

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ
3. ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ
4. ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ
5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ
7. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Παράρτημα I: Σχέδια αποτύπωσης των κατόψεων των κτιρίων με τις θέσεις των δοκιμών

Παράρτημα II: Δεδομένα και αποτελέσματα χαρακτηριστικών δοκιμών

Παράρτημα III: Ανάλυση των πλακών-προβολών των κτιρίων με πεπερασμένα στοιχεία

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η 24-ωρη δοκιμή φορτίου που προτείνεται από τον κώδικα ACI 318-05 εφαρμόζεται σε κτίρια Ο/Σ παραθαλάσσιου ξενοδοχειακού συγκροτήματος, προκειμένου να εκτιμηθεί η αντοχή πλακών-προβόλων. Στην εργασία αυτή περιγράφεται η εφαρμογή της δοκιμής και προτείνονται κατάλληλοι συντελεστές φορτίων, που είναι συμβατοί με τους ισχύοντες εθνικούς κανονισμούς σκυροδέματος. Επίσης, παρέχεται μια διαδικασία, που βασίζεται στα πεπερασμένα στοιχεία, για τον προσδιορισμό των τοπικά διανεμημένων φορτίων (patch loads) που πρέπει να εφαρμόζονται στην κατασκευή προκειμένου να προξενούν στις κρίσιμες θέσεις εσωτερικές δυνάμεις (διάτμηση ή κάμψη) ίσες με αυτές που προκαλούνται από το τυπικά ομοιόμορφο φορτίο.

# The 24-hour load test for the strength evaluation of reinforced concrete structures

## **ABSTRACT**

The 24hour load test adopted in ACI 318-05 is applied to evaluate the strength of existing reinforced concrete buildings, located in the island of Ko and owned by Club Med. The structural members tested are cantilever slabs of five buildings in order to investigate possible strength deterioration due to reinforced corrosion and concrete carbonation. In the context of the present work, a finite element procedure is developed to determine the local distributed loads (patch loads), which equivalently substitute the uniform design load of the cantilever slabs.

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η στατική δοκιμή φορτίου και η παρακολούθηση της δομικής συμπεριφοράς μιας υφιστάμενης κατασκευής αποτελούν τις δύο παραδοσιακές πρακτικές που έχουν υιοθετηθεί διεθνώς για την απόκτηση χρήσιμων πληροφοριών αναφορικά με την υγεία και την επιτελεστικότητα της κατασκευής. Οι τεχνικές αυτές βασίζονται στην εκτίμηση της υπάρχουσας αντοχής της κατασκευής, ή κάποιου δομικού της στοιχείου, από την καταγραφή της απόκρισης της κατασκευής, ή του δομικού της στοιχείου, σε ένα ελεγχόμενο φορτίο που εφαρμόζεται σε μια επιλεγμένη θέση και για ένα συγκεκριμένο διάστημα στη κατασκευή. Αυτό που καταγράφεται, συνήθως, είναι η τοπική μεταβολή που υφίσταται η γεωμετρία της κατασκευής ή του δομικού στοιχείου κατά την επιβολή, την παραμονή και την απομάκρυνση του φορτίου. Το φορτίο της δοκιμής επιλέγεται έτσι ώστε να αντιπροσωπεύει είτε τα φορτία λειτουργίας ή τα φορτία σχεδιασμού της κατασκευής, σε ένα ανεκτό ποσοστό που δεν θα προκαλέσει τοπικές βλάβες ή φθορές στη κατασκευή. Η αξιολόγηση της συμπεριφοράς της κατασκευής ή του δομικού στοιχείου, συνήθως, στηρίζεται στην σύγκριση των στοιχείων που περιγράφουν της απόκριση τους κατά την δοκιμή, με μια αναμενόμενη συμπεριφορά της κατασκευής που περιγράφεται από ένα σύνολο κριτηρίων, που έχουν υιοθετηθεί μετά από εκτεταμένες θεωρητικές και πειραματικές αναλύσεις.

Η δοκιμή φορτίου αποτελεί για χρόνια μια εφαρμόσιμη επιλογή για να διερευνηθεί ένα κτίριο το οποίο παρουσιάζει 'reason to question its safety for the intended occupancy or use'. Στην Βόρεια Αμερική, το πρόβλημα διάβρωσης του χαλύβδινου οπλισμού έχει καταγραφεί ως ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα που εμφανίζουν οι κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα τα τελευταία χρόνια. Η διάβρωση του οπλισμού επιφέρει μια στατική υποβάθμιση στα δομικά στοιχεία της κατασκευής, και πολλές φορές τα συμπτώματα που συνοδεύουν αυτή την κατάσταση δεν είναι εμφανίζονται. Το θαλάσσιο περιβάλλον αποτελεί την βασική αιτία διάβρωσης παραθαλάσσιων κατασκευών από Ο/Σ στη χώρα μας. Το πρόβλημα αυτό, με το πέρασμα του χρόνου, θα γίνεται ποιο έντονο και ποιο εκτεταμένο στις παραθαλάσσιες κατασκευές από Ο/Σ, καθότι η διάβρωση είναι ένα φαινόμενο που εξελίσσεται

αυξητικά με το χρόνο. Οι πλάκες-πρόβολοι αποτελούν κρίσιμα δομικά στοιχεία τέτοιων κατασκευών, καθότι αποτελούν ισοστατικά συστήματα με πιθανή υπερφόρτιση λόγω συνάθροισης ατόμων. Η υπάρχουσα επικάλυψη και η θέση του οπλισμού στις πλάκες-προβόλους καθιστούν το πρόβλημα της διάβρωσης λίαν επικίνδυνο, καθότι αποκρύπτει την εκδήλωση των συμπτωμάτων που συνοδεύουν, συνήθως, την διάβρωση του οπλισμού.

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση της αντοχής των πλακών-προβόλων σε πέντε κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα του Club Med στη Κω, χρησιμοποιώντας την 24-ωρη δοκιμή φορτίου. Σκοπός της εκτίμησης αυτής είναι να διαπιστωθεί αν υπάρχουν τοπικές υποβαθμίσεις της αντοχής των πλακών-προβόλων των κτιρίων προερχόμενες από την διάβρωση του οπλισμού ή από την ενανθράκωση του σκυροδέματος, λόγω της γεινίασης του κτιρίων με την θάλασσα. Η εκτίμηση αυτή περιορίσθηκε στις πλάκες προβόλους, καθότι οι πλάκες-πρόβολοι αποτελούν τα κρίσιμα στοιχεία του δομικού συστήματος ενός κτιρίου, λόγω της μεγάλης πιθανότητας που έχουν να υπερφορτωθούν και της ιδιαιτερότητας που παρουσιάζουν ως προς την στατική τους λειτουργία (ισοστατικότητα).

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι προκαταρκτικές εργασίες των δοκιμών, η εκτέλεση των δοκιμών στο πεδίο, και η ανάλυση των αποτελεσμάτων των δοκιμών. Στις προκαταρκτικές εργασίες των δοκιμών συγκεντρώθηκαν στοιχεία που αφορούν το δομικό σύστημα και τα μη φέροντα στοιχεία των κτιρίων, καθώς και τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών τους. Με βάση τα στοιχεία αυτά εκτιμήθηκε θεωρητικά η αντοχή των πλακών προβόλων των κτιρίων, και στην συνέχεια, προσδιορίσθηκε το μέγεθος και η θέση του απαιτούμενου φορτίου των δοκιμών που πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Η εκτέλεση των δοκιμών έγινε με ευθύνη του Εργαστηρίου Δομικής Μηχανικής και Στοιχείων Τεχνικών Έργων της ΣΑΤΜ του ΕΜΠ, κατά τον χρονικό διάστημα Δεκέμβριος 2008-Ιανουάριος 2009. Τα αποτελέσματα για κάθε δοκιμή παρουσιάζονται και αναλύονται σε ειδικό έντυπο ξεχωριστά και συμπεριλαμβάνονται σε σχετικό παράρτημα.

