

## **ΒΛΑΒΕΣ ΣΕ ΚΟΜΒΟΥΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ, ΑΙΤΙΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΑΥΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΩΝ ΑΝΤΟΧΩΝ ΤΟΥΣ**

**ΓΑΡΥΦΑΛΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ**

### ***Περίληψη***

*Στην παρούσα εργασία θα γίνει αναφορά στις βλάβες που υπέστησαν οι κοινές περιοχές δοκών υποστυλωμάτων (κόμβοι) κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος κατά τον πρόσφατο σεισμό της Πάρνηθας της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 1999. Επίσης θα γίνει προσπάθεια ανάλυσης των κυριότερων αιτιών εμφάνισης των βλαβών αυτών. Τέλος θα προταθούν διάφορες μέθοδοι αποκατάστασης και ενίσχυσης των κόμβων παρουσιάζοντας ταυτόχρονα στοιχεία από πειραματικές εργασίες που έγιναν στο παρελθόν προς αυτή την κατεύθυνση.*

### **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Στον ευρύτερο ελλαδικό χώρο σημειώνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα σεισμοί άλλοτε μικρής έντασης και άλλοτε ισχυρής έντασης. Οι σεισμοί των οποίων η ένταση τους χαρακτηρίζεται από τους ειδικούς, στα θέματα σεισμολογίας, ισχυρή προξενούν διάφορες βλάβες στις κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος. Μια από τις πιο σοβαρές βλάβες είναι αυτές που εμφανίζονται στους κόμβους των κατασκευών κι αυτό διότι υποβαθμίζεται η ακαμψία του φέροντος στοιχείου και οδηγεί σε ανεξέλεγκτες ανακατανομές των εντάσεων. Οι τελευταίες μπορεί να οδηγήσουν στην πλήρη κατάρρευση της κατασκευής κατά την διάρκεια των μετασεισμών που ακολουθούν τον κύριο σεισμό.

### **2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΜΒΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΠΟΥ ΥΠΕΣΤΗΣΑΝ ΒΛΑΒΗ ΣΤΟΝ ΠΡΟΣΦΑΤΟ ΣΕΙΣΜΟ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

Ο ισχυρός σεισμός της 7/9/1999 που είχε επίκεντρο την Πάρνηθα προξένησε εκτεταμένες βλάβες στους κόμβους κτιρίων στην ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Αττικής. Ύστερα από επίσκεψη που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή των Άνω Λιοσίων διαπιστώθηκε η ύπαρξη αυτών των βλαβών. Παρακάτω θα παρουσιαστούν και θα σχολιαστούν φωτογραφίες που τραβήχτηκαν κατά την διάρκεια της επίσκεψης αυτής.

Στην παρακάτω εικόνα 1 φαίνεται ο μέγιστος βαθμός βλάβης που έχει υποστεί ένας εξωτερικός κόμβος μιας διώροφης κατοικίας. Όπως παρατηρούμε ο κόμβος έχει συντριβεί τελείως και βασικά δεν υφίσταται αφού το υποστύλωμα έχει αποκολληθεί από τις συντρέχουσες δοκούς και έχει χαθεί το ολόσωμο της σύνδεσης. Από όσο μπορούμε να διακρίνουμε είναι φανερό η έλλειψη πυκνών συνδετήρων στις κρίσιμες περιοχές των δοκών και υποστυλώματος γύρω από τον κόμβο. Επίσης αυτή η συντριβή του κόμβου ενδέχεται να οφείλεται και στο λύγισμα των διαμηκών ράβδων του υποστυλώματος.

ΕΙΚΟΝΑ 1



Στο ίδιο κτίριο ,οι εσωτερικοί κόμβοι σε αντίθεση με τους εξωτερικούς δεν υπέστησαν σοβαρές βλάβες. Αυτό φαίνεται χαρακτηριστικά στην εικόνα 2 που ακολουθεί παρακάτω. Όπως παρατηρούμε ο κόμβος έχει παραμείνει άθικτος και υπάρχει μόνο μια καμποδιατημητική ρωγμή στην κάτω παρειά του κόμβου ,στο σημείο ενώσεως του υποστύλωματος με τις συντρέχουσες δοκούς. Αυτή προκλήθηκε από τη ρωγμή που δημιουργήθηκε στον οργανισμό πλήρωσης κατά την αστοχία του και η οποία συνεχίστηκε στο υποστύλωμα.

