

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών  
Τομέας Δομοστατικής  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών  
Μάθημα : Σιδηρές Κατασκευές ΙΙ  
Διδάσκοντες : Ι. Βάγιας – Γ. Ιωαννίδης – Χ. Γαντές  
Ι. Μαλλής – Ξ. Λιγνός – Α. Σπηλιόπουλος – Β. Κάρλος – Κ. Καλοχαιρέτης

Απρίλιος 2012

**Άσκηση 4**

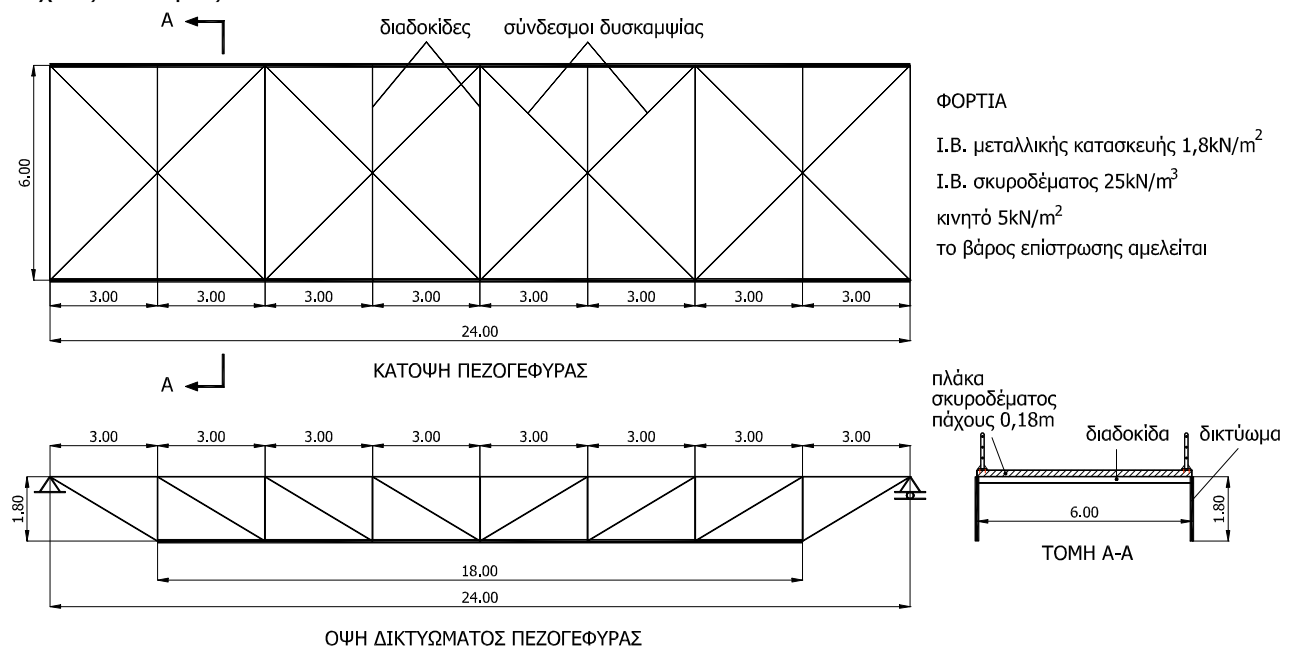
Δίνεται η πεζογέφυρα του σχήματος, ανοίγματος 24m και πλάτους 6m.

Η πεζογέφυρα αποτελείται από δύο κύριες δοκούς μορφής δικτυώματος και πλάκα σκυροδέματος πάχους 0,18m. Η εφελκόμενη δοκός (κάτω πέλμα) του κάθε δικτυώματος είναι διατομής HEA240.

Να σχεδιαστεί η αποκατάσταση συνέχειας του κάτω πέλματος με κοχλίωση τύπου A, B, C. Οι κοχλίες θα τοποθετηθούν σε κανονικές οπές οι δε επιφάνειες επαφής κατατάσσονται στην κατηγορία B.

Δίνεται ποιότητα χάλυβα S355.

Κοχλίες ποιότητας 8.8.



## ΛΥΣΗ ΑΣΚΗΣΗΣ 4

## 1. ΦΟΡΤΙΑ

Τα φορτία που λαμβάνονται υπόψη είναι:

Ι.Β. μεταλλικής κατασκευής

Πλάκα σκυροδέματος πάχους 18cm

Κινητό φορτίο πεζογέφυρας

$$g = 1,80\text{kN/m}^2$$

$$g_{\text{πλάκας}} = 0,18\text{m} \times 25\text{kN/m}^3 = 4,50\text{kN/m}^2$$

$$p = 5,00\text{kN/m}^2$$

Η κατανομή των φορτίων ανά δικτύωμα θα είναι:

$$G = 1,80\text{kN/m}^2 \times 3,00\text{m} = 5,40\text{kN/m}$$

$$G_{\text{πλάκας}} = 4,50\text{kN/m}^2 \times 3,00\text{m} = 13,50\text{kN/m}$$

$$P = 5,00\text{kN/m}^2 \times 3,00\text{m} = 15,00\text{kN/m}$$

## 2. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ

**Οριακή κατάσταση αστοχίας:**

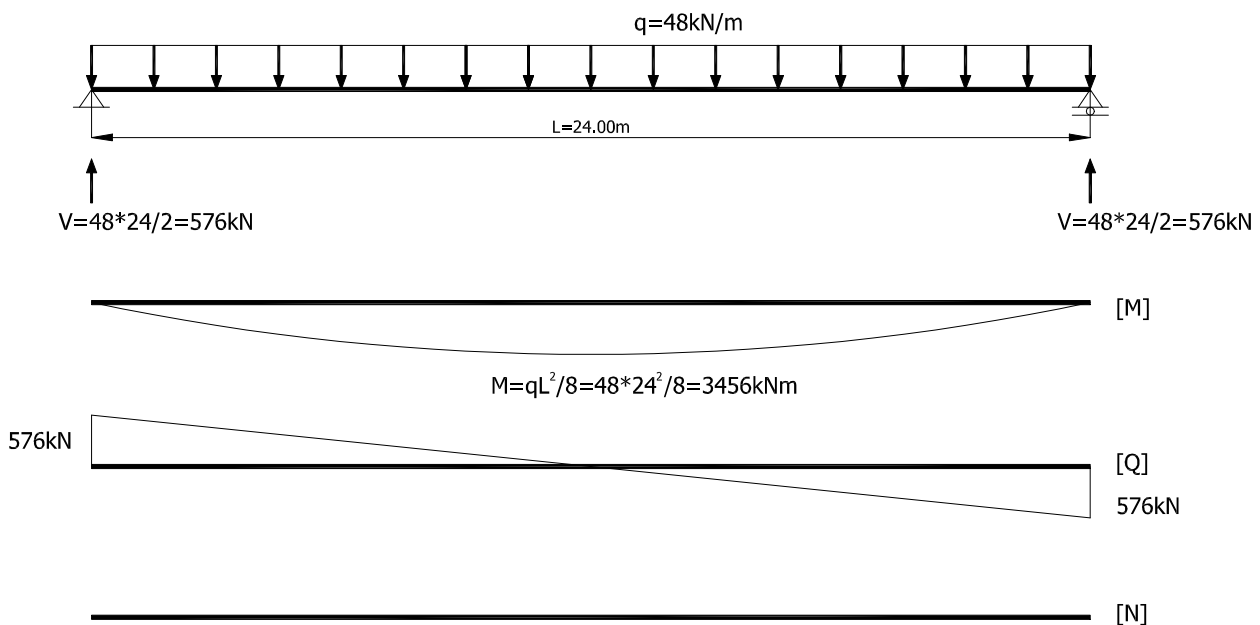
$$1,35(G + G_{\text{πλάκας}}) + 1,50P = 1,35 \times (5,40\text{kN/m} + 13,50\text{kN/m}) + 1,50 \times 15,00\text{kN/m} = 48,00\text{kN/m}$$

**Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας:**

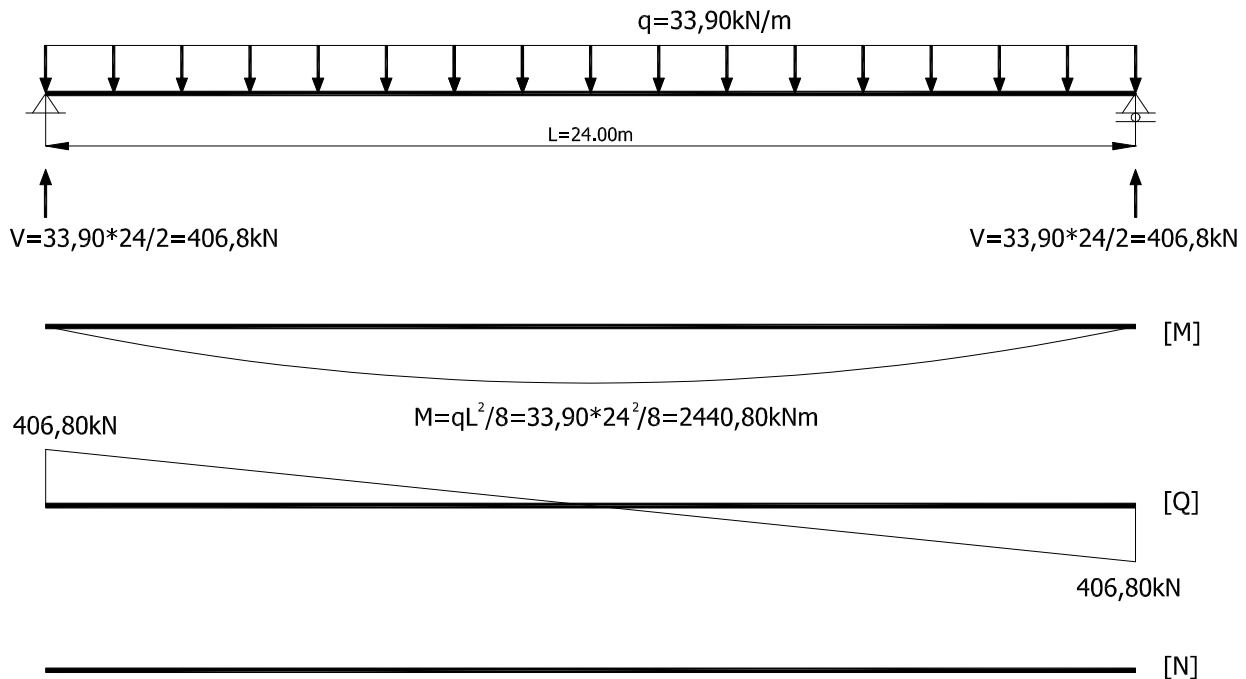
$$1,00(G + G_{\text{πλάκας}}) + 1,00P = 1,00 \times (5,40\text{kN/m} + 13,50\text{kN/m}) + 1,00 \times 15,00\text{kN/m} = 33,90\text{kN/m}$$

## 3. ΣΤΑΤΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ

## 3.1. Στατική επίλυση σε οριακή κατάσταση αστοχίας



Σχήμα 1: Στατικό προσομοίωμα και εντατικά μεγέθη σε ΟΚΑ

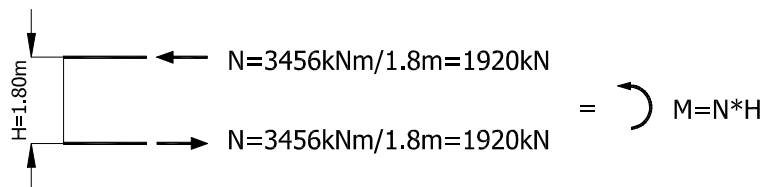
**3.2. Στατική επίλυση σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας**

Σχήμα 2: Στατικό προσομοίωμα και εντατικά μεγέθη σε ΟΚΛ

**4. ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΣΤΑ ΠΕΛΜΑΤΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ****4.1. Ανάλυση δυνάμεων στα πέλματα του δικτυώματος για οριακή κατάσταση αστοχίας (προσεγγιστικός υπολογισμός στα πλαίσια προμελέτης)**

$$M_{Ed} = N_{Ed}H \Rightarrow N_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{H}$$

$$N_{Ed} = \frac{3456\text{kNm}}{1,8\text{m}} = 1920\text{kN}$$

Δράση σχεδιασμού:  $N_{Ed} = F_{v,Ed} = 1920\text{kN}$ 

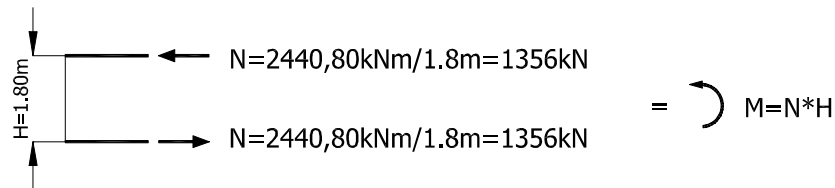
Σχήμα 3: Δυνάμεις στα πέλματα του δικτυώματος για ΟΚΑ

**4.2. Ανάλυση δυνάμεων στα πέλματα του δικτυώματος για οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (προσεγγιστικός υπολογισμός στα πλαίσια προμελέτης)**

$$M_{Ed,ser} = N_{Ed,ser}H \Rightarrow N_{Ed,ser} = \frac{M_{Ed,ser}}{H}$$

$$N_{Ed,ser} = \frac{2440,80 \text{ kNm}}{1,80 \text{ m}} = 1356 \text{ kN}$$

Δράση σχεδιασμού:  $N_{Ed,ser} = F_{v,Ed,ser} = 1356 \text{ kN}$



Σχήμα 4: Δυνάμεις στα πέλματα του δικτυώματος για ΟΚΛ

## 5. ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΣΤΑ ΠΕΛΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΚΟΡΜΟ

### 5.1. Οριακή κατάσταση αστοχίας

Βρίσκουμε το ποσοστό της δύναμης που παραλαμβάνεται από τα πέλματα και τον κορμό αντίστοιχα για τον συνδυασμό σε οριακή κατάσταση αστοχίας.

Εμβαδόν πελμάτων  $A_f = 24 \times 1,2 = 28,8 \text{ cm}^2$

Δύναμη σε κάθε πέλμα  $N_{Ed,f} = \frac{A_f}{A} N_{Ed} = \frac{28,8}{76,8} \times 1920 = 720 \text{ kN}$

Εμβαδόν κορμού  $A_w = A - 2A_f = 76,8 - 2 \times 28,8 = 19,20 \text{ cm}^2$

Δύναμη στον κορμό  $N_{Ed,w} = \frac{A_w}{A} N_{Ed} = \frac{19,20}{76,8} \times 1920 = 480 \text{ kN}$

### 5.2. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

Αντίστοιχα το ποσοστό της δύναμης που παραλαμβάνεται από τα πέλματα και τον κορμό αντίστοιχα για τον συνδυασμό σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας είναι:

Δύναμη σε κάθε πέλμα  $N_{Ed,ser,f} = \frac{A_f}{A} N_{Ed,ser} = \frac{28,8}{76,8} \times 1356 = 508,5 \text{ kN}$

Δύναμη στον κορμό  $N_{Ed,ser,w} = \frac{A_w}{A} N_{Ed,ser} = \frac{19,2}{76,8} \times 1356 = 339 \text{ kN}$

## 6. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΓΙΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΝΕΧΕΙΑΣ ΜΕ ΚΟΧΛΙΕΣ ΤΥΠΟΥ Α

### 6.1. Αντοχή κοχλιών σε διάτμηση

#### Πέλματα

Για την αποκατάσταση της συνέχειας στα πέλματα επιλέγουμε κοχλίες M20 ποιότητας 8.8:

Η διατομή του κάθε κοχλίου είναι:  $A = \pi d^2 / 4 = \pi (2,0 \text{ cm})^2 / 4 = 3,14 \text{ cm}^2$  (έχει ληφθεί μέριμνα ώστε η επιφάνεια διάτμησης να μην τέμνει την περιοχή του σπειρώματος).

