μία μπλε).

- Ως “ψηφιακή εικόνα” νοείται το αποτέλεσμα τόσο του κβαντισμού (“quantization”) των τιμών έντασης όσο και της δειγματοληψίας (“sampling”) των χωρικών συντεταγμένων (ψηφιοποίηση/μετατροπή όλων των x , y και f σε πεπερασμένες, διακριτές ποσότητες).

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, οι εικόνες που λαμβάνονται και προωθούνται ως πρωτογενής πληροφορία εισόδου στο υπολογιστικό σύστημα της Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας, είναι προϊόντα εφαρμογής της Μη-Καταστρεπτικής Μεθόδου της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών. Για τον λόγο αυτό προσαρμόστηκαν κατάλληλα εποπτικά πλαίσια (“παράθυρα”) (υλικού πολυμεθυλ-μεθακρυλικής ρητίνης –PMMA- και συγκεκριμένων διαστάσεων) επί του ξυλότυπου των δοκιμίων.

Η προετοιμασία της πειραματικής εφαρμογής περιελάμβανε την λήψη εικόνων ανά τακτά διαστήματα υπό μεγεθύνσεων 25x και 50x, όπερ ενδεικτικά σημαίνει ότι σε μία ψηφιακή εικόνα διαστάσεων 640x480pixels (και υπό επιλεγμένη μεγέθυνση 25x) κάθε 1mm αναλογεί σε 42pixels.

Όλα τα καίρια σχεδιαστικά στάδια συμπεριληφθήκαν στην αλγοριθμική επεξεργαστική προσέγγιση των εικόνων που ελήφθησαν μέσω Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών σε δείγματα/δοκίμια συνθέσεων σκυροδεμάτων, τόσο σε επίπεδο κτήσης της εικόνας (“image acquisition”), ενίσχυσης/βελτίωσης αυτής (“image enhancement”) αλλά κυρίως μορφολογικής επεξεργασίας (“morphological processing”), αναγνώρισης αντικειμένων ενδιαφέροντος (“object recognition”) και εν τέλει αναπαράστασης και περιγραφής (“representation & description”), με απώτερο σκοπό την ακριβέστερη απόδοση των χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων της πρωταρχικής εικόνας.

Ουσιαστικά, η εικόνα που ελήφθη μέσω Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών λαμβάνει υπολογιστική επεξεργασία υπό την μορφή του διαχωρισμού (κατάτμησης) των αντικειμένων αυτής (“image segmentation”), όπου διακριτοποιείται σε μη-επικαλυπτόμενες περιοχές ανάλυσης και απομονωμένης επεξεργασίας. Στο σημείο αυτό εφαρμόζεται η μέθοδος της τιμής κατωφλίου (“thresholding”) καθώς και τονισμός των αντιθέσεων (“contrast enhancement”). Σημειώνεται δε, ότι τα ορισθέντα επίπεδα κατωφλίου είναι αποτέλεσμα πειραματικού πειραματισμού, επιλεχθέντα βάσει των τιμών που εμφανίζονται στα ανάλογα/αντίστοιχα ιστογράμματα ανάδειξης της πληροφορίας. Εξαιρετικά ελαφριές μεταβολές στις τιμές των κατωφλίων επιτρέπονταν –εάν αυτό κρινόταν αναγκαίο– ούτως ώστε να επιτυγχάνεται ομοιόμορφα οπτικά ικανοποιητική οριακή τιμή, έχοντας πάντα κρατήσει σταθερές τις τιμές έκθεσης και φωτισμού στις υπό λήψη/κτήση εικόνες.

Εν συνεχεία και συνοψίζοντας τα παραπάνω, ο εφαρμοζόμενος αλγόριθμος που σχεδιάστηκε, αναπτύχθηκε και τέθηκε σε εφαρμογή (έπειτα από συνεχείς βελτιώσεις/ανατροφοδοτήσεις –feedback-) έχει ως εξής, εκφρασμένος σε ψευδογλώσσα:

~ **Βήμα 1:** Διάβασε/φόρτωσε την αρχική εικόνα υπό μελέτη/επεξεργασία.

Βήμα 1.1. Δείξε την αρχική μορφή της εικόνας υπό επεξεργασία.

~ **Βήμα 2:** Μετάτρεψε την αρχική (έγχρωμη) εικόνα σε ασπρόμαυρη εικόνας έντασης (“grayscale”), μέσω της απόρριψης πληροφοριών απόχρωσης (“hue”) και κορεσμού (“saturation”) και συγκράτησης των τιμών της φωτεινότητας (“luminance”).

Βήμα 2.1. Δείξε την επεξεργασμένη ασπρόμαυρη πλέον εικόνα.

~ **Βήμα 3:** Βελτίωσε την αντίθεση της μαυρόασπρης εικόνας μέσω της επεξεργασίας των τιμών αυτής με εφαρμογή κατά αντίθεση προσαρμοστική ισοστάθμιση ιστογράμματος (“Contrast-limited adaptive histogram equalization –CLAHE”). Με τον τρόπο αυτό, ουσιαστικά επιτυγχάνεται τόσο η αντίθεση (μέσω της ισοστάθμισης του ιστογράμματος) της εικόνας όσο και η αρχική απάλειψη “θορύβου” που ενδεχομένως να είναι παρών στην εικόνα (ειδικότερα δε, σε ομογενείς περιοχές αυτής).

~ **Βήμα 4:** Εφάρμοσε το γραμμικό, προσαρμοστικό φίλτρο “Wiener2” για την βέλτιστη απομάκρυνση του θορύβου (μέσω εκτίμησης της εγγύτητας/γειτονίας των pixels και υπολογισμού της αντίστοιχης τοπικής μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης).

~ **Βήμα 5:** Δείξε την αρχική εικόνα, την μαυρόασπρη_ισοσταθμισμένη εικόνα και την φιλτραρισμένη εικόνα μαζί με τα αντίστοιχα ιστογράμματα τους.

~ **Βήμα 6:** Εφάρμοσε κατάλληλο κατώφλι τιμών έντασης στην παραπάνω εικόνα και εφάρμοσε μετασχηματισμό αντιστροφής/αρνητικού (“συμπληρώματος”).

Βήμα 6.1. Δείξε την επεξεργασμένη εικόνα.

~ **Βήμα 7:** Απομάκρυνε περαιτέρω μη-χρήσιμα σωματίδια/θόρυβο, μέσω του υπολογισμού του περιγράμματος τους (των εξωτερικών/συνοριακών τους στοιχείων/pixels)

Βήμα 7.1. Δείξε την επεξεργασμένη εικόνα.

~ **Βήμα 8:** Δημιούργησε επαναληπτικό βρόχο.

~ **Βήμα 9:** Υπολόγισε/“μέτρησε” σε όλο το εύρος της τελικής επεξεργασμένης εικόνας υφής τις τιμές των κάτωθι συγκεκριμένων βασικών μορφολογικών ιδιοτήτων/χαρακτηριστικών:

περιοχή, κεντροειδές, εκκεντρότητα, αριθμό Όιλερ σε δυαδική εικόνα, περίμετρο, στερεότητα

~ **Βήμα 10:** Παρήγαγε τα αποτελέσματα (ως εξόδους πληροφορίας) υπό την μορφή κειμένων, πινάκων και γραφημάτων.

Ο παραπάνω αλγόριθμος είναι ενδεικτικός της εξαγωγής των χρήσιμων παραμέτρων της εικόνας (ουσιαστικά εφαρμόζοντας επιλεκτική κατάτμηση αυτής μέσω των χαρακτηριστικών υφής - “segmentation via texture features”) και οδηγεί στον πληροφοριακό χαρακτηρισμό της εικόνας. Το εξαιρετικά σημαντικό κομμάτι της προ-επεξεργασίας (“pre-processing”) ενείχε την εύρεση κατάλληλης/βέλτιστης τιμής κατωφλίου κατά την τμηματοποίηση (“segmentation”), ούτως ώστε να επιτρέπεται/υποβοηθείται η εκτίμηση της διάκρισης μεταξύ των κλάσεων/χαρακτηριστικών του δισδιάστατου χώρου (το οποίο άπτεται σε ερευνητικά ενδιαφέροντα εξαγωγής μορφών –“shape interrogation”- και επεξεργασίας γεωμετρίας –“geometry processing”-).


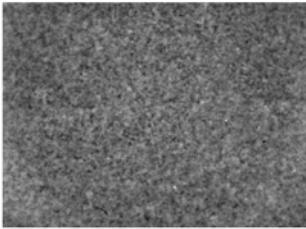
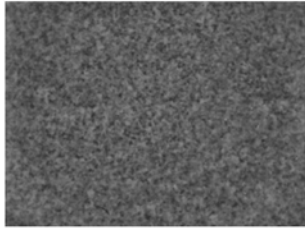
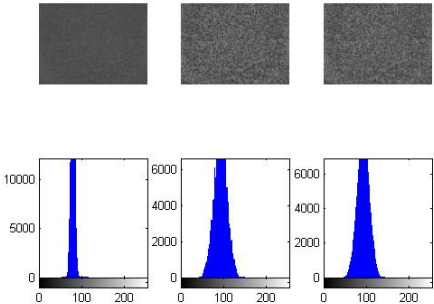
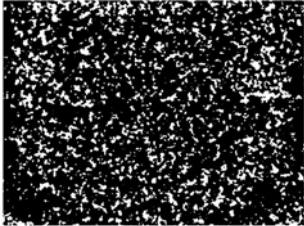
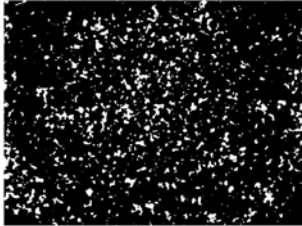
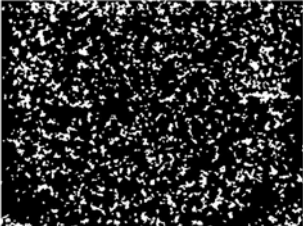
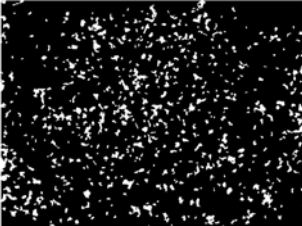

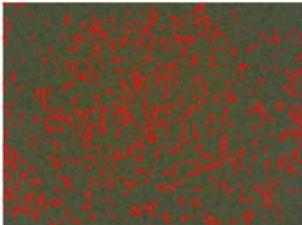
Εν συνεχεία, εφαρμόστηκε ο ως άνωθι αλγόριθμος για κάθε μία από τις πέντε συνθέσεις σκυροδέματος (όπως αυτές παρουσιάζονται στον κάτωθι Πίνακα V.12.), για καθεμία από τις δύο μεγεθύνσεις του Μικροσκοπίου Οπτικών Ινών (25x, 50x) στις πρώιμες ηλικίες ενδιαφέροντος και μελέτης της σκυροδέτησης: έναρξη (t_0), t_0+5 λεπτά, t_0+10 λεπτά, t_0+15 λεπτά, t_0+20 λεπτά, t_0+25 λεπτά, t_0+30 λεπτά, t_0+40 λεπτά, t_0+50 λεπτά και t_0+60 λεπτά.

Πίνακας V.12. Κωδικοποίηση πειραματικών σειρών/συνθέσεων σκυροδεμάτων


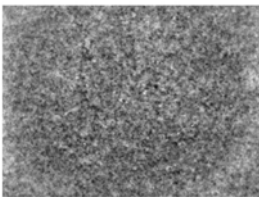
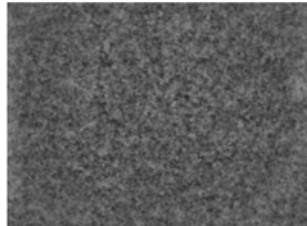
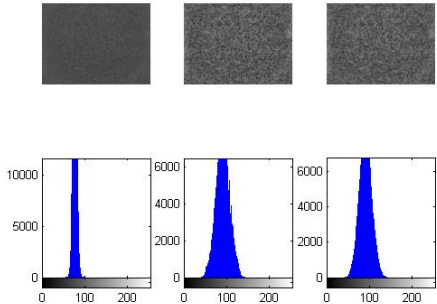
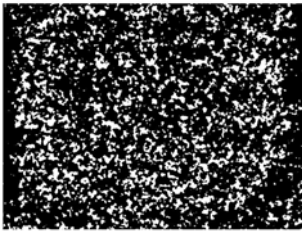
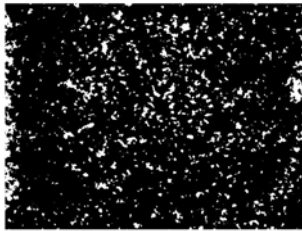
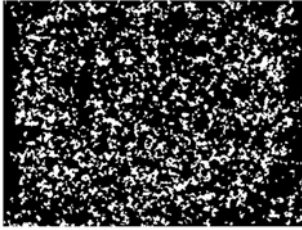
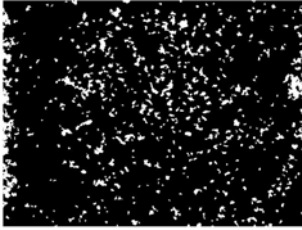
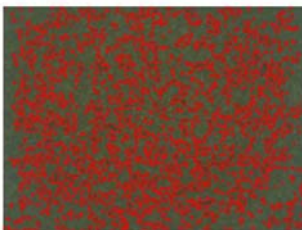

1	α _CEM_I_42_5
2	β _CEM_II_42_5
3	γ _CEM_II_32_5
4	δ _CEM_IV_32_5
5	ϵ _CEM_I_52_5

Σημειώνεται δε ότι οι εικόνες-αποτελέσματα της ψηφιακής επεξεργασίας (βάσει του παραπάνω αλγόριθμου) έχουν ως πρωτόλεια πηγή την αντίστοιχη αρχική εικόνα της δεδομένης χρονικής στιγμής/ηλικίας λήψης (η οποία έχει ληφθεί εις τριπλούν ώστε να επιτυγχάνεται αντιπροσωπευτικότητα των πρωτογενών δεδομένων) του σκυροδέματος υπό τοποθέτηση/σκυροδέτηση.


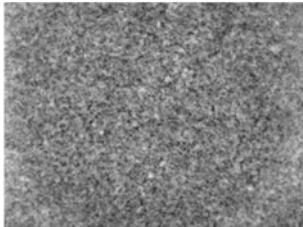
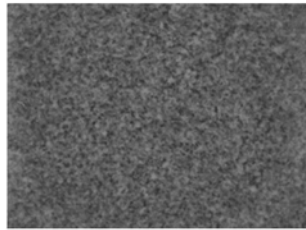
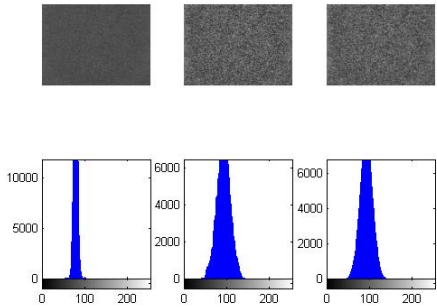
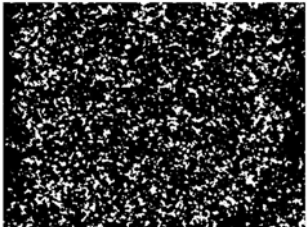
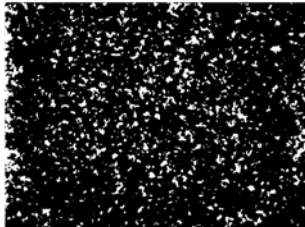
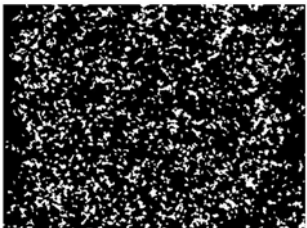
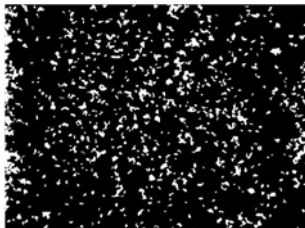

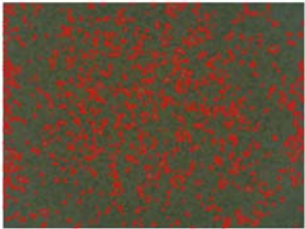
Σχήμα V.47. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: t_0)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


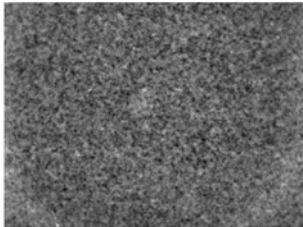
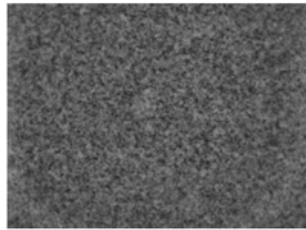
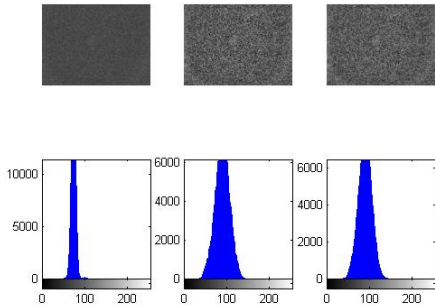
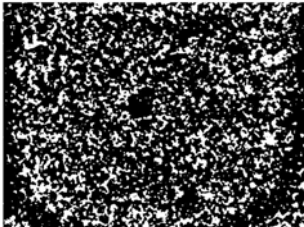
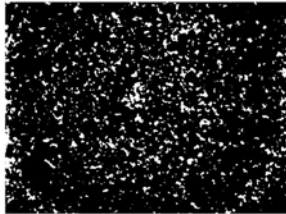
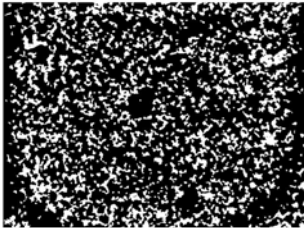
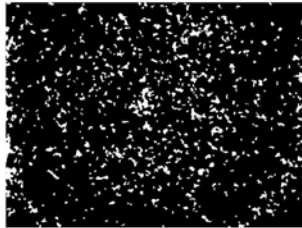
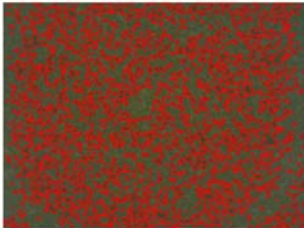
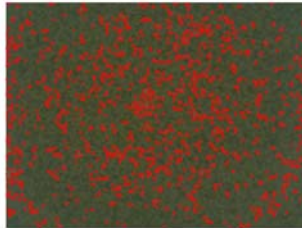
Σχήμα V.48. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 5 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


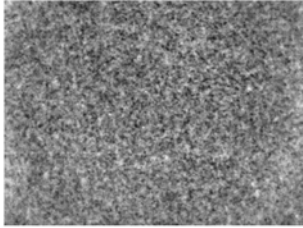
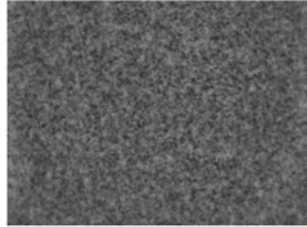
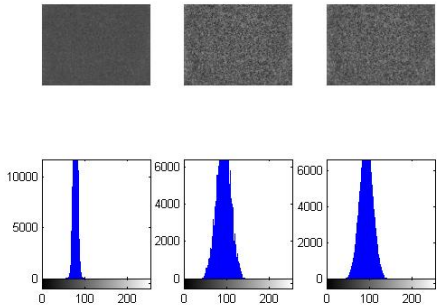
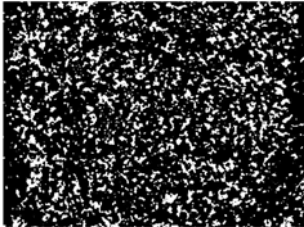
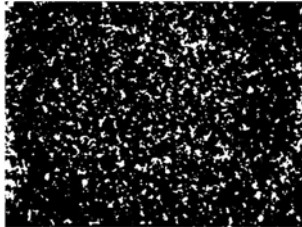
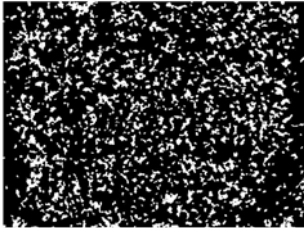
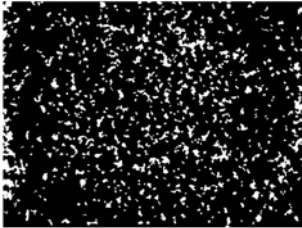
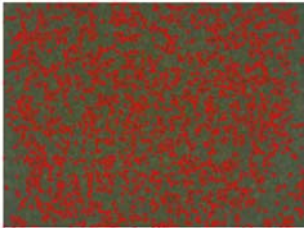
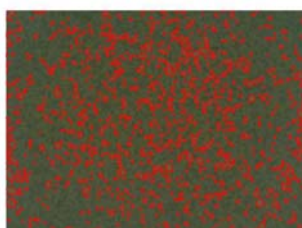
Σχήμα V.49. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 10 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
			<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


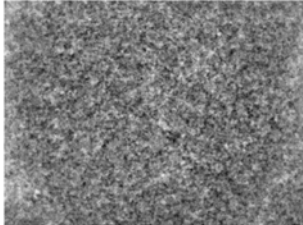
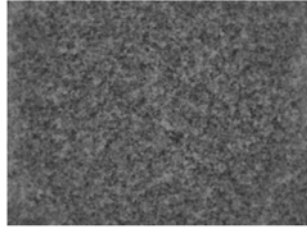
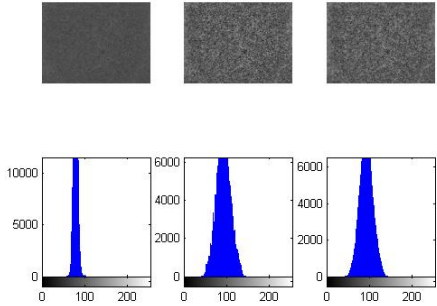
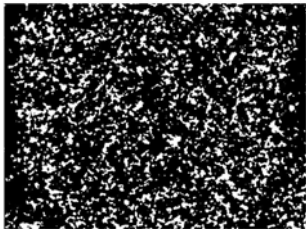
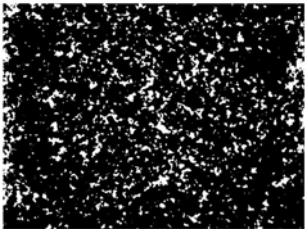
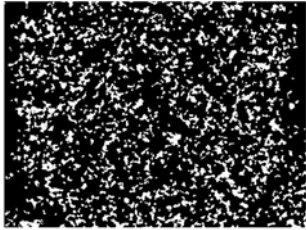
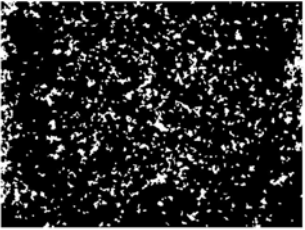

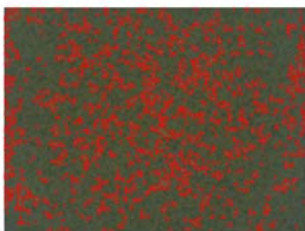
Σχήμα V.50. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 15 \text{ min}$)

		
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>	<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>	
<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


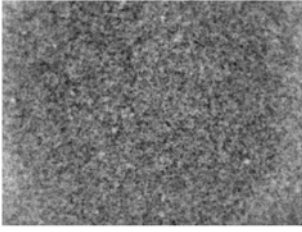
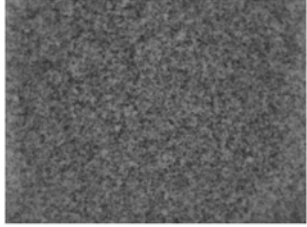
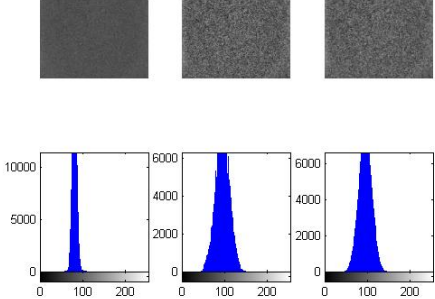
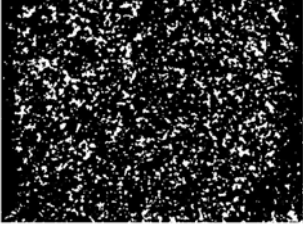
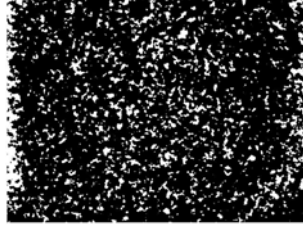
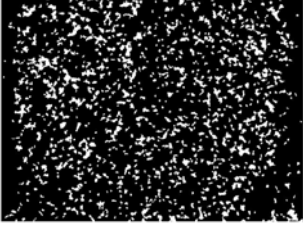
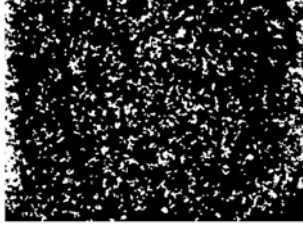
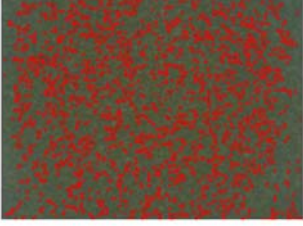
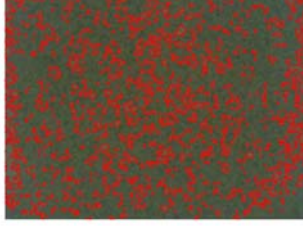
Σχήμα V.51. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 20 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


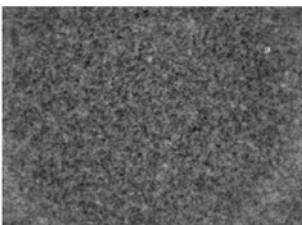
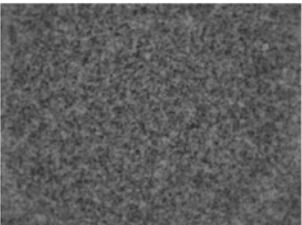
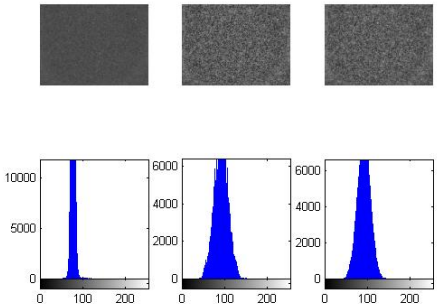
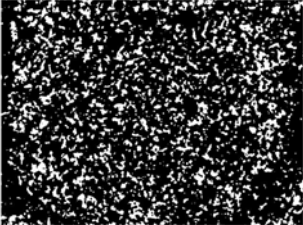
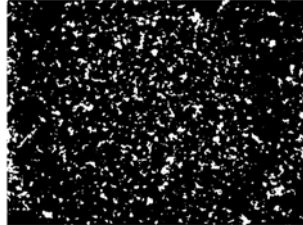
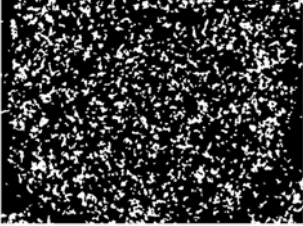
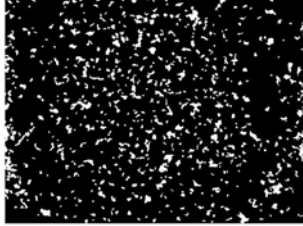
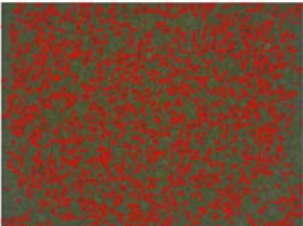
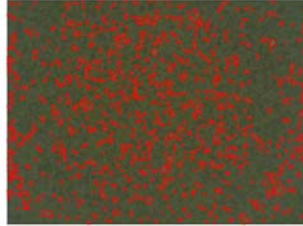
Σχήμα V.52. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 25 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


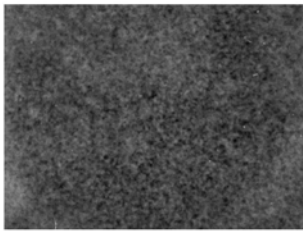
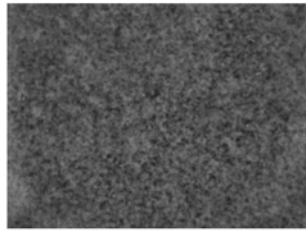
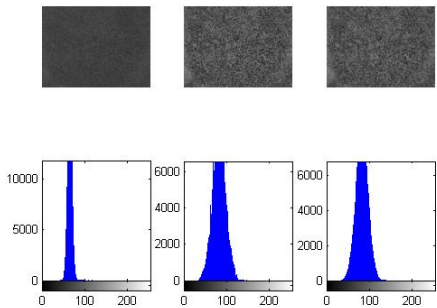
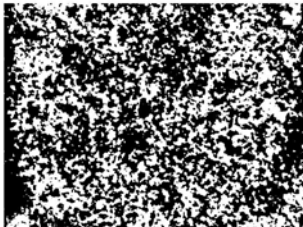
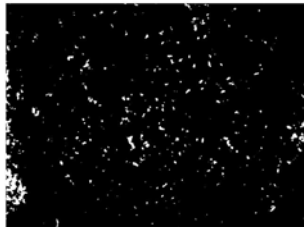
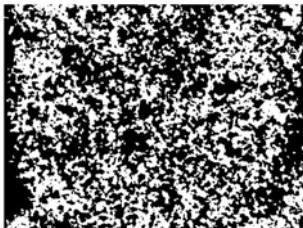

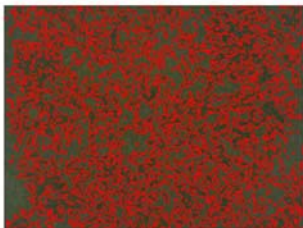
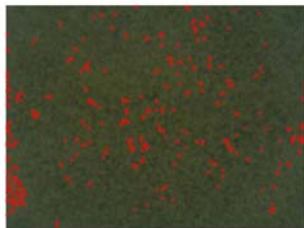
Σχήμα V.53. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 30 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>Ήψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ήψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ήψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


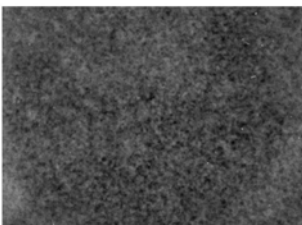
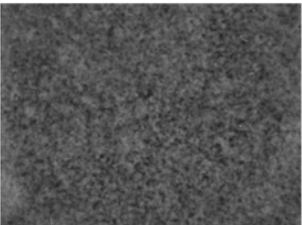
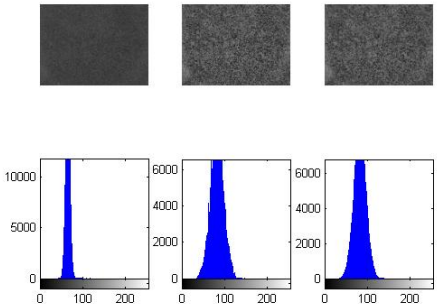

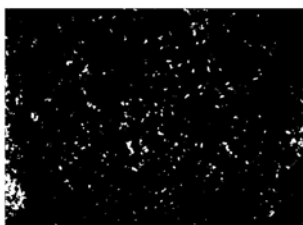
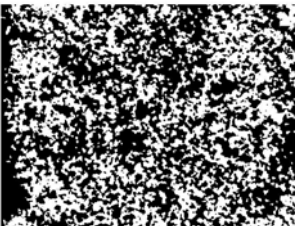

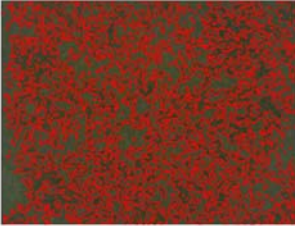
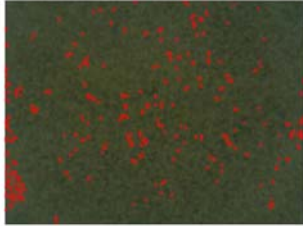
Σχήμα V.54. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 40 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


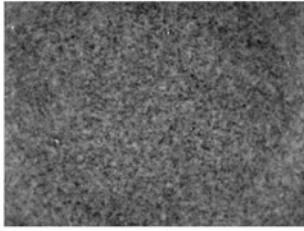

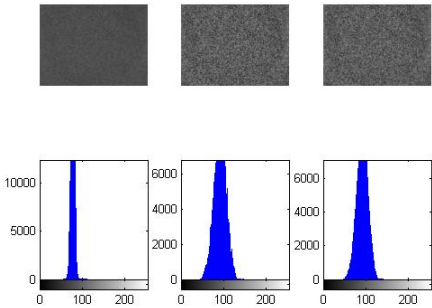
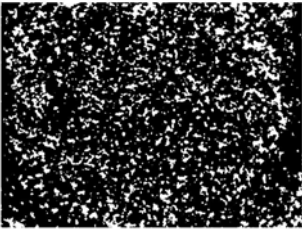
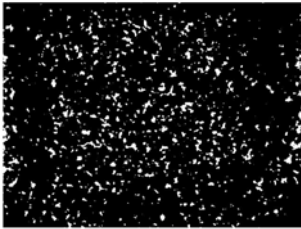
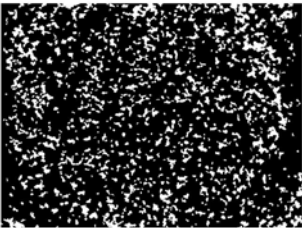
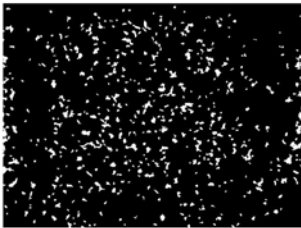
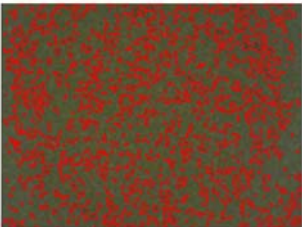
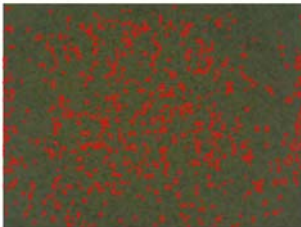
Σχήμα V.55. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 50 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


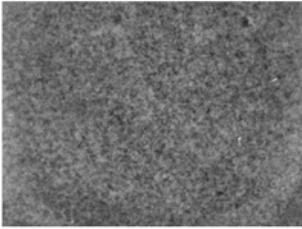
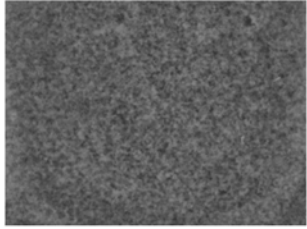
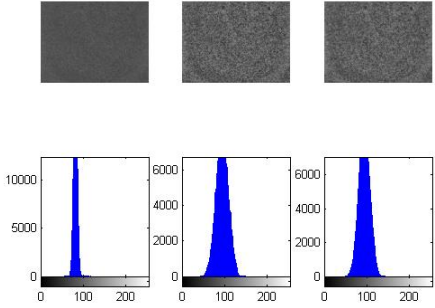
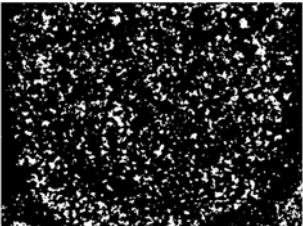
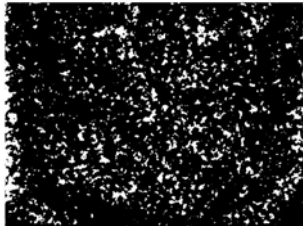
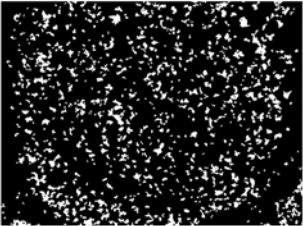
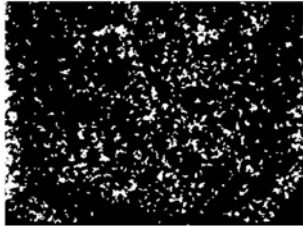
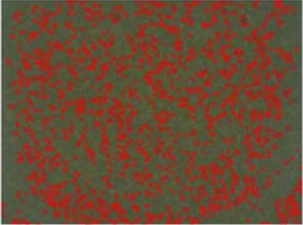
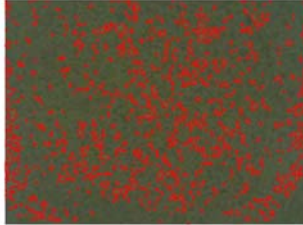
Σχήμα V.56. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 60 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


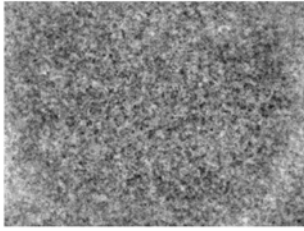
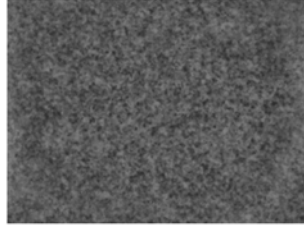
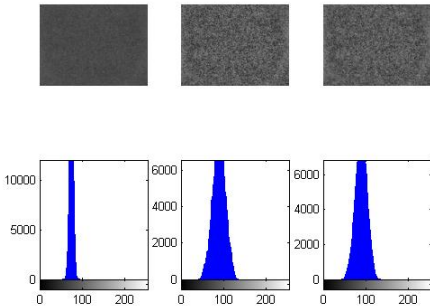
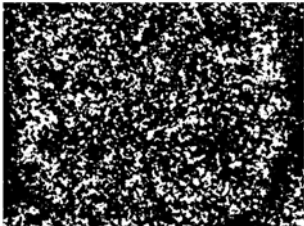
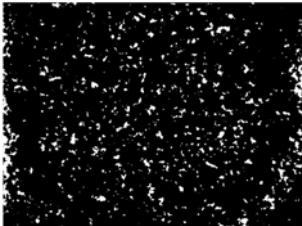
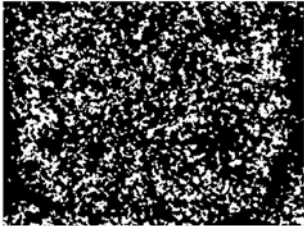
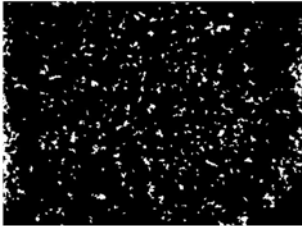
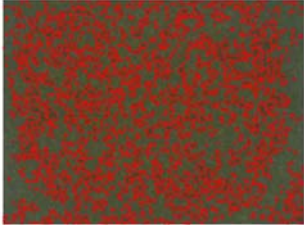
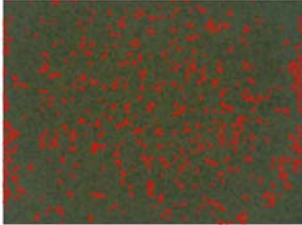
Σχήμα V.57. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: t_0)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


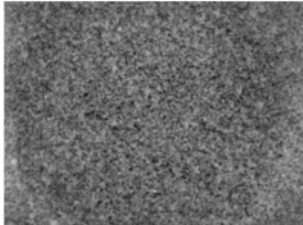
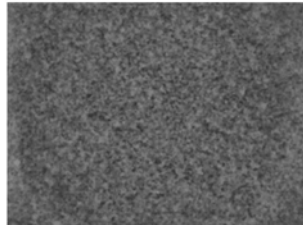
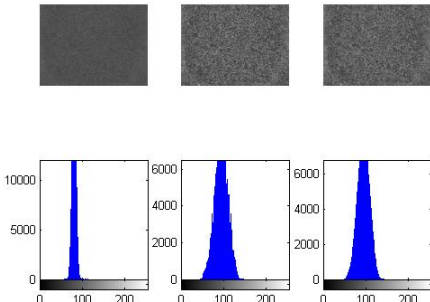
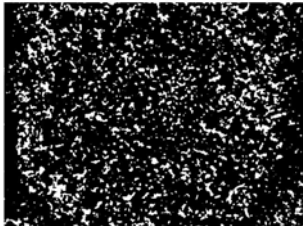
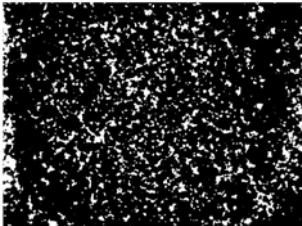
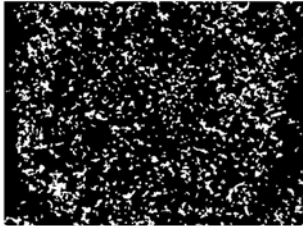
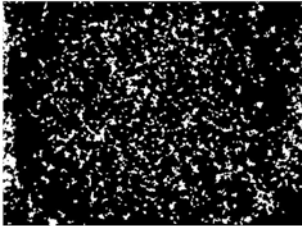
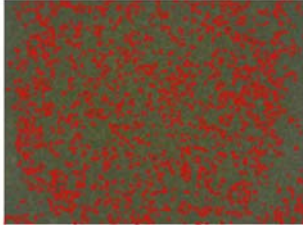
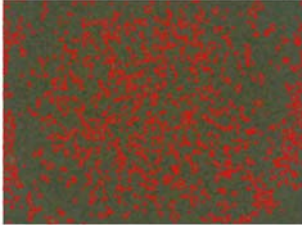
Σχήμα V.58. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 5 \text{ min}$)

		
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>	
<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>	
<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>		


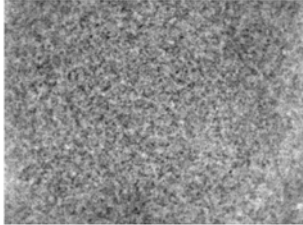
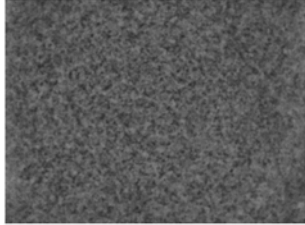
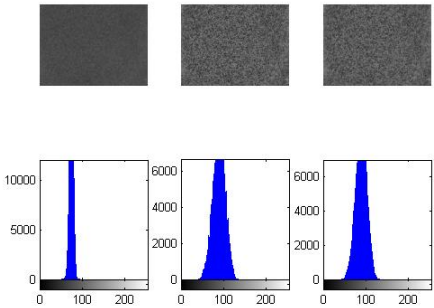
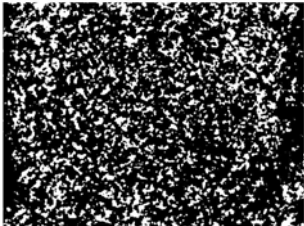
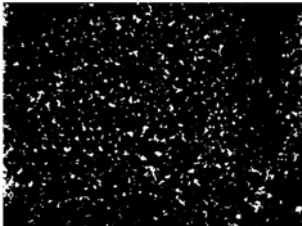
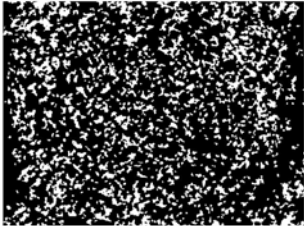
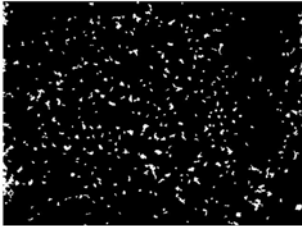
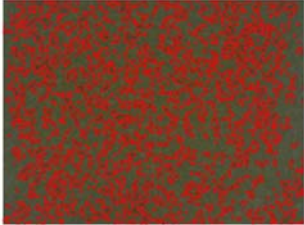
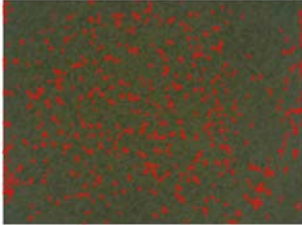
Σχήμα VII.13. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 10 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


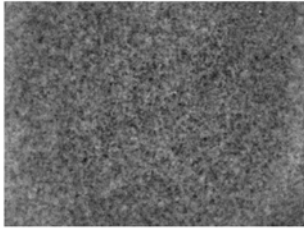
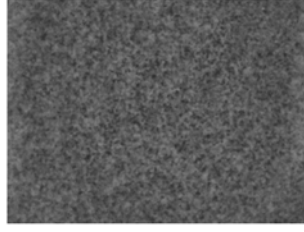
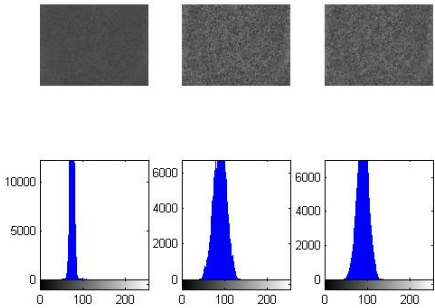
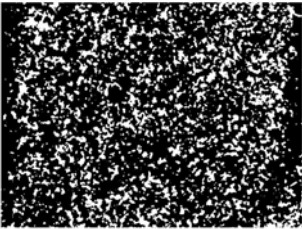
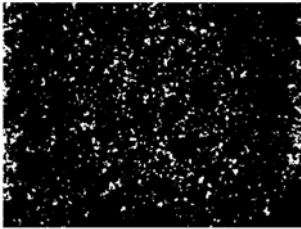
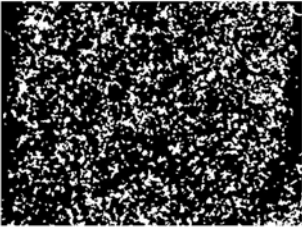
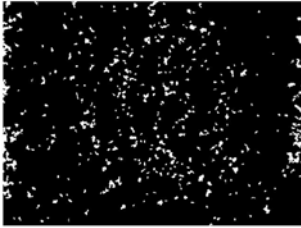

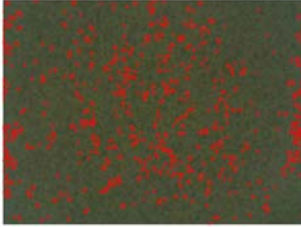
Σχήμα V.60. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 15 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


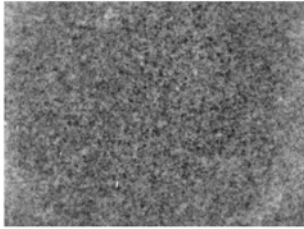
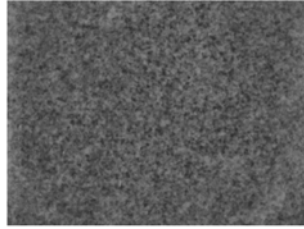
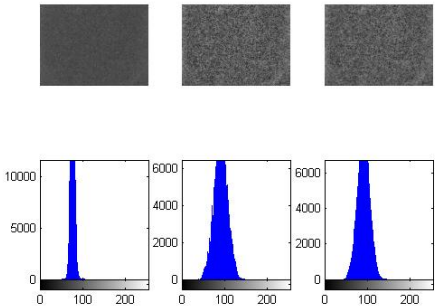

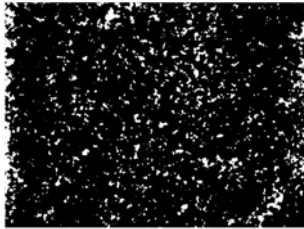
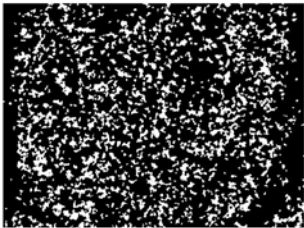
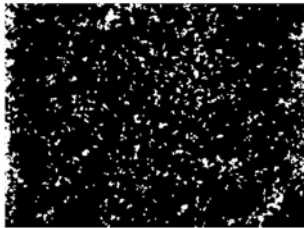

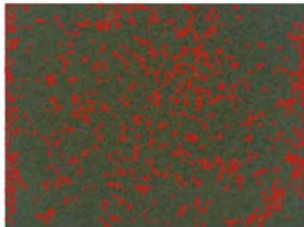
Σχήμα V.61. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 20 \text{ min}$)

 <p>I. Αρχική εικόνα</p>	 <p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	 <p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
 <p>V.a. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	 <p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
 <p>VI.a. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>	 <p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>	
 <p>VII.a. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>	 <p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>	


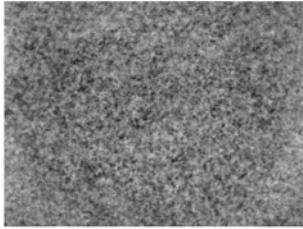
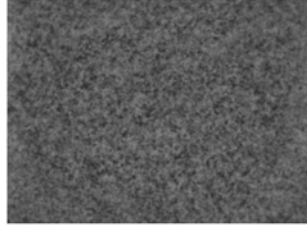
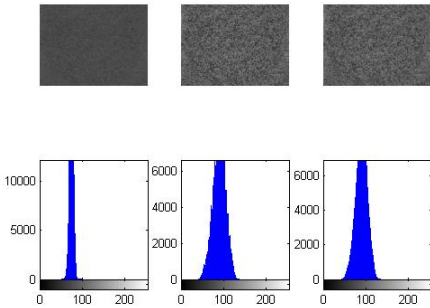
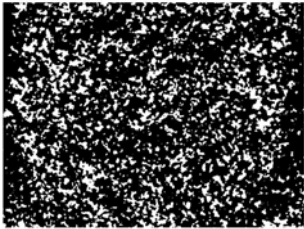
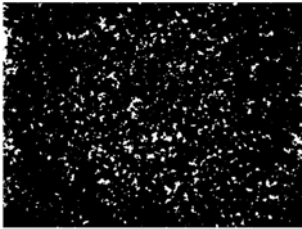
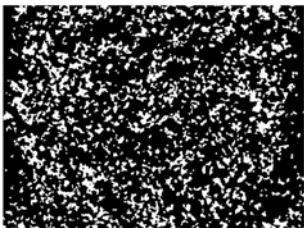
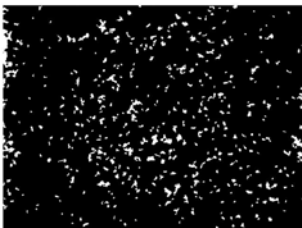
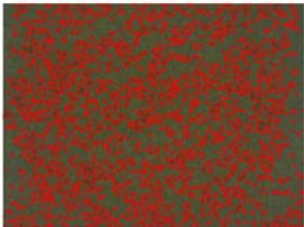
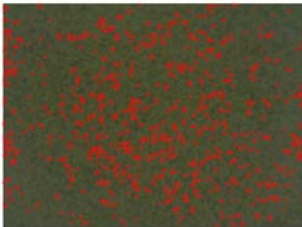
Σχήμα V.62. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 25 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


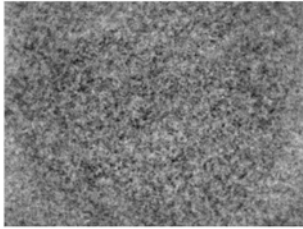
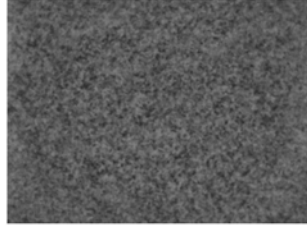
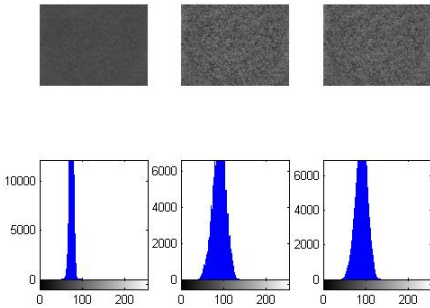
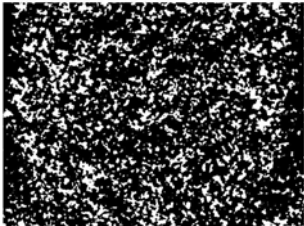
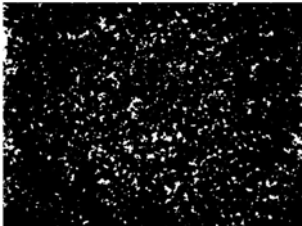
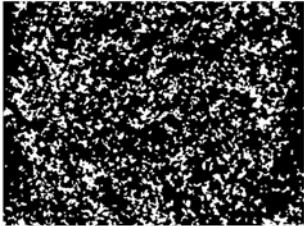
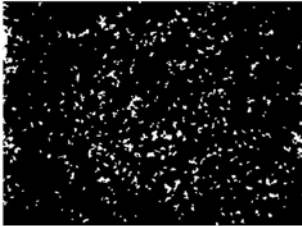
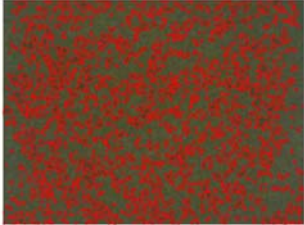
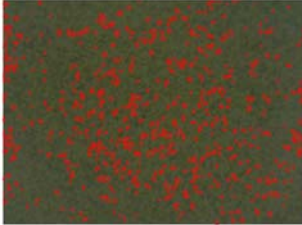
Σχήμα V.63. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 30 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


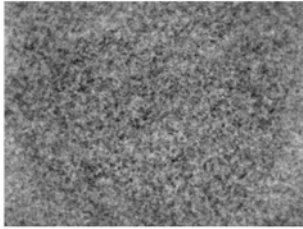
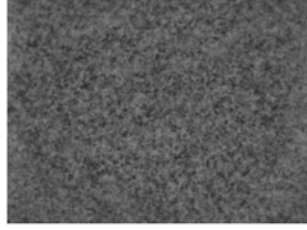
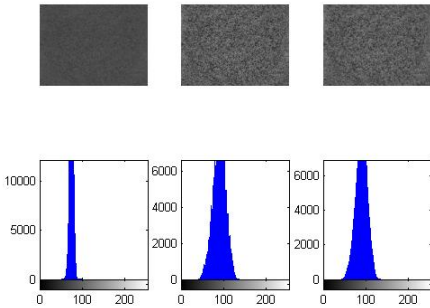
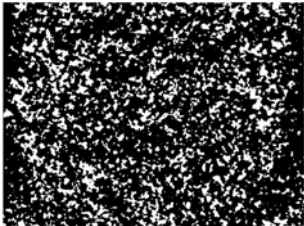
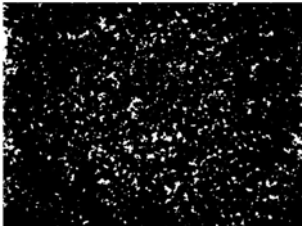
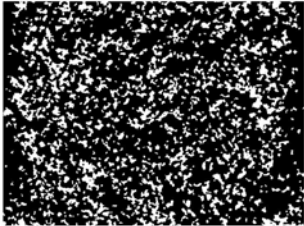
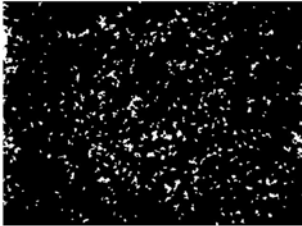
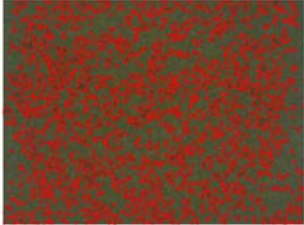
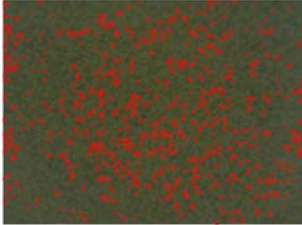
Σχήμα V.64. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 40 \text{ min}$)

		
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>	<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>	
<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>	<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>	


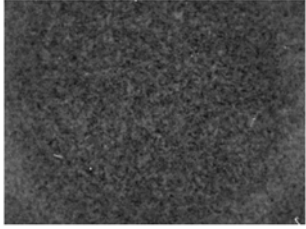
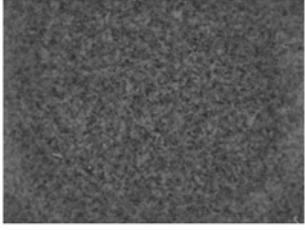
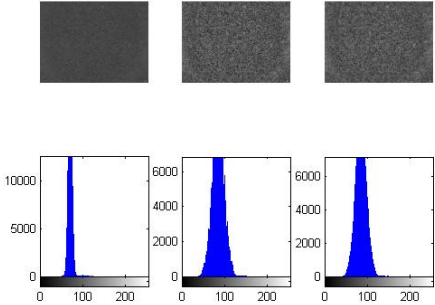
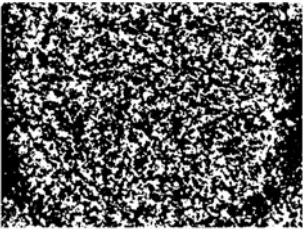
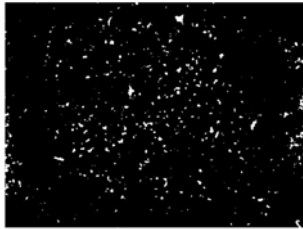
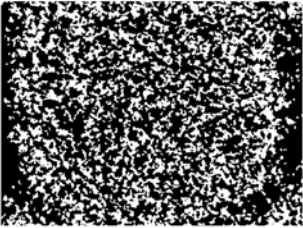
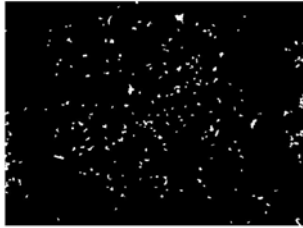
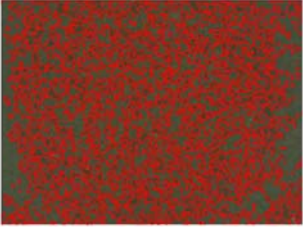
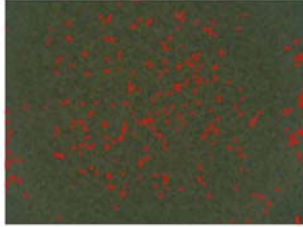
Σχήμα V.65. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 50 \text{ min}$)

		
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>	<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>	
<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>	<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>	


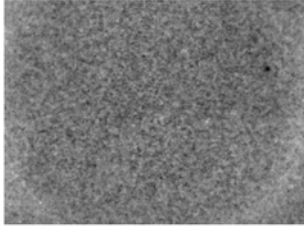
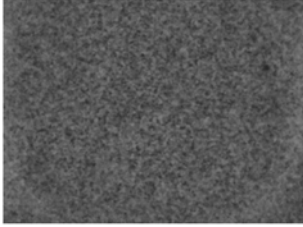
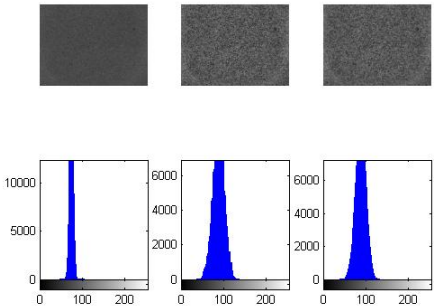
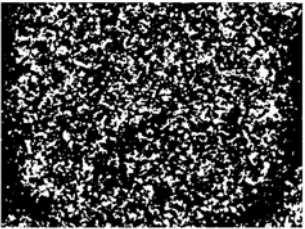
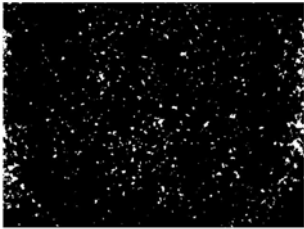
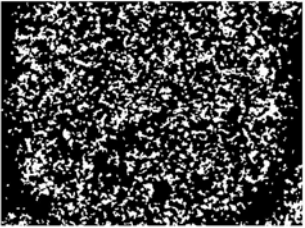
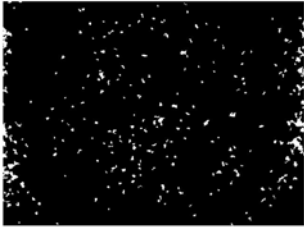
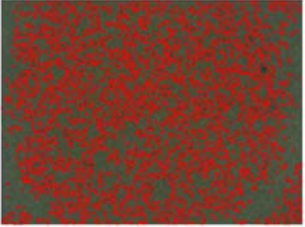
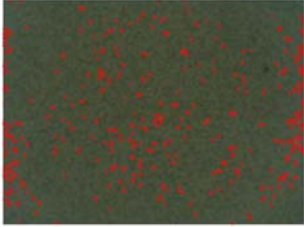
Σχήμα V.66. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 42.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 60 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
			<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


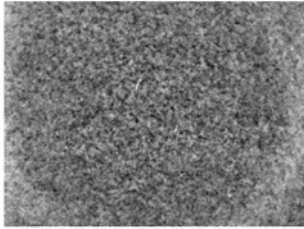
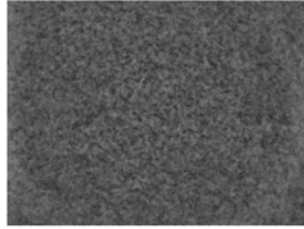
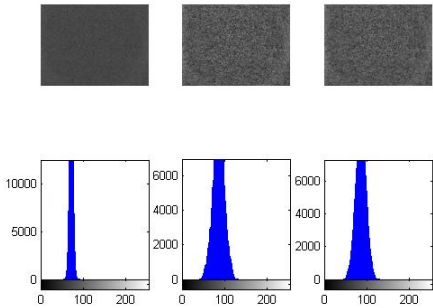
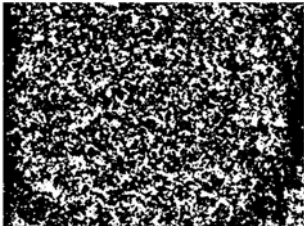
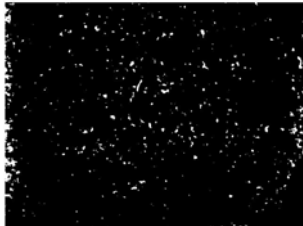


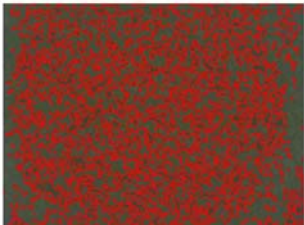
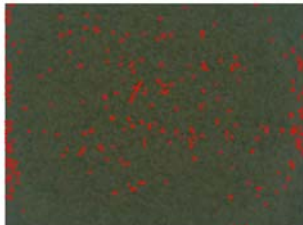
Σχήμα V.67. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 32.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: t_0)

 <p>I. Αρχική εικόνα</p>	 <p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	 <p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
 <p>V.a. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	 <p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
 <p>VI.a. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>	 <p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>	
 <p>VII.a. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>	 <p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>	


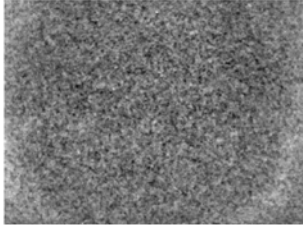
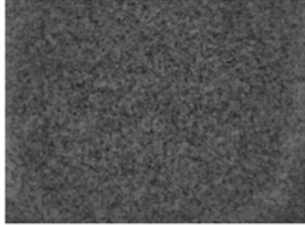
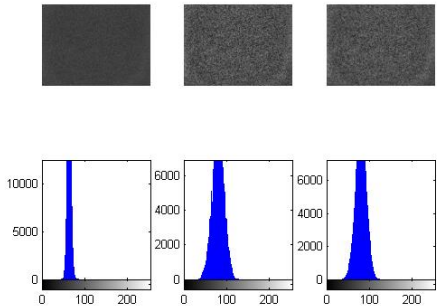
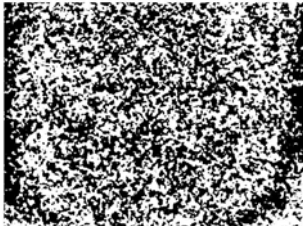

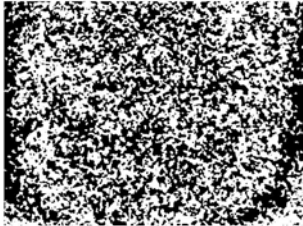
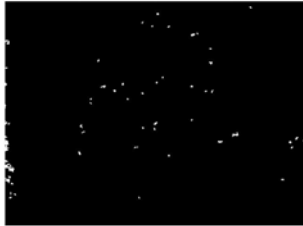
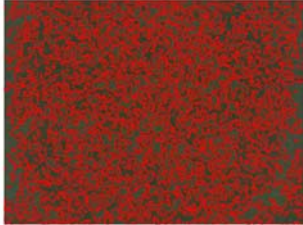
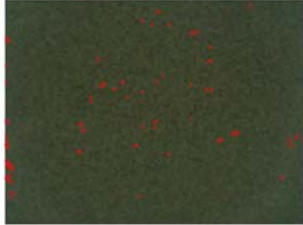
Σχήμα V.68. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 32.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 5 \text{ min}$)

 <p>I. Αρχική εικόνα</p>	 <p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	 <p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
 <p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	 <p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
 <p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>	 <p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>	
 <p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>	 <p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>	


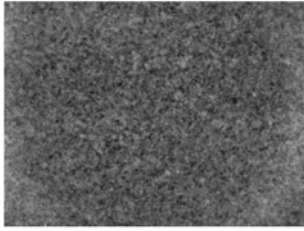
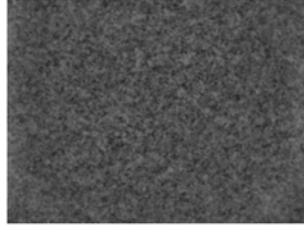
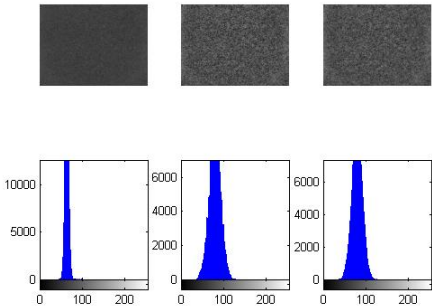
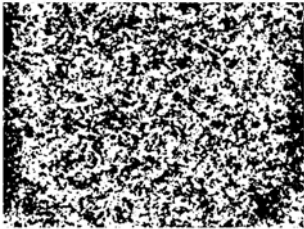
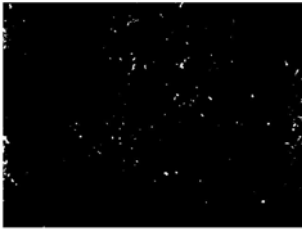
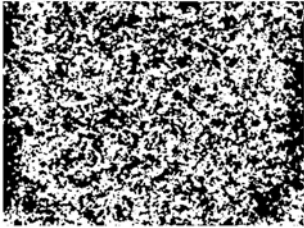

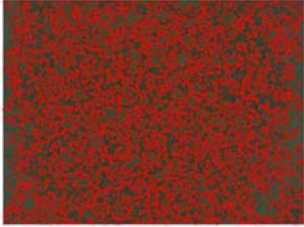

Σχήμα V.69. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 32.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 10 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


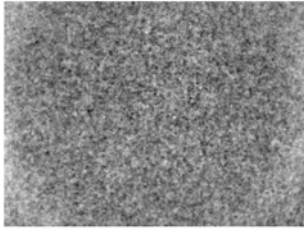
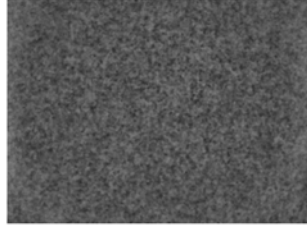
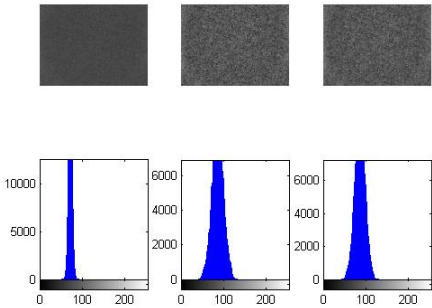
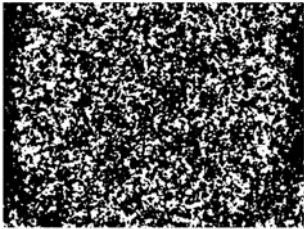
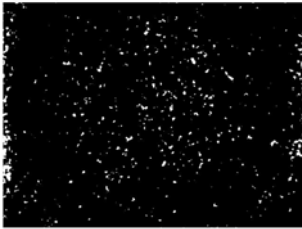
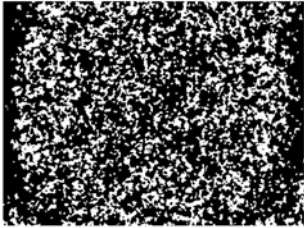
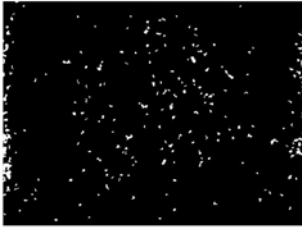
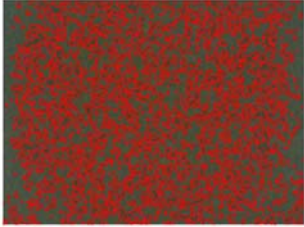
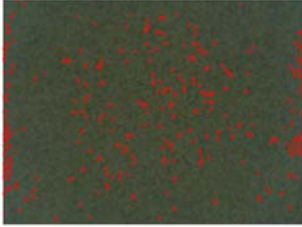
Σχήμα V.70. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 32.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 15 \text{ min}$)

 <p>I. Αρχική εικόνα</p>	 <p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	 <p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
 <p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		 <p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
 <p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		 <p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
 <p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		 <p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


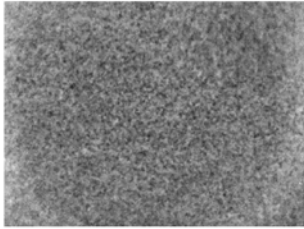
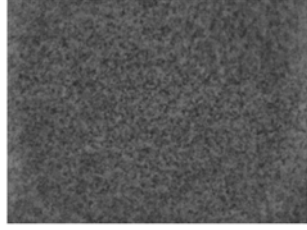
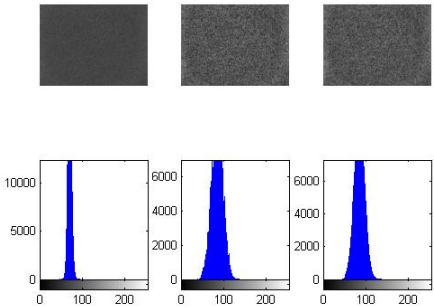
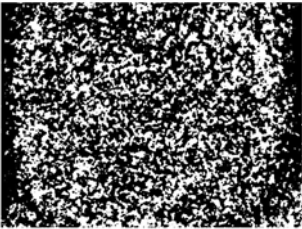
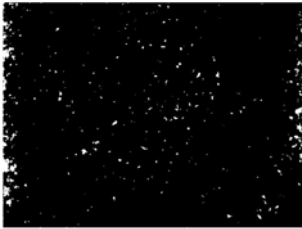
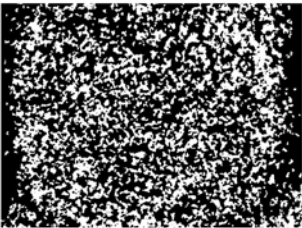

