

VIA FERRATA στον Γάββρο Δήμου Καλαμπάκας

**ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΕΣ ΑΠΟ ΣΥΡΜΑΤΟΣΧΟΙΝΑ
ΤΕΥΧΟΣ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ**

Περιγραφή

Στά πλαίσια της μελέτης διάνοιξης της Via Ferrata προβλέπεται η κατασκευή τεσσάρων πεζογεφυρών. Οι τρεις από αυτές έχουν άνοιγμα τριών (3m) μέτρων και είναι τύπου τριών συρματόσχοινων, σε τριγωνική διάταξη, ενώ υπάρχει και ένα τέταρτο συρματόσχοινο, πάνω από τα άλλα στο οποίο προσδένονται οι διαβάτες και λειτουργεί ως συρματόσχοινο ασφαλείας. Η τέταρτη γέφυρα Θιβετιανού τύπου με ξύλινα πατήματα έχει συνολικό άνοιγμα είκοσι (20m) μέτρων.

Υπολογισμός

Εξετάζουμε αρχικά τις γέφυρες ανοίγματος $l=3m$. Τα συρματόσχοινα στηρίζονται σε κατακόρυφους βράχους, με ειδικά τεμάχια, και τανύονται ώστε στο μέσον τους να έχουν βέλος $f=0.3m$.

Τα συρματόσχοινα που θα χρησιμοποιηθούν έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά σύμφωνα με τον κατασκευαστή τους.

1. Το κάτω συρματόσχοινο είναι τύπου 6x19 Filler Grade B εφελκυστικής αντοχής $1770 N/mm^2$ με ονομαστική διάμετρο $d=12mm$. Το ελάχιστο φορτίο θραύσης δίνεται από τον κατασκευαστή $P_s = 90.7kN$ ενώ το θεωρητικό φορτίο θραύσης δίνεται $P_u=100 kN$, το ίδιο βάρος $w=0.576 kg/m$, ενώ το μέτρο ελαστικότητας είναι $E=1.9 \times 10^8 kPa$.

Η διατομή του συρματόσχοινου υπολογίζεται: $A = P_u/\sigma_u = 100(kN)/1.77(kN/mm^2) = 56.5 mm^2$

Θεωρούμε το συρματόσχοινο αναρτημένο από δύο ισοϋψή σημεία στους βράχους χωρίς φόρτιση. Υπό το ίδιο βάρος το συρματόσχοινο λαμβάνει την αλυσοειδή καμπύλη η εξίσωση της οποίας είναι

$$y = \alpha * \cosh(x/\alpha). \text{ όπου } \alpha = S_o/w$$

Το μήκος του συρματόσχοινου $L = l * [1 + 2.667 * (f/l)^2] = 3.08m$ (ισχύει εφόσον $f/l = 0.3/3 = 0.1 < 0.25$)

Θεωρώντας ομοιόμορφη ανά τρέχον μέτρο φόρτιση από το ίδιο βάρος $q=0.00565kN/m$ προκύπτουν από την στατική επίλυση :

$$R_{1x} = R_{2x} = q * L^2 / (8 * f) = 0.00565 * 3.08^2 / (8 * 0.3) = 0.0223 kN$$

$$R_{1y} = R_{2y} = q * L / 2 = 0.00565 * 3.08 / 2 = 0.0087 kN$$

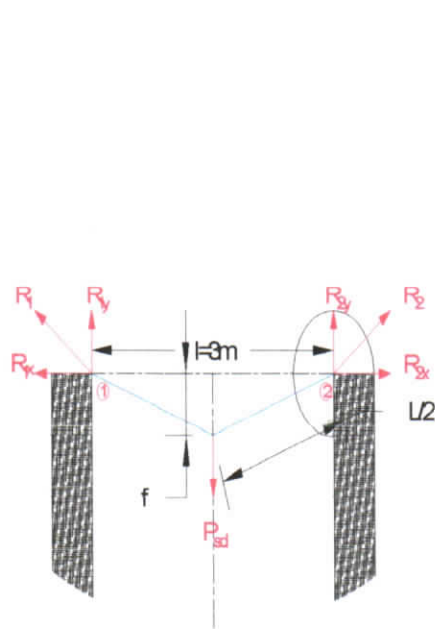
$$R_1 = R_2 = (R_{1x}^2 + R_{1y}^2)^{0.5} = 0.239 kN$$

