ΜΕΡΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

ΣΧΟΙΝΙΩΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Λεων.Πετροχείλου

Κατά την χρησιμοποίησιν των σχοινίων ασφαλείας είς τάς σπηλαιολογικάς έργασίας είναι δυνατόν νά έμφανισθοῦν μερικά προβλήματα άντοχῆς,είς τά όποῖα δέν έφαρμόζονται οί συνήθεις κανόνες ύπολογισμοῦ.

Τά προβλήματα ταῦτα όφείλονται εἴτε είς άντικανονικήν χρῆσιν τῶν σχοινίων εἴτε είς τυχαῖα περιστατικά εἴτε καί είς ἄλλα αἴτια.Δύνανται πάντως νά ὑπαχθῶσιν είς ὡρισμένας στοιχειώδεις μορφάς,ὥστε ἡ άντιμετώπισίς των καθίσταται εὐχερεστέρα.

Τοιαῦτα προβλήματα έπί σχοινίων φορτιζομένων είς κεκλιμένον έπίπεδον,γωνίας φ ὡς πρός τόν ὁρίζοντα ὑπό φορτίον Φ,δέον νά θεωρηθῶσι ὡς μή ὑφιστάμενα,διότι ἡ φόρτισις ἔχει τήν μορφήν

$\psi = \Phi$ ημ φ, ὅπου $\psi < \Phi$,ὡς έπί τό πλεῖστον.Είς τήν περίπτωσιν αὐτήν ἡ έφαρμογή τῶν συνήθων κανόνων ὑπολογισμοῦ άντοχῆς εἶναι δυνατή.(βλ.Δελτ.Ε.Σ.Ε. Τ.ΙΙ,τ.3,σ.104-108)

Έπίσης είς περίπτωσιν καταχρηστικῶς φορτίσεως έφ'ὅσον τό φορτίον δέν ὑφίσταται άποτόμους μετακινήσεις οὐδέν πρόβλημα δημιουργεῖται.

Ὅταν ἡ μετακίνησις λαμβάνῃ τήν μορφήν πτώσεως σώματος,ὑπό τήν έπίδρασιν τῆς βαρύτητος έντός ὁρίων έξαρτωμένων έκ τοῦ σχοινίου ὑφίσταται ὁπωσδήποτε πρόβλημα άντοχῆς.

Έάν θεωρήσωμεν σχοινίον διατομῆς σ,μήκους μ, μέτρου έλαστικότητος τοῦ ὑλικοῦ του Ε,φορτιζόμενον ὑπό φορτίου Φ,ὑπό ὁμαλάς συνθήκας,ἡ ίσορροπία τοῦ φορτίου πραγματοποιεῖται μετά έπιμήκυνσιν (έντός τοῦ ὁρίου έλαστικότητος) τοῦ σχοινίου περίπου

$$\lambda = \frac{\Phi . \mu}{E . \sigma}$$

Λέγομεν περίπου,διότι ἕν σχοινίον λόγῳ τῆς κατασκευῆς του δέν παρέχει

δυνατότητας ἀκριβοῦς ἐκτιμήσεως τῶν στοιχείων σ καὶ μ,χωρὶς νὰ λάβωμεν ὑπ'ὄψιν καὶ τὴν ὁμοιογένειαν τοῦ ὑλικοῦ του,ὁπότε καὶ ἡ σταθερὰ Ε κυμαίνεται πέριξ ὁρίων.
'Εὰν τό φορτίον ἐξ οἱασδήποτε αἰτίας,πρὶν ἰσορροπίσῃ,πίπτον διανύσῃ διάστημα χ,θὰ ὑποβάλῃ τὸ σχοινίον εἰς ἐπιμήκυνσιν

$$\lambda' = \frac{\psi.\mu}{E.\sigma} \quad \text{καὶ φόρτισιν} \quad \psi = \sqrt{\frac{\Phi.E.\sigma.\chi}{\mu}} \qquad (\alpha)$$

Κατὰ τὴν στιγμὴν τῆς ἰσορροπίας τοῦ φορτίου ἡ μὲν ἐπιμήκυνσις θὰ λάβῃ πάλιν τὴν τιμὴν λ,ἡ δὲ φόρτισις τὴν τιμὴν Φ.
'Η τιμὴ (α) νοεῖται πάντοτε κατὰ προσέγγισιν καὶ ὑπὸ τὰς προϋποθέσεις τοῦ νόμου τοῦ Hooke, προκύπτει ἐκ τοῦ νόμου τῆς ἀφθαρσίας τῆς ἐνεργείας.
Συμφώνως πρὸς τὸν νόμον αὐτὸν ἡ κατὰ τὴν πτῶσιν ἐνέργεια Φ.χ ἰσοῦται πρὸς τὴν ἀναλισκομένην διὰ τὴν ἐλαστικὴν ἐπιμήκυνσιν τοῦ σχοινίου

