



**Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.**

**ΣΧΟΛΗ: Σ.Τ.ΕΦ.**

**ΤΜΗΜΑ: ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: Χανούμης Δημήτριος & Μόνος Συμεών**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρίβας Δημήτριος**

**ΘΕΜΑ: ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ  
ΚΑΝΟΝΙΚΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΟΥ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ.**



**Αθήνα, 2017**

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η Μόνος Σπυριών, του  
Χοράλημπος φοιτητής του Τμήματος ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

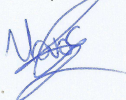
του Α.Ε.Ι Πειραιά Τ.Τ, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

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

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

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

Ο Δηλών



Ημερομηνία

6/7/2017

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/ή ΧΑΝΟΥΜΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ του ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ  
φοιτητής/τριας του Τμήματος ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

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

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

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

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονεμίσει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού 6μήνου από την ημερομηνία ανάθεσής της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18. παρ.5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού».

Ο Δηλών



Ημερομηνία

6/7/2017

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	<u>Σελ.</u>
Ευχαριστίες.	4
I.Περίληψη.	5
II.Εισαγωγή	6

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

A. Τσιμέντο- Εισαγωγικές έννοιες	7
B. Διαδικασία παραγωγής	8
Γ. Κατηγορίες Τσιμέντου	9-10
Δ. Ιδιότητες Τσιμεντοπολτού	11
E. Συστατικά μέρη Τσιμεντοκονιάματος	12-13

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

A. Πυρκαγιά-Εισαγωγικές έννοιες	14
B. Οι τρεις φάσεις μιας τυπικής πυρκαγιάς	
B1. Η επώαση	15-16
B2. Η πλήρης ανάπτυξη	16-17
B3. Η απόσβεση	17-18
Γ. Η επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών στις ιδιότητες του Τσιμέντου	19-20
Δ. Χαρακτηριστικές βλάβες λόγω πυρκαγιάς	21-23
E. Επισκευές-Ενισχύσεις βλαβών λόγω πυρκαγιάς	24

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

A. Διαδικασία προετοιμασίας & δημιουργίας δοκιμίων	
A1. Υπολογισμός απαιτούμενων ποσοτήτων άμμου	25-28
A2. Εργαστηριακός εξοπλισμός για τη δημιουργία κονιάματος	29-32
A3. Δημιουργία δοκιμίων τσιμέντου	33-38
B. Τοποθέτηση δοκιμίων στους φούρνους	
B1. Ζύγιση δοκιμίων προ της τοποθέτησης στους φούρνους	39
B2. Τοποθέτηση δοκιμίων στους φούρνους	39-40
B3. Επανάληψη διαδικασίας ζύγισης μετά την έξοδο τους από τους φούρνους	40
Γ. Έλεγχος αντοχής δοκιμίων σε κάμψη	
Γ1. Κάμψη-Εισαγωγικές έννοιες	41-42
Γ2. Τοποθέτηση δοκιμίων στη μηχανή δοκιμής αντοχής σε κάμψη	43-44
Δ. Έλεγχος αντοχής δοκιμίων σε θλίψη	
Δ1. Θλίψη -Εισαγωγικές έννοιες	45-46
Δ2. Τοποθέτηση δοκιμίων στη μηχανή δοκιμής αντοχής σε θλίψη	46-48

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

A. Αποτελέσματα ζύγισης δοκιμών κατά το Β' Μέρος του πειράματος (τοποθέτηση δοκιμίων στους φούρνους)	49-51
B. Αποτελέσματα αντοχής σε κάμψη δοκιμίων (ανακυκλώσιμου κονιάματος & χαλαζιακής άμμου) κατά το Γ' Μέρος του πειράματος (Έλεγχος αντοχής δοκιμίων σε κάμψη)	52-54

Γ. Αποτελέσματα αντοχής σε θλίψη δοκιμίων (ανακυκλώσιμου κονιάματος & χαλαζιακής άμμου) κατά το Δ' Μέρος του πειράματος (Έλεγχος αντοχής δοκιμίων σε θλίψη)	55-57
---	-------

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων-Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα	58-59
--	-------

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

60

### ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σε αυτό το σημείο θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους εκείνους που με τον τρόπο τους και τη βοήθειά τους συνέβαλαν τα μέγιστα στην εκπόνηση της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας.

Αρχικά θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον υπεύθυνο καθηγητή κύριο Δημήτριο Δρίβα ο οποίος ήταν δίπλα μας όλο αυτό το χρονικό διάστημα , βοηθώντας μας να ξεπεράσουμε τα προβλήματα που προέκυπταν, δίνοντας μας πάντα μια μικρή ωθήση να φτάσουμε μόνοι μας στη λύση και ποτέ έτοιμη την απάντηση.

Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κύριο Χρόνη, τον κύριο Φουντουκίδη και την κυρία Πανταζοπούλου που μας βοήθησαν στο κομμάτι χρήσης των ειδικών φούρνων για το κάψιμο των δοκιμίων.

Το πειραματικό μέρος της εργασίας εκπονήθηκε στα ακόλουθα εργαστήρια :

- Εργαστήριο οπλισμένου σκυροδέματος
- Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου Τεχνολογίας Υλικών
- Εργαστήριο Χημείας

### **Περίληψη:**

Στην παρακάτω πτυχιακή εργασία παρουσιάζεται αρχικά η δημιουργία δοκιμίων τσιμέντου. Σε επόμενο στάδιο μελετήθηκε η αντοχή των συγκεκριμένων δοκιμίων στη φωτιά , σε διάφορες θερμοκρασίες. Τέλος, τα συγκεκριμένα δοκίμια υποβλήθηκαν σε μηχανές κάμψης και θλίψης από όπου προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα για τις μηχανικές αντοχές των δοκιμίων έπειτα από την μεταβολή της θερμοκρασίας που υπέστησαν.



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### Θέμα

Διερεύνηση της επίδρασης της θερμοκρασίας στην αντοχή κανονικού και ανακυκλώσιμου κονιάματος τσιμέντου.

### Σκοπός

Σκοπός αυτής της πτυχιακής είναι η διερεύνηση της επίδρασης των μεγάλων θερμοκρασιών, σε δοκίμια τσιμέντου που κατασκευάζονται (μία παρτίδα από πρότυπη/χαλαζιακή άμμο και μια παρτίδα ανακυκλώσιμου υλικού από χαλαζιακό κονίαμα), στην αντοχή αυτών των δοκιμίων τσιμέντων κατά τον έλεγχο τους σε θλίψη και κάμψη, αλλά και οι διαφοροποιήσεις που παρουσιάζουν αυτές οι δύο παρτίδες δοκιμίων μεταξύ τους, λόγω της διαφορετικής άμμου που χρησιμοποιήθηκε.

Κατ' επέκταση λοιπόν μπορούν να βγουν ασφαλή συμπεράσματα για τις αντοχές που έχουν τα δομήματα που κατασκευάζονται, τα οποία έχουν ως κύρια πρώτη ύλη το τσιμεντοκονίαμα, μετά την πυρκαγιά την οποία υπέστησαν.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### Α' Μέρος: Τσιμέντο- Εισαγωγικές έννοιες

Το τσιμέντο είναι υδραυλικό συνθετικό υλικό. Δηλαδή είναι λεπτά διαμερισμένο ανόργανο υλικό που σε ανάμειξη με νερό σχηματίζει παχύρρευστο μείγμα, το οποίο σταδιακά στερεοποιείται μέσω αντιδράσεων και διεργασιών ενυδάτωσης.

#### Ορισμός:

Ο όρος τσιμέντο αναφέρεται στην συνδετική σκονη συνήθως προς τις ανάμειξης με νερό, χωρίς άλλα αδρανή πρόσθετα όπως για παράδειγμα αμμος και χαλίκι ενώ το σκυρόδεμα αναφέρεται στο μίγμα τσιμέντου με ποσότητα από άλλα αδρανή υλικά. Η χημική αντίδραση του τσιμέντου με το νερό παράγει προϊόντα που ελέγχουν χαρακτηριστικά πήξης και σκλήρυνσης. Η κυριότερη χρήση του τσιμέντου είναι στην αντίδραση μεταξύ αυτού και του νερού. Έχει αποδειχτεί πειραματικά ότι όσο περισσότερο τσιμέντο περιέχεται στην μονάδα όγκου του σκυροδέματος, εφόσον και οι λοιποί παράγοντες παραμένουμε σταθεροί, τόσο είναι μεγαλύτερη η αντοχή του σκυροδέματος. Φυσικά η αύξηση αυτή της αντοχής δεν είναι απεριόριστη, αλλά σταματά την αντοχή του λιγότερο ανθεκτικού υλικού του σκυροδέματος.



## Β' Μέρος: Διαδικασία παραγωγής

Από το λατομείο μέχρι το τελικό προϊόν.

### Βήμα 1: εξόρυξη και προετοιμασία πρώτων υλών

Οι πρώτες ύλες που απαιτούνται για την παραγωγή τσιμέντου, εξορύσσονται από τα λατομεία (ασβεστόλιθου, αργίλου, σχιστόλιθου, κ.α.) μετά από γεωλογικές έρευνες και χημικές αναλύσεις, σε συγκεκριμένες ποσότητες και αναλογίες.

Στη συνέχεια συνθλίβονται και μεταφέρονται για να αποθηκευτούν στο εργοστάσιο.

### Βήμα 2: Άλεση πρώτων υλών και έψηση

Τα υλικά αρχικά αλέθονται σε μια πολύ λεπτή πούδρα, ένα μείγμα φαρίνας όπως συνήθως αποκαλείται.

Το μίγμα υλικών ομογενοποιείται, προθερμαίνεται και οδηγείται στην κάμινο, η οποία θερμαίνεται με φλόγα που μπορεί να φθάσει τους 2.000°C. Το μείγμα ψήνεται σε θερμοκρασία 1.500°C. Σε αυτή τη θερμοκρασία και μετά από χημικές αντιδράσεις προκύπτει το κλίνκερ, η βάση για την παρασκευή κάθε είδους τσιμέντου.

Στη συνέχεια το κλίνκερ ψύχεται απότομα με ροή αέρα και αποθηκεύεται.

### Βήμα 3: Άλεση τσιμέντου και διανομή

Κλίνκερ μαζί με γύψο αλέθονται σε λεπτή σκόνη, το γνωστό σε όλους τσιμέντο. Σε αυτό το στάδιο μπορούν να προστεθούν μαζί με γύψο και άλλα υλικά, τα οποία ονομάζονται πρόσθετα. Χρησιμοποιώντας τα πρόσθετα σε διάφορες αναλογίες έχουμε συγκεκριμένους τύπους τσιμέντου.

Το τσιμέντο αποθηκεύεται σε σιλό μέχρι να αποσταλεί στους πελάτες.

### Γ' Μέρος: Κατηγορίες Τσιμέντου

#### Κατηγορίες από χημική άποψη:

Ανάλογα με την σύνθεση τους, το βαθμό άλεσης αλλά και τα πρόσθετα υλικά, τα τσιμέντα κατατάσσονται σε διάφορους τύπους και κατηγορίες αντοχών. Σύμφωνα με τον ελληνικό κανονισμό τσιμέντων (EN 196 – 1) τα τσιμέντα χωρίζονται στους εξής τύπους:

#### Από άποψη συνθέσης σε:

- Τύπος I. (Τσιμέντο Πόρτλαντ) χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από την άλεση του κλίνκερ με προσθήκη γύψου 2-3% και filler <3% κ.β.
- Τύπος II (Τσιμέντο Πόρτλαντ με ποζολάνες) χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα εκείνα που περιέχουν ποζολάνες. Το αδιάλυτο υπόλειμμα ανέρχεται σε ποσοστό 20%κ.β.
- Τύπος III (ποζολανικά τσιμέντα Πόρτλαντ) περιέχουν ποζολάνη σε ποσοστό μεγαλύτερο από εκείνα του τύπου II. Το αδιάλυτο υπόλειμμα ανέρχεται σε ποσοστό 20 με 40 %. Παρουσιάζουν χαμηλότερη θερμότητα ενυδάτωσης, και ενδείκνυνται σε ογκώδη έργα (π.χ. υπερχειλιστές ΔΕΗ, φράγματα κλπ)
- Τύπος IV (Τσιμέντο Πόρτλαντ ανθεκτικό στα θειικά άλατα) δεν περιέχουν ποζολάνες αλλά το αργιλικό τρίασβεστιο πρέπει να είναι μικρότερο του 3,5% και η περιεκτικότητα σε τριοξείδιο του θείου να μην υπερβαίνει το 2,5%. Χρησιμοποιείται στην παρασκευή σκυροδέματος για κατασκευές που βρίσκονται σε πολύ διαβρωτικό περιβάλλον (μονάδες βιολογικού καθαρισμού, σωλήνες αποχέτευσης).

#### Κατηγορίες από άποψη αντοχής:

- κατηγορία 35 (με αντοχή σε θλίψη 28 ημερών από 25 – 45 Mpa)
- Κατηγορία 45 (με αντοχή σε θλίψη 28 ημερών από 35 – 55 Mpa)
- Κατηγορία 55 (με αντοχή σε θλίψη 28 ημερών άνω των 45 Mpa)

Θεωρητικά οι τύποι των τσιμέντων θα ήταν 27. Οι παραγόμενοι όμως τύποι στην Ελλάδα είναι λιγότεροι γιατί είτε δεν είναι όλοι οι συνδυασμοί πρακτικά εφικτή, είτε δεν είναι απαραίτητοι στην πράξη. Έτσι ένα ποζολανικό τσιμέντο για να επιτύχει αντοχή 55 ή και 45 Mpa θα χρειαζόταν υπερβολική λεπτότητα.



### Δ' Μέρος: Ιδιότητες Τσιμεντοπολτού

Μια πρώτη ιδιότητα του τσιμεντοπολτού που βρίσκεται σε πλαστική μορφή, η μείωση της ρευστότητας, σχετίζεται με το φαινόμενο της μείωσης της κάθσης. Σημειώνεται ότι η πλαστικότητα του τσιμεντοπολτού σε ελεύθερο νερό, η σταδιακή απώλεια του οποίου, λόγω των αρχικών αντιδράσεων ενυδάτωσης, της προσρόφησης του στις επιφανείες των ελάχιστων κρυσταλλικών προϊόντων ενυδάτωσης και της εξάτμισης, προκαλεί μείωση της ρευστότητας και εν τέλη πήξη και σκλήρυνση. Μία δεύτερη ιδιότητα είναι η πήξη, που σημαίνει στερεοποίηση του πλαστικού τσιμεντοπολτού. Η αρχική στερεοποίηση ονομάζεται αρχική πήξη και συμπίπτει χρονικά με το σημείο που ο τσιμεντοπολτός παύει να είναι επεξεργάσιμος. Το τελευταίο στάδιο της στερεοποίησης ονομάζεται τελική πήξη. Οι χρόνοι αρχικής και τελικής πήξης είναι περίπου 2-4 ώρες και 5-8 ώρες, αντίστοιχα και προσδιορίζεται με την συσκευή Vicat, σύμφωνα με το πρότυπο EM196 – 3. Η συσκευή αυτή μετράει την αντίσταση του τσιμεντοπολτού ορισμένης ρευστότητας στην διείσδυση τυποποιημένης βελόνας που φέρει βάρος 300 g. Η αρχική πήξη θεωρείται (αυθαίρετα) ότι έχει επέλθει όταν η διείσδυση σε στρώση τσιμεντοπολτού πάχους 40 mm φθάσει τα 35 mm. Η τελική πήξη ταυτίζεται με την χρονική στιγμή κατά την οποία η βελόνα σημαδεύει την άνω επιφάνεια της στρώσης χωρίς όμως να διεισδύει. Μια τρίτη ιδιότητα είναι η σκλήρυνση, που σχετίζεται με το φαινόμενο της αύξησης της αντοχής με το χρόνο λόγω της σταδιακής πληρώσης των πόρων του τσιμεντοπολτού με προϊόντα ενυδάτωσης.