Θα πρέπει να ισχύει:

$$F_{v,Rd} = 1 \times \frac{0,60 \times 3,14 \text{ cm}^2 \times 80 \text{ kN/cm}^2}{1,25} \times m = 120,58 \times m \text{ kN} > 720 \text{ kN} = N_{Ed,f}$$

$$\Rightarrow m > \frac{720}{120,58} = 5,97 \Rightarrow m = 6$$

**Κορμός**

Για την αποκατάσταση της συνέχειας στον κορμό επιλέγουμε κοχλίες M16 ποιότητας 8.8. Θα πρέπει να ισχύει:

$$F_{v,Rd} = 2 \times \frac{0,60 \times 2,00 \text{ cm}^2 \times 80 \text{ kN/cm}^2}{1,25} \times m = 153,60 \times m \text{ kN} > 480 \text{ kN} = N_{Ed,w}$$

$$\Rightarrow m > \frac{480}{153,6} = 3,13 \Rightarrow m = 4$$

**6.2. Έλεγχος αποστάσεων κοχλίων****Πέλματα**

Ελάχιστες αποστάσεις

$$\min e_1 = 1,2d_o = 1,2 \times 22 \text{ mm} = 26,4 \text{ mm}$$

$$\min p_1 = 2,2d_o = 2,2 \times 22 \text{ mm} = 48,4 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2d_o = 1,2 \times 22 \text{ mm} = 26,4 \text{ mm}$$

$$\min p_2 = 2,4d_o = 2,4 \times 22 \text{ mm} = 52,8 \text{ mm}$$

Από τους πίνακες των προτύπων διατομών  $\min p_2 = 104 \text{ mm}$

Μέγιστες αποστάσεις

$$\max e_1 = 40 \text{ mm} + 4t = 40 + 4 \times 12 \text{ mm} = 88 \text{ mm}$$

$$\max p_1 = \min(14t; 200 \text{ mm}) = \min(14 \times 12 \text{ mm}; 200 \text{ mm}) = \min(168 \text{ mm}; 200 \text{ mm}) = 168 \text{ mm}$$

$$\max e_2 = 40 \text{ mm} + 4t = 40 + 4 \times 12 \text{ mm} = 88 \text{ mm}$$

$$\max p_2 = \min(14t; 200 \text{ mm}) = \min(14 \times 12 \text{ mm}; 200 \text{ mm}) = \min(168 \text{ mm}; 200 \text{ mm}) = 168 \text{ mm}$$

Από τους πίνακες των προτύπων διατομών  $\min p_2 = 138 \text{ mm}$

Επιλέγουμε:

$$26,4 \text{ mm} < e_1 = 50 \text{ mm} < 88 \text{ mm}$$

$$48,4 \text{ mm} < p_1 = 75 \text{ mm} < 168 \text{ mm}$$

$$26,4 \text{ mm} < e_2 = 55 \text{ mm} < 88 \text{ mm}$$

$$104,0 \text{ mm} < p_2 = 130 \text{ mm} < 138 \text{ mm}$$

**Κορμός**

Ελάχιστες αποστάσεις

$$\min e_1 = 1,2d_o = 1,2 \times 18 \text{ mm} = 21,6 \text{ mm}$$

$$\min p_1 = 2,2d_o = 2,2 \times 18 \text{ mm} = 39,6 \text{ mm}$$

$$\min e_2 = 1,2d_o = 1,2 \times 18 \text{ mm} = 21,6 \text{ mm}$$

$$\min p_2 = 2,4d_o = 2,4 \times 18 \text{ mm} = 43,2 \text{ mm}$$

Μέγιστες αποστάσεις

$$\max e_1 = 40 \text{ mm} + 4t = 40 + 4 \times 7,5 \text{ mm} = 70 \text{ mm}$$

$$\max p_1 = \min(14t; 200 \text{ mm}) = \min(14 \times 7,5 \text{ mm}; 200 \text{ mm}) = \min(105 \text{ mm}; 200 \text{ mm}) = 105 \text{ mm}$$

$$\max e_2 = 40 \text{ mm} + 4t = 40 + 4 \times 7,5 \text{ mm} = 70 \text{ mm}$$

$$\max p_2 = \min(14t; 200 \text{ mm}) = \min(14 \times 7,5 \text{ mm}; 200 \text{ mm}) = \min(105 \text{ mm}; 200 \text{ mm}) = 105 \text{ mm}$$

Επιλέγουμε:

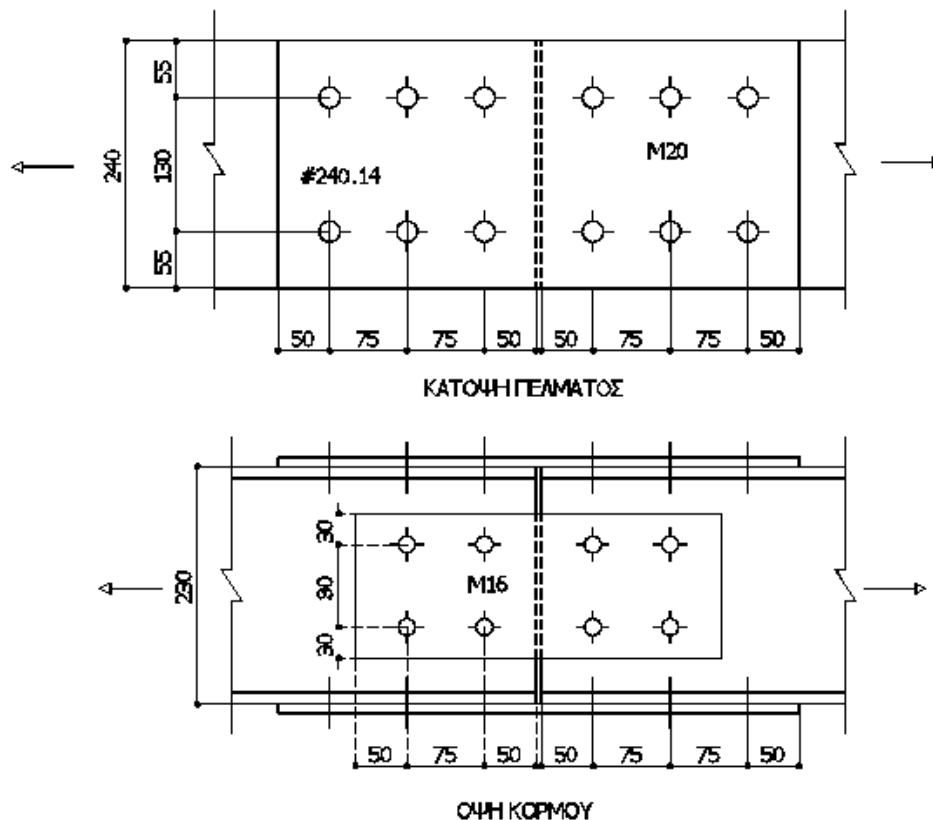
$$21,6 \text{ mm} < e_1 = 50 \text{ mm} < 70 \text{ mm}$$

$$39,6 \text{ mm} < p_1 = 75 \text{ mm} < 105 \text{ mm}$$

$$21,6 \text{ mm} < e_2 = 30 \text{ mm} < 70 \text{ mm}$$

$$43,2 \text{ mm} < p_2 = 80 \text{ mm} < 105 \text{ mm}$$

Οι παραπάνω αποστάσεις επιλέγονται με βάση τα πάχη των πελμάτων και του κορμού της διατομής. Μετά την επιλογή των παχών των λεπίδων αποκατάστασης της συνέχειας οι αποστάσεις αυτές πρέπει να επανελεγχθούν εφόσον οι λεπίδες έχουν πάχος μικρότερο από το πάχος του στοιχείου της διατομής το οποίο αποκαθιστούν.

**6.3. Διάταξη κοχλιών πελμάτων και κορμού**

Σχήμα 5: Διάταξη κοχλιών σύνδεσης αποκατάστασης συνέχειας

**6.4. Έλεγχος σε σύνθλιψη άντυνας των οπών****Πέλματα**

$$a = \min \left\{ \frac{e_1}{3d_o}; \frac{p_1}{3d_o} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{50\text{mm}}{3 \times 22\text{mm}}; \frac{75\text{mm}}{3 \times 22\text{mm}} - \frac{1}{4}; \frac{80\text{kN/cm}^2}{51\text{kN/cm}^2}; 1 \right\} = \{0,76; 0,89; 1,57; 1\} = 0,76$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \frac{e_2}{d_o} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_o} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ 2,8 \frac{55\text{mm}}{22\text{mm}} - 1,7; 1,4 \frac{130\text{mm}}{22\text{mm}} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \{5,30; 6,57; 2,5\} = 2,50$$

Συνολική αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας

$$F_{b,Rd} = n \frac{k_1 \alpha f_u d_{t_{\min}}}{\gamma_{M2}} \Rightarrow F_{b,Rd} = 6 \times \frac{2,50 \times 0,76 \times 51\text{kN/cm}^2 \times 2,0\text{cm} \times 1,20\text{cm}}{1,25} = 1116,29\text{kN} > 720\text{kN} = N_{Ed,f}$$

**Κορμός**

$$a = \min \left\{ \frac{e_1}{3d_o}; \frac{p_1}{3d_o} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{50\text{mm}}{3 \times 18\text{mm}}; \frac{75\text{mm}}{3 \times 18\text{mm}} - \frac{1}{4}; \frac{80\text{kN/cm}^2}{51\text{kN/cm}^2}; 1 \right\} = \{0,93; 1,14; 1,57; 1\} = 0,93$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \frac{e_2}{d_o} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_o} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ 2,8 \frac{30\text{mm}}{18\text{mm}} - 1,7; 1,4 \frac{80\text{mm}}{18\text{mm}} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \{2,97; 4,52; 2,50\} = 2,50$$

