

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής



## Μεταπτυχιακή διατριβή

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΑΒΡΩΜΕΝΟΥ  
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

ΧΡΙΣΤΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Λεμεσός 2015

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε κατά το έτος 2015 στον Τομέα Πολιτικής Μηχανικής και Αειφόρου Σχεδιασμού του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Πρώτα από όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια κυρία Ταντελέ Έλια για τη στήριξη, την καθοδήγηση και τις συμβουλές που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της Μεταπτυχιακής Διατριβής. Ταυτόχρονα, θα ήθελα να την ευχαριστήσω ιδιαίτερα για τις γνώσεις που μου προσέφερε στο μάθημά της: Ευφυής Παρακολούθηση, Συντήρηση, Αποτίμηση και Διαχείριση Επικινδυνότητας και Αξιοπιστίας Κατασκευών.

Τέλος, ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στον κύριο Χριστοδούλου Μάριο, ιδιοκτήτη της εταιρείας ΔΗΝΕΜΑ Εργαστήρια ΛΤΔ, που με τη βοήθειά του και την έγκρισή του μπόρεσα να συλλέξω όλες τις πληροφορίες που χρειαζόμουν και το χρήσιμο υλικό για την ολοκλήρωση της εργασίας μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Είναι γεγονός ότι, οι εξελίξεις στα προβλήματα που παρουσιάζουν τα κτίρια σήμερα καθιστά επιτακτική την ανάγκη για τη δημιουργία επιτροπής. Αυτή η επιτροπή καλό θα ήταν να είναι ορισμένη από την Κυβέρνηση και να καταρτίζεται από Επιστήμονες-Πολιτικούς Μηχανικούς. Κύριος σκοπός της θα είναι η παρακολούθηση και ο έλεγχος των κτιρίων στον τόπο μας, έτσι ώστε να γίνεται πρόβλεψη των προβλημάτων που αντιμετωπίζουν στη στατικότητα τους, για να μην αποτελούν δημόσιο κίνδυνο . Γι' αυτόν ακριβώς τον λόγο, εδώ και δεκαετίες ο έλεγχος της στατικότητας των σπιτιών, αποτελεί για τους Πολιτικούς Μηχανικούς και τα αρμόδια σώματα αντικείμενο συνεχούς μελέτης. Ευτυχώς όμως το θετικό είναι ότι χρόνο με τον χρόνο παρουσιάζονται καινούργια μηχανήματα, τα οποία με την αποτελεσματικότητα και την ευχρηστία τους κάνουν πιο εύκολη και πιο αξιόπιστη τη δουλειά των Πολιτικών Μηχανικών.

Στην παρούσα εργασία μελετήσαμε με τη μέθοδο της δειγματοληψίας πυρήνων σκυροδέματος αρκετές περιπτώσεις κτιρίων σε ολόκληρη την επαρχία Λεμεσού, κυρίως παραλιακά, τα οποία αντιμετωπίζουν προβλήματα ενανθράκωσης και στατικότητας.

Τέλος, εφαρμόσαμε όλα εκείνα τα εργαλεία-μηχανήματα που έχουμε στη διάθεσή μας, καθώς και την εμπειρία μας, ώστε η μελέτη, ο έλεγχος, τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματά μας να περιγράφουν πλήρως την υπάρχουσα κατάσταση των κτιρίων.

## **ABSTRACT**

It is a fact that the development in the problems that appear in today's buildings, makes the need to create a committee absolutely necessary. This committee should be appointed by the government and it should consist of Civil Engineers-scientists. It's main purpose will be to monitor and check buildings in Cyprus, so as to predict problems they may have in their statics and not be a danger to the public. For this exact reason, for decades now the checking of statics for houses has been the object of continuous study for Civil Engineers and everybody else involved. On the upside of this is that year by year new machinery emerge which make the job of Civil Engineers easier and more reliable with their efficiency and ease of use.

In this project I investigated with the method of taking samples from concrete cores, sufficient cases of buildings in Limassol (mostly near the beach) which have problems of carbonation and statics.

After doing so, I implemented all the tools and machinery at my disposal and used my experience in order to make the study, that checking, the results and conclusions fully describe the current condition of the buildings I examined.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ .....	7
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ .....	9
1.2 ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ.....	11
1.3 ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ .....	13
1.4 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	13
2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	16
2.1 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ .....	16
2.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ .....	18
3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	24
4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ.....	28
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	28
4.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ .....	28
4.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΤΙΣ ΔΟΚΟΥΣ-ΠΛΑΚΕΣ.....	33
4.4 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	38
5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗΣ .....	39
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	39
5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	39
5.3 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	53
6 ΜΕΤΡΑ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ .....	48
7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	49
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	53

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

**Πίνακας 1:** Ελάχιστες απαιτήσεις αποδεκτού σκυροδέματος με τη μέθοδο των πυρήνων (Πηγή: Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος Μέρος Ι, Πάτρα 2007)

**Πίνακας 2:** Εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος σε MPa πυρήνων (Πηγή: Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος Μέρος Ι, Πάτρα 2007)

**Πίνακας 3:** Περιγραφή στοιχείων δειγματοληψίας πυρήνων (Πηγή: Μάθημα Ερευνητικές Μέθοδοι, Το φαινόμενο ενανθράκωση και η επιπτώσεις του στους οπλισμούς, Χρίστου Γιώργος, ΤΕΠΑΚ 2013)

**Πίνακας 4:** Ποιότητα σκυροδέματος – Παρατηρήσεις

**Πίνακας 5:** Ποιότητα σκυροδέματος – Παρατηρήσεις (Πηγή: Εργαστήρια ΔΗΝΕΜΑ)

**Πίνακας 6:** Τελικά αποτελέσματα ελέγχου κατοικίας (Πηγή Εργαστήρια ΔΗΝΕΜΑ ΛΤΔ)

**Πίνακας 7:** Μέσοι όροι αποτελεσμάτων ελέγχου κατοικίας (Πηγή Εργαστήρια ΔΗΝΕΜΑ ΛΤΔ)

**Πίνακας 8:** Προδιαγραφές αναλογίας παρασκευής σκυροδέματος (Αγγλικό Πρότυπο)

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

**Σχήμα 1:** Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα και τρόποι καταπολέμησης του (Πηγή Α/φοι Παναγόπουλοι – σύγχρονα δομικά υλικά)

**Σχήμα 2:** Πτώσεις επικάλυψης οπλισμού στα μπαλκόνια (Πηγή: Μάθημα Ερευνητικές Μέθοδοι, Το φαινόμενο ενανθράκωση και η επιπτώσεις του στους οπλισμούς, Χρίστου Γιώργος, ΤΕΠΑΚ 2013)

**Σχήμα 3:** Διαβρωμένος εκτεθειμένος οπλισμός – Πτώση επικάλυψης – Ρηγματώσεις (Πηγή: Μάθημα Ερευνητικές Μέθοδοι, Το φαινόμενο ενανθράκωση και η επιπτώσεις του στους οπλισμούς, Χρίστου Γιώργος, ΤΕΠΑΚ 2013)

**Σχήμα 4:** Μηχάνημα αποκοπής πυρήνων – Πυρήνας (Πηγή: Μάθημα Ερευνητικές Μέθοδοι, Το φαινόμενο ενανθράκωση και η επιπτώσεις του στους οπλισμούς, Χρίστου Γιώργος, ΤΕΠΑΚ 2013)

**Σχήμα 5:** Εργαλείο ανίχνευσης οπλισμού (Πηγή: Μάθημα Ερευνητικές Μέθοδοι, Το φαινόμενο ενανθράκωση και η επιπτώσεις του στους οπλισμούς, Χρίστου Γιώργος, ΤΕΠΑΚ 2013)

**Σχήμα 6:** Μηχανή ελέγχου θλιπτικής αντοχής (Πηγή: Μάθημα Ερευνητικές Μέθοδοι, Το φαινόμενο ενανθράκωση και η επιπτώσεις του στους οπλισμούς, Χρίστου Γιώργος, ΤΕΠΑΚ 2013)

**Σχήμα 7:** Μέτρηση βάθους ενανθρακωμένου σκυροδέματος – Επίδραση φαινολοφθαλεΐνης (Πηγή: Μάθημα Ερευνητικές Μέθοδοι, Το φαινόμενο ενανθράκωση και η επιπτώσεις του στους οπλισμούς, Χρίστου Γιώργος, ΤΕΠΑΚ 2013)

**Σχήμα 8:** Μηχανή ελέγχου θλιπτικής αντοχής

**Σχήμα 9:** Βλήτρο – Αγκύριο

**Σχήμα 10:** Συνεργασία παλαιού προς το νέο στοιχείο (Πηγή Χρυσοστόμου Κρίστης, Αποτίμηση της αντοχής και ενίσχυσης δομημάτων, ΤΕΠΑΚ 2014)

**Σχήμα 11:** Συνεργασία παλαιού προς το νέο στοιχείο (Πηγή Χρυσοστόμου Κρίστης, Αποτίμηση της αντοχής και ενίσχυσης δομημάτων, ΤΕΠΑΚ 2014)

**Σχήμα 12:** Μεταβολή του κόστους συντήρησης κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα και της διάβρωσης σε σχέση με το χρόνο (Πηγή Πέτρου Μιχάλης Ανθεκτικότητα οπλισμένου σκυροδέματος, Διάλεξη Πολιτικών Μηχανικών Κύπρου)

**Σχήμα 13:** Δομητής συμπίκνωσης σκυροδέματος

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

**Διάγραμμα 1:** Θλιπτική αντοχή υποστυλωμάτων στη περιοχή Αγίας Φύλας

**Διάγραμμα 2:** Θλιπτική αντοχή υποστυλωμάτων στη περιοχή Αγίου Αθανασίου

**Διάγραμμα 3:** Θλιπτική αντοχή υποστυλωμάτων στη περιοχή Αγίου Τύχωνα

**Διάγραμμα 4:** Θλιπτική αντοχή υποστυλωμάτων στη περιοχή Εναερίου

**Διάγραμμα 5:** Θλιπτική αντοχή υποστυλωμάτων στη περιοχή Γερμασόγειας

**Διάγραμμα 6:** Θλιπτική αντοχή υποστυλωμάτων στις περιοχές Πολεμίδα - Ζακάκι

**Διάγραμμα 7:** Θλιπτική αντοχή υποστυλωμάτων στη περιοχή Αγίου Νικολάου

**Διάγραμμα 8:** Θλιπτική αντοχή υποστυλωμάτων της επαρχίας Λεμεσού

**Διάγραμμα 9:** Θλιπτική αντοχή δοκού-πλάκας στη περιοχή Αγίας Φύλας

**Διάγραμμα 10:** Θλιπτική αντοχή δοκού-πλάκας στη περιοχή Αγίου Αθανασίου

**Διάγραμμα 11:** Θλιπτική αντοχή δοκού-πλάκας στη περιοχή Αγίου Νικολάου

**Διάγραμμα 12:** Θλιπτική αντοχή υποστυλωμάτων στη περιοχή Αγίου Τύχωνα

**Διάγραμμα 13:** Θλιπτική αντοχή δοκού-πλάκας στη περιοχή Γερμασόγειας

**Διάγραμμα 14:** Θλιπτική αντοχή δοκού-πλάκας στη περιοχή Εναερίου

**Διάγραμμα 15:** Θλιπτική αντοχή δοκού-πλάκας στις περιοχές Πολεμίδα – Ζακάκι

**Διάγραμμα 16:** Θλιπτική αντοχή δοκού-πλάκας στη Επαρχία Λεμεσού

**Διάγραμμα 17:** Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα υποστυλώματος περιοχής Αγίας Φύλας

**Διάγραμμα 18:** Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα υποστυλώματος περιοχής Αγίου Αθανασίου

**Διάγραμμα 19:** Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα υποστυλώματος περιοχής Αγίου Νικολάου

**Διάγραμμα 20:** Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα υποστυλώματος περιοχής Αγίου Τύχωνα

**Διάγραμμα 21:** Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα υποστυλώματος περιοχής Γερμασόγειας

**Διάγραμμα 22:** Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα υποστυλώματος περιοχής Εναερίου

**Διάγραμμα 23:** Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα υποστυλώματος περιοχής Πολεμιδιών - Ζακάκι



**Διάγραμμα 24:** Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα υποστυλώματος επαρχίας Λεμεσού

**Διάγραμμα 25:** Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα δοκού-πλάκας περιοχής Αγίας Φύλας

**Διάγραμμα 26:** Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα δοκού-πλάκας περιοχής Αγίου Αθανασίου

**Διάγραμμα 27:** Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα δοκού-πλάκας περιοχής Αγίου Νικολάου

**Διάγραμμα 28:** Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα δοκού-πλάκας περιοχής Αγίου Τυχώνα

**Διάγραμμα 29:** Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα δοκού-πλάκας περιοχής Γερμασόγειας

**Διάγραμμα 30:** Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα δοκού-πλάκας περιοχής Εναερίου

**Διάγραμμα 31:** Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα δοκού-πλάκας περιοχής Πολεμιδιών – Ζακάκι,

**Διάγραμμα 32:** Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα δοκού-πλάκας επαρχίας Λεμεσού

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Αρχικά ας ορίσουμε τη γνωστή σε όλους έννοια του σκυροδέματος. Το σκυρόδεμα υπό την ευρύτερη του έννοια είναι ένα τεχνητό υλικό το οποίο παρασκευάζει ο άνθρωπος εδώ και 9000 χρόνια, όπου με την ανάμειξη της κατάλληλης αναλογίας νερού, τσιμέντου και αδρανών (σκύρα, άμμος) προκύπτει το νωπό σκυρόδεμα. Αφού συντηρηθεί και συμπυκνωθεί, έρχεται στην τελική του μορφή (στερεό σώμα) αποκτώντας προδιαγεγραμμένες ιδιότητες ανθεκτικότητας και αντοχής.

Είναι γεγονός ότι, από τη μία πλευρά το σκυρόδεμα, έχει πάρα πολλά πλεονεκτήματα στις κατασκευές, όπως η ευκολία του να προσαρμόζεται σε οποιαδήποτε μορφή ξυλότυπου και να καλύπτει σχεδόν όλες τις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις. Επιπρόσθετα, σημαντικό θεωρώ να αναφέρω ότι είναι ανθεκτικό στη μηχανική φθορά και στη φωτιά. Επίσης, είναι οικονομικό, εφόσον κατά κανόνα δεν απαιτείται συντήρησή του. Ταυτόχρονα, τα υλικά του (νερό, αδρανή, τσιμέντο) έχουν χαμηλό κόστος και προμηθεύονται εύκολα. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα, που αξίζει να αναφερθεί είναι η σχετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή του, που έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη επιβάρυνση στο περιβάλλον. Η σημαντικότερη όμως ιδιότητά του είναι η θλιπτική του αντοχή. Το σκυρόδεμα ακόμη και άοπλο παρουσιάζει μεγάλη αντοχή σε θλίψη. Η θλιπτική αντοχή συμβολίζεται με  $f_c$  (c: concrete) στους κανονισμούς οπλισμένου σκυροδέματος και αναφέρεται στη μονοαξονική θλιπτική αντοχή (πηγή Παναγόπουλος και Κίρτας, 2005)

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι ελάχιστες απαιτήσεις αποδεκτού σκυροδέματος με τη μέθοδο των πυρήνων. Οι κατηγορίες σκυροδέματος ορίζονται με βάση τη χαρακτηριστική τιμή της θλιπτικής αντοχής σε MPa.

Κατηγορίες Σκυροδέματος	C16/20	C20/25	C25/30	C30/35	C35/40
Χαρακτηριστική Αντογή κυλινδρικού δοκιμίου $f_{ck}$ στις 28 ημέρες (N/mm <sup>2</sup> )	16	20	25	30	35
Χαρακτηριστική Αντογή κυβικού δοκιμίου $f_{ck,cube}$ στις 28 ημέρες (N/mm <sup>2</sup> )	20	25	30	35	40
Μέγιστο ονομαστικό μέγεθος αδρανών (mm)	20	20	20	20	20
Ελάχιστη αποδεκτή ποσότητα τσιμέντου (Kg/m <sup>3</sup> )	300	350	400	425	450
Μέγιστη Κάθιση Slump (mm)	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120
Μέγιστη αναλογία νερού/ τσιμέντου	0.5	0.5	0.45	0.45	0.45
<b>ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ</b>					
Απαιτούμενη Προκαταρκτική εργαστηριακή στις 7 ημέρες (N/mm <sup>2</sup> )	13 [19]	18 [22]	21 [25]	24 [28]	27 [31]
Απαιτούμενη Προκαταρκτική εργαστηριακή αντογή στις 28 ημέρες $f_{cm} - f_{ck} + 8$ (N/mm <sup>2</sup> )	24 [29]	28 [33]	33 [38]	38 [43]	43 [48]
<b>ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ</b> (Να ικανοποιούνται ταυτόχρονα και τα δύο)					
1. Ελάχιστη απαιτούμενη μέση αντογή ομάδας κυβικών δοκιμίων στις 28 ημέρες (N/mm <sup>2</sup> )	24	29	34	39	44
2. Ελάχιστη απαιτούμενη αντογή κυβικού δοκιμίου (N/mm <sup>2</sup> )	18	23	28	33	38
<b>ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ</b>					
Απαιτούμενη αντογή ισοδύναμου κύβου σε δοκιμές ελέγχου αντοχής υφιστάμενου σκυροδέματος με εξαγωγή καρότων (N/mm <sup>2</sup> )	17.3	21.7	26.0	30.3	34.7
*Οι αντοχές που φαίνονται στις παρενθέσεις είναι για κυβικά δοκίμια σκυροδέματος					

**Πίνακας 1:** Ελάχιστες απαιτήσεις αποδεκτού σκυροδέματος με τη μέθοδο των πυρήνων (Πηγή: Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος Μέρος Ι, Πάτρα 2007)

Από την άλλη πλευρά όμως, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα τα οποία συχνά περιορίζουν τη χρήση του, όπως το μεγάλο ίδιο βάρος του που δημιουργεί προβλήματα σε κατασκευές με μεγάλα ανοίγματα (υποστυλώματα, δοκοί). Επιπρόσθετα, ένα άλλο αρνητικό είναι οι περιορισμένες θερμομονωτικές του ιδιότητες και επίσης η πολύ μικρή αντοχή του σε εφελκυσμό. Ο όρος εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος αναφέρεται στη μέγιστη τάση που μπορεί να παραλάβει το άοπλο σκυρόδεμα όταν υποβάλλεται σε μονοαξονικό εφελκυσμό μέχρι την ρηγμάτωσή του (πηγή Παναγόπουλος και Κίρτας, 2005). Στον πίνακα 2 που

ακολουθεί παρουσιάζεται η μέση τιμή της εφελκυστικής αντοχής του άοπλου σκυροδέματος, όπως επίσης και οι χαρακτηριστικές εφελκυστικές αντοχές  $f_{ctk0.05}$  και  $f_{ctk0.95}$ .

$f_{ck}$	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$f_{ctk0.05}$	1.10	1.30	1.50	1.80	2.00	2.20	2.50	2.70	2.90
$f_{ctm}$	1.60	1.90	2.20	2.60	2.90	3.20	3.50	3.80	4.10
$f_{ctk0.95}$	2.00	2.50	2.90	3.30	3.80	4.20	4.60	4.90	5.30

**Πίνακας 2:** Εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος σε MPa πυρήνων (Πηγή: Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος Μέρος Ι, Πάτρα 2007)

Σε αυτό τη σημείο, θα ήθελα επίσης να τονίσω ότι, το υλικό του οπλισμού (χάλυβας), που χρησιμοποιούμε στις κατασκευές έρχεται για να καλύψει την αδυναμία του σκυροδέματος στην παραλαβή εφελκυστικών τάσεων. Ο οπλισμός μπαίνει στο σκυρόδεμα ως ράβδος-ράβδοι σε συγκεκριμένες θέσεις που καθορίζονται από τη στατική μελέτη της κάθε κατασκευής. Αυτές οι ράβδοι τοποθετούνται κυρίως στις θέσεις, όπου πρόκειται να αναπτυχθούν εφελκυστικές τάσεις, δηλαδή εκεί όπου το σκυρόδεμα να ανταποκριθεί στον εφελκυσμό. Τέλος, για να μπορεί να συνεργαστεί ο οπλισμός (χάλυβας) με το σκυρόδεμα, όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία, θα πρέπει να έχει και παρόμοιο συντελεστή θερμικής διαστολής. Μειονέκτημα του χάλυβα είναι η ευαισθησία του στη διάβρωση (σκουριάζει) και στη φωτιά. Η σκουριά του είναι το αποτέλεσμα οξείδωσής του. Το σκυρόδεμα όμως δημιουργεί ένα αλκαλικό περιβάλλον γύρω από τον οπλισμό αποτρέποντας την οξείδωση του και όταν έχει αρκετό πάχος τον προστατεύει από τις υψηλές θερμοκρασίες (φωτιά). Συμπερασματικά λοιπόν, τα δύο υλικά καλύπτουν το ένα τις αδυναμίες του άλλου (πηγή Τριανταφύλλου Χ.Α 2005 “Δομικά Υλικά” 7<sup>η</sup> Έκδοση).

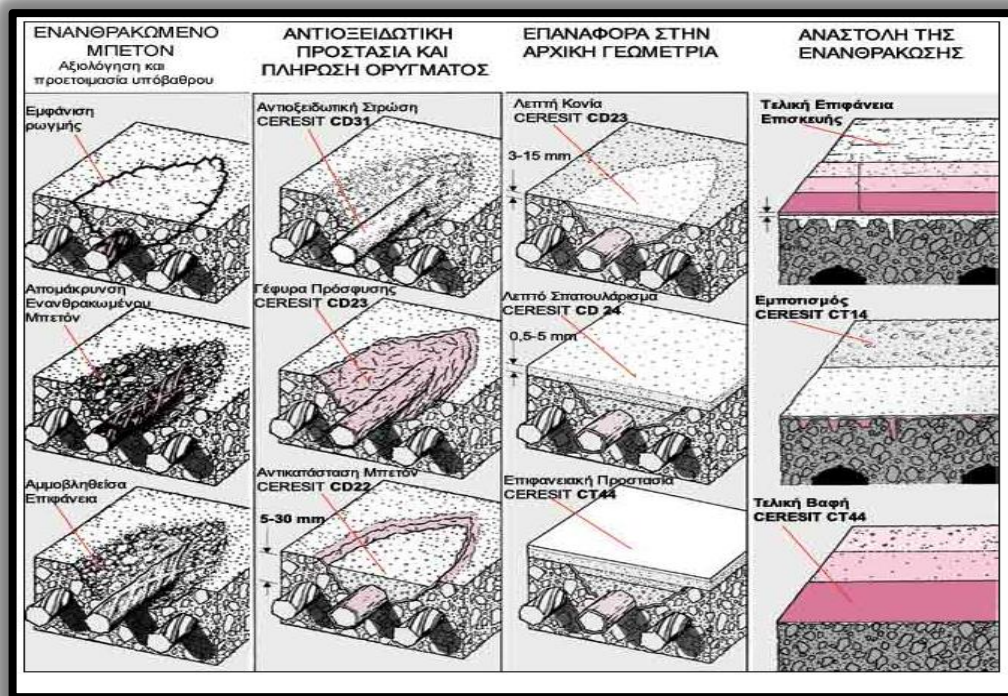
## 1.2 ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ

Είναι αλήθεια ότι η ενανθράκωση του σκυροδέματος είναι η αρχή της οδού διάβρωσης των οπλισμών. Είναι γνωστό ότι η «πάθηση» του σκυροδέματος που ονομάζεται ενανθράκωση πήρε το όνομά της εξαιτίας της αλλαγής του υδροξειδίου του ασβεστίου, που υπάρχει στο σκυρόδεμα σε ανθρακικό ασβέστιο (πηγή [www.360news.gr](http://www.360news.gr)). Το υδροξείδιο του ασβεστίου μαζί με άλλα υδροξείδια, που υπάρχουν σε μικρότερες ποσότητες, δημιουργούν στους οπλισμούς ένα προστατευτικό ιστό αλλά και ένα έντονα αλκαλικό περιβάλλον ( $pH \geq 12,5$ ). Σ' αυτό το περιβάλλον μία πολύ μικρή στρώση από οξείδια και υπεροξείδια προστατεύει το χάλυβα από τη διάβρωση. Συγκεκριμένα δε σταματά τη διάβρωση, αλλά την περιορίζει σημαντικά και μειώνει τους ρυθμούς εξέλιξής της. Η μετατροπή όμως του

υδροξειδίου του ασβεστίου σε ασβεστόλιθο με τη βοήθεια του ανθρακικού οξέος μειώνει την αλκαλικότητα του οπλισμένου σκυροδέματος στο περιβάλλον.