και $\theta = 21.28^\circ$

Η μέγιστη εφελκυστική τάση που αναπτύσσεται στο συρματόσχοινο από το ίδιο βάρος εμφανίζεται στις στηρίξεις και ισούται με $S_{max} = R_{1x} / \cos\theta = 0.0223 kN / 0.932 = 0.024 kN$, η οποία είναι αμελητέα σε σύγκριση με την εφελκυστική αντοχή του συρματόσχοινου και επομένως δεν λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς η φόρτιση από το ίδιο βάρος του συρματόσχοινου.

Φόρτιση λειτουργίας της πεζογέφυρας : Θεωρούμε συγκεντρωμένο κατακόρυφο φορτίο δύο ατόμων, βάρους $B=1.20 kN$ έκαστος, στο μέσον του συρματόσχοινου. Επομένως λαμβάνουμε φορτίο σχεδιασμού $P_{sd} = FS * 2 * B kN = 1.35 * 2 * 1.20 kN = 3.24 kN$

Θεωρώντας αρχικό μήκος συρματόσχοινου $L=3.08m$, αναρτημένου σε ισοϋψή σημεία με απόσταση μεταξύ των $l=3m$, αμελητέο βάρος συρματόσχοινου αυτό λαμβάνει την γεωμετρία του σχ. 1



Σχ.1

Από τις εξισώσεις ισορροπίας, τον Νόμο της Ελαστικότητας και το συμβιβαστό των παραμορφώσεων έχουμε :

$$R_{1y} = R_{2y} = P_{sd}/2$$

$$R_{1x} = R_{2x} = P_{sd} * f / 4 * l$$

$$R_1 = R_2 = (R_{1x}^2 + R_{1y}^2)^{0.5} = [P_{sd} * (1 + l^2 / 4 * f^2)^{0.5}] / 2$$

$$R_1 = R_2 = [E * A * (L - L_0)] / L_0 \text{ και}$$

$$L = 2 * f * (1 + l^2 / 4 * f^2)^{0.5} \text{ (εκ της γεωμετρίας του σχήματος)}$$

Επιλύοντας το παραπάνω σύστημα εξισώσεων παίρνουμε τις τιμές :

$$f = 0.37 \text{ m}$$

$$R_{1y} = 1.62 \text{ kN}$$

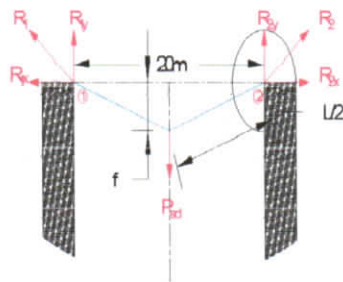
$$R_{1x} = 10.49 \text{ kN}$$

$$R_{1,2} = 10.61 \text{ kN}$$

Από τις παραπάνω τιμές προκύπτει συντελεστής ασφάλειας για το συρματόσχοινο

$$SF = 90.7 \text{ kN} / 10.61 \text{ kN} = 8.0$$

Στην συνέχεια εξετάζουμε την πεζογέφυρα Θιβετιανού τύπου, ανοίγματος $l = 20\text{m}$ η οποία φέρει δύο συρματόσχοινα με ξύλινα πατήματα στην βάση, και δύο συρματόσχοινα για την στήριξη των αναβατών επάνω.