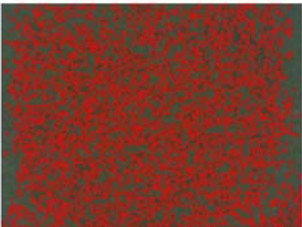
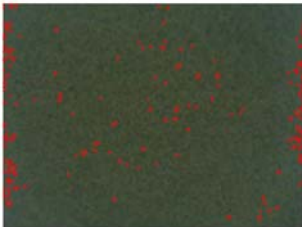
Σχήμα V.71. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 32.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 20 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>iΜετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>iΨηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


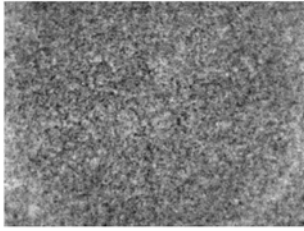
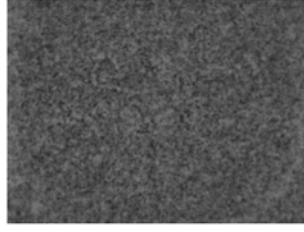
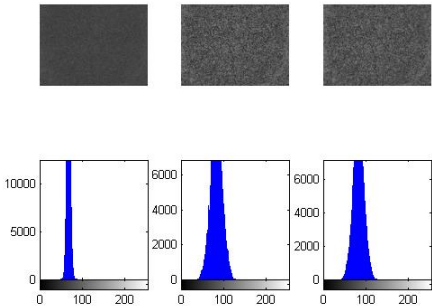
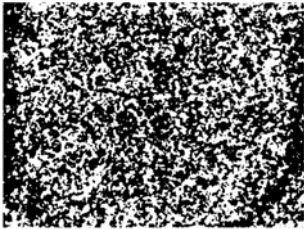
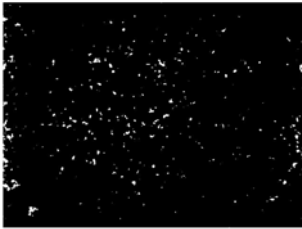
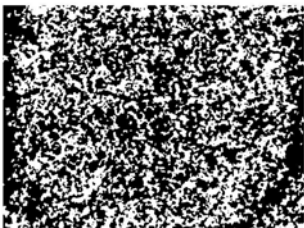

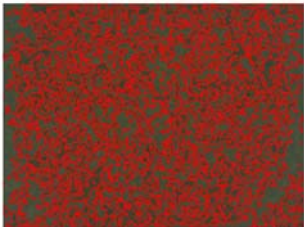
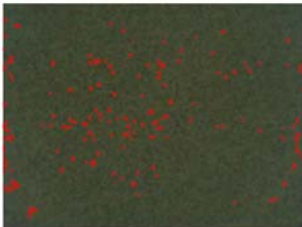
Σχήμα V.72. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 32.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 25 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


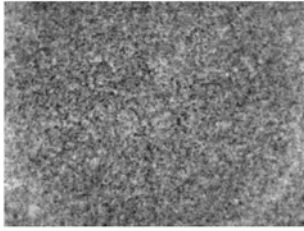
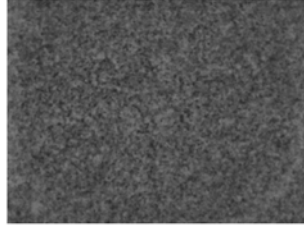
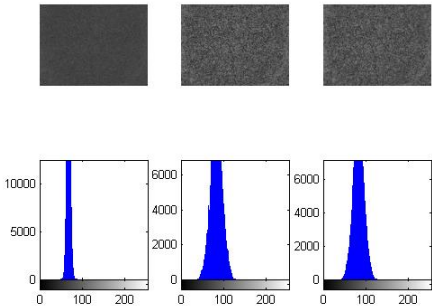
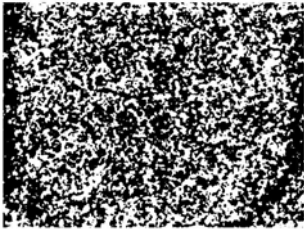
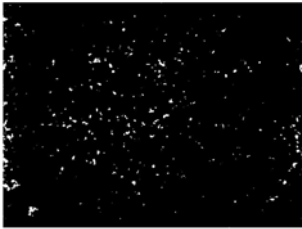
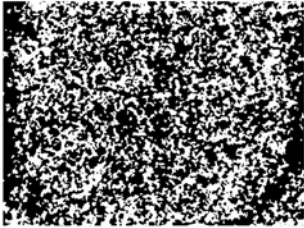

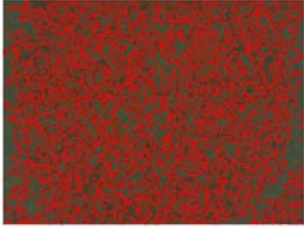
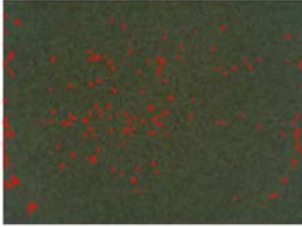
Σχήμα V.73. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 32.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 30 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


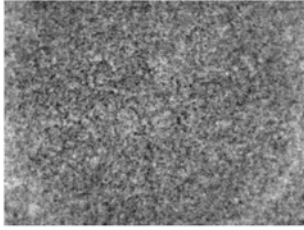
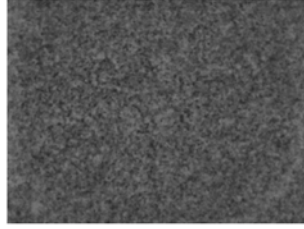
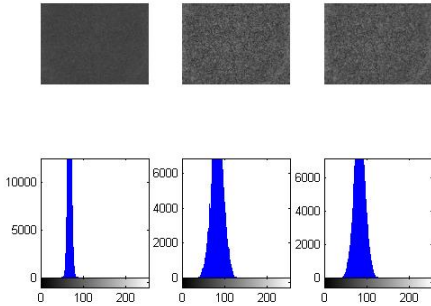
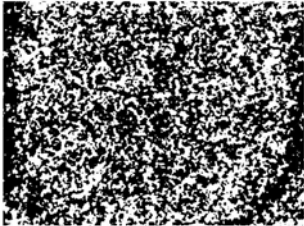
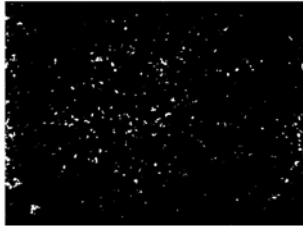
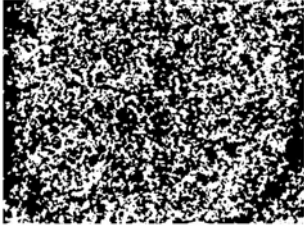

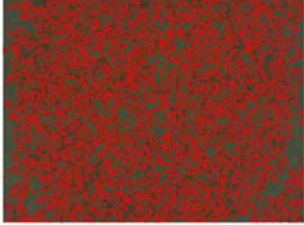
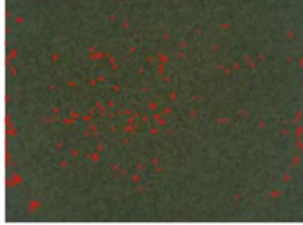
Σχήμα V.74. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 32.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 40 \text{ min}$)

		
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>	<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>	
<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>	<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>	


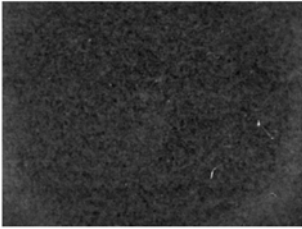
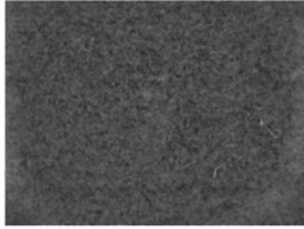
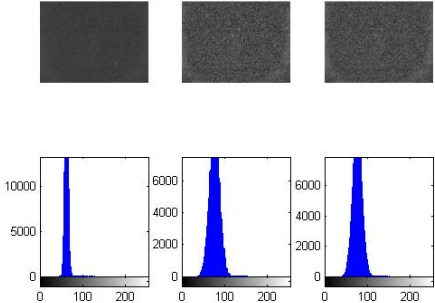

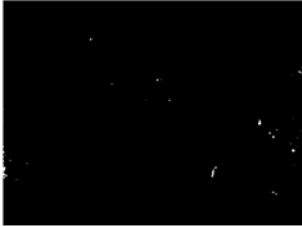


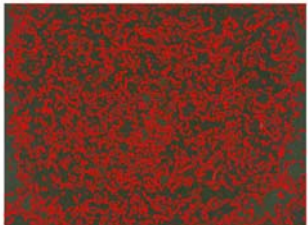

Σχήμα V.75. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 32.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 50 \text{ min}$)

		
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>	
<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>	
<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>		


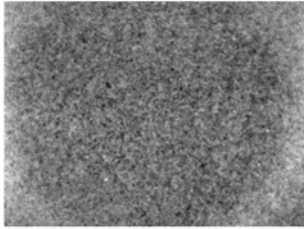
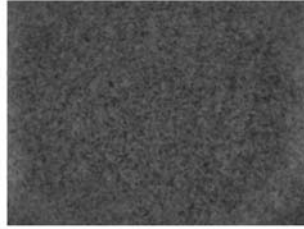
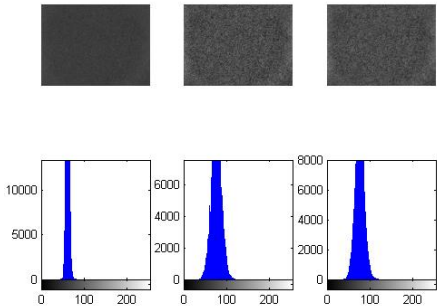
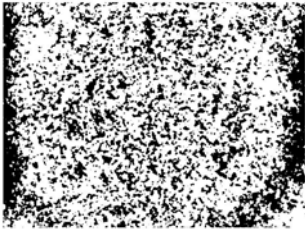

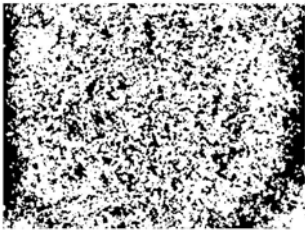

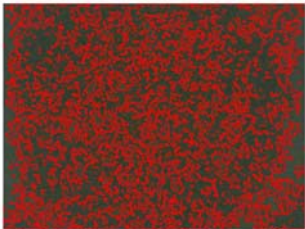

Σχήμα V.76. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 32.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 60 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>

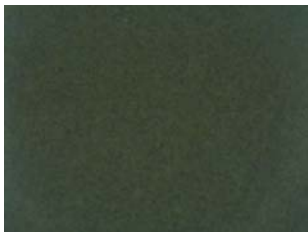
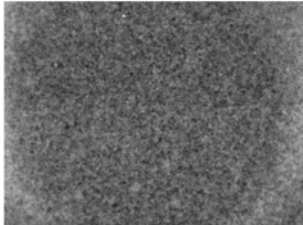
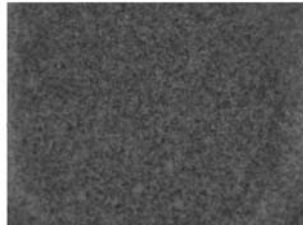
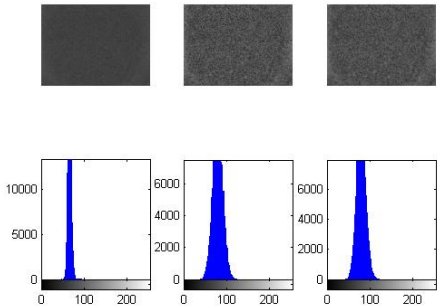
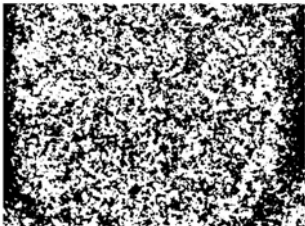

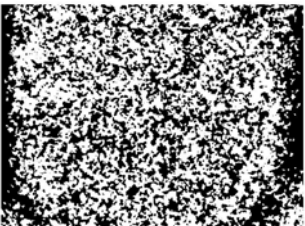

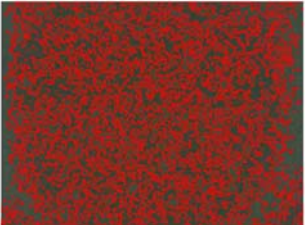

Σχήμα V.77. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: t_0)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>

Σχήμα V.78. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 5 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>

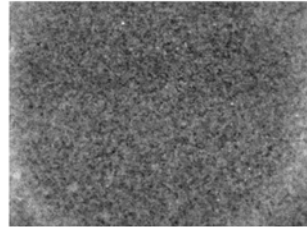
Σχήμα V.79. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 10 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>

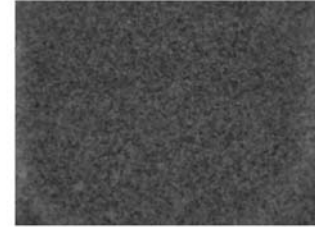
Σχήμα V.80. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 15 \text{ min}$)



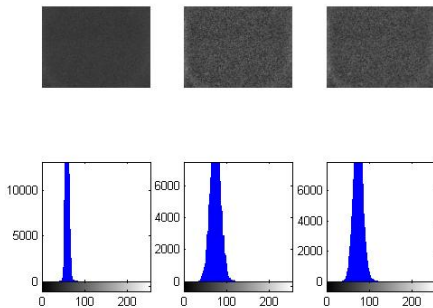
I. Αρχική εικόνα



II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα



III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου



IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου



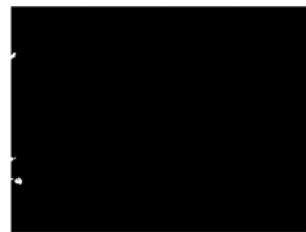
V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου



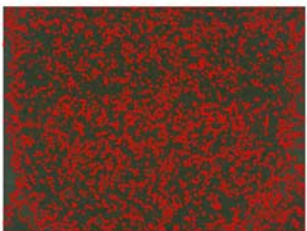
V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου



VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών



VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών


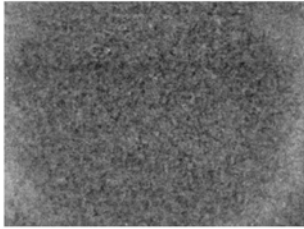
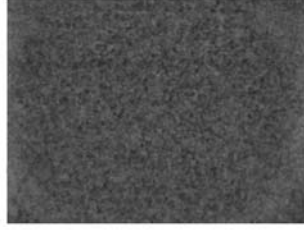
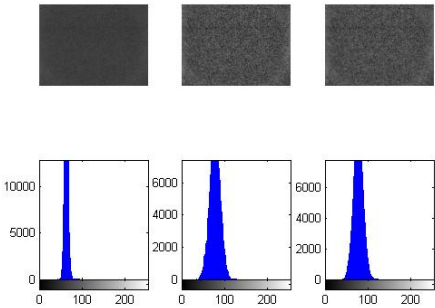
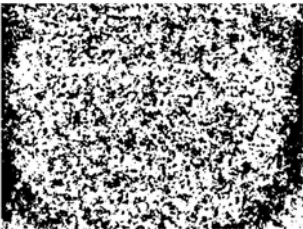

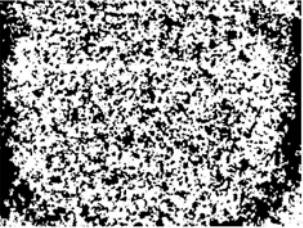
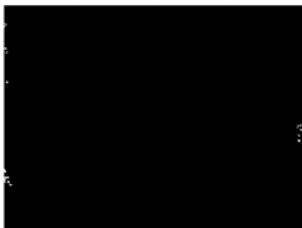
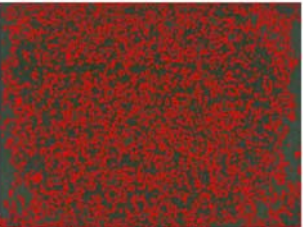



VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)


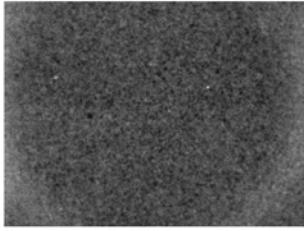
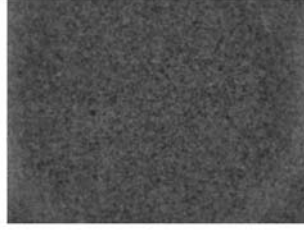
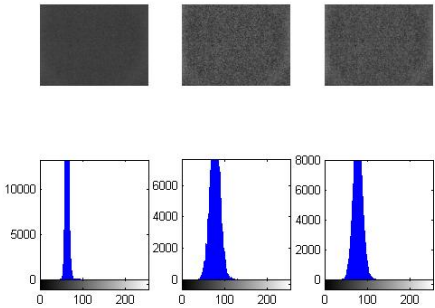
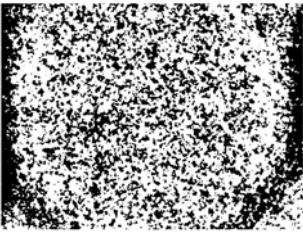



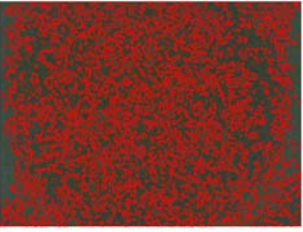
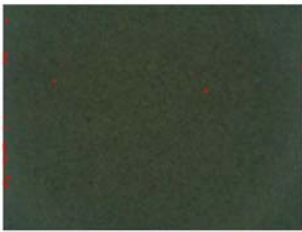


VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)


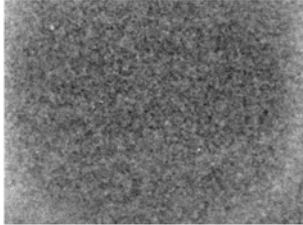
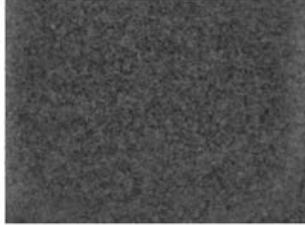
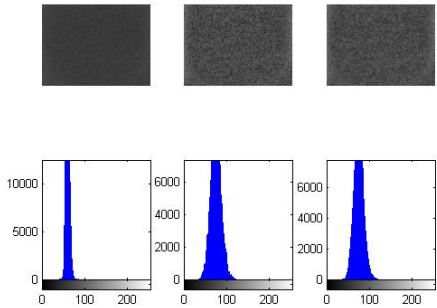
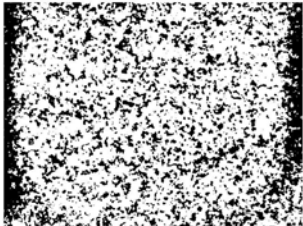


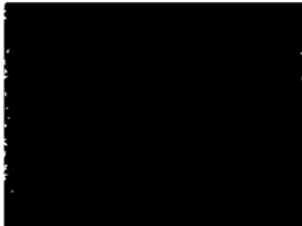
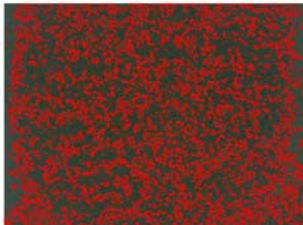

Σχήμα V.81. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 20 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


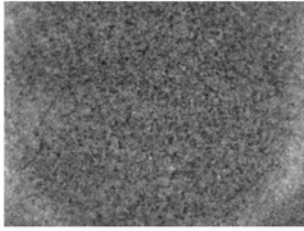
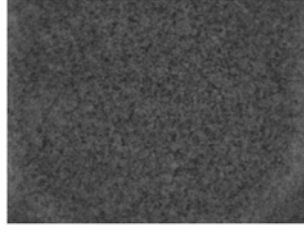
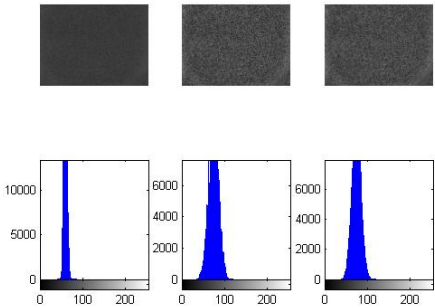
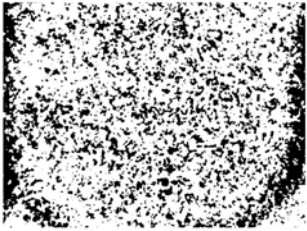



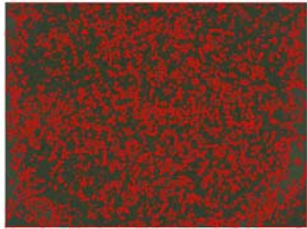

Σχήμα V.82. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 25 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


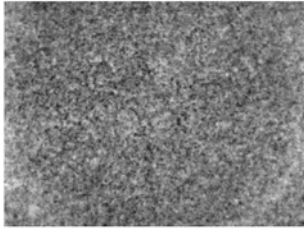
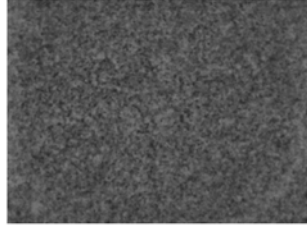
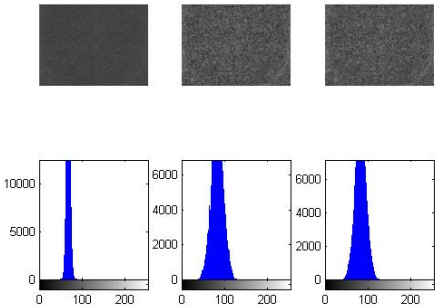
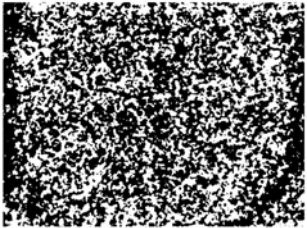
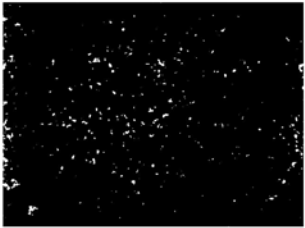
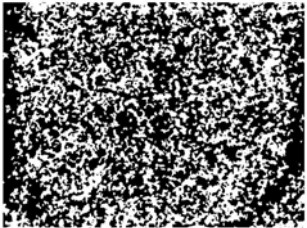

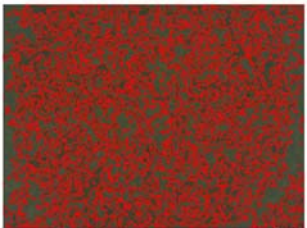
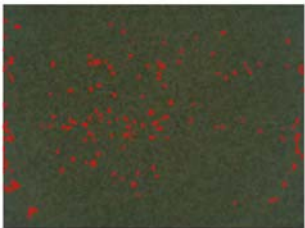
Σχήμα V.83. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 30 \text{ min}$)

 <p>I. Αρχική εικόνα</p>	 <p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	 <p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
 <p>V.a. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	 <p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
 <p>VI.a. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>	 <p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>	
 <p>VII.a. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>	 <p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>	


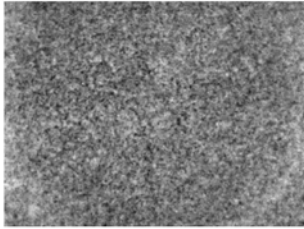
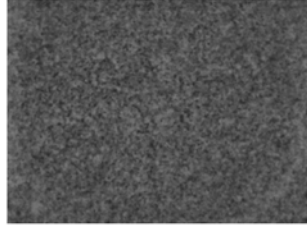
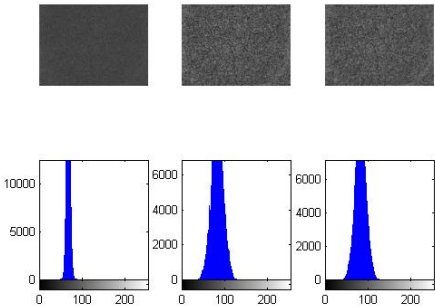
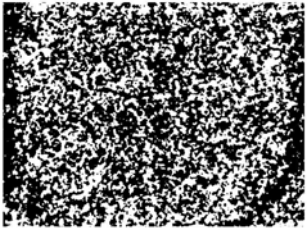
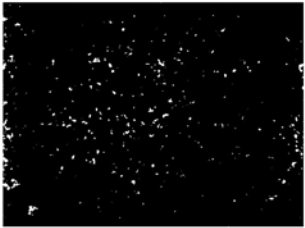
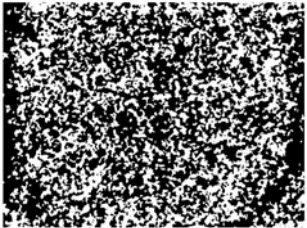

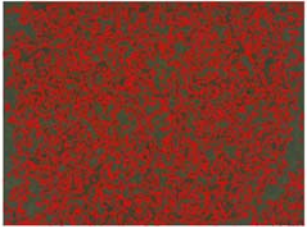
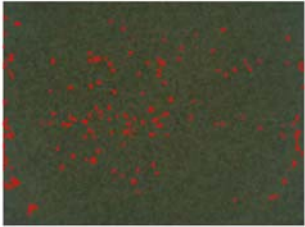
Σχήμα V.84. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 40 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


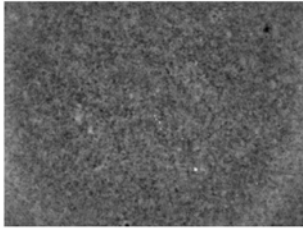
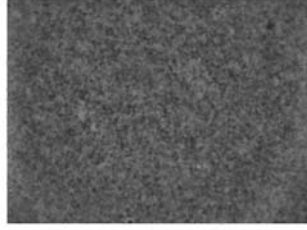
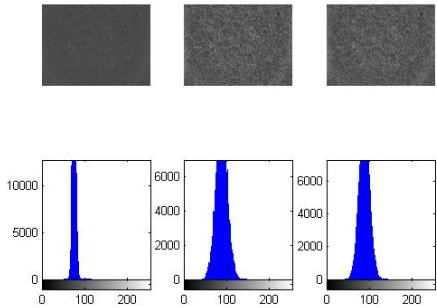

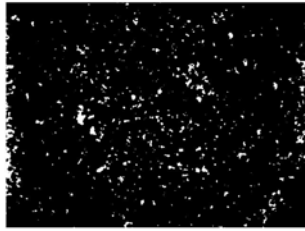

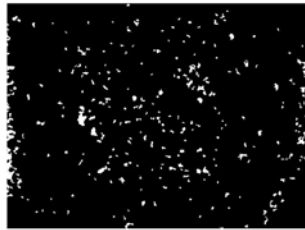
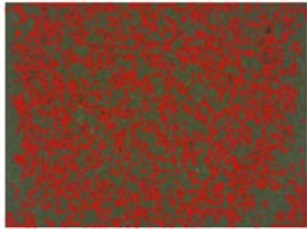
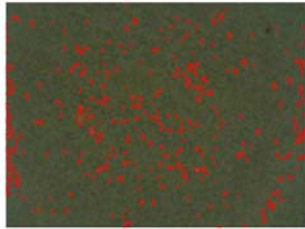
Σχήμα V.85. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 50 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


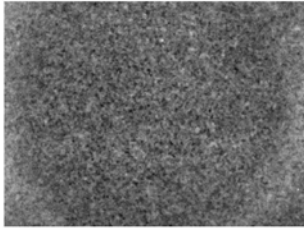

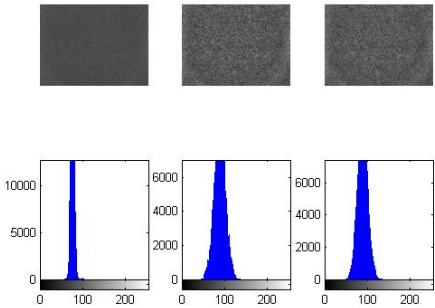
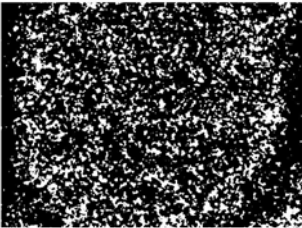
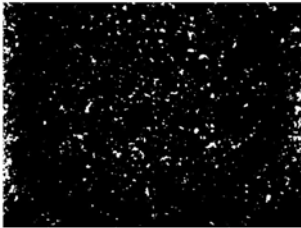
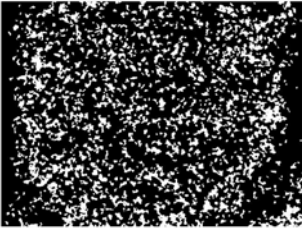
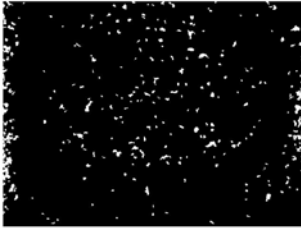
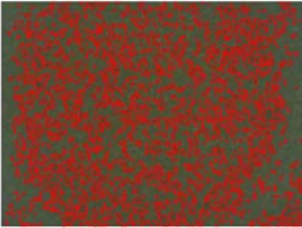
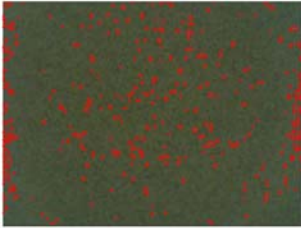
Σχήμα V.86. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 60 \text{ min}$)

		
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>	<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>	
<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>	<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>	


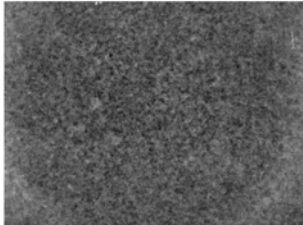
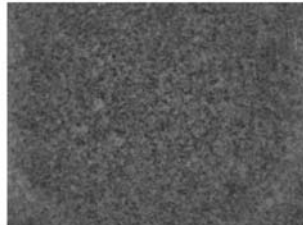
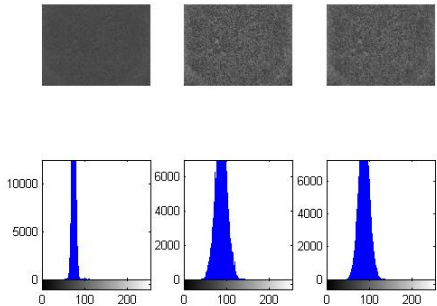
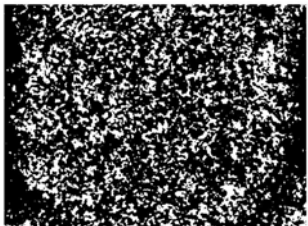
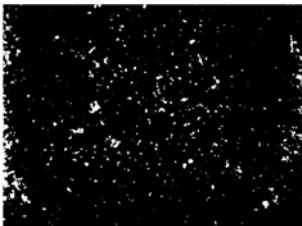
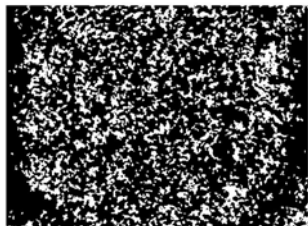

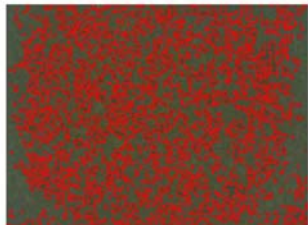
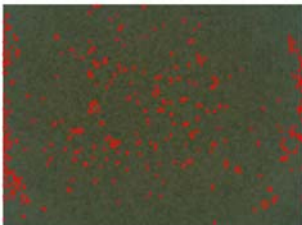
Σχήμα V.87. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: t_0)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


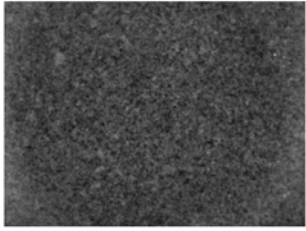
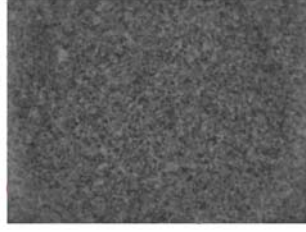
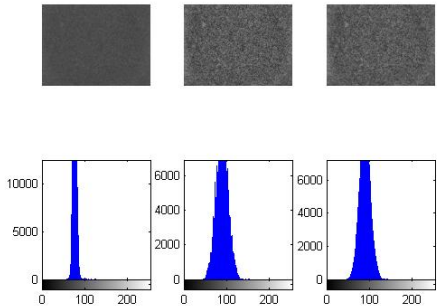
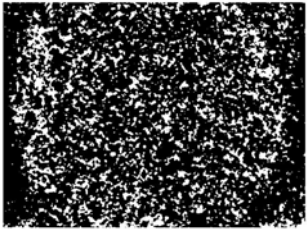
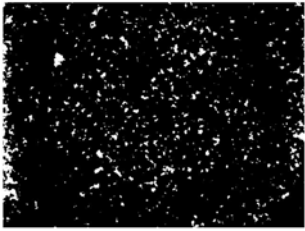
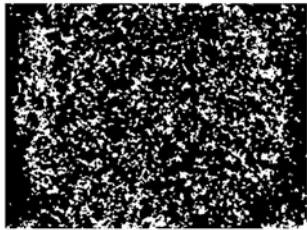
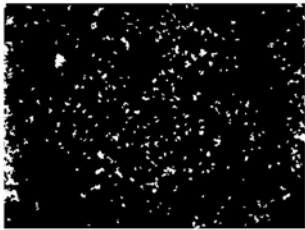
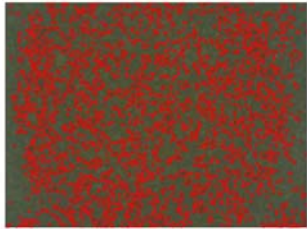
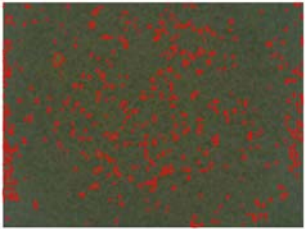
Σχήμα V.88. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 5 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


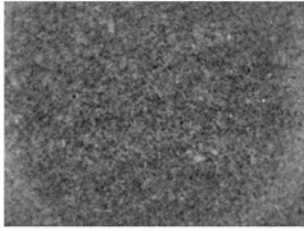
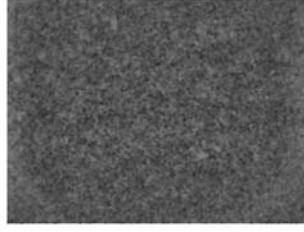
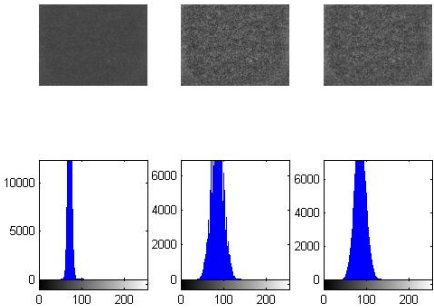
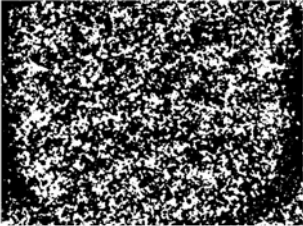
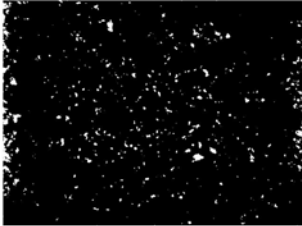
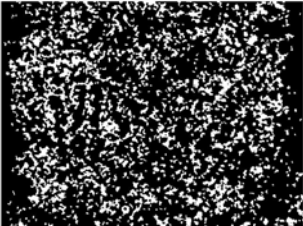
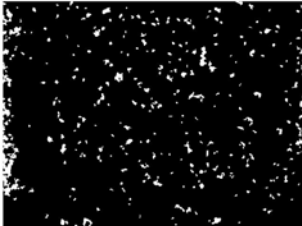
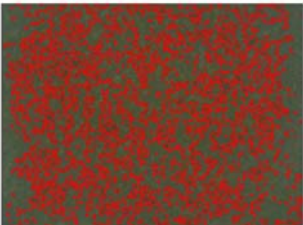
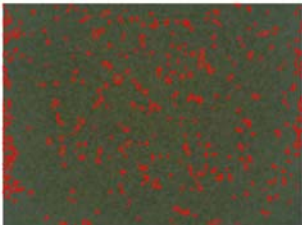
Σχήμα V.89. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 10 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηριστισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηριστισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


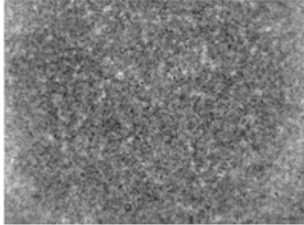
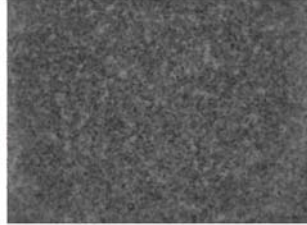
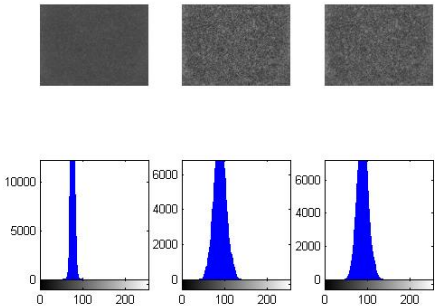
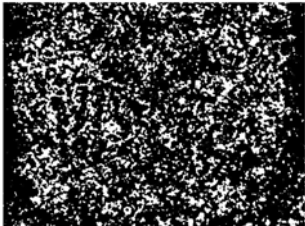
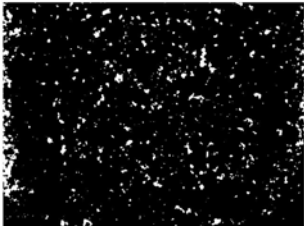
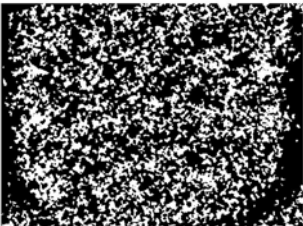

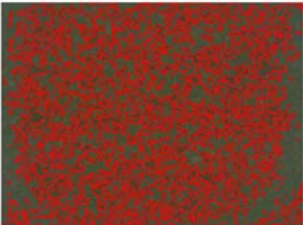
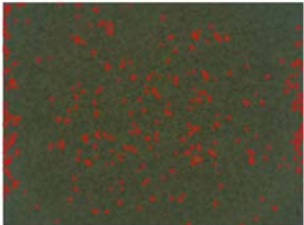
Σχήμα V.90. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 15 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


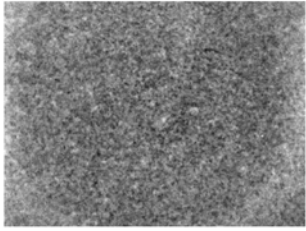
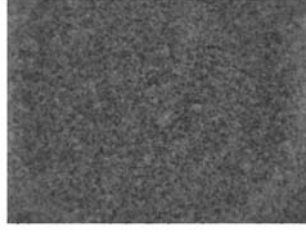
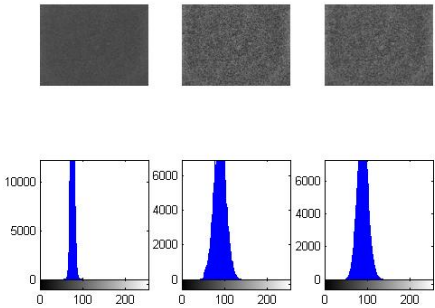
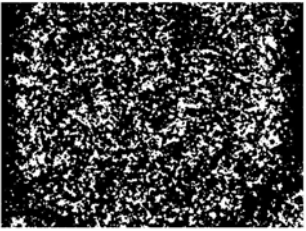
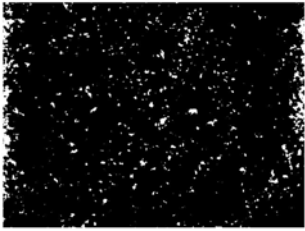
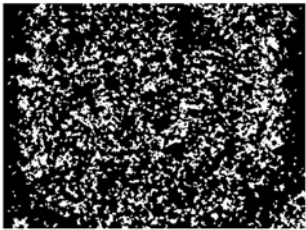
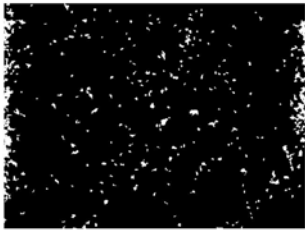
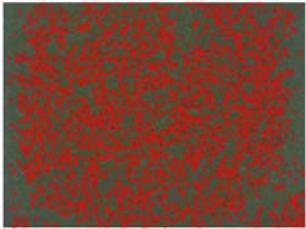
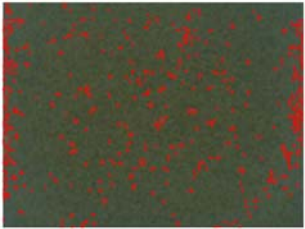
Σχήμα V.91. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 20 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


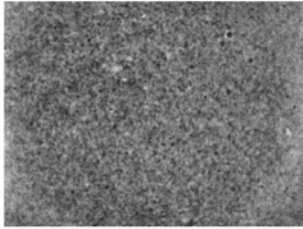
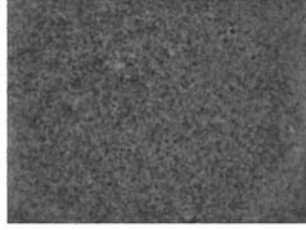
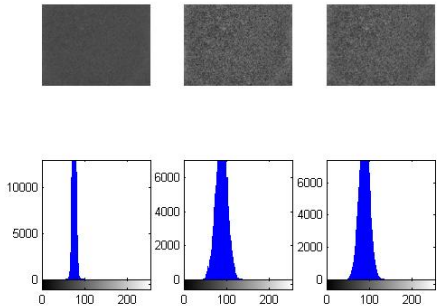
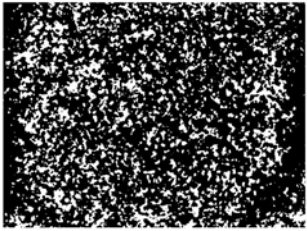
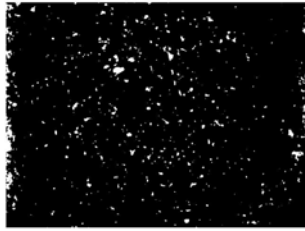
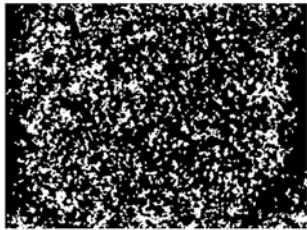
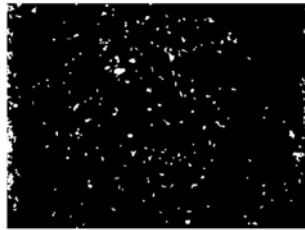

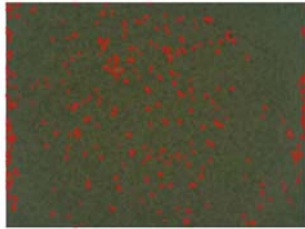
Σχήμα V.92. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 25 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


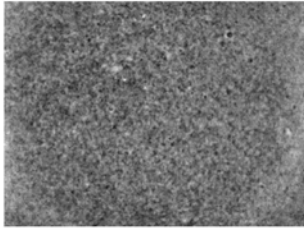
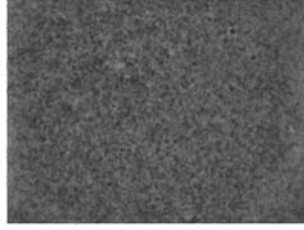
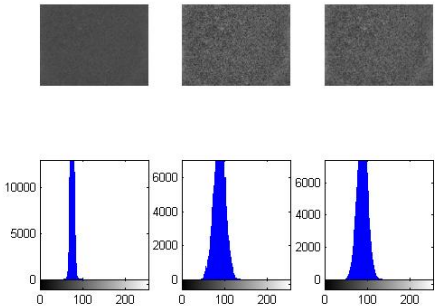
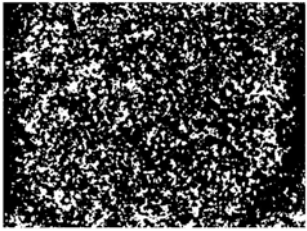
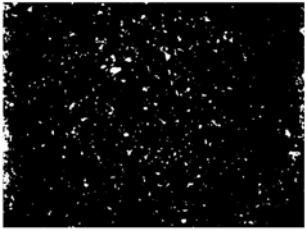
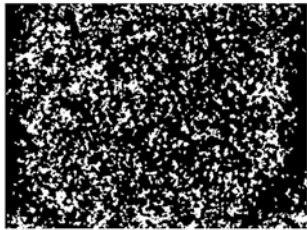
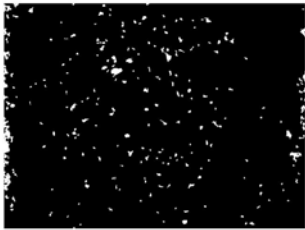

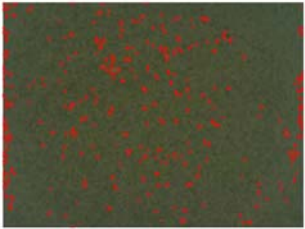
Σχήμα V.93. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 30 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


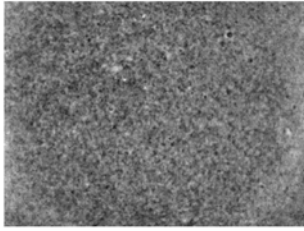
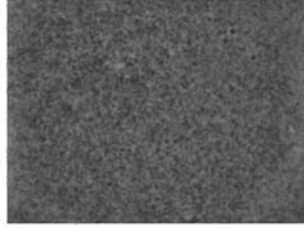
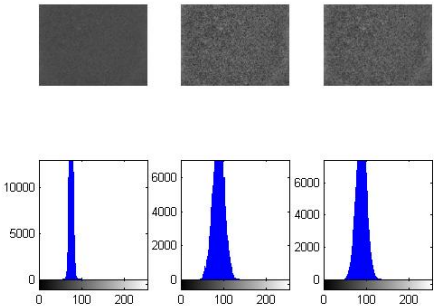
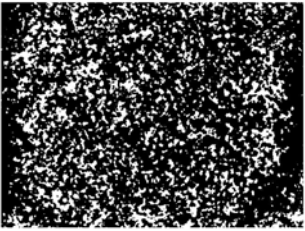
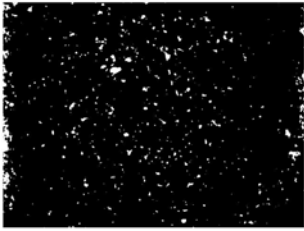
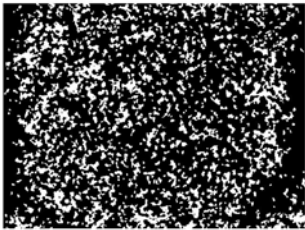
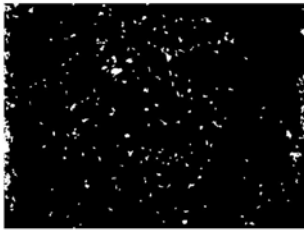
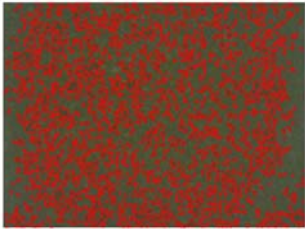
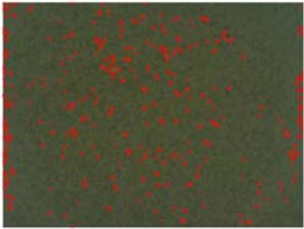
Σχήμα V.94. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 40 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


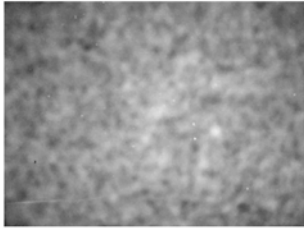

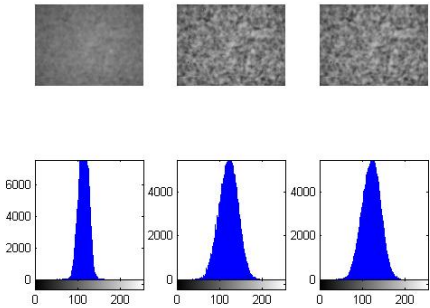

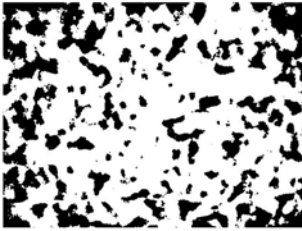

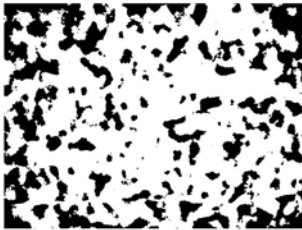
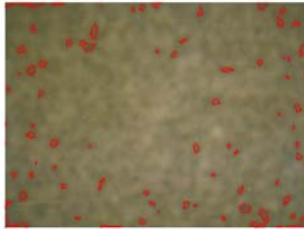
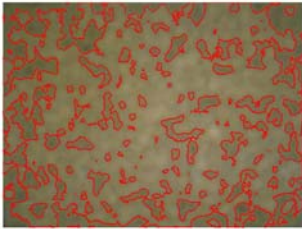
Σχήμα V.95. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 50 \text{ min}$)

		
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>	<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>	
<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>	<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>	


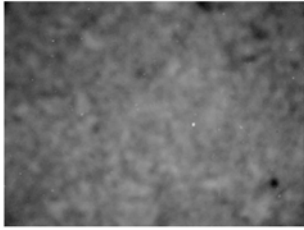

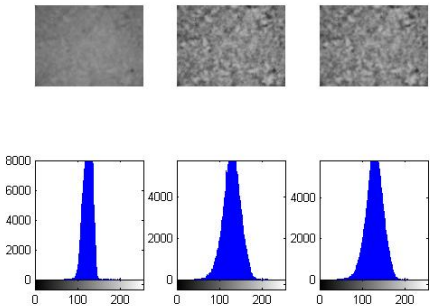




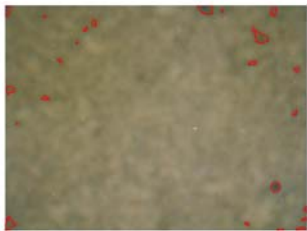
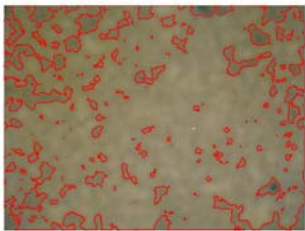
Σχήμα V.96. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 25x, χρονική στιγμή: $t_0 + 60 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηριστισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηριστισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


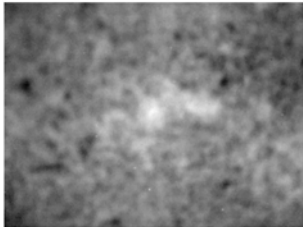
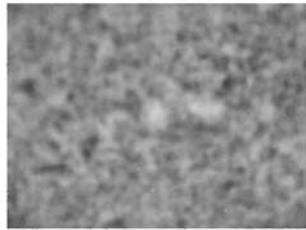
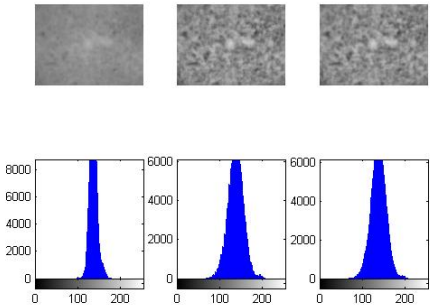
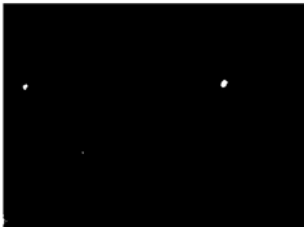

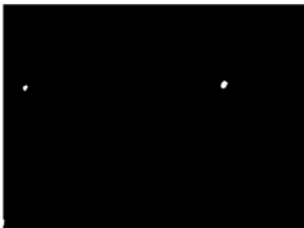

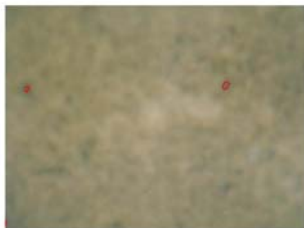
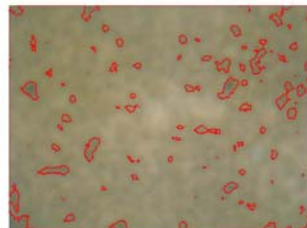
Σχήμα V.97. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: t_0)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


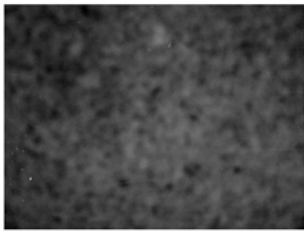
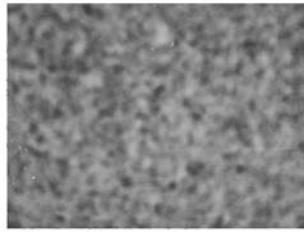
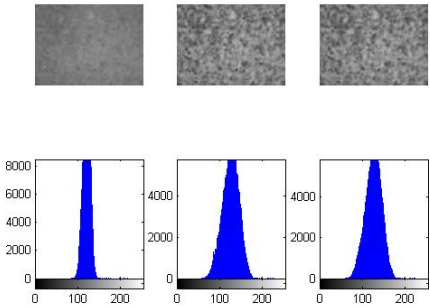

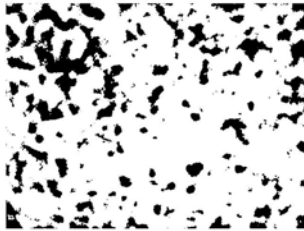

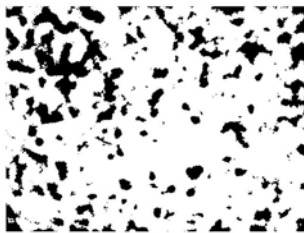
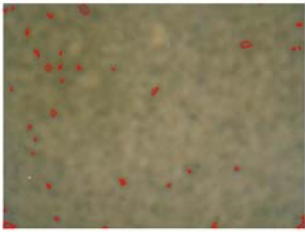
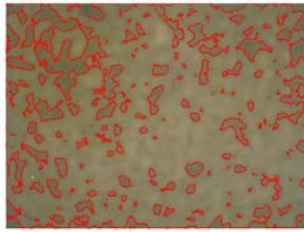
Σχήμα V.98. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 5 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


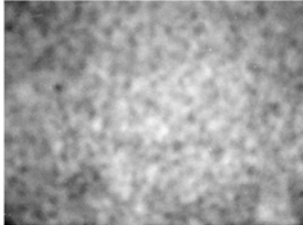
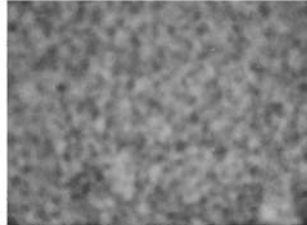
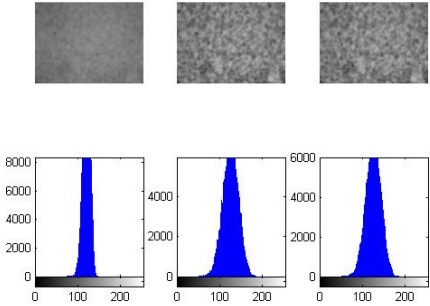

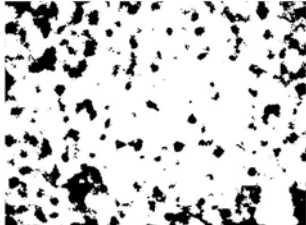
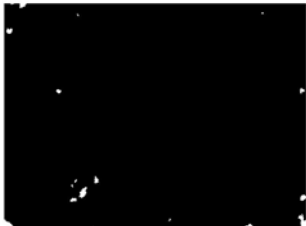
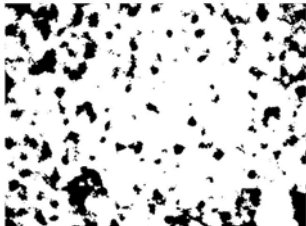

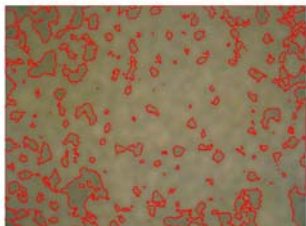
Σχήμα V.99. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 10 \text{ min}$)

		
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>	<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>	
<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


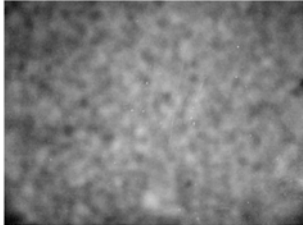
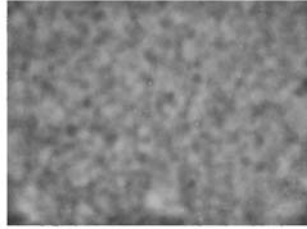
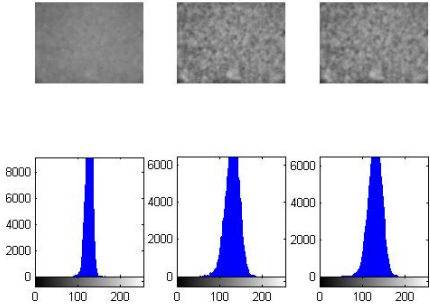
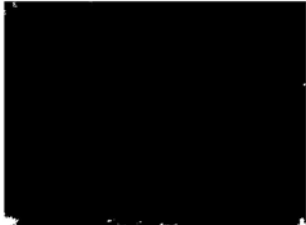

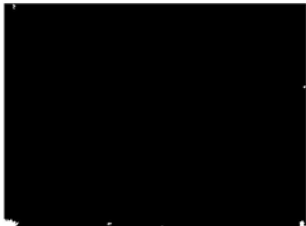

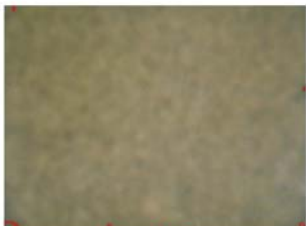
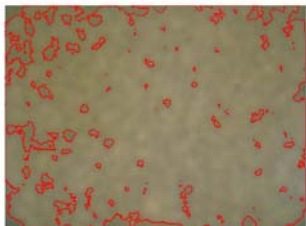
Σχήμα V.100. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 15 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
			<p>IV. Σύγκριση ιστογραμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>

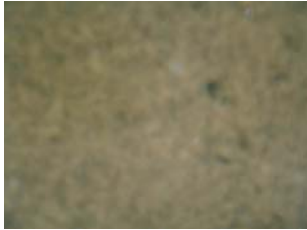
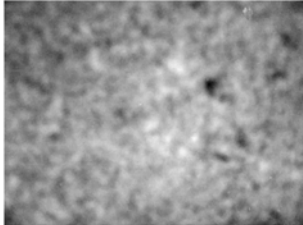
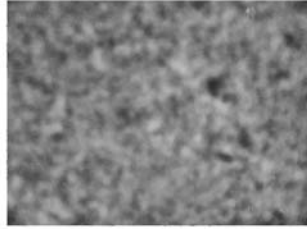
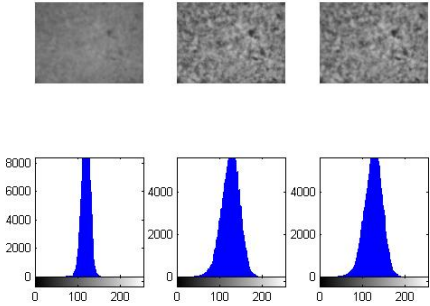

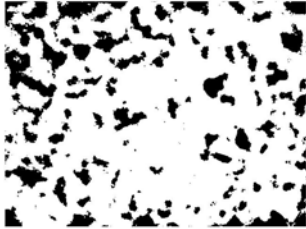

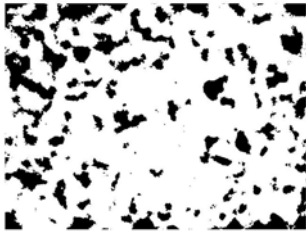
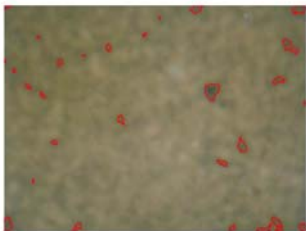
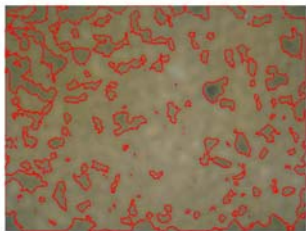
Σχήμα V.101. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 20 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


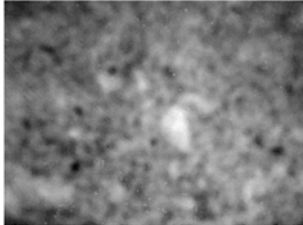
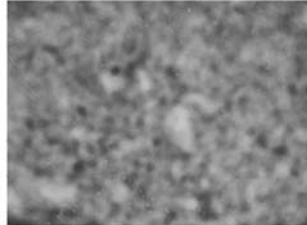
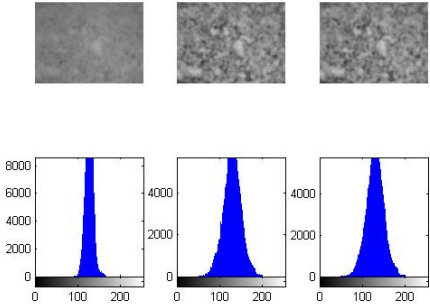





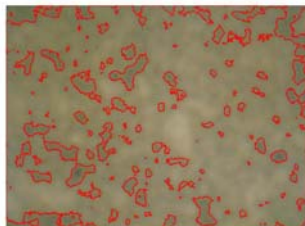
Σχήμα V.102. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 25 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


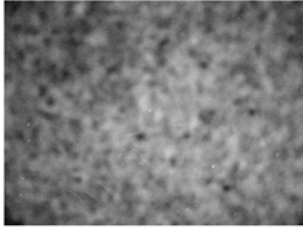
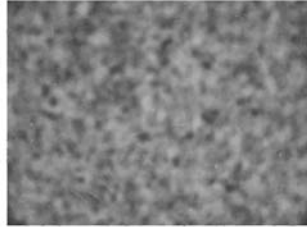
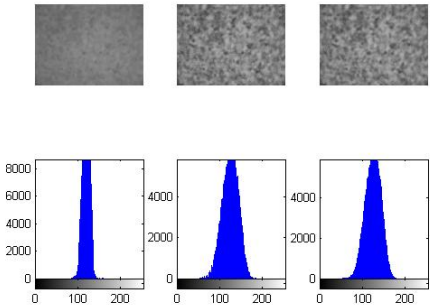

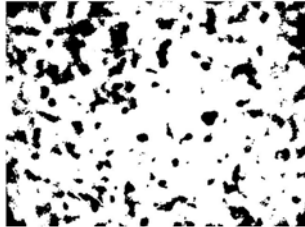

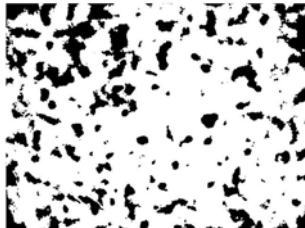

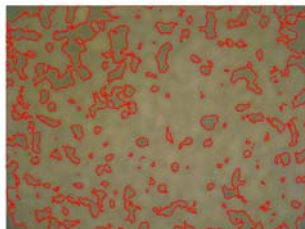
Σχήμα V.103. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 30 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


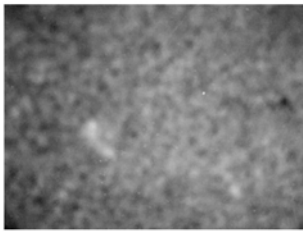
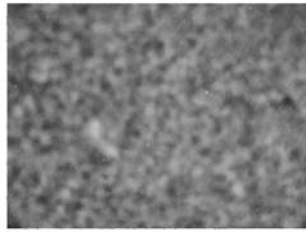
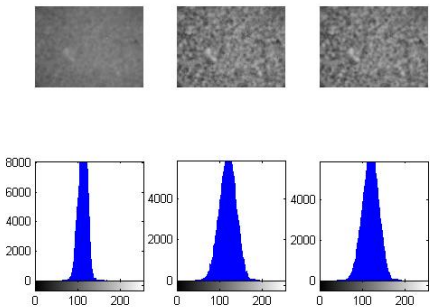
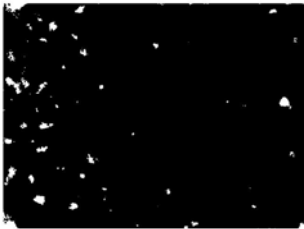
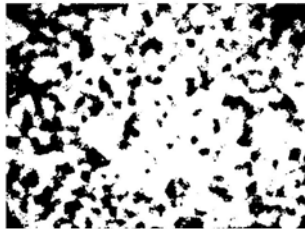

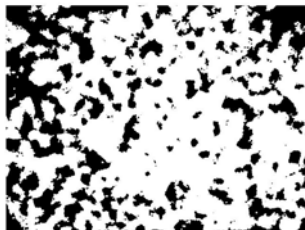
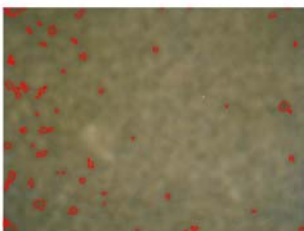
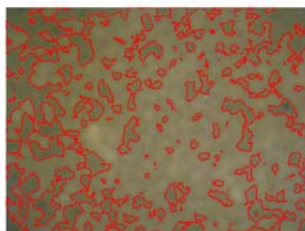
Σχήμα V.104. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 40 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


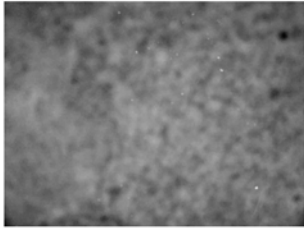

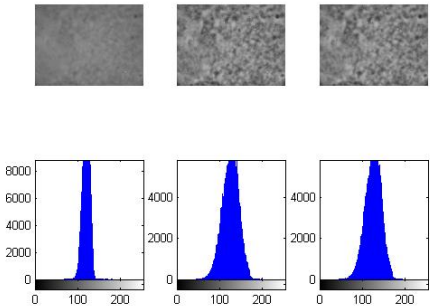

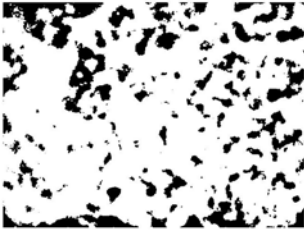

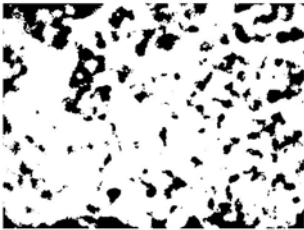
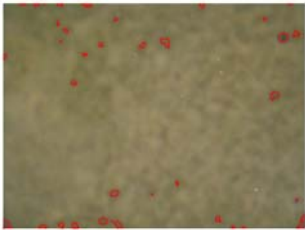
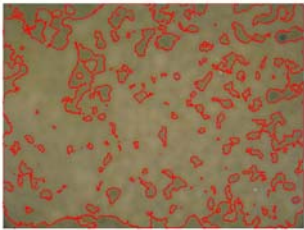
Σχήμα V.105. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 50 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


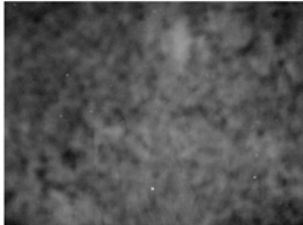
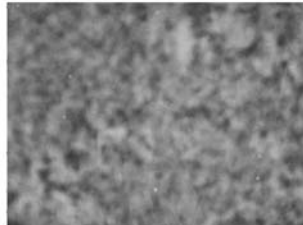
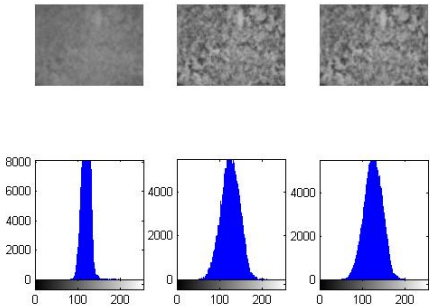

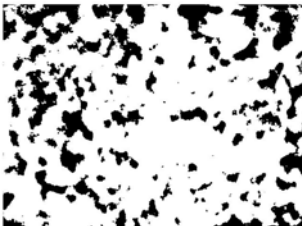

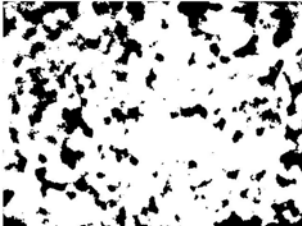
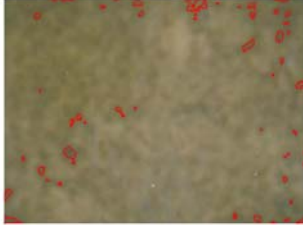
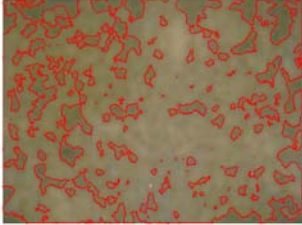
Σχήμα V.106. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 60 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


