

# Αποτίμηση Φέρουσας Ικανότητας Κόμβων Πλαισίων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα. Εφαρμογή στην Αποτίμηση και Ενίσχυση Υπάρχουσας Παλαιάς Οικοδομής

Δημήτριος Αν. Κουβέλης

Πολ. Μηγ/κός, Μεταπτ. Φοιτητής ΣΜΑ/ΣΘΕΤ, ΕΑΠ  
d.a.kouvelis@gmail.com , std104600@ac.eap.gr

Μαρίνα Μωρέττη

Επικ. Καθ. Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΕΜΠ  
και Μέλος ΣΕΠ ΣΜΑ/ΣΘΕΤ ΕΑΠ  
moretti@central.ntua.gr

**Περίληψη** – Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία κινείται σε δύο άξονες: στο θεωρητικό υπόβαθρο και στο πρακτικό μέρος. Στο θεωρητικό μέρος, γίνεται μια εκτενής βιβλιογραφική επισκόπηση σε επιστημονικά άρθρα που μελετούν τη συμπεριφορά των κόμβων δοκών – υποστυλωμάτων από Ο/Σ και εξετάζονται τα διάφορα μαθηματικά – αναλυτικά προσομοιώματα που έχουν κατά καιρούς προταθεί για την προσέγγιση της φέρουσας ικανότητας των κόμβων (τέμνουσα αντοχής, παραμορφώσεις κλπ). Επιλέγονται από τη διεθνή βιβλιογραφία πειράματα με αντικείμενο έρευνας την τέμνουσα αντοχής των κόμβων αυτών, με χρήση πραγματικών δοκιμών και συγκρίνονται τα πειραματικά αποτελέσματα με αυτά που προκύπτουν από την εφαρμογή των πειραματικών δεδομένων στα μαθηματικά μοντέλα που προαναφέρθηκαν.

Στόχος του θεωρητικού μέρους είναι να βρεθεί ποιο μοντέλο προσεγγίζει περισσότερο την πραγματική συμπεριφορά του κόμβου και να επιλεγεί αυτό για χρήση του στο μετέπειτα πρακτικό μέρος της εργασίας.

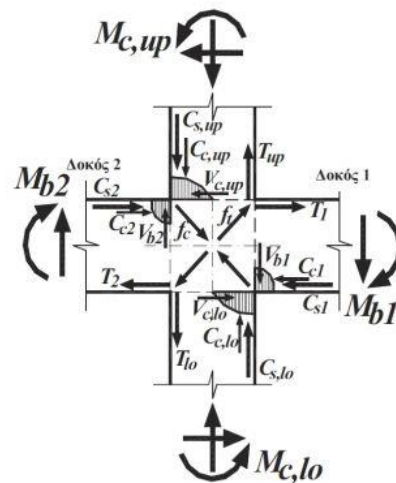
Στο πρακτικό μέρος ακολουθείται η κλασική μέθοδος της μελέτης περίπτωσης. Δηλαδή, χρησιμοποιούμε ένα ολοκληρωμένο πραγματικό παράδειγμα ως «οδηγό», προκειμένου να προσεγγισθεί το πρόβλημα αποτίμησης και ενίσχυσης ενός κτηρίου. Το εξεταζόμενο κτήριο είναι μια υφιστάμενη οικοδομή στην πόλη της Λαμίας, η οποία σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε κατά τη δεκαετία του 70, συνεπώς αποτελεί παράδειγμα για τη φέρουσα ικανότητα και γενικότερα για την επάρκεια των παλαιότερων κατασκευών. Οι αναλυτικές εξηγήσεις που θα γίνουν σε αυτό το παράδειγμα, που αποτελεί τη μελέτη περίπτωσης, βοηθούν στην αποσαφήνιση αρκετών εκ των θεωρητικών ζητούμενων που εμπεριέχονται στο αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Σκοπός του πρακτικού μέρους είναι, όπως αναφέρθηκε, η ολοκληρωμένη μελέτη ενός πραγματικού παραδείγματος αποτίμησης και ενίσχυσης μιας υφιστάμενης κατασκευής, με ιδιαίτερη νεία στο ρεαλιστικό τρόπο αποτίμησης της αντοχής των κόμβων δοκών - υποστυλωμάτων από Ο/Σ και τους πρακτικούς και εφαρμόσιμους τρόπους αποκατάστασής τους. Περαιτέρω ζητούμενα είναι η εξήγηση αρκετών εννοιών σχεδιασμού του ΚΑΝ.ΕΠΕ., μέσω της διαδικασίας προσομοίωσης του κτηρίου στο λογισμικό SAP2000, η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης καθώς και η εφαρμογή ενός μοντέλου αποτίμησης κόμβων στο κτήριο πριν και μετά την ενίσχυση.