Επιπρόσθετα, εκεί όπου δρουν ταυτόχρονα και χλωριούχες ενώσεις όπως για παράδειγμα στις περιοχές που γεινιάζουν, η συνολική δράση της ενανθράκωσης και χλωριόντων μπορεί να είναι καταστροφική. Έχει διαπιστωθεί ότι, η ενανθράκωση και η διείσδυση χλωριόντων δεν είναι ανεξάρτητες διαδικασίες. Μάλιστα η πρώτη επιταχύνει σημαντικά τη δεύτερη. Όταν το υδροξείδιο του ασβεστίου του στερεού ιστού του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού αντιδρά με τα χλωριόντα και τα δεσμεύει, περιορίζει την ποσότητα αυτών που διαχέονται προς τον οπλισμό κάτω από την οριακή συγκέντρωση του 0.4-0.6%, που απαιτείται για τη διάτρηση του προστατευτικού οξειδίου. Όταν όμως το υδροξείδιο του ασβεστίου μετατραπεί με την ενανθράκωση σε ανθρακικό ασβέστιο, τα χλωριόντα που είχε δεσμεύσει ελευθερώνονται και διατίθενται πλέον για την προσβολή του χάλυβα (πηγή Κατсениού Δημάδη, 2010).

Επίσης, σημαντική είναι η ύπαρξη ρωγμών στο σκυρόδεμα. Οι ρωγμές αποτελούν δίοδο για να εισχωρήσουν, τόσο το διοξείδιο του άνθρακα, όσο και τα χλωριόντα στον οπλισμό, με αποτέλεσμα η διαδικασία της ενανθράκωσης και κατ' επέκταση η διάβρωση του οπλισμού να επιταχύνονται (βλέπε σχήμα 1).



**Σχήμα 1:** Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα και τρόποι καταπολέμησής του (Πηγή Α/φοι Παναγόπουλοι – σύγχρονα δομικά υλικά)

Συμπερασματικά λοιπόν, η ενανθράκωση είναι το φαινόμενο εκείνο, που περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο μας έκανε να συνειδητοποιήσουμε, ότι το οπλισμένο σκυρόδεμα «γερνάει» και απαξιώνεται. Το πρόβλημα, επομένως, που καλείται ένας σύγχρονος μηχανικός

να λύσει, είναι αυτό της ανθεκτικότητας του οπλισμένου σκυροδέματος σε διάρκεια «ζωής». (Πηγή Κουρνέτας Δημήτριος, 16<sup>ο</sup> φοιτητικό συνέδριο: Επισκευές κατασκευών, Πάτρα 2010).

### **1.3 ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ**

Τα τελευταία χρόνια παρατηρούνται έργα από οπλισμένο σκυρόδεμα κατασκευασμένα πριν από αρκετές δεκαετίες, να φθάνουν στο τέλος της χρήσιμης ζωής τους, όχι επειδή κρίνονται ως λειτουργικά ανεπαρκή, ούτε γιατί κάποια εξωτερική μηχανική δράση, όπως ο σεισμός ή τα φορτία χρήσης προκάλεσε την αστοχία, αλλά εξαιτίας της φυσικής γήρανσής τους.

Επίσης, ο σύγχρονος κύριος, εφόσον εξελίσσεται τα τελευταία χρόνια και είναι ενημερωμένος για τα πάντα που αφορούν τον τρόπο ζωής του και το περιβάλλον κατοικίας του, επιθυμεί να πραγματοποιεί πολύ συχνά στατικούς ελέγχους στην κατοικία όπου διαμένει για προσωπικούς λόγους. Συγκεκριμένα, ενδιαφέρεται να ενημερωθεί για τη στατικότητα της κατοικίας του, είτε για λόγους προσωπικής του ασφάλειας, έτσι ώστε να μπορεί να προστατεύσει τον εαυτό του και την οικογένειά του σε περίπτωση σεισμού ή οποιασδήποτε άλλης φυσικής επέμβασης, είτε απλώς και μόνο επειδή ενδιαφέρεται να ενισχύσει τη στατικότητά της. Τέλος, κάποιοι άλλοι ιδιοκτήτες, θέλουν να γνωρίζουν για τη στατικότητα επειδή επιθυμούν την επέμβαση-επέκταση στην υφιστάμενη κατοικία τους.

### **1.4 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Είναι γεγονός ότι το όφελος της προσπάθειας συλλογής και ανάλυσης δεδομένων θα είναι τεράστιο. Το μεγάλο εύρος των δεδομένων, αντλήθηκε από το προσωπικό αρχείο του κύριου Μάριου Χριστοδούλου, το οποίο συγκεντρώθηκε από τον ίδιο εδώ και πολλά χρόνια, χωρίς να έχει χρησιμοποιηθεί για έρευνες έως τώρα. Εμείς πήραμε τις συγκεκριμένες πληροφορίες από αυτόν, αξιοποιήσαμε όλες τις μεμονωμένες περιπτώσεις κατοικιών, από τις οποίες συλλέχθηκαν πυρήνες και τις κατηγοριοποιήσαμε σε περιοχές της Λεμεσού, οι οποίες είναι κυρίως κοντινές στην παραλιακή ζώνη της πόλης, για να καταλήξουμε στα συμπεράσματά μας για την κάθε περιοχή και επομένως για την επαρχία Λεμεσού.

Στην παρούσα εργασία-έρευνα θα ασχοληθούμε με κτίρια τα οποία κτίστηκαν πριν από περίπου 25-35 χρόνια στην επαρχία Λεμεσού και παρουσιάζουν προβλήματα γήρανσης, πτώση επικάλυψης οπλισμών, ρηγματώση, ενανθράκωση καθώς και διάβρωση οπλισμού. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι αρκετά από τα κτίρια που κτίστηκαν την ίδια περίοδο αλλά και πιο πριν στην Κύπρο, παρουσιάζουν παρόμοια ακόμη και χειρότερα προβλήματα (βλέπε σχήμα 2).





**Σχήμα 2:** Πτώσεις επικάλυψης οπλισμού στα μπαλκόνια (Πηγή: Μάθημα Ερευνητικές Μέθοδοι, Το φαινόμενο ενανθράκωση και η επιπτώσεις του στους οπλισμούς, Χρίστου Γιώργος, ΤΕΠΑΚ 2013)

Έτσι, σκοπός της μελέτης αυτής είναι να προσδώσει και να απεικονίσει στον αναγνώστη την υπάρχουσα κατάσταση των κτιρίων της επαρχίας Λεμεσού, που κτίστηκαν μεταπολεμικά, και πώς αυτά επηρεάζονται με το πέρασμα των χρόνων ανάλογα με την τοποθεσία που είναι κτισμένα (βλέπε σχήμα 3).



**Σχήμα 3:** Διαβρωμένος εκτεθειμένος οπλισμός – Πτώση επικάλυψης – Ρηγματώσεις (Πηγή: Μάθημα Ερευνητικές Μέθοδοι, Το φαινόμενο ενανθράκωση και η επιπτώσεις του στους οπλισμούς, Χρίστου Γιώργος, ΤΕΠΑΚ 2013)

Επιπρόσθετα, ευρύτερος σκοπός είναι αυτή η μελέτη να αποτελέσει την απαρχή ώστε να ακολουθήσουν και άλλες παρόμοιες μελέτες, η σύγκριση των οποίων θα μπορούσε να δώσει μια πλήρη εικόνα των προβλημάτων που αντιμετωπίζουν αρκετά κτίρια σε ολόκληρη την Κύπρο.



## 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 2.1 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Αρχικά, υπάρχει συνεννόηση είτε με τον υπεύθυνο μηχανικό, που αναλαμβάνει να πραγματοποιήσει όλους τους απαραίτητους ελέγχους στατικότητας του κτιρίου, είτε με τον ίδιο τον ιδιοκτήτη, ώστε να ενημερωθούμε για τα προβλήματα που αντιμετωπίζει το κτίριο-κατοικία και επιπλέον, μας αναλύει το σκοπό που ενδιαφέρεται να ελέγξει τη στατικότητα του κτιρίου ή της κατοικίας που διαμένει.

Ακολούθως, γίνεται οπτικός έλεγχος των στοιχείων (δοκοί, υποστυλώματα, τοιχώματα, πλάκες), που είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με τη στατικότητα του κτιρίου και σημειώνονται όλα όσα γίνονται αντιληπτά με γυμνό μάτι, δηλαδή αν υπάρχουν στοιχεία ασοβάτιστα, ρηγματωμένα, αν υπάρχει πτώση επικάλυψης του οπλισμού, εάν κάποια στοιχεία είναι εκτεθειμένα στην υγρασία και τη βροχή, και τέλος εάν ο οπλισμός τους είναι απροστάτευτος και διαβρωμένος. Στον πίνακα 3 που ακολουθεί παρουσιάζεται ένα παράδειγμα καταγραφής των πιο πάνω στοιχείων.

A/A	Περιγραφή στοιχείων δειγματοληψίας	Σχόλια – Παρατηρήσεις
1.	Γωνιακό (Νότιο) Υποστύλωμα Υπογείου	Ασοβάτιστο υποστύλωμα, με επίχρισμα σαγρέ μόνο
2.	Κεντρικό (Ανατολικό) Υποστύλωμα Υπογείου	Ασοβάτιστο υποστύλωμα, ρηγματωμένο, με πτώση επικάλυψης οπλισμού και διαβρωμένο οπλισμό
3.	Τοιχώματα Ανελκυστήρα Υπογείου	Ασοβάτιστο
4.	Κεντρική Δοκός Υπογείου	Ασοβάτιστη
5.	Κεντρικό (Δυτικό) Υποστύλωμα Ισογείου	Σοβατισμένο αλλά με ρωγμή κατά μήκος
6.	Κεντρικό (Νότιο) Υποστύλωμα Ισογείου (κεντρική είσοδος)	Ασοβάτιστο, μόνο με σπάτουλα και επίχρισμα μοργιάς
7.	Γωνιακό (Νοτιοανατολικό) Υποστύλωμα Ισογείου	Σοβατισμένο αλλά με ρωγμές κάθετα
8.	Τοιχώματα Ανελκυστήρα Ισογείου	Ρωγμή κάθετα

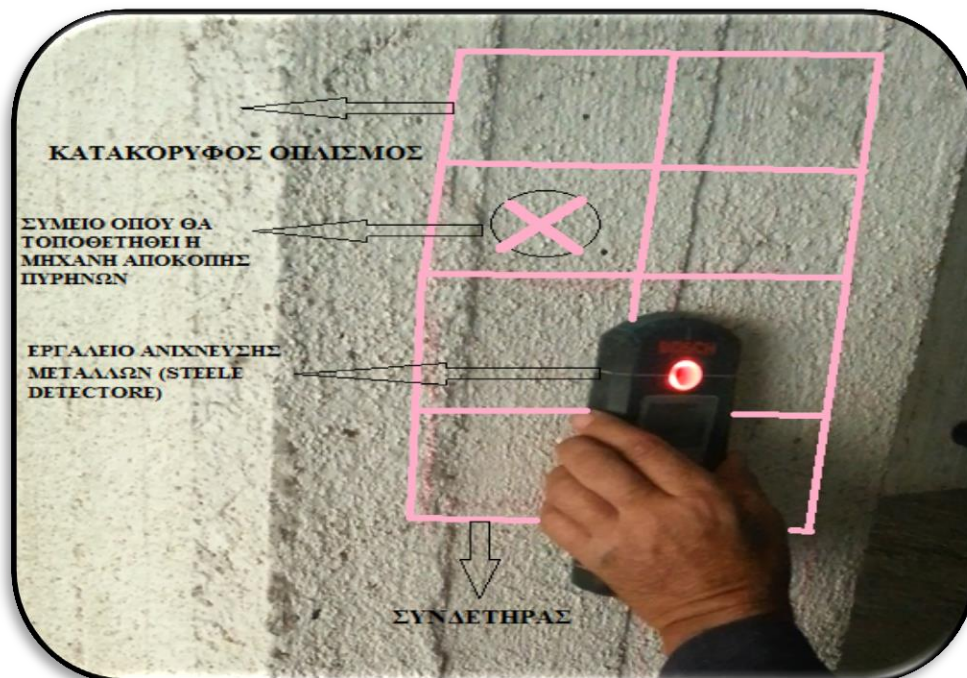
**Πίνακας 3:** Περιγραφή στοιχείων δειγματοληψίας πυρήνων (Πηγή: Μάθημα Ερευνητικές Μέθοδοι, Το φαινόμενο ενανθράκωση και η επιπτώσεις του στους οπλισμούς, Χρίστου Γιώργος, ΤΕΠΑΚ 2013)

Επιπλέον, στη συνέχεια, σε κάθε στοιχείο ο μηχανικός θα πρέπει να υποδείξει το σημείο, όπου θα τοποθετηθεί το μηχάνημα αποκοπής των πυρήνων σκυροδέματος (core cutting machine). Το εργαλείο «ποτήρι» τοποθετείται στο μπροστινό μέρος του μηχανήματος αποκοπής πυρήνων και έχει διάμετρο  $d=10\text{cm}$  (βλέπε σχήμα 4). Όπως εύκολα μπορεί να αντιληφθεί κανείς από το Σχήμα 4 το βάθος  $L$  του πυρήνα που έχει αποκοπεί σε σχέση με τη διάμετρό του  $d$  είναι δυσανάλογη ( $L \gg d$ ). Σκοπός είναι το μηχάνημα αποκοπής πυρήνων να μην αποκόψει και τον οπλισμό. Δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να δημιουργηθούν περισσότερα προβλήματα στατικότητας στο κτίριο.



**Σχήμα 4:** Μηχάνημα αποκοπής πυρήνων – Πυρήνας (Πηγή: Μάθημα Ερευνητικές Μέθοδοι, Το φαινόμενο ενανθράκωση και η επιπτώσεις του στους οπλισμούς, Χρίστου Γιώργος, ΤΕΠΑΚ 2013)

Οπότε, πρέπει να καθοριστεί η ακριβής θέση του οπλισμού και των συνδετήρων. Αυτό επιτυγχάνεται με το εργαλείο ανίχνευσης οπλισμού (steele detectore), το οποίο τοποθετείται στο στοιχείο (π.χ υποστύλωμα, δοκός, πλάκα) και σύρεται με το χέρι. Έτσι, κάθε φορά που συναντά σίδηρο πίσω από την επικάλυψη σκυροδέματος ανάβει ένα κόκκινο λαμπάκι και κουδουνίζει. Είναι βασικό όμως, κάθε φορά που κουδουνίζει να σημειώνεται στο στοιχείο π.χ με μια κιμωλία η θέση του οπλισμού (βλέπε σχήμα 5), ώστε να σχηματιστεί μια εικόνα για το πως είναι κατανομημένος ο οπλισμός στο εσωτερικό του στοιχείου που εξετάζουμε. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι, το εργαλείο παρουσιάζει απώλεια της τάξης του 1-2cm, αλλά αυτό δεν το καθιστά αναξιόπιστο.



**Σχήμα 5:** Εργαλείο ανίχνευσης οπλισμού (Πηγή: Μάθημα Ερευνητικές Μέθοδοι, Το φαινόμενο ενανθράκωση και η επιπτώσεις του στους οπλισμούς, Χρίστου Γιώργος, ΤΕΠΑΚ 2013)

## 2.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Στη συνέχεια, αφού τελειώσει η δειγματοληψία των πυρήνων σκυροδέματος αυτά βυθίζονται για τουλάχιστον 24ώρες σε λεκάνη νερού στο εργαστήριο. Αφού παρέλθουν οι 24 ώρες, αποκόπτονται τα ανάλογα κομμάτια από τους πυρήνες κυλινδρικής διατομής και από τις δύο βάσεις του με το σφυρίλιο, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη αναλογία  $d:L = 1:1$ . Τα κομμάτια που αφαιρούνται φυλάγονται, γιατί θα χρησιμοποιηθούν στο τελικό στάδιο της διαδικασίας ελέγχου, όταν και τελικά θα μετρηθεί το συνολικό βάθος του ενανθρακωμένου σκυροδέματος. Το υπόλοιπο μέρος του κυλινδρικού πυρήνα σκυροδέματος λειαινείται με υαλόχαρτο και στις δύο βάσεις του, ώστε το θλιπτικό φορτίο που θα ασκήσουν οι δυο πλάκες της μηχανής ελέγχου αντοχής σε θλίψη (compression machine) να είναι ομοιόμορφο.

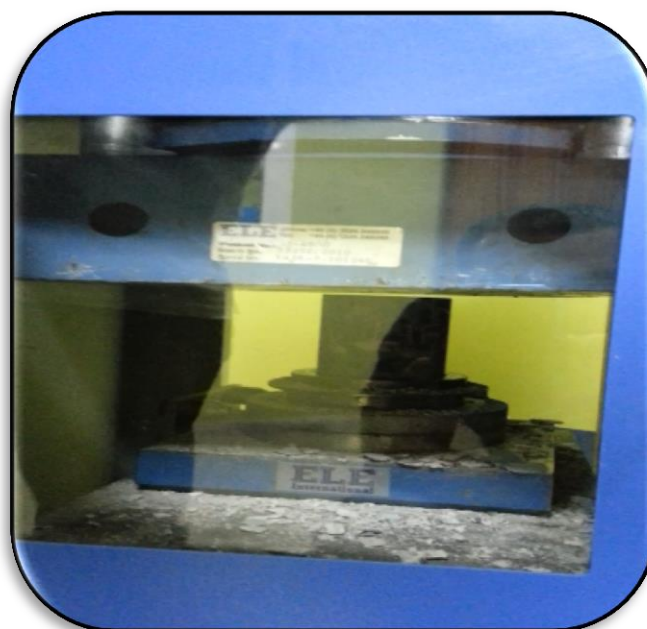
Με τη μελέτη των πυρήνων εντοπίζονται σημεία σχετικά με την σκυροδέτηση, την κατεργασία και την προφύλαξη του σκυροδέματος, όπως μέγεθος και είδος αδρανών, φωλιές σκύρων, συσσωρεύσεις πόρων, συγκεντρώσεις τσιμεντοπηλού, σκόνη, κενά και ρωγμές. Παράδειγμα των πιο πάνω παρατηρήσεων παρουσιάζεται στον πιο κάτω πίνακα.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΥΡΗΝΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ
Τύπος Χοντρόκοκκων αδρανών	Θραυστά ή φυσικά αδρανή
Τύπος λεπτόκοκκων αδρανών	Θραυστά ή φυσικά αδρανή
Κοκκομετρική συνθεση Αδρανών	Καλή , Μέτρια ή κακή
Κατανομή Αδρανών	Καλή , Μέτρια ή κακή
Συγκόλληση με τσιμεντοπηλό	Καλή , Μέτρια ή κακή
Μέγιστο μέγεθος κενών (mm)	Μετριέται (βλέπε σχήμα 5)
Επιπλέον κενά (%)	Ποσοστό σε σχέση με τον συνολικό όγκο του πυρήνα
Ενανθράκωση (mm)	Μετριέται (βλέπε σχήμα 5)

**Πίνακας 4:** Ποιότητα σκυροδέματος – Παρατηρήσεις

Τέλος, ζυγίζεται το δείγμα πυρήνα σκυροδέματος προτού ξεκινήσει η διαδικασία ελέγχου αντοχής σε θλίψη.

Αφού γίνουν οι προαναφερθείσες διαδικασίες (λείανσης, αποκοπής των πυρήνων σκυροδέματος), οι πυρήνες τοποθετούνται ο ένας μετά τον άλλο στη μηχανή έλεγχου θλιπτικής αντοχής (compression machine). Καθώς ξεκινά η μηχανή, οι δύο μεταλλικές πλάκες συγκλίνουν μεταξύ τους ασκώντας ίσο, αυξανόμενο, ομοιόμορφο θλιπτικό φορτίο και στις δύο βάσεις του πυρήνα σκυροδέματος (βλέπε σχήμα 6). Όταν ο πυρήνας σπάσει η μηχανή καταγράφει τη μέγιστη τιμή του φορτίου θλίψης που ασκήθηκε, το οποίο αποτελεί τη μέγιστη αντοχή του πυρήνα σε θλίψη.



**Σχήμα 6:** Μηχανή έλεγχου θλιπτικής αντοχής (Πηγή: Μάθημα Ερευνητικές Μέθοδοι, Το φαινόμενο ενανθράκωση και η επιπτώσεις του στους οπλισμούς, Χρίστου Γιώργος, ΤΕΠΑΚ 2013)

Η αντοχή του κάθε πυρήνα ανάγεται σε αντοχή κυβικού δοκιμίου με πολλαπλασιασμό της αντοχής του πυρήνα με τον αντίστοιχο συντελεστή.

1. 
$$\frac{2,3}{1,5+1/\lambda}$$
 Για πυρήνες από κατακόρυφη διάτρηση

2. 
$$\frac{2,5}{1,5+1/\lambda}$$
 Για πυρήνες από οριζόντια διάτρηση

Όπου  $\lambda$  ο λόγος του μήκους του πυρήνα προς τη διάμετρο του.

Η διαδικασία εξαγωγής των πυρήνων και η επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε σύμφωνα με το πρότυπο BS 1881: PART 120, 1983 και με το Concrete Society Technical Report No. 11

Αξίζει να σημειωθεί ιδιαίτερα, ότι η μέθοδος αναγνώρισης του ενανθρακωμένου σκυροδέματος είναι απλή και πάρα πολύ σημαντική. Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή της παρούσας μελέτης, το pH (πεχά) στο περιβάλλον ενός «υγιούς» οπλισμένου σκυροδέματος είναι αλκαλικό (όξινο). Το φαινόμενο της ενανθράκωσης όμως αλλάζει τη χημική του σύσταση και μειώνει αισθητά την αλκαλικότητα – οξύτητα στο περιβάλλον του. Οπότε, αν ο πυρήνας σπάσει και «ψεκαστεί» στο εσωτερικό του με ένα πολύ πιο ασθενές οργανικό οξύ (φαινολοφθαλεΐνη), τότε από το ένα μέρος όπου το περιβάλλον του δεν έχει επηρεαστεί λόγω της ενανθράκωσης και παραμένει έντονα αλκαλικό θα χρωματιστεί με ένα μωβ-κόκκινο χρώμα λόγω αντίδρασης, ενώ από το άλλο μέρος στην ενανθρακωμένη περιοχή του δε θα υπάρξει καμία αλλαγή χρώματος. Έτσι μετριέται το βάθος του ενανθρακωμένου σκυροδέματος προσθέτοντας όμως και το κομμάτι που αφαιρέθηκε στα αρχικά στάδια του ελέγχου (βλέπε σχήμα 7).