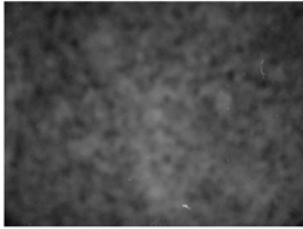
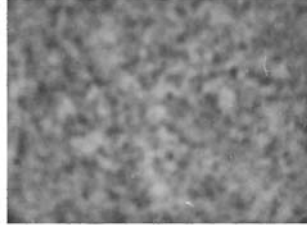
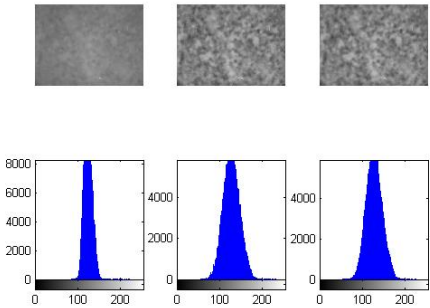

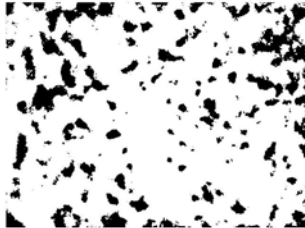



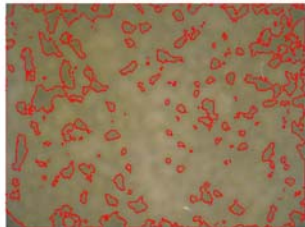
Σχήμα V.107. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 42.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: t_0)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


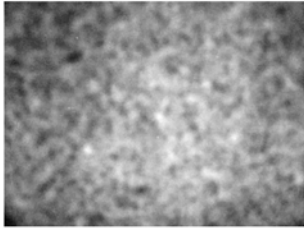

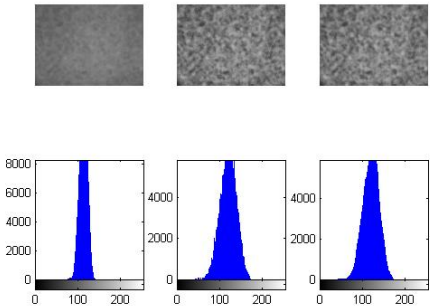
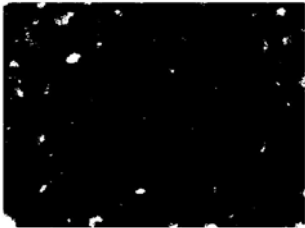
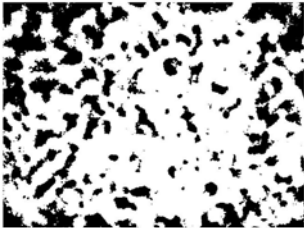

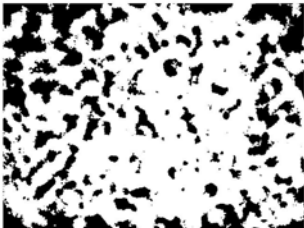
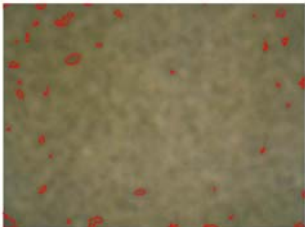
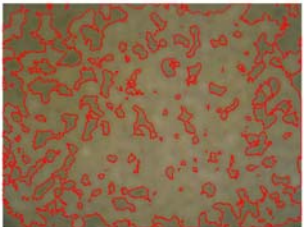
Σχήμα V.108. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 42.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 5 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
			<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


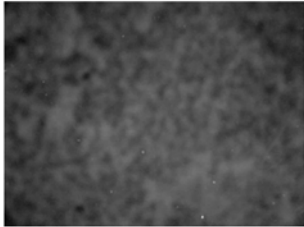
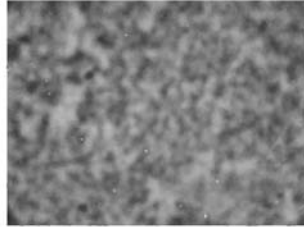
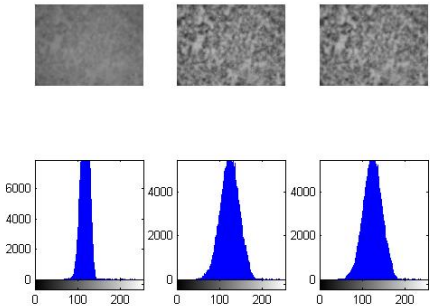




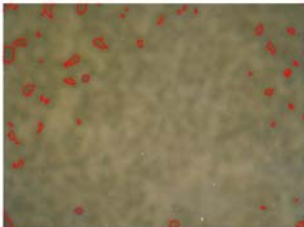
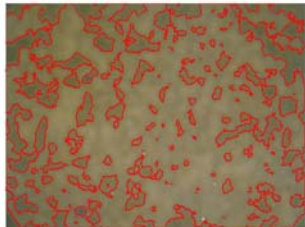
Σχήμα V.109. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 42.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 10 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


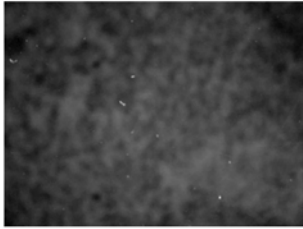
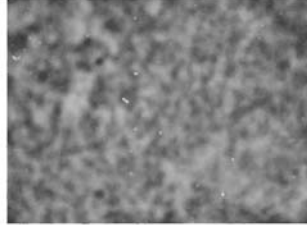
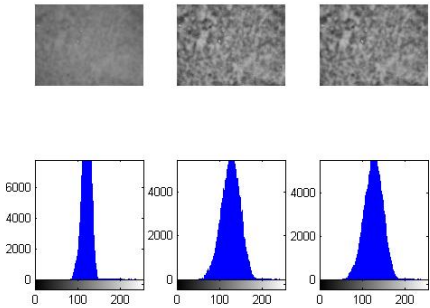

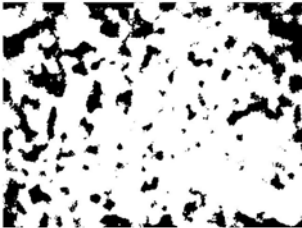


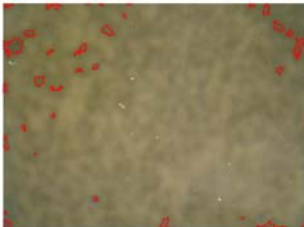
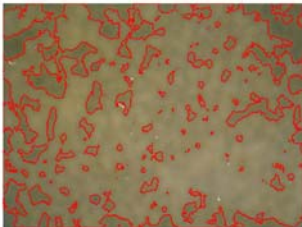
Σχήμα V.110. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 42.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 15 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


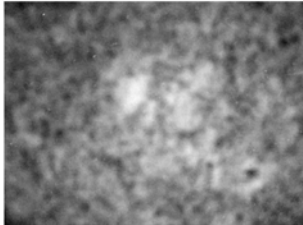
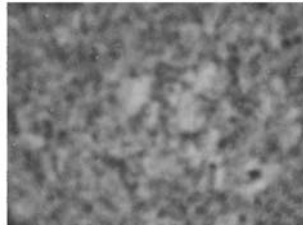
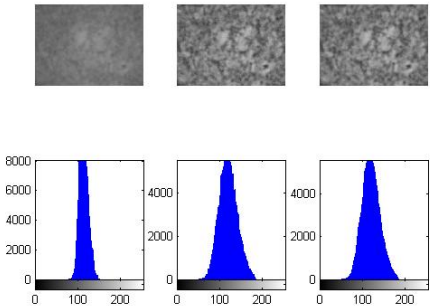

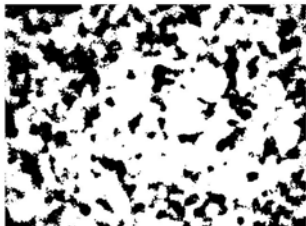

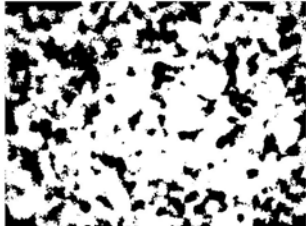
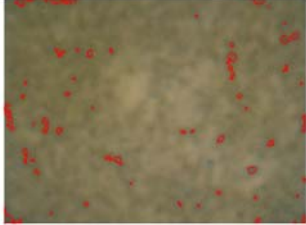
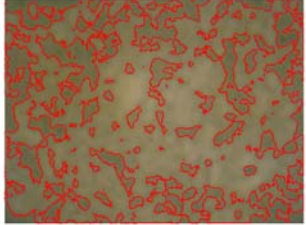
Σχήμα V.111. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 42.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 20 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


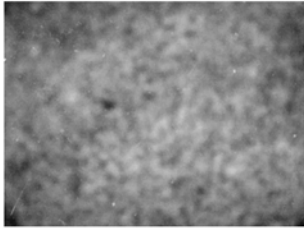

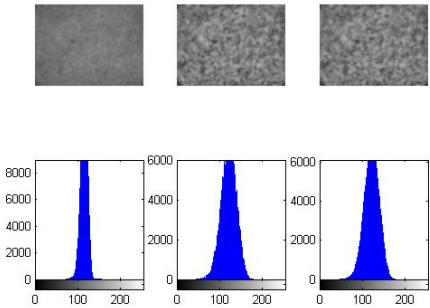

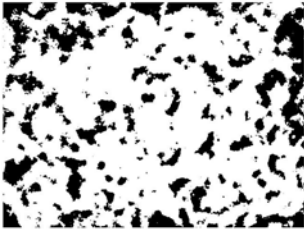

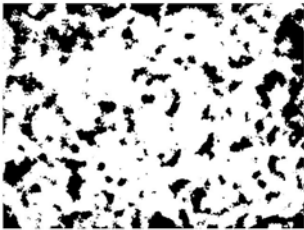
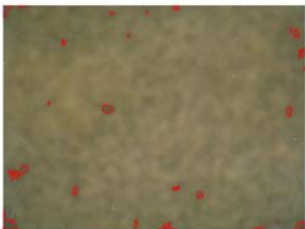
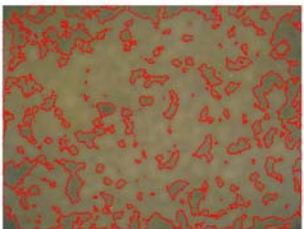
Σχήμα V.112. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 42.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 25 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


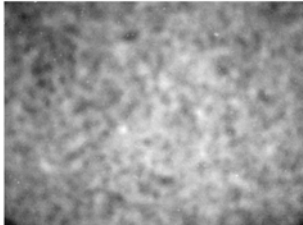
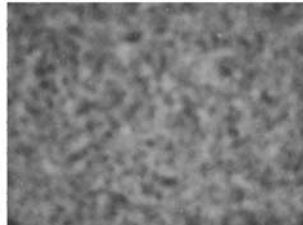
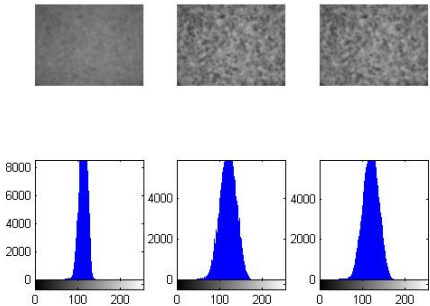



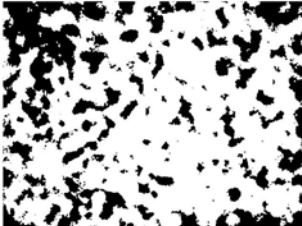

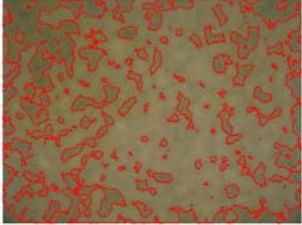
Σχήμα V.113. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 42.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 30 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


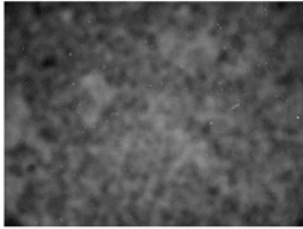

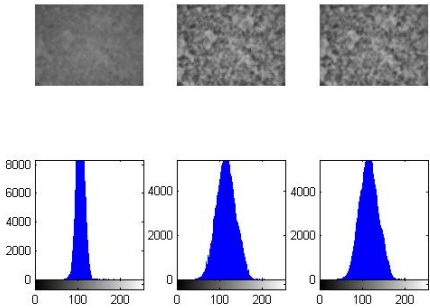
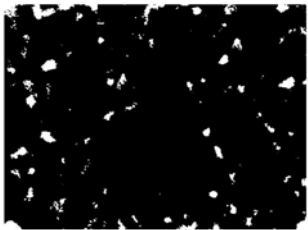
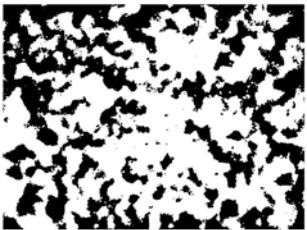
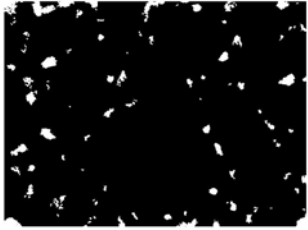
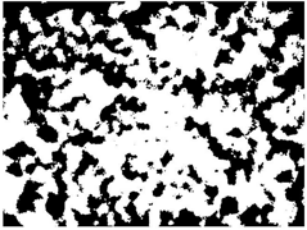
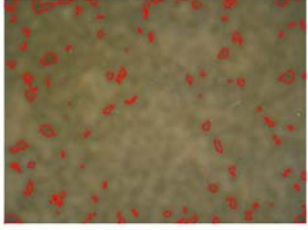
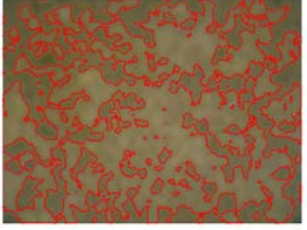
Σχήμα V.114. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 42.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 40 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


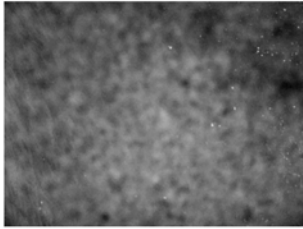

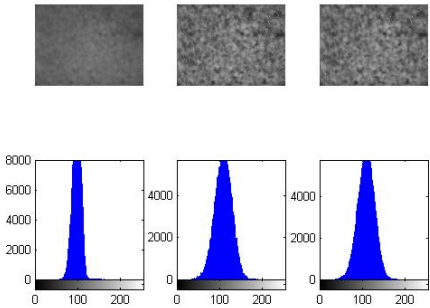
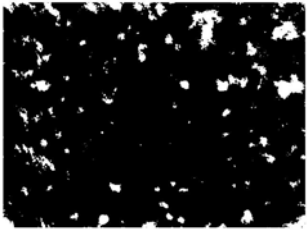
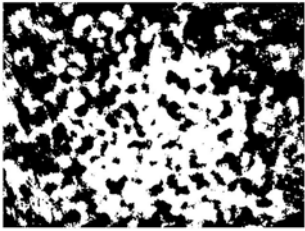
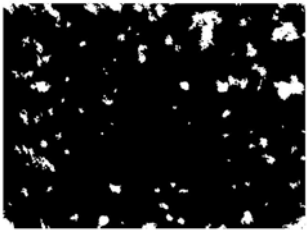
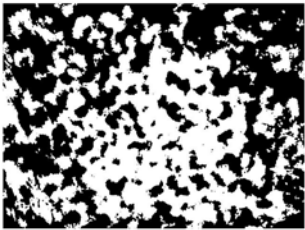
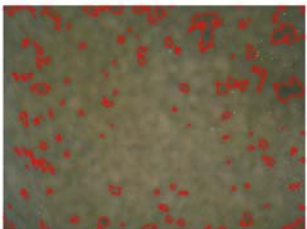

Σχήμα V.115. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 42.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 50 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


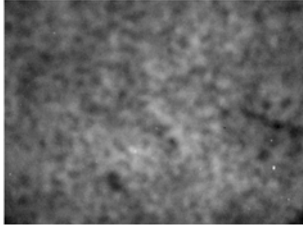
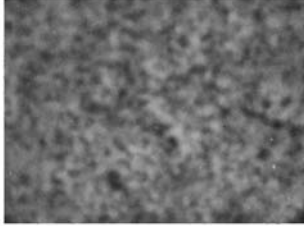
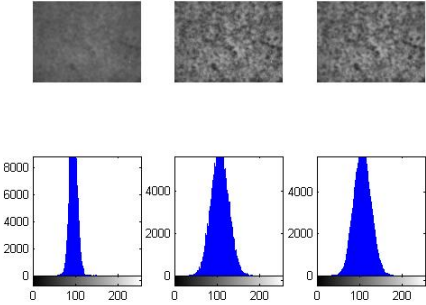
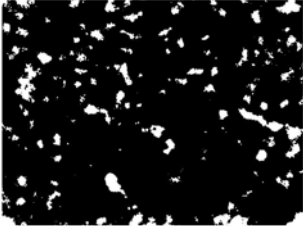
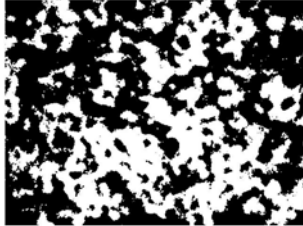
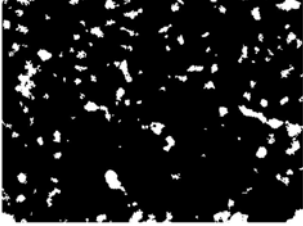
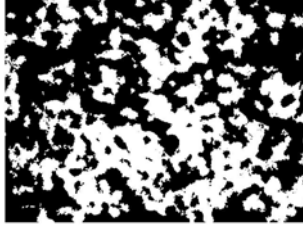
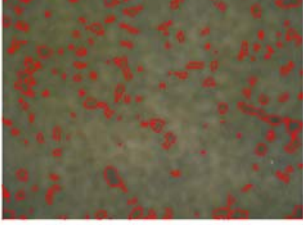

Σχήμα V.116. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 42.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 60 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


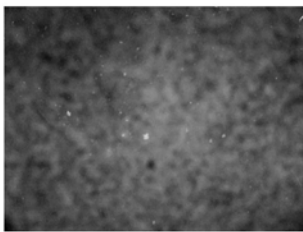
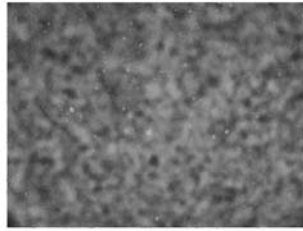
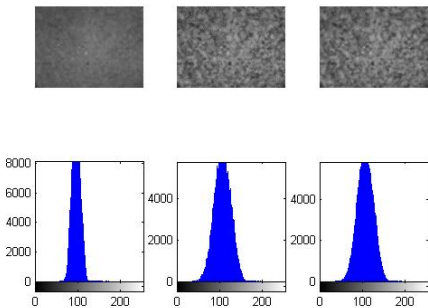
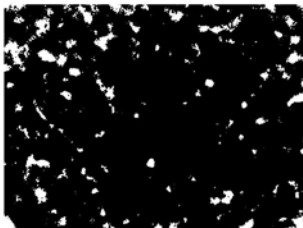
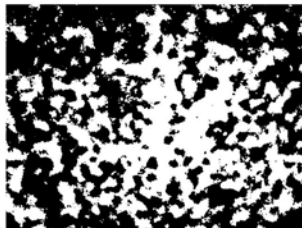
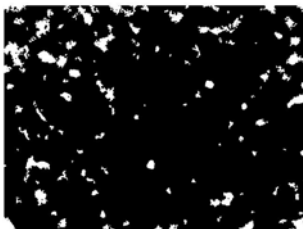
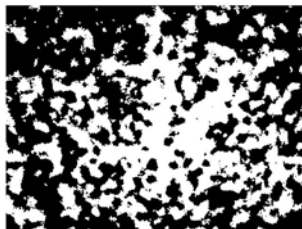
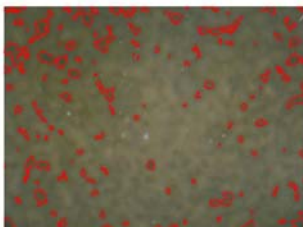

Σχήμα V.117. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 32.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: t_0)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


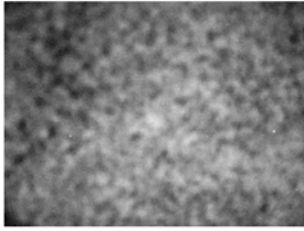

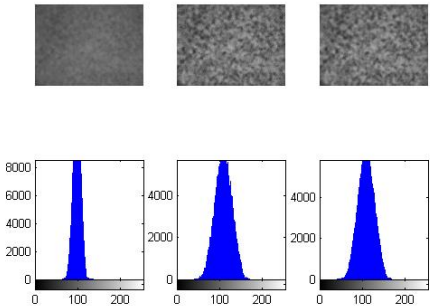
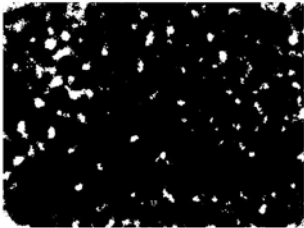
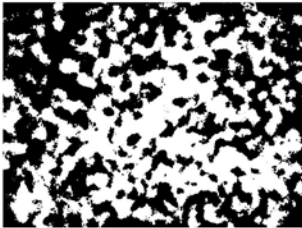
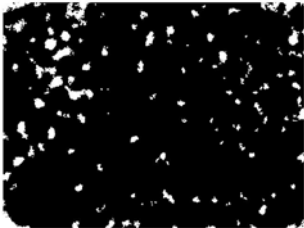
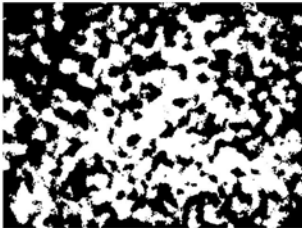
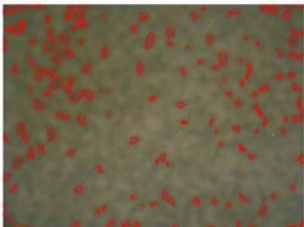
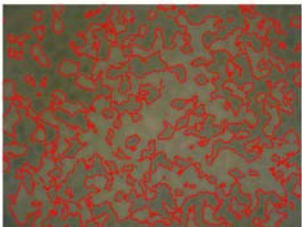
Σχήμα V.118. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 32.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 5 \text{ min}$)

 <p>I. Αρχική εικόνα</p>	 <p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	 <p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
 <p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		 <p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
 <p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		 <p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
 <p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		 <p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


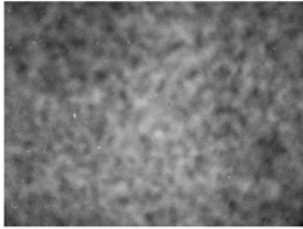

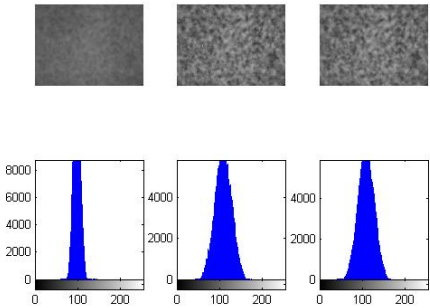
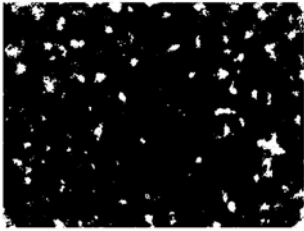
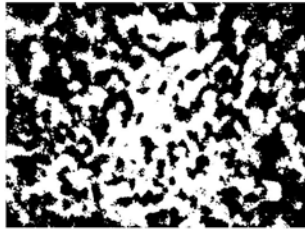
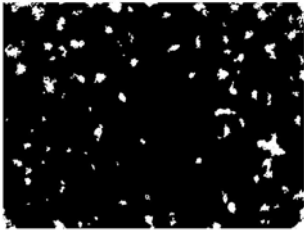
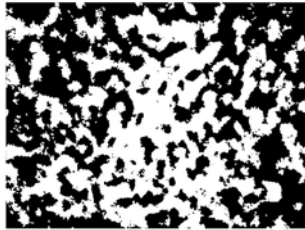
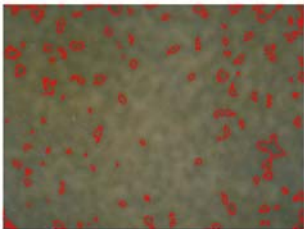

Σχήμα V.119. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 32.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 10 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


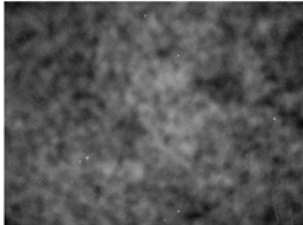
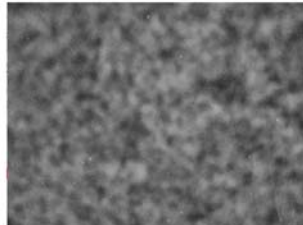
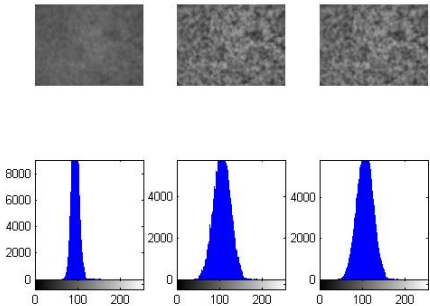

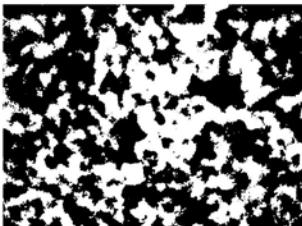
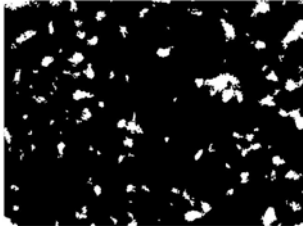
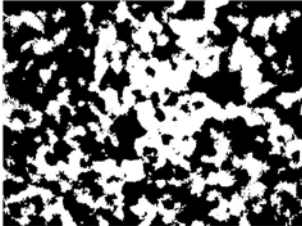
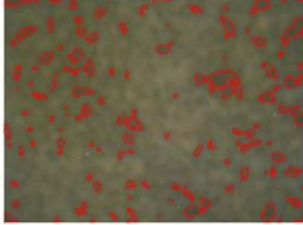

Σχήμα V.120. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 32.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 15 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


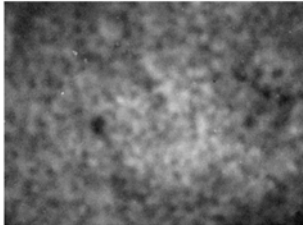
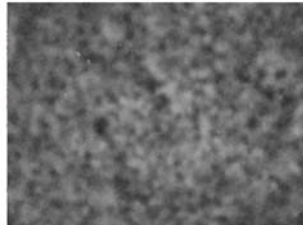
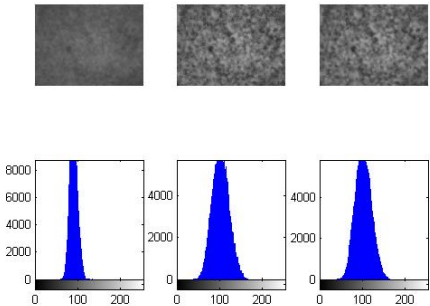
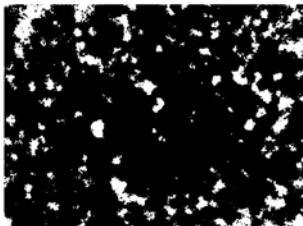
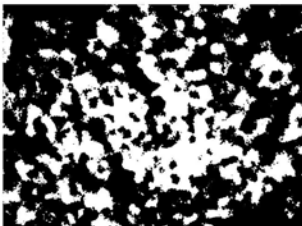
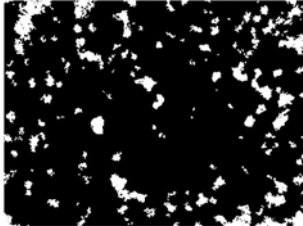
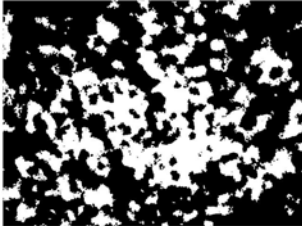

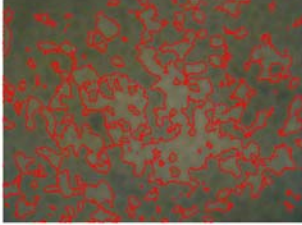
Σχήμα V.121. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 32.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 20 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


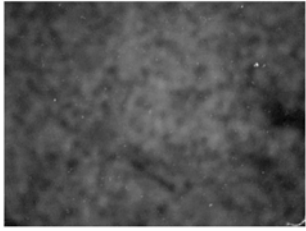
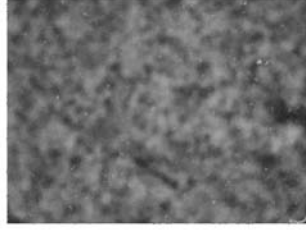
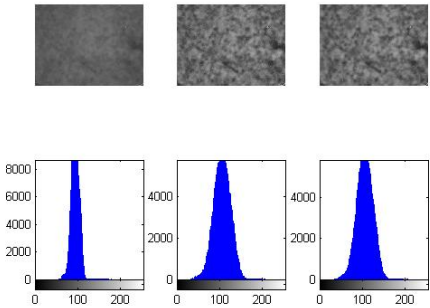
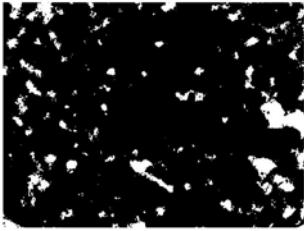
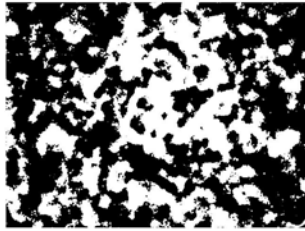
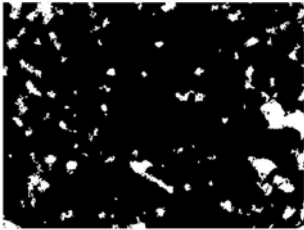
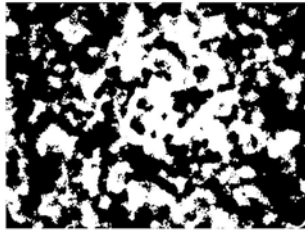
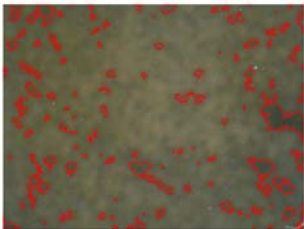

Σχήμα V.122. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 32.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 25 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


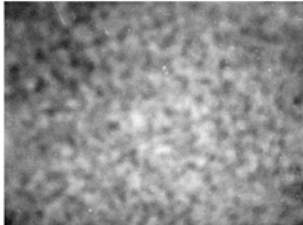
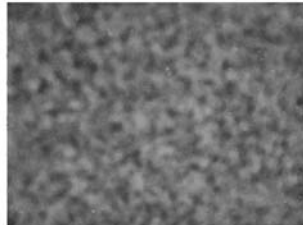
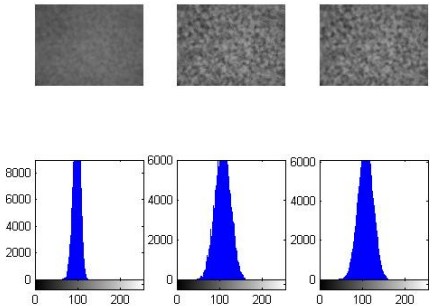
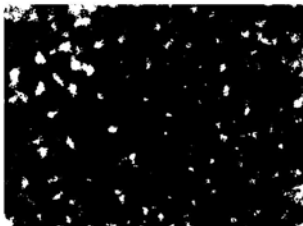
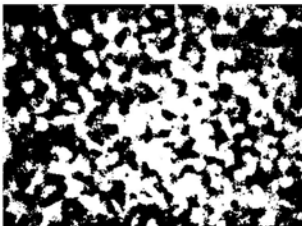
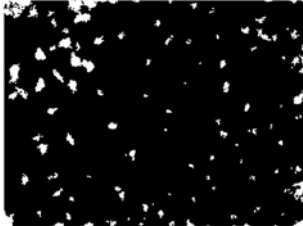
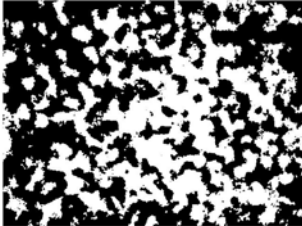
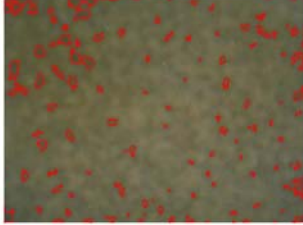

Σχήμα V.123. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 32.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 30 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


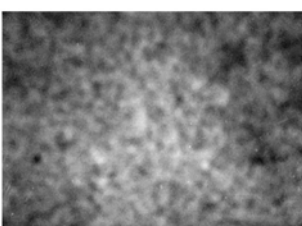
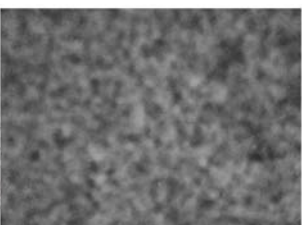
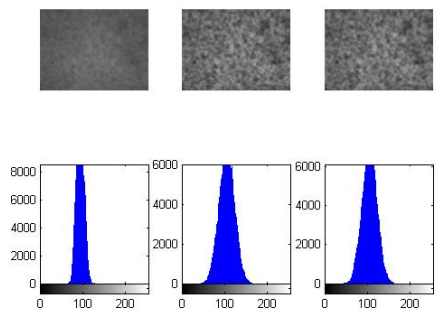
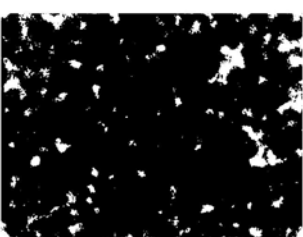
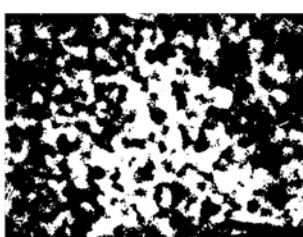
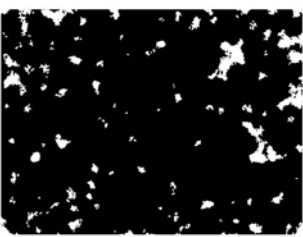
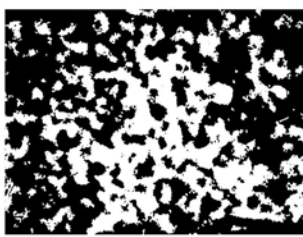
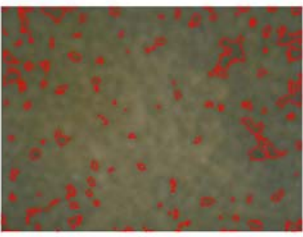

Σχήμα V.124. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 32.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 40 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


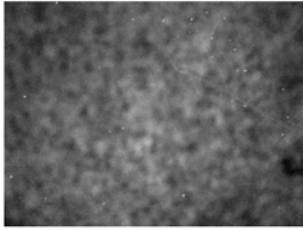
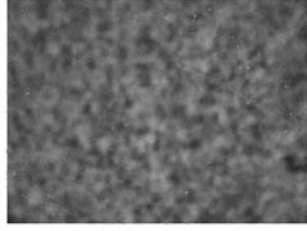
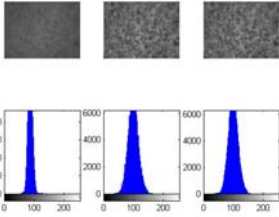
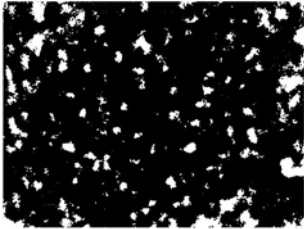
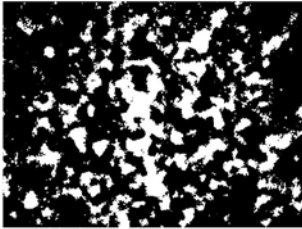
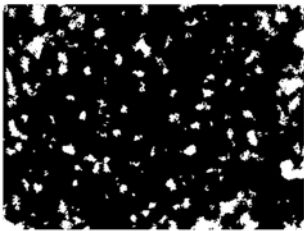
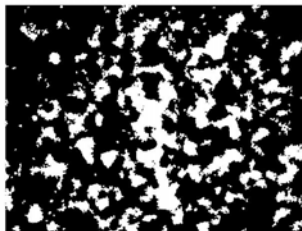
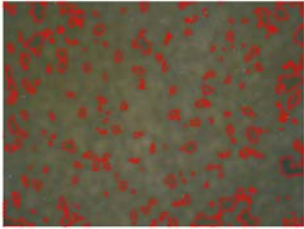

Σχήμα V.125. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 32.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 50 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


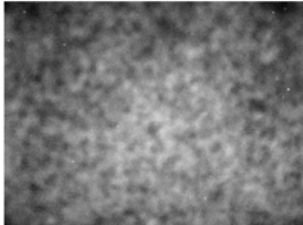
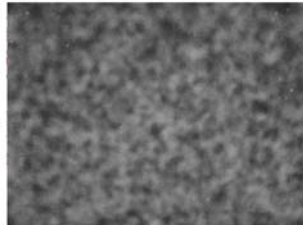
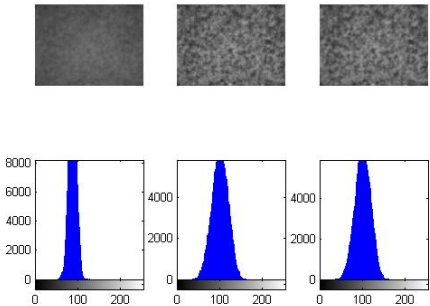

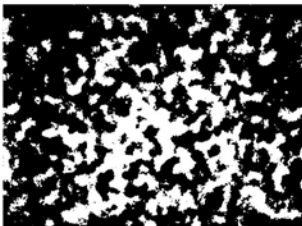
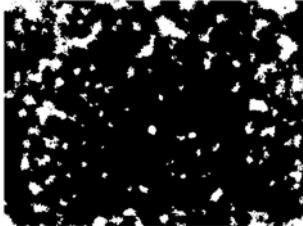
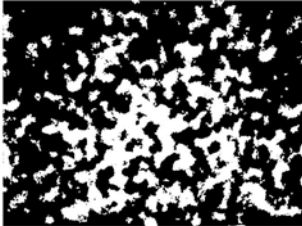
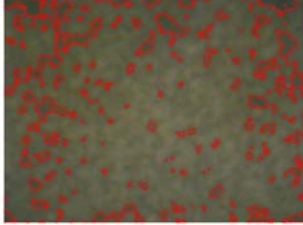

Σχήμα V.126. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 32.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 60 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκρίζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκρίζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


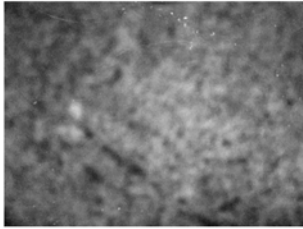
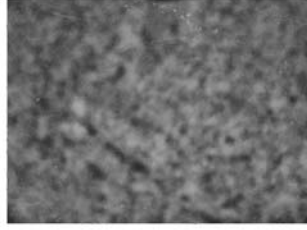
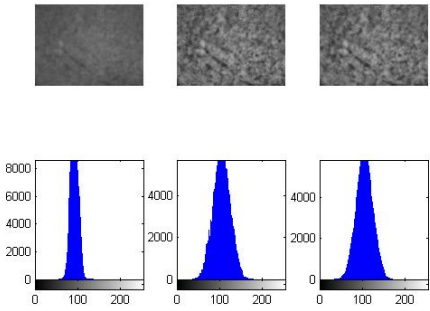
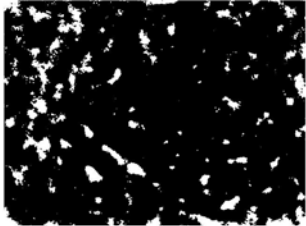
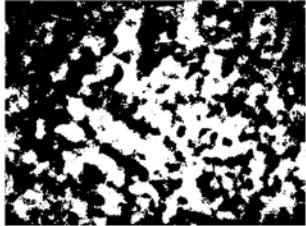

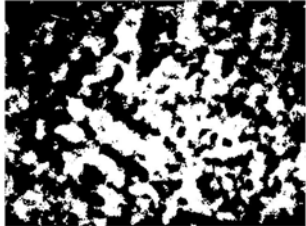
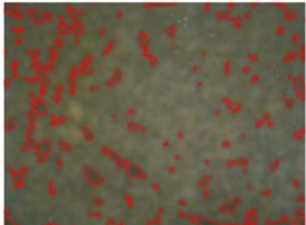

Σχήμα V.127. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: t_0)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


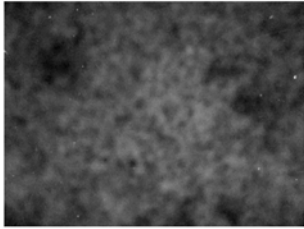
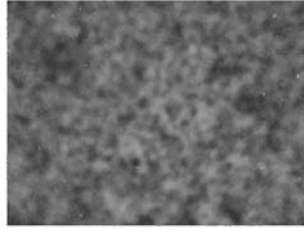
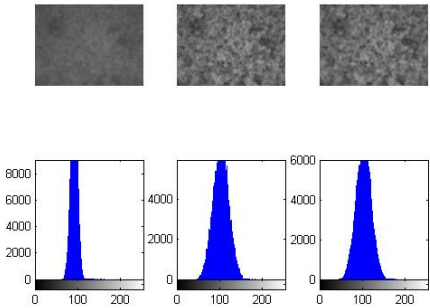
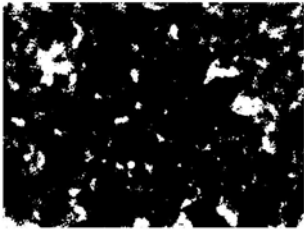
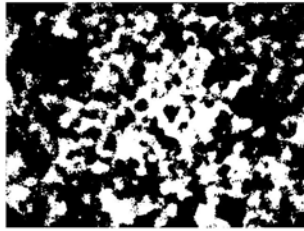
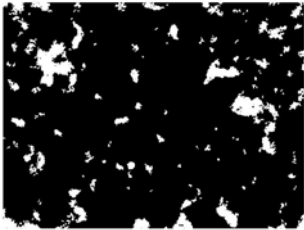
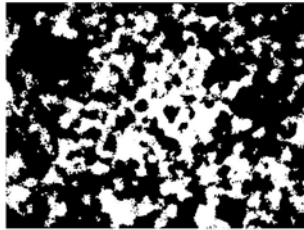

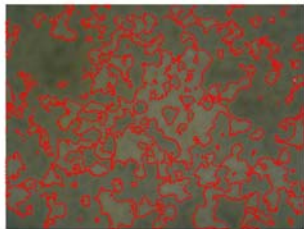
Σχήμα V.128. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 5 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


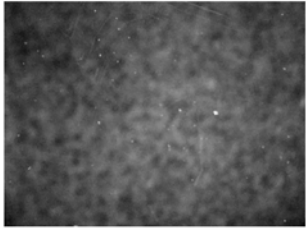
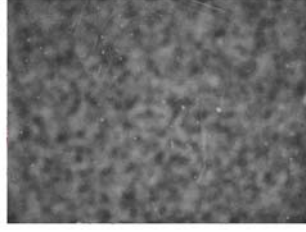
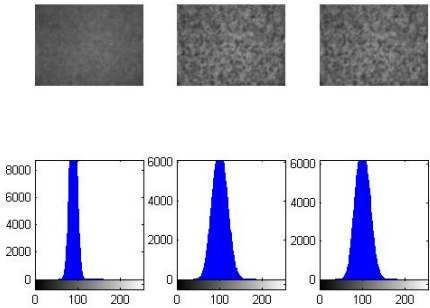
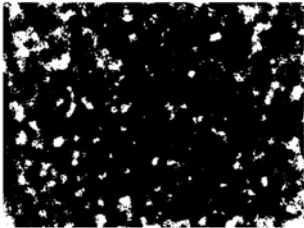
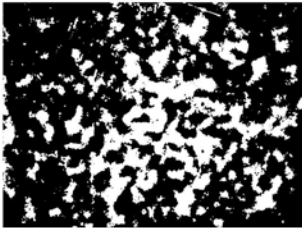
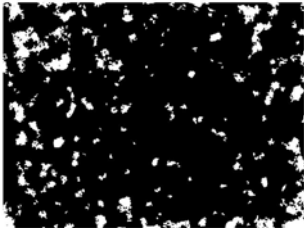
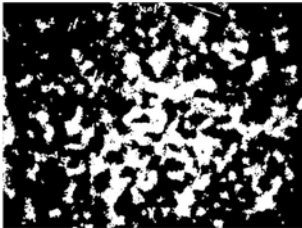
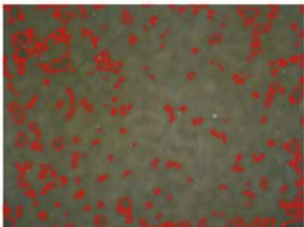

Σχήμα V.129. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 10 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


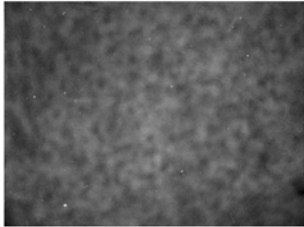
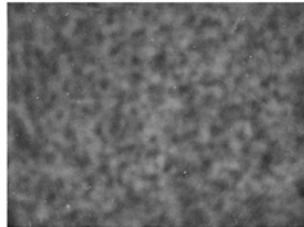
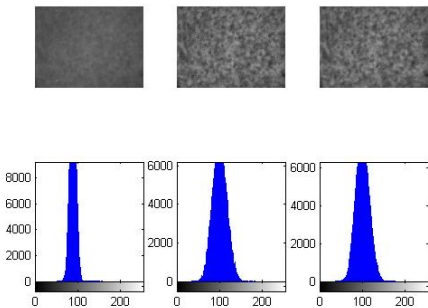
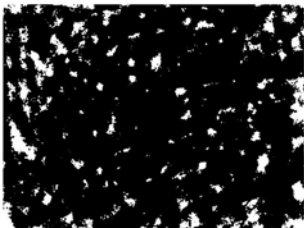
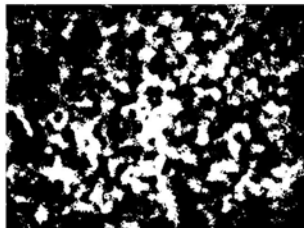
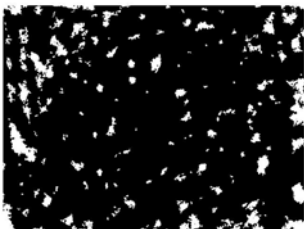
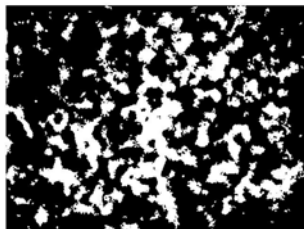


Σχήμα V.130. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 15 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


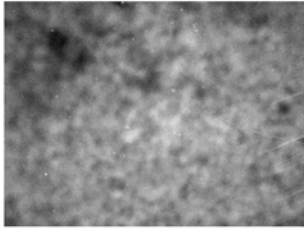

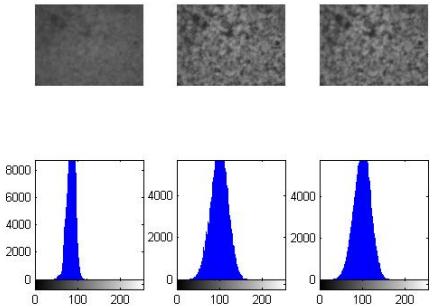
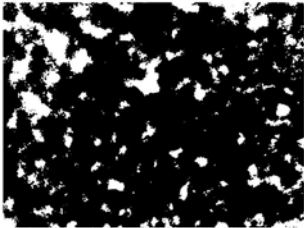
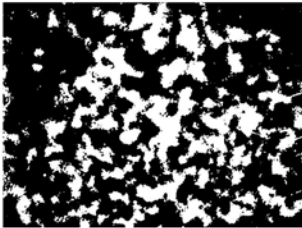

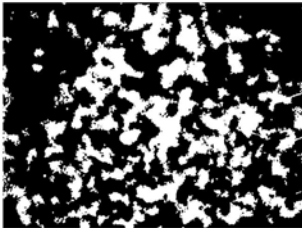
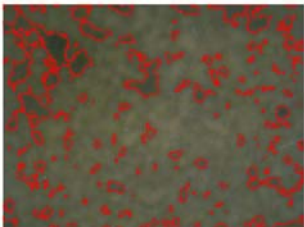

Σχήμα V.131. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 20 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


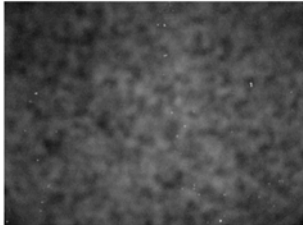
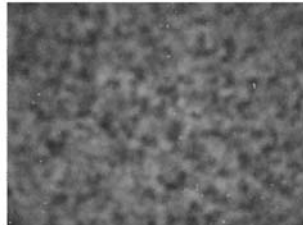
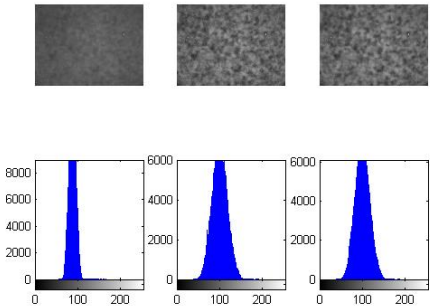
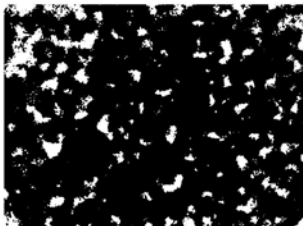
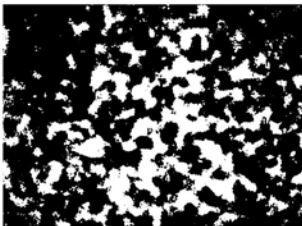
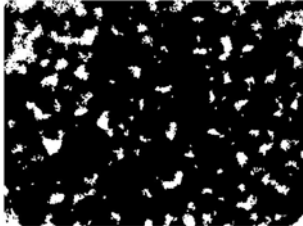
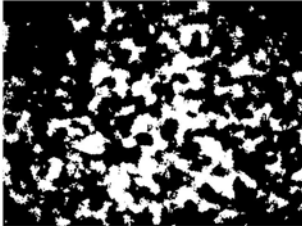
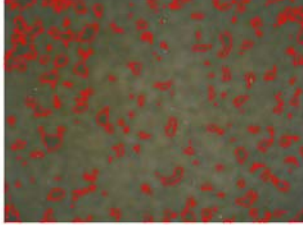

Σχήμα V.132. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 25 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


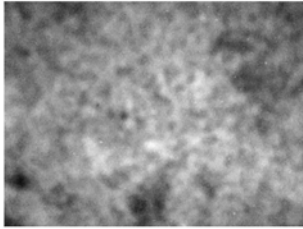
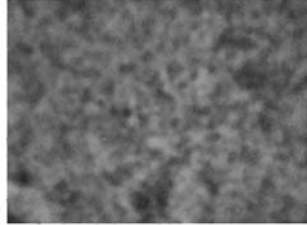
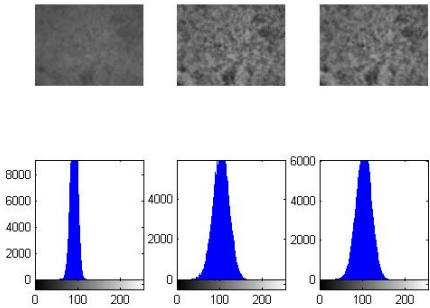
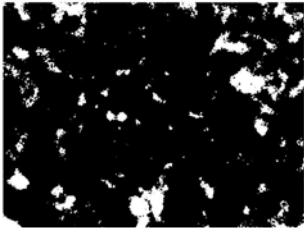
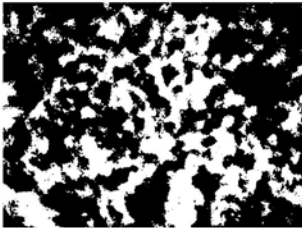
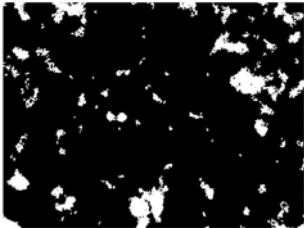
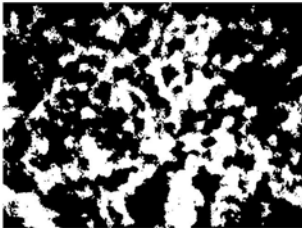
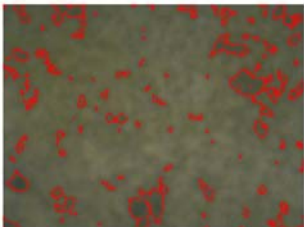

Σχήμα V.133. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 30 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


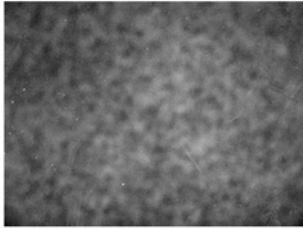

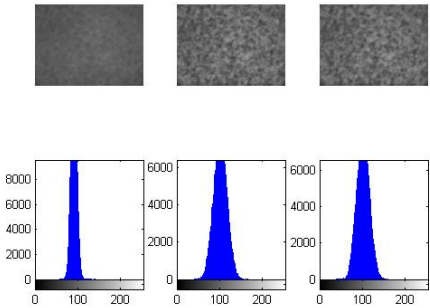
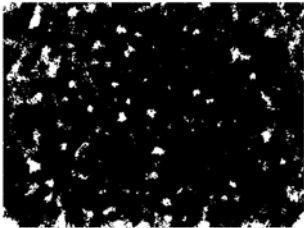
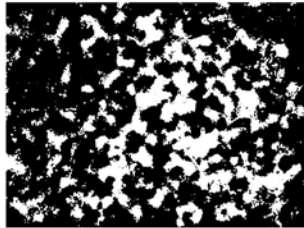
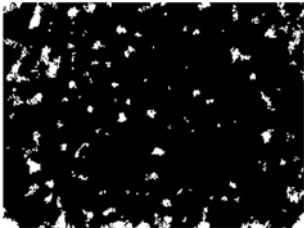
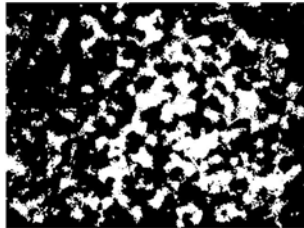
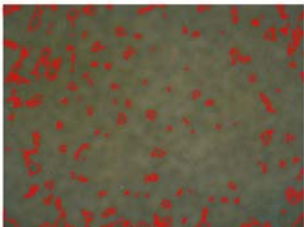

Σχήμα V.134. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 40 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


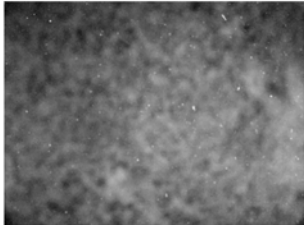
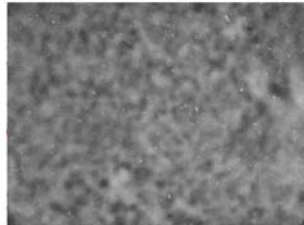
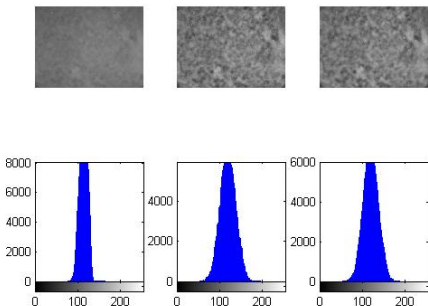

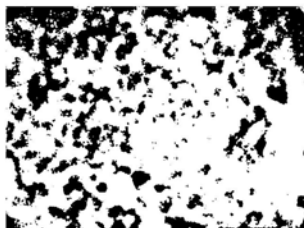

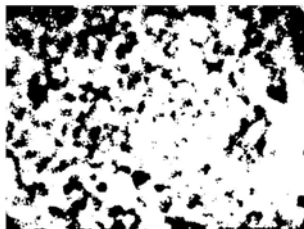
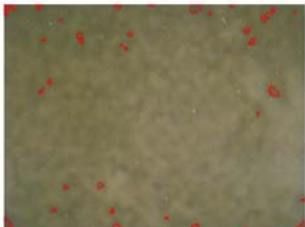
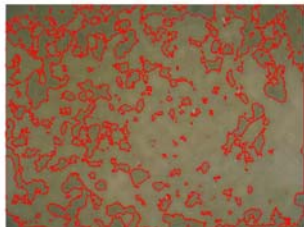
Σχήμα V.135. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 50 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


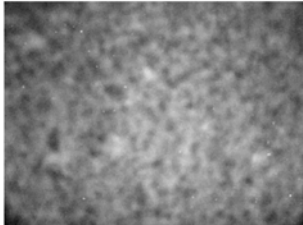
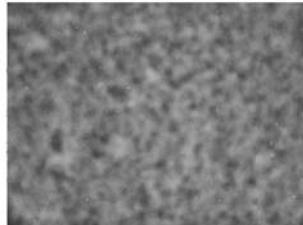
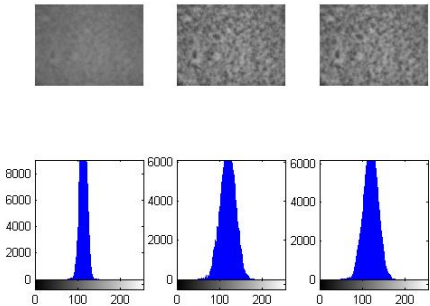

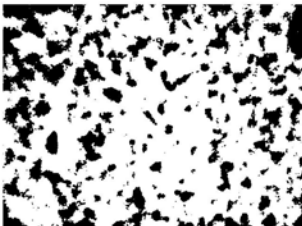
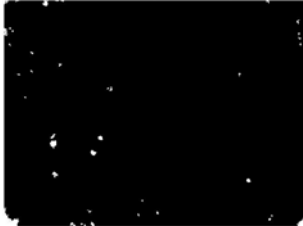
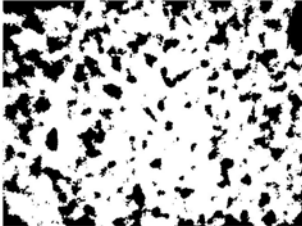
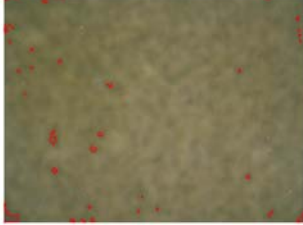

Σχήμα V.136. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 60 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


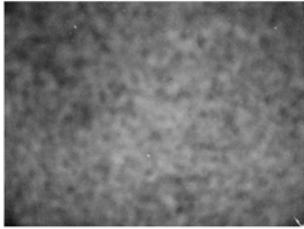
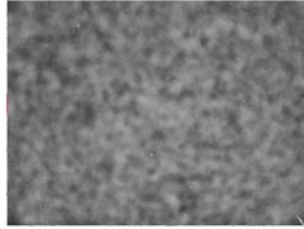
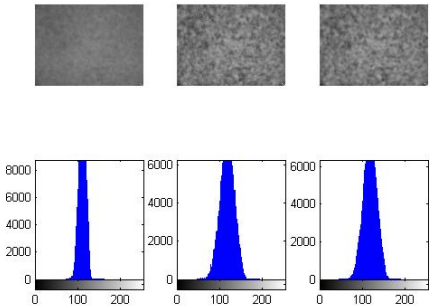

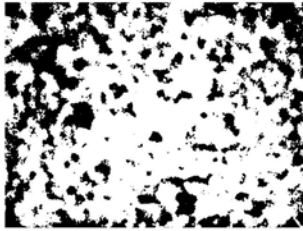
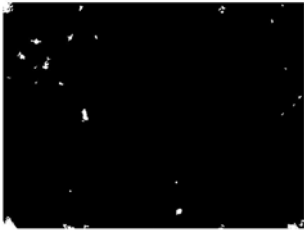
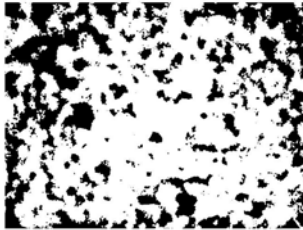

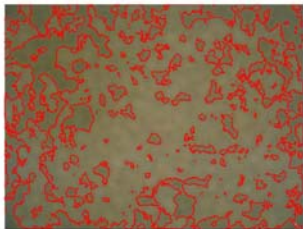
Σχήμα V.137. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: t_0)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


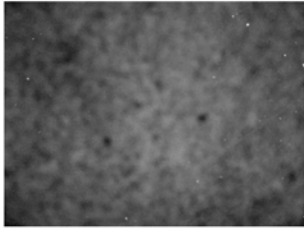
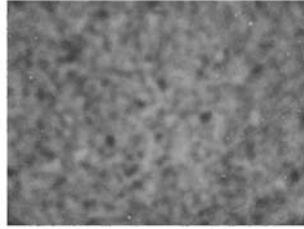
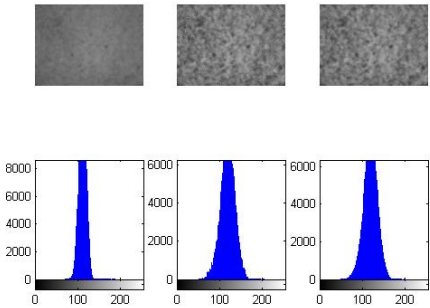
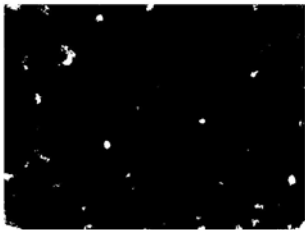
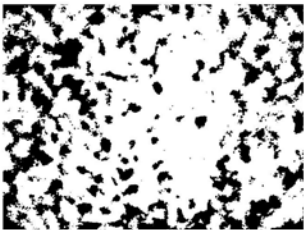
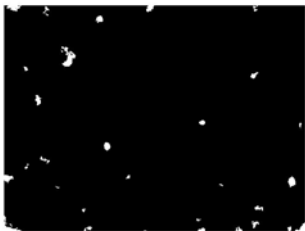
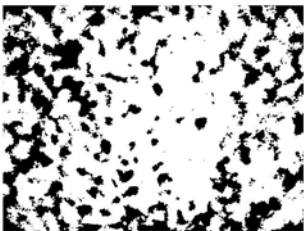
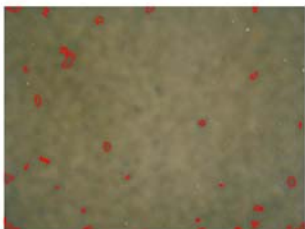
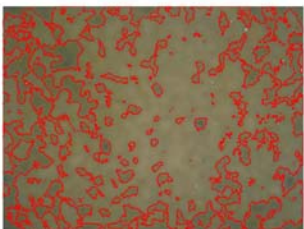
Σχήμα V.138. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 5 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


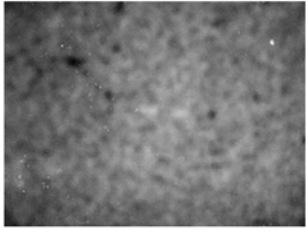
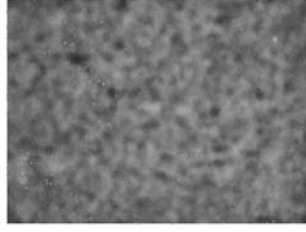
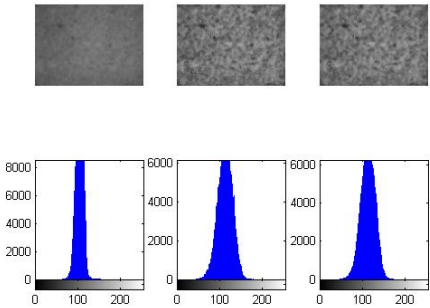

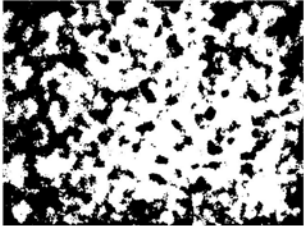

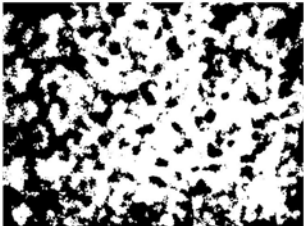
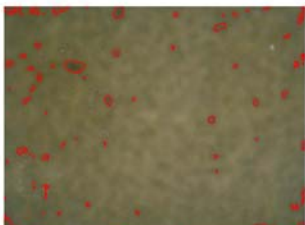

Σχήμα V.139. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 10 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


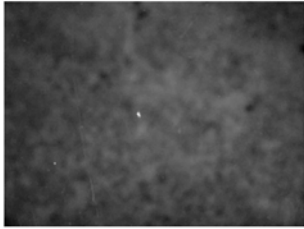
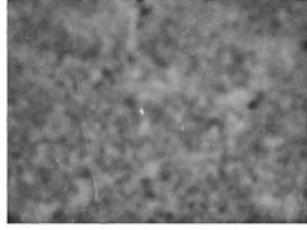
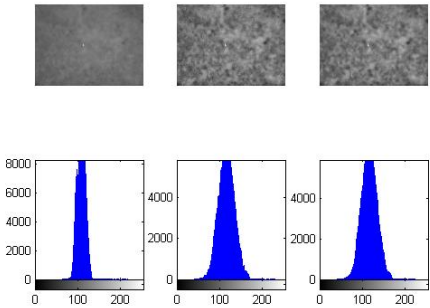

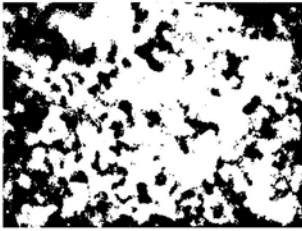

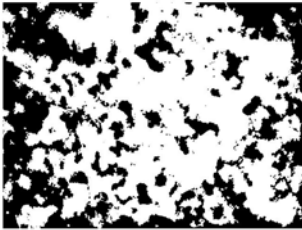

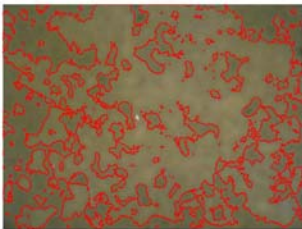
Σχήμα V.140. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 15 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


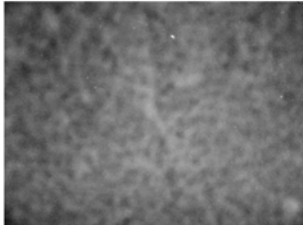
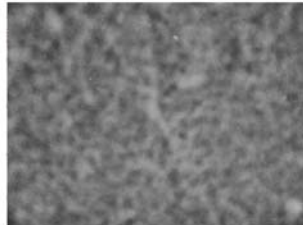
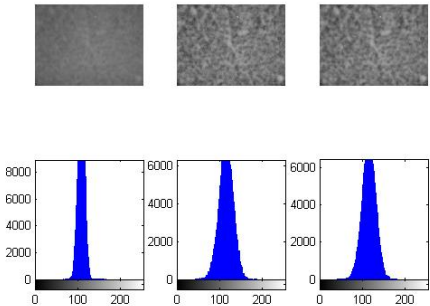


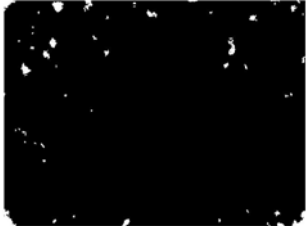
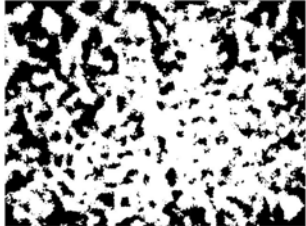
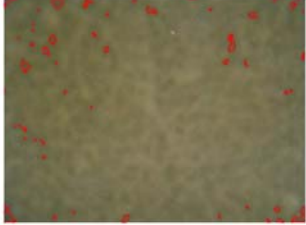
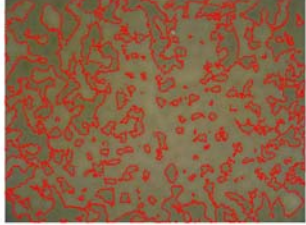
Σχήμα V.141. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 20 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


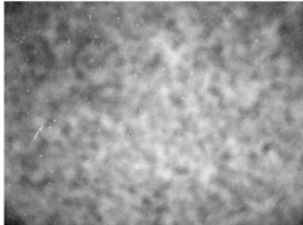
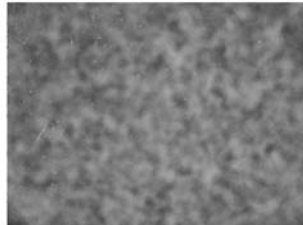
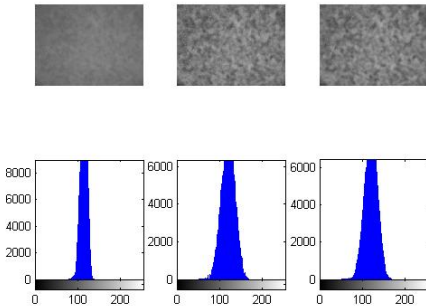

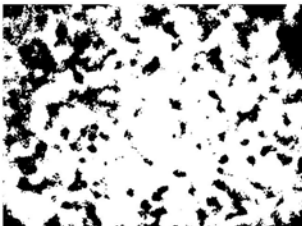



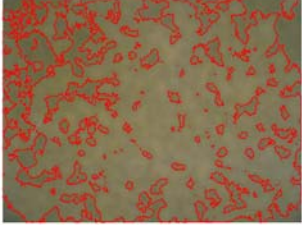
Σχήμα V.142. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 25 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


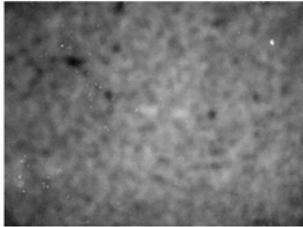
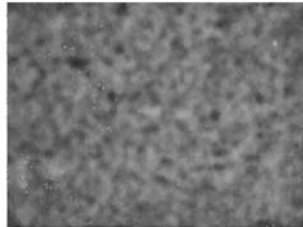
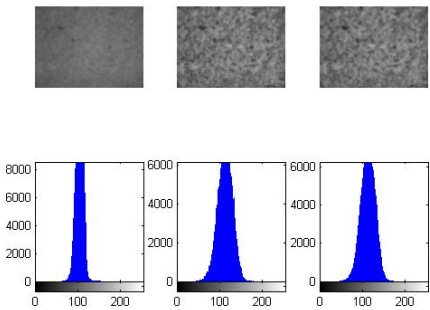

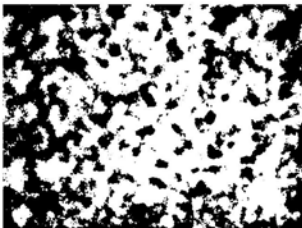

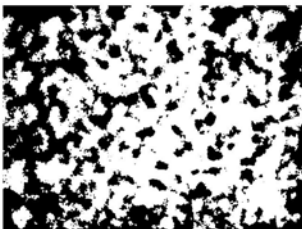
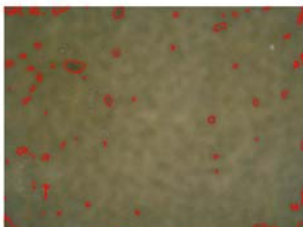

Σχήμα V.143. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 30 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>


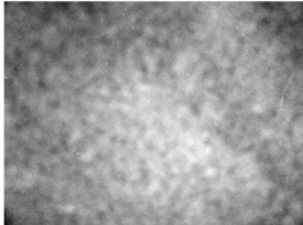
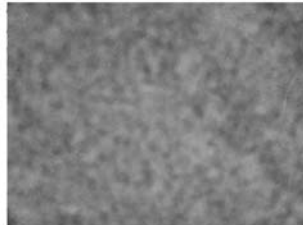
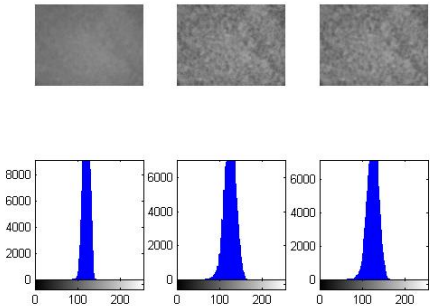
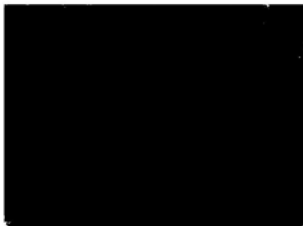

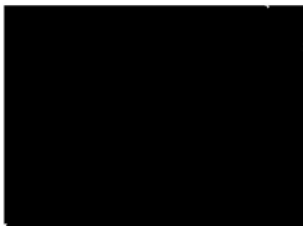


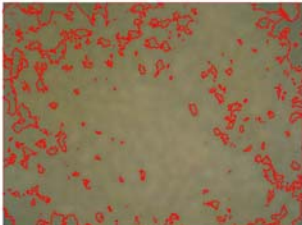
Σχήμα V.144. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 40 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>

Σχήμα V.145. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 50 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
		<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>

Σχήμα V.146. Αποτελέσματα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 50x, χρονική στιγμή: $t_0 + 60 \text{ min}$)

			
<p>I. Αρχική εικόνα</p>	<p>II. Μετατροπή σε γκριζα εικόνα</p>	<p>III. Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>	
	<p>IV. Σύγκριση ιστογραμμάτων μεταξύ γκριζας εικόνας (α), εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος (β) και εικόνας μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		
	<p>V.α. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 80) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>		<p>V.β. Εφαρμογή κατωφλίωσης (τιμής 110) σε Ψηφιακή εικόνα αποτέλεσμα μετά την προσαρμογή του ιστογράμματος και την εφαρμογή του φίλτρου</p>
	<p>VI.α. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 80) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>		<p>VI.β. Απομάκρυνση θορύβου, δημιουργία τελικής ψηφιακής εικόνας (threshold 110) προς μέτρηση μορφολογικών χαρακτηριστικών</p>
	<p>VII.α. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 80)</p>		<p>VII.β. Τελική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, με χαρακτηρισμένες τις περιοχές ενδιαφέροντος και καταμέτρησης των μορφολογικών ιδιοτήτων (threshold: 110)</p>

Εν συνέχεια, παρατίθενται ακολούθως οι **Πίνακες V.13. - V.32** και τα **Σχήματα V.147. – V.166.** όπου παρουσιάζονται τα ποσοτικοποιημένα αριθμητικά αποτελέσματα του εκτελεσθέντος πειραματικού σχεδιασμού (συνδυασμού *Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών και Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας*) και τα διαγράμματα των επιλεχθέντων μορφολογικών χαρακτηριστικών/περιγραφών (“*descriptors*”).

