

ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΟΜΒΩΝ ΔΟΚΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΚΑΝ.ΕΠΕ.

ΑΡΜΑΟΣ ΘΩΜΑΣ-ΦΩΤΗΣ
ΜΑΥΡΙΔΗΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

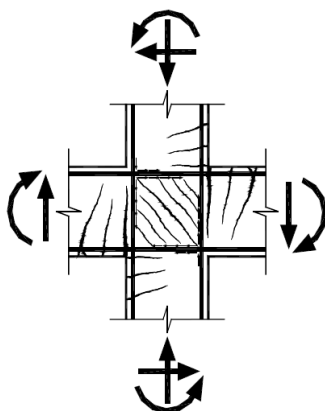
Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετάται η αντοχή των κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων σε διάτμηση και οι μέθοδοι ενίσχυσης τους. Παραθέτονται και αναλύονται πλήρως δυο ξεχωριστά παραδείγματα ανάλογα με το ποιο είναι οι πιο αδύναμοι φορείς που συντρέχουν στον κόμβο και στη συνέχεια μελετάται η επίδραση κάθε στοιχείου της κατασκευής στα αποτελέσματα. Έτσι, καταλήγουμε σε συμπεράσματα για το ποια χαρακτηριστικά της κατασκευής επηρεάζουν περισσότερο τα αποτελέσματα και το ποιες τεχνικές ενίσχυσης των κόμβων είναι ευκολότερα εφαρμόσιμες βάση των τεμνουσών που εισάγονται σε αυτόν και των τεχνικών προδιαγραφών των μεθόδων ενίσχυσης και επισκευής.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1.ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΚΟΜΒΟΥΣ ΔΟΚΩΝ-ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ [1][2]

Οι κόμβοι δοκών-υποστυλωμάτων είναι ίσως από τα πιο σημαντικά δομικά στοιχεία των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος. Όπως έχουμε δει από σεισμούς, κυρίως στη χώρα μας, οι κόμβοι είναι ιδιαίτερα ευπαθή στοιχεία. Αυτό οφείλεται σε πολλούς λόγους, όπως α) η μεγάλη διάτμηση στην οποία υπόκεινται οι κόμβοι, β) το γεγονός ότι οι κόμβοι δεν σχεδιάζονται και δε διαστασιολογούνται σαν ξεχωριστά στοιχεία αλλά θεωρούμε ότι αρκούν οι οπλισμοί των δοκών και των υποστυλωμάτων που συντρέχουν σε κάθε κόμβο, γ) η κακή σκυροδέτηση λόγω μεγάλης πυκνότητας οπλισμών στον κόμβο και δ) η κρισιμότητα του κόμβου για την ασφάλεια ολόκληρου του φορέα. Από αποτελέσματα σεισμών έχει διαπιστωθεί ότι συχνά οι κόμβοι είναι τα πρώτα σημεία που αρχίζει η αστοχία. Ακόμη, όλοι οι σύγχρονοι αντισεισμικοί κανονισμοί προβλέπουν ότι στα άκρα των δοκών και των υποστυλωμάτων που έχουν εισέλθει στην ανελαστική περιοχή λόγω σεισμού αναπτύσσονται οι μέγιστες δυνατές τιμές τεμνουσών και ροπών κάμψης, μεγαλύτερες από τις τιμές σχεδιασμού. Επομένως αυτές οι τιμές εισάγονται στον κόμβο με αποτέλεσμα η ένταση του κόμβου να είναι ιδιαίτερα μεγάλη και κρίσιμη. Για τους παραπάνω λόγους, όπου κρίνεται απαραίτητο εφαρμόζονται τεχνικές επισκευής και ενίσχυσης των κόμβων.



Σχήμα 1: Τρόπος ρηγμάτωσης του κόμβου [2]

1.2.ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΚΟΜΒΩΝ[2][3]

Οι κυριότερες τεχνικές ενίσχυσης κόμβων είναι: α) ο μανδύας σκυροδέματος, β) η χρήση χιαστί κολλάρων και γ) η χρήση επικολλητών φύλλων. Οι ενισχύσεις των κόμβων με αυτές

τις τεχνικές γίνονται με βάση τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. και τα κεφάλαια 7-§7.2.5 και 8-§8.3 για έλεγχο και ενίσχυση κόμβων αντίστοιχα.

Οι παραπάνω τεχνικές εφαρμόζονται με στόχο την αποφυγή της αστοχίας των κόμβων. Η κυριότερη μορφή αστοχίας είναι η διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση του πυρήνα του κόμβου ενώ δεν αποκλείεται να υπάρξει και αστοχία του πυρήνα λόγω διαγώνιας θλίψης, φαινόμενο που είναι όμως λιγότερο πιθανό.

1.3.ΣΤΟΧΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Είναι όμως οι παραπάνω τεχνικές εφαρμόσιμες σε κάθε περίπτωση; Διότι, οι κόμβοι είναι δύσκολα σημεία προς ενίσχυση εξ αιτίας των πολλών φορέων που συνδέουν, δηλαδή των δοκαριών, των υποστυλωμάτων και των πλακών. Ακόμη, γνωρίζουμε ότι οι παλαιότερες κατασκευές δεν πληρούν τους κανονισμούς που υπάρχουν τώρα, όπως επίσης και ότι για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνταν σκυρόδεμα και χάλυβας χαμηλότερης ποιότητας από αυτά που χρησιμοποιούνται κατά κόρον σήμερα στις κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος. Είναι συχνό φαινόμενο στις παλαιές κατασκευές να μην υπάρχει ο απαραίτητος οπλισμός διάτμησης σε δοκάρια και υποστυλώματα με αποτέλεσμα οι κόμβοι να είναι σχεδόν άοπλοι σε διάτμηση. Επομένως, έχει ενδιαφέρον να μελετήσουμε το πώς διαφοροποιούνται τα αποτελέσματα για την ενίσχυση, αν έχουμε χειρότερη ποιότητα σκυροδέματος ή χειρότερη ποιότητα χάλυβα ή ακόμη και ελλιπείς οπλισμούς. Ακόμη, οι διαστάσεις του κόμβου, δηλαδή οι διαστάσεις των δοκαριών και των υποστυλωμάτων που συντρέχουν σε αυτόν, το άνοιγμα των δοκαριών, το ύψος του ορόφου, όπως και η γεωμετρία του φορέα είναι παράγοντες που πρέπει να λάβουμε υπ' όψη μας και να ελέγξουμε πόσο επηρεάζουν τα αποτελέσματα της ενίσχυσης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει ακόμη να μελετήσουμε ποιοι κόμβοι είναι οι πιο επικίνδυνοι σε μία υπάρχουσα κατασκευή. Πρέπει δηλαδή να δούμε σε ποιούς κόμβους δοκών και υποστυλωμάτων είναι πιο πιθανό να επέλθει αστοχία όπως επίσης και σε ποιους κόμβους μια πιθανή ενίσχυση είναι δυσκολότερα εφαρμόσιμη.

2.ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ [3][4][5][6]

2.1.ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Με βάση τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. υπάρχουν δύο διαφορετικές περιπτώσεις που επηρεάζουν την διάτμηση στην οποία υπόκειται ο κόμβος. Αν οι ροπές αντοχής των υποστυλωμάτων (ΣM_{yc}) που συντρέχουν στον κόμβο είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες ροπές αντοχής των δοκαριών (ΣM_{yb}), τότε, επειδή τα δοκάρια είναι πιο αδύναμα, εισάγουν διατμητική δύναμη στον κόμβο. Αντίθετα, αν οι ροπές αντοχής των δοκών (ΣM_{yb}) είναι μεγαλύτερες από αυτές των υποστυλωμάτων (ΣM_{yc}), τότε τα αδύναμα υποστυλώματα είναι αυτά που εισάγουν διατμητική δύναμη στον κόμβο. Έτσι, τα δυο πρώτα παραδείγματα που ελέγχθηκαν αφορούν αυτές τις δυο περιπτώσεις. Η γεωμετρία του κόμβου που επιλέχθηκε για τα δυο αυτά παραδείγματα είναι ένας κόμβος στον οποίο συντρέχουν δυο υποστυλώματα και δυο δοκάρια. Έπειτα γίνονται αλλαγές σε συγκεκριμένα δεδομένα του φορέα για να διαπιστώσουμε πώς επηρεάζει κάθε χαρακτηριστικό την ενίσχυση του κόμβου.