**Λέξεις-Κλειδιά:** Κόμβοι, οπλισμένο σκυρόδεμα, αποτίμηση, ενίσχυση, προσομοίωμα

## I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όλοι οι σύγχρονοι κανονισμοί, κατά τον σχεδιασμό αντισεισμικών πλαισίων από οπλισμένο σκυρόδεμα, προβλέπουν ανελαστική απόκριση σε περίπτωση πραγματοποίησης του σεισμού σχεδιασμού. Έτσι, στα άκρα των δοκών και των υποστυλωμάτων που έχουν εισέλθει στην ανελαστική περιοχή, αναπτύσσονται οι μέγιστες δυνατές τιμές τεμνουσών δυνάμεων και ροπών. Αυτές εισάγονται στους κόμβους και θα πρέπει να μεταφερθούν ασφαλώς μέσω των κόμβων στα στοιχεία που συντρέχουν σε αυτούς. Η απόκριση των κόμβων στις δράσεις αυτές, που έχουν έντονα ανακυκλιζόμενο χαρακτήρα, θα πρέπει να είναι κατά το δυνατόν χωρίς βλάβες, δηλαδή ελαστική. Στις περιπτώσεις που αυτό δεν είναι δυνατό και οι κόμβοι υφίστανται πλαστικές παραμορφώσεις, θα πρέπει να μπορούν να διατηρούν τη μέγιστη αντοχή τους κατά τους ανελαστικούς κύκλους παραμόρφωσης και να έχουν την ικανότητα να απορροφούν μεγάλη υστερητική ενέργεια.



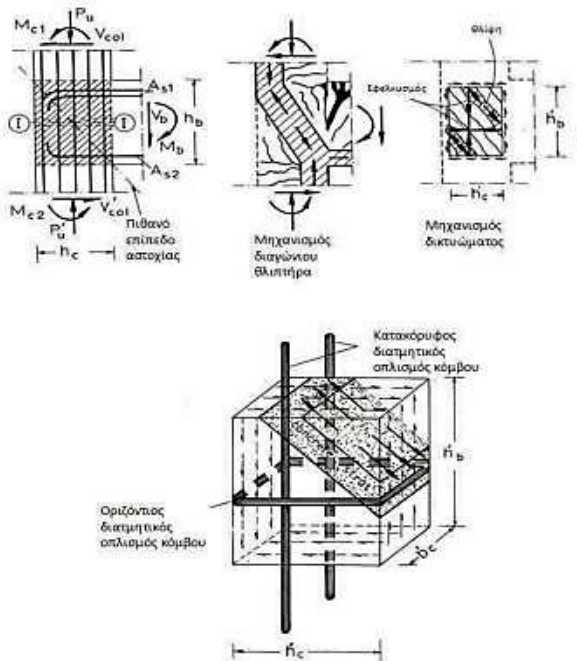
**Σχήμα 1.** Αναπτυσσόμενες δράσεις σε έναν τυπικό εσωτερικό κόμβο πλαισίου από Ο/Σ υπό σεισμική καταπόνηση (Καραγιάννης, Χρήστος Γ.)