Συνολική αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας

$$F_{b,Rd} = 4 \times 2,50 \times \frac{0,93 \times 51\text{kN/cm}^2 \times 1,6\text{cm} \times 0,75\text{cm}}{1,25} = 455,33\text{kN} < 480\text{kN} = N_{Ed,w}$$

Ο έλεγχος σε σύνθλιψη άντυνας του κορμού δεν επαρκεί. Αν αυξήσουμε την απόσταση  $e_1$  σε 55mm τότε  $a=1,00$  και η αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας γίνεται  $489,60\text{kN} > N_{Ed,w}$ . Εναλλακτικώς, αν τοποθετήσουμε άλλους δύο κοχλίες, και τότε ο έλεγχος γίνεται:

$$F_{b,Rd} = 6 \times 2,50 \times \frac{0,93 \times 51 \text{ kN/cm}^2 \times 1,6 \text{ cm} \times 0,75 \text{ cm}}{1,25} = 682,99 \text{ kN} > 480 \text{ kN} = N_{Ed,w}$$

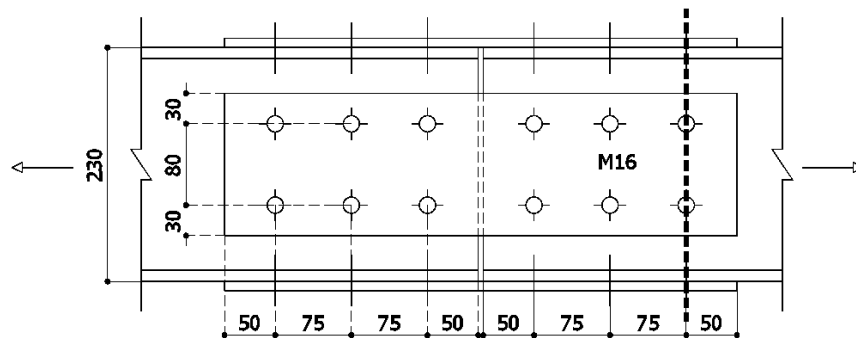
Επιλέγουμε να τοποθετήσουμε 6 κοχλίες.

Σημειώνεται ότι δεν ικανοποιείται το κριτήριο πλαστιμότητας σύμφωνα με το οποίο καθοριστική πρέπει να είναι η αστοχία σε σύνθλιψη άντυνας των οπών και όχι η αστοχία σε διάτμηση των κοχλίων. Ωστόσο η ικανοποίηση αυτού του κριτηρίου είναι επιθυμητή, αλλά όχι υποχρεωτική σε μέλη που δεν έχουν ρόλο όλκιμου μέλους σε σεισμική καταπόνηση.

### 6.5. Αντοχή διατομής σε εφελκυσμό

#### Εύρεση απομειωμένης διατομής $A_{net}$

$$A_{net} = A - n d_o t = 76,8 \text{ cm}^2 - 4 \times 2,2 \text{ cm} \times 1,20 \text{ cm} - 2 \times 1,8 \text{ cm} \times 0,75 \text{ cm} = 63,54 \text{ cm}^2$$



Σχήμα 6: Όψη σύνδεσης κορμού

#### Αντοχή διατομής:

$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}) = \min\left(\frac{A f_y}{\gamma_{M0}}; \frac{0,90 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}\right) \Rightarrow$$

όπου:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} : \text{η πλαστική αντοχή σχεδιασμού της ολικής διατομής}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,90 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} : \text{η οριακή αντοχή σχεδιασμού της καθαρής διατομής στις θέσεις με οπές κοχλίων}$$

Επομένως:

$$N_{t,Rd} = \min\left(\frac{76,8 \text{ cm}^2 \times 35,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0}; \frac{0,90 \times 63,54 \text{ cm}^2 \times 51 \text{ kN/cm}^2}{1,25}\right) \\ = \min(2726,4 \text{ kN}; 2333,19 \text{ kN}) = 2333,19 \text{ kN} > 1920 \text{ kN} = N_{Ed}$$

Δεν ικανοποιείται το κριτήριο ολκιμότητας. Σημειώνεται ότι η ικανοποίηση αυτού του κριτηρίου είναι επιθυμητή, αλλά όχι υποχρεωτική σε μέλη που δεν έχουν ρόλο πλαστικού μέλους σε σεισμική καταπόνηση.

### 6.6. Επιλογή διατομής ελασμάτων

#### Πέλματα

Η επιλογή γίνεται έτσι ώστε το εμβαδόν του ελάσματος να είναι λίγο μεγαλύτερο από το εμβαδόν του πέλματος της δοκού, αφού έχουμε ήδη ελέγξει τη διατομή μας και όλοι οι έλεγχοι επαρκούν.

$$\text{Διατομή πέλματος} \quad A_f = 240 \text{ mm} \times 12 \text{ mm} = 28,80 \text{ cm}^2$$

Επιλέγεται ένα έλασμα σε κάθε πέλμα #240.14 ( $A_{f,\lambda} = 33,6 \text{ cm}^2$ )

#### Εύρεση απομειωμένης διατομής $A_{net}$

$$A_{f,\lambda,net} = A_{f,\lambda} - n d_o t = 33,6 \text{ cm}^2 - 2 \times 2,2 \text{ cm} \times 1,40 \text{ cm} = 27,44 \text{ cm}^2$$

**Αντοχή διατομής:**

$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}) = \min\left(\frac{A_{f,\lambda} f_y}{\gamma_{m0}}; \frac{0,90 A_{f,\lambda,net} f_u}{\gamma_{m2}}\right) \Rightarrow$$

$$N_{t,Rd} = \min\left(\frac{33,6 \text{ cm}^2 \times 35,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0}, \frac{0,90 \times 27,44 \text{ cm}^2 \times 51 \text{ kN/cm}^2}{1,25}\right)$$

$$= \min(1192,80 \text{ kN}; 1007,60 \text{ kN}) = 1007,60 \text{ kN} > 720 \text{ kN} = N_{Ed,f}$$

**Κορμός**

Η επιλογή γίνεται έτσι ώστε το εμβαδόν των δύο ελασμάτων να είναι λίγο μεγαλύτερο από το εμβαδόν του κορμού της δοκού, αλλά και ο λόγος μεταξύ των εμβαδών λεπίδων πελμάτων προς των λεπίδων κορμού να είναι περίπου ίσος με το λόγο των εμβαδών των πελμάτων προς του κορμού του μέλους που αποκαθιστούν.

Εμβαδόν διατομής κορμού:  $A_w = 19,2 \text{ cm}^2$

Επιλέγονται δύο ίδια ελάσματα στον κορμό. Η μία διάσταση καθορίζεται από τις αποστάσεις  $e_2$  και  $p_2$  που επιλέξαμε για τον κορμό και από το ευθύγραμμο τμήμα του κορμού το οποίο είναι ίσο με:  $d = 164 \text{ mm}$ .

Επομένως το έλασμα που επιλέγουμε είναι:  $\#140 \times 8$  ( $A_{w,\lambda} = 14,0 \text{ cm} \times 0,8 \text{ cm} \times 2 = 22,40 \text{ cm}^2$ ).

Ισχύει:  $A_{f,\lambda}/A_{w,\lambda} = 33,6/22,40 = 1,50$  και  $A_f/A_w = 28,80/19,2 = 1,50$ .

