

ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΩΝ ΔΟΚΩΝ- ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΚΑΝ.ΕΠΕ

**ΚΑΠΕΤΑΝΑΚΗ ΚΑΛΗ
ΜΟΧΙΑΝΑΚΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ**

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει στόχο τον έλεγχο και την ενίσχυση των κόμβων δοκών- υποστυλωμάτων και τη μελέτη επιρροής των διάφορων παραμέτρων πάνω στα αποτελέσματα. Η εργασία περιλαμβάνει κάποια παραδείγματα κόμβων και τους τρόπους ενίσχυσής τους, πίνακες με αποτελέσματα από αλλαγές των παραμέτρων (οπλισμός, διαστάσεις διατομών δοκών και υποστυλωμάτων, μήκη ανοιγμάτων, ύψη ορόφων, ποιότητα σκυροδέματος και χάλυβα οπλισμού και τέλος φορτίσεις) καθώς και συμπεράσματα-σχόλια από τα διάφορα αποτελέσματα..

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η περιοχή των κόμβων δοκών- υποστυλωμάτων έχει διαπιστωθεί πως είναι ένα ιδιαίτερα ευαίσθητο κομμάτι μιας κατασκευής. Αυτό συμβαίνει λόγω αυξημένης διατμητικής τάση σε αυτήν την περιοχή, δυσκολία στην σκυροδέτηση και άρα κακοτεχνιών και τέλος λόγω ελλιπούς σχεδιασμού. Είναι προφανές ότι μια βλάβη σε ένα κόμβο επηρεάζει πολύ την ακεραιότητα της κατασκευής.

Η ενίσχυση και η επισκευή των κόμβων είναι μια δύσκολη διαδικασία, μάλλον η δυσκολότερη σε μια κατασκευή, λόγω της ύπαρξης πολλών στοιχείων. Μάλιστα όπως θα δούμε παρακάτω σε μερικές περιπτώσεις, με την ύπαρξη πλάκας και εγκάρσιων δοκών, αποκλείονται μερικές μέθοδοι ενίσχυσης λόγω αδυναμίας εφαρμογής. Οι μέθοδοι ενίσχυσης-επισκευής που θα εξετάσουμε εδώ κατά το κεφάλαιο 8.3.2 του Κανονισμού Επεμβάσεων 2012 (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2012) είναι οι εξής:

- Μανδύας οπλισμένου σκυροδέματος. Αυτή μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις περιπτώσεις, είναι από τις πλέον αποτελεσματικές και μπορεί να συνδυαστεί με την ενίσχυση υποστυλώματος, αν αυτό είναι απαραίτητο.
- Η τεχνική των χιαστί κολάρων. Τοποθετούνται και εντείνονται με μηχανικό τρόπο στις παρειές των υποστυλωμάτων δημιουργώντας έτσι μια περίσφιξη στον κόμβο. Μπορεί να υπάρξει αδυναμία εφαρμογής λόγω ύπαρξης εγκάρσιων δοκών. Έχουμε δυνατότητα συνδυασμού με τη μέθοδο του μανδύα εδώ όμως δε μελετάμε αυτή την περίπτωση.
- Η τεχνική των επικολλητών φύλλων. Εδώ μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε είτε μεταλλικά ελάσματα, είτε ινοπλισμένα πολυμερή. Σε αυτή τη μέθοδο έχουμε δυσκολία εφαρμογής λόγω ύπαρξης πλακών και εγκάρσιων δοκών, καθώς επίσης και έλλειψη επαρκούς επιστημονικής τεκμηρίωσης ειδικά για σεισμική ένταση.
- Αποκατάσταση ίσης διατομής. Σε αυτή τη μέθοδο επισκευής προσθέτουμε κατακόρυφο και οριζόντιο οπλισμό από συνδετήρες. Τα αποτελέσματα είναι καλύτερα όσο χειρότερος είναι ο κόμβος.

Σε αυτήν την εργασία θέλουμε αφενός να δούμε κάποια παραδείγματα ελέγχου και ενίσχυσης κόμβων και αφετέρου να διερευνήσουμε ποιες είναι αυτές οι παράμετροι που επηρεάζουν την εντατική κατάσταση του κόμβου, το μέγεθος ενίσχυσης και σε τι βαθμό γίνονται αυτά. Οι παράμετροι που θα μελετήσουμε παρακάτω είναι διαστάσεις των διατομών της δοκού και του υποστυλώματος, το μήκος δοκού, το ύψος ορόφου, οι ποιότητες των υλικών, ο οπλισμός και η φόρτιση. [2]

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Μελετάμε τις εξής περιπτώσεις άοπλων κόμβων δοκών- υποστυλωμάτων:

- 1 δοκός και 1 υποστύλωμα
- 1 δοκός και 2 υποστυλώματα
- 2 δοκοί (στην ίδια διεύθυνση) και 1 υποστύλωμα
- 2 δοκοί (στην ίδια διεύθυνση) και 2 υποστυλώματα
- 2 δοκοί κάθετοι και 1 υποστύλωμα
- 2 δοκοί κάθετοι και 2 υποστυλώματα
- 2 δοκοί (στην ίδια διεύθυνση), 1 κάθετη δοκός και 1 υποστύλωμα
- 2 δοκοί (στην ίδια διεύθυνση), 1 κάθετη δοκός και 2 υποστυλώματα
- 4 δοκοί και 1 υποστύλωμα
- 4 δοκοί και 2 υποστυλώματα

Παραδείγματα

▪ Περίπτωση 1 δοκός και 1 υποστύλωμα

ΔΕΔΟΜΕΝΑ: C16/20, S400, διαστάσεις δοκού $b_w=0.3\text{m}$, $h_b=0.4\text{m}$, $d_1=d_2=0.04\text{m}$, διαστάσεις υποστυλώματος $b_c=h_c=0.3\text{m}$, $d_1=0.04\text{m}$, θεωρητικό μήκος δοκού $L_b=5.3\text{m}$, θεωρητικό και καθαρό ύψος ορόφου $h_{st}=3.2\text{m}$, $h_{st,n}=3\text{m}$.

ΟΠΛΙΣΜΟΙ: Δοκός: πάνω πέλμα 2 Φ12, κάτω πέλμα 2 Φ20. Υποστύλωμα: 4 Φ20

Για τη δοκό

$$A_{s1} = 628 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 227 \text{ mm}^2$$

$$z_s = 0.4 - 0.08 = 0.32 \text{ m}, \quad d = 0.36\text{m}, \quad \omega_1 = A_{s1} \cdot f_{yd} / b \cdot d \cdot f_{cd} \rightarrow \omega_1 = 0,19$$

Από πίνακα διαστασιολόγησης ορθογωνικών διατομών 4.1 [1] έχουμε $\zeta = 0,88$ άρα $z_c = 0.32\text{m}$

Επειδή $z_c < z_s$ ο θλιβόμενος οπλισμός αξιοποιείται στην ροπή αντοχής.

$$M_{rd} = M_{rd1} + M_{rd2}$$

$$\omega_1' = (A_{s1} - A_{s2}) \cdot f_{yd} / b \cdot d \cdot f_{cd} \rightarrow \omega_1' = 0.121 \rightarrow \mu = 0,115 \text{ και } z' = 0,33 \text{ m}$$

$$M_{rd1} = A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z' \rightarrow M_{rd1} = 25.67 \text{ kNm}$$

$$M_{rd2} = \mu \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} \rightarrow M_{rd2} = 47.69 \text{ kNm} \rightarrow \underline{M_{rd} = 72.96 \text{ kNm ροπή αντοχής δοκού}}$$

Για το υποστύλωμα

$$A_{sx} = 628 \text{ mm}^2$$

$$\omega_x = A_{sx} \cdot f_{yd} / b \cdot d \cdot f_{cd} \rightarrow \omega_x = 0.23 \text{ από νομογράφημα } \mu = 0,1$$

$$M_{rd} = \mu \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} \rightarrow \underline{M_{rd} = 28.8 \text{ kNm ροπή αντοχής υποστυλώματος}}$$

Επομένως $\Sigma M_{yb} = 72.96 \text{ kNm}$ και $\Sigma M_{yc} = 28.8 \text{ kNm}$