## II. ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΜΑΤΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΟΜΒΩΝ

### A. Μοντέλο Τσόνου

Το “Tsonos model” είναι ένα νέο προσομοίωμα, με το οποίο αποτρέπεται με εξαιρετική ασφάλεια η αστοχία των κόμβων κτηρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η αποφυγή αστοχίας των κόμβων με τη χρήση του μοντέλου επιτυγχάνεται ως εξής:

1. Υπολογίζονται οι τάσεις αστοχίας των κόμβων δοκών – υποστρωμάτων του κτηρίου.
2. Διατηρούνται, με κατάλληλους υπολογισμούς, οι διατμητικές τάσεις οι οποίες καταπονούν τους κόμβους σε πολύ χαμηλά επίπεδα ώστε να παραμένουν οι κόμβοι στην ελαστική περιοχή κατά την ανακυκλιζόμενη φόρτιση. Τίθεται ο απαραίτητος οπλισμός κόμβου.
3. Με ειδικό υπολογισμό (βλ. σχ. 2) και αφού εξασφαλισθεί η ελαστική απόκριση των κόμβων, οι βλάβες οδηγούνται στις δοκούς, αφήνοντας τα υποστοιχώματα αλώβητα (ικανοτικός σχεδιασμός).
4. Εκφράζεται η διατμητική τάση στον κόμβο κατά τη διαρροή των οπλισμών των δοκών,  $\tau_{cal}$ , σε συνάρτηση με ένα συντελεστή διατμητικών τάσεων  $\gamma_{cal}$  και η διατμητική τάση αστοχίας του κόμβου ως συνάρτηση του αντίστοιχου συντελεστή διατμητικών τάσεων  $\gamma_{ul}$ . Κατά το μοντέλο, εφόσον  $\gamma_{cal} < \gamma_{ul}$ , δηλ.  $\gamma_{cal} / \gamma_{ul} < 1$ , θα προηγηθεί η διαρροή της δοκού της διαρροής του κόμβου.

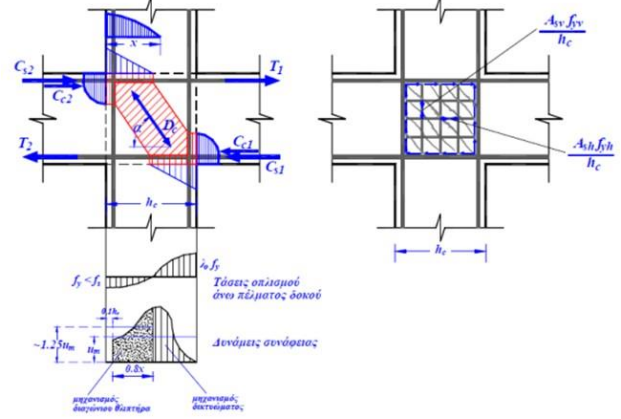


**Σχήμα 2.** Εξωτερικός κόμβος και μηχανισμοί παραλαβής τέμνουσας (μηχανισμός διαγώνιου θλιπτήρα και μηχανισμός δικτυώματος) (Καραγιάννης, Χρήστος Γ.)

### B. Μοντέλο Pauley - Priestley

Οι Pauley - Priestley (1992) πρότειναν ένα μοντέλο που συγκρίνει τη μέση κύρια τάση εφελκυσμού του κόμβου με κάποιες χαρακτηριστικές τιμές των κυρίων τάσεων εφελκυσμού, όπως αυτή που αντιστοιχεί στην εμφάνιση της πρώτης ρωγμής διάτμησης και αυτή που αντιστοιχεί στη μέγιστη αντοχή διάτμησης και πρότειναν τις σχέσεις  $\rho_i = 0,29(f_c')^{0,5}$  και  $\rho_i = 0,42(f_c')^{0,5}$  αντίστοιχα

για τις τιμές αυτές, για την περίπτωση εξωτερικών κόμβων που έχουν οπλισμό δοκού ο οποίος κάμπτεται εντός του κόμβου. Το μοντέλο έχει το πλεονέκτημα να είναι πολύ απλό και η μείωση της διατμητικής αντοχής εξετάζεται, επίσης, στους όρους της στροφής του κόμβου. Επιπλέον, εξετάζεται η επίδραση της αξονικής δύναμης.



