

# Υπολογισμός τιμής του συντελεστή συμπεριφοράς «q» για κατασκευές προ του 1985 στην Αθήνα.

Ε.Μ. Παγώνη  
*Πολιτικός Μηχανικός*

Α. Παπαρησιτίδης  
*Πολιτικός Μηχανικός 4M-VK Προγράμματα Πολιτικών Μηχανικών ΕΠΕ*

Α. Μ. Παγώνη  
*PGD Civil Engineer*

*Λέξεις κλειδιά :* υπερωθητική ανάλυση, συντελεστής συμπεριφοράς

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ :** Στην παρούσα εργασία μελετάται το διαθέσιμο «q», δείκτης συμπεριφοράς, για κτίρια της Αθήνας που μελετήθηκαν και κατασκευάστηκαν μεταξύ 1971-1979. Στα κτίρια αυτά υπήρχε διαθέσιμος ξυλότυπος και έγινε δειγματοληπτικός έλεγχος του οπλισμού. Τα κτίρια έχουν από ένα ως έξι ορόφους. Σε ορισμένα υπάρχει ισόγεια κατοικία ενώ σε κάποια αλλά καταστήματα. Διεξάγεται μελέτη με υπερωθητική ανάλυση. Οι θέσεις και διάμετροι των διαμήκων και των εγκάρσιων οπλισμών έχουν ελεγχθεί με συσκευή μέτρησης ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εξετάστηκαν 28 κτίρια. Οχτώ κτίρια με έξι ορόφους, στην περιοχή του Πειραιά, οχτώ με πέντε ορόφους στις περιοχές Πειραιάς-Νίκαια. Πέντε κτίρια με τέσσερις ορόφους, στις περιοχές Πειραιάς- Νεάπολη, Πέντε κτίρια με τρεις ορόφους, στις περιοχές Νίκαια-Νεάπολη και δύο διόροφα στην περιοχή του Αγίου Στεφάνου. Οι χρονολογίες κατασκευής αυτών των κτιριών είναι μεταξύ 1971-1979. Υπήρχαν διαθέσιμοι ξυλότυποι απο τους οποίους πήραμε πληροφορίες για τον οπλισμό και τους συνδετήρες των υποστυλωμάτων που προβλεπόταν στην εγκεκριμένη μελέτη.

Οι κάναβοι των υποστυλωμάτων ήταν από 3 έως 7 μέτρα με κύριο κάναβο περίπου τέσσερα μέτρα. Το ισόγειο σε ορισμένα είναι κατοικία και στα υπόλοιπα καταστήματα. Το σκυρόδεμα εξομοιώθηκε το B160 με C12 και το B225 με C16. Ο χάλυβας ST III με S400. Ο συντελεστής συμπεριφοράς q ελήφθη ίσος με 1.0 και η εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού ίση με 0.04g. Ο λόγος που ελήφθη η τιμή αυτή, είναι ώστε να προκύπτει επάρκεια κατά την αρχική ανάλυση εφόσον τα κτίρια είναι στην πλειοψηφία τους μελετημένα με αντισεισμικό συντελεστή από 0.04 έως 0.06. Η τιμή του Rd που αντιστοιχεί είναι 0.10g. Υπενθυμίζεται ότι οι περιοχές που ελέγχθηκαν ανήκουν

στην Ζώνη Ι του ΕΑΚ 2000 με εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού ίση με 0.16g εκτός του Αγ. Στεφάνου που ανήκει στην ζώνη ΙΙ του ΕΑΚ2000 με εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού ίση με 0.24 g. Η σπουδαιότητα όλων των κτιρίων είναι Σ2. Η ανάλυση και ο σχεδιασμός έγιναν σύμφωνα με τους ΕΑΚ2000 και ΕΚΟΣ.

Η θεμελίωση δεν λήφθηκε υπόψιν και τα κτίρια θεωρήθηκαν πακτωμένα στο έδαφος. Ίδιο βάρος σκυροδέματος 25 kN/m<sup>3</sup>, Η επικάλυψη σε όλους τους ορόφους ανεξαρτήτως της αρχικής μελέτης λαμβάνεται ίση με 1.5 kN/m<sup>2</sup> και το κινητό φορτίο ίσο 2 kN/m<sup>2</sup>. Για τη δυναμική ανάλυση θεωρήθηκε ελαστικό φάσμα σχεδιασμού που αντιστοιχεί σε έδαφος Α ανεξαρτήτως περιοχής. Στόχος αυτής της εργασίας είναι να συμβάλει στον υπολογισμό της τιμής του δείκτη συμπεριφοράς  $q$ , σε κτίσματα που κατασκευάστηκαν πριν το 1985, στην περιοχή της Αττικής.

