

Απρίλιος 2012

### Άσκηση 5

Προκειμένου να ανεγερθούν οι πυλώνες ανάρτησης του συστήματος των καλωδίων για την τελετή έναρξης των Ολυμπιακών Αγώνων, στο Ολυμπιακό στάδιο, και να προενταθεί στην συνέχεια το δίκτυο των καλωδίων, εγκαταστάθηκε ένα βοηθητικό πολυαρθρωτό σύστημα με ελάσματα και πείρους, στο οποίο τοποθετήθηκαν τα υδραυλικά συστήματα επιβολής της προέντασης. (βλ. σχέδιο και φωτογραφίες).

Κατά την διαδικασία, η περιστροφή των πυλώνων ήταν  $135^\circ$ , επομένως το σύστημα των πείρων έπρεπε να επιτρέπει την περιστροφή, και οι πείροι να αντικαθίστανται και να επαναχρησιμοποιούνται στους άλλους πυλώνες.

Η ποιότητα των ελασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν S355, και ο πείρος ήταν κοχλίας M57 ποιότητας 10.9, σε οπή Φ60. Η διάταξη των ελασμάτων ήταν αυτή που φαίνεται στο σχήμα, και η μέγιστη δύναμη προέντασης 650kN.

(Δύναμη σχεδιασμού  $F_{Ed}=1,50 \times 650 \text{kN}=975 \text{kN}$ ).

Ζητείται ο έλεγχος επάρκειας του πείρου.

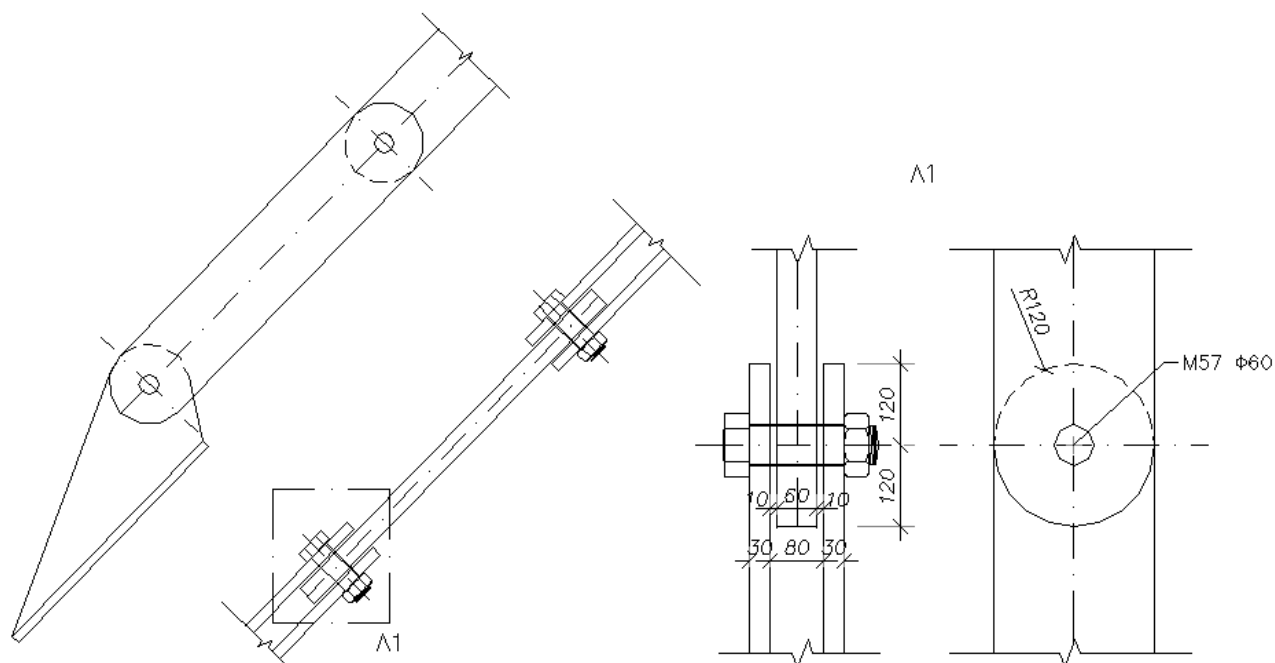
Πίνακας 1: Κριτήρια σχεδιασμού για συνδέσεις με πείρους

