

# ΝΕΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗ ΤΩΝ ΟΙΚΟΔΟΜΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

του Αλεξάνδρου Δ. Τσώνου, δρος Π.Μ. και καθ. Πολυτεχνικής Σχολής ΑΠΘ



Σε σχετικά πρόσφατες ερευνητικές εργασίες παρουσιάστηκε από τον συγγραφέα της παρούσας μελέτης ένα νέο μοντέλο σχεδιασμού κόμβων δοκών – υποστυλωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι κοινές περιοχές δοκών και υποστυλωμάτων, που ονομάζονται κόμβοι, είναι από τα πλέον κρίσιμα δομικά στοιχεία και αποδείχθηκε ότι ευθύνονται για αμέτρητες βλάβες ακόμη και καταρρεύσεις σε κάθε μεγάλο σεισμό. Η επικρατούσα για πολλά χρόνια άγνοια της εντατικής τους κατάστασης οδηγούσε στον πλημμελή σχεδιασμό τους, με αποτέλεσμα την κακή και εξαιρετικά επικίνδυνη σεισμική τους συμπεριφορά.

Τα τελευταία 40 χρόνια πραγματοποιήθηκαν πολυπληθείς ερευνητικές εργασίες, αναλυτικές και πειραματικές, με αντικείμενο τους κόμβους, οι οποίες προσέφεραν πολύτιμη γνώση που επηρέασε και άλλαξε σημαντικά τον τρόπο σχεδιασμού τους. Παρόλα αυτά δεν υπήρξε μέχρι σήμερα σύγκλιση απόψεων για τον τρόπο σχεδιασμού τους. Απόδειξη αυτού αποτελεί η διαφορετική αντιμετώπιση που τυχάνουν οι κόμβοι στον τρόπο υπολογισμού τους από τους διεθνείς κανονισμούς. Είναι άλλωστε χαρακτηριστική η δήλωση του καθηγητού R. Park ότι «ο τρόπος σχεδιασμού του δομικού αυτού στοιχείου αποτελεί αιτία παγκόσμιας διαμάχης».

Το μοναδικό μοντέλο σχεδιασμού κόμβων που υπήρξε παλαιότερα και για πολλές δεκαετίες και επηρέασε πολλούς διεθνείς κανονισμούς είναι το μοντέλο των Νεοζηλανδών καθηγητών T. Paulay και R. Park (1975). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι Αμερικανοί ουδέποτε αποδέχθηκαν το μοντέλο αυτό. Αντίθετα συνιστούσαν και συνιστούν στους κανονισμούς τους το σχεδιασμό κόμβων αντισεισμικών πλαισίων από Ο/Σ βάσει ημι-εμπειρικής μεθόδου (ACI – ASCE 352 – 02).

Σε πρόσφατο Scientific Report (PEER-NEES Report) (2009) του καθηγητή του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας στο Μπέρκλεϊ K. M. Mosalam (Vice Chair for Research and Technical Services of the University of California, Berkeley), αναδεικνύεται διεθνώς το μοντέλο του υπογράφοντα ως ένα από τα δύο πιο αξιόπιστα μοντέλα σχεδιασμού κόμβων δοκού – υποστυλώματος κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Επιπλέον το Report αυτό έτυχε των θετικών κριτικών σχολίων και παρεμβάσεων των παγκοσμίου φήμης Αμερικανού Καθηγητή J.P. Moehle (University of California, Berkeley) και βρίσκεται στην ηλεκτρονική διεύθυνση: [http://peer.berkeley.edu/publications/peer-reports/reports\\_2009/web\\_PEER9106\\_PARK\\_Mosalam.pdf](http://peer.berkeley.edu/publications/peer-reports/reports_2009/web_PEER9106_PARK_Mosalam.pdf)