Εύρεση μέγιστης τέμνουσας κόμβου

$\Sigma M_{yb} > \Sigma M_{yc}$ (KAN.ΕΠΕ 2012 παρ. 7.2.5 β) περίπτωση 2

$$V_{jv} = \Sigma M_{yc} \cdot (1/z_c - h_{st}/L_b \cdot h_{st,n}) + 0.5 \cdot | [V_{g+q}]_l - [V_{g+q}]_r | \quad (\text{KAN.ΕΠΕ 2012 7.2.5 σχέση } \Sigma.11)$$

Όπου V είναι η τέμνουσα της δοκού στην παρειά

$$\text{Λαμβάνω φορτίο } g = 56 \text{ kN/m } q = 80 \text{ kN/m } q_d = g + 0.3 \cdot q \rightarrow q_d = 80 \text{ kN/m}$$

Από στατική ανάλυση παίρνω $V_{\pi} = 253 \text{ kN}$

$$z_c = 0.244 \text{ m από [1]}$$

$$\text{Άρα } V_{jv} = 234.21 \text{ kN}$$

$$\text{Πλάτος κόμβου } b_j = \min[\max(b_c, b_w), \min(b_c, b_w) + h_v/2] \quad (\text{KAN.ΕΠΕ 2012 7.2.5 } \beta \text{ i}) \rightarrow$$

$$b_j = 0.3 \text{ m}$$

$$\text{Διατμητική τάση κόμβου: } \tau_j = V_{jv}/b_j \cdot h_b \quad (\text{KAN.ΕΠΕ 2012 7.2.5 } \beta \text{ ii}) \rightarrow \tau_j = 1.95 \text{ MPa}$$

Έλεγχος για διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση.

$\tau_c = f_{ct} \cdot \sqrt{[1 + \nu_{top} \cdot f_c / f_{ct}]}$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2012 7.2.5 γ σχέση (3)) με $\nu_{top} = 0$ και $f_{ct} = 0.3 \cdot f_c^{2/3}$
 Άρα $\tau_c = 1.9 < \tau_j$ δηλαδή έχουμε διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση.

Έλεγχος για αστοχία λόγω διαγώνιας θλίψης.

$\tau_{ju} = n \cdot f_c \cdot \sqrt{1 - \nu_{top}} / n$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2012 7.2.5 ε σχέση (5))
 $n = 0.6 \cdot (1 - f_c / 250) = 0.56$
 $\tau_{ju} = 8,96 > \tau_j$ επομένως δεν έχουμε διαγώνια θλίψη.

Ενίσχυση

1. Προσθήκη μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8.3.2.1)

Έστω μανδύας πάχους $t = 50 \text{ mm}$

$h_c' = b_c' = 400 \text{ mm}$ οι ενισχυμένες διαστάσεις του υποστυλώματος

$M_{yb} = 72.96 \text{ kNm} > M_{yc} = 28.8 \text{ kNm}$ (από πριν)

Νέο πλάτος κόμβου $b_j = \min[\max(b_c, b_w), \min(b_c, b_w) + h_v / 2]$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2012 7.2.5 β i) →

$b_j' = 0.4 \text{ m}$

Άρα $\tau_j = 1.46 \text{ MPa} < \tau_c$ (από πριν) δηλαδή δεν έχουμε διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση.

2. Χιαστί κολάρα (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8.3.2.2)

Η απαιτούμενη διατομή χαλύβδινων στοιχείων σε κάθε διαγώνια θέση:

$A_{j\delta} = F_{j\delta} / \gamma_{rd} \cdot f_{yd}$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8.3.2.2 σχέση 8.23)

Επιλέγουμε Fe 360 με $f_{yd} = 235 / 1.15 = 204.35 \text{ MPa}$ και $\gamma_{rd} = 2$

$F_{j\delta} = V_{jv} \cdot h_{\delta} / h_b$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8.3.2.2 σχέση Σ8.14) με h_{δ} το μήκος της διαγωνίου του κόμβου $h_{\delta} = \sqrt{(0.3^2 + 0.4^2)} = 0,5 \text{ m}$

Δηλαδή $F_{j\delta} = 292,76 \text{ kN}$ και $A_{j\delta} = 716,32 \text{ mm}^2$

3. Επικολλητά ελάσματα (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8.3.2.3)

A. Μεταλλικά Fe 360

$F_{yd} = 204.35 \text{ MPa}$ (όπως στα χιαστί κολάρα)

Το απαιτούμενο πάχος υπολογίζεται από τη σχέση $t_{el} \geq \max (V_{jh} / h_b \cdot \sigma_{jd}, V_{jv} / h_c \cdot \sigma_{jd})$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8.3.2.3 σχέση 8.24)

Έχουμε ήδη $V_{jv} = 234.21 \text{ kN}$ και $V_{jh} = V_{jv} \cdot h_c / h_b$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8.3.2 σχέση Σ8.13) δηλαδή $V_{jh} = 175.66 \text{ kN}$

$\sigma_{jd} = \sigma_{jcrit} / \gamma_{rd}$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8. 2.2.2 iv σχέση 8.14) $\gamma_{rd} = 1.2$

$\sigma_{jcrit} = f_{yd} = 204.35 \rightarrow \sigma_{jd} = 170.29 \text{ MPa}$

Επομένως $t_{el} \geq \max(2, 6, 4, 6) \geq 4.6 \text{ mm}$

Επιλέγουμε πάχος $t = 4.6 \text{ mm}$

B. ΙΟΠ-G (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8. 3.2.3)

Μέτρο ελαστικότητας υλικού $E_j = 70 \text{ GPa}$

Ίνες παράλληλες στον άξονα της δοκού: $t_{jh} = V_{jh} / h_b \cdot \sigma_{jd}$

Ίνες παράλληλες στον άξονα του υποστυλώματος : $t_{jv} = V_{jv} / h_c \cdot \sigma_{jd}$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8. 3.2.3)

Για κλειστό μανδύα

$k_v = 0.5$, $\sigma_{jcrit} = E_j \cdot \epsilon_{jd} = E_j \cdot k_v \cdot \epsilon_{jcrit} = E_j \cdot k_v \cdot \min(\epsilon_{ju}, 1.5\%) = E_j \cdot k_v \cdot \min(2.8\%, 1.5\%) \rightarrow$

$\sigma_{jcrit} = 525 \text{ MPa}$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8. 2.2.2 iv)

$\sigma_{jd} = \sigma_{jcrit} / \gamma_{rd}$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8. 2.2.2 iv σχέση 8.14) $\gamma_{rd} = 1.2 \rightarrow \sigma_{jd} = 437.5 \text{ MPa}$

Επομένως $t_{jh} = 1 \text{ mm}$ και $t_{jv} = 1,78 \text{ mm}$

Για ανοικτό μανδύα

Έστω $\lambda = 1$, $k_v = 0.4 + 0.25\lambda \leq 0.65$ άρα $k_v = 0.65$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8. 2.2.2 iv)

$t_{\text{βαποκ}} = f_{\text{ctm}} = 0.3 * f_c / 2 / 3 \rightarrow t_{\text{βαποκ}} = 1.92 \text{ MPa}$
 $L_e = \sqrt{(E_j * t_j / 2 * f_{\text{ctm}})} \rightarrow L_e = 135.72 * \sqrt{t_j}$ (KAN.ΕΠΕ2012 Σ8.4)
 $\beta = \beta_w * \beta_L$ με $\beta_L = 1$ για $\lambda = 1$ και $\beta_w = 1/\sqrt{2}$ για συνεχή φύλλα
 Άρα $\beta = 1/\sqrt{2}$ (KAN.ΕΠΕ2012 8. 2.2.2 iv)
 $\sigma_{j\text{max}} = \beta * t_b * L_e / t_j \rightarrow \sigma_{j\text{max}} = 184.25 / \sqrt{t_j}$ (KAN.ΕΠΕ2012 8. 2.2.2 σχέση Σ.10)
 $\sigma_{jd} = k_v * \sigma_{j\text{max}} / \gamma_{rd} \rightarrow \sigma_{jd} = 99.8 / \sqrt{t_j}$ (KAN.ΕΠΕ2012 8. 2.2.2 σχέση 8.15)
 Τέλος $t_{jh} = 2,69 \text{ mm}$ και $t_{jv} = 3,94 \text{ mm}$