**Σχήμα 3.** Μοντέλο μεταφοράς της τέμνουσας μέσω κόμβου. (Pauley & Priestley 1992)

### C. Λοιπά Μοντέλα

Παρατίθενται ενδεικτικά ορισμένα από τα μοντέλα της διεθνούς βιβλιογραφίας που μελετήθηκαν, καθώς και ο εκάστοτε καταστατικός τους νόμος.

Μοντέλο του Taylor (1974)

$$\tau_u = \left(3 + 2 \frac{d_c}{z_b}\right) \tau_c$$

Μοντέλο Sarsam & Philipps (1985)

$$\tau_c = 5,08(f_{cu}\rho_c)^{0,33} \left(\frac{h_c}{h_b}\right)^{1,33} b_c h_c \sqrt{1 + 0,29 \frac{P}{A_g}}$$

Μοντέλο Scott et al. (1994)

$$\tau_u = \frac{2\sqrt{f_{cu}}}{\left(\frac{z_c + z_b}{z_b} \frac{z_c}{z_c}\right)}$$

Μοντέλο Russo & Somma (2004)

$$\tau_u = f_{ct} \sqrt{1 + \frac{\sigma_{\alpha} + f_v}{f_{ct}}}$$

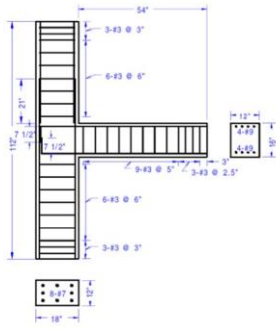
Μοντέλο Vollum (1998)

$$\tau_u = 0,642\beta \left[1 + 0,555\left(2 - \frac{h_b}{h_c}\right)\right] f'_c$$

## III. ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Για τον έλεγχο των θεωρητικών μοντέλων εκτίμησης της αντοχής σε τέμνουσα κόμβων από Ο/Σ, εξετάστηκαν τα πραγματικά δεδομένα 2 πειραμάτων σε κόμβους πλαισίων (Σχήματα 4 & 5) και σε αυτά εφαρμόστηκαν οι

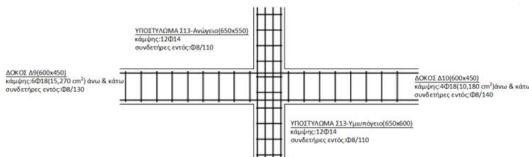
καταστατικοί νόμοι κάθε μοντέλου, προκειμένου να βρεθεί ποιο προσεγγίζει καλύτερα την πραγματική συμπεριφορά του κόμβου. Βρέθηκαν τα εξής:



Σχήμα 4. Λεπτομέρειες οπλισμών κόμβου για το δοκίμιο #2 (Clyde et al, 2000) (διαστάσεις σε ίντσες)

ΠΙΝΑΚΑΣ I  
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΣΟΜΙΩΜΑΤΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ ΔΕΣΤΟΧΙΑΣ ΚΟΜΒΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΩΝ CLYDE et al.

Μοντέλο	Τέμνουσα ασοχίας Vu (kN)	Απόκλιση (%)
Πείραμα	171	
Priestley	181,9	6,37%
Τσώνος	173,93	1,71%
Taylor	165	-3,51%
Sarsam & Philipps	193,2	12,98%
Scot et al	186,3	8,95%
Vollum	179,8	5,15%
Bakir & Boduroglu	166,7	-2,51%
Hegger et al	186,2	8,89%
Russo & Somma	177,3	3,68%
Mahajan	175,8	2,81%



Σχήμα 5. Κόμβος στα πειράματα Pantelidi et al (2002)

ΠΙΝΑΚΑΣ II  
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΣΟΜΙΩΜΑΤΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ ΔΕΣΤΟΧΙΑΣ ΚΟΜΒΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΩΝ PANTELIDI et al.