## Ε' Μέρος: Συστατικά μέρη Τσιμεντοκονιάματος

Για να δημιουργηθεί μια κατασκευή από τσιμέντο , εκτός από το τσιμέντο χρειάζονται και άλλα υλικά όπως αυτά παρουσιάζονται και αναλύονται από κάτω.

### Νερό :

Τσιμέντο με νερό μας δίνει κάτι που ονομάζεται τσιμεντόπαστα, η οποία πήζει, σκληρύνεται και αποκτά μηχανικές αντοχές αποτελώντας το συνδετικό υλικό του τσιμεντοκονιάματος και του σκυροδέματος . Τσιμέντο , άμμος και νερό είναι το τσιμεντοκονίαμα. Μαζί τσιμέντο , άμμος , χαλίκια και νερό είναι το σκυρόδεμα ή μπετόν . Αν υπάρχει μέσα και σιδερένιος οπλισμός , τότε έχουμε το οπλισμένο σκυρόδεμα.

### Χαλαζιακή άμμος :

Η χαλαζιακή άμμος προέρχεται από τον χαλαζίτη που, είναι ορυκτό του πυριτίου. Ο χαλαζίτης είναι το μοναδικό ορυκτό που αποτελείται από πυρίτιο και οξυγόνο. Τα ιόντα του είναι πολύ ισχυρά συνδεδεμένα και για αυτό παρουσιάζει μεγάλη σκληρότητα. Στην οικοδομική χρησιμοποιείται υπό μορφή κόνεως δηλαδή χαλαζιακής άμμου. Οι χρήσεις της ποικίλουν.

Η προσθήκη της στη σύνθεση των κονιαμάτων μπορεί να βελτιώνει την αντοχή τους, ενώ χρησιμοποιείται ως σκληρυντικό σε βιομηχανικά δάπεδα, ως βάση σε γήπεδα γκολφ, σε εργασίες αμμοβολής αλλά και σε διακοσμητικές εφαρμογές. Διατίθεται σε διάφορες κοκκομετρίες και διάφορους χρωματισμούς.

### Ανακυλώσιμα αδρανή :

Τα αδρανή υλικά, προέρχονται από την ανακύκλωση δοκιμίων παρασκευασμένα με χαλαζιακή άμμο.

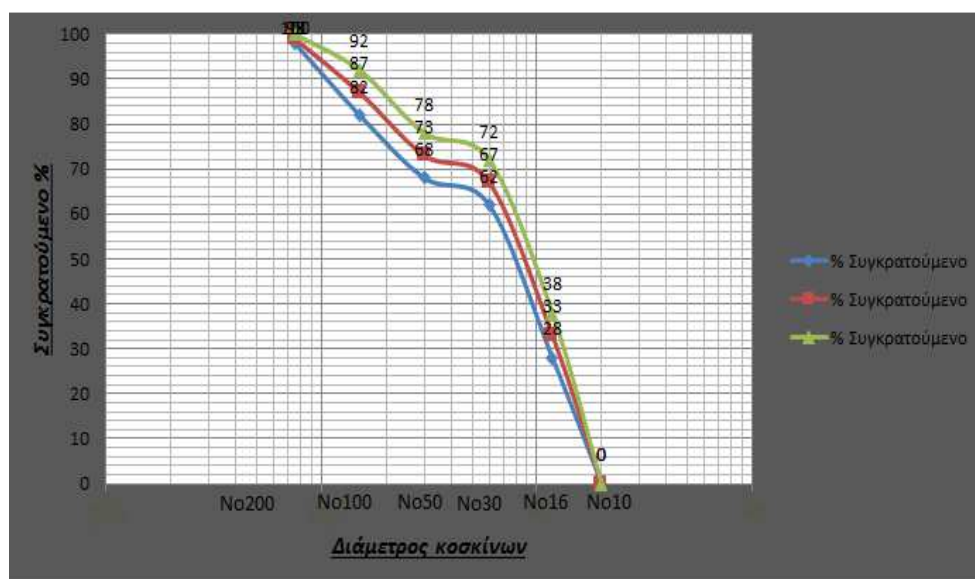
### Υπερρρευστοποιητής:

Ο υπερρρευστοποιητής είναι σε μια κατηγορία μίξεων αποκαλούμενων ως ρευστοποιητές που χρησιμοποιούνται για να μειώσουν την απαίτηση νερού του μίγματος του σκυροδέματος. Οι υπερρρευστοποιητές είναι γραμμικά πολυμερή σώματα που περιέχουν οργανικά σουλφονικά του τύπου RSO- 3, όπου το R είναι μία σύνθετη οργανική ομάδα , με επί το πλείστον υψηλό μοριακό βάρος, τα οποία συνδέονται σε τακτά διαστήματα με την πολυμερή σπονδυλική στήλη (Verbeck 1968) . Επιπλέον, χαρακτηρίζονται ως υδατοδιαλυτές οργανικές ενώσεις που από ρεολογικής απόψεως κατατάσσονται στα ιξωδοελαστικά πολυμερή .

Όσον αφορά την άμμο, που αποτελεί, όπως ειπώθηκε και πιο πάνω, μέρος του κονιάματος, τα όρια που πρέπει να κυμαίνεται η κοκκομετρική κατανομή της σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ EN 196-1, δίνονται παρακάτω:

<b>Άνοιγμα βρόγχου τετραγ. πλέγματος κόσκινων (κόσκινα)</b> <b>(mm)</b>	<b>Αθροιστικό Υπόλειμμα</b> <b>(%)</b>
2,00 (No10)	0
1,00 (No16)	33+-5
0,50 (No30)	67+-5
0,30 (No50)	73+-5
0,16 (No100)	87+-5
0,08 (No200)	99+-1

Ακολουθεί η κοκκομετρική καμπύλη





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.

### Α Μέρος: Πυρκαγιά-Εισαγωγικές Έννοιες

Η πυρκαγιά αποτελεί μια δράση τυχηματική, όπου εξαιτίας της μειώνονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών, συμβαίνει ανακατανομή της έντασης, παρουσιάζονται βλάβες και ενίοτε ακόμη και μερική ή ολική κατάρρευση του εκάστοτε οικοδομήματος.

Από κανονιστική πλευρά, ο σχεδιασμός της πυρκαγιάς αντιμετωπίζεται από τους Ευρωπαϊκούς κανονισμούς κατασκευαστικών διατάξεων, οι οποίες εξασφαλίζουν την απαραίτητη φέρουσα ικανότητα έναντι της πυρκαγιάς, ανάλογα με την αναμενόμενη διάρκεια της φωτιάς και τις ταυτόχρονες κατακόρυφες δράσεις που παραλαμβάνει ο φορέας.

Η πειραματική και θεωρητική έρευνα γύρω από τα αντικείμενα της συμπεριφοράς των δομικών υλικών και των δομημάτων έναντι υψηλών θερμοκρασιών έχει δώσει σημαντικά αποτελέσματα. Παρά ταύτα, η πολυπλοκότητα και οι μεγάλες και πολλές αβεβαιότητες, οι οποίες σχετίζονται με αυτό, δεν επιτρέπουν ακόμα τον πλήρη και λεπτομερή υπολογιστικό χειρισμό της δράσεως της πυρκαγιάς.

Σε ό,τι αφορά την αποτίμηση κτηρίων, που έχουν εκτεθεί σε πυρκαγιά, καθώς και τον ανασχεδιασμό τους μετά από κατάλληλες επεμβάσεις, η διεθνής βιβλιογραφία θεωρείται ελλιπή, ενώ δεν διατίθενται αρμόδια κείμενα Κανονισμών ή Συστάσεων.

Οι καταστρεπτικές πυρκαγιές του Αυγούστου του 2007, εκτός από, τις επώδυνες απώλειες σε ανθρώπινες ζωές, την ολοσχερή καταστροφή σε ορισμένες περιπτώσεις του φυσικού περιβάλλοντος των πληγεισών περιοχών, τις απώλειες σε καλλιέργειες και ζωικό κεφάλαιο, προκάλεσαν και μεγάλης έκτασης βλάβες σε σημαντικό πλήθος κτηρίων διαφορετικής μορφής, τρόπου δόμησης και δομικών υλικών. Έτσι, τέθηκε οξύ το θέμα της αποτίμησης και των επεμβάσεων στα κτήρια αυτά, που είναι σχεδόν στο σύνολό τους ολιγοώροφα κτήρια, με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα ή/και φέρουσα ή μη τοιχοποιία. Είναι προφανές ότι η αποκατάσταση ή, όπου απαιτείται, η ανακατασκευή των εστιών τους, αποτελεί για τους κατοίκους των πληγεισών περιοχών απαραίτητη προϋπόθεση για την επάνοδό τους στην ομαλή καθημερινή ζωή.



*B' Μέρος: Οι τρεις φάσεις μιας τυπικής πυρκαγιάς.*

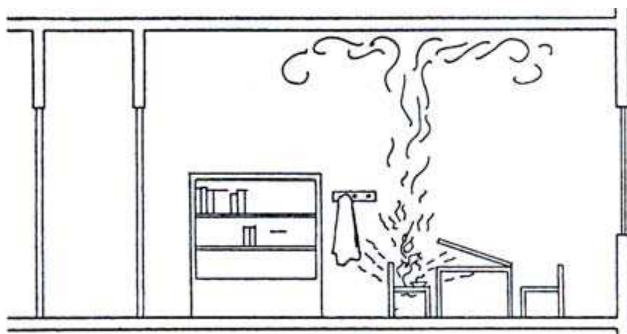
*B'1. Η Επώαση.*

Μια πυρκαγιά(εσωτερική, ενδο-οικιακή) εκδηλώνεται σε ένα πυροδιαμέρισμα όταν η καύσιμη ύλη που βρίσκεται μέσα σε αυτό αποκτήσει ένα ικανό ποσό θερμικής ενέργειας. Αυτό μπορεί να γίνει από ένα αναμμένο τσιγάρο ή μία αναμμένη εστία κουζίνας, ένα βραχυκύκλωμα ή ακόμη και από αυτανάφλεξη του καύσιμου υλικού, υπό ορισμένες προϋποθέσεις.

Καταλυτικοί παράγοντες για τη διαδικασία της ανάφλεξης είναι:

- Τα χαρακτηριστικά της πηγής ενέργειας.
- Το είδος και οι γεωμετρικές διαστάσεις των εκτεθειμένων καύσιμων υλικών.
- Ο χρόνος εκθέσεως στην πηγή ενέργειας.

Μετά την αρχική έναυση, η φωτιά παράγει θερμική ενέργεια, ένα μέρος της οποίας χρησιμεύει για τη διατήρηση της καύσεως. Το υπόλοιπο ποσό μεταφέρεται μέσω ακτινοβολίας και μεταφοράς σε άλλα υλικά που θερμαινόμενα αναφλέγονται, συνεισφέροντας έτσι στην εξάπλωση της φωτιάς.



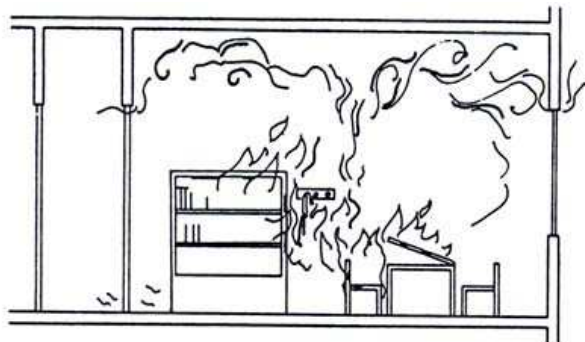
Μετά την αρχική ανάφλεξη, ένα στρώμα θερμών αερίων αρχίζει να δημιουργείται στην οροφή, ενώ αρχίζουν να θερμαίνονται η βιβλιοθήκη και το τραπέζι, δια μεταφοράς και ακτινοβολίας θερμότητας από την αρχική πηγή.

Η διαδικασία ανάπτυξης και εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς σε ένα πυροδιαμέρισμα εξαρτάται από:

- Το μέγεθος, τον όγκο, το ύψος, την κατανομή, τη στοίβαξη και τις ιδιότητες καύσεως του καύσιμου υλικού.
- Τα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά του πυροδιαμερισματος.
- Το μέγεθος και το σχήμα του πυροδιαμερισματος.
- Τα συστήματα κατασβέσεως(εφόσον υπάρχουν).

Κατά το στάδιο της επώασης, ένα στρώμα υπέρθερμων αερίων συγκεντρώνεται κάτω από την οροφή και, υπό ορισμένες συνθήκες, μπορεί να προκαλέσει απότομη εξάπλωση της πυρκαγιάς σε μεγάλα μέρη του καύσιμου υλικού. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «φούντωμα» (flash-over), σημειώνει δε τη μετάβαση

από το στάδιο της επώασης στο στάδιο της πλήρους ανάπτυξης.



«Φούντωμα»: Το στρώμα των θερμών αερίων που συσσωρεύεται στην οροφή προκαλεί την ανάφλεξη ενός μεγάλου μέρους της καύσιμης ύλης μέσα στο πυροδιαμέρισμα. Αρχίζουν τα πρώτα φαινόμενα εξάπλωσης της φωτιάς εκτός του πυροδιαμερίσματος, συνήθως δια μέσω των ανοιγμάτων.

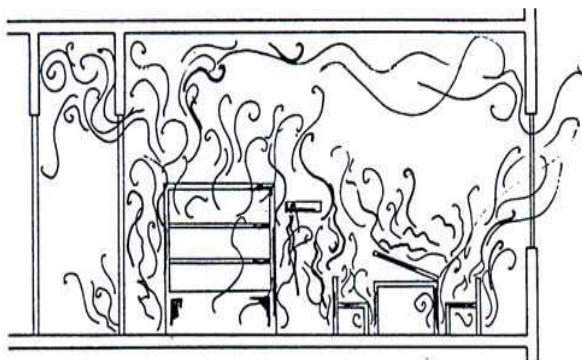
### *B'2.H πλήρης ανάπτυξη.*

Αυτό το στάδιο είναι αποφασιστικής σημασίας για τη συμπεριφορά των φερόντων μελών της κατασκευής, αλλά και για την εξάπλωση της πυρκαγιάς από πυροδιαμέρισμα σε πυροδιαμέρισμα, από όροφο σε όροφο ή από κτήριο σε κτήριο.