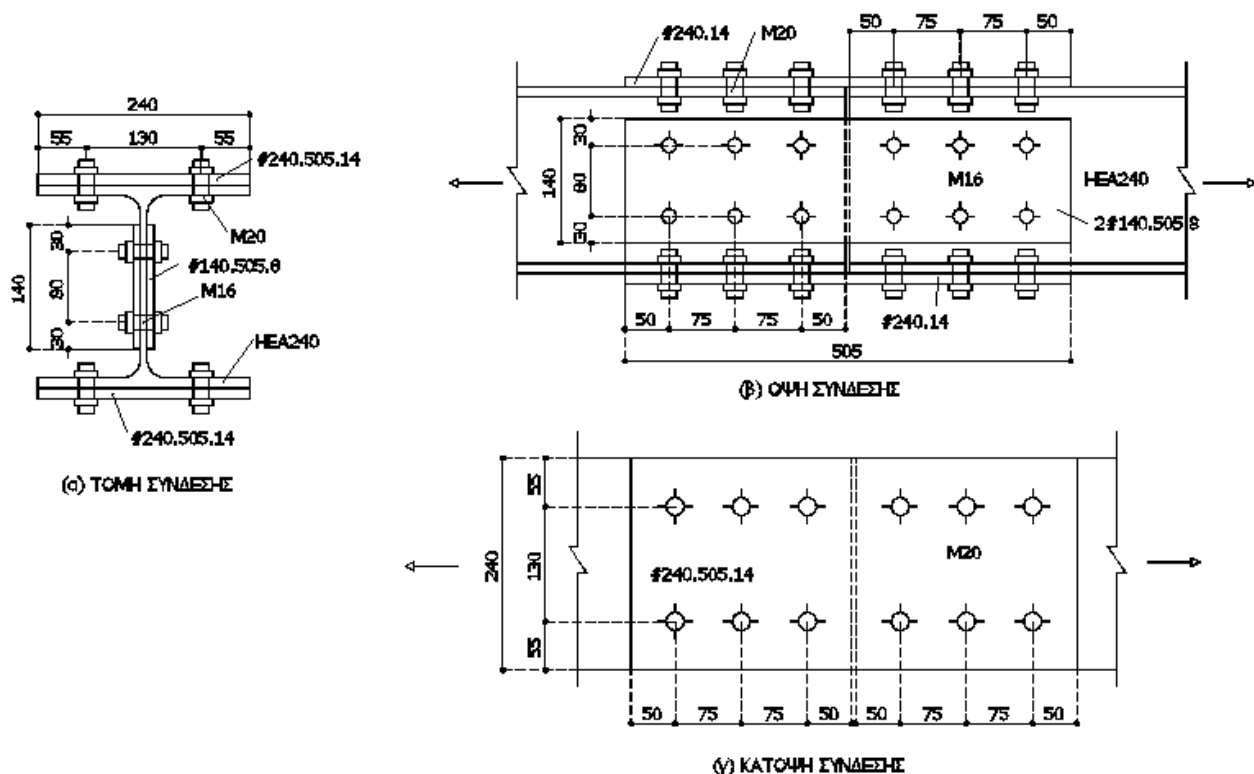
$A_{w,\lambda,net} = A_{w,\lambda} - n d_o t = 22,4 \text{ cm}^2 - 2 \times 1,8 \text{ cm} \times 2 \times 0,80 \text{ cm} = 16,64 \text{ cm}^2$

**Αντοχή διατομής:**

$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}) = \min\left(\frac{A_f f_y}{\gamma_{m0}}; \frac{0,90 A_{net} f_u}{\gamma_{m2}}\right) \Rightarrow$$

$$N_{t,Rd} = \min\left(\frac{22,40 \text{ cm}^2 \times 35,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0}, \frac{0,90 \times 16,64 \text{ cm}^2 \times 51 \text{ kN/cm}^2}{1,25}\right)$$

$$= \min(795,20 \text{ kN}; 763,78 \text{ kN}) = 763,78 \text{ kN} > 480 \text{ kN} = N_{Ed,w}$$

**6.7. Τελική διαμόρφωση σύνδεσης αποκατάστασης με απλούς κοχλίες**

Σχήμα 7: Σύνδεση με κοχλίες τύπου A



## 7. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΓΙΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΝΕΧΕΙΑΣ ΜΕ ΚΟΧΛΙΕΣ ΤΥΠΟΥ Β (ανθεκτικοί σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας)

### 7.1. Έλεγχος σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

#### Πέλματα

Για την αποκατάσταση της συνέχειας στα πέλματα χρησιμοποιούμε κοχλίες M20 ποιότητας 8.8. Η ενεργός διατομή του κοχλία M20 είναι  $A_s=2,45\text{cm}^2$

Η δύναμη προέντασης του κάθε κοχλία θα είναι:

$$F_{p,C,f} = 0,7f_{ub}A_s = 0,7 \times 80\text{kN/cm}^2 \times 2,45\text{cm}^2 = 137,20\text{kN}$$

Η αντοχή σχεδιασμού σε ολίσθηση ενός προεντεταμένου κοχλία λαμβάνεται ίση με:

$$F_{s,Rd,ser,f} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C,f} = \frac{1,00 \times 1 \times 0,4}{1,10} \times 137,20\text{kN} = 49,90\text{kN}$$

όπου:

$k_s=1,00$  (κανονικές οπές) και

για επιφάνειες επαφής κατηγορίας Β  $\mu=0,4$

Για τα πέλματα θα πρέπει να ισχύει:

$$m \times F_{s,Rd,ser,f} \geq F_{v,Rd,ser,f} = N_{Ed,Rd,ser,f} \\ \Rightarrow m \times 49,90\text{kN} \geq 508,50\text{kN} \Rightarrow m \geq 10,19 \Rightarrow m = 12$$

Τοποθετούνται 12 κοχλίες M20.

#### Κορμός

Για την αποκατάσταση της συνέχειας στον κορμό χρησιμοποιούμε κοχλίες M16 ποιότητας 8.8 με ενεργό διατομή  $A_s=1,57\text{cm}^2$ .

Η δύναμη προέντασης του κάθε κοχλία θα είναι:

$$F_{p,C,w} = 0,7f_{ub}A_s = 0,7 \times 80\text{kN/cm}^2 \times 1,57\text{cm}^2 = 87,92\text{kN}$$

Η αντοχή σχεδιασμού σε ολίσθηση ενός προεντεταμένου κοχλία λαμβάνεται ίση με:

$$F_{s,Rd,ser,w} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C,w} = \frac{1,00 \times 2 \times 0,4}{1,10} \times 87,92\text{kN} = 63,94\text{kN}$$

Για τον κορμό θα πρέπει να ισχύει:

$$m \times F_{s,Rd,ser,w} \geq F_{v,Ed,ser,w} = N_{Ed,ser,w} \Rightarrow m \times 63,94\text{kN} \geq 339\text{kN} \Rightarrow m \geq 5,3 \Rightarrow m = 6$$

Τοποθετούνται 6 κοχλίες M16.

### 7.2. Έλεγχος αποστάσεων κοχλίων

Για τον έλεγχο των αποστάσεων διατηρούμε τις αποστάσεις που επιλέξαμε και στους κοχλίες τύπου Α. Ωστόσο, επειδή το μήκος της σύνδεσης στα πέλματα προκύπτει πολύ μεγάλο, θα ήταν καλύτερα να επιλέγαμε καλύτερη ποιότητα (10.9) ή μεγαλύτερη διάμετρο.

### 7.3. Έλεγχος σε οριακή κατάσταση αστοχίας

#### Πέλματα

Το μήκος της κοχλίωσης  $L_j=5 \times 75\text{mm}=375\text{mm}$  (απόσταση κέντρων ακραίων κοχλίων) υπερβαίνει το  $15d=15 \times 20=300\text{mm}$  και απαιτείται απομείωση της αντοχής σε διάτμηση σε ποσοστό  $\beta_{L,f}$ .

$$\beta_{L,f} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d} = 1 - \frac{375 - 15 \times 20}{200 \times 20} = 0,98 < 1,0$$

$$F_{v,Rd} = 1 \times \frac{0,60 \times 3,14\text{cm}^2 \times 80\text{kN/cm}^2}{1,25} \times 12 \times 0,98 = 1417,97\text{kN} > 720\text{kN} = F_{v,Rd} = N_{Ed,f}$$

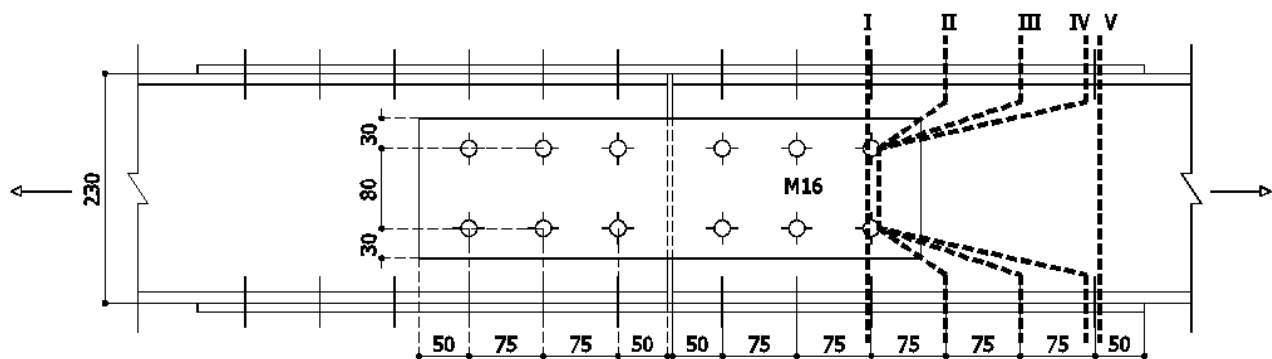
Επομένως οι 12 κοχλίες τύπου Β που απαιτούνται στο κάθε πέλμα από τον έλεγχο σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας επαρκούν και για τον έλεγχο στην οριακή κατάσταση αστοχίας.

