

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1467

ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΛΑΠΠΑΣ ΧΑΡΙΛΑΟΣ

ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ Επίκουρος καθηγητής

ΠΑΤΡΑ 2015

©2015 - All rights reserved

ΠΡΟΛΟΓΟΣ / ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η θεωρητική περιγραφή των μηχανολογικών υπολογισμών γραμμών διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε τους παράγοντες που επηρεάζουν τις γραμμές διανομής και τους φορείς του δικτύου και πως γίνετε η επιλογή των γραμμών διανομής και των φορέων του δικτύου.

Για την μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας λοιπόν χρησιμοποιούνται τα δίκτυα μεταφοράς. Αυτά μπορεί να είναι εναέρια, υπόγεια και υποβρύχια ανάλογα των περιστάσεων (π.χ. αν θέλουμε να τροφοδοτήσουμε ένα νησί θα χρησιμοποιηθεί υποβρύχιο δίκτυο) συνήθως όμως χρησιμοποιούνται τα εναέρια δίκτυα λόγω χαμηλού κόστους σε σχέση με τα άλλα δίκτυα και ευκολίας τόσο στη συντήρηση όσο και στην επιθεώρηση αυτών.

Οι τιμές των τάσεων που μεταφέρουν οι αγωγοί κυμαίνονται από 100V έως και 750KV (ενδεικτικές τιμές) εναλλασσόμενου ρεύματος γιατί η ισχύς που μπορεί να μεταφερθεί είναι πολύ μεγάλη αφού είναι ανάλογη του τετραγώνου της τάσεως και η απώλειες είναι ελάχιστες οπότε αυτό είναι ιδανικό για τις υπερύψηλές τάσεις. Οι φορείς ή πυλώνες που υποστηρίζουν τους αγωγούς του δικτύου μπορεί να είναι μεταλλικοί, τσιμεντένιοι ή ξύλινοι ανάλογα με την τάση που μεταφέρουν συνήθως οι ξύλινοι μεταφέρουν έως 220V.

Έτσι στη μελέτη θα υπολογίσουμε όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν τους φορείς μας ξεκινώντας από το ίδιο το βάρος του αγωγού, τις καιρικές συνθήκες την επίδραση του ανέμου και τις γραμμές ανάλογα με την μορφολογία του εδάφους. Έπειτα θα μελετήσουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ξύλινων στύλων και τις καταπονήσεις αυτών καθώς και διαφόρων περιπτώσεων στύλων (τερματικοί, γωνιακοί). Φτάνοντας τέλος να έχουμε μία καθολική και εμπειριστατωμένη ανάλυση για την μηχανολογική ανάλυση δικτύου.

Πίνακας περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	2
1.1 ΊΔΙΟ ΒΑΡΟΣ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ	4
1.2 ΕΠΙΦΟΡΤΙΣΗ ΛΟΓΩ ΠΑΓΟΥ Η ΧΙΟΝΙΟΥ	4
1.3 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΕΠΙΦΟΡΤΙΣΗ	6
1.4 ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΕΠΙΦΟΡΤΙΣΗ W_E	6
1.5 ΥΛΙΚΑ ΕΝΑΕΡΙΩΝ ΑΓΩΓΩΝ	7
1.6 ΔΙΑΜΗΚΗ ΦΟΡΤΙΑ	9
1.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΒΕΛΟΥΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΕΩΣ ΤΑΝΥΣΕΩΣ ΑΓΩΓΩΝ	9
1.8 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΕΛΟΥΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΤΑΝΥΣΗΣ ΑΓΩΓΩΝ ΑΛΥΣΟΕΙΔΟΥΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ	9
1.9 ΓΡΑΜΜΗ ΕΠΙ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	12
1.10 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΑΝΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΒΕΛΟΥΣ ΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	20
2.1 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΩΝ ΕΠΙ ΤΡΑΒΕΡΣΑΣ	22
2.2 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΤΑΝΥΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΒΑΣΙΚΟ ΆΝΟΙΓΜΑ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ	25
2.3 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΚΑΙ ΔΙΑΜΗΚΗ ΦΟΡΤΙΑ	35
2.4 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΞΥΛΙΝΩΝ ΣΤΥΛΩΝ	36
2.5 ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΕΠΙΦΟΡΤΙΣΗ ΛΟΓΩ ΑΝΕΜΟΥ	38
2.6 ΠΙΕΣΗ ΤΗΣ ΞΥΛΟΔΟΚΟΥ ΕΠΙ ΤΟΥ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ	40
2.7 ΒΑΡΟΣ ΓΗΙΝΟΥ ΚΩΝΟΥ	41
2.8 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ ΕΠΙΤΟΝΟΥ	41
2.9 ΑΝΤΟΧΗ ΞΥΛΟΔΟΚΟΥ ΣΕ ΚΑΜΨΗ	42
2.10 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΔΥΝΑΜΗ ΕΠΙΤΟΝΟΥ P : ΕΠΙ ΣΤΥΛΟΥ	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	43
3.1 ΣΤΥΛΟΙ ΤΕΡΜΑΤΟΣ	45
3.2 ΓΩΝΙΑΚΟΙ ΣΤΥΛΟΙ	47
3.3 ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗΡΙΓΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΑ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΑΣ	49
3.4 ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΟΡΥΦΗΣ	58
3.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΒΡΑΧΙΟΝΑ	59
3.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΑΓΩΓΩΝ ΚΑΙ ΒΡΑΧΙΟΝΩΝ	62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	69

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Μηχανολογική μελέτη δικτύων

Οι εναέριες γραμμές αποτελούνται από 2 μέρη τους αγωγούς και τους φορείς. Ως φορείς εννοούμε τους στύλους, βραχίονες, μονωτήρες, επίτονους και άλλα υλικά. Τόσο οι αγωγοί όσο και οι φορείς δέχονται την επίδραση διαφόρων δυνάμεων που καλούνται δυνάμεις επιφόρτισης ή απλά επιφόρτιση. Η μηχανική αντοχή θα πρέπει να υπολογιστεί με βάση την συνολική επιφόρτιση του δικτύου με ένα συντελεστή ασφαλείας ανάλογα με την περίπτωση.

Οι επιφορτίσεις που λαμβάνονται γενικά υπόψη είναι γενικά:

- Το ίδιο το βάρος των αγωγών και σε ορισμένες περιπτώσεις και των φορέων του δικτύου.
- Το βάρος του πάγου ή του χιονιού το οποίο σχηματίζεται περιμετρικά των αγωγών.
- Η πίεση του ανέμου που ασκείται στους αγωγούς και τους φορείς.

Στις παραπάνω περιπτώσεις πρέπει να προστεθεί και η τάνυση των αγωγών που ασκεί σοβαρές καταπονήσεις στους φορείς σε ορισμένες περιπτώσεις. Η επιφόρτιση υπολογίζεται ανά τρέχον μέτρο του αγωγού.

1.1 Ίδιο βάρος του αγωγού.

Το ίδιο βάρος του αγωγού υπολογίζεται ανά τρέχον μέτρο του αγωγού σε Kgr/m . Είναι κατακόρυφη επιφόρτιση και προϋποθέτει ενιαία διατομή του αγωγού. Δίνεται από τη σχέση

$$W_{αγ} = 10^{-3} \times \gamma \times s \text{ Kgr/m ή } WA$$

όπου γ = ειδικό βάρος αγωγού σε Kgr/dm^3 (για το Cu είναι $8,9 Kgr/dm^3$ και για το Al είναι $2,7 Kgr/dm^3$)

όπου s = διατομή αγωγού σε mm^2

Στους πολύκλωνους αγωγούς λαμβάνεται υπόψη η πραγματική διατομή του αγωγού και όχι αυτή που προκύπτει με βάση την εξωτερική διάμετρο.

1.2 Επιφόρτιση λόγω πάγου ή χιονιού

Όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος πέσει κάτω του $0^\circ C$ είναι δυνατό να σχηματιστεί περιμετρικά του αγωγού στρώμα πάγου ή χιονιού. Το στρώμα εξαρτάται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και της ταχύτητας του ανέμου και είναι ανεξάρτητο της διατομής.

Υπάρχουν οι ακόλουθες κατηγορίες επιφόρτισης :

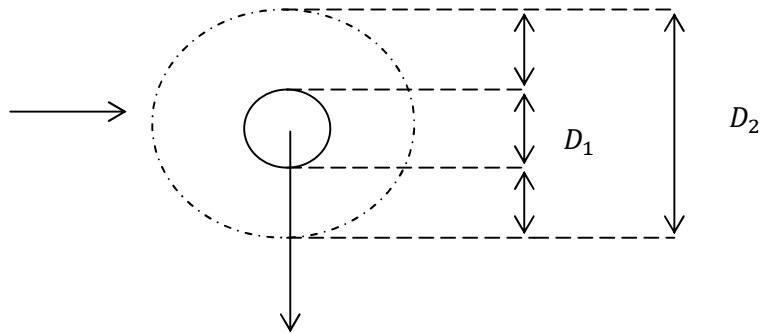
- Ελαφριά επιφόρτιση. Εφαρμόζεται στις πεδινές περιοχές και στις παραθαλάσσιες ζώνες, νησιά, κ.ο.κ. Ελάχιστη θερμοκρασία $0^\circ C$, πάχος πάγου κατά την ακτίνα $t = 0 \text{ mm}$. Οριζόντια πίεση ανέμου $P = 44 \text{ Kgr/m}^2$. Σταθερή προσαύξηση $St = 0,075 \text{ Kgr/m}$
- Μέση ή Κανονική. Σε όλες τις περιπτώσεις που δεν έχουμε ιδιαίτερα καιρικά προβλήματα. Ελάχιστη θερμοκρασία $- 10^\circ C$, πάχος πάγου κατά την ακτίνα $t = 6,5 \text{ mm}$. Οριζόντια πίεση ανέμου $P = 20 \text{ Kgr/m}^2$. Σταθερή προσαύξηση $St = 0,33 \text{ Kgr/m}$.

- Βαριά. Σε περιοχές με χαμηλές θερμοκρασίες και μεγάλες χιονοπτώσεις. Ελάχιστη θερμοκρασία - 20°C. Πάχος πάγου κατά την ακτίνα $t = 13 \text{ mm}$. Οριζόντια πίεση ανέμου $P = 20 \text{ Kgr/m}^2$. Σταθερή προσαύξηση $St = 0,46 \text{ Kgr/m}$.
- Υπερβαριά. Εφαρμόζεται μόνο για αγωγούς 35 και 95 ACSR όπως και σε συνεστραμμένα Μ.Τ. Ελάχιστη θερμοκρασία - 20°C. Πάχος πάγου κατά την ακτίνα $t = 25,4 \text{ mm}$. Οριζόντια πίεση ανέμου $P = 20 \text{ Kgr/m}^2$. Σταθερή προσαύξηση $St = 1 \text{ Kgr/m}$.
- EB/20. Πολύ δυσμενείς καιρικές συνθήκες με μεγάλες χιονοπτώσεις. Μόνο για αγωγούς 95 ACSR. Ελάχιστη θερμοκρασία - 20°C. Πάχος πάγου κατά την ακτίνα $t = 75 \text{ mm}$. Οριζόντια πίεση ανέμου $P = 20 \text{ Kgr/m}^2$. Σταθερή προσαύξηση $St = 0 \text{ Kgr/m}$.
- EB/40. Πάρα πολύ δυσμενείς καιρικές συνθήκες και μεγάλα υψόμετρα. Εφαρμόζεται για αγωγούς 95 ACSR. Ελάχιστη θερμοκρασία - 20°C. Πάχος πάγου κατά την ακτίνα $t = 110 \text{ mm}$. Οριζόντια πίεση ανέμου $P = 20 \text{ Kgr/m}^2$.
- EB/60. Ακόμα δυσμενέστερες συνθήκες για αγωγούς 95 ACSR. Ελάχιστη θερμοκρασία - 20°C. Πάχος πάγου κατά την ακτίνα $t = 140 \text{ mm}$. Οριζόντια πίεση ανέμου $P = 20 \text{ Kgr/m}^2$. Σταθερή προσαύξηση $St = 0 \text{ Kgr/m}$.