Όμοια με προηγουμένως και σε ένα άλλο κτίριο οι εξωτερικοί κόμβοι είχαν υποστεί σοβαρές βλάβες σε σχέση με τους εσωτερικούς. Στην επόμενη εικόνα 3 παρατηρούμε έναν εξωτερικό γωνιακό κόμβο ενός κτιρίου στον οποίο έχουμε συντριβή του σκυροδέματος στην κάτω παρειά του και λύγισμα των διαμηκών ράβδων του υποστύλωματος. Είναι φανερή η έλλειψη πύκνωσης των συνδετήρων στην περιοχή αυτή.

ΕΙΚΟΝΑ 2



ΕΙΚΟΝΑ 3



Στην εικόνα 4 η οποία δείχνει έναν εσωτερικό κόμβο του ίδιου κτιρίου δεν παρατηρήθηκε καμία βλάβη σε αυτόν παρά μόνο μια μερική αποκόλληση του επιχρίσματος

ΕΙΚΟΝΑ 4



Τέλος στην επόμενη εικόνα 5 δείχνουμε μια βλάβη σε έναν εξωτερικό γωνιακό κόμβο ενός αλλού κτιρίου. Οι ρωγμές που δημιουργήθηκαν οφείλονται κατά κύριο λόγο στον εσωτερικό εφελκυσμό που αναπτύχθηκε κατά την έντονη σεισμική διέγερση. Η τελευταία προκάλεσε έντονη αύξηση των δυνάμεων εκτροπής οι οποίες αναπτύσσονται στο εσωτερικό του κόμβου λόγω απότομης αλλαγής διεύθυνσης των εσωτερικών δυνάμεων των μελών που συντρέχουν σε αυτόν[1].

ΕΙΚΟΝΑ 5



Συμπερασματικά αναφέρουμε ότι από όλα τα κτίρια που είχαν υποστεί βλάβες τα περισσότερα είχαν έστω και μια μικρή ρωγμή σε κάποιο κόμβο. Αυτές οι ρωγμές επικεντρωνόντουσαν κυρίως στους εξωτερικούς. Πολλές φορές οι εσωτερικοί κόμβοι ήταν τελείως άθικτοι. Είχαν δηλαδή συμπεριφερθεί ιδανικά κατά την πρόσφατη σεισμική φόρτιση. Αυτό το φαινόμενο έχει παρουσιαστεί και σε άλλες περιπτώσεις βλαβών σε κόμβους σε καταστροφικά ισχυρούς σεισμούς. Η πολύ καλή συμπεριφορά των εσωτερικών κόμβων φαίνεται να οφείλεται στον εγκιβωτισμό του σκυροδέματος που δημιουργείται από τα συντρέχοντα μέλη[1]. Επομένως δηλαδή το μεγαλύτερο υφίσταται για τους εξωτερικούς γωνιακούς, γι' αυτούς που βρίσκονται στην περίμετρο της κάτοψης της κατασκευής.

Οι επισκευές/ ενισχύσεις των κρίσιμων αυτών δομικών στοιχείων γίνονται βάση των προδιαγραφών του Υπουργείου Δημόσιων Έργων αλλά και σύμφωνα με τις συστάσεις για επισκευές και ενισχύσεις κτιρίων που εξέδωσαν το Α.Π.Θ. και το Ε.Μ.Π.

### **3. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΩΝ/ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΥΠΟΣΤΕΙ ΒΛΑΒΗ**

Όπως αναφέραμε προηγουμένως τα δομικά αυτά στοιχεία μπορούν να επισκευαστούν η και να ενισχυθούν η αντοχή και η ακαμψία τους. Φυσικά πρώτιστο ρόλο παίζει και ο βαθμός βλάβης που έχουν υποστεί. Ανάλογα λοιπόν μ' αυτόν προτείνονται διεθνώς οι ακόλουθες τεχνικές επισκευής/ ενίσχυσης κόμβων [2] που είναι οι εξής

Α. Επισκευή με χρήση ρητινών. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σε περιπτώσεις μικρού βαθμού βλάβης όπου το σκυρόδεμα του κόμβου δεν έχει ρηγματωθεί έντονα και αποδιοργανωθεί και οι διαμήκεις ράβδοι των δοκών/ υποστυλωμάτων δεν έχουν υποστεί λύγισμα.