Σύμφωνα με τον ΕΑΚ2000, η ικανότητα μίας κατασκευής να απορροφά ενέργεια κυρίως μέσω πλαστικής συμπεριφοράς των μελών της ή/και άλλων μηχανισμών λαμβάνεται υπόψιν με την εισαγωγή του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ . Ο συντελεστής συμπεριφοράς  $q$  είναι μια προσέγγιση του λόγου των σεισμικών δυνάμεων που θα δεχόταν η κατασκευή σε περίπτωση απόλυτα ελαστικής απόκρισης με απόσβεση 5%, προς τις δυνάμεις που θα χρησιμοποιηθούν στο σχεδιασμό.



Σχήμα 1. Κτίριο που ελέγχθηκε στην περιοχή Πειραιά κατασκευής 1975



Σχήμα 2. Τετραώροφο κτίριο σε Καλλίπολη Πειραιά κατασκευής 1979

## 2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ

Η αποτύπωση των οπλισμών έγινε με συσκευή CM9. Το όργανο είναι συσκευή μέτρησης μεταβολής ηλεκτρομαγνητικού πεδίου τύπου Protovale. Τα όργανα της Protovale χρησιμοποιούν μια τεχνική που ονομάζεται παλμική επαγωγή ρεύματος. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, το μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από δυο πηνία χωρίς μαγνητικό πυρήνα, που διατρέχονται από παλμούς ηλεκτρικού ρεύματος. Οι παλμοί αυτοί δημιουργούν επαγωγικό ρεύμα στην περιφέρεια της ράβδου οπλισμού, που με τη σειρά του δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο, το οποίο και ανιχνεύεται από τα προαναφερθέντα πηνία. Το ανιχνεύσιμο σήμα αυξάνει με την διατομή του οπλισμού και όσο μειώνεται η απόσταση των πηνίων από αυτόν.

Τα στοιχεία του συγκεκριμένου μοντέλου είναι : Το μέγιστο βάθος εντοπισμού (ράβδοι Φ8) Standard κεφαλή /Μεγάλη κεφαλή 105mm / 200mm. Η ελάχιστη απόσταση διαχωρισμού ράβδων σε επικάλυψη 50mm είναι 75mm. Η ακρίβεια επικάλυψης είναι  $\pm 2\text{mm}$  ( $< 65\text{mm}$ )  $\pm 3\text{mm}$  ( $> 65\text{mm}$ )  $\pm 1\text{mm}$  ( $< 30\text{mm}$  και νανοκεφαλή). Το μέγιστο βάθος ράβδου για υπολογισμό βάθους 90mm ή 180mm με μεγάλη κεφαλή



Σχήμα 3. Αποτύπωση θέσης συνδετήρων με Standard κεφαλή του CM9.

### 3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Χρησιμοποιήθηκε η υπερωθητική ανάλυση που διαθέτει το πρόγραμμα STRAD, της εταιρείας 4M-VK-προγράμματα πολιτικών μηχανικών. Η μέθοδος Υπερωθητικής (PushOver) αναλύσεως που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτή της χρήσης πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα των μελών. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο τοποθετείται μία πλαστική άρθρωση μήκους LH στο άκρο του μέλους, οι ιδιότητες της οποίας εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της διατομής, δηλαδή από το σχήμα της, τις διαστάσεις, τη θέση του οπλισμού (κατακόρυφου και διατημήσεως) και τις ιδιότητες των υλικών, δηλαδή του χάλυβα και του σκυροδέματος [Strad user manual]. Τα βασικά χαρακτηριστικά των πλαστικών αρθρώσεων είναι:

Αστοχία από αξονική, συνδυασμένη αξονική και διαξονική κάμψη, διάτμηση.

Συμπαγής συμπεριφορά, π.χ. όχι τοπικός λυγισμός

Η μετατόπιση του ουδέτερου άξονα λαμβάνεται υπόψη με διόρθωση των εξισώσεων ισορροπίας

Ελαστική φόρτιση και αποφόρτιση. Όχι φαινόμενα υστέρησης.