**Κορμός**

Εφόσον οι κοχλίες τύπου Β είναι ίδιας ποιότητας και ίδιας διατομής με τους κοχλίες τύπου Α, ο έλεγχος καλύπτεται από αυτόν που έγινε για τους κοχλίες τύπου Α.

**7.4. Έλεγχος σε σύνθλιψη άντυγας των οπών**

Ο έλεγχος σε σύνθλιψη άντυγας των οπών καλύπτεται από τον έλεγχο που έγινε για τους κοχλίες τύπου Α, εφόσον το πλήθος των κοχλιών του πέλματος είναι μεγαλύτερο από αυτό των κοχλιών τύπου Α, ενώ για τον κορμό έχουμε το ίδιο πλήθος κοχλιών με τους κοχλίες τύπου Α.

**7.5. Αντοχή διατομής σε εφελκυσμό**

Σχήμα 8: Γραμμές θραύσης για σύνδεση με κοχλίες τύπου Β

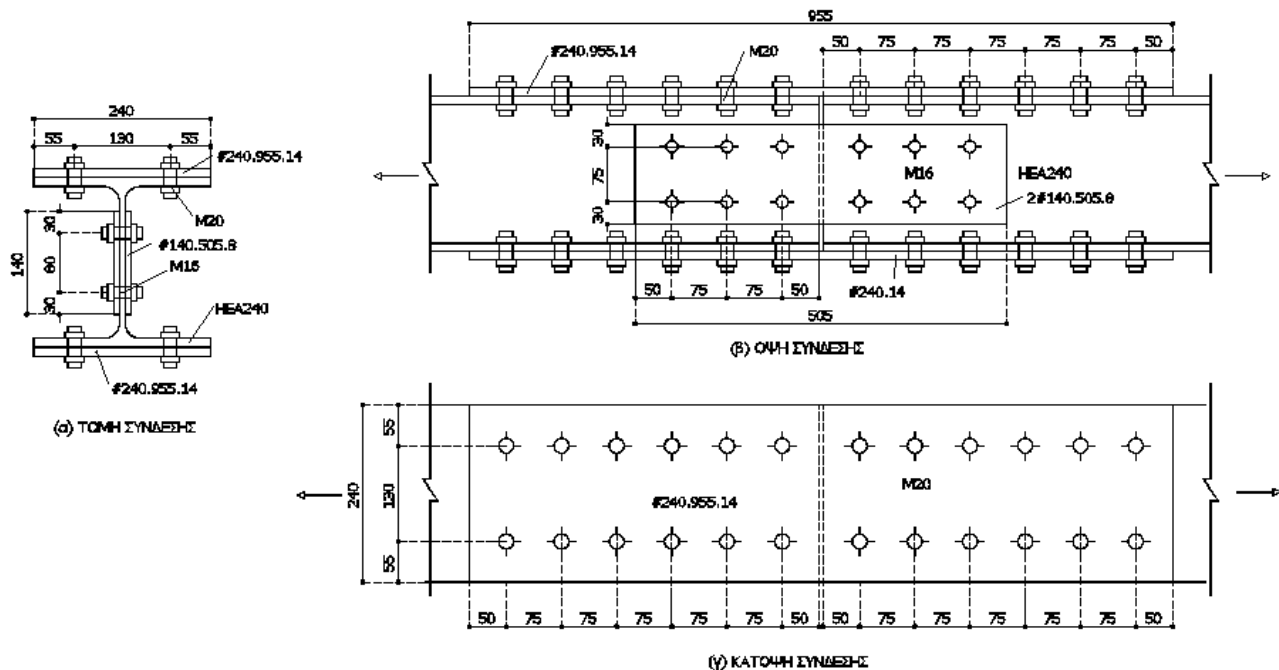
Οι πιθανές γραμμές θραύσεις είναι πέντε.

Το εμβαδόν της απομειωμένης διατομής που αντιστοιχεί στη γραμμή θραύσης Ι είναι ίσο με αυτό που υπολογίστηκε για τη σύνδεση με τους απλούς κοχλίες, αλλά αντιστοιχεί σε δύναμη μικρότερη.

Το εμβαδόν της απομειωμένης διατομής που αντιστοιχεί στις γραμμές θραύσης ΙΙ, ΙΙΙ και ΙV είναι μεγαλύτερο από αυτό που υπολογίστηκε για τη σύνδεση με τους απλούς κοχλίες, και αντιστοιχεί σε μικρότερη δύναμη.

Το εμβαδόν της απομειωμένης διατομής που αντιστοιχεί στη γραμμή θραύσης V είναι μεγαλύτερο από αυτό που υπολογίστηκε για τη σύνδεση με τους απλούς κοχλίες, ενώ η δύναμη είναι η ίδια.

Επομένως ο έλεγχος της διατομής της ράβδου σε εφελκυσμό για τη σύνδεση με κοχλίες τύπου Β καλύπτεται από τον έλεγχο που έγινε για τους κοχλίες τύπου Α.

**7.6. Τελική διαμόρφωση σύνδεσης αποκατάστασης με κοχλίες τύπου B**

Σχήμα 9: Σύνδεση με κοχλίες τύπου B

**8. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΓΙΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΝΕΧΕΙΑΣ ΜΕ ΚΟΧΛΙΕΣ ΤΥΠΟΥ C**  
(ανθεκτικοί σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση αστοχίας)**8.1. Έλεγχος σε οριακή κατάσταση αστοχίας****Πέλματα**

Για την αποκατάσταση της συνέχειας στα πέλματα χρησιμοποιούμε κοχλίες M20 ποιότητας 8.8.  
Η δύναμη προέντασης του κοχλία θα είναι:

$$F_{p,C,f} = 0,7f_{ub}A_s = 137,20 \text{ kN}$$

Η αντοχή σχεδιασμού σε ολίσθηση ενός προεντεταμένου κοχλία λαμβάνεται ίση με:

$$F_{s,Rd,f} = \frac{k_s \eta \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C,f} = 49,90 \text{ kN}$$

Για τα πέλματα θα πρέπει να ισχύει:

$$m \times F_{s,Rd,f} \geq F_{v,Ed,f} = N_{Ed,f} \Rightarrow m \times 49,90 \text{ kN} \geq 720 \text{ kN} \Rightarrow m = 14,43 \Rightarrow m = 16$$

Τοποθετούνται 16 κοχλίες τύπου M20.

**Κορμός**

Για την αποκατάσταση της συνέχειας στα πέλματα χρησιμοποιούμε κοχλίες M16 ποιότητας 8.8.  
Η δύναμη προέντασης του κάθε κοχλία θα είναι:

$$F_{p,C,w} = 0,7f_{ub}A_s = 87,92 \text{ kN}$$

Η αντοχή σχεδιασμού σε ολίσθηση ενός προεντεταμένου κοχλία λαμβάνεται ίση με:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \eta \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C,w} = 63,94 \text{ kN}$$

Για τον κορμό θα πρέπει να ισχύει:

$$m \times F_{s,Rd,w} \geq F_{v,Ed,w} = N_{Ed,w} \Rightarrow m \times 63,94 \text{ kN} \geq 480 \text{ kN} \Rightarrow m = 7,51 \Rightarrow m = 8$$

Τοποθετούνται 8 κοχλίες τύπου M16.