4. Αποκατάσταση ίσης διατομής (KAN.ΕΠΕ2012 8. 3.2.4)

Οριζόντια σκέλη συνδετήρων S500 $A_{j\text{htot}} = \gamma_{rd} * V_{jh} / f_{ywd}$ (KAN.ΕΠΕ2012 σχέση 8. 25)
 Κατακόρυφα σκέλη συνδετήρων S500 $A_{j\text{vtot}} = \gamma_{rd} * V_{jv} / f_{ywd}$ (KAN.ΕΠΕ2012 σχέση 8. 26)

$\gamma_{rd} = 1.5$

Επομένως $A_{j\text{htot}} = 607 \text{ mm}^2$, $A_{j\text{vtot}} = 809 \text{ mm}^2$

Ακολουθεί παραμετρική ανάλυση:

Παράμετροι (m)	V _{jv} (kN)	t _j (MPa)	t _c (MPa)	t μανδύα (mm)	A _{jδ} χιαστί κολάρα (mm)	τελ (mm) Fe	t _{jh} /t _{jv} (mm) ΙΟΠ-G κ.μ	t _{jh} /t _{jv} (mm) ΙΟΠ-G α.μ	A _{jhtot} /A _{jvtot} (mm ²) ίση διατομή
hb=0,40	234,21	1,95	1,9	50	716,32	4,5	1/1,78	2,69/ 3,94	607/809
hb=0,35	234,21	2,2	1,9	50	754	4,5	1,31/1,78	3,2/3,94	693/809
hb=0,50	234,21	1,5	1,9						
bw=0,30	234,21	1,95	1,9	50	716,32	4,5	1/1,78	2,69/2,94	607/809
bw=0,25	234,21	1,95	1,9	50	716,32	4,5	1/1,79	2,69/2,95	607/810
bw=0,35	234,21	1,67	1,9						
Lb=5,3	234,21	1,95	1,9	50	716,32	4,5	1/1,78	2,69/2,94	607/809
Lb=4,8	221,71	1,8	1,9						
Lb=6	251,71	2,1	1,9	50	769,8	4,9	1,07/1,92	2,8/4,13	651/868
hst=3,2	234,21	1,95	1,9	50	716,32	4,5	1/1,78	2,69/ 3,94	607/809
hst=3,0	233,91	1,94	1,9	40	715	4,4	1/1,77	2,68/3,93	605/807
hst=3,5	235,88	1,97	1,9	50	721	4,6	1,01/1,79	2,7/3,96	610/814

Πίνακας 1: Παραμετρική ανάλυση του παραδείγματος

Σχολιασμός

Στον Πίνακα 1 αλλάζουμε τις εξής παραμέτρους (αριστερή στήλη) : ύψος και πλάτος διατομής δοκού hb και bw αντίστοιχα, μήκος δοκού Lb και ύψος ορόφου hst. Με υπογράμμιση είναι οι τιμές που μεγαλώνουν και με γκρι αυτές που μικραίνουν. Με μια πρώτη ματιά συμπεραίνουμε ότι:

- Το ύψος δοκού hb επηρεάζει, (μειούμενο αυξάνει και αντιστρόφως), την διατμητική τάση του κόμβου όχι όμως την τέμνουσα V_{jv} γιατί λόγω της σχέσης Σ.11. Τέλος επειδή υπεισέρχεται στον υπολογισμό της V_{jh} και της διαγωνίου hd έχουμε αύξηση της ενίσχυσης μόνο στα χιαστί κολάρα και τα οριζόντια ελάσματα και σκέλη.
- Το πλάτος bw δεν επηρεάζει πολύ τα αποτελέσματα. Επίσης αξίζει να σημειωθεί πως όταν μικραίνει, μειώνεται η ροπή αντοχής των δοκών χωρίς να επηρεάζει όμως την τέμνουσα λόγω της σχέσης Σ.11. Όμως όταν το bw αυξάνεται, μειώνεται και πάλι η ροπή επειδή σε αυτή την περίπτωση αγνοείται ο θλιβόμενος οπλισμός. Τέλος το bw λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό του πλάτους κόμβου b_j.

- Το άνοιγμα της δοκού L_b αυξανόμενο μεγαλώνει την τέμνουσα στην παρειά της δοκού και κατ επέκταση την τέμνουσα και τη διατμητική τάση του κόμβου. Ως συνέπεια σε όλους τους τρόπους ενίσχυσης έχουμε αυξημένες απαιτήσεις.
- Η αύξηση (ή μείωση) του ύψους ορόφου προκαλεί πολύ μικρή αύξηση (ή μείωση αντίστοιχα) της τέμνουσας και της διατμητικής τάσης του κόμβου και αντίστοιχα στους τρόπους ενισχύσεων.

Τέλος η αντοχή t_c δεν επηρεάζεται από αυτές τις παραμέτρους.

▪ **Περίπτωση 1 δοκός και 2 υποστυλώματα**

Στην περίπτωση αυτή, με τα ίδια δεδομένα της περίπτωσης 1 δοκού και 1 υποστυλώματος, το ΣM_{yc} διπλασιάζεται, δηλαδή $\Sigma M_{yc} = 57,6 \text{ kNm}$. Άρα $V_{jv} = 351,72 \text{ kN} \rightarrow \tau_j = 2,93 \text{ MPa}$. Όμως και $\tau_c = 2,85 \text{ MPa}$ λόγω της $v_{top} = 0,15$. Άρα ο κόμβος εδώ χρειάζεται και πάλι ενίσχυση. Συνεχίζει ο κόμβος και σε αυτή την περίπτωση να μην αστοχεί λόγω διαγώνιας θλίψης με $\tau_{ju} = 7.69 \text{ MPa}$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2012 7.2.5 ε σχέση (5)) .

παραμέ- τροι (m)	V_{jv} (kN)	τ_j (MPa)	τ_c (MPa)	t μανδύα (mm)	$A_{j\delta}$ χιαστί κολάρα (mm)	τελ (mm) Fe	t_{jh}/t_{jv} (mm) ΙΟΠ-G κ.μ	t_{jh}/t_{jv} (mm) ΙΟΠ-G α.μ	A_{jhtot}/A_{jvtot} (mm ²) ίση διατομή
hb=0,40	351,72	2,93	2,85	60	1067	6,88	1,51/2,68	3,52/5,17	910/1213
hb=0,35	351,72	3,3	2,85	60	1131	6,88	1,97/2,68	4,2/5,17	1040/1213
hb=0,50	351,72	2,3	2,85						
bw=0,30	351,72	2,93	2,85	60	1067	6,88	1,51/2,68	3,52/5,17	910/1213
bw=0,25	351,72	2,93	2,85	60	1067	6,88	1,51/2,68	3,52/5,17	910/1213
bw=0,35	234,21	2,5	2,85						
Lb=5,3	351,72	2,93	2,85	60	1067	6,88	1,51/2,68	3,52/5,17	910/1213
Lb=4,8	339,22	2,83	2,85						
Lb=6	369,22	3,08	2,85	50	769,8	4,9	1,07/1,92	2,8/4,13	651/868
hst=3,2	351,72	2,93	2,85	60	1067	6,88	1,51/2,68	3,52/5,17	910/1213
hst=3,0	350,89	2,92	2,85	50	1059	6,81	1,49/2,65	3,50/5,14	909/1211
hst=3,5	352,13	2,94	2,85	60	1071	6,93	1,57/2,81	3,71/5,43	912/1215

Πίνακας 2: Παραμετρική ανάλυση του παραδείγματος

Σχολιασμός

Στον Πίνακα 2 αλλάζουμε τις ίδιες παραμέτρους με τον Πίνακα 1 με τον ίδιο τρόπο. Ισχύουν οι ίδιοι συμβολισμοί με πριν. Συμπεραίνουμε ότι τα αποτελέσματα είναι αντίστοιχα με τον Πίνακα 1 απλά οι απαιτήσεις ενίσχυσης είναι μεγαλύτερες επειδή έχουμε αυξημένη τέμνουσα κόμβου.