Η δομή της παρούσας έκθεσης είναι η παρακάτω: στο Κεφάλαιο 2 περιγράφεται η 24-ωρη δοκιμή φορτίου του κώδικα ACI 318-05, που έχει υιοθετηθεί στο παρόν έργο. Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται οι

προκαταρκτικές εργασίες που έγιναν πριν την εκτέλεση των δοκιμών και στο Κεφάλαιο 4 περιγράφεται η εκτέλεση των δοκιμών στο πεδίο . Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών και στο Κεφάλαιο 6 τα συμπεράσματα του παρόντος έργου. Τέλος, σε ειδικά παραρτήματα έχουν καταχωρηθεί τα σχέδια κατόψεων των κτιρίων στα οποία έγιναν οι δοκιμές (Παράρτημα I), τα έντυπα των δοκιμών με τα δεδομένα και τα αποτελέσματα για κάθε δοκιμή ξεχωριστά (Παράρτημα II) και η ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία των πλακών των κτιρίων στα οποίες έγιναν οι δοκιμές (Παράρτημα III).

## **2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ**

Ο σκοπός της 24-ωρης δοκιμής φορτίου είναι να διερευνήσει αν μια κατασκευή, ή ένα δομικό της στοιχείο, ικανοποιεί τις απαιτήσεις του ισχύοντος κανονισμού σκυροδέματος, και να εκτιμήσει την συνολική αντοχή τους. Με άλλα λόγια, μια δοκιμή φορτίου χρησιμοποιείται για να δείξει ότι η κατασκευή, ή το δομικό στοιχείο, μπορεί να φέρει τα φορτία σχεδιασμού του ισχύοντος κανονισμού με ένα επαρκή συντελεστή ασφάλειας ως προς την αστοχία, καθώς επίσης, μπορεί να φέρει τα φορτία λειτουργίας, χωρίς η βύθιση και το εύρος ρωγμών να ξεπερνούν τα επιτρεπτά όρια του κανονισμού .

Στο παρόν έργο, υιοθετείται η 24-ωρη στατική δοκιμή φορτίου, με την διαδικασία και τις απαιτήσεις που περιγράφονται στον κώδικα ACI 318-05 [1]. Παράλληλα, με τις κατάλληλες τροποποιήσεις των συντελεστών φορτίου και υλικού που θα γίνουν, η δοκιμή αυτή θα προσαρμοσθεί στον ισχύοντα ελληνικό κανονισμό σκυροδέματος (ΕΚΩΣ) [2]. Στην 24-ωρη δοκιμή φορτίου, η κατασκευή φορτίζεται αργά και αυξητικά, έως ότου το επιβαλλόμενο φορτίο προσεγγίσει ένα ορισμένο ποσοστό του φορτίου σχεδιασμού της. Στην συνέχεια, το φορτίο αυτό διατηρείται σταθερό στην κατασκευή για ένα χρονικό διάστημα, τουλάχιστον, 24 ωρών. Επειδή, κατά την διεξαγωγή της δοκιμής, είναι πρακτικά αδύνατη η χρήση του διανεμημένου φορτίου σχεδιασμού που περιγράφουν οι κανονισμοί, κυρίως σε μεγάλες επιφάνειες πλακών, ο κώδικας ACI-318-05 επιτρέπει την χρήση ενός ισοδύναμου φορτίου που θα

εφαρμόζεται σε μια περιορισμένη επιφάνεια της κατασκευής. Το ισοδύναμο αυτό φορτίο θα πρέπει να προξενεί την ίδια ροπή στις κρίσιμες διατομές. Μια αναλυτική μεθοδολογία για τον προσδιορισμό του ισοδύναμου αυτού φορτίου προτείνεται στο [4]. Στο παρόν έργο αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε μια νέα μεθοδολογία για τον προσδιορισμό του ισοδύναμου αυτού φορτίου για την περίπτωση των πλακών. Η μεθοδολογία στηρίζεται στα πεπερασμένα στοιχεία και εφαρμόζεται στην περίπτωση των πλακών προβόλων.

Σύμφωνα με το κώδικα ACI 318-05, το ελάχιστο μέγεθος του ολικού φορτίου της δοκιμής πρέπει να είναι ίσο με το 85% του μεγέθους του φορτίου σχεδιασμού της κατασκευής, δηλαδή

$$w = 0.85(1.4D + 1.7L) \quad (1)$$

όπου  $L$  και  $D$  είναι τα μεταβλητά και τα μόνιμα φορτία που έχουν χρησιμοποιηθεί στον σχεδιασμό του δομικού στοιχείου.

Έχοντας προσδιορίσει το μέγεθος και την θέση του φορτίου της δοκιμής, πριν την διαδικασία επιβολής του, θα πρέπει να τοποθετηθούν τα όργανα μέτρησης στις θέσεις που αναμένεται να αναπτυχθεί η μέγιστη βύθιση και να καταγραφεί η αρχική τιμή των οργάνων αυτών. Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της χρονικής στιγμής καταγραφής των αρχικών τιμών των οργάνων και της χρονικής στιγμής εφαρμογής της δοκιμής δεν πρέπει να ξεπερνάει την μια ώρα. Το φορτίο δοκιμής θα πρέπει να εφαρμοσθεί με αργό ρυθμό και βαθμιαία, τουλάχιστον, σε τέσσερες ίσες αυξήσεις. Στις μετρήσεις που δεν γίνεται συνεχής καταγραφή, θα πρέπει να καταγράφεται ένα σύνολο τιμών σε κάθε μια από τις τέσσερις αυξήσεις, μέχρι να εφαρμοσθεί το ολικό φορτίο, καθώς επίσης και στο χρονικό διάστημα των 24 ωρών που θα παραμείνει το φορτίο δοκιμής στη κατασκευή. Μετά από 24 ώρες, και αφού ληφθούν οι μετρήσεις αυτές, το φορτίο δοκιμής απομακρύνεται και καταγράφονται οι τελικές τιμές της απόκρισης του στοιχείου.

Σύμφωνα με τον κώδικα ACI 318-05, η εξεταζόμενη κατασκευή περνάει ή όχι το τεστ, αν ικανοποιούνται ταυτόχρονα δύο κριτήρια. Το πρώτο κριτήριο περιλαμβάνει σε ένα σύνολο οπτικών παραμέτρων που σχετίζονται με την συμπεριφορά του σκυροδέματος της εξεταζόμενης κατασκευής στην κρίσιμη

περιοχή. Στην κρίσιμη περιοχή του σκυροδέματος δεν επιτρέπονται να εμφανίζονται θρυμματισμοί, ρωγμές απόσχισης και ενδείξεις υπερβολικών μετατοπίσεων, που ξεπερνούν τις απαιτήσεις ασφάλειας που θέτει ο κώδικας. Το δεύτερο κριτήριο βασίζεται στις μετρήσεις των βυθίσεων που αναπτύσσονται στην κατασκευή κατά την διάρκεια της δοκιμής, που πρέπει να ικανοποιούν μια από τις παρακάτω εξισώσεις

$$\Delta_{\max} \leq \frac{l_t^2}{20000 h} \quad , \quad \Delta_{r,\max} \leq \frac{\Delta_{\max}}{4} \quad (2)$$

Στις εξισώσεις αυτές,  $l_t$ ,  $h$  είναι το άνοιγμα και το πάχος του δομικού στοιχείου, αντίστοιχα, σε inches.  $\Delta_{\max}$ ,  $\Delta_{r,\max}$  είναι η μέγιστη βύθιση και η παραμένουσα βύθιση, αντίστοιχα, σε inches. Αν οι παραπάνω εξισώσεις δεν ικανοποιούνται, η δοκιμή φορτίου μπορεί να επαναληφθεί, σε χρονικό διάστημα, όμως, όχι μικρότερο από 72 ώρες μετά την απομάκρυνση του φορτίου. Σε μια τέτοια περίπτωση, το δομικό στοιχείο που εξετάζεται θα θεωρείται ότι περνάει την δοκιμή, αν η παραμένουσα εγκάρσια μετατόπιση ικανοποιεί την συνθήκη

$$\Delta_{r,\max} \leq \frac{\Delta_{f,\max}}{5} \quad , \quad (3)$$

όπου  $\Delta_{f,\max}$  είναι η μέγιστη μετρούμενη εγκάρσια μετατόπιση μετά την δεύτερη δοκιμή

### 3. ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Οι προκαταρκτικές εργασίες που έγιναν πριν τις δοκιμές περιελάμβαναν:

- την συλλογή στοιχείων και πληροφοριών σχετικά με την γεωμετρία και τα υλικά των πέντε κτιρίων,



- τις θεωρητικές αναλύσεις για τον προσδιορισμό της διαθέσιμης αντοχής και της απόκρισης των πλακών-προβόλων των κτιρίων αυτών, και, με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών,
- την επιλογή του μεγέθους του φορτίου των δοκιμών και του τρόπου εκτέλεσης των δοκιμών.