**Σχήμα 7:** Μέτρηση βάθους ενανθρακωμένου σκυροδέματος – Επίδραση φαινολοφθαλεΐνης (Πηγή: Μάθημα Ερευνητικές Μέθοδοι, Το φαινόμενο ενανθράκωση και η επιπτώσεις του στους οπλισμούς, Χρίστου Γιώργος, ΤΕΠΑΚ 2013)

Όλα τα δεδομένα που συλλέγονται απ' όλες τις διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν και αναφέρθηκαν με λεπτομέρεια πιο πάνω συνοψίζονται στο παράδειγμα του Πίνακα 3 που ακολουθεί:



**ΔΗΝΕΜΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ ΛΤΔ**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΟΔΟΣ ΗΡΑΚΛΕΟΥΣ 47, 3115 / ΕΛΜΕΣΣΟΣ ΤΗΛ: 25-575704 ΚΙΝ: 99-45822 email: dhema@yasnec.com.cy

ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ : EN 12504-1: 2000

ΕΡΓΟ : ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΤΕΤΡΑΡΟΦΗ ΟΙΚΟΔΟΜΗ ΣΤΗΝ ΛΕΜΕΣΟ

Ημερομ. Δοκιμής : 15/11/2013

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ :

Δειγματολήπτης : Μ. ΧΡΗΣΤΟΔΟΥΛΟΥ

ΠΥΡΗΝΑΣ	ΚΟΛΩΝΑ ΙΣΟΓΕΙΟΥ ΔΥΤΙΚΗ	ΚΟΛΩΝΑ ΙΣΟΓΕΙΟΥ ΝΟΤΙΑ (ΕΙΣΟΔΟ)	ΚΟΛΩΝΑ ΙΣΟΓΕΙΟΥ ΝΑΝΑΤΟΛΙΚΗ (ΠΩΝΙΑΚΗ)	ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΑ ΙΣΟΓΕΙΟΥ	ΚΟΛΩΝΑ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΝΟΤΙΑ	ΚΟΛΩΝΑ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ	ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΑ ΥΠΟΓΕΙΟΥ	ΔΟΚΟΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ
d : Διάμετρος πυρήνα (mm)	73,8	73,9	73,9	73,9	73,8	73,9	73,9	73,9
l : Τελικό μήκος πυρήνα (mm)	63,7	82,7	80,6	77,5	82,7	80,5	80,4	78,2
Vd : Λόγος (λ)	0,86	1,12	1,09	1,05	1,12	1,09	1,09	1,06
Επιφάνεια πυρήνα (mm <sup>2</sup> )	4277,62	4289,22	4289,22	4289,22	4277,62	4289,22	4289,22	4289,22
Φορτίο (KN)	67,7	51	56,9	57,3	52,8	49,2	54,4	71,1
Αντοχή πυρήνα N/mm <sup>2</sup>	15,83	11,89	13,27	13,36	12,34	11,47	12,68	16,58
Διόρθωση (C1)	0,940	1,044	1,034	1,019	1,045	1,034	1,033	1,022
Επί τόπου Αντοχή κύβου N/mm <sup>2</sup>	14,88	12,42	13,72	13,61	12,90	11,86	13,11	16,95
Διόρθωση για παρουσία σπλισμού	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Επί τόπου Αντοχή κύβου N/mm <sup>2</sup> (Διορθωμένη)	14,88	12,42	13,72	13,61	12,90	11,86	13,11	16,95
Βάθος Ενανθράκωσης (χλ)	40	48	43	51	55	57	46	49
Βάρος γρ.	638	842	812	756	814	789	802	767

Διόρθωση λόγω κατεύθυνσης εξαγωγής πυρήνα C1 C= 2,3/1,5+ 1/λ (ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ) & C= 2,5/1,5+1/λ (ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ)

Διόρθωση λόγω σπλισμού C2=(1,0+1,5φ1/φc x h/L) φ1 = διάμετρος σπλισμού φc = διάμετρος πυρήνα d= απόσταση άξονα σπλισμού από πλησιέστερο άκρο πυρήνα

**Πίνακας 5:** Ποιότητα σκυροδέματος – Παρατηρήσεις (Πηγή: Εργαστήρια ΔΗΝΕΜΑ)

- **d: Διάμετρος πυρήνα (mm) και L: Τελικό μήκος πυρήνα (mm)** : Μετρείται με το ηλεκτρονικό μέτρο ακριβείας (βλέπε σχήμα 7)
- **Επιφάνεια πυρήνα (mm<sup>2</sup>)** : Υπολογίζεται από τον τύπο:  $E\pi = d^2 * \pi/4$
- **Φορτίο F (KN):** Υπολογίζεται από τη μηχανή ελέγχου αντοχής σε θλίψη (compression machine).
- **Διόρθωση (C1):**  $C1 = (2,3 \text{ ή } 2,5) / (1,5 + 1/\lambda)$

2,3 : Για πυρήνες από κατακόρυφη διάτρηση  
2,5 : Για πυρήνες από οριζόντια διάτρηση

- Αντοχή πυρήνα (N/ mm<sup>2</sup>): Υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\underline{A\pi = F*1000/E\pi}$$

- Επί τόπου αντοχή κύβου (N/ mm<sup>2</sup>): Υπολογίζεται από τον τύπο:

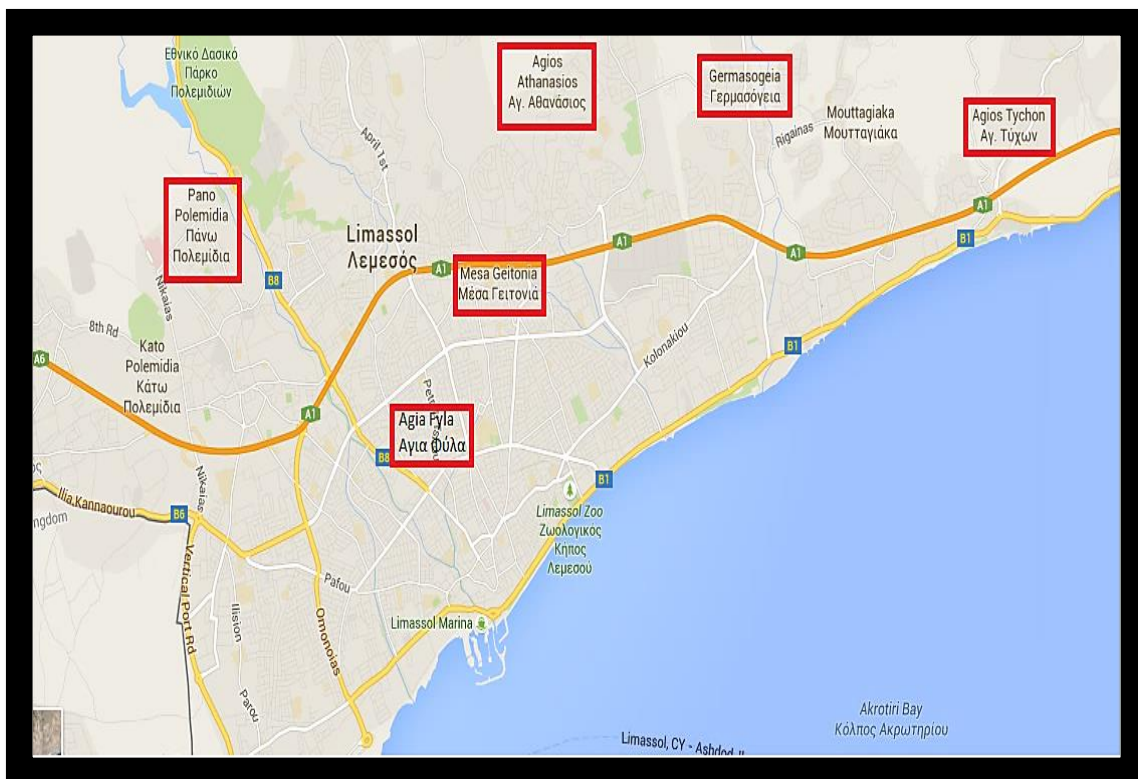
$$\underline{Εάν.κ = A\pi * C1}$$

- Βάθος Ενανθράκωσης (mm) : Μετριέται με το ηλεκτρονικό μέτρο ακριβείας (βλέπε σχήμα 7)



### 3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Αρχικά, αξιοποιήσαμε όλες τις μεμονωμένες περιπτώσεις κατοικιών, από τις οποίες συλλέχθηκαν πυρήνες και τις κατηγοριοποιήσαμε σε περιοχές της Λεμεσού. Ο διαχωρισμός της επαρχίας Λεμεσού στις πιο κάτω περιοχές (βλέπε σχήμα 8) έγινε αφενός, επειδή βρίσκονται κυρίως κοντά στην παραλιακή ζώνη της πόλης και αφετέρου, επειδή το μεγαλύτερο εύρος των δεδομένων που είχαμε στη διάθεσή μας και αξιοποιήσαμε αφορούσε αυτές τις περιοχές.



Σχήμα 8: Μηχανή ελέγχου θλιπτικής αντοχής

Επιπρόσθετα, σε κάθε κτίριο ή κατοικία που καλούμασταν για δειγματοληψία πυρήνων ελέγαμε όσο το δυνατόν περισσότερα στοιχεία (υποστυλώματα, δοκούς-πλάκες), ώστε τα αποτελέσματά μας να έχουν ένα πολύ υψηλό βαθμό αξιοπιστίας.

7	ΕΡΓΟ :						Ημερομ. Δοκιμής :
8	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ :						Δειγματολήπτης :
9	ΕΠΙΒΛΕΨΗ :						
	ΠΥΡΗΝΑΣ	1	2	3	4	5	
		ΚΟΛΩΝΑ ΙΣΟΓΕΙΟΥ (ΕΙΣΟΔΟΣ)	ΚΟΛΩΝΑ ΙΣΟΓΕΙΟΥ ΠΡΟΣΩΠΗΣ	ΚΟΛΩΝΑ ΙΣΟΓΕΙΟΥ ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ (ΥΠΝΟΔΩΜΑΤΙΟ)	ΔΟΚΟΣ ΙΣΟΓΕΙΟΥ ΠΡΟΣΩΠΗΣ (ΔΥΤΙΚΑ)	ΔΟΚΟΣ ΙΣΟΓΕΙΟΥ ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ (ΥΠΝΟΔΩΜΑΤΙΟ)	
11	d : Διάμετρος πυρήνα (mm)	75.1	75.1	75.1	75.1	75.1	
12	l : Τελικό μήκος πυρήνα (mm)	75.7	73.1	84.2	82.3	71.5	
13	l/d : Λόγος (λ)	1.01	0.97	1.12	1.10	0.95	
14	Επιφάνεια πυρήνα (mm <sup>2</sup> )	4429.65	4429.65	4429.65	4429.65	4429.65	
15	Φορτίο (KN)	54.1	44.3	47.1	32.1	33.4	
16	Αντοχή πυρήνα N/mm <sup>2</sup>	12.21	10.00	10.63	7.25	7.54	
17	Διόρθωση (C1)	1.003	0.989	1.045	1.036	0.980	
18	Επί τόπου Αντοχή κύβου N/mm <sup>2</sup>	12.25	9.89	11.11	7.51	7.39	
19	Διόρθωση για παρουσία οπλισμού	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
20	Κατεύθυνση εξαγωγής Δοκίμων						
	O= ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ						
	K= ΚΑΘΕΤΑ						
21		O	O	O	O	O	
22	Επί τόπου Αντοχή κύβου N/mm <sup>2</sup> (Διορθωμένη)	12.25	9.89	11.11	7.51	7.39	
23	Χαρακτηριστική Αντοχή N/mm <sup>2</sup>						
24	Μέσος Όρος Αντοχής						
25	Βάθος Ενανθράκωσης (χλ.)	45	45	15	45	25	
26	Πάχος Επιχρισματος (χλ.)						
27							
28	Διόρθωση λόγω κατεύθυνσης εξαγωγής πυρήνα C1	C= 2,3/1,5+ 1/λ (ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ) & C= 2,5/1,5+1/λ (ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ)					
29	Διόρθωση λόγω οπλισμού C2=	(1,0+1,5(ψ1/ψc x h/L) ψ1 = Διάμετρος οπλισμού ψc = Διάμετρος πυρήνα d= απόσταση άξονα οπλισμού από πλησιέστερο άκρο πυρήνα					
30							

**Πίνακας 6:** Τελικά αποτελέσματα ελέγχου κατοικίας (Πηγή Εργαστήρια ΔΗΝΕΜΑ ΛΤΔ)

Στο πιο πάνω παράδειγμα κατοικίας (βλέπε πίνακα 4) παρατηρούμε ότι από το ισόγειο ελέγχθηκαν τρία υποστυλώματα (στήλες 1,2,3) και δύο δοκοί-πλάκες (στήλες 4,5). Τα αποτελέσματα της διορθωμένης θλιπτικής αντοχής κύβου φαίνονται στη γραμμή 22 του πίνακα 4. Επίσης, στη γραμμή 24 του πίνακα 4 βλέπουμε τις μετρήσεις του βάθους του ενανθρακωμένου σκυροδέματος του κάθε στοιχείου αντίστοιχα. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι, σε αυτή τη μελέτη χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πρόγραμμα Microsoft Excel, ώστε τα αποτελέσματα για το κάθε κτίριο-κατοικία της θλιπτικής αντοχής των υποστυλωμάτων, δοκών-πλακών καθώς και οι μετρήσεις της ενανθράκωσής τους αντίστοιχα να παρουσιάζονται ως μέσοι όροι (βλέπε πίνακα 5).

7	ΕΡΓΟ :									Ημερομ. Δοκιμής :		
8	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ :									Δεγματολήπτης :		
9	ΕΠΙΒΛΕΨΗ :											
		1	2	3	A	4	5	B				
	ΠΥΡΗΝΑΣ	ΚΟΛΩΝΑ ΙΣΟΓΕΙΟΥ (ΕΙΣΟΔΟΣ)	ΚΟΛΩΝΑ ΙΣΟΓΕΙΟΥ ΠΡΟΣΩΠΗΣ	ΚΟΛΩΝΑ ΙΣΟΓΕΙΟΥ ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ (ΥΠΝΟΔΩΜΑΤΙΟ)	Μέσος Όρος	ΔΟΚΟΣ ΙΣΟΓΕΙΟΥ ΠΡΟΣΩΠΗΣ (ΔΥΤΙΚΑ)	ΔΟΚΟΣ ΙΣΟΓΕΙΟΥ ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ (ΥΠΝΟΔΩΜΑΤΙΟ)	Μέσος Όρος				
10												
11	d : Διάμετρος πυρήνα (mm)	75.1	75.1	75.1		75.1	75.1					
12	l : Τελικό μήκος πυρήνα (mm)	75.7	73.1	84.2		82.3	71.5					
13	l/d : Λόγος (λ)	1.01	0.97	1.12		1.10	0.95					
14	Επιφάνεια πυρήνα (mm <sup>2</sup> )	4429.65	4429.65	4429.65		4429.65	4429.65					
15	Φορτίο (KN)	54.1	44.3	47.1		32.1	33.4					
16	Αντοχή πυρήνα N/mm <sup>2</sup>	12.21	10.00	10.63		7.25	7.54					
17	Διόρθωση (C1)	1.003	0.989	1.045		1.036	0.980					
18	Επί τόπου Αντοχή κύβου N/mm <sup>2</sup>	12.25	9.89	11.11		7.51	7.39					
19	Διόρθωση για παρουσία σπλισμού	1.00	1.00	1.00		1.00	1.00					
20	Κατεύθυνση εξαγωγής Δοκιμίου											
21	O= ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ K= ΚΑΘΕΤΑ	0	0	0		0	0					
22	Επί τόπου Αντοχή κύβου N/mm <sup>2</sup> (Διορθωμένη)	12.25	9.89	11.11	11.09	7.51	7.39	7.45				
23	Χαρακτηριστική Αντοχή N/mm <sup>2</sup>											
24	Μέσος Όρος Αντοχής											
25	Βάθος Ενανθράκωσης (χλ.)	45	45	15	35	45	25	35				
26	Πάχος Επιχρίσματος (χλ.)											
27												
28	Διόρθωση λόγω κατεύθυνσης εξαγωγής πυρήνα C1	C= 2,3/1,5+ 1/λ (ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ) & C= 2,5/1,5+1/λ (ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ)										
29	Διόρθωση λόγω σπλισμού C2= (1,0+1,5(φ1/φc x h/L))	φ1 = διάμετρος σπλισμού φc = διάμετρος πυρήνα d= απόσταση άξονα σπλισμού από πλησιέστερο άκρο πυρήνα										
30												

**Πίνακας 7:** Μέσοι όροι αποτελεσμάτων ελέγχου κατοικίας (Πηγή Εργαστήρια ΔΗΝΕΜΑ ΛΤΔ)

Στη συνέχεια της μελέτης οι τιμές των μέσων όρων για τα υποστυλώματα, τις δοκούς-πλάκες και της ενανθράκωσής τους αντίστοιχα θα παρουσιαστούν σε ξεχωριστά διαγράμματα. Ο διαχωρισμός των τιμών για τα υποστυλωμάτων και τις δοκούς-πλάκες ήταν σαφώς επιβεβλημένος, διότι κτίρια τα οποία κτίστηκαν πριν από 30-40 χρόνια περίπου στην Κύπρο, όπου επικρατούσαν μεταπολεμικές καταστάσεις δεν κτίστηκαν με βάση τους ευροκώδικες που χρησιμοποιούνται σήμερα. Επίσης, δεν υπήρχε η σημερινή τεχνολογία, ώστε να ελέγχεται η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος με τη μέθοδο της επί τόπου συλλογής κύβων. Τα κτίρια κτίζονταν με βάση το αγγλικό πρότυπο προδιαγραφών και για την παρασκευή του σκυροδέματος ακολουθούσαν τις προδιαγραφές αναλογίας που φαίνονται στον πίνακα 6 που ακολουθεί.

	ΑΝΑΛΟΓΙΑ		
	ΤΣΙΜΕΝΤΟ	: ΑΜΜΟΣ	: ΣΚΥΡΑ
• ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	1	: 1,5	: 3
• ΔΟΚΟΣ • ΠΛΑΚΑ • ΠΕΔΙΛΟ	1	: 2	: 4

**Πίνακας 8:** Προδιαγραφές αναλογίας παρασκευής σκυροδέματος (Αγγλικό Πρότυπο)

Από τη μία, η αναλογία που αναγράφεται για το υποστύλωμα αντιστοιχεί στο σημερινό C25, δηλαδή χρησιμοποιούσαν σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 25KN. Η αναλογία για τις πλάκες, δοκούς και τα πέδιλα αντιστοιχεί στο σημερινό C20, δηλαδή σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 20KN. Από την άλλη όμως, σήμερα στις οικοδομές και βάση του Ευροκώδικα, χρησιμοποιείται στις περισσότερες περιπτώσεις το C30 και για τα τέσσερα στοιχεία.

## **4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ**

### **4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

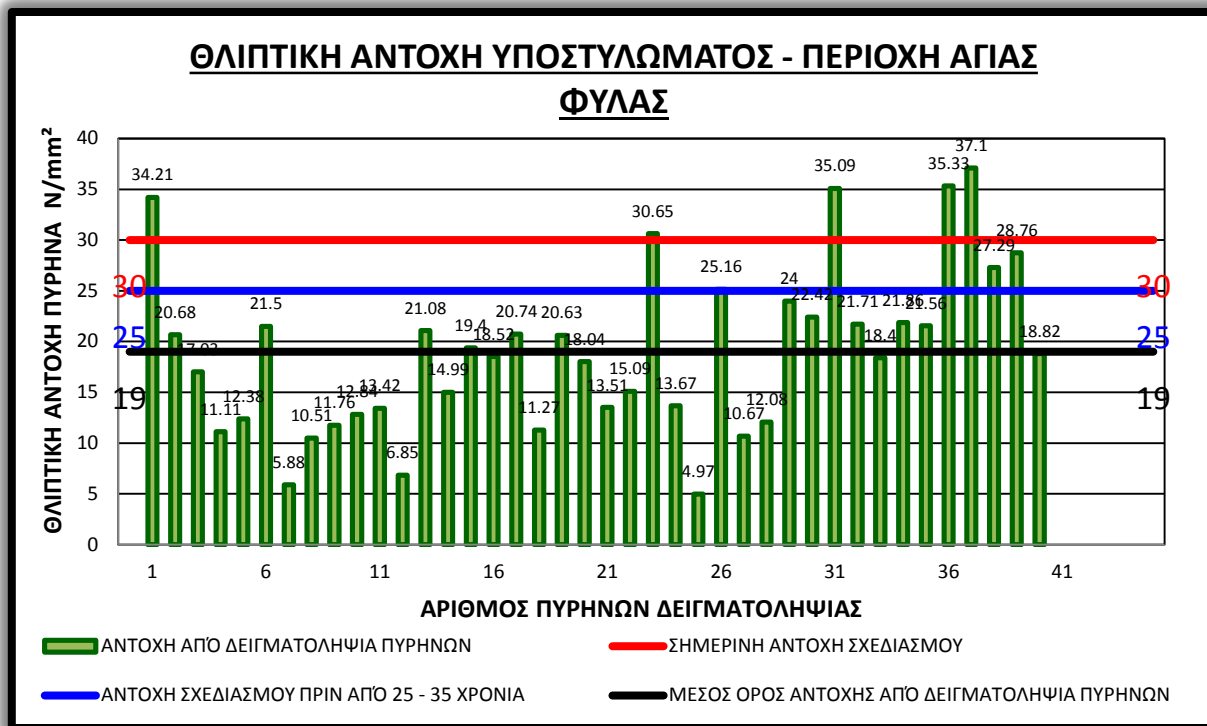
Σε αυτό το κεφαλαίο θα παρουσιάσουμε το πρακτικό κομμάτι αυτής της μελέτης. Όλα τα δεδομένα και τα στοιχεία που είχαμε για ανάλυση και επεξεργασία «μεταμορφώνονται» και συγκεντρώνονται σε διαγράμματα, η σύγκριση των οποίων παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον.

Επιπλέον, όπως σημειώθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο διαχωρισμός της θλιπτικής αντοχής των πυρήνων των στοιχείων, που αφορούν τα υποστυλώματα και τις δοκούς-πλάκες, ήταν επιβεβλημένος, αφού σύμφωνα με το αγγλικό πρότυπο που ακολουθείτο πριν από 30-40 χρόνια, οι προδιαγραφές αναλογίας παρασκευής σκυροδέματος ήταν διαφορετικές για τα υποστυλώματα (C25) σε σχέση με τις δοκούς-πλάκες-πέδιλα (C20).

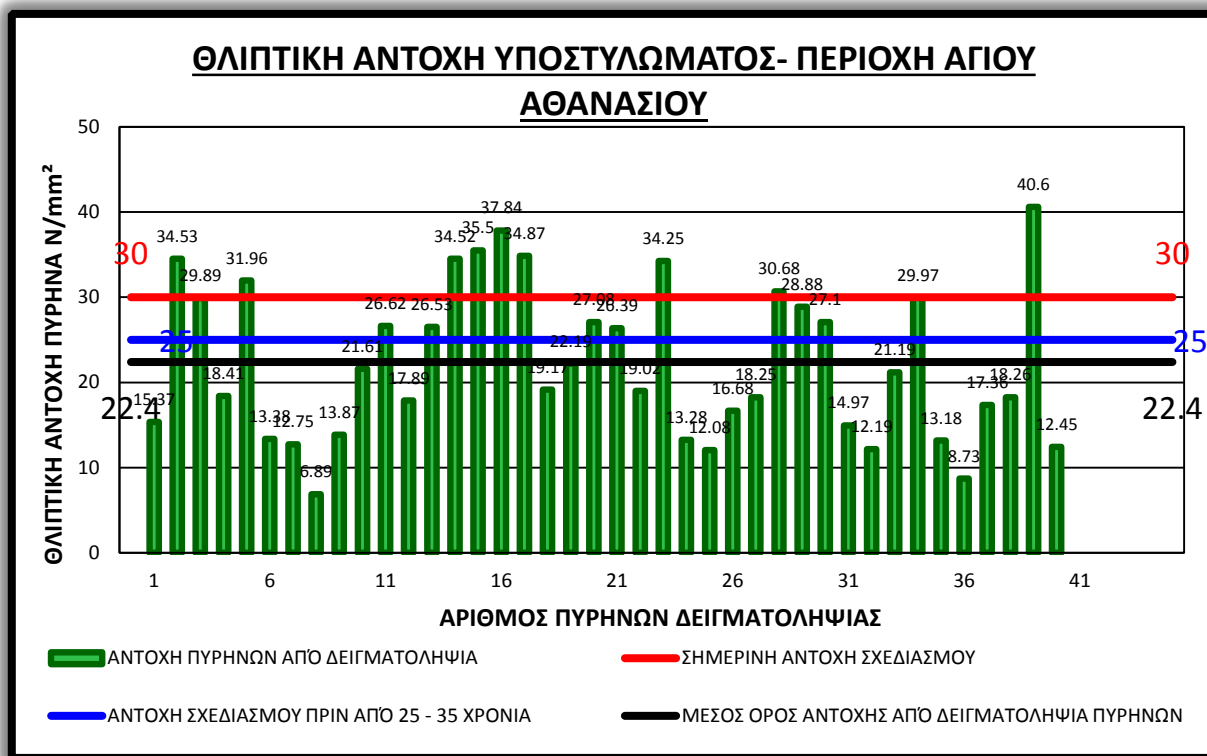
### **4.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ**

Είναι σαφές ότι, στα επτά διαγράμματα που ακολουθούν (διαγράμματα 1-7) παρουσιάζουμε τη θλιπτική αντοχή υποστυλωμάτων στις επτά περιοχές της επαρχίας Λεμεσού. Οι στήλες με το πράσινο χρώμα αντιπροσωπεύουν τη διορθωμένη θλιπτική αντοχή σκυροδέματος των πυρήνων για τα υποστυλώματα (βλέπε πίνακα 3). Συγκεκριμένα, παρουσιάζουν τη σημερινή υπάρχουσα στατική κατάσταση του κάθε κτιρίου-κατοικίας.