Είναι επίσης ιδιαίτερα αξιοσημείωτο το γεγονός ότι, ενώ οι Αμερικανοί επιστήμονες ουδέποτε δέχθηκαν και έλαβαν σοβαρά υπόψη στις επιστημονικές τους εργασίες και στους κανονισμούς τους το μοναδικό μοντέλο σχεδιασμού κόμβων που υφίστατο παλαιότερα και για αρκετές δεκαετίες, δηλαδή το μοντέλο των Νεοζηλανδών διακεκριμένων καθηγητών T. Paulay και R. Park, εν τούτοις σήμερα δέχονται το ελληνικό μοντέλο του υπογράφοντα και μάλιστα συγκρίνουν την αξιοπιστία των εργασιών τους με το μοντέλο αυτό. Βεβαίως η ανωτέρω αναγνώριση παρ' ότι και είναι εξαιρετικά σημαντική δεν είναι η μόνη. Πολλές άλλες σημαντικές αναγνωρίσεις στο εν λόγω μοντέλο προηγήθηκαν σε άρθρα σοβαρών διεθνών επιστημονικών περιοδικών από επιστήμονες του διεθνούς χώρου. Αναφέρονται ενδεικτικά η εργασία των A. El-Nabawy Atta et al (2004) στην οποία πραγματοποιείται σύγκριση και αποτίμηση των ερευνητικών

αποτελεσμάτων τους με αυτά που εξάγονται βάσει των Αμερικανικών Συστάσεων της Επιτροπής ACI-ASCE 352, του Νεοζηλανδικού κανονισμού, του Ιαπωνικού κανονισμού, του μοντέλου Τσώνου και του μοντέλου των Άγγλων Καθηγητών Vollum και Newman. Επίσης η P.G. Bakir (2003) σε εργασία της σε έγκριτο διεθνές περιοδικό αναφέρει ως τα δύο επικρατέστερα μοντέλα σχεδιασμού κόμβων στο διεθνή χώρο το μοντέλο των T. Paulay και R. Park και το μοντέλο του υπογράφοντα. Επίσης οι Karayannis et al (2011) και οι Eligehausen et al (2011) σε εργασίες τους σε έγκριτο διεθνές περιοδικό με μεγάλο impact factor τονίζουν την ιδιαίτερη αποτελεσματικότητα του μοντέλου. Σε μια μάλιστα από αυτές αναφέρεται χαρακτηριστικά “**Tsonos model can be considered as a leading one in the field**”. Στην εργασία Tsonos 2007 εντοπίζεται η αδυναμία του μοντέλου των T. Paulay και R. Park να προβλέψει με ακρίβεια την τάση αστοχίας του κόμβου.

Η εκτενής ανάπτυξη του νέου μοντέλου ξεφεύγει των στενών ορίων της παρούσας ανακοίνωσης. Ο αναγνώστης δύναται να εμβαθύνει στο θεωρητικό τμήμα του μοντέλου στην ανακοίνωση Tsonos 2007. Ο Πρύτανης του Α.Π.Θ. καθηγητής κ. Ι. Μυλόπουλος βράβευσε τον συγγραφέα για την διεθνή προβολή του μοντέλου του στην εκδήλωση «Το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης αριστεύει: οι διακρίσεις της ακαδημαϊκής χρονιάς 2010-2011». Επίσης το μοντέλο παρουσιάζονται μεταξύ των επιλεγμένων καινοτόμων εφαρμογών σε εκθεσιακό χώρο της Επιτροπής Ερευνών του Α.Π.Θ. στο Ειδικό Αφιέρωμα «Καινοτομία και Ευρεσιτεχνία» στην 76η Δ.Ε.Θ.