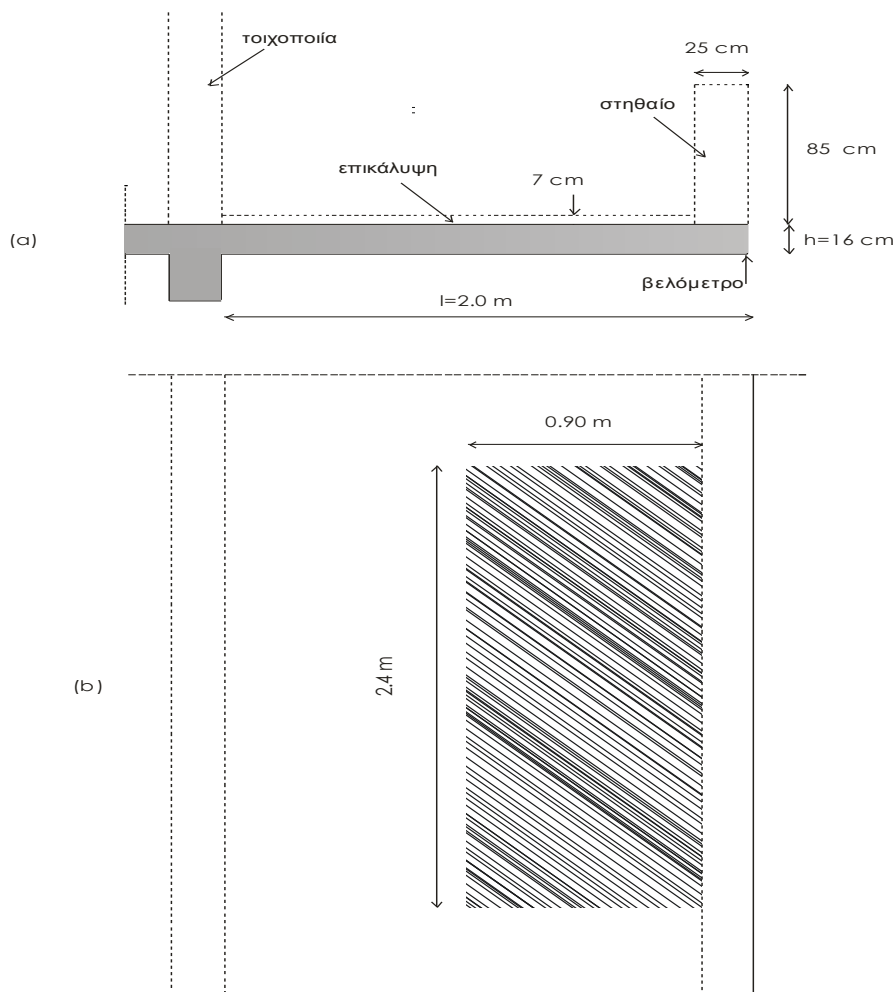
Οι εργασίες αυτές έγιναν σε τέσσερις διακριτές φάσεις, που παρουσιάζονται αμέσως παρακάτω.

### **Φάση 1 : Γεωμετρία και χαρακτηριστικά των υλικών των κτιρίων**

Επειδή δεν υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία από τις εγκεκριμένες στατικές μελέτες των κτιρίων, έγινε αποτύπωση του δομικού συστήματος και των αρχιτεκτονικών στοιχείων των πέντε κτιρίων, δειγματοληπτική ανίχνευση του υπάρχοντος οπλισμού στις πλάκες προβόλους, και εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος των πλακών προβόλων των κτιρίων αυτών. Τα αποτελέσματα που αφορούν την γεωμετρία των φερόντων και μη φερόντων στοιχείων των κτιρίων παρουσιάζονται στα σχέδια του Παραρτήματος Ι της παρούσας εργασίας. Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος εκτιμήθηκε από κυλινδρικά δοκίμια που πάρθηκαν από διάφορες θέσεις των πλακών, σε συνδυασμό με την μη καταστροφική μέθοδο του κρουσιμέτρου. Από τα αποτελέσματα της δοκιμής αυτής προέκυψε ότι, η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος των πλακών-προβόλων των πέντε κτιρίων κυμαίνεται μεταξύ των τιμών  $20 \text{ N/mm}^2$  και  $35 \text{ N/mm}^2$ . Στην θεωρητική ανάλυση των πλακών που θα γίνει παρακάτω, η θλιπτική αντοχή θα παρθεί ίση με  $f'_c = 20 \text{ N/mm}^2$ , που είναι μια συντηρητική τιμή. Σχετικά με τη ποιότητα του υπάρχοντος οπλισμού των πλακών-προβόλων, θα θεωρηθεί ότι έχει τοποθετηθεί οπλισμός της κατηγορίας St I, που αποτελεί την συντηρητική επιλογή που θα μπορούσε να γίνει την εποχή που κατασκευάστηκαν τα κτίρια. Έτσι, στις σχετικές αναλύσεις, θα θεωρηθεί μια τάση διαρροής του χάλυβα οπλισμού ίσο με  $f_y = 240 \text{ N/mm}^2$ , και ένα μέτρο ελαστικότητας  $E = 200.000 \text{ N/mm}^2$ .

## Φάση 2 : Επιλογή του τύπου δοκιμής φορτίου

Η δοκιμή φορτίου αποφασίστηκε να διεξαχθεί χρησιμοποιώντας ένα ομοιόμορφο φορτίο, που θα επιβάλλεται σε μια τυποποιημένη ορθογωνική επιφάνεια διαστάσεων 240X90 cm στις πλάκες προβόλους, στις θέσεις εκείνες που επιλέχθηκαν να γίνουν οι δοκιμές (Σχήμα 1).



**Σχήμα 1: (α) Η τομή της πλάκας-προβόλου στη θέση της δοκιμής  
(β) Η ορθογωνική επιφάνεια της ισοδύναμης φόρτισης**

Το φορτίο αυτό, σύμφωνα με όσα εκτέθηκαν στο Κεφάλαιο Ι, θα αντικαθιστά με ισοδύναμο τρόπο το φορτίο σχεδιασμού των πλακών προβόλων των κτιρίων. Το φορτίο αυτό θα προέρχεται από το βάρος τυποποιημένων σάκων τσιμέντου του εμπορίου, διαστάσεων 60X30X90 και βάρους 500 N ο καθένας,

που θα τοποθετούνται στην παραπάνω ορθογωνική επιφάνεια. Η επιφάνεια αυτή (path) επιλέχθηκε ώστε να καλύπτεται πλήρως από δέκα σάκους τσιμέντου, οι οποίοι αντιστοιχούν σε ένα διανεμημένο ομοιόμορφο φορτίο ίσο με  $10 \times 500 / (2.4 \times 0.9) = 2.3 \text{ kN} / \text{m}^2$ . Έτσι, αν στην παραπάνω ορθογωνική κάτοψη τοποθετηθούν 4 τέτοιες στρώσεις τσιμέντου, το συνολικό διανεμημένο φορτίο που θα εξασκείται στο τμήμα αυτό της πλάκας, θα ισούται με  $4 \times 2.3 = 9.2 \text{ kN} / \text{m}^2$ . Το ορθογωνικά αυτά τμήματα των πλακών-προβόλων, πάνω στα οποία θα εφαρμοσθούν τα ισοδύναμα διανεμημένα φορτία των δοκιμών, επιλέχθηκαν να τοποθετηθούν στην άκρη των πλακών -προβόλων, με την μεγάλη τους πλευρά να εφάπτεται των στηθαίων (Σχήμα 1). Τα μεγέθη των ισοδύναμων ομοιόμορφων φορτίων, που θα προέρχεται από στρώσεις τσιμέντου, θα επιλεγθούν έτσι ώστε οι αναπτυσσόμενες ροπές πάκτωσης από τα φορτία αυτά, να ισούνται με την ροπή που αναπτύσσεται στην ίδια θέση από την καθολική φόρτιση της πλάκας προβόλου με το φορτίο σχεδιασμού της. Το μέγεθος του φορτίου και η θέση της ορθογωνικής κάτοψης στις πλάκες προβόλους προσδιορίζονται στην φάση 4 χρησιμοποιώντας παραμετρικές αναλύσεις με πεπερασμένα στοιχεία.