Τα χαρακτηριστικά του σταδίου αυτού εξαρτώνται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- Ποσόν και είδος του καύσιμου υλικού στο πυροδιαμέρισμα.
- Πορώδες και σχήμα των κόκκων του καύσιμου υλικού.
- Στοιβάξη του καύσιμου υλικού στο πυροδιαμέρισμα.
- Ποσόν αέρος, το οποίο διοχετεύεται μέσα στο πυροδιαμέρισμα στη μονάδα του χρόνου.
- Γεωμετρία του πυροδιαμερίσματος.
- Θερμικές ιδιότητες των επιφανειών που περικλείουν το πυροδιαμέρισμα.

Οι πυρκαγιές σε στάδιο πλήρους ανάπτυξης μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, α)τις αερό –ελεγχόμενες, β)τις καυσιμό –ελεγχόμενες. Στην πρώτη κατηγορία η καύση ελέγχεται από τον αερισμό του πυροδιαμερίσματος, και δεν εξαρτάται σημαντικά από το ποσό και τον τρόπο στοιβάξης του καύσιμου υλικού. Ενώ στη δεύτερη κατηγορία, η καύση ελέγχεται από το ποσόν του καύσιμου υλικού, και είναι ουσιαστικά ανεξάρτητη του αερισμού.

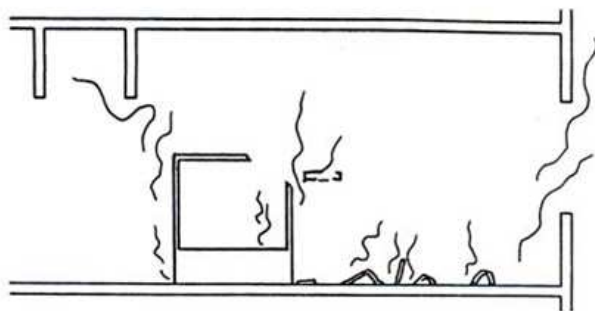


Το μεγαλύτερο μέρος της καύσιμης ύλης του πυροδιαμερίσματος καίγεται (εμπειρικά περίπου το 60%). Φλόγες και υπέρθερμα αέρια μεταφέρονται δια μέσω ανοιγμάτων σε άλλα πυροδιαμερίσματα ή κτήρια.

### *Β'3.Η απόσβεση.*

Στην περίπτωση της καυσιμό –ελεγχόμενης πυρκαγιάς το τρίτο αυτό στάδιο, διαδέχεται την πλήρη ανάπτυξη, όταν καεί το μεγαλύτερο μέρος του καύσιμου υλικού μέσα στο πυροδιαμέρισμα.

Στην άλλη περίπτωση, της αερό –ελεγχόμενης πυρκαγιάς η απόσβεση αρχίζει όταν ο διατιθέμενος αέρας για την καύση μειωθεί κάτω από κάποιο συγκεκριμένο όριο.



Παρακάτω υπάρχουν οι συνέπειες της φωτιάς ανάλογα με την εκάστοτε θερμοκρασία που επικρατεί στο σκυρόδεμα ή στην τσιμεντοκονία με α)ασβεστολιθικά ή β)πυριτικά αδρανή.

**A) Σκυρόδεμα ή τσιμεντοκονία με ασβεστολιθικά αδρανή.**

100 °C	Εξάτμιση ελεύθερου νερού
500°C	Εξάτμιση κρυσταλλικού νερού
750°C	Εξάτμιση κρυσταλλικού νερού
750-800°C	Ασβεστοποίηση των αδρανών
900-950°C	Διάλυση, απασβέστωση

**B) Σκυρόδεμα ή τσιμεντοκονία με πυριτικά αδρανή.**

100 °C	Εξάτμιση ελεύθερου νερού
500 °C	Εξάτμιση κρυσταλλικού νερού
750 °C	Εξάτμιση κρυσταλλικού νερού
550-600 °C	Έντονη διαστολή
850 °C	Έντονη διαστολή

### Γ' Μέρος: Η επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών στις ιδιότητες του τσιμέντου.

Είναι γνωστό ότι η ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών στα υλικά δομήσεως επηρεάζει δυσμενώς, τόσο τα μηχανικά χαρακτηριστικά του (όπως τη θλιπτική και εφελκυστική αντοχή, όρια διαρροής και όρια θραύσεως, μέτρο ελαστικότητας, κ.α. ), όσο και τις φυσικοχημικές του ιδιότητες (αλλαγή κρυσταλλικής δομής, πορώδες, κ.α. ). Αυτές οι μεταβολές, έχουν ως αποτέλεσμα τις αντίστοιχες μειώσεις στη φέρουσα ικανότητα των δομικών μελών, την αύξηση των παραμορφώσεών τους υπό σταθερό φορτίο, ανακατανομές εντάσεως.

Οι πληροφορίες που αφορούν τον Μηχανικό σχετίζονται με τις ιδιότητες των υλικών:

- Κατά τη διάρκεια της έκθεσής τους σε υψηλές θερμοκρασίες, καθώς τότε επηρεάζουν.
  - Την πυρασφάλεια των κατασκευών (δυνατότητα εξόδου των χρηστών)
  - Την ασφάλεια των πυροσβεστών
- Μετά την απόψυξή τους και επαναφορά στη θερμοκρασία περιβάλλοντος προκειμένου να ληφθούν υπόψη κατά:
  - Την αποτίμηση
  - Την επισκευή των κατασκευών έπειτα από μια πυρκαγιά

### Η δράση της πυρκαγιάς στις κατασκευές

Για τη δράση της πυρκαγιάς στις κατασκευές εξετάζονται δύο καταστάσεις:

- Η κατασκευή κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς, όπου για νέες κατασκευές είναι απαραίτητος ο σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς, που να αποδεικνύει ότι η κατασκευή θα έχει επαρκή πυρασφάλεια.
- Η κατασκευή μετά την πυρκαγιά, όπου για υφιστάμενες κατασκευές πρέπει να μελετηθούν οι απαιτούμενες επεμβάσεις αποκατάστασης.

### Σχεδιασμός ενάντια στην πυρκαγιά

Οι βασικές απαιτήσεις κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού ενάντια στην πυρκαγιά είναι η προστασία:

- Των ατόμων
- Της κοινωνίας
- Της περιουσίας
- Του περιβάλλοντος

### Κριτήρια για την ικανοποίηση των παραπάνω απαιτήσεων είναι:

- Η εξασφάλιση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής για ένα χρονικό διάστημα(π.χ. 30λεπτά, 60λεπτά κ.α.)
- Ο περιορισμός της ανάπτυξης και της επέκτασης της φωτιάς και του καπνού
- Δυνατότητα διαφυγής ή/και διάσωσης των χρηστών
- Μέριμνα για την ασφάλεια των πυροσβεστών

Ευρωκώδικες σχετικοί για το σχεδιασμό ενάντια στην πυρκαγιά είναι οι εξής:

- EN 1991-1-2: Actions on structures exposed to fire
- EN 1992-1-2: Design of concrete structures - Structural fire design
- EN 1993-1-2: Design of steel structures - Structural fire design
- EN 1994-1-2: Design of composite steel and concrete structures - Structural fire design.
- EN 1995-1-2: Design of timber structures - Structural fire design
- EN 1996-1-2: Design of masonry structures - Structural fire design
- EN 1999-1-2: Design of aluminium structures - Structural fire design

Επεμβάσεις σε κατασκευές μετά από την πυρκαγιά

Η διαδικασία περιλαμβάνει τις εξής φάσεις:

- Την αποτίμηση της κατασκευής ως έχει.
- Το σχεδιασμό των επεμβάσεων.
- Την εκτέλεση των επεμβάσεων.

Δ' Μέρος: Χαρακτηριστικές βλάβες λόγω πυρκαγιάς.

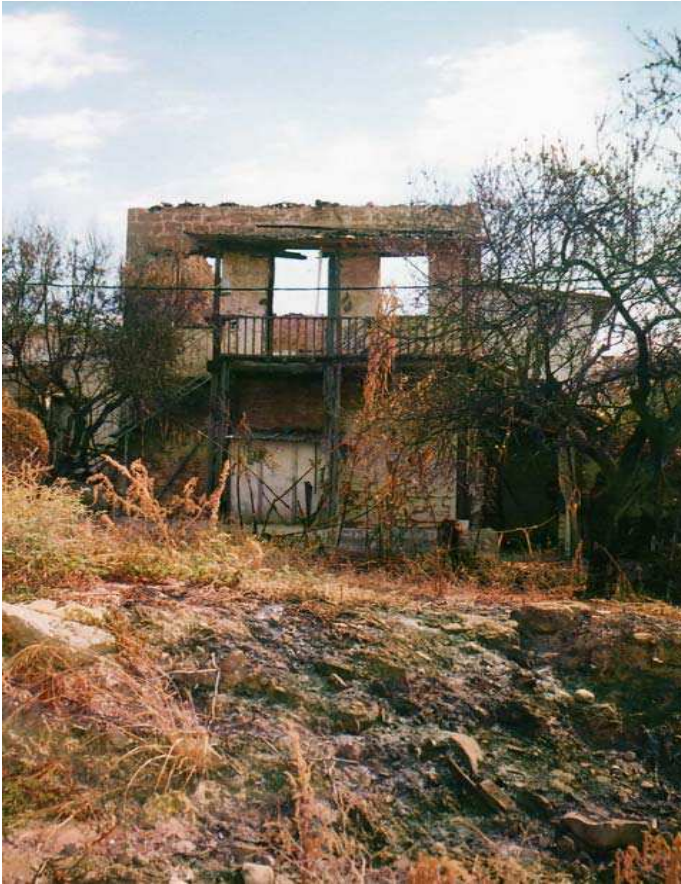
Η πυρκαγιά προκαλεί διάφορες χαρακτηριστικές αλλοιώσεις των υλικών, τήξεις και καύσεις, εκτός από αυτά όμως οι κύριες και τυπικές βλάβες είναι συνοπτικά:

- Πρόωρες αποκολλήσεις και καταπτώσεις επιχρισμάτων και οροφокονιαμάτων, εξαιτίας πλημμελούς πρόσφυσης και μεγάλου πάχους.
- Απομειώσεις διατομών των φερόντων στοιχείων λόγω απολεπίσεων, αποφλοιώσεων, αποκολλήσεων των εξωτερικών στοιβάδων και αποσύνθεση της μάζας του σκυροδέματος ή του κονιάματος.
- Χαρακτηριστικές παραμένουσες παραμορφώσεις, τόσο για τους οριζόντιους φορείς (βέλη πλακών, δοκών), όσο και για τα κατακόρυφα στοιχεία (αποκολλήσεις στύλων, τοίχων).
- Εξαιτίας των έντονων παραμορφώσεων, καταγράφονται σημαντικές καμπτικές και διατμητικές ρωγμές, όπως λοξές ρωγμές σε μεσαίες εδράσεις συνεχών δοκών από Ο.Σ., και θερμικά λακτίσματα, δηλαδή έντονες λοξές ρωγμές σε ισχυρά και δύσκαμπτα κατακόρυφα στοιχεία.
- Τέλος, πυρκαγιές έντονες αλλά και συγχρόνως μεγάλης διάρκειας, μπορούν να οδηγήσουν σε βαριές βλάβες των δομικών στοιχείων, τοπικές ή γενικές καταρρεύσεις ορόφου ή ακόμα και κτηρίου ως σύνολου.



Αποφλοίωση τοίχων πλήρωσης, αποσύνθεση κονιάματος, ρηγμάτωση.





Διώροφο κτήριο από τοιχοποιία, ετοιμόρροπο μετά την πυρκαγιά. Η στέγη και το πάτωμα κάηκαν και κατέρρευσαν, ενώ έχουν καταρρεύσει και τμήματα τοίχων.



Έντονη διαμητρική ρηγμάτωση καλοχτισμένων πεσσών σε γωνία, λάκτισμα πλάκας οροφής.



Αποκολλήσεις ΦΟ και ΟΠ, μετακινήσεις ~ 25 mm στο κάτω μέρος των τοίχων.

Ε' Μέρος: Επισκευές-Ενισχύσεις βλαβών λόγω πυρκαγιάς.

Εκτός από τις διατμητικές επεμβάσεις στο δόμημα, στο οποίο έχουν προκληθεί βλάβες λόγω πυρκαγιάς, θα πρέπει να γίνεται έλεγχος και για τα εξής:

- Βελτίωση της πυραντίστασης (δομικής).
- Βελτίωση της ανθεκτικότητας στο χρόνο, κυρίως αν παρατηρούνται σχετικές έντονες φθορές λόγω φυσικοχημικών αιτιών.
- Βελτίωση της αντίστασης στο σεισμό, στο μέτρο του αναγκαίου και εφικτού.

\*Σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να αγνοείται το υπέδαφος, η θεμελίωση, τα διπλανά κτήρια και ενδεχόμενες άλλες αιτίες φθορών.

Για λόγους άρσης της επικινδυνότητας που έχει ένα κτήριο, λόγω της πυρκαγιάς την οποία υπέστη, ενδεχομένως είναι αναγκαία κάποια άμεσα μέτρα επέμβασης, η επιλογή των οποίων εξαρτάται από τον τύπο, τη χρήση και τις βλάβες του δομήματος.

Τα κυριότερα και πιο διαδεδομένα τέτοια μέτρα είναι:

- Υποστηλώσεις (συνήθως υποχρεωτικά)
- Καθαιρέσεις τοίχων, φυσικά μετά την επείγουσα καταγραφή και αποτύπωση τους
- Προσωρινή κάλυψη δωμαίων, στεγών κ.α. που κήκαν, προκειμένου να μετριαστούν ενδεχόμενες δευτερογενείς βλάβες και άλλες φθορές από καιρικά φαινόμενα.

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.**

#### **Α' Μέρος: Διαδικασία προετοιμασίας και δημιουργίας δοκιμίων**

##### **A.1 Υπολογισμός απαιτούμενων ποσοτήτων άμμου.**

**Για να πραγματοποιηθεί το πειραματικό μέρος της πτυχιακής εργασίας ακολουθήθηκε η διαδικασία που περιγράφεται στο πρότυπο του ΕΛΟΤ EN 196-1.**

Αρχικά για να δημιουργηθούν δοκίμια τσιμέντου έπρεπε να διασφαλιστεί ότι υπάρχουν τα απαραίτητα υλικά για τη δημιουργία του κονιάματος.

Για να γίνει η προετοιμασία του κονιάματος(υπολογισμός αναλογιών άμμου), έπρεπε να προηγηθεί η προετοιμασία των υλικών, δηλαδή της συγκρατούμενης άμμου από το κάθε κόσκινο. Αυτό με τη σειρά του προϋπόθετε να υπάρχει αρκετή λεπτόκοκκη άμμος (No100,No200) ώστε κατά την κοσκίνιση να συγκρατηθεί η απαιτούμενη ποσότητα που χρειαζόμαστε για το κονίαμα.