2.2.ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΜΕ $\Sigma M_{yc} > \Sigma M_{yb}$

Στο πρώτο παράδειγμα που ελέγχθηκε λοιπόν έχουν επιλεγεί τα δεδομένα του κόμβου με βάση τις πιο συνηθισμένες κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος στην Ελλάδα και με έλεγχο των κατασκευαστικών διατάξεων, όπως για παράδειγμα των ελάχιστων οπλισμών. Στον κόμβο όπως ήδη αναφέραμε συντρέχουν δυο υποστυλώματα και δύο δοκάρια. Έτσι έχουμε: μήκος υποστυλώματος $h_c=0.3m$, πλάτος υποστυλώματος $b_c=0.3m$, ύψος δοκού $h_b=0.6m$, πλάτος δοκού $b_w=0.25m$, άνοιγμα δοκού $L=6m$, ύψος ορόφου $h=3m$, σκυρόδεμα C16/20, χάλυβας S400, συνδετήρες δοκών $\Phi 8/160mm$ και συνδετήρες υποστυλωμάτων $\Phi 8/200mm$. Οι οπλισμοί των δοκών είναι $4\Phi 14=615mm^2$ πάνω και κάτω και οι οπλισμοί των

υποστυλωμάτων $4\Phi 20=1256\text{mm}^2$ σε κάθε πλευρά. Οι οπλισμοί αυτοί επιλέχθηκαν με βάση τους ελάχιστους οπλισμούς από τις κατασκευαστικές διατάξεις του ΕΚΩΣ2000 και λίγο προσαυξημένοι έτσι ώστε ο κόμβος να χρειαστεί σίγουρα ενίσχυση. Με τα δεδομένα αυτά, η ροπή αντοχής κάθε δοκού είναι $M_{yb}=110.7\text{ kNm}$ και η ροπή αντοχής κάθε υποστυλώματος $M_{yc}=134.11\text{ kNm}$. Άρα, $\Sigma M_{yb}=221.4\text{ kNm}$ και $\Sigma M_{yc}=268.22\text{ kNm}$.

$$V_{jh} = \Sigma M_{yb} * [1/z_b - L_b / (h_{st} * L_{bn})] = 221.4 * [1 / (0.6 - 0.08) - (6 + 0.3) / (6 * 3)] = 348.2\text{ kN} \quad (\text{KAN.EΠΕ. εξίσωση } (\Sigma.10)) \quad (1)$$

$$\tau_j = V_{jh} / (h_c * b_j) * 10^{-3} = 3.86\text{ MPa} \quad (2)$$

-Για άοπλο κόμβο έχουμε:

$$\tau_c = f_{ct} * \sqrt{(1 + v_{top} * f_c / f_{ct})} = 3.2\text{ MPa} \quad (\text{KAN.EΠΕ. } \S 7.2.5. \text{ εξίσωση } (3)) \quad (3)$$

Για v_{top} παίρνουμε αυτό για το οποίο η ροπή αντοχής του υποστυλώματος έβγαине μέγιστη, δηλαδή $v_{top}=0.4$. Το f_{ct} , σύμφωνα με τον ΕΚΩΣ2000 παίρνει τιμές από $0.7f_{ctm}$ ως $1.3f_{ctm}$ όπου $f_{ctm}=0.3f_{ck}^{2/3}=1.9\text{ MPa}$. Στα παραδείγματα αυτά, λαμβάνεται το f_{ct} που δίνει τα δυσμενέστερα αποτελέσματα, το οποίο είναι το $f_{ct}=0.7f_{ctm}=1.33\text{ MPa}$. Άρα, αφού $\tau_j > \tau_c$, υπάρχει πρόβλημα ρηγμάτωσης, οπότε πρέπει να ενισχύσουμε τον κόμβο.

-Για οπλισμένο κόμβο έχουμε:

$$\tau_c = f_{ct} * \sqrt{(1 + \rho_{jh} * f_{yw} / f_{ct})} (1 + v_{top} * f_c / f_{ct}) = 3.9\text{ MPa} \quad (\text{KAN.EΠΕ. } \S 7.2.5. \text{ εξίσωση } (4)) \quad (4)$$

Στον κόμβο οι συνδετήρες που αναλαμβάνουν την τέμνουσα που εισάγουν οι δοκοί είναι οι συνδετήρες των υποστυλωμάτων οι οποίοι είναι $\Phi 8/200\text{mm}$, άρα χωράνε 3 στον κόμβο. Έτσι, $\rho_{jh} = A_{sh} / (b_j * h_b) = 2 * 50 * 3 / (600 * 300) = 0.0016$. Άρα, στην περίπτωση αυτή, αφού $\tau_j < \tau_c$, δεν υπάρχει πρόβλημα ρηγμάτωσης, οπότε ο οπλισμένος κόμβος δε χρειάζεται ενίσχυση.

-Έλεγχος σε διαγώνια θλίψη του πυρήνα

$$\tau_{ju} = n * f_c * \sqrt{1 - v_{top} / n} = 4.82\text{ MPa} \quad (\text{KAN.EΠΕ. } \S 7.2.5. \text{ εξίσωση } (5)) \quad (5)$$

$$\text{όπου } n = 0.6(1 - f_c / 250) = 0.5616 \quad (6)$$

Οπότε ο κόμβος δεν έχει πρόβλημα σε διαγώνια θλίψη αφού $\tau_j < \tau_{ju}$.

-Προσθήκη μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος

$$V_{jv} = V_{jh} * h_b / h_c = 348.2 * 0.6 / 0.3 = 696.5\text{ kN} \quad (\text{KAN.EΠΕ. εξίσωση } (\Sigma 8.12)) \quad (7)$$

$$A_{jh} = V_{jh} / (f_{ywd} * \gamma_{rd}) = 348.2 / (0.4 / 1.15 * 1.5) = 667.5\text{ mm}^2 \quad (\text{KAN.EΠΕ. εξίσωση } (8.21)) \quad (8)$$

$$A_{jv} = V_{jv} / (f_{ywd} * \gamma_{rd}) = 696.5 / (0.4 / 1.15 * 1.5) = 1335\text{ mm}^2 \quad (\text{KAN.EΠΕ. εξίσωση } (8.22)) \quad (9)$$

-Προσθήκη χιαστί κολλάρων από χαλύβδινα στοιχεία

$$F_{j\delta} = V_{jv} * h_\delta / h_b = 696.5 * 0.67 / 0.6 = 778.77\text{ kN} \quad (\text{KAN.EΠΕ. εξίσωση } (\Sigma 8.14)) \quad (10)$$

$$A_{j\delta} = F_{j\delta} / (f_{yd} * \gamma_{rd}) = 778.77 / (0.4 / 1.15 * 2) = 1119\text{ mm}^2 \quad (\text{KAN.EΠΕ. εξίσωση } (8.23)) \quad (11)$$

-Αποκατάσταση "ίσης" διατομής και προσθήκη οπλισμών στον κόμβο

$$A_{jhtot} = \gamma_{rd} * V_{jh}/f_{ywd} = 1.5 * 348.2 / (0.4/1.15) = 1502 \text{ mm}^2 \text{ (KAN.EΠΕ. εξίσωση (8.25))} \quad (12)$$

$$A_{jvtot} = \gamma_{rd} * V_{jv}/f_{ywd} = 1.5 * 696.5 / (0.4/1.15) = 3004 \text{ mm}^2 \text{ (KAN.EΠΕ. εξίσωση (8.26))} \quad (13)$$

-Προσθήκη επικολητών ελασμάτων από πολυμερή

Μέτρο ελαστικότητας: $E = 200 \text{ GPa}$ και $f_{jk} = 525 \text{ MPa}$

$$t_{jh} = V_{jh}/h_b * \sigma_{jd} \text{ και } t_{jv} = V_{jv}/h_c * \sigma_{jd} \text{ (KAN.EΠΕ. εξίσωση (8.24))} \quad (14)$$

$$\text{και } \sigma_{jd} = f_{jk}/\gamma_m \text{ (KAN.EΠΕ. εξίσωση (8.14))} \quad (15)$$

$$\text{ή } \sigma_{jd} = \sigma_{j,crit}/\gamma_{rd} \text{ (KAN.E ΠΕ. εξίσωση (8.15))} \quad (16)$$

$$\text{Με } \sigma_{j,crit} = \beta * (\tau_b^{αποκ.} / t_j) * L_e \text{ (KAN.EΠΕ. εξίσωση (Σ8.10))} \quad (17)$$

$$\text{Και } L_e = \sqrt{\frac{E_j t_j}{2 f_{ctm}}} \text{ (KAN.EΠΕ. εξίσωση (Σ8.10))} \quad (18)$$

$$\sigma_{j,davτοχής} = 525/1.2 = 437.5 \text{ MPa} \quad (19)$$

$$L_e = \sqrt{\frac{200000 * 0.1}{2 * 1.9}} = 72.5 \text{ mm} \quad (20)$$

$$\sigma_{j,crit} = (1.9/0.1) * (\sqrt{2}/2) * 72.5 * 0.65 = 633 \text{ MPa} \quad (21)$$

$$\sigma_{j,dαποκολλησης} = 527.6 \text{ MPa} \quad (22)$$

$$t_{jh} = V_{jh}/h_b * \sigma_{jd} = 1.3 \text{ mm} \quad (23)$$

$$t_{jv} = V_{jv}/h_c * \sigma_{jd} = 5.3 \text{ mm} \quad (24)$$

2.3.ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΜΕ $\Sigma M_{yc} < \Sigma M_{yb}$

Σε αυτή την περίπτωση, τα υποστυλώματα είναι πιο αδύναμα από τα δοκάρια οπότε τα υποστυλώματα εισάγουν κατακόρυφη τέμνουσα στον κόμβο και επηρεάζουν διαφορετικά την ενίσχυση του κόμβου. Στον κόμβο συντρέχουν δυο υποστυλώματα και δύο δοκάρια. Έχουμε πάλι: μήκος υποστυλώματος $h_c = 0.3 \text{ m}$, πλάτος υποστυλώματος $b_c = 0.3 \text{ m}$, ύψος δοκού $h_b = 0.6 \text{ m}$, πλάτος δοκού $b_w = 0.25 \text{ m}$, άνοιγμα δοκού $L = 6 \text{ m}$, ύψος ορόφου $h = 3 \text{ m}$, σκυρόδεμα C16/20, χάλυβα S400, συνδετήρες δοκών $\Phi 8/160 \text{ mm}$ και συνδετήρες υποστυλωμάτων $\Phi 8/200 \text{ mm}$. Οι οπλισμοί των δοκών είναι $4\Phi 16 = 804 \text{ mm}^2$ πάνω και κάτω και οι οπλισμοί των υποστυλωμάτων $4\Phi 20 = 1256 \text{ mm}^2$ σε κάθε πλευρά. Με τα δεδομένα αυτά, η ροπή αντοχής κάθε δοκού είναι $M_{yb} = 143.34 \text{ kNm}$ και η ροπή αντοχής κάθε υποστυλώματος $M_{yc} = 134.11 \text{ kNm}$. Άρα, $\Sigma M_{yb} = 286.68 \text{ kNm}$ και $\Sigma M_{yc} = 268.22 \text{ kNm}$. Οι τέμνουσες των δοκών αριστερά και δεξιά του κόμβου με ανάλυση σε σεισμό προκύπτουν ως εξής: για $q_d = G + 0.3Q = 45 \text{ kN/m}$,

$$V_1 = 5/8 * q_d * L + (M_B - M_A)/L = 5/8 * 45 * 6 + (-143.34 - 143.34)/6 = -216.53 \text{ kN} \quad (25)$$

$$V_1 = 5/8 * q_d * L + (M_B - M_A)/L = 5/8 * 45 * 6 + (-143.34 - 143.34)/6 = 120.97 \text{ kN} \quad (26)$$

$$V_{jv} = \Sigma M_{yc} * [1/z_c - h_{st}/(L_b * h_{stn})] + 0.5 |V_l - V_r| = 268.22 * [1/(0.3 - 0.06) - 3/(6.3 * 2.4)] + 0.5 * (216.53 + 120.97) = 1233.1 \text{ kN (ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (Σ.11))} \quad (27)$$

$$\tau_j = V_{jv}/(h_b * b_j) * 10^{-3} = 6.85 \text{ MPa} \quad (28)$$

-Για άοπλο κόμβο έχουμε:

$$\tau_c = f_{ct} * \sqrt{(1 + \nu_{top} * f_c/f_{ct})} = 3.2 \text{ MPa (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §7.2.5. εξίσωση (3))} \quad (29)$$