Πίνακας V.13. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντο CEM I 42.5, μεγέθυνση 25x και όριο κατωφλίωσης 80											
Descriptors	Περιγραφείς	Threshold 80									
		t₀	+5min	+10min	+15min	+20min	+25min	+30min	+40min	+50min	+60min
<i>area</i>	<i>περιοχή</i>	52,969	61,815	63,362	70,770	72,286	73,831	87,674	100,397	138,699	165,778
<i>centroid</i>	<i>κεντροειδές</i>	278,517	279,811	281,827	282,023	282,401	282,879	283,433	283,495	287,758	295,466
<i>eccentricity</i>	<i>εκκεντρότητα</i>	0,765	0,776	0,777	0,779	0,781	0,782	0,783	0,786	0,787	0,802
<i>euler number</i>	<i>αριθμό Όιλερ</i>	0,785	0,809	0,889	0,921	0,926	0,942	0,944	0,960	0,964	0,975
<i>perimeter</i>	<i>περίμετρος</i>	29,241	32,713	32,963	35,737	36,473	36,866	41,556	46,349	110,629	129,142
<i>solidity</i>	<i>στερεότητα</i>	0,812	0,813	0,819	0,821	0,830	0,832	0,835	0,841	0,846	0,886

Πίνακας V.14. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντο CEM I 42.5, μεγέθυνση 25x και όριο κατωφλίωσης 110											
Descriptors	Περιγραφείς	Threshold 110									
		t₀	+5min	+10min	+15min	+20min	+25min	+30min	+40min	+50min	+60min
<i>area</i>	<i>περιοχή</i>	18,444	39,623	43,667	48,403	49,988	50,055	50,668	51,607	59,110	63,518
<i>centroid</i>	<i>κεντροειδές</i>	269,969	274,940	277,090	277,408	277,999	278,569	278,945	279,431	288,074	310,656
<i>eccentricity</i>	<i>εκκεντρότητα</i>	0,722	0,763	0,769	0,771	0,773	0,774	0,776	0,776	0,779	0,790
<i>euler number</i>	<i>αριθμό Όιλερ</i>	0,936	0,943	0,943	0,963	0,965	0,966	0,976	0,980	0,982	0,986
<i>perimeter</i>	<i>περίμετρος</i>	14,127	22,994	25,124	26,798	27,313	27,323	27,556	27,954	30,950	33,209
<i>solidity</i>	<i>στερεότητα</i>	0,829	0,846	0,849	0,857	0,858	0,859	0,860	0,861	0,871	0,935

Πίνακας V.15. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντο CEM II 42.5, μεγέθυνση 25x και όριο κατωφλίωσης 80

Descriptors	Περιγραφείς	Threshold 80									
		t₀	+5min	+10min	+15min	+20min	+25min	+30min	+40min	+50min	+60min
<i>area</i>	<i>περιοχή</i>	53,744	55,219	68,892	82,282	89,042	92,696	94,335	107,956	153,621	282,277
<i>centroid</i>	<i>κεντροειδές</i>	276,716	277,147	278,791	281,869	282,065	282,100	282,797	284,816	284,842	286,559
<i>eccentricity</i>	<i>εκκεντρότητα</i>	0,773	0,779	0,780	0,780	0,781	0,783	0,783	0,787	0,789	0,794
<i>euler number</i>	<i>αριθμό Όιλερ</i>	0,316	0,789	0,869	0,886	0,901	0,911	0,922	0,954	0,960	0,970
<i>perimeter</i>	<i>περίμετρος</i>	29,566	30,476	34,925	41,034	42,841	43,236	44,314	47,943	58,493	92,472
<i>solidity</i>	<i>στερεότητα</i>	0,786	0,806	0,808	0,809	0,813	0,814	0,817	0,834	0,841	0,843

Πίνακας V.16. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντο CEM II 42.5, μεγέθυνση 25x και όριο κατωφλίωσης 110

Descriptors	Περιγραφείς	Threshold 110									
		t₀	+5min	+10min	+15min	+20min	+25min	+30min	+40min	+50min	+60min
<i>area</i>	<i>περιοχή</i>	33,822	34,795	38,460	39,131	40,921	41,773	46,270	49,878	55,082	55,090
<i>centroid</i>	<i>κεντροειδές</i>	272,667	276,045	277,691	278,959	279,574	280,658	281,813	285,578	286,674	296,552
<i>eccentricity</i>	<i>εκκεντρότητα</i>	0,770	0,772	0,777	0,778	0,778	0,780	0,782	0,782	0,785	0,787
<i>euler number</i>	<i>αριθμό Όιλερ</i>	0,943	0,957	0,963	0,968	0,977	0,978	0,980	0,981	0,983	0,990
<i>perimeter</i>	<i>περίμετρος</i>	21,313	21,917	23,240	23,697	24,059	24,713	26,306	26,467	29,125	29,763
<i>solidity</i>	<i>στερεότητα</i>	0,845	0,846	0,848	0,854	0,863	0,864	0,865	0,866	0,870	0,879

Πίνακας V.17. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντο CEM II 32.5, μεγέθυνση 25x και όριο κατωφλίωσης 80

Descriptors	Περιγραφείς	Threshold 80									
		t_0	+5min	+10min	+15min	+20min	+25min	+30min	+40min	+50min	+60min
area	περιοχή	99,141	130,142	142,879	189,591	194,987	307,124	556,949	651,469	726,940	972,954
centroid	κεντροειδές	274,286	278,548	279,875	280,081	284,092	285,270	288,273	289,920	293,253	303,511
eccentricity	εκκεντρότητα	0,756	0,775	0,777	0,780	0,780	0,781	0,783	0,784	0,791	0,792
euler number	αριθμό Όιλερ	0,180	0,271	0,340	0,390	0,467	0,534	0,611	0,756	0,791	0,877
perimeter	περίμετρος	46,769	56,838	61,674	75,758	77,117	94,835	102,247	118,303	131,504	144,264
solidity	στερεότητα	0,780	0,782	0,784	0,794	0,806	0,807	0,820	0,830	0,832	0,851

Πίνακας V.18. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντο CEM II 32.5, μεγέθυνση 25x και όριο κατωφλίωσης 110

Descriptors	Περιγραφείς	Threshold 110									
		t_0	+5min	+10min	+15min	+20min	+25min	+30min	+40min	+50min	+60min
area	περιοχή	23,836	24,923	27,350	28,236	28,871	29,764	32,914	36,116	39,520	49,567
centroid	κεντροειδές	245,102	246,343	260,182	264,276	264,484	271,916	277,553	280,977	284,938	317,534
eccentricity	εκκεντρότητα	0,757	0,769	0,770	0,771	0,771	0,773	0,780	0,797	0,799	0,809
euler number	αριθμό Όιλερ	0,946	0,955	0,980	0,981	0,982	0,985	0,992	0,993	0,996	0,998
perimeter	περίμετρος	16,770	17,919	18,554	18,637	18,823	19,316	20,907	22,148	24,891	28,266
solidity	στερεότητα	0,841	0,856	0,870	0,875	0,882	0,885	0,886	0,887	0,894	0,909

Πίνακας V.19. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντο CEM IV 32.5, μεγέθυνση 25x και όριο κατωφλίωσης 80

<u>Descriptors</u>	<u>Περιγραφείς</u>	<u>Threshold 80</u>									
		t_0	+5min	+10min	+15min	+20min	+25min	+30min	+40min	+50min	+60min
<i>area</i>	<i>περιοχή</i>	756,930	1096,817	1185,863	1982,294	2111,968	2378,416	3359,954	3963,281	5490,936	5568,283
<i>centroid</i>	<i>κεντροειδές</i>	264,990	286,312	287,852	293,754	298,660	307,048	313,207	314,894	319,931	341,773
<i>eccentricity</i>	<i>εκκεντρότητα</i>	0,750	0,767	0,772	0,776	0,778	0,781	0,785	0,786	0,792	0,794
<i>euler number</i>	<i>αριθμό Όιλερ</i>	0,210	0,376	0,441	0,496	0,542	0,698	0,763	0,844	0,896	0,971
<i>perimeter</i>	<i>περίμετρος</i>	73,832	76,307	90,640	95,129	101,108	114,469	121,714	126,201	140,310	143,346
<i>solidity</i>	<i>στερεότητα</i>	0,825	0,829	0,832	0,843	0,844	0,846	0,848	0,848	0,860	0,878

Πίνακας V.20. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντο CEM IV 32.5, μεγέθυνση 25x και όριο κατωφλίωσης 110

<u>Descriptors</u>	<u>Περιγραφείς</u>	<u>Threshold 110</u>									
		t_0	+5min	+10min	+15min	+20min	+25min	+30min	+40min	+50min	+60min
<i>area</i>	<i>περιοχή</i>	15,051	18,467	20,056	23,071	23,258	24,636	26,667	32,889	47,500	75,000
<i>centroid</i>	<i>κεντροειδές</i>	149,607	150,609	157,197	163,119	167,813	273,618	283,446	327,364	337,942	400,159
<i>eccentricity</i>	<i>εκκεντρότητα</i>	0,728	0,749	0,775	0,788	0,799	0,802	0,812	0,814	0,827	0,928
<i>euler number</i>	<i>αριθμό Όιλερ</i>	0,750	0,772	0,821	0,883	0,934	0,955	0,968	0,975	0,981	0,989
<i>perimeter</i>	<i>περίμετρος</i>	12,701	16,269	16,928	17,296	17,675	19,306	19,556	21,434	29,864	32,719
<i>solidity</i>	<i>στερεότητα</i>	0,739	0,793	0,835	0,843	0,853	0,858	0,876	0,879	0,919	0,935

Πίνακας V.21. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντο CEM I 52.5, μεγέθυνση 25x και όριο κατωφλίωσης 80

<u>Descriptors</u>	<u>Περιγραφείς</u>	<u>Threshold 80</u>									
		t_0	+5min	+10min	+15min	+20min	+25min	+30min	+40min	+50min	+60min
area	περιοχή	80,888	81,896	82,020	86,323	93,570	101,594	108,664	173,864	186,929	189,167
centroid	κεντροειδές	276,698	278,579	281,886	282,055	282,577	284,322	285,540	286,079	293,164	309,755
eccentricity	εκκεντρότητα	0,774	0,777	0,778	0,780	0,783	0,784	0,785	0,787	0,792	0,794
euler number	αριθμό Όιλερ	0,550	0,589	0,638	0,822	0,827	0,861	0,863	0,867	0,881	0,883
perimeter	περίμετρος	40,448	40,570	41,439	42,735	44,148	46,909	50,687	71,660	113,690	116,242
solidity	στερεότητα	0,785	0,803	0,805	0,812	0,812	0,812	0,815	0,819	0,826	0,834

Πίνακας V.22. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντο CEM I 52.5, μεγέθυνση 25x και όριο κατωφλίωσης 110

<u>Descriptors</u>	<u>Περιγραφείς</u>	<u>Threshold 110</u>									
		t_0	+5min	+10min	+15min	+20min	+25min	+30min	+40min	+50min	+60min
area	περιοχή	33,361	33,898	34,032	34,712	35,801	36,975	38,445	39,222	41,033	45,123
centroid	κεντροειδές	227,029	259,867	265,510	266,495	272,169	273,422	275,654	279,888	281,695	303,389
eccentricity	εκκεντρότητα	0,754	0,762	0,762	0,767	0,768	0,768	0,771	0,772	0,774	0,777
euler number	αριθμό Όιλερ	0,954	0,968	0,969	0,971	0,975	0,976	0,979	0,981	0,985	0,986
perimeter	περίμετρος	20,171	20,445	21,362	21,798	22,327	22,731	22,806	23,174	23,791	25,020
solidity	στερεότητα	0,862	0,871	0,871	0,873	0,873	0,876	0,876	0,880	0,891	0,891

Πίνακας V.23. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντο CEM I 42.5, μεγέθυνση 50x και όριο κατωφλίωσης 80

<u>Descriptors</u>	<u>Περιγραφείς</u>	<u>Threshold 80</u>									
		t_0	+5min	+10min	+15min	+20min	+25min	+30min	+40min	+50min	+60min
<i>area</i>	<i>περιοχή</i>	57,472	72,231	81,345	87,095	90,667	101,582	103,301	108,375	133,750	168,900
<i>centroid</i>	<i>κεντροειδές</i>	220,169	222,091	223,239	238,448	258,326	274,977	278,257	286,595	296,988	349,305
<i>eccentricity</i>	<i>εκκεντρότητα</i>	0,748	0,756	0,775	0,776	0,779	0,780	0,785	0,790	0,809	0,826
<i>euler number</i>	<i>αριθμό Όιλερ</i>	0,904	0,909	0,917	0,919	0,920	0,929	0,931	0,958	0,962	0,967
<i>perimeter</i>	<i>περίμετρος</i>	28,571	32,548	32,990	33,722	35,198	40,033	41,912	41,939	42,380	50,336
<i>solidity</i>	<i>στερεότητα</i>	0,792	0,817	0,844	0,850	0,856	0,858	0,865	0,868	0,880	0,884

Πίνακας V.24. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντο CEM I 42.5, μεγέθυνση 50x και όριο κατωφλίωσης 110

<u>Descriptors</u>	<u>Περιγραφείς</u>	<u>Threshold 110</u>									
		t_0	+5min	+10min	+15min	+20min	+25min	+30min	+40min	+50min	+60min
<i>area</i>	<i>περιοχή</i>	56,842	71,033	115,000	124,350	141,294	152,294	204,667	234,273	305,556	396,333
<i>centroid</i>	<i>κεντροειδές</i>	207,995	219,400	220,365	235,921	242,680	265,258	267,130	275,566	275,703	291,695
<i>eccentricity</i>	<i>εκκεντρότητα</i>	0,670	0,731	0,747	0,754	0,762	0,775	0,785	0,787	0,807	0,818
<i>euler number</i>	<i>αριθμό Όιλερ</i>	0,721	0,775	0,793	0,812	0,862	0,891	0,924	0,957	0,976	0,986
<i>perimeter</i>	<i>περίμετρος</i>	220,127	244,077	244,965	271,497	286,461	327,521	368,992	418,844	457,425	917,653
<i>solidity</i>	<i>στερεότητα</i>	0,831	0,853	0,855	0,862	0,866	0,874	0,895	0,903	0,913	0,915

Πίνακας V.25. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντο CEM II 42.5, μεγέθυνση 50x και όριο κατωφλίωσης 80

Descriptors	Περιγραφείς	Threshold 80									
		t_0	+5min	+10min	+15min	+20min	+25min	+30min	+40min	+50min	+60min
area	περιοχή	62,733	83,447	83,859	91,838	95,283	96,358	114,517	122,491	127,000	140,600
centroid	κεντροειδές	213,808	230,599	240,616	247,348	247,742	250,187	265,231	283,075	296,018	298,741
eccentricity	εκκεντρότητα	0,758	0,775	0,776	0,776	0,777	0,785	0,792	0,797	0,809	0,833
euler number	αριθμό Όιλερ	0,675	0,826	0,845	0,862	0,922	0,925	0,946	0,947	0,961	0,976
perimeter	περίμετρος	30,086	33,639	36,044	36,356	36,748	38,603	41,715	43,977	44,828	50,522
solidity	στερεότητα	0,812	0,821	0,833	0,839	0,846	0,848	0,855	0,860	0,860	0,863

Πίνακας V.26. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντο CEM II 42.5, μεγέθυνση 50x και όριο κατωφλίωσης 110

Descriptors	Περιγραφείς	Threshold 110									
		t_0	+5min	+10min	+15min	+20min	+25min	+30min	+40min	+50min	+60min
area	περιοχή	312,362	484,667	595,514	658,771	780,036	975,846	1034,682	1187,500	1236,263	1352,167
centroid	κεντροειδές	176,133	181,999	191,893	201,899	227,704	246,342	258,084	259,727	269,452	276,225
eccentricity	εκκεντρότητα	0,664	0,737	0,743	0,748	0,748	0,748	0,757	0,774	0,780	0,827
euler number	αριθμό Όιλερ	0,712	0,773	0,807	0,816	0,822	0,875	0,916	0,946	0,977	0,981
perimeter	περίμετρος	169,489	175,402	199,827	204,066	239,237	244,263	282,178	293,634	314,516	347,701
solidity	στερεότητα	0,824	0,837	0,841	0,854	0,861	0,867	0,879	0,881	0,886	0,886

Πίνακας V.27. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντο CEM II 32.5, μεγέθυνση 50x και όριο κατωφλίωσης 80

Descriptors	Περιγραφείς	Threshold 80									
		t_0	+5min	+10min	+15min	+20min	+25min	+30min	+40min	+50min	+60min
area	περιοχή	122,259	123,212	135,692	145,293	162,538	165,630	169,905	171,095	177,972	202,754
centroid	κεντροειδές	256,247	257,474	262,815	266,824	268,891	268,984	271,889	273,008	276,160	310,912
eccentricity	εκκεντρότητα	0,761	0,762	0,763	0,767	0,769	0,773	0,780	0,783	0,785	0,801
euler number	αριθμό Όιλερ	0,425	0,576	0,629	0,701	0,727	0,734	0,752	0,770	0,772	0,826
perimeter	περίμετρος	45,514	47,097	49,612	52,741	53,118	53,763	54,543	54,628	56,342	64,009
solidity	στερεότητα	0,785	0,801	0,810	0,810	0,811	0,813	0,816	0,817	0,817	0,819

Πίνακας V.28. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντο CEM II 32.5, μεγέθυνση 50x και όριο κατωφλίωσης 110

Descriptors	Περιγραφείς	Threshold 110									
		t_0	+5min	+10min	+15min	+20min	+25min	+30min	+40min	+50min	+60min
area	περιοχή	813,000	863,551	871,986	906,116	1055,023	1242,595	1249,437	1256,624	1427,141	1865,782
centroid	κεντροειδές	241,679	247,032	247,232	259,627	260,195	261,532	264,566	283,136	286,325	287,289
eccentricity	εκκεντρότητα	0,748	0,750	0,751	0,754	0,763	0,764	0,772	0,775	0,782	0,792
euler number	αριθμό Όιλερ	0,622	0,663	0,691	0,712	0,759	0,771	0,816	0,855	0,892	0,938
perimeter	περίμετρος	118,395	119,107	122,463	122,911	138,628	144,094	146,613	166,993	173,219	209,291
solidity	στερεότητα	0,794	0,798	0,800	0,801	0,804	0,809	0,820	0,823	0,831	0,832

Πίνακας V.29. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντο CEM IV 32.5, μεγέθυνση 50x και όριο κατωφλίωσης 80

<u>Descriptors</u>	<u>Περιγραφείς</u>	<u>Threshold 80</u>									
		t_0	+5min	+10min	+15min	+20min	+25min	+30min	+40min	+50min	+60min
<i>area</i>	<i>περιοχή</i>	107,345	141,953	143,973	160,842	172,976	183,794	187,628	207,770	222,582	249,407
<i>centroid</i>	<i>κεντροειδές</i>	258,293	265,078	266,987	267,158	274,132	278,065	286,241	287,490	290,757	293,608
<i>eccentricity</i>	<i>εκκεντρότητα</i>	0,765	0,771	0,779	0,780	0,781	0,787	0,790	0,799	0,800	0,804
<i>euler number</i>	<i>αριθμό Όιλερ</i>	0,274	0,469	0,513	0,519	0,599	0,603	0,658	0,674	0,740	0,772
<i>perimeter</i>	<i>περίμετρος</i>	45,629	51,843	52,144	54,328	54,382	59,710	60,392	60,510	63,383	67,460
<i>solidity</i>	<i>στερεότητα</i>	0,799	0,801	0,802	0,802	0,802	0,803	0,803	0,807	0,810	0,815

Πίνακας V.30. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντο CEM IV 32.5, μεγέθυνση 50x και όριο κατωφλίωσης 110

<u>Descriptors</u>	<u>Περιγραφείς</u>	<u>Threshold 110</u>									
		t_0	+5min	+10min	+15min	+20min	+25min	+30min	+40min	+50min	+60min
<i>area</i>	<i>περιοχή</i>	340,932	390,133	415,876	477,367	497,220	566,121	655,574	768,921	779,813	824,348
<i>centroid</i>	<i>κεντροειδές</i>	239,679	247,389	256,569	257,344	258,069	265,286	268,494	272,922	281,850	283,194
<i>eccentricity</i>	<i>εκκεντρότητα</i>	0,754	0,762	0,763	0,766	0,771	0,775	0,775	0,779	0,785	0,789
<i>euler number</i>	<i>αριθμό Όιλερ</i>	0,150	0,169	0,181	0,218	0,236	0,355	0,432	0,552	0,697	0,877
<i>perimeter</i>	<i>περίμετρος</i>	80,736	85,522	89,761	96,952	98,788	110,613	116,703	119,426	124,208	131,019
<i>solidity</i>	<i>στερεότητα</i>	0,789	0,792	0,792	0,803	0,804	0,805	0,809	0,813	0,813	0,816

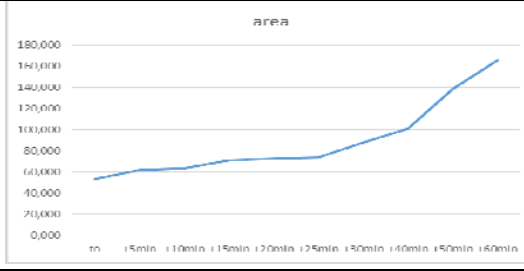
Πίνακας V.31. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντο CEM I 52.5, μεγέθυνση 50x και όριο κατωφλίωσης 80

Descriptors	Περιγραφείς	Threshold 80									
		t₀	+5min	+10min	+15min	+20min	+25min	+30min	+40min	+50min	+60min
<i>area</i>	<i>περιοχή</i>	51,725	62,500	64,083	71,600	74,500	83,289	87,667	92,088	92,088	107,057
<i>centroid</i>	<i>κεντροειδές</i>	232,995	235,895	236,628	244,555	244,555	261,141	269,031	276,088	280,962	360,276
<i>eccentricity</i>	<i>εκκεντρότητα</i>	0,761	0,773	0,773	0,778	0,778	0,780	0,791	0,803	0,810	0,887
<i>euler number</i>	<i>αριθμό Όιλερ</i>	0,806	0,842	0,850	0,850	0,899	0,914	0,925	0,933	0,943	0,986
<i>perimeter</i>	<i>περίμετρος</i>	25,299	30,203	31,290	32,418	34,767	36,590	37,283	37,283	40,129	44,807
<i>solidity</i>	<i>στερεότητα</i>	0,758	0,800	0,813	0,828	0,828	0,839	0,847	0,848	0,850	0,852

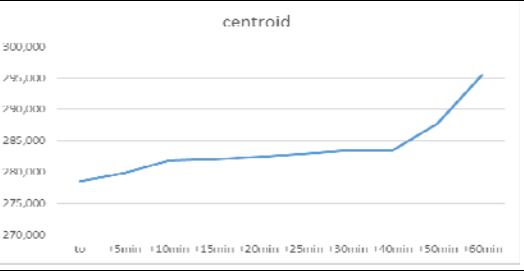
Πίνακας V.32. Ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα εφαρμογής ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων μικροσκοπίου οπτικών ινών σε δείγματα σκυροδέματος με τσιμέντο CEM I 52.5, μεγέθυνση 50x και όριο κατωφλίωσης 110

Descriptors	Περιγραφείς	Threshold 110									
		t₀	+5min	+10min	+15min	+20min	+25min	+30min	+40min	+50min	+60min
<i>area</i>	<i>περιοχή</i>	1744,931	1744,931	2751,529	2808,987	2908,000	3753,846	4899,935	6306,514	11083,200	11687,435
<i>centroid</i>	<i>κεντροειδές</i>	164,097	184,674	229,212	242,511	249,891	250,649	250,649	253,316	263,805	280,214
<i>eccentricity</i>	<i>εκκεντρότητα</i>	0,722	0,722	0,727	0,736	0,751	0,764	0,767	0,767	0,776	0,795
<i>euler number</i>	<i>αριθμό Όιλερ</i>	31,242	36,521	41,213	45,784	52,626	56,783	60,558	64,315	67,913	70,019
<i>perimeter</i>	<i>περίμετρος</i>	120,920	120,920	134,499	141,998	155,821	197,889	216,154	222,730	301,408	359,602
<i>solidity</i>	<i>στερεότητα</i>	0,824	0,830	0,830	0,842	0,849	0,851	0,853	0,861	0,864	0,890

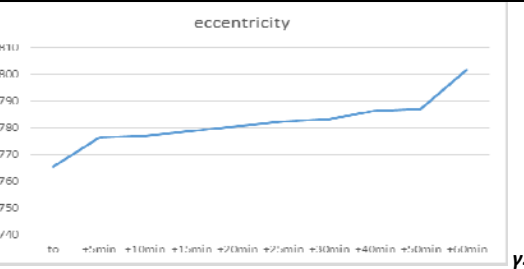
Σχήμα V.147. Σχηματικές απεικονίσεις ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ιών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 25x και τιμή κατωφλίωσης 80)



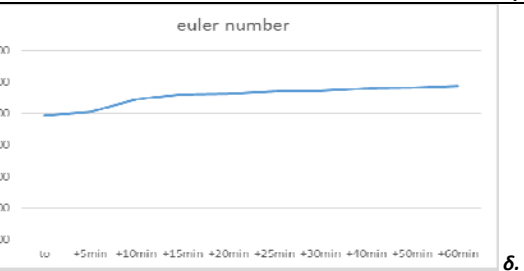
α. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "area"



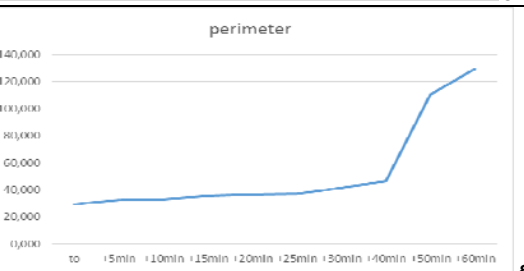
β. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "centroid"



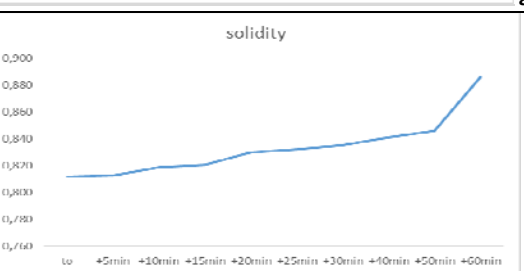
γ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "eccentricity"



δ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "Euler number"

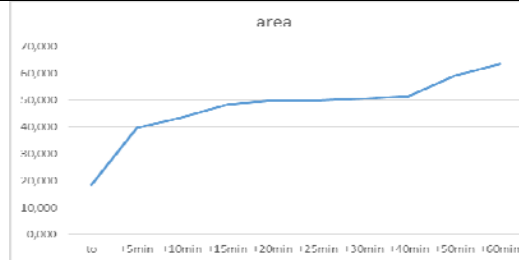


ε. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "perimeter"

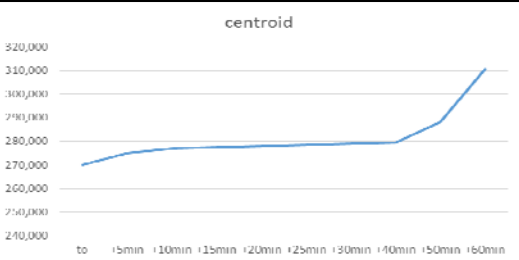


στ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "solidity"

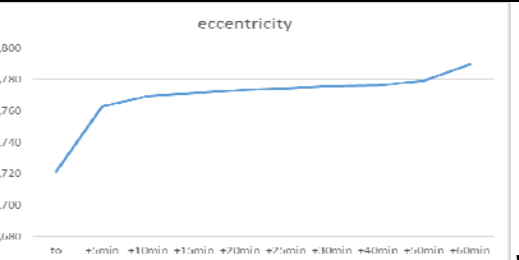
Σχήμα V.148. Σχηματικές απεικονίσεις ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 25x και τιμή κατωφλίσωσης 110)



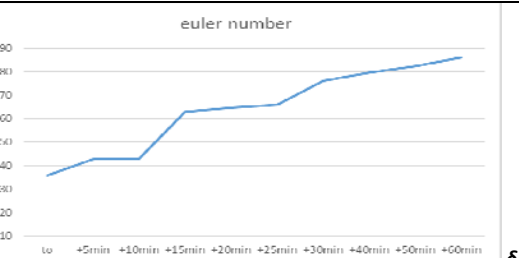
α. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "area"



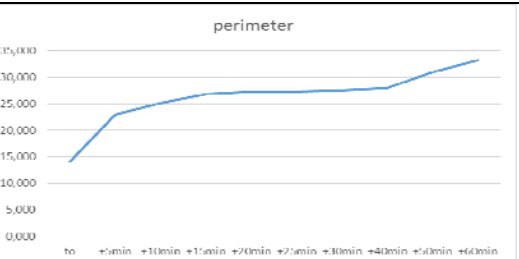
β. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "centroid"



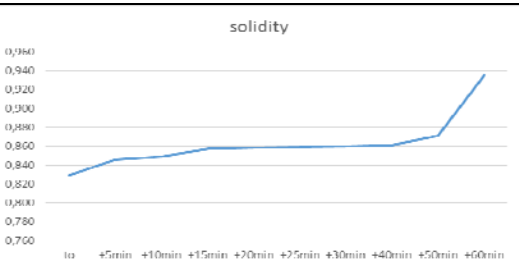
γ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "eccentricity"



δ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "Euler number"

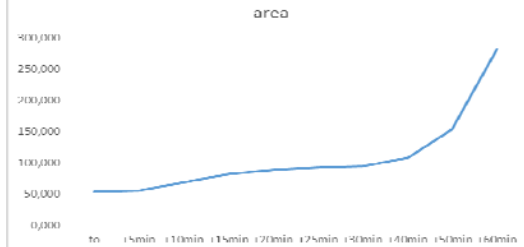


ε. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "perimeter"

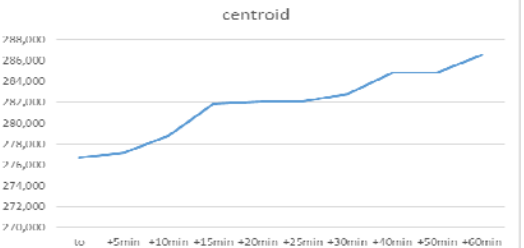


στ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "solidity"

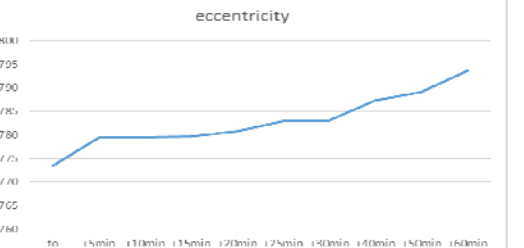
Σχήμα V.149. Σχηματικές απεικονίσεις ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 42.5 (μεγέθυνση 25x και τιμή κατωφλίσωσης 80)



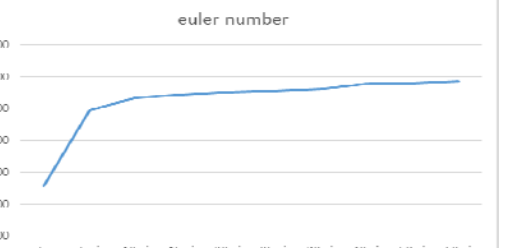
α. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "area"



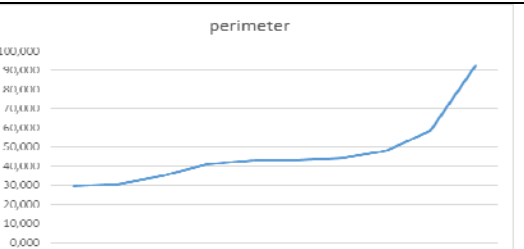
β. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "centroid"



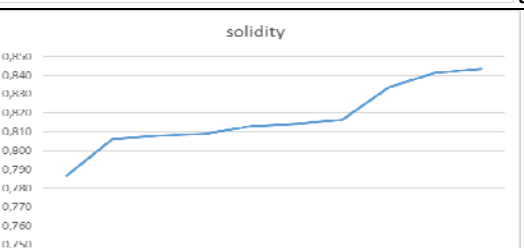
γ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "eccentricity"



δ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "Euler number"

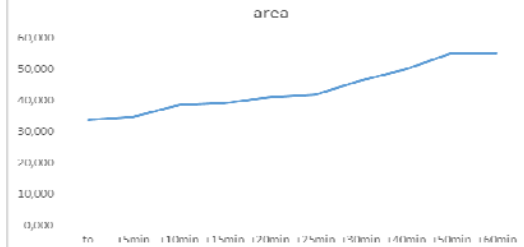


ε. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "perimeter"

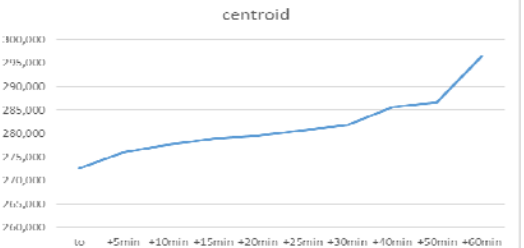


στ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "solidity"

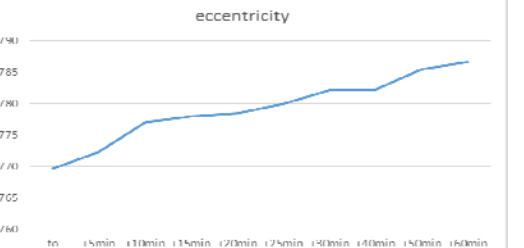
Σχήμα V.150. Σχηματικές απεικονίσεις ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 42.5 (μεγέθυνση 25x και τιμή κατωφλίσωσης 110)



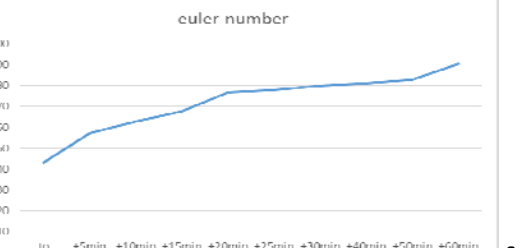
α. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "area"



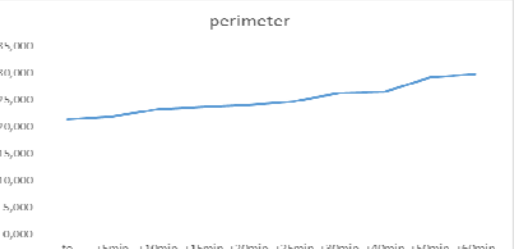
β. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "centroid"



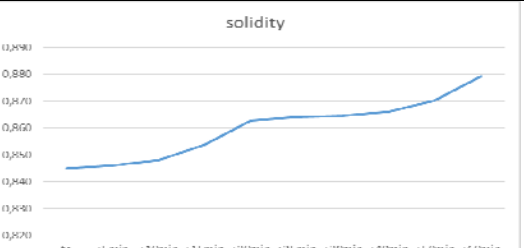
γ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "eccentricity"



δ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "Euler number"

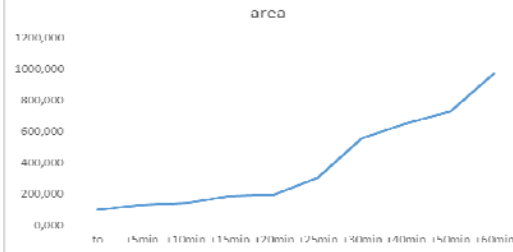


ε. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "perimeter"

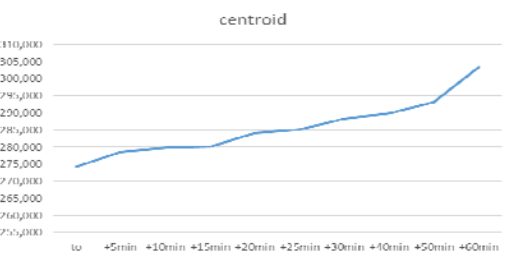


στ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "solidity"

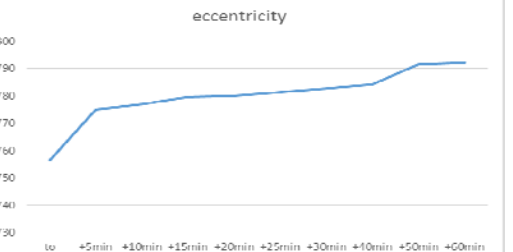
Σχήμα V.151. Σχηματικές απεικονίσεις ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 32.5 (μεγέθυνση 25x και τιμή κατωφλίσωσης 80)



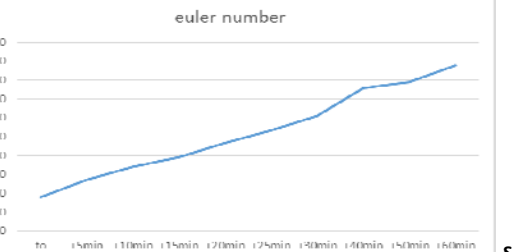
α. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "area"



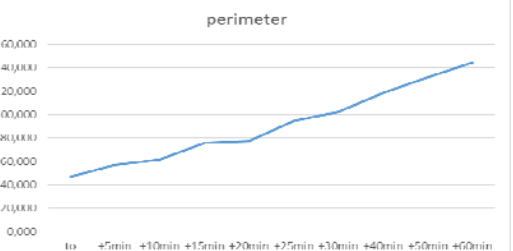
β. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "centroid"



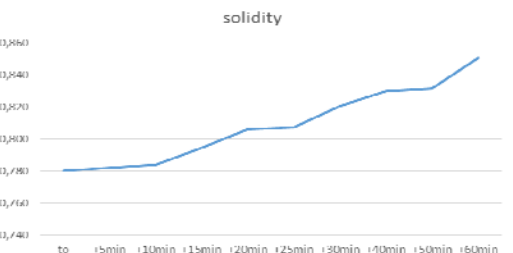
γ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "eccentricity"



δ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "Euler number"

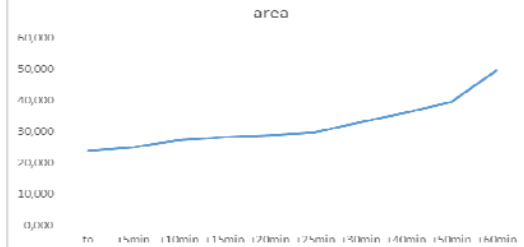


ε. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "perimeter"

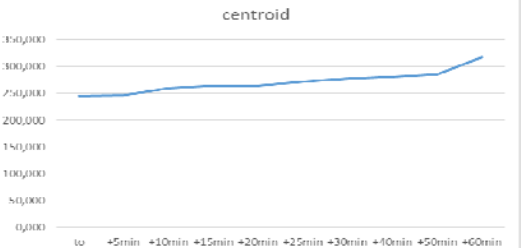


στ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "solidity"

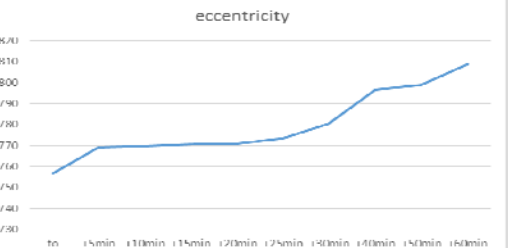
Σχήμα V.152. Σχηματικές απεικονίσεις ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 32.5 (μεγέθυνση 25x και τιμή κατωφλίσωσης 110)



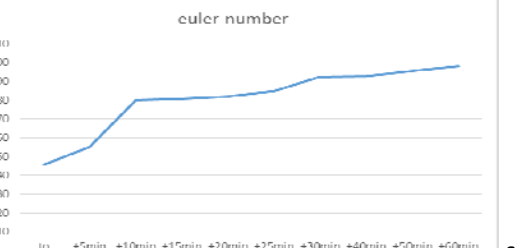
α. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "area"



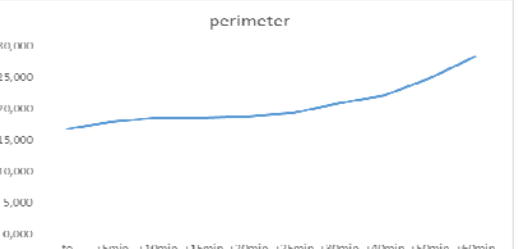
β. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "centroid"



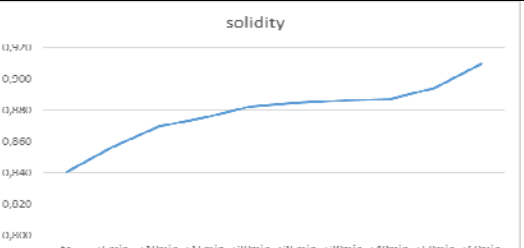
γ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "eccentricity"



δ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "Euler number"

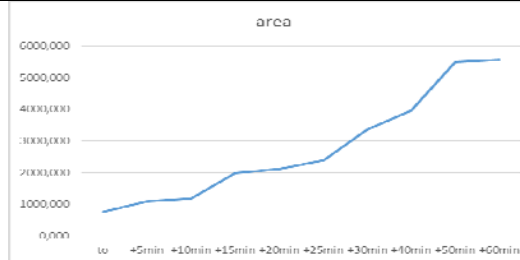


ε. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "perimeter"

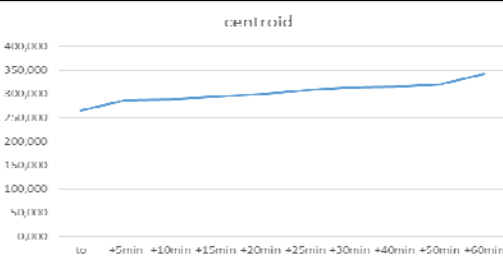


στ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "solidity"

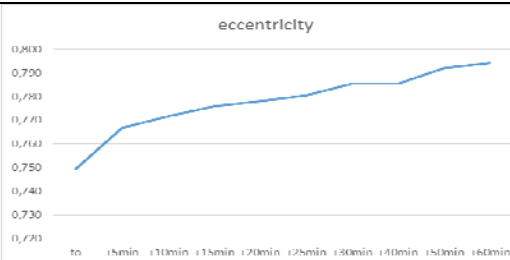
Σχήμα V.153. Σχηματικές απεικονίσεις ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 25x και τιμή κατωφλίσωσης 80)



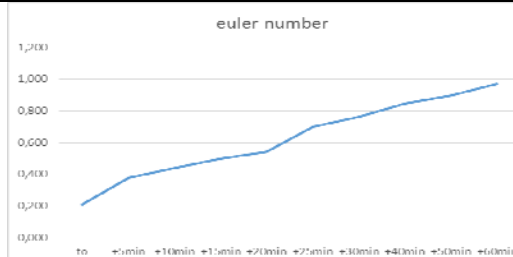
α. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "area"



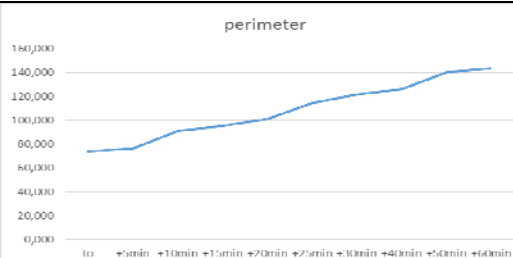
β. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "centroid"



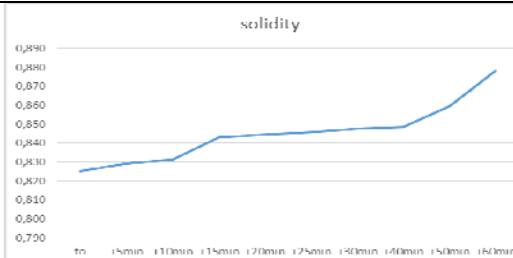
γ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "eccentricity"



δ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "Euler number"

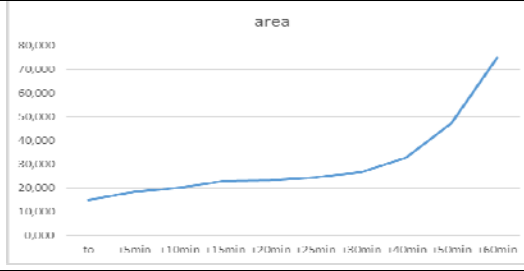


ε. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "perimeter"

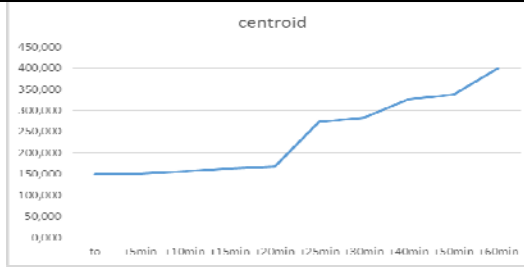


στ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "solidity"

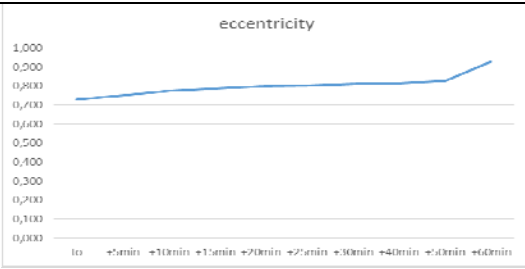
Σχήμα V.154. Σχηματικές απεικονίσεις ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 25x και τιμή κατωφλίσωσης 110)



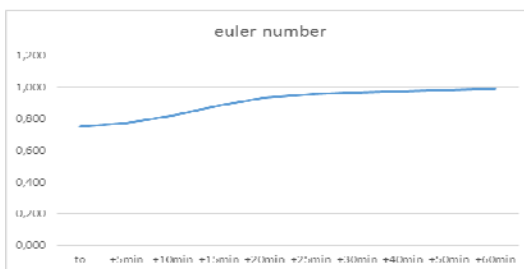
α. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "area"



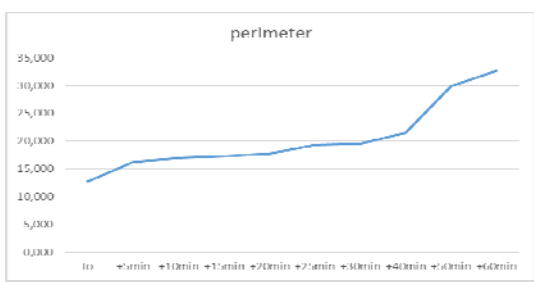
β. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "centroid"



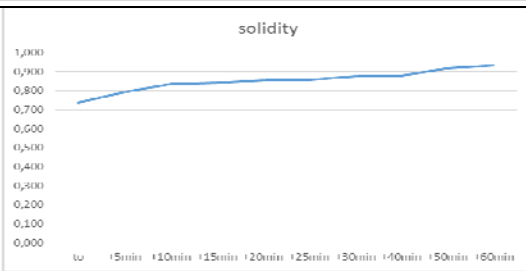
γ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "eccentricity"



δ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "Euler number"

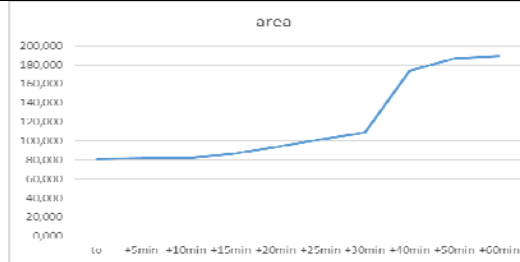


ε. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "perimeter"

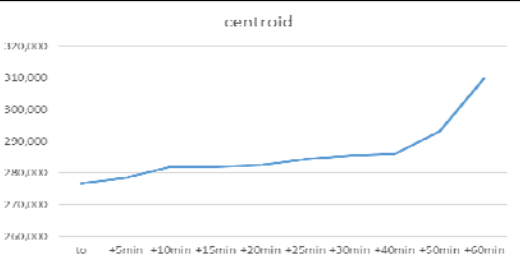


στ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "solidity"

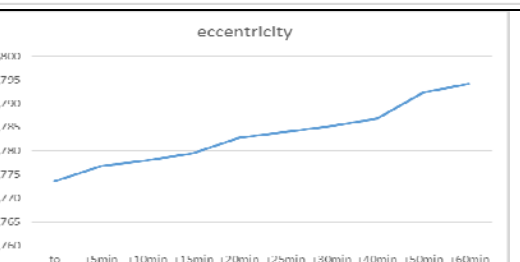
Σχήμα V.155. Σχηματικές απεικονίσεις ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 25x και τιμή κατωφλίσωσης 80)



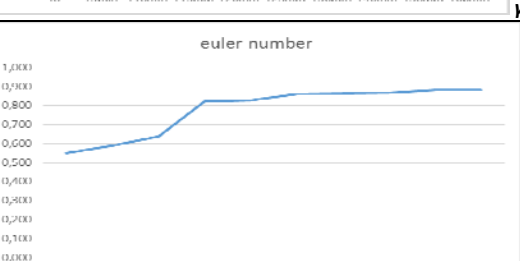
α. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "area"



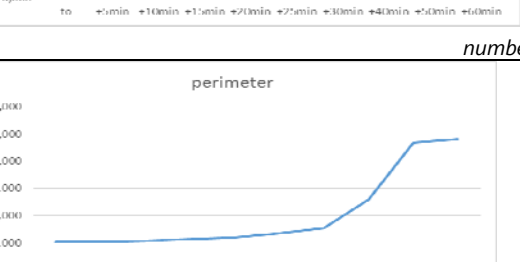
β. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "centroid"



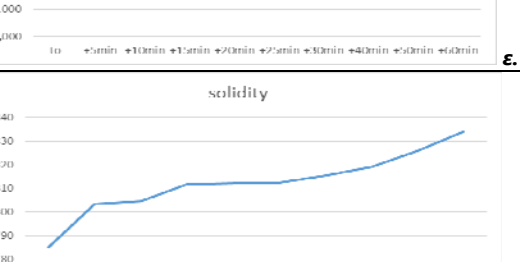
γ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "eccentricity"



δ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "Euler number"

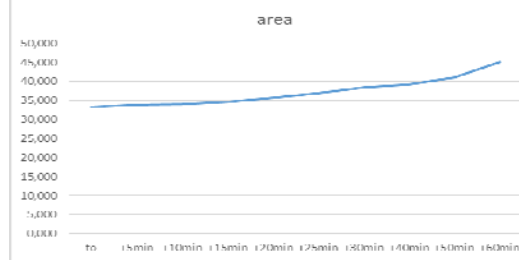


ε. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "perimeter"

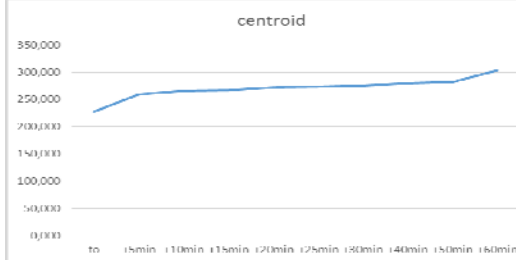


στ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "solidity"

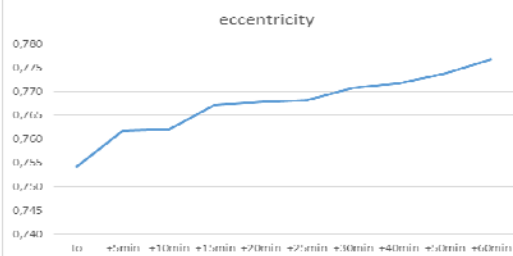
Σχήμα V.156. Σχηματικές απεικονίσεις ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ιών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 25x και τιμή κατωφλίσωσης 110)



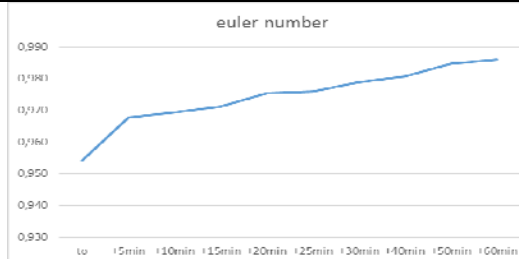
α. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "area"



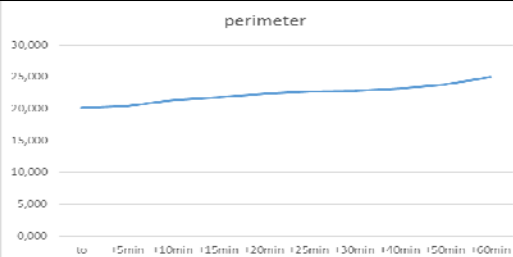
β. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "centroid"



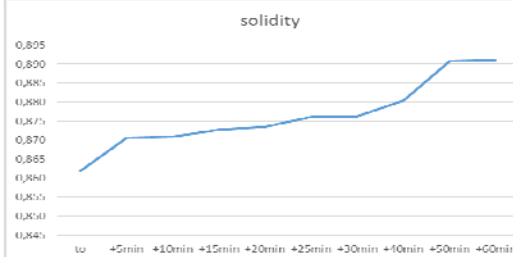
γ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "eccentricity"



δ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "Euler number"

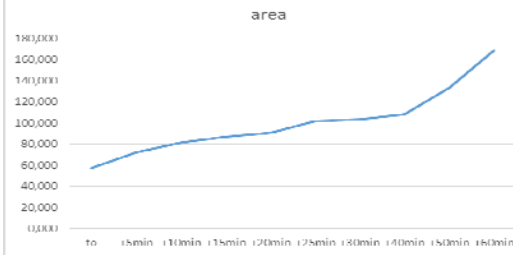


ε. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "perimeter"

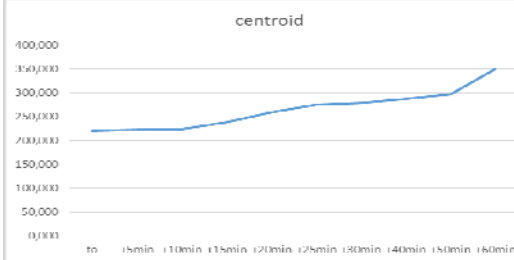


στ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "solidity"

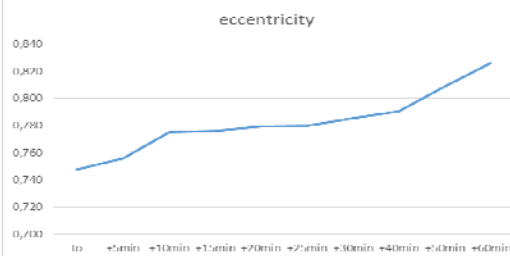
Σχήμα V.157. Σχηματικές απεικονίσεις ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ιών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 50x και τιμή κατωφλίσωσης 80)



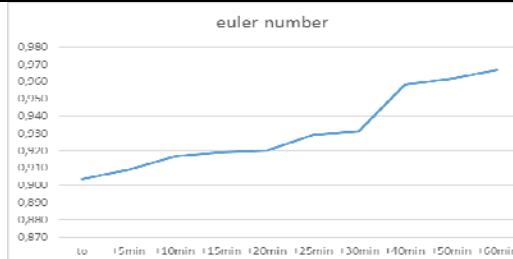
α. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "area"



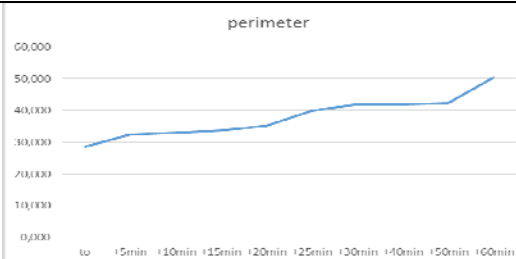
β. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "centroid"



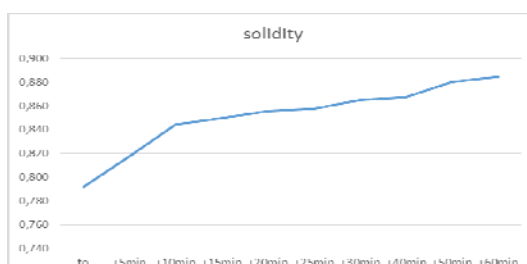
γ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "eccentricity"



δ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "Euler number"

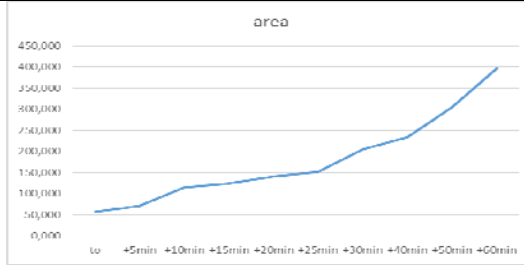


ε. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "perimeter"

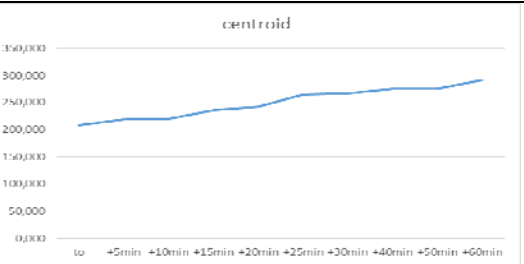


στ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "solidity"

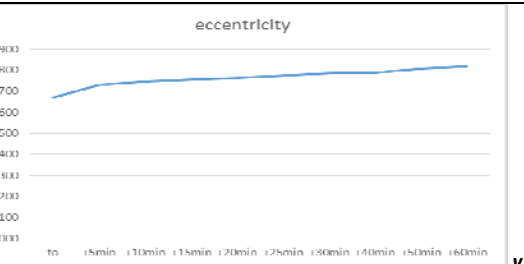
Σχήμα V.158. Σχηματικές απεικονίσεις ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 42.5 (μεγέθυνση 50x και τιμή κατωφλίσωσης 110)



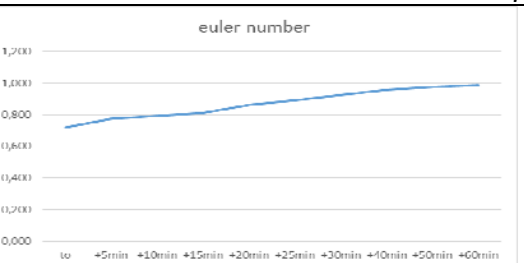
α. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "area"



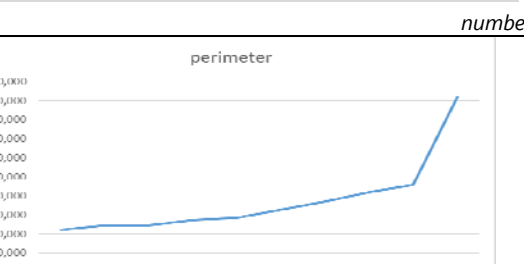
β. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "centroid"



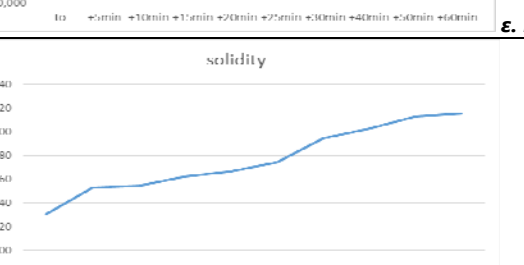
γ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "eccentricity"



δ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "Euler number"

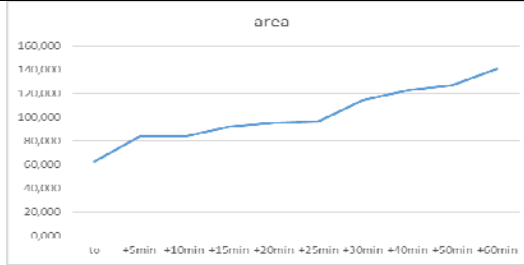


ε. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "perimeter"

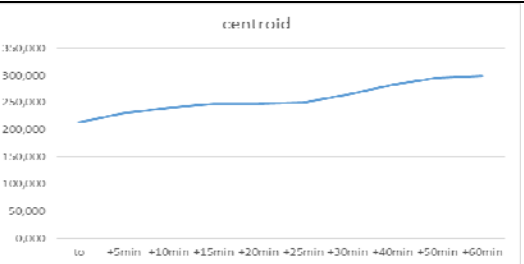


στ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "solidity"

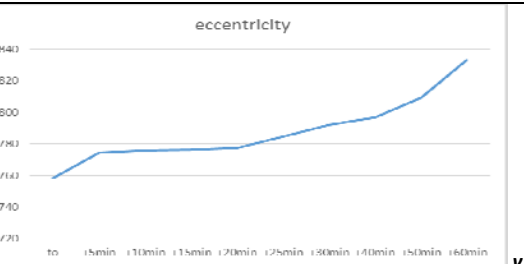
Σχήμα V.159. Σχηματικές απεικονίσεις ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 42.5 (μεγέθυνση 50x και τιμή κατωφλίσωσης 80)



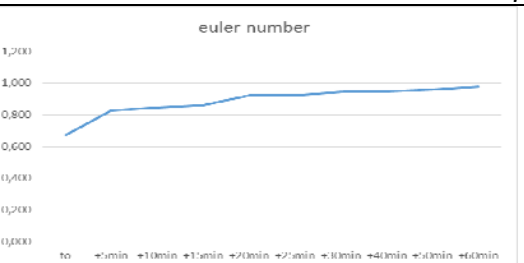
α. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "area"



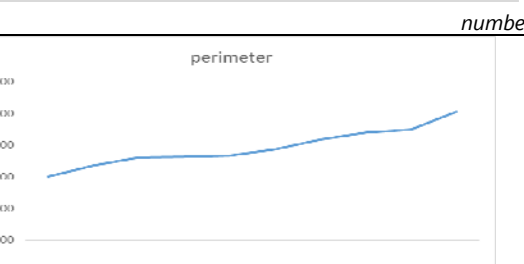
β. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "centroid"



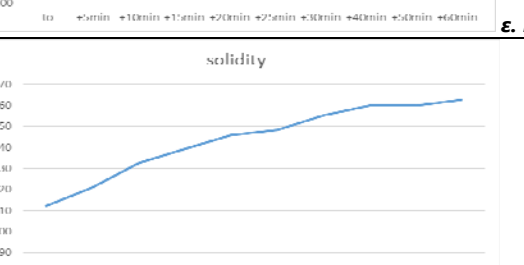
γ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "eccentricity"



δ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "Euler number"

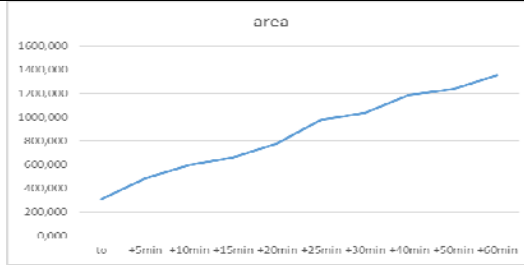


ε. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "perimeter"

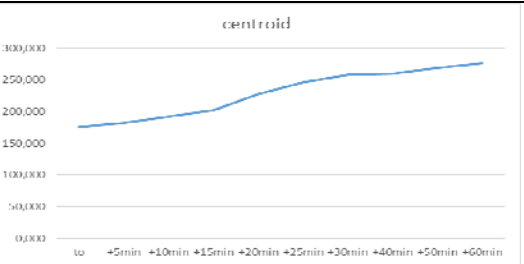


στ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "solidity"

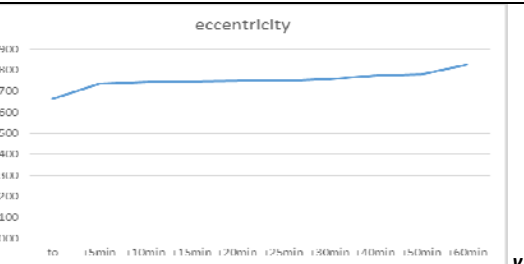
Σχήμα V.160. Σχηματικές απεικονίσεις ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 42.5 (μεγέθυνση 50x και τιμή κατωφλίωσης 110)



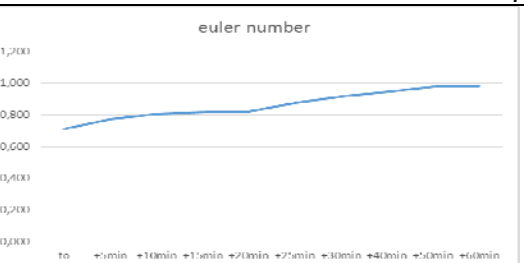
α. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "area"



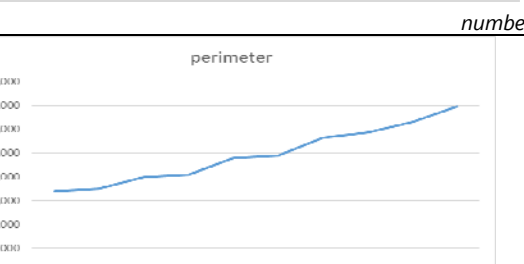
β. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "centroid"



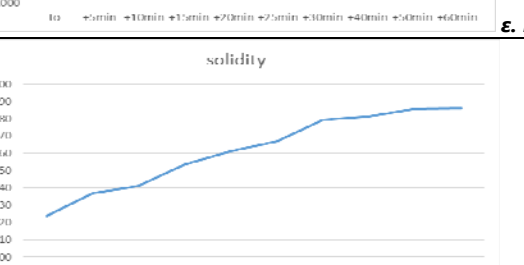
γ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "eccentricity"



δ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "Euler number"

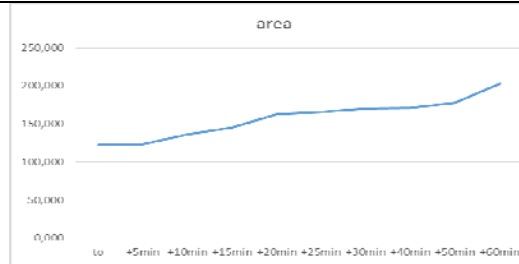


ε. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "perimeter"