### **Φάση 3 : Εκτίμηση της καμπτικής αντοχής των πλακών προβόλων και του φορτίου σχεδιασμού των πλακών προβόλων**

Ο σχεδιασμός του δομικού συστήματος των κτιρίων έγινε σε περίοδο που ίσχυαν στην Ελλάδα ο Κανονισμός Σκυροδέματος του 1954, ο αντισεισμικός κανονισμός του 1959, και ο κανονισμός φορτίσεων του 1946. Σύμφωνα με τους κανονισμούς αυτούς, για τον σχεδιασμό των πλακών εφαρμόσθηκε η μέθοδος των επιτρεπόμενων τάσεων, για ένα κινητό φορτίο εξωστών ίσο με  $5 \text{ kN} / \text{m}^2$ . Καθότι δεν βρέθηκαν τα τεύχη των στατικών υπολογισμών στα αρχεία των εγκεκριμένων μελετών των κτιρίων, επαναλήφθηκε ο σχεδιασμός των πλακών-προβόλων με την μέθοδο των επιτρεπόμενων τάσεων για δύο συνδυασμούς υλικών:  $B160 / St I$  και  $B225 / St I$ . Ο σκοπός της ανάλυσης των πλακών-προβόλων με την μέθοδο των επιτρεπόμενων τάσεων ήταν, αφενός, να επιβεβαιωθούν οι υποθέσεις που έγιναν σχετικά με την ποιότητα των υλικών, και αφετέρου, τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από την

ανάλυση αυτή να συγκριθούν με τα στοιχεία που συλλέχθηκαν για τον υπάρχοντα οπλισμό (ποσότητα, διάταξη) και την γεωμετρία των πλακών (πάχος πλακών, στατικό ύψος, πάχος επικάλυψης). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι πλάκες πρόβολοι έχουν το ίδιο μήκος, και συνεπώς δεν απαιτούνται ξεχωριστοί υπολογισμοί για κάθε περίπτωση. Θα πρέπει να τονισθεί ότι η διαθέσιμη αυτή καμπτική αντοχή των πλακών με την μέθοδο των επιτρεπόμενων τάσεων αντιστοιχεί σε ένα κινητό φορτίο ίσο με  $L = 5 \text{ kN} / \text{m}^2$ . Από την ανάλυση αυτή προέκυψε ότι ο υπάρχων οπλισμός στις πλάκες-προβόλους αντιστοιχεί στον συνδυασμό *B225 / St I*

Στη συνέχεια, έχοντας επιβεβαιώσει τη γεωμετρία και τη ποιότητα των υλικών των πλακών προβόλων με την μέθοδο των επιτρεπόμενων τάσεων, θα υπολογισθεί η διαθέσιμη καμπτική αντοχή των πλακών-προβόλων με την μέθοδο των οριακών καταστάσεων. Αυτό θα γίνει προκειμένου να εφαρμοσθεί 'κατά γράμμα' η δοκιμή φορτίου, έτσι όπως αυτή περιγράφεται στον ACI-318-05. Στην περίπτωση αυτή, θα πρέπει να υπολογισθεί ποιο είναι το κινητό φορτίο  $L'$ , που αντιστοιχεί στην διαθέσιμη αντοχή με την μέθοδο των οριακών καταστάσεων.

*Η διαθέσιμη αντοχή και το φορτίο σχεδιασμού των πλακών προβόλων σύμφωνα με ACI 318-05*

Σύμφωνα με την ανίχνευση του οπλισμού που έγινε και επιβεβαιώθηκε με σχετικές τομές, σε όλες τις πλάκες προβόλους έχει τοποθετηθεί ο ίδιος οπλισμός που είναι  $\Phi 10 / 20 + \Phi 12 / 20$ . Ο οπλισμός αυτός ισούται με

$$A_s = \Phi 10 / 20 + \Phi 12 / 20 = 392.5 + 565.2 = 957.7 \text{ mm}^2 .$$

Θα εκτιμήσουμε την καμπτική αντοχή της πλάκας προβόλου θεωρητικά με την μέθοδο που προτείνει ο ACI-318-05 για καμπτόμενα δομικά μέλη. Από τις σχετικές αποτυπώσεις που έγιναν, προέκυψε ένα πάχος πλάκας ίσο με 17 cm (Σχήμα 2) και ένα στατικό ύψος  $d = 15 \text{ cm}$ . Για τον υπολογισμό της αντοχής υπολογίζονται τα παρακάτω μεγεθη:

Πλάτος του στερεού των τάσεων του Whitney :

$$\alpha = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{957.7 \times 280}{0.85 \times 20 \times 1000} = 13.5 \text{ mm}$$

Διαθέσιμη καμπτική αντοχή πλακών προβόλων:

$$\phi M_u = \phi A_s f_y (d - a/2) = 0.9 \times 957.7 \times (130 - 13.5/2) = 25.5 \text{ kNm}$$

Η ροπή αυτή θα πρέπει να αναπτυχθεί στη πάκτωση της πλάκας από ένα φορτίο σχεδιασμού που βρίσκεται από την εξίσωση

$$p_d = 1.4D + 1.7L'$$

που είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο πάνω σε όλη την επιφάνεια της πλάκας-προβόλου. Το μέγεθος του φορτίου αυτού θα προκύψει από την σχέση :

$$\phi M_u = p_d l^2 / 2$$

Θέτοντας στη σχέση αυτή  $\phi M_u = 25.5 \text{ kNm}$  ,  $l = 2 \text{ m}$ , προκύπτει ότι

$$p_d = 12.75 \text{ kN/m}^2 .$$

Το σταθερό (νεκρό) φορτίο της πλάκας είναι:

$$D = \gamma h + D_w = 25 \times 0.16 + 1.75 = 5.75 \text{ kN/m}^2$$

Συνεπώς, το κινητό φορτίο  $L'$ , που μπορεί να παραληφθεί με ασφάλεια από την πλάκα πρόβολο, υπολογίζεται από τη σχέση

$$p_d = 1.4D + 1.7L'$$

Στην σχέση αυτή, θέτοντας  $p_d = 12.75 \text{ kN/m}^2$  και  $D = 5.75 \text{ kN/m}^2$  προκύπτει

$$L' = 2.8 \text{ kN/m}^2 .$$

Στους παραπάνω υπολογισμούς, ως φορτίο επίστρωσης ελήφθη το νεκρό φορτίο  $D_w = 1.75 \text{ kN/m}^2$ , που αντιστοιχεί στις πλάκες Καρύστου που έχουν τοποθετηθεί στις πλάκες προβόλους.

*Η διαθέσιμη αντοχή και το φορτίο σχεδιασμού των πλακών προβόλων σύμφωνα με τον EC2*

Με την ίδια διαδικασία, θα προσδιορισθεί η διαθέσιμη καμπτική αντοχή των πλακών προβόλων με βάση τις αρχές του EC2. Με τους συμβολισμούς του EC2 έχουμε:

- Καμπτικός οπλισμός πλακών στην πάκτωση :

$$A_{s1} = 957.7 \text{ mm}^2$$

- Παράμετροι αντοχής σχεδιασμού υλικών :

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1.5} = 208.7 \text{ MPa}$$

- Πλάτος στερεού τάσεων κατά Whitney:

$$\alpha = \frac{A_{s1} f_{yd}}{0.85 f_{cd} b} = \frac{957.7 \times 208.7}{0.85 \times 13.33 \times 1000} = 17.63 \text{ mm}$$

- Διαθέσιμη καμπτική αντοχή πλακών προβόλων:

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= A_{s1} f_{yd} (d - a/2) \\ &= 957.7 \times 208.7 \times (130 - 17.63/2) = 24.2 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Η ροπή αυτή θα πρέπει να αναπτυχθεί στη πάκτωση της πλάκας από ένα φορτίο σχεδιασμού που προκύπτει από την εξίσωση

$$p_d = 1.35D + 1.5L' ,$$

που είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο πάνω σε όλη την επιφάνεια της πλάκας-προβόλου. Το μέγεθος του φορτίου αυτού θα προκύψει από την σχέση

$$M_{Rd} = \frac{p_d l^2}{2}.$$

Στην σχέση αυτή, θέτοντας  $M_{Rd} = 24.2 \text{ KNm}$  και  $l = 2 \text{ m}$ , προκύπτει

$$p_d = 12.1 \text{ kN/m}^2.$$

Το κινητό φορτίο  $L'$ , που μπορεί να παραληφθεί με ασφάλεια από αυτήν, βρίσκεται από την εξίσωση:

$$p_d = 1.35D + 1.5L'.$$

Από την σχέση αυτή, θέτοντας  $D = 5.75 \text{ kN/m}^2$  και  $p_d = 12.1 \text{ kN/m}^2$  βρίσκεται ότι

$$L' = 2.9 \text{ kN/m}^2.$$

Παρατηρούμε ότι οι δύο κανονισμοί οδηγούν σε σχεδόν ταυτόσημα αποτελέσματα.