Με $\nu_{top} = 0.4$ και $f_{ct} = 0.7f_{ctm} = 1.33 \text{ MPa}$, όπως αναφέραμε στο προηγούμενο παράδειγμα. Άρα, αφού $\tau_j > \tau_c$, υπάρχει πρόβλημα ρηγμάτωσης, οπότε πρέπει να ενισχύσουμε τον κόμβο.

-Για οπλισμένο κόμβο έχουμε:

$$\tau_c = f_{ct} * \sqrt{(1 + \rho_{jh} * f_{yw}/f_{ct})(1 + \nu_{top} * f_c/f_{ct})} = 4.1 \text{ MPa (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §7.2.5. εξίσωση (4))} \quad (30)$$

Στην περίπτωση αυτή, οι συνδετήρες που αναλαμβάνουν την τέμνουσα που εισάγουν τα υποστυλώματα είναι οι συνδετήρες των δοκών οι οποίοι είναι $\Phi 8/160\text{mm}$, άρα χωράνε 2 στον κόμβο. Έτσι, $\rho_{jh} = A_{sh}/(b_j * h_b) = 2 * 50 * 2 / (300 * 300) = 0.0022$. Άρα, αφού $\tau_j > \tau_c$, υπάρχει και στον οπλισμένο κόμβο πρόβλημα ρηγμάτωσης, οπότε πρέπει πάλι να ενισχύσουμε τον κόμβο.

-Έλεγχος σε διαγώνια θλίψη του πυρήνα

$$\tau_{ju} = n * f_c * \sqrt{1 - \nu_{top}/n} = 4.82 \text{ MPa (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §7.2.5. εξίσωση (5))} \quad (31)$$

$$\text{όπου } n = 0.6(1 - f_c/250) = 0.5616 \quad (32)$$

Οπότε ο κόμβος δεν έχει πρόβλημα σε διαγώνια θλίψη αφού $\tau_j < \tau_{ju}$.

-Προσθήκη μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος

$$V_{jh} = V_{jv} * h_c/h_b = 348.2 * 0.3/0.6 = 616.5 \text{ kN (ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (Σ8.13))} \quad (33)$$

$$A_{jh} = V_{jh}/(f_{ywd} * \gamma_{rd}) = 616.5 / (0.4/1.15 * 1.5) = 1181 \text{ mm}^2 \text{ (ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (8.21))} \quad (34)$$

$$A_{jv} = V_{jv}/(f_{ywd} * \gamma_{rd}) = 1233.1 / (0.4/1.15 * 1.5) = 2363 \text{ mm}^2 \text{ (ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (8.22))} \quad (35)$$

-Προσθήκη χιαστί κολλάρων από χαλύβδινα στοιχεία

$$F_{j\delta} = V_{jv} * h_\delta/h_b = 1233.1 * 0.67/0.6 = 1378.66 \text{ kN (ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (Σ8.14))} \quad (36)$$

$$A_{j\delta} = F_{j\delta}/(f_{yd} * \gamma_{rd}) = 1378.66 / (0.4/1.15 * 2) = 1981 \text{ mm}^2 \text{ (ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (8.23))} \quad (37)$$

-Αποκατάσταση "ίσης" διατομής και προσθήκη οπλισμών στον κόμβο

$$A_{jhtot} = \gamma_{rd} * V_{jh}/f_{ywd} = 1.5 * 616.5 / (0.4/1.15) = 2658 \text{ mm}^2 \text{ (ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (8.25))} \quad (38)$$

$$A_{jvtot} = \gamma_{rd} * V_{jv}/f_{ywd} = 1.5 * 1233.1 / (0.4/1.15) = 5317 \text{ mm}^2 \text{ (ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (8.26))} \quad (39)$$

-Προσθήκη επικολλητών ελασμάτων από χάλυβα

Μέτρο ελαστικότητας: $E= 200 \text{ GPa}$ και $f_{jk}=235 \text{ MPa}$

Χρησιμοποιούμε την εξίσωση : $t_{ελ} \geq \max(V_{jh}/h_b \cdot \sigma_{jd} , V_{jv}/h_c \cdot \sigma_{jd})$ (KAN.ΕΠΕ. εξίσωση (8.24)) και χρησιμοποιούμε τον μεγαλύτερο εκ των δύο όρων : $\max(V_{jh}/h_b , V_{jv}/h_c)$. Έπειτα πρέπει να βρούμε το σ_{jd} το οποίο αποτελείται από δύο τιμές, αυτή της αντοχής και αυτή της αποκόλλησης, και τελικά χρησιμοποιούμε την μικρότερη.

Προκύπτει $\max(V_{jh}/h_b , V_{jv}/h_c) = 2321.67 \text{ KN/m}$

$$\sigma_{jd} = f_{jk}/\gamma_m \text{ (KAN.ΕΠΕ. εξίσωση (8.14))} \quad (40)$$

$$\sigma_{jd} = \sigma_{j,crit}/\gamma_{rd} \text{ (KAN.ΕΠΕ. εξίσωση (8.15))} \quad (41)$$

$$\text{Με } \sigma_{j,crit} = \beta \cdot (\tau_b^{αποκ.} / t_j) \cdot L_e \text{ (KAN.ΕΠΕ. εξίσωση (Σ8.10))} \quad (42)$$

$$\text{Και } L_e = \sqrt{\frac{E_j t_j}{2f_{ctm}}} \text{ (KAN.ΕΠΕ. εξίσωση (Σ8.10))} \quad (43)$$

Χρησιμοποιώντας $\sigma_{jd,αποκόλλησης} = (1/\sqrt{2}) \cdot (1.9/ t_{ελ}) \cdot \sqrt{\frac{200000 t_j}{2 \cdot 1.9}}$ την αντικαθιστούμε στην (KAN.ΕΠΕ. εξίσωση (8.24)) τη μέγιστη τιμή που βρήκαμε παραπάνω και καταλήγουμε μετά από απλοποιήσεις σε αποτέλεσμα $t_{ελ} = 2.7 \text{ mm}$ όπου για αυτή την τιμή $\sigma_{jd,αποκόλλησης} = 190 \text{ MPa}$ ενώ $\sigma_{jd} = f_{jk}/\gamma_m = 195.8 \text{ MPa}$. (πάντα βρίσκουμε και χρησιμοποιούμε το μικρότερο σ_{jd})

2.4.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Από το παράδειγμα (§2.2) ,όπου ισχύει $\Sigma M_{yc} > \Sigma M_{yb}$, χρησιμοποιήσαμε τα ίδια δεδομένα με εξαίρεση την ποιότητα του σκυροδέματος με σκοπό να εξάγουμε συμπεράσματα για την επιρροή αυτού του όρου στην αντοχή του κόμβου έναντι διαγώνιας θλίψης τ_{ju} και εφελκυστικής ρηγμάτωσης τ_c . Ο παρακάτω πίνακας μας δίνει μια σαφή εικόνα της επιρροής αυτής.

f_c (MPa)	τ_c (άοπλος κόμβος)	τ_c (οπλισμ. κόμβος)	τ_{ju}	τ_i
12	2.59	3.3	3.56	3.84
16	3.2	4.0	4.56	3.87
20	3.91	4.67	15.0	3.88

Πίνακας 1: Σχέση ποιότητας σκυροδέματος – αντοχής κόμβου , διατμητικής τάσης

Παρατηρούμε ότι με την αύξηση της ποιότητας του σκυροδέματος αυξάνεται όπως είναι λογικό η αντοχή του κόμβου σε διαγώνια θλίψη και εφελκυστική ρηγμάτωση (τ_{ju} , τ_c αντίστοιχα) όπως επίσης παρουσιάζει πολύ μικρή αύξηση η διατμητική τάση που εισάγεται στον κόμβο, λόγω της αύξησης των ροπών αντοχής των φορέων που περιβάλλουν τον κόμβο. Τέλος, παρατηρούμε ότι για ποιότητα σκυροδέματος C20/25 η αντοχή του κόμβου έναντι διαγώνιας εφελκυστικής ρηγμάτωσης είναι μεγαλύτερη από την διατμητική τάση που εισάγεται στον κόμβο, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την πολύ μεγάλη αύξηση της αντοχής του κόμβου σε διαγώνια θλίψη. Αυτό συμβαίνει καθώς χρησιμοποιείται διαφορετικός τύπος για την αντοχή σε διαγώνια θλίψη ανάλογα με τη σχέση του τ_c (αντοχή κόμβου σε εφελκυστική ρηγμάτωση) και του τ_j (διατμητική τάση που εισάγεται στον κόμβο)

$$\tau_{ju} = n \cdot f_c \cdot \sqrt{1 - v_{top}/n} = 4.82 \text{ MPa (KAN.ΕΠΕ. §7.2.5. εξίσωση (5))}$$