$\frac{\psi^2\mu}{E\ \sigma}$: Ἀλλ'ἐπειδὴ ἡ σχέσις (α) δύναται νὰ γραφῇ καὶ ὡς ἑξῆς

$$\psi^2 = 2\left(\frac{\Phi.E.\sigma}{2\mu.}\right)\chi,$$

βλέπομεν ὅτι παρίσταται γραφικῶς ὑπὸ τόξου παραβολῆς ἡμιπαραμέτρου $\frac{\Phi.E.\sigma}{2\mu}$

'Η αὔξησις τῆς (α) παρισταμένη ὑπὸ τῆς $\psi' = \sqrt{\frac{\Phi.E.\sigma}{4.\mu.\chi}}$ (β) εἶναι θετικὴ καὶ ἑπομένως αὔξουσα,ἐντὸς τῶν ὁρίων $\psi_1 = \Phi$ (γ) ἐλαχίστου καὶ $\psi_2 = \sqrt{\Phi.E.\sigma}$ (δ) μεγίστου,διὰ τιμὰς τοῦ χ ἀντιστοίχους $\frac{\Phi\mu}{E\sigma}$ καὶ μ.
Τὰ ὅρια ταῦτα προσδιορίζονται καὶ ἐκ τοῦ γεγονότος ὅτι ἡ φόρτισις τοῦ σχοινίου δὲν δύναται νὰ εἶναι κατωτέρα τῇ τοῦ φορτίου Φ,ἀλλ'οὔτε καὶ μείζων τῆς (δ),δοθέντος ὅτι ἡ τιμὴ τοῦ χ δὲν δύναται νὰ ὑπερβῇ τὸ μῆκος τοῦ σχοινίου μ.
'Η αὔξησις τῆς (α) παρίσταται ὑπὸ τῆς (β).Ταύτης ἡ συνολικὴ τοιαύτη $\int_{\frac{\Phi\mu}{E\sigma}}^{\mu} \psi' d\chi = \sqrt{\Phi.E.\sigma} - \Phi$

καὶ ἡ μεγίστη τιμὴ (δ) ἐξαρτῶνται ἐκ τῆς καταλ-λήλου ἐκλογῆς τῆς σταθερᾶς Ε ἢ τῆ ἐκλογῆς τοῦ καταλλήλου ὑλικοῦ τοῦ συνιστῶντος τὸ σχοινίον, δεδομένου ὅτι οἱ ὅροι Φ,σ καὶ μ εἶναι γενικῶς ἀνεξάρτητοι τῆς ἐκλογῆς μας.

Ἡ τιμὴ (δ),οὖσα ἀνεξάρτητος τῆς μεταβλητῆς x καὶ τοῦ μήκους τοῦ χρησιμοποιουμένου σχοινίου, δύναται νὰ θεωρηθῇ ὡς παριστῶσα τὸ μέγιστον ἐπιτρεπόμενον ὅριον φορτίσεως τοῦ ὑπ'ὄψιν σχοινίου ὑπὸ τὰς δυσμενεστέρας συνθήκας χρησιμοποιήσεως του,ἤτοι φορτίσεώς του,κατόπιν ὀλισθήσεως τοῦ φορτίου καθ'ὅλον τὸ μῆκος του καὶ εἶτα συγκρατήσεώς του ὑπὸ τούτου.

Τὰ πρακτικὰ συμπεράσματα τῶν ἐκτεθέντων θεωρητικῶν δεδομένων δύνανται νὰ συνοψισθῶσιν ὡς ἑξῆς:

Ἐὰν ἠδύνατό τις νὰ συλλέξῃ ὅλας τὰς περιπτώσεις,καθ'ἃς δημιουργεῖται ἀνώμαλος φόρτισις ἑνὸς σχοινίου ἀσφαλείας θὰ ἤγετο εἰς τὸ νὰ προσ-διορίσῃ μὲ τὴν μεγαλυτέραν δυνατὴν ἀκρίβειαν τὸ ὑλικὸν τοῦ σχοινίου(σταθερὰ Ε) καὶ τὴν διατομήν του,ὥστε νὰ ἐξασφαλίζῃ ἰδεώδη ἀσφάλειαν.