## ■ ΤΙ ΠΡΟΣΦΕΡΕΙ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

**1. Εξασφαλίζει τον ασφαλή σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων στις δοκούς και την συγκέντρωση βλάβης σε αυτές αφήνοντας κόμβους και στύλους αλώβητους.**

Το μοντέλο υπολογίζει με μεγάλη ακρίβεια την τάση αστοχίας του κόμβου  $\tau_{ult}$ . Όταν η ασκούμενη διατμητική τάση στον κόμβο είναι μικρότερη ή ίση της μισής τάσης αστοχίας του κόμβου,  $\tau_{cal} \leq 0.5\tau_{ult}$ , τότε ο κόμβος σε έναν ισχυρό σεισμό θα εργάζεται στην ελαστική περιοχή οδηγώντας με ασφάλεια την αστοχία στη δοκό, όπου θα συγκεντρωθεί όλη η βλάβη αφήνοντας ανέπαφα τα υποστυλώματα. Δηλαδή με το μοντέλο επιτυγχάνεται με ασφάλεια σε ένα μεγάλο σεισμό ο επιθυμητός ελαστοπλαστικός μηχανισμός αστοχίας με σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων στις δοκούς (Σχήμα 1). Σε παλιές οικοδομές αναδεικνύεται ακόμη περισσότερο η αξία του προτεινόμενου μοντέλου αφού μας υποδεικνύει με ασφάλεια από ποιο δομικό στοιχείο (δοκός, στύλος, κόμβος) θα προκληθεί η έναρξη της αστοχίας, και γενικότερα μας δείχνει την ασφαλή ιεραρχία αστοχιών μεταξύ των δομικών αυτών στοιχείων.

Η πλέον κρίσιμη κατάσταση είναι αυτή κατά την οποία στις παλιές οικοδομές δεν περιλαμβάνονται ισχυρά τοιχώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Δηλαδή είναι κυρίως πλαισιακές κατασκευές, γεγονός αρκετά συχνό για τις παλιές οικοδομές. Στις κατασκευές αυτές οι αντοχές των κόμβων, οι οποίοι θεωρούνται πραγματικές πυριτιδαποθήκες, παίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στη σεισμική τους απόκριση και στην πιθανή κατάρρευσή τους (Σχήμα 2). Οι κόμβοι αποτελούν ένα από τα πιο ευαίσθητα αν όχι το πιο ευαίσθητο δομικό στοιχείο παλαιών οικοδομών, συγκεντρώνουν τεράστιες δυνάμεις στον πυρήνα τους και αστοχούν πρόωρα, προκαλώντας καταρρεύσεις τοπικές ή

γενικές θέτοντας σε κίνδυνο τη ζωή και ακεραιότητα των ενοίκων των οικοδομών αυτών.

Με έναν έλεγχο στις οικοδομές αυτές με το μοντέλο μπορούν να εντοπιστούν οι ευαίσθητες αυτές περιοχές κατά πόσον επικίνδυνες είναι και να πληροφορηθούν οι κάτοικοι για τους κινδύνους που διατρέχουν. Το ανωτέρω γεγονός είναι ένα πολύ ισχυρό δεδομένο για τον καθορισμό του σχήματος της προτεινόμενης επέμβασης, αλλά και για τον ασφαλή υπολογισμό της.

**2. Εξασφαλίζει τον ασφαλή σχεδιασμό των ενισχύσεων των παλαιών οικοδομών.**

Το μοντέλο μπορεί να εφαρμοστεί στο σχεδιασμό των ενισχύσεων παλαιών οικοδομών, τόσο των προσεισμικών ενισχύσεων όσο και των μετασεισμικών (μετά από σημαντικές βλάβες στις οικοδομές αυτές), με μανδύες από οπλισμένο σκυρόδεμα.