Μοντέλο	Τέμνουσα ασοχίας Vu (kN)	Απόκλιση (%)
Πείραμα	1844	
Priestley	2000,9	8,51%
Τσώνος	1831,93	-0,65%
Taylor	1980	7,38%
Sarsam & Philipps	2125,2	15,25%
Scot et al	2049,3	11,13%
Vollum	1977,8	7,26%
Bakir & Boduroglu	2000,4	8,48%
Hegger et al	2048,2	11,07%
Russo & Somma	1950,3	5,76%
Mahajan	1933,8	4,87%

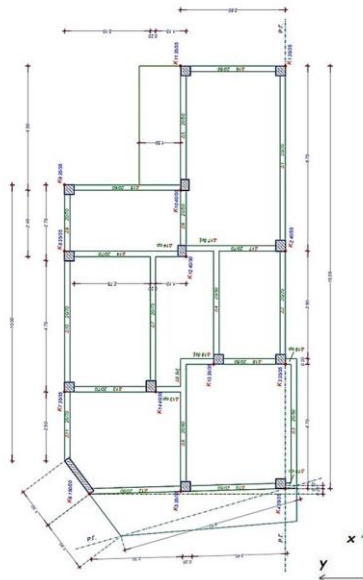
Παρατηρήθηκε, και στα δύο πειράματα, ότι το μοντέλο του Τσώνου προσεγγίζει καλύτερα την πραγματική συμπεριφορά των δοκιμών σκυροδέματος, ως εκ τούτου αυτό χρησιμοποιήθηκε και για την μελέτη περίπτωσης της εργασίας.

#### IV. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

##### A. Περιγραφή Φορέα

Το υπό μελέτη κτήριο είναι μία δώροφη οικοδομή (ισόγειο και Α' όροφος), με πρόβλεψη για προσθήκη ορόφου κατά τις αρχικές στατικές μελέτες, άνευ υπογείου και έχει θεμελιωθεί με μεμονωμένα πέλδια. Η οικοδομή αυτή βρίσκεται στην περιοχή «Καλύβια» Λαμίας και έχει

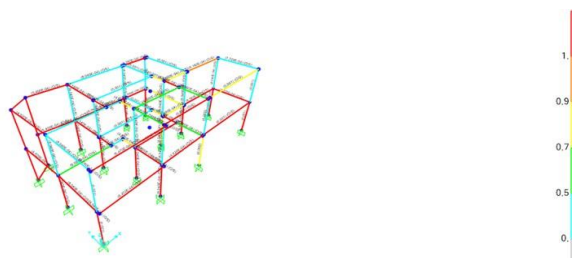
κατασκευαστεί το 1973, με βάση τον πρώτο Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (Β.Δ. 1959). Ο φ.ο. είναι κατασκευασμένος από οπλισμένο σκυρόδεμα. Σύμφωνα με την μελέτη χρησιμοποιήθηκε σκυρόδεμα ποιότητας Β160 και χάλυβας StI. Επιτρεπόμενη τάση εδάφους έχει ληφθεί ίση με  $\sigma_{εδ} = 2,5 \text{ kg/cm}^2$ . Κατά την περίοδο της μελέτης και της κατασκευής, η περιοχή ανήκε στη Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας Ι, με συντελεστή  $\epsilon = 0,04$ . Το συνολικό ύψος της κατασκευής είναι 6 m (ύψος ισόγειου = ύψος ορόφου = 3 m).



Σχήμα 6. Ξυλότυπος τυπικού ορόφου με επικαιροποιημένες όλες τις διαστάσεις των μελών

##### B. Αποτίμηση Κτηρίου

Η αποτίμηση έγινε σε 2 στάδια. Κατ' αρχήν ελέγχθηκαν όλα τα μέλη του φορέα υπό τις φορτίσεις και τους ελέγχους επάρκειας που προβλέπει ο Ευρωκώδικας EN1998-1. Ακολούθως έγινε ανάλυση Pushover για 8 συνδυασμούς φόρτισης, για να διερευνηθεί η μεταελαστική συμπεριφορά του φορέα. Εξετάστηκε ο φορέας για στάθμη επιτελεστικότητα Β1. Η προσομοίωση και ανάλυση έγινε με το λογισμικό SAP2000.