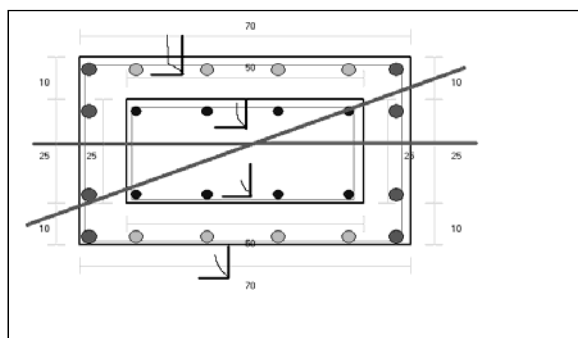
Όλες οι υπόλοιπες δυνατότητες προσομοίωσης υποστηρίζονται: κατανεμημένα φορτία, εσωτερικές ελευθερώσεις, εκκεντρότητες μελών, κτλ

Το διάγραμμα ροπών - καμπυλοτήτων, το οποίο υπολογίζεται από το πρόγραμμα και χρησιμοποιείται για τον σχηματισμό των πλαστικών αρθρώσεων, υπολογίζεται για διαξονική κάμψη, ανάλογα με τις τιμές των ροπών  $M_y$  και  $M_z$  που ασκούνται στην διατομή του μέλους όπως φαίνεται στο σχήμα 5. Πέραν του ελέγχου των ροπών και τον σχηματισμό των πλαστικών αρθρώσεων, ελέγχεται και η αστοχία της διατομής σε τέμνουσα δύναμη.

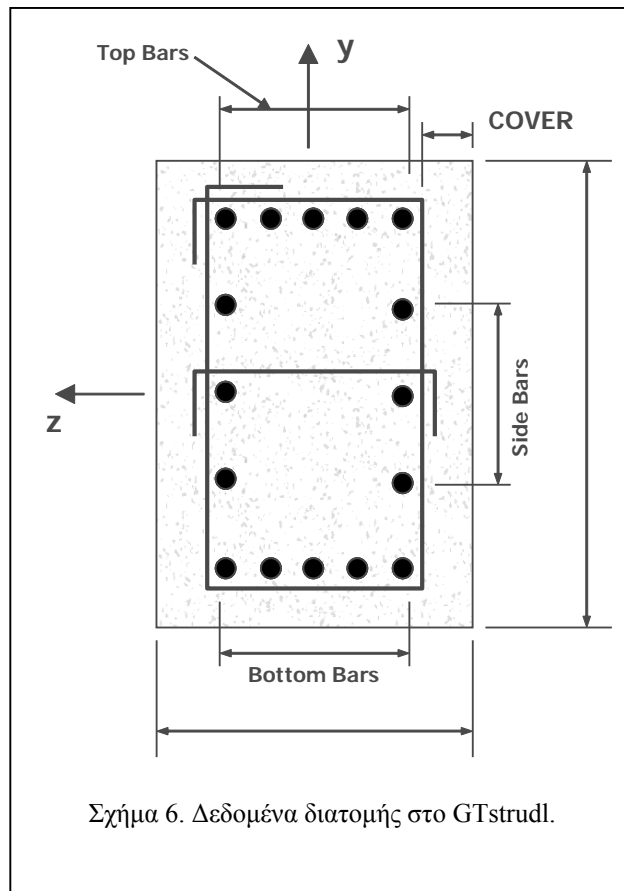


Σχήμα 4. Αποψη φορέα που ελέγχθηκε στο Strad

Στην ανάλυση που έγινε δόθηκε ιδιαίτερη σημασία στην απόσταση των συνδετήρων, καθώς και στις συνθήκες αγκύρωσης του διαμήκου οπλισμού. Στην περίπτωση μειωμένου μήκους αγκύρωσης των διαμήκων ράβδων θεωρείται ότι μπορούν να αναπτύξουν μόνο ένα ποσοστό της τάσης διαρροής, αυτό που αντιστοιχεί στο ποσοστό του μήκους αγκύρωσης. Στόχος των αναλύσεων που έγιναν είναι ο προσδιορισμός του φορτίου έναρξης πλαστικών αρθρώσεων και του φορτίου κατάρρευσης των κατασκευών. Για LH ελήφθη η κρίσιμη περιοχή του υποστυλώματος στην κεφαλή και στον πόδα όπως ορίζεται στον ΕΚΟΣ. Σε ορισμένες περιπτώσεις έγινε επαλήθευση με την Pushover ανάλυση που διαθέτει το GTstrudl. Είναι μια αυτοματοποιημένη μη γραμμική επαυξητική ανάλυση φορτίων που περιλαμβάνει αλγόριθμο που ψάχνει αυτόματα για το επίπεδο φορτίων στο οποίο εμφανίζεται δομική αστάθεια ή κατάρρευση. Το GTstrudl διαθέτει Pushover ανάλυση με έλεγχο φορτίου (Force Control) και έλεγχο μετατοπίσεων (Displacement Control). Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ελέγχου φορτίου για να είναι συμβατά τα αποτελέσματα με το Strad. Τα δεδομένα που απαιτούνται για την περιγραφή της διατομής φαίνονται στο σχήμα 6.