Για τα δίκτυα Χ.Τ. ισχύουν μόνο οι επιφορτίσεις ‘Ελαφριά’ , ‘Μέση’ και ‘Βαριά’.

Ο υπολογισμός της επιφόρτισης των αγωγών για πάγο ή χιόνι δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$W_{\pi} = \frac{\gamma \times \pi}{4 \times 1000} \times (D_2^2 -$$



$$D_1^2) \text{ Kgr/m}$$

Όπου:

- $\gamma =$ ειδικό βάρος χιονιού = $0,912 \text{ gr/cm}^3$
- $D_1 =$ Εξωτερική διάμετρος αγωγού (ή D) σε mm
- $D_2 = D + 2t =$ Εξωτερική διάμετρος με το στρώμα πάγου σε mm

Ο παραπάνω τύπος γίνεται ίσος με:

$$W_{\pi} = 10^{-3} \pi \times \gamma \times t \times (t + D) \text{ σε Kgr/m, } \gamma = 0,912 \text{ gr/cm}^3, t \text{ και } D \text{ σε mm}$$

1.3 Συνολική κατακόρυφη επιφόρτιση.

Η συνολική κατακόρυφη επιφόρτιση W_K είναι η επιφόρτιση λόγω ίδιου βάρους και η επιφόρτιση λόγω χιονιού ή πάγου, συνολικά. Δίδεται από την σχέση :

$$W_K = W_A + 10^{-3} \times \pi \times \gamma \times t \times (t + D) \text{ σε } Kgr/m$$

Ο πίνακας 1 δίνει διάφορα μηχανικά χαρακτηριστικά των αγωγών.

Παράδειγμα

Να βρεθεί η κατακόρυφη επιφόρτιση W_K αγωγού 95 ACSR σε κανονική επιφόρτιση ($t=6,5$ mm).

Από τον πίνακα 1 βρίσκουμε ότι $D = 17,24$ mm και $W_A = 0,609$ Kgr/m

Οπότε:

$$W_K = 0,609 + 10^{-3} \times 3,14 \times 0,912 \times 6,5 \times (6,5 + 17,24) = 1,051 \text{ Kgr/m}$$

1.4 Εγκάρσια επιφόρτιση W_E

Η εγκάρσια επιφόρτιση που δέχεται ο αγωγός οφείλεται στην ταχύτητα του ανέμου που ακεί την πίεση. Ισχυρότεροι είναι οι άνεμοι για υψηλές θερμοκρασίες ($\theta > 5^\circ\text{C}$) ενώ για χαμηλές θερμοκρασίες ($\theta < -10^\circ\text{C}$) οι άνεμοι είναι ασθενείς. Για την Ελλάδα στις χαμηλές θερμοκρασίες δεχόμαστε πίεση ανέμου $P = 20$ Kgr/m² και για τις υψηλές 60 Kgr/m².

Για τους τυποποιημένους στύλους της ΔΕΗ, η εγκάρσια επιφόρτιση σε Kg με πίεση ανέμου 20 Kgr/m² και σημείο εφαρμογής 0,25 m κάτω από την κορυφή του στύλου είναι:

Ύψος στύλου	Επιφόρτιση ανέμου επί στύλου ($F_{στ}$)		
	E	M	B
9	13	17	19
10	15	19	21
11	17	21	23
12	19	23	26
13	21	25	29
14	23	27	32
15	25	29	35

Αν P είναι η οριζόντια πίεση του ανέμου, τότε η οριζόντια δύναμη επί του αγωγού είναι:

$$W_E = 0,001 \times P(D + 2t) \text{ Kgr/m} , \quad t, D \text{ σε mm}, P \text{ σε Kgr/m}^2$$

Ο πίνακας 3 δίνει την $F_{στ}$ ανάλογα με το στύλο και κατηγορία.

Ο πίνακας 5 δίνει την εγκάρσια και κατακόρυφη επιφόρτιση.

Παράδειγμα

Εγκάρσια επιφόρτιση προηγούμενου αγωγού είναι ίση με:

$$W_E = 0,001 \times 20 \times (2 \times 6,5 + 17,24) = 0,605 \text{ Kgr/m}$$

Η συνολική επιφόρτιση που δέχεται ένας αγωγός είναι:

$$W = \sqrt{W_K^2 + W_E^2} + St$$

Ο προηγούμενος αγωγός θα δέχεται συνολική επιφόρτιση:

$$W = \sqrt{1,051^2 + 0,605^2} + 0,33 = 1,543 \text{ kg/m}$$

1.5 Υλικά εναέριων αγωγών

Οι αγωγοί εναέριων αγωγών είναι πολύκλωνοι ώστε να αποφεύγετε η μηχανική καταπόνηση λόγω των συνεχών ταλαντώσεων και δονήσεων. Λόγω της επιφανειακής οξειδωσης αλλά και της επικάθισης σκόνης και άλλων υλικών, εμφανίζεται αντίσταση μεταξύ των κλώνων και το ρεύμα κυκλοφορεί μάλλον σπειροειδές. Η επαγωγική αντίδραση επίσης είναι μεγαλύτερη. Οι κλώνοι εφάπτονται ώστε να μην δημιουργούνται διάκενα και διατάσσονται σε στρώσεις.

Γενικά ισχύει η σχέση:

$$K = 1 + 3(n + 1) \quad \text{όπου } K \text{ είναι ο αριθμός των κλώνων και } n \text{ ο αριθμός των στρώσεων γύρω του κεντρικό κλώνου.}$$

Η εξωτερική διάμετρος του αγωγού συνολικά είναι:

$$D = d \times (2n + 1) \quad \text{όπου } d \text{ η διάμετρος του κλώνου.}$$

Οι παραπάνω σχέσεις δεν ισχύουν όταν οι κλώνοι δεν έχουν την ίδια διάμετρο μεταξύ τους.

$$\text{Η πραγματική διατομή ενός αγωγού είναι } s = k \times \frac{\pi d^2}{4}$$

Παράδειγμα

Ένας αγωγός 16mm^2 ACSR αποτελείται από 6 κλώνους Al και έναν κλώνα χάλυβα με διάμετρο $2,32\text{mm}$.

Η πραγματική διατομή είναι:

$$s = 6 \times \frac{\pi \times 2,32^2}{4} + 1 \times \frac{\pi \times 2,32^2}{4} = 29,59\text{mm}^2$$

Ένας αγωγός 95mm^2 ACSR αποτελείται από 26 κλώνους Al με διάμετρο $2,72\text{mm}$ και 7 κλώνους χάλυβα με διάμετρο $2,11 \text{ mm}$. Η πραγματική διατομή είναι:

$$s = 26 \times \frac{\pi \times 2,72^2}{4} + 7 \times \frac{\pi \times 2,11^2}{4} = 175,55\text{mm}^2$$

Ο πίνακας 1 δίνει όλα τα μηχανικά χαρακτηριστικά των εναερίων αγωγών που χρησιμοποιούνται και ο πίνακας 2 τις επιφορτίσεις W_K και W_E για κάθε αγωγό και κάθε επιφόρτιση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΑΕΡΙΩΝ ΑΓΩΓΩΝ									
ΟΝΟΜ. ΔΙΑΤΟΜ.	ΕΙΔΟΣ ΑΓΩΓΩΝ	ΑΡΙΘΜΟ ΚΛΩΝΩΝ	ΔΙΑΜΕΤΡ. ΚΛΩΝΩΝ	ΠΡΑΓΜ. ΔΙΑΤΟΜΗ	ΕΞΩΤ. ΔΙΑΤΟΜΗ	ΦΟΡΤ. ΘΡΑΥΣ.	ΜΕΤΡΟ. ΕΛΑΣΤ.	ΣΥΝΤ. Θ.ΔΙΑΣΤ.	ΒΑΡΟΣ ΑΓΩΓΩΝ
			d	q	D	$F_{\theta\rho}$	E	$\alpha \cdot 10^{-6}$	W_A
mm^2			mm	mm^2	mm	Kg	Kg/mm^2	c^{-1}	Kg/m
16	ACSR	6Al + 1St	2,32	29,59	6,96	950	8780	19	0,1022
35	ACSR	6Al + 1St	3,44	65,06	10,32	2000	8780	19	0,2246
50	ACSR	6Al + 1St	4,11	92,87	12,33	2800	8780	19	0,321
95	ACSR	26Al + 7St	2,72/2,11	175,55	17,24	5650	8630	19,5	0,609
16	ACSR-R	3Al + 4St	3,44	65,06	10,32	4635	14150	13,45	0,372
35	AAAC	7	2,5	34,36	7,5	980	6200	23	0,098
70	AAAC	19	2,1	65,81	10,5	1880	6200	23	0,189
95	AAAC	19	2,5	93,27	12,5	2670	6200	23	0,269
185	AAAC	37	2,5	181,62	17,5	5170	6200	23	0,525
16	AL	7	2,21	26,85	6,63	470	6750	23	0,0746
35	AL	7	3,22	57,00	9,66	940	6750	23	0,1568
50	AL	19	2,35	82,41	11,75	1442	6750	23	0,2291
70	AL	19	2,78	115,33	13,9	2018	6750	23	0,3206
16	CU	7	1,71	16,08	5,13	739	12650	17	0,144
35	CU	7	2,53	35,19	7,59	1566	12650	17	0,315
50	CU	19	1,83	49,97	9,15	2299	12650	17	0,453
70	CU	19	2,17	70,27	10,85	3162	12650	17	0,634
95	CU	19	2,53	95,52	12,65	4340	12650	17	0,857
18	Συρμ. Ε	7	1,83	18,41	5,49	1740	19700	11	0,147
38,5	Συρμ. Μ	7	2,64	38,32	7,92	3630	19700	11	0,306
75	Συρμ. Β	7	3,68	74,45	11,04	6580	19700	11	0,595
35	συνεστρΧΤ	19AL + 7ALM + 7AL	1,53/3,15/2,14	54.6	27	1660	6120	23	0,815
70	συνεστρΧΤ	19AL + 7ALM + 7AL	2,14/3,15/2,14	54.6	33	1660	6120	23	1,175
120	συνεστρΧΤ	19AL + 7AL	19/2,84+7/2,14	468	44	5660	5700	23	1,9
50	συνεστρΜΤ	19AL + 7ST	19x1.78+7x3	49.48	70	6200	18000	11	3,2
150	συνεστρΜΤ	37AL + 7ST	37x2.25+7x3	49.48	90	6200	18000	11	4,9

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

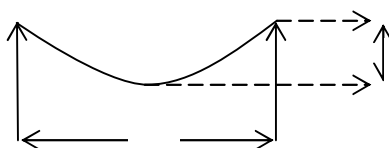
ΕΙΔΙΚΑ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΦΟΡΤΙΑ ΑΝΑ ΑΓΩΓΟ ΣΕ Kg/m								
ΑΓΩΓΟΣ	ΕΛΑΦΡΑ		ΜΕΣΗ		ΒΑΡΙΑ		ΥΠΕΡΒΑΡΙΑ	
	W_E	W_K	W_E	W_K	W_E	W_K	W_E	W_K
16 ACSR	0.306	0.102	0.399	0.353	0.659	0.846	-	-
35 ACSR	0.454	0.225	0.466	0.538	0.726	1.093	1.222	2.824
95 ACSR	0.759	0.609	0.605	1.051	0.865	1.735	1.361	3.712
16 CU	0.226	0.144	0.363	0.361	0.623	0.819	1.119	2.366
35 CU	0.344	0.315	0.412	0.577	0.672	1.082	1.166	2.716
95 CU	0.557	0.857	0.513	1.214	0.773	1.812	1.269	3.626
50 συνεστρ. Μ.Τ	3.080	3.200	1.660	4.625	1.920	6.291	2.416	10.413
150 συνεστρ. Μ.Τ	3.960	4.900	2.060	6.697	2.320	8.736	2.816	13.298
16 AL	0.292	0.075	0.393	0.319	0.653	0.806	-	-
35 AL	0.425	0.157	0.453	0.456	0.713	1.001	-	-
50 AL	0.517	0.229	0.495	0.569	0.755	1.151	-	-
70 συνεστρ. Χ.Τ	1.452	1.175	0.920	1.911	1.180	2.885	-	-
120 συνεστρ. Χ.Τ	1.935	1.900	1.140	2.840	1.400	4.023	-	-
							-	-