▪ **Περίπτωση 2 δοκοί (στην ίδια διεύθυνση) και 1 υποστυλώμα**

ΔΕΔΟΜΕΝΑ: C20/25, S400, διαστάσεις δοκού $b_w=0.3\text{m}$, $h_b=0.6\text{m}$, $d_1=d_2=0.04\text{m}$, διαστάσεις υποστυλώματος $b_c=h_c=0.4\text{m}$, $d_1=0.04\text{m}$, θεωρητικό μήκος δοκού $L_b=4\text{m}$, θεωρητικό και καθαρό ύψος ορόφου $h_{st}=3\text{m}$, $h_{st,n}=2.4\text{m}$.

ΟΠΛΙΣΜΟΙ: Δοκός: πάνω πέλμα 2 Φ16, κάτω πέλμα 4 Φ20. Υποστυλώμα: 6 Φ16

Για τη δοκό

$$A_{s1} = 1256 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 402 \text{ mm}^2$$

$$z_s = 0.6 - 0.08 = 0.52 \text{ m}, \quad d = 0.56 \text{ m}, \quad \omega_1 = A_{s1} * f_{yd} / b * d * f_{cd} \rightarrow \omega_1 = 0,195$$

Από πίνακα διαστασιολόγησης ορθογωνικών διατομών 4.1 [1] έχουμε $\zeta = 0,88$ άρα $z_c = 0.49 \text{ m}$
Επειδή $z_c < z_s$ ο θλιβόμενος οπλισμός αξιοποιείται στην ροπή αντοχής.

$$M_{rd} = M_{rd1} + M_{rd2}$$

$$M_{rd1} = A_{s2} * f_{yd} * z' \rightarrow M_{rd1} = 83,6 \text{ kNm}$$

$$M_{rd2} = \mu * b * d^2 * f_{cd} \rightarrow M_{rd2} = 150,52 \text{ kNm} \rightarrow \underline{M_{rd} = 234,1 \text{ kNm ροπή αντοχής δοκού}}$$

Για το υποστώλωμα

$$\omega_x = A_{sx} * f_{yd} / b * d * f_{cd} \rightarrow \omega_x = 0.25 \text{ από νομογράφημα } \mu = 0,11$$

$$M_{rd} = \mu * b * d^2 * f_{cd} \rightarrow \underline{M_{rd} = 93,87 \text{ kNm ροπή αντοχής υποστυλώματος}}$$

$$\text{Επομένως } \Sigma M_{yb} = 468,2 \text{ kNm και } \Sigma M_{yc} = 93,87 \text{ kNm}$$

Εύρεση μέγιστης τέμνουσας κόμβου

$$\Sigma M_{yb} > \Sigma M_{yc} \text{ (KAN.ΕΠΕ 2012 παρ. 7.2.5 β) περίπτωση 2}$$

$$V_{jv} = \Sigma M_{yc} * (1/z_c - h_{st}/L_b * h_{st,n}) + 0.5 * | [V_{g+wq}]_l - [V_{g+wq}]_r | \text{ (KAN.ΕΠΕ 2012 7.2.5 σχέση Σ.11)}$$

Όπου V είναι η τέμνουσα της δοκού στην παρειά

$$\text{Λαμβάνω φορτίο } g = 100 \text{ kN/m } q = 170 \text{ kN/m } q_d = g + 0.3 * q \rightarrow q_d = 150 \text{ kN/m}$$

Από στατική ανάλυση παίρνω $V_{\pi} = 300 \text{ kN}$

$$z_c = 0.32 \text{ m από [1]}$$

$$\text{Άρα } V_{jv} = \underline{563,8 \text{ kN}}$$

$$\text{Πλάτος κόμβου } b_j = \min[\max(b_c, b_w), \min(b_c, b_w) + h_v/2] \text{ (KAN.ΕΠΕ 2012 7.2.5 β i)} \rightarrow$$

$$b_j = 0.4 \text{ m}$$

$$\text{Διατμητική τάση κόμβου: } \tau_j = V_{jv}/b_j * h_b \text{ (KAN.ΕΠΕ 2012 7.2.5 β ii)} \rightarrow \tau_j = 2,35 \text{ MPa}$$

Έλεγχος για διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση.

$$\tau_c = f_{ct} * \sqrt{[1 + v_{top} * f_c/f_{ct}]} \text{ (KAN.ΕΠΕ 2012 7.2.5 γ σχέση (3)) με } v_{top} = 0 \text{ και } f_{ct} = 0.3 * f_c^{2/3}$$

Άρα $\tau_c = 2.21 \text{ MPa} < \tau_j$ δηλαδή έχουμε διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση.

Έλεγχος για αστοχία λόγω διαγώνιας θλίψης.

$$\tau_{ju} = n * f_c * \sqrt{1 - v_{top}/n} \text{ (KAN.ΕΠΕ 2012 7.2.5 ε σχέση (5))}$$

$$n = 0.6 * (1 - f_c/250) = 0.568$$

$$\tau_{ju} = 11,36 \text{ MPa} > \tau_j \text{ επομένως δεν έχουμε διαγώνια θλίψη.}$$

Ενίσχυση

1. Προσθήκη μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα (KAN.ΕΠΕ2012 8.3.2.1)

Έστω μανδύας πάχους $t = 50 \text{ mm}$

$h_c' = b_c' = 500 \text{ mm}$ οι ενισχυμένες διαστάσεις του υποστυλώματος

$$\text{Νέο πλάτος κόμβου } b_j = \min[\max(b_c, b_w), \min(b_c, b_w) + h_v/2] \text{ (KAN.ΕΠΕ 2012 7.2.5 β i)} \rightarrow$$

$$b_j' = 0.5 \text{ m}$$

Άρα $\tau_j = 1.88 \text{ MPa} < \tau_c$ (από πριν) δηλαδή δεν έχουμε διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση.

2. Χιαστί κολάρα (KAN.ΕΠΕ2012 8.3.2.2)

Η απαιτούμενη διατομή χαλύβδινων στοιχείων σε κάθε διαγώνια θέση:

$$A_{j\delta} = F_{j\delta} / \gamma_{rd} * f_{yd} \text{ (KAN.ΕΠΕ2012 8.3.2.2 σχέση 8.23)}$$

Επιλέγουμε Fe 360 με $f_{yd} = 235/1.15 = 204.35 \text{ MPa}$ και $\gamma_{rd} = 2$

$$F_{j\delta} = V_{jv} * h_{\delta} / h_b \text{ (KAN.ΕΠΕ2012 8.3.2.2 σχέση Σ8.14) με } h_{\delta} \text{ το μήκος της διαγωνίου του κόμβου } h_d = \sqrt{(0.4^2 + 0.6^2)} = 0,72 \text{ m}$$

$$\text{Δηλαδή } F_{j\delta} = 677.6 \text{ kN και } A_{j\delta} = \underline{1658 \text{ mm}^2}$$

3. Επικολητά ελάσματα (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8.3.2.3)

A. Μεταλλικά Fe 360

$F_{yd}=204.35$ MPa (όπως στα χιαστί κολάρα)

Το απαιτούμενο πάχος υπολογίζεται από τη σχέση $t_{el} \geq \max (V_{jh}/h_b * \sigma_{jd}, V_{jv}/h_c * \sigma_{jd})$
(ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8.3.2.3 σχέση 8.24)

Έχουμε ήδη $V_{jv}= 234.21$ kN και $V_{jh}=V_{jv}*h_c/h_b$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8.3.2 σχέση Σ8.13) δηλαδή
 $V_{jh}= 375,9$ kN

$\sigma_{jd}=\sigma_{jcrit}/\gamma_{rd}$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8. 2.2.2 iv σχέση 8.14) $\gamma_{rd}=1.2$