Σχήμα 7. Οπτική απεικόνιση επαρκών και μη επαρκών μελών. Ανεπάρκεια σε 22(από 52) δοκούς και σε 12 (από 26) υποστυλώματα

ΠΙΝΑΚΑΣ III

ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΣΤΟΧΟΙ ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ PUSHOVER ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ

Επίλυση Pushover	Μετακίνηση Στόχος (cm)	Μετακίνηση Β1 (cm)	ΚΡΙΤΗΡΙΟ
Τριγωνική +x	Δεν τέμνει το φάσμα	19,2	ΑΠΟΡΡΙΨΗ
Τριγωνική -x	Δεν τέμνει το φάσμα	32,1	ΑΠΟΡΡΙΨΗ
Ορθογωνική +x	17,5	31,1	ΑΠΟΡΡΙΨΗ
Ορθογωνική -x	12,4	24,1	ΑΠΟΡΡΙΨΗ
Τριγωνική +y	15,6	25,4	ΑΠΟΡΡΙΨΗ
Τριγωνική -y	16,8	45,3	ΑΠΟΡΡΙΨΗ
Ορθογωνική -y	13,2	38,6	ΑΠΟΡΡΙΨΗ
Ορθογωνική +y	10,1	26,7	ΑΠΟΡΡΙΨΗ



Σε καμία από τις φορτίσεις της Pushover ανάλυσης το κτήριο δεν φθάνει στη μετακίνηση στόχο. Σε 2 περιπτώσεις μάλιστα το φάσμα ικανότητας δεν τέμνεται με το φάσμα απαίτησης. Είναι απαραίτητο να γίνει ενίσχυση του φορέα. Επιλέγεται η μέθοδος των μανδύων σκυροδέματος.

### C. Ενίσχυση Κτηρίου

Έτσι, στα μεν υποστυλώματα προτάθηκε να γίνουν περιμετρικοί μανδύες από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (C30/37) πάχους 10 εκ., στις δε δοκούς το πάχος των μανδύων θεωρήθηκε 10 εκ. περιμετρικά στο τμήμα κάτω από την πλάκα και 5 εκ. στην άνω επιφάνειά του.

Στους μανδύες των υποστυλωμάτων θα τοποθετηθούν οπλισμοί Φ16 στις γωνίες και στις πλευρές με μέγιστη απόσταση μεταξύ διαδοχικών ράβδων τα 20 εκ. και συνδετήρες Φ10/15 εκ. Αντίστοιχα, στις δοκούς θα τοποθετηθούν 4Φ14 στο κάτω πέλμα, 2Φ14 ανά παρειά και 3Φ14 στο άνω πέλμα.

Από την ανάλυση προέκυψε επάρκεια όλων των μελών κατά τον Ευρωκώδικα και σε όλες τις φορτίσεις της Pushover ανάλυσης έχουμε ικανοποίηση των κριτηρίων της επιθυμητής στάθμης επιτελεστικότητας

ΠΙΝΑΚΑΣ IV

ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΣΤΟΧΟΙ ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ PUSHOVER ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ

Επίλυση Pushover	Μετακίνηση Στόχος (cm)	Μετακίνηση B1	ΚΡΙΤΗΡΙΟ
Τριγωνική +x	9,8	8,3	ΑΠΟΔΟΧΗ
Τριγωνική -x	8,7	8,2	ΑΠΟΔΟΧΗ
Ορθογωνική +x	9,2	8,7	ΑΠΟΔΟΧΗ
Ορθογωνική -x	7,5	7,1	ΑΠΟΔΟΧΗ
Τριγωνική +y	12,3	9,4	ΑΠΟΔΟΧΗ
Τριγωνική -y	7,5	7,3	ΑΠΟΔΟΧΗ
Ορθογωνική -y	10,5	9,7	ΑΠΟΔΟΧΗ
Ορθογωνική +y	10,5	9,2	ΑΠΟΔΟΧΗ

### D. Αποτίμηση Κόμβων με το Μοντέλο Τσώνου

Εξετάστηκαν 2 κόμβοι του κτηρίου (ένας εσωτερικός και ένας εξωτερικός - οι δυσμενέστεροι με βάση κριτήρια καταπόνησης συντρεχόντων μελών κλπ) με χρήση του μοντέλου Τσώνου. Έγιναν έλεγχοι αντοχής τους και κατά τις δύο διευθύνσεις.