όπου $n = 0.6(1 - f_c/250) = 0.5616$ για $\tau_j > \tau_c$

ή $n=1$ για $\tau_j < \tau_c$

2.5.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΥΝΔΕΤΗΡΩΝ ΔΟΚΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΣΕ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΚΟΜΒΟ

Σύμφωνα με το παράδειγμα (§2.2) ,όπου ισχύει $\Sigma M_{yc} > \Sigma M_{yb}$, είναι τοποθετημένοι οι ελάχιστοι συνδετήρες για δοκάρια και υποστυλώματα σύμφωνα με τις κατασκευαστικές διατάξεις του ΕΚΩΣ 2000 χωρίς απαιτήσεις αυξημένης πλαστιμότητας . Έτσι για δοκάρια έχουμε τοποθετήσει $\Phi 8/160\text{mm}$ και για τα υποστυλώματα $\Phi 8/200\text{mm}$. Για το παράδειγμα που αναφέραμε παραπάνω ο αδύναμος σε ροπές φορέας είναι τα δοκάρια, άρα εισάγεται οριζόντια διατμητική δύναμη στον κόμβο η οποία παραλαμβάνεται από τους οριζόντιους συνδετήρες (συνδετήρες υποστυλώματος) για οπλισμένο κόμβο. Οπότε η αλλαγή των συνδετήρων στον κόμβο θα μας δώσει διαφορετικά αποτελέσματα στην αντοχή σε διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο.

$$\tau_c = f_{ct} * \sqrt{(1 + \rho_{jh} * f_{yw} / f_{ct})(1 + v_{top} * f_c / f_{ct})} \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. §7.2.5. εξίσωση (4)})$$

και $\rho_{jh} = A_{sh} / (b_j * h_b)$

Έτσι, τοποθετούμε συνδετήρες δοκαριών $\Phi 8/100\text{mm}$ (πυκνοί συνδετήρες) και παίρνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα.

f_c (MPa)	τ_c ($\Phi 8/100$)	τ_c ($\Phi 8/200\text{mm}$)
12	3.85	3.3
16	4.62	4.0
20	5.34	4.67

Πίνακας 2:Σχέση συνδετήρων δοκών , υποστυλωμάτων-αντοχή κόμβου

Το βασικό συμπέρασμα στο οποίο καταλήξαμε βάση του παραπάνω πίνακα είναι ότι για οπλισμένο κόμβο όσο αυξάνονται οι συνδετήρες που παραλαμβάνουν την διατμητική δύναμη που εισάγεται, αυξάνεται και η αντοχή του κόμβου σε εφελκυστική ρηγμάτωση κατ' αντιστοιχία με την ποιότητα του σκυροδέματος. Έτσι πυκνοί συνδετήρες αυξάνουν την αντοχή του οπλισμένου κόμβου.

2.6.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΧΑΛΥΒΑ

Η επίδραση της ποιότητας του χάλυβα αναφέρεται κατά κύριο λόγο στον υφιστάμενο οπλισμό του κόμβου, αν υπάρχει, και δευτερευόντως στον χαλύβδινο οπλισμό που θα τοποθετηθεί κατά την ενίσχυση (μανδύας οπλισμένου σκυροδέματος). Έτσι για να επηρεαστεί η αντοχή του κόμβου από τον χάλυβα πρέπει να αναφερόμαστε σε οπλισμένο κόμβο. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αντοχής του κόμβου σε εφελκυστική ρηγμάτωση για διαφορετική ποιότητα χάλυβα.

f_y (MPa)	τ_c (MPa)
400	4.0
500	4.2

Πίνακας 3:Σχέση ποιότητας χάλυβα – αντοχής κόμβου

Παρατηρούμε ότι η επιρροή του χάλυβα στη εφελκυστική διαγώνια ρηγμάτωση είναι σχεδόν αμελητέα για την ενίσχυση του κόμβου. Άρα αποτελεί ένα παράγοντα μικρής σημασίας για την αντοχή του κόμβου. Ομοίως και για τον χάλυβα που χρησιμοποιείται ως

οπλισμός μανδύα. Όσο καλύτερη ποιότητα χάλυβα έχουμε τόσο λιγότερος οπλισμός χρειάζεται τελικά.

2.7.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ

Πολύ σημαντική στους υπολογισμούς είναι η επιρροή της τέμνουσας που εισάγεται στον κόμβο από τον πιο αδύναμο σε ροπές φορέα και της αντίστοιχης τάσης του σε σχέση με την μεταβολή της γεωμετρίας του κόμβου. Δηλαδή, από πόσα δοκάρια ή υποστυλώματα αποτελείται ένας κόμβος αν είναι γωνιακός ή αν συντρέχουν 4 δοκάρια, περίπτωση στην οποία προκύπτουν διαφορετικές ροπές αντοχής ανάλογα με την διεύθυνση που επιλέγουμε. Σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους γίνεται εύκολα αντιληπτό το γεγονός ότι όταν τα υποστυλώματα εισάγουν διατμητική δύναμη στον κόμβο V_{jv} , είναι πολύ μεγαλύτερη από την περίπτωση όπου τα δοκάρια θα εισήγαγαν οριζόντια δύναμη V_{jh} . Αυτό συμβαίνει γιατί στον υπολογισμό της κατακόρυφης διατμητικής δύναμης συνυπολογίζονται και οι τέμνουσες των δοκαριών λόγω σεισμού.

$$V_{jv} = \sum M_{yc} * [1/z_c - h_{st}/(L_b * h_{stn})] + 0.5 |V_l - V_r| \quad (\text{KAN.EΠE. εξίσωση } (\Sigma.11))$$

$$V_{jh} = \sum M_{yb} * [1/z_b - L_b/(h_{st} * L_{bn})] \quad (\text{KAN.EΠE. εξίσωση } (\Sigma.10))$$

$$\tau_j = V_{jv}/(h_b * b_j) \quad (\text{KAN.EΠE. } \S 7.2.5)$$

$$\tau_j = V_{jh}/(h_c * b_j) \quad (\text{KAN.EΠE. } \S 7.2.5)$$

Για το παράδειγμα (§2.2) ,όπου ισχύει $\sum M_{yc} > \sum M_{yb}$, θα τροποποιήσουμε την γεωμετρία των φορέων με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Γεωμετρία Κόμβου	Διατμητική Ένταση V(kN)	Διατμητική Τάση τ_j (MPa)
2 δοκάρια 2 υποστυλώματα	348.27	3.87
2 δοκάρια 1 υποστυλώμα	701.00	3.89
1 δοκάρι 2 υποστυλώματα	174.14	1.93
1 δοκάρι 1 υποστυλώμα	174.14	1.93

Πίνακας 4:Σχηση γεωμετρίας κόμβου-διατμητικής έντασης και τάσης

Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση που έχουμε δύο δοκάρια και ένα υποστυλώμα προκύπτει πολύ μεγάλη διατμητική δύναμη σε σχέση με τις υπόλοιπες. Αυτό οφείλεται όπως αναφέραμε και παραπάνω στις τέμνουσες λόγω σεισμού που συμπεριλαμβάνονται στους υπολογισμούς μας για την κατακόρυφη διατμητική δύναμη .Σύμφωνα με τα παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι με την αλλαγή της γεωμετρίας του κόμβου αλλάζει η ανισοτική σχέση μεταξύ των ροπών υποστυλωμάτων και δοκών. Εμείς για την καλύτερη οικονομία στην ενίσχυση κόμβων προτιμούμε να προκύπτει αδυναμία των φορέων των δοκαριών καθώς προκύπτουν μικρότερες διατμητικές εντάσεις άρα κατά συνέπεια μικρότερος οπλισμός για μανδύα, κολλάρα και αποκατάσταση ίσης διατομής, σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις.

-Προσθήκη μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος

$$V_{jh} = V_{jv} * h_c/h_b \quad (\text{KAN.EΠE. εξίσωση } (\Sigma 8.13))$$

$$A_{jh} = V_{jh}/(f_{ywd} * \gamma_{rd}) \quad (\text{KAN.EΠE. εξίσωση } (8.21))$$

$$A_{jv} = V_{jv}/(f_{ywd} * \gamma_{rd}) \quad (\text{KAN.EΠE. εξίσωση } (8.22))$$

-Προσθήκη χιαστί κολλάρων από χαλύβδινα στοιχεία

$$F_{j\delta} = V_{jv} * h_{\delta} / h_b \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση } (\Sigma 8.14))$$

$$A_{j\delta} = F_{j\delta} / (f_{yd} * \gamma_{rd}) \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση } (8.23))$$

-Αποκατάσταση "ίσης" διατομής και προσθήκη οπλισμών στον κόμβο

$$A_{jhtot} = \gamma_{rd} * V_{jh} / f_{ywd} \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση } (8.25))$$

$$A_{jvtot} = \gamma_{rd} * V_{jv} / f_{ywd} \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση } (8.26))$$