$\sigma_{jcrit}=f_{yd}= 204.35 \rightarrow \sigma_{jd}= 170.29$ MPa

Επομένως $t_{el} \geq 8,28$ mm

Επιλέγουμε πάχος $t=8,28$ mm

B. ΙΟΠ-G (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8. 3.2.3)

Μέτρο ελαστικότητας υλικού $E_j=70$ GPa

Ίνες παράλληλες στον άξονα της δοκού: $t_{jh}= V_{jh}/h_b * \sigma_{jd}$

Ίνες παράλληλες στον άξονα του υποστυλώματος : $t_{jv}= V_{jv}/h_c * \sigma_{jd}$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8. 3.2.3)

Για κλειστό μανδύα

$k_v=0.5$, $\sigma_{jcrit}=E_j * \epsilon_{jd}=E_j * k_v * \epsilon_{jcrit}=E_j * k_v * \min(\epsilon_{ju}, 1.5\%)=E_j * k_v * \min(2.8\%, 1.5\%) \rightarrow$

$\sigma_{jcrit}=525$ MPa (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8. 2.2.2 iv)

$\sigma_{jd}=\sigma_{jcrit}/\gamma_{rd}$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8. 2.2.2 iv σχέση 8.14) $\gamma_{rd}=1.2 \rightarrow \sigma_{jd}= 437.5$ MPa

Επομένως $t_{jh}=1,43$ mm και $t_{jv}= 3.22$ mm

Για ανοικτό μανδύα

Έστω $\lambda=1$, $k_v= 0.4+0.25\lambda \leq 0.65$ άρα $k_v=0.65$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8. 2.2.2 iv)

$t_{baπoκ}= f_{ctm}=0.3*f_c/2/3 \rightarrow t_{baπoκ}=1.92$ MPa

$L_e=\sqrt{(E_j * t_j/2 * f_{ctm})} \rightarrow L_e=135.72 * \sqrt{t_j}$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 Σ8.4)

$\beta= \beta_w * \beta_L$ με $\beta_L=1$ για $\lambda=1$ και $\beta_w=1/\sqrt{2}$ για συνεχή φύλλα

Άρα $\beta=1/\sqrt{2}$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8. 2.2.2 iv)

$\sigma_{jmax}= \beta * t_b * L_e/t_j \rightarrow \sigma_{jmax}= 184.25/\sqrt{t_j}$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8. 2.2.2 σχέση Σ.10)

$\sigma_{jd}= k_v * \sigma_{jmax}/\gamma_{rd} \rightarrow \sigma_{jd}=99.8/\sqrt{t_j}$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8. 2.2.2 σχέση 8.15)

Τέλος $t_{jh}=3,4$ mm και $t_{jv}= 5.84$ mm

4. Αποκατάσταση ίσης διατομής (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8. 3.2.4)

Οριζόντια σκέλη συνδετήρων S400 $A_{jhtot}=\gamma_{rd} * V_{jh}/f_{ywd}$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 σχέση 8. 25)

Κατακόρυφα σκέλη συνδετήρων S400 $A_{jvto}t=\gamma_{rd} * V_{jv}/f_{ywd}$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 σχέση 8. 26)

$\gamma_{rd}=1.5$

Επομένως $A_{jhtot}=1621$ mm², $A_{jvto}=2431.4$ mm²

Στην επόμενη σελίδα ακολουθεί παραμετρική ανάλυση αλλάζοντας αυτή τη φορά την ποιότητα σκυροδέματος και οπλισμού και τις διαστάσεις της διατομής του υποστυλώματος.

	V_{jv} (kN)	τ_j MPa	τ_c MPa	t μανδύ α (mm)	A _{jδ} χιαστί κολάρα (mm ²)	τελ (mm) Fe 360	t _{jh} /t _{jv} mm ΙΟΠ-G κ.μ	t _{jh} /t _{jv} mm ΙΟΠ-G α.μ	A _{jhtot} /A _{jvto} t (mm ²) ίση διατομή
C20/25	563,8	2,35	2,21	50	1658	8,28	1,43/3,22	3,4/5,84	1621/2432
C16/20	511,03	2,13	1,91	50	1500	7,5	1,3/2,92	3,19/5,47	1470/2204
S400	563,8	2,35	2,21	50	1658	8,28	1,43/3,22	3,4/5,84	1621/2432
S500	706,6	2,94	2,21	50	2075	10,37	1,8/4,04	3,96/6,8	1625/2438
bc=0,4m	563,8	2,35	2,21	50	1658	8,28	1,43/3,22	3,4/5,84	1621/2432
bc=0,3m	551,8	3,07	2,21	75	1508	8,1	1,4/3,15	3,36/5,76	1587/2380
bc=0,5m	569,76	1,9	2,21						
hc=0,4m	563,8	2,35	2,21	50	1658	8,28	1,43/3,22	3,4/5,84	1621/2432
hc=0,3m	625,1	2,6	2,21	50	1708	12,24	1,19/4,76	3,01/7,58	1348/2696
hc=0,5m	480	2	2,21						

Πίνακας 3: Παραμετρική ανάλυση του παραδείγματος

Σχολιασμός

Αρχικά ισχύουν οι ίδιοι συμβολισμοί. Μερικά πρώτα συμπεράσματα:

- Όσο αυξάνουμε (ή μειώνουμε) την ποιότητα του σκυροδέματος αλλά και του χάλυβα αυξάνεται (ή μειώνεται αντίστοιχα) οι ροπές αντοχής των δοκών και του υποστυλώματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάλογη αλλαγή στην τέμνουσα, τη διατμητική τάση και τα μεγέθη ενίσχυσης. Με την μείωση της ποιότητας του σκυροδέματος ελαττώνεται η αντοχή τ_c και τ_{ju} .
- Με τη μείωση του πλάτους υποστυλώματος μειώνεται η τέμνουσα και οι απαιτήσεις ενίσχυσης σε χιαστί κολάρα, επικολλητά ελάσματα και ίση διατομή αλλά επηρεάζεται και το πλάτος κόμβου μεγαλώνοντας έτσι τη διατμητική τάση αλλά και αυξάνοντας το πάχος μόνο στην περιπτώσει του μανδύα.
- Μειώνοντας το ύψος διατομής υποστυλώματος αυξάνεται η τέμνουσα, η διατμητική τάση στον κόμβο, οι κατακόρυφες διατομές ενίσχυσης, τα χιαστί και το μεταλλικό πάχος αλλά μειώνονται οι οριζόντιες διατομές σε ΙΟΠ και ίση διατομή λόγω της V_{jh} (KAN.ΕΠΕ2012 8.3.2).

▪ Περίπτωση 2 δοκοί (στην ίδια διεύθυνση) και 2 υποστυλώματα

Στην περίπτωση αυτή, με τα ίδια δεδομένα της περίπτωσης 2 δοκών και 1 υποστύλωμα, το ΣM_{yc} διπλασιάζεται, δηλαδή $\Sigma M_{yc} = 187,7$ kNm. Άρα $V_{jv} = 827.4$ kN $\rightarrow \tau_j = 3.45$ MPa. Όμως και $\tau_c = 3,7$ MPa λόγω της $v_{top} = 0,2$. Συνεχίζει ο κόμβος και σε αυτή την περίπτωση να μην αστοχεί λόγω διαγώνιας θλίψης με $\tau_{ju} = 9,75$. Άρα ο κόμβος εδώ δεν χρειάζεται καθόλου ενίσχυση.