Β. Τοπική ενίσχυση με μερική καθαίρεση και αποκατάσταση. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σε κόμβους με υψηλό βαθμό βλάβης, δηλαδή σε αυτούς που έχει πραγματοποιηθεί συντριβή του σκυροδέματος, διάρρηξη των συνδετήρων και λυγισμός των διαμηκών ράβδων. Σύμφωνα με αυτήν καθαίρεται τοπικά το αποδιοργανωμένο σκυρόδεμα από την περιοχή του κόμβου αλλά και από τμήματα των κρίσιμων περιοχών των δοκών και υποστυλωμάτων, τοποθετούνται με συγκόλληση νέοι διαμήκεις ράβδοι οπλισμού σε οποίους έχει συμβεί λυγισμός, τοποθετούνται νέοι συνδετήρες και τέλος προσθέτουμε το νέο σκυρόδεμα. Με αυτόν τον τρόπο ενίσχυσης διατηρούμε τις αρχικές διατομές των δομικών στοιχείων.

Γ. Ενίσχυση του κόμβου με κατασκευή γενικού μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος. Εφαρμόζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό βλάβης στον κόμβο η ακόμη και όταν έχει πραγματοποιηθεί μια ελάχιστη μετατόπιση του υποστυλώματος από τις συντρέχουσες δοκούς, και όποτε έχει διαρρηχθεί τελείως ο κόμβος. Τοποθετούνται νέοι διαμήκεις οπλισμοί καθώς και νέοι συνδετήρες. Ειδικότερα για τη περιοχή του κόμβου που είναι δύσκολη η τοποθέτηση νέων συνδετήρων, τοποθετούμε ειδικά κολάρα προεντεταμένα ή όχι. Επίσης συνήθως επεκτείνεται ο μανδύας σε όλο το ύψος των υποστυλωμάτων και σε όλο το μήκος των δοκών για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. Έτσι επιτυγχάνουμε όχι μόνο αποκατάσταση της βλάβης αλλά και ταυτόχρονη ενίσχυση της αντοχής των δομικών στοιχείων αυτών.

Δ. όμοιο τρόπο ενίσχυσης αλλά με κατασκευή τοπικού μανδύα Ο/Σ. Αυτός ο τρόπος ενίσχυσης είναι ειδική περίπτωση της προηγούμενης μεθόδου και εφαρμόζεται μόνο όταν η βλάβη είναι επικεντρωμένη στην περιοχή του κόμβου. Έτσι λοιπόν κατασκευάζεται

μανδύας οπλισμένου σκυροδέματος που περιλαμβάνει την περιοχή του κόμβου αλλά μπορεί και τμήματα των κρίσιμων περιοχών των δοκών και υποστυλωμάτων.

Οι πειραματικές ερευνητικές εργασίες που έχουν γίνει προς αυτήν την κατεύθυνση είναι ελάχιστες, ακόμη και σε διεθνές επίπεδο. Άξιες αναφοράς είναι τρεις ερευνητικές εργασίες στις οποίες δοκίμια δοκού-υποστυλώματος, τα οποία, αφού υποβλήθηκαν σε σεισμικού τύπου καταπόνηση, κατά την οποία δημιουργήθηκαν βλάβες στον κόμβο, επισκευάστηκαν με κάποια από τις μεθόδους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Έπειτα επανυποβλήθηκαν σε όμοια σεισμική καταπόνηση και εξετάστηκε η διαφορά σε σχέση με την αρχική αντοχή, ακαμψία και απορρόφηση ενέργειας του κόμβου κατά την τεχνητή σεισμική διέγερση. Η πρώτη από τις προαναφερθείσες μεθόδους, η οποία είναι η επισκευή με χρήση ρητινών, έχει το πλεονέκτημα ότι διατηρεί τις παλιές διαστάσεις των στοιχείων και έτσι η εφαρμογή της είναι η πιο εύκολη σε πραγματικές κατασκευές. Πραγματοποιήθηκε λοιπόν πείραμα για να διαπιστωθεί η αποτελεσματικότητα της μεθόδου και τα αποτελέσματα δημοσιεύθηκαν σε επιστημονικά περιοδικά απ' όπου και οι πληροφορίες[3].