Από την άλλη όμως, από τις παραπάνω εξισώσεις για τις διατμητικές δυνάμεις που εισάγονται στον κόμβο συμπεραίνουμε ότι στην περίπτωση εισαγωγής δύναμης από τα δοκάρια η δύναμη διαιρείται με $h_c * b_j$ ενώ σε περίπτωση εισαγωγής δύναμης από τα υποστυλώματα η τάση διαιρείται με $h_b * b_j$ (με $h_b * b > h_c * b$). Άρα όπως προκύπτει και από τον παραπάνω πίνακα μπορεί οι δυνάμεις που εισάγονται ανά φορέα για κάθε διαφορετική περίπτωση να έχουν μεγάλη διαφορά όμως οι διατμητικές τάσεις βάση των οποίων γίνεται η σύγκριση για το αν χρειαζόμαστε ενίσχυση προκύπτουν στα ίδια επίπεδα. (2 δοκάρια με 2 υποστυλώματα με 2 δοκάρια και 1 υποστύλωμα παρόμοιες τιμές τάσης όπως και 1 δοκάρι με 1 υποστύλωμα και 1 δοκάρι με 2 υποστυλώματα)

Τέλος, οι μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των περιπτώσεων όπου $\tau_j = 3.87$ και $\tau_j = 1.93$ οφείλονται στις ροπές αντοχής των εκάστοτε αδύναμων φορέων. Στις δύο τελευταίες περιπτώσεις του πίνακα ένα δοκάρι εισάγει διατμητική ένταση με μικρή ροπή αντοχής καθώς δεν αθροίζεται με ροπή αντοχής άλλου δοκαριού. Έτσι η ένταση που εισάγεται είναι μικρή λόγω αδυναμίας δοκαριού. Ενώ στη πρώτη περίπτωση που εισάγεται ένταση από δύο δοκάρια άρα αθροίζονται 2 ροπές αντοχής (διπλή σε σχέση με πριν) και στην δεύτερη που το υποστύλωμα εισάγει κατακόρυφη δύναμη η οποία πάντα είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την ένταση που εισάγει το δοκάρι, η διατμητική δύναμη προκύπτει μεγαλύτερη.

Ένα ακόμη ενδιαφέρον στοιχείο σε σχέση με τη γεωμετρία του φορέα είναι να δούμε το ποιος κόμβος είναι ο δυσμενέστερος, δηλαδή που είναι πιθανότερο να χρειαστεί ενίσχυση. Από τον πίνακα 4 φαίνεται ξεκάθαρα ότι η δυσμενής περίπτωση είναι αυτή στην οποία συντρέχουν στον κόμβο δύο δοκάρια και ένα υποστύλωμα, δηλαδή ένας περιμετρικός κόμβος του ανώτερου ορόφου της κατασκευής. Παρ όλα αυτά, ο δυσμενέστερος κόμβος σε μία υπάρχουσα κατασκευή είναι ο γωνιακός κόμβος και κυρίως αυτός του ανώτερου ορόφου. Αυτό φαίνεται από την παρακάτω εξίσωση για άοπλο και οπλισμένο κόμβο:

$$\tau_c = f_{ct} * \sqrt{(1 + v_{top} * f_c / f_{ct})} \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. §7.2.5. εξίσωση } (3))$$

$$\tau_c = f_{ct} * \sqrt{(1 + \rho_{jh} * f_{yw} / f_{ct})(1 + v_{top} * f_c / f_{ct})} \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. §7.2.5. εξίσωση } (4))$$

Όπως βλέπουμε, σημαντικό ρόλο στον υπολογισμό της αντοχής τ_c του κόμβου σε διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση έχει το ανηγμένο αξονικό φορτίο. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερο το αξονικό φορτίο, τόσο μεγαλύτερη και η αντοχή του κόμβου σε διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση. Επομένως, είναι εύκολα κατανοητό ότι οι περιμετρικοί και κυρίως οι γωνιακοί κόμβοι έχουν μικρότερη αντοχή αφού έχουν μικρότερο αξονικό φορτίο. Ακόμα περισσότερο, στους κόμβους του ανώτερου ορόφου οι οποίοι δεν έχουν σημαντικό αξονικό φορτίο είναι οι πιθανότεροι για αστοχία.

2.8.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΔΟΚΩΝ

Όπως γνωρίζουμε, η αύξηση του ύψους του δοκαριού αυξάνει την αντοχή του σε κάμψη σύμφωνα και με την εξίσωση:

$$M_{sd} = \mu_{sd} * b_w * d * f_{cd} \text{ όπου } d = h - d_1 \text{ (επικάλυψη)} \quad (\text{ΜΑΘ. ΟΠΛΙΣΜ. ΣΚΥΡΟΔ.Ι §4.1.4.2})$$

Από το αρχικό μας παράδειγμα (§2.2), όπου ισχύει $\Sigma M_{yc} > \Sigma M_{yb}$, χρησιμοποιήσαμε το h_b (ύψος δοκαριού) και του δώσαμε τιμή ίση με 0.6m. και βρήκαμε διατμητική ένταση $V_{jh} = 348.28 \text{ kN}$ και $\tau_j = 3.87 \text{ MPa}$. Επίσης ο παράγοντας του ύψους του δοκαριού συμπεριλαμβάνεται και στον τύπο της αντοχής σε εφελκυστική ρηγμάτωση στον όρο ρ_{jh} . Έτσι βρίσκουμε $\tau_c = 4 \text{ MPa}$ ενώ η αντοχή άοπλου κόμβου σε διαγώνια ρηγμάτωση και σε διαγώνια θλίψη δεν επηρεάζεται από το h_b .

$$V_{jh} = \Sigma M_{yb} * [1/z_b - L_b / (h_{st} * L_{bn})] \quad (\text{KAN.ΕΠΕ. εξίσωση (Σ.10)})$$

Στον παραπάνω τύπο το ύψος του δοκαριού επηρεάζει καθώς υπάρχει ο όρος του αθροίσματος των ροπών αντοχής των δοκαριών που περιβάλλουν τον κόμβο στην ίδια διεύθυνση όπου όπως αναφέραμε και παραπάνω παρατηρούνται αλλαγές ανάλογα με το ύψος δοκού. Άρα όσο το h_b αυξάνεται, αυξάνεται και η διατμητική ένταση.

$$\tau_j = V_{jh} / (h_c * b_j) \quad (\text{KAN.ΕΠΕ. §7.2.5})$$

Από τον παραπάνω τύπο παρατηρούμε ότι το ύψος του δοκαριού δεν έχει καμία επιρροή στον τύπο με εξαίρεση την διατμητική ένταση που αναφέρθηκε προηγουμένως. Οπότε στην περίπτωση που στον κόμβο προκύπτει $\Sigma M_{yc} > \Sigma M_{yb}$ τότε το h_b επηρεάζει ελάχιστα τους παραπάνω παράγοντες.

$$\tau_c = f_{ct} * \sqrt{(1 + \rho_{jh} * f_{yw} / f_{ct}) (1 + \nu_{top} * f_c / f_{ct})} \quad (\text{KAN.ΕΠΕ. §7.2.5. εξίσωση (4)}) \quad \text{όπου}$$

$$\rho_{jh} = \frac{A_{sh}}{b * h_b}$$

Άρα παρατηρούμε ότι και στην αντοχή του κόμβου έναντι ρηγμάτωσης η επιρροή του αποτελέσματος από το ύψος δοκού είναι μικρή.

Πρακτικά, χρησιμοποιώντας τα ίδια ακριβώς δεδομένα με πριν, με εξαίρεση το ύψος δοκού το οποίο γίνεται 0.5m, υπολογίζουμε ξανά τα παραπάνω μεγέθη και έχουμε: $V_{jh} = 345.26 \text{ kN}$, $\tau_j = 3.83 \text{ MPa}$, $\tau_c = 4.13 \text{ MPa}$. Έτσι το εύλογο συμπέρασμα που προκύπτει είναι πως το καθαρό ύψος δοκαριού επηρεάζει ελάχιστα τους παράγοντες της διατμητικής έντασης, της αντοχής του κόμβου και της τάσης που δημιουργεί η διατμητική δύναμη που εισάγεται στον κόμβο, για την περίπτωση όπου $\Sigma M_{yc} > \Sigma M_{yb}$.

h_b (m)	V_{jh} (kN)	τ_j (MPa)
0.6	348.28	3.87
0.5	345.26	3.83

Πίνακας 5: Σχέση ύψους δοκού-διατμητικής έντασης και τάσης

Αντίθετα για το παράδειγμα 2.3, παράδειγμα με $\Sigma M_{yc} < \Sigma M_{yb}$, παρατηρούμε ότι με ύψος δοκαριού 0.6m έχουμε $V_{jv} = 1233.24 \text{ kN}$ και $\tau_j = 6.85 \text{ MPa}$, ενώ ο τύπος της αντοχής του οπλισμένου κόμβου πλέον δεν περιλαμβάνει το ύψος δοκού καθώς η διατμητική ένταση τώρα παραλαμβάνεται από τους συνδετήρες στην επιφάνεια ($h_c * b$). Από την άλλη για $h_b = 0.5 \text{ m}$, προκύπτει $V_{jv} = 1235 \text{ kN}$ και $\tau_j = 8.2 \text{ MPa}$.

h_b (m)	V_{jv} (kN)	τ_j (MPa)
0.6	1233.24	6.85
0.5	1235	8.2

Πίνακας 6: Σχέση ύψους δοκού-διατμητικής έντασης και τάσης

$$V_{jv} = \Sigma M_{yc} * [1/z_c - h_{st}/(L_b * h_{stn})] + 0.5 |V_l - V_r| \quad (\text{KAN.ΕΠΕ. εξίσωση } (\Sigma.11))$$

$$\tau_j = V_{jv}/(h_b * b_j) \quad (\text{KAN.ΕΠΕ. } \S 7.2.5)$$

Τελικά, όπως παρατηρούμε από τον παραπάνω πίνακα και τις εξισώσεις, η διατμητική ένταση επηρεάζεται λίγο έως καθόλου οπότε συλλογικά και με την προηγούμενη περίπτωση το ύψος δοκού δεν επηρεάζει τη δύναμη που εισάγεται στον κόμβο με σκοπό την ρηγμάτωση του. Όμως σε αυτήν την περίπτωση, όπου ο αδύναμος φορέας είναι τα υποστυλώματα, η επιρροή του ύψους δοκού είναι μεγάλη στη τάση που αναπτύσσεται από την διατμητική ένταση και η οποία συγκρίνεται με την αντοχή του κόμβου, για να διαπιστώσουμε αν χρειάζεται ενίσχυση. Με την μείωση του ύψους δοκού αυξάνεται κατά πολύ αυτή η τάση, στοιχείο αρνητικό για τον φορέα μας. Άρα, προτιμούμε όσο το δυνατόν μεγαλύτερα ύψη δοκαριών καθώς μας παρέχουν μικρότερη διατμητική τάση.