Ἀλλ'ὅπως εἶναι εὐνόητον,τοῦτο εἶναι πρακτικῶς ἀδύνατον ἡ ἐφαρμογὴ δὲ τῶν θεωρητικῶν δεδομένων θὰ ἦγε ἴσως εἰς τὴν ἐκλογὴν ἰδεωδῶν σχοινίων,ἀπὸ ἀπόψεως ἀντοχῆς,λίαν ὅμως δυσχρήστων, λόγῳ τοῦ ὄγκου καὶ βάρους των.

Οὕτως ἡ ἐφαρμογὴ τῆς σχέσεως (δ) προϋποθέτει μί-αν σπανίαν περίπτωσιν ὀλισθήσεως τοῦ φορτίου ἑνὸς σχοινίου ἀπὸ τοῦ ἑνὸς ἄκρου του μέχρι τοῦ ἄλλου.Εν τοιαύτῃ περιπτώσει ἂν τὸ ἔμψυχον φορτίον,κατὰ τὴν διαδρομὴν τῆς πτώσεώς του,παρέμε-νε σῶον ἐκ προσκρούσεων κλπ.καὶ ἡ ἀντοχὴ τοῦ σχοινίου ἦτο ἐπαρκής,θὰ ἦτο προβληματικὴ ἡ διατήρησις τῆς ἀκεραιότητός του μετὰ τὴν συγκράτισίν του,ὁπότε ἡ δύναμις τῆς φορτίσεως θὰ ἀνε-λύετο εἰς συνιστώσας δυνάμεις συνθλίψεως καὶ ἄλλας ὀλεθρίας διὰ τὴν τύχην τοῦ φορτίου.

Ἐὰν πάλιν ἐπιτυγχάνετο ἐκλογὴ ὑλικοῦ σχοινίου τοιαύτη,ὥστε ἡ σταθερὰ Ε νὰ ἔδιδε τιμὰς (δ) ἀπολύτως ἱκανοποιητικάς,(ἐὰν δηλαδὴ τὸ σχοινίον εἶχε μεγάλην ἐλαστικότητα),θὰ ἦτο ἀμφίβολος ἡ πρακτική χρησιμοποίησις τοῦ σχοινίου τούτου,διότι καὶ ἡ μικροτέρα ὀλίσθησις τοῦ φορτίου θὰ με-τεδίδετο διὰ βιαίας κατακορύφους ταλαντώσεις εἰς αὐτὸ ὥστε τελικῶς τὸ σχοινίον θὰ καθίστατο δύσχρηστον ἢ ἐπικίνδυνον.

Τὰ συνηθέστερα φαινόμενα κατὰ τὴν χρῆσιν τοῦ σχοινίου ἀσφαλείας εἶναι ὀλισθήσεις τοῦ φορτίου εἰς διάστημα μικρότερον τοῦ μέτρου,αἵτινες ὀφείλονται εἰς ὀλίσθησιν ἐκ μιᾶς ἢ πλειόνων βαθμίδων τῆς σπηλαιολογικῆς κλίμακος,εἰς ρῆξιν ἑνὸς σχοινίου τῆς κλίμακος,εἰς τυχαίαν διαφυγὴν τοῦ σχοινίου ἀσφαλείας ἐκ τῶν σημείων ἐκτυλίξεως, εἰς θραῦσιν μιᾶς βαθμίδος τῆς κλίμακος,εἰς ἐμπλοκὰς τῆς κλίμακος ἢ τοῦ σχοινίου καὶ ἀποτόμους ἀπαλλαγὰς κτλ.

Τοιαῦται περιπτώσεις δημιουργοῦν ἀνωμαλίας φορτίσεως,ὧν αἱ συνέπειαι δύνανται νὰ εἶναι διάφοροι.

Ἵνα ὁδηγηθῶμεν εἰς τοὺς καταλλήλους ὑπολογισμοὺς ἀντοχῆς τῶν χρησιμοποιηθησομένων σχοινίων δὲν εἶναι πλέον ἀνάγκη νὰ στηριχθῶμεν εἰς τὴν σχέσιν (δ),διότι τὰ μήκη πτώσεων εἶναι γενικῶς μικρότερα τῆς τιμῆς μ τοῦ ὁλικοῦ μήκους τοῦ χρησιμοποιηθησομένου σχοινίου.