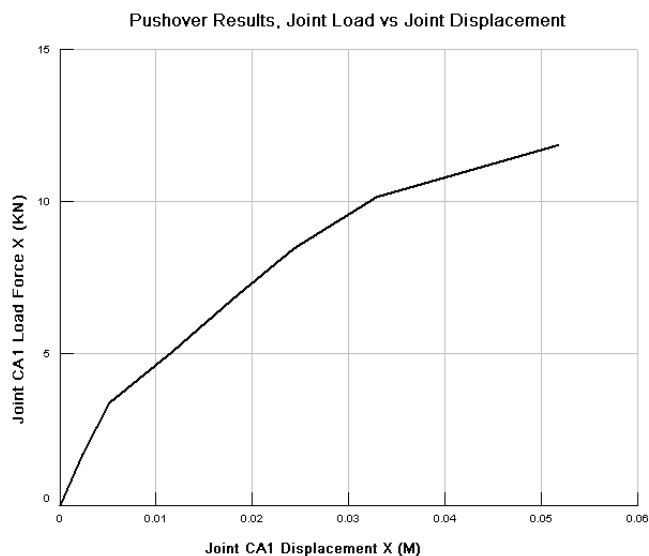
Σχήμα 5. Δεδομένα διατομής και έλεγχοι στο Strad



Στο τέλος της κάθε ανάλυσης εξετάζοταν το διάγραμμα δύναμης – παραμόρφωσης σε κάθε κόμβο (σχήμα 7). Σαν  $q$  υπολογίστηκε ο λόγος  $U_l/U_y$  όπου  $U_y$  για τον επιλεγμένο κόμβο η μετατόπιση στην ζητούμενη διεύθυνση στο βήμα που συνέβη ο πρώτος σχηματισμός πλαστικής άρθρωσης σε όλο τον φορέα και  $U_l$  η αντίστοιχη μετατόπιση στο τελευταίο βήμα.. Η τιμή του  $q$  είναι ευαίσθητη στο μήκος  $LH$  και ειδικότερα στο GTstrudl στον αριθμό των ζωνών διαχωρισμού. Στην φάση αυτή κρίθηκε ικανοποιητική.

#### 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το κάθε κτίριο μελετήθηκε 2 φορές. Μία με τους οπλισμούς που εμφανιζόταν στην αρχική μελέτη με αποστάσεις συνδετήρων σύμφωνα με την εγκεκριμένη μελέτη και πλήρη αγκύρωση των διαμήκων οπλισμών των υποστυλωμάτων. Στην δεύτερη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν οι οπλισμοί που αποτυπώθηκαν στα υποστυλώματα τόσο σε αποστάσεις συνδετήρων όσο και σε διάμετρο και αγκύρωση διαμήκους οπλισμού. Οι δοκοί δεν είχαν αποτυπωθεί κατά την φάση ελέγχου οπότε χρησιμοποιήθηκε ο οπλισμός που αναφερόταν στην μελέτη.



Σχήμα 7. Διάγραμμα δύναμης μετατόπισης.

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων τα κτίρια χωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες: Μικρά (τα διώροφα), Μεσαία (τριώροφα, τετραώροφα) και Μεγάλα (τα πενταώροφα και τα εξαώροφα). Τα διώροφα κτίρια που μελετήθηκαν με τους οπλισμούς όπως αυτοί μετρήθηκαν με το CM9 εμφανίζουν τις πρώτες πλαστικές αρθρώσεις σε επίπεδα επιτάχυνσης  $R_d=0,10-0,11g$  ενώ η πλήρης αστοχία εμφανίζεται σε επιταχύνσεις  $R_d=0,11-0,12g$ . Το διαθέσιμο  $q$  αυτών των κτιρίων υπολογίστηκε σε  $q=1 - 1.2$ .

Τα κτίρια αυτά σύμφωνα με τη εγκεκριμένη μελέτη τους εμφανίζουν τις πρώτες πλαστικές αρθρώσεις για  $R_d=0.14 - 0.16g$  και καταρρέουν σε  $R_d=0.17 - 0,18g$ . Ενώ το διαθέσιμο  $q$  αυτών των κτιρίων υπολογίστηκε σε  $q=1.5 - 1.9$ .