Η δεύτερη διάσταση του δοκαριού, δηλαδή το πλάτος, δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα μας καθώς η ροπή αντοχής των δοκών για πλάτος 0.25m και 0.20m έχουν τιμές 110.7kNm και 110.17kNm αντίστοιχα. Έτσι, για την περίπτωση αδυναμίας των δοκαριών η επιρροή στην διατμητική ένταση που εισάγεται είναι ελάχιστη όπως φαίνεται και από τον παρακάτω τύπο όπου ο μόνος παράγοντας που επηρεάζεται από το πλάτος δοκού είναι η ροπή αντοχής.

$$V_{jh} = \Sigma M_{yb} * [1/z_b - L_b/(h_{st} * L_{bn})] \quad (\text{KAN.ΕΠΕ. εξίσωση } (\Sigma.10))$$

Επίσης, για την διατμητική τάση το b_j προκύπτει από το μέγιστο μεταξύ του πλάτους υποστυλώματος και πλάτους δοκού. Οπότε, πάντα η διατμητική τάση διαιρείται με b_c άρα δεν υπάρχει σχέση εξάρτησης μεταξύ τάσης και πλάτους δοκού.

Όμοια αποτελέσματα προκύπτουν και για την περίπτωση όπου οι ροπές αντοχής δοκών ξεπερνούν αυτές των υποστυλωμάτων (δηλαδή δεν υπάρχει επιρροή του πλάτους δοκού στις διατμητικές εντάσεις και τάσεις).

2.9.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

Σε πολλούς τύπους του ελέγχου ενίσχυσης και επισκευής χρησιμοποιείται η διατομή του υποστυλώματος με μια από τις δύο διαστάσεις κάθε φορά. Έτσι σημαντική κρίνεται η αλλαγή των διαστάσεων των υποστυλωμάτων για να συμπεράνουμε αν προκύπτουν διαφορετικά αποτελέσματα στις διατμητικές εντάσεις, τάσεις και στην αντοχή του σπλισμένου κόμβου. Παρακάτω δίνεται ένας πίνακας με αυτές τις δοκιμές για την περίπτωση όπου $\Sigma M_{yc} > \Sigma M_{yb}$:

h_c (m)	b_c (m)	V_{jh} (kN)	τ_i (MPa)	τ_c (σπλισμ. κόμβος)
0.3	0.3	348.2	3.86	3.70
0.4	0.3	346.0	2.89	3.90
0.4	0.4	346.0	2.16	3.72

Πίνακας 7: Σχέση διαστάσεων υποστυλώματος-διατμητικής έντασης, τάσης και αντοχής κόμβου

Για την περίπτωση όπου $\Sigma M_{yc} < \Sigma M_{yb}$ ακολουθήσαμε πάλι την ίδια διαδικασία κάνοντας δοκιμές με τις διαστάσεις των υποστυλωμάτων όπως φαίνεται και παρακάτω:

h_c (m)	b_c (m)	V_{jv} (kN)	τ_i (MPa)	τ_c (σπλισμ. κόμβος)
0.3	0.3	1233	6.85	4.00
0.4	0.3	905	5.00	4.00
0.4	0.4	904	3.80	3.80

Πίνακας 8: Σχέση διαστάσεων υποστυλώματος-διατμητικής έντασης, τάσης και αντοχής κόμβου

Παρατηρούμε και από τις δύο περιπτώσεις, σύμφωνα με τους πίνακες, ότι η αύξηση της διατομής του υποστυλώματος μας παρέχει καλύτερα και ευμενέστερα αποτελέσματα για την διατμητική τάση που εισάγεται στον κόμβο καθώς χρησιμοποιώντας μεγαλύτερες διαστάσεις μειώνεται αισθητά, ενώ η αντοχή του κόμβου μειώνεται μεν από το πλάτος του υποστυλώματος αλλά ελάχιστα. Τελικά, σε υφιστάμενες κατασκευές μεγάλες διατομές υποστυλωμάτων μειώνουν τις τάσεις που εισάγονται στον κόμβο. Έτσι οι παράγοντες h_c και b_c είναι πολύ σημαντικοί για τον έλεγχο και για την ενίσχυση του κόμβου.

2.10.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΔΟΚΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

Βασικό στοιχείο που επηρεάζει τα αποτελέσματα μας για τον έλεγχο και επισκευή ενός κόμβου είναι οι οπλισμοί των δοκαριών και των υποστυλωμάτων. Όπως θα μας φαινόταν λογικό, όσο μεγαλύτερους οπλισμούς έχουμε τόσο πιο ενισχυμένη και δύσκαμπτη είναι η κατασκευή μας. Αυτό όμως ισχύει μόνο για την περίπτωση της κάμψης και της διάτμησης δοκών και υποστυλωμάτων. Από την άλλη, στην περίπτωση ενίσχυσης και επισκευής κόμβου οι μεγάλοι οπλισμοί των αδυναμιών φορέων αποτελούν πρόβλημα διότι εισάγουν μεγάλη ένταση στον κόμβο και κατά συνέπεια και μεγαλύτερη τάση. Αναλυτικότερα σύμφωνα με το παράδειγμα (§2.2), όπου ισχύει $\Sigma M_{yc} > \Sigma M_{yb}$ οι οπλισμοί των δοκών δημιουργούν πρόβλημα στον κόμβο καθώς όσο μεγαλύτεροι είναι τόσο αυξάνεται η διατμητική ένταση σύμφωνα με τον τύπο :

$$V_{jh} = \Sigma M_{yb} * [1/z_b - L_b / (h_{st} * L_{bn})] \quad (\text{KAN.ΕΠΕ. εξίσωση } (\Sigma.10))$$

Επίσης, για το παράδειγμα (§2.3) με $\Sigma M_{yc} < \Sigma M_{yb}$ τα υποστυλώματα εισάγουν κατακόρυφη τέμνουσα η οποία συνήθως είναι και μεγαλύτερη από την οριζόντια καθώς περιλαμβάνει και τις τέμνουσες σεισμού οι οποίες εξαρτώνται άμεσα από τις ροπές αντοχής δοκών. Άρα στην περίπτωση αδυναμίας των υποστυλωμάτων, την κατακόρυφη τέμνουσα αυξάνουν οι ροπές αντοχής δοκών και υποστυλωμάτων σύμφωνα με τον τύπο:

$$V_{jv} = \Sigma M_{yc} * [1/z_c - h_{st} / (L_b * h_{stn})] + 0.5 |V_l - V_r| \quad (\text{KAN.ΕΠΕ. εξίσωση } (\Sigma.11))$$

Πρακτικά, σύμφωνα με τους παρακάτω πίνακες για τις δύο διαφορετικές περιπτώσεις αδυναμίας φορέων βάση των αρχικών μας παραδειγμάτων προκύπτουν οι αλλαγές στην τέμνουσα ανάλογα με τους οπλισμούς.

ΣM_{yb} (KNm)	ΣM_{yc} (KNm)	V_{jh} (kN)
221.4	268.22	348.6
240.0	268.22	376.0
260.0	268.22	408.0

Πίνακας 9: Σχέση ροπών αντοχής δοκών – διατμητικής έντασης με $\Sigma M_{yc} > \Sigma M_{yb}$

ΣM_{yb} (KNm)	ΣM_{yc} (KNm)	V_{jh} (kN)
286.68	268.22	905.0
286.68	280.22	940.0
286.68	285.00	955.0

Πίνακας 10: Σχέση ροπών αντοχής υποστυλωμάτων – διατμητικής έντασης με $\Sigma M_{yc} < \Sigma M_{yb}$

2.11.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΨΟΥΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΜΗΚΟΥΣ ΔΟΚΟΥ

Ένα από τα τελευταία αντικείμενα προς μελέτη για τον τρόπο που επηρεάζουν την ενίσχυση ήταν το ύψος ορόφου και το μήκος ανοίγματος της κατασκευής. Όπως βλέπουμε από τους

τύπους της εισαγόμενης τέμνουσας από δοκούς ή υποστυλώματα, το ύψος h και το άνοιγμα L έχουν σημαντικό ρόλο:

$$V_{jh} = \Sigma M_{yb} * [1/z_b - L_b / (h_{st} * L_{bn})] \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση } (\Sigma.10))$$

$$V_{jv} = \Sigma M_{yc} * [1/z_c - h_{st} / (L_b * h_{stn})] + 0.5 |V_l - V_r| \quad (\text{ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση } (\Sigma.11))$$

Η αντοχή του κόμβου δεν επηρεάζεται από τις διαστάσεις των ανοιγμάτων της κατασκευής, οπότε το μόνο που επηρεάζεται είναι η εισαγόμενη διατμητική ένταση στον κόμβο και κατά συνέπεια οι οπλισμοί της ενίσχυσης. Με βάση το παράδειγμα (§2.2), όπου ισχύει $\Sigma M_{yc} > \Sigma M_{yb}$, αλλάζοντας τις διαστάσεις των ανοιγμάτων προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