ΠΡΟΣΟΧΗ: ΤΟ ΒΑΡΟΣ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΕΙΝΑΙ ΟΣΟ ΤΟ W_K ΣΤΗΝ ΕΛΑΦΡΑ ΕΠΙΦΟΡΤΙΣΗ

1.6 Διαμήκη φορτία

Στα ευθύγραμμα τμήματα και για την ίδια κλάση κατασκευής οι φορείς δεν κατευθύνονται από τις διαμήκεις δυνάμεις λόγω τάνυσης των αγωγών διότι οι εν λόγω δυνάμεις είναι ίσες και αντίθετης φοράς και κατά συνέπεια αλληλοεξουδετερώνονται. Καταπόνηση λόγω τάνυσης υπάρχει μόνο σε αλλαγή κλάσης κατασκευής, αλλαγής διεύθυνσης της γραμμής ή στο τέρμα της. Κατά τον υπολογισμό της αντοχής των φορέων τα κατακόρυφα και εγκάρσια φορτία θεωρούνται ότι εφαρμόζονται ταυτόχρονα ενώ τα διαμήκη είναι ανεξάρτητα των άλλων δύο.

1.7 Υπολογισμός του βέλους και δυνάμεως τανύσεως αγωγών



Όταν αναρτήσουμε έναν αγωγό ενιαίας διατομής από 2 σημεία A και B που βρίσκονται στο ίδιο ύψος, αυτός λαμβάνει μορφή καμπύλης που ονομάζεται ``αλυσοειδής``. Η κατακόρυφη απόσταση d μεταξύ των σημείων στήριξης και του κατώτατου σημείου της καμπύλης ονομάζεται ``βέλος του αγωγού``. Οι δυνάμεις τάνυσης αυξάνονται με την ελάττωση του βέλους και αντίστροφα οι δυνάμεις τάνυσης εξαρτώνται επίσης από την απόσταση των δύο σημείων στήριξης 2ℓ και της επιφόρτισης των αγωγών. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση 2ℓ και η επιφόρτιση του αγωγού τόσο μεγαλύτερες είναι και οι δυνάμεις τάνυσης. Το βέλος είναι υποχρεωτικό για να απορροφάει τη συστολή των αγωγών στις χαμηλές θερμοκρασίες.

Αντί για ``αλυσοειδής`` καμπύλη η μορφή της καμπύλης λαμβάνεται ως παραβολή. Αυτό επιφέρει σημαντική απλοποίηση με καλή ακρίβεια.

1.8 Υπολογισμός βέλους και δυνάμεων τάνυσης αγωγών αλυσοειδούς καμπύλης

Έστω AB η αλυσοειδής καμπύλη με συνολική επιφόρτιση $W \text{ Kg}/m$. Έστω P(x,y) σημείο της καμπύλης σε απόσταση C από το σημείο O (κατώτερο σημείο). Φέρνουμε την εφαπτομένη της καμπύλης στο σημείο P. Έστω θ η γωνία μεταξύ της εφαπτομένης και του άξονα Ox.

Ο αγωγός φέρει εσωτερικά μηχανική τάση $f \text{ (Kg}/mm^2)$. Στην ουσία η δύναμη τάνυσης $T \text{ (Kg}/mm^2)$ είναι αντίθετη της δύναμης f για όλη την διατομή.

Στο σημείο O η δύναμη τάνυσης είναι οριζόντια. Έστω η δύναμη τάνυσης στο σημείο O. Η δύναμη P έχει την διεύθυνση της εφαπτομένης και έστω ότι ισούται με T_P που αναλύεται σε 2 συνιστώσες: την T_x και T_y . Η κάθετος συνιστώσα ισούται με το βάρος $W \times C$ που έχει η καμπύλη για το μήκος C. Η οριζόντια συνιστώσα ισούται με τη δύναμη H στο σημείο O. Δηλαδή:

$$T_x = H \quad , \quad T_y = W \times C$$

Επίσης:

$$\frac{T_y}{T_x} = \tan \vartheta = \frac{dy}{dx} \Rightarrow \frac{dy}{dx} = \frac{T_y}{T_x} = \frac{W \times C}{H} \quad (1)$$

$$\text{Είναι: } dc = \sqrt{dx^2 + dy^2} \Rightarrow \frac{dc}{dy} = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} = \sqrt{1 + \frac{W^2 \times C^2}{H^2}}$$

$$\text{Επομένως: } dx = \frac{dy}{\sqrt{1 + \frac{W^2 \times C^2}{H^2}}}$$

$$\text{Με ολοκλήρωση προκύπτει: } x + D = \frac{H}{W} \operatorname{τοξ} \sinh\left(\frac{W \times C}{H}\right)$$

Για $x=0$ είναι $C=0 \Rightarrow$ Άρα $D=0$

$$x = \frac{H}{W} \operatorname{τοξ} \sinh\left(\frac{W \times C}{H}\right) \Rightarrow C = \frac{H}{W} \operatorname{τοξ} \sinh\left(\frac{W \times x}{H}\right) \quad (2)$$

$$\text{Από (1)\&(2) προκύπτει: } \frac{dy}{dx} = \frac{W}{H} \times \frac{H}{W} \times \sinh \frac{W \times x}{H} \Rightarrow \frac{dy}{dx} = \sinh \frac{W \times x}{H}$$

$$\text{Με ολοκλήρωση: } y = \frac{H}{W} \cosh\left(\frac{W \times x}{H}\right) + D \quad (3)$$

$$\text{Για } x=0 \text{ είναι } y=0 \Rightarrow 0 = \frac{H}{W} \cosh 0 + D \Rightarrow D = -\frac{H}{W}$$

$$\text{Άρα: } y = \frac{H}{W} \left[\cosh\left(\frac{W \times x}{H}\right) - 1 \right] \text{ Αυτή είναι η γενική εξίσωση της καμπύλης.}$$

Η δύναμη τάνσης T_P στο σημείο P είναι:

$$\begin{aligned} T_P^2 &= T_x^2 + T_y^2 = H^2 + W^2 \times C^2 = H^2 + H^2 \left(\sinh \frac{W \times x}{H} \right)^2 = H^2 \left[1 + \left(\sinh \frac{W \times x}{H} \right)^2 \right] = \\ &= H^2 \left(\cosh \frac{W \times x}{H} \right)^2 \Rightarrow T_P = H \cosh \frac{W \times x}{H} \end{aligned}$$

Επομένως τα σημεία A και B απέχουν από το κατώτερο σημείο O του αγωγού, το καθένα οριζόντια απόσταση ίση με ℓ και μεταξύ τους απόσταση $L = 2\ell$

Όταν τα σημεία A και B βρίσκονται στην ίδια στάθμη η δύναμη τάνσης σε αυτά βρίσκεται από την παραπάνω σχέση για $x = \pm\ell$, δηλαδή :

$$T = H \cosh \frac{W \cdot \ell}{H} \quad (\ell = L/2)$$

Το βέλος d ως προς τα σημεία A και B βρίσκεται από την εξίσωση (3) όπου $x = \pm\ell$, δηλαδή $y = d$

$$d = \frac{H}{W} \left[\cosh\left(\frac{W \cdot \ell}{H}\right) - 1 \right] \quad (\ell = L/2)$$

Το μήκος της γραμμής C βρίσκεται από την εξίσωση (2) όπου $x = \pm\ell$:

$$C = \frac{H}{W} \sinh\left(\frac{W \cdot \ell}{H}\right) \quad (\ell = L/2)$$

Υπενθύμιση μαθηματικών ορισμών:

$$\cosh(z) = \frac{1}{2}(e^z + e^{-z}) \quad \sinh(z) = \frac{1}{2}(e^z - e^{-z}) \quad \alpha = \operatorname{arcsinh} \beta \Rightarrow \beta = \sinh \alpha$$

$$\cosh^2 z - \sinh^2 z = 1 \quad \cosh(z) = 1 + \frac{z^2}{2!} + \frac{z^4}{4!} + \dots \quad \sinh(z) = z + \frac{z^3}{3!} + \dots$$

Αντικαθιστώντας στην γενική σχέση $y = \frac{H}{W} \left[\cosh\left(\frac{W \cdot x}{H}\right) - 1 \right]$ η εξίσωση της καμπύλης του αγωγού γίνεται:

$$y = \frac{H}{W} \left[1 + \frac{W^2 \cdot x^2}{2H^2} - 1 \right] \Rightarrow y = \frac{H}{W} \cdot \frac{W^2 \cdot x^2}{2H^2} \Rightarrow y = \frac{W}{2H} \cdot x^2$$

Δηλαδή είναι μια καμπύλη παραβολής. Από την σχέση που δίνει την τάση T στα σημεία

$$\ell = L/2 : T = H \cdot \cosh \frac{W \cdot \ell}{H} \Rightarrow T = H \left[1 + \frac{W^2 \cdot \ell^2}{2H^2} \right]$$

Επειδή γενικά $1 \gg \frac{W^2 \cdot \ell^2}{2H^2}$ προσεγγιστικά είναι $T \cong H$, δηλαδή όλη η δύναμη τάσης T_a για ισούψη σημεία A και B και μικρή απόσταση ℓ μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει μόνο οριζόντια συνιστώσα, δηλαδή $T \cong T_x \cong H$.

$$\text{Από την σχέση του βέλους : } d = \frac{H}{W} \cosh\left(\frac{W \cdot \ell}{H}\right) - 1 \Rightarrow d = \frac{H}{W} \left[1 + \frac{W^2 \cdot \ell^2}{2H^2} - 1 \right] \Rightarrow d = \frac{W \cdot \ell^2}{2T}$$

$$\text{και επειδή } \ell = L/2 \text{ προκύπτει τελικά ότι } d = \frac{W \cdot L^2}{8T}$$

Επίσης από την σχέση που δίνει το μήκος C του τμήματος OP :

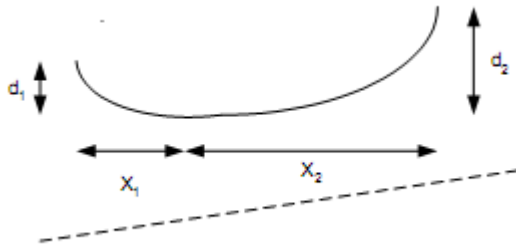
$$C = \frac{H}{W} \sinh\left(\frac{W \cdot \ell}{H}\right) \Rightarrow C = \frac{H}{W} \left[\frac{W \cdot \ell}{H} + \frac{W^3 \cdot \ell^3}{6H^3} \right]$$

Και επειδή $\ell = L/2$ τελικά προκύπτει ότι το μήκος $2C$ (ή S) του τμήματος AB είναι

$$S = 2C = L + \frac{W^2 \cdot L^3}{24T^2}$$

1.9 Γραμμή επί κεκλιμένου εδάφους

Έστω ότι η γραμμή βρίσκεται επί κεκλιμένου εδάφους και ότι τα σημεία A και B εμφανίζουν υψομετρική διαφορά $h(m)$ όπως στο σχήμα.