Μηχανισμός αστοχίας	Απαιτήσεις σχεδιασμού
Αντοχή σε διάτμηση του πείρου	$F_{v,Rd} = 0,6 A f_{up} / \gamma_{M2} \geq F_{v,Ed}$
Αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας του ελάσματος και του πείρου	$F_{b,Rd} = 1,5 t d f_y / \gamma_{M0} \geq F_{b,Ed}$
Αν απαιτείται ο πείρος να είναι αντικαταστάσιμος πρέπει επίσης να ικανοποιείται αυτός ο περιορισμός	$F_{b,Rd,ser} = 0,6 t d f_y / \gamma_{M6,ser} \geq F_{b,Ed,ser}$
Αντοχή σε κάμψη του πείρου	$M_{Rd} = 1,5 W_{et} f_{yp} / \gamma_{M0} \geq M_{Ed}$
Αν απαιτείται ο πείρος να είναι αντικαταστάσιμος πρέπει επίσης να ικανοποιείται αυτός ο περιορισμός	$M_{Rd,ser} = 0,8 W_{et} f_{yp} / \gamma_{M6,ser} \geq M_{Ed,ser}$
Αντοχή σε αλληλεπίδραση διάτμησης και ροπής του πείρου	$\left[ \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1$
Αν απαιτείται ο πείρος να είναι αντικαταστάσιμος πρέπει η τάση επαφής άντυγας να ικανοποιεί τον περιορισμό:	$\sigma_{h,Ed} \leq f_{h,Ed} \text{ όπου}$ $\sigma_{h,Ed} = 0,591 \sqrt{\frac{E \times F_{Ed,ser} \times (d_0 - d)}{d^2 \times t}}$ $f_{h,Ed} = 2,5 \times f_y / \gamma_{M6,ser}$

$A$	:	η διατομή του πείρου
$d$	:	η διάμετρος του πείρου
$d_0$	:	η διάμετρος της οπής
$t$	:	το πάχος του συνδεόμενου μέρους
$f_y$	:	η μικρότερη από τις αντοχές σχεδιασμού του πείρου και του συνδεόμενου μέρους
$f_{up}$	:	η εφελκυστική αντοχή του πείρου
$f_{yp}$	:	το όριο διαρροής του πείρου
$\gamma_{M2}$	:	1,25
$\gamma_{M0}$	:	1,00
$\gamma_{M6,ser}$	:	1,00
$F_{Ed,ser}$	:	η τιμή σχεδιασμού της δύναμης που μεταφέρεται από την άντρυγα για τον χαρακτηριστικό συνδυασμό φόρτισης των οριακών καταστάσεων λειτουργικότητας



Φωτογραφία 1: Διάταξη πείρου



Σχέδιο 1: Τομές και λεπτομέρειες σύνδεσης

## ΛΥΣΗ ΑΣΚΗΣΗΣ 5

## 1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΙΡΟΥ

Ο πείρος είναι M57 ποιότητας 10.9 με εμβαδόν:

$$A = \pi d^2 / 4 = \pi \times (5,70 \text{ cm})^2 / 4 = 25,52 \text{ cm}^2$$

$$\text{και ελαστική ροπή αντίστασης } W_{el} = \pi d^3 / 32 = \pi \times (5,70 \text{ cm})^3 / 32 = 18,18 \text{ cm}^3$$