	V_{jh} (kN)	τ_j (MPa)	V_{jv} (kN)
L=6m, h=3m	348.2	3.86	696.5
L=8m, h=3m	349.2	3.88	698.4
L=6m, h=4m	367.0	4.09	735.0
L=4m, h=2.5m	330.5	3.67	661.0

Πίνακας 11: Σχέση ανοιγμάτων-διατμητικής έντασης και τάσης

Για το άλλο παράδειγμα (§2.3), με $\Sigma M_{yc} < \Sigma M_{yb}$, προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

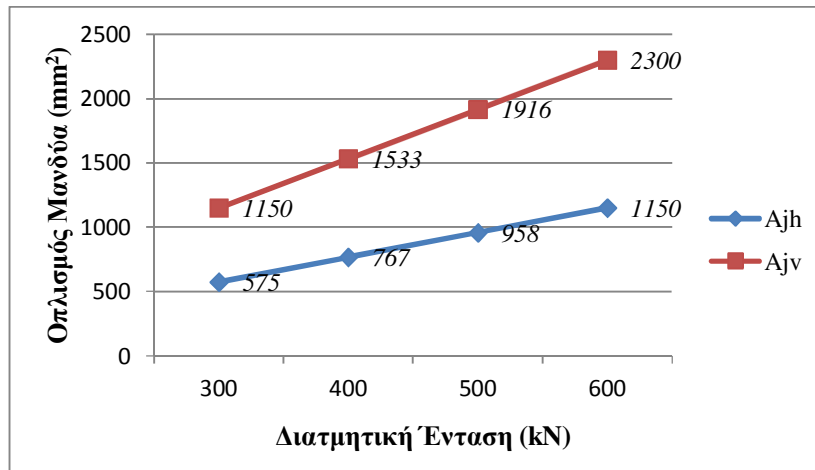
Ανοίγματα	V_{jv} (kN)	τ_j (MPa)	V_{jh} (kN)
L=6m, h=3m	1233.1	6.85	616.5
L=8m, h=3m	1302.0	7.20	651.0
L=4m, h=3m	1152.0	6.40	576.0

Πίνακας 12: Σχέση ανοιγμάτων-διατμητικής έντασης και τάσης

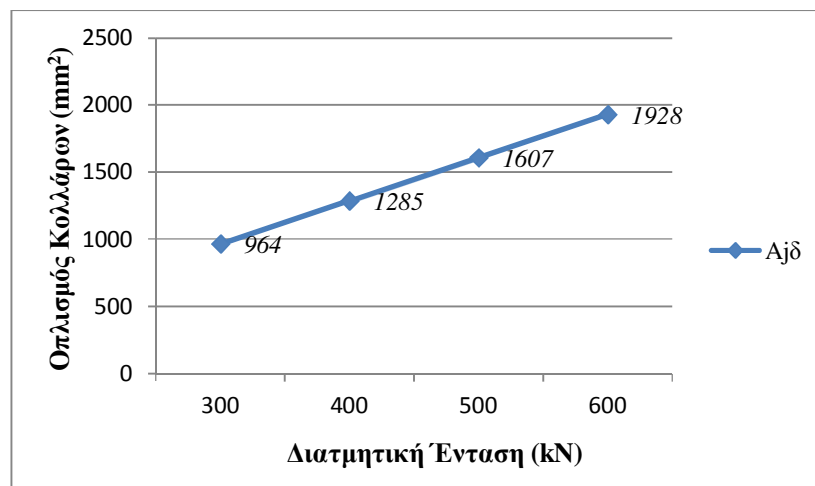
Από αυτά τα αποτελέσματα, βλέπουμε ότι στην περίπτωση που $\Sigma M_{yc} > \Sigma M_{yb}$, δηλαδή όταν τα δοκάρια είναι πιο αδύναμα και εισάγουν διατμητική δύναμη στον κόμβο, μεγαλύτερη επιρροή στα αποτελέσματα έχει το ύψος ορόφου h από το άνοιγμα L . Αντίθετα, όταν $\Sigma M_{yc} < \Sigma M_{yb}$, το άνοιγμα δοκού L έχει αρκετά μεγαλύτερη επιρροή. Αυτό δικαιολογείται από τον τύπο της τέμνουσας καθώς στην περίπτωση που τα υποστυλώματα εισάγουν την τέμνουσα, αυτή εξαρτάται από τις τέμνουσες των δοκών αριστερά και δεξιά του κόμβου και κατά συνέπεια από τα ανοίγματά τους.

2.12.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ ΣΤΟΥΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥΣ ΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

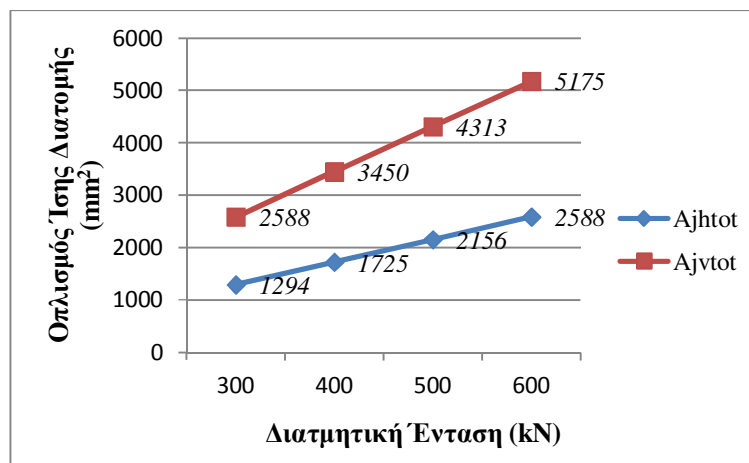
Όλα τα παραπάνω παραδείγματα έγιναν για να διαπιστωθεί πως τροποποιείται η διατμητική ένταση και τάση του κόμβου αλλάζοντας τα χαρακτηριστικά της κατασκευής. Δεν αναφερθήκαμε όμως ακόμα στους οπλισμούς των τεχνικών ενίσχυσης. Οι οπλισμοί αυτοί, όπως είδαμε και από τα παραδείγματα (§2.2) και (§2.3) είναι ανάλογοι της διατμητικής έντασης, οριζόντιας ή κατακόρυφης. Έτσι, για οριζόντια διατμητική δύναμη από 300 kN έως 600 kN, αφού στο αρχικό μας παράδειγμα για μικρότερη ένταση δε χρειαζόταν ενίσχυση, προκύπτουν τα εξής διαγράμματα μεταβολής των οπλισμών ενίσχυσης:



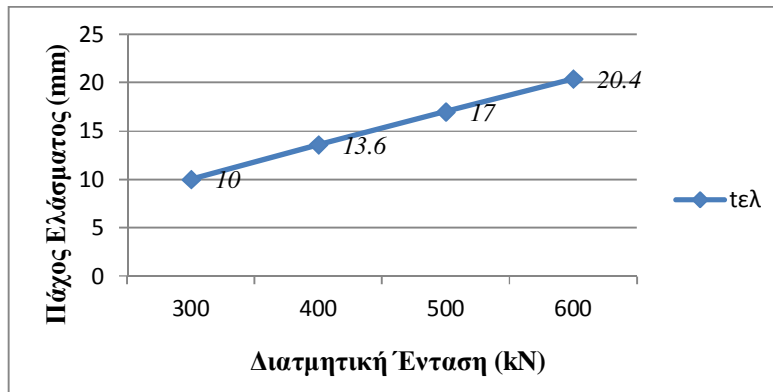
Διάγραμμα 1: Σχέση Διατμητικής Έντασης – Οπλισμού Μανδύα



Διάγραμμα 2: Σχέση Διατμητικής Έντασης – Οπλισμού Κολλάρων



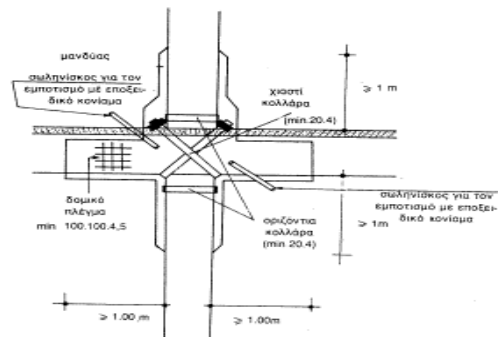
Διάγραμμα 3: Σχέση Διατμητικής Έντασης – Οπλισμού Αποκατάστασης Ίσης Διατομής



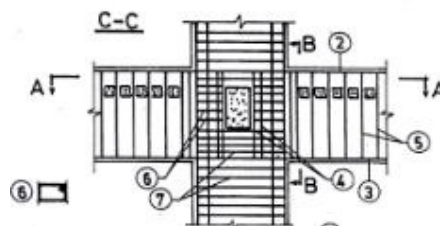
Διάγραμμα 4: Σχέση Διατμητικής Έντασης – Πάχους Χαλύβδινου Ελάσματος

Παρατηρούμε βάσει των παραπάνω διαγραμμάτων, όπως ήταν λογικό, ότι με την αύξηση της διατμητικής έντασης κατακόρυφης ή οριζόντιας αυξάνεται και ο οπλισμός ενίσχυσης είτε αυτός είναι μανδύας είτε είναι κολλάρα είτε χαλύβδινα ελάσματα. Σκοπός των παραπάνω διαγραμμάτων είναι εκτός των άλλων να δούμε για ποιες τιμές διατμητικής έντασης είναι εφικτή η κάθε μέθοδος.

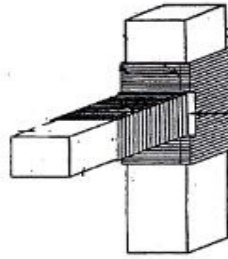
Πέρα από τους μεγάλους απαιτούμενους οπλισμούς που προκύπτουν παραπάνω, οι μέθοδοι ενίσχυσης μπορεί να μην είναι εφικτές και λόγω των απαιτήσεων που πρέπει να πληρούνται στον κόμβο. Για το λόγο αυτό παραθέτονται παρακάτω σχήματα στα οποία φαίνεται το πώς εφαρμόζεται κάθε τεχνική ενίσχυσης.