ΠΙΝΑΚΑΣ V

ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΟΜΒΩΝ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ

Έλεγχος	Πριν την ενίσχυση								
	$V_{cal}$ (kN)	$\tau_{cal}$ (MPa)	$\gamma_{cal}$	$V_{ul}$	$\tau_{ul}$ (MPa)	$V_{ul}$ (kN)	$\gamma_{cal}/\gamma_{ul}$	$\tau_{pred}$ (MPa)	$V_{pred}$ (kN)
Μεσαίος Κόμβος y	289,346	2,067	0,533635	0,935010	3,621	506,979	0,571	2,067	289,346
Μεσαίος Κόμβος x	131,385	0,938	0,242310	0,893970	3,462	484,726	0,271	0,938	131,385
Άκραίος Κόμβος y	94,214	0,769	0,198579	0,752586	2,915	357,057	0,264	0,769	94,214
Άκραίος Κόμβος x	238,803	1,949	0,503335	0,935012	3,621	443,608	0,538	1,949	238,803

Έλεγχος	Μετά την ενίσχυση								
	$V_{cal}$ (kN)	$\tau_{cal}$ (MPa)	$\gamma_{cal}$	$V_{ul}$	$\tau_{ul}$ (MPa)	$V_{ul}$ (kN)	$\gamma_{cal}/\gamma_{ul}$	$\tau_{pred}$ (MPa)	$V_{pred}$ (kN)
Μεσαίος Κόμβος y	946,791	2,869	0,598893	0,975597	4,674	1542,324	0,614	2,869	946,791
Μεσαίος Κόμβος x	126,162	0,382	0,079804	0,864337	4,141	1366,433	0,092	0,382	126,162
Άκραίος Κόμβος y	371,977	1,230	0,251373	0,857259	4,194	1268,553	0,293	1,230	371,977
Άκραίος Κόμβος x	520,428	1,720	0,351693	0,996209	4,873	1474,169	0,353	1,720	520,428

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι σε όλες τις περιπτώσεις, η ενίσχυση του κτηρίου έδωσε σημαντική αύξηση (υπέρ 3-πλάσια) στην τέμνουσα αστοχίας  $V_{ul}$  των κόμβων.

Αναλύοντας περαιτέρω τα αποτελέσματα του ελέγχου των κόμβων, παρατηρούμε ότι, μετά την ενίσχυση, ο λόγος  $\gamma_{cal} / \gamma_{ul}$  αυξήθηκε σε όλες τις περιπτώσεις, πλην

αυτής του εσωτερικού κόμβου, κατά τη διεύθυνση X, όπου, όμως, δεν είχαμε ενίσχυση της συντρέχουσας δοκού. Το γεγονός αυτό ήταν αναμενόμενο, δεδομένου ότι υπάρχει ευθεία αναλογία μεταξύ της αύξησης του οπλισμού (ενίσχυση) και της αύξησης της  $V_{cal}$ , που οδηγεί, φυσικά, σε αύξηση του  $\gamma_{cal}$ . Επίσης, σε όλες τις περιπτώσεις έχουμε  $\gamma_{cal} / \gamma_{ul} < 1$ , πράγμα που είναι και το ζητούμενο του σχεδιασμού της ενίσχυσης κατά το μοντέλο Τσώνου.

## V. ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη θεωρητική διερεύνηση προέκυψε ότι το μοντέλο Τσώνου για την αποτίμηση της αντοχής κόμβου Ο/Σ και, συνακόλουθα, για τον σχεδιασμό της ενίσχυσής του, δίνει αποτελέσματα πολύ κοντά σ' αυτά που προκύπτουν από την πειραματική εξέταση – πλησιέστερα από κάθε άλλο θεωρητικό μοντέλο που εξετάστηκε.