	V _{jv} (kN)	τ _j (MPa)	τ _c (MPa)	t μανδύα (mm)	A _{jδ} χιαστί κολάρα (mm ²)	τελ (mm) μεταλλ. ελάσματα	t _{jh} /t _{jv} mm ΙΟΠ-G κ.μ	t _{jh} /t _{jv} mm ΙΟΠ- G α.μ	A _{jhtot} /A _{jvto} t (mm ²) ίση διατομή
C20/25	827,4	3,45	3,7	OXI		ΕΦΕΛΚ	ΡΗΓΜ		
C16/20	798,8	3,32	3,11	ΕΝΙΣΧΥΣΗ					
S400	827,4	3,45	3,7	OXI		ΕΦΕΛΚ	ΡΗΓΜ		
S500	923,4	3,85	3,7	ΕΝΙΣΧΥΣΗ					
bc=0,4 m	827,4	3,45	3,7	OXI		ΕΦΕΛΚ	ΡΗΓΜ		
bc=0,3 m	803,5 5	4,46	3,7	ΕΝΙΣΧΥΣΗ					
bc=0,5 m	839,5 2	2,8	3,7	OXI		ΕΦΕΛΚ	ΡΗΓΜ		
hc=0,4 m	827,4	3,45	3,7	OXI		ΕΦΕΛΚ	ΡΗΓΜ		
hc=0,3 m	950,2	4,17	3,7	ΕΝΙΣΧΥΣΗ					
hc=0,5 m	660	2,75	3,7	OXI		ΕΦΕΛΚ	ΡΗΓΜ		

Πίνακας 4: Παραμετρική ανάλυση του παραδείγματος

Σχολιασμός

Στον Πίνακα 4 αλλάζουμε τις ίδιες παραμέτρους με τον Πίνακα 3 με τον ίδιο τρόπο. Ισχύουν οι ίδιοι συμβολισμοί. Συμπεραίνουμε ότι τα αποτελέσματα είναι αντίστοιχα με τον Πίνακα 3 απλά οι απαιτήσεις ενίσχυσης είναι μεγαλύτερες επειδή έχουμε αυξημένη τέμνουσα κόμβου.

▪ Περίπτωση 3 δοκοί και 1 υποστύλωμα

ΔΕΔΟΜΕΝΑ: C16/20, S400, διαστάσεις δοκού $b_w=0.3\text{m}$, $h_b=0.4\text{m}$, $d_1=d_2=0.04\text{m}$, διαστάσεις υποστυλώματος $b_c=h_c=0.3\text{m}$, $d_1=0.04\text{m}$, θεωρητικό μήκος δοκού $L_b=5.3\text{m}$, θεωρητικό και καθαρό ύψος ορόφου $h_{st}=3.2\text{m}$, $h_{st,n}=3\text{m}$.

ΟΠΛΙΣΜΟΙ: Δοκός: πάνω πέλμα 2 Φ12, κάτω πέλμα 2 Φ20. Υποστύλωμα: 4 Φ20

Η στατική ανάλυση για την κάθε δοκό και το υποστύλωμα είναι ίδια με το πρώτο παράδειγμα. Επειδή έχουμε 2 δοκούς στη διεύθυνση i και μία στη j θα τις μελετήσουμε ξεχωριστά και για τους τρόπους ενίσχυσης θα λάβουμε υπόψη τη δυσμενέστερη διεύθυνση.

Διεύθυνση j

$\Sigma M_{yb}=72.96\text{ kNm}$ και $\Sigma M_{yc}=28.8\text{ kNm}$

Εύρεση μέγιστης τέμνουσας κόμβου

$\Sigma M_{yb} > \Sigma M_{yc}$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2012 παρ. 7.2.5 β) περίπτωση 2

$V_{jv} = \Sigma M_{yc} * (1/z_c - h_{st}/L_b * h_{st,n}) + 0.5 * | [V_{g+\psi q}]_l - [V_{g+\psi q}]_r |$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2012 7.2.5 σχέση Σ.11)

Όπου V είναι η τέμνουσα της δοκου στην παρειά

Λαμβάνω φορτίο $g=56\text{ kN/m}$ $q=80\text{ kN/m}$ $q_d = g+0.3*q \rightarrow q_d=80\text{ kN/m}$

Άρα $V_{jv} = 234.21\text{ kN}$

Πλάτος κόμβου $b_j = \min[\max(b_c, b_w), \min(b_c, b_w) + h_v/2]$ (KAN.ΕΠΕ 2012 7.2.5 β i) → $b_j = 0.3m$

Διατμητική τάση κόμβου: $\tau_j = V_{jv}/b_j \cdot h_b$ (KAN.ΕΠΕ 2012 7.2.5 β ii) → $\tau_j = 1.95 \text{ MPa}$

Έλεγχος για διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση.

$\tau_c = f_{ct} \cdot \sqrt{[1 + v_{top} \cdot f_c / f_{ct}]}$ (KAN.ΕΠΕ 2012 7.2.5 γ σχέση (3)) με $v_{top} = 0$ και $f_{ct} = 0.3 \cdot f_c^{2/3}$

Άρα $\tau_c = 1.9 < \tau_j$ δηλαδή έχουμε διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση.

Έλεγχος για αστοχία λόγω διαγώνιας θλίψης.

$\tau_{ju} = n \cdot f_c \cdot \sqrt{1 - v_{top}/n}$ (KAN.ΕΠΕ 2012 7.2.5 ε σχέση (5))

$n = 0.6 \cdot (1 - f_c/250) = 0.56$

$\tau_{ju} = 8,96 > \tau_j$ επομένως δεν έχουμε διαγώνια θλίψη.

Ενίσχυση

1. Προσθήκη μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα (KAN.ΕΠΕ2012 8.3.2.1)

Έστω μανδύας πάχους $t = 50 \text{ mm}$

$h_c' = b_c' = 400 \text{ mm}$ οι ενισχυμένες διαστάσεις του υποστυλώματος

$M_{yb} = 72.96 \text{ kNm} > M_{yc} = 28.8 \text{ kNm}$ (από πριν)

Νέο πλάτος κόμβου $b_j = \min[\max(b_c, b_w), \min(b_c, b_w) + h_v/2]$ (KAN.ΕΠΕ 2012 7.2.5 β i) → $b_j' = 0.4 \text{ m}$

Άρα $\tau_j = 1.46 \text{ MPa} < \tau_c$ (από πριν) δηλαδή δεν έχουμε διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση.

2. Χιαστί κολάρα (KAN.ΕΠΕ2012 8.3.2.2)

Αυτόν τον τρόπο ενίσχυσης δεν μπορούμε να τον εφαρμόσουμε διότι στον κόμβο συντρέχουν δυο δοκοί στην άλλη διεύθυνση.

3. Επικολητά ελάσματα (KAN.ΕΠΕ2012 8.3.2.3)

Σε περίπτωση που υπάρχει πλάκα δεν ενδείκνυται αυτός ο τρόπος ενίσχυσης

4. Αποκατάσταση ίσης διατομής (KAN.ΕΠΕ2012 8.3.2.4)

Οριζόντια σκέλη συνδετήρων S500 $A_{jhtot} = \gamma_{rd} \cdot V_{jh} / f_{ywd}$ (KAN.ΕΠΕ2012 σχέση 8. 25)

Κατακόρυφα σκέλη συνδετήρων S500 $A_{jvtot} = \gamma_{rd} \cdot V_{jv} / f_{ywd}$ (KAN.ΕΠΕ2012 σχέση 8. 26)

$\gamma_{rd} = 1.5$

Επομένως $A_{jhtot} = 607 \text{ mm}^2$, $A_{jvtot} = 809 \text{ mm}^2$

Διεύθυνση i

$\Sigma M_{yb} = 145.92 \text{ kNm}$ και $\Sigma M_{yc} = 28.8 \text{ kNm}$

Εύρεση μέγιστης τέμνουσας κόμβου

$\Sigma M_{yb} > \Sigma M_{yc}$ (KAN.ΕΠΕ 2012 παρ. 7.2.5 β) περίπτωση 2

$V_{iv} = \Sigma M_{yc} \cdot (1/z_c - h_{st}/L_b \cdot h_{st,n}) + 0.5 \cdot | [V_{g+\psi q}]_l - [V_{g+\psi q}]_r |$ (KAN.ΕΠΕ 2012 7.2.5 σχέση Σ.11)

Όπου V είναι η τέμνουσα της δοκου στην παρειά

Λαμβάνω φορτίο $g = 56 \text{ kN/m}$ $q = 80 \text{ kN/m}$ $q_d = g + 0.3 \cdot q \rightarrow q_d = 80 \text{ kN/m}$

Από στατική ανάλυση παίρνω $V_{\pi} = 253 \text{ kN}$

Άρα $V_{iv} = 365.61 \text{ kN}$

Πλάτος κόμβου $b_i = \min[\max(b_c, b_w), \min(b_c, b_w) + h_v/2]$ (KAN.ΕΠΕ 2012 7.2.5 β i) → $b_i = 0.3m$

Διατμητική τάση κόμβου: $\tau_i = V_{iv}/b_i \cdot h_b$ (KAN.ΕΠΕ 2012 7.2.5 β ii) → $\tau_i = 3.05 \text{ MPa}$

Έλεγχος για διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση.