Το σημείο O τώρα μετατοπίζεται προς το χαμηλότερο σημείο ανάρτησης, δηλαδή το βέλος δεν θα εμφανισθεί στο μέσο της καμπύλης AB, αλλά θα μετατοπισθεί προς το σημείο A. Έστω ότι το σημείο O θα απέχει απόσταση x_1 από το A (χαμηλότερο σημείο ανάρτησης) και απόσταση x_2 από το B (υψηλότερο σημείο ανάρτησης). Από την

γενική σχέση της τάνυσης, η τάνυση T_1 στο σημείο A θα είναι $T_1 = H \cosh\left(\frac{W \cdot x_1}{H}\right)$ και η τάνυση στο σημείο B θα είναι $T_2 = H \cosh\left(\frac{W \cdot x_2}{H}\right)$. Αντίστοιχα, οι σχέσεις για τα βέλη θα είναι $d_1 = \frac{H}{W} \left[\cosh\left(\frac{W \cdot x_1}{H}\right) - 1 \right]$ και $d_2 = \frac{H}{W} \left[\cosh\left(\frac{W \cdot x_2}{H}\right) - 1 \right]$. Είναι ένα σύστημα και πάλι μη γραμμικό θεωρούμε γενικά όπως και πριν ότι θα είναι $T \cong H$, οπότε προκύπτει:

$$d_1 = \frac{T}{W} \left[1 + \frac{W^2 \cdot x_1^2}{2T^2} - 1 \right] = \frac{W \cdot x_1^2}{2T}, \quad d_2 = \frac{W \cdot x_2^2}{2T}. \quad \text{Ισχύει από το σχήμα:}$$

$$d_2 - d_1 = h = \frac{W}{2T} (x_2^2 - x_1^2) \Rightarrow h = \frac{W}{2T} (x_2 - x_1)(x_2 + x_1) \Rightarrow h = \frac{W}{2T} (x_2 - x_1)L \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{h \cdot 2T}{W \cdot L} = x_2 - x_1 \Rightarrow x_2 - (L - x_2) = 2 \frac{h \cdot T}{W \cdot L} \Rightarrow x_2 - L + x_2 = 2 \frac{h \cdot T}{W \cdot L} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow x_2 = \frac{L}{2} + \frac{T \cdot h}{W \cdot L} \quad \text{άρα και} \quad x_1 = \frac{L}{2} - \frac{T \cdot h}{W \cdot L}$$

Από τις σχέσεις αυτές μπορεί να προσδιοριστεί το σημείο το σημείο O όπου θα εμφανισθεί το βέλος σε επιφόρτιση W , συνεπώς μπορεί στη συνέχεια να υπολογισθεί το βέλος d_1 (και το βέλος d_2). Αν το x_1 προκύψει αρνητικό, σημαίνει ότι η υψομετρική διαφορά h είναι τόσο μεγάλη που το σημείο O εμφανίζεται εκτός της καμπύλης AB. Το μήκος της καμπύλης AB προκύπτει $S = L + \frac{x_1^3 + x_2^3}{6T^2} W^2$

Παραδείγματα

® Να υπολογισθεί η επιφόρτιση πολύκλωνου αγωγού Cu διατομής $S=35mm^2$ για κανονική επιφόρτιση.

Ο αγωγός έχει 7 κλώνους. $W_{αγ} = 0,315$. Διατομή πολύκλωνου αγωγού $s = \kappa\pi \frac{d^2}{4}$

κ : αριθμός κλώνων. Διάμετρος κάθε κλώνου : $d = \sqrt{\frac{4 \cdot s}{\kappa \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 35}{7 \cdot \pi}} = 2,53mm$ (όμοια με ΠΙΝΑΚΑ 1-1)

Εξωτερική διάμετρος αγωγού: $D = d(2n + 1) = 2,53(2n + 1)$

Σχέση μεταξύ κλώνων κ και στρώσεων n : $\kappa = 1 + 3(n + 1)$

Επειδή $\kappa=7$ προκύπτει $n=1$ άρα $D = 2,53(2 \cdot 1 + 1) = 7,6mm$ (ΠΙΝΑΚΑΣ 1-1)

Εξωτερική διάμετρος αγωγού με πάγο:

$$D_2 = D + 2\varepsilon = 7,6 + 2 \cdot 6,5 = 20,6mm$$

Επιφόρτιση με πάγο: $W_{\pi} = \frac{\pi \cdot \gamma \cdot (D_2^2 - D^2)}{4} = \frac{\pi \cdot 0,912 \cdot (20,6^2 - 7,6^2)}{4} = 264 \text{ gr/m} = 0,264 \text{ Kg/m}$

Επιφόρτιση ανέμου /m : W_{AN} ή $W_E = 0,001 \cdot P \cdot D_2 = 0,001 \cdot 20 \cdot \frac{Kg}{mm^2} \cdot 20,6mm = 0,412 \text{ Kg/m}$

Συνολική επιφόρτιση: $W = \sqrt{(0,31 + 0,264)^2 + 0,412^2} + 0,3 = 1,01 \text{ Kg/m}$

Αν το άνοιγμα της γραμμής είναι $L = 75m$ η συνολική επιφόρτιση είναι:

$$W_{O\lambda} = W \cdot L = 1,010 \cdot 75 = 75,75 \text{ Kg}$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 1-1 : $F_{\theta} = 1566Kg$ $T = 0,60 \cdot F_{\theta} = 940 \text{ Kg}$ $d = 5,4m$ για άνοιγμα $L = 200m$

© Να υπολογισθεί η επιφόρτιση αγωγού ACSR ισοδύναμης διατομής **70** με εξωτερική διάμετρο $D = 14,75mm$ για βαρεία επιφόρτιση $W_{\alpha\gamma} = 0,447$

Εξωτερική διάμετρος με πάγο: $D_2 = D + 2t = 14,75 + 2 \cdot 13 = 40,75mm$

Επιφόρτιση πάγου: $W_{\pi} = \frac{\pi \cdot \gamma \cdot (D_2^2 - D^2)}{4} = \frac{\pi \cdot 0,912}{4} (40,75^2 - 14,75^2) = 1035 \text{ gr/m} = 1,035 \text{ Kg/m}$

Επιφόρτιση ανέμου: W_{AN} ή $W_E = 0,001 \cdot P \cdot D_2 = 0,001 \cdot 40,75 \cdot 20 = 0,815 \text{ Kg/m}$

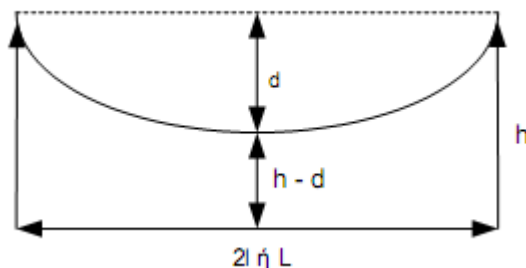
Συνολική επιφόρτιση: $W = \sqrt{(0,477 + 1,035)^2 + 0,815^2} = 2,145 \text{ Kg/m}$

Παράδειγμα

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένας αγωγός 35ACSR ο οποίος αναρτάται από την κορυφή δύο ομοίων στύλων σε ισοκλινές έδαφος. Το μήκος των στύλων εκτός εδάφους είναι 12m και η μεταξύ τους απόσταση είναι $L = 224m$. Οι υπολογισμοί είναι για περιοχή με επιφόρτιση ``Ελαφριά`` και παίρνοντας υπόψη τη συνολική-πλήρης επιφόρτιση ($W = W_{O\lambda}$).

Να υπολογισθεί το βέλος d και η ελάχιστη απόσταση μεταξύ αγωγού-γης.

Δίνεται: $T = 1581Kg$



Από τον ΠΙΝ 2 για αγωγό 35ACSR και

επιφόρτιση ``Ελαφριά`` είναι $W_E = 0,454 \text{ Kg/m}$, $W_K = 0,225 \text{ Kg/m}$.

Συνεπώς η συνολική-πλήρης επιφόρτιση είναι:

$$W_{O\lambda} = \sqrt{0,454^2 + 0,225^2} + 0,075 = 0,58 \text{ Kg/m}$$

Το βέλος d θα εμφανισθεί στο μέσο του

τμήματος AB, επειδή τα σημεία A και B είναι στο ίδιο ύψος, άρα από το γνωστό τύπο

$$d = \frac{W \cdot x^2}{2T} \text{ αν αντικαταστήσουμε } x = \frac{L}{2} \text{ προκύπτει όπως έχει ήδη αναφερθεί } d = \frac{W \cdot L^2}{8T} \text{ με}$$

$$\text{αντικατάσταση } d = W_{O\lambda}^2 L^2 / 8T = 0,58 \cdot 224^2 / 8 \cdot 1581 = 2,3m$$

Η ελάχιστη απόσταση αγωγού-γης θα είναι $h - d = 12 - 2,3 = 9,7m$

Αν η απόσταση αυτή δεν είναι επαρκής θα πρέπει να αυξηθεί το μήκος των στύλων.

Πολλές φορές στους υπολογισμούς των ελαχίστων αποστάσεων δεν παίρνουμε υπόψη την συνολική επιφόρτιση $W_{ολ}$ αλλά μόνο την κατακόρυφη επιφόρτιση W_K .

Ο υπολογισμός του βέλους του προηγούμενου παραδείγματος για ``Ελαφριά`` και μόνο κατακόρυφη επιφόρτιση W_K θα είναι (δίνεται $T = 1581Kg$)

$$d = \frac{W \cdot L^2}{8T} = \frac{W_K \cdot L^2}{8T} = \frac{0,225 \cdot 224^2}{8 \cdot 1121} = 1,25m \text{ και η ελάχιστη απόσταση αγωγού-γης :}$$

$$h - d = 12 - 1,25 = 10,75m$$

Διάφοροι ορισμοί

Η απόσταση L μεταξύ δύο στύλων ονομάζεται άνοιγμα. Τα ανοίγματα της γραμμής ποικίλλουν κατά μήκος της ανάλογα με τη μορφή του εδάφους, τη θέση της γραμμής, κ.λπ.

Μέσο άνοιγμα L_m ενός τμήματος της γραμμής είναι το μέσο άνοιγμα προσαυξημένο κατά τα $2/3$ της διαφοράς μεταξύ μεγίστου ανοίγματος L_{max} και μέσου ανοίγματος L_m , δηλαδή:

$$L_B = L_m + \frac{2}{3}(L_{max} - L_m)$$

Όλα τα ανοίγματα σε καθορισμένο τμήμα της γραμμής πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο βασικό άνοιγμα, οπότε δεν αλλάζει και η δύναμη τάνυσης T σε όλα αυτά τα ανοίγματα. Τίθενται οι περιορισμοί: $L_{max} \leq 1,50L_m$, $L_B \leq 1,25L_m$

Θέτουμε: $K_1 = \sqrt{\frac{E \cdot s}{24}}$, $K_2 = a \cdot E \cdot s$

Και προκύπτει:

$$\left(\frac{K_1 \cdot W_2 \cdot L}{T_2}\right)^2 - T_2 = \left(\frac{K_1 \cdot W_1 \cdot L}{T_1}\right)^2 - T_1 + K_2 \cdot t$$

Από την εξίσωση αυτή μπορούμε να υπολογίσουμε τη δύναμη τάνυσης T_2 στην κατάσταση 2 με επιφόρτιση W_2 .

Ο συντελεστής γραμμικής διαστολής α για αγωγούς ACSR 6/1 κλώνων είναι ίσος με $0,000019^\circ\text{C}^{-1}$ και για αγωγούς 26/7 κλώνων ίσος με $0,0000195^\circ\text{C}^{-1}$. Ο συντελεστής γραμμικής διαστολής E είναι αντίστοιχα ίσος με 8780 Kg/mm^2 για αγωγούς 6/1 και 8630 Kg/mm^2 για αγωγούς 26/7 κλώνων.

Ο ΠΙΝΑΚΑΣ 1 περιγράφει όλα τα χαρακτηριστικά των εναέριων αγωγών

Παράδειγμα

Το άνοιγμα μεταξύ δύο στύλων που φέρουν αγωγό 35mm^2 ACSR είναι 100m.