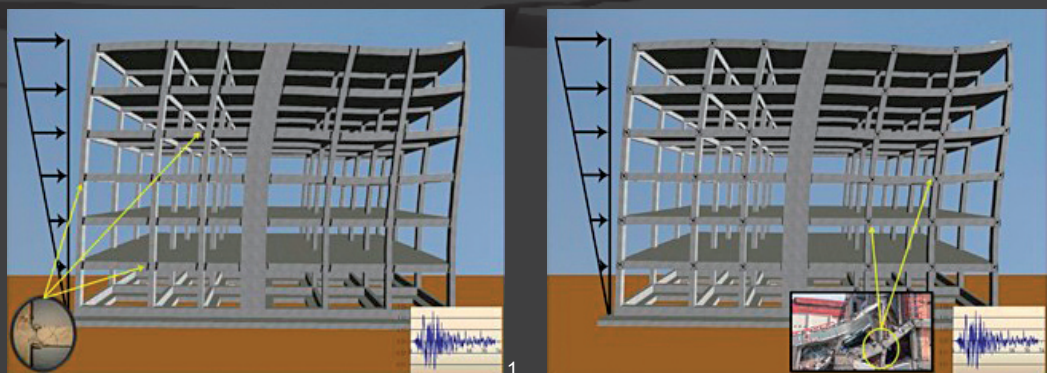
Με τη βοήθεια του μοντέλου επιτυγχάνεται ασφαλή σχηματισμός πλαστικών αρθρώσεων στις δοκούς και είμαστε βέβαιοι ότι οι βλάβες θα συγκεντρωθούν μόνο στις δοκούς (Tsonos 2007). Οι θεωρητικοί υπολογισμοί απεδείχθησαν ορθοί και πειραματικά (Tsonos 1999, 2001, 2002a, 2002b).

**3. Χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των μοντέρνων οικοδομών για να ελεγχθεί ποια θα είναι η πραγματική συμπεριφορά τους σε έναν σεισμό.**

Εύκολα θα μπορούσε να ρωτήσει κάποιος: Με τους ικανοτικούς σχεδιασμούς που προτείνουν οι μοντέρνοι διεθνείς κανονισμοί, όπως ο Ευρωκώδικας 8 ή ακόμη και ο ΕΑΚ – 2000, δεν εξασφαλίζονται όλα τα ανωτέρω και πρέπει να τα αναζητήσουμε βάσει της προτεινόμενης λογικής; Η απάντηση είναι ότι δεν εξασφαλίζονται μόνο με τους κανονισμούς. Διότι ο λόγος ικανοτικού σχεδιασμού από μόνος του δεν εξασφαλίζει ούτε τον ασφαλή σχηματισμό πλαστικής άρθρωσης ούτε την συγκέντρωση της βλάβης στη δοκό. Χρειάζεται και ασφαλής υπολογισμός του κόμβου, τον οποίο οι μεν Ελληνικοί κανονισμοί ΕΑΚ – 2000 και ΕΚΩΣ – 2000 δεν προβλέπουν καθόλου, ο δε υπολογισμός με τους άλλους διεθνείς κανονισμούς όπως οι Ευρωκώδικες 2 και 8, δε φαίνεται να μας εξασφαλίζει. Έτσι στη μελέτη Tsonos 2007 παρουσιάζονται μεγάλα τμήματα μοντέρνων οικοδομών τα οποία σχεδιάστηκαν βάσει μοντέρνων κανονισμών: το Α<sub>1</sub> σχεδιασμένο βάσει των αμερικανικών κανονισμών ACI 318-05 και ACI-ASCE 352-02, τα Ε<sub>1</sub> και Ε<sub>2</sub> σχεδιασμένα βάσει των Ευρωκώδικων 2 και 8, και το G<sub>1</sub> σχεδιασμένο βάσει των ελληνικών κανονισμών ΕΑΚ-2000 και ΕΚΩΣ-2000. Τα δοκίμια αυτά, αντιπροσωπευτικά κρίσιμων τμημάτων μοντέρνων οικοδομών, υποβλήθηκαν σε ισχυρή σεισμική καταπόνηση. Παρά τις προσδοκίες τα Ε<sub>1</sub> και G<sub>1</sub> αντί να αναπτύξουν τον επιθυμητό ελαστοπλαστικό μηχανισμό με πλαστική άρθρωση στη δοκό και εκεί να συγκεντρωθεί η βλάβη, αστοχούν στον κόμβο από την έναρξη της σεισμικής φόρτισης. Είναι αξιοσημείωτο ότι το μοντέλο πρόβλεψε με απόλυτη ακρίβεια τη συμπεριφορά αυτή, αλλά και την άριστη συμπεριφορά των άλλων δύο δοκιμίων Α<sub>1</sub> και Ε<sub>2</sub>.