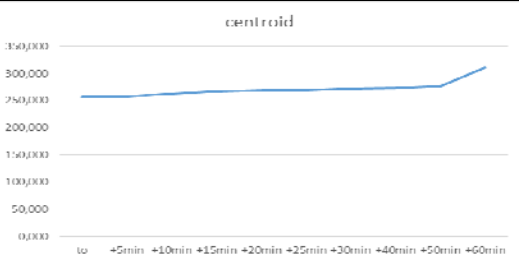


στ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "solidity"

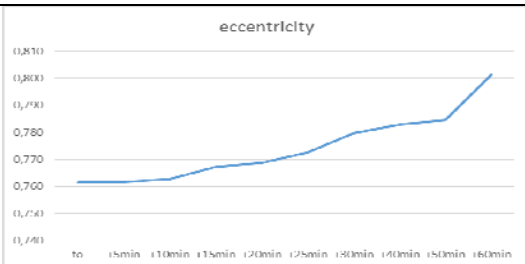
Σχήμα V.161. Σχηματικές απεικονίσεις ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 32.5 (μεγέθυνση 50x και τιμή κατωφλίσσης 80)



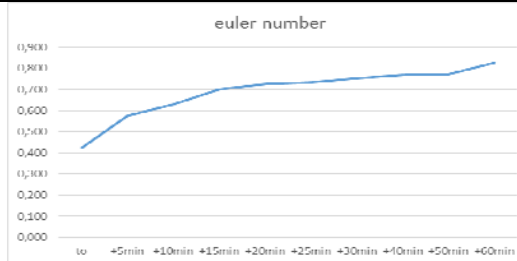
α. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "area"



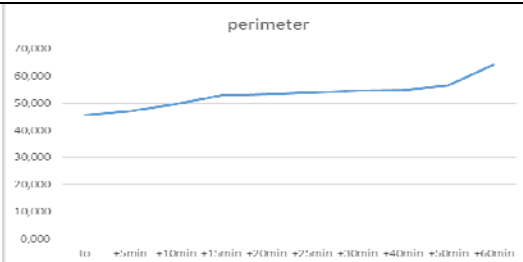
β. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "centroid"



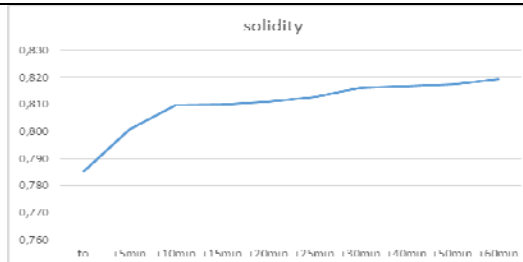
γ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "eccentricity"



δ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "Euler number"

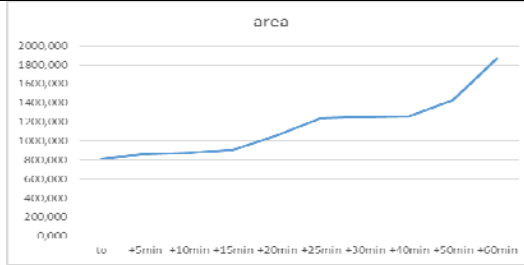


ε. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "perimeter"

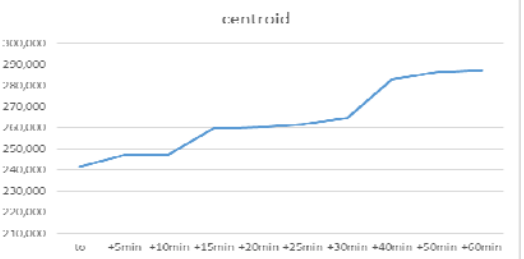


στ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "solidity"

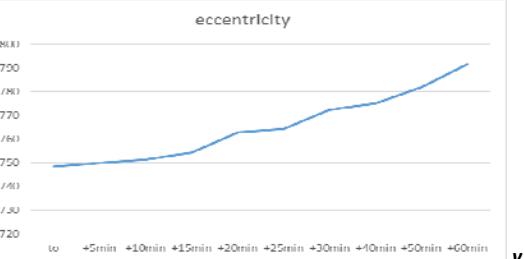
Σχήμα V.162. Σχηματικές απεικονίσεις ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM II 32.5 (μεγέθυνση 50x και τιμή κατωφλίωσης 110)



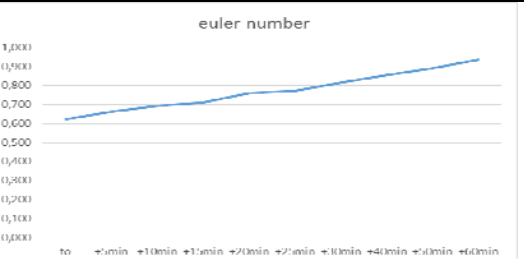
α. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "area"



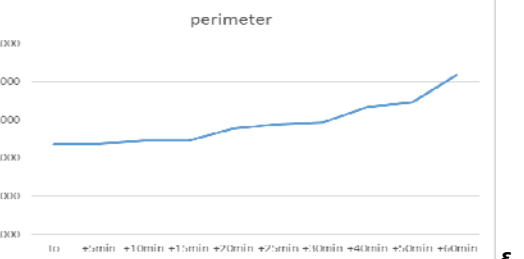
β. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "centroid"



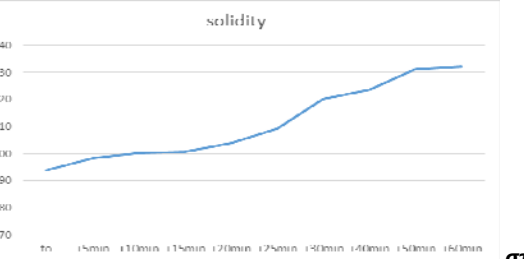
γ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "eccentricity"



δ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "Euler number"

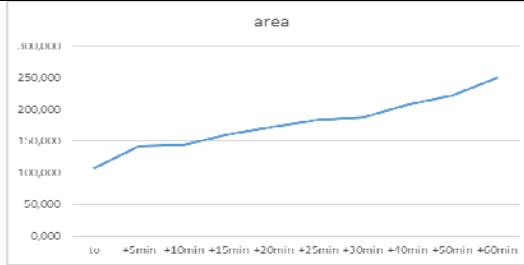


ε. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "perimeter"

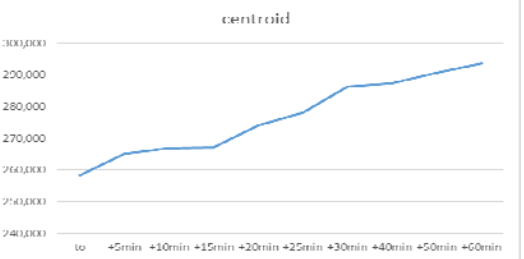


στ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "solidity"

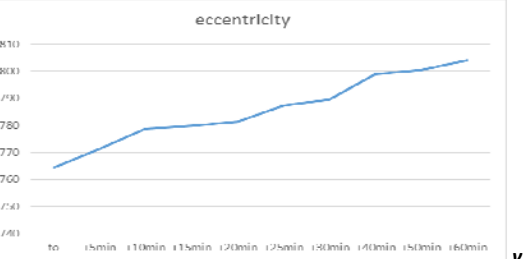
Σχήμα V.163. Σχηματικές απεικονίσεις ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 50x και τιμή κατωφλίσωσης 80)



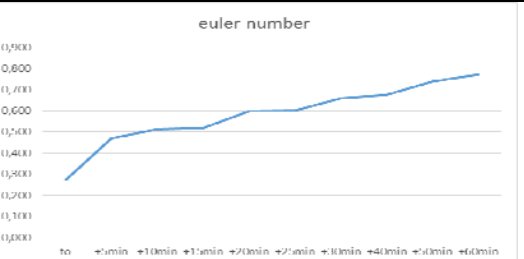
α. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "area"



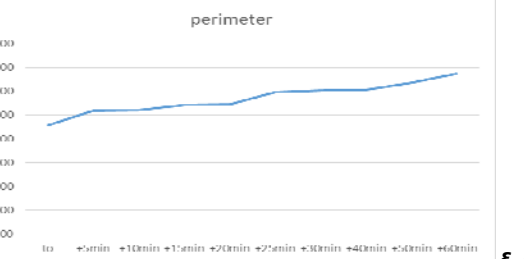
β. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "centroid"



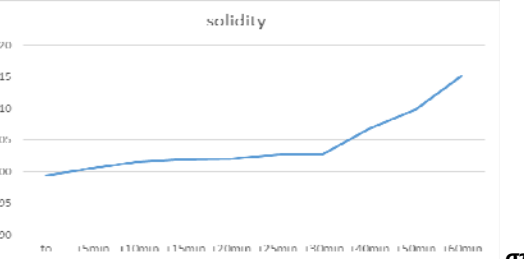
γ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "eccentricity"



δ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "Euler number"

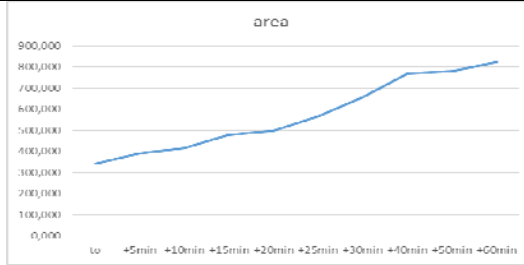


ε. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "perimeter"

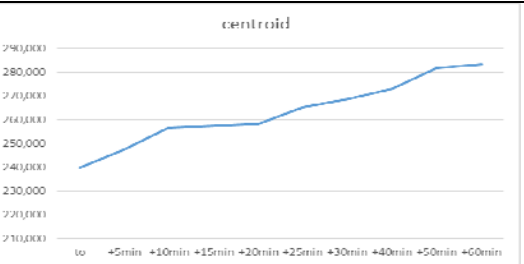


στ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "solidity"

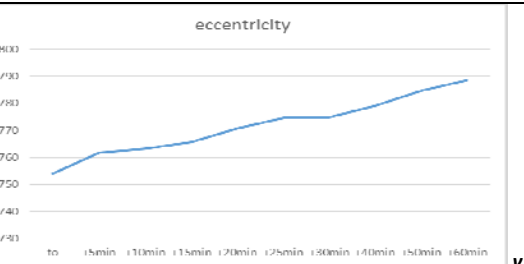
Σχήμα V.164. Σχηματικές απεικονίσεις ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM IV 32.5 (μεγέθυνση 50x και τιμή κατωφλίσωσης 110)



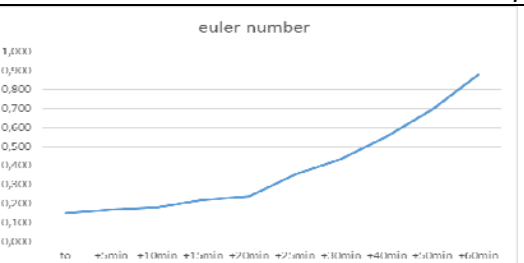
α. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "area"



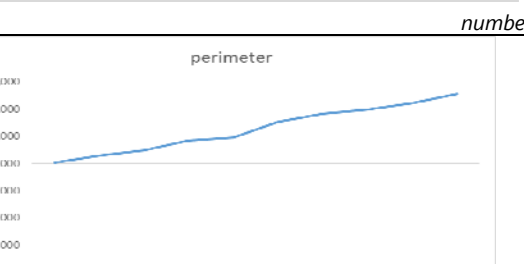
β. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "centroid"



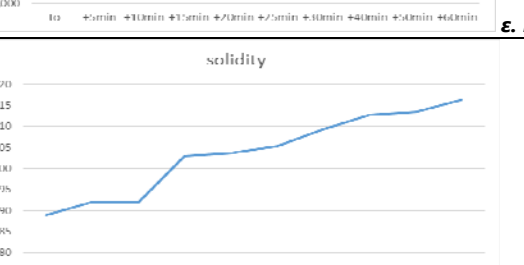
γ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "eccentricity"



δ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "Euler number"

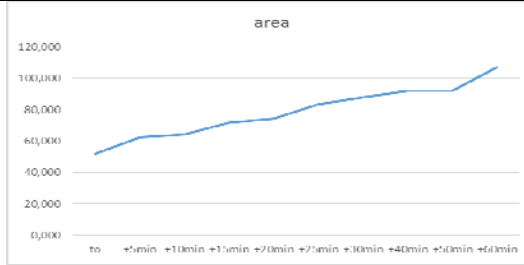


ε. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "perimeter"

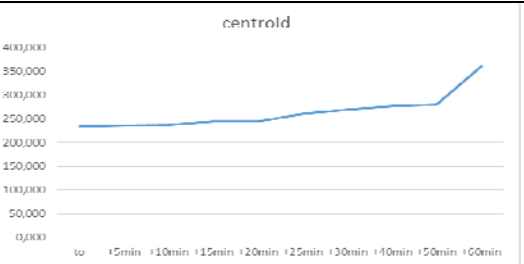


στ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "solidity"

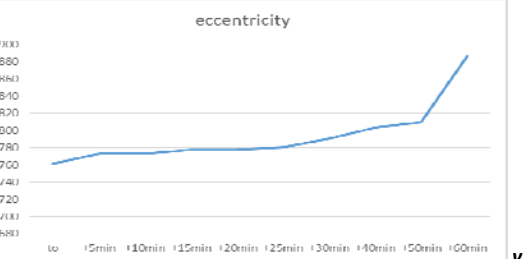
Σχήμα V.165. Σχηματικές απεικονίσεις ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 50x και τιμή κατωφλίσσης 80)



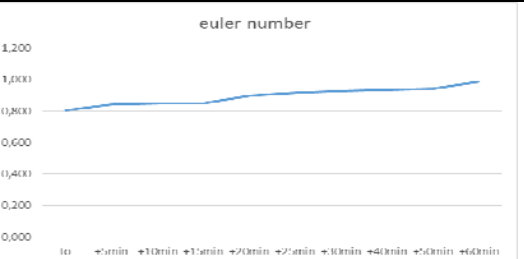
α. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "area"



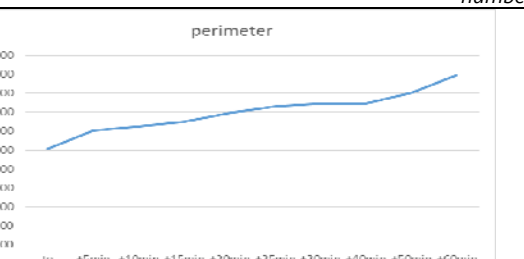
β. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "centroid"



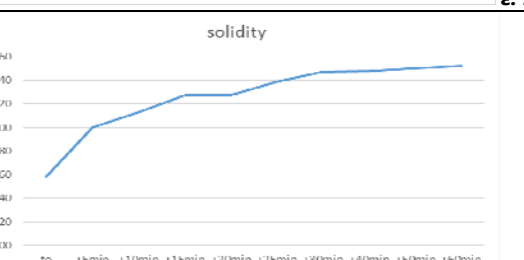
γ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "eccentricity"



δ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "Euler number"

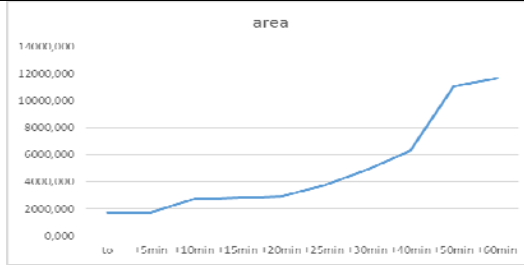


ε. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "perimeter"

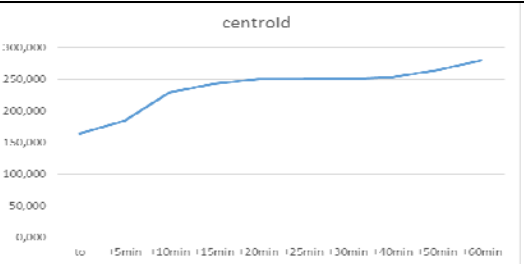


στ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "solidity"

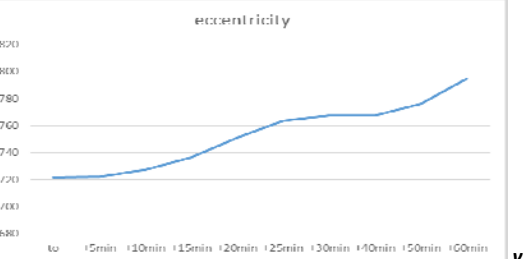
Σχήμα V.166. Σχηματικές απεικονίσεις ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας μικροσκοπίου οπτικών ινών δείγματος σκυροδέματος CEM I 52.5 (μεγέθυνση 50x και τιμή κατωφλίσωσης 110)



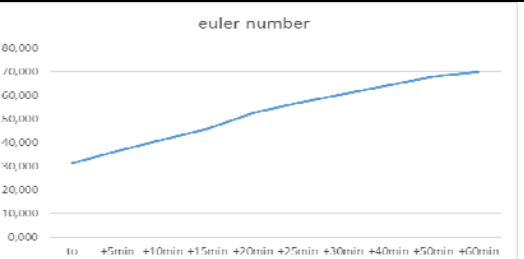
α. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "area"



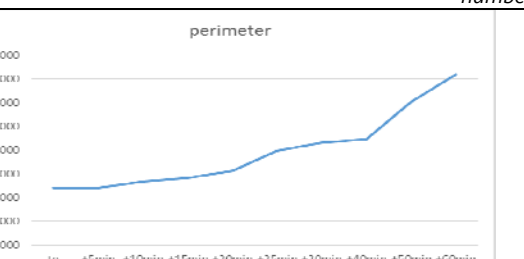
β. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "centroid"



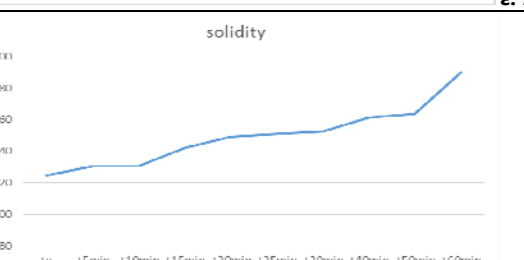
γ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "eccentricity"



δ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "Euler number"



ε. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "perimeter"



στ. Μορφολογικό χαρακτηριστικό μικροδομής "solidity"

b.IV. Θεμελίωση της συσχέτισης μεταξύ των (ψηφιακά επεξεργασμένων) εικόνων μικροδομής (ληφθέντων μέσω εφαρμογής της τεχνικής της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών) και των τελικών μηχανικών αντοχών των δοκιμών/δειγμάτων σκυροδέματος.

Μετά την επιτυχή σχεδίαση και εφαρμογή της συνδυασμένης Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών και Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας των ληφθέντων εικόνων (ως προς την μελέτη και αποτίμηση της μικροδομής αυτών), λαμβάνει χώρα η θεμελίωση της συσχέτισης και ακολούθως αναπτύσσεται μαθηματικό πρότυπο/μοντέλλο συσχέτισης των μηχανικών/θλιπτικών αντοχών των πέντε συνθέσεων σκυροδεμάτων με τις έξι μορφολογικές παραμέτρους (που ελήφθησαν ως αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας).

Εισαγωγικά αναφέρεται η ύπαρξη ευρείας ποικιλίας αναλυτικών προτύπων μαθηματικών και μοντέλλων συσχέτισης της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος με συγκεκριμένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτού (ενδεικτικά Abrams, D. A., “Design of Concrete Mixtures”, Lewis Institute, Structural Materials Research Laboratory, Bulletin No. 1, PCA, 1918, Bolomey J., “Granulation et prévision de la résistance probable des bétons,” Travaux, vol. 19, p. 228, 1935, Hwang K., Noguchi T., Tomosawa F., “Prediction model of compressive strength development of fly-ash concrete,” Cement and Concrete Research, vol. 34, no. 12, pp. 2269–2276, 2004 καθώς και Tango, C.E.S. “Time-Generalization of Abrams’ Model for High-Performance Concrete and Practical Application Examples”, Proceedings of the International Symposium on High-Performance Concrete, Hong Kong, China, 2000), στα οποία ποσοτικοποιούνται οι επιδράσεις των χαρακτηριστικών στις επιθυμητές ιδιότητες του σκυροδέματος. Εντούτοις, το μείζον ζήτημα της πρόβλεψης των ποιοτικών χαρακτηριστικών του σκυροδέματος μέσω συσχετίσεων υψηλής αξιοπιστίας δεν έχει αντιμετωπιστεί επαρκώς.

Για τους παραπάνω λόγους, εφαρμόζεται στατιστική επεξεργασία με στόχο την επιτυχή συσχέτιση της θλιπτικής αντοχής των πέντε συνθέσεων σκυροδέματος (σε ηλικίες 2, 7, 28 ημερών) με τις κάτωθι μορφολογικές παραμέτρους (προϊόντα πειραματικής επεξεργασίας μέσω Ψηφιακής Εφαρμογής Εικόνας σε περιβάλλον MatLab): “area” (περιοχή), “centroid” (κεντροειδές), “eccentricity” (εκκεντρότητα), “Euler number” (αριθμό Όιλερ), “perimeter” (περίμετρος), “solidity” (στερεότητα). Τονίζεται δε ότι στην παρούσα έρευνα μελετήθηκε η μαθηματική συσχέτιση αντοχών σκυροδεμάτων, περιεχομένων τύπων τσιμέντου και μορφολογικών ιδιοτήτων μικροδομής (μέσω ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας), γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό σε επίπεδο τόσο σχεδιασμού σύνθεσης (“mix design”) όσο και ποιοτικού ελέγχου/διασφάλισης ποιότητας σκυροδέματος (καθότι αποτελεί ιδιαίτερος χρήσιμο εργαλείο για την βιομηχανία παραγωγής τσιμέντου και σκυροδέματος).

Παράλληλα έγινε εργαστηριακή προσπάθεια να μελετηθεί η επίδραση διαφόρων παραγόντων που επηρεάζουν την σταθερότητα των μετρούμενων αντοχών (και την τυπική απόκλιση αυτών) του σκυροδέματος και η αβεβαιότητα που προκαλούν σε αυτές (π.χ., όπως η αναλογία νερού/τσιμέντου, η ποιότητα/σύνθεση/κοκκομετρία των περιεχόμενων αδρανών και προσμίκτων κλπ).

Η στατιστική συσχέτιση έλαβε χώρα μέσω εφαρμογής εκτεταμένης σειράς γραμμικών παλινδρομήσεων (“linear regressions”) (εκτελεσμένης σε περιβάλλον SPSS και λογιστικών φύλλων MS Excel) για κάθε μία από τις 10 χρονικές στιγμές λήψης εικόνων Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών (FOM), στις 2 μεγεθύνσεις (25x, 50x) οι οποίες προσφέρονται από το όργανο FOM καθώς και στα δύο επίπεδα/τιμές κατωφλίωσης (threshold – 80/110), όπως αυτά ορίστηκαν στον αλγόριθμο ψηφιακής επεξεργασίας που εκτελέστηκε σε περιβάλλον MatLab®. Τα αναλυτικά αποτελέσματα της γραμμικής παλινδρόμησης παρουσιάζονται στο σχετικό Παράρτημα.

Το συνολικό συμπέρασμα το οποίο μπορεί να εξαχθεί είναι ότι διαπιστώθηκε ισχυρή συσχέτιση των (τελικών) μηχανικών αντοχών των δοκιμών σκυροδέματος (σε ηλικία 28 ημερών) με συνδυασμό των μηχανικών αντοχών των περιεχόμενων τύπων τσιμέντου, της μορφολογικής ιδιότητας “centroid” και της μορφολογικής ιδιότητας “Euler number”, ενώ η μεγέθυνση ήταν 25x και το όριο κατωφλίωσης 110 (“universal threshold”).

Τα παραχθέντα ημιεμπειρικά μοντέλλα, για κάθε μία από τις 10 χρονικές στιγμές (0min, 5min, 10min, 15min, 20min, 25min, 30min, 40min, 50min και 60min) μετά την έναρξη της σκυροδέτησης, παρουσιάζονται κάτωθι στις αντίστοιχες σχέσεις (1) – (10).

0min

$$\text{conc_str_28d} = -78,024 + [1,308*\text{cem_str_28d}] + [-0,255*\text{centroid}] + [125,416*\text{Euler_number}] \quad (1)$$

5min

$$\text{conc_str_28} = -142,672 + [1,806*\text{cem_str_28d}] + [-0,401*\text{centroid}] + [207,103*\text{Euler_number}] \quad (2)$$

10min

$$\text{conc_str_28d} = -186,965 + [1,913*\text{cem_str_28d}] + [-0,387*\text{centroid}] + [244,228*\text{Euler_number}] \quad (3)$$

15min

$$\text{conc_str_28d} = -424,495 + [1,991*\text{cem_str_28d}] + [-0,505*\text{centroid}] + [516,656*\text{Euler_number}] \quad (4)$$

20min

$$\text{conc_str_28d} = -620,721 + [2,039*\text{cem_str_28d}] + [-0,355*\text{centroid}] + [671,898*\text{Euler_number}] \quad (5)$$

25min

$$\text{conc_str_28d} = 425,559 + [1,661*\text{cem_str_28d}] + [-1,585*\text{centroid}] + [31,161*\text{Euler_number}] \quad (6)$$

30min

$$\text{conc_str_28d} = 1062,656 + [0,833*\text{cem_str_28d}] + [-2,243*\text{centroid}] + [-444,878*\text{Euler_number}] \quad (7)$$

40min

$$\text{conc_str_28d} = -2655,716 + [3,262*\text{cem_str_28d}] + [0,898*\text{centroid}] + [2313,561*\text{Euler_number}] \quad (8)$$

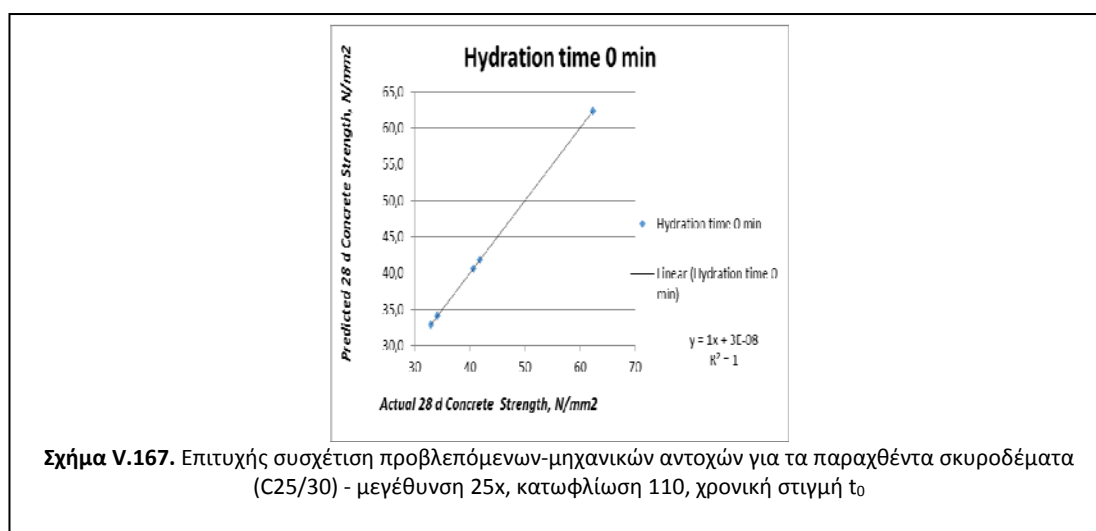
50min

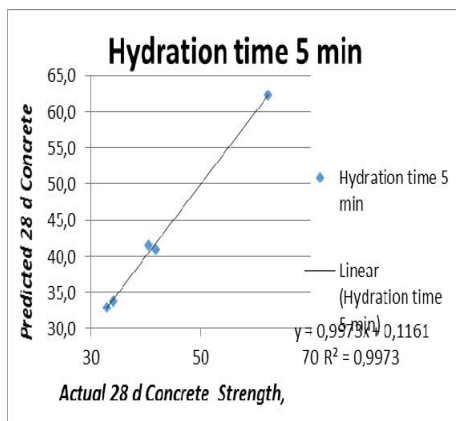
$$\text{conc_str_28d} = -2584,972 + [3,203*\text{cem_str_28d}] + [0,648*\text{centroid}] + [2307,097*\text{Euler_number}] \quad (9)$$

60min

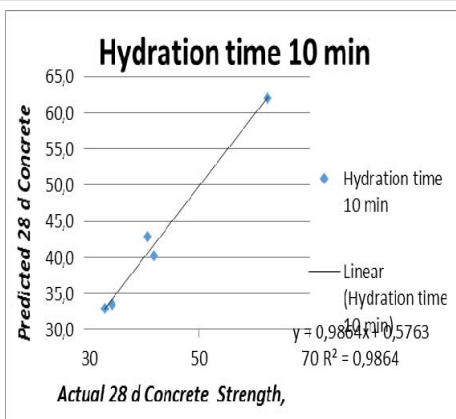
$$\text{conc_str_28d} = -3666,425 + [4,391*\text{cem_str_28d}] + [0,421*\text{centroid}] + [3383,106*\text{Euler_number}] \quad (10)$$

Οι συντελεστές των παραπάνω μαθηματικών εξισώσεων είναι στατιστικά σημαντικοί ελεγχόμενοι με την δοκιμασία t (student) και ο συντελεστής συσχέτισμού R2 είναι ιδιαίτερα υψηλός (από 0,95 έως 0,99) καταδεικνύοντας την υψηλή, στατιστικά σημαντική, συσχέτιση των μεταβλητών και την αντίστοιχη αξιοπιστία των μοντέλων για πρόβλεψη. Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται παραστατικά η επιτευχθείσα συσχέτιση (υψηλά ποσοστά συντελεστή συσχέτισης R²) και η δυνατότητα πρόβλεψης της αντοχής 28 ημερών.

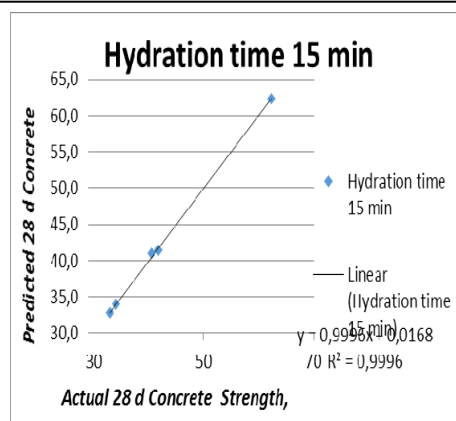




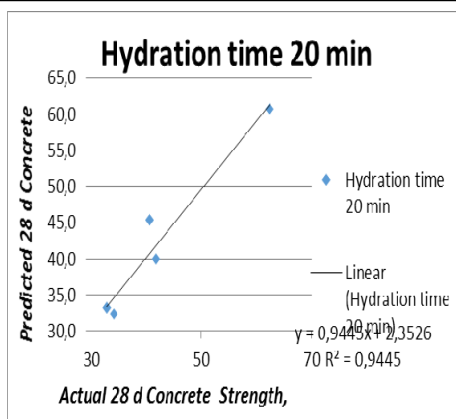
Σχήμα V.168. Επιτυχής συσχέτιση προβλεπόμενων-μηχανικών αντοχών για τα παραχθέντα σκυροδέματα (C25/30) - μεγέθυνση 25x, κατωφλίωση 110, χρονική στιγμή $t_0 + 5\text{min}$



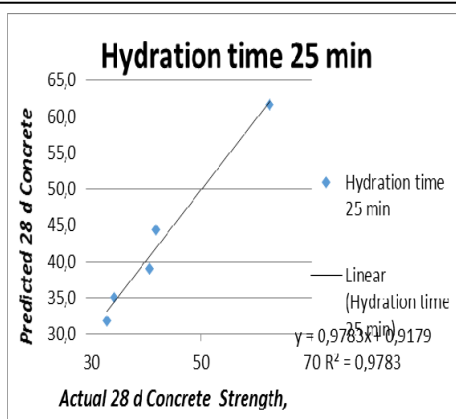
Σχήμα V.169. Επιτυχής συσχέτιση προβλεπόμενων-μηχανικών αντοχών για τα παραχθέντα σκυροδέματα (C25/30) - μεγέθυνση 25x, κατωφλίωση 110, χρονική στιγμή $t_0 + 10\text{min}$



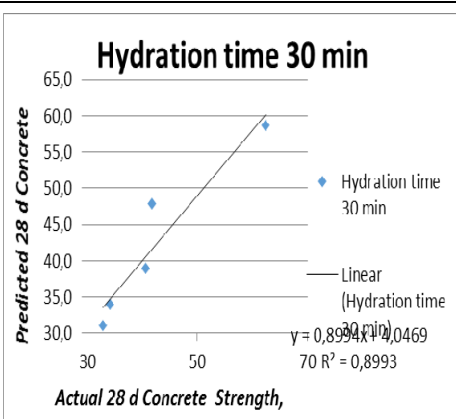
Σχήμα V.170. Επιτυχής συσχέτιση προβλεπόμενων-μηχανικών αντοχών για τα παραχθέντα σκυροδέματα (C25/30) - μεγέθυνση 25x, κατωφλίωση 110, χρονική στιγμή $t_0 + 15\text{min}$



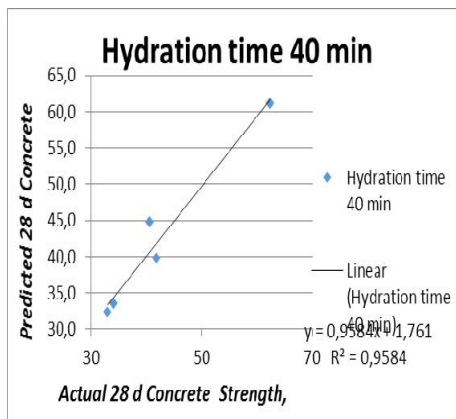
Σχήμα V.171. Επιτυχής συσχέτιση προβλεπόμενων-μηχανικών αντοχών για τα παραχθέντα σκυροδέματα (C25/30) - μεγέθυνση 25x, κατωφλίωση 110, χρονική στιγμή $t_0 + 20\text{min}$



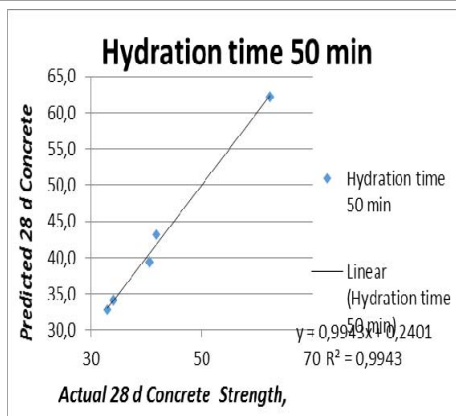
Σχήμα V.172. Επιτυχής συσχέτιση προβλεπόμενων-μηχανικών αντοχών για τα παραχθέντα σκυροδέματα (C25/30) - μεγέθυνση 25x, κατωφλίωση 110, χρονική στιγμή $t_0 + 25\text{min}$



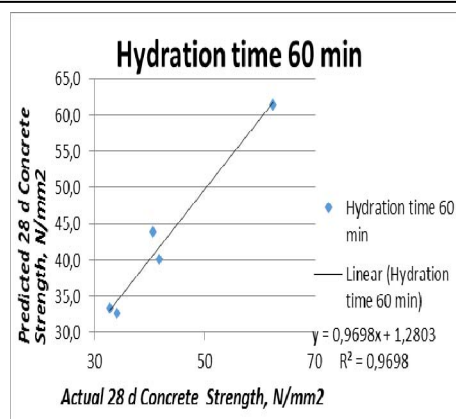
Σχήμα V.173. Επιτυχής συσχέτιση προβλεπόμενων-μηχανικών αντοχών για τα παραχθέντα σκυροδέματα (C25/30) - μεγέθυνση 25x, κατωφλίωση 110, χρονική στιγμή $t_0 + 30\text{min}$



Σχήμα V.174. Επιτυχής συσχέτιση προβλεπόμενων-μηχανικών αντοχών για τα παραχθέντα σκυροδέματα (C25/30) - μεγέθυνση 25x, κατωφλίωση 110, χρονική στιγμή $t_0 + 40$ min



Σχήμα V.175. Επιτυχής συσχέτιση προβλεπόμενων-μηχανικών αντοχών για τα παραχθέντα σκυροδέματα (C25/30) - μεγέθυνση 25x, κατωφλίωση 110, χρονική στιγμή $t_0 + 50$ min

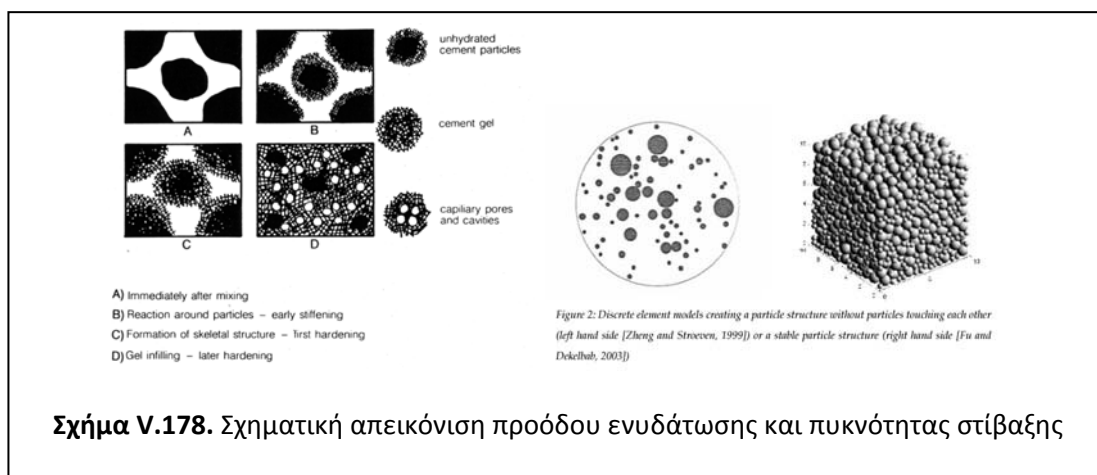
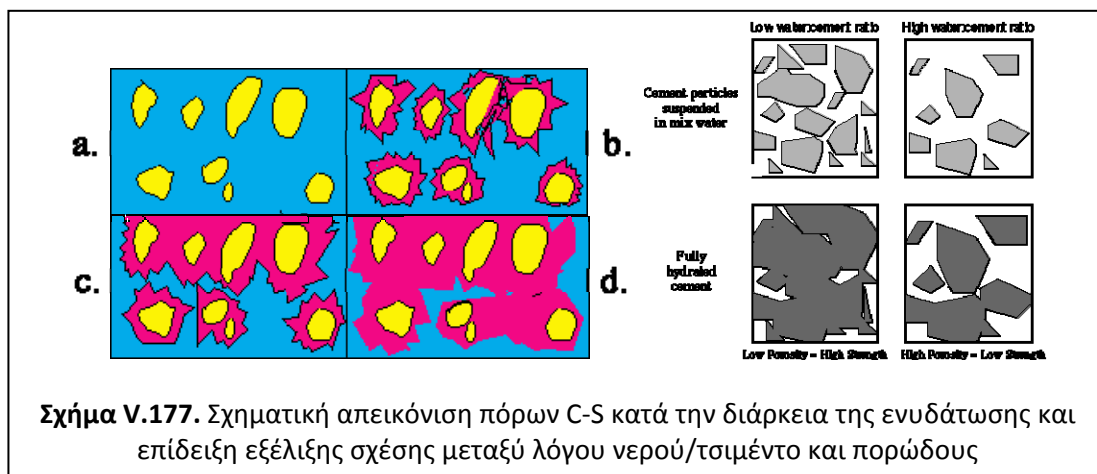


Σχήμα V.176. Επιτυχής συσχέτιση προβλεπόμενων-μηχανικών αντοχών για τα παραχθέντα σκυροδέματα (C25/30) - μεγέθυνση 25x, κατωφλίωση 110, χρονική στιγμή $t_0 + 60$ min

Η Μικροσκοπία Οπτικών Ινών (FOM) μπορεί να δώσει μία πολύ καλή εικόνα της αρχικής κατάστασης ανάπτυξης στον χώρο του μίγματος νερού-τσιμέντου-λεπτών αδρανών και της εν συνεχεία ανάπτυξης στον χώρο των προϊόντων ενυδάτωσης, η οποία είναι καθοριστική για την επίτευξη των τελικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος (πορώδες, μηχανική αντοχή). Αυτό το γεγονός αναδεικνύεται και από τα πολύ καλά αποτελέσματα της επιτευχθείσης συσχέτισης.

Το παραπάνω μαθηματικό μοντέλλο/πρότυπο συσχέτισης, μπορεί να αξιοποιηθεί βιομηχανικά με τους εξής κάτωθι ενδεικτικούς τρόπους: *a.* έλεγχο μίας νέας σύνθεσης σκυροδέματος για επίτευξη συγκεκριμένων/επιθυμητών επιπέδων αντοχών, *b.* δυνατότητα εκτίμησης/πρόβλεψης προσεγγιστικών αντοχών σε καθημερινό επίπεδο (αξιοποιώντας και οικεία βάση δεδομένων και αναλυτικών στοιχείων πρώιμων αντοχών σκυροδέματος), *c.* έμμεσο έλεγχο (χωρίς δεδομένη ανάγκη δειγματοληψίας) της ποιότητας των περιεχομένων πρώτων υλών.

Η περαιτέρω έρευνα για την αξιοποίηση και επέκταση των αναπτυχθέντων μοντέλων θα μπορούσε να συδυασθεί με την αναπτυχθείσα θεωρία των διατάξεων στίβαξης και της αντίστοιχης πυκνότητας ("packing density") του σκυροδέματος λαμβανομένων υπόψη του μεγέθους των κόκκων και των μορφολογικών χαρακτηριστικών τους, των διαφόρων λεπτών κυρίως συστατικών του σκυροδέματος. Ακολουθως παρουσιάζονται στις επόμενες εικόνες η πρόοδος της ενυδάτωσης και η εξέλιξη της πυκνότητας στίβαξης (βλέπε Σχήματα V.177, V.178).



b.V. Δημιουργία κατάλληλης πληροφοριακής Βάσης Δεδομένων

Εν συνεχεία λαμβάνει χώρα η δημιουργία και ανάπτυξη κατάλληλης βάσεως δεδομένων παρακολούθησης και συσχέτισης εικόνων μικροδομής με τις τελικές μηχανικές αντοχές. Τα πειραματικά αποτελέσματα που λαμβάνονται από την περάτωση της υπολογιστικής εκτέλεσης του παραπάνω αλγόριθμου, ενσωματώνονται/ταξινομούνται βάσει των διαφορετικών συνθέσεων σκυροδέματος και αποθηκεύονται σε κατάλληλη βάση δεδομένων, η οποία αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής.

Η επιτυχής συγκρότηση μίας “ζωντανής” ανατροφοδοτούμενης βάσης δεδομένων (“database”) εικόνων υφής, κτηθεισών μέσω εφαρμογής Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών και ταυτόχρονης εφαρμογής Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας αποτελεί το διακύβευμα της εφαρμογής της συνολικής μεθόδου: η δομή της δημιουργηθείσας βάσης δεδομένων βασίζεται τόσο στις εκτενείς σειρές πειραματικών δεδομένων εικόνων υφής δοκιμών σκυροδέματος, όσο και στην διασύνδεση αυτών με δεδομένα εφαρμογής άλλων μη-καταστροφικών τεχνικών (ενδεικτικά: υπέρηχοι, μέθοδος ωριμότητας –“maturity method”-, ακουστικής εκπομπής, παθητικής θερμογραφίας κ.α.). Επίσης, μέσω της επιτυχούς σύνδεσης και αλληλεπίδρασης αυτών, λαμβάνει χώρα η συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, η αναγνώριση της κατάστασης (“status identification”) και η ταξινόμηση του υλικού (το οποίο βρίσκεται πληροφοριακά ενταγμένο στην βάση δεδομένων) σε ανάλογες κλάσεις (με τις ακόλουθες συμπεριφορές και ιδιότητες, όπως αυτές έχουν καταγραφεί και συμπεριληφθεί στην συγκεκριμένη βάση δεδομένων). Είναι περισσότερο από εμφανές ότι η βάση δεδομένων των εικόνων υφής δοκιμών δομικών υλικών (συγκεκριμένα: σκυροδέματος των παραπάνω συνθέσεων/ποιότητων) περιλαμβάνει τόσο στοιχεία της ταυτότητας (προς αναγνώριση υλικών σε περαιτέρω μελλοντική εφαρμογή) - ικανά για χαρακτηρισμό και προσδιορισμό φυσικοχημικών και μηχανικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος- όσο και δεδομένα προϊόντα καινοτόμου συνδυαστικής εφαρμογής τεχνικών μη-καταστρεπτικού ελέγχου.

Περισσότερο συγκεκριμένα, η βάση δεδομένων η οποία αναπτύχθηκε για τους σκοπούς της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής απαρτίζεται από τα εξής επί μέρους τμήματα:

- Ταυτότητα δομικών υλικών υπό μελέτη
- Ένταξη και κατηγοριοποίηση ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων μικροσκοπίας οπτικών ινών, προς αναγνώριση κρίσιμων χαρακτηριστικών και ταξινόμηση αυτών.

Ως προς τις παραπάνω πληροφοριακές ανάγκες της βάσης δεδομένων, συγκροτήθηκαν ανάλογοι πίνακες στην βάση δεδομένων, όπου καταγράφηκαν τόσο τα δομικά υλικά της Κατασκευής τα οποία μελετούνται (βλέπε συνθέσεις/ποιότητες σκυροδέματος), όσο και η αναγκαία τεκμηρίωση των ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών αυτών, συμπεριλαμβανομένου των κάτωθι συλλεχθέντων πληροφοριών:

- Επιλεχθέντα συστατικά μείγματος υπό μελέτη
- Φυσικοχημικές ιδιότητες πρώτων υλών
- Συστάσεις και ορυκτολογικές φάσεις πρώτων υλών
- Χαρακτηριστικά μικροδομής
- Χαρακτηριστικά πορώδους (ολικού, κλειστού, ανοικτού, ενεργού)
- Επιφάνεια πόρων
- Μετρήσεις πυκνότητας (φαινόμενης, πραγματικής)
- Τραχύτητα επιφάνειας
- Μέτρηση χρωματικών παραμέτρων (καθορισμός τιμών χροιάς, κορεσμού, λαμπρότητας, χρωματικών διαφορών, μετρήσεις μεταβολής χρώματος)
- Μηχανικά χαρακτηριστικά (μηχανικές αντοχές σε εφελκυσμό, θλίψη, κάμψη, κρούση, αντοχές σε εκτριβή, διάτμηση αλλά και μέτρηση τιμών σκληρότητας)

- Χαρακτηρισμός ελαστικής συμπεριφοράς (καθορισμός μέτρου ελαστικότητας και λόγου Poisson)
- Μέτρηση τιμών θερμοχωρητικότητας και θερμικής αγωγιμότητας (εύρεση συντελεστή θερμικής διαστολής, εκπομπής, θερμοπερατότητας)
- Θερμική ανάλυση δομικού υλικού (μέσω Θερμοβαρυτομετρικής-Διαφορικής Ανάλυσης, DTA-TG)

Όλα τα παραπάνω δεδομένα ενσωματώθηκαν στην βάση δεδομένων εικόνων υφής, προσδίδοντας χαρακτηριστικά και ιδιότητες τα οποία την καθιστούν βασικό υποστηρικτικό εργαλείο της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής, καθότι επιτρέπουν την ταχύτατη διαχείριση και επιθεώρηση των πληροφοριών οι οποίες συλλέγονται από την πειραματική μέθοδο, με απώτερο σκοπό την ευχέρεια και δυνατότητα επέμβασης σε πραγματικό χρόνο. Ιδιαίτερη βάση δόθηκε δε, στην ευχρηστία αυτής της συγκεντρωτικής γνωσιολογικής βάσης δεδομένων, στην αυτοματοποιημένη και σωστή καταγραφή/οργάνωση της καταχωρημένης εννοιολογικής πληροφορίας εικόνων υφής, η οποία είναι συνδυαστικό αποτέλεσμα τόσο της διάγνωσης (λαμβάνοντας υπόψη την εν γένει διαγνωστική και διακριτική ικανότητα της εφαρμοζόμενης τεχνικής) όσο και της δυνατότητας ανάκλησης πληροφορίας και αξιοποίησης αυτών προς λήψη μελλοντικής απόφασης (πάντα σε πραγματικό χρόνο και τόπο). Αυτή ακριβώς η επίτευξη τόσο συστηματοποιημένης αποθήκευσης αλλά και δυνατότητας κατά το δοκούν ανάκλησης δεδομένων (μέσω εκτέλεσης συνδυαστικών ερωτημάτων προς την βάση δεδομένων) καθιστά εφικτή την βέλτιστη αξιοποίηση της περιεχόμενης πληροφορίας ως προς κατάλληλη λήψη (διορθωτικών ή μη) διαχειριστικών αποφάσεων.

Σημειώνεται ότι ο τρόπος συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων (προς συμπερίληψη στην βάση δεδομένων) αποτελεί *ipso facto* διαχειριστική απομόνωση/επιλογή πληροφορίας και συνεπώς ενέχει σφάλμα (το οποίο όμως αντισταθμίζεται από τόσο το πλήθος όσο και την ποιότητα της ληφθείσας πληροφορίας). Η επιλογή των δεδομένων-προϊόντων της πειραματικής μεθόδου ενσωματώνεται, προστίθεται και έχοντας πλέον (καθ)ορίσει τον τύπο/μορφή τους, λαμβάνει χώρα η πρώτη συλλογή/συγκέντρωση τους, από όπου εκμαιεύονται τα πρώτα πληροφοριακά συμπεράσματα (ταξινόμηση κατά και εντός κατηγοριών, αλλά και πρωτόλειος έλεγχος της ορθότητας αυτών).

Η μορφή δε, της βάσεως δεδομένων, είναι ενδεικτική του πνεύματος που διέπει την σύλληψη, δημιουργία και εκτέλεση της: επίτευξη μίας λειτουργικής δομής δεδομένων όπου όλα τα συσχετιζόμενα δεδομένα οργανώνονται και αποθηκεύονται μονοσήμαντα, χωρίς “θόρυβο/”πλεονασμό (“*information/data redundancy*”) και είναι διαθέσιμα προς περαιτέρω επεξεργασία και δυναμική συσχέτιση προς εξαγωγή χρήσιμης πληροφορίας, ασχέτως υπολογιστικής εμπειρίας του χρήστη ή των λογισμικών δυνατοτήτων των συστημάτων εν χρήσει. Ως δεδομένα τα οποία χαρακτηρίζουν συλλογές/συγκεντρώσεις δεδομένων, η μορφή των μεταδεδομένων (τόσο των περιγραφικών όσο και των δομικών) είναι καίριας σημασίας, όχι μόνο για τις εργονομικές ανάγκες μίας βάσεως δεδομένων, όσο για την εύρυθμη λειτουργία αυτής τώρα αλλά και σε μελλοντικό χρόνο (διατήρηση, προστασία και δυνατότητα ενσωμάτωσης της αποθηκευμένης πληροφορίας για επόμενη ανακάλυψη και αξιοποίηση).

Η εφαρμογή και πραγμάτωση της βάσης δεδομένων έλαβε χώρα τόσο σε προγραμματιστικό περιβάλλον MatLab®, όσο και σε περιβάλλοντα λογισμικού υπολογιστικών φύλλων Microsoft Excel® και λογισμικού βάσεων δεδομένων Microsoft Access®. Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις λήφθηκε ιδιαίτερη μέριμνα τήρησης αναγκών και προβλέψεων σχετιζόμενων με τα μεταδεδομένα (“*metadata*”), ούτως ώστε το ψηφιακό περιεχόμενο της βάσης δεδομένων (ασχέτως του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε) να

παραμένει αναλλοίωτο και αντιπροσωπευτικό της συγκεκριμένης εικόνας υφής, εκ της οποίας προέρχεται και χαρακτηρίζει.

Τέλος, αντίστοιχες σύγχρονες προσπάθειες δημιουργίας ανάλογων βάσεων δεδομένων (χωρίς όμως το καινοτόμο και εξαιρετικά σημαντικό κομμάτι των πληροφοριών που αποκομίζονται μέσω της εφαρμογής μη-καταστροφικών τεχνικών) συμπεριλαμβάνουν ενδεικτικά (και χωρίς να αποκλείονται οι εμπορικά διαθέσιμες/προσβάσιμες) τις κάτωθι:

- *NIST Building and Fire Research – “NIST Heat Transmission Properties of Insulating and Building Materials” (U.S. Secretary of Commerce)*
- *Center for Sustainable Building Research – “Minnesota Building Materials Database: A Tool for Selecting Sustainable Materials” (College of Architecture and Landscape Architecture, University of Minnesota, USA)*
- *Athena Sustainable Materials Institute – “LCI Database of common building materials, from cradle-to-grave”*
- *Building Products Life Cycle Inventory – Life Cycle Inventory Data for Building & Construction Materials and Products”*
- *“MatWeb” – Searchable database of material properties (Automation Creations)*
- *“MatDat” – Material Properties & Estimation Tool*
- *“MADA” – “Masonry Database: Online experimental data selection for mechanical modelling of masonry” (Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica)*

b.VI. Δημιουργία κατάλληλου Έμπειρου Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων

Ακολούθως λαμβάνει χώρα η δημιουργία και ανάπτυξη κατάλληλου έμπειρου συστήματος υποστήριξης αποφάσεων (“*expert decision support system*”), με σκοπό (έχοντας δημιουργήσει την κατάλληλη γνωσιακή βάση δεδομένων -ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων υφής μικροσκοπίας οπτικών ινών συσχετιζόμενων με προβλεπόμενες μηχανικές αντοχές των αντίστοιχων δοκιμών σκυροδέματος) την ανάπτυξη πληροφοριακού συστήματος υποστήριξης λήψης αποφάσεων ικανού να αξιοποιεί πλήρως το γνωσιακό πληροφοριακό περιεχόμενο της (προαναφερθείσας) βάσεως δεδομένων.

Εισαγωγικά τονίζεται ότι η Τεχνητή Νοημοσύνη (“*Artificial Intelligence*”), ως κλάδος της Επιστήμης των Υπολογιστών (“*Computer Science*”) αποσκοπεί στην προσομοίωση της ανθρώπινης συμπεριφοράς και νοητικής διαδικασίας εντός του πλαισίου (και των περιορισμών) του Ηλεκτρονικού Υπολογιστή (H/Y): σκοπός αυτής είναι η συνολική λειτουργία και συμπεριφορά του H/Y όσο το δυνατόν περισσότερο φυσική (“*προσομοιάζοντας*” ένα ανθρώπινο ον) αλλά και η ανάπτυξη των κατάλληλων υπολογιστικών δομών και μοντέλων για την επίλυση ζητημάτων που πραγματεύονται ανθρώπινης παρ/επ-έμβασης και νοημοσύνης. Βάσει των παραπάνω είναι εμφανές ότι οι Ηλεκτρονικοί Υπολογιστές υπερτερούν ενός ανθρώπινου μυαλού όσον αφορά τόσο την ικανότητα/δυνατότητα αποθήκευσης & ανάκλησης (“*storage & recall*”) πληροφοριών/δεδομένων όσο και την ταχύτατη (“*επιτελεστικότερη*”/ικανότατη) ορθή εκτέλεση μηχανιστικών πράξεων και αριθμητικών διαδικασιών, εντούτοις υστερούν έναντι ενός Ανθρώπου όσον αφορά την αναγνώριση και αξιολόγηση αποθηκευμένων δομών και μοτίβων πληροφοριών.

Αναφορικά με τα Έμπειρα Συστήματα (“*Expert Systems*” ή “*Smart/Intelligent Systems*” ή “*Knowledge-based Systems*”) ως πεδίο ερευνητικού ενδιαφέροντος της Τεχνητής Νοημοσύνης (σε παράλληλη πρόοδο και ανάπτυξη με αδελφές θεματικές όπως η ρομποτική ή τα συστήματα επεξεργασίας φυσικών γλωσσών) τονίζεται ότι ενώ η περιορισμένη ικανότητα αποθήκευσης πληροφορίας ενός Ανθρώπινου εγκέφαλου καθιστά δυσχερή και πολύχρονη την δημιουργία ενός Ειδικού/Ειδικευμένου Εμπειρογνώμονα (“*specialized*” “*Expert*”) –κάτι το οποίο απαιτεί συνήθως χρόνια τριβή και ενασχόληση εις βάθος με ένα εξαιρετικά

περιορισμένο/εφαρμοσμένο επιστημονικό αντικείμενο/τομέα–, εντούτοις οι Η/Υ είναι ικανότατοι και δεινοί σύμμαχοι (έως ότου φτάσουν στο κρίσιμο επίπεδο της ουσιαστικής υποκατάστασης) του Ανθρώπινου μυαλού σε επίπονες και πολύπλοκες διαδικασίες επίλυσης ζητημάτων ή παροχής συμβουλευτικής σε εύρος προβλημάτων και εφαρμογών. Μέσω της εκπαίδευσης αυτών από τον ανθρώπινο χρήστη-εμπειρογνώμονα, οι Η/Υ είναι ικανοί –*βασιζόμενοι σε ειδικευμένη Γνώση, αξιοποίηση ευρετικών αλγορίθμων, εμπειρικών μεθόδων και φυσικά, μηχανιστικών διαδικασιών και υπολογισμών*– να συμμετέχουν ουσιαστικά στην λήψη αποφάσεων και στην χάραξη στρατηγικής, με ταυτόχρονη αιτιολόγηση της συλλογιστικής τους κατά μορφή και τρόπο αντιληπτό από τον Άνθρωπο.

Σε συνέχεια των παραπάνω τονίζεται ότι τα έμπειρα συστήματα είναι ιδιαίτερα ικανά να επιδεικνύουν νοήμονα συμπεριφορά, αντίστοιχη ενός ανθρώπινου εμπειρογνώμονα (*“domain expert”, ειδικού σε μία συγκεκριμένη ερευνητική θεματική*), όπου μέσω της κωδικοποίησης και αξιοποίησης της πληροφορίας (*συνδυασμός εμπειρικής γνώσης και ανθρώπινης συλλογιστικής*) δύνανται να παρέχουν λύσεις και συμβουλευτική επί πολύπλοκων προβλημάτων, σε αξιοζήλευτους –για τα ανθρώπινα δεδομένα– χρόνους. Δραστικό πεδίο εφαρμογών αποτελούν τόσο κλασσικοί τομείς ανθρώπινης δραστηριότητας όπως η ερμηνεία πληροφορίας (π.χ. ανάλυση σήματος) όσο και ανερχόμενοι επιστημονικοί τομείς (όπως η ανάλυση σύνθετων αντικειμένων –π.χ. έργων και κατασκευαστικών δομημάτων μεγάλης κλίμακας – και δεδομένων –π.χ. ιατρική/εμβιομηχανική). Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι ένα έμπειρο σύστημα δεν ακολουθεί την αυστηρή συμβατική μορφή ενός υπολογιστικού προγράμματος αλλά βασιζόμενο σε εκτεταμένη ποσότητα Γνώσης (συγκεκριμένης/ειδικευμένης θεματικής περιοχής προβλημάτων προς πραγμάτευση και επίλυση) οργανώνει και αξιοποιεί αυτή την Γνώση προς εξαγωγή συμπερασμάτων βάσει αρχιτεκτονικής η οποία έχει ως πυρήνες την προαναφερθείσα γνωσιακή βάση (*“knowledge base”*) και μία μηχανή εξαγωγής συμπερασμάτων (*“inference engine”*). Μία σύντομη περιγραφή της αρχιτεκτονικής και της δομής ενός έμπειρου συστήματος θα συμπεριελάμβανε τις εξής μονάδες: διαλόγου, ανάλυσης, απόφασης, μάθησης και την βάση γνώσης.

Αναφορικά με το ερευνητικό πεδίο της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής, αξίζει να σημειωθεί ότι οι εφαρμογές των Εμπειρών Συστημάτων συμπεριλαμβάνουν την παρακολούθηση κατάστασης (*“monitoring”*), την διάγνωση και πρόγνωση (*“diagnosis/prediction”*), τον έλεγχο (*“control”*) αλλά και την ικανότητα ερμηνείας (*“interpretation”*) καταστάσεων και υλικών τα οποία άπτονται στον Κατασκευαστικό Τομέα και δη, στην Βιομηχανία των δομικών υλικών. Επίσης, εξαιρετικά άξιος αναφοράς είναι ο αυστηρός ορισμός των εμπειρών συστημάτων (βάσει της *British Computer Society’s Specialist Group on Expert Systems*): *“Ένα έμπειρο σύστημα θεωρείται η ενσωμάτωση εντός ενός υπολογιστή βασισμένου-στη-γνώση συστατικού από μία εξειδικευμένη ικανότητα, σε τέτοια μορφή ώστε το σύστημα να δύναται να προσφέρει ευφυείς συμβουλές ή να λάβει μια ευφυή απόφαση για μία επεξεργαστική λειτουργία. Ένα επιθυμητό πρόσθετο χαρακτηριστικό, το οποίο πολλοί θα θεωρούσαν θεμελιώδες, είναι η ικανότητα του συστήματος, να δικαιολογεί τη δική του συλλογιστική πορεία, εάν αυτό του ζητηθεί/απαιτηθεί, κατά τρόπο άμεσα κατανοητό προς τον ζητώντα/ερωτώντα.”*. Εδώ τονίζεται η διαφοροποιός *“λεπτομέρεια”*: ένα έμπειρο σύστημα είναι ικανό πλήρους εξομοίωσης (*“emulation”* και όχι μερικούς *“simulation”, μερικής προσομοίωσης*) της ανθρώπινης ικανότητας εξαγωγής συμπερασμάτων ενός expert/εμπειρογνώμονα.

Εν συνεχεία τονίζεται ότι τα συστήματα αυτά (καθώς) υπάγονται στην επιστημονική/ερευνητική περιοχή της Τεχνητής Νοημοσύνης, ουσιαστικά αποσκοπούν στην μετάβαση από μία απόπειρα γενικής επίλυσης ενός δεδομένου προβλήματος (*συστήματα “general problem solvers”*) στην άμεση διασύνδεση αυτού (και ειδικά της ενδεχόμενης αποτυχίας επίλυσης αυτού) με την γνωσιακή βάση δεδομένων (*“Βάση Γνώσης” / “knowledge*

base”). Δηλαδή με τον παραπάνω τρόπο (ορισμός των υπολογιστικών συστημάτων αυτών ως αρχιτεκτονικών συστημάτων βάσεων γνώσεως), επιλύονται επιτυχώς ζητήματα/θέματα τα οποία χρήζουν ανθρώπινης εμπειρογνωμοσύνης (εφαρμοσμένης/ρεαλιστικής Γνώσης και εμπειρίας) –με γνώμονα τους σκοπούς του χρήστη αυτών (π.χ. οικονομικοί / κοινωνικοί κλπ)– πάντα προς την ουσιώδη και επιτελεστική κατεύθυνση της δημιουργίας κατάλληλου εργαλείου υποστήριξης της λήψης αποφάσεων. Υπεισέρχοντας λίγο περισσότερο στα ενδότερα των εμπειρων συστημάτων, γίνεται εμφανές ότι αυτή η γνωσιακή βάση (“σύστημα βάσης γνώσης”) ουσιαστικά είναι έμπρακτη μοντελοποίηση της γνώσης, εμπειρίας και τεχνογνωσίας της εμπειρογνωμοσύνης ενός ή περισσοτέρων ειδικών/εμπείρων χρηστών του συγκεκριμένου χώρου επιστημονικής εξειδίκευσης και ως εκ τούτου, τα (υπολογιστικά) αποτελέσματα που εκμαιεύονται από το σύστημα πρέπει να είναι σε συγκρίσιμα επίπεδα ακρίβειας εμπειρογνωμοσύνης με αυτά των (ανθρώπων) ειδικών.

Η αρχιτεκτονική των εμπειρων συστημάτων (διακριτή σχέση τόσο της βάσης γνώσης όσο και του αυτούσιου μηχανισμού εξαγωγής συμπερασμάτων) επιτρέπει ευδιάκριτη και διαφανή λειτουργία αυτών. Δηλαδή, ο πυρήνας, τα βοηθητικά προγράμματα και το κέλυφος (“shell”) των εμπειρων συστημάτων βασίζονται στον δεδομένο/προγραμματισμένο μηχανισμό εξαγωγής συμπερασμάτων (και στα ξεχωριστά μέρη τα οποία τον απαρτίζουν, τον διερμηνέα –“interpreter”– και στον χρονοπρογραμματιστή –“scheduler”–) για την επιτυχή αξιοποίηση της πληροφορίας (υπάρχουσα Γνώση) προς την δημιουργία νέας Γνώσης αλλά και την επίλυση συγκρούσεων (βάσει δεδομένων στρατηγικών και κανόνων). Ουσιαστικά το έμπειρο σύστημα λειτουργεί κατακερματίζοντας ένα σύνθετο ζήτημα σε υποπροβλήματα, στα οποία αναθέτονται αντίστοιχες πηγές γνώσης (“knowledge sources”) και επιλύονται ταυτόχρονα και ξεχωριστά (δημιουργώντας λεπτομερή νέα –μερική– Γνώση). Ο τελικός χρήστης (“end user”) δε, δύναται να είναι σχετικά άπειρος όσον αφορά την επιστήμη και τις εφαρμογές των υπολογιστών, πλεονέκτημα αξιοληλυτο όσον αφορά την ευχρηστία και φιλικότητα προς τον χρήστη (“user-friendliness”) των περισσότερων αξιόπιστων υπολογιστικών εργαλείων υψηλής δυναμικότητας και επιδόσεων εν έτη 2015.

Πριν ολοκληρωθεί η αναφορά στα έμπειρα συστήματα, πρέπει να λάβει χώρα αναφορά στην σημαντική τεχνολογική εξέλιξη/πρόοδο του επιστημονικού/ερευνητικού πεδίου της Τεχνολογίας Γνώσης (“Knowledge Engineering”), βάσει της οποίας μπορεί να θεωρηθούν όλα τα προγράμματα Τεχνητής Νοημοσύνης ως (ουσιαστικά) προγράμματα “συλλογισμού” (δηλαδή προσομοίωσης της λειτουργίας της Ανθρώπινης Νοημοσύνης). Τα Έμπειρα Συστήματα, όντας καίριο μέρος των παραπάνω, ενέχουν “Γνώση + Επαγωγή” (μέσω δεδομένων στρατηγικών ελέγχου) έναντι της παραδοσιακής προγραμματιστικής/υπολογιστικής αντίληψης “Δεδομένα + Αλγόριθμοι”, δηλαδή επεξεργάζονται Γνώση αντί για δεδομένα. Διαμέσω της Αναπαράστασης της Γνώσης (“knowledge representation”) (με λογικές εκφράσεις, διαδικαστικές οδηγίες, δικτυακές δομές ή δομημένα συστήματα πληροφορίας) τα Έμπειρα Συστήματα αποκτούν τους επαγωγικούς/παραγωγικούς κανόνες (“production rules”) και παραδοχές ώστε να κωδικοποιηθούν οι συσχετισμοί και η αναγκαία προτασιακή λογική (“predicative logic”) αυτών. Η αναπαράσταση της Γνώσης γίνεται μέσω συστημάτων λογικής αναπαράστασης (όπως ο προτασιακός λογισμός –“predicative calculus”– και η κωδικοποίηση αυτού), δηλαδή λογικών προτάσεων οι οποίες εν συνεχεία επεξεργάζονται και αποτιμώνται λογικά μέσω βασικών (λογικών) πράξεων, ούτως ώστε να αξιοποιείται στο έπακρο (και όχι απλώς “επαρκώς”) η Γνώση (μέσω των ήδη υπάρχοντων και εν ισχύ επαγωγικών μηχανισμών, οι οποίοι “εφαρμόζονται” στον δεδομένο χώρο αναφοράς –“state space”–, σε αगाστή συνεργασία με τις δεδομένες στρατηγικές ελέγχου). Όλα τα παραπάνω χαρακτηρίζονται από υψηλή αποτελεσματικότητα, χρησιμότητα και διαφάνεια, με απτά πλεονεκτήματα έναντι εναλλακτικών (ή/και παραδοσιακών) μεθόδων πραγμάτευσης των προβλημάτων.

Τέλος όσον αφορά τα Έμπειρα Συστήματα, εργαλεία ανάπτυξης και δημιουργίας έμπειρων συστημάτων αποτελούν τόσο ένα ευρύ φάσμα προγραμματιστικών γλωσσών (π.χ. συμβατικές: *Pascal, C, Basic, Fortran* ή και συμβολικές/τεχνητής νοημοσύνης: *PROgramming in LOGic -PROLOG, συναρτησιακού προγραμματισμού LIST Processor -LISP, Smalltalk, LOOPS, FLAVORS, CLOS, COOL, Official Production System -OPS5*) όσο και κατάλληλα σχεδιασμένα εργαλεία Τεχνολογίας της Γνώσης (π.χ. *EMYCIN, KAS, EXPERT, Automated Reasoning Tool -ART, KEE, NEXPERT, C Language Integrated Production System -CLIPS* κλπ). Αναφορικά με σχετικές (ήδη υπάρχουσες) εφαρμογές των τεχνολογιών Έμπειρων Συστημάτων, μία σύντομη επισκόπηση δεν θα ήταν πλήρης χωρίς να γίνει αναφορά στα συστήματα *DENDRAL, MYCIN* και *PUFF* (αναπτυχθέντα από το Πανεπιστήμιο του *Stanford*), *MACSYMA* (αναπτυχθέν από το Τεχνολογικό Ινστιτούτο *Μασαχουσέτης -MIT*), *HEARSAY* και *XCON/R1* (αναπτυχθέντα από το Πανεπιστήμιο του *Carnegie-Mellon*), *CADUCEUS* (αναπτυχθέν από το Πανεπιστήμιο του *Pittsburgh*), *PROSPECTOR* (αναπτυχθέν από το Ερευνητικό Κέντρο *SRI*) αλλά και στα λιγότερο γνωστά συστήματα *DELTA/CATS, DRILLING ADVISOR, GENESIS* και *GATES*.