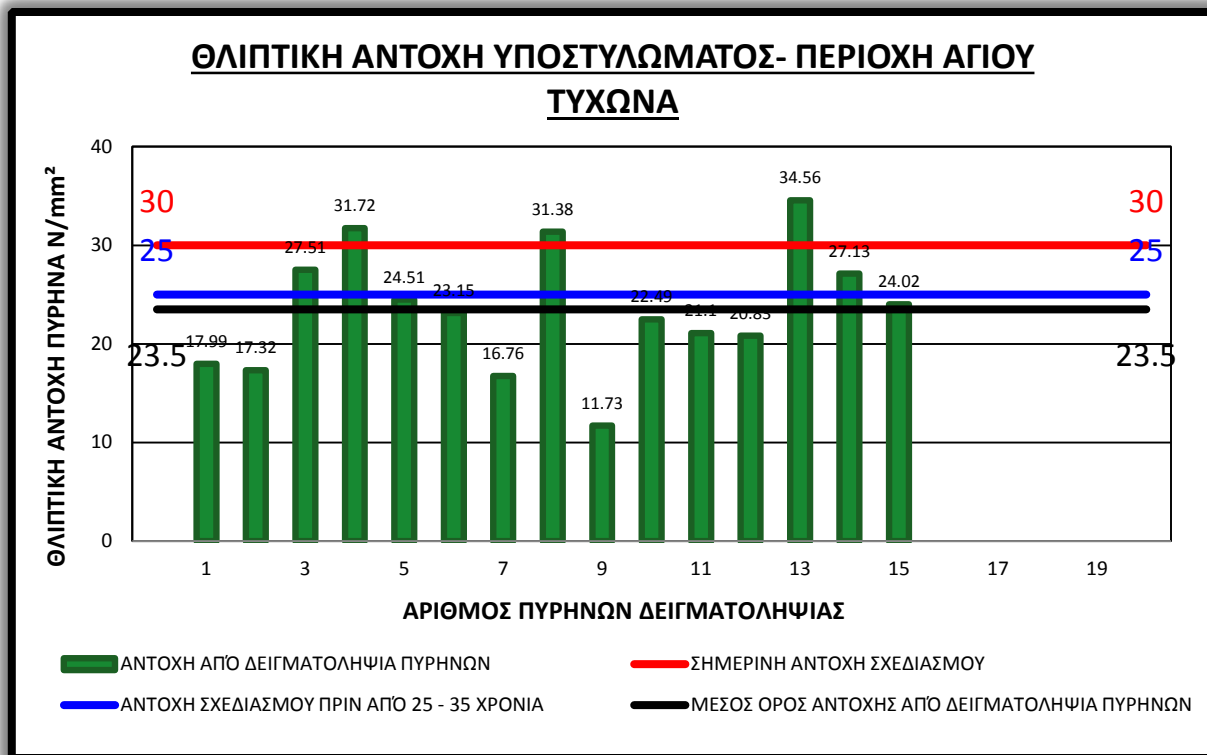
Επιπρόσθετα, υπάρχουν και τρεις οριζόντιες γραμμές. Πρώτα πρώτα, ας αναφερθώ στην κόκκινη γραμμή. Η γραμμή χρώματος κόκκινου που υπάρχει αφορά τη σημερινή θλιπτική αντοχή σχεδιασμού για τα υποστυλώματα (C30). Στη συνέχεια, η γραμμή χρώματος μπλε αφορά τη θλιπτική αντοχή σχεδιασμού πριν από 25-35 χρόνια και έχει τιμή  $25\text{N/mm}^2$ , δηλαδή την αντοχή σκυροδέτησης την περίοδο που κτίστηκε το κτίριο ή η κατοικία. Τέλος η γραμμή χρώματος μαύρου αφορά τον μέσο όρο της διορθωμένης θλιπτικής αντοχής των υποστυλωμάτων, δηλαδή τη σημερινή υπάρχουσα στατική κατάσταση του κάθε κτιρίου-κατοικίας για την κάθε περιοχή. Οι τιμές που παρουσιάζονται στο πάνω μέρος της κάθε στήλης-μπάρας, αποτελούν τον μέσο όρο της διορθωμένης θλιπτικής αντοχής των πυρήνων που λήφθηκαν από τα υποστυλώματα του κάθε κτιρίου-κατοικίας.



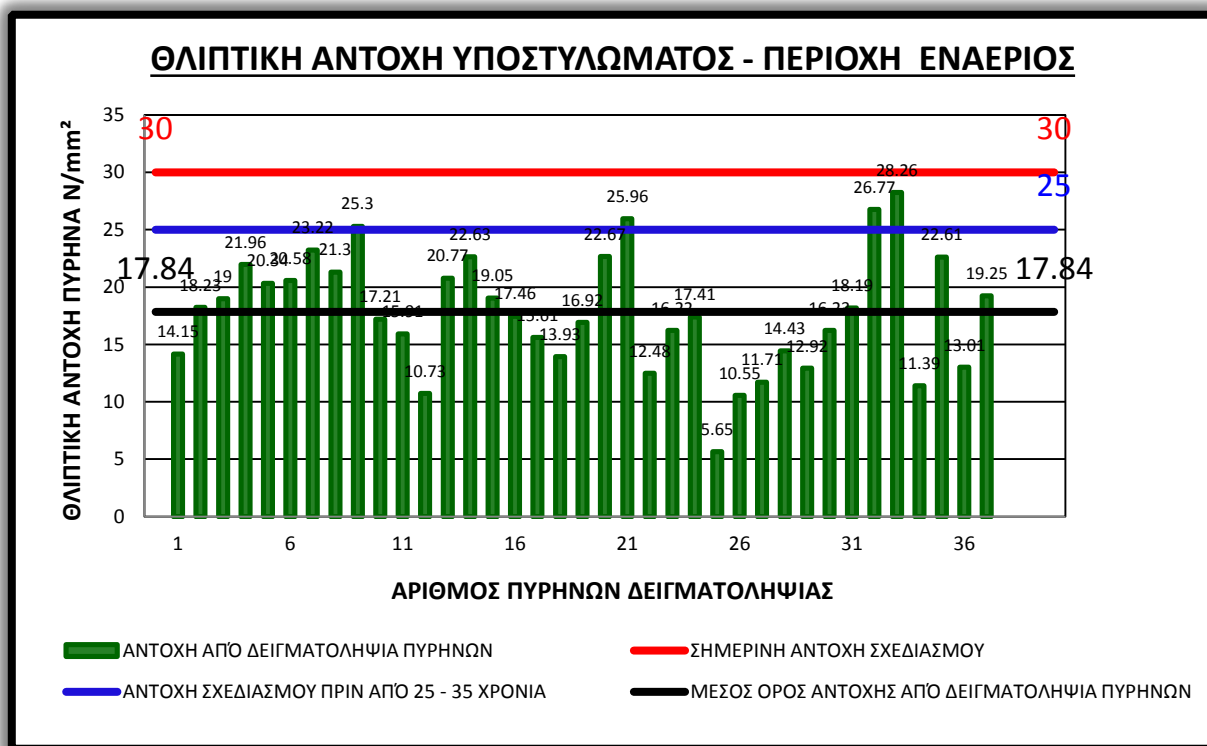
Διάγραμμα 1: Θλιπτική αντοχή υποστυλωμάτων στη περιοχή Αγίας Φύλας



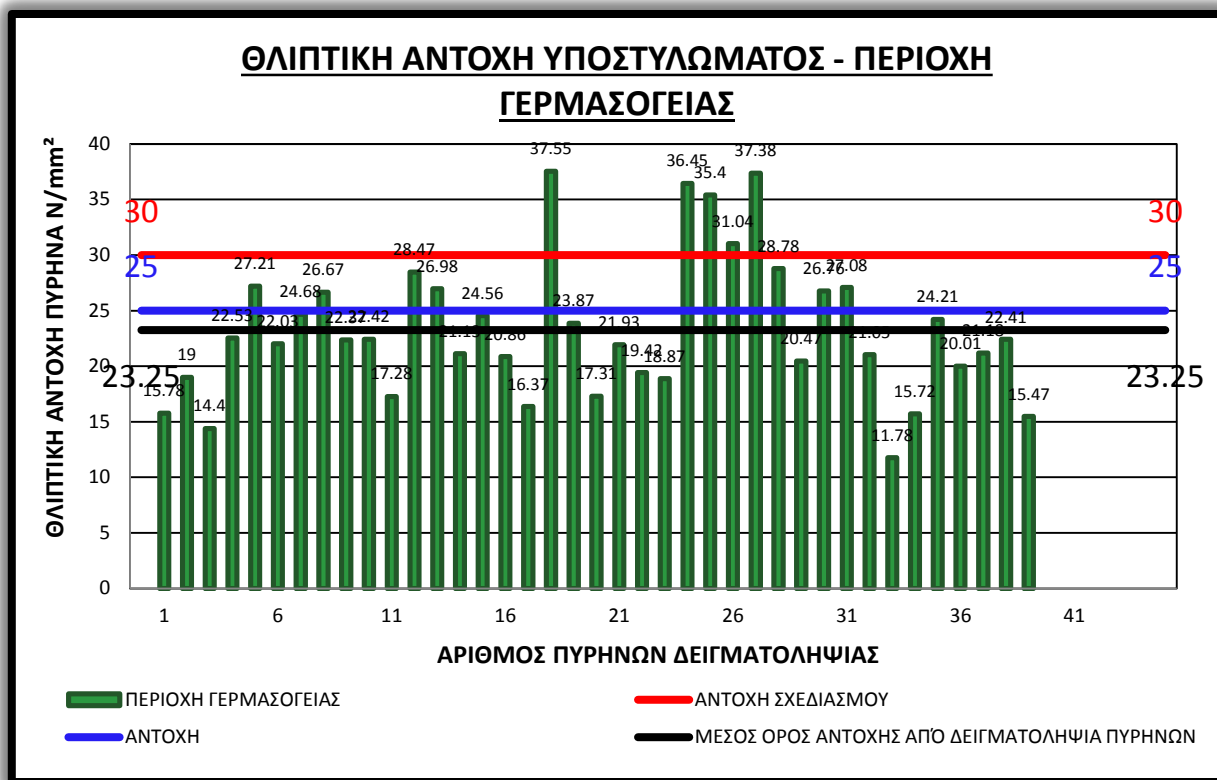
Διάγραμμα 2: Θλιπτική αντοχή υποστυλωμάτων στη περιοχή Αγίου Αθανασίου



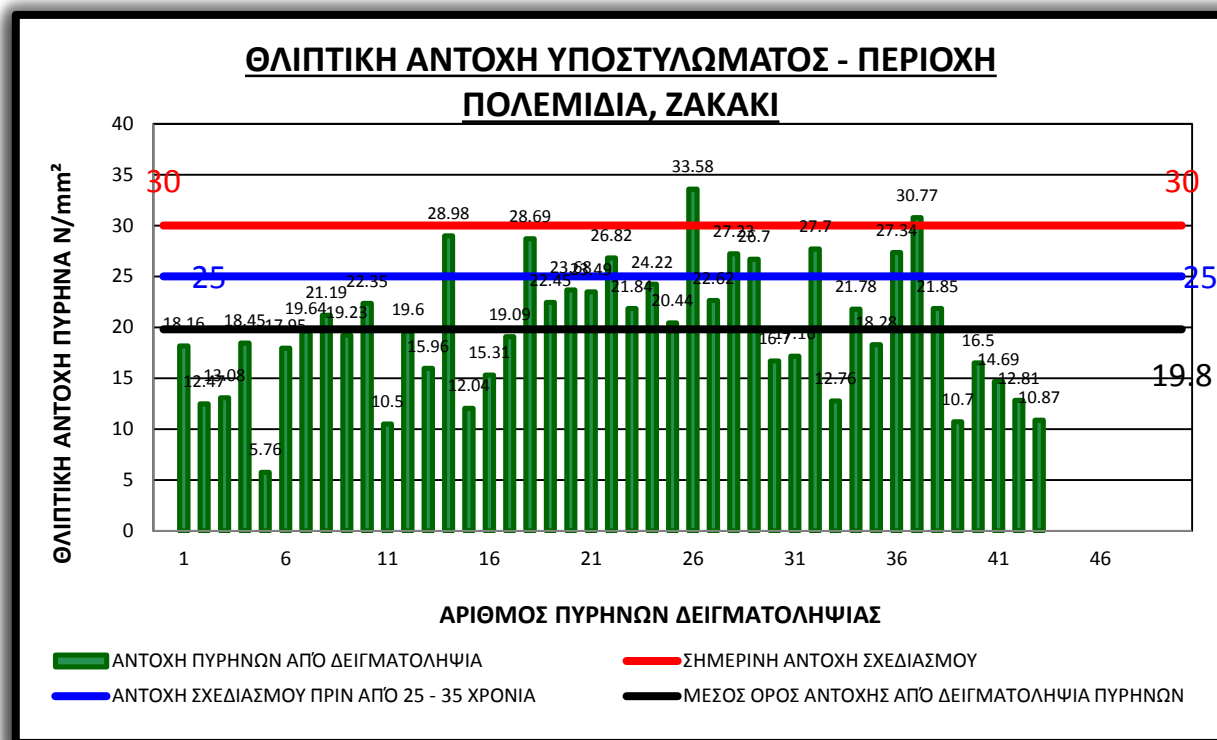
Διάγραμμα 3: Θλιπτική αντοχή υποστυλωμάτων στη περιοχή Αγίου Τύχωνα



Διάγραμμα 4: Θλιπτική αντοχή υποστυλωμάτων στη περιοχή Εναερίου

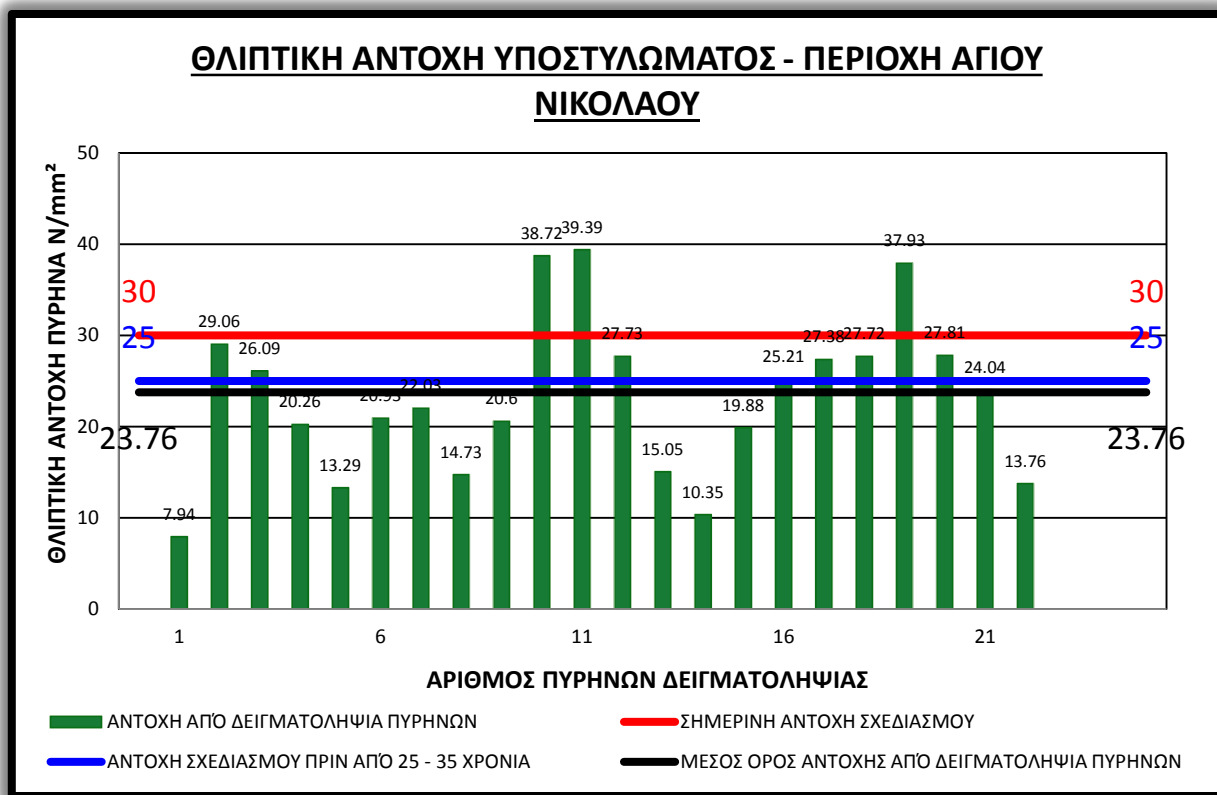


Διάγραμμα 5: Θλιπτική αντοχή υποστυλωμάτων στη περιοχή Γερμασόγειας



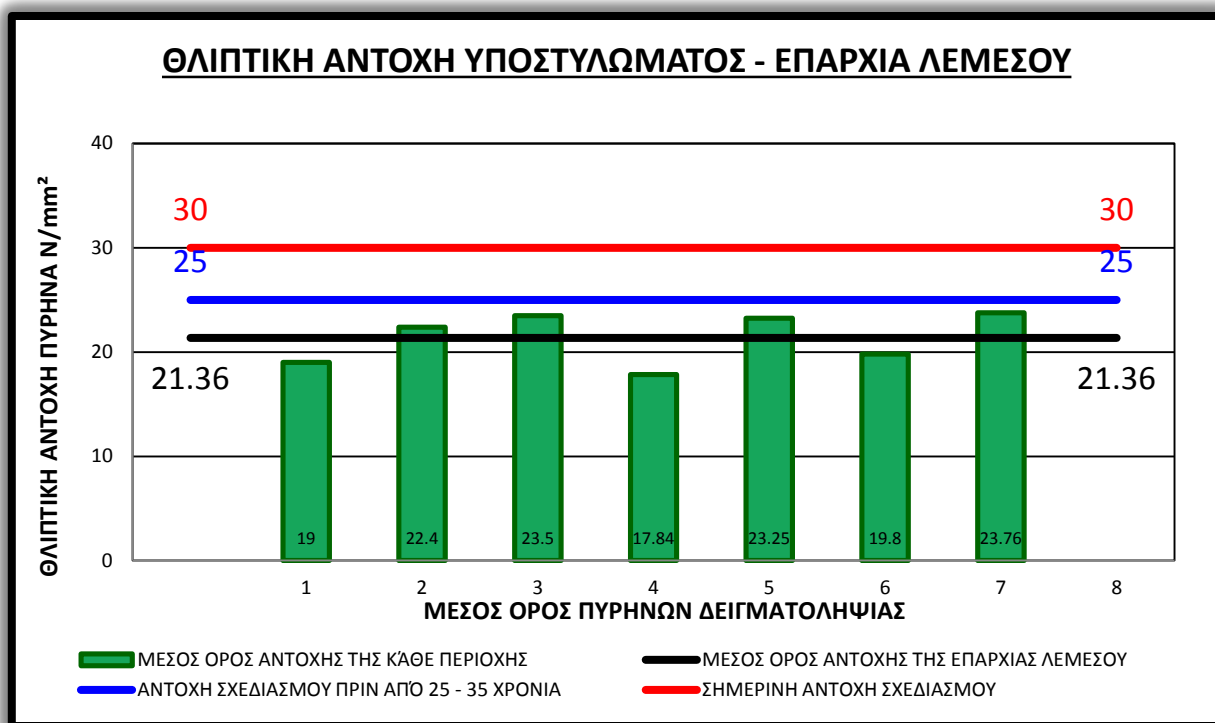
Διάγραμμα 6: Θλιπτική αντοχή υποστυλωμάτων στις περιοχές Πολεμίδα - Ζακάκι





**Διάγραμμα 7:** Θλιπτική αντοχή υποστυλωμάτων στη περιοχή Αγίου Νικολάου

Κλείνοντας, στο υποκεφάλαιο αυτό και συγκεκριμένα στο γενικό διάγραμμα 8 που ακολουθεί παρουσιάζουμε τη συγκεντρωτική υφιστάμενη κατάσταση της θλιπτικής αντοχής των υποστυλωμάτων των κτιρίων-κατοικιών σε ολόκληρη την επαρχία Λεμεσού σύμφωνα πάντα με τα δεδομένα αυτής της διατριβής-μελέτης. Η κάθε στήλη-μπάρα με πράσινο χρώμα αποτελεί τον μέσο όρο της διορθωμένης θλιπτικής αντοχής υποστυλώματος της κάθε περιοχής που υπολογίσαμε στα πιο πάνω διαγράμματα 1-7. Ο μέσος όρος των επτά αυτών τιμών (διάγραμμα 8: γραμμή με μαύρο χρώμα) καταδεικνύει τη στατική κατάσταση των κτιρίων-κατοικιών της επαρχίας Λεμεσού.

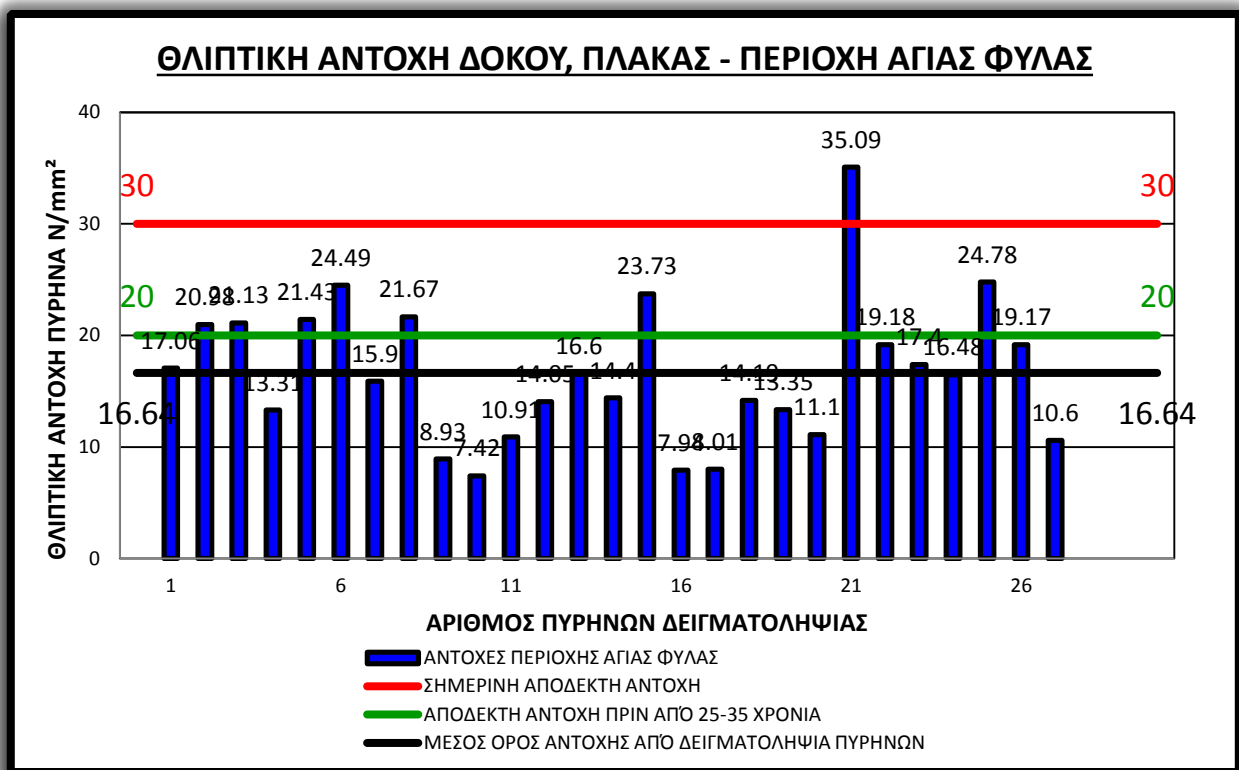


**Διάγραμμα 8:** Θλιπτική αντοχή υποστυλωμάτων της επαρχίας Λεμεσού

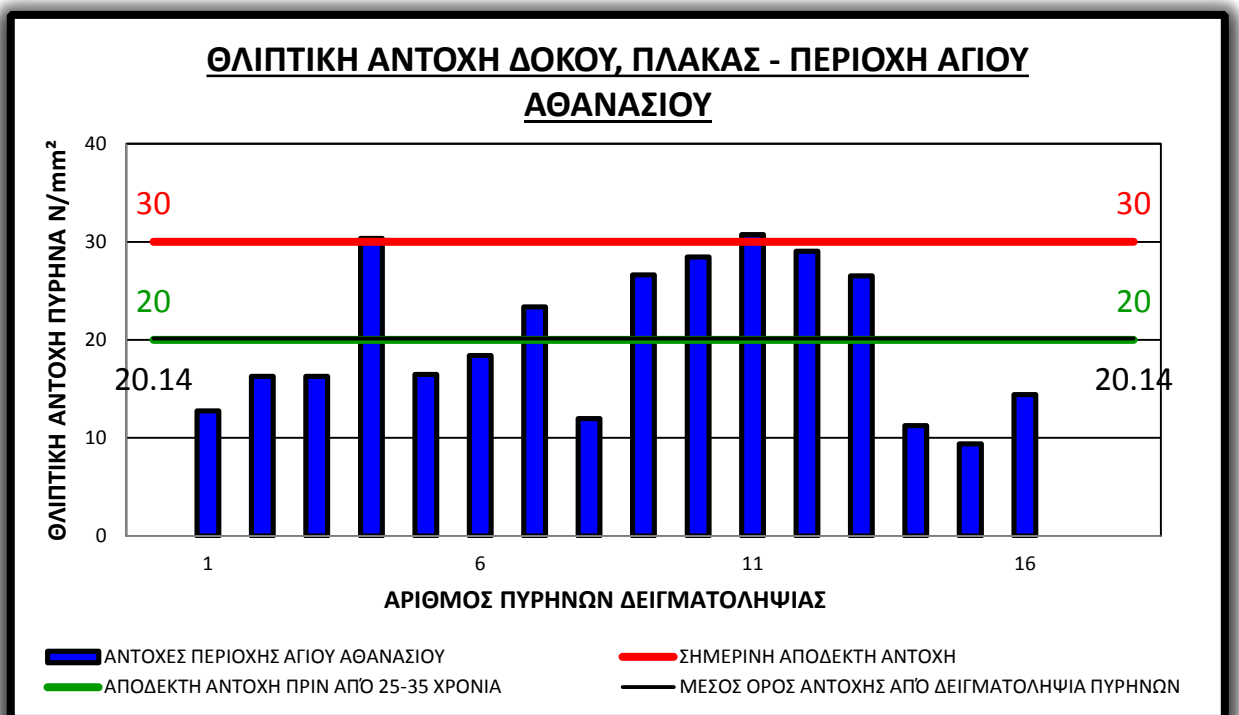
### 4.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΤΙΣ ΔΟΚΟΥΣ-ΠΛΑΚΕΣ

Αρχικά, στα επτά διαγράμματα που παρουσιάζουμε πιο κάτω (διαγράμματα 9-15), υπολογίσαμε τη θλιπτική αντοχή των δοκών-πλακών στις επτά περιοχές της επαρχίας Λεμεσού. Συγκεκριμένα, οι τιμές αυτές της θλιπτικής αντοχής προήλθαν από πυρήνες δειγματοληψίας σκυροδέματος που λήφθηκαν την ίδια περίοδο και από τις ίδιες κατοικίες-κτίρια με αυτούς που λήφθηκαν και για τα υποστυλώματα. Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενα κεφάλαια σε κάθε κατοικία-κτίριο που καλούμασταν να διεξάγουμε έλεγχο στατικότητας με τη μέθοδο της δειγματοληψίας πυρήνων, λαμβάναμε δείγματα πυρήνων από όλα τα στοιχεία, ώστε τα αποτελέσματά μας να είναι όσο το δυνατόν πιο αντικειμενικά και ορθά.