**Φάση 4: Προσδιορισμός του ισοδύναμου φορτίου σχεδιασμού στην ορθογώνια επιφάνεια.**

Σύμφωνα με την διαδικασία της δοκιμής φορτίου, το φορτίο  $w_{ct}$  που πρέπει να εφαρμοσθεί στις πλάκες-προβόλους είναι ένα ομοιόμορφο καθολικό φορτίο, το μέγεθος του οποίου προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση :

$$w_{ct} = 0.85(1.4D + 1.7L') - D_{ip},$$

όπου  $D = 5.75 \text{ kN/m}^2$  και  $L' = 2.8 \text{ kN/m}^2$ . Το  $D_{ip}$  είναι το νεκρό φορτίο που προϋπάρχει στην πλάκα-πρόβολο. Στην περίπτωση μας, το φορτίο  $D_{ip}$  είναι το άθροισμα του νεκρού φορτίου των πλακών  $D_{ip}^{(1)} = 5.75 \text{ kN/m}^2$  και του

βάρους του στηθαίου του εξώστη, το οποίο αντιστοιχίζεται με ένα ισοδύναμο ομοιόμορφο φορτίο  $D_{ip}^{(2)}$ . Το στηθαίο, σε ορισμένες από τις πλάκες-προβόλους που εξετάζονται, είναι ένας μπατικός τοίχος από τούβλα ύψους 0.85 m και πάχους 0.25 m, και στις υπόλοιπες πλάκες ένας δρομικός τοίχος από τούβλα πάχους 0.15 m και ύψους 1 m. Για την μπατική περίπτωση, το ανά τρέχον μέτρο φορτίο που εξασκεί το στηθαίο στην πλάκα πρόβολο είναι περίπου  $360 \times 0.85 = 3 \text{ kN/m}$ , ενώ για την περίπτωση του δρομικού τοίχου  $280 \times 1 = 2.8 \text{ kN/m}$ . Και για τις δύο περιπτώσεις θα θεωρήσουμε ένα ενιαίο φορτίο ίσο με  $3 \text{ kN/m}$ , που εφαρμόζεται στην άκρη του προβόλου. Με δεδομένο το μήκος των 2 m για τις πλάκες-προβόλους που εξετάζονται, το φορτίο αυτό είναι ισοδύναμο με ένα ομοιόμορφο καθολικό φορτίο ίσο με  $D_{ip}^{(2)} = 3 \text{ kN/m}^2$ . Συνεπώς, το φορτίο  $w_{ct}$  που πρέπει να εφαρμοσθεί στις πλάκες-προβόλους είναι ίσο με

$$w_{ct} = 0.85(1.4D + 1.7L') - D_{ip}$$

$$0.85 \times (1.4 \times 5.75 + 1.7 \times 2.76) - (5.75 + 3) = 2 \text{ kN/m}^2$$

Είναι προφανές ότι η εφαρμογή ενός καθολικού φορτίου σε όλη την πλάκα -πρόβολο είναι μια αδύνατη πρακτικά επιλογή. Για τον λόγο αυτό, για μια συγκεκριμένη θέση της πλάκας προβόλου υιοθετείται η εναλλακτική επιλογή του ισοδύναμου τοπικού φορτίου. Έχοντας επιλέξει, όπως προαναφέρθηκε, μια κάτοψη  $240 \text{ cm} \times 90 \text{ cm}$  για τις δοκιμές φορτίου, καθώς και την θέση της στις πλάκες προβόλους, αυτό που αναζητείται είναι το φορτίο που πρέπει να τοποθετηθεί στην κάτοψη αυτή, προκειμένου η ροπή πάκτωσης που αναπτύσσεται στις πλάκες-προβόλους από αυτό το φορτίο να είναι ίση με την ροπή που δημιουργείται από την καθολική φόρτιση  $w_{ct} = 2 \text{ kN/m}^2$ . Η αναζήτηση του μεγέθους αυτού έγινε με εκτεταμένες παραμετρικές ελαστικές αναλύσεις του συστήματος των πλακών προβόλων των κτιρίων, στη στάθμη που βρίσκεται η θέση της δοκιμής. Οι ελαστικές αυτές αναλύσεις έγιναν με το εμπορικό λογισμικό πακέτο πεπερασμένων στοιχείων CEDRUS-STATIC. Στις αναλύσεις αυτές, το σύστημα των πλακών προβόλων προσομοιώνεται παίρνοντας υπόψη τα δεδομένα της γεωμετρίας των δομικών στοιχείων της στάθμης αυτής, τις συνθήκες στήριξης και σύνδεσης τους,



καθώς και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών, έτσι όπως αυτά αξιολογήθηκαν από τις σχετικές δοκιμές που έγιναν. Για κάθε δοκιμή φορτίου, για τον προσδιορισμό του ισοδύναμου ομοιόμορφου ορθογωνικού φορτίου, έγιναν δύο αναλύσεις: Στην πρώτη ανάλυση, η πλάκα πρόβολος στην οποία βρίσκεται η δοκιμή φορτίζεται με ένα ομοιόμορφο καθολικό φορτίο  $w_{ct} = 2kN/m^2$ . Έστω  $M_{ct}$  η τιμή της καμπτικής ροπής στην θέση της πάκτωσης που αντιστοιχεί η δοκιμή. Στην δεύτερη ανάλυση, η πλάκα πρόβολος φορτίζεται τοπικά στην ορθογωνική περιοχή  $240\text{ cm} \times 90\text{ cm}$  της δοκιμής, με ένα ομοιόμορφο φορτίο  $w^{(1)} = 1kN/m^2$ . Έστω  $M^{(1)}$  η τιμή της ροπής πάκτωσης στην θέση της πάκτωσης που αντιστοιχεί η δοκιμή. Λόγω της γραμμικότητας της ελαστικής θεωρίας που εφαρμόζεται, το ισοδύναμο ομοιόμορφο ορθογωνικό φορτίο βρίσκεται από την παρακάτω εξίσωση

$$w_{ct}^{equ} = \frac{M_{ct}}{M^{(1)}} w^{(1)}$$

Λόγω των μικρών διαφορών που προέκυψαν στις τιμές των υπολογιζόμενων ισοδύναμων ομοιόμορφων ορθογωνικών φορτίων, αποφασίσθηκε για πρακτικούς λόγους να χρησιμοποιηθεί η δυσμενέστερη τιμή που είναι  $w_{ct}^{equ} \approx 9\text{ kN/m}^2$ . Στις δοκιμές, όπως προαναφέρθηκε, η τιμή αυτή επιτεύχθηκε χρησιμοποιώντας 4 στρώσεις σάκων τσιμέντου με δέκα σάκους τσιμέντου η κάθε στρώση.

## 4. Η ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

### Ομάδες δοκιμών

Οι δοκιμές φορτίου που επιλέχθηκαν να γίνουν είναι 30 σε αριθμό, και επιλέχθηκαν να γίνουν στις θέσεις των πλακών-προβόλων που σημειώνονται με κωδικές ονομασίες στα σχέδια των ξυλοτύπων των κτιρίων που βρίσκονται στο Παράρτημα Α. Οι δοκιμές οργανώθηκαν και εκτελέστηκαν σε πέντε ομάδες. Η κάθε ομάδα περιελάμβανε δοκιμές, που πρακτικά εκτελούνταν το ίδιο χρονικό διάστημα. Το βασικότερα κριτήρια για τον διαχωρισμό των

δοκιμών στις ομάδες ήταν να μην υπάρχει αλληλεπίδραση των φορτίων στην απόκριση των πλακών, και να βρίσκονται σε σχετικά γειτονικές θέσεις ώστε πρακτικά να μπορούν να εκτελεσθούν το ίδιο διάστημα. Οι πέντε ομάδες των δοκιμών είναι οι παρακάτω:

Ομάδα 1: T 500-4-0-1, T 500-4-0-3, T 500-5-0-2,  
T 500-5-0-3, T 500-2-0-3, T 500-2-0-4

Ομάδα 2: T 500-4-1-1, T 500-4-1-3, T 500-5-1-1,  
T 500-3-1-, T 500-2-0-2, T 500-2-0-4

Ομάδα 3: T 500-4-0-2, T 500-4-1-2, T 500-5-0-1,  
T 500-5-1-2, T 500-2-1-2, T 500-2-1-1

Ομάδα 4: T 500-4-2-1, T 500-4-2-3, T 500-3-2-3,  
T 500-5-2-1, T 500-3-2-2, T 500-2-0-4

Ομάδα 5: T 500-2-1-3, T 500-1-1-1, T 500-1-1-2,  
T 500-1-0-1, T 500-1-0-1, T 500-1-0-3

### **Εγκατάσταση των οργάνων μέτρησης**

Στην θέση κάθε δοκιμής και στην περιοχή της πάκτωσης των πλακών προβόλων, αφαιρέθηκε η υπάρχουσα επικάλυψη των πλακών Καρύστου σε μια περιοχή 100cmX50cm, με σκοπό να αποκαλυφθεί η πάνω επιφάνεια των πλακών-προβόλων, που αποτελεί την πλέον καταπονούμενη περιοχή κατά την διάρκεια της δοκιμής (φωτογραφία 1).