Ἀπὸ πάσης ἀπόψεως συμφέρει ἡ κατασκευὴ τῆς παραστατικῆς καμπύλης εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ,ὅπου μὲ τὰ στοιχεῖα τοῦ σχοινίου καὶ τοῦ φορτίου,δυνάμεθα νὰ παρακολουθήσωμεν τὰς μεταβολὰς τῶν φορτίσεων,μεταφέροντες ἐκεῖ τὰς παρατηρήσεις ἢ τὰ διδάγματα τῆς πείρας,ὡς πρὸς τὰ μήκη ὀλισθήσεως κλπ.

Ἡ κατασκευὴ τῆς καμπύλης πραγματοποιεῖται μετὰ τῆς μεγίστης δυνατῆς ἀκριβείας ἐπὶ χιλιοστομετρικοῦ χάρτου κατὰ τὸν γνωστὸν τρόπον χαράξεως τόξου παραβολῆς εἰς τὸ θετικὸν μόνον τμῆμα τοῦ ἄξονος τῶν τεταγμένων μὲ γνωστὰ στοιχεῖα τὴν ἡμι-παράμετρον καὶ τὴν διευθετοῦσαν.

Ἡ ἐξέτασις τοῦ τόξου θὰ περιορισθῇ μεταξὺ τῶν σημείων συντεταγμένων $\frac{\Phi.\mu}{E.\sigma}$, Φ καὶ μ , $\sqrt{\Phi E.\sigma}$

Ὁ τρόπος οὗτος παρακολουθήσεως προβλημάτων ἐπὶ σχοινίων ἀσφαλείας καὶ ἐὰν δὲν δώσῃ ἀπολύτως ἀκριβῆ εἰκόνα τῶν φαινομένων,δύναται πάντως νὰ ὁδηγήσῃ εἰς ὠφέλιμα συμπεράσματα μὲ τὴν ἐξεύρεσιν

ευνοϊκῶν λύσεων χωρὶς νὰ περιοριζώμεθα εἰς τὰ ἐξαγόμενα ἀλγεβρικῶν ὑπολογισμῶν, ἅτινα ὑπολείπονται εἰς παραστατικότητα.
Αἱ ευνοϊκώτεραι συνθῆκαι μεταβολῆς τῶν φορτίσεων συναρτήσει τῶν μηκῶν πτώσεων τοῦ φορτίου ἐπιτυγχάνονται, ὅταν διὰ καταλλήλου ἐκλογῆς ὑλικῶν σχοινίων καὶ ἑπομένως σταθερῶν E, κατασθῆ ἡ αὔξησις $\psi' = \frac{d\psi}{dx} = \varepsilon\varphi\ \varphi < 1$ ἢ $\varphi < 45^o$

Τοῦτο θὰ καταστῆ ἐμφανέστερον ἐπὶ τῆς γραφικῆς κατασκευῆς, ὅπου λαμβάνει τις εἰκόνα τῶν ευνοϊκῶν συνθηκῶν φορτίσεων ὅσον τὸ τόξον τῆς παραβολῆς ἐμφανίζεται περισσότερον κεκλιμένον ἐπὶ τοῦ ἄξονος τῶν τετμημένων, ὁπότε αἱ γωνίαι τῶν ἐφαπτομένων εἶναι ἐμφανῶς μικρότεραι τῶν 45^o.
Τότε καὶ ὁ λόγος $\frac{d\psi}{dx} < 1$, ὁπότε καὶ $d\psi < dx$,
ἐξ ἧς προκύπτει ὅτι ἡ μεταβολὴ τῶν φορτίσεων πραγματοποιεῖται πολὺ βραδύτερον ἢ ἡ μεταβολὴ τῶν ὁλισθήσεων τοῦ φορτίου.
Ἀριθμητικά τινα παραδείγματα ἠδύναντο νὰ δείξουν π.χ. ὅτι εἰς πτῶσιν τοῦ φορτίου κατὰ δέκατα τοῦ μέτρου ἀντιστοιχεῖ αὔξησις τῆς φορτίσεως κατὰ 3-5% ἐπὶ τοῦ σταθεροῦ φορτίου.
Εἰς γενικωτέρας γραμμὰς καὶ μὲ ἁπλουστέρας ἐκφράσεις τὰ πλεονεκτήματα ἑνὸς σχοινίου ἀσφαλείας ἐξαρτῶνται κυρίως ἐκ τῆς ἐκλογῆς τοῦ ὑλικοῦ του, οὕτως ὥστε τοῦτο νὰ ἔχῃ τὴν κατάλληλον ἐλαστικότητα εἰς βαθμὸν τοιοῦτον, ὥστε αἱ τυχὸν ἀπότομοι μετακινήσεις τοῦ φορτίου του νὰ μὴ ἐπιφέρωσι ἐπικινδύνους καὶ σκληρὰς ταλαντώσεις, ἀλλὰ νὰ δύναται νὰ ἐξουδετερώνῃ ἢ νὰ ἀμβλύνῃ κατὰ τὸ δυνατὸν τὰς συνεπείας τῶν ἀποτόμων κραδασμῶν.
Πάντως τὰ διδάγματα τῆς πείρας καταπετελοῦν ἐπίσης πολύτιμα στοιχεῖα διὰ τὴν λύσιν τῶν ἀνωτέρω προβλημάτων.
Αἱ σχετικαὶ βιομηχανίαι παρέχουν σήμερον τοιαύτην ποικιλίαν φυσικῶν ἢ συνθετικῶν σχοινίων, ὥστε ἐναπόκειται μόνον εἰς τὴν ἐκτέλεσιν πρακτικῶν ἢ ἐργαστηριακῶν δοκιμῶν παραλλήλως πρὸς τοὺς ὑπολογισμοὺς διὰ τὴν ἐκλογὴν τοῦ καταλληλοτέρου τύπου σχοινίου τοῦ ἱκανοποιοῦντος τὰς απηλασολο