## 2. ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

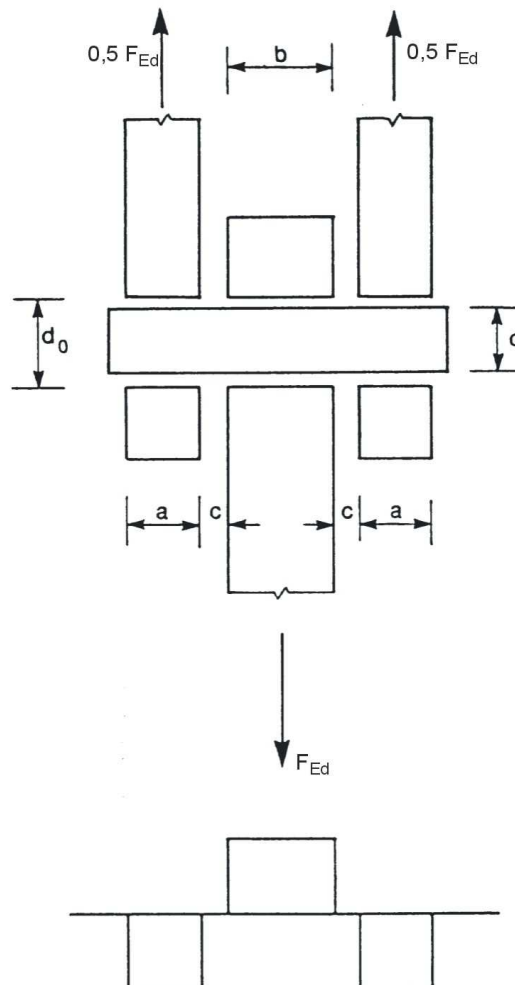
Η εφελκυστική δύναμη σχεδιασμού του ελάσματος είναι  $F_{Ed} = 975 \text{ kN}$ , ενώ η εφελκυστική δύναμη του ελάσματος σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας είναι  $F_{Ed,ser} = 650 \text{ kN}$ .

Η ροπή που αναπτύσσεται στον πείρο από την παραπάνω δύναμη δίνεται από το παρακάτω σχήμα και είναι ίση με:

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} (b + 4c + 2a)$$

όπου

$$a = 30 \text{ mm} = 3,0 \text{ cm}, \quad b = 60 \text{ mm} = 6,0 \text{ cm}, \quad c = 10 \text{ mm} = 1,0 \text{ cm}$$



$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} (b + 4c + 2a)$$

Σχήμα 1: Ροπή στον πείρο

Επομένως:

Η ροπή σχεδιασμού είναι:

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} (b + 4c + 2a) = \frac{975 \text{ kN}}{8} (6,0 \text{ cm} + 4 \times 1,0 \text{ cm} + 2 \times 3,0 \text{ cm}) = 1950 \text{ kNcm}$$

ενώ η ροπή για τον έλεγχο σε λειτουργικότητα είναι:

$$M_{Ed,ser} = \frac{F_{Ed,ser}}{8} (b + 4c + 2a) = \frac{650 \text{ kN}}{8} (6,0 \text{ cm} + 4 \times 1,0 \text{ cm} + 2 \times 3,0 \text{ cm}) = 1300 \text{ kNcm}$$

### 3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΕΙΡΟΥ

#### 3.1. Αντοχή σε διάτμηση του πείρου

Ισχύει:

$$F_{v,Rd} = 0,6 \frac{A f_{up}}{\gamma_{M2}} m = \frac{0,60 \times 25,52 \text{ cm}^2 \times 100 \text{ kN/cm}^2}{1,25} \times 2 = 2450 \text{ kN} > F_{v,Ed} = 975 \text{ kN} \text{ (επαρκεί)}$$

#### 3.2. Αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας του ελάσματος και του πείρου

Ισχύει:

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \times t \times d \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \times 6,0 \text{ cm} \times 5,70 \text{ cm} \times 35,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00} = 1821,15 \text{ kN} > F_{b,Ed} = 975 \text{ kN} \text{ (επαρκεί)}$$

όπου  $t = \min(60 \text{ mm}; 2 \times 30 \text{ mm}) = 60 \text{ mm} = 6,0 \text{ cm}$ :

Επειδή ο πείρος είναι αντικαταστάσιμος θα πρέπει επίσης να ισχύει:

$$F_{b,Rd,ser} = \frac{0,6 \times t \times d \times f_y}{\gamma_{M6,ser}} = \frac{0,6 \times 6,0 \text{ cm} \times 5,70 \text{ cm} \times 35,5 \text{ kN/cm}^2}{1,00} = 728,46 \text{ kN} > F_{b,Ed,ser} = 650 \text{ kN} \text{ (επαρκεί)}$$

#### 3.3. Αντοχή πείρου σε κάμψη

Ισχύει:

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \times W_{el} \times f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \times 18,18 \text{ cm}^3 \times 90 \text{ kN/cm}^2}{1,00} = 2454,3 \text{ kNcm} > M_{Ed} = 1950 \text{ kNcm} \text{ (επαρκεί)}$$