Τα τριώροφα και τετραώροφα κτίρια που μελετήθηκαν με τους οπλισμούς τους όπως αυτοί αποτυπώθηκαν με το CM9 εμφανίζουν τις πρώτες πλαστικές αρθρώσεις σε επίπεδα επιταχύνσεων  $R_d=0.10 - 0.12g$ , ενώ η πλήρης αστοχία εμφανίζεται σε επιταχύνσεις  $R_d=0,12 - 0,14g$ . Το διαθέσιμο  $q$  αυτών των κτιρίων υπολογίστηκε σε  $q=1 - 1.1$ . Τα κτίρια αυτά σύμφωνα με τη εγκεκριμένη μελέτη τους τις πρώτες πλαστικές αρθρώσεις για  $R_d=0.16 - 0.18g$ , και καταρρέουν σε  $R_d = 0.19 - 0.21g$ . Ενώ το διαθέσιμο  $q$  αυτών των κτιρίων υπολογίστηκε  $q=1.9 - 2.2$ .

Τα μεγάλα κτίρια που μελετήθηκαν με τους οπλισμούς τους όπως αυτοί αποτυπώθηκαν με το CM9 εμφανίζουν τις πρώτες πλαστικές αρθρώσεις σε επίπεδα επιτάχυνσης  $R_d=0,10-0,11g$  ενώ η πλήρης αστοχία εμφανίζεται σε επιταχύνσεις  $R_d=0.12 - 0.14g$ . Το διαθέσιμο  $q$  αυτών των κτιρίων υπολογίστηκε σε  $q=1.5 - 1.8$ . Τα κτίρια αυτά σύμφωνα με τη εγκεκριμένη μελέτη τους εμφανίζουν τις πρώτες πλαστικές αρθρώσεις για  $R_d=0.22 - 0.24g$  ενώ η πλήρης αστοχία εμφανίζεται σε επιταχύνσεις  $R_d= 0.24 - 0.26g$ . Το διαθέσιμο  $q$  αυτών των κτιρίων υπολογίστηκε σε  $q=1.9 - 2.2$ .

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι αραιοί συνδετήρες που μετρήθηκαν καθώς και οι μικρές αναμονές οδηγούν τα κτίρια, υπολογιστικά, σε ταχύτερη πλήρη αστοχία από αυτή που θα συνέβαινε αν εφαρμοζόταν ακριβώς η μελέτη. Η απόκλιση της επιτάχυνσης πλήρους αστοχίας, μεταξύ: Μελέτης κτιρίων με βάσει τους οπλισμούς της εγκεκριμένης μελέτης και της μελέτης με βάσει τους αποτυπωμένους οπλισμούς, είναι τόσο πιο μεγάλη, όσο περισσότερους ορόφους έχει το κτίριο. Ανάλογη απόκλιση εμφανίζεται και στις επιταχύνσεις για τις οποίες εμφανίζονται οι πρώτες πλαστικές αρθρώσεις.

Στα μεγάλα κτίρια η απόκλιση φτάνει το 80%. Η τελική τιμή επιτάχυνσης της πλήρους αστοχίας είναι μεγαλύτερη στα μεγάλα κτίρια από ότι στα μικρότερα. Οι τιμές εμφάνισης πλήρους αστοχίας αλλά και της πρώτης πλαστικής άρθρωσης υπολείπονται σημαντικά των απαιτούμενων από τον ΕΑΚ 2000. Όπως φαίνεται από τα παραπάνω οι τιμές των μετρούμενων οπλισμών έχουν σημαντική επίπτωση στην απόφαση ανασχεδιαμού. Για τον σκοπό αυτό προτείνεται παρόμοια κριτήρια που έχει ο ΚΑΝΕΠΕ για το σκυρόδεμα για να χαρακτηρίσει την ΣΑΔ (30% υποστυλώματα κ.λ.π) να μούν και για τις αποστάσεις συνδετήρων καθώς και για τις αναμονές.

## 6. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Τροποποίηση διατάξεων του «Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού ΕΑΚ-2000» λόγω αναθεώρησης του Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας (Φ.Ε.Κ. Β' 1154/12-8-2003, Απόφαση Αριθ. Δ17α/115/9/ΦΝ275)

[www.elcometer.com/pv/concrete\\_covermeters\\_cm9.htm](http://www.elcometer.com/pv/concrete_covermeters_cm9.htm)

Computer Aided Structural Engineering Center School of Civil and Environmental Engineering  
2002. GT.STRUDL User Reference Manual.

Κανονισμός επεμβάσεων (ΚΑΝΕΠΕ) σχέδιο κειμένου -1 Φεβρουάριος 2004

Strad user manual push-over analysis 2006.