Σχ.2

Από τις εξισώσεις ισορροπίας, τον Νόμο της Ελαστικότητας και το συμβιβαστό των παραμορφώσεων έχουμε :

$$R_{1y} = R_{2y} = P_{sd}/2$$

$$R_{1x} = R_{2x} = P_{sd} * f / 4 * l$$

$$R_1 = R_2 = (R_{1x}^2 + R_{1y}^2)^{0.5} = [P_{sd} * (1 + l^2 / 4 * f^2)^{0.5}] / 2$$

$$R_1 = R_2 = [E * A * (L - L_0)] / L_0 \text{ και}$$

$$L = 2 * f * (1 + l^2 / 4 * f^2)^{0.5} \text{ (εκ της γεωμετρίας του σχήματος)}$$

Επιλύοντας το παραπάνω σύστημα εξισώσεων παίρνουμε τις τιμές :

$$f = 0.99 \text{ m}$$

$$R_{1y} = 1.62 \text{ kN}$$

$$R_{1x} = 3.80 \text{ kN}$$

$$R_{1,2} = 10.61 \text{ kN}$$

Από τις παραπάνω τιμές προκύπτει συντελεστής ασφάλειας για το συρματόσχοινο

$$SF = 90.7 \text{ kN} / 10.61 \text{ kN} = 8.0$$

Τα ξύλινα σκαλοπάτια με συνολικό βάρος 15 kg ομοιόμορφα κατανεμημένο και για λόγους ευκολίας υπολογισμού, προστίθεται στην φόρτιση του συρματόσχοινου από το ίδιο του βάρος, δηλαδή $w_s = 0.15 \text{ kN/m}$.

Τα συρματόσχοινα αναρτώνται από δύο ισοϋψή σημεία στον βράχο με ειδικά τεμάχια με τρόπο ώστε να σχηματίζουν βέλος κάμψης $f = 0.8 \text{ m}$ στο μέσον της διαδρομής.

Τα συρματόσχοινα που θα χρησιμοποιηθούν έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά σύμφωνα με τον κατασκευαστή τους.

2. Τα κάτω συρματόσχοινα είναι τύπου 6x19 Filler Grade B εφελκυστικής αντοχής 1770 N/mm^2 με ονομαστική διάμετρο $d=12 \text{ mm}$. Το ελάχιστο φορτίο θραύσης δίνεται από τον κατασκευαστή $P_s = 90.7 \text{ kN}$ ενώ το θεωρητικό φορτίο θραύσης δίνεται $P_u=100 \text{ kN}$, το ίδιο βάρος $w=0.576 \text{ kg/m}$, και το μέτρο ελαστικότητας είναι $E=1.9 \times 10^8 \text{ kPa}$.

Η διατομή του συρματόσχοινου υπολογίζεται: $A = P_u/\sigma_u = 100(\text{kN})/1.77(\text{kN/mm}^2) = 56.5 \text{ mm}^2$

Εξετάζεται το ένα συρματόσχοινο υπό

Το μήκος του συρματόσχοινου $L=l*[1+2.667*(f/l)^2] = 20.08 \text{ m}$ (ισχύει εφόσον $f/l=0.8/20.0=0.04 < 0.25$)

Θεωρώντας ομοιόμορφη ανά τρέχον μέτρο φόρτιση από το ίδιο βάρος και το βάρος των πατημάτων $q=(0.00565+0.12) \text{ kN/m} = 0.12565 \text{ kN/m}$ προκύπτουν από την στατική επίλυση :

$$R_{1x} = R_{2x} = q * L^2 / (8 * f) = 0.12565 * 20.08^2 / (8 * 0.8) = 7.916 \text{ kN}$$

$$R_{1y} = R_{2y} = q * L / 2 = 0.12565 * 20.08 / 2 = 1.262 \text{ kN}$$

$R_1 = R_2 = (R_{1x}^2 + R_{1y}^2)^{0.5} = 8.016 \text{ kN}$ και θεωρώντας λόγω συμμετρίας ισοκατανομή φορτίων στα δύο συρματόσχοινα βάσης θα έχουμε για κάθε ένα :