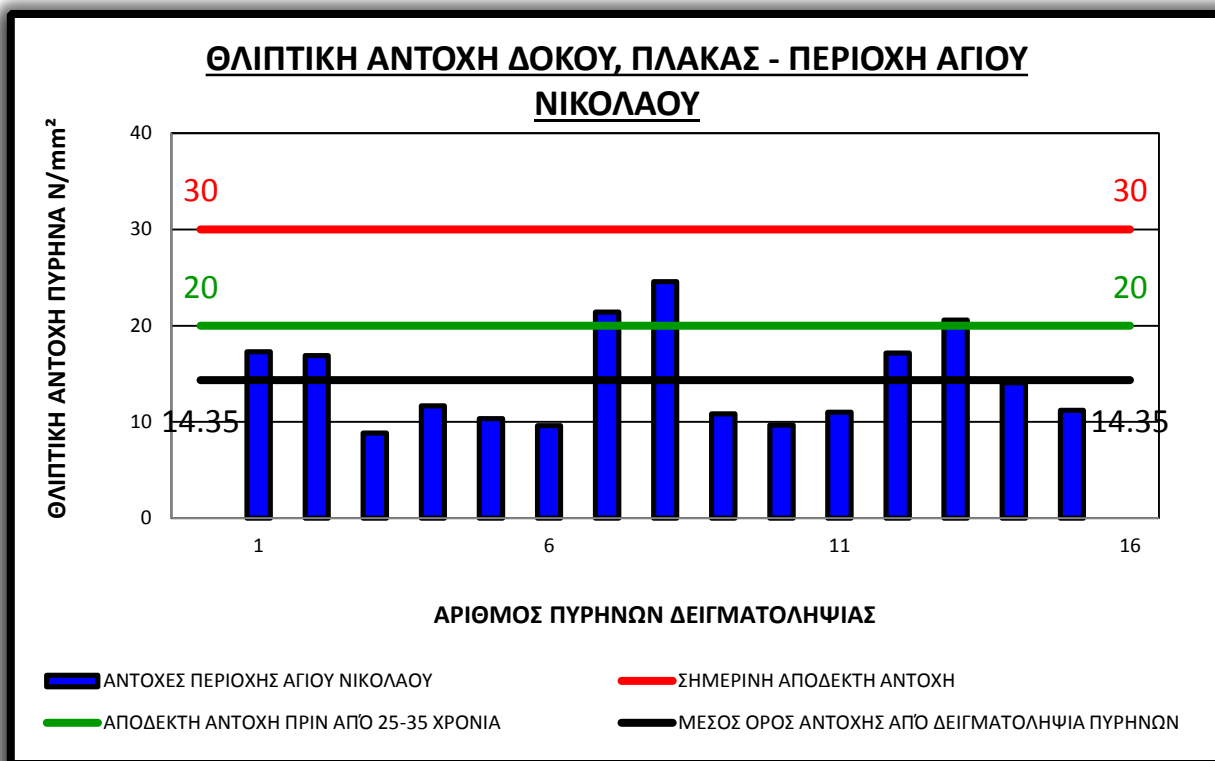
Στα διαγράμματα που ακολουθούν, οι στήλες-μπάρες με το μπλε χρώμα αντιπροσωπεύουν τη διορθωμένη θλιπτική αντοχή σκυροδέματος των πυρήνων για τις δοκούς-πλάκες (βλέπε πίνακα 3). Η ερμηνεία για τις τρεις οριζόντιες γραμμές είναι η ίδια με αυτήν που δώσαμε πιο πάνω για τα διαγράμματα που αφορούσαν τη διορθωμένη θλιπτική αντοχή υποστυλωμάτων με τη διαφορά, ότι σε αυτά τα διαγράμματα η πράσινη γραμμή αφορά τη θλιπτική αντοχή σχεδιασμού πριν από 25-35 χρόνια και έχει τιμή 20N/mm<sup>2</sup> αντί για 25N/mm<sup>2</sup> που είχαμε στα υποστυλώματα.



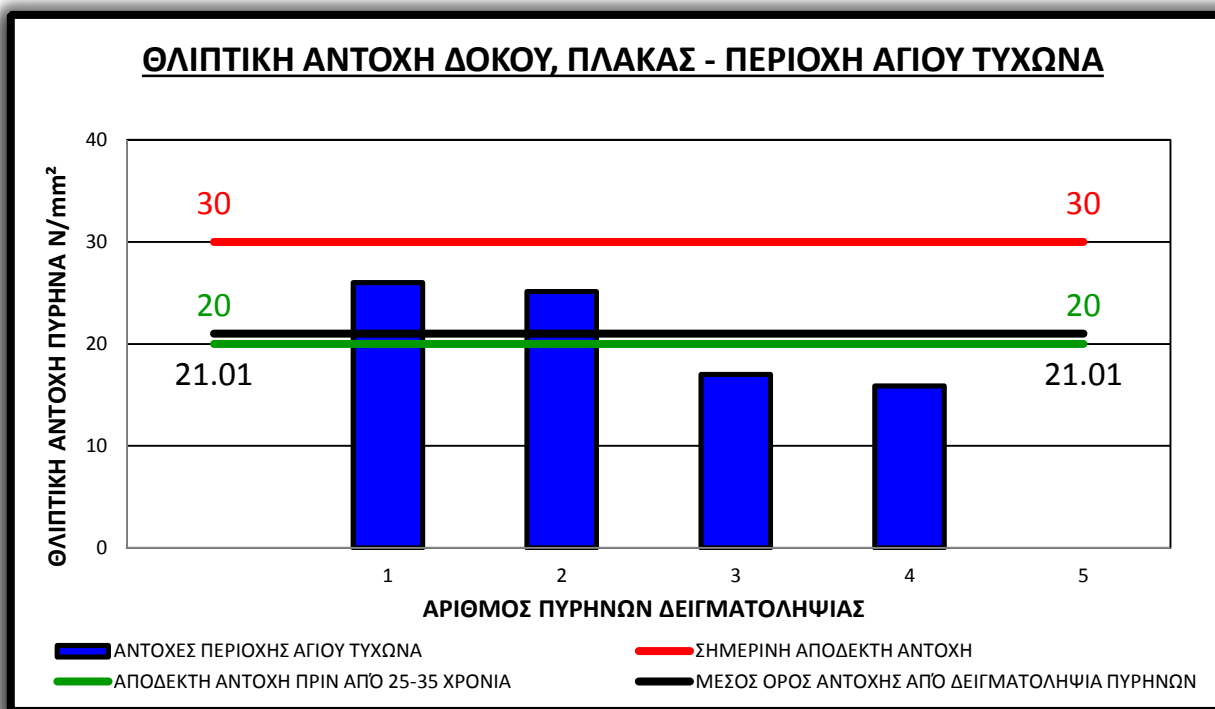
Διάγραμμα 9: Θλιπτική αντοχή δοκού-πλάκας στη περιοχή Αγίας Φύλας



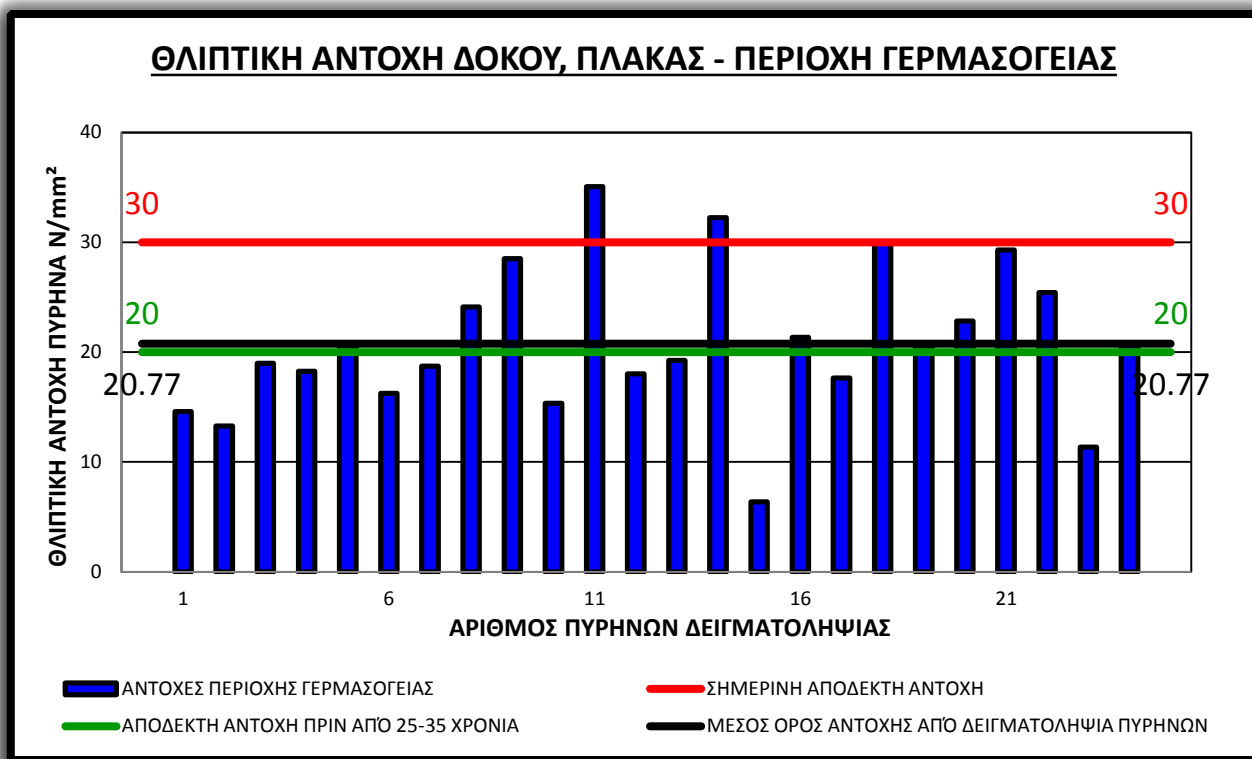
Διάγραμμα 10: Θλιπτική αντοχή δοκού-πλάκας στη περιοχή Αγίου Αθανασίου



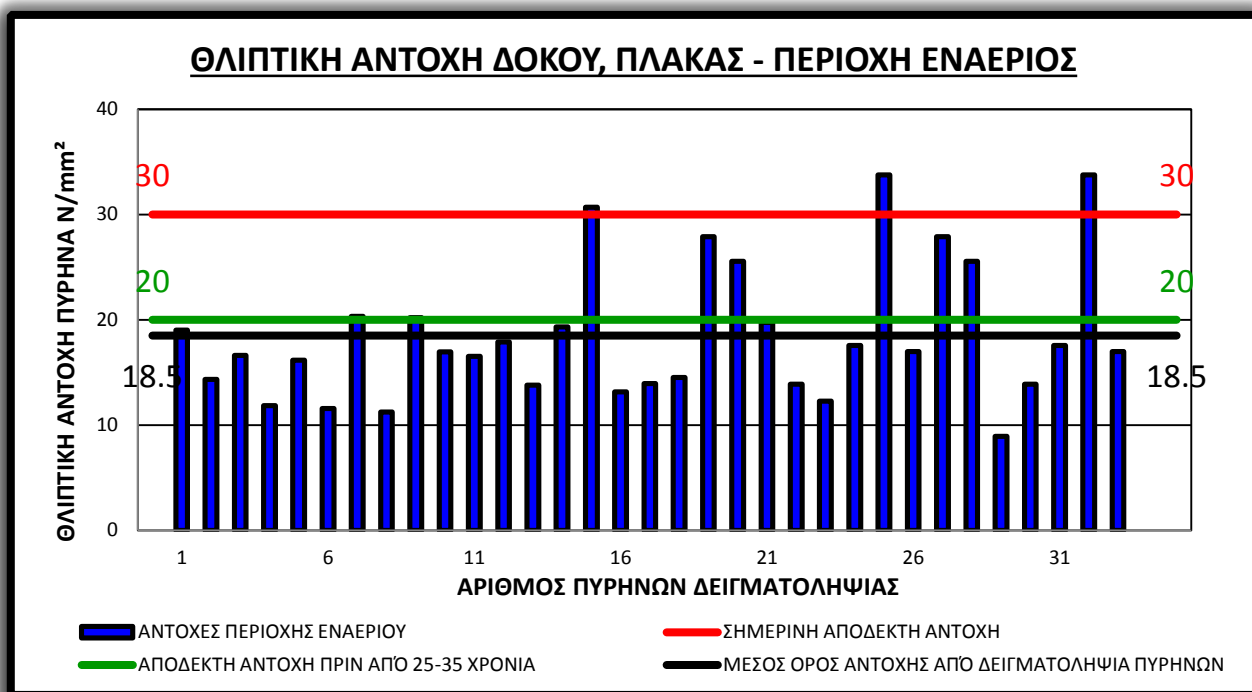
**Διάγραμμα 11:** Θλιπτική αντοχή δοκού-πλάκας στη περιοχή Αγίου Νικολάου



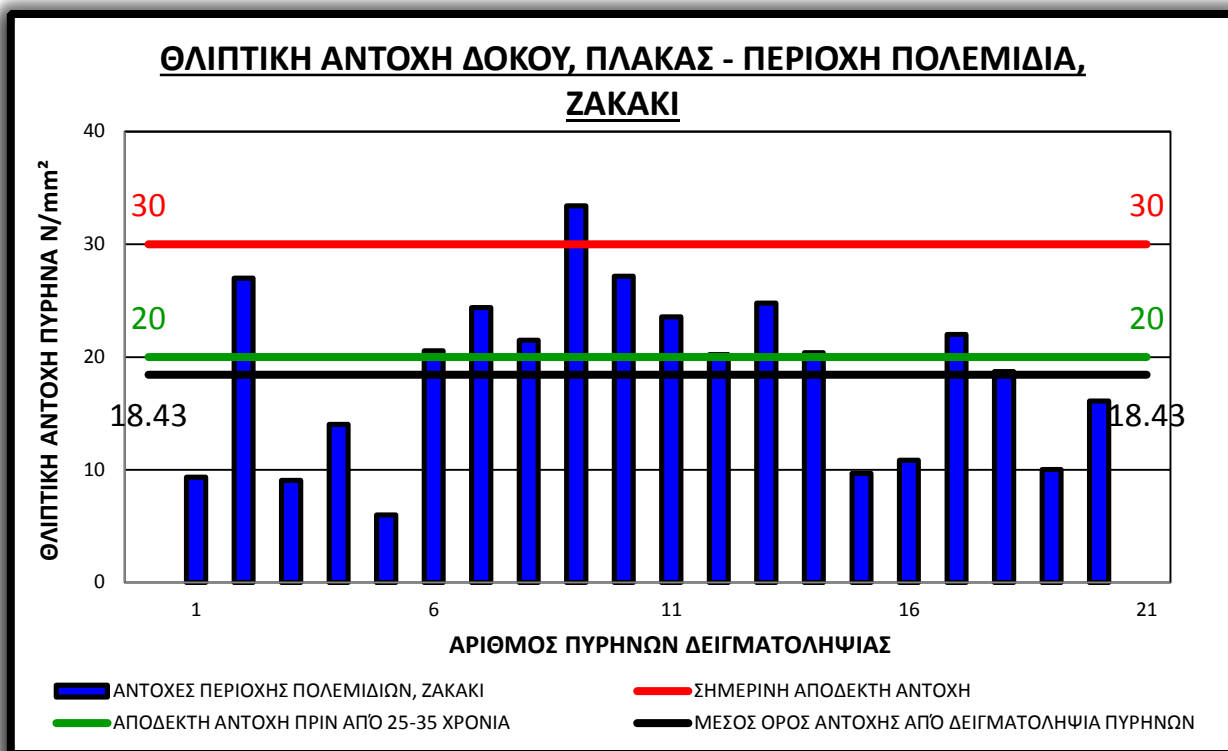
**Διάγραμμα 12:** Θλιπτική αντοχή υποστυλωμάτων στη περιοχή Αγίου Τύχωνα



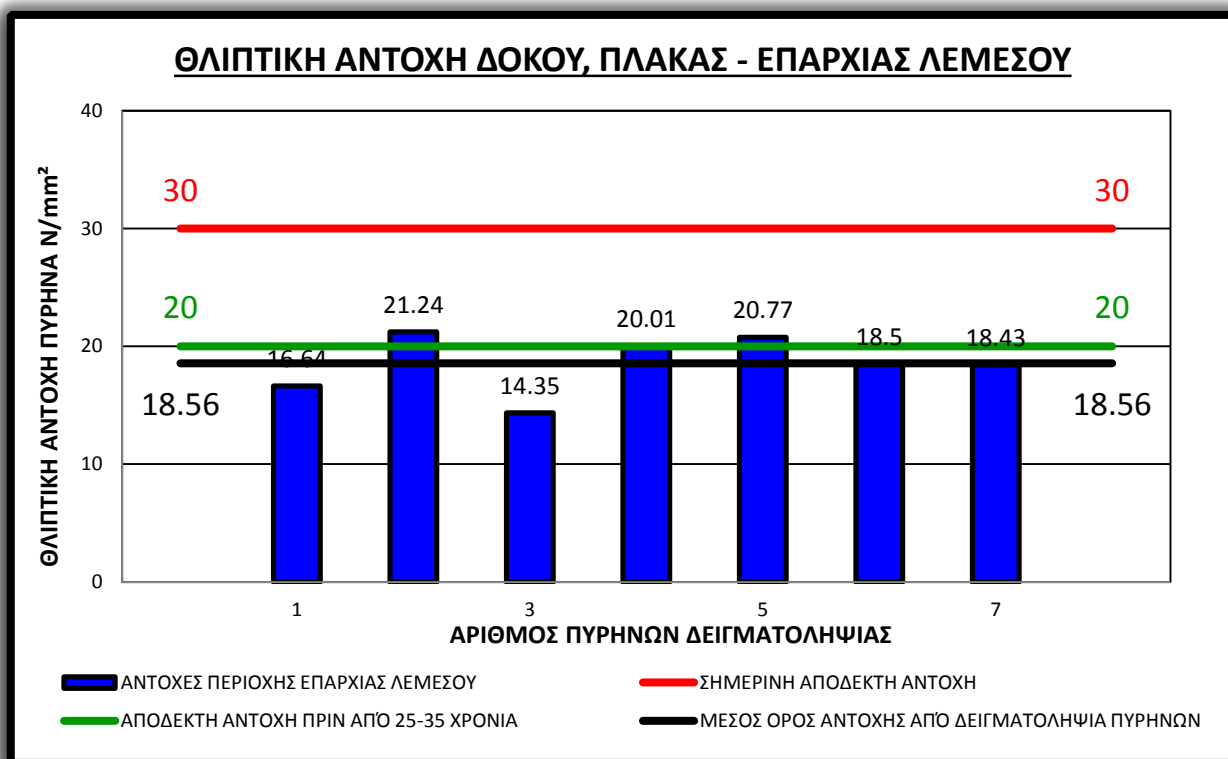
Διάγραμμα 13: Θλιπτική αντοχή δοκού-πλάκας στη περιοχή Γερμασόγειας



Διάγραμμα 14: Θλιπτική αντοχή δοκού-πλάκας στη περιοχή Εναερίου



Διάγραμμα 15: Θλιπτική αντοχή δοκού-πλάκας στις περιοχές Πολεμίδια - Ζακάκι



Διάγραμμα 16: Θλιπτική αντοχή δοκού-πλάκας στη Επαρχία Λεμεσού

Κλείνοντας το κεφάλαιο αυτό, είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι σε αυτή τη μελέτη ο μέσος όρος της θλιπτικής αντοχής των υποστυλωμάτων καθώς και των δοκών-πλακών για την επαρχία Λεμεσού (διάγραμμα 8 και 16) δεν υπολογίστηκε με απώτερο σκοπό να αποτελέσει τον κανόνα και να θεωρηθεί ως απόλυτη. Η τιμή αυτή υπολογίστηκε για σκοπούς στατιστικής ανάλυσης και δείχνει κατά κύριο λόγο πόσο μειώθηκε η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος που είναι εκτεθειμένο στην υγρασία και στις ρωγμές στο πέρασμα των χρόνων. Αιτία για την εισχώρηση υγρασίας και των ρωγμών είναι η κακή, λανθασμένη και μη συστηματική συντήρησή τους. Έτσι, δυστυχώς οι ρωγμές αποτελούν δίοδο για να εισχωρήσουν τόσο το διοξείδιο του άνθρακα όσο και τα χλωριόντα στον οπλισμό. Αποτέλεσμα αυτού είναι η διαδικασία της ενανθράκωσης και κατ' επέκταση η διάβρωση του οπλισμού να επιταχύνονται.

#### **4.4 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

Πρώτα από όλα, στα διαγράμματα διορθωμένης θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος βλέπουμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των τιμών βρίσκεται κάτω από το όριο θλιπτικής αντοχής σχεδιασμού με την οποία κτίστηκαν. Αξίζει να λάβουμε υπόψη ότι, οι περισσότεροι από τους πυρήνες δειγματοληψίας που κληθήκαμε να λάβουμε αφορούσαν πολυώροφα κτίρια. Τούτο καταδεικνύει ότι αρκετά από αυτά τα πολυώροφα κτίρια - πολυκατοικίες, χρειάζονται άμεση επέμβαση-ενίσχυση, ώστε να επανέλθουν σε μια ικανοποιητική στατική και ασφαλή κατάσταση, για τους ίδιους τους κατοίκους-ιδιοκτήτες των κτιρίων και τις οικογένειές τους, αλλά ταυτόχρονα και για τη δημόσια ασφάλεια, που αφορά όλους τους κατοίκους της πόλης.