$\tau_c = f_{ct} \cdot \sqrt{[1 + v_{top} \cdot f_c / f_{ct}]}$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2012 7.2.5 γ σχέση (3)) με $v_{top}=0$ και $f_{ct}=0.3 \cdot f_c^{2/3}$
 Άρα $\tau_c = 1.9 < \tau_i$ δηλαδή έχουμε διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση.

Έλεγχος για αστοχία λόγω διαγώνιας θλίψης.

$T_{iu} = n \cdot f_c \cdot \sqrt{1 - v_{top}} / n$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2012 7.2.5 ε σχέση (5))

$n = 0.6 \cdot (1 - f_c / 250) = 0.56$

$\tau_{iu} = 8,96 > \tau_j$ επομένως δεν έχουμε διαγώνια θλίψη.

Ενίσχυση

1. Προσθήκη μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8.3.2.1)

Έστω μανδύας πάχους $t = 100 \text{ mm}$

$h_c' = b_c' = 500 \text{ mm}$ οι ενισχυμένες διαστάσεις του υποστυλώματος

$M_{yb} = 145.92 \text{ kNm} > M_{yc} = 28.8 \text{ kNm}$ (από πριν)

Νέο πλάτος κόμβου $b_i = \min[\max(b_c, b_w), \min(b_c, b_w) + h_w / 2]$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2012 7.2.5 β i) →

$b_i' = 0.5 \text{ m}$

Άρα $\tau_i = 1.83 \text{ MPa} < \tau_c$ (από πριν) δηλαδή δεν έχουμε διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση.

2. Χιαστί κολάρα (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8.3.2.2)

Εδώ μπορούμε να εφαρμόσουμε την μέθοδο.

Η απαιτούμενη διατομή χαλύβδινων στοιχείων σε κάθε διαγώνια θέση:

$A_{i\delta} = F_{i\delta} / \gamma_{rd} \cdot f_{yd}$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8.3.2.2 σχέση 8.23)

Επιλέγουμε Fe 360 με $f_{yd} = 235 / 1.15 = 204.35 \text{ MPa}$ και $\gamma_{rd} = 2$

$F_{i\delta} = V_{iv} \cdot h_{\delta} / h_b$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8.3.2.2 σχέση Σ8.14) με h_{δ} το μήκος της διαγωνίου του κόμβου $h_{\delta} = \sqrt{(0.4^2 + 0.3^2)} = 0,5 \text{ m}$

Δηλαδή $F_{i\delta} = 457,01 \text{ kN}$ και $A_{i\delta} = 1118 \text{ mm}^2$

3. Επικολλητά ελάσματα (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8.3.2.3)

Σε περίπτωση που υπάρχει πλάκα δεν ενδείκνυται αυτός ο τρόπος ενίσχυσης

4. Αποκατάσταση ίσης διατομής (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 8. 3.2.4)

Οριζόντια σκέλη συνδετήρων S500 $A_{ihtot} = \gamma_{rd} \cdot V_{ih} / f_{ywd}$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 σχέση 8. 25)

Κατακόρυφα σκέλη συνδετήρων S500 $A_{ivtot} = \gamma_{rd} \cdot V_{iv} / f_{ywd}$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ2012 σχέση 8. 26)

$\gamma_{rd} = 1.5$

Επομένως $A_{ihtot} = 946 \text{ mm}^2$, $A_{ivtot} = 1261 \text{ mm}^2$

Για το πάχος μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα θα επιλέξουμε $t = 100 \text{ mm}$ και για την αποκατάσταση ίσης διατομής $A_{htot} = 946 \text{ mm}^2$, $A_{vtot} = 1261 \text{ mm}^2$.

▪ Περίπτωση 3 δοκοί και 2 υποστυλώματα

Στην περίπτωση αυτή, με τα ίδια δεδομένα της περίπτωσης 3 δοκών και 1 υποστυλώματος, το ΣM_{yc} διπλασιάζεται, δηλαδή $\Sigma M_{yc} = 57,6 \text{ kNm}$. Άρα $V_{jv} = 351,72 \text{ kN} \rightarrow \tau_j = 2,93 \text{ MPa}$. Όμως και $\tau_c = 2,85 \text{ MPa}$ λόγω της $v_{top} = 0,15$. Άρα ο κόμβος εδώ χρειάζεται και πάλι ενίσχυση. Συνεχίζει ο κόμβος και σε αυτή την περίπτωση να μην αστοχεί λόγω διαγώνιας θλίψης με $\tau_{ju} = 7.69 \text{ MPa}$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2012 7.2.5 ε σχέση (5)) .

Τα αποτελέσματα ενίσχυσης αυξάνουν αντίστοιχα με το δεύτερο παράδειγμα καθώς επίσης δεν χρησιμοποιούμε στη μία διεύθυνση χιαστί κολάρα και επικολλητά ελάσματα όπως πάνω.

▪ **Περίπτωση 4 δοκοί και 1 υποστύλωμα**

ΔΕΔΟΜΕΝΑ: C16/20, S400, διαστάσεις δοκού $b_w=0.3\text{m}$, $h_b=0.4\text{m}$, $d_1=d_2=0.04\text{m}$, διαστάσεις υποστυλώματος $b_c=h_c=0.3\text{m}$, $d_1=0.04\text{m}$, θεωρητικό μήκος δοκού $L_b=5.3\text{m}$, θεωρητικό και καθαρό ύψος ορόφου $h_{st}=3.2\text{m}$, $h_{st,n}=3\text{m}$.

ΟΠΛΙΣΜΟΙ: Δοκός: πάνω πέλμα 2 Φ12, κάτω πέλμα 2 Φ20. Υποστύλωμα: 4 Φ20

Η στατική ανάλυση για την κάθε δοκό και το υποστύλωμα είναι ίδια με το πρώτο παράδειγμα. Ισχύουν τα ίδια δεδομένα σε κάθε διεύθυνση γι αυτό θα μελετήσουμε μόνο τη μία.

$\Sigma M_{yb}=145.92 \text{ kNm}$ και $\Sigma M_{yc}= 28.8 \text{ kNm}$

Εύρεση μέγιστης τέμνουσας κόμβου

$\Sigma M_{yb} > \Sigma M_{yc}$ (KAN.ΕΠΕ 2012 παρ. 7.2.5 β) περίπτωση 2

$V_{iv} = \Sigma M_{yc} * (1/z_c - h_{st}/L_b * h_{st,n}) + 0.5 * | [V_{g+\psi q}]l - [V_{g+\psi q}]r |$ (KAN.ΕΠΕ 2012 7.2.5 σχέση Σ.11)

Όπου V είναι η τέμνουσα της δοκου στην παρειά

Λαμβάνω φορτίο $g=56 \text{ kN/m}$ $q=80 \text{ kN/m}$ $q_d = g + 0.3 * q \rightarrow q_d = 80 \text{ kN/m}$

Από στατική ανάλυση παίρνω $V_p = 253 \text{ kN}$

Άρα $V_{iv} = 365.61 \text{ kN}$

Πλάτος κόμβου $b_i = \min[\max(b_c, b_w), \min(b_c, b_w) + h_v/2]$ (KAN.ΕΠΕ 2012 7.2.5 β i) $\rightarrow b_i = 0.3 \text{ m}$

Διατμητική τάση κόμβου: $\tau_i = V_{iv}/b_i * h_b$ (KAN.ΕΠΕ 2012 7.2.5 β ii) $\rightarrow \tau_i = 3.05 \text{ MPa}$

Έλεγχος για διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση.

$\tau_c = f_{ct} * \sqrt{[1 + v_{top} * f_c / f_{ct}]}$ (KAN.ΕΠΕ 2012 7.2.5 γ σχέση (3)) με $v_{top} = 0$ και $f_{ct} = 0.3 * f_c^{2/3}$

Άρα $\tau_c = 1.9 < \tau_i$ δηλαδή έχουμε διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση.