Έτσι, και στις μοντέρνες κατασκευές που σχεδιάστηκαν βάσει των νέων κανονισμών πιθανόν να υπάρχει κίνδυνος καταρρεύσεων. Οι κατασκευές αυτές παρά τον μοντέρνο σχεδιασμό τους πιθανόν να παρουσιάσουν ειδικές αστοχίες όπως και οι παλιές. Στις κατασκευές αυτές είναι ιδιαίτερα πολύτιμη η χρήση του μοντέλου διότι αποτρέπει, εφόσον ληφθεί υπόψη, καταρρεύσεις από τις αστοχίες των κόμβων.

Το μοντέλο δύναται να χρησιμοποιηθεί και για τον έλεγχο των οικοδομών που σχεδιάστηκαν βάσει των μοντέρνων κανονισμών ΕΑΚ 2000, ΕΚΩΣ – 2000, ή βάσει των Ευρω-



κωδικών 2 και 8, εάν θα συμπεριφερθούν σωστά σε ένα σεισμό με τον επιθυμητό μηχανισμό αστοχίας με πλαστικές αρθρώσεις στις δοκούς και όχι στους στύλους (Σχήμα 1). Επίσης γίνεται έλεγχος αν οι βλάβες συγκεντρωνθούν στις δοκούς και όχι και σε άλλα δομικά στοιχεία όπως στύλοι και κόμβοι.

#### 4. Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των επεμβάσεων σε μοντέρνες οικοδομές που έχουν υποστεί βλάβες σε σεισμό.

Για τις μοντέρνες οικοδομές, εάν συμβούν αστοχίες στις δοκούς από έναν όχι ιδιαίτερα ισχυρό σεισμό και προταθούν επισκευές με ρητινενώσεις, θα πρέπει να ελεγχθούν οι συντρέχοντες κόμβοι με το μοντέλο μήπως σε ένα μεγαλύτερο σεισμό αστοχήσουν είτε αυτοί είτε οι στύλοι και προκληθούν καταρρεύσεις οι οποίες δεν ήταν δυνατόν, κατά τον αρχικό σχεδιασμό βάσει των μοντέρνων κανονισμών, να ληφθούν υπόψη. Διότι όπως προηγούμενως αναφέραμε, ο σχεδιασμός με τους νέους κανονισμούς δεν φαίνεται να εξασφαλίζει απόλυτα ούτε τον ασφαλή σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων ούτε την συγκέντρωση βλάβης στις δοκούς (Tsonos 2007).

Έτσι, στις περιπτώσεις αυτές αντί απλής επισκευής με ρητινενώσεις στις δοκούς ή και σε άλλα δομικά στοιχεία, πιθανόν τελικά να προταθεί ένα σχήμα επέμβασης που να περιλαμβάνει και ενισχύσεις ώστε να αποτραπούν οι πιθανές καταρρεύσεις. Ενδιαφέρουσα η μελέτη Tsonos 2002b.

#### 5. Εξασφαλίζει τον ασφαλή σχεδιασμό των ενισχύσεων παλαιών οικοδομών με σύνθετα υλικά FRPs, με πρόταση χρήσης μεικτής ενίσχυσης.

Το μοντέλο έχει επεκταθεί κατάλληλα (Tsonos 2008) ώστε να υπολογίζει ενισχύσεις παλαιών οικοδομών με χρήση συνθέτων υλικών FRPs. Βεβαίως, επειδή τα σύνθετα υλικά δεν εξασφαλίζουν εν γένει την ασφαλή ενίσχυση κόμβων δοκών – οπιστυλωμάτων, έχει προταθεί από τον συγγραφέα και με χρήση του μοντέλου ένας μεικτός τύπος ενίσχυσης αποτελούμενος από συμβατική ενίσχυση στην περιοχή του κόμβου με μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα και με ενίσχυση των οπιστυλωμάτων με σύνθετα υλικά FRPs. Τον τοπικό μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα στην περιοχή του κόμβου υπολογίζουμε βάσει του μοντέλου ώστε η πλαστική άρθρωση να γίνει στις δοκούς και η βλάβη να συγκεντρωθεί εκεί. Στην εξασφαλισμένη λυσιστέλεια του μοντέλου στηρίζεται και η λυσιστέλεια της προτεινόμενης αυτής λύσης, η οποία αποτελεί παγκόσμια πρωτοτυπία και σώζει τη ζωή και ακεραιότητα των κατοίκων οικοδομών, παλαιών ή και μοντέρνων που ενισχύονται με σύνθετα υλικά FRPs.