A) Υπολογισμός βέλους σε αφόρτιστη κατάσταση στους 16°C

Δύναμη τάνυσης 20% του ορίου θραύσης στους 16°C

Από ΠΙΝ 1: $F_{\theta\rho} = 2000\text{Kg}$ άρα $T_A = 0,20 \cdot 2000 = 400\text{Kg}$

Άρα το βέλος στους 16°C είναι : Από ΠΙΝ 1 : $W_A = 0,2246 \text{ Kg/m}$ άρα

$$d_A = \frac{0,2246 \cdot 100^2}{8 \cdot 400} = 0,70\text{m}$$

B) Υπολογισμός βέλους σε Μέση Επιφόρτιση-πλήρης

Πρέπει να γίνει υπολογισμός της δύναμης τάνυσης T στους $-10^\circ\text{C} = t_2$ που είναι το όριο στη Μέση Επιφόρτιση.

Από πίνακα ΠΙΝ 1 ο αγωγός 35mm^2 ACSR έχει 6 κλώνους Al και 1 κλώνο st όλοι ίδιας διαμέτρου $3,44\text{mm}^2$. Άρα πραγματική διατομή:

$$s = 6 \cdot \frac{3,14 \cdot 3,44^2}{4} + 1 \cdot \frac{3,14 \cdot 3,44^2}{4} = 65,06\text{mm}^2 \text{ (Επίσης υπάρχει στον ΠΙΝ 1)}$$

1.10 Μεταβολή της τάνυσης και του βέλους των αγωγών συναρτήσει της ελαστικότητας και της θερμοκρασίας

Με την αύξηση της θερμοκρασίας ο αγωγός διαστέλλεται και επομένως αυξάνεται το βέλος και μειώνεται η δύναμη τάνυσης T . Η μείωση όμως της τάνυσης έχει ως συνέπεια και μια μικρή μείωση του μήκους λόγω ελαστικότητας.

Η δύναμη τάνυσης T μπορεί να καθορίζεται σε θερμοκρασία 16°C με μοναδική επιφόρτιση το ίδιο βάρος του αγωγού. Από αυτές τις αρχικές συνθήκες μπορούμε να υπολογίσουμε τη δύναμη τάνυσης T σε οποιαδήποτε άλλη θερμοκρασία και οποιαδήποτε επιφόρτιση.

Αρχική κατάσταση 1:

Επιφόρτιση ιδίου βάρους αγωγού $W_1 = W_A$ (Kg/m)

Δύναμη τάσης $T_1 = T_A$ (Kg)

Μήκος τόξου $2C_1$ (m)

Βέλος αγωγού $d_1 = d_A$ (m)

Θερμοκρασία t_1 (°C)

Μηχανική τάση αγωγού f_1 (Kg/mm²)

Τελική κατάσταση 2:

Επιφόρτιση ιδίου βάρους αγωγού W_2 (Kg/m)

Δύναμη τάσης T_2 (Kg)

Μήκος τόξου $2C_2$ (m)

Βέλος αγωγού d_2 (m)

Θερμοκρασία t_2 (°C)

Μηχανική τάση αγωγού f_2 (Kg/mm²)

Ο αγωγός φέρει:

Πραγματική διατομή s (mm²)

Μέτρο ελαστικότητας E (Kg/mm²)

Συντελεστή γραμμικής διαστολής α (°C⁻¹)

Ανοιγμα γραμμής L (=2 ℓ)

Επειδή $L \gg d$ θεωρούμε ότι $C_1 \cong \frac{L}{2}$. Έτσι η αύξηση του μήκους του αγωγού λόγω γραμμικής διαστολής είναι:

$$(t_2 - t_1) \cdot \alpha \cdot C_1 \cong (t_2 - t_1) \cdot \alpha \cdot \frac{L}{2} \quad \text{Θέτουμε } t = t_2 - t_1 \text{ (θερμοκρασιακή διαφορά)}$$

Η ελάττωση του μήκους λόγω μείωσης της μηχανικής τάσης είναι:

$$\frac{f_1 - f_2}{E} \cdot C_1 \cong \frac{T_1 - T_2}{s \cdot E} \cdot \frac{L}{2} \quad \text{προκύπτει:}$$

$$C_2 = C_1 - \frac{T_1 - T_2}{s \cdot E} \cdot \frac{L}{2} + t \cdot \alpha \cdot \frac{L}{2} \quad \text{ή}$$

$$\frac{L}{2} + \frac{W_2^2 L^3}{48 T_2^2} = \frac{L}{2} + \frac{W_1^2 L^3}{48 T_1^2} - \frac{T_1 - T_2}{s \cdot E} \cdot \frac{L}{2} + t \cdot \alpha \cdot \frac{L}{2} \quad \text{ή}$$

$$\frac{W_2^2 L^2}{24 T_2^2} - \frac{T_2}{s \cdot E} = \frac{W_1^2 L^2}{24 T_1^2} - \frac{T_1}{s \cdot E} + t \cdot \alpha \quad \text{ή}$$

$$\frac{s \cdot E}{24} \cdot \left(\frac{W_2 L}{T_2} \right)^2 - T_2 = \frac{s \cdot E}{24} \cdot \left(\frac{W_1 L}{T_1} \right)^2 - T_1 + \alpha \cdot E \cdot s \cdot t$$

Για τον υπολογισμό της δύναμης T στους -10°C εφαρμόζουμε την προηγούμενη εξίσωση, όπου:

$$K_1 = \sqrt{\frac{E \cdot s}{24}} = \sqrt{\frac{8780 \cdot 65,06}{24}} = 154,27 \text{ Kg}^{0,5}$$

$$K_2 = a \cdot E \cdot s = 0,000019 \cdot 8780 \cdot 65,06 = 10,8533 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot \text{Kg}$$

$$W_1 = W_A = 0,2246 \text{ Kg/m}$$

$$T_1 = T_A = 400 \text{ Kg}$$

$$t = t_2 - t_1 = -10^{\circ}\text{C} - 16^{\circ}\text{C} = -26^{\circ}\text{C}$$

Πρέπει να γίνει υπολογισμός της πλήρης επιφόρτισης W_2 για τον αγωγό 35mm^2 ACSR στη Μέση Επιφόρτιση. Από ΠΙΝ 2 είναι:

$$W_E = 0,466 \text{ Kg/m} \quad W_K = 0,538 \text{ Kg/m} \quad \text{άρα}$$

$$W_{O\lambda} = W_2 = \sqrt{(0,466)^2 + (0,538)^2} + 0,33 = 1,042 \text{ Kg/m} \quad \text{άρα}$$

$$\left(\frac{154,27 \cdot 1,042 \cdot 100}{T_2}\right)^2 - T_2 = \left(\frac{154,27 \cdot 0,2246 \cdot 100}{400}\right)^2 - 400 + 10,8533 \cdot (-26)$$

Η λύση της εξίσωσης δίνει $T_2 = 915 \text{ Kg}$

Άρα το βέλος σε πλήρη επιφόρτιση στους -10°C είναι:

$$d = \frac{W_{O\lambda} \cdot L^2}{8 \cdot T_2} = \frac{1,042 \cdot 100^2}{8 \cdot 915} = 1,42 \text{ m}$$

Άρα σε χαμηλότερη θερμοκρασία το βέλος είναι μικρότερο και η δύναμη τάνυσης και εσωτερικής τάσης του αγωγού μεγαλύτερες.

Γ) Υπολογισμός βέλους στους -10°C αλλά παίρνοντας υπόψη μόνο την κατακόρυφη επιφόρτιση του αγωγού και όχι την πλήρη.

Θα υπολογίσουμε την τάνυση T_K στους -10°C που οφείλεται μόνο στην κατακόρυφη επιφόρτιση W_K του αγωγού. Από τον ΠΙΝ 2 είναι για τον αγωγό 35mm^2 ACSR σε Μέση Επιφόρτιση: $W_K = 0,538 \text{ Kg/m}$

Έτσι στην προηγούμενη εξίσωση θα θέσουμε $W_2 = W_K = 0,538 \text{ Kg/m}$

Κ έχουμε:

$$\left(\frac{154,27 \cdot 0,538 \cdot 100}{T_K}\right)^2 - T_K = \left(\frac{154,27 \cdot 0,2246 \cdot 100}{400}\right)^2 - 400 + 10,8533 \cdot (-26)$$

Η λύση είναι $T_K = 735 \text{ Kg}$ άρα το βέλος που οφείλεται μόνο στην κατακόρυφη επιφόρτιση είναι:

$$d_K = \frac{W_K \cdot L^2}{8 \cdot T_K} = \frac{0,538 \cdot 100^2}{8 \cdot 735} = 0.91 \text{ m}$$

Δ) Υπολογισμός βέλους με $W = W_A$ στους 36°C προκύπτει :

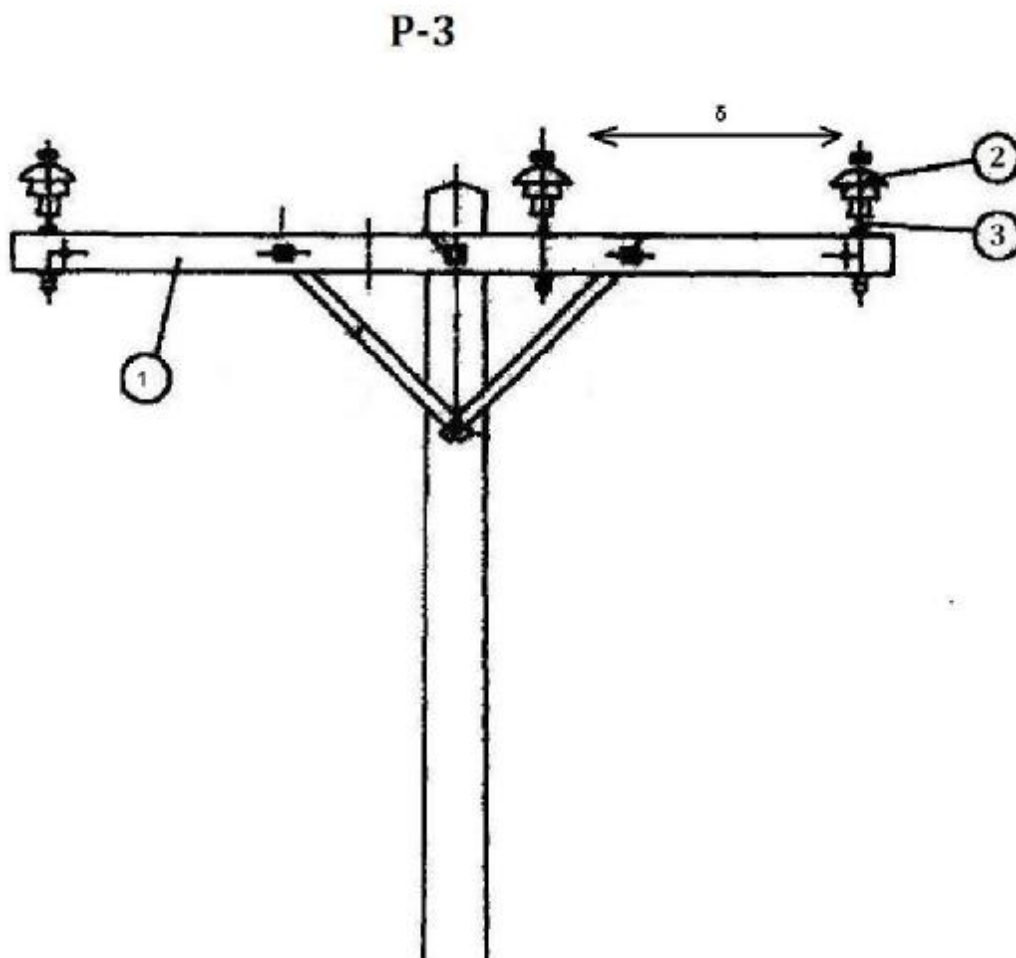
$$T_{36^\circ\text{C}} = 271,16 \text{ Kg} \text{ και βέλος } d_{36^\circ\text{C}} = 1,035 \text{ m}$$

Από τα (Α) & (Δ) φαίνεται καθαρά ότι για την ίδια επιφόρτιση με την αύξηση της θερμοκρασίας η T μειώνεται και το d αυξάνεται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Οριζόντια απόσταση αγωγών επί τραβέρσας

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε μια τυπική κατασκευή ΜΤ. Διακρίνεται ο στύλος, πάνω στον οποίο υπάρχει ένα οριζόντιο τμήμα ξυλοδοκού που ονομάζεται ``τραβέρσα`` (στοιχείο 1). Πάνω στην τραβέρσα είναι βιδωμένοι οι μονωτήρες (στοιχείο 2). Πάνω στους μονωτήρες προσδένονται οι αγωγοί ΑCSR των 3 φάσεων. Το στοιχείο 3 είναι το στήριγμα της τραβέρσας.