Επειδή ο πείρος είναι αντικαταστάσιμος θα πρέπει επίσης να ισχύει:

$$M_{Rd,ser} = \frac{0,8 \times W_{el} \times f_{yp}}{\gamma_{M6,ser}} = \frac{0,8 \times 18,18 \text{ cm}^3 \times 90 \text{ kN/cm}^2}{1,00} = 1308 \text{ kNcm} > M_{Ed,ser} = 1300 \text{ kNcm} \text{ (επαρκεί)}$$

#### 3.4. Αντοχή σε αλληλεπίδραση διάτμησης και κάμψης του πείρου

Ισχύει:

$$\left[ \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 = \left[ \frac{1950 \text{ kNcm}}{2454,3 \text{ kNcm}} \right]^2 + \left[ \frac{975 \text{ kN}}{2450 \text{ kN}} \right]^2 = 0,79 < 1 \text{ (επαρκεί)}$$

#### 3.5. Έλεγχος σε τάση επαφής

Επειδή ο πείρος είναι αντικαταστάσιμος θα πρέπει η τάση επαφής άντυγας να ικανοποιεί τον περιορισμό:

$$\sigma_{h,Ed} \leq f_{h,Rd}$$

$$\sigma_{h,Ed} = 0,591 \sqrt{\frac{E \times F_{Ed,ser} \times (d_0 - d)}{d^2 \times t}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sigma_{h,Ed} = 0,591 \sqrt{\frac{21000 \text{ kN/cm}^2 \times 650 \text{ kN} \times (6,0 \text{ cm} - 5,7 \text{ cm})}{(5,7 \text{ cm})^2 \times 6,0 \text{ cm}}} = 85,66 \text{ kN/cm}^2$$

και

$$f_{h,Ed} = 2,5 \times f_y / \gamma_{M6,ser} = 2,5 \times 35,5 \text{ kN/cm}^2 / 1,00 = 88,75 \text{ kN/cm}^2$$

Ισχύει:

$$\sigma_{h,Ed} = 85,66 \text{ kN/cm}^2 < f_{h,Rd} = 88,75 \text{ kN/cm}^2$$

### 3.6. Έλεγχος αποστάσεων στεφανιού

Από τη γεωμετρία της σύνδεσης έχουμε:

$$a = 120 \text{ mm} - d_0 / 2 = 120 \text{ mm} - 60 \text{ mm} / 2 = 90 \text{ mm} = 9,0 \text{ cm}$$

$$c = a = 90 \text{ mm} = 9,0 \text{ cm}$$

Ισχύει:

$$a = 9,0 \text{ cm} > \frac{F_{sd} \times \gamma_{M0}}{2 \times t \times f_y} + \frac{2d_0}{3} = \frac{975 \text{ kN} \times 1,00}{2 \times 6,0 \text{ cm} \times 35,5 \text{ kN/cm}^2} + \frac{2 \times 6,0 \text{ cm}}{3} = 6,29 \text{ cm}$$

$$c = 9,0 \text{ cm} > \frac{F_{sd} \times \gamma_{M0}}{2 \times t \times f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{975 \text{ kN} \times 1,00}{2 \times 6,0 \text{ cm} \times 35,5 \text{ kN/cm}^2} + \frac{6,0 \text{ cm}}{3} = 4,29 \text{ cm}$$

Σημείωση:

α) Για τα ελάσματα γίνεται έλεγχος για το μεσαίο έλασμα που παίρνει όλη τη δύναμη. Για τα ακραία ελάσματα ισχύουν τα ίδια αφού έχουν το μισό πάχος ενώ παραλαμβάνουν τη μισή δύναμη το καθένα.

β) Οι συνδέσεις με πείρους, για τις οποίες δεν απαιτείται στροφή, μπορούν να σχεδιάζονται ως συνδέσεις ενός κοχλία με την προϋπόθεση ότι το μήκος του πείρου είναι μικρότερο από το τριπλάσιο της διαμέτρου του.

γ) Όταν ο πείρος είναι αντικαταστάσιμος πρέπει να βρίσκεται σε ελαστική συμπεριφορά στη στάθμη των φορτίων λειτουργίας, τόσο ως προς την κάμψη, όσο και ως προς τη σύνθλιψη της άντυγας. Πρέπει επίσης να περιορίζεται η τάση επαφής.