-γικὰς ἀπαιτήσεις τόσον εἰς τὸν οἰκονομικὸν ὅσον καὶ εἰς τὸν τομέα τῆς ἀντοχῆς καὶ ἀσφαλείας.

RÉSUMÉ

QUELQUES PROPLEMES DANS L'UTILISATION DES CORDES D'ASSURANCE

par. Leon.Petrochilos

Quelques problèmes de résistence se présentent dans les travaux spéléologiques pendant l'utilisation des cordes d'assurance.
Ces problemes se posent,si l'utilisation des cordes est mauvaise aussi bien qu'après quelques accidents etc.
En tous cas le chargement d'une corde quand elle est étalée verticalement est sans doute le plus intéressant.
Dans ce cas il y a deux formes de chargement: Le chargement sans mouvement ou avec un mouvement doux sans arrêt brusque et celui en mouvement avec un arrêt brusque.
Soit une corde d'une section s,longueur l, mesure Young E,chargée d'un poids F.
L'équilibre du poids F se realise après un prolongement de la corde $\lambda = \frac{Fl}{Es}$ d'après la loi de Hooke.
Mais si le poids F s'arrete par la corde après une descente presque libre de x metres, le chargement total de la corde est donné en approximation par la fonction $y = \sqrt{\frac{FE\,sx}{l}}$ (a)
dont la courbe représente une parabole de demi paramètre $\frac{FEs}{2l}$. La croissance de (a) se représente par $y' = \sqrt{\frac{FEs}{4lx}}$ (b)
La fonction(a) est croissante et continue et elle a une valeur minima $y_1 = F$ (c) pour $x = \frac{Fl}{Es}$ et maxima $y_2 = \sqrt{FEs}$ (d) pour $x = l$

Les variations de la fonction (a) sont favorables, si l'accroissement $\frac{dy}{dx} = \sqrt{\frac{FEs}{4lx}} = tg\ f < 1$ ou $f < 45^o$ d'où vient que la valeur de E doit être la plus petite possible.
Ainsi l'accroissement dy sera plus lent quece -lui de dx et dans ce cas l'accroissement to total entre les limites de $x = \frac{Fl}{Es}$ et l ,qui est $\int_{\frac{Fl}{Es}}^{l} y' dx = \sqrt{FEs} - F$ sera minimum possible.

D'après ci dessus, on peut verifier, si une corde d'assurance remplit les conditions de résistance données par la formule (d), qui est indépendante de la longueur.
Il faut rémarquer que si on emploie des cordes d'une grande valeur de E, (comme dans le cas de cordes métalliques) les valeurs de la (d) seront énormes et par consequent on doit employer des rapports de sécurité très grands et des materi-aux lourds et difficile à manier.
Les cordes de chanvre sont les meilleures cordes d'assurance, parcequ'elles ont une petite valeur de E(moins de $50/mm^2$) et elles ont flé-xibles et legères. Celles ci présentent des incovenients que leur résistence n'est pas fixe et leur matériel n'est pas homogène.
Mais en Spéléologie après un glissement le poids ne se tient pas par la corde après une longue parcours pour charger la corde au charge $y_2 = \sqrt{FEs}$ (ordinairement d'une marche de l'echelle à l'autre, soit 1/2 m.max. après un dommage de l'echelle) alors la valeur de la fonction (a) est tout à fait différente de celle de la limite (d).