$$R_{1x} = R_{2x} = 3.96 \text{ kN}$$

$$R_{1y} = R_{2y} = 0.63 \text{ kN}$$

$$R_1 = R_2 = 4.00 \text{ kN}$$

$$\text{και } \theta = 9.17^\circ$$

Η μέγιστη εφελκυστική τάση που αναπτύσσεται στο συρματόσχοινο από το ίδιο βάρος εμφανίζεται στις στηρίξεις και ισούται με $S_{\max} = R_{1x} / \cos \theta = 4.00 \text{ kN} / 0.9872 = 4.06 \text{ kN}$, η οποία είναι πολύ μικρή σε σύγκριση με την εφελκυστική αντοχή του συρματόσχοινου και επομένως δεν λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς η φόρτιση από το ίδιο βάρος του συρματόσχοινου και τα ξύλινα πατήματα.

Φόρτιση λειτουργίας της πεζογέφυρας : Θεωρούμε συγκεντρωμένο κατακόρυφο φορτίο δύο ατόμων, βάρους $B=1.20 \text{ kN}$ έκαστος, στο μέσον του συρματόσχοινου. Επομένως λαμβάνουμε φορτίο σχεδιασμού $P_{sd}=F_S*2*B \text{ kN} = 1.35*2*1.20 \text{ kN} = 3.24 \text{ kN}$. Το φορτίο σχεδιασμού λαμβάνεται ολόκληρο για την επίλυση του ενός συρματόσχοινου θεωρώντας την ως την δυσμενέστερη φόρτιση στην περίπτωση που το βάρος των αναβατών φορτίζει το ένα καλώδιο μόνο.

Θεωρώντας αρχικό μήκος συρματόσχοινου $L=20.08 \text{ m}$, αναρτημένου σε ισοϋψή σημεία με απόσταση μεταξύ των $l=20 \text{ m}$, αμελητέο βάρος συρματόσχοινου αυτό λαμβάνει την γεωμετρία του σχ. 2

Υπολογισμός στηρίξεων.

Τα φορτία σχεδιασμού θεωρούνται ασφαλή υπό την προϋπόθεση ότι η εντατική κατάσταση που προέκυψε από τους υπολογισμούς μπορεί να παραληφθεί με ασφάλεια από τις στηρίξεις των συρματόσχοινων στο βράχο.

Θα χρησιμοποιηθούν αγκύρια τύπου SPIT M12 μήκους έμπηξης 0.16m για οποία ο κατασκευαστής δίνει αντοχές σε εφελκυσμό $N_r = 27.8 \text{ kN}$ και διάτμηση $V_r = 4.3 \text{ kN}$.

Τα φορτία που θα παραληφθούν από το κάτω συρματόσχοινο είναι για την περίπτωση των πεζογεφυρών 3m $R_{1x} = R_{2x} = 10.49 \text{ kN}$ και

$R_{1y} = R_{2y} = 1.62 \text{ kN}$ επομένως στην περίπτωση αυτή έχουμε συντελεστές ασφάλειας $SF_x = 27.8 \text{ kN} / 10.49 \text{ kN} = 2.65$ και $SF_y = 4.3 \text{ kN} / 1.62 \text{ kN} = 2.65$ και επομένως τα φορτία μπορούν να παραληφθούν με ασφάλεια.

Στην περίπτωση της πεζογέφυρας Θιβετιανού τύπου οι αντίστοιχοι υπολογισμοί δίνουν $SF_x = 27.8 \text{ kN} / 3.80 \text{ kN} = 7.31$ και $SF_y = 4.3 \text{ kN} / 1.62 \text{ kN} = 2.65$

Δεδομένου ότι στην διάτμηση κύριο λόγο παίζει η αντοχή της ρητίνης που χρησιμοποιείται και του βράχου προτείνεται για μεγαλύτερη ασφάλεια η χρήση δύο αγκυρίων σε κάθε στήριξη (ισοϋψώς) σε απόσταση 0.5m.

Ο συντάξας Μηχανικός



ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Ε. ΚΩΤΣΑΝΤΗΣ

ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΜΠ (ΑΜ ΤΕΕ 77776)