Επιπλέον, αρκετά από τα κτίρια-κατοικίες βρίσκονται σε προχωρημένο στάδιο φθοράς, αφού παρουσιάζουν προβλήματα γήρανσης, πτώση επικάλυψης οπλισμού, ρηγματώση, ενανθράκωση και διάβρωση οπλισμού. Είναι εξίσου σημαντικό να αναφέρουμε ότι αρκετά από τα κτίρια, στα οποία ελέγξαμε τη στατικότητά τους παρουσιάζουν παρόμοια ακόμη και χειρότερα προβλήματα. Επίσης, όπως μπορεί να διαπιστωθεί και από τα πιο πάνω διαγράμματα υπάρχουν και ορισμένες περιπτώσεις κτιρίων των οποίων η διορθωμένη θλιπτική αντοχή τους βρίσκεται πάνω από το όριο της σημερινής θλιπτικής αντοχής σχεδιασμού (C30). Αυτό μας οδηγεί να αντιληφθούμε ότι σίγουρα υπήρξε μεταγενέστερη ενίσχυση.

## 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗΣ

### 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως είναι ευρέως γνωστό, κατά την πήξη του τσιμέντου παράγεται υδροξείδιο του ασβεστίου  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Αυτό το υδροξείδιο του ασβεστίου βρίσκεται σε περίσσεια στο σκυρόδεμα. Συγκεκριμένα, μπορεί να θεωρηθεί ότι το ένα τέταρτο περίπου του συνολικού βάρους του τσιμέντου υπάρχει μετά την κρυστάλλωση υπό μορφή υδροξειδίου του ασβεστίου. Αποτέλεσμα του πλεονάσματος αυτού είναι το υψηλό αλκαλικό pH του σκυροδέματος (περίπου 12,5). Όσο ο οπλισμός βρίσκεται μέσα στο αλκαλικό αυτό περιβάλλον είναι προστατευμένος από οξειδωση. Όμως, αντιδράσεις με διεισδύουσες όξινες ουσίες μειώνουν διαρκώς το pH. Στην περίπτωση αυτή, τη μέγιστη σημασία έχει η επίδραση του  $\text{CO}_2$ . Αυτό αφομοιώνεται τριχοειδώς από την επιφάνεια του σκυροδέματος, που είναι διαλυμένο μέσα στο νερό της βροχής συχνά μαζί και με  $\text{SO}_2$  (σε βιομηχανικές και μολυσμένες περιοχές). Το αποτέλεσμα της απορρόφησης του  $\text{CO}_2$  είναι η αυξανόμενα σταδιακή εξουδετέρωση της αλκαλικότητας:



Επίσης, το δημιουργημένο ανθρακικό ασβέστιο δίνει και το όνομα της ενανθράκωσης στο φαινόμενο αυτό. Η ενανθράκωση επιταχύνεται δραστικά από πόρους, φωλιές, κακοτεχνίες, ανομοιογενή κακή δόνηση. Αξίζει να αναφέρουμε ότι, η ενανθράκωση μένει απαρατήρητη για πολλά χρόνια. Μόνον όταν οξειδωθεί ο οπλισμός παρατηρούνται, αρχικά τριχοειδείς ρωγμές λόγω της αύξησης του όγκου του. Και αυτό πολλές φορές συμβαίνει από ένα βίαιο φαινόμενο (όπως για παράδειγμα σεισμός, κρούση, και άλλα) και έτσι πολλές φορές, λόγω αποκολλήσεων, αποκαλύπτει την κατάσταση οξείδωσης (Πηγή Α/φοί Παναγόπουλοι).

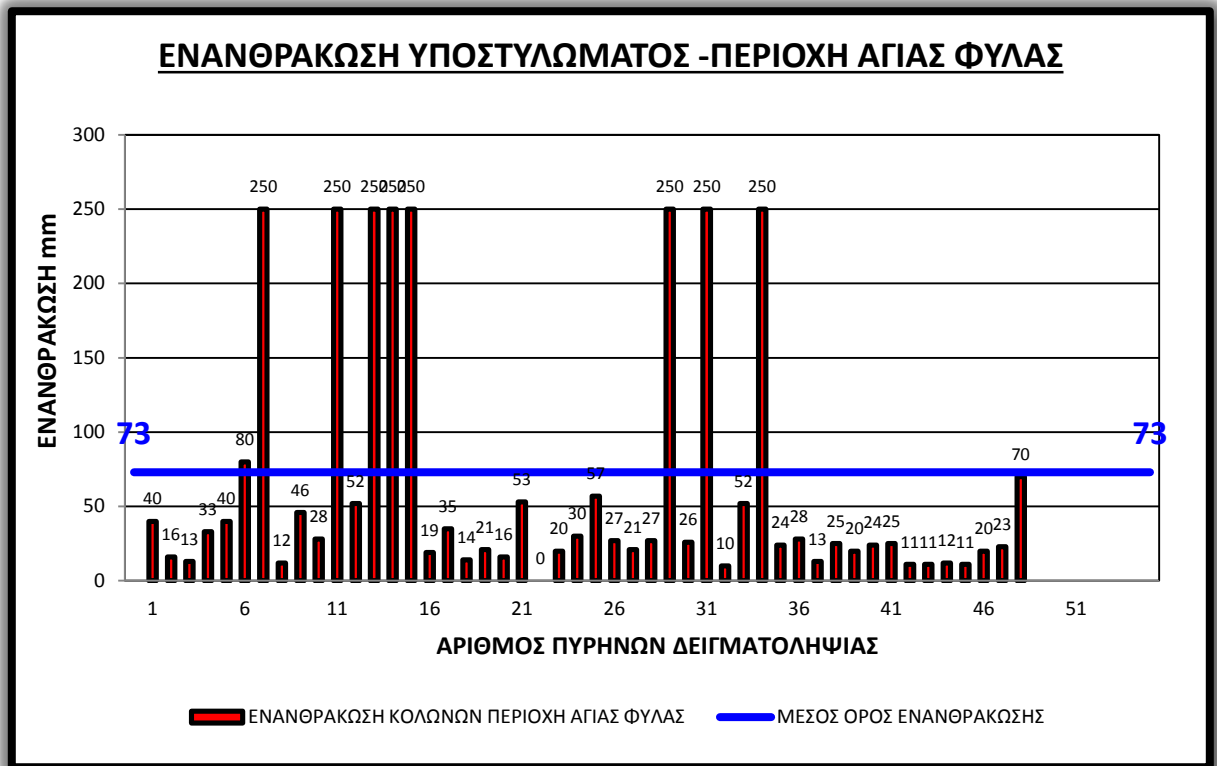
### 5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στο βάθος του ενανθρακωμένου σκυροδέματος όπως αυτό μετρήθηκε στο εργαστήριο με τη βοήθεια του ηλεκτρονικού μέτρου ακριβείας (βλέπε σχήμα 7). Το βάθος μετριέται σε mm και είναι εύκολα αναγνωρίσιμο όταν ακολουθηθεί η σωστή διαδικασία. Το περιβάλλον στο εσωτερικό του σκυροδέματος είναι έντονα όξινο, ώστε να προστατεύεται ο οπλισμός από τη διάβρωση. Η ενανθράκωση στο σκυρόδεμα αλλάζει τη χημική του σύσταση και μειώνει κατά πολύ την αλκαλικότητά του – οξύτητά του. Έτσι, από τη μία, με τη χρήση ενός πολύ ασθενούς οξέος (φαινολοφθαλείνη) το επηρεασμένο σκυρόδεμα δεν αλλάζει χρώμα από την ενανθράκωση. Ενώ από την άλλη το

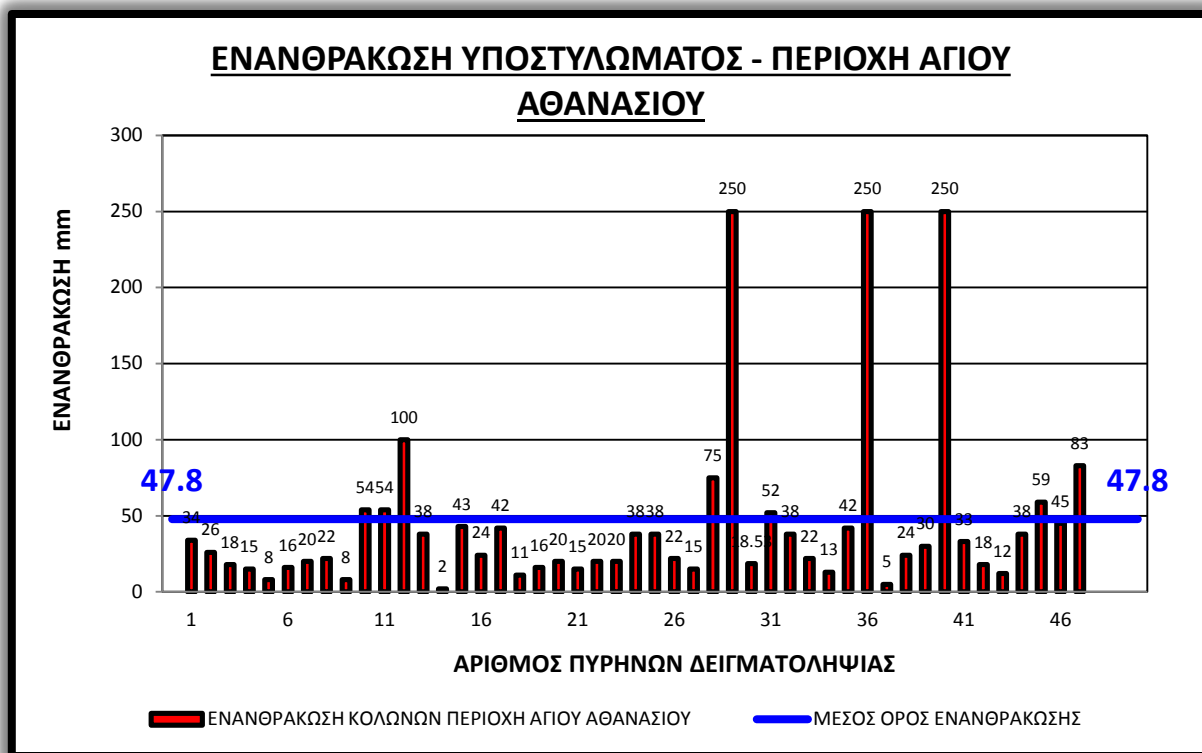


σκυρόδεμα που είναι υγιές και έντονα όξινο παίρνει ένα μωβ-κόκκινο χρώμα, λόγω αντίδρασης.

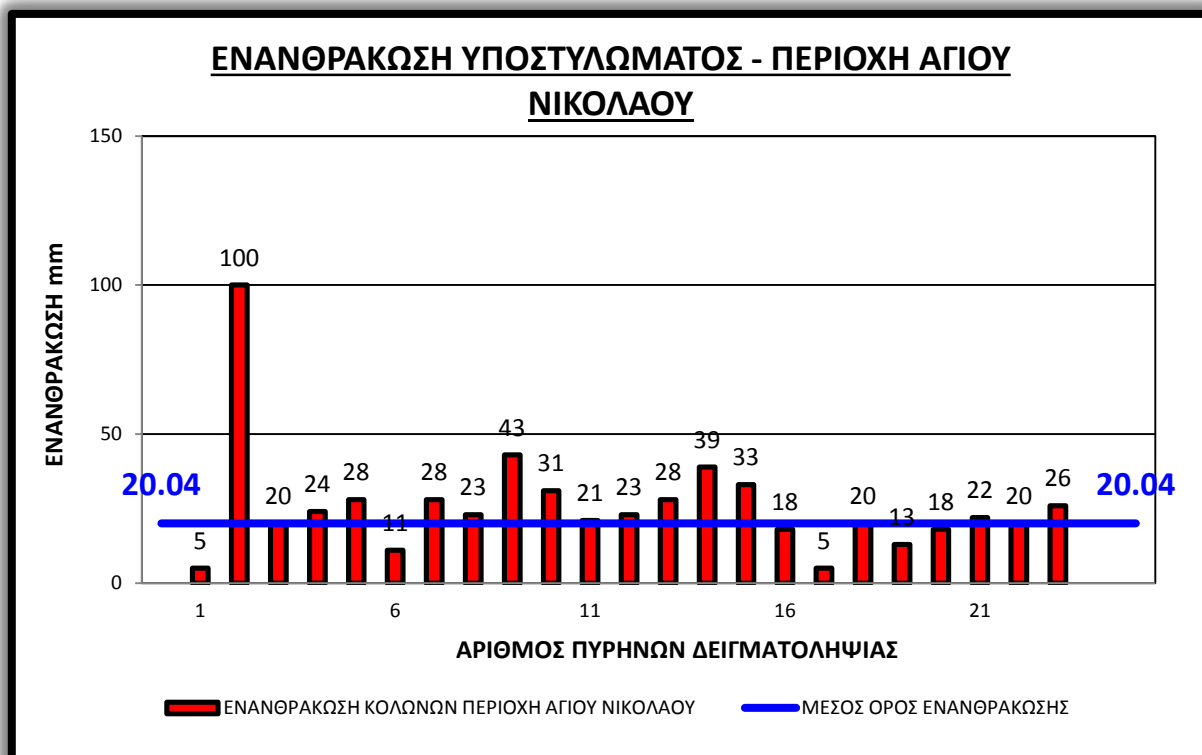
Στα διαγράμματα που ακολουθούν οι στήλες-μπάρες με κόκκινο και κίτρινο αντιπροσωπεύουν την ενανθράκωση του σκυροδέματος στα υποστυλώματα και στις δοκούς-πλάκες της κάθε περιοχής αντίστοιχα. Ενώ, η μπλε οριζόντια γραμμή είναι η τιμή του μέσου όρου του ενανθρακωμένου σκυροδέματος.



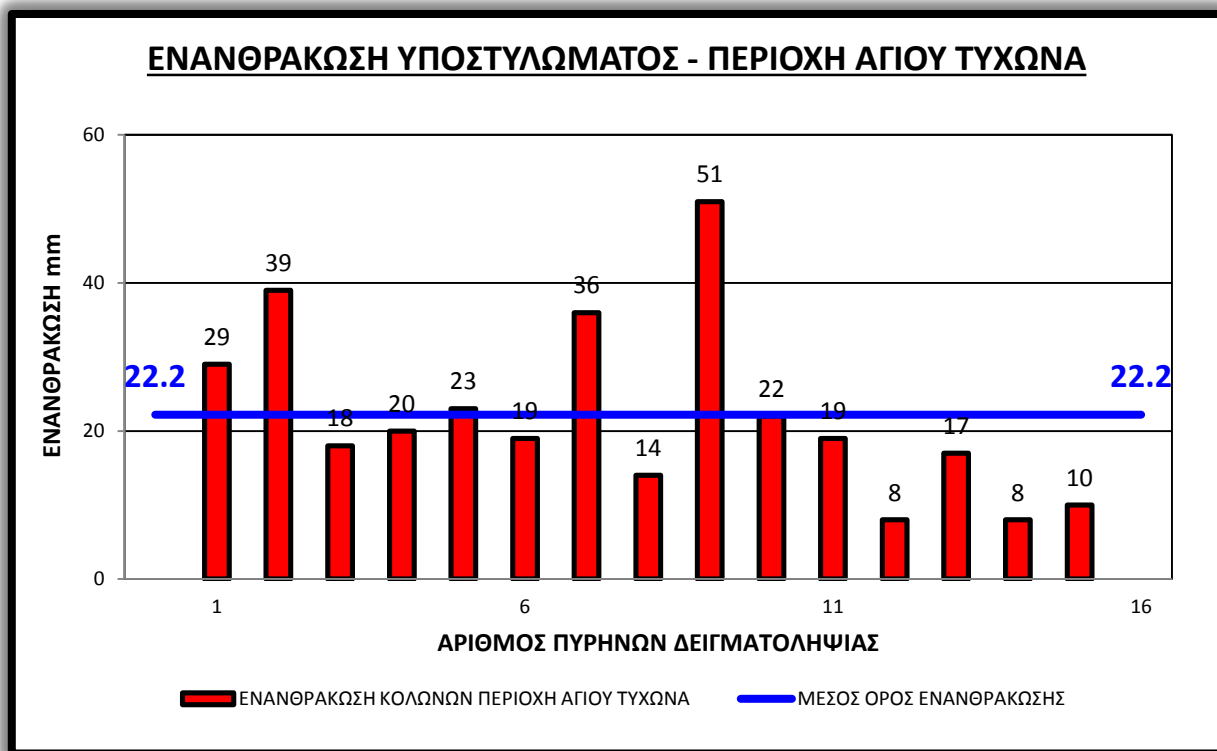
**Διάγραμμα 17:** Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα υποστυλώματος περιοχής Αγίας Φύλας



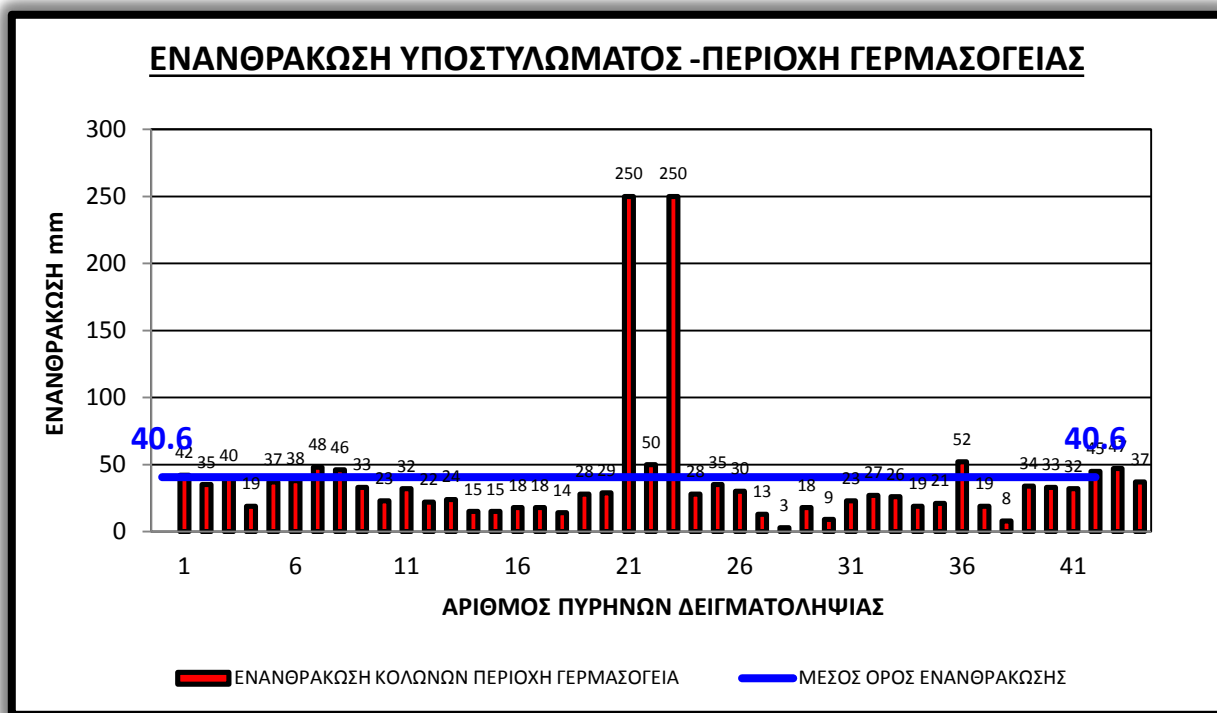
Διάγραμμα 18: Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα υποστυλώματος περιοχής Αγίου Αθανασίου



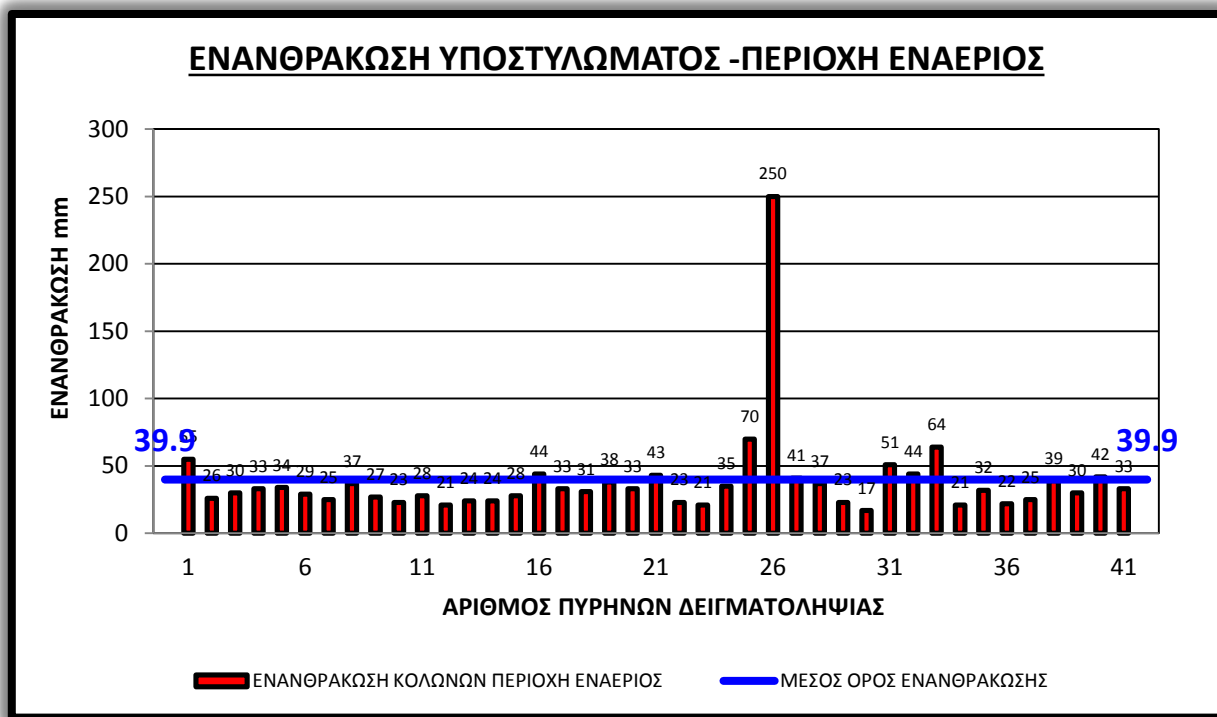
Διάγραμμα 19: Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα υποστυλώματος περιοχής Αγίου Νικολάου



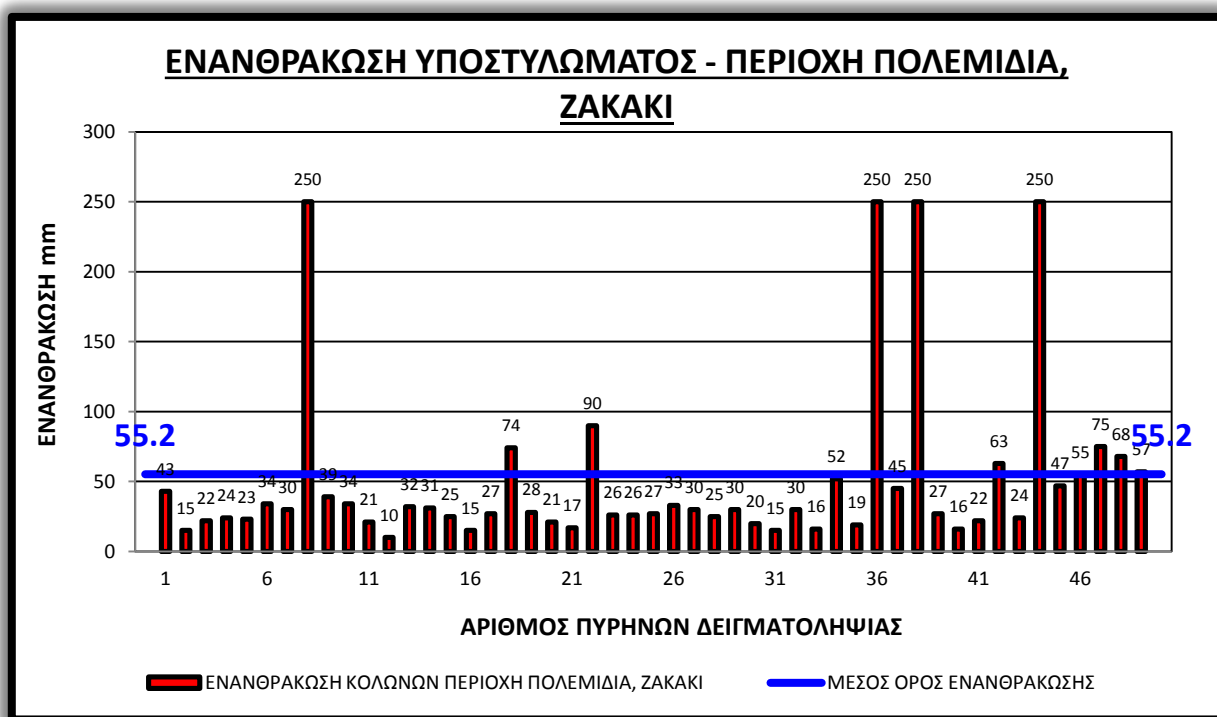
Διάγραμμα 20: Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα υποστυλώματος περιοχής Αγίου Τύχωνα