Έτσι λοιπόν ξεκίνησε η διαδικασία σπάζοντας άμμο με μέγιστο κόκκο συγκρατούμενο στο No8 και No16, ώστε σιγά σιγά να “μετατραπεί” σε άμμο μεγίστου κόκκου No16 και No32, αλλά και ποσότητα μέσα στην άμμο που έχει συγκρατούμενο κόκκο στο No100 και στο No200.

Αφού “ξεπεράστηκε το εμπόδιο” με το θρυμματισμό της άμμου (με τη βοήθεια σφυριού), βλέποντας ότι υπάρχουν ικανοποιητικές ποσότητες μεγέθους κόκκου άμμου συγκρατούμενης στα απαιτούμενα κόσκινα, σειρά είχε η κοσκίνιση, ώστε να καταγραφεί από την υπάρχουσα άμμο τι ποσότητες θα συγκρατηθούν στα κόσκινα (No16,No32,No100,No200).

##### **Μηχανή κοσκίνισης**



Επίσης παρακάτω δίνονται και τα συγκρατούμενα από τα κόσκινα που θα χρησιμοποιηθούν, εκείνα δηλαδή των οποίων το υλικό που έχει συγκρατηθεί θα αποτελέσουν μέρος της σύνθεσης κονιάματος (Κόσκινα Νο16, Νο30, Νο100, Νο200), μετά τη ζύγιση τους και αφού τα τοποθετήσαμε στη μηχανή κοσκίνισης.

Ανακυκλώσιμο υλικό από χαλαζιακό κονίαμα:

<u>Κόσκινα</u>	<u>Ανακυκλώσιμο υλικό από χαλαζιακό κονίαμα (gr)</u>
No 16	4405,5
No 30	2008
No 100	1281
No 200	209,5
ΣΥΝΟΛΟ:	7904

Χαλαζιακή Άμμος:

<u>Κόσκινα</u>	<u>Χαλαζιακή Άμμος (gr)</u>
No16	6936
No30	6363,5
No100	3934,5
No200	1495,5
ΣΥΝΟΛΟ	18730

Έλεγχοι απαιτούμενων ποσοστών άμμου για τη δημιουργία κονιάματος, σύμφωνα με ΕΛΟΤ EN196-1

Η προετοιμασία για την τελική σύνθεση ξεκίνησε, όσον αφορά τις αναλογίες της άμμου από κάθε κόσκινο που θα αποτελέσει μέρος του κονιάματος, παίρνοντας το ιδανικό, σχετικά με τα αθροιστικό υπόλειμμα, χωρίς να κάνουμε χρήση των +/- , των οριακών δηλαδή τιμών που ορίζει ο ΕΛΟΤ EN 196-1.

Έτσι λοιπόν για το Ανακυκλώσιμο υλικό από χαλαζιακό κονίαμα υπολογίζονται:

Για το No16 χρειάζεται ποσοστό (συγκρατούμενο) 33% της άμμου των 4 κοσκίνων.  
Συνεπώς  $33\% \cdot 7904,0\text{gr} = \underline{2608,32\text{gr}}$

Για το No30, ποσοστό  $(67\% - 33\%) \cdot 7904,0\text{gr} = \underline{2.687,36\text{gr}}$

Για το No100, ποσοστό  $(87\% - 67\%) \cdot 7904,0\text{gr} = \underline{1580,80\text{gr}}$

Για το No200, ποσοστό  $(99\% - 87\%) \cdot 7904,0\text{gr} = \underline{948,48\text{gr}}$

Τα παραπάνω 4 αποτελέσματα δίνουν άθροισμα 7824,96gr<7904gr άρα ο πρώτος έλεγχος είναι ακριβής.

Έπειτα χρειάστηκε να βρεθεί το ποσοστό της άμμου από το κάθε κόσκινο, που αναλογεί μέσα στη μήτρα για τη σύνθεση του κονιάματος.

Γνωρίζοντας ότι από τα 7904,0gr άμμου συνολικά που έχουμε,4405,5 gr αντιστοιχούν στην άμμο που συγκρατήθηκε στο κόσκινο No16, και αφού στη μήτρα θα τοποθετηθούν 1350gr άμμου συνολικά, η ποσότητα άμμου No16 θα είναι (με τη βοήθεια της απλής μεθόδου των τριών) 752,45gr.

Αντίστοιχα για το No30,στα 7904gr άμμου στο σύνολο υπάρχουν 2008 gr άμμου που συγκρατήθηκαν στο κόσκινο No30, στη μήτρα αντιστοιχούν 342.97gr

Παρομοίως, για το No100, στα 7904gr άμμου στο σύνολο υπάρχουν 1281gr άμμου από το κόσκινο No100,στη μήτρα αντιστοιχούν 218,79gr.

Τέλος, για το No200,στα 7904gr άμμου στο σύνολο υπάρχουν 209,5gr προερχόμενα από το κόσκινο No200, στη μήτρα θα πρέπει να είναι 35,78gr.

Συνεπώς η ποσότητα της άμμου του κάθε κόσκινου είναι επαρκής για τα ποσοστά που αναλογούν για τη σύνθεση κονιάματος με ανακυκλώσιμη άμμο.

Αντίστοιχα για τη χαλαζιακή(κανονική) άμμο έχουμε:

Για το No16 χρειάζεται ποσοστό (συγκρατούμενο) 33% της άμμου των 4 κοσκίνων. Συνεπώς  $33\% \cdot 18730,0\text{gr} = \underline{6180,90\text{gr}}$

Για το No30,ποσοστό  $(67\% - 33\%) \cdot 18730,0 = \underline{6368,20\text{gr}}$

Για το No100,ποσοστό  $(87\% - 67\%) \cdot 18730,0\text{gr} = \underline{3746,00\text{gr}}$

Για το No200,ποσοστό  $(99\% - 87\%) \cdot 18730,0\text{gr} = \underline{2247,60\text{gr}}$

Τα παραπάνω 4 αποτελέσματα δίνουν άθροισμα 18542,7gr<18730,0gr άρα ο πρώτος έλεγχος είναι ακριβής.

Έπειτα χρειάστηκε να βρεθεί το ποσοστό της άμμου από το κάθε κόσκινο, που αναλογεί μέσα στη μήτρα για τη σύνθεση του κονιάματος.

Γνωρίζοντας ότι από τα 18730,0gr άμμου συνολικά που έχουμε,6936,0gr αντιστοιχούν στην άμμο που συγκρατήθηκε στο κόσκινο No16, και αφού στη μήτρα θα τοποθετηθούν 1350gr άμμου συνολικά, η ποσότητα άμμου No16 θα είναι (με τη βοήθεια της απλής μεθόδου των τριών) 500,00gr.

Αντίστοιχα για το Νο30, στα 18730,0gr άμμου στο σύνολο συγκρατήθηκαν 6363,5gr άμμου από το κόσκινο Νο30, στη μήτρα αντιστοιχούν 458,66gr

Παρομοίως, για το Νο100, στα 18730,0gr άμμου στο σύνολο υπάρχουν 3934,5gr άμμου από το κόσκινο Νο100, στη μήτρα αντιστοιχούν 283,59gr.

Τέλος, για το Νο200, στα 18730,0gr άμμου στο σύνολο υπάρχουν 1495,5gr προερχόμενα από το κόσκινο Νο200, στη μήτρα θα πρέπει να είναι 107,79gr.

Συνεπώς η ποσότητα της άμμου του κάθε κόσκινου είναι επαρκής για τα ποσοστά που αναλογούν για τη σύνθεση κονιάματος με χαλαζιακή άμμο.

Ακολουθεί ο πίνακας που περιέχει τις τελικές ποσότητες άμμου από το κάθε κόσκινο που είναι απαραίτητες για τη σύνθεση του κονιάματος στη μήτρα (για το κονίαμα με ανακυκλώσιμη άμμο και για το κονίαμα με χαλαζιακή άμμο).

<u>Κόσκινα</u>	<u>Ανακυκλώσιμο υλικό από χαλαζιακό κονίαμα (gr)</u>	<u>Κονίαμα με Χαλαζιακή Άμμο (gr)</u>
No16	752,45	500
No30	342,97	458,66
No100	218,79	283,59
No200	35,78	107,79

Στη συνέχεια αφού συγκεντρώθηκαν οι απαιτούμενες ποσότητες των υλικών για τη δημιουργία του κονιάματος ξεκίνησαν οι απαραίτητες εργασίες για την κατασκευή του.

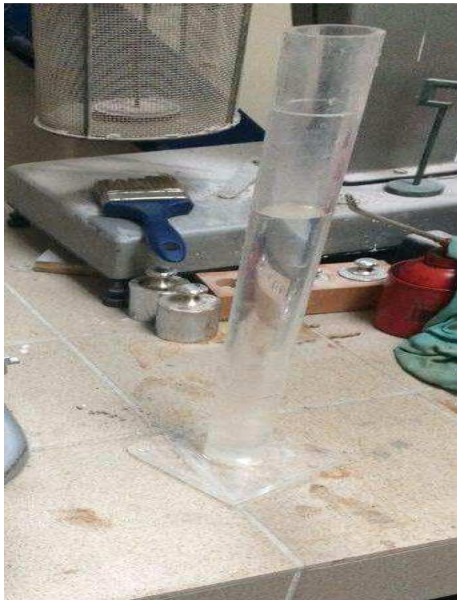
Οι αναλογίες μάζας πρέπει να είναι ένα μέρος τσιμέντου , τρία μέρη πρότυπης άμμου και μισό μέρος νερό , έτσι ώστε ο λόγος νερού/τσιμέντο =0.5 . Κάθε παρτίδα τριών δοκιμών πρέπει να αποτελείται από (450+-2) gr τσιμέντου , (1350+-5) gr άμμου και (225+-1) gr νερού.

## A.2 Εργαστηριακός εξοπλισμός για τη δημιουργία κονιάματος.

Για τη σύνθεση κονιάματος χρησιμοποιήθηκαν κάποια εργαλεία, είτε για την προεργασία που χρειάστηκε να πραγματοποιηθεί για τη σύνθεση, είτε κατά τη διάρκεια της σύνθεσης, ή για τις εργασίες που χρειάστηκε να γίνουν αφού δημιουργήθηκε το κονίαμα τσιμέντου.

Παρακάτω λοιπόν παραθέτονται τα εργαλεία αυτά ένα-ένα.

- ❖ Ταψιά: σε αυτά τοποθετούνταν η άμμος ή και το τσιμέντο, ώστε να τα ζυγιστούν στη συνέχεια .
- ❖ Σωλήνας Νερού: στο σωλήνα τοποθετούνταν το νερό που χρειαζόταν, για να το ζυγιστεί στην πορεία.



- ❖ Ηλεκτρονική Ζυγαριά: με τη βοήθεια της ζυγαριάς ζυγίστηκαν την απαραίτητη ποσότητα άμμου, νερού, τσιμέντου, υπερρρευστοποιητή που χρειαζόνταν για τη σύνθεση.





- ❖ Μηχανή Τετραμερισμού: εκεί “έπεσε” η άμμος, όλων των κοσκίνων, ώστε να υπάρχει ένα ομοιογενές αποτέλεσμα, καθώς έτσι ισομοιράστηκε η άμμος.
- ❖ Αναμικτήρας: σε αυτόν μπήκαν, με τη σειρά που αναφέρεται πιο κάτω, τα υλικά ώστε να φτιαχτεί το κονίαμα. Εκείνο αποτελείται από
  - Δοχείο Ανάμιξης: δοχείο από ανοξείδωτο χάλυβα χωρητικότητας περίπου 5 λίτρων.



- Μίκτρο: όπως και το δοχείο και αυτό φτιαγμένο από ανοξείδωτο χάλυβα. Το μίκτρο περιστρέφεται γύρω γύρω από τον άξονά του καθώς αυτό αναγκάζεται σε μια πλανητική κίνηση γύρω από τον άξονα του δοχείου από ένα ηλεκτροκινητήρα σε ελεγχόμενες ταχύτητες.



- ❖ Καλούπι/Μήτρα: πρέπει να αποτελείται από τρία οριζόντια διαμερίσματα, ώστε να μπορούν να κατασκευάζονται συγχρόνως τρία πρισματικά δοκίμια διατομής 40mm\*40mm και μήκους 160mm.



- ❖ Δοχείο με λάδι: ήταν απαραίτητο ώστε να λαδωθούν οι μήτρες πριν δεχτούν το κονίαμα.
- ❖ Πινέλο: με τη βοήθεια του και με το λάδι όπως προαναφέραμε, λαδώθηκαν οι μήτρες.
- ❖ Ελαστικό ξέστρο: με αυτό είτε ανακατευόταν το τσιμέντο μέσα στον αναμκτήρα ή χρησιμοποιούνταν με σκοπό να “ξεκολλήσει” κάποια κομμάτια τσιμέντου από τα τοιχώματα του δοχείου.
- ❖ Μυστήρι: ήταν πολύ σημαντικό κατά τη διάστρωση του τσιμέντου στα καλούπια.

- ❖ Τράπεζα Δόνησης: πάνω εκεί τοποθετούνταν οι μήτρες, αφού πρώτα ήταν βιδωμένες για να μην φύγουν κατά τη διάρκεια της δόνησης.



- ❖ Λινάτσες: τοποθετούνταν πάνω στα καλούπια, αφού είχε τοποθετηθεί το κονίαμα μέσα σε αυτά, έχοντας τις ελαφρώς βρεγμένες για να διατηρηθούν τα δοκίμια σε υγρή ατμόσφαιρα.
- ❖ Κουβάδες: εκεί τοποθετούνταν τα δοκίμια βυθισμένα στο νερό, αφού βγήκαν από τις μήτρες.

### A.3 Δημιουργία δοκιμών τσιμέντου.

Στη συνέχεια καταγράφεται η διαδικασία της δημιουργίας του κονιάματος τσιμέντου με χαλαζιακή άμμο, διαδικασία ίδια με αυτή που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία κονιάματος τσιμέντου με ανακυκλώσιμο υλικό από χαλαζιακό κονίαμα, την ακριβώς επόμενη μέρα.

- Αρχικά ζυγίστηκε η άμμος από κάθε κόσκινο (No16, No32, No100, No200).



- Στη συνέχεια ζυγίστηκε το απαιτούμενο τσιμέντο και νερό.
- Έπειτα τοποθετήθηκε η άμμος αρχικά από τα 4 κόσκινα σε ένα ταψί και εν συνεχεία από το ταψί στο μηχάνημα τετραμερισμού έτσι ώστε να επιτευχθεί ένα ομοιογενές αποτέλεσμα.



### Σύνθεση κονιάματος

Παρακάτω περιγράφονται τα βήματα (τα οποία συνοδεύονται με τις απαραίτητες φωτογραφίες) που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία κονιάματος τσιμέντου από ανακυκλώσιμη και από χαλαζιακή άμμο.