Πριν την δοκιμή, η επιφάνεια αυτή καθαρίσθηκε επιμελώς, και στην συνέχεια, έγινε καταγραφή με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο του εύρους των ρωγμών που (τυχόν) προϋπήρχαν στην περιοχή αυτή. Επίσης, πριν την δοκιμή, στις επιφάνειες αυτές επικολλήθηκαν ζεύγη μικρών μεταλλικών στόχων σε προκαθορισμένες αποστάσεις, προκειμένου να μετρηθούν με εκτενσόμετρο οι παραμορφώσεις που θα αναπτυχθούν στην περιοχή κατά την διάρκεια της δοκιμής.

Στη συνέχεια, κάτω από τις πλάκες προβόλους και σε κάθε θέση δοκιμής τοποθετήθηκε από ένα βελόμετρο (Linear Variable Displacement

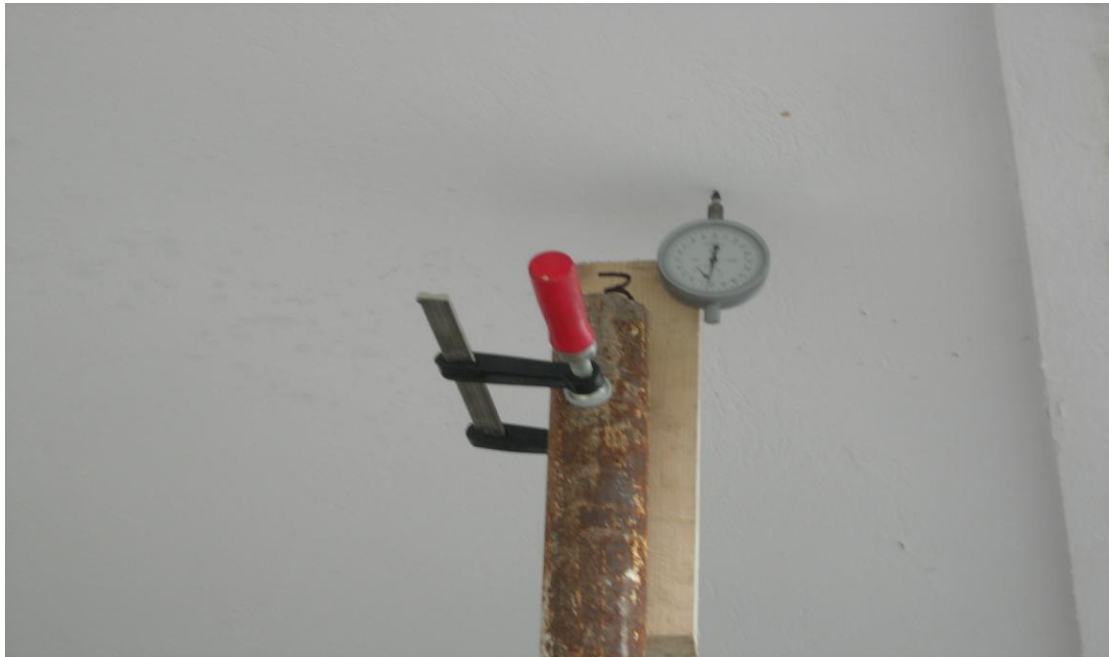
Transducers- LDVTs) προκειμένου να παρακολουθεί τις αναπτυσσόμενες κατακόρυφες βυθίσεις των πλακών-προβόλων κατά την διάρκεια της δοκιμής.



**Φωτογραφία 1 : Η κρίσιμη διατομή και το φορτίο των δοκιμών (σάκοι τσιμέντου)**

Τα βελόμετρα συγκρατούνταν κάτω από την πλάκα με ειδικό σύστημα μεταλλικών στοιχείων, που είχε στερεωθεί κατάλληλα στο κτίριο για να αποφευχθούν ανεπιθύμητες μικρό-μετακινήσεις (Φωτογραφία 2). Επίσης, για την προστασία του συστήματος από τις καιρικές συνθήκες είχαν παρθεί ειδικά μέτρα προφύλαξης στην περιοχή των δοκιμών.

Η θέση μέτρησης των βελομέτρων ήταν η γειτονιά γύρω από το ακραίο σημείο της πλάκας προβόλου, που βρίσκεται πάνω στη νοητή γραμμή που ενώνει τα μέσα των δύο μεγάλων πλευρών της ορθογώνιας περιοχής του φορτίου της δοκιμής. Τα ηλεκτρονικά βελόμετρα συνδέονταν με μια συσκευή συλλογής δεδομένων (data acquisition system) το οποίο κατέγραφε καθ' όλη την διάρκεια της δοκιμής τις αναπτυσσόμενες βυθίσεις.



**Φωτογραφία 2 : Το βελόμετρο και το σύστημα στήριξης του**

### **Φόρτιση και αποφόρτιση του δομικού στοιχείου**

Με βάση την θεωρητική ανάλυση που έγινε με πεπερασμένα στοιχεία, αποφασίσθηκε, για όλες τις δοκιμές, η χρήση ενός ομοιόμορφου φορτίου της τάξεως των  $9 \text{ kN/m}^2$ , που επιβάλλονταν τοπικά σε μια επιφάνεια της πλάκας διαστάσεων  $2.4\text{m} \times 0.9\text{m}$ . Το φορτίο των  $9 \text{ kN/m}^2$ , προέκυπτε από το ίδιο βάρος 40 τυποποιημένων σάκων τσιμέντου του εμπορίου, διαστάσεων  $0.6\text{m} \times 0.30\text{m} \times 0.15 \text{ m}$  και βάρους  $500 \text{ kN}$  ο καθένας, που τοποθετούνταν στην επιφάνεια  $2.4\text{m} \times 0.9\text{m}$  σε 4 στρώσεις με 10 σάκους τσιμέντου η κάθε στρώση. Η τοποθέτηση των σάκων της κάθε στρώσης γινόταν χειρωνακτικά από 4 εργάτες σε ένα χρονικό διάστημα περίπου 5 λεπτών. Μετά την τοποθέτηση των σάκων της κάθε στρώσης, σημειώνονταν ο χρόνος και η ένδειξη του βελομέτρου. Η συνολική διάρκεια της τοποθέτησης του φορτίου για

κάθε δοκιμή κυμαίνονταν περίπου στα 20 περίπου. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών είναι καταχωρημένα στον Πίνακα II των εντύπων.

Η μεταφορά των φορτίων από όροφο σε όροφο του κτιρίου γίνονταν με μηχανικά μέσα. Για την εκτέλεση των δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν 240 σάκοι τσιμέντου, 1 γερανός για την μεταφορά των σάκων αυτών στους ορόφους του κτιρίου και 4 εργάτες για την τοποθέτηση των σάκων στις θέσεις των δοκιμών(Φωτογραφία 3).



**Φωτογραφία 3 : Η μεταφορά σάκων τσιμέντου με γερανό**

Για την τοποθέτηση των οργάνων μέτρησης των δοκιμών, την λήψη των μετρήσεων και την παρακολούθηση και συντονισμό της διαδικασίας εκτέλεσης των δοκιμών στο πεδίο, συμμετείχαν δύο πολιτικοί μηχανικοί, δύο τελειόφοιτοι μηχανικοί του ΕΜΠ και δύο τεχνίτες. Ταυτόχρονα, εκτελούνταν 6 δοκιμές, σύμφωνα με τις ομάδες δοκιμών που προαναφέρθηκαν.