Τα πειραματικά αποτελέσματα της ανωτέρω πρότασης μεικτής ενίσχυσης ήταν θεαματικά όπως φαίνεται στη φωτογραφία του Σχήματος 4. Με τη βοήθεια του μοντέλου, το οποίο δύναται να εσωματωθεί σε προγράμματα Η/Υ, αποτρέπονται με ασφάλεια οι αστοχίες στους κόμβους και στους στύλους στις νέες οικοδομές αλλά και στις παλιές και νέες που θα ενισχυθούν με τη βοήθεια του μοντέλου.

#### ■ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete [ACI 318-05] and commentary [ACI 318R-05]", An ACI Standard American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 2005, 430pp.  
2. ACI-ASCE Committee 352, "Recommendations for design of Beam-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures [ACI 352R-02]", Reported by Joint ACI-ASCE Committee 352, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 2002, 37pp.  
3. Bakir PG. "Seismic resistance and mechanical behaviour of exterior beam-column joints with crossed

inclined bars", Structural Engineering and Mechanics, An International Journal (2003), Vol. 16, No 4, pp. 493-517.

4. El-Nabawy A, El-Din Fahmy Taher S, Khalil A-H, El-Metwally SE. "Behavior of reinforced high-strength concrete beam-column joint. Part II: Numerical simulation", Structural Concrete, FIB (2004), Vol.5, No 3, pp.101-112.

5. Karayannis C. G., Favata M. J. and Kakaletsis D., "Seismic Behavior of Infilled and Pilotis RC Frame Structures with Beam-Column Joint Degradation Effect", Engineering Structures, Vol. 33, pp. 2821-2831.  
6. Park R. and Paulay T., "Reinforced Concrete Structures", John Wiley Publications, New York, 1975, 769pp.

7. Park S. and Mosalam K. M., "Shear Strength Models of Exterior Beam-Column Joints without Transverse Reinforcement", Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, PEER - NEES, 2009/106, November 2009, 87pp.

8. Sharma A, Eligenhausen R, Reddy GR. "A new Model to simulate joint shear behaviour of poorly detailed beam-column connections in RC structures under loads", Part I: Exterior joints. Journal of Engineering Structures (2011), Vol.33, pp. 1034-1051.

9. Τσώνος Α.Γ., "Προς μια Νέα Προσέγγιση στο Σχεδιασμό των Κόμβων Δοκού-Υποστυλώματος από Ο/Σ". ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ, ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ Τ.Ε.Ε., Επιστημονική Περιοχή Α, Κατηγορία α1. (Πρωτότυπων, ερευνητικών, εκτεταμένων και ολοκληρωμένων δημοσιεύσεων), Τομ. 16, No 1-2, (1996), σελ. 69-82.

10. Tsonos A.G., "Shear Strength of Ductile Reinforced Concrete Beam-to-Column Connections, for Seismic Resistant Structures", Journal of the European Association for Earthquake Engineering, No 2, (1997), pp. 3-13.

11. Tsonos A.G., "Lateral Load Response of Strengthened Reinforced Concrete Beam-to-Column Joints", ACI Structural Journal, Jan.-Febr. 1999, pp.46-56.

12. Tsonos A.G. "Seismic Retrofit of R/C Beam-to-Column Joints using local Three-Sided Jackets", International Journal of European Earthquake Engineering and Engineering Seismology, No 1, (2001), pp.48-64.