1. Ρίχνεται το νερό στο δοχείο ανάμιξης και προστίθεται το τσιμέντο.



2. Τίθεται αμέσως σε λειτουργία το μίκτρο σε χαμηλή ταχύτητα και αφού περάσουν 30 sec , προστίθεται η άμμος με σταθερό ρυθμό για τα επόμενα 30 sec . Στη συνέχεια αυξάνουμε την ταχύτητα στη θέση 2 και η ανάμιξη συνεχίζει για τα επόμενα 30 sec.



3. Για το επόμενο ενάμισι λεπτό σταματάει ο αναμικτήρας και καθαρίζονται τα τοιχώματα και το κάτω μέρος του δοχείου από το κονίαμα εκείνο το οποίο έχει επικολληθεί, με τη χρήση ενός ελαστικού ξέστρου.

4. Τίθεται ξανά σε λειτουργία ο αναμικτήρας στην υψηλή ταχύτητα για ένα λεπτό ακόμα.

*\*Για την δημιουργία κονιάματος τσιμέντου με ανακυκλώσιμη άμμο χρησιμοποιήθηκε υπερρευστοποιητής με αναλογία που ορίζεται από τις προδιαγραφές του , δηλαδή 0.8 kg ανά 100 kg τσιμέντο.*

#### Διάστρωση κονιάματος τσιμέντου στις μήτρες

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι απαραίτητες εργασίες που έγιναν πριν τη διάστρωση του κονιάματος τσιμέντου στις μήτρες, αλλά και τα βήματα με τα οποία πραγματοποιήθηκε αυτή η διάστρωση.

Η πρώτη δουλειά που έπρεπε να γίνει πριν από τη διάστρωση του κονιάματος στις μήτρες ήταν να λαδωθούν οι μήτρες.

Έπειτα, διασφαλίστηκε ότι οι μήτρες ήταν σφιγμένες και δεν υπήρχε κάποιο κενό μεταξύ των τοιχωμάτων.

Έτσι λοιπόν ξεκίνησε η τοποθέτηση του κονιάματος στις μήτρες, με τη βοήθεια εργαλείων (σπάτουλα, ξέστρο), για να γίνει ομοιόμορφη διάστρωσή του υλικού μέσα σε αυτές.

Αφού διαστρώθηκε το περισσότερο υλικό στις μήτρες (παραπάνω από το μισό κονίαμα) τοποθετήθηκε η κάθε μήτρα ξεχωριστά πάνω στην τράπεζα δόνησης, όπου την έμεινε για 60 sec να δονηθεί. Στη συνέχεια τοποθετήθηκε και το υπόλοιπο υλικό στη μήτρα και επαναλήφθηκε η διαδικασία πάλι για άλλα 60sec.



*\*Να αναφερθεί ότι κατά τη διάρκεια της δόνησης της μήτρας που περιείχε το κονίαμα, με τη χρήση μυστριού και σπάτουλας έγινε προσπάθεια να ισομοιραστεί το υλικό και να είναι λεία η επιφάνεια του κονιάματος.*

Αφού τέλειωσε και η δόνηση του κονιάματος, ήρθε η στιγμή για να ξεβιδωθούν οι μήτρες από την τράπεζα δόνησης ώστε να τις βγουν από τη μηχανή της δόνησης και να τοποθετηθούν πάνω στον πάγκο.



Το τελευταίο που είχε μείνει να πραγματοποιηθεί ήταν να διατηρηθούν τα δοκίμια τσιμέντου μέσα στα καλούπια, σε υγρή ατμόσφαιρα, έως την επόμενη ημέρα, με υγρές λινάτσες ή κάποιο άλλο είδος πετσέτας να τα καλύπτουν.

#### Αφαίρεση δοκιμίων από τις μήτρες

Μετά τη σύνθεση κονιάματος, την τοποθέτηση του σε μήτρες και την κάλυψή τους στη συνέχεια με λινάτσες ώστε να διατηρηθούν τα δοκίμια σε υγρή ατμόσφαιρα για μία μέρα, επόμενο βήμα ήταν να ξεκαλουπωθούν τα δοκίμια από τις μήτρες με προσοχή για να μην αποκολληθούν κομμάτια τσιμέντου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται χαρακτηριστικές φωτογραφίες των δοκιμίων μας μετά την έξοδό τους από τις μήτρες.





Τοποθέτηση δοκιμίων στο νερό

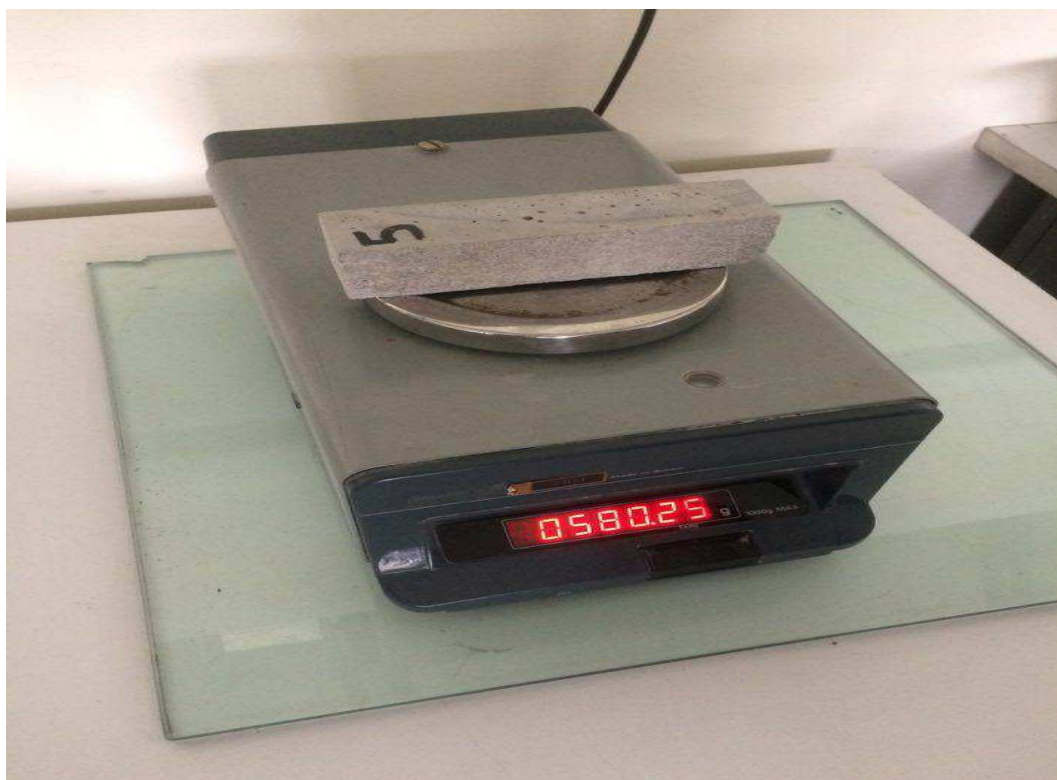
Ύστερα, αφού αφαιρέθηκαν τα δοκίμια από τις μήτρες τοποθετήθηκαν στο νερό για 28 ημέρες και τα βγήκαν κατόπιν, καθώς αυτό το διάστημα, όπως είναι γνωστό, είναι αρκετό ώστε να πάρουν το μεγαλύτερο ποσοστό των αντοχών τους, και να είναι έτοιμα για τα επόμενα μέρη του πειράματος (κάψιμο, έλεγχος σε κάμψη & θλίψη).

### Β' Μέρος: Τοποθέτηση δοκιμίων στους φούρνους.

Το επόμενο μέρος του πειράματος, ήταν η τοποθέτηση των δοκιμίων στους φούρνους για να ελεγχθεί η επίδραση που έχει η φωτιά στις αντοχές τους και στην απώλεια βάρους τους.

#### B.1 Ζύγιση δοκιμίων πριν την τοποθέτησή τους στους φούρνους.

Πρώτα ζυγίστηκαν όλα τα δοκίμια που επρόκειτο να τοποθετηθούν στους φούρνους για να ελεγχθεί και να αξιολογηθεί η απώλεια βάρους- υγρασίας που υπέστησαν ανάλογα με τις διαφορετικές θερμοκρασίες του φούρνου στις οποίες τοποθετήθηκαν.



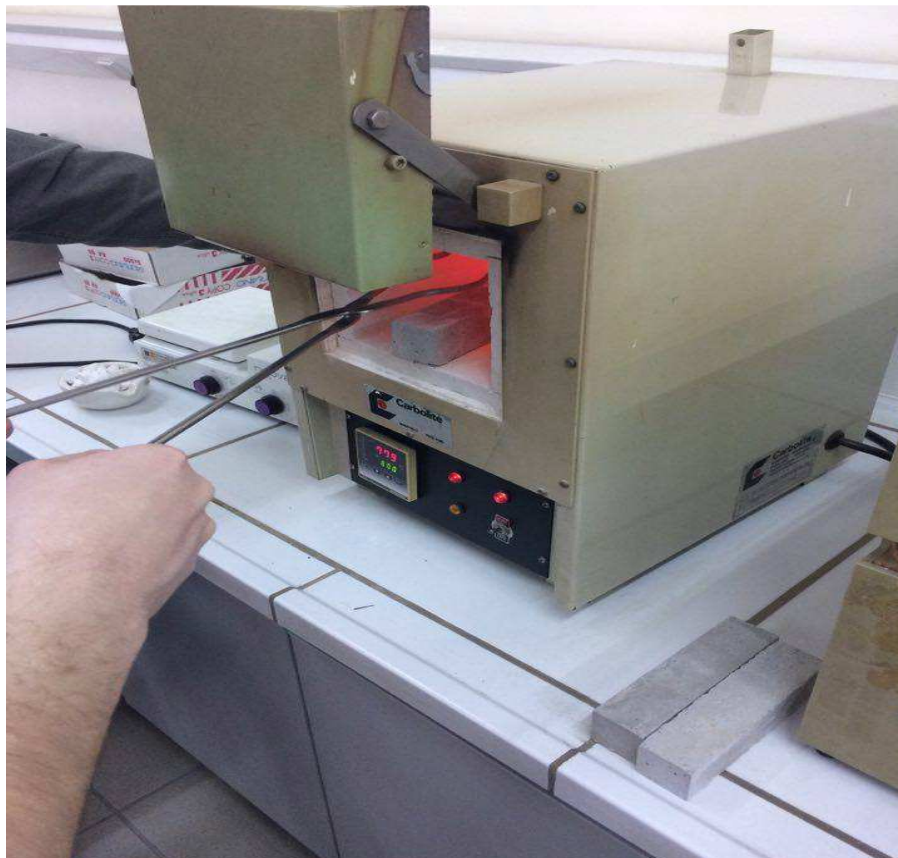
#### B.2 Τοποθέτηση δοκιμίων στους φούρνους.

Στη συνέχεια, αφού ζυγίστηκαν, ξεκίνησε η διαδικασία τοποθέτησης δοκιμίων στους φούρνους. Αρχικά μπήκε σε λειτουργία ο φούρνος και ορίστηκε η εκάστοτε θερμοκρασία που θα έχουν οι φούρνοι στην οποία θα καούν τα δοκίμια. Το κάψιμο των δοκιμίων πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασίες από 200°C έως 800°C.

Το κάψιμο των δοκιμίων σε διαφορετικές θερμοκρασίες έγινε ( 200°C -400°C -600°C -800°C) για να δούμε και να υπολογίσουμε πώς επηρεάζεται η αντοχή του τσιμέντου ανάλογα με τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας.

Για να επιτευχθεί η κάθε θερμοκρασία υπήρχε αναμονή για ένα χρονικό διάστημα ( 50-100 min.).Αφού ο φούρνος "έπιασε" τις απαιτούμενες θερμοκρασίες για το κάψιμο των δοκιμίων ξεκίνησε η τοποθέτησή τους.

Χρειάστηκαν ειδικά εργαλεία κατα την τοποθέτηση για να προστατευτούμε από την υψηλή θερμοκρασία.



*Να σημειωθεί ότι κατά το άνοιγμα του φούρνου, για να εισαχθούν τα δοκίμια, αφού έφτασε την απαιτούμενη θερμοκρασία που είχε οριστεί, καταγράφηκε πτώση της θερμοκρασίας από 50°C έως 150 °C. Αφού ο φούρνος ξαναέπιασε την απαιτούμενη θερμοκρασία τα δοκίμια παρέμειναν μέσα για 60 min. Επίσης κατά τη διάρκεια της παραμονής των δοκιμών μέσα στο φούρνο παρατηρήθηκαν υδρατμοί στο μπροστινό μέρος του φούρνου, κάτι που οφείλεται στην απώλεια της υγρασίας από τα δοκίμια λόγω των υψηλών θερμοκρασιών.*

### B.3 Επανάληψη της διαδικασίας ζύγισης των δοκιμών μετά την έξοδό τους από τους φούρνους.

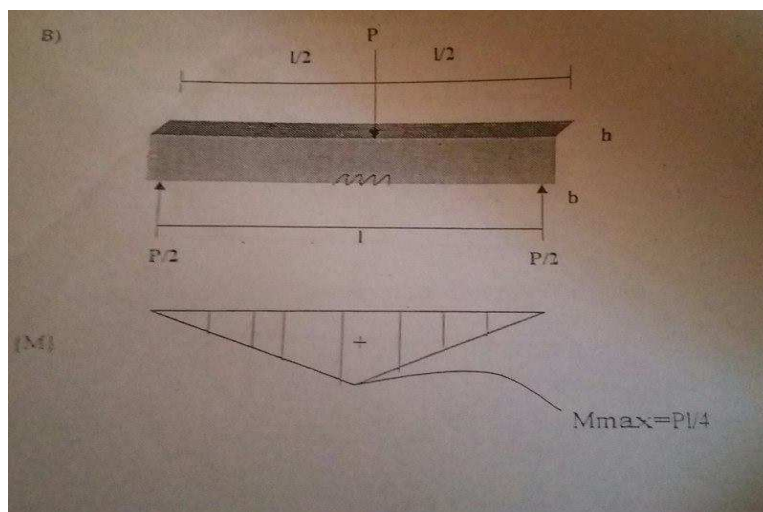
Μετά το πέρας μιας ημέρας παραμονής των δοκιμών στους φούρνους, πραγματοποιήθηκε έξοδος τους από αυτούς και τα ζυγίστηκαν εκ νέου ώστε να καταγραφούν οι αλλαγές, μετά το κάψιμο, στο βάρος τους, και στην απώλεια υγρασίας τους.

## Γ' Μέρος: Έλεγχος αντοχής δοκιμίων σε Κάμψη

### Γ.1 Κάμψη-Εισαγωγικές Έννοιες

Δοκός είναι ο ευθύγραμμος φορέας που παραλαμβάνει αξονικά, αλλά κυρίως και εγκάρσια φορτία, τα οποία μεταβιβάζει στις στηρίξεις, με την ταυτόχρονη ανάπτυξη τεμνουσών και δυνάμεων καθώς και καμπτικών ροπών.