Έλεγχος για αστοχία λόγω διαγώνιας θλίψης.

$T_{iu} = n * f_c * \sqrt{1 - v_{top}/n}$ (KAN.ΕΠΕ 2012 7.2.5 ε σχέση (5))

$n = 0.6 * (1 - f_c/250) = 0.56$

$\tau_{iu} = 8.96 > \tau_i$ επομένως δεν έχουμε διαγώνια θλίψη.

Ενίσχυση

1. Προσθήκη μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα (KAN.ΕΠΕ2012 8.3.2.1)

Έστω μανδύας πάχους $t = 100 \text{ mm}$

$h_c' = b_c' = 500 \text{ mm}$ οι ενισχυμένες διαστάσεις του υποστυλώματος

$M_{yb} = 145.92 \text{ kNm} > M_{yc} = 28.8 \text{ kNm}$ (από πριν)

Νέο πλάτος κόμβου $b_i = \min[\max(b_c, b_w), \min(b_c, b_w) + h_v/2]$ (KAN.ΕΠΕ 2012 7.2.5 β i) $\rightarrow b_i' = 0.5 \text{ m}$

Άρα $\tau_i = 1.83 \text{ MPa} < \tau_c$ (από πριν) δηλαδή δεν έχουμε διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση.

2. Χιαστί κολάρα (KAN.ΕΠΕ2012 8.3.2.2)

Αυτόν τον τρόπο ενίσχυσης δεν μπορούμε να τον εφαρμόσουμε καθόλου στον κόμβο διότι συντρέχουν δοκοί σε όλες τις διευθύνσεις.

3. Επικολλητά ελάσματα (KAN.ΕΠΕ2012 8.3.2.3)

Σε περίπτωση που υπάρχει πλάκα δεν ενδείκνυται αυτός ο τρόπος ενίσχυσης

4. Αποκατάσταση ίσης διατομής (KAN.ΕΠΕ2012 8. 3.2.4)

Οριζόντια σκέλη συνδετήρων S500 $A_{ihtot} = \gamma_{rd} * V_{ih} / f_{ywd}$ (KAN.ΕΠΕ2012 σχέση 8. 25)

Κατακόρυφα σκέλη συνδετήρων S500 $A_{ivtot} = \gamma_{rd} * V_{iv} / f_{ywd}$ (KAN.ΕΠΕ2012 σχέση 8. 26)

$$\gamma_{rd}=1.5$$

$$\text{Επομένως } A_{ihtot}=946 \text{ mm}^2, A_{ivtot}=1261 \text{ mm}^2$$

Παρατηρούμε πως σε αυτόν τον κόμβο έχουμε τις λιγότερες επιλογές ενίσχυσης πράγμα που καθιστά πιο δύσκολο το στόχο μας.

▪ Περίπτωση 4 δοκοί και 2 υποστυλώματα

Στην περίπτωση αυτή, με τα ίδια δεδομένα της περίπτωσης 3 δοκών και 1 υποστυλώματος, το ΣM_{yc} διπλασιάζεται, δηλαδή $\Sigma M_{yc} = 57,6 \text{ kNm}$. Άρα $V_{jv} = 351,72 \text{ kN} \rightarrow \tau_j = 2,93 \text{ MPa}$. Όμως και $\tau_c = 2,85 \text{ MPa}$ λόγω της $v_{top} = 0,15$. Άρα ο κόμβος εδώ χρειάζεται και πάλι ενίσχυση. Συνεχίζει ο κόμβος και σε αυτή την περίπτωση να μην αστοχεί λόγω διαγώνιας θλίψης με $\tau_{ju} = 7.69 \text{ MPa}$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2012 7.2.5 ε σχέση (5)) .

Τα αποτελέσματα ενίσχυσης αυξάνουν αντίστοιχα με το δεύτερο παράδειγμα καθώς επίσης δεν χρησιμοποιούμε καθόλου χιαστί κολάρα και επικολητά ελάσματα όπως πάνω.

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αρχικά στα παραπάνω παραδείγματα η ροπή από τις δοκούς είναι μεγαλύτερη από τη ροπή υποστυλωμάτων δηλαδή βρισκόμαστε στην περίπτωση ii (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2012 παρ. 7.2.5 β). Επίσης το ενδεχόμενο διαγώνιας θλίψης φαίνεται ακραίο.

Η ύπαρξη υπερκείμενου υποστυλώματος αυξάνει τόσο την ΣM_{yc} και άρα την τέμνουσα και τις απαιτήσεις ενίσχυσης όσο και την αντοχή του κόμβου σε εφελκυστική ρηγμάτωση λόγω v_{top} . Μειώνει ωστόσο την αντοχή σε διαγώνια θλίψη, η οποία όμως παραμένει υψηλή.

Είναι προφανές ότι όσο μεγαλύτερο είναι το φορτίο τόσο αυξάνεται η τέμνουσα, διατμητική τάση και οι απαιτήσεις ενίσχυσης.

Επιπλέον, αύξηση οπλισμού σε όλα τα στοιχεία συνεπάγεται με αύξηση της ροπής αντοχής και κατ'επέκταση τέμνουσας, διατμητικής τάσης και οι απαιτήσεις ενίσχυσης.

Το ύψος δοκού h_b επηρεάζει, (μειούμενο αυξάνει και αντιστρόφως), την διατμητική τάση του κόμβου όχι όμως την τέμνουσα V_{jv} . Έχουμε αύξηση της ενίσχυσης μόνο στα χιαστί κολάρα και τα οριζόντια ελάσματα και σκέλη.

Το πλάτος b_w δεν επηρεάζει πολύ τα αποτελέσματα, λαμβάνεται υπόψη μόνο στον υπολογισμό του πλάτους κόμβου b_j .

Το άνοιγμα της δοκού L_b επηρεάζει πολύ σημαντικά. Αυξανόμενο μεγαλώνει την τέμνουσα στην παρειά της δοκού και κατ'επέκταση την τέμνουσα και τη διατμητική τάση του κόμβου. Ως συνέπεια σε όλους τους τρόπους ενίσχυσης έχουμε αυξημένες απαιτήσεις.

Το ύψος ορόφου δεν μεταβάλλει σημαντικά τα αποτελέσματα για υπεισέρχεται ως κλάσμα θεωρητικού και καθαρού ύψους στους υπολογισμούς.

Όσο αυξάνουμε (ή μειώνουμε) την ποιότητα του σκυροδέματος αλλά και του χάλυβα αυξάνονται (ή μειώνονται αντίστοιχα) οι ροπές αντοχής των δοκών και του υποστυλώματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάλογη αλλαγή στην τέμνουσα, τη διατμητική τάση και τα μεγέθη ενίσχυσης. Με την μείωση της ποιότητας του σκυροδέματος ελαττώνεται η αντοχή τ_c και τ_{ju} .

Το πλάτος του υποστυλώματος παίζει σημαντικό ρόλο στη διατμητική τάση διότι καθορίζει το πλάτος του κόμβου. Οι απαιτήσεις ενίσχυσης δεν αλλάζουν σημαντικά.

Με την αύξηση του ύψους διατομής υποστυλώματος αυξάνουν σημαντικά οι κατακόρυφες ενισχύσεις, ενώ οι οριζόντιες μειώνονται.

Τέλος, προέκυψε το συμπέρασμα ότι μια δυσμενής περίπτωση κόμβου είναι με δυο δοκούς στην ίδια διεύθυνση. Όταν δε υπάρχει και εγκάρσια (ή εγκάρσιες) δοκός περιορίζονται και οι τρόποι ενίσχυσης.

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Φαρδής Μ. Ν. **“Μαθήματα οπλισμένου σκυροδέματος, Μέρος Ι”** Διδακτικό βιβλίο. Πανεπιστήμιο Πατρών 2011
- [2] Δρίτσος Σ. Η. **“Ενισχύσεις – Επισκευές Κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος”**. Διδακτικό βιβλίο. Πανεπιστήμιο Πατρών 2012
- [3] **Κανονισμός Επεμβάσεων 2012**. Εφημερίδα της Κυβέρνησης.