13. Tsonos A.G., "Seismic Repair of Exterior R/C Beam-to-Column Joints using Two-Sided and Three-Sided Jackets", Structural Engineering and Mechanics, An International Journal, Vol. 13, No 1, (2002a), pp. 17-34.

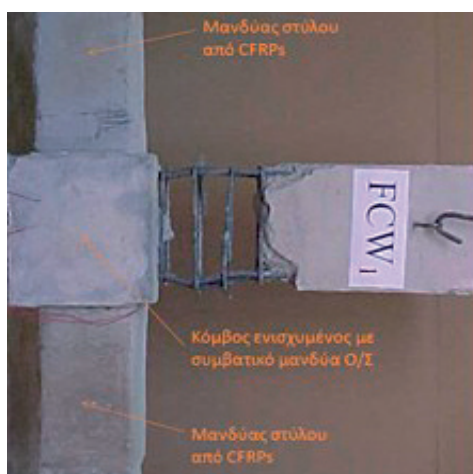
14. Tsonos A.G., "Seismic Repair of Reinforced Concrete Beam-Column Subassemblages of Modern Structures by Epoxy Injection Technique", Structural Engineering and Mechanics, An International Journal, Vol. 14, No 5, (2002b), pp. 543-563.

15. Tsonos A.G., "Cyclic Load Behaviour of Reinforced Concrete Beam-Column Subassemblages designed according to Modern Codes", Journal of European Earthquake engineering, No 3, (2006), pp. 3-21.

16. Tsonos A.G., "Cyclic Load Behaviour of Reinforced Concrete Beam-Column Subassemblages of Modern Structures", ACI Structural Journal, Vol. 194, No. 4, (2007), pp. 468-478.

17. Tsonos A.G., "Effectiveness of CFRP-Jackets and RC-Jackets in Post-earthquake and Pre-earthquake Retrofitting of Beam-Column Subassemblages", Engineering Structures, 30, (2008), pp. 777-793.

18. Tsonos A.G., "Performance Enhancement of R/C Building Columns and Beam-Column Joints through Shotcrete Jacketing", Engineering Structures, 32, (2010), pp. 726-740.



Σχήμα 1. Με βάση το προτεινόμενο μοντέλο του συγγραφέα δίνεται με σιγουριά η δυνατότητα σε ισχυρό σεισμό στις οικοδομές από οπλισμένο σκυρόδεμα να διατηρούν αλώβητους τους στύλους και τους κόμβους και να οδηγούνται οι βλάβες στις δοκούς

Σχήμα 2. Αντιθέτως εάν δεν χρησιμοποιηθεί το μοντέλο υπάρχει πιθανότητα να αστοχήσουν οι κόμβοι (όπως φαίνεται στο σχήμα) και να έχουμε καταρρεύσεις, που θέτουν σε μεγάλο κίνδυνο την ασφάλεια των ενοίκων των οικοδομών

Σχήμα 3. Μεγάλα τμήματα μοντέρνων οικοδομών: το A1 σχεδιασμένο βάσει των αμερικανικών κανονισμών ACI 318-05 και ACI-ASCE 352-02, τα E1 και E2 σχεδιασμένα βάσει των Ευρωπαϊκών κωδικών 2 και 8, και το G1 σχεδιασμένο βάσει των ελληνικών κανονισμών ΕΑΚ-2000 και ΕΚΩΣ-2000. Παρά τις προσδοκίες τα E1 και G1 αστόχησαν στον κόμβο και όχι στη δοκό.

Σχήμα 4. Εικόνα αστοχίας δοκιμίου με μεικτή ενίσχυση. Πρόταση που στηρίζεται στην αποτελεσματικότητα του μοντέλου και αποτελεί παγκόσμια πρωτοτυπία. Η συμπεριφορά του δοκιμίου σε σεισμό υπήρξε θεαματική. Το δοκίμιο αστόχησε αμιγώς στη δοκό αφήνοντας αλώβητο τον κόμβο.