Σύμφωνα λοιπόν με το πείραμα που διεξήχθη, δοκίμια κόμβων υποβλήθηκαν σε σεισμικού τύπου καταπόνηση μέχρις αστοχίας και εμφάνισης βλαβών σε αυτά. Έπειτα επισκευάστηκαν με χρήση εποξειδικών ρητινών και υποβλήθηκαν σε όμοια σεισμική φόρτιση. Από τα αποτελέσματα του πειράματος [3] προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα επισκευασμένα δοκίμια παρουσίασαν μεγαλύτερη ικανότητα ανάληψης μέγιστου φορτίου, ίδια περίπου δυσκαμψία φόρτισης και αυξημένη ικανότητα απορρόφησης ενέργειας. Επίσης αναφέρεται ότι η επιτυχία της επισκευής οφείλεται και στην καλότεχνη εφαρμογή πλήρωσης του συστήματος των ρωγμών στο εργοτάξιο.

Ένα άλλο πείραμα που δημοσιεύτηκε ομοίως σε επιστημονικό περιοδικό αφορά στην τοπική επισκευή-ενίσχυση δοκιμίων-κόμβων με χρήση τοπικών τρίπλευρων μανδύων Ο/Σ [2]. Όπως αναφέρεται χαρακτηριστικά, αυτοί οι μανδύες είναι αποτελεσματικοί για την ενίσχυση εξωτερικών κόμβων όταν με το υπό επισκευή κτίριο υπάρχει επαφή με άλλο γειτονικό. Προτείνεται λοιπόν μια μεθοδολογία υπολογισμού και κατασκευής του τρίπλευρου μανδύα, η οποία δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα. Παρομοίως κατασκευάστηκε σε δοκίμια με βλάβες στους κόμβους τοπικός τρίπλευρος μανδύας και εν συνεχεία υποβλήθηκαν ξανά τα τελευταία σε σεισμική φόρτιση.

Στη δημοσίευση της πειραματικής εργασίας αναφέρεται ότι τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι άκρως ικανοποιητικά [2]. Ειδικότερα, η σεισμική συμπεριφορά των επισκευασμένων ενισχυμένων δοκιμίων εμφανίστηκε εξαιρετικά βελτιωμένη με εκείνη των αρχικών δοκιμίων. Επίσης, τα επισκευασμένα-ενισχυμένα δοκίμια κατόρθωσαν να μεταθέσουν τη βλάβη από την περιοχή του κόμβου και από τις κρίσιμες περιοχές των στύλων στη δοκό, αλλά και στην περίπτωση αυτή μετά το πέρας του μανδύα όμως.

Σύμφωνα λοιπόν με τα αποτελέσματα του παραπάνω πειράματος αναφέρεται ότι [2] η μεθοδολογία ενίσχυσης με χρήση τοπικού μανδύα, όπως αυτή προτείνεται διεθνώς για κόμβους δοκών-στύλων που έχουν υποστεί σημαντικές βλάβες σε σεισμό είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Όπως είδαμε λοιπόν, οι εκτεταμένες βλάβες σε κόμβους που είχαν υποστεί τα κτίρια κατά τον πρόσφατο σεισμό της Αθήνας μπορούν να επισκευαστούν και να ενισχυθεί η αντοχή αυτών με μια από τις παραπάνω μεθόδους. Έτσι επιτυγχάνεται μια καλύτερη σεισμική απόκριση των κόμβων και ολόκληρου του κτιρίου γενικά σε ένα

μελλοντικό σεισμό, ίδιας έντασης ή ισχυρότερο από τον προηγούμενο της Πάρνηθας. Κλείνοντας, θέλω να επισημάνω ότι στην απόφαση επισκευής των κόμβων θα πρέπει να εξεταστεί το κόστος και η εφαρμοσιμότητα των προτεινομένων μεθόδων αναλογικά με το κόστος κατεδάφισης και κατασκευής καινούργιου κτιρίου.

### **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Μ. Φαρδής: Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος Μέρος 2<sup>ο</sup>
2. Επιστημονική Έκδοση ΚΤΙΡΙΟ: Β' 99
3. Επιστημονική Έκδοση ΚΤΙΡΙΟ: Γ' 98