Εν κατακλείδι, αυτή ακριβώς η βέλτιστη τομή μεταξύ Μηχανικής και Τεχνολογίας της Γνώσης οδηγεί σε εφαρμογές Τεχνητής Νοημοσύνης όπου η διασύνδεση και μεταφορά (μέσω υπολογιστικών τεχνικών αναπαράστασης) της Γνώσης δημιουργεί ένα Έμπειρο Σύστημα (διασυνδεδεμένο με τον άμεσα ενδιαφερόμενο τελικό χρήστη) ικανού για τις κάτωθι κύριες ιδιότητες/δράσεις:

- Προσομοίωση τρόπου επίλυσης ενός δεδομένου και ορισμένου προβλήματος.
- Αξιοποίηση ασαφούς και αβέβαιης λογικής και γνώσης.
- Δημιουργία και χρήση γνωσιακής βάσης (έναντι μίας υπολογιστικής βάσης δεδομένων) όπου η παραχθείσα Γνώση ανακυκλώνεται και δύναται προς εξαγωγή περαιτέρω συμπερασμάτων.
- Χρήση αλγοριθμικών ευριστικών μεθόδων για περιορισμό του χρόνου και χώρου αναζήτησης της επίλυσης.
- Ευδιάκριτη ικανότητα αναθεώρησης αρχικής γνώσης μίας κατάστασης.

Αναφορικά τώρα με την υποστήριξη της απόφασης όσον αφορά την επέμβαση κατά την διάρκεια της Κατασκευής, τονίζεται η ιδιαίτερη βαρύτητα της παραμετροποίησης του ζητήματος, δηλαδή του καθορισμού των χαρακτηριστικών του δεδομένου συστήματος μέσω της ανάπτυξης και χρήσης δεικτών αναγκαιότητας (όπου σε κάθε επιλεχθέντα δείκτη θα αποδίδεται ορισμένος βαθμός αναγκαιότητας και ο συνολικός/προκύπτων βαθμός αναγκαιότητας επέμβασης θα είναι συνάρτηση αυτών των δεικτών αναγκαιότητας και συντελεστών βαρύτητας). Σε συνέχεια των παραπάνω ορίστηκαν τόσο τα κριτήρια λήψης αποφάσεων ως οι χημικές και μηχανικές παραμέτρους της υφιστάμενης κατάστασης και απόδοσης του δομικού υλικού όσο και τα κρίσιμα όρια κάθε χαρακτηριστικής (ποσοτικοποιημένης) παραμέτρου.

Στο αναπτυχθέν έμπειρο σύστημα υποστήριξης απόφασης της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής επιλέχθηκαν δείκτες αναγκαιότητας που σχετίζονται με την μικροδομή του υλικού (πορώδες, κατανομή μεγέθους πόρων, ειδική επιφάνεια), τις φυσικοχημικές ιδιότητες (φαινόμενη πυκνότητα, ολικός ειδικός όγκος), τις μηχανικές αντοχές (ως αντιπροσωπευτικό μέτρο της κατάστασης/ανθεκτικότητας του δομικού υλικού) τα αποτελέσματα των μη-καταστρεπτικών μετρήσεων (ταχύτητα διάδοσης υπερήχων) και τα ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα των μορφολογικών παραμέτρων μικροδομής των ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων Μικροσκοπίου Οπτικών Ινών. Η εφαρμογή των παραπάνω έλαβε χώρα σε προγραμματιστικό περιβάλλον *MatLab®* –διαμέσω αλγορίθμου ο οποίος αναπτύχθηκε για τον σκοπό αυτό– και αποτελείται από φόρμες δεδομένων και

φόρμα συντελεστών βαρύτητας, όπου έξοδο (και αυτό-ανατροφοδότηση) του συστήματος αποτελεί ο τελικός βαθμός αναγκαιότητας επέμβασης (σε ποσοστό %).

Η λήψη των αποφάσεων (υλοποίηση αυτής μέσω του σχεδιασθέντος αλγόριθμου σε περιβάλλον *MatLab*[®]) βασίζεται σε επίλυση προβλήματος πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης ("*multi-criteria optimization*") ανταγωνιστικών κριτηρίων (μη-αποτιμοποιησίμα σε μία κοινή μονάδα μέτρησης), όπου Γενετικοί και Εξελικτικοί Αλγόριθμοι βελτιστοποίησης ("*genetic/evolutionary optimization algorithms*") ("*βιο-εμπνευσμένοι*" αλγόριθμοι, ήτοι μιμούμενοι φυσικές διαδικασίες) κωδικοποιούν τις πιθανές λύσεις του ζητήματος (γενετική αναπαραστάση), αρχικοποιούν το πεδίο των αρχικών πιθανών λύσεων και εν συνεχεία, τις αξιολογούν/αποκωδικοποιούν (μέσω αντικειμενικών συναρτήσεων) κατατάσσοντας αυτές βάσει της καταλληλότητάς τους. Έπειτα, με χρήση γενετικών τελεστών συνθέτουν ("*αναπαραγάγουν*") τους απόγονους και η υπολογιστική διαδικασία ολοκληρώνεται βάσει ορισμένου κριτηρίου τερματισμού αυτής. Τα παραπάνω συμπεριλαμβάνονται στην αποκλειστική εργαλειοθήκη ("*toolbox*") του *MatLab*[®] με τίτλο "*Global Optimization Toolbox*" (έκδοση 2014, γνωστό σε παλαιότερες εκδόσεις ως "*Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox*") όπου είναι διαθέσιμοι γενετικοί αλγόριθμοι πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης μίας συνάρτησης (πλήρους διαμορφώσιμης και ορισμένης από τον χρήστη). Η αξιοποίηση των παρεχόμενων γενετικών τελεστών του *MatLab*[®] επιτρέπει την σύνθεση/αναπαραγωγή του αρχικού πληθυσμού ενώ ο ορισμός/έλεγχος του χώρου διασποράς των λύσεων ("*genotype/phenotype space*") σε συνδυασμό με τον καθορισμό του Pareto fraction (μέγιστο ποσοστό πληθυσμού που επιτρέπεται να τοποθετείται σε πρώτο μη-κυριαρχούμενο μέτωπο, ανά γενιά) επιτρέπει τον ουσιαστικό παραμετρικό έλεγχο της προσομοίωσης.

Τα βήματα για την ολοκλήρωση εύρεσης βελτιστοποίησης (βάσει γενετικών αλγορίθμων του περιβάλλοντος *MatLab*[®] έχουν αναλυτικότερα ως εξής: αξιολόγηση ατόμων πληθυσμού (βάσει μέτρου επίδοσης), διαβάθμιση καταλληλότητας αυτών (βάσει συνάρτησης "*fitness scaling*", "*rank*" ή "*proportional*"), επιλογή γονέων (βάσει των δυνατών επιλογών/ρυθμίσεων "*stochastic uniform*", "*roulette wheel*" ή "*tournament selection*"), σύνθεση/αναπαραγωγή πληθυσμού (μέσω ελιτισμού), διασταύρωση (δυνατές ρυθμίσεις: "*scattered*", "*one/two-point crossover*", "*intermediate*", "*heuristic*" και "*arithmetic*"), μετάλλαξη ("*Gaussian*" ή "*Uniform*") και τέλος, τερματισμό διαδικασίας όταν ικανοποιηθούν τα ορισμένα κριτήρια/επιλογές (π.χ. μέγιστος χρόνος εκτέλεσης ή παραγόμενων γενεών, εύρεση τιμής αντικειμενικής συνάρτησης κλπ).

Εν κατακλείδι, τονίζεται ότι τα ολοκληρωμένα εργαλεία υποστήριξης απόφασης βασίζονται κατά κόρον στην αυτούσια Γνώση και εμπειρία/τεχνογνωσία του χρήστη, ο οποίος διαμορφώνει την Πληροφορία που εισέρχεται στο έμπειρο σύστημα υποβοήθησης απόφασης αυτό καθαυτό. Οι δυνατότητες που παρέχονται από το προγραμματιστικό περιβάλλον *MatLab*[®] προσφέρουν καίρια υποστήριξη επί της λήψης των σχετικών αποφάσεων ενώ πρόσφορο ερευνητικό έδαφος προσφέρουν επίσης άλλες τεχνολογίες αιχμής (π.χ. χρήση ασαφούς λογικής –"*fuzzy logic*"–, μεθόδων τοπικής αναζήτησης και συστημάτων ταξινόμησης, αλλά και εφαρμογών δομών τεχνητών νευρωνικών δικτύων – "*artificial neural networks*"– όπως αξιοποίηση "*self-organizing feature maps -SOFMs-*" ή/και "*wavelets*"). Σημειώνεται δε, ότι σε όλες τις περιπτώσεις, η τελική επιλογή και υλοποίηση ("*implementation*") των αποφάσεων λαμβάνει χώρα μέσω της συλλογής και συναξιολόγησης δεδομένων/πληροφοριών, διατύπωσης εναλλακτικών σεναρίων και με τον υπολογισμό των επιπτώσεων των εναλλακτικών προτάσεων: στην περίπτωση που πραγματεύεται η παρούσα Διδακτορική Διατριβή, η χρήση Γενετικών Αλγορίθμων (αλγορίθμων Γενετικής Εξέλιξης και Κληρονομικότητας) αποτέλεσε ιδανικό εργαλείο προσέγγισης των πραγματικών λύσεων και μετατροπής του προσεγγιστικού "φυσικού μοντέλου" σε απτό εργαλείο λήψεως αποφάσεων μέσω περιβάλλοντος *MatLab*[®].

ε. Πιλοτική εφαρμογή και δοκιμή της Μεθόδου στην κλίμακα της Κατασκευής

Έλαβε χώρα η πιλοτική εφαρμογή της αναπτυχθείσας πλήρους μεθοδολογίας στην κλίμακα της Κατασκευής, σε συνεργασία με τις εταιρείες TITAN ΑΕ και ΑΚΤΩΡ ΑΤΕ. Στα πλαίσια της ολοκλήρωσης της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής εφαρμόστηκε κατά την διάστρωση σκυροδέματος C25/30 (γνωστής σύνθεσης και χαρακτηρισμένων πρώτων υλών) η μέθοδος της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών (σε πραγματικό χρόνο και χώρο) σε ειδικά/κατάλληλα διαμορφωμένους ξυλότυπους, ελήφθησαν εικόνες οι οποίες υπεβλήθησαν σε ψηφιακή επεξεργασία εικόνων (την ίδια στιγμή της κτίσης τους) και αξιολογήθηκε η ποιότητα της πραγματοποιούμενης διαδικασίας σκυροδέτησης βάσει συνδρομής του έμπειρου συστήματος υποβοήθησης αποφάσεων (“εντός” και μέσω του οποίου –πάντα σε πραγματικό χρόνο- έλαβε χώρα σύγκριση των ποιοτικών και ποσοτικοποιημένων χαρακτηριστικών τους με τα ήδη υπάρχοντα στοιχεία της κατασκευασμένης γνωσιακής βάσης δεδομένων). Αποτέλεσμα της παραπάνω ήταν η επίτευξη Καινοτομίας στην Δόμηση, καθότι η αναπτυχθείσα Μεθοδολογία και πλήρης προσέγγιση είναι συνεπής προς τις Αρχές και Προσταγές της Αειφόρου Κατασκευής.



α. Άποψη σιλοφόρου επικαθούμενου οχήματος τροφοδοσίας τσιμέντου

β. Άποψη σιλοφόρου επικαθούμενου οχήματος τροφοδοσίας τσιμέντου



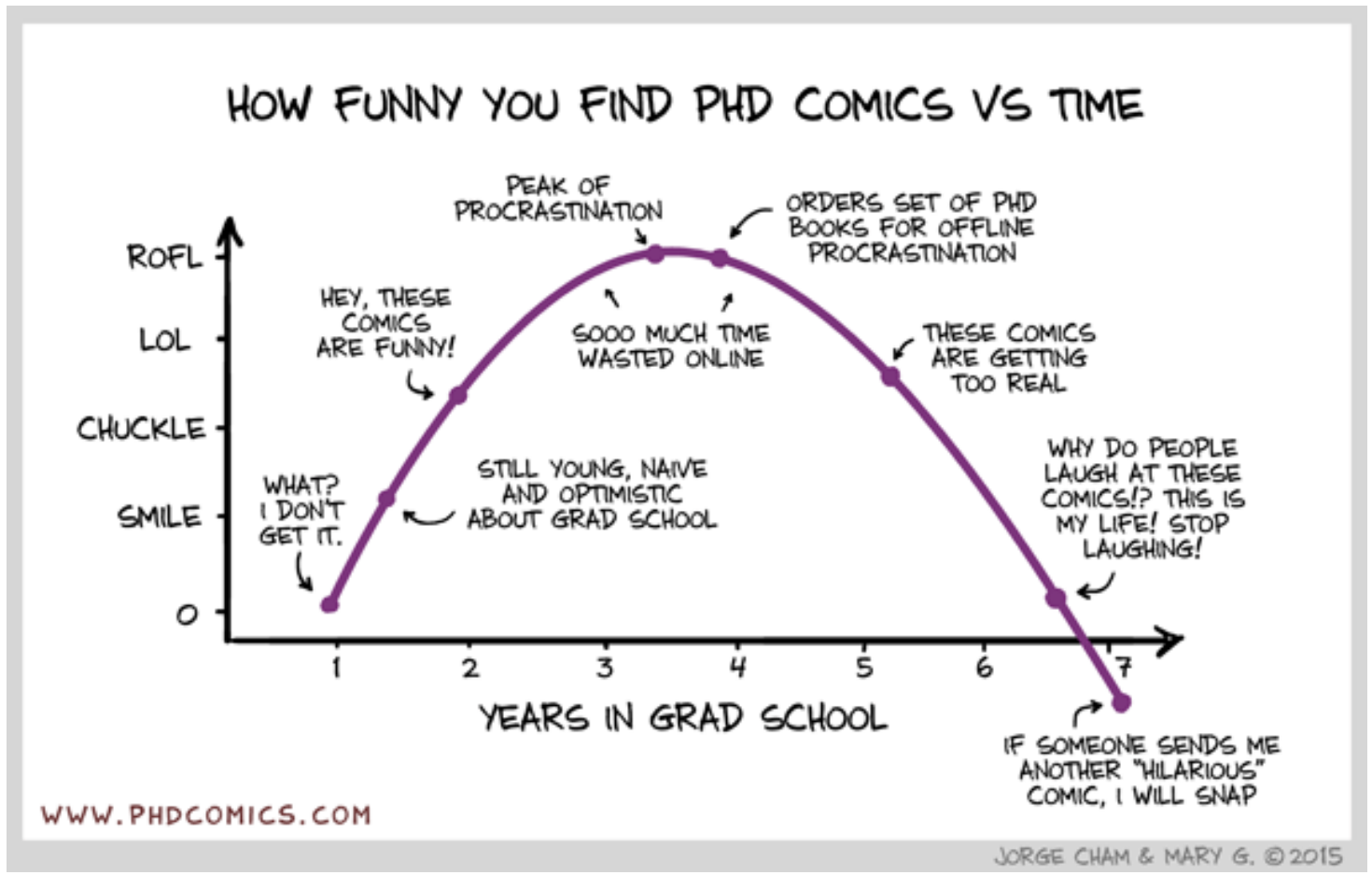
γ. Άποψη σκυροδέτησης σε πραγματικό χρόνο

Σχήμα V.179. Φωτογραφίες δοκιμής εφαρμογής σε πραγματική κλίμακα

"Piled Higher and Deeper"

by Jorge Cham

www.phdcomics.com



ΜΕΡΟΣ Γ' – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ 🏰

Κεφάλαιο VI.

Συμπεράσματα, Προοπτικές και Προτάσεις για Μελλοντικά Βήματα

Περιεχόμενα Κεφαλαίου VI:

- a. Συμπεράσματα παρούσας Διδακτορικής Διατριβής
- b. Προοπτικές και Προτάσεις για μελλοντικά ερευνητικά βήματα

a. Συμπεράσματα παρούσας Διδακτορικής Διατριβής

Στα πλαίσια της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής διερευνήθηκε η δυνατότητα συμβολής μεθόδων μη-καταστρεπτικού ελέγχου (NDT) στη διάγνωση και στον έλεγχο ποιότητας δομικών υλικών, με έμφαση στην Αειφόρο Κατασκευή. Τα γενικά συμπεράσματα τα οποία εξάγονται μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως κάτωθι:

- Αναγνωρίστηκαν και χαρακτηρίστηκαν πλήρως τα χρησιμοποιηθέντα τσιμέντα και συνθέσεις σκυροδεμάτων, τόσο ως προς τις συμπεριφορές/ιδιότητες τους όσο και προς το ενδιαφέρον μελέτης από την σκοπιά της μη-καταστροφικής προσέγγισης της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής (*ειδικότερα δε, σημείο καίριου ενδιαφέροντος ήταν η καταλληλότητα αυτών όσον αφορά την εφαρμογή Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών και ταυτόχρονης Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας*).
- Αναπτύχθηκε πλήρως (ως προς τα παραπάνω) κατάλληλος αλγόριθμος σε περιβάλλον MatLab® ως προς την ακριβέστερη εφαρμογή ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας σε δομικά υλικά, ούτως ώστε να επιτυγχάνεται σε πραγματικό χρόνο και χώρο (μέσω της ανάπτυξης κατάλληλης μεθοδολογίας εφαρμογής της μεθόδου μικροσκοπίας οπτικών ινών -“on site”/in situ- επί τόπου στον χώρο της Κατασκευής) η αξιοποίηση της παρεχόμενης πληροφορίας, επιτρέποντας στον χρήστη την κατάλληλη τροποποίηση της διαδικασίας σκυροδέτησης. Με τον τρόπο αυτό, αποκομίζονται πολλαπλά οφέλη, τόσο σε επίπεδο έργου (*αναγκαίος χρόνος, κόστος/εργατοώρες, καθυστερήσεις λόγω απαιτούμενων αναμονών*) αλλά και Κατασκευής (*καλύτερη συμπεριφορά/ιδιότητες, ανθεκτικότητα έναντι αντίξων συνθηκών/περιβάλλοντος*).
- Καταγράφηκε η σχέση και συσχέτιση μεταξύ των μορφολογικών πληροφοριών που περιέχονται εντός ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων υφής/μικροδομής ληφθέντων από δείγματα σκυροδέματος (με διαφορετικές ποιότητες περιεχόμενων πρώτων υλών –*τσιμέντα τύπου CEM I 42.5, CEM II 42.5, CEM II 32.5, CEM IV 32.5 και CEM I 52.5*) με τις μηχανικές αντοχές που θα λάβουν αυτά στις 28 ημέρες μετά την σκυροδέτηση (*όπου επιτεύχθηκε ιδιαίτερα υψηλή συσχέτιση όσον αφορά τις τιμές R^2 και t stat*).
- Η ολοκληρωμένη μεθοδολογία η οποία αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής βασίζεται και αξιοποιεί πληθώρα μη-καταστρεπτικών τεχνικών προς επίτευξη Αειφορίας στην Κατασκευή και Δόμησης βασισμένης στην Επίδοση (“*Performance-based Building*”). Εντούτοις, το ολιστικό εργαλείο διεπιστημονικής συνέργειας στον κατασκευαστικό κλάδο και στην βιομηχανία των δομικών υλικών μπορεί να αποτελέσει σύμβουλο επί των προγραμματισμένων επεμβάσεων συντήρησης αλλά και βασικό πυλώνα του σχεδιασμού συντήρησης και της πρόβλεψης διάρκειας κατασκευής (“*service life prediction*”), μακραινώντας ουσιαστικά τον κύκλο ζωής και λειτουργίας τους. Τονίζεται δε, ότι το αναπτυχθέν έμπειρο σύστημα υποβοήθησης απόφασης

λειτουργεί τόσο ως μέσο πρότασης επεμβάσεων αλλά και ως “τροχιοδεικτικό” της νεότερης τάσης υπολογιστικών λογισμικών του κατασκευαστικού κλάδου: υπολογιστικά εργαλεία εκτίμησης/αξιολόγησης της Ανθεκτικότητας συγκεκριμένων δομικών υλικών, βάσει δεδομένων κατασκευαστικών αναγκών/περιβαλλόντων έκθεσης ή/και νομοθεσίας. Αυτά τα προγράμματα λογισμικού αποτελούν την πραγμάτωση και μετεξέλιξη της εμπειρικής γνώσης των παραδοσιακών εφαρμοσμένων τεχνικών της Κατασκευής (η οποία, μόνη της, αδυνατεί να επιλύσει/προβλέψει βιώσιμες προσεγγίσεις σε ζητήματα ανθεκτικότητας) με τα νεότερα τεχνολογικά υλικά και κατασκευαστικές πρακτικές. Ως προς την επιτυχή αξιολόγηση των παραπάνω έγκειται η συστηματοποίηση της παρούσας υπάρχουσας “Γνώσης Ανθεκτικότητας” (σε κατάλληλες μορφές βάσεων δεδομένων) αλλά και η δημιουργία μεθόδων ελέγχου και επαλήθευσης ούτως ώστε να διευκολύνεται και επιτυγχάνεται καλός σχεδιασμός Ανθεκτικότητας.

- Το διακύβευμα της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής ήταν η διάσταση/έμφαση στην Αειφόρο Κατασκευή, όπου τόσο το εξαιρετικά ευρύ φάσμα ενδιαφερομένων/συμμετεχόντων φορέων (π.χ. ΑΕΙ, ερευνητικά ιδρύματα/φορείς, Εταιρείες οι οποίες αναπτύσσουν, προωθούν, παρέχουν και αξιοποιούν τις σχετικές καινοτόμες τεχνολογίες, σύμβουλοι/εμπειρογνώμονες, κοινωνικοί φορείς, ιδιώτες/επιχειρηματίες αλλά και κρατικούς/κυβερνητικούς φορείς) όσο η φύση η ίδια του αναζητησιακού εγχειρήματος (“βιώσιμης βελτιστοποίησης” εν προκειμένω) αποτελούσαν τροχοπέδη στον (καθ’)ορισμό ενός καλά και μοναδικά ορισμένου “οράματος” (“vision”) για τον Κλάδο/Βιομηχανία της Κατασκευής. Εντούτοις, μέσω της θέσπισης απαιτήσεων επίδοσης (“performance”) στην στιγμή/χρόνο και χώρο (“in-situ”) της Κατασκευής, η αναπτυχθείσα μεθοδολογία της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής αποτελεί καινοτόμο συνεισφορά και ώθηση προς ένα ενοποιό όραμα Αειφόρου Δόμησης/Κατασκευής: σε ένα οποιοδήποτε ανθρώπινο δομημένο περιβάλλον πρέπει να επιτρέπεται (δηλαδή να είναι εφικτό/δυνατό) στον ανθρώπινο κατασκευαστή έλεγχος επί της Κατασκευής –σε πραγματικό χρόνο και χώρο/κλίμακα-, με στόχο την βεβαιωμένη εκπλήρωση/επίτευξη των επιθυμητών συμπεριφορών/επίδοσης στην πράξη. Βάσει του παραπάνω οράματος τίθεται η πρόκληση του τεχνολογικού σχεδιασμού με στόχο την Ανθεκτικότητα και Αειφορία.

b. Προοπτικές και Προτάσεις για μελλοντικά ερευνητικά βήματα

Κατά την διάρκεια εκτέλεσης της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής και πραγμάτευσης των θεμάτων που ανέκυψαν, αναγνωρίστηκαν και καταγράφηκαν τόσο πιθανές ερευνητικές εφαρμογές/ενδεχόμενα επιστημονικού ενδιαφέροντος όσο και εν δυνάμει καινοτόμες προσεγγίσεις, οι οποίες χρήζουν περισσότερο εστιασμένης και ξεχωριστής ακαδημαϊκής προσέγγισης και ερευνητικής θεραπείας.

Περισσότερο συγκεκριμένα, ορισμένες προτάσεις για την συνέχιση της παρούσας Έρευνας συμπεριλαμβάνουν (και δεν περιορίζονται) στις κάτωθι:

- Τονίζεται η ανάγκη επέκτασης της δειγματοληπτικής ικανότητας του πειραματικού συστήματος (συνδυασμένης Μικροσκοπίας Οπτικών και εφαρμογής Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας), με ταυτόχρονη διατήρηση και βελτίωση της μετρητικής του ικανότητας, σε καινοτόμους τύπους σκυροδεμάτων τελευταίας γενιάς (παραδείγματα εφαρμογής σε αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα –self-consolidating concrete-, σκυροδέματα

ειδικών έργων και εφαρμογών -όπως το *ferrocement*-, αλλά και σκυροδέματα υπερ-υψηλών επιδόσεων και επιτελεστικότητας –*ultra high performance concrete*- ή ακόμη και σε ινοπλισμένα σκυροδέματα –*fiber reinforced concretes*-).

- Επέκταση της μελέτης των πρώτων υλών, ως πρωταρχικών συστατικών των υπό μελέτη σκυροδεμάτων που εφαρμόζονται στην Κατασκευή (π.χ. εφαρμογή σε δοκίμια σκυροδεμάτων με συνθέσεις αποτελούμενες από τεταρτομερή τσιμέντα -*quaternary blended cements*-, πράσινα/εναλλακτικά τσιμέντα με περιβαλλοντικά φιλικό προσανατολισμό κατά την διάρκεια σχεδίασης και παραγωγής τους ή και καινοτόμα τσιμέντα εφαρμογών αιχμής –*niche*-, όπως βιομημητικά, αυτοϊάσιμα κλπ), με σκοπό την πληρέστερη και αναλυτικότερη δυνατή βάση δεδομένων επεξεργασμένων εικόνων υφής από δοκίμια σκυροδεμάτων.
- Περαιτέρω αξιοποίηση του περιβάλλοντος MatLab® μέσω εφαρμογής και χρήσης Τεχνικών Μείωσης Διαστάσεων (“*Dimensionality Reduction – DR*”) ώστε να αντιμετωπισθεί το ζήτημα της διαχείρισης δεδομένων πολλών διαστάσεων δια της αναζήτησης δομής χαμηλής διάστασης των πολυδιάστατων δεδομένων (ουσιαστικά μέσω προβολής ενός συνόλου διανύσματα υψηλής διάστασης σε ένα χώρο χαμηλότερης διάστασης). Με την χρήση της μεθοδολογίας DR (σε περιβάλλον MatLab®) βελτιώνεται σημαντικά η υπολογιστική ισχύς και ταχύτητα, μειώνεται το μέγεθος του συνόλου δεδομένων, αναδεικνύεται η δομή των δεδομένων (η οποία ήταν μη-διακρίσιμη στον αρχικό πολυδιάστατο χώρο) και βελτιώνονται οι δυνατότητες και αποδοτικότητα των τεχνικών εξόρυξης δεδομένων (“*data mining*”) μέσω είτε Γραμμικών μοντέλλων (πχ. Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών – “*Principal Component Analysis*” και *Multidimensional Scaling*) είτε μη-Γραμμικών μοντέλλων (π.χ. *locally linear embedding*, *ISOMAP*). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι τα μη-Γραμμικά μοντέλλα είναι περισσότερο ισχυρά και αναπαριστούν καλύτερα την δομή του αρχικού δοθέντος χώρου αλλά είναι σχεδιαστικά απαραίτητος (ως προς την εφαρμογή/υλοποίηση τους) ο υπολογισμός πληθώρας παραμέτρων, οι οποίες με τη σειρά τους απαιτούν την ύπαρξη σημαντικού πλήθους δεδομένων. Επίσης, άξια ερευνητικού ενδιαφέροντος είναι και η Συνταύτιση Εικόνων (“*Image Matching*”) σε περιβάλλον MatLab® ώστε είτε μέσω Επιφανειακής Συνταύτισης (“*Area-Based Matching*”) είτε Συνταύτισης Χαρακτηριστικών (“*Feature-Based Matching*”) είτε Σχεσιακής Συνταύτισης (“*Relational Matching*”) να επιλυθεί το “ελλιπώς ορισμένο” (“*ill-posed*”) ζήτημα της υπολογιστικής αυτόματης εύρεσης ομολογιών μεταξύ δύο ή περισσότερων επικαλυπτομένων (ή μη) εικόνων (δεδομένης δε της μη-αναγκαία μονοσήμαντης επίλυσης αυτού – η πολλαπλότητα των λύσεων έγκειται εγγενώς στην ύπαρξη επαναλαμβανόμενων μοτίβων στις ληφθείσες πειραματικές εικόνες)
- Ανάγκη πρόβλεψης, κατασκευής και ενσωμάτωσης καλύτερων αισθητήριων μέσων και αισθητήριων (“*sensors*”) στα πλαίσια της περαιτέρω αξιοποίησης των δυνατοτήτων που προσφέρουν οι τεχνολογίες οπτικών ινών.
- Πρόβλεψη και ενσωμάτωση της παρούσας αναπτυχθείσας μεθοδολογίας σε λογισμικά περιβαλλοντικής αποτίμησης και κύκλου ζωής δομικών προϊόντων. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δοθεί σε αρχές βιομηχανικές συμβίωσης (“*industrial symbiosis*”) και ελέγχου αυτών (βλέπε εφαρμογές π.χ. ενεργειακής αξιοποίησης απορριπτόμενης θερμότητας –*waste heat recovery*-).
- Αναμόρφωση/εναρμόνιση των κείμενων και κοινοτικών νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων (μέσω των αντίστοιχων Κανονισμών και Προτύπων, π.χ. EN 206) όσον αφορά τα προϊόντα του τομέα των Δομικών

Κατασκευών, ώστε να συμπεριλαμβάνεται η συνδυαστική εφαρμογή Μεθόδων Μη-Καταστρεπτικού Ελέγχου στο “οπλοστάσιο” του Ελέγχου Ποιότητας, πάντα με έμφαση στην Αειφόρο Ανάπτυξη.

- Αξιοποίηση της ταχύτατα αναπτυσσόμενης και εφαρμοζόμενης τεχνικής της τρισδιάστατης εκτύπωσης (“3D printing/rapid prototyping/contour crafting”), η οποία υπόσχεται ουσιαστική επανάσταση της βιομηχανικής παραγωγής, με δυνατότητες παρασκευής ευρύτατου φάσματος προϊόντων (ακόμη και ολόκληρων κτιρίων, όπως δείχνει η πρόσφατη τεχνολογική εφαρμογή και εμπειρία στην Κίνα).
- Ενσωμάτωση αρχών της “προ των θυρών” (και εν μέρει ήδη πραγματοποιούμενης) Τεχνολογικής Επανάστασης του “*Ιντερνετ των Πραγμάτων*” (“*Internet of Things*”), η οποία ως εκ βαθέων/συθέμελη (“*de profundis/paradigm shift*”) μεταβολή της θεώρησης των Πραγμάτων θα αλλάξει ριζικά τόσο την ίδια την αντιμετώπιση των υπό-σύνδεση/συνδεδεμένων συσκευών (με τεράστιο εύρος εφαρμογών στην *Καθημερινότητα του Ανθρώπου όσο και επεκτάσεις στην Κοινωνία της ίδια*). Περισσότερο λεπτομερώς και χωρίς διάθεση υπερβολής, μέσω της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής αναδεικνύονται και τονίζονται ιδιαιτέρως οι βασικές αρχές του *Ιντερνετ των Πραγμάτων*, όπως:
 - Χρήση τεχνολογιών τελευταίας γενιάς για την δημιουργία, εγκατάσταση και αξιοποίηση ενσωματωμένων, έξυπνων υλικών προς κάλυψη βασικών και καθημερινών αναγκών του Ανθρώπου.
 - Περαιτέρω μετεξέλιξη και τεχνολογική πρόοδος της “απλής” διασύνδεσης (“*connect*”) των αντικειμένων, μεταστρέφοντας το “έξυπνο” επιμέρους αντικείμενο (π.χ. “*smart materials*” με χρήση ενσωματωμένων αισθητήρων) σε ένα μεγαλύτερο, εξαιρετικά ευρύτερο “έξυπνο” περιβάλλον (π.χ. περιβαλλοντική παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και κλίμακα ενός οικοσυστήματος ή τοποθεσίας ενδιαφέροντος, “έξυπνο σπίτι” ή ακόμα και μετάβαση στην “*Εξυπνη Πόλη*”).
 - Έναρξη της τεχνολογικής, επιστημονικής (και συνάμα Κοινωνικής) συζήτησης περί αξιοποίησης και συνέργειας μεταξύ των διαφόρων ειδικοτήτων Μηχανικών (π.χ. Μηχανικοί Τεχνολογίας Λογισμικού, Ηλεκτρολόγοι Μηχανικοί και Μηχανικοί Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Πολιτικοί Μηχανικοί, Μηχανολόγοι Μηχανικοί, Μηχανικοί Αρχιτέκτονες Μηχανικοί, Χημικοί Μηχανικοί, Μηχανικοί Μεταλλείων-μεταλλουργοί, Μηχανικοί Επιστήμης Υλικών, Μηχανικοί Μη-Καταστροφικών Ελέγχων, Μηχανικοί Περιβάλλοντος, Μηχανικοί Ανάλυσης Κύκλου Ζωής, Μηχανικοί Ασφαλείας, Μηχανικοί Γνώσης και Οντολογιών, Μηχανικοί Βιομηχανικού Σχεδιασμού, Μηχανικοί Εφοδιασμού/Logistics, Μηχανικοί Παραγωγής & Διοίκησης, Μηχανικοί Προτυποποίησης κλπ) με απώτερο σκοπό την ολιστική, λειτουργική και βιώσιμη επίτευξη εφαρμογών Αειφόρου Κατασκευής.
 - Ανάδειξη των επικείμενων βιομηχανικών τεχνολογιών οι οποίες θα μεταβάλλουν άρδην την Κατασκευή όπως είναι γνωστή τα τελευταία 200 χρόνια: βελτιωμένα προϊόντα/πρώτες ύλες χαμηλού κόστους ικανές να μεταδίδουν και να καταγράφουν/αποθηκεύουν ψηφιακές πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο και για το πλήρες εύρος ζωής μίας Κατασκευής/Έργου. Αυτά τα υπολογιστικά βελτιωμένα προϊόντα όχι μόνο “αντιλαμβάνονται” (μέσω ενσωματωμένων αισθητήρων) την

κατάσταση τους και το γύρω περιβάλλον, εντούτοις διαδρούν (“interact”) και ελέγχουν τόσο τα συμβάντα όσο και τις ίδιες τους τις παρατηρήσεις. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η επικοινωνία με άλλα, συνδεδεμένα “έξυπνα” υλικά και συστήματα και φυσικά τον Ανθρώπινο Χρήστη. Αυτή ακριβώς η μετάβαση και αξιοποίηση των ψηφιακών μνήμων των προϊόντων (“digital product memory”), αποτελεί όχι μόνο την πρωτόλεια βάση του Ίντερνετ των Πραγμάτων (διασυνδέοντας την Ψηφιακή Πληροφορία με τα φυσικά αυτούσια αντικείμενα/καταστάσεις του Πραγματικού Κόσμου) αλλά και την πρώτη ύλη για τα επικείμενα κυβερνητικά-φυσικά συστήματα παραγωγής (όπου πλέον απτές βελτιώσεις θα παρατηρηθούν τόσο σε ζητήματα ανιχνευσιμότητας –traceability-, ελέγχου ποιότητας, παραγωγής, συστημάτων εφοδιασμού –logistics-, ανακύκλωσης καθώς και καλύτερης πληροφόρησης του καταναλωτή/χρήστη).

- Εφαρμογή αρχών Αντίστροφης Μηχανικής (“Reverse Engineering”) με στόχο την επίτευξη Τεχνολογιών ΕπανΕφεύρεσης (“Technology of Reinvention”) στον τομέα της Κατασκευής και των Δομικών Υλικών. Οι βιομηχανικές πρακτικές που αποτελούν την βάση της παραγωγής μπορεί να “αποδομηθούνε” (μέσω Αντίστροφης Μηχανικής) ούτως ώστε να αξιοποιηθούνε στο μέγιστο οι Νέες Τεχνολογίες και Μέθοδοι τόσο στην κατασκευή έργων ή υλικών, όσο και στην παραγωγή νέας Γνώσης και κατασκευαστικής Τεχνογνωσίας. Το πεδίο εφαρμογής είναι εξαιρετικά ευρύ και δύναται να αξιοποιηθούν αναλυτικές τεχνικές (για αναγνώριση και χαρακτηρισμό υλικών), μετρολογικές προσεγγίσεις αλλά και επαληθευτικές μέθοδοι.
- Ώθηση για έναρξη της συζήτησης σχετικά με πολιτικές Καινοτομίας (“innovation policies”), καθώς οι Τεχνολογικές εξελίξεις αφορούν τόσο τα μέσα/υψηλά επίπεδα ιθυνόντων αποφάσεων (“decision-makers”) και αναλυτών όσο και τους μετόχους/εταίρους από την Βιομηχανία και την Ακαδημία (Ανώτατη Εκπαίδευση), πάντα με έμφαση στην οικονομική βελτίωση και Ανάπτυξη των Κοινωνιών. Αυτή ακριβώς η Καινοτομία (βασισμένη στις “καλές πρακτικές –best practices”) αλλάζει άρδην το παγιωμένο σκηνικό των παγκόσμιων αλυσίδων/δικτύων προστιθέμενης αξίας & υπηρεσιών ενώ ταυτόχρονα υπεισέρχονται παράγοντες οικολογικοί (περιβαλλοντικά-φιλικοί) και κοινωνικοί αλλά και ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην ευχρηστία και την εμπειρία του τελικού χρήστη, ο οποίος απολαμβάνει συγκεκριμένη υπηρεσία, υλικό ή έργο. Η Καινοτομία πρέπει να κατευθυνθεί προς εναλλακτικούς τομείς, πέραν την επιδίωξης τεχνολογικών επιτευγμάτων (“technological breakthrough”) μέσω πολιτικών στήριξης των γνωσιακών (“knowledge-based”) και συνεργατικών (“networking”) σχεδιασμών ούτως ώστε οι τεχνολογικές καινοτομίες να μην στερούνται πρακτικού (“κοινωνικού”) νοήματος και βάσης. Μέσω της επίτευξης αυτής της στροφής των πολιτικών Καινοτομίας στην Κατασκευή θα επέλθει επιτάχυνση/βελτίωση των διαδικασιών προώθησης αναπτυξιακών και καινοτομικών παρεμβάσεων/λύσεων σε παγκόσμια κλίμακα. Ο μηχανισμός αυτός, κλιμάκωσης της Καινοτομίας, θα οδηγήσει και υποστηρίξει νέα Έρευνα ενώ παράλληλος απώτερος στόχος είναι να επιτευχθεί μία κρίσιμη μάζα αφοσιωμένων ενδιαφερομένων φορέων και ατόμων, αυτών που ωθούν αλλαγή πολιτικής και καινοτομικές αναπτυξιακές επεμβάσεις σε μεγάλη κλίμακα. Σημειώνεται δε ότι ειδικότερα για τον βιομηχανικό τομέα, η Καινοτομία έγκειται όχι μόνο στην βελτίωση των διαδικασιών αυτής αλλά και στην εξάρτηση των Εταιριών από τα εθνικά ή διεθνή συστήματα Καινοτομίας (τα οποία εξαρτώνται από κυβερνητικές πολιτικές). Συνεπώς, εάν μία Επιχείρηση

επιθυμεί να είναι ανταγωνιστική, πρέπει να εστιάσει στην Καινοτομία: το εξαιρετικά δυναμικό επαγγελματικό περιβάλλον απαιτεί εξασφάλιση του ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος της εξασφάλισης Καινοτομικών λύσεων/προϊόντων. Η ανάγκη ασφαλών πολιτικών και διαδικασιών Καινοτομίας είναι καίριο χαρακτηριστικό της συνεχούς βελτίωσης μίας Βιομηχανίας, ούτως ώστε να είναι ικανή να εστιάσει στην παροχή υπηρεσιών/προϊόντων υψηλής αξίας στους πελάτες αυτής, αλλά και αντιμετωπίσει επιτυχώς θέματα Αειφορίας. Εδώ ακριβώς υπεισέρχεται στο ζήτημα της διαδικασίας επίτευξης Καινοτομίας η οικονομική διάσταση της εμπορευματοποίησης και επιχειρηματικότητας: αυτά προϋποθέτουν αλλαγή στην επαγγελματική κουλτούρα και ήθος εργασίας για να επέλθει και να “*παρεισφρήσει*” η Καινοτομία στην ίδια την φύση της Βιομηχανίας.

- Εν συνεχεία της παραπάνω έναρξης διαλόγου, είναι εξαιρετικής ανάγκης να υιοθετηθεί μία κουλτούρα αποτίμησης απόδοσης (“*performance*”), όπου πέραν της αντίληψης του τελικού χρήστη όσον αφορά ένα συγκεκριμένο προϊόν (*είτε είναι υλικό, έργο ή υπηρεσία*), η μέτρηση της απόδοσης θα λαμβάνει χώρα μέσω της υιοθέτησης κατάλληλων καίριων δεικτών απόδοσης (“*key performance indicators - KPIs*”), οι οποίοι θα είναι συνάμα προσανατολισμένοι τόσο προς τις υπηρεσίες (“*service*”) (π.χ. *διαθεσιμότητα και χρόνος αντίδρασης όσον αφορά μία δεδομένη και μετρήσιμη υπηρεσία/προϊόν*) όσο και την επιτελεσματικότητα (“*efficiency*”) (π.χ. *διεκπεραιωτική ικανότητα/ρυθμαπόδοση*). Επίστεγασμα αυτής της προσπάθειας είναι η μεταστροφή του Σχεδιασμού βάσει Χρήσεων (“*Design by Uses*”) στον Σχεδιασμό για Βιώματα (“*Design for Experiences*”) αλλά και η πρώτη επιχειρησιακή εισαγωγή της έννοιας των μετρήσεων παραμέτρων και επιδόσεων (“*benchmarking*”) προς επίτευξη συγκριτικής αξιολόγησης.
- Τέλος, το έτος 2015 έχει ανακηρυχθεί ως “*Διεθνές Έτος Φωτός και Τεχνολογιών Βασισμένων στο Φως - International Year of Light and Light-based Technologies*” από τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών και την UNESCO, καθότι η χρονιά αυτή συνδέεται με ημερομηνίες-ορόσημα της ιστορίας της Οπτικής (π.χ. *συμπληρώνονται τουλάχιστον 1000 χρόνια από τις πρώτες μελέτες οπτικής του Ιρακινού Ibn Al-Haytham, 200 χρόνια από τη διατύπωση της κυματικής φύσης του φωτός από τον Fresnel, 150 χρόνια από την ηλεκτρομαγνητική θεωρία διάδοσης του φωτός από τον Maxwell, 100 χρόνια από την δημοσίευση της Θεωρίας της Σχετικότητας από τον Einstein και 50 χρόνια από την παρατήρηση του μικροκυματικού υποβάθρου του Σύμπαντος από τους Penzias & Wilson αλλά και την σημαντικότερη τεχνολογική εξέλιξη των οπτικών ινών από τον Kao*). Με αφορμή τον εορτασμό αυτό και έχοντας ολοκληρώσει μία Διδακτορική Διατριβή βασισμένη σε οπτική τεχνική θεωρώ ότι ο Μηχανικός του Μέλλοντος (2020+) πρέπει να ενσωματώσει όλες τις τρέχουσες τεχνολογίες και τεχνικές αιχμής (π.χ. *υπολογιστική τεχνική Συνδυαστικής –“Combinatorics”–*) στις καίριες ερευνητικές θεματικές και εφαρμογές (π.χ. *νανοτεχνολογία αλλά και επιστήμη/τεχνολογία της Γνώσης*). Με τον τρόπο αυτού μπορούμε να ατενίζουμε το Μέλλον με όραμα, περίσσιο θάρρος έχοντας στην φαρέτρα μας, ίσως το μόνο πάντα και πανταχού παρόν, διαχρονικότερο όπλο και εργαλείο όλων:

το Φως.

"Βράχος 2000 τόνων ταξιδεύει 20 χιλιόμετρα.

**Μαρίνος Χαρμπούρης, ένας
μεγάλος Έλληνας Μηχανικός
στην Ρωσία του 1770"**

Θεοδόσιος Π. Τάσιος, Καθ. ΕΜΠ
(στα πλαίσια Έκθεσης
ΤΕΕ/ΕΜΑΕΤ, Τεχνόπολη Δήμου
Αθηναίων, Φεβ.-Μαρ.2003)



Ο μεγαλοφυής Κεφαλονίτης Μηχανικός Μαρίνος Χαρμπούρης (1729-1782), τεχνικός σύμβουλος της Μεγάλης Αικατερίνης της Ρωσίας, κατάφερε να μεταφέρει το 1770 ολόσωμο βράχο βάρους 2.000 τόνων σε απόσταση 20 χιλιομέτρων, από βάλτους και έλη της Φινλανδίας στην πλατεία της Αγίας Πετρούπολης. Σε αυτό το βράχο τοποθετήθηκε το γιγαντιαίο άγαλμα του έφιππου Μεγάλου Πέτρου, έργο του γλύπτη Στέφανου Φαλκονέ. Το κατόρθωμα του Χαρμπούρη θεωρήθηκε άθλος της εποχής, τεχνικό θαύμα που ξεπερνούσε τις τεχνολογικές δυνατότητες του καιρού του. Τα σχέδια και η μελέτη μεταφοράς εκδόθηκαν στο Παρίσι το 1770 σε ειδικό λεύκωμα και πιστοποιούν το μηχανικό τεχνικό επίτευγμα του Μεγάλου Έλληνα Μηχανικού.



"Αντισταθείτε

[...]

**ώς και σέ μένα, σέ μένα άκόμα πού σάς ιστορῶ άντισταθείτε.
Τότε μπορεί βέβαιοι νά περάσουμε πρὸς τήν Έλευθερία."**

"Η διαθήκη μου", Μιχάλης Κατσαρός τοῦ Εὐσταθίου, ἐκ Κυπαρισσίας Τριφυλίας
Ποιητής με έντονη πολιτικοποίηση, 1919-1998

Κεφάλαιο VII.

Παραρτήματα

Παράρτημα Α. Βιογραφικό σημείωμα συγγραφέα

Οκτώβριος 2015

1 page executive summary / CV

Νικόλαου Σ. Κατσιώτη

Διπλ. Μηχανικός Μεταλλείων – Μεταλλουργός ΕΜΠ / Υποψήφιος Διδάκτωρ Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ

Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο:

nikolaos.katsiotis@outlook.com

Στρατιωτικές υποχρεώσεις:

Εκπληρωμένες

Δημοσιεύσεις σε έγκριτα διεθνή επιστημονικά περιοδικά ~ Ανακοινώσεις σε συνέδρια:

1. **Α. Μοροπούλου, Α. Μπακόλας, Αικ. Θ. Δελέγκου, Κ. Λαμπρόπουλος, Ν. Κατσιώτης**, "Εφαρμογή θειτικών επιστημών σε αρχαιολογικές μελέτες στον Αιγαίο χώρο. Η περίπτωση της Ιαλύσσιας Ακρόπολης και της Ακρόπολης του Ερμιοκάστρου στην Ρόδο", 5^ο Συμπόσιο Ελληνικής Αρχαιομετρικής Εταιρείας, 8-10 Οκτωβρίου 2008, Αθήνα.
2. **M. Beazi, N. Katsiotis, G. Rouni, D. Bakirgis, M. Loizidou**. "The effect of bentonite/cement binder mixtures for the stabilized/solidified of sewage sludge containing heavy metals". Cement and Concrete Composites, Volume 30, Issue 10, November 2008, pages 1013-1019.
3. **Π.Ε. Τσακιρίδης, Ν.Σ. Κατσιώτης, Α. Πατεράκης, Μ. Μπεάζη-Κατσιώτη**, "Μελέτη βλαπτικότητας δολομικών αδρανών λόγω αλκαλο-ανθρακικής αντίδρασης", 16^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, Πάφος, Κύπρος 21-23 Οκτωβρίου 2009.
4. **Ν. Κατσιώτης, Ε. Δελέγκου, Ε. Ξυνοπούλου, Κ. Καραθάνου, Α. Μοροπούλου**, "Η Συμβολή της Υπερθερης Θερμογραφίας στη Διαγνωστική Μελέτη των Υλικών των Ακροπόλεων του Σαρανταπήχου και του Ερμιοκάστρου, καθώς και της Ελληνιστικής Γέφυρας της Αγίας Αγάθης στην Ρόδο", 7^ο Εθνικό Συνέδριο Μη-Καταστρεπτικών Τεχνικών της Ελληνικής Εταιρείας Μη-Καταστροφικών Ελέγχων (ΕΛΕΜΚΕ), "Η συμβολή των ΜΚΕ στην ασφάλεια των μικρών και μεγάλων έργων και κατασκευών και του κοινωνικού συνόλου", ΕΜΠ, 15-17 Οκτωβρίου 2010, Αθήνα.
5. **Α. Μοροπούλου, Α. Θ. Δελέγκου, Κ. Λαμπρόπουλος, Μ. Καρόγλου, Α. Κιούση, Ν. Κατσιώτης**, "Η Συμβολή των Τεχνικών Μη-Καταστρεπτικού Ελέγχου στην Προστασία των Ιστορικών Κατασκευών-Μνημείων. Διαχείριση σε Ολοκληρωμένα Συστήματα Πληροφοριών", 7^ο Εθνικό Συνέδριο Μη-Καταστρεπτικών Τεχνικών της Ελληνικής Εταιρείας Μη-Καταστροφικών Ελέγχων (ΕΛΕΜΚΕ), ΕΜΠ, 15-17 Οκτωβρίου 2010, Αθήνα.
6. **Κ. Labropoulos, N. Katsiotis, E. Xinopoulou, A. Delegou, A. Bakolas, A. Moropoulou**, "Diagnostic study at the Acropolis of Sarantapicho and the Acropolis of Erimokastro, Rhodes", 8th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Monument Damage Hazards and Rehabilitation Technologies, May 31-June 2, 2010, Patras, Greece.
7. **M. Beazi, N. Patsikas, P. Pipilikaki, N. Katsiotis, K. Mikedi, M. Chaniotakis**, "Delayed Ettringite Formation (DEF) in Mortars of White Cement", Construction and Building Materials, Volume 25, Issue 2, February 2011, pages 900-905.
8. **A. Moropoulou, K. Labropoulos, N. Katsiotis**, "Application of ground penetrating radar for the assessment of the decay state of Hagia Sophia's mosaics", Proceedings of the 5th Conference on Emerging Technologies in NDT "Emerging Technologies in Non-Destructive Testing V", 19-21st September 2011, Ioannina, CRC Press 2012, pages 25-30.
9. **A. Moropoulou, K. Labropoulos, N. Katsiotis**, "Assessing the Preservation State and Revealing Plastered Mosaics in Hagia Sophia Using Ground Penetrating Radar", Journal of Materials Science & Engineering A2(2), Feb 2012, pages 183-189.
10. **N. Katsiotis, T. Matikas, A. Moropoulou**, "Investigation of the contribution possibilities of non-destructive methods of testing for the diagnosis and quality control of building materials with emphasis given on sustainable construction", SPIE "Smart Structures/NDE", Proceedings of SPIE 8346 (1), Smart Sensor Phenomena, Technology, Networks, and Systems Integration 2012, 83460Z, 11-15th March 2012, San Diego, USA.
11. **A. Moropoulou, M. Karoglou, K. Labropoulos, E. Delegou, N. Katsiotis, A. Bakolas**, "Application of non-destructive techniques to assess the state of Hagia Sophia's mosaics", Proceedings of SPIE 8346, Smart Sensor Phenomena, Technology, Networks, and Systems Integration 2012, 83460Y, 30 March 2012.
12. **F. Kontoleontos, P. Tsakiridis, A. Marinos, N. Katsiotis, V. Kaloidas, M. Katsioti**, "Dry-grinded ultrafine cements hydration. physicochemical and microstructural characterization", Materials Research 16 (2), October 2012, pages 404-416.
13. **N. Patsikas, N. Katsiotis, P. Pipilikaki, D. Papageorgiou, E. Chaniotakis, M. Beazi**, "Durability of mortars of white cement against sulfate attack in elevated temperatures", Construction and Building Materials, Volume 36, November 2012, pages 1082-1089.
14. **N. Katsiotis, T. Matikas, D. Aggelis, A. Moropoulou**, "Assessment Of concrete quality through the means of digitally processed images acquired via fiber optic microscopy - correlation with ultrasound data", Materials Integrated Non Destructive Testing 2013, 5th International Conference on NDT of HSNT "IC-MINDT-2013", 20-22nd of May, 2013, Athens.
15. **Ν. Κατσιώτης, Α. Μοροπούλου**, "Συσχέτιση 3-διάστατων μαθηματικών μοντέλων προσομοίωσης ενυδάτωσης και μικροδομής τσιμεντών με ψηφιακά επεξεργασμένες εικόνες μικροσκοπίου οπτικών ινών ως προς την πρόβλεψη των πρώιμων αντοχών των τσιμεντών αυτών", 9^ο Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριο Χημικής Μηχανικής, 23-25 Μαΐου 2013, Αθήνα [Επαινος: "Ανακοίνωσης από Διδακτορική Διατριβή"].
16. **A. Moropoulou, A. Bakolas, M. Karoglou, E. Delegou, K. Labropoulos, N. Katsiotis**, "Diagnostics and protection of Hagia Sophia mosaics", Journal of Cultural Heritage, Volume 14, Issue 3, Supplement, June 2013, pages e133-e139.
17. **N. Lemonis, P. Tsakiridis, N. Katsiotis, S. Antiohos, D. Papageorgiou, M. Katsiotis, M. Beazi**, "Hydration study of ternary blended cements containing ferronickel slag and natural pozzolan", Construction and Building Materials, Volume 81, 15 April 2015, pages 130-139.
18. **N. Katsiotis, P. Tsakiridis, D. Velissariou, M. Katsiotis, S. Alhassan, M. Beazi**, "Utilization of Ferronickel Slag as Additive in Portland Cement: A Hydration Leaching Study", Waste and Biomass Valorization, April 2015, Volume 6, Issue 2, pp 177-189.

Παράρτημα Β. Αλγόριθμος ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας που αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε στα πλαίσια της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής

```
%% setup
clear all, close all, imtool close all, clc;
%% Original image
test = imread('05_S2a_I_52_5_30x.jpg');
figure, imshow(test,[])
%% grayscale
test_gray = rgb2gray(test);
figure, imshow(test_gray,[])
%% adapt hist eq + filtering
test_adapt_hist = adapthisteq(test_gray);
test_post_filt = wiener2(test_adapt_hist, [3 3]);
figure, subplot(2,3,1), imshow(test_gray);
subplot(2,3,4), imhist(test_gray);
subplot(2,3,2), imshow(test_adapt_hist);
subplot(2,3,5), imhist(test_adapt_hist);
subplot(2,3,3), imshow(test_post_filt);
subplot(2,3,6), imhist(test_post_filt);
%% thresholding
test_thresh_80 = test_post_filt > 80;
test_thresh_80 = imcomplement(test_thresh_80);
figure, imshow(test_thresh_80);
test_thresh_110 = test_post_filt > 110;
figure, imshow(test_thresh_110);
%% remove small objects/noise
test_thresh_80_final = bwareaopen(test_thresh_80,10);
figure, imshow(test_thresh_80_final);
test_thresh_110_final = bwareaopen(test_thresh_110,10);
figure, imshow(test_thresh_110_final);
%% boundaries on the original image
test_boundary_80 = bwboundaries(test_thresh_80_final);
figure, imshow(test,[])
hold on
for k = 1:length(test_boundary_80)
    boundary = test_boundary_80{k};
    plot(boundary(:,2), boundary(:,1), 'Color', [1 0 0], 'LineWidth',
2)
end
test_boundary_110 = bwboundaries(test_thresh_110_final);
figure, imshow(test,[])
hold on
for k = 1:length(test_boundary_110)
    boundary = test_boundary_110{k};
    plot(boundary(:,2), boundary(:,1), 'Color', [1 0 0], 'LineWidth',
2)
end
%% for range, std and entropy use the cellTextureSeg.m from Chapter 6
%% all stats
stats_80 = regionprops(test_thresh_80_final,'all');
stats_110 = regionprops(test_thresh_110_final,'all');

%% find the average Area
area_80 = mean([stats_80.Area]);
fprintf('The average area with thresh 80 is %5.5f\n',area_80);
area_110 = mean([stats_110.Area]);
fprintf('The average area with thresh 110 is %5.5f\n',area_110);
```

```

%% find the average Centroid
centroid_80 = mean([stats_80.Centroid]);
fprintf('The average centroid with thresh 80 is
%5.5f\n',centroid_80);
centroid_110 = mean([stats_110.Centroid]);
fprintf('The average centroid with thresh 110 is
%5.5f\n',centroid_110);

%% find the average Eccentricity
Eccentricity_80 = mean([stats_80.Eccentricity]);
fprintf('The average eccentricity with thresh 80 is
%5.5f\n',Eccentricity_80);
Eccentricity_110 = mean([stats_110.Eccentricity]);
fprintf('The average eccentricity with thresh 110 is
%5.5f\n',Eccentricity_110);

%% find the average EulerNumber
EulerNumber_80 = mean([stats_80.EulerNumber]);
fprintf('The average eulernumber with thresh 80 is
%5.5f\n',EulerNumber_80);
EulerNumber_110 = mean([stats_110.EulerNumber]);
fprintf('The average eulernumber with thresh 110 is
%5.5f\n',EulerNumber_110);

%% find the average Perimeter
Perimeter_80 = mean([stats_80.Perimeter]);
fprintf('The average perimeter with thresh 80 is
%5.5f\n',Perimeter_80);
Perimeter_110 = mean([stats_110.Perimeter]);
fprintf('The average perimeter with thresh 110 is
%5.5f\n',Perimeter_110);

%% find the average Solidity
Solidity_80 = mean([stats_80.Solidity]);
fprintf('The average solidity with thresh 80 is
%5.5f\n',Solidity_80);
Solidity_110 = mean([stats_110.Solidity]);
fprintf('The average solidity with thresh 110 is
%5.5f\n',Solidity_110);

```


Παράρτημα Γ. Στατιστικές συσχετίσεις

25x magnification

1

#1_25_80_t0									
25x magnification									
80 threshold									
t0									
CONCRETES 28d	CEMENTS 28d	area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity		
CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	52,969	278,517	0,765	0,785	29,241	0,812
CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	53,744	276,716	0,773	0,316	29,566	0,786
CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	99,141	274,286	0,756	0,180	46,769	0,780
CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	756,930	264,990	0,750	0,210	73,832	0,825
CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	80,888	276,698	0,774	0,550	40,448	0,785

11

#11_25_110_t0									
25x magnification									
110 threshold									
t0									
CONCRETES 28d	CEMENTS 28d	area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity		
CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	18,444	269,969	0,722	0,936	14,127	0,829
CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	33,822	272,667	0,770	0,943	21,313	0,845
CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	23,836	245,102	0,757	0,946	16,770	0,841
CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	15,051	149,607	0,728	0,750	12,701	0,739
CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	33,361	227,029	0,754	0,954	20,171	0,862

2

#2_25_80_+5									
25x magnification									
80 threshold									
+5									
CONCRETES 28d	CEMENTS 28d	area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity		
CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	61,815	279,811	0,776	0,809	32,713	0,813
CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	55,219	277,147	0,779	0,789	30,476	0,806
CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	130,142	278,548	0,775	0,271	56,838	0,782
CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	1096,817	286,312	0,767	0,376	76,307	0,829
CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	81,896	278,579	0,777	0,589	40,570	0,803

12

#12_25_110_+5									
25x magnification									
110 threshold									
+5									
CONCRETES 28d	CEMENTS 28d	area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity		
CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	39,623	274,940	0,763	0,943	22,994	0,846
CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	34,795	276,045	0,772	0,957	21,917	0,846
CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	24,923	246,343	0,769	0,955	17,919	0,856
CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	18,467	150,609	0,749	0,772	16,269	0,793
CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	33,898	259,867	0,762	0,968	20,445	0,871

3

#3_25_80_+10									
25x magnification									
80 threshold									
+10									
CONCRETES 28d	CEMENTS 28d	area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity		
CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	63,362	281,827	0,777	0,889	32,963	0,819
CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	68,892	278,791	0,780	0,869	34,925	0,808
CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	142,879	279,875	0,777	0,340	61,674	0,784
CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	1185,863	287,852	0,772	0,441	90,640	0,832
CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	82,020	281,886	0,778	0,638	41,439	0,805

13

#13_25_110_+10									
25x magnification									
110 threshold									
+10									
CONCRETES 28d	CEMENTS 28d	area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity		
CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	43,667	277,090	0,769	0,943	25,124	0,849
CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	38,460	277,691	0,777	0,963	23,240	0,848
CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	27,350	260,182	0,770	0,980	18,554	0,870
CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	20,056	157,197	0,775	0,821	16,928	0,835
CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	34,032	265,510	0,762	0,969	21,362	0,871

4

#4_25_80_+15									
25x magnification									
80 threshold									
+15									
CONCRETES 28d	CEMENTS 28d	area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity		
CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	70,770	282,023	0,779	0,921	35,737	0,821
CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	82,282	281,869	0,780	0,886	41,034	0,809
CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	189,591	280,081	0,780	0,390	75,758	0,794
CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	1982,294	293,754	0,776	0,496	95,129	0,843

14

#14_25_110_+15									
25x magnification									
110 threshold									
+15									
CONCRETES 28d	CEMENTS 28d	area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity		
CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	48,403	277,408	0,771	0,963	26,798	0,857
CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	39,131	278,959	0,778	0,968	23,697	0,854
CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	28,236	264,276	0,771	0,981	18,637	0,875
CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	23,071	163,119	0,788	0,883	17,296	0,843

CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	86,323	282,055	0,780	0,822	42,735	0,812
------------	------	------------	------	--------	---------	-------	-------	--------	-------

5	#5_25_80_+20									
	25x magnification									
	80 threshold									
	+20									
	CONCRETES 28d		CEMENTS 28d							
	CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	72,286	282,401	0,781	0,926	36,473	0,830
	CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	89,042	282,065	0,781	0,901	42,841	0,813
	CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	194,987	284,092	0,780	0,467	77,117	0,806
	CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	2111,968	298,660	0,778	0,542	101,108	0,844
	CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	93,570	282,577	0,783	0,827	44,148	0,812

CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	34,712	266,495	0,767	0,971	21,798	0,873
------------	------	------------	------	--------	---------	-------	-------	--------	-------

15	#15_25_110_+20									
	25x magnification									
	110 threshold									
	+20									
	CONCRETES 28d		CEMENTS 28d							
	CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	49,988	277,999	0,773	0,965	27,313	0,858
	CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	40,921	279,574	0,778	0,977	24,059	0,863
	CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	28,871	264,484	0,771	0,982	18,823	0,882
	CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	23,258	167,813	0,799	0,934	17,675	0,853
	CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	35,801	272,169	0,768	0,975	22,327	0,873

6	#6_25_80_+25									
	25x magnification									
	80 threshold									
	+25									
	CONCRETES 28d		CEMENTS 28d							
	CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	73,831	282,879	0,782	0,942	36,866	0,832
	CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	92,696	282,100	0,783	0,911	43,236	0,814
	CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	307,124	285,270	0,781	0,534	94,835	0,807
	CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	2378,416	307,048	0,781	0,698	114,469	0,846
	CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	101,594	284,322	0,784	0,861	46,909	0,812

16	#16_25_110_+25									
	25x magnification									
	110 threshold									
	+25									
	CONCRETES 28d		CEMENTS 28d							
	CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	50,055	278,569	0,774	0,966	27,323	0,859
	CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	41,773	280,658	0,780	0,978	24,713	0,864
	CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	29,764	271,916	0,773	0,985	19,316	0,885
	CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	24,636	273,618	0,802	0,955	19,306	0,858
	CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	36,975	273,422	0,768	0,976	22,731	0,876

7	#7_25_80_+30									
	25x magnification									
	80 threshold									
	+30									
	CONCRETES 28d		CEMENTS 28d							
	CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	87,674	283,433	0,783	0,944	41,556	0,835
	CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	94,335	282,797	0,783	0,922	44,314	0,817
	CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	556,949	288,273	0,783	0,611	102,247	0,820
	CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	3359,954	313,207	0,785	0,763	121,714	0,848
	CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	108,664	285,540	0,785	0,863	50,687	0,815

17	#17_25_110_+30									
	25x magnification									
	110 threshold									
	+30									
	CONCRETES 28d		CEMENTS 28d							
	CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	50,668	278,945	0,776	0,976	27,556	0,860
	CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	46,270	281,813	0,782	0,980	26,306	0,865
	CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	32,914	277,553	0,780	0,992	20,907	0,886
	CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	26,667	283,446	0,812	0,968	19,556	0,876
	CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	38,445	275,654	0,771	0,979	22,806	0,876

8	#8_25_80_+40									
	25x magnification									
	80 threshold									
	+40									
	CONCRETES 28d		CEMENTS 28d							
	CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	100,397	283,495	0,786	0,960	46,349	0,841
	CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	107,956	284,816	0,787	0,954	47,943	0,834
	CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	651,469	289,920	0,784	0,756	118,303	0,830
	CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	3963,281	314,894	0,786	0,844	126,201	0,848
	CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	173,864	286,079	0,787	0,867	71,660	0,819

18	#18_25_110_+40									
	25x magnification									
	110 threshold									
	+40									
	CONCRETES 28d		CEMENTS 28d							
	CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	51,607	279,431	0,776	0,980	27,954	0,861
	CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	49,878	285,578	0,782	0,981	26,467	0,866
	CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	36,116	280,977	0,797	0,993	22,148	0,887
	CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	32,889	327,364	0,814	0,975	21,434	0,879
	CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	39,222	279,888	0,772	0,981	23,174	0,880

9

#9_25_80_+50									
25x magnification									
80 threshold									
+50									
CONCRETES 28d		CEMENTS 28d		area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity
CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	138,699	287,758	0,787	0,964	110,629	0,846
CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	153,621	284,842	0,789	0,960	58,493	0,841
CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	726,940	293,253	0,791	0,791	131,504	0,832
CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	5490,936	319,931	0,792	0,896	140,310	0,860
CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	186,929	293,164	0,792	0,881	113,690	0,826

19

#19_25_110_+50									
25x magnification									
110 threshold									
+50									
CONCRETES 28d		CEMENTS 28d		area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity
CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	59,110	288,074	0,779	0,982	30,950	0,871
CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	55,082	286,674	0,785	0,983	29,125	0,870
CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	39,520	284,938	0,799	0,996	24,891	0,894
CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	47,500	337,942	0,827	0,981	29,864	0,919
CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	41,033	281,695	0,774	0,985	23,791	0,891

10

#10_25_80_+60									
25x magnification									
80 threshold									
+60									
CONCRETES 28d		CEMENTS 28d		area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity
CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	165,778	295,466	0,802	0,975	129,142	0,886
CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	282,277	286,559	0,794	0,970	92,472	0,843
CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	972,954	303,511	0,792	0,877	144,264	0,851
CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	5568,283	341,773	0,794	0,971	143,346	0,878
CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	189,167	309,755	0,794	0,883	116,242	0,834

20

#20_25_110_+60									
25x magnification									
110 threshold									
+60									
CONCRETES 28d		CEMENTS 28d		area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity
CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	63,518	310,656	0,790	0,986	33,209	0,935
CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	55,090	296,552	0,787	0,990	29,763	0,879
CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	49,567	317,534	0,809	0,998	28,266	0,909
CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	75,000	400,159	0,928	0,989	32,719	0,935
CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	45,123	303,389	0,777	0,986	25,020	0,891

50x magnification

21

#21_50_80_t0									
50x magnification									
80 threshold									
t0									
CONCRETES 28d		CEMENTS 28d		area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity
CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	57,472	220,169	0,748	0,904	28,571	0,792
CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	62,733	213,808	0,758	0,675	30,086	0,812
CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	122,259	256,247	0,761	0,425	45,514	0,785
CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	107,345	258,293	0,765	0,274	45,629	0,799
CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	51,725	232,995	0,761	0,806	25,299	0,758

31

#31_50_110_t0									
50x magnification									
110 threshold									
t0									
CONCRETES 28d		CEMENTS 28d		area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity
CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	56,842	207,995	0,670	0,721	220,127	0,831
CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	312,362	176,133	0,664	0,712	169,489	0,824
CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	813,000	241,679	0,748	0,622	118,395	0,794
CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	340,932	239,679	0,754	0,150	80,736	0,789
CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	1744,931	164,097	0,722	31,242	120,920	0,824

22

#22_50_80_+5									
50x magnification									
80 threshold									
+5									
CONCRETES 28d		CEMENTS 28d		area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity
CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	72,231	222,091	0,756	0,909	32,548	0,817
CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	83,447	230,599	0,775	0,826	33,639	0,821
CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	123,212	257,474	0,762	0,576	47,097	0,801
CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	141,953	265,078	0,771	0,469	51,843	0,801

32

#32_50_110_+5									
50x magnification									
110 threshold									
+5									
CONCRETES 28d		CEMENTS 28d		area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity
CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	71,033	219,400	0,731	0,775	244,077	0,853
CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	484,667	181,999	0,737	0,773	175,402	0,837
CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	863,551	247,032	0,750	0,663	119,107	0,798
CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	390,133	247,389	0,762	0,169	85,522	0,792

CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	62,500	235,895	0,773	0,842	30,203	0,800
------------	------	------------	------	--------	---------	-------	-------	--------	-------

23	#23_50_80_+10									
	50x magnification									
	80 threshold									
	+10									
	CONCRETES 28d		CEMENTS 28d							
	CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	81,345	223,239	0,775	0,917	32,990	0,844
	CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	83,859	240,616	0,776	0,845	36,044	0,833
	CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	135,692	262,815	0,763	0,629	49,612	0,810
	CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	143,973	266,987	0,779	0,513	52,144	0,802
	CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	64,083	236,628	0,773	0,850	31,290	0,813

CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	1744,931	184,674	0,722	36,521	120,920	0,830
------------	------	------------	------	----------	---------	-------	--------	---------	-------

33	#33_50_110_+10									
	50x magnification									
	110 threshold									
	+10									
	CONCRETES 28d		CEMENTS 28d							
	CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	115,000	220,365	0,747	0,793	244,965	0,855
	CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	595,514	191,893	0,743	0,807	199,827	0,841
	CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	871,986	247,232	0,751	0,691	122,463	0,800
	CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	415,876	256,569	0,763	0,181	89,761	0,792
	CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	2751,529	229,212	0,727	41,213	134,499	0,830