Το φορτίο παρέμενε 24 ώρες στη θέση της δοκιμής και μετά απομακρυνόταν χειρωνακτικά. Μετά την απομάκρυνση κάθε στρώσης, σημειωνόταν η ένδειξη του βελομέτρου, καθώς και η χρονική στιγμή της

μέτρησης. Η χρονική διάρκεια απομάκρυνσης του φορτίου της δοκιμής κυμαίνονταν στα 20 λεπτά. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών είναι καταχωρημένα στον Πίνακα III.

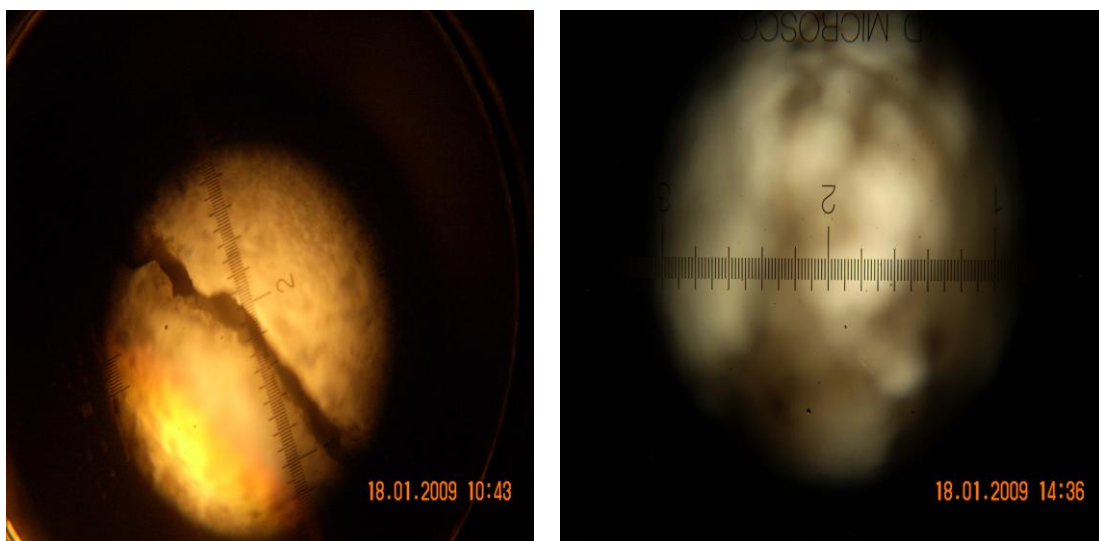
## 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η ανάλυση των πειραματικών δεδομένων, για κάθε δοκιμή που έγινε, περιλαμβάνει:

- Την ανάπτυξη των διαγραμμάτων φορτίου-χρόνου και βύθισης-χρόνου .
- Την ανάπτυξη διαγραμμάτων φορτίου-βύθισης που περιγράφουν την τοπική απόκριση της κατασκευής για φόρτιση-αποφόρτιση.
- Τον έλεγχο ικανοποίησης των δύο κριτηρίων της 24-ωρης δοκιμής φορτίου

Η ανάπτυξη των διαγραμμάτων φορτίου-χρόνου και βύθισης-χρόνου αποτελούν την βάση για την κατασκευή του διαγράμματος φορτίου-βύθισης, που περιγράφει την τοπική απόκριση κατασκευής, στη θέση της δοκιμής, σε φόρτιση και αποφόρτιση. Τα διαγράμματα αυτά, για όλες τις δοκιμές που έγιναν, συμπεριλαμβάνονται στα έντυπα των δοκιμών.

Τα δύο κριτήρια της 24-ωρης δοκιμής περιγράφονται στο Κεφάλαιο 2 της παρούσας εργασίας. Σύμφωνα με τα κριτήρια αυτά οι βυθίσεις κάθε δοκιμής πρέπει να ικανοποιούν τις σχέσεις (1) και (2) του Κεφαλαίου 2 της παρούσας εργασίας, και στις κρίσιμες περιοχές του δομικού στοιχείου, κοντά στη θέση της δοκιμής, δεν επιτρέπονται να εμφανίζονται θρυμματισμοί, ρωγμές απόσχισης και ενδείξεις υπερβολικών μετατοπίσεων, που ξεπερνούν τις απαιτήσεις ασφάλειας που θέτει ο κώδικας. Ο έλεγχος ικανοποίησης των δύο αυτών κριτηρίων, για κάθε δοκιμή που έγινε, έχει καταχωρηθεί στο σχετικό έντυπο της δοκιμής. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, στα πλαίσια του παρόντος έργου, για την μέτρηση των ρωγμών και των αναπτυσσόμενων παραμορφώσεων στις κρίσιμες περιοχές των δοκιμών, χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και ηλεκτρονικό μηκυνσιόμετρο τύπου DEMEC (Φωτογραφία 4).



Φωτογραφία 4: (α) Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και (β) το ψηφιακό μηκυνσιόμετρο (DEMEC)

Φωτογραφικό υλικό για τις προ-υπάρχουσες ρωγμές στις κρίσιμες περιοχές του δομικού στοιχείου έχει καταχωρηθεί στο σχετικό Παράρτημα.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας αντιστοιχούν στην κατάσταση των πέντε κτιρίων που εξετάστηκαν, έτσι όπως αυτή είχε διαμορφωθεί την χρονική περίοδο που έγιναν οι δοκιμές, και αφορούν μόνο τα δομικά στοιχεία των δοκών προβόλων που διερευνήθηκαν με τις δοκιμές. Δεν αφορούν την συνολική στατική συμπεριφορά των κτιρίων αυτών, ούτε των υπόλοιπων δομικών στοιχείων του δομικού τους συστήματος.

Η αντιστοιχία της παλιάς μεθόδου σχεδιασμού των πλακών προβόλων των πέντε κτιρίων, που ήταν η μέθοδος των επιτρεπόμενων τάσεων, με την σύγχρονη μέθοδο σχεδιασμού των οριακών καταστάσεων, που είναι ενσωματωμένη τόσο στον ACI 318-05 όσο και στον EC2, επιβάλλει ένα περιορισμό στο κινητό φορτίο των πλακών προβόλων. Με άλλα λόγια, η διαθέσιμη αντοχή των πλακών προβόλων των πέντε κτιρίων που εξετάστηκαν, σύμφωνα με τις σημερινές αντιλήψεις σχεδιασμού, μπορεί να παραλάβει ένα κινητό φορτίο που δεν υπερβαίνει τα 3 kN/m<sup>2</sup> (300 kp/m<sup>2</sup>).

Σημειώνεται ότι, σήμερα, ο σχεδιασμός των πλακών σε κατασκευές Ο/Σ γίνεται για ένα φορτίο των 5 kN/m<sup>2</sup>. Διευκρινίζεται ότι, το συμπέρασμα αυτό δεν σχετίζεται με την υποβάθμιση της αντοχής των πλακών προβόλων λόγω διάβρωσης ή άλλων αιτιών, αλλά με την διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων σχεδιασμού.

#### *Ικανοποίηση των ποσοτικών κριτηρίων της 24ωρης δοκιμής φορτίου*

Η εφαρμογή της 24-ωρης δοκιμής φορτίου έγινε με βάση την διαθέσιμη αντοχή των πλακών προβόλων των υφιστάμενων κτιρίων, εκφρασμένη σε όρους του σύγχρονου σχεδιασμού, που στηρίζεται στην μέθοδο των οριακών καταστάσεων. Αυτό γίνεται υποθέτοντας ότι το μέγιστο κινητό φορτίο των πλακών προβόλων δεν μπορεί να ξεπεράσει την τιμή των 3 kN/m<sup>2</sup> (2.9 kN/m<sup>2</sup>), και όχι την τιμή των 5 kN/m<sup>2</sup> που επιβάλλεται σήμερα για το κινητό φορτίο των πλακών. Σύμφωνα με αυτό το δεδομένο, όλες οι δοκιμές που διεξήχθησαν, ικανοποιούν πλήρως τα ποσοτικά κριτήρια που ορίζει το άρθρο 20 του κώδικα ACI 318-05 για την 24-ωρη δοκιμή φορτίου.