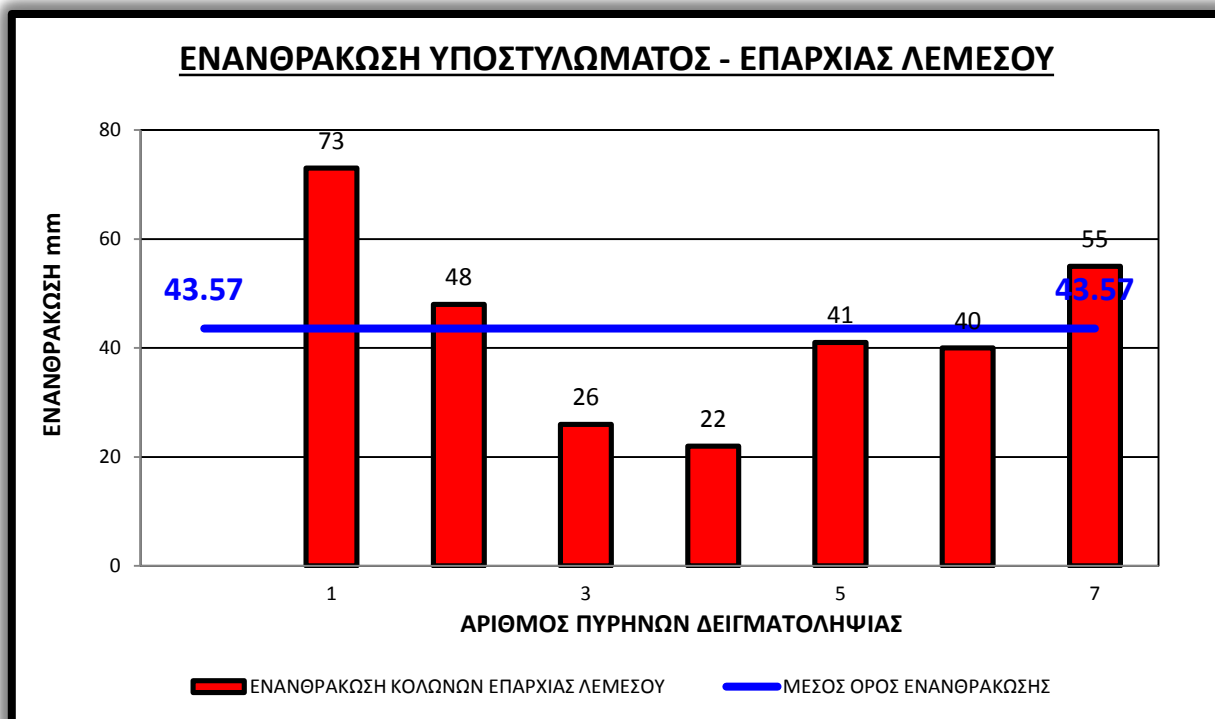
Διάγραμμα 21: Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα υποστυλώματος περιοχής Γερμασόγειας



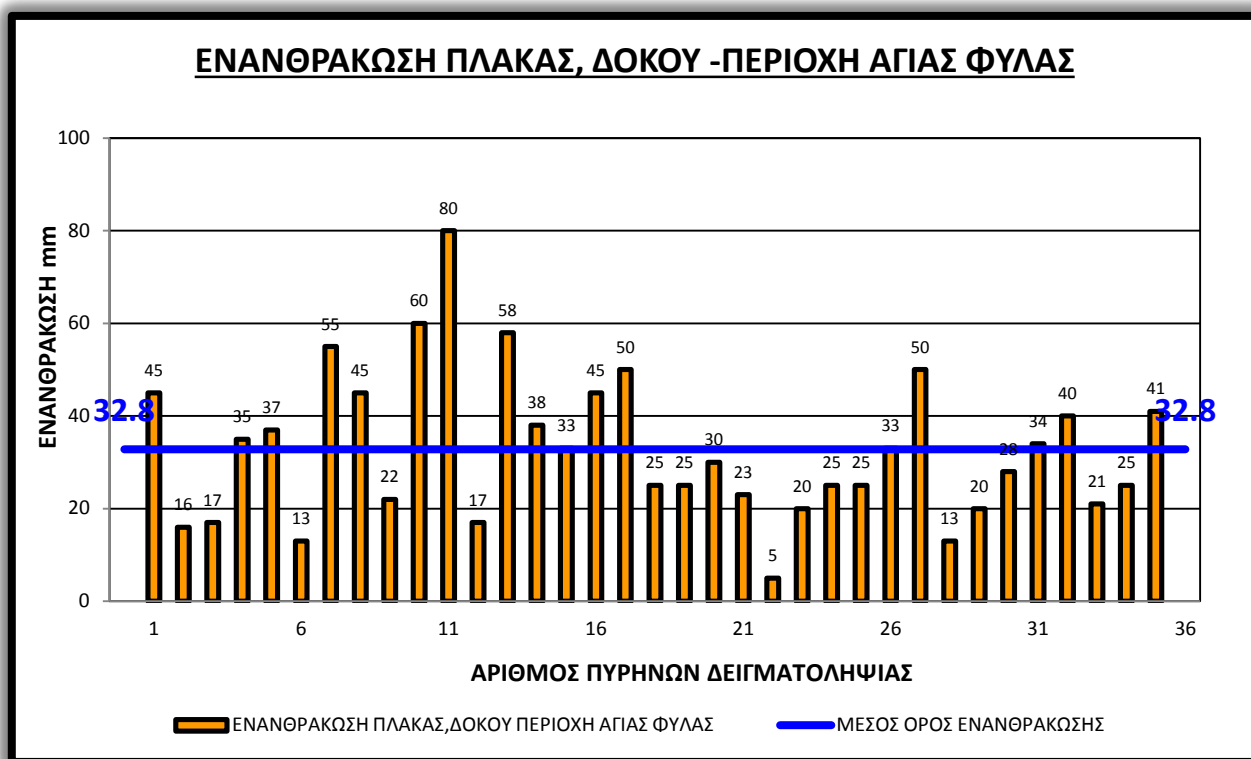
Διάγραμμα 22: Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα υποστυλώματος περιοχής Εναερίου



Διάγραμμα 23: Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα υποστυλώματος περιοχής Πολεμιδιών - Ζακάκι

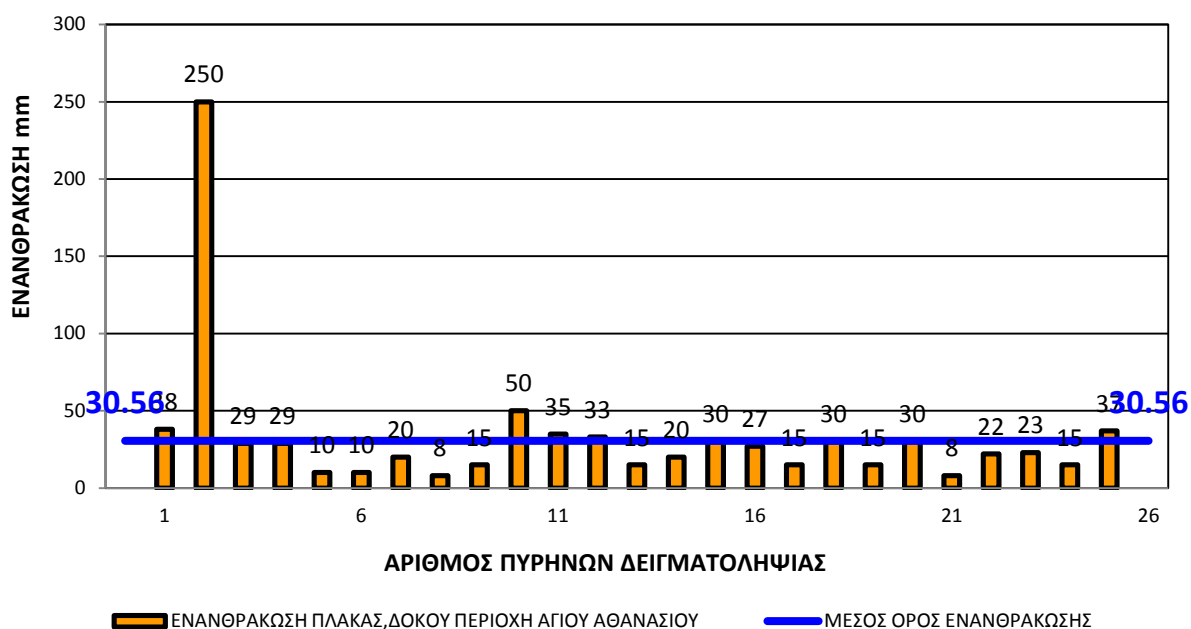


Διάγραμμα 24: Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα υποστυλώματος επαρχίας Λεμεσού



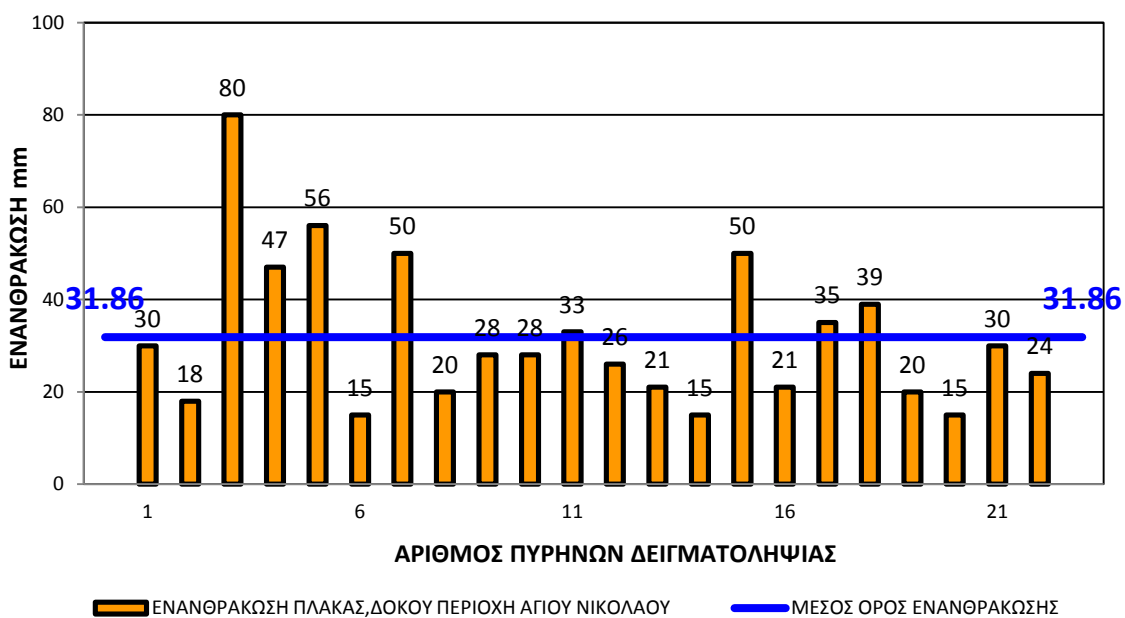
Διάγραμμα 25: Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα δοκού-πλάκας περιοχής Αγίας Φύλας

### ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ ΠΛΑΚΑΣ, ΔΟΚΟΥ -ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓΙΟΥ ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ

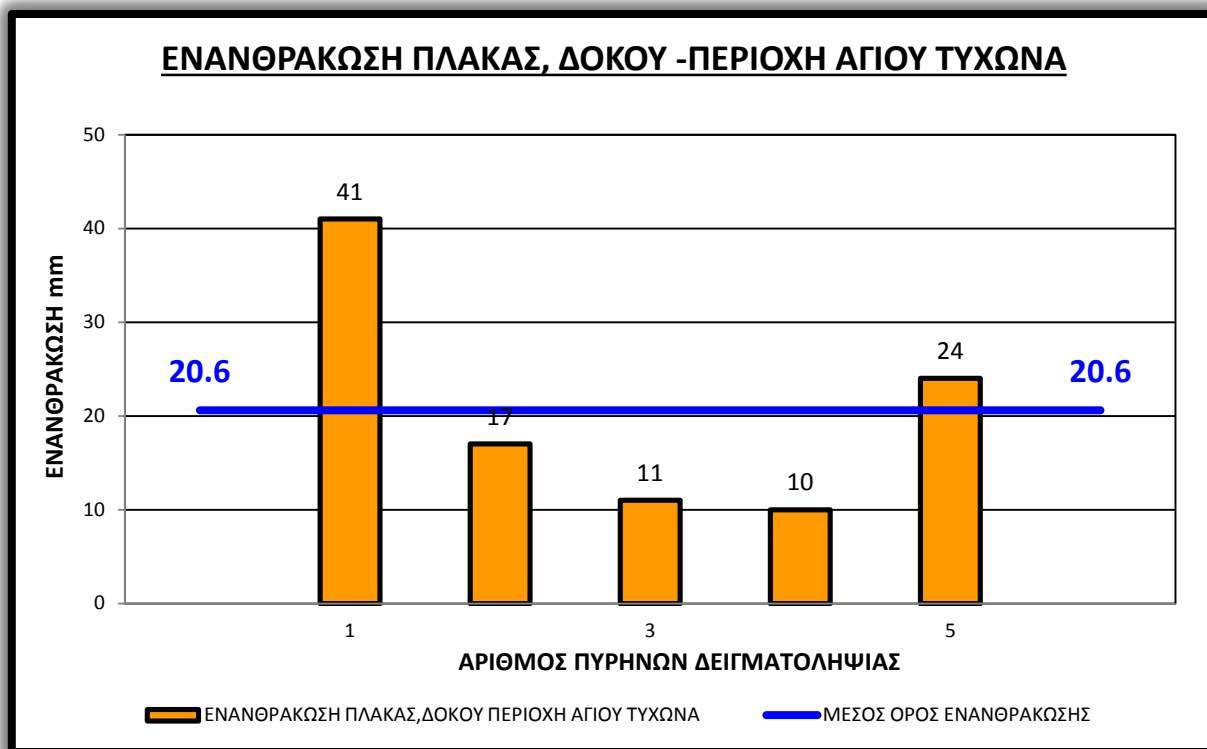


Διάγραμμα 26: Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα δοκού-πλάκας περιοχής Αγίου Αθανασίου

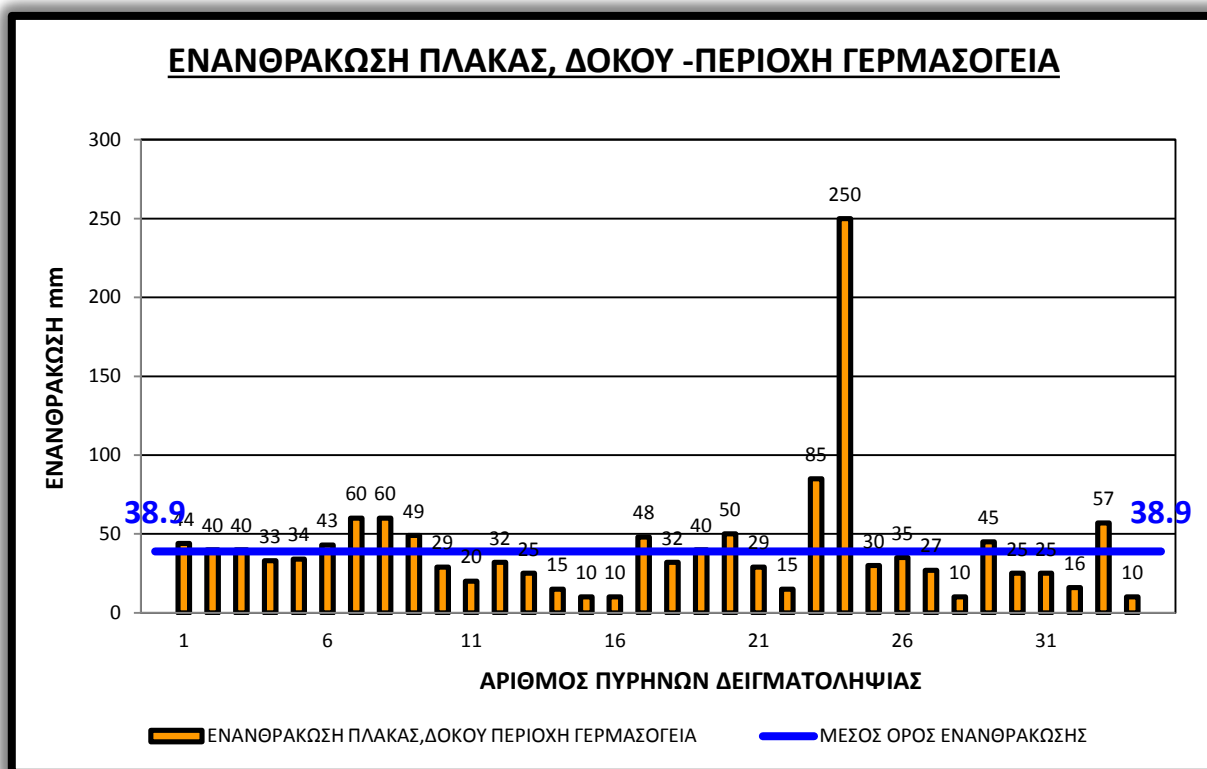
### ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ ΠΛΑΚΑΣ, ΔΟΚΟΥ -ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ



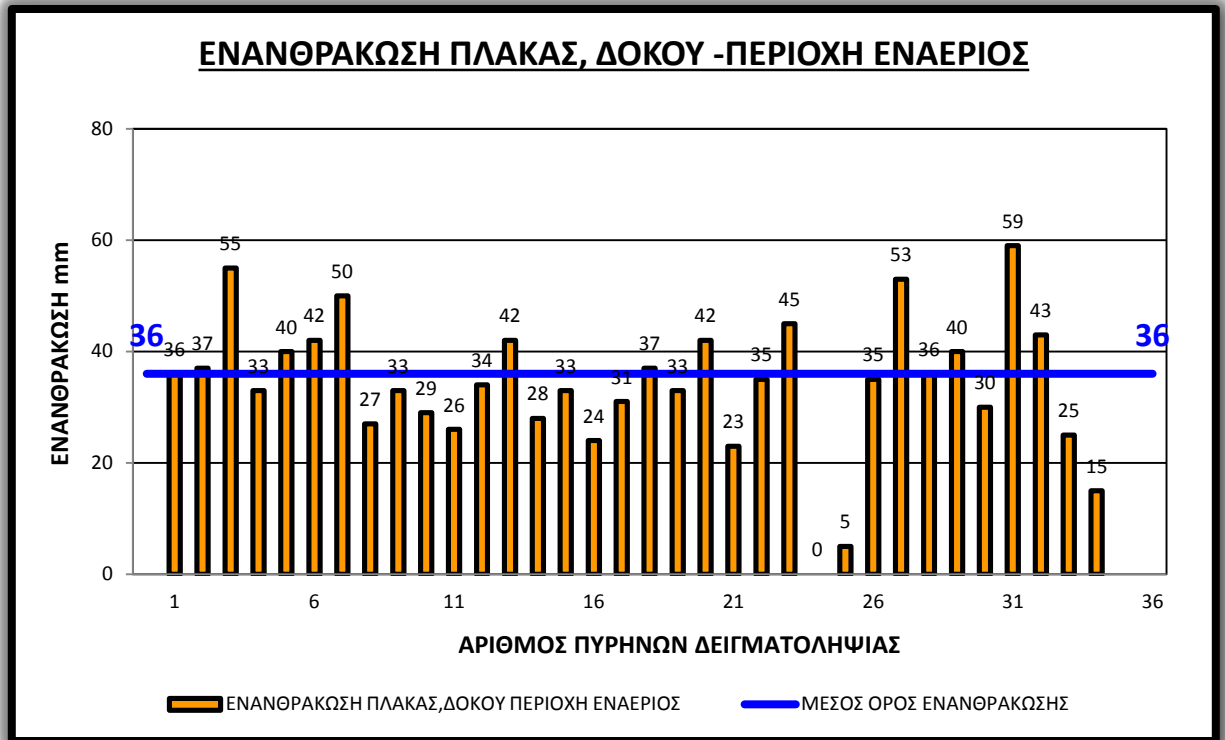
Διάγραμμα 27: Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα δοκού-πλάκας περιοχής Αγίου Νικολαου



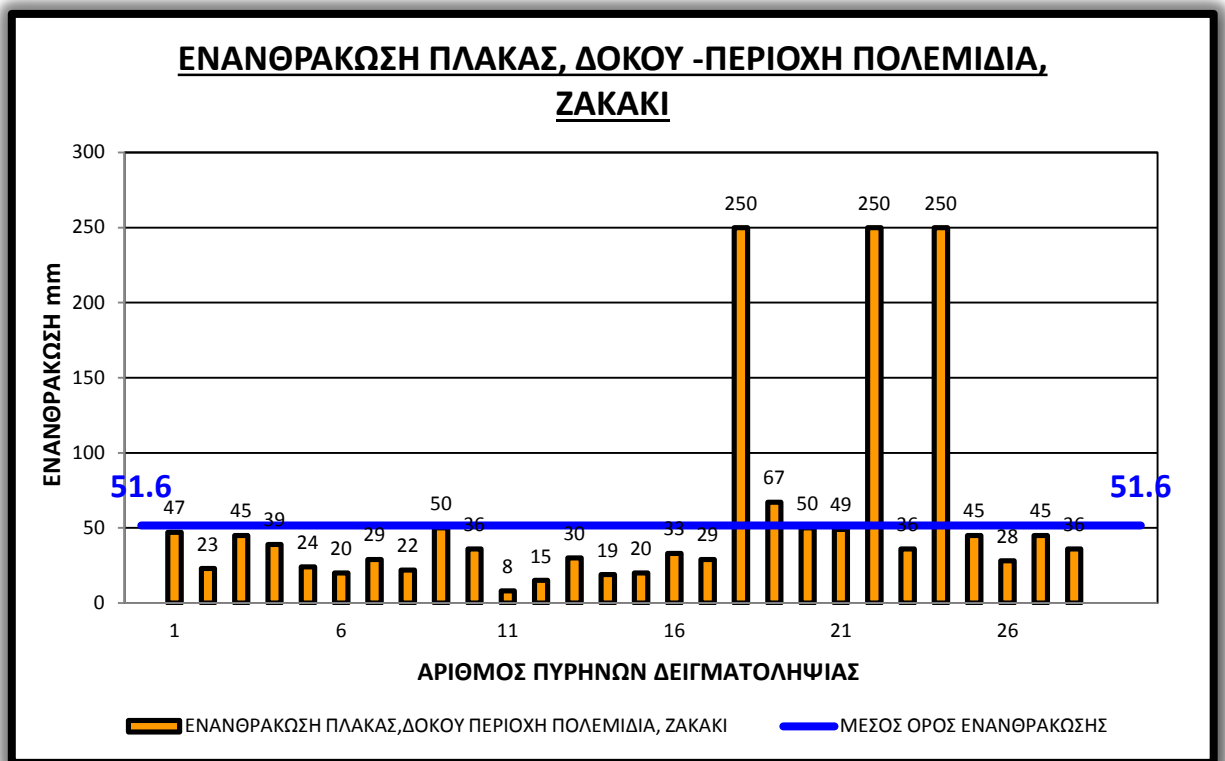
Διάγραμμα 28: Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα δοκού-πλάκας περιοχής Αγίου Τυχώνα



Διάγραμμα 29: Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα δοκού-πλάκας περιοχής Γερμασόγειας

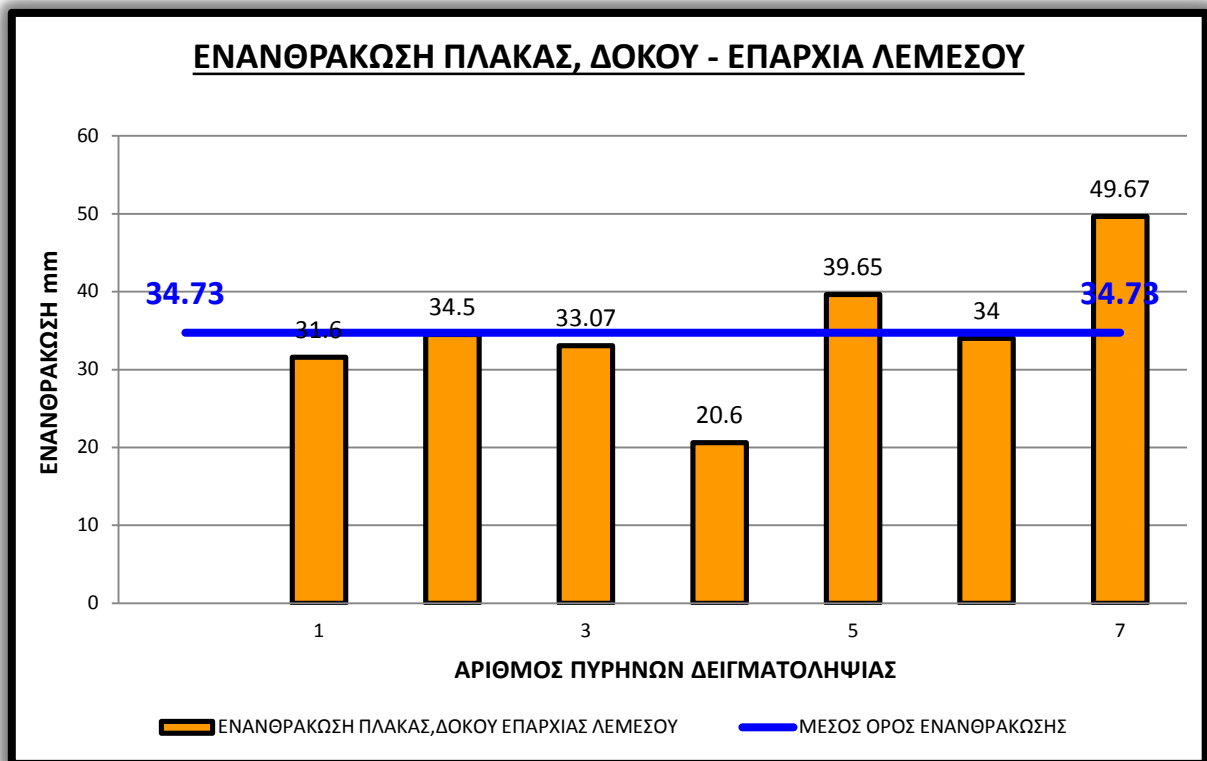


Διάγραμμα 30: Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα δοκού-πλάκας περιοχής Εναερίου



Διάγραμμα 31: Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα δοκού-πλάκας περιοχής Πολεμιδιών – Ζακάκι,





Διάγραμμα 32: Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα δοκού-πλάκας επαρχίας Λεμεσού

### 5.3 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στα πιο πάνω διαγράμματα 17-32, η μέγιστη τιμή που μπορεί να φτάσει η ενανθράκωση είναι τα 250mm. Το όριο αυτό τέθηκε κατά τη διάρκεια της συγκέντρωσης και αξιοποίησης των δεδομένων στα αρχικά στάδια της μελέτης αυτής, επειδή υπήρχαν πυρήνες σκυροδέματος, οι οποίοι κατά τον έλεγχο, διαπιστώθηκε, ότι ήταν πλήρως ενανθρακωμένοι. Τα 250mm τόσο για τα υποστυλώματα όσο και για τις δοκούς είναι το μέγιστο μήκος και πλάτος της διατομής τους αντίστοιχα.