Η εντατική κατάσταση στην οποία βρίσκεται μια δοκός που υποβάλλεται σε εγκάρσια φόρτιση, λέγεται κάμψη. Αυτό φαίνεται χαρακτηριστικά, αν για παράδειγμα σε μια αμφιέριστη δοκό επιβληθεί ένα εγκάρσιο φορτίο  $P$ , οπότε παρατηρείται ότι η δοκός θα παραμορφωθεί κατά τη διεύθυνση του επιβαλλόμενου φορτίου και ο άξονας της θα καμφθεί.



Η καμπτική καταπόνηση είναι μία από τις κυριότερες καταπονήσεις, εάν όχι η κυριότερη σε έργα Πολιτικού Μηχανικού. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η πλειοψηφία των φορτίων είναι φορτία βαρύτητας, που εφαρμόζονται πάνω σε γραμμικούς ή επιφανειακούς φορείς, σε δοκούς ή πλάκες δηλαδή, οι οποίοι αποτελούν υποφορείς χωρικών φορέων.

Η κάμψη παρατηρείται σε προβόλους, σε αμφιέριστες, σε μονοπρόχουσες, σε αμφιπρόχουσες δοκούς και γενικότερα σε πάρα πολλές τεχνικές κατασκευές, που συναντώνται στην πράξη.

Κατά την καταπόνηση σε κάμψη αναπτύσσονται καμπτικές ροπές, οι οποίες προκαλούν αφενός μεν καμπύλωση της δοκού, αφετέρου δε δημιουργία τάσεων εντός του υλικού της.

Έτσι λοιπόν, με τον όρο κάμψη εννοούνται τόσο οι αναπτυσσόμενες τάσεις, όσο και οι προκαλούμενες παραμορφώσεις που συνήθως ονομάζονται "βέλη κάμψης".

Συνεπώς, το ουσιαστικό αίτιο της κάμψης είναι η ροπή κάμψης. Αυτή είναι μεταβλητό μέγεθος, εξαρτάται δηλαδή από την τυχαία απόσταση  $x$ , και ακριβέστερα συμβολίζεται  $M(x)$ . Εδώ για λόγους απλότητας τη συμβολίζουμε απλά  $M$ . Η μεταβολή της κατά μήκος του φορέα παρίσταται στο διάγραμμα ροπών κάμψης  $[M]$ .

Είδη Κάμψης :Α) Όταν η ροπή κάμψης είναι σταθερή και συγχρόνως η τέμνουσα δύναμη είναι μηδενική έχουμε την περίπτωση της καθαρής κάμψης, ενώ Β) όταν συνυπάρχει και η τέμνουσα δύναμη έχουμε την περίπτωση της γενικής κάμψης. Στην καθαρή κάμψη αναπτύσσονται μόνο ορθές τάσεις, ενώ στη γενική κάμψη αναπτύσσονται ορθές αλλά και διαμητικές τάσεις.

Οι μέγιστες τιμές των ορθών τάσεων αναπτύσσονται στις ακραίες ίνες της διατομής και το μέτρο τους μεταβάλλεται με γραμμικό τρόπο. Υπάρχει μια ίνα της διατομής η οποία ταυτίζεται με την κεντροβαρική ίνα διατομής, στην οποία η ορθή τάση και η παραμόρφωση λαμβάνουν μηδενική τιμή. Η ίνα αυτή ονομάζεται ουδέτερη γραμμή και το επίπεδο πάνω στο οποίο βρίσκεται, λέγεται ουδέτερο επίπεδο. Αντίθετα οι διαμητικές τάσεις λαμβάνουν μέγιστη τιμή κατά μήκος του κεντροβαρικού άξονα και μηδενική τιμή στις ακραίες ίνες της διατομής.

Παραδοχές καμπτικής καταπόνησης:

Ο άξονας του δοκιμίου είναι ευθύγραμμος.

Τα φορτία εφαρμόζονται κάθετα στον άξονα του δοκιμίου.

Το υλικό του δοκιμίου θεωρείται ομοιογενές και ισότροπο.

Οι γραμμικές διαστάσεις της διατομής είναι μικρές σε σχέση με το μήκος του δοκιμίου

Ισχύει η παραδοχή Navier - Bernoulli (οι διατομές είναι επίπεδες και κάθετες στον άξονα του μέλους πριν την παραμόρφωση και παραμένουν επίπεδες και κάθετες στον άξονα και μετά την καμπτική καταπόνηση).

Γ.2 Τοποθέτηση δοκιμίων στη μηχανή δοκιμής αντοχής σε κάμψη.

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω αφού αναλύθηκε τί είναι κάμψη, ποια είναι τα είδη της κάμψης και ποιες οι παραδοχές της καμπτικής καταπόνησης, ξεκίνησε η τοποθέτηση των δοκιμίων στη μηχανή δοκιμής αντοχής σε κάμψη, για να ελεγχθούν οι αντοχές τους σε αυτήν.

Η μηχανή δοκιμής αντοχής σε κάμψη πρέπει να έχει τη δυνατότητα άσκησης φορτίων έως 10kN, με ακρίβεια  $\pm 1\%$  του καταγεγραμμένου φορτίου στην περιοχή των τελευταίων 4/5 της κλίμακας που χρησιμοποιείται, με ρυθμό φόρτισης (50 $\pm$ 10N/s).

Η μηχανή πρέπει να είναι εφοδιασμένη με διάταξη κάμψης, η οποία αποτελείται από δύο χαλύβδινα κυλινδρικά στηρίγματα διαμέτρου (100,0 $\pm$ 0,5)mm και ένα τρίτο χαλύβδινης φόρτισης ίδιας διαμέτρου, τοποθετημένο στο κέντρο ανάμεσα στα άλλα δύο στηρίγματα. Το μήκος αυτών των κυλίνδρων πρέπει να είναι 45-50mm.

Παρακάτω παραθέτονται φωτογραφίες από τη μηχανή κάμψης που χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο σε κάμψη των δοκιμίων.



Ξεκινώντας τη διαδικασία, τοποθετήθηκαν τα δοκίμια ένα-ένα στη μηχανή δοκιμής αντοχής σε κάμψη, αφού διασφαλίστηκε ότι τα στηρίγματα που εφαρμόζουν στο δοκίμιο είναι απολύτως σταθερά και σφιχτά, και η απόσταση των ελεύθερων τμημάτων του δοκιμίου μεταξύ των τριών στηρίξεων είναι ίση.



Παρακάτω φαίνεται η στιγμή που το δοκίμιο “σπάει” στη μηχανή κάμψης.



## Δ' Μέρος: Έλεγχος αντοχής δοκιμίων σε Θλίψη.

### Δ.1 Θλίψη-Εισαγωγικές Έννοιες.

Θλίψη είναι η εντατική κατάσταση κατά την οποία σε ένα σώμα ασκούνται δυνάμεις αντίθετης φοράς οι οποίες τείνουν να το συμπιέσουν. Η θλίψη είναι μία από τις δύο μονοαξονικές εντατικές καταστάσεις ενός παραμορφώσιμου στερεού σώματος, η άλλη είναι ο εφελκυσμός.

Θεωρώντας μία νοητή τομή σε κάποια θέση από την ισορροπία των δυνάμεων, μπορεί να υπολογιστούν οι θλιπτικές (ορθές) τάσεις στη διατομή.

Υπάρχουν δύο είδη θλίψης. Η μία είναι η κεντρική θλίψη και η άλλη η έκκεντρη.

Κεντρική θλίψη έχουμε όταν η εξωτερική δύναμη ασκείται στο κέντρο βάρους της διατομής, με την προϋπόθεση ότι το στοιχείο είναι ευθύγραμμο, η διατομή παραμένει σταθερή και η εξωτερική δύναμη ασκείται ομοιόμορφα ισχύει ότι οι τάσεις κατανέμονται ομοιόμορφα στη διατομή.

Η θλιπτική τάση υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:  $\sigma = F/A$  , όπου  
σ: θλιπτική τάση

F: εξωτερική δύναμη που ασκείται στο κέντρο βάρους της διατομής

A: εμβαδόν της διατομής

Ακόμα και σε περίπτωση που η εξωτερική δύναμη δεν ασκείται ομοιόμορφα στα άκρα του στοιχείου, μετά από κάποιο μήκος η κατανομή ξεκινά να γίνεται ομοιόμορφη.

Στα γραμμικά ελαστικά υλικά ισχύει ο νόμος του Hooke και η επιμήκυνση θα είναι:  
 $\Delta L = (\sigma/E) * L$  , όπου σ: θλιπτική τάση  
E: μέτρο ελαστικότητας του υλικού L:  
αρχικό μήκος

Για να ισχύει ο νόμος του Hooke η τάση δεν θα πρέπει να ξεπερνά μια τιμή χαρακτηριστική του υλικού. Στα ψαθυρά υλικά η υπέρβαση της θλιπτικής αντοχής οδηγεί σε θραύση, ενώ στα όλκιμα υλικά αν οι τάσεις ξεπεράσουν το όριο διαρροής αρχικά θα έχουμε πλαστική παραμόρφωση και εν τέλει αστοχία του στοιχείου. Αν ένα στοιχείο έχει αρκετά μικρό πλάτος σε αντίθεση με το μήκος του δεν θα προλάβει να φτάσει στην θλιπτική αντοχή του, καθώς θα προηγηθεί το φαινόμενο του λυγισμού και θα χαθεί η ευστάθειά του με μικρότερη θλιπτική δύναμη.

Έκκεντρη θλίψη έχουμε όταν η εξωτερική δύναμη δεν ασκείται στο κέντρο βάρους της διατομής. Εκκεντρότητα e ονομάζεται η απόσταση της συνισταμένης της δύναμης από το κέντρο βάρους της διατομής. Ένας τρόπος υπολογισμού των ορθών τάσεων



της διατομής είναι να μεταφερθεί η εξωτερική δύναμη στο κέντρο βάρους με ταυτόχρονη εφαρμογή καμπτικής ροπής  $M=F \cdot e$ . Η λύση προκύπτει από την επαλληλία της κεντρικής θλίψης λόγω της  $F$  και της κάμψης λόγω της καμπτικής ροπής. Απαραίτητη προϋπόθεση για να ισχύει η επαλληλία είναι οι συνολικές παραμορφώσεις να παραμείνουν εντός της ελαστικής περιοχής.

Στη θλίψη καταπονούνται συνήθως στύλοι, θεμέλια οικοδομών, άνω πέλματα δικτυωμάτων που χρησιμοποιούνται σε γέφυρες και στέγες, ορισμένα στοιχεία μηχανών, γρύλοι, καθώς και όλα τα σώματα λόγω του ίδιου βάρους.

Παραδοχές κατά την αξονική θλίψη:

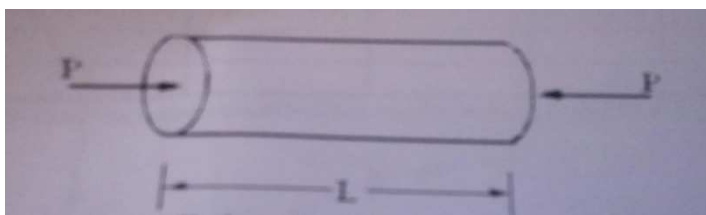
Ο άξονας του δοκιμίου είναι ευθύγραμμος.

Τα θλιπτικά φορτία επιβάλλονται αξονικά.

Το υλικό θεωρείται ομοιογενές και ισότροπο.

Τα γεωμετρικά στοιχεία δοκιμίου κυκλικής διατομής ικανοποιούν τη σχέση  $2 < L/d < 4$ , όπου  $L$ :μήκος δοκιμίου

$d$ :διάμετρος διατομής



#### Δ.2 Τοποθέτηση δοκιμίων στη μηχανή δοκιμής αντοχής σε θλίψη

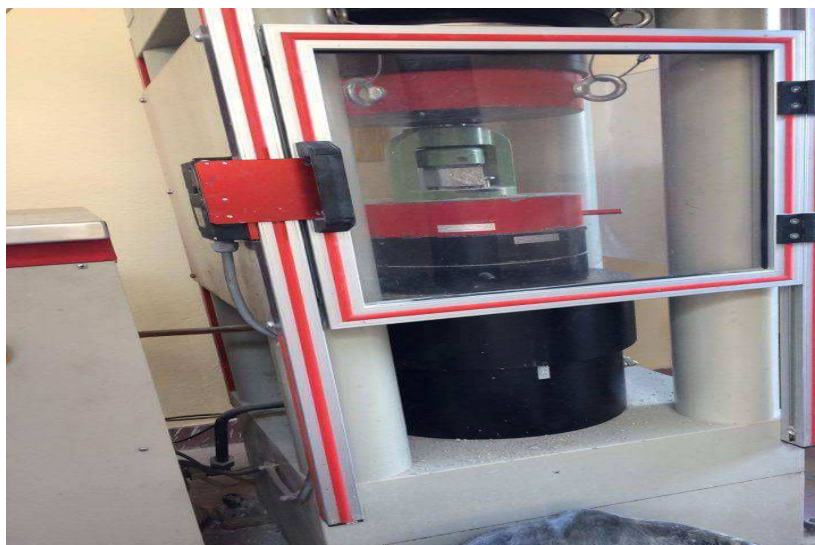
Αφού περιγράφηκε παραπάνω η έννοια της θλίψης, τα δύο είδη θλίψης που υπάρχουν (κεντρική και έκκεντρη), και οι παραδοχές κατά την αξονική θλίψη, σειρά είχε η τοποθέτηση των δοκιμίων στη μηχανή δοκιμής αντοχής σε θλίψη για να ελεγχθούν οι αντοχές των δοκιμίων σε κεντρική θλίψη.

Η μηχανή δοκιμής αντοχής σε θλίψη πρέπει να έχει κατάλληλη δυνατότητα φόρτισης για τη δοκιμή, πρέπει να έχει ακρίβεια  $\pm 1.0\%$  του καταγεγραμμένου φορτίου στην περιοχή των τελευταίων  $4/5$  της κλίμακας που χρησιμοποιείται και δυνατότητα φόρτισης με ρυθμό  $(2400 \pm 200) \text{N/s}$ .

Επίσης πρέπει να είναι εφοδιασμένη με ένα μηχανισμό ένδειξης φορτίου, ο οποίος να έχει τη δυνατότητα να κρατά την ένδειξη του φορτίου κατά τη θραύση του δοκιμίου και μετά την αποφόρτιση της μηχανής δοκιμής αντοχής σε θλίψη. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση μηχανικού δείκτη μέγιστου σε μανόμετρο ή με τη χρήση μνήμης σε ψηφιακή ένδειξη. Μηχανές δοκιμής αντοχής σε θλίψη χωρίς αυτόματα

ρύθμιση αύξησης του φορτίου πρέπει να είναι εφοδιασμένες με κατάλληλη ενδεικτική διάταξη για να διευκολύνεται ο έλεγχος της αύξησης του φορτίου.