#### *Ικανοποίηση των ποιοτικών απαιτήσεων της 24ωρης δοκιμής φορτίου*

Σε ορισμένες δοκιμές φορτίου, στην θέση των κρίσιμων διατομών των δοκών-προβόλων, που είναι η διατομή στήριξης του προβόλου στην δοκό, καταγράφηκαν προ-υπάρχουσες ρωγμές, των οποίων το εύρος ρωγμών ξεπερνούσε κατά πολύ την τάξη μεγέθους που ορίζουν τόσο το ACI-318-05, όσο και ο EC2. Κατά την διάρκεια των δοκιμών, το εύρος των ρωγμών αυτών διευρυνόταν χωρίς να αυξάνεται το μήκος τους ή να δημιουργούνται νέες. Δηλαδή, κατά την διάρκεια της δοκιμής δεν δημιουργήθηκαν επιπρόσθετες βλάβες στη κρίσιμη περιοχή, οι ρηγματωμένες περιοχές αποκρινόταν ελαστικά, χωρίς να υπάρχει διάδοση των προ-υπαρχόντων ρωγμών. Όμως, όπως προαναφέρθηκε, το εύρος των ρωγμών αυτών, ακόμα και στην αφόρτιστη κατάσταση, ξεπερνά κατά πολύ το επιτρεπτό όριο των κανονισμών. Επομένως, σύμφωνα με τις σύγχρονες αντιλήψεις των κανονισμών οπλισμένου σκυροδέματος, και με την φιλοσοφία που διέπει τη 24-ωρη δοκιμή φορτίου, θα πρέπει να θεωρηθεί ότι το δομικό στοιχείο, στην θέση των δοκιμών που παρατηρούνται τέτοιες ρωγμές, έχει αστοχήσει λειτουργικά.



Για τη διερεύνηση αυτού του προβλήματος έγινε επί τόπου διερεύνηση με τομές στις πλάκες προβόλους. Η έρευνα αυτή ανέδειξε τα παρακάτω στοιχεία, που ερμηνεύουν την αιτία εμφάνισης αυτών των ρωγμών: Το πάχος των πλακών προβόλων, που είχε σχεδιασθεί για 17 cm, κυμαίνεται στην πράξη μεταξύ 17 cm και 26 cm, με τον υπάρχοντα οπλισμό να είναι κακώς τοποθετημένος στις στηρίξεις. Ο οπλισμός αυτός, σε αρκετές τομές που έγιναν στις πλάκες προβόλους, βρίσκεται τοποθετημένος κάτω από το μέσο του πάχους της πλάκας, αφήνοντας μια εφελκυσόμενη (άοπλη) επικάλυψη πάχους 8 με 15 cm. Με τα δεδομένα αυτά, η εφελκυσόμενη αυτή επικάλυψη, φυσικό ήταν να εμφανίσει ρωγμές μεγάλου εύρους, ακόμα και από το ίδιο βάρος των πλακών προβόλων. Η γεινίαση των κτιρίων αυτών με την θάλασσα καθιστά την λύση του προβλήματος αυτού επιτακτική, παίρνοντας τα κατάλληλα μέτρα προστασίας των δοκών προβόλων από την διάβρωση. Το ότι δεν έχουν εμφανισθεί ακόμα φαινόμενα διάβρωσης στις πλάκες-πρόβολους των κτιρίων που εξετάστηκαν, οφείλεται στο τύπο της επίστρωσης που έχει χρησιμοποιηθεί (πλάκες καρύστου), που μερικές φορές πλησιάζει το πάχος της πλάκας. Η επίστρωση αυτή φαίνεται ότι προστατεύει προσωρινά τον εφελκυσόμενο οπλισμό των ρηγματωμένων περιοχών των πλακών, των οποίων το εύρος ρωγμών ξεπερνάει το όριο του κανονισμού .

## 7. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] ACI Committee 318, 2005, "Building Core Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (318R-05)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 430 pp.
- [2] Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος (ΕΚΩΣ 2000), Φ.Ε.Κ. 1329 Β'6-11-2000.

- [3] ACI Committee 437, 2007, "Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings " American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., (ACI 437R-03), 28 pp.
  
- [4] ACI Committee 437, 2007, "Load Tests of Concrete Structures: Methods, Magnitude, Protocols, and Acceptance Criteria," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., (ACI 437.1R-07), 38 pp.
  
- [5] Bares, R., and FitzSimons, N., 1975, "Load Tests of Building Structures," *Journal of the structural Division*, ASCE, May, pp. 1111-1123.
  
- [6] Birkmire, W. H., 1894, *Skeleton Construction in Buildings*, John Wiley & Sons, New York, 80 pp.
  
- [7] BRE Information Paper 2/95, 1995, "Guidance for Engineers Conducting Static Load Tests on Building Structures," Building Research Establishment, England, 4 pp.
  
- [8] Canadian Standards Association, 1994, "Design of Concrete Structures, Chapter 20-Strength Evaluation Procedures," Standard A23.3.
  
- [9] Casadei, P., 2004, "Assessment and Improvement of Capacity of Concrete Members: a Case for In-Situ Load Testing and Composite Materials" PhD dissertation, Department of Architecture and Civil Engineering, University of Missouri-Rolla, Rolla, Mo.
  
- [10] Casadei, P.; Parretti, R.; Heinze, T.; and Nanni, A., 2005, "In-Situ Load Testing of Parking Garage RC Slabs: Comparison Between Cyclic and 24Hrs Load Testing," *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, ASCE, V. 10, No. 1, Feb., pp. 40-48.

- [11] Concrete Innovation Appraisal Service (CIAS), 2000, "Guidelines for the Rapid Load Testing of Concrete Structural Members," *CIAS Report 00-1*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 97 pp.
- [12] Czechoslovak State Standard CSN 73 2030, 1977, "Loading Tests of Building Structures, Common Regulations," Publishers for the Office for Standardization and Measurement, Prague, Czechoslovakia, p. 38.
- [13] FitzSimons, N., and Longinow, A., 1975, "Guidance for Load Tests of Buildings," *Journal of the Structural Division*, ASCE, pp. 1367-1380.
- [14] Galati, N.; Casadei, P.; Lopez, A.; and Nanni, A., 2004, "Load Test Evaluation of Augspurger Ramp Parking Garage, Buffalo, NY," *Report 04-50*, University of Missouri-Rolla, Rolla, Mo.
- [15] Kramer, E. W., and Raafat, A. A., 1961, "The Ward House: a Pioneer Structure of Reinforced Concrete," *Journal of the Society of Architectural & Historians*, V. 20, No. 1, Mar., pp. 34-37.
- [16] Masetti, F., 2005, "Structural implications of Field Load Testing Using Patch-Loads," MS dissertation, Department of Architecture and Civil Engineering, University of Missouri-Rolla, Rolla, Mo.
- [17] Masetti, F.; Galati, N.; Nehil, T.; and Nanni, A., 2006, "In-Situ Load Test: a Case Study," *Paper 16-9*, fib Second Congress, June 4-8, Naples, Italy, 11 pp. (CD-ROM)
- [18] Mettemeyer, M., 1999, "In Situ Rapid Load Testing of Concrete Structures," Master's thesis, Department of Civil Engineering, University of Missouri-Rolla, Rolla, Mo.

- [19] Nehil, T.; Masetti, F.; and Nanni, A., 2006, "Test Load Magnitude and Acceptance Criteria For Strength Evaluation by Means of Load Testing: Current Recommendations of American Concrete Institute Committee 437-Strength Evaluation," *Paper 16-24*, fib Second Congress, June 4-8, Naples, Italy, 9 pp. (CD-ROM)
- [20] RILEM, 1980, "General Recommendation for Statical Load Test of Load-Bearing Concrete Structure In Situ," TBS-2.
- [21] Vatovec, M.; Kelley, P.; Alkhrdaji, T.; and Nanni, A., 2002, "Evaluation and Carbon Fiber Reinforced Polymer Strengthening of an Existing Garage: Case Study," *Journal of Composites for Construction*, V. 6, No. 3, pp. 184-193.

## Παράρτημα Ι: Σχέδια αποτύπωσης των κατόψεων των κτιρίων

**Παράρτημα II: Δεδομένα και αποτελέσματα χαρακτηριστικών  
δοκιμών**

### Παράρτημα III: Ανάλυση πλακών κτιρίων με πεπερασμένα στοιχεία

1. Ο κάναβος πεπερασμένων στοιχείων για τις πλάκες του κτιρίου 1
2. Η τοπική επιφάνεια της ισοδύναμης φόρτισης
3. Η ροπή για μοναδιαία φόρτιση στην τοπική επιφάνεια της διατομής
4. Η καθολική φόρτιση της πλάκας προβόλου του κτιρίου 1
5. Η ροπή στήριξης για την καθολική φόρτιση της πλάκας προβόλου