24	#24_50_80_+15									
	50x magnification									
	80 threshold									
	+15									
	CONCRETES 28d		CEMENTS 28d							
	CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	87,095	238,448	0,776	0,919	33,722	0,850
	CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	91,838	247,348	0,776	0,862	36,356	0,839
	CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	145,293	266,824	0,767	0,701	52,741	0,810
	CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	160,842	267,158	0,780	0,519	54,328	0,802
	CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	71,600	244,555	0,778	0,850	32,418	0,828

34	#34_50_110_+15									
	50x magnification									
	110 threshold									
	+15									
	CONCRETES 28d		CEMENTS 28d							
	CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	124,350	235,921	0,754	0,812	271,497	0,862
	CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	658,771	201,899	0,748	0,816	204,066	0,854
	CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	906,116	259,627	0,754	0,712	122,911	0,801
	CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	477,367	257,344	0,766	0,218	96,952	0,803
	CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	2808,987	242,511	0,736	45,784	141,998	0,842

25	#25_50_80_+20									
	50x magnification									
	80 threshold									
	+20									
	CONCRETES 28d		CEMENTS 28d							
	CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	90,667	258,326	0,779	0,920	35,198	0,856
	CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	95,283	247,742	0,777	0,922	36,748	0,846
	CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	162,538	268,891	0,769	0,727	53,118	0,811
	CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	172,976	274,132	0,781	0,599	54,382	0,802
	CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	74,500	244,555	0,778	0,899	34,767	0,828

35	#35_50_110_+20									
	50x magnification									
	110 threshold									
	+20									
	CONCRETES 28d		CEMENTS 28d							
	CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	141,294	242,680	0,762	0,862	286,461	0,866
	CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	780,036	227,704	0,748	0,822	239,237	0,861
	CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	1055,023	260,195	0,763	0,759	138,628	0,804
	CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	497,220	258,069	0,771	0,236	98,788	0,804
	CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	2908,000	249,891	0,751	52,626	155,821	0,849

26	#26_50_80_+25									
	50x magnification									
	80 threshold									
	+25									
	CONCRETES 28d		CEMENTS 28d							
	CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	101,582	274,977	0,780	0,929	40,033	0,858
	CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	96,358	250,187	0,785	0,925	38,603	0,848
	CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	165,630	268,984	0,773	0,734	53,763	0,813
	CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	183,794	278,065	0,787	0,603	59,710	0,803
	CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	83,289	261,141	0,780	0,914	36,590	0,839

36	#36_50_110_+25									
	50x magnification									
	110 threshold									
	+25									
	CONCRETES 28d		CEMENTS 28d							
	CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	152,294	265,258	0,775	0,891	327,521	0,874
	CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	975,846	246,342	0,748	0,875	244,263	0,867
	CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	1242,595	261,532	0,764	0,771	144,094	0,809
	CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	566,121	265,286	0,775	0,355	110,613	0,805
	CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	3753,846	250,649	0,764	56,783	197,889	0,851

27

#27_50_80_+30									
50x magnification									
80 threshold									
+30									
CONCRETES 28d		CEMENTS 28d		area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity
CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	103,301	278,257	0,785	0,931	41,912	0,865
CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	114,517	265,231	0,792	0,946	41,715	0,855
CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	169,905	271,889	0,780	0,752	54,543	0,816
CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	187,628	286,241	0,790	0,658	60,392	0,803
CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	87,667	269,031	0,791	0,925	37,283	0,847

37

#37_50_110_+30									
50x magnification									
110 threshold									
+30									
CONCRETES 28d		CEMENTS 28d		area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity
CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	204,667	267,130	0,785	0,924	368,992	0,895
CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	1034,682	258,084	0,757	0,916	282,178	0,879
CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	1249,437	264,566	0,772	0,816	146,613	0,820
CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	655,574	268,494	0,775	0,432	116,703	0,809
CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	4899,935	250,649	0,767	60,558	216,154	0,853

28

#28_50_80_+40									
50x magnification									
80 threshold									
+40									
CONCRETES 28d		CEMENTS 28d		area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity
CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	108,375	286,595	0,790	0,958	41,939	0,868
CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	122,491	283,075	0,797	0,947	43,977	0,860
CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	171,095	273,008	0,783	0,770	54,628	0,817
CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	207,770	287,490	0,799	0,674	60,510	0,807
CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	92,088	276,088	0,803	0,933	37,283	0,848

38

#38_50_110_+40									
50x magnification									
110 threshold									
+40									
CONCRETES 28d		CEMENTS 28d		area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity
CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	234,273	275,566	0,787	0,957	418,844	0,903
CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	1187,500	259,727	0,774	0,946	293,634	0,881
CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	1256,624	283,136	0,775	0,855	166,993	0,823
CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	768,921	272,922	0,779	0,552	119,426	0,813
CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	6306,514	253,316	0,767	64,315	222,730	0,861

29

#29_50_80_+50									
50x magnification									
80 threshold									
+50									
CONCRETES 28d		CEMENTS 28d		area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity
CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	133,750	296,988	0,809	0,962	42,380	0,880
CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	127,000	296,018	0,809	0,961	44,828	0,860
CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	177,972	276,160	0,785	0,772	56,342	0,817
CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	222,582	290,757	0,800	0,740	63,383	0,810
CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	92,088	280,962	0,810	0,943	40,129	0,850

39

#39_50_110_+50									
50x magnification									
110 threshold									
+50									
CONCRETES 28d		CEMENTS 28d		area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity
CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	305,556	275,703	0,807	0,976	457,425	0,913
CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	1236,263	269,452	0,780	0,977	314,516	0,886
CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	1427,141	286,325	0,782	0,892	173,219	0,831
CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	779,813	281,850	0,785	0,697	124,208	0,813
CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	11083,200	263,805	0,776	67,913	301,408	0,864

30

#30_50_80_+60									
50x magnification									
80 threshold									
+60									
CONCRETES 28d		CEMENTS 28d		area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity
CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	168,900	349,305	0,826	0,967	50,336	0,884
CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	140,600	298,741	0,833	0,976	50,522	0,863
CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	202,754	310,912	0,801	0,826	64,009	0,819
CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	249,407	293,608	0,804	0,772	67,460	0,815
CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	107,057	360,276	0,887	0,986	44,807	0,852

40

#40_50_110_+60									
50x magnification									
110 threshold									
+60									
CONCRETES 28d		CEMENTS 28d		area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity
CEM I 42.5	41,8	CEM I 42.5	54,6	396,333	291,695	0,818	0,986	917,653	0,915
CEM II 42.5	40,6	CEM II 42.5	53,5	1352,167	276,225	0,827	0,981	347,701	0,886
CEM II 32.5	34,1	CEM II 32.5	42,9	1865,782	287,289	0,792	0,938	209,291	0,832
CEM IV 32.5	32,9	CEM IV 32.5	42,1	824,348	283,194	0,789	0,877	131,019	0,816
CEM I 52.5	62,4	CEM I 52.5	60,2	11687,435	280,214	0,795	70,019	359,602	0,890

Σύνολο απόπειρων στατιστικής συσχέτισης: 240 (για κάθε/μεμονωμένη στιγμή)

μονομερείς correlation				
	25x - 80	25x - 110	50x - 80	50x - 110
area	1	1	1	1
centroid	1	1	1	1
eccentricity	1	1	1	1
euler number	1	1	1	1
perimeter	1	1	1	1
solidity	1	1	1	1
TOTAL:	24			

διμερείς συνδυασμοί						
	area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity
area		1	2	3	4	5
centroid	1		6	7	8	9
eccentricity	2	6		10	11	12
euler number	3	7	10		13	14
perimeter	4	8	11	13		15
solidity	5	9	12	14	15	
και επειδή έχουμε 2 μεγεθύνσεις (25x, 50x) και δύο thresholds (80, 110) έχουμε	TOTAL: 2 x 2 x 15 = 60					

τριμερείς συνδυασμοί							Part Total:
	area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity	
area		X	X				10
area		X		X			
area		X			X		
area		X				X	
area			X	X			
area			X		X		
area				X	X		
area					X	X	
area					X	X	
centroid			X	X			6
centroid			X		X		
centroid			X			X	
centroid				X	X		
centroid				X		X	
centroid					X	X	
eccentricity				X	X		3
eccentricity				X		X	
eccentricity					X	X	
euler number					X	X	1
και επειδή έχουμε 2 μεγεθύνσεις (25x, 50x) και δύο thresholds (80, 110) έχουμε	Μερικό Σύνολο: 10+6+3+1 = 20						
	TOTAL: 2 x 2 x 20 = 80						

τετραμερείς συνδυασμοί							Part Total:
	area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity	
area		X	X	X			10
area		X	X		X		
area		X	X			X	
area		X		X	X		
area		X		X		X	
area		X			X	X	
area			X	X	X		
area			X	X		X	
area			X		X	X	
area				X	X	X	
centroid			X	X	X		3
centroid			X	X		X	
centroid				X	X	X	
eccentricity				X	X	X	1
και επειδή έχουμε 2 μεγεθύνσεις (25x, 50x) και δύο thresholds (80, 110) έχουμε	Μερικό Σύνολο: 10+3+1 = 14						
	TOTAL: 2 x 2 x 14 = 56						

πενταμερείς συνδυασμοί							Part Total:
	area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity	
area		X	X	X	X		3
area		X	X	X		X	
area			X	X	X	X	
centroid			X	X	X	X	1
και επειδή έχουμε 2 μεγεθύνσεις (25x, 50x) και δύο thresholds (80, 110) έχουμε	Μερικό Σύνολο: 3+1 = 4						
	TOTAL: 2 x 2 x 4 = 16						

εξαμερείς συνδυασμοί							Total:
	area	centroid	eccentricity	euler number	perimeter	solidity	
και επειδή έχουμε 2 μεγεθύνσεις (25x, 50x) και δύο thresholds (80, 110) έχουμε	area	X	X	X	X	X	1
	TOTAL: 2 x 2 x 1 = 4						

QUICK VIEW RESULTS για t0				
#	Correlation attempts	Parameter	R2	t Stat
1	"1-22" / 50x / 110 / t0	euler number	0,9996458	35,57122837
2	"1-21" / 50x / 110 / t0	eccentricity	0,996387667	11,05729957
3	"1-17" / 50x / 80 / t0	perimeter	0,99184639	7,283764516
4	"1-24" / 50x / 110 / t0	solidity	0,986058524	-5,495237286
5	"1-14" / 50x / 80 / t0	centroid	0,985247996	5,331845798
6	"1-19" / 50x / 110 / t0	area	0,980759754	4,618483881
7	"1-23" / 50x / 110 / t0	perimeter	0,95593899	-2,861424331
8	"1-18" / 50x / 80 / t0	solidity	0,952447891	-2,727600131
9	"1-15" / 50x / 80 / t0	eccentricity	0,912415563	1,767806594
10	"1-13" / 50x / 80 / t0	area	0,897120308	1,537263502
11	"1-5" / 25x / 80 / t0	perimeter	0,884507383	1,373563669
12	"1-16" / 50x / 80 / t0	euler number	0,874178863	-1,252047947
13	"1-8" / 25x / 110 / t0	centroid	0,865584386	-1,157372759
14	"1-2" / 25x / 80 / t0	centroid	0,824227631	-0,744158439
15	"1-4" / 25x / 80 / t0	euler number	0,808417342	-0,585681397
16	"1-3" / 25x / 80 / t0	eccentricity	0,801061263	-0,506345418
17	"1-1" / 25x / 80 / t0	area	0,796378477	0,452210625
18	"1-6" / 25x / 80 / t0	solidity	0,787669063	-0,337742875
19	"1-7" / 25x / 110 / t0	area	0,784793722	0,292958102
20	"1-10" / 25x / 110 / t0	euler number	0,780869686	-0,220165692
21	"1-9" / 25x / 110 / t0	eccentricity	0,779497358	0,189007898
22	"1-11" / 25x / 110 / t0	perimeter	0,778424488	0,160832203
23	"1-20" / 50x / 110 / t0	centroid	0,776569658	-0,095126511
24	"1-12" / 25x / 110 / t0	solidity	0,77556943	0,009759787

αναλυτικά:

correlation attempt #"1-1" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	0,892400402
R Square	0,796378477
Adjusted R Square	0,592756954
Standard Error	7,569159359
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	2	448,1476532	224,0738266	3,911072199	0,203622
Residual	2	114,5843468	57,2921734		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-35,31688509	33,7893682	-1,045207027	0,405638822	-180,701	110,0670323	-180,7008024	110,0670323
Cements strengths (28d)	1,503658305	0,6202429	2,424305551	0,136226577	-1,16503	4,17234811	-1,165031501	4,17234811
Area	0,00719361	0,015907653	0,452210625	0,695430607	-0,06125	0,075638716	-0,061251496	0,075638716

correlation attempt #"1-2" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	0,907869831
R Square	0,824227631
Adjusted R Square	0,648455261
Standard Error	7,032522198
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	2	463,8192631	231,9096315	4,689176312	0,175772
Residual	2	98,91273694	49,45636847		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	155,6945583	243,6639221	0,638972553	0,588255146	-892,707	1204,095798	-892,7066812	1204,095798
Cements strengths (28d)	1,695748429	0,667670101	2,539799861	0,126312443	-1,177	4,56850101	-1,177004152	4,56850101
Centroid	-0,726517512	0,976294124	-0,744158439	0,534334172	-4,92717	3,474137066	-4,927172089	3,474137066

correlation attempt #"1-3" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,895020259
R Square	0,801061263
Adjusted R Square	0,602122527
Standard Error	7,481617243
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	2	450,7828069	225,3914034	4,02667312	0,198939
Residual	2	111,9491931	55,97459657		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	290,7874369	623,8014054	0,466153866	0,686947542	-2393,21	2974,788257	-2393,213383	2974,788257
Cements strengths (28d)	1,882788538	1,197227409	1,572623984	0,256436011	-3,26847	7,034042319	-3,268465242	7,034042319
Eccentricity	-450,189216	889,0950723	-0,506345418	0,662914387	-4275,66	3375,278124	-4275,656556	3375,278124

correlation attempt #"1-4" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,899120316
R Square	0,808417342
Adjusted R Square	0,616834684
Standard Error	7,341991979
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	2	454,9223076	227,4611538	4,219679115	0,191583
Residual	2	107,8096924	53,90484622		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-35,29381053	29,79075991	-1,184723405	0,357830531	-163,473	92,88548392	-163,473105	92,88548392
Cements strengths (28d)	1,63501392	0,703604522	2,323768351	0,145759955	-1,39235	4,662379838	-1,392351998	4,662379838
Euler number	-12,67489135	21,64127358	-0,585681397	0,617375142	-105,79	80,43999351	-105,7897762	80,43999351

correlation attempt #"1-5" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,940482527
R Square	0,884507383
Adjusted R Square	0,769014765
Standard Error	5,700499606
Observations	5

<i>ANOVA</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	2	497,7406085	248,8703042	7,658562109	0,115493
Residual	2	64,99139152	32,49569576		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-63,7661683	33,85440791	-1,883541088	0,200317566	-209,43	81,89759232	-209,4299289	81,89759232
Cements strengths (28d)	1,830171491	0,515300086	3,55166153	0,070942555	-0,38699	4,047328811	-0,38698583	4,047328811
Perimeter	0,304963611	0,222023644	1,373563669	0,30327794	-0,65033	1,260254248	-0,650327026	1,260254248

correlation attempt #"1-6" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,887507219
R Square	0,787669063
Adjusted R Square	0,575338126
Standard Error	7,729340621
Observations	5

<i>ANOVA</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	2	443,2465871	221,6232936	3,709629289	0,212331
Residual	2	119,4854129	59,74270643		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	33,75993021	175,2868696	0,192598169	0,865058164	-720,439	787,9584581	-720,4385977	787,9584581
Cements strengths (28d)	1,270367596	0,517942228	2,452720649	0,133689445	-0,95816	3,498893136	-0,958157943	3,498893136
Solidity	-69,88848358	206,928077	-0,337742875	0,767712153	-960,228	820,4511718	-960,228139	820,4511718

correlation attempt #"1-7" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,88588584
R Square	0,784793722
Adjusted R Square	0,569587443
Standard Error	7,781499194
Observations	5

<i>ANOVA</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	2	441,6285406	220,8142703	3,646704584	0,215206

Residual	2	121,1034594	60,55172971
Total	4	562,732	

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-23,00342769	26,02796354	-0,883796677	0,470038489	-134,993	88,98586067	-134,9927161	88,98586067
Cements strengths (28d)	1,204318018	0,646164899	1,863793623	0,203370714	-1,57591	3,984541185	-1,575905148	3,984541185
Area	0,174784414	0,59661915	0,292958102	0,797153912	-2,39226	2,74182943	-2,392260603	2,74182943

correlation attempt # "1-8" / 25x / 110 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & centroid

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,930367877
R Square	0,865584386
Adjusted R Square	0,731168771
Standard Error	6,149795422
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	2	487,0920325	243,5460163	6,439611872	0,134416
Residual	2	75,63996747	37,81998373		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-19,42423365	20,50929425	-0,947094201	0,443558039	-107,669	68,82013725	-107,6686045	68,82013725
Cements strengths (28d)	1,601017282	0,456915711	3,50396636	0,072680097	-0,36493	3,566966915	-0,364932351	3,566966915
Centroid	-0,08297727	0,071694507	-1,157372759	0,366667505	-0,39145	0,225499298	-0,391453838	0,225499298

correlation attempt # "1-9" / 25x / 110 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & eccentricity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,882891476
R Square	0,779497358
Adjusted R Square	0,558994716
Standard Error	7,876671019
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	2	438,6481073	219,3240537	3,535093055	0,220503
Residual	2	124,0838927	62,04194634		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-51,73652619	144,6262447	-0,357725711	0,754773364	-674,013	570,5399802	-674,0130325	570,5399802
Cements strengths (28d)	1,308619782	0,508779701	2,572075456	0,123722535	-0,88048	3,497722153	-0,880482588	3,497722153
Eccentricity	37,26379677	197,1547069	0,189007898	0,867529094	-811,024	885,5520344	-811,0244408	885,5520344

correlation attempt # "1-10" / 25x / 110 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,883668312
R Square	0,780869686
Adjusted R Square	0,561739372
Standard Error	7,852122003
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	2	439,4203601	219,71018	3,563494577	0,21913
Residual	2	123,3116399	61,65581996		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-17,79687734	40,87979262	-0,435346566	0,705788254	-193,688	158,094674	-193,6884286	158,094674
Cements strengths (28d)	1,413326853	0,636125536	2,221773491	0,156400036	-1,3237	4,150354126	-1,323700421	4,150354126
Euler number	-12,63302464	57,379624	-0,220165692	0,846172306	-259,518	234,2515712	-259,5176205	234,2515712

correlation attempt #"1-11" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,882283678
R Square	0,778424488
Adjusted R Square	0,556848976
Standard Error	7,895809996
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	2	438,044369	219,0221845	3,513134107	0,221576
Residual	2	124,687631	62,34381549		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-25,4194415	25,89867789	-0,98149572	0,429838197	-136,852	86,01357562	-136,8524586	86,01357562
Cements strengths (28d)	1,266666104	0,623629946	2,031118152	0,179333872	-1,4166	3,949929195	-1,416596986	3,949929195
Perimeter	0,212153843	1,319100526	0,160832203	0,887002836	-5,46348	5,887785321	-5,463477635	5,887785321

correlation attempt #"1-12" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,880664198
R Square	0,77556943
Adjusted R Square	0,551138861
Standard Error	7,946516951
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	2	436,4377367	218,2188683	3,455720991	0,224431
Residual	2	126,2942633	63,14713165		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-25,49511501	72,68774923	-0,350748445	0,75927663	-338,245	287,2550276	-338,2452577	287,2550276

Cements strengths (28d)	1,321758092	0,688493711	1,919782377	0,194871482	-1,64059	4,284107435	-1,640591251	4,284107435
Solidity	1,087281501	111,404219	0,009759787	0,993098952	-478,246	480,4209485	-478,2463855	480,4209485

correlation attempt #"1-13" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,947164351
R Square	0,897120308
Adjusted R Square	0,794240617
Standard Error	5,380227437
Observations	5

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	2	504,8383054	252,4191527	8,720091355	0,10288
Residual	2	57,89369456	28,94684728		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-147,9931946	82,0000345	-1,804794297	0,212868931	-500,811	204,8244777	-500,8108668	204,8244777
Cements strengths (28d)	3,055898311	1,175804847	2,598984277	0,121619795	-2,00318	8,114978246	-2,003181625	8,114978246
Area	0,442568726	0,287893862	1,537263502	0,264052563	-0,79614	1,681276036	-0,796138584	1,681276036

correlation attempt #"1-14" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,992596593
R Square	0,985247996
Adjusted R Square	0,970495993
Standard Error	2,037329687
Observations	5

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	2	554,4305755	277,2152877	66,78740197	0,014752
Residual	2	8,301424508	4,150712254		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-170,0000132	28,01885963	-6,067342334	0,02610555	-290,555	-49,4445903	-290,555436	-49,4445903
Cements strengths (28d)	2,193324965	0,207777548	10,55612112	0,008855085	1,29933	3,0873196	1,29933033	3,0873196
Centroid	0,42846035	0,080358729	5,331845798	0,033422368	0,082705	0,774216053	0,082704647	0,774216053

correlation attempt #"1-15" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,955204461
R Square	0,912415563
Adjusted R Square	0,824831125

Standard Error 4,964200119
 Observations 5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	2	513,4454344	256,7227172	10,4175535	0,087584
Residual	2	49,28656564	24,64328282		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-609,6259001	331,1945546	-1,840688174	0,207022125	-2034,64	815,3892545	-2034,641055	815,3892545
Cements strengths (28d)	1,594694957	0,34982341	4,558571296	0,044905296	0,089526	3,099863609	0,089526306	3,099863609
Eccentricity	752,8689404	425,8774365	1,767806594	0,219124357	-1079,53	2585,271655	-1079,533774	2585,271655

correlation attempt #"1-16" / 50x / 80 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,934975327
R Square	0,874178863
Adjusted R Square	0,748357725
Standard Error	5,949940347
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	2	491,9284197	245,9642099	6,94779018	0,125821
Residual	2	70,80358028	35,40179014		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-56,20280435	31,63996748	-1,776323076	0,217662786	-192,339	79,93298809	-192,3385968	79,93298809
Cements strengths (28d)	2,360889061	0,908546316	2,598534624	0,121654519	-1,54827	6,27004835	-1,548270227	6,27004835
Euler number	-34,12433338	27,25481358	-1,252047947	0,337125339	-151,392	83,14366468	-151,3923314	83,14366468

correlation attempt #"1-17" / 50x / 80 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,995914851
R Square	0,99184639
Adjusted R Square	0,98369278
Standard Error	1,514644699
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	2	558,1437029	279,0718514	121,6450651	0,008154
Residual	2	4,588297128	2,294148564		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-370,8315268	47,7568055	-7,764998577	0,016183554	-576,312	-165,350577	-576,3124763	-165,350577
Cements strengths (28d)	5,694904558	0,607428734	9,375428326	0,011186202	3,08135	8,308459458	3,081349658	8,308459458
Perimeter	3,560488778	0,488825355	7,283764516	0,018332276	1,457243	5,663734528	1,457243028	5,663734528

correlation attempt #"1-18" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,975934368
R Square	0,952447891
Adjusted R Square	0,904895782
Standard Error	3,657806272
Observations	5

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	2	535,9729066	267,9864533	20,02956145	0,047552
Residual	2	26,75909345	13,37954672		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	207,1129206	85,86176844	2,412166956	0,137330843	-162,32	576,546293	-162,3204517	576,546293
Cements strengths (28d)	1,020772761	0,257835698	3,959004776	0,058279434	-0,0886	2,130150232	-0,08860471	2,130150232
Solidity	-274,2149337	100,5334069	-2,727600131	0,112232485	-706,775	158,3454037	-706,7752712	158,3454037

correlation attempt #"1-19" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,990333153
R Square	0,980759754
Adjusted R Square	0,961519507
Standard Error	2,326703928
Observations	5

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	2	551,9048977	275,9524488	50,97438635	0,01924
Residual	2	10,82710234	5,41355117		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-15,26229022	7,83438094	-1,948116939	0,19075072	-48,9709	18,44633032	-48,97091075	18,44633032
Cements strengths (28d)	1,023981626	0,161574761	6,337509765	0,024005018	0,328782	1,719181713	0,328781539	1,719181713
Area	0,008793241	0,001903924	4,618483881	0,043822761	0,000601	0,016985164	0,000601318	0,016985164

correlation attempt #"1-20" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,881231898
R Square	0,776569658
Adjusted R Square	0,553139316
Standard Error	7,928789416
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	2	437,0005968	218,5002984	3,475667857	0,22343
Residual	2	125,7314032	62,86570161		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-12,75514915	129,5391566	-0,098465587	0,930542468	-570,117	544,6068566	-570,1171549	544,6068566
Cements strengths (28d)	1,205190595	1,369343352	0,880123011	0,471625448	-4,68662	7,096999508	-4,686618318	7,096999508
Centroid	-0,028845716	0,303235297	-0,095126511	0,932887055	-1,33356	1,275870462	-1,333561893	1,275870462

correlation attempt #"1-21" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,998192199
R Square	0,996387667
Adjusted R Square	0,992775334
Standard Error	1,008160574
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	2	560,6992245	280,3496123	275,8293911	0,003612
Residual	2	2,032775486	1,016387743		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-175,0512608	13,97441656	-12,52655236	0,006312616	-235,178	-114,924199	-235,1783223	-114,924199
Cements strengths (28d)	1,906655223	0,082772732	23,03482304	0,001879337	1,550513	2,262797542	1,550512904	2,262797542
Eccentricity	169,7622139	15,3529542	11,05729957	0,008080035	103,7038	235,8206442	103,7037836	235,8206442

correlation attempt #"1-22" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,999822884
R Square	0,9996458
Adjusted R Square	0,999291599
Standard Error	0,315689641
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	2	562,5326801	281,2663401	2822,260518	0,000354
Residual	2	0,199319899	0,099659949		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	5,491622293	1,333264633	4,118928947	0,054195697	-0,24495	11,22819701	-0,244952422	11,22819701
Cements strengths (28d)	0,653498291	0,027558764	23,71290272	0,001773674	0,534922	0,772074082	0,5349225	0,772074082
Euler number	0,562408199	0,015810761	35,57122837	0,000789383	0,49438	0,630436414	0,494379984	0,630436414

correlation attempt #"1-23" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,977721325
R Square	0,95593899
Adjusted R Square	0,91187798
Standard Error	3,520975728
Observations	5

<i>ANOVA</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	2	537,9374599	268,9687299	21,69580305	0,044061
Residual	2	24,79454015	12,39727007		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-29,25960552	11,53775459	-2,535987856	0,126623328	-78,9026	20,38334576	-78,9025568	20,38334576
Cements strengths (28d)	1,7216323	0,26278411	6,551508381	0,022514121	0,590964	2,852301069	0,590963531	2,852301069
Perimeter	-0,109898453	0,038406905	-2,861424331	0,103514761	-0,27515	0,055353123	-0,275150029	0,055353123

correlation attempt #"1-24" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,993004796
R Square	0,986058524
Adjusted R Square	0,972117049
Standard Error	1,980569934
Observations	5

<i>ANOVA</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	2	554,8866855	277,4433427	70,72841804	0,013941
Residual	2	7,845314526	3,922657263		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	490,7393188	94,04164461	5,218319191	0,034816521	86,11078	895,3678577	86,11077992	895,3678577
Cements strengths (28d)	3,008811451	0,330986142	9,090445396	0,011885913	1,584693	4,432929878	1,584693023	4,432929878
Solidity	-739,6680228	134,6016531	-5,495237286	0,031556077	-1318,81	-160,523853	-1318,812193	-160,523853

"ΔΙΜΕΡΗ" (-permutations)

QUICK VIEW RESULTS via t0						
#	Correlation attempts	α parameter	β parameter	R2	t Stat α	t Stat β
1	"2-22" / 25x / 110 threshold - time t0	Centroid	Euler number	0,999999999	-17928,11893	14041,33349
2	"2-58" / 50x / 110 threshold - time t0	Euler number	Perimeter	0,999993386	267,8887468	23,99816714
3	"2-59" / 50x / 110 threshold - time t0	Euler number	Solidity	0,999998789	107,2741302	17,07025832
4	"2-44" / 50x / 80 threshold - time t0	Euler number	Solidity	0,999994323	-91,51757889	-148,8718417
5	"2-60" / 50x / 110 threshold - time t0	Perimeter	Solidity	0,999991923	41,53335094	-73,8509106
6	"2-34" / 50x / 80 threshold - time t0	Area	Perimeter	0,999917201	-9,872942539	35,23530337
7	"2-52" / 50x / 110 threshold - time t0	Centroid	Euler number	0,99989785	1,570810888	46,7575943
8	"2-55" / 50x / 110 threshold - time t0	Eccentricity	Euler number	0,999817793	0,971565834	4,338823111
9	"2-19" / 25x / 110 threshold - time t0	Area	Perimeter	0,999810985	34,22375557	-33,72785843
10	"2-48" / 50x / 110 threshold - time t0	Area	Euler number	0,999673361	0,290478204	7,609443987
11	"2-4" / 25x / 80 threshold - time t0	Area	Perimeter	0,999618822	-17,37783185	23,09092388
12	"2-51" / 50x / 110 threshold - time t0	Centroid	Eccentricity	0,999292375	-2,026047332	17,74110254
13	"2-47" / 50x / 110 threshold - time t0	Area	Eccentricity	0,999152774	1,806576305	4,659366335
14	"2-36" / 50x / 80 threshold - time t0	Centroid	Eccentricity	0,99881148	8,525962446	3,378177248
15	"2-57" / 50x / 110 threshold - time t0	Eccentricity	Solidity	0,998615582	3,011690354	-1,268573679
16	"2-42" / 50x / 80 threshold - time t0	Eccentricity	Solidity	0,998249521	5,115192461	-7,002467192
17	"2-56" / 50x / 110 threshold - time t0	Eccentricity	Perimeter	0,99812893	4,748532584	-0,964688649
18	"2-54" / 50x / 110 threshold - time t0	Centroid	Solidity	0,996335087	1,6745268	-7,743688089
19	"2-37" / 50x / 80 threshold - time t0	Centroid	Euler number	0,995834853	5,404451242	-1,594293872
20	"2-38" / 50x / 80 threshold - time t0	Centroid	Perimeter	0,995597952	0,923163683	1,533352087
21	"2-24" / 25x / 110 threshold - time t0	Centroid	Solidity	0,995270008	-6,815306523	5,236193763
22	"2-43" / 50x / 80 threshold - time t0	Euler number	Perimeter	0,994498715	-0,694354452	4,676668159
23	"2-41" / 50x / 80 threshold - time t0	Eccentricity	Perimeter	0,993061309	0,418441602	3,409195926
24	"2-50" / 50x / 110 threshold - time t0	Area	Solidity	0,992480925	0,924201112	-1,248542402
25	"2-45" / 50x / 80 threshold - time t0	Perimeter	Solidity	0,991894187	2,205996508	0,076789236
26	"2-39" / 50x / 80 threshold - time t0	Centroid	Solidity	0,9877311	1,695825743	0,449877839
27	"2-49" / 50x / 110 threshold - time t0	Area	Perimeter	0,987227713	1,565163028	-0,711621896
28	"2-31" / 50x / 80 threshold - time t0	Area	Centroid	0,987205915	0,391194445	2,65352439
29	"2-53" / 50x / 110 threshold - time t0	Centroid	Perimeter	0,986213809	1,481899115	-3,899592583
30	"2-46" / 50x / 110 threshold - time t0	Area	Centroid	0,983310749	3,519613484	0,390963644
31	"2-15" / 25x / 80 threshold - time t0	Perimeter	Solidity	0,972516429	2,593403274	-1,789480949
32	"2-8" / 25x / 80 threshold - time t0	Centroid	Perimeter	0,964883152	1,512881149	2,001338878
33	"2-33" / 50x / 80 threshold - time t0	Area	Euler number	0,956083147	1,365644644	-1,158706884
34	"2-35" / 50x / 80 threshold - time t0	Area	Solidity	0,952576844	0,052145993	-1,081386995
35	"2-32" / 50x / 80 threshold - time t0	Area	Eccentricity	0,951912781	0,906292575	1,067445267
36	"2-10" / 25x / 80 threshold - time t0	Eccentricity	Euler number	0,942795754	-1,532676919	-1,574068537
37	"2-40" / 50x / 80 threshold - time t0	Eccentricity	Euler number	0,939074962	1,032075319	0,661496082
38	"2-17" / 25x / 110 threshold - time t0	Area	Eccentricity	0,923927132	1,377886578	-1,352386476
39	"2-29" / 25x / 110 threshold - time t0	Euler number	Solidity	0,919926239	-1,342683096	1,317803374
40	"2-12" / 25x / 80 threshold - time t0	Eccentricity	Solidity	0,914218768	-1,214603224	-1,148538458
41	"2-1" / 25x / 80 threshold - time t0	area	centroid	0,912272229	-1,001804115	-1,149374253
42	"2-9" / 25x / 80 threshold - time t0	Centroid	Solidity	0,906563212	-1,128031667	-0,938717314
43	"2-5" / 25x / 80 threshold - time t0	Area	Solidity	0,904123416	1,102101487	-1,060088601
44	"2-13" / 25x / 80 threshold - time t0	Euler number	Perimeter	0,902447908	-0,428843951	0,981784641
45	"2-16" / 25x / 110 threshold - time t0	Area	Centroid	0,89915702	0,576992108	-1,064928622
46	"2-21" / 25x / 110 threshold - time t0	Centroid	Eccentricity	0,897880082	-1,076685678	0,562363466
47	"2-23" / 25x / 110 threshold - time t0	Centroid	Perimeter	0,892011333	-1,025592715	0,494691453
48	"2-11" / 25x / 80 threshold - time t0	Eccentricity	Perimeter	0,888735804	0,194944684	0,887685307
49	"2-7" / 25x / 80 threshold - time t0	Centroid	Euler number	0,843994655	-0,477547782	-0,355959761
50	"2-3" / 25x / 80 threshold - time t0	Area	Euler number	0,830185545	0,358033746	-0,446186498
51	"2-6" / 25x / 80 threshold - time t0	Centroid	Eccentricity	0,827323536	-0,389986501	-0,133898968
52	"2-26" / 25x / 110 threshold - time t0	Eccentricity	Perimeter	0,808511017	0,396382203	-0,389250657
53	"2-14" / 25x / 80 threshold - time t0	Euler number	Solidity	0,808436828	-0,329259918	0,010085626
54	"2-2" / 25x / 80 threshold - time t0	Area	Eccentricity	0,804466785	0,131971921	-0,203384831
55	"2-18" / 25x / 110 threshold - time t0	Area	Euler number	0,80293956	0,334657224	-0,303451156
56	"2-25" / 25x / 110 threshold - time t0	Eccentricity	Euler number	0,795400719	0,266499379	-0,27879977
57	"2-28" / 25x / 110 threshold - time t0	Euler number	Perimeter	0,791618961	-0,25163261	0,227122671
58	"2-20" / 25x / 110 threshold - time t0	Area	Solidity	0,789700196	0,259216957	-0,152744408
59	"2-27" / 25x / 110 threshold - time t0	Eccentricity	Solidity	0,782050881	0,1244816	-0,10824114
60	"2-30" / 25x / 110 threshold - time t0	Perimeter	Solidity	0,779890756	0,140116532	-0,08161831

αναλυτικά:

correlation attempt # "2-1" / 25x / 80 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & area & centroid

SUMMARY OUTPUT
Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,955129431
R Square	0,912272229
Adjusted R Square	0,649088916
Standard Error	7,026181323
Observations	5

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	3	513,364776	171,121592	3,466299666	0,371530313
Residual	1	49,36722398	49,36722398		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	1245,994921	1115,231926	1,11725184	0,464780443	-12924,37026	15416,36011	-12924,37026	15416,36011
Cements strengths (28d)	2,19602242	0,833278646	2,635399851	0,230880028	-8,391786663	12,7838315	-8,391786663	12,7838315
Area	-0,062636171	0,062523371	-1,001804115	0,49942625	-0,857070929	0,731798587	-0,857070929	0,731798587
Centroid	-4,746953297	4,130032742	-1,149374253	0,455828098	-57,22399488	47,73008828	-57,22399488	47,73008828

correlation attempt #"2-2" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & eccentricity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,896920724
R Square	0,804466785
Adjusted R Square	0,217867139
Standard Error	10,48965191
Observations	5

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	3	452,6992027	150,8997342	1,371406871	0,544087752
Residual	1	110,0327973	110,0327973		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	195,3244332	1134,980746	0,172094931	0,891503733	-14225,9733	14616,62217	-14225,9733	14616,62217
Cements strengths (28d)	1,814968784	1,755483352	1,033885501	0,489394593	-20,49056209	24,12049966	-20,49056209	24,12049966
Area	0,003691629	0,027972838	0,131971921	0,916466788	-0,351736978	0,359120236	-0,351736978	0,359120236
Eccentricity	-321,6987333	1581,724315	-0,203384831	0,872263467	-20419,41172	19776,01425	-20419,41172	19776,01425

correlation attempt #"2-3" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,911145183
R Square	0,830185545
Adjusted R Square	0,32074218
Standard Error	9,775480957
Observations	5

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	3	467,1719721	155,7239907	1,629593398	0,509430442
Residual	1	95,56002795	95,56002795		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-46,16825618	49,95798415	-0,924141696	0,525085418	-680,944631	588,6081186	-680,944631	588,6081186
Cements strengths (28d)	1,820837622	1,070976891	1,700165184	0,338479023	-11,78721402	15,42888926	-11,78721402	15,42888926

Area	0,007356807	0,020547804	0,358033746	0,78112132	-0,253727793	0,268441407	-0,253727793	0,268441407
Euler number	-12,85855845	28,81879775	-0,446186498	0,732824628	-379,0361029	353,318986	-379,0361029	353,318986

correlation attempt #"2-4" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,999809393
R Square	0,999618822
Adjusted R Square	0,99847529
Standard Error	0,463142311
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	562,5174992	187,5058331	874,1498061	0,024856855
Residual	1	0,2145008	0,2145008		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-88,83728295	3,105934804	-28,60243004	0,022248479	-128,3019265	-49,37263943	-128,3019265	-49,3726394
Cements strengths (28d)	1,934882313	0,042297416	45,7446933	0,013914584	1,397442688	2,472321938	1,397442688	2,472321938
Area	-0,037956599	0,002184196	-17,37783185	0,03659366	-0,065709446	-0,010203751	-0,065709446	-0,01020375
Perimeter	0,934675493	0,040478047	23,09092388	0,027552913	0,420353145	1,44899784	0,420353145	1,44899784

correlation attempt #"2-5" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,950854046
R Square	0,904123416
Adjusted R Square	0,616493665
Standard Error	7,345258453
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	508,7791783	169,5930594	3,143358474	0,387851512
Residual	1	53,95282174	53,95282174		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	201,0376048	225,3555664	0,892090699	0,536268271	-2662,37636	3064,45157	-2662,37636	3064,45157
Cements strengths (28d)	1,706569041	0,631597905	2,701986545	0,225660176	-6,318643253	9,731781336	-6,318643253	9,731781336
Area	0,025623815	0,023249959	1,102101487	0,469102927	-0,269794929	0,321042559	-0,269794929	0,321042559
Solidity	-313,966189	296,1697624	-1,060088601	0,481436357	-4077,159827	3449,227449	-4077,159827	3449,227449

correlation attempt #"2-6" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & eccentricity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,909573271
R Square	0,827323536
Adjusted R Square	0,309294142
Standard Error	9,85751349

Observations	5							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	3	465,5614278	155,1871426	1,597059059	0,513438729			
Residual	1	97,17057221	97,17057221					
Total	4	562,732						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	256,4842447	826,5919597	0,310291241	0,808459347	-10246,36243	10759,33092	-10246,36243	10759,33092
Cements strengths (28d)	1,865873142	1,578020583	1,182413691	0,446912513	-18,18477947	21,91652575	-18,18477947	21,91652575
Centroid	-0,618909628	1,587002693	-0,389986501	0,76327653	-20,78369076	19,5458715	-20,78369076	19,5458715
Eccentricity	-181,9022395	1358,503673	-0,133898968	0,915261296	-17443,32805	17079,52357	-17443,32805	17079,52357

correlation attempt #"2-7" / 25x / 80 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & centroid & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0,918691817							
R Square	0,843994655							
Adjusted R Square	0,375978619							
Standard Error	9,369589103							
Observations	5							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	3	474,9428	158,3142667	1,803345591	0,489497694			
Residual	1	87,78919995	87,78919995					
Total	4	562,732						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	124,3199909	336,3915312	0,369569324	0,774635932	-4149,939676	4398,579658	-4149,939676	4398,579658
Cements strengths (28d)	1,8926786	1,047556303	1,806755966	0,321817454	-11,41778625	15,20314345	-11,41778625	15,20314345
Centroid	-0,63356009	1,326694653	-0,477547782	0,716369948	-17,49081398	16,2236938	-17,49081398	16,2236938
Euler number	-10,02700499	28,16892833	-0,355959761	0,782292408	-367,9471755	347,8931656	-367,9471755	347,8931656

correlation attempt #"2-8" / 25x / 80 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & centroid & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0,98228466							
R Square	0,964883152							
Adjusted R Square	0,85953261							
Standard Error	4,445376682							
Observations	5							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	3	542,9706262	180,9902087	9,158786738	0,237194672			
Residual	1	19,76137385	19,76137385					
Total	4	562,732						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-878,7170575	539,321313	-1,629301561	0,350443716	-7731,44408	5974,009965	-7731,44408	5974,009965
Cements strengths (28d)	1,628468403	0,42338237	3,846330221	0,161928626	-3,751114666	7,008051472	-3,751114666	7,008051472
Centroid	2,88607067	1,907665167	1,512881149	0,37182581	-21,35311351	27,12525485	-21,35311351	27,12525485
Perimeter	1,071123441	0,535203435	2,001338878	0,294996855	-5,729280974	7,871527857	-5,729280974	7,871527857

correlation attempt #"2-9" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,952136131
R Square	0,906563212
Adjusted R Square	0,626252848
Standard Error	7,251197868
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	510,1521295	170,0507098	3,234140901	0,38304783
Residual	1	52,57987052	52,57987052		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	504,4826419	448,5279536	1,124751842	0,46266462	-5194,605366	6203,57065	-5194,605366	6203,57065
Cements strengths (28d)	1,851432323	0,708126375	2,614550719	0,232562194	-7,146166375	10,84903102	-7,146166375	10,84903102
Centroid	-1,381942101	1,225091584	-1,128031667	0,461744292	-16,94820658	14,18432238	-16,94820658	14,18432238
Solidity	-221,7740851	236,252258	-0,938717314	0,520116797	-3223,643644	2780,095474	-3223,643644	2780,095474

correlation attempt #"2-10" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,970976701
R Square	0,942795754
Adjusted R Square	0,771183014
Standard Error	5,673681347
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	530,54134	176,8471133	5,493739898	0,301597114
Residual	1	32,19066003	32,19066003		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	902,168952	612,0836935	1,473930708	0,379502691	-6875,091774	8679,429678	-6875,091774	8679,429678
Cements strengths (28d)	3,856882635	1,548278773	2,491077641	0,24302377	-15,81586445	23,52962972	-15,81586445	23,52962972
Eccentricity	-1363,125157	889,3754057	-1,532676919	0,368028538	-12663,71115	9937,460835	-12663,71115	9937,460835
Euler number	-34,72361612	22,05978666	-1,574068537	0,36030718	-315,0197818	245,5725496	-315,0197818	245,5725496

correlation attempt #"2-11" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,942727852
R Square	0,888735804
Adjusted R Square	0,554943215
Standard Error	7,912769659
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	500,1200763	166,7066921	2,662539055	0,416692732
Residual	1	62,61192367	62,61192367		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-236,6016356	887,831761	-0,266493773	0,834198129	-11517,57376	11044,37049	-11517,57376	11044,37049
Cements strengths (28d)	1,618369551	1,300786784	1,244146674	0,431011769	-14,90969364	18,14643274	-14,90969364	18,14643274
Eccentricity	237,5132412	1218,362238	0,194944684	0,877431603	-15243,24679	15718,27328	-15243,24679	15718,27328
Perimeter	0,354461483	0,399309846	0,887685307	0,537833403	-4,719251168	5,428174134	-4,719251168	5,428174134

correlation attempt #"2-12" / 25x / 80 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & eccentricity & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,95614788
R Square	0,914218768
Adjusted R Square	0,656875072
Standard Error	6,947794195
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	514,4601558	171,4867186	3,552520554	0,367509645
Residual	1	48,27184418	48,27184418		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	1278,858408	1037,145494	1,233055936	0,433797978	-11899,32458	14457,0414	-11899,32458	14457,0414
Cements strengths (28d)	2,905374577	1,424361974	2,039772635	0,29018263	-15,19286028	21,00360943	-15,19286028	21,00360943
Eccentricity	-1482,012716	1220,162014	-1,214603224	0,438501213	-16985,64108	14021,61565	-16985,64108	14021,61565
Solidity	-315,7092456	274,8791244	-1,148538458	0,456057434	-3808,379678	3176,961187	-3808,379678	3176,961187

correlation attempt #"2-13" / 25x / 80 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & euler number & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,949972583
R Square	0,902447908
Adjusted R Square	0,609791633
Standard Error	7,409162141
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	507,8363164	169,2787721	3,083644486	0,391111365
Residual	1	54,89568363	54,89568363		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-69,22072224	45,80333086	-1,511259573	0,372139936	-651,2072217	512,7657773	-651,2072217	512,7657773
Cements strengths (28d)	2,030232608	0,816214847	2,48737525	0,243351304	-8,340760343	12,40122556	-8,340760343	12,40122556
Euler number	-9,469700492	22,08192621	-0,428843951	0,742091326	-290,0471759	271,1077749	-290,0471759	271,1077749
Perimeter	0,286464351	0,291779214	0,981784641	0,505851257	-3,420942083	3,993870785	-3,420942083	3,993870785

correlation attempt #"2-14" / 25x / 80 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & euler number & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
-----------------------	--

Multiple R	0,899131151
R Square	0,808436828
Adjusted R Square	0,23374731
Standard Error	10,38261659
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	454,9332728	151,6444243	1,406736687	0,538928622
Residual	1	107,7987272	107,7987272		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-38,51246518	321,9015201	-0,11964052	0,924194797	-4128,659085	4051,634155	-4128,659085	4051,634155
Cements strengths (28d)	1,64392832	1,330882151	1,235217047	0,433252692	-15,26653277	18,55438942	-15,26653277	18,55438942
Euler number	-12,92271741	39,24776963	-0,329259918	0,797503975	-511,6129138	485,767479	-511,6129138	485,767479
Solidity	3,595223444	356,4700504	0,010085626	0,993579509	-4525,786219	4532,976666	-4525,786219	4532,976666

correlation attempt #"2-15" / 25x / 80 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & perimeter & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	0,986162476
R Square	0,972516429
Adjusted R Square	0,890065717
Standard Error	3,93266891
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	547,2661152	182,4220384	11,79512465	0,210108915
Residual	1	15,46588475	15,46588475		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	96,16600304	92,37479503	1,041041585	0,487200474	-1077,567055	1269,899061	-1077,567055	1269,899061
Cements strengths (28d)	1,896601233	0,357428947	5,306232882	0,118585	-2,64496415	6,438166617	-2,64496415	6,438166617
Perimeter	0,448204336	0,172824775	2,593403274	0,234292508	-1,747742633	2,644151306	-1,747742633	2,644151306
Solidity	-212,5806585	118,7945916	-1,789480949	0,324415411	-1722,009061	1296,847744	-1722,009061	1296,847744

correlation attempt #"2-16" / 25x / 110 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & area & centroid

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	0,948238904
R Square	0,89915702
Adjusted R Square	0,596628079
Standard Error	7,533098429
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	505,9844281	168,661476	2,972135552	0,397424915
Residual	1	56,74757193	56,74757193		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-14,88672472	26,32462914	-0,565505582	0,672351093	-349,3728521	319,5994027	-349,3728521	319,5994027
Cements strengths (28d)	1,406214377	0,653636735	2,15136987	0,276999478	-6,899027796	9,711456549	-6,899027796	9,711456549
Area	0,345913704	0,59951202	0,576992108	0,666837703	-7,27160876	7,963436168	-7,27160876	7,963436168
Centroid	-0,097075514	0,091156827	-1,064928622	0,479989027	-1,255332819	1,061181791	-1,255332819	1,061181791

correlation attempt #"2-17" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & eccentricity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,961211284
R Square	0,923927132
Adjusted R Square	0,695708527
Standard Error	6,542830986
Observations	5

<i>ANOVA</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	3	519,9233627	173,3077876	4,048430374	0,346671414
Residual	1	42,80863731	42,80863731		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	1866,418199	1397,273231	1,335757501	0,409110597	-15887,62154	19620,45794	-15887,62154	19620,45794
Cements strengths (28d)	-2,94246834	3,114035047	-0,944905338	0,518029142	-42,5100352	36,62509852	-42,5100352	36,62509852
Area	7,821384887	5,676363362	1,377886578	0,399669292	-64,30365015	79,94641992	-64,30365015	79,94641992
Eccentricity	-2506,118126	1853,107947	-1,352386476	0,405338511	-26052,0871	21039,85085	-26052,0871	21039,85085

correlation attempt #"2-18" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,896068948
R Square	0,80293956
Adjusted R Square	0,21175824
Standard Error	10,53053728
Observations	5

<i>ANOVA</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	3	451,8397845	150,6132615	1,35819508	0,546055072
Residual	1	110,8922155	110,8922155		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-6,841442637	63,8541743	-0,107141666	0,93205071	-818,1856546	804,5027693	-818,1856546	804,5027693
Cements strengths (28d)	1,294722466	0,923798843	1,401519904	0,394536429	-10,44325477	13,0326997	-10,44325477	13,0326997
Area	0,307068484	0,917561201	0,334657224	0,794409003	-11,35165199	11,96578896	-11,35165199	11,96578896
Euler number	-26,53753519	87,45241107	-0,303451156	0,812439097	-1137,725775	1084,650705	-1137,725775	1084,650705

correlation attempt #"2-19" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,999905488
R Square	0,999810985
Adjusted R Square	0,999243941
Standard Error	0,326135973
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	562,6256353	187,5418784	1763,197054	0,017504283
Residual	1	0,106364673	0,106364673		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	129,5785262	4,65358096	27,84490639	0,022853239	70,44917377	188,7078786	70,44917377	188,7078786
Cements strengths (28d)	0,440204322	0,035308489	12,46737939	0,050953754	-0,008432562	0,888841206	-0,008432562	0,888841206
Area	9,410537073	0,274970906	34,22375557	0,018596401	5,916700445	12,9043737	5,916700445	12,9043737
Perimeter	-20,20797532	0,599147893	-33,72785843	0,018869663	-27,82087111	-12,59507952	-27,82087111	-12,59507952

correlation attempt #"2-20" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,888650773
R Square	0,789700196
Adjusted R Square	0,158800783
Standard Error	10,87853067
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	444,3895705	148,1298568	1,25170539	0,562723039
Residual	1	118,3424295	118,3424295		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-4,025005444	129,4680159	-0,031088801	0,980214627	-1649,072122	1641,022112	-1649,072122	1641,022112
Cements strengths (28d)	1,259424788	0,972717963	1,294748156	0,418674871	-11,1001288	13,61897837	-11,1001288	13,61897837
Area	0,273121305	1,05363981	0,259216957	0,838531289	-13,11464184	13,66088445	-13,11464184	13,66088445
Solidity	-29,42716353	192,6562413	-0,152744408	0,903505708	-2477,356809	2418,502482	-2477,356809	2418,502482

correlation attempt #"2-21" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & eccentricity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,947565345
R Square	0,897880082
Adjusted R Square	0,591520328
Standard Error	7,580642824
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	505,2658544	168,4219515	2,93080299	0,39984384
Residual	1	57,46614563	57,46614563		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-100,5029226	146,3746301	-0,686614358	0,616954983	-1960,368941	1759,363096	-1960,368941	1759,363096
Cements strengths (28d)	1,608626131	0,563386887	2,855277909	0,21446349	-5,549882996	8,767135258	-5,549882996	8,767135258
Centroid	-0,101640349	0,094401134	-1,076685678	0,476502247	-1,301120483	1,097839786	-1,301120483	1,097839786
Eccentricity	113,9812815	202,6825861	0,562363466	0,673868771	-2461,345154	2689,307717	-2461,345154	2689,307717

correlation attempt #"2-22" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	1
R Square	0,999999999
Adjusted R Square	0,999999997
Standard Error	0,000619394
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	562,7319996	187,5773332	488928928,7	3,3245E-05
Residual	1	3,83649E-07	3,83649E-07		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-78,02411659	0,004656615	-16755,54507	3,79946E-05	-78,08328449	-77,96494869	-78,08328449	-77,9649487
Cements strengths (28d)	1,308355844	5,05196E-05	25897,99992	2,45818E-05	1,307713932	1,308997756	1,307713932	1,308997756
Centroid	-0,255466113	1,42495E-05	-17928,11893	3,55096E-05	-0,255647169	-0,255285056	-0,255647169	-0,25528506
Euler number	125,4158342	0,008931903	14041,33349	4,5339E-05	125,3023437	125,5293248	125,3023437	125,5293248

correlation attempt #"2-23" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,944463516
R Square	0,892011333
Adjusted R Square	0,568045331
Standard Error	7,795426778
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	501,9633213	167,3211071	2,753410323	0,410749767
Residual	1	60,76867866	60,76867866		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-20,28295731	26,05529048	-0,778458306	0,578896997	-351,3468127	310,7808981	-351,3468127	310,7808981
Cements strengths (28d)	1,461377483	0,644307573	2,268136437	0,264358119	-6,725326455	9,648081422	-6,725326455	9,648081422
Centroid	-0,098829984	0,096363773	-1,025592715	0,491956941	-1,323247817	1,125587849	-1,323247817	1,125587849
Perimeter	0,683131312	1,380924024	0,494691453	0,707542122	-16,86317206	18,22943468	-16,86317206	18,22943468

correlation attempt #"2-24" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,997632201
R Square	0,995270008
Adjusted R Square	0,981080032
Standard Error	1,631477212
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	560,0702821	186,690094	70,13894841	0,08749789
Residual	1	2,661717894	2,661717894		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-124,9220833	20,86954194	-5,985856503	0,105380825	-390,0947559	140,2505893	-390,0947559	140,2505893

Cements strengths (28d)	1,210847136	0,142286432	8,509926929	0,074467566	-0,597073395	3,018767667	-0,597073395	3,018767667
Centroid	-0,200828148	0,029467222	-6,815306523	0,092748469	-0,5752447	0,173588404	-0,5752447	0,173588404
Solidity	185,5472434	35,43551897	5,236193763	0,120134037	-264,7037156	635,7982025	-264,7037156	635,7982025

correlation attempt #"2-25" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,891852409
R Square	0,795400719
Adjusted R Square	0,181602878
Standard Error	10,73007746
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	447,5974376	149,1991459	1,295867573	0,555629484
Residual	1	115,1345624	115,1345624		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-71,61274077	209,5206303	-0,341793267	0,790332414	-2733,824766	2590,599284	-2733,824766	2590,599284
Cements strengths (28d)	1,464319216	0,890087429	1,645140879	0,347703939	-9,845313893	12,77395233	-9,845313893	12,77395233
Eccentricity	84,75998119	318,0494516	0,266499379	0,834194797	-3956,441467	4125,96143	-3956,441467	4125,96143
Euler number	-25,88768878	92,85405347	-0,27879977	0,826906023	-1205,710303	1153,934925	-1205,710303	1153,934925

correlation attempt #"2-26" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,899172407
R Square	0,808511017
Adjusted R Square	0,234044068
Standard Error	10,38060588
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	454,9750217	151,6583406	1,407410851	0,538831584
Residual	1	107,7569783	107,7569783		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-1376,457723	3408,593225	-0,403819885	0,755668491	-44686,7411	41933,82566	-44686,7411	41933,82566
Cements strengths (28d)	3,953377308	6,827489399	0,57903822	0,665861319	-82,79810083	90,70485544	-82,79810083	90,70485544
Eccentricity	1920,324958	4844,62961	0,396382203	0,759750074	-59636,53074	63477,18066	-59636,53074	63477,18066
Perimeter	-12,58654971	32,33533322	-0,389250657	0,763683243	-423,4459138	398,2728144	-423,4459138	398,2728144

correlation attempt #"2-27" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,884336407
R Square	0,782050881
Adjusted R Square	0,128203526
Standard Error	11,07460805
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	440,0850566	146,6950189	1,19607562	0,572052711
Residual	1	122,6469434	122,6469434		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-57,06201624	209,2121254	-0,272747175	0,830486888	-2715,354115	2601,230083	-2715,354115	2601,230083
Cements strengths (28d)	1,390030234	1,037980942	1,339167395	0,408332197	-11,79876813	14,57882859	-11,79876813	14,57882859
Eccentricity	63,49937115	368,2229555	0,17244816	0,891285342	-4615,21689	4742,215633	-4615,21689	4742,215633
Solidity	-22,3235675	206,2392121	-0,10824114	0,931358788	-2642,841221	2598,194086	-2642,841221	2598,194086

correlation attempt #"2-28" / 25x / 110 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & euler number & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,889729712
R Square	0,791618961
Adjusted R Square	0,166475844
Standard Error	10,82878935
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	445,4693211	148,4897737	1,26630037	0,560349089
Residual	1	117,2626789	117,2626789		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-13,35235556	59,67661747	-0,223745181	0,859867404	-771,6156752	744,910964	-771,6156752	744,910964
Cements strengths (28d)	1,351213325	0,918913806	1,470446213	0,380203058	-10,32469362	13,02712027	-10,32469362	13,02712027
Euler number	-22,97151347	91,28989075	-0,25163261	0,843063902	-1182,919556	1136,976529	-1182,919556	1136,976529
Perimeter	0,474016785	2,087051821	0,227122671	0,857821217	-26,04449095	26,99252452	-26,04449095	26,99252452

correlation attempt #"2-29" / 25x / 110 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & euler number & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,959127853
R Square	0,919926239
Adjusted R Square	0,679704955
Standard Error	6,712679629
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	517,6719322	172,5573107	3,829495141	0,355424708
Residual	1	45,06006781	45,06006781		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-219,4370839	156,9526003	-1,398110534	0,395269825	-2213,708957	1774,83479	-2213,708957	1774,83479
Cements strengths (28d)	0,986878159	0,632816031	1,559502464	0,362991299	-7,053811886	9,027568204	-7,053811886	9,027568204
Euler number	-328,921045	244,9729544	-1,342683096	0,407532303	-3441,597559	2783,755469	-3441,597559	2783,755469
Solidity	619,3311448	469,972347	1,317803374	0,413251427	-5352,233717	6590,896007	-5352,233717	6590,896007

correlation attempt #"2-30" / 25x / 110 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & perimeter & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics								
Multiple R	0,883114238							
R Square	0,779890756							
Adjusted R Square	0,119563026							
Standard Error	11,12935375							
Observations	5							

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	438,8694852	146,2898284	1,18106619	0,574649442
Residual	1	123,8625148	123,8625148		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-15,83799461	122,9382143	-0,128828898	0,918434242	-1577,916115	1546,240126	-1577,916115	1546,240126
Cements strengths (28d)	1,301168919	0,975389765	1,333998946	0,409513031	-11,09233314	13,69467097	-11,09233314	13,69467097
Perimeter	0,332532915	2,373259671	0,140116532	0,911376014	-29,82259036	30,48765619	-29,82259036	30,48765619
Solidity	-16,25460716	199,1539291	-0,08161831	0,948155089	-2546,745205	2514,23599	-2546,745205	2514,23599

correlation attempt # "2-31" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & centroid

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics								
Multiple R	0,993582364							
R Square	0,987205915							
Adjusted R Square	0,948823659							
Standard Error	2,683214704							
Observations	5							

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	555,5323589	185,177453	25,7203726	0,143709637
Residual	1	7,19964115	7,19964115		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-178,2088514	42,45060534	-4,198028509	0,148872894	-717,594934	361,1772311	-717,594934	361,1772311
Cements strengths (28d)	2,417006788	0,633900136	3,812914131	0,163286578	-5,637458128	10,4714717	-5,637458128	10,4714717
Area	0,077763324	0,198784326	0,391194445	0,76260932	-2,448031026	2,603557674	-2,448031026	2,603557674
Centroid	0,388816956	0,146528503	2,65352439	0,22943648	-1,4730042	2,250638112	-1,4730042	2,250638112

correlation attempt # "2-32" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & eccentricity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics								
Multiple R	0,975660177							
R Square	0,951912781							
Adjusted R Square	0,807651123							
Standard Error	5,201943588							
Observations	5							

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	535,6717829	178,557261	6,598515464	0,276951999
Residual	1	27,0602171	27,0602171		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-522,8593178	360,018907	-1,452310719	0,383885125	-5097,333259	4051,614624	-5097,333259	4051,614624
Cements strengths (28d)	2,63374821	1,20366634	2,188104895	0,272902021	-12,66028274	17,92777916	-12,66028274	17,92777916
Area	0,285391886	0,314900391	0,906292575	0,531269082	-3,715796954	4,286580727	-3,715796954	4,286580727
Eccentricity	538,917636	504,8667625	1,067445267	0,479239224	-5876,022813	6953,858085	-5876,022813	6953,858085

correlation attempt # "2-33" / 50x / 80 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & area & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,977795044
R Square	0,956083147
Adjusted R Square	0,824332589
Standard Error	4,971259236
Observations	5

<i>ANOVA</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	3	538,0185816	179,3395272	7,25676733	0,264858425
Residual	1	24,71341839	24,71341839		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-153,3786662	75,90937483	-2,020549722	0,29257211	-1117,898724	811,1413917	-1117,898724	811,1413917
Cements strengths (28d)	3,602540788	1,184437664	3,041562168	0,202219434	-11,44716666	18,65224824	-11,44716666	18,65224824
Area	0,372534676	0,272790347	1,365644644	0,402373738	-3,093595318	3,838664669	-3,093595318	3,838664669
Euler number	-27,05835677	23,35220161	-1,158706884	0,453280136	-323,7762115	269,6594979	-323,7762115	269,6594979

correlation attempt # "2-34" / 50x / 80 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & area & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,9999586
R Square	0,999917201
Adjusted R Square	0,999668805
Standard Error	0,215855334
Observations	5

<i>ANOVA</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	3	562,6854065	187,5618022	4025,490699	0,011585535
Residual	1	0,046593525	0,046593525		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-418,7381787	8,358566087	-50,09689154	0,012706083	-524,9438307	-312,5325267	-524,9438307	-312,532527
Cements strengths (28d)	6,214107525	0,101287806	61,35099332	0,010375764	4,927123921	7,501091128	4,927123921	7,501091128
Area	-0,21721292	0,022000829	-9,872942539	0,064262102	-0,496759958	0,062334117	-0,496759958	0,062334117
Perimeter	4,675501981	0,132693677	35,23530337	0,01806282	2,989468948	6,361535014	2,989468948	6,361535014

correlation attempt # "2-35" / 50x / 80 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & area & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,976000432
R Square	0,952576844
Adjusted R Square	0,810307377
Standard Error	5,165900437
Observations	5

<i>ANOVA</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	3	536,0454727	178,6818242	6,69558171	0,275064197

Residual	1	26,68652732	26,68652732					
Total	4	562,732						

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	191,4661162	323,6342043	0,591612733	0,659898895	-3920,696344	4303,628576	-3920,696344	4303,628576
Cements strengths (28d)	1,129114424	2,109329396	0,535295448	0,687111772	-25,67245674	27,93068559	-25,67245674	27,93068559
Area	0,024772316	0,475056935	0,052145993	0,966832871	-6,011398363	6,060942995	-6,011398363	6,060942995
Solidity	-263,8667904	244,0077341	-1,081386995	0,475119385	-3364,279017	2836,545436	-3364,279017	2836,545436

correlation attempt #"2-36" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & eccentricity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,999405563
R Square	0,99881148
Adjusted R Square	0,995245921
Standard Error	0,817812985
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	562,0631819	187,354394	280,1275865	0,043886128
Residual	1	0,668818078	0,668818078		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-373,2314283	61,20240232	-6,09831337	0,103471888	-1150,881683	404,4188259	-1150,881683	404,4188259
Cements strengths (28d)	2,131730466	0,085374548	24,9691568	0,025482628	1,046943985	3,216516947	1,046943985	3,216516947
Centroid	0,345561058	0,040530446	8,525962446	0,074328779	-0,169427083	0,860549199	-0,169427083	0,860549199
Eccentricity	297,8018689	88,15460143	3,378177248	0,18321869	-822,3085453	1417,912283	-822,3085453	1417,912283

correlation attempt #"2-37" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,997915254
R Square	0,995834853
Adjusted R Square	0,983339414
Standard Error	1,530967435
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	560,3881387	186,7960462	79,69586224	0,082115187
Residual	1	2,343861287	2,343861287		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-163,4595003	21,45093991	-7,620155617	0,083069504	-436,0195346	109,1005341	-436,0195346	109,1005341
Cements strengths (28d)	2,472670848	0,234689454	10,53592656	0,060243241	-0,509341398	5,454683094	-0,509341398	5,454683094
Centroid	0,374357378	0,069268342	5,404451242	0,116478084	-0,50578036	1,254495116	-0,50578036	1,254495116
Euler number	-12,82513754	8,044399946	-1,594293872	0,356638394	-115,0389302	89,38865516	-115,0389302	89,38865516

correlation attempt #"2-38" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,997796549
R Square	0,995597952

Adjusted R Square 0,98239181
 Standard Error 1,573903753
 Observations 5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	560,254827	186,751609	75,38900482	0,084414786
Residual	1	2,477173023	2,477173023		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-302,5216084	89,09541306	-3,395479049	0,182335435	-1434,586168	829,542951	-1434,586168	829,542951
Cements strengths (28d)	4,455202802	1,483827184	3,002507873	0,204673229	-14,39860919	23,3090148	-14,39860919	23,3090148
Centroid	0,167333165	0,181260559	0,923163683	0,525421402	-2,135800607	2,470466937	-2,135800607	2,470466937
Perimeter	2,274135905	1,483113973	1,533352087	0,367900237	-16,57061388	21,11888569	-16,57061388	21,11888569

correlation attempt #"2-39" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,993846618
R Square	0,9877311
Adjusted R Square	0,9509244
Standard Error	2,627565923
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	555,8278973	185,2759658	26,835633	0,140741549
Residual	1	6,904102682	6,904102682		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-308,6633953	310,3355974	-0,994611633	0,5017198	-4251,851032	3634,524242	-4251,851032	3634,524242
Cements strengths (28d)	2,604269481	0,95195327	2,735711471	0,223101762	-9,491443671	14,69998263	-9,491443671	14,69998263
Centroid	0,573196467	0,338004343	1,695825743	0,339190443	-3,721555922	4,867948856	-3,721555922	4,867948856
Solidity	105,9582648	235,5267488	0,449877839	0,730867506	-2886,692826	3098,609355	-2886,692826	3098,609355

correlation attempt #"2-40" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,969058802
R Square	0,939074962
Adjusted R Square	0,756299848
Standard Error	5,855294057
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	528,4475315	176,1491772	5,137871021	0,311052682
Residual	1	34,2844685	34,2844685		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-1495,299022	1394,718914	-1,072114966	0,477852922	-19216,88309	16226,28505	-19216,88309	16226,28505
Cements strengths (28d)	-0,017439263	2,471785941	-0,007055329	0,995508513	-31,4244575	31,38957897	-31,4244575	31,38957897
Eccentricity	1973,005553	1911,687565	1,032075319	0,489952101	-22317,28804	26263,29914	-22317,28804	26263,29914
Euler number	67,52109005	102,0733031	0,661496082	0,627950225	-1229,443197	1364,485378	-1229,443197	1364,485378

correlation attempt #"2-41" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	0,996524615
R Square	0,993061309
Adjusted R Square	0,972245236
Standard Error	1,976012003
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	3	558,8273766	186,2757922	47,70646778	0,105936553
Residual	1	3,904623437	3,904623437		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-424,4949182	142,5789213	-2,977262798	0,206290199	-2236,131883	1387,142047	-2236,131883	1387,142047
Cements strengths (28d)	5,366616157	1,115124403	4,812571713	0,130426679	-8,802382809	19,53561512	-8,802382809	19,53561512
Eccentricity	106,4290295	254,3461957	0,418441602	0,747705969	-3125,345807	3338,203866	-3125,345807	3338,203866
Perimeter	3,262006424	0,956825743	3,409195926	0,181641054	-8,895617359	15,41963021	-8,895617359	15,41963021

correlation attempt #"2-42" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	0,999124377
R Square	0,998249521
Adjusted R Square	0,992998083
Standard Error	0,992497207
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	3	561,7469493	187,2489831	190,0907049	0,053255179
Residual	1	0,985050706	0,985050706		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-219,2926314	86,55496622	-2,533564982	0,239324298	-1319,077753	880,4924903	-1319,077753	880,4924903
Cements strengths (28d)	1,262954547	0,08447513	14,95060791	0,0425182	0,18959625	2,336312845	0,18959625	2,336312845
Eccentricity	479,2204428	93,68571103	5,115192461	0,12290653	-711,1693825	1669,610268	-711,1693825	1669,610268
Solidity	-210,173903	30,01426457	-7,002467192	0,090303068	-591,5412936	171,1934877	-591,5412936	171,1934877

correlation attempt #"2-43" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & euler number & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	0,997245564
R Square	0,994498715
Adjusted R Square	0,977994858
Standard Error	1,75947417
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	3	559,6362506	186,5454169	60,25856599	0,094350347
Residual	1	3,095749356	3,095749356		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
--	---------------------	-----------------------	---------------	----------------	------------------	------------------	--------------------	--------------------