Αρχίζοντας λοιπόν τη διαδικασία, τοποθετήθηκαν τα δοκίμια ένα-ένα στη μηχανή δοκιμής αντοχής σε θλίψη, αφού ελέγχθηκε ότι το πίσω μέρος του δοκιμίου εφάπτεται στο χαλύβδινο κύλινδρο διαμέτρου 2cm και ύψους 2.5cm, που διασφαλίζει τη σταθερότητα του δοκιμίου. Επίσης έπρεπε να ελεγχθεί και η πλαϊνή πλευρά του δοκιμίου αν εφάπτεται και αυτή με τη σειρά της σε δύο, αυτή τη φορά, χαλύβδινους κυλίνδρους διαμέτρου 2cm και ύψους 2.5cm ώστε να είναι και από αυτή την πλευρά στέρεο. Έπειτα κλείσαμε το πορτάκι της μηχανής και ξεκινήσαμε τη διαδικασία.





#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.**

**Α' Μέρος: Αποτελέσματα ζύγισης δοκιμών κατά το Β' Μέρος του πειράματος (Τοποθέτηση δοκιμών στους φούρνους).**

Παρακάτω βλέπουμε τους πίνακες που αποτελούνται, από το βάρος των δοκιμών που ζυγίσαμε πριν την τοποθέτησή τους στους φούρνους, το βάρος των δοκιμών μετά την έξοδό τους από τους φούρνους, την %απώλεια υγρασίας των δοκιμών {(Βάρος προ καύσης-Βάρος μετά καύσης)/βάρος προ καύσης \*100}.

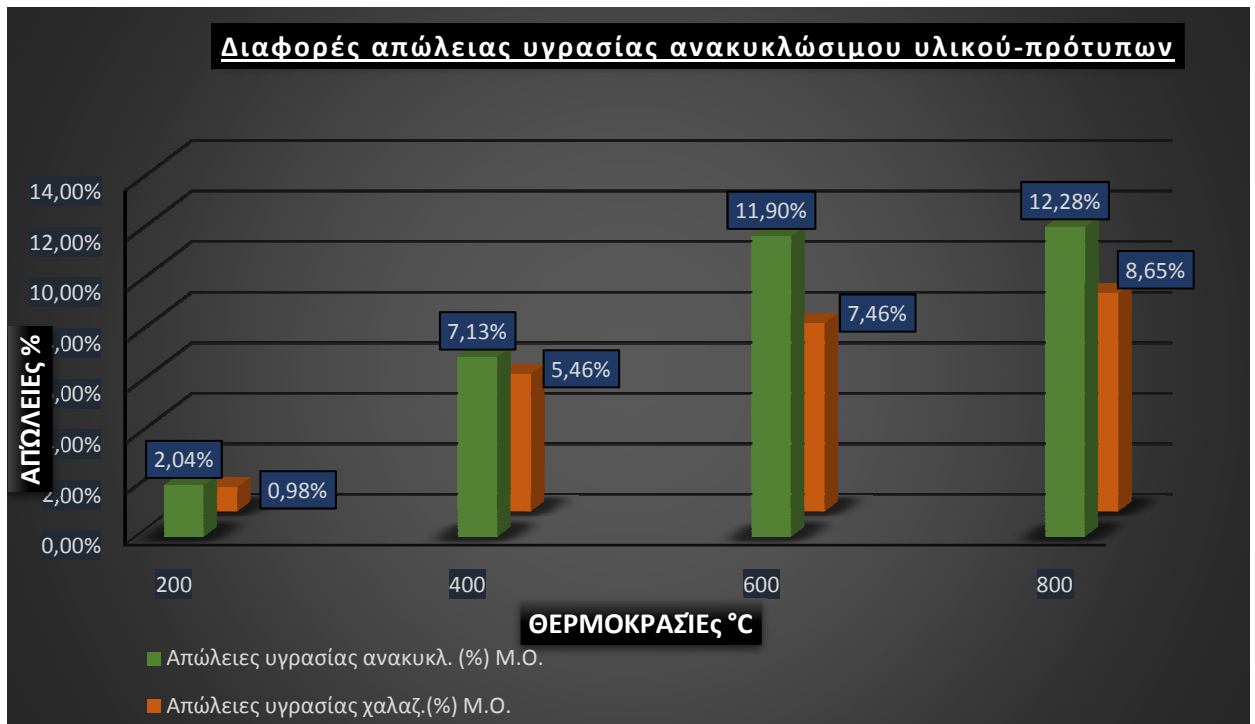
**Πίνακας δοκιμών τσιμέντου με ανακυκλώσιμο υλικό από χαλαζιακό κονίαμα.**

<b><u>Θερμοκρασίες (°C)</u></b>	<b><u>Βάρος Ανακυκλώσιμου υλικού από χαλαζιακό κονίαμα (g)</u></b>		<b><u>Απώλειες υγρασίας (%)</u></b>	<b><u>Απώλειες υγρασίας ανακυκλ. (%) Μ.Ο.</u></b>
	<b><u>Προ καύσης</u></b>	<b><u>Μετά καύσης</u></b>		
<b>20</b>	506			
	497			
	509			
<b>200</b>	502	483	3,78%	2,04%
	512	507	0,98%	
	513	506	1,36%	
<b>400</b>	495	462	6,67%	7,13%
	520	475	8,65%	
	512	481	6,05%	
<b>600</b>	512	465	9,18%	11,90%
	524	464	11,45%	
	538	457	15,06%	
<b>800</b>	521	462	11,32%	12,28%
	508	445	12,40%	
	519	451	13,10%	

**Πίνακας δοκιμών τσιμέντου με πρότυπη άμμο.**

<b>Θερμοκρασίες (°C)</b>	<b>Βάρος Πρότυπης (g)</b>		<b>Απώλειες υγρασίας (%)</b>	<b>Απώλειες υγρασίας προτυπής(%) Μ.Ο.</b>
	<b>Προ καύσης</b>	<b>Μετά καύσης</b>		
<b>20</b>	574			
	595			
	591			
<b>200</b>	582	577	0,86%	0,98%
	579	573	1,04%	
	577	571	1,04%	
<b>400</b>	568	540	4,93%	5,46%
	565	536	5,13%	
	571	535	6,30%	
<b>600</b>	579	534	7,77%	7,46%
	576	532	7,64%	
	575	535	6,96%	
<b>800</b>	574	524	8,71%	8,65%
	568	514	9,51%	
	570	526	7,72%	

Τέλος υπάρχει το διάγραμμα απώλειας υγρασίας-θερμοκρασίας, με σκοπό την κατάδειξη των διαφορετικών ποσοστών απώλειας υγρασίας, μεταξύ δοκιμών τσιμέντου με χαλαζιακή άμμο και δοκιμών τσιμέντου με ανακυκλώσιμο υλικό από χαλαζιακό κονίαμα.



Β' Μέρος: Αποτελέσματα αντοχής σε κάμψη δοκιμίων (ανακυκλ.& χαλαζ.)  
κατά το Γ' Μέρος του πειράματος ( Έλεγχος αντοχής δοκιμίων σε Κάμψη).

Τοποθετώντας τα δοκίμια στη μηχανή κάμψης, για να ελέγξουμε τις αντοχές τους, τα αποτελέσματα που έδωσε η μηχανή ήταν σε daN, όπου 1daN=10N, δηλαδή μονάδες δύναμης (F).

Προηγείται ο πίνακας με τις μετρήσεις που λήφθηκαν, κατά την κάμψη των δοκιμίων τσιμέντου με ανακυκλώσιμο υλικό από χαλαζιακό κονίαμα, και έπεται ακριβώς από κάτω ο αντίστοιχος της κάμψης των δοκιμίων τσιμέντου με χαλαζιακή/πρότυπη άμμο.

<b>ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)</b>	<b>ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΑ (N)</b>	<b>ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΑ (N) Μ.Ο.</b>
20	3080	3387
	4030	
	3050	
200	2620	3230
	3830	
	3240	
400	1980	2223
	2240	
	2450	
600	1490	1243
	1440	
	800	
800	200	210
	180	
	250	

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΠΡΟΤΥΠΑ (N)	ΠΡΟΤΥΠΑ (N) Μ.Ο.
20	3380	3417
	3720	
	3151	
200	2950	3243
	3450	
	3329	
400	2930	2937
	3000	
	2880	
600	2100	1767
	1900	
	1300	
800	250	230
	220	
	200	
	210	
	270	
	230	

Παρακάτω δίνονται ενδεικτικά οι υπολογισμοί που έγιναν για τον υπολογισμό των τάσεων των δοκιμίων με ανακυκλώσιμο υλικό από χαλαζιακό κονίαμα.

#### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΣΕΩΝ

Με Ανακυκλώσιμο υλικό από χαλαζιακό κονίαμα:

$$\underline{20^{\circ}\text{C}: R_f = (1,5 \cdot F_r \cdot l) / b^3 = (1,5 \cdot 3387\text{N} \cdot 120\text{mm}) / (40\text{mm})^3 = \underline{9,53\text{N/mm}^2}$$

$$\underline{200^{\circ}\text{C}: R_f = (1,5 \cdot F_r \cdot l) / b^3 = (1,5 \cdot 3230\text{N} \cdot 120\text{mm}) / (40\text{mm})^3 = \underline{9,08\text{N/mm}^2}$$

$$\underline{400^{\circ}\text{C}: R_f = (1,5 \cdot F_r \cdot l) / b^3 = (1,5 \cdot 2223\text{N} \cdot 120\text{mm}) / (40\text{mm})^3 = \underline{6,25\text{N/mm}^2}$$

$$\underline{600^{\circ}\text{C}: R_f = (1,5 \cdot F_r \cdot l) / b^3 = (1,5 \cdot 1243\text{N} \cdot 120\text{mm}) / (40\text{mm})^3 = \underline{3,50\text{N/mm}^2}$$

$$\underline{800^{\circ}\text{C}: R_f = (1,5 \cdot F_r \cdot l) / b^3 = (1,5 \cdot 210\text{N} \cdot 120\text{mm}) / (40\text{mm})^3 = \underline{0,59\text{N/mm}^2}$$

Να σημειώσουμε ότι:  $F_r$ : η δύναμη που ασκείται στο μέσο του πρίσματος κατά τη θραύση

$l$ : η απόσταση μεταξύ των στηριγμάτων

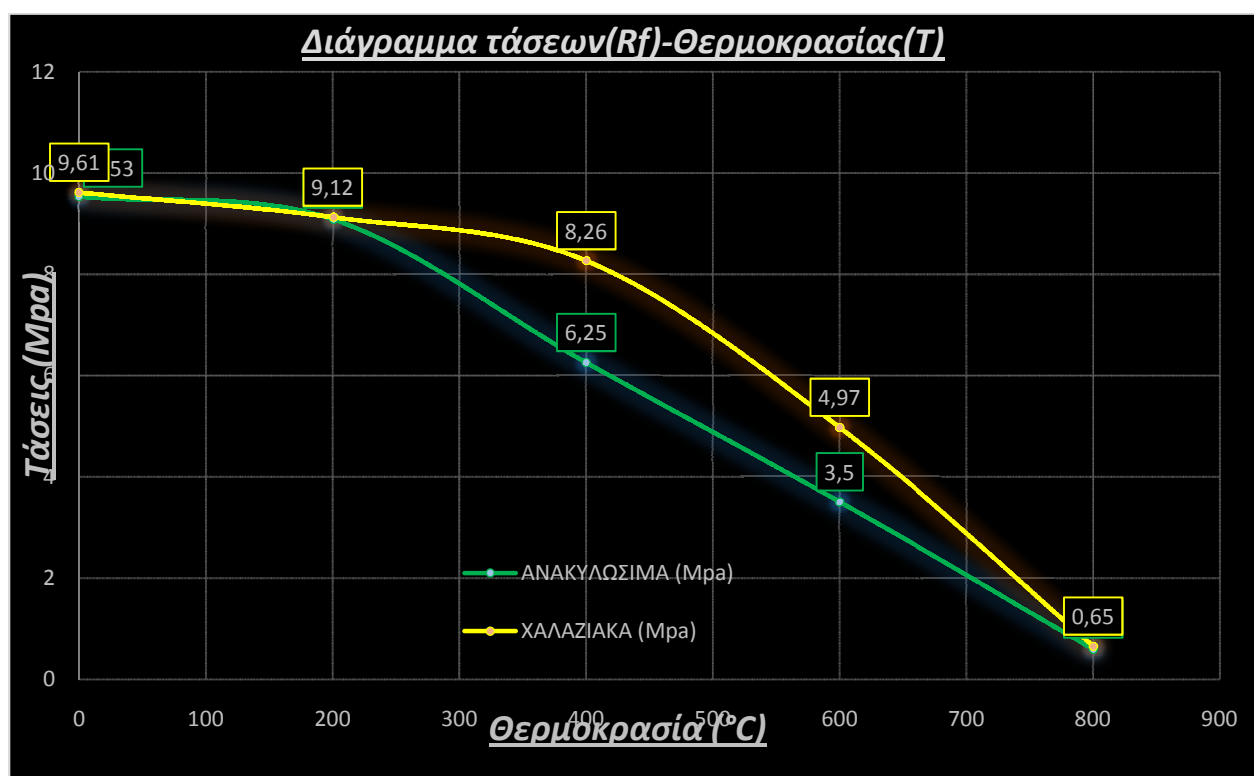
$b$ : η πλευρά της τετράγωνης επιφάνειας του πρίσματος



Αντίστοιχα υπολογίζονται και τα πρότυπα δοκίμια τσιμέντου και παρουσιάζονται και των δύο παρτίδων δοκιμών (με ανακυκλώσιμο υλικό & πρότυπα) οι αντοχές στον παρακάτω πίνακα.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΑΝΑΚΥΛΩΣΙΜΟ ΥΛΙΚΟ (Mpa)	ΠΡΟΤΥΠΑ (Mpa)
20	9,53	9,61
200	9,08	9,12
400	6,25	8,26
600	3,5	4,97
800	0,59	0,65

Και παρακάτω, σύμφωνα με τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα, υπάρχει το διάγραμμα τάσεων-θερμοκρασίας



Γ' Μέρος:Αποτελέσματα αντοχής σε θλίψη δοκιμίων (ανακυκλ.& χαλαζ.) κατά το Δ' Μέρος του πειράματος ( Έλεγχος αντοχής δοκιμίων σε Θλίψη).

Τοποθετώντας τα δοκίμια στη μηχανή θλίψης, τα αποτελέσματα που έδωσε η μηχανή ήταν σε kN, όπου  $1\text{kN}=1000\text{N}$ , δηλαδή μονάδες δύναμης (F).

Προηγείται ο πίνακας με τις μετρήσεις που λήφθηκαν, κατά τη θλίψη των δοκιμίων τσιμέντου με ανακυκλώσιμο υλικό από χαλαζιακό κονίαμα, και έπεται ακριβώς από κάτω ο αντίστοιχος της θλίψης των δοκιμίων τσιμέντου με χαλαζιακή/πρότυπη άμμο.