Από τη μελέτη «περίπτωσης» επιβεβαιώθηκε η αποτελεσματικότητα της ενίσχυσης του φ. ο. παλαιών κτηρίων με μανδύες Ο/Σ και – μέσω του μοντέλου Τσώνου - η θετική επιρροή τους στην αντοχή των κόμβων.

Σημειώνεται ότι, θα πρέπει να δίνεται προσοχή στον σχεδιασμό της ενίσχυσης, ώστε η προαναφερθείσα αύξηση του λόγου  $\gamma_{cal} / \gamma_{ul}$  να μην τον οδηγήσει σε τιμές μεγαλύτερες της μονάδας (προτιμότερο να παραμείνει ο λόγος  $\gamma_{cal} / \gamma_{ul}$  μικρότερος του 0,8, ει δυνατόν κοντά στο 0,5).

Τέλος, από την εργασία προκύπτει ότι, παρά το γεγονός ότι το κτήριο που εξετάστηκε μελετήθηκε κατά τον εγκεκριμένο κανονισμό της εποχής και κατασκευάστηκε απολύτως σύμφωνα με την μελέτη, δεν ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις των αποδεκτών σταθμών επιτελεστικότητας για την κατηγορία του και εγείρεται, συνεπώς, το ερώτημα για την αναγκαιότητα ύπαρξης προγραμμάτων ενίσχυσης ή απόσυρσης κατασκευών αυτής της ηλικίας.

Όλα τα ανωτέρω χρήζουν επιβεβαίωσης, με επανάληψη της προταθείσας μεθοδολογίας, τόσο στο σύνολο των κόμβων της εξετασθείσας οικοδομής όσο και σε ικανό πλήθος υφιστάμενων κατασκευών, και στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Clyde, C. & Pantelides, C.P., 2002, "Seismic evaluation and rehabilitation of R/C exterior building joints", Proceedings of the 7th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Boston.
- Paulay, T. and Priestely, M.J.N., "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings", John Wiley & Sons, 1992.
- Prota, A.; Manfredi, G.; Nanni, A.; and Cosenza, E., "Selective Seismic Strengthening of RC Frames with Composites," Proceedings of the Seventh U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Boston, July 2002. (CD-ROM)
- Prota, A.; Nanni, A.; Manfredi, G.; and Cosenza, E., "Selective Upgrade of Beam-Column Joints with Composites," Proceedings of the International Conference on FRP Composites in Civil Engineering, Hong Kong, Dec. 2001.
- Shannag, M. J.; Barakat, S.; and Abdul-Kareem, M., "Cyclic Behavior of HPFRC-Repaired Reinforced Concrete Interior Beam-Column Joints," Materials and Structures, V. 35, 2002, pp. 348-356.
- Standard Association of New Zealand, "Code of Practice for the Design of Concrete Structures (NZS 3101:1982)," Wellington, 1982, Part 1, 127 pp., and Part 2, 156 pp.
- Tsonos, A. G., and Stylianidis, K., "Seismic Retrofit of Beam-to-Column Joints with High-Strength Fiber Jackets," European Earthquake Engineering, V. 16, No. 2, 2002, pp. 56-72.

- Tsonos, A. G., "Seismic Rehabilitation of Reinforced Concrete Joints by the Removal and Replacement Technique," *European Earthquake Engineering*, No. 3, 2001, pp. 29-43.
- Tsonos, A. G., "Seismic Retrofit of R/C Beam-to-Column Joints using Local Three-Sided Jackets," *European Earthquake Engineering*, No. 1, 2001, pp. 48-64.
- Tsonos, A. G., "Seismic Repair of Exterior R/C Beam-to-Column Joints Using Two-Sided and Three-Sided Jackets," *Structural Engineering and Mechanics*, V. 13, No. 1, 2002, pp. 17-34.
- Καραγιάννης, Χρήστος Γ., "Σχεδιασμός συμπεριφοράς κατασκευών από ωπλισμένο σκυρόδεμα έναντι σεισμού", Εκδόσεις Σοφία Α.Ε., Θεσσαλονίκη 2013, σ. 320, 463, 475