Σχήμα 2: Μέθοδος ενίσχυσης με κολλάρα [7]



Σχήμα 3: Μέθοδος ενίσχυσης με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος [1]



Σχήμα 4: Μέθοδος ενίσχυσης με ελάσματα [1]

Τέλος, παρατηρούμε ότι ανεξάρτητα από το ποιο δομικό στοιχείο παρουσιάζει χαμηλότερη ροπή αντοχής, πάντα η κατακόρυφη τέμνουσα που εισάγεται στον κόμβο είναι μεγαλύτερη καθώς χρησιμοποιούμε υποστυλώματα της τάξεως των 0.3-0.45m και δοκάρια της τάξεως των 0.5-0.6m συμπεράσμα το οποίο εύκολα προκύπτει ($h_c < h_b \rightarrow V_{jh} < V_{jv}$) βάση των παρακάτω τύπων:

$$V_{jh} = V_{jv} \cdot h_c / h_b \quad (\text{KAN.EΠE. εξίσωση (Σ8.13)})$$

$$V_{jv} = V_{jh} \cdot h_b / h_c \quad (\text{KAN.EΠE. εξίσωση (Σ8.12)})$$

3.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βάση των παραπάνω παραδειγμάτων που εφαρμόσαμε καταλήγουμε στο γεγονός ότι οι παράγοντες της κατασκευής που χρησιμοποιούνται κατά τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2010 επηρεάζουν είτε τον έλεγχο του κόμβου (π.χ. κατασκευές ευπαθείς σε ρηγματώσεις κόμβων) είτε την ενίσχυση του (οπλισμοί μανδύα, κολλάρων, ελασμάτων και αποκατάστασης "ίσης" διατομής).

3.1.ΚΑΘΟΡΙΣΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΣΕ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΚΟΜΒΟΥ

- Με καλύτερη ποιότητα σκυροδέματος προκύπτει μεγαλύτερη αντοχή κόμβου έναντι διαγώνιας θλίψης και εφελκυστικής ρηγμάτωσης.
- Με πυκνούς συνδετήρες στο εσωτερικό του κόμβου προκύπτει μεγαλύτερη αντοχή σε διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση.
- Η γεωμετρία κόμβου επηρεάζει την τάση που εισάγεται στον κόμβο σε κάθε περίπτωση, αλλά σε συνδυασμό με άλλα χαρακτηριστικά. Συνήθως, οι δυσμενέστεροι κόμβοι είναι οι εξωτερικοί.
- Η αύξηση του ύψους δοκού, σε περίπτωση αδυναμίας υποστυλωμάτων, μειώνει την τάση που εισάγεται στον κόμβο.
- Μεγαλύτερες διαστάσεις υποστυλωμάτων παρουσιάζουν μικρή αύξηση της αντοχής του κόμβου και σημαντική μείωση της τάσης που εισάγεται στον κόμβο.
- Ανάλογα με το ποιος φορέας είναι ο αδύναμος, οι δοκοί ή τα υποστυλώματα, όσο μικρότεροι είναι οι αντίστοιχοι οπλισμοί τόσο μικρότερη είναι η εισαγόμενη τάση.
- Αύξηση του ύψους υποστυλώματος έχει ως αποτέλεσμα τη μικρή αύξηση της εισαγόμενης τάσης ενώ μεγαλύτερο μήκος δοκού οδηγεί σε σημαντική αύξηση της τάσης μόνο στην περίπτωση που $\Sigma M_{yc} < \Sigma M_{yb}$.

3.2.ΚΑΘΟΡΙΣΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΟΠΛΙΣΗ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ

- Κόμβοι στους οποίους συντρέχουν πολλοί φορείς είναι δύσκολοι στην ενίσχυση. Ωστόσο, και σε περιπτώσεις με λιγότερους φορείς είναι πιθανή μεγάλη διατμητική ένταση που οδηγεί σε περισσότερους οπλισμούς ενίσχυσης.
- Αύξηση του h_c δημιουργεί μικρότερη διατμητική ένταση μόνο στην περίπτωση που $\Sigma M_{yc} < \Sigma M_{yb}$, και επομένως απαιτείται μικρότερη ενίσχυση.
- Περισσότεροι οπλισμοί των αδύναμων φορέων αυξάνουν την τέμνουσα που εισάγεται στον κόμβο και τους οπλισμούς που απαιτούνται.
- Αύξηση του ύψους υποστυλώματος και του μήκους δοκού δημιουργεί μεγαλύτερη διατμητική ένταση και περισσότερο απαιτούμενο οπλισμό για ενίσχυση.

3.3.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

Όσον αφορά στο κατά πόσο είναι εφαρμόσιμες οι παραπάνω μέθοδοι της ενίσχυσης, παρατηρούμε ότι για σχετικά μεγάλη διατμητική ένταση, προκύπτουν μεγάλοι οπλισμοί που είναι ανέφικτοι. Συγκεκριμένα, μόνο οι μέθοδοι της προσθήκης μανδύα σκυροδέματος και της αποκατάστασης ίσης διατομής φαίνεται να είναι απόλυτα εφαρμόσιμες. Κι αυτό διότι στην προσθήκη μανδύα σκυροδέματος βάζουμε νέους διαμήκεις οπλισμούς και συνδετήρες καθώς και νέο σκυρόδεμα περιμετρικά του στοιχείου, γεγονός που κάνει τη μέθοδο εύκολα εφαρμόσιμη. Η τεχνική της αποκατάστασης ίσης διατομής θεωρείται περισσότερο μέθοδος επισκευής παρά ενίσχυσης, εφαρμόζεται δηλαδή στην περίπτωση σχεδόν κατεστραμμένου κόμβου, οπότε εφαρμόζεται πιο εύκολα από τις υπόλοιπες μεθόδους. Αντίθετα, η τεχνική των χιαστί κολλάρων είναι δύσκολα εφαρμόσιμη αφού δε μπορεί να γίνει σε κόμβους που συντρέχουν πολλά στοιχεία. Αυτό συμβαίνει επειδή οι οπλισμοί μπαίνουν στις παρειές του κόμβου, οπότε αν υπάρχουν δοκάρια θα πρέπει να τρυπηθούν (Σχήμα 2). Από τα διαγράμματα της παραγράφου §2.12, βλέπουμε ότι για σχετικά μικρή διατμητική ένταση (300 kN) προκύπτει εφαρμόσιμος οπλισμός για χιαστί κολλάρα, δηλαδή μπορούν να τοποθετηθούν δύο σίδερα εκατέρωθεν του κόμβου. Για μεγαλύτερη ένταση, παρατηρούμε από το διάγραμμα ότι πρέπει να τοποθετηθεί μεγαλύτερος οπλισμός στις παρειές του κόμβου, στοιχείο που κάνει τη μέθοδο ανέφικτη. Τέλος, για την τεχνική των επικολλητών ελασμάτων, γνωρίζουμε ότι μια λογική τιμή για πάχος ελάσματος είναι περίπου τα 10mm. Επομένως, παρατηρώντας το αντίστοιχο διάγραμμα της παραγράφου §2.12, βλέπουμε ότι και αυτή η μέθοδος είναι εφαρμόσιμη για μικρές τιμές της διατμητικής έντασης, περίπου στα 300 kN.

3.4.ΔΥΣΜΕΝΕΣΤΕΡΟΙ ΚΟΜΒΟΙ ΣΕ ΕΛΕΓΧΟ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ

Όπως είδαμε παραπάνω, οι κόμβοι στους οποίους είναι πιθανότερο να επέλθει αστοχία είναι οι γωνιακοί κόμβοι του ανωτέρου ορόφου της κατασκευής. Κι αυτό διότι, ως γνωστόν, το αξονικό φορτίο παρέχει μια ικανοποιητική περίσφιξη στον κόμβο, με αποτέλεσμα οι κόμβοι που υπόκεινται σε μικρή αξονική δύναμη, δηλαδή οι περιμετρικοί και γωνιακοί του ανώτερου ορόφου, να είναι περισσότερο εκτεθειμένοι και να έχουν περισσότερες πιθανότητες να χρειαστούν ενίσχυση.

Όσον αφορά στη δυσκολία ενίσχυσης, και πάλι οι γωνιακοί κόμβοι είναι αυτοί που παρουσιάζουν δυσκολία. Συγκεκριμένα, επειδή στους κόμβους αυτούς συντρέχουν δύο δοκάρια σε διαφορετικές διευθύνσεις, πρέπει να υπάρξει ενίσχυση σε δύο διευθύνσεις, γεγονός ιδιαίτερα δύσκολο και μη εφαρμόσιμο. Αντίθετα, οι περιμετρικοί κόμβοι στους οποίους συντρέχουν μόνο δύο δοκάρια, στην ίδια διεύθυνση, είναι πιο εύκολο να ενισχυθούν αφού έχουν τις δύο παρειές του κόμβου ελεύθερες προς ενίσχυση με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος, χιαστί κολλάρα, ελάσματα ή οποιαδήποτε άλλη τεχνική.

4.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Δρίτσος Σ., “Ενισχύσεις - Επισκευές Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος”
- [2] Καραγιάννης Χ., “Σχεδιασμός Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα έναντι Σεισμών”
- [3] ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2010
- [4] ΕΚΩΣ 2000
- [5] Φαρδής Μ., “Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος, Μέρος Ι”
- [6] <http://ecourse.lib.ntua.gr/NODE/L0/723.html> (Υπολογισμός Ροπών Αντοχής)
- [7] <http://www.domiki.gr/seismoi/episkeyes48.htm> (Λήψη Φωτογραφικού Υλικού)