Ο αγωγός που είναι τοποθετημένος μόνος του στην τραβέρσα είναι η φάση R και βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο βορρά. Η οριζόντια απόσταση δ μεταξύ των φάσεων δεν είναι ακριβώς η ίδια στην κατασκευή αυτή. Εμείς την θεωρούμε ίδια.

Η οριζόντια απόσταση δ εξαρτάται από το βέλος του αγωγού και αυτό με τη σειρά του από το άνοιγμα των στύλων. Μεγαλύτερο άνοιγμα σημαίνει μεγαλύτερο βέλος. Αυτό επιφέρει μεγαλύτερο κίνδυνο να έρθουν οι αγωγοί σε επαφή μεταξύ τους λόγω της εγκάρσιας δύναμης του ανέμου. Γι' αυτό και μεγαλώνουμε την οριζόντια απόσταση δ μεταξύ τους.

Υπάρχουν πολλοί τύποι που υπολογίζουν την οριζόντια απόσταση δ των αγωγών που απαιτείται. Ένας από αυτούς είναι και ο :

- Για αγωγούς με διατομή μεγαλύτερη από 35mm^2

$$\delta = 9 \cdot \sqrt{d_A/6} + 0,75 \cdot V_n \text{ (cm)}$$

όπου V_n είναι η ονομαστική τάση σε KV

d_A είναι το βέλος του αγωγού σε αφόρτιστη κατάσταση στους 16°C (cm)

- Για αγωγούς με διατομή μικρότερη από 35mm^2

$$\delta = 9 \cdot \sqrt{d_A/2 - 30} + 0,75 \cdot V_n \text{ (cm)}$$

Η τιμή του δ είναι ένα κριτήριο για τον καθορισμό της κατασκευής της γραμμής. Άλλος τύπος που χρησιμοποιείται :

$$\delta = 0,5 \cdot \sqrt{d_A} + 0,01 \cdot V_n \text{ (m)} \quad \text{το } d_A \text{ σε (m) και το } V_n \text{ σε (KV)}$$

- Ø Να καθορισθεί η ελάχιστη απαιτούμενη οριζόντια απόσταση μεταξύ των αγωγών της γραμμής του προηγούμενου παραδείγματος ($V_n = 20 \text{ KV}$). Το βέλος στους 16°C έχει υπολογισθεί $0,70 \text{ m}$ άρα

$$\delta = 0,5 \cdot \sqrt{d_A} + 0,01 \cdot V_n = 0,5 \cdot \sqrt{0,70} + 0,01 \cdot 20 = 0,62 \text{ m}$$

Στην πραγματικότητα αυτό που γνωρίζουμε για κάθε αγωγό είναι το φορτίο θραύσης του. Εμείς θέλουμε η δύναμη τάνυσης να μην ξεπεράσει το φορτίο θραύσης του αγωγού σε πλήρη φόρτιση ($W_{o\lambda}$) που εκεί η δύναμη τάνυσης είναι η μέγιστη. Γι' αυτό και ο καθορισμός της δύναμης τάνυσης γίνεται σε πλήρη φόρτιση έτσι ώστε στο μέγιστο δυνατό Βασικό Άνοιγμα μιας γραμμής, η δύναμη τάνυσης για λόγους ασφαλείας να ισούται με:

$$T_{\max (W=W_{o\lambda})} \leq 0,48F_{\theta\rho}$$

Αφού είναι καθορισμένη η T_{\max} στην ελάχιστη θερμοκρασία, μπορεί με τον παραπάνω τρόπο να υπολογισθεί η T_A σε αφόρτιστη κατάσταση στους 16°C , η δύναμη T_K και η δύναμη T σε οποιαδήποτε θερμοκρασία μας ενδιαφέρει.

- Ⓜ Δίνετε αγωγός ACSR ισοδύναμης διατομής 70mm^2 . Ο αγωγός έχει 26 κλώνους Al με διάμετρο $2,33\text{mm}$ και 7 κλώνους st με διάμετρο $1,81\text{mm}$. Το φορτίο θραύσης του αγωγού είναι $F_{\theta\rho} = 4225 \text{ Kg}$ και το βάρος του $W_A = 0,446 \text{ Kg/m}$. Σε μέση και πλήρη επιφόρτιση, η δύναμη τάνυσης έχει ορισθεί σε $T_{\max} = 34\% \cdot F_{\theta\rho}$ για άνοιγμα 100m . Στη μέση επιφόρτιση έχουν υπολογισθεί για τον αγωγό $W_E = 0,555 \text{ Kg/m}$ και $W_\pi = 0,932 \text{ Kg/m}$. Επίσης $E = 8630 \text{ Kg/mm}^2$ και $\alpha = 0,0000195 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Α) Υπολογισμός απαιτούμενης οριζόντιας απόστασης μεταξύ των φάσεων της γραμμής MT που αποτελείται από 3 αγωγούς του παραπάνω τύπου. Θα πρέπει να υπολογισθεί το βέλος στους 16°C και κατά συνέπεια η δύναμη τάνυσης T_A πρώτα στους 16°C . Θα χρησιμοποιηθεί ο τύπος:

$$\left(\frac{K_1 \cdot W_2 \cdot L}{T_2}\right)^2 - T_2 = \left(\frac{K_1 W_1 \cdot L}{T_1}\right)^2 - T_1 + K_2 \cdot t$$

όπου:

Κατάσταση ``1`` :είναι η μέση-πλήρης επιφόρτιση του αγωγού, δηλαδή

- Ø $W_1 = W_{ολ}$ για μέση επιφόρτιση.
- Ø T_1 :η δύναμη τάνυσης για μέση πλήρη επιφόρτιση και
- Ø $t = t_2 - t_1$ όπου $t_1 = -10^\circ\text{C}$

Κατάσταση ``2`` : είναι η αφόρτιση κατάσταση του αγωγού στους $t_2 = 16^\circ\text{C}$ δηλαδή

- Ø $W_2 = W_A$
- Ø $T_2 = T_A$ στους 16°C

Υπολογίζονται:

$$T_1 = 0,34 \cdot F_{\theta\rho} = 0,34 \cdot 4225 = 1436,5 \text{ Kg}$$

$$W_1 = W_{ολ} = \sqrt{(W_A + W_{\pi})^2 + W_E^2} + 0,33 = \sqrt{(0,446 + 0,392)^2 + 0,555^2} + 0,33 \Rightarrow$$
$$\Rightarrow W_{ολ} = 1,335 \text{ Kg/m σε μέση και πλήρη επιφόρτιση.}$$

Υπολογισμός πραγματικής διατομής αγωγού:

$$s = 26 \cdot \frac{\pi \cdot 2,33^2}{4} + 7 \cdot \frac{\pi \cdot 1,81^2}{4} \cong 129 \text{ mm}^2$$

$$\text{Αρα } K_1 = \sqrt{\frac{E \cdot s}{24}} = \sqrt{\frac{8630 \cdot 129}{24}} = 215,37 \text{ Kg}^{0,5}$$

$$K_2 = a \cdot E \cdot s = 0,0000195 \cdot 8630 \cdot 129 = 21,7^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{Kg}$$

Η εξίσωση γίνεται με $W_2 = W_A = 0,446 \text{ Kg/m}$ $L = 100\text{m}$

$$T_A^3 - 471,69 T_A^2 - 9605,71^2 = 0$$

Η λύση της οποίας είναι: $T_A = 675 \text{ Kg}$

Αρα βέλος στους 16°C

$$d_A = \frac{W_A \cdot L^2}{8T_A} = \frac{0,446 \cdot 100^2}{8 \cdot 675} = 0,82 \text{ m}$$

Απαιτούμενη οριζόντια απόσταση μεταξύ των φάσεων :

$$\delta = 0,5 \cdot \sqrt{d_A} + 0,01 \cdot V_n = 0,5 \sqrt{0,82} + 0,01 \cdot 20 = 0,65 \text{ m}$$

B) Υπολογισμός βέλους σε μέση-πλήρη επιφόρτιση:

$$d_{-10^\circ\text{C}(W=W_{ολ})} = \frac{W_{ολ} \cdot L^2}{8 \cdot T} = \frac{1,335 \cdot 100^2}{8 \cdot 1436,5} = 1,16 \text{ m}$$

Γ) Υπολογισμός δυνάμεων τάνυσης για μέση-κατακόρυφη επιφόρτιση:

Κατάσταση ``1`` είναι η μέση-πλήρης επιφόρτιση, δηλαδή

$$\text{Ø } W_1 = W_{ολ}$$

$$\emptyset T_1 = 1436 \text{ Kg}$$

$$\emptyset t_1 = -10^\circ\text{C}$$

Κατάσταση ``2`` είναι η μέση-κατακόρυφη επιφόρτιση, δηλαδή

$$\emptyset W_2 = W_K$$

$$\emptyset T_2 = T_K$$

$$\emptyset t_2 = -10^\circ\text{C} \quad \text{άρα } t = t_2 - t_1 = 0$$

$$W_2 = W_K = W_A + W_\pi = 0,446 + 0,392 = 0,838 \text{ Kg/m}$$

Άρα η εξίσωση γίνεται:

$$T_K^3 - 1035,89T_K^2 - 18048^2 = 0$$

και η λύση είναι $T_K = 1245 \text{ Kg}$

Παρατηρούμε ότι η μέγιστη δύναμη τάνυσης είναι στη χαμηλότερη θερμοκρασία και για πλήρη φόρτιση.

Δ) Υπολογισμός δύναμης τάνυσης και βέλους με αφόρτιστο αγωγό στους 40°C

Στον προηγούμενο τύπο κατάσταση ``2`` θα είναι:

$$\emptyset W_2 = W_A$$

$$\emptyset t_2 = 40^\circ\text{C} \quad \text{άρα } t = t_2 - t_1 = 40 - (-10) = 50^\circ\text{C}$$

Η εξίσωση γίνεται ($T_2 = T_{40^\circ\text{C}}$):

$$T_{40^\circ\text{C}}^3 - 49T_{40^\circ\text{C}}^2 - 9605,5^2 = 0$$

Η λύση είναι $T_{40^\circ\text{C}} = 436 \text{ Kg}$

Βλέπουμε ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας η δύναμη τάνυσης μειώθηκε ($T_{40^\circ\text{C}} < T_{16^\circ\text{C}}$)

Άρα βέλος στους 40°C :

$$d_{40^\circ\text{C}} = \frac{W_A \cdot L^2}{8 \cdot T_{40^\circ\text{C}}} = \frac{0,446 \cdot 100^2}{8 \cdot 436} = 1,27 \text{ m}$$

Δηλαδή $d_{40^\circ\text{C}} > d_{16^\circ\text{C}}$

2.2 Μεταβολή της δύναμης τάνυσης με το Βασικό Άνοιγμα της γραμμής.