Intercept	-349,5061628	63,41038129	-5,51182982	0,114258141	-1155,21145	456,1991243	-1155,21145	456,1991243
Cements strengths (28d)	5,554808735	0,733894065	7,568951702	0,083625048	-3,770199514	14,87981698	-3,770199514	14,87981698
Euler number	-6,90305646	9,941689635	-0,694354452	0,613618304	-133,2242004	119,4180875	-133,2242004	119,4180875
Perimeter	3,27573761	0,700442601	4,676668159	0,134107228	-5,624229487	12,17570471	-5,624229487	12,17570471

correlation attempt #"2-44" / 50x / 80 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & euler number & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,999997162
R Square	0,999994323
Adjusted R Square	0,999977293
Standard Error	0,056520403
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	562,7288054	187,5762685	58717,47755	0,003033641
Residual	1	0,003194556	0,003194556		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	154,4124859	1,446316361	106,7625936	0,005962773	136,0352941	172,7896777	136,0352941	172,7896777
Cements strengths (28d)	1,801317138	0,009413555	191,353551	0,003326899	1,681706584	1,920927693	1,681706584	1,920927693
Euler number	-24,43180721	0,266962998	-91,51757889	0,00695598	-27,82389372	-21,0397207	-27,82389372	-21,0397207
Solidity	-238,4639465	1,601806922	-148,8718417	0,00427623	-258,8168332	-218,1110598	-258,8168332	-218,11106

correlation attempt #"2-45" / 50x / 80 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & perimeter & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,995938847
R Square	0,991894187
Adjusted R Square	0,967576747
Standard Error	2,135743532
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	558,1705996	186,0568665	40,78941746	0,114477617
Residual	1	4,561400434	4,561400434		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-391,376487	275,8943432	-1,418573801	0,390903179	-3896,946497	3114,193523	-3896,946497	3114,193523
Cements strengths (28d)	5,850038691	2,19432433	2,66598634	0,228453911	-22,03149551	33,73157289	-22,03149551	33,73157289
Perimeter	3,677027226	1,66683275	2,205996508	0,27094729	-17,50209096	24,85614541	-17,50209096	24,85614541
Solidity	10,90031674	141,9511023	0,076789236	0,951210201	-1792,759451	1814,560085	-1792,759451	1814,560085

correlation attempt #"2-46" / 50x / 110 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & area & centroid

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,991620264
R Square	0,983310749
Adjusted R Square	0,933242994
Standard Error	3,064567804
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	553,3404242	184,4468081	19,63960165	0,164027175
Residual	1	9,391575826	9,391575826		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-34,56962814	50,45053176	-0,685218311	0,617559377	-675,6044137	606,4651575	-675,6044137	606,4651575
Cements strengths (28d)	1,213443277	0,529272063	2,292664514	0,261839606	-5,511595917	7,938482472	-5,511595917	7,938482472
Area	0,008972512	0,002549289	3,519613484	0,176233559	-0,023419276	0,0413643	-0,023419276	0,0413643
Centroid	0,046582187	0,119147107	0,390963644	0,76273676	-1,467325348	1,560489722	-1,467325348	1,560489722

correlation attempt #"2-47" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & eccentricity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,999576297
R Square	0,999152774
Adjusted R Square	0,996611096
Standard Error	0,690478998
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	562,2552388	187,4184129	393,107481	0,037055139
Residual	1	0,476761247	0,476761247		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-132,7133045	25,31449909	-5,242580707	0,119991124	-454,3645127	188,9379037	-454,3645127	188,9379037
Cements strengths (28d)	1,664422353	0,145575695	11,43338081	0,055539464	-0,185292227	3,514136933	-0,185292227	3,514136933
Area	0,002606817	0,00144296	1,806576305	0,321844277	-0,015727724	0,020941357	-0,015727724	0,020941357
Eccentricity	125,1223371	26,85393853	4,659366335	0,134590534	-216,0893038	466,3339781	-216,0893038	466,3339781

correlation attempt #"2-48" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,999836667
R Square	0,999673361
Adjusted R Square	0,998693443
Standard Error	0,428731173
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	562,5481896	187,5160632	1020,160143	0,023010218
Residual	1	0,183810419	0,183810419		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	4,794896236	3,005259997	1,595501301	0,356421482	-33,39055257	42,98034505	-33,39055257	42,98034505
Cements strengths (28d)	0,665492905	0,055730238	11,94132535	0,053188219	-0,04262691	1,37361272	-0,04262691	1,37361272
Area	0,000338454	0,001165163	0,290478204	0,820028563	-0,014466339	0,015143248	-0,014466339	0,015143248
Euler number	0,542654551	0,071313299	7,609443987	0,083185114	-0,363466821	1,448775924	-0,363466821	1,448775924

correlation attempt #"2-49" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,993593334
R Square	0,987227713
Adjusted R Square	0,948910852
Standard Error	2,680927949
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	555,5446253	185,1815418	25,76483769	0,143587686
Residual	1	7,18737467	7,18737467		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-19,46380044	10,7864493	-1,804467801	0,322159381	-156,5186336	117,5910327	-156,5186336	117,5910327
Cements strengths (28d)	1,246303871	0,363681776	3,426907678	0,180752018	-3,374711234	5,867318976	-3,374711234	5,867318976
Area	0,006359486	0,004063146	1,565163028	0,361944	-0,045267683	0,057986656	-0,045267683	0,057986656
Perimeter	-0,038543364	0,054162701	-0,711621896	0,606261249	-0,726745731	0,649659003	-0,726745731	0,649659003

correlation attempt #"2-50" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,996233369
R Square	0,992480925
Adjusted R Square	0,9699237
Standard Error	2,056993962
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	558,5007758	186,1669253	43,99836034	0,110267397
Residual	1	4,23122416	4,23122416		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	286,3998349	241,7106939	1,1848869	0,446256754	-2784,825729	3357,625398	-2784,825729	3357,625398
Cements strengths (28d)	2,193085248	0,94720772	2,315316061	0,25955365	-9,842329974	14,22850047	-9,842329974	14,22850047
Area	0,003925018	0,00424693	0,924201112	0,525065017	-0,050037349	0,057887384	-0,050037349	0,057887384
Solidity	-440,3826564	352,7174213	-1,248542402	0,429915804	-4922,082426	4041,317113	-4922,082426	4041,317113

correlation attempt #"2-51" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & eccentricity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,999646125
R Square	0,999292375
Adjusted R Square	0,997169499
Standard Error	0,631033562
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	562,3337966	187,4445989	470,7258141	0,033865738
Residual	1	0,398203356	0,398203356		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-155,3664479	13,07314781	-11,88439465	0,053441818	-321,4765405	10,74364472	-321,4765405	10,74364472
Cements strengths (28d)	1,704210651	0,112554112	15,14125623	0,0419844	0,274075059	3,134346244	0,274075059	3,134346244
Centroid	-0,048950051	0,024160369	-2,026047332	0,291885013	-0,355936647	0,258036544	-0,355936647	0,258036544

correlation attempt #"2-52" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	0,999948924
R Square	0,99989785
Adjusted R Square	0,999591399
Standard Error	0,239756518
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	562,6745168	187,5581723	3262,83526	0,012868334
Residual	1	0,057483188	0,057483188		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-0,466584812	3,925906253	-0,11884767	0,924692465	-50,34995344	49,41678381	-50,34995344	49,41678381
Cements strengths (28d)	0,712014743	0,042729455	16,66332394	0,038159083	0,169085545	1,25494394	0,169085545	1,25494394
Centroid	0,014476817	0,009216142	1,570810888	0,3609044	-0,102625376	0,13157901	-0,102625376	0,13157901
Euler number	0,564314122	0,01206893	46,7575943	0,013613248	0,410963829	0,717664414	0,410963829	0,717664414

correlation attempt #"2-53" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	0,993082982
R Square	0,986213809
Adjusted R Square	0,944855237
Standard Error	2,7853062
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	554,9740694	184,9913565	23,84545123	0,149152712
Residual	1	7,757930629	7,757930629		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-103,843344	51,15071523	-2,030144516	0,291374889	-753,7748041	546,0881161	-753,7748041	546,0881161
Cements strengths (28d)	2,540661291	0,590489822	4,302633503	0,145379508	-4,962223281	10,04354586	-4,962223281	10,04354586
Centroid	0,176008955	0,118772563	1,481899115	0,377909573	-1,333139542	1,685157453	-1,333139542	1,685157453
Perimeter	-0,132101812	0,033875798	-3,899592583	0,159809275	-0,562534643	0,298331018	-0,562534643	0,298331018

correlation attempt #"2-54" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	0,998165861
R Square	0,996335087
Adjusted R Square	0,985340348
Standard Error	1,436093254
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
--	----	----	----	---	----------------

Regression	3	560,6696362	186,8898787	90,61925719	0,077032936
Residual	1	2,062363834	2,062363834		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	484,0105087	68,30703842	7,085807259	0,089254908	-383,9127064	1351,933724	-383,9127064	1351,933724
Cements strengths (28d)	3,520289056	0,388451945	9,062354055	0,06996577	-1,415460884	8,456038997	-1,415460884	8,456038997
Centroid	0,095841166	0,057234776	1,6745268	0,342721752	-0,631395615	0,823077948	-0,631395615	0,823077948
Solidity	-787,5809119	101,7061771	-7,743688089	0,081758963	-2079,880421	504,7185968	-2079,880421	504,7185968

correlation attempt #"2-55" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,999908892
R Square	0,999817793
Adjusted R Square	0,99927117
Standard Error	0,320209256
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	562,629466	187,5431553	1829,083177	0,017186206
Residual	1	0,102533968	0,102533968		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-27,74785475	34,23899219	-0,810416808	0,566423446	-462,7954995	407,29979	-462,7954995	407,29979
Cements strengths (28d)	0,882618688	0,237476836	3,716651704	0,167325906	-2,134810614	3,900047991	-2,134810614	3,900047991
Eccentricity	31,35311404	32,27070462	0,971565834	0,509180773	-378,6850658	441,3912939	-378,6850658	441,3912939
Euler number	0,460479815	0,10613012	4,338823111	0,144208135	-0,888031212	1,808990843	-0,888031212	1,808990843

correlation attempt #"2-56" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,999064027
R Square	0,99812893
Adjusted R Square	0,99251572
Standard Error	1,026114526
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	561,679089	187,226363	177,8178395	0,055057902
Residual	1	1,052911021	1,052911021		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-153,5965159	26,3992905	-5,818206209	0,108359832	-489,0313059	181,8382741	-489,0313059	181,8382741
Cements strengths (28d)	1,896162172	0,084946074	22,32195194	0,028500841	0,81681997	2,975504375	0,81681997	2,975504375
Eccentricity	144,5585425	30,44278205	4,748532584	0,132135859	-242,2536789	531,3707639	-242,2536789	531,3707639
Perimeter	-0,021035631	0,021805617	-0,964688649	0,511440736	-0,298102263	0,256031001	-0,298102263	0,256031001

correlation attempt #"2-57" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
-----------------------	--

Multiple R	0,999307551
R Square	0,998615582
Adjusted R Square	0,994462328
Standard Error	0,882641682
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	561,9529437	187,3176479	240,4417222	0,047363469
Residual	1	0,779056339	0,779056339		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	26,85331648	159,6282751	0,16822406	0,89389866	-2001,416229	2055,122862	-2001,416229	2055,122862
Cements strengths (28d)	2,261227346	0,288746091	7,831196404	0,080855209	-1,407639598	5,930094291	-1,407639598	5,930094291
Eccentricity	121,5059221	40,34475919	3,011690354	0,204091135	-391,1228482	634,1346923	-391,1228482	634,1346923
Solidity	-228,4024672	180,0466704	-1,268573679	0,424980547	-2516,112324	2059,307389	-2516,112324	2059,307389

correlation attempt #"2-58" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & euler number & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,999999693
R Square	0,999999386
Adjusted R Square	0,999997544
Standard Error	0,018587481
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	562,7316545	187,5772182	542923,9821	0,000997654
Residual	1	0,000345494	0,000345494		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	8,675337051	0,154150657	56,27830081	0,011310803	6,716667241	10,63400686	6,716667241	10,63400686
Cements strengths (28d)	0,550552925	0,004586351	120,0416106	0,005303203	0,492277814	0,608828036	0,492277814	0,608828036
Euler number	0,612526131	0,002286494	267,8887468	0,002376422	0,583473465	0,641578798	0,583473465	0,641578798
Perimeter	0,01195094	0,000497994	23,99816714	0,026512512	0,005623328	0,018278552	0,005623328	0,018278552

correlation attempt #"2-59" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & euler number & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics	
Multiple R	0,999999394
R Square	0,999998789
Adjusted R Square	0,999995154
Standard Error	0,026109064
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	562,7313183	187,5771061	275167,5478	0,001401363
Residual	1	0,000681683	0,000681683		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-89,16361195	5,546134455	-16,07671301	0,039547925	-159,6339318	-18,69329207	-159,6339318	-18,6932921
Cements strengths (28d)	0,202432617	0,026522186	7,632576665	0,082935845	-0,134563707	0,539428941	-0,134563707	0,539428941
Euler number	0,666011594	0,006208501	107,2741302	0,005934342	0,587125103	0,744898084	0,587125103	0,744898084
Solidity	143,8118398	8,424702023	17,07025832	0,037251517	36,76585109	250,8578286	36,76585109	250,8578286

correlation attempt #"2-60" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & perimeter & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,999995961
R Square	0,999991923
Adjusted R Square	0,999967691
Standard Error	0,067419009
Observations	5

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	3	562,7274547	187,5758182	41267,87655	0,003618604
Residual	1	0,004545323	0,004545323		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	1127,80413	15,6691197	71,97622785	0,008844293	928,7090868	1326,899173	928,7090868	1326,899173
Cements strengths (28d)	4,534115874	0,038414233	118,0321863	0,005393483	4,046016768	5,022214979	4,046016768	5,022214979
Perimeter	0,148493525	0,003575284	41,53335094	0,015324957	0,103065234	0,193921815	0,103065234	0,193921815
Solidity	-1645,054644	22,27534679	-73,8509106	0,008619811	-1928,089761	-1362,019527	-1928,089761	-1362,01953

QUICK VIEW RESULTS via t0							
#	Correlation attempts	α parameter	β parameter	γ parameter	R2	t Stat α	t Stat β
1	"3-1" / 25x / 80 threshold - time t0	Area	Centroid	Eccentricity	1	65535	65535
2	"3-2" / 25x / 80 threshold - time t0	Area	Centroid	Euler number	1	65535	65535
3	"3-3" / 25x / 80 threshold - time t0	Area	Centroid	Perimeter	1	65535	65535
4	"3-4" / 25x / 80 threshold - time t0	Area	Centroid	Solidity	1	65535	65535
5	"3-5" / 25x / 80 threshold - time t0	Area	Eccentricity	Euler number	1	65535	65535
6	"3-6" / 25x / 80 threshold - time t0	Area	Eccentricity	Perimeter	1	65535	65535
7	"3-7" / 25x / 80 threshold - time t0	Area	Eccentricity	Solidity	1	65535	65535
8	"3-8" / 25x / 80 threshold - time t0	Area	Euler number	Perimeter	1	65535	65535
9	"3-9" / 25x / 80 threshold - time t0	Area	Euler number	Solidity	1	65535	65535
10	"3-10" / 25x / 80 threshold - time t0	Area	Perimeter	Solidity	1	65535	65535
11	"3-11" / 25x / 80 threshold - time t0	Centroid	Eccentricity	Euler number	1	65535	65535
12	"3-12" / 25x / 80 threshold - time t0	Centroid	Eccentricity	Perimeter	1	65535	65535
13	"3-13" / 25x / 80 threshold - time t0	Centroid	Eccentricity	Solidity	1	65535	65535
14	"3-14" / 25x / 80 threshold - time t0	Centroid	Euler number	Perimeter	1	65535	65535
15	"3-15" / 25x / 80 threshold - time t0	Centroid	Euler number	Solidity	1	65535	65535
16	"3-16" / 25x / 80 threshold - time t0	Centroid	Perimeter	Solidity	1	65535	65535
17	"3-17" / 25x / 80 threshold - time t0	Eccentricity	Euler number	Perimeter	1	65535	65535
18	"3-18" / 25x / 80 threshold - time t0	Eccentricity	Euler number	Solidity	1	65535	65535
19	"3-19" / 25x / 80 threshold - time t0	Eccentricity	Perimeter	Solidity	1	65535	65535
20	"3-20" / 25x / 80 threshold - time t0	Euler number	Perimeter	Solidity	1	65535	65535
21	"3-21" / 25x / 110 threshold - time t0	Area	Centroid	Eccentricity	1	65535	65535
22	"3-22" / 25x / 110 threshold - time t0	Area	Centroid	Euler number	1	65535	65535
23	"3-23" / 25x / 110 threshold - time t0	Area	Centroid	Perimeter	1	65535	65535
24	"3-24" / 25x / 110 threshold - time t0	Area	Centroid	Solidity	1	65535	65535
25	"3-25" / 25x / 110 threshold - time t0	Area	Eccentricity	Euler number	1	65535	65535
26	"3-26" / 25x / 110 threshold - time t0	Area	Eccentricity	Perimeter	1	65535	65535
27	"3-27" / 25x / 110 threshold - time t0	Area	Eccentricity	Solidity	1	65535	65535
28	"3-28" / 25x / 110 threshold - time t0	Area	Euler number	Perimeter	1	65535	65535
29	"3-29" / 25x / 110 threshold - time t0	Area	Euler number	Solidity	1	65535	65535
30	"3-30" / 25x / 110 threshold - time t0	Area	Perimeter	Solidity	1	65535	65535
31	"3-31" / 25x / 110 threshold - time t0	Centroid	Eccentricity	Euler number	1	65535	65535
32	"3-32" / 25x / 110 threshold - time t0	Centroid	Eccentricity	Perimeter	1	65535	65535
33	"3-33" / 25x / 110 threshold - time t0	Centroid	Eccentricity	Solidity	1	65535	65535
34	"3-34" / 25x / 110 threshold - time t0	Centroid	Euler number	Perimeter	1	65535	65535
35	"3-35" / 25x / 110 threshold - time t0	Centroid	Euler number	Solidity	1	65535	65535
36	"3-36" / 25x / 110 threshold - time t0	Centroid	Perimeter	Solidity	1	65535	65535
37	"3-37" / 25x / 110 threshold - time t0	Eccentricity	Euler number	Perimeter	1	65535	65535
38	"3-38" / 25x / 110 threshold - time t0	Eccentricity	Euler number	Solidity	1	65535	65535
39	"3-39" / 25x / 110 threshold - time t0	Eccentricity	Perimeter	Solidity	1	65535	65535
40	"3-40" / 25x / 110 threshold - time t0	Euler number	Perimeter	Solidity	1	65535	65535
41	"3-41" / 50x / 80 threshold - time t0	Area	Centroid	Eccentricity	1	65535	65535
42	"3-42" / 50x / 80 threshold - time t0	Area	Centroid	Euler number	1	65535	65535
43	"3-43" / 50x / 80 threshold - time t0	Area	Centroid	Perimeter	1	65535	65535
44	"3-44" / 50x / 80 threshold - time t0	Area	Centroid	Solidity	1	65535	65535
45	"3-45" / 50x / 80 threshold - time t0	Area	Eccentricity	Euler number	1	65535	65535
46	"3-46" / 50x / 80 threshold - time t0	Area	Eccentricity	Perimeter	1	65535	65535
47	"3-47" / 50x / 80 threshold - time t0	Area	Eccentricity	Solidity	1	65535	65535
48	"3-48" / 50x / 80 threshold - time t0	Area	Euler number	Perimeter	1	65535	65535
49	"3-49" / 50x / 80 threshold - time t0	Area	Euler number	Solidity	1	65535	65535
50	"3-50" / 50x / 80 threshold - time t0	Area	Perimeter	Solidity	1	65535	65535
51	"3-51" / 50x / 80 threshold - time t0	Centroid	Eccentricity	Euler number	1	65535	65535
52	"3-52" / 50x / 80 threshold - time t0	Centroid	Eccentricity	Perimeter	1	65535	65535
53	"3-53" / 50x / 80 threshold - time t0	Centroid	Eccentricity	Solidity	1	65535	65535
54	"3-54" / 50x / 80 threshold - time t0	Centroid	Euler number	Perimeter	1	65535	65535
55	"3-55" / 50x / 80 threshold - time t0	Centroid	Euler number	Solidity	1	65535	65535
56	"3-56" / 50x / 80 threshold - time t0	Centroid	Perimeter	Solidity	1	65535	65535
57	"3-57" / 50x / 80 threshold - time t0	Eccentricity	Euler number	Perimeter	1	65535	65535
58	"3-58" / 50x / 80 threshold - time t0	Eccentricity	Euler number	Solidity	1	65535	65535
59	"3-59" / 50x / 80 threshold - time t0	Eccentricity	Perimeter	Solidity	1	65535	65535
60	"3-60" / 50x / 80 threshold - time t0	Euler number	Perimeter	Solidity	1	65535	65535
61	"3-61" / 50x / 110 threshold - time t0	Area	Centroid	Eccentricity	1	65535	65535
62	"3-62" / 50x / 110 threshold - time t0	Area	Centroid	Euler number	1	65535	65535
63	"3-63" / 50x / 110 threshold - time t0	Area	Centroid	Perimeter	1	65535	65535
64	"3-64" / 50x / 110 threshold - time t0	Area	Centroid	Solidity	1	65535	65535
65	"3-65" / 50x / 110 threshold - time t0	Area	Eccentricity	Euler number	1	65535	65535
66	"3-66" / 50x / 110 threshold - time t0	Area	Eccentricity	Perimeter	1	65535	65535
67	"3-67" / 50x / 110 threshold - time t0	Area	Eccentricity	Solidity	1	65535	65535
68	"3-68" / 50x / 110 threshold - time t0	Area	Euler number	Perimeter	1	65535	65535

69	"3-69" / 50x / 110 threshold - time t0	Area	Euler number	Solidity	1	65535	65535
70	"3-70" / 50x / 110 threshold - time t0	Area	Perimeter	Solidity	1	65535	65535
71	"3-71" / 50x / 110 threshold - time t0	Centroid	Eccentricity	Euler number	1	65535	65535
72	"3-72" / 50x / 110 threshold - time t0	Centroid	Eccentricity	Perimeter	1	65535	65535
73	"3-73" / 50x / 110 threshold - time t0	Centroid	Eccentricity	Solidity	1	65535	65535
74	"3-74" / 50x / 110 threshold - time t0	Centroid	Euler number	Perimeter	1	65535	65535
75	"3-75" / 50x / 110 threshold - time t0	Centroid	Euler number	Solidity	1	65535	65535
76	"3-76" / 50x / 110 threshold - time t0	Centroid	Perimeter	Solidity	1	65535	65535
77	"3-77" / 50x / 110 threshold - time t0	Eccentricity	Euler number	Perimeter	1	65535	65535
78	"3-78" / 50x / 110 threshold - time t0	Eccentricity	Euler number	Solidity	1	65535	65535
79	"3-79" / 50x / 110 threshold - time t0	Eccentricity	Perimeter	Solidity	1	65535	65535
80	"3-80" / 50x / 110 threshold - time t0	Euler number	Perimeter	Solidity	1	65535	65535

αναλυτικά:

correlation attempt #"3-1" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & centroid & eccentricity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	2750,412601	0	65535	#NUM!	2750,413	2750,413	2750,413	2750,413
Cements strengths (28d)	3,715532063	0	65535	#NUM!	3,715532	3,715532	3,715532	3,715532
Area	-0,110303958	0	65535	#NUM!	-0,1103	-0,1103	-0,1103	-0,1103
Centroid	-7,086301435	0	65535	#NUM!	-7,0863	-7,0863	-7,0863	-7,0863
Eccentricity	-1217,624762	0	65535	#NUM!	-1217,62	-1217,62	-1217,62	-1217,62

correlation attempt #"3-2" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & centroid & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	3685,822377	0	65535	#NUM!	3685,822	3685,822	3685,822	3685,822
Cements strengths (28d)	2,279810546	0	65535	#NUM!	2,279811	2,279811	2,279811	2,279811
Area	-0,193967082	0	65535	#NUM!	-0,19397	-0,19397	-0,19397	-0,19397
Centroid	-13,63228893	0	65535	#NUM!	-13,6323	-13,6323	-13,6323	-13,6323
Euler number	49,14208572	0	65535	#NUM!	49,14209	49,14209	49,14209	49,14209

correlation attempt # "3-3" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & centroid & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	20,34845024	0	65535	#NUM!	20,34845	20,34845	20,34845	20,34845
Cements strengths (28d)	1,972885405	0	65535	#NUM!	1,972885	1,972885	1,972885	1,972885
Area	-0,041713813	0	65535	#NUM!	-0,04171	-0,04171	-0,04171	-0,04171
Centroid	-0,395459601	0	65535	#NUM!	-0,39546	-0,39546	-0,39546	-0,39546
Perimeter	0,892026929	0	65535	#NUM!	0,892027	0,892027	0,892027	0,892027

correlation attempt # "3-4" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & centroid & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	23641,31555	0	65535	#NUM!	23641,32	23641,32	23641,32	23641,32
Cements strengths (28d)	12,61021805	0	65535	#NUM!	12,61022	12,61022	12,61022	12,61022
Area	-1,985717199	0	65535	#NUM!	-1,98572	-1,98572	-1,98572	-1,98572
Centroid	-107,3639314	0	65535	#NUM!	-107,364	-107,364	-107,364	-107,364
Solidity	7044,824386	0	65535	#NUM!	7044,824	7044,824	7044,824	7044,824

correlation attempt # "3-5" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & eccentricity & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535

Standard Error	0
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	1737,792938	0	65535	#NUM!	1737,793	1737,793	1737,793	1737,793
Cements strengths (28d)	5,26975982	0	65535	#NUM!	5,26976	5,26976	5,26976	5,26976
Area	-0,019735175	0	65535	#NUM!	-0,01974	-0,01974	-0,01974	-0,01974
Eccentricity	-2535,753785	0	65535	#NUM!	-2535,75	-2535,75	-2535,75	-2535,75
Euler number	-53,19833456	0	65535	#NUM!	-53,1983	-53,1983	-53,1983	-53,1983

correlation attempt #"3-6" / 25x / 80 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & area & eccentricity & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-141,0109284	0	65535	#NUM!	-141,011	-141,011	-141,011	-141,011
Cements strengths (28d)	1,869886953	0	65535	#NUM!	1,869887	1,869887	1,869887	1,869887
Area	-0,037659819	0	65535	#NUM!	-0,03766	-0,03766	-0,03766	-0,03766
Eccentricity	71,96723746	0	65535	#NUM!	71,96724	71,96724	71,96724	71,96724
Perimeter	0,944749833	0	65535	#NUM!	0,94475	0,94475	0,94475	0,94475

correlation attempt #"3-7" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & eccentricity & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	1274,118878	0	65535	#NUM!	1274,119	1274,119	1274,119	1274,119
Cements strengths (28d)	3,086972871	0	65535	#NUM!	3,086973	3,086973	3,086973	3,086973
Area	0,022225536	0	65535	#NUM!	0,022226	0,022226	0,022226	0,022226
Eccentricity	-1303,670434	0	65535	#NUM!	-1303,67	-1303,67	-1303,67	-1303,67

Solidity -497,8353516 0 65535 #NUM! -497,835 -497,835 -497,835 -497,835

correlation attempt #3-8" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & euler number & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-89,16016567	0	65535	#NUM!	-89,1602	-89,1602	-89,1602	-89,1602
Cements strengths (28d)	1,963715801	0	65535	#NUM!	1,963716	1,963716	1,963716	1,963716
Area	-0,037165139	0	65535	#NUM!	-0,03717	-0,03717	-0,03717	-0,03717
Euler number	-1,468154432	0	65535	#NUM!	-1,46815	-1,46815	-1,46815	-1,46815
Perimeter	0,918676862	0	65535	#NUM!	0,918677	0,918677	0,918677	0,918677

correlation attempt #3-9" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & euler number & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	783,5042109	0	65535	#NUM!	783,5042	783,5042	783,5042	783,5042
Cements strengths (28d)	0,777360614	0	65535	#NUM!	0,777361	0,777361	0,777361	0,777361
Area	0,066624268	0	65535	#NUM!	0,066624	0,066624	0,066624	0,066624
Euler number	56,28928909	0	65535	#NUM!	56,28929	56,28929	56,28929	56,28929
Solidity	-1024,596166	0	65535	#NUM!	-1024,6	-1024,6	-1024,6	-1024,6

correlation attempt #3-10" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & perimeter & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1

Adjusted R Square 65535
 Standard Error 0
 Observations 5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-66,9776383	0	65535	#NUM!	-66,9776	-66,9776	-66,9776	-66,9776
Cements strengths (28d)	1,933559469	0	65535	#NUM!	1,933559	1,933559	1,933559	1,933559
Area	-0,034526884	0	65535	#NUM!	-0,03453	-0,03453	-0,03453	-0,03453
Perimeter	0,895324729	0	65535	#NUM!	0,895325	0,895325	0,895325	0,895325
Solidity	-26,04452881	0	65535	#NUM!	-26,0445	-26,0445	-26,0445	-26,0445

correlation attempt #"3-11" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & eccentricity & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R 1
 R Square 1
 Adjusted R Square 65535
 Standard Error 0
 Observations 5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	1517,140459	0	65535	#NUM!	1517,14	1517,14	1517,14	1517,14
Cements strengths (28d)	5,608430123	0	65535	#NUM!	5,60843	5,60843	5,60843	5,60843
Centroid	1,544123665	0	65535	#NUM!	1,544124	1,544124	1,544124	1,544124
Eccentricity	-2822,977555	0	65535	#NUM!	-2822,98	-2822,98	-2822,98	-2822,98
Euler number	-64,79039116	0	65535	#NUM!	-64,7904	-64,7904	-64,7904	-64,7904

correlation attempt #"3-12" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & eccentricity & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R 1
 R Square 1
 Adjusted R Square 65535
 Standard Error 0
 Observations 5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-1639,968572	0	65535	#NUM!	-1639,97	-1639,97	-1639,97	-1639,97
Cements strengths (28d)	0,913076642	0	65535	#NUM!	0,913077	0,913077	0,913077	0,913077
Centroid	3,67364573	0	65535	#NUM!	3,673646	3,673646	3,673646	3,673646

Eccentricity	740,5112142	0	65535	#NUM!	740,5112	740,5112	740,5112	740,5112
Perimeter	1,434522421	0	65535	#NUM!	1,434522	1,434522	1,434522	1,434522

correlation attempt #"3-13" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & eccentricity & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>ower 95,0%</i>	<i>pper 95,0%</i>
Intercept	1521,697121	0	65535	#NUM!	1521,697	1521,697	1521,697	1521,697
Cements strengths (28d)	3,192383859	0	65535	#NUM!	3,192384	3,192384	3,192384	3,192384
Centroid	-1,188390921	0	65535	#NUM!	-1,18839	-1,18839	-1,18839	-1,18839
Eccentricity	-1289,240354	0	65535	#NUM!	-1289,24	-1289,24	-1289,24	-1289,24
Solidity	-414,3470866	0	65535	#NUM!	-414,347	-414,347	-414,347	-414,347

correlation attempt #"3-14" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & euler number & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-983,9051486	0	65535	#NUM!	-983,905	-983,905	-983,905	-983,905
Cements strengths (28d)	1,888795139	0	65535	#NUM!	1,888795	1,888795	1,888795	1,888795
Centroid	3,23112014	0	65535	#NUM!	3,23112	3,23112	3,23112	3,23112
Euler number	-13,46377506	0	65535	#NUM!	-13,4638	-13,4638	-13,4638	-13,4638
Perimeter	1,136421316	0	65535	#NUM!	1,136421	1,136421	1,136421	1,136421

correlation attempt #"3-15" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & euler number & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1

Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	1525,527394	0	65535	#NUM!	1525,527	1525,527	1525,527	1525,527
Cements strengths (28d)	1,161485516	0	65535	#NUM!	1,161486	1,161486	1,161486	1,161486
Centroid	-3,485308587	0	65535	#NUM!	-3,48531	-3,48531	-3,48531	-3,48531
Euler number	54,46199439	0	65535	#NUM!	54,46199	54,46199	54,46199	54,46199
Solidity	-762,6420776	0	65535	#NUM!	-762,642	-762,642	-762,642	-762,642

correlation attempt #"3-16" / 25x / 80 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & centroid & perimeter & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-486,502829	0	65535	#NUM!	-486,503	-486,503	-486,503	-486,503
Cements strengths (28d)	1,744632869	0	65535	#NUM!	1,744633	1,744633	1,744633	1,744633
Centroid	1,899836206	0	65535	#NUM!	1,899836	1,899836	1,899836	1,899836
Perimeter	0,911167762	0	65535	#NUM!	0,911168	0,911168	0,911168	0,911168
Solidity	-151,1656249	0	65535	#NUM!	-151,166	-151,166	-151,166	-151,166

correlation attempt #"3-17" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity & euler number & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	3806,370913	0	65535	#NUM!	3806,371	3806,371	3806,371	3806,371

Cements strengths (28d)	9,01304684	0	65535	#NUM!	9,013047	9,013047	9,013047	9,013047
Eccentricity	-5406,875336	0	65535	#NUM!	-5406,88	-5406,88	-5406,88	-5406,88
Euler number	-111,7701233	0	65535	#NUM!	-111,77	-111,77	-111,77	-111,77
Perimeter	-1,040177068	0	65535	#NUM!	-1,04018	-1,04018	-1,04018	-1,04018

correlation attempt #"3-18" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity & euler number & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	1519,715395	0	65535	#NUM!	1519,715	1519,715	1519,715	1519,715
Cements strengths (28d)	4,243140353	0	65535	#NUM!	4,24314	4,24314	4,24314	4,24314
Eccentricity	-1956,274073	0	65535	#NUM!	-1956,27	-1956,27	-1956,27	-1956,27
Euler number	-28,17782311	0	65535	#NUM!	-28,1778	-28,1778	-28,1778	-28,1778
Solidity	-234,1444562	0	65535	#NUM!	-234,144	-234,144	-234,144	-234,144

correlation attempt #"3-19" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity & perimeter & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	748,9150392	0	65535	#NUM!	748,915	748,915	748,915	748,915
Cements strengths (28d)	2,63527	0	65535	#NUM!	2,63527	2,63527	2,63527	2,63527
Eccentricity	-793,1234985	0	65535	#NUM!	-793,123	-793,123	-793,123	-793,123
Perimeter	0,350629488	0	65535	#NUM!	0,350629	0,350629	0,350629	0,350629
Solidity	-313,0713556	0	65535	#NUM!	-313,071	-313,071	-313,071	-313,071

correlation attempt #"3-20" / 25x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & euler number & perimeter & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	223,3254138	0	65535	#NUM!	223,3254	223,3254	223,3254	223,3254
Cements strengths (28d)	1,538903126	0	65535	#NUM!	1,538903	1,538903	1,538903	1,538903
Euler number	19,21375799	0	65535	#NUM!	19,21376	19,21376	19,21376	19,21376
Perimeter	0,58971503	0	65535	#NUM!	0,589715	0,589715	0,589715	0,589715
Solidity	-366,8896488	0	65535	#NUM!	-366,89	-366,89	-366,89	-366,89

correlation attempt #"3-21" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & centroid & eccentricity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
Regression Statistics	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	13669,66319	0	65535	#NUM!	13669,66	13669,66	13669,66	13669,66
Cements strengths (28d)	-30,37917433	0	65535	#NUM!	-30,3792	-30,3792	-30,3792	-30,3792
Area	54,62581493	0	65535	#NUM!	54,62581	54,62581	54,62581	54,62581
Centroid	0,6767438	0	65535	#NUM!	0,676744	0,676744	0,676744	0,676744
Eccentricity	-18236,92811	0	65535	#NUM!	-18236,9	-18236,9	-18236,9	-18236,9

correlation attempt #"3-22" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & centroid & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
Regression Statistics	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA					
	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-78,02727155	0	65535	#NUM!	-78,0273	-78,0273	-78,0273	-78,0273

Cements strengths (28d)	1,308375867	0	65535	#NUM!	1,308376	1,308376	1,308376	1,308376
Area	-5,6913E-05	0	65535	#NUM!	-5,7E-05	-5,7E-05	-5,7E-05	-5,7E-05
Centroid	-0,255470882	0	65535	#NUM!	-0,25547	-0,25547	-0,25547	-0,25547
Euler number	125,4209887	0	65535	#NUM!	125,421	125,421	125,421	125,421

correlation attempt #"3-23" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & centroid & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>ower 95,0%</i>	<i>pper 95,0%</i>
Intercept	134,1937664	0	65535	#NUM!	134,1938	134,1938	134,1938	134,1938
Cements strengths (28d)	0,402210983	0	65535	#NUM!	0,402211	0,402211	0,402211	0,402211
Area	9,709540039	0	65535	#NUM!	9,70954	9,70954	9,70954	9,70954
Centroid	0,005955844	0	65535	#NUM!	0,005956	0,005956	0,005956	0,005956
Perimeter	-20,88517113	0	65535	#NUM!	-20,8852	-20,8852	-20,8852	-20,8852

correlation attempt #"3-24" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & centroid & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-144,5609458	0	65535	#NUM!	-144,561	-144,561	-144,561	-144,561
Cements strengths (28d)	1,243122738	0	65535	#NUM!	1,243123	1,243123	1,243123	1,243123
Area	-0,171510391	0	65535	#NUM!	-0,17151	-0,17151	-0,17151	-0,17151
Centroid	-0,213263195	0	65535	#NUM!	-0,21326	-0,21326	-0,21326	-0,21326
Solidity	216,1307692	0	65535	#NUM!	216,1308	216,1308	216,1308	216,1308

correlation attempt #"3-25" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & eccentricity & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1

Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	3689,489669	0	65535	#NUM!	3689,49	3689,49	3689,49	3689,49
Cements strengths (28d)	-7,375510531	0	65535	#NUM!	-7,37551	-7,37551	-7,37551	-7,37551
Area	14,97001375	0	65535	#NUM!	14,97001	14,97001	14,97001	14,97001
Eccentricity	-4997,780232	0	65535	#NUM!	-4997,78	-4997,78	-4997,78	-4997,78
Euler number	91,04971006	0	65535	#NUM!	91,04971	91,04971	91,04971	91,04971

correlation attempt #"3-26" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & eccentricity & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	14,01398987	0	65535	#NUM!	14,01399	14,01399	14,01399	14,01399
Cements strengths (28d)	0,675515136	0	65535	#NUM!	0,675515	0,675515	0,675515	0,675515
Area	9,310733931	0	65535	#NUM!	9,310734	9,310734	9,310734	9,310734
Eccentricity	161,9234529	0	65535	#NUM!	161,9235	161,9235	161,9235	161,9235
Perimeter	-21,070608	0	65535	#NUM!	-21,0706	-21,0706	-21,0706	-21,0706

correlation attempt #"3-27" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & eccentricity & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	3165,599078	0	65535	#NUM!	3165,599	3165,599	3165,599	3165,599
Cements strengths (28d)	-6,3342021	0	65535	#NUM!	-6,3342	-6,3342	-6,3342	-6,3342
Area	12,9590074	0	65535	#NUM!	12,95901	12,95901	12,95901	12,95901
Eccentricity	-4369,926955	0	65535	#NUM!	-4369,93	-4369,93	-4369,93	-4369,93

correlation attempt # "3-28" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & euler number & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
Regression Statistics	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	ower 95,0%	pper 95,0%
Intercept	129,3589301	0	65535	#NUM!	129,3589	129,3589	129,3589	129,3589
Cements strengths (28d)	0,422855302	0	65535	#NUM!	0,422855	0,422855	0,422855	0,422855
Area	9,48833524	0	65535	#NUM!	9,488335	9,488335	9,488335	9,488335
Euler number	2,857350798	0	65535	#NUM!	2,857351	2,857351	2,857351	2,857351
Perimeter	-20,40936352	0	65535	#NUM!	-20,4094	-20,4094	-20,4094	-20,4094

correlation attempt # "3-29" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & euler number & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
Regression Statistics	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-480,7362967	0	65535	#NUM!	-480,736	-480,736	-480,736	-480,736
Cements strengths (28d)	0,913417613	0	65535	#NUM!	0,913418	0,913418	0,913418	0,913418
Area	-1,037815067	0	65535	#NUM!	-1,03782	-1,03782	-1,03782	-1,03782
Euler number	-633,7158649	0	65535	#NUM!	-633,716	-633,716	-633,716	-633,716
Solidity	1308,176835	0	65535	#NUM!	1308,177	1308,177	1308,177	1308,177

correlation attempt # "3-30" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & perimeter & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
Regression Statistics	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0

Observations 5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	126,6204296	0	65535	#NUM!	126,6204	126,6204	126,6204	126,6204
Cements strengths (28d)	0,425057262	0	65535	#NUM!	0,425057	0,425057	0,425057	0,425057
Area	9,441087095	0	65535	#NUM!	9,441087	9,441087	9,441087	9,441087
Perimeter	-20,31775314	0	65535	#NUM!	-20,3178	-20,3178	-20,3178	-20,3178
Solidity	5,871940623	0	65535	#NUM!	5,871941	5,871941	5,871941	5,871941

correlation attempt # "3-31" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & eccentricity & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-78,01294826	0	65535	#NUM!	-78,0129	-78,0129	-78,0129	-78,0129
Cements strengths (28d)	1,308342852	0	65535	#NUM!	1,308343	1,308343	1,308343	1,308343
Centroid	-0,255469911	0	65535	#NUM!	-0,25547	-0,25547	-0,25547	-0,25547
Eccentricity	-0,019000487	0	65535	#NUM!	-0,019	-0,019	-0,019	-0,019
Euler number	125,4208581	0	65535	#NUM!	125,4209	125,4209	125,4209	125,4209

correlation attempt # "3-32" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & eccentricity & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-2791,765312	0	65535	#NUM!	-2791,77	-2791,77	-2791,77	-2791,77
Cements strengths (28d)	7,056215436	0	65535	#NUM!	7,056215	7,056215	7,056215	7,056215
Centroid	-0,139048223	0	65535	#NUM!	-0,13905	-0,13905	-0,13905	-0,13905
Eccentricity	3942,272241	0	65535	#NUM!	3942,272	3942,272	3942,272	3942,272
Perimeter	-25,3999134	0	65535	#NUM!	-25,3999	-25,3999	-25,3999	-25,3999

correlation attempt #"3-33" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & eccentricity & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-101,3237446	0	65535	#NUM!	-101,324	-101,324	-101,324	-101,324
Cements strengths (28d)	1,144147971	0	65535	#NUM!	1,144148	1,144148	1,144148	1,144148
Centroid	-0,210477558	0	65535	#NUM!	-0,21048	-0,21048	-0,21048	-0,21048
Eccentricity	-57,07984192	0	65535	#NUM!	-57,0798	-57,0798	-57,0798	-57,0798
Solidity	215,4543006	0	65535	#NUM!	215,4543	215,4543	215,4543	215,4543

correlation attempt #"3-34" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & euler number & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-78,02602761	0	65535	#NUM!	-78,026	-78,026	-78,026	-78,026
Cements strengths (28d)	1,308370555	0	65535	#NUM!	1,308371	1,308371	1,308371	1,308371
Centroid	-0,25546935	0	65535	#NUM!	-0,25547	-0,25547	-0,25547	-0,25547
Euler number	125,4202536	0	65535	#NUM!	125,4203	125,4203	125,4203	125,4203
Perimeter	-0,000122419	0	65535	#NUM!	-0,00012	-0,00012	-0,00012	-0,00012

correlation attempt #"3-35" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & euler number & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!

Residual	0	0	65535
Total	4	562,732	

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-78,00518608	0	65535	#NUM!	-78,0052	-78,0052	-78,0052	-78,0052
Cements strengths (28d)	1,308397527	0	65535	#NUM!	1,308398	1,308398	1,308398	1,308398
Centroid	-0,255484893	0	65535	#NUM!	-0,25548	-0,25548	-0,25548	-0,25548
Euler number	125,4626215	0	65535	#NUM!	125,4626	125,4626	125,4626	125,4626
Solidity	-0,071743364	0	65535	#NUM!	-0,07174	-0,07174	-0,07174	-0,07174

correlation attempt #"3-36" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & perimeter & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-139,7224592	0	65535	#NUM!	-139,722	-139,722	-139,722	-139,722
Cements strengths (28d)	1,228526607	0	65535	#NUM!	1,228527	1,228527	1,228527	1,228527
Centroid	-0,2094581	0	65535	#NUM!	-0,20946	-0,20946	-0,20946	-0,20946
Perimeter	-0,36251448	0	65535	#NUM!	-0,36251	-0,36251	-0,36251	-0,36251
Solidity	212,3792781	0	65535	#NUM!	212,3793	212,3793	212,3793	212,3793

correlation attempt #"3-37" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity & euler number & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-6032,934957	0	65535	#NUM!	-6032,93	-6032,93	-6032,93	-6032,93
Cements strengths (28d)	13,92118602	0	65535	#NUM!	13,92119	13,92119	13,92119	13,92119
Eccentricity	8650,747073	0	65535	#NUM!	8650,747	8650,747	8650,747	8650,747
Euler number	-149,7963791	0	65535	#NUM!	-149,796	-149,796	-149,796	-149,796
Perimeter	-55,73629539	0	65535	#NUM!	-55,7363	-55,7363	-55,7363	-55,7363

correlation attempt #"3-38" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity & euler number & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-210,3733769	0	65535	#NUM!	-210,373	-210,373	-210,373	-210,373
Cements strengths (28d)	0,376032149	0	65535	#NUM!	0,376032	0,376032	0,376032	0,376032
Eccentricity	-324,0146858	0	65535	#NUM!	-324,015	-324,015	-324,015	-324,015
Euler number	-586,7280665	0	65535	#NUM!	-586,728	-586,728	-586,728	-586,728
Solidity	1223,365482	0	65535	#NUM!	1223,365	1223,365	1223,365	1223,365

correlation attempt #"3-39" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity & perimeter & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-8029,124904	0	65535	#NUM!	-8029,12	-8029,12	-8029,12	-8029,12
Cements strengths (28d)	18,56496687	0	65535	#NUM!	18,56497	18,56497	18,56497	18,56497
Eccentricity	11727,62809	0	65535	#NUM!	11727,63	11727,63	11727,63	11727,63
Perimeter	-74,84476355	0	65535	#NUM!	-74,8448	-74,8448	-74,8448	-74,8448
Solidity	-419,4150364	0	65535	#NUM!	-419,415	-419,415	-419,415	-419,415

correlation attempt #"3-40" / 25x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & euler number & perimeter & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-420,5845793	0	65535	#NUM!	-420,585	-420,585	-420,585	-420,585
Cements strengths (28d)	0,865051122	0	65535	#NUM!	0,865051	0,865051	0,865051	0,865051
Euler number	-570,9535772	0	65535	#NUM!	-570,954	-570,954	-570,954	-570,954
Perimeter	-2,012240405	0	65535	#NUM!	-2,01224	-2,01224	-2,01224	-2,01224
Solidity	1179,198473	0	65535	#NUM!	1179,198	1179,198	1179,198	1179,198

correlation attempt #"3-41" / 50x / 80 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & area & centroid & eccentricity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-374,5187431	0	65535	#NUM!	-374,519	-374,519	-374,519	-374,519
Cements strengths (28d)	2,308194192	0	65535	#NUM!	2,308194	2,308194	2,308194	2,308194
Area	0,060807192	0	65535	#NUM!	0,060807	0,060807	0,060807	0,060807
Centroid	0,316655035	0	65535	#NUM!	0,316655	0,316655	0,316655	0,316655
Eccentricity	290,282357	0	65535	#NUM!	290,2824	290,2824	290,2824	290,2824

correlation attempt #"3-42" / 50x / 80 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & area & centroid & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-174,868003	0	65535	#NUM!	-174,868	-174,868	-174,868	-174,868
Cements strengths (28d)	2,837937416	0	65535	#NUM!	2,837937	2,837937	2,837937	2,837937
Area	0,115440068	0	65535	#NUM!	0,11544	0,11544	0,11544	0,11544
Centroid	0,30907458	0	65535	#NUM!	0,309075	0,309075	0,309075	0,309075
Euler number	-14,34983923	0	65535	#NUM!	-14,3498	-14,3498	-14,3498	-14,3498

correlation attempt #"3-43" / 50x / 80 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & area & centroid & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
--------------------------------	--

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>ower 95,0%</i>	<i>pper 95,0%</i>
Intercept	-402,3961705	0	65535	#NUM!	-402,396	-402,396	-402,396	-402,396
Cements strengths (28d)	5,944190534	0	65535	#NUM!	5,944191	5,944191	5,944191	5,944191
Area	-0,200677121	0	65535	#NUM!	-0,20068	-0,20068	-0,20068	-0,20068
Centroid	0,031097921	0	65535	#NUM!	0,031098	0,031098	0,031098	0,031098
Perimeter	4,351557811	0	65535	#NUM!	4,351558	4,351558	4,351558	4,351558

correlation attempt #13-44" / 50x / 80 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & area & centroid & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-639,4024662	0	65535	#NUM!	-639,402	-639,402	-639,402	-639,402
Cements strengths (28d)	4,28307145	0	65535	#NUM!	4,283071	4,283071	4,283071	4,283071
Area	0,272515111	0	65535	#NUM!	0,272515	0,272515	0,272515	0,272515
Centroid	0,749466162	0	65535	#NUM!	0,749466	0,749466	0,749466	0,749466
Solidity	336,7071171	0	65535	#NUM!	336,7071	336,7071	336,7071	336,7071

correlation attempt #13-45" / 50x / 80 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & area & eccentricity & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	7965,403497	0	65535	#NUM!	7965,403	7965,403	7965,403	7965,403

Cements strengths (28d)	24,43692404	0	65535	#NUM!	24,43692	24,43692	24,43692	24,43692
Area	2,342962233	0	65535	#NUM!	2,342962	2,342962	2,342962	2,342962
Eccentricity	-11835,55441	0	65535	#NUM!	-11835,6	-11835,6	-11835,6	-11835,6
Euler number	-599,4295001	0	65535	#NUM!	-599,43	-599,43	-599,43	-599,43

correlation attempt #"3-46" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & eccentricity & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-405,4320957	0	65535	#NUM!	-405,432	-405,432	-405,432	-405,432
Cements strengths (28d)	6,340160103	0	65535	#NUM!	6,34016	6,34016	6,34016	6,34016
Area	-0,22915345	0	65535	#NUM!	-0,22915	-0,22915	-0,22915	-0,22915
Eccentricity	-31,61251252	0	65535	#NUM!	-31,6125	-31,6125	-31,6125	-31,6125
Perimeter	4,825453907	0	65535	#NUM!	4,825454	4,825454	4,825454	4,825454

correlation attempt #"3-47" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & eccentricity & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-180,7234369	0	65535	#NUM!	-180,723	-180,723	-180,723	-180,723
Cements strengths (28d)	0,863326466	0	65535	#NUM!	0,863326	0,863326	0,863326	0,863326
Area	-0,094083417	0	65535	#NUM!	-0,09408	-0,09408	-0,09408	-0,09408
Eccentricity	502,659915	0	65535	#NUM!	502,6599	502,6599	502,6599	502,6599
Solidity	-246,3430297	0	65535	#NUM!	-246,343	-246,343	-246,343	-246,343

correlation attempt #"3-48" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & euler number & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1

Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-427,850297	0	65535	#NUM!	-427,85	-427,85	-427,85	-427,85
Cements strengths (28d)	6,291694584	0	65535	#NUM!	6,291695	6,291695	6,291695	6,291695
Area	-0,236041915	0	65535	#NUM!	-0,23604	-0,23604	-0,23604	-0,23604
Euler number	1,605351224	0	65535	#NUM!	1,605351	1,605351	1,605351	1,605351
Perimeter	4,838377109	0	65535	#NUM!	4,838377	4,838377	4,838377	4,838377

correlation attempt #"3-49" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & euler number & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	151,1504765	0	65535	#NUM!	151,1505	151,1505	151,1505	151,1505
Cements strengths (28d)	1,823716862	0	65535	#NUM!	1,823717	1,823717	1,823717	1,823717
Area	0,005202033	0	65535	#NUM!	0,005202	0,005202	0,005202	0,005202
Euler number	-24,42080949	0	65535	#NUM!	-24,4208	-24,4208	-24,4208	-24,4208
Solidity	-236,3069934	0	65535	#NUM!	-236,307	-236,307	-236,307	-236,307

correlation attempt #"3-50" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & perimeter & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-392,1362472	0	65535	#NUM!	-392,136	-392,136	-392,136	-392,136
Cements strengths (28d)	6,016099824	0	65535	#NUM!	6,0161	6,0161	6,0161	6,0161
Area	-0,221161454	0	65535	#NUM!	-0,22116	-0,22116	-0,22116	-0,22116
Perimeter	4,539935295	0	65535	#NUM!	4,539935	4,539935	4,539935	4,539935

correlation attempt #"3-51" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & eccentricity & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-596,73294	0	65535	#NUM!	-596,733	-596,733	-596,733	-596,733
Cements strengths (28d)	1,718582228	0	65535	#NUM!	1,718582	1,718582	1,718582	1,718582
Centroid	0,325092194	0	65535	#NUM!	0,325092	0,325092	0,325092	0,325092
Eccentricity	613,3708706	0	65535	#NUM!	613,3709	613,3709	613,3709	613,3709
Euler number	15,97158117	0	65535	#NUM!	15,97158	15,97158	15,97158	15,97158

correlation attempt #"3-52" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & eccentricity & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-381,0015338	0	65535	#NUM!	-381,002	-381,002	-381,002	-381,002
Cements strengths (28d)	3,153731442	0	65535	#NUM!	3,153731	3,153731	3,153731	3,153731
Centroid	0,250249804	0	65535	#NUM!	0,25025	0,25025	0,25025	0,25025
Eccentricity	222,7782886	0	65535	#NUM!	222,7783	222,7783	222,7783	222,7783
Perimeter	1,011938374	0	65535	#NUM!	1,011938	1,011938	1,011938	1,011938

correlation attempt #"3-53" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & eccentricity & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0

Observations 5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-298,4382859	0	65535	#NUM!	-298,438	-298,438	-298,438	-298,438
Cements strengths (28d)	1,740965814	0	65535	#NUM!	1,740966	1,740966	1,740966	1,740966
Centroid	0,192342118	0	65535	#NUM!	0,192342	0,192342	0,192342	0,192342
Eccentricity	373,657863	0	65535	#NUM!	373,6579	373,6579	373,6579	373,6579
Solidity	-96,70972272	0	65535	#NUM!	-96,7097	-96,7097	-96,7097	-96,7097

correlation attempt # "3-54" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & euler number & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-257,9570222	0	65535	#NUM!	-257,957	-257,957	-257,957	-257,957
Cements strengths (28d)	3,972282794	0	65535	#NUM!	3,972283	3,972283	3,972283	3,972283
Centroid	0,207562718	0	65535	#NUM!	0,207563	0,207563	0,207563	0,207563
Euler number	-9,109547088	0	65535	#NUM!	-9,10955	-9,10955	-9,10955	-9,10955
Perimeter	1,589107295	0	65535	#NUM!	1,589107	1,589107	1,589107	1,589107

correlation attempt # "3-55" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & euler number & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	166,5349925	0	65535	#NUM!	166,535	166,535	166,535	166,535
Cements strengths (28d)	1,775856715	0	65535	#NUM!	1,775857	1,775857	1,775857	1,775857
Centroid	-0,014584949	0	65535	#NUM!	-0,01458	-0,01458	-0,01458	-0,01458
Euler number	-24,89604944	0	65535	#NUM!	-24,896	-24,896	-24,896	-24,896
Solidity	-247,4581059	0	65535	#NUM!	-247,458	-247,458	-247,458	-247,458

correlation attempt #"3-56" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & perimeter & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-502,9086848	0	65535	#NUM!	-502,909	-502,909	-502,909	-502,909
Cements strengths (28d)	5,239722936	0	65535	#NUM!	5,239723	5,239723	5,239723	5,239723
Centroid	0,335752267	0	65535	#NUM!	0,335752	0,335752	0,335752	0,335752
Perimeter	2,506096214	0	65535	#NUM!	2,506096	2,506096	2,506096	2,506096
Solidity	142,7948521	0	65535	#NUM!	142,7949	142,7949	142,7949	142,7949

correlation attempt #"3-57" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity & euler number & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	340,3375717	0	65535	#NUM!	340,3376	340,3376	340,3376	340,3376
Cements strengths (28d)	7,952426582	0	65535	#NUM!	7,952427	7,952427	7,952427	7,952427
Eccentricity	-1083,242511	0	65535	#NUM!	-1083,24	-1083,24	-1083,24	-1083,24
Euler number	-53,40402807	0	65535	#NUM!	-53,404	-53,404	-53,404	-53,404
Perimeter	4,395547344	0	65535	#NUM!	4,395547	4,395547	4,395547	4,395547

correlation attempt #"3-58" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity & euler number & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
--	-----------	-----------	-----------	----------	----------------------

Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	133,7620375	0	65535	#NUM!	133,762	133,762	133,762	133,762
Cements strengths (28d)	1,773397482	0	65535	#NUM!	1,773397	1,773397	1,773397	1,773397
Eccentricity	26,33672274	0	65535	#NUM!	26,33672	26,33672	26,33672	26,33672
Euler number	-23,14128815	0	65535	#NUM!	-23,1413	-23,1413	-23,1413	-23,1413
Solidity	-236,8328287	0	65535	#NUM!	-236,833	-236,833	-236,833	-236,833

correlation attempt #"3-59" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity & perimeter & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-24,20197944	0	65535	#NUM!	-24,202	-24,202	-24,202	-24,202
Cements strengths (28d)	-2,95157763	0	65535	#NUM!	-2,95158	-2,95158	-2,95158	-2,95158
Eccentricity	874,8088986	0	65535	#NUM!	874,8089	874,8089	874,8089	874,8089
Perimeter	-3,361183685	0	65535	#NUM!	-3,36118	-3,36118	-3,36118	-3,36118
Solidity	-417,9339698	0	65535	#NUM!	-417,934	-417,934	-417,934	-417,934

correlation attempt #"3-60" / 50x / 80 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & euler number & perimeter & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	138,6652679	0	65535	#NUM!	138,6653	138,6653	138,6653	138,6653
Cements strengths (28d)	1,920061524	0	65535	#NUM!	1,920062	1,920062	1,920062	1,920062
Euler number	-23,85959773	0	65535	#NUM!	-23,8596	-23,8596	-23,8596	-23,8596
Perimeter	0,104331722	0	65535	#NUM!	0,104332	0,104332	0,104332	0,104332
Solidity	-231,211418	0	65535	#NUM!	-231,211	-231,211	-231,211	-231,211

correlation attempt #"3-61" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & centroid & eccentricity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-136,0387041	0	65535	#NUM!	-136,039	-136,039	-136,039	-136,039
Cements strengths (28d)	1,624399661	0	65535	#NUM!	1,6244	1,6244	1,6244	1,6244
Area	0,001605264	0	65535	#NUM!	0,001605	0,001605	0,001605	0,001605
Centroid	-0,032180433	0	65535	#NUM!	-0,03218	-0,03218	-0,03218	-0,03218
Eccentricity	142,8742291	0	65535	#NUM!	142,8742	142,8742	142,8742	142,8742

correlation attempt #"3-62" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & centroid & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-2,971988317	0	65535	#NUM!	-2,97199	-2,97199	-2,97199	-2,97199
Cements strengths (28d)	0,746953674	0	65535	#NUM!	0,746954	0,746954	0,746954	0,746954
Area	0,000678818	0	65535	#NUM!	0,000679	0,000679	0,000679	0,000679
Centroid	0,017169006	0	65535	#NUM!	0,017169	0,017169	0,017169	0,017169
Euler number	0,525049836	0	65535	#NUM!	0,52505	0,52505	0,52505	0,52505

correlation attempt #"3-63" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & centroid & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-74,9641972	0	65535	#NUM!	-74,9642	-74,9642	-74,9642	-74,9642
Cements strengths (28d)	1,957514597	0	65535	#NUM!	1,957515	1,957515	1,957515	1,957515
Area	0,004600096	0	65535	#NUM!	0,0046	0,0046	0,0046	0,0046

Centroid	0,12457904	0	65535	#NUM!	0,124579	0,124579	0,124579	0,124579
Perimeter	-0,073999703	0	65535	#NUM!	-0,074	-0,074	-0,074	-0,074

correlation attempt # "3-64" / 50x / 110 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & area & centroid & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	327,1072628	0	65535	#NUM!	327,1073	327,1073	327,1073	327,1073
Cements strengths (28d)	2,826185749	0	65535	#NUM!	2,826186	2,826186	2,826186	2,826186
Area	0,003030112	0	65535	#NUM!	0,00303	0,00303	0,00303	0,00303
Centroid	0,083780752	0	65535	#NUM!	0,083781	0,083781	0,083781	0,083781
Solidity	-550,5035147	0	65535	#NUM!	-550,504	-550,504	-550,504	-550,504

correlation attempt # "3-65" / 50x / 110 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & area & eccentricity & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-49,26680525	0	65535	#NUM!	-49,2668	-49,2668	-49,2668	-49,2668
Cements strengths (28d)	1,05222311	0	65535	#NUM!	1,052223	1,052223	1,052223	1,052223
Area	0,001001135	0	65535	#NUM!	0,001001	0,001001	0,001001	0,001001
Eccentricity	49,70691762	0	65535	#NUM!	49,70692	49,70692	49,70692	49,70692
Euler number	0,342381421	0	65535	#NUM!	0,342381	0,342381	0,342381	0,342381

correlation attempt # "3-66" / 50x / 110 threshold - time t0
concrete strength --> cements strength & area & eccentricity & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-123,5009987	0	65535	#NUM!	-123,501	-123,501	-123,501	-123,501
Cements strengths (28d)	1,692783299	0	65535	#NUM!	1,692783	1,692783	1,692783	1,692783
Area	0,002220059	0	65535	#NUM!	0,00222	0,00222	0,00222	0,00222
Eccentricity	113,5442339	0	65535	#NUM!	113,5442	113,5442	113,5442	113,5442
Perimeter	-0,01519106	0	65535	#NUM!	-0,01519	-0,01519	-0,01519	-0,01519

correlation attempt #"3-67" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & eccentricity & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
Regression Statistics	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	-7,510887106	0	65535	#NUM!	-7,51089	-7,51089	-7,51089	-7,51089
Cements strengths (28d)	1,957907785	0	65535	#NUM!	1,957908	1,957908	1,957908	1,957908
Area	0,002000674	0	65535	#NUM!	0,002001	0,002001	0,002001	0,002001
Eccentricity	103,2251464	0	65535	#NUM!	103,2251	103,2251	103,2251	103,2251
Solidity	-152,770444	0	65535	#NUM!	-152,77	-152,77	-152,77	-152,77

correlation attempt #"3-68" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & euler number & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
Regression Statistics	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	8,535639385	0	65535	#NUM!	8,535639	8,535639	8,535639	8,535639
Cements strengths (28d)	0,553451007	0	65535	#NUM!	0,553451	0,553451	0,553451	0,553451
Area	5,20192E-05	0	65535	#NUM!	5,2E-05	5,2E-05	5,2E-05	5,2E-05
Euler number	0,608976668	0	65535	#NUM!	0,608977	0,608977	0,608977	0,608977
Perimeter	0,011828517	0	65535	#NUM!	0,011829	0,011829	0,011829	0,011829

correlation attempt #"3-69" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & euler number & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-88,04906753	0	65535	#NUM!	-88,0491	-88,0491	-88,0491	-88,0491
Cements strengths (28d)	0,211036946	0	65535	#NUM!	0,211037	0,211037	0,211037	0,211037
Area	7,27778E-05	0	65535	#NUM!	7,28E-05	7,28E-05	7,28E-05	7,28E-05
Euler number	0,660380082	0	65535	#NUM!	0,66038	0,66038	0,66038	0,66038
Solidity	141,890867	0	65535	#NUM!	141,8909	141,8909	141,8909	141,8909

correlation attempt #"3-70" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & area & perimeter & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	1152,775446	0	65535	#NUM!	1152,775	1152,775	1152,775	1152,775
Cements strengths (28d)	4,610033158	0	65535	#NUM!	4,610033	4,610033	4,610033	4,610033
Area	-0,000193908	0	65535	#NUM!	-0,00019	-0,00019	-0,00019	-0,00019
Perimeter	0,151961048	0	65535	#NUM!	0,151961	0,151961	0,151961	0,151961
Solidity	-1680,982253	0	65535	#NUM!	-1680,98	-1680,98	-1680,98	-1680,98

correlation attempt #"3-71" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & eccentricity & euler number

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	94,52751923	0	65535	#NUM!	94,52752	94,52752	94,52752	94,52752

Cements strengths (28d)	0,104038944	0	65535	#NUM!	0,104039	0,104039	0,104039	0,104039
Centroid	0,053327906	0	65535	#NUM!	0,053328	0,053328	0,053328	0,053328
Eccentricity	-104,6855849	0	65535	#NUM!	-104,686	-104,686	-104,686	-104,686
Euler number	0,909759867	0	65535	#NUM!	0,90976	0,90976	0,90976	0,90976

correlation attempt #"3-72" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & eccentricity & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-168,7753314	0	65535	#NUM!	-168,775	-168,775	-168,775	-168,775
Cements strengths (28d)	1,445846284	0	65535	#NUM!	1,445846	1,445846	1,445846	1,445846
Centroid	-0,116205286	0	65535	#NUM!	-0,11621	-0,11621	-0,11621	-0,11621
Eccentricity	219,4564337	0	65535	#NUM!	219,4564	219,4564	219,4564	219,4564
Perimeter	0,039664679	0	65535	#NUM!	0,039665	0,039665	0,039665	0,039665

correlation attempt #"3-73" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & eccentricity & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-657,8288855	0	65535	#NUM!	-657,829	-657,829	-657,829	-657,829
Cements strengths (28d)	0,270441675	0	65535	#NUM!	0,270442	0,270442	0,270442	0,270442
Centroid	-0,162824792	0	65535	#NUM!	-0,16282	-0,16282	-0,16282	-0,16282
Eccentricity	303,8394005	0	65535	#NUM!	303,8394	303,8394	303,8394	303,8394
Solidity	620,2090686	0	65535	#NUM!	620,2091	620,2091	620,2091	620,2091

correlation attempt #"3-74" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & euler number & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	9,490679367	0	65535	#NUM!	9,490679	9,490679	9,490679	9,490679
Cements strengths (28d)	0,537391851	0	65535	#NUM!	0,537392	0,537392	0,537392	0,537392
Centroid	-0,001424889	0	65535	#NUM!	-0,00142	-0,00142	-0,00142	-0,00142
Euler number	0,615941916	0	65535	#NUM!	0,615942	0,615942	0,615942	0,615942
Perimeter	0,012810188	0	65535	#NUM!	0,01281	0,01281	0,01281	0,01281

correlation attempt #"3-75" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & euler number & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-98,26575688	0	65535	#NUM!	-98,2658	-98,2658	-98,2658	-98,2658
Cements strengths (28d)	0,146680074	0	65535	#NUM!	0,14668	0,14668	0,14668	0,14668
Centroid	-0,002061782	0	65535	#NUM!	-0,00206	-0,00206	-0,00206	-0,00206
Euler number	0,676631546	0	65535	#NUM!	0,676632	0,676632	0,676632	0,676632
Solidity	158,9301792	0	65535	#NUM!	158,9302	158,9302	158,9302	158,9302

correlation attempt #"3-76" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & centroid & perimeter & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	1103,115822	0	65535	#NUM!	1103,116	1103,116	1103,116	1103,116
Cements strengths (28d)	4,502744064	0	65535	#NUM!	4,502744	4,502744	4,502744	4,502744
Centroid	0,005038974	0	65535	#NUM!	0,005039	0,005039	0,005039	0,005039
Perimeter	0,142821386	0	65535	#NUM!	0,142821	0,142821	0,142821	0,142821
Solidity	-1612,989868	0	65535	#NUM!	-1612,99	-1612,99	-1612,99	-1612,99

correlation attempt #"3-77" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity & euler number & perimeter

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	11,70368097	0	65535	#NUM!	11,70368	11,70368	11,70368	11,70368
Cements strengths (28d)	0,52611426	0	65535	#NUM!	0,526114	0,526114	0,526114	0,526114
Eccentricity	-2,724341216	0	65535	#NUM!	-2,72434	-2,72434	-2,72434	-2,72434
Euler number	0,623588244	0	65535	#NUM!	0,623588	0,623588	0,623588	0,623588
Perimeter	0,012476815	0	65535	#NUM!	0,012477	0,012477	0,012477	0,012477

correlation attempt #"3-78" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity & euler number & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-91,08937176	0	65535	#NUM!	-91,0894	-91,0894	-91,0894	-91,0894
Cements strengths (28d)	0,145092834	0	65535	#NUM!	0,145093	0,145093	0,145093	0,145093
Eccentricity	-3,896733791	0	65535	#NUM!	-3,89673	-3,89673	-3,89673	-3,89673
Euler number	0,685309331	0	65535	#NUM!	0,685309	0,685309	0,685309	0,685309
Solidity	153,0142873	0	65535	#NUM!	153,0143	153,0143	153,0143	153,0143

correlation attempt #"3-79" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & eccentricity & perimeter & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)	
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-91,08937176	0	65535	#NUM!	-91,0894	-91,0894	-91,0894	-91,0894
Cements strengths (28d)	0,145092834	0	65535	#NUM!	0,145093	0,145093	0,145093	0,145093
Eccentricity	-3,896733791	0	65535	#NUM!	-3,89673	-3,89673	-3,89673	-3,89673
Perimeter	0,012476815	0	65535	#NUM!	0,012477	0,012477	0,012477	0,012477
Solidity	153,0142873	0	65535	#NUM!	153,0143	153,0143	153,0143	153,0143

Intercept	1050,255369	0	65535	#NUM!	1050,255	1050,255	1050,255	1050,255
Cements strengths (28d)	4,375697813	0	65535	#NUM!	4,375698	4,375698	4,375698	4,375698
Eccentricity	9,120722772	0	65535	#NUM!	9,120723	9,120723	9,120723	9,120723
Perimeter	0,13853414	0	65535	#NUM!	0,138534	0,138534	0,138534	0,138534
Solidity	-1545,953176	0	65535	#NUM!	-1545,95	-1545,95	-1545,95	-1545,95

correlation attempt #"3-80" / 50x / 110 threshold - time t0

concrete strength --> cements strength & euler number & perimeter & solidity

SUMMARY OUTPUT

Concrete strength (28d)

Regression Statistics

Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	5

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>
Regression	4	562,732	140,683	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	4	562,732			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	250,5685086	0	65535	#NUM!	250,5685	250,5685	250,5685	250,5685
Cements strengths (28d)	1,41151084	0	65535	#NUM!	1,411511	1,411511	1,411511	1,411511
Euler number	0,480164185	0	65535	#NUM!	0,480164	0,480164	0,480164	0,480164
Perimeter	0,041469749	0	65535	#NUM!	0,04147	0,04147	0,04147	0,04147
Solidity	-355,5661632	0	65535	#NUM!	-355,566	-355,566	-355,566	-355,566