<b>ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)</b>	<b>ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΑ (N)</b>	<b>ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΑ (N) Μ.Ο.</b>
20	78700	68017
	71100	
	54250	
200	76150	77100
	75000	
	80150	
400	65100	64433
	56600	
	71600	
600	52450	51233
	52550	
	48700	
800	13250	13083
	10750	
	15250	

<b>ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)</b>	<b>ΠΡΟΤΥΠΑ (N)</b>	<b>ΠΡΟΤΥΠΑ (N) Μ.Ο.</b>
20	85200	84688
	84600	
	84264	
200	88150	88336
	86300	
	90558	
400	85250	85867
	85050	
	87300	
600	63550	64817
	65000	
	65900	
800	21750	20000
	21000	
	20500	
	17500	
	20500	
	18750	

Παρακάτω δίνονται ενδεικτικά οι υπολογισμοί που έγιναν για τον υπολογισμό των τάσεων των δοκιμών με ανακυκλώσιμο υλικό από χαλαζιακό κονίαμα.

#### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΣΕΩΝ

Με Ανακυκλώσιμο υλικό από χαλαζιακό κονίαμα:

20°C:  $R_c = (F_c / b \cdot h) = (68017 \text{ N} / 0,04 \text{ m} \cdot 0,04 \text{ m}) = 68017 \text{ N} / 0,0016 \text{ m}^2 = 42,51 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 = 42,51 \cdot 10^6 \text{ Pa} = \underline{42,51 \text{ Mpa}}$

200°C:  $R_c = (F_c / b \cdot h) = (77100 \text{ N} / 0,04 \text{ m} \cdot 0,04 \text{ m}) = \underline{48,19 \text{ Mpa}}$

400°C:  $R_c = (F_c / b \cdot h) = (644330 \text{ N} / 0,04 \text{ m} \cdot 0,04 \text{ m}) = \underline{40,27 \text{ Mpa}}$

600°C:  $R_c = (F_c / b \cdot h) = (51233 \text{ N} / 0,04 \text{ m} \cdot 0,04 \text{ m}) = \underline{32,02 \text{ Mpa}}$

800°C:  $R_c = (F_c / b \cdot h) = (13083 \text{ N} / 0,04 \text{ m} \cdot 0,04 \text{ m}) = \underline{8,18 \text{ Mpa}}$

Να σημειώσουμε ότι:

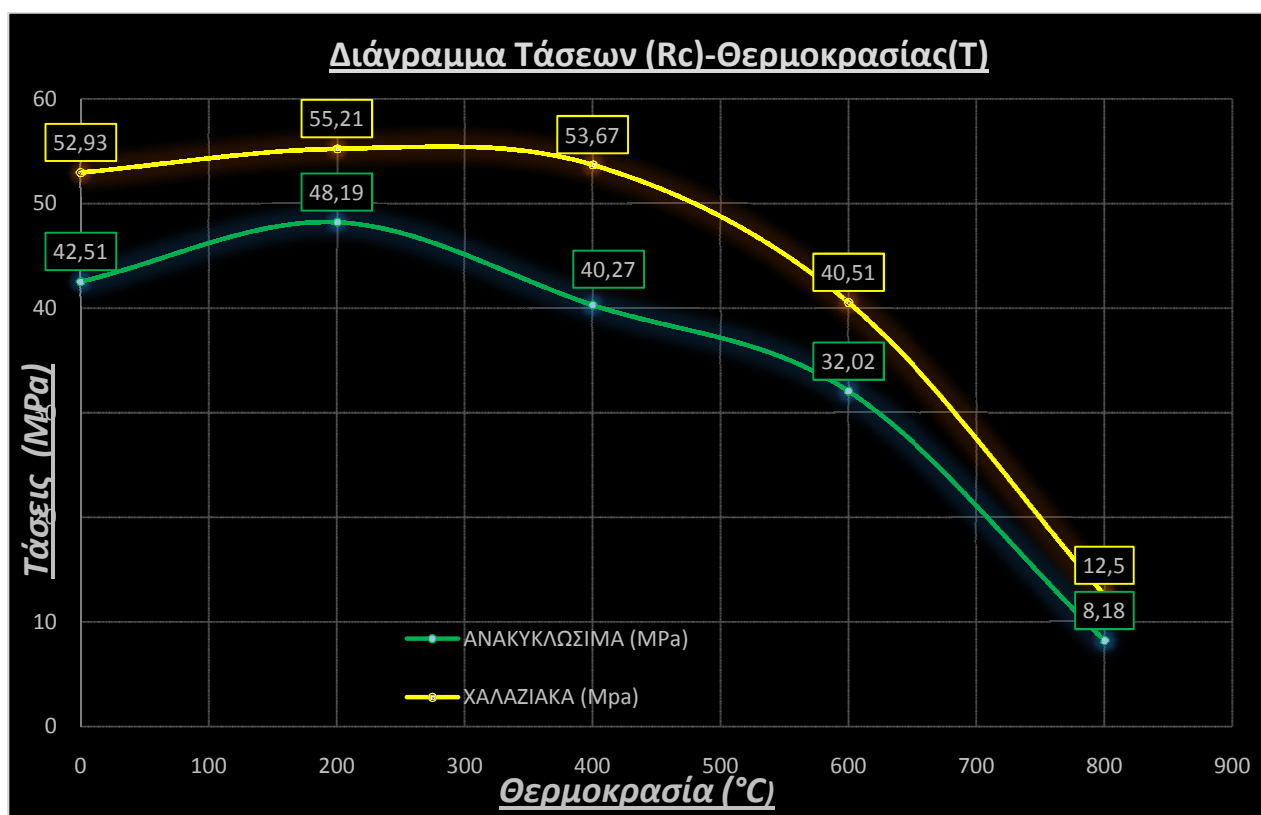
*F<sub>c</sub>*: η μέγιστη δύναμη που ασκείται στο σημείο θραύσης

*b&h*: πλευρές της τετράγωνης επιφάνειας του πρίσματος

Αντίστοιχα υπολογίζονται και τα πρότυπα δοκίμια τσιμέντου και παρουσιάζονται και των δύο παρτίδων δοκιμών (με ανακυκλώσιμο υλικό & πρότυπα) οι αντοχές στον παρακάτω πίνακα.

<b>ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)</b>	<b>ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΟ ΥΛΙΚΟ (MPa)</b>	<b>ΠΡΟΤΥΠΑ (MPa)</b>
20	42,51	52,93
200	48,19	55,21
400	40,27	53,67
600	32,02	40,51
800	8,18	12,50

Και παρακάτω, σύμφωνα με τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα, υπάρχει το διάγραμμα τάσεων-θερμοκρασίας.



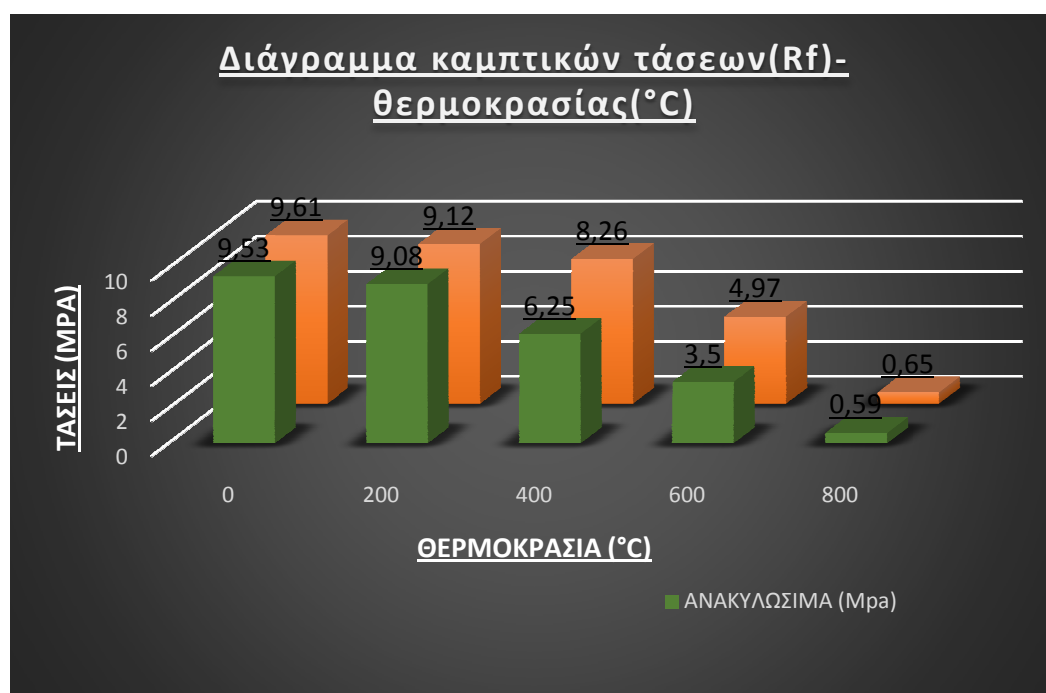
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.

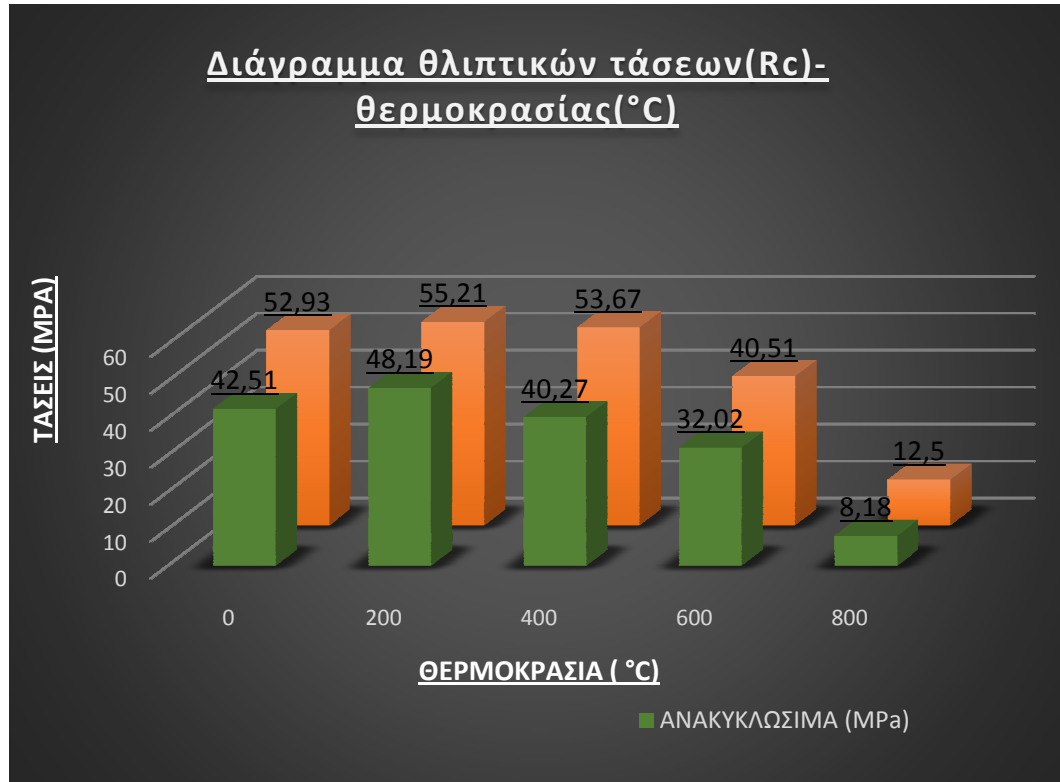
### Αξιολόγηση αποτελεσμάτων, παρατηρήσεις & συμπεράσματα

Όπως φαίνεται και από τα παρακάτω δεδομένα-γραφήματα, γίνεται αντιληπτό από την πρώτη ματιά ότι οι αντοχές των δοκιμών τσιμέντου με πρότυπη άμμο είναι μεγαλύτερες από αυτές των δοκιμών τσιμέντου με ανακυκλώσιμο υλικό από χαλαζιακό κονίαμα, σε κάθε μια από τις θερμοκρασίες(20-200-400-600-800 °C) στις οποίες έγινε έλεγχος αντοχής των δοκιμών είτε σε κάμψη, είτε σε θλίψη, το οποίο ήταν κάτι που περιμέναμε.

Σε δεύτερο πλάνο παρατηρείται, ότι όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία των φούρνων στους οποίους τοποθετήθηκαν και οι δύο παρτίδες τσιμεντοκονιάματος, τόσο μειώνεται η αντοχή τους. Δηλαδή η σχέση μεταξύ, Τάσης(καμπτικής Rf ή θλιπτικής Rc) των δοκιμών (είτε αυτά έχουν δημιουργηθεί με πρότυπη άμμο είτε με ανακυκλώσιμο υλικό), και Θερμοκρασίας (T) είναι αντιστρόφως ανάλογη. Αποτέλεσμα αναμενόμενο, καθώς όπως εξηγείται λεπτομερώς και στο Κεφάλαιο 2 όσο αυξάνεται η θερμοκρασία τόσο μειώνονται, ή και ακόμη τείνουν να εξαφανιστούν οι μηχανικές αντοχές του κονιάματος.

Τέλος, στη θερμοκρασία των 200°C, φαίνεται να αυξάνεται αναπάντεχα η θλιπτική τάση Rc (απο τους 20°C στους 200°C), και στις δύο παρτίδες δοκιμών τσιμεντοκονιάματος, γεγονός που μας κίνησε το ενδιαφέρον, και απαιτεί προφανώς περισσότερη διερεύνηση για την κατανόησή και ερμηνεύσή του.





### Βιβλιογραφία

- Δρ. Παναγιώτης Α. Βουθούνης, Αικ. Ε. Σταματίου, Π.Π. Βουθούνη, ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ, Μηχανική παραμορφώσιμου στερεού, Αθήνα 2013
- Νικόλαος Αραποστάθης, Δημήτριος Αραποστάθης, ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ, Στατική των στερεών & Ειδικά κεφάλαια, Εκδόσεις ΙΩΝ, 2010
- Δρ. Γεώργιος Ε. Μαγείρου, ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΥΛΙΚΩΝ-Εργαστήριο Μηχανικής II ΤΕΙ Πειραιά Τμήμα Πολιτικών Δομικών Έργων
- Πρακτικός Οδηγός για την Αποτίμηση Φέρουσας Ικανότητας και τις Δομητικές Επισκευές μετά από πυρκαγιά, σε Μικρά Κτήρια από Σκυρόδεμα και από Τοιχοποιία, ΤΕΕ ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ, ΕΜΠ ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, Αθήνα 2008
- Νικόλαος Νικολάου, Κωνσταντίνος Κολοβός, Παρασκευή Πανταζοπούλου, ΈΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΔΟΜΚΩΝ ΕΡΓΩΝ, Σημειώσεις εργαστηριακού μαθήματος, Φεβρουάριος 2015
- Σημειώσεις εργαστηριακού μαθήματος Σκυρόδεμα II

### Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

- Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος, <http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/cement/codes-standards>
- Πρότυπο /StandardΕΛΟΤ,ΕΛΟΤ 196-1, 5.1.2 Άμμος Αναφοράς CEN
- Wikipedia, <https://el.wikipedia.org>
- <http://mixanikosose.blogspot.gr/>