Αναφέρθηκε ότι η μέγιστη δύναμη τάνυσης ορίζεται στην πλήρη επιφόρτιση στη χαμηλότερη θερμοκρασία και στο μέγιστο βασικό άνοιγμα της γραμμής. Ο υπολογισμός της δύναμης τάνυσης σε άλλα βασικά ανοίγματα στην ίδια (πλήρη) επιφόρτιση μπορεί να γίνει με τον προηγούμενο τύπο όπου $W_1 = W_2$, $t = 0$, αλλά με L_1 και L_2

- Ⓜ Να καθορισθεί η δύναμη τάνυσης σε άνοιγμα 150m σε μέση-πλήρη επιφόρτιση του προηγούμενου παραδείγματος.

Η δύναμη τάνυσης του προηγούμενου παραδείγματος είχε ορισθεί σε πλήρη επιφόρτιση για άνοιγμα 100m και ήταν ίση με 1436,5 Kg. Ζητείτε η δύναμη τάνυσης για άνοιγμα 150m. Θα εφαρμοσθεί ο προηγούμενος τύπος με:

- ⊘ $W_1 = W_2 = W_{ολ} = 1,335 \text{ Kg/m}$
- ⊘ $T_1 = T_{100} = 1436,5 \text{ Kg}$
- ⊘ $L_1 = 100\text{m}$ και $L_2 = 150\text{m}$
- ⊘ $t = 0$

Προκύπτει:

$$T_{150}^3 - 967,19T_{150}^2 - 105.641,88^2 = 0$$

Με λύση $T_{150} = 1954 \text{ Kg}$

Είναι λογικό αφού όσο μεγαλώνει το άνοιγμα της γραμμής μεγαλώνει και η δύναμη τάνυσης T.

- Ⓜ Το μέγιστο Βασικό Άνοιγμα γραμμής με 35 mm^2 ACSR είναι ορισμένο στα 200m. Η μέγιστη δύναμη τάνυσης στα 200m έχει ορισθεί σε $48\% \cdot F_{\theta\rho}$.

Να υπολογισθεί η δύναμη τάνυσης T σε πλήρη-μέση επιφόρτιση σε βασικό άνοιγμα 100m. Από ΠΙΝ 1 $F_{\theta\rho} = 2000 \text{ Kg}$ για αγωγό 35 ACSR.

Είναι

$$T_1 = T_{\max(200\text{m})} = 0,48 \cdot 2000 = 960 \text{ Kg}$$

Θα εφαρμοσθεί ο ίδιος τύπος με $W_1 = W_2 = W_{ολ}$

Από ΠΙΝ 2 : $W_E = 0,466 \text{ Kg/m}$ $W_K = 0,538 \text{ Kg/m}$ άρα

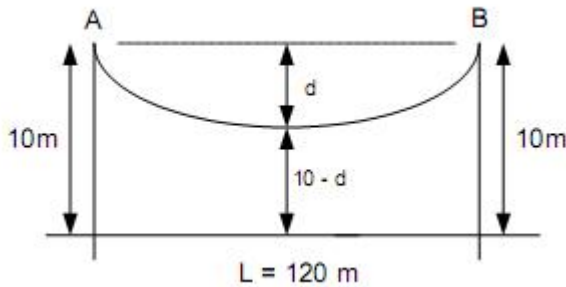
$$W_{ολ} = \sqrt{0,466^2 + 0,538^2} + 0,33 = 1,042 \text{ Kg/m}$$

Από ΠΙΝ 1 $E = 8780 \text{ Kg/mm}^2$, $s = 65,06 \text{ mm}^2$ άρα

$$K_1 = \sqrt{\frac{8780 \cdot 65,06}{24}} = 154,27 \text{ , } L_1 = 200\text{m} \text{ , } L_2 = 100\text{m} \text{ , } T_1 = T_{200} = 960 \text{ Kg}$$

$$\frac{(154,27 \cdot 1,042 \cdot 100)^2}{T_{100}^2} - T_{100} = \frac{(154,27 \cdot 1,042 \cdot 200)^2}{T_{200}^2} - T_{200} \Rightarrow T_{100} = 587 \text{ Kg}$$

- ® Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένας αγωγός 35 ACSR, ο οποίος αναρτάται από την κορυφή δύο ομοίων στύλων σε ισοκλινές έδαφος. Το μήκος των στύλων εκτός εδάφους είναι 10m και η μεταξύ τους απόσταση είναι $L = 120m$. Να υπολογισθεί η ελάχιστη απόσταση μεταξύ αγωγού και γης για πλήρη επιφόρτιση ($W = W_{Oλ}$) και για περιοχή όπου οι υπολογισμοί γίνονται για επιφόρτιση ``Μέση`` ή ``Κανονική``. Η ελάχιστη θερμοκρασία όπως έχει αναφερθεί για τέτοια περιοχή είναι $-10^{\circ}C$. Δίνεται η δύναμη τάνσης στους $-10^{\circ}C : T = 960 Kg$



Από ΠΙΝ 2 για αγωγό 35 ACSR και επιφόρτιση ``Μέση`` είναι $W_E = 0,466 Kg/m$ $W_K = 0,538 Kg/m$. Επειδή το έδαφος είναι ισοκλινές και ο ιστύλοι είναι όμοιοι, τα σημεία ανάρτησης θα βρίσκονται στο ίδιο ύψος. Στην περίπτωση αυτή, το βέλος d εμφανίζεται στο μέσο της απόστασης L .

Η εξίσωση που δίνει το βέλος συνεπώς είναι: $d = \frac{W \cdot L^2}{8T}$. Επειδή ζητείτε για πλήρη επιφόρτιση, θα πρέπει $W = W_{Oλ}$

Άρα

$$W_{Oλ} = \sqrt{0,466^2 + 0,538^2} + 0,33 = 1,041 Kg/m$$

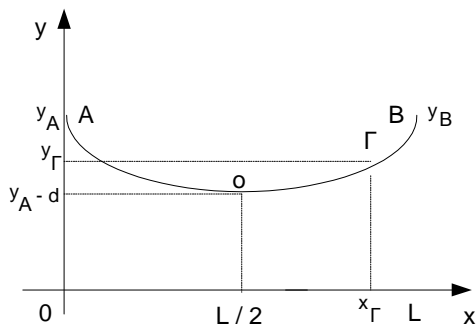
$$\text{Άρα } d = 1,041 \cdot 120^2 / 8 \cdot 960 = 1,95 m$$

Συνεπώς η ελάχιστη απόσταση μεταξύ αγωγού και γης θα είναι: $10 - 1,95 = 8,05 m$ σε πλήρη επιφόρτιση ($\theta = -10^{\circ}C$).

Αν η απόσταση αυτή δεν ικανοποιεί τους κανονισμούς ασφαλείας, για να αυξηθεί θα πρέπει να αυξηθεί το μήκος των στύλων, ώστε να υψωθούν τα σημεία ανάρτησης.

Β' τρόπος λύσης.

Η καμπύλη την οποία σχηματίζει ο αγωγός που αναρτάται από τα σημεία A και B στο επίπεδο x-y δίνεται από την εξίσωση:



$$y = \frac{W}{T} \left(x - \frac{L}{2} \right)^2 + h - d, \text{ και επειδή } d = \frac{W \cdot L^2}{8 \cdot T} \text{ τελικά είναι}$$

$$y = \frac{W}{T} \left(x - \frac{L}{2} \right)^2 + h - \frac{W \cdot L^2}{8 \cdot T}$$

Οι άξονες x και y τώρα έχουν τοποθετηθεί όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα. Έχουμε ήδη λάβει υπόψη μας την προηγούμενη θεωρία, ότι το βέλος θα εμφανισθεί στο μέσο της απόστασης L ότι $T \cong H$ και σταθερή για όλο το μήκος L και ότι το βέλος προσεγγιστικά δίνεται από την σχέση $d = \frac{W \cdot L^2}{8T}$. Η προηγούμενη σχέση, μας δίνει απευθείας το υψόμετρο y για κάθε σημείο του αγωγού με τετμημένη x .

Εφαρμογή στο προηγούμενο παράδειγμα:

Στο προηγούμενο παράδειγμα είναι : $W = 1,041 \text{ Kg/m}$, $T = 960 \text{ Kg}$, $L = 120 \text{ m}$

Η ελάχιστη απόσταση αγωγού-γης είναι η απόσταση στον άξονα y : $0 - (y_A - d)$ όπως φαίνεται στο σχήμα και εμφανίζεται στο σημείο 0 με $x = L/2$.

Με εφαρμογή του παραπάνω τύπου για $x = L/2$ προκύπτει :

$$y_0 = \frac{1,041}{2 \cdot 960} \cdot \left(\frac{L}{2} - \frac{L}{2} \right)^2 + 10 - \frac{1,041 \cdot 120^2}{8 \cdot 960} = 8,05 \text{ m}$$

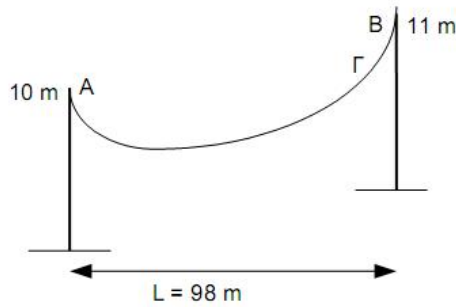
Μπορούμε τώρα απευθείας να βρούμε την απόσταση κάθε σημείου του αγωγού από τον άξονα x .

Παράδειγμα: Να υπολογισθεί η απόσταση του σημείου Γ από το έδαφος. Το σημείο γ έχει απόσταση από το τέλος του αγωγού ίση με το 15% της συνολικής απόστασης, δηλαδή $x_\Gamma = 0,85L$ ή $x_\Gamma = 0,85 \cdot 120 = 102 \text{ m}$, άρα το y_Γ θα ισούται με:

$$y_0 = \frac{1,041}{2 \cdot 960} \cdot \left(102 - \frac{120}{2} \right)^2 + 10 - \frac{1,041 \cdot 120^2}{8 \cdot 960} = 9 \text{ m}$$

Δηλαδή το σημείο Γ απέχει από το έδαφος 9 m .

- Ⓜ Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται αγωγός 35 ACSR, ο οποίος αναρτάται από τα σημεία A και B . Λόγω της κλίσης του εδάφους και των στύλων που επιλέχθηκαν το σημείο A έχει υψόμετρο 10 m και το σημείο B 11 m . Η απόσταση AB είναι 98 m (άνοιγμα μεταξύ των στύλων a και B). Να υπολογισθεί το ύψος του χαμηλότερου σημείου του αγωγού, και το ύψος του σημείου Γ , το οποίο απέχει 80 m από το σημείο A . Οι υπολογισμοί να γίνουν μόνο για κατακόρυφη επιφόρτιση .Δίνεται για $W = W_K$ $T_K = 1907 \text{ Kg}$.

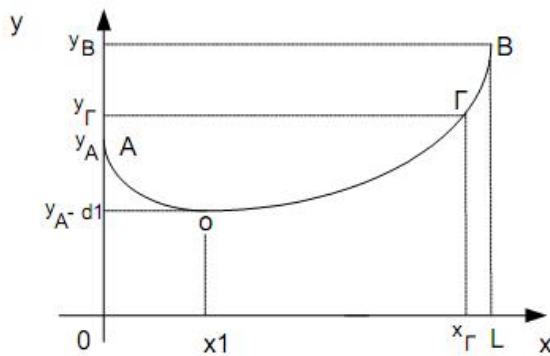


Από ΠΙΝ 2 $W_K = 1,051 \text{ Kg/m}$

Λόγω του ότι το σημείο A βρίσκεται χαμηλότερα του σημείου B, το βέλος θα εμφανισθεί πιο κοντά προς το σημείο A, απόσταση x_1 από αυτό (σημείο O). Ως βέλος d_1 αναφέρεται η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ A και O ενώ ως βέλος d_2 αναφέρεται συνήθως η κατακόρυφη απόσταση B και O.