Όμως, η ενανθράκωση δεν αποτελεί πρόβλημα για το σκυρόδεμα καθαυτό. Απεναντίας, η μετατροπή του υδροξειδίου του ασβεστίου σε ασβεστόλιθο δημιουργεί ένα πιο ανθεκτικό-πυκνό υλικό, με χαμηλό πορώδες και μεγαλύτερης θλιπτικής αντοχής. Το μεγαλύτερο πρόβλημα που δημιουργείται είναι αυτό που έχει να κάνει με την προστασία του οπλισμού καθώς αποτελεί τη δίοδο για τη διάβρωσή του. Σε περιοχές μάλιστα, όπου υπάρχουν χλωριούχες ενώσεις, όπως σε παραθαλάσσιες περιοχές, η συνεργασία ενανθράκωσης και χλωριόντων είναι καταγιστική για τον οπλισμό.

## 6. ΜΕΤΡΑ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στα προτεινόμενα μέτρα βελτίωσης-αποκατάστασης δομικών στοιχείων των κτιρίων και κατοικιών, που αντιμετωπίζουν προβλήματα στατικότητας, ενανθράκωσης σκυροδέματος και διάβρωσης οπλισμού. Τα μέτρα αυτά προτείνονται σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Πατρών, τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάστηκαν στο 16<sup>ο</sup> Φοιτητικό συνέδριο το Φεβρουάριο του 2010 στο Πανεπιστήμιο Πατρών με θέμα Επισκευές Κατασκευών, στο οποίο και είχα τη χαρά να συμμετέχω και εγώ ως προπτυχιακός φοιτητής στο τμήμα πολιτικών μηχανικών.

Για την αντιμετώπιση προβλημάτων που προκαλούνται από τη διάβρωση του οπλισμού, κυρίως ακολουθείται η εξής διαδικασία εργασιών:

### α) Προετοιμασία επιφανειών

Όπως αναφέραμε και πιο πάνω μπορούμε να έχουμε πλήρη εικόνα του βάθους ενανθράκωσης σκυροδέματος με το κλασικό τεστ της φαινολοφθαλείνης.

i) Οι επιφάνειες για να μπορούν να δεχτούν επισκευαστικά-διορθωτικά μέτρα πρέπει να είναι συνεκτικές, καθαρές και υγιείς.

ii) Ο οπλισμός πρέπει να είναι καθαρός και απαλλαγμένος από τη σκουριά. Όταν το πρόβλημα είναι η ενανθράκωση και απουσιάζουν τα χλωριόντα, οι απαιτήσεις είναι πιο ελαστικές και η ύπαρξη ελαφριάς σκουριάς είναι αποδεκτή.

iii) Η απομάκρυνση του ενανθρακωμένου σκυροδέματος γίνεται προσεκτικά με τη χρήση είτε σφυροκάλεμου (ματσί, σφυλάρι), είτε με ηλεκτρικό καταστροφέα (κάγκο) χαμηλής έντασης. Οι οπλισμοί, εάν είναι εφικτό πρέπει να αποκαλύπτονται περιμετρικά.

### β) Καθαρισμός οπλισμών

Οι οπλισμοί πρέπει να καθαρίζονται χειρωνακτικά με συρματόβουρτσα. Απώτερος σκοπός είναι να φτάσουμε σε καθαρό μέταλλο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπου η αποκάλυψη του οπλισμού είναι ανέφικτη, μπορεί να γίνει με τοπική επάλειψη χρησιμοποιώντας εμποτιστικούς αναστολές διάβρωσης. Οι οπλισμοί προστατεύονται με επαλειφόμενα κονιάματα που περιέχουν αναστολές διάβρωσης. Συνήθως, απαιτούνται δύο στρώσεις με διαφορά 1-3 ωρών ανάλογα με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Τα υλικά αυτά προσφύονται τέλεια στους οπλισμούς και στο σκυρόδεμα. Σε περιπτώσεις που έχουμε αποκόλληση ράβδου οπλισμού, καθαρίζουμε τον παλαιό οπλισμό και τον ενισχύουμε με νέα τμήματα από υγιή οπλισμό.

### γ) Αύξηση διατομής

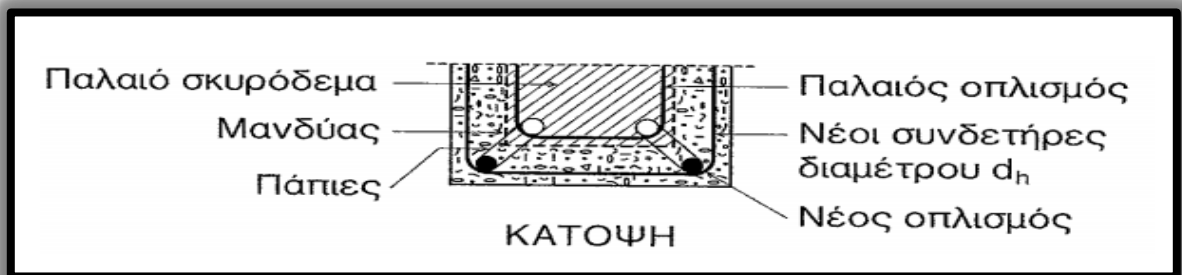
Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι επιτακτική η ανάγκη επιπλέον ενίσχυσης των δομικών στοιχείων ενός κτιρίου. Αυτό επιτυγχάνεται με την αύξηση της διατομής τους (όπου αυτό είναι εφικτό). Για τη σωστή ένωση του παλαιού με το νέο σκυρόδεμα, ώστε να

συμπεριφέρεται ως ένα ενιαίο «σώμα», γίνεται τοποθέτηση βλήτρων-αγκύρια τύπου L με εποξική σιλικόνη (βλέπε σχήμα 9).



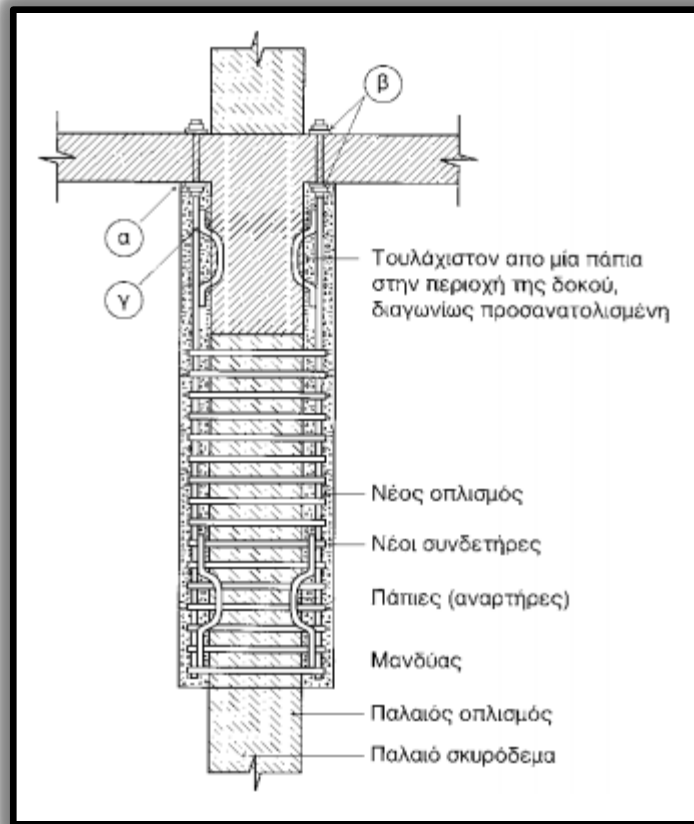
Σχήμα 9: Βλήτρο - Αγκύριο

Με την αύξηση της διατομής επιβάλλεται και η επιπλέον τοποθέτηση ράβδων χάλυβα στα υποστυλώματα και στις δοκούς. Ωστόσο, πρέπει να επιτευχθεί συνεργασία του παλαιού οπλισμού με το νέο (βλέπε σχήμα 10).



Σχήμα 10: Συνεργασία παλαιού προς το νέο στοιχείο (Πηγή Χρυσοστόμου Κρίστης, Αποτίμηση της αντοχής και ενίσχυσης δομημάτων, ΤΕΠΑΚ 2014)

Η συνεργασία επιτυγχάνεται με τη συγκόλληση του παλαιού με το νέο διαμήκη οπλισμό με πάπιες (αναρτήρες). Επιπλέον, στις περιπτώσεις των υποστυλωμάτων πρέπει να διασφαλιστεί η σφήνωση του μανδύα κάτω από την πλάκα για να παραλαμβάνει απευθείας τις θλιπτικές δυνάμεις και να της μεταφέρει επιτυχώς προς τη γη.



**Σχήμα 11:** Συνεργασία παλαιού προς το νέο στοιχείο (Πηγή Χρυσοστόμου Κρίστης, Αποτίμηση της αντοχής και ενίσχυσης δομημάτων, ΤΕΠΑΚ 2014)

#### δ) Επισκευαστικό υλικό

Πρόκειται για τσιμεντοειδούς βάσης υλικά τροποποιημένα με πολυμερή και ενισχυμένα με ίνες. Οι ραβδωτές ίνες με επιφάνεια σε σχήμα νεφρού εμποδίζουν τη δημιουργία ρωγμών στο συντηρημένο επισκευαστικό υλικό. Τα κονιάματα αυτά είναι επιθυμητό να διαθέτουν χαρακτηριστικά όπως:

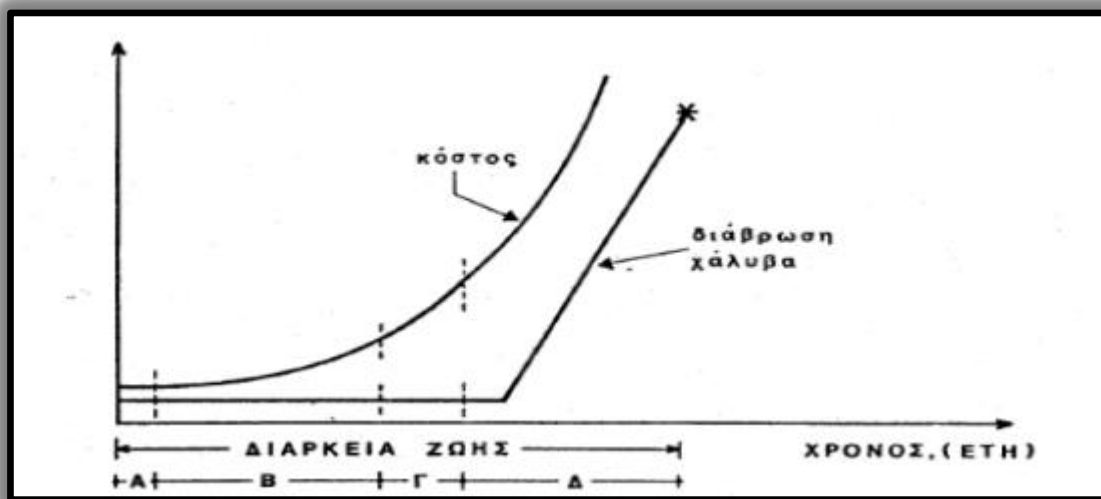
- Μηδενική συρρίκνωση
- Λείο φινίρισμα
- Στεγανότητα έναντι του νερού, της υγρασίας και των χημικών παραγόντων
- Μέτρο ελαστικότητας, μηχανικές αντοχές και συντελεστή θερμικής διαστολής παρόμοιο με αυτό του σκυροδέματος, ώστε το σύστημα να έχει ομοιογένεια.

Για την ολοκλήρωση της επισκευής-αποκατάστασης συνήθως χρειάζεται μια στρώση προστασίας έναντι της ενανθράκωσης με χαρακτηριστικά όπως:

- Πλήρη αδιαπερατότητα
- Καλή συμπεριφορά σε συνθήκες αλατονέφωσης (παραθαλάσσιες κατασκευές)
- Πλήρη φραγή στο CO<sub>2</sub>
- Ικανότητα να γεφυρώνει υπάρχουσες και μελλοντικές ρωγμές

### ε) Κόστος Αποκατάστασης

Σύμφωνα με διάλεξη του συλλόγου Πολιτικών Μηχανικών Κύπρου που πραγματοποιήθηκε στη Λευκωσία με θέμα την ανθεκτικότητα οπλισμένου σκυροδέματος, το κόστος αποκατάστασης-επιδιόρθωσης μεταβάλλεται ανάλογα με την περίπτωση και τα υλικά που χρησιμοποιούνται. Το σχήμα 12 που ακολουθεί προέκυψε από μελέτη διαφόρων περιπτώσεων, όπου εξετάστηκε το κόστος συντήρησης, της επισκευής και ο βαθμός που είχε προχωρήσει η διάβρωση. Συγκεκριμένα παρατηρούμε ότι, όσο περνάει ο χρόνος (άρα και η διάβρωση του οπλισμού), τόσο αυξάνεται και το κόστος.



**Σχήμα 12:** Μεταβολή του κόστους συντήρησης κατασκευής από οπλισμένο σκυροδέμα και της διάβρωσης σε σχέση με το χρόνο (Πηγή Πέτρου Μιχάλης Ανθεκτικότητα οπλισμένου σκυροδέματος, Διάλεξη Πολιτικών Μηχανικών Κύπρου)

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συγκεφαλαιώνοντας λοιπόν, αβίαστα συνάγεται το συμπέρασμα ότι τα κτίρια, τα οποία κτίστηκαν πριν από 30-40 χρόνια περίπου στην Κύπρο, όπου επικρατούσαν μεταπολεμικές καταστάσεις, δεν κτίστηκαν με βάση τους ευροκώδικες που χρησιμοποιούνται σήμερα. Επίσης, δυστυχώς δεν ήταν τόσο εξελιγμένη η τεχνολογία αλλά ούτε και τελειοποιημένα τα μέσα της τεχνολογίας, ώστε να ελέγχονται εργαστηριακά με τη μέθοδο της επί τόπου συλλογής κύβων κατά τη σκυροδέτηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος.

Επιπλέον, ένα άλλο αρνητικό, είναι ότι η σωστή συμπύκνωση του σκυροδέματος δεν ήταν υπαρκτή και πραγματοποιήσιμη, αφού δεν υπήρχαν δονητές συμπύκνωσης σκυροδέματος (βλέπε σχήμα 13). Καλό θα ήταν να αναφέρω ότι στις μέρες μας, η συμπύκνωση του σκυροδέματος είναι μια διαδικασία που επιβάλλεται να ακολουθείται (κατά τη διάρκεια χύτευσης του σκυροδέματος στον ξυλότυπο), αφού απομακρύνεται ο εγκλωβισμένος αέρας από το σκυροδέμα και επιτυγχάνεται η μέγιστη πυκνότητά του μέσω της ταξινόμησης των αδρανών σε πυκνή διάταξη. Η περιεκτικότητα του αέρα στο σκυροδέμα, αμέσως μετά την τοποθέτησή του στον ξυλότυπο κυμαίνεται από 5% έως 20%. Η θλιπτική αντοχή με περιεκτικότητα αέρα 5% είναι περίπου το 80% της αντίστοιχης του σωστά συμπυκνωμένου σκυροδέματος. Εάν η συμπύκνωση δεν γίνει με τον προβλεπόμενο τρόπο και η περιεκτικότητα του εγκλωβισμένου αέρα στο σκυροδέμα είναι μεγαλύτερη του 5%, τότε η θλιπτική αντοχή μειώνεται αισθητά (με περιεκτικότητα αέρα 10%, η αντοχή του σκυροδέματος μειώνεται μέχρι και 50%).



### Σχήμα 13: Δομητής συμπύκνωσης σκυροδέματος

Επιπρόσθετα, ένα άλλο μειονέκτημα είναι πως, για την κατασκευή του σκυροδέματος χρησιμοποιούσαν φυσικά σκύρα και άμμο που ως επί το πλείστον προερχόταν από τη θάλασσα. Τα κτίρια κτίζονταν με βάση το αγγλικό πρότυπο προδιαγραφών και για την παρασκευή του σκυροδέματος ακολουθούσαν τις προδιαγραφές αναλογίας (βλέπε Πίνακα 8). Σήμερα οι μελέτες για τις κατασκευές σχεδιάζονται με ασφάλεια και με βάση τους Ευρωπαϊκούς, τους οποίους αναφέρουμε πιο κάτω:

- EN 1990: Ευρωπαϊκός 0 – Βάσεις σχεδιασμού φερουσών κατασκευών.
- EN 1991: Ευρωπαϊκός 1 – Δράσεις στις Φέρουσες Κατασκευές.
- EN 1992: Ευρωπαϊκός 2 – Σχεδιασμός φερουσών κατασκευών από σκυρόδεμα.
- EN 1993: Ευρωπαϊκός 3 – Σχεδιασμός φερουσών κατασκευών από χάλυβα.
- EN 1994: Ευρωπαϊκός 4 – Σχεδιασμός σύμμικτων φερουσών κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα.
- EN 1995: Ευρωπαϊκός 5 – Σχεδιασμός ξύλινων φερουσών κατασκευών.
- EN 1996: Ευρωπαϊκός 6 – Σχεδιασμός φερουσών κατασκευών από τοιχοποιία.
- EN 1997: Ευρωπαϊκός 7 – Γεωτεχνικός σχεδιασμός.
- EN 1998: Ευρωπαϊκός 8 – Αντισεισμικός σχεδιασμός φερουσών κατασκευών.
- EN 1999: Ευρωπαϊκός 9 – Σχεδιασμός φερουσών κατασκευών από αλουμίνιο.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι ο έλεγχος της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος των στοιχείων είναι ιδιαίτερα σημαντικός αλλά και βοηθητικός, αφού δίνει όλες τις πληροφορίες που χρειάζεται ο μηχανικός, ώστε να ξεκινήσει την περαιτέρω ανάλυσή του, όσον αφορά τη στατικότητα του κτιρίου. Συνεπώς, ανακεφαλαιώνοντας όλα όσα αναφέρθηκαν στην παρούσα μελέτη, εκείνο που προέχει και χρήζει άμεσης ανάγκης είναι η απομάκρυνση του ενανθρακωμένου σκυροδέματος.

Επιπρόσθετα, σημαντικό θεωρώ να αναφέρω ότι πρέπει να γίνουν επιμελείς καθαρισμοί των στοιχείων μετά την αφαίρεση του ενανθρακωμένου σκυροδέματος. Προκειμένου να αντιμετωπισθεί η διάβρωση του οπλισμού στο σκυρόδεμα, η οποία οφείλεται είτε στην ενανθράκωση είτε στην είσοδο χλωριόντων στο σκυρόδεμα, η σημερινή τεχνολογία προσφέρει διάφορες λύσεις όπως:

- Καθοδική προστασία
- Προσθήκη στο σκυρόδεμα αναστολέων διάβρωσης
- Χρήση οργανικών επικαλύψεων (χρωμάτων)
- Χρήση ανοξειδωτών χαλύβων

Κλείνοντας, συμπεραίνουμε ότι με τις επεμβάσεις στα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα κτίρια, μπορούμε να αναστείλουμε τους μηχανισμούς διάβρωσης και παράλληλα να αυξήσουμε τη φέρουσα ικανότητά του. Έτσι λοιπόν, δεν υπάρχει αμφιβολία ότι η ενανθράκωση και κατ' επέκταση η διάβρωση του οπλισμένου σκυροδέματος αποτελεί αναμφισβήτητα ένα από τα πιο καίρια προβλήματα που αντιμετωπίζει σήμερα ένας Πολιτικός Μηχανικός και στο οποίο καλείται να δώσει το συντομότερο δυνατό λύσεις, έτσι ώστε τα σημερινά κτίρια-πολυκατοικίες, να κτίζονται με βάση τους ευρωπαϊκούς κώδικες και να είναι ασφαλή και στατικά.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Δημάδη Κ και Κατσεινίου Γ. (2010). “Διάβρωση χάλυβα οπλισμένου σκυροδέματος & Τρόποι αποκατάστασης”, Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πάτρα.

Δρίτσος Σ.Η. (2005). “Ενισχύσεις / Επισκευές κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα”, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πάτρα.

Κουρνέτας Δ. (2010). “Διάβρωση Οπλισμένου Σκυροδέματος – Μέτρα Επέμβασης”, 16<sup>ο</sup> Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πάτρα.

Μπάτης Γ. (2007). “Χρήση νέων υλικών για την αύξηση της ανθεκτικότητας των κατασκευών”, Εισήγηση στην ημερίδα του ΤΕΕ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Τριανταφύλλου Χ.Α. (2005). “Δομικά Υλικά - 7<sup>η</sup> Έκδοση”, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εργαστήριο Μηχανικής και Τεχνολογίας Υλικών, Πάτρα.

Φαρδής Ν.Μ. (2008). “Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος Μέρος ΙΙΙ”, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Κατασκευών, Πάτρα.

Φαρδής Ν.Μ. (2004). “Ανθεκτικότητα του οπλισμένου σκυροδέματος σε διάρκεια - Αφιέρωμα”, 10<sup>ο</sup> Φοιτητικό Συνέδριο, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Κατασκευών, Πάτρα.

Χρίστου Γεώργιος (2013) “Το φαινόμενο ενανθράκωση και η επιπτώσεις του στους οπλισμούς”, Εργασία στο Μάθημα Ερευνητικές Μέθοδοι, Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Γεωπληροφορικής, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα στην Πολιτική Μηχανική και Αειφόρο Σχεδιασμό, Λεμεσός, Λεμεσός)

Χρυσοστόμου Κρίστης (2014), “Αποτίμηση της αντοχής και ενίσχυσης δομημάτων”, Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Γεωπληροφορικής, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα στην Πολιτική Μηχανική και Αειφόρο Σχεδιασμό, Λεμεσός)

[www.360news.gr](http://www.360news.gr)