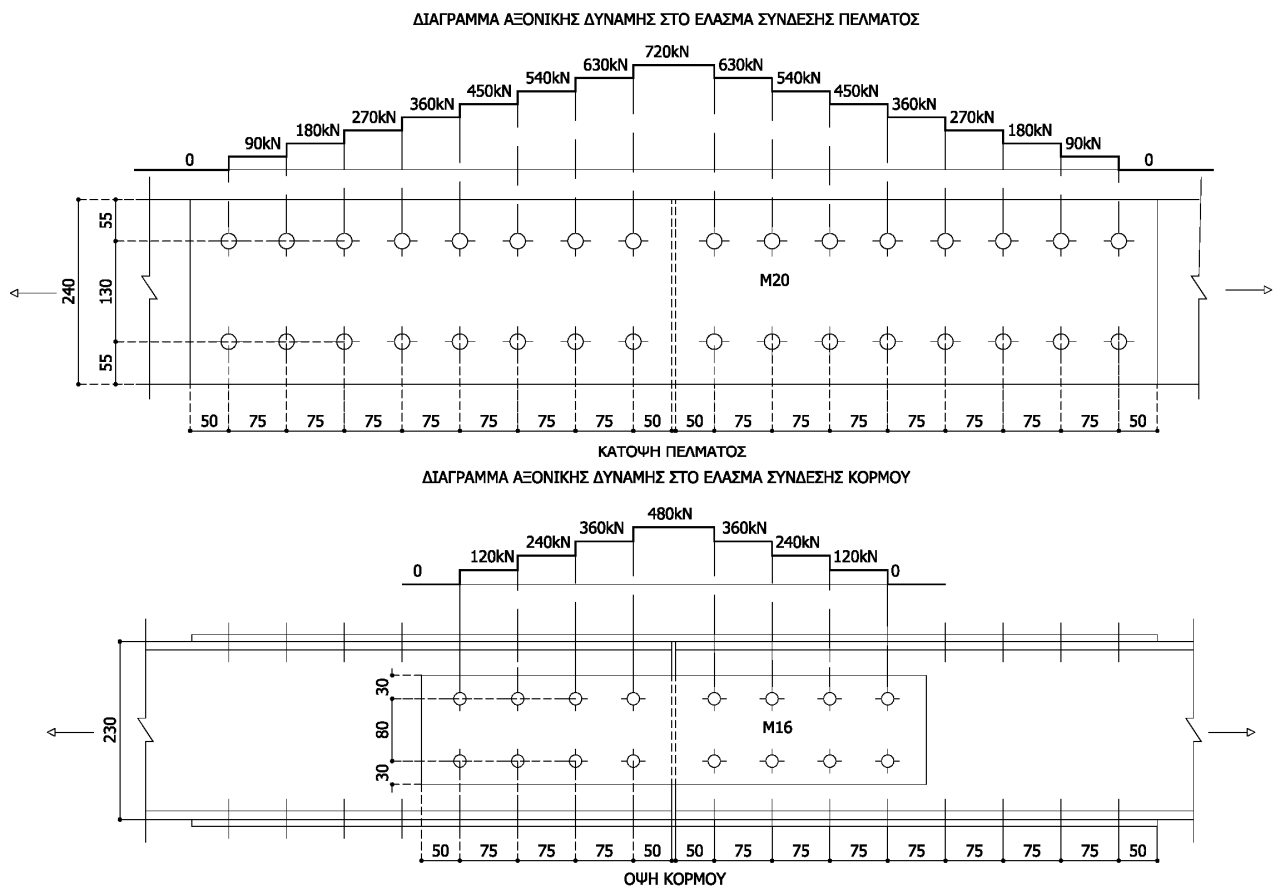
### 8.2. Έλεγχος αποστάσεων κοχλιών

Για τον έλεγχο των αποστάσεων διατηρούμε τις αποστάσεις που επιλέξαμε και στους απλούς κοχλίες. Ωστόσο, επειδή το μήκος της σύνδεσης στα πέλματα και στον κορμό προκύπτει πολύ μεγάλο, θα ήταν καλύτερα να επιλέγαμε καλύτερη ποιότητα (10.9) ή μεγαλύτερη διάμετρο.

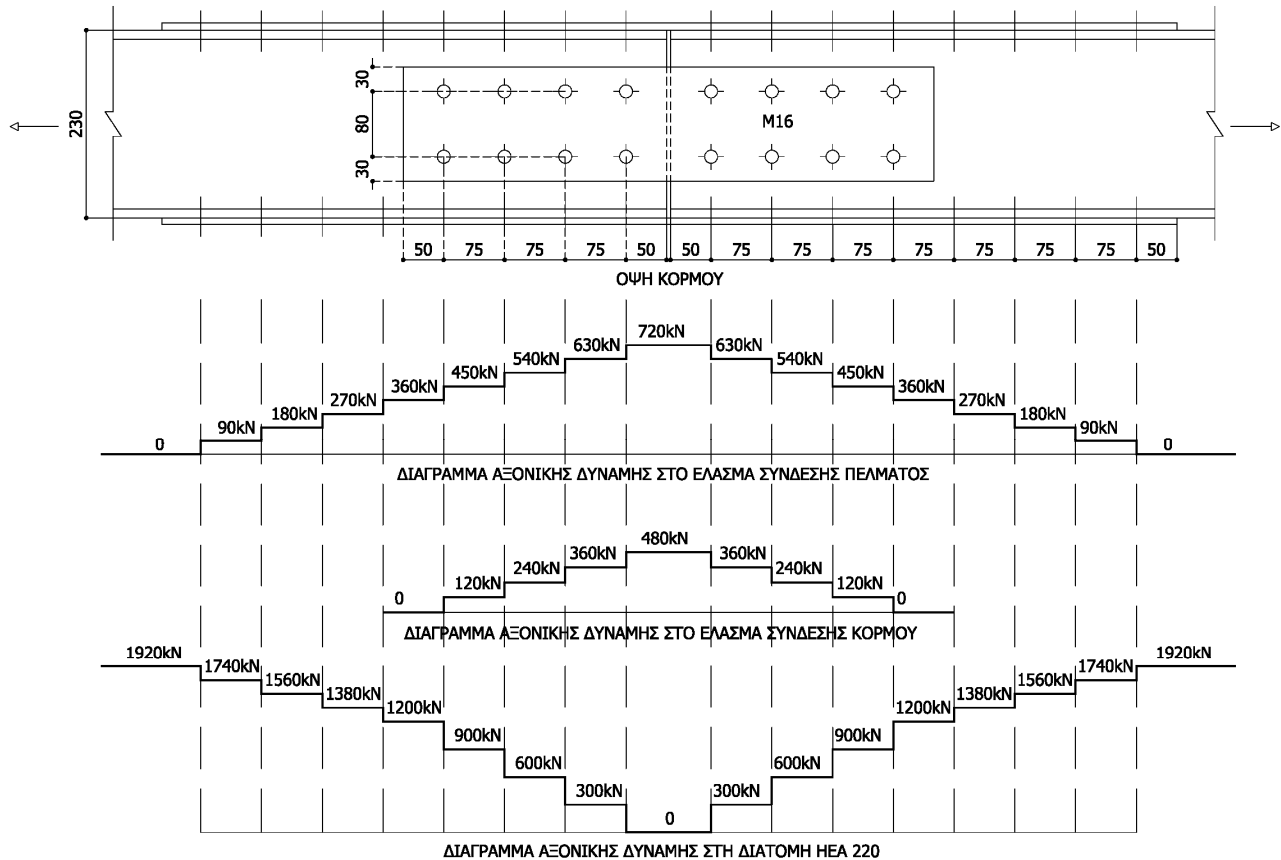
### 8.3. Έλεγχος σε σύνθλιψη άντυνας των οπών

Εφόσον οι κοχλίες τύπου C είναι περισσότεροι από τους κοχλίες τύπου A, ο έλεγχος σε σύνθλιψη άντυνας των οπών καλύπτεται από τον έλεγχο που έγινε για τους κοχλίες τύπου A.

### 8.4. Μεταφορά δυνάμεων

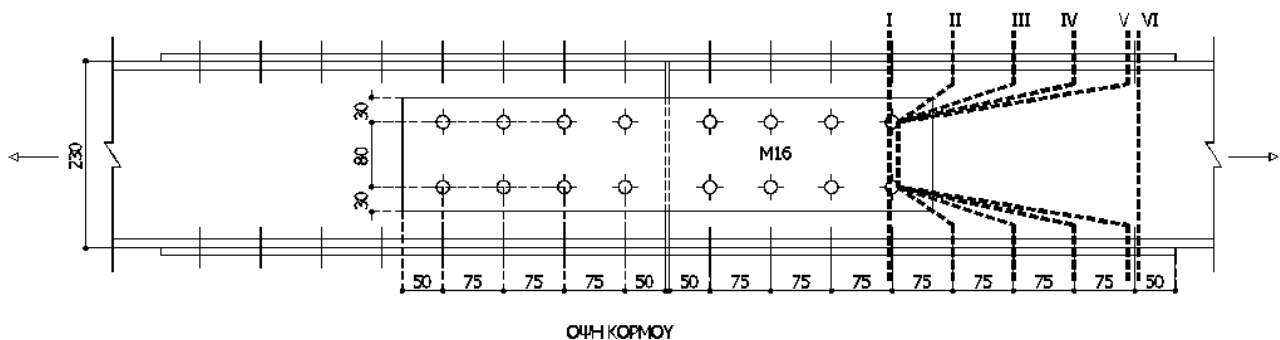


Σχήμα 10: Διάγραμμα δυνάμεων στα ελάσματα σύνδεσης



Σχήμα 11: Διαγράμματα δυνάμεων στα ελάσματα και στη διατομή HEA240

### 8.5. Γραμμές θραύσης



Σχήμα 12: Γραμμές θραύσης για σύνδεση με κοχλίες τύπου C

Γραμμή θραύσης I:  $A_{net,I} = A - n \cdot d_o \cdot t = 76,8 \text{ cm}^2 - 4 \times 2,2 \text{ cm} \times 1,20 \text{ cm} - 2 \times 1,8 \text{ cm} \times 0,75 \text{ cm} = 63,54 \text{ cm}^2$

Γραμμή θραύσης II, III, IV, V:  $A_{net,II,III,IV,V} = A - n d_o t + m \frac{s^2}{4 \times p} t$

όπου η απόσταση  $s$  είναι η οριζόντια απόσταση των κοχλιών του κορμού ίση με 75mm και  $p$  η κατακόρυφη απόσταση του κεκλιμένου τμήματος της γραμμής θραύσης, ίση με:

$$p = (d - 80 \text{ mm}) / 2 = (164 \text{ mm} - 80 \text{ mm}) / 2 = 42,00 \text{ mm}$$

Επομένως:  $A_{net,II} = 76,8 \text{ cm}^2 - 4 \times 2,2 \text{ cm} \times 1,20 \text{ cm} - 2 \times 1,8 \text{ cm} \times 0,75 \text{ cm} + 2 \times \frac{(7,5 \text{ cm})^2}{4 \times 4,20 \text{ cm}} \times 0,75 \text{ cm} = 68,56 \text{ cm}^2$

$A_{net,III} = 76,8 \text{ cm}^2 - 4 \times 2,2 \text{ cm} \times 1,20 \text{ cm} - 2 \times 1,8 \text{ cm} \times 0,75 \text{ cm} + 2 \times \frac{(15,0 \text{ cm})^2}{4 \times 4,20 \text{ cm}} \times 0,75 \text{ cm} = 83,63 \text{ cm}^2 > A$

$$A_{\text{net,IV}} = 76,8\text{cm}^2 - 4 \times 2,2\text{cm} \times 1,20\text{cm} - 2 \times 1,8\text{cm} \times 0,75\text{cm} + 2 \times \frac{(22,5\text{cm})^2}{4 \times 4,20\text{cm}} \times 0,75\text{cm} = 108,74\text{cm}^2 > A$$

$$A_{\text{net,V}} = 76,8\text{cm}^2 - 4 \times 2,2\text{cm} \times 1,20\text{cm} - 2 \times 1,8\text{cm} \times 0,75\text{cm} + 2 \times \frac{(30,0\text{cm})^2}{4 \times 4,20\text{cm}} \times 0,75\text{cm} = 143,90\text{cm}^2 > A$$

$$\text{Γραμμή θραύσης VI: } A_{\text{net,VI}} = A - n d_o t = 76,8\text{cm}^2 - 4 \times 2,2\text{cm} \times 1,20\text{cm} = 66,24\text{cm}^2$$

### 8.6. Αντοχή διατομής HEA240 σε εφελκυσμό

Εξετάζονται μόνο οι γραμμές θραύσης I, II και VI με εμβαδόν μικρότερο από το εμβαδόν της διατομής. Σε περίπτωση συνδέσεων με κοχλίες τριβής τύπου C θα πρέπει να ισχύει:

$$N_{\text{Ed}} < N_{\text{t,Rd}} = N_{\text{net,Rd}}$$

όπου:

$$N_{\text{net,Rd}} = \frac{A_{\text{net}} f_y}{\gamma_{M0}} : \text{η πλαστική αντοχή σχεδιασμού της καθαρής διατομής στις θέσεις με οπές κοχλίων}$$

Γραμμή θραύσης I:

$$N_{\text{t,Rd}} = N_{\text{net,I,Rd}} = \frac{A_{\text{net,I}} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{63,54\text{cm}^2 \times 35,5\text{kN/cm}^2}{1,0} = 2255,67\text{kN} > 1200\text{kN}$$

Γραμμή θραύσης II:

$$N_{\text{t,Rd}} = N_{\text{net,II,Rd}} = \frac{A_{\text{net,II}} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{68,56\text{cm}^2 \times 35,5\text{kN/cm}^2}{1,0} = 2433,88\text{kN} > 1380\text{kN}$$

Γραμμή θραύσης VI:

$$N_{\text{t,Rd}} = N_{\text{net,VI,Rd}} = \frac{A_{\text{net,VI}} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{66,24\text{cm}^2 \times 35,5\text{kN/cm}^2}{1,0} = 2351,52\text{kN} > 1920,00\text{kN} = N_{\text{Ed}}$$

### 8.7. Αντοχή διατομής σε εφελκυσμό ελασμάτων

#### Πέλματα

Τοποθετούνται #240.14 ( $A=33,60\text{cm}^2$ ) σε κάθε πέλμα

#### **Εύρεση απομειωμένης διατομής $A_{\text{net}}$**

$$A_{\text{net}} = A - n d_o t = 27,44\text{cm}^2$$

#### **Αντοχή διατομής:**

$$N_{\text{t,Rd}} = N_{\text{net,Rd}} = \frac{A_{\text{net}} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{27,44\text{cm}^2 \times 35,5\text{kN/cm}^2}{1,0} = 974,12\text{kN} > 720\text{kN} = N_{\text{Ed,f}}$$

#### Κορμός

Τοποθετούνται 2#140×8 ( $A_{w,\lambda}=22,40\text{cm}^2$ ) εκατέρωθεν του κορμού

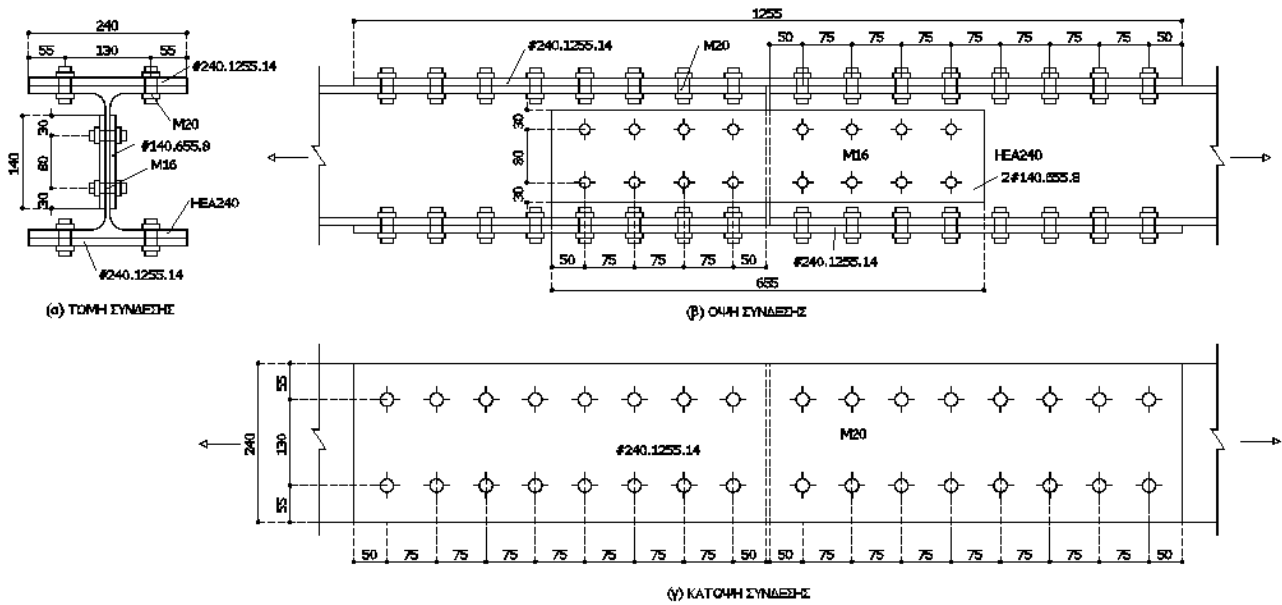
#### **Εύρεση απομειωμένης διατομής $A_{\text{net}}$**

$$A_{\text{net}} = A - n d_o t = 16,64\text{cm}^2$$

#### **Αντοχή διατομής:**

$$N_{\text{t,Rd}} = N_{\text{net,Rd}} = \frac{A_{\text{net}} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{16,64\text{cm}^2 \times 35,5\text{kN/cm}^2}{1,0} = 590,72\text{kN} > 480\text{kN} = N_{\text{Ed,w}}$$

### 8.8. Τελική διαμόρφωση σύνδεσης αποκατάστασης με κοχλίες τύπου C



Σχήμα 13: Σύνδεση με κοχλίες τύπου C