Υπολογισμός σημείου x_1 από το σημείο A που εμφανίζεται το βέλος:

$$x_1 = \frac{L}{2} - \frac{T_K \cdot h}{W_K \cdot L}, \quad h \text{ είναι η υψομετρική διαφορά των σημείων A και B, δηλαδή } h = 11 - 10 = 1 \text{ m}$$



$$\text{Άρα: } x_1 = \frac{98}{2} - \frac{1907 \cdot 1}{1,051 \cdot 98} = 30,5 \text{ m} > 0$$

Συνεπώς το σημείο O είναι εντός του ανοίγματος AB

$$\text{Υπολογισμός βέλους } d_1 \text{ (κατακόρυφη απόσταση AO): } d_1 = \frac{W_K \cdot x_1^2}{2 \cdot T_K} = 0,25 \text{ m}$$

$$\text{Συνεπώς το σημείο O θα έχει απόλυτο ύψος } 10 - 0,25 = 9,75 \text{ m}$$

Η εξίσωση της καμπύλης του αγωγού δίνεται από τη σχέση:

$$y = \frac{W}{2 \cdot T} (x - x_1)^2 + y_A - d_1 \quad \text{για } 0 < x < L$$

Στην περίπτωση αυτή, η εξίσωση γίνεται: $y = 0,0002755 \cdot (x - 30,5)^2 + 9,75$

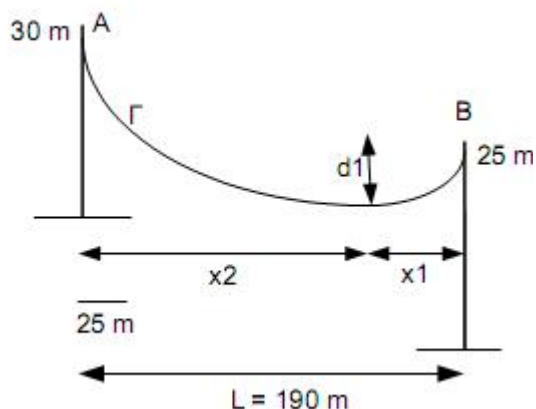
Πράγματι, για $x = x_1 = 30,5 \text{ m}$

Το ύψος του σημείου O είναι $y = 9,75 \text{ m}$

Το ύψος του σημείου Γ που έχει $x_Γ = 80 \text{ m}$ θα είναι:

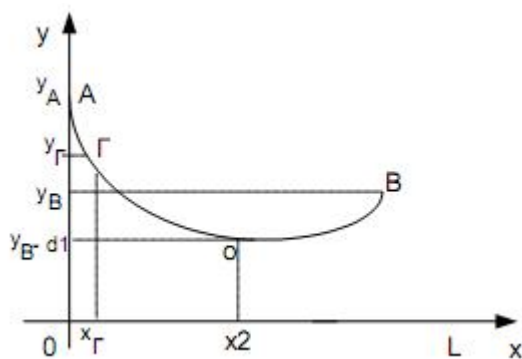
$$y_Γ = 0,0002755(80 - 30,5)^2 + 9,75 = 10,425 \text{ m}$$

® Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένας αγωγός 95 ACSR ο οποίος αναρτάται από τα σημεία A και B. Το σημείο A έχει απόλυτο ύψος 30m και το σημείο B 25m. Το άνοιγμα του τμήματος AB είναι 100m. (καθαρή υψομετρική διαφορά σημείων A και B $h = 5 \text{ m}$, με χαμηλότερο σημείο το B)



Να υπολογισθεί το απόλυτο ύψος του χαμηλότερου σημείου του αγωγού, καθώς και το ύψος και του σημείου Γ που απέχει από το σημείο Α (οριζόντια) 25m για ``Μέση`` επιφόρτιση και μόνο κατακόρυφη επιφόρτιση ($W = W_K$).

Δίνεται $T_K = 1921 \text{ Kg}$



Στο Σχήμα 1 φαίνονται οι ορισμοί των x_1 , d_1 και x_2 . Επειδή το σημείο Β είναι τώρα χαμηλότερα, το βέλος θα μετατοπιστεί προς αυτό, οπότε οι αποστάσεις x_1 και x_2 είναι όπως φαίνονται. Επίσης, d_1 είναι η κατακόρυφη απόσταση (βέλος) μεταξύ του χαμηλότερου σημείου αγωγού και χαμηλότερου σημείου ανάρτησης. Από ΠΙΝ 2 : $W_K = 1,051 \text{ Kg/m}$

Υπολογισμός x_1 :

$$x_1 = \frac{L}{2} - \frac{T_K \cdot h}{W_K \cdot L} = \frac{190}{2} - \frac{1921 \cdot 5}{1,051 \cdot 190} \cong 47m > 0$$

Συνεπώς το χαμηλότερο σημείο Ο είναι εντός του τμήματος ΑΒ.

Απόσταση $x_2 = L - x_1 = 143m$

Υπολογισμός d_1 :

$$d_1 = \frac{W_K \cdot x_1^2}{2 \cdot T_K} = \frac{1,051 \cdot 47^2}{2 \cdot 1921} = 0,6m$$

Καθαρό ύψος σημείου Ο : $25 - 0,6 = 24,4 m$

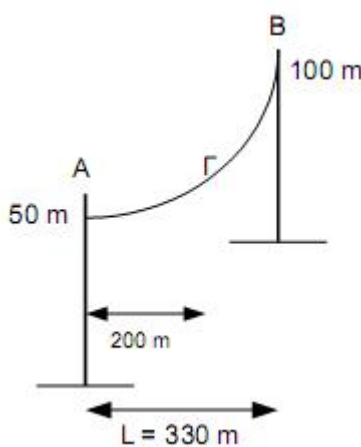
Υπολογισμός με γραφική παράσταση.

Στο Σχήμα 2 είναι τοποθετημένη η καμπύλη του αγωγού στο σύστημα αξόνων x-y.
 Η εξίσωση που δίνει την καμπύλη του αγωγού τώρα είναι:

$$y = \frac{W}{2 \cdot T} (x - x_2)^2 + y_B - d_1, \quad 0 < x < L$$

Συνεπώς: $y = \frac{1,051}{2 \cdot 1921} (x - 143)^2 + 25 - 0,6 \Rightarrow y = 0,0002735(x - 143)^2 + 24,4 \text{ m}$

- Για $x = x_2 = 143\text{m} \Rightarrow y = 24,4\text{m}$ (ύψος σημείου O)
- Για $x = 25\text{m}$ (σημείο Γ) $\Rightarrow y = 0,0002735(25 - 143)^2 + 24,4 = 28,2\text{m}$ (ύψος σημείου Γ)



Ⓢ Στο διπλανό σχήμα φαίνεται αγωγός 95ACSR που αναρτάται από σημείο A ύψους 50m και το σημείο B καθαρού ύψους 100m ($h = 50\text{m}$). Να υπολογισθεί το ελάχιστο ύψος του αγωγού και το ύψος του σημείου Γ που απέχει από το A 200m. Το άνοιγμα AB είναι 300m. Να γίνουν οι υπολογισμοί για "Μέση" επιφόρτιση και πλήρης ($W = W_{O\lambda}$). Δίνεται $T = 2500\text{Kg}$

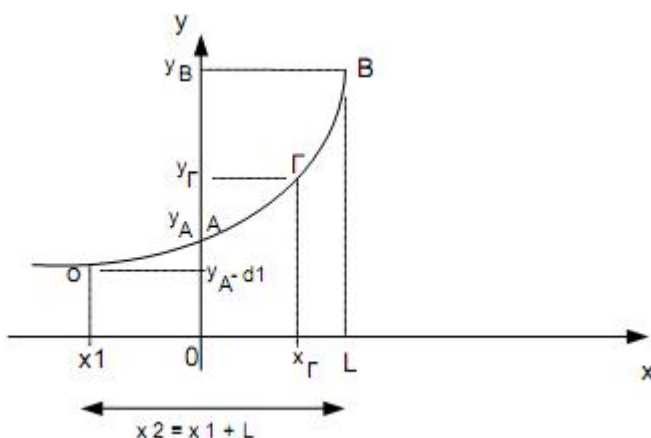
Το σημείο O θα είναι μετατοπισμένο προς το χαμηλότερο σημείο A σε απόσταση:

$$x_1 = \frac{L}{2} - \frac{T \cdot h}{W \cdot L}$$

από Π1Ν 2: $W_K = 1,051 \text{ Kg/m}$, $W_E = 0,605 \text{ Kg/m}$

Επομένως $W_{O\lambda} = \sqrt{1,051^2 + 0,605^2} + 0,33 = 1,543 \text{ Kg/m}$

Άρα $x_1 = \frac{330}{2} - \frac{2500 \cdot 50}{1,543 \cdot 330} = -80\text{m}$ Συνεπώς το σημείο O είναι αριστερά του σημείου A



(φανταστικό σημείο O) άρα το σημείο του αγωγού με το μικρότερο ύψος είναι το ίδιο το A.

Στο δεύτερο σχήμα φαίνεται η καμπύλη του αγωγού στους άξονες x-y και ο ορισμός του φανταστικού βέλους d_1 και η τοποθέτηση καθώς και η τοποθέτηση του φανταστικού σημείου O. Η εξίσωση της καμπύλης στους άξονες x-y είναι

ίδια με την προηγούμενη περίπτωση:

$$y = \frac{W}{2 \cdot T} (x - x_1)^2 + y_A - d_1, \quad 0 < x < L \text{ δηλαδή}$$

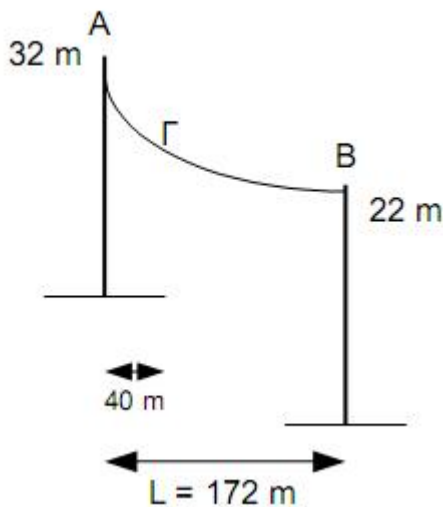
$$y = \frac{1,543}{2 \cdot 2500} (x - 80)^2 + 50 - d_1 \Rightarrow$$

$$d_1 = \frac{1,543 \cdot 80^2}{2 \cdot 2500} = 1,98m$$

$$y = 0,0003(x + 80)^2 + 48 \text{ m} \quad \text{για } 0 < x < 330m$$

Ύψος σημείου Γ :

$$\text{Για } x = 200m \text{ είναι } y = 0,0003(200 + 80)^2 + 48 = 71,52m$$



⊗ Στο διπλανό σχήμα δίνεται αγωγός 35ACSR που αναρτάται από σημείο Α με ύψος 32m μέχρι το σημείο Β με ύψος 22m. Το άνοιγμα είναι $L = 172m$ με επιφόρτιση ``Μέση`` ή ``Κανονική``.

Να υπολογισθεί το ύψος του σημείου Γ που απέχει από το Α 40m για κατακόρυφη επιφόρτιση. Δίδεται $T_K = 417Kg$.

Από ΠΙΝ 2 είναι $W_K = 0,225 Kg/m$

Το σημείο Ο θα είναι μετατοπισμένο προς το χαμηλότερο σημείο ανάρτησης Β σε απόσταση x_1 από αυτό. Είναι :

$$x_1 = \frac{L}{2} - \frac{T_K \cdot h}{W_K \cdot L} = \frac{172}{2} - \frac{417 \cdot 10}{0,225 \cdot 172} \cong$$

$$-21m < 0$$

Συνεπώς το σημείο Ο είναι εκτός του τμήματος ΑΒ και άρα το χαμηλότερο σημείο του αγωγού με τον άξονα x είναι ίδιο το σημείο Β. Είναι :

$$x_2 = L - x_1 = 172 - (-21) = 172 + 21 = 193m$$

Η εξίσωση που δίνει την καμπύλη του αγωγού στο x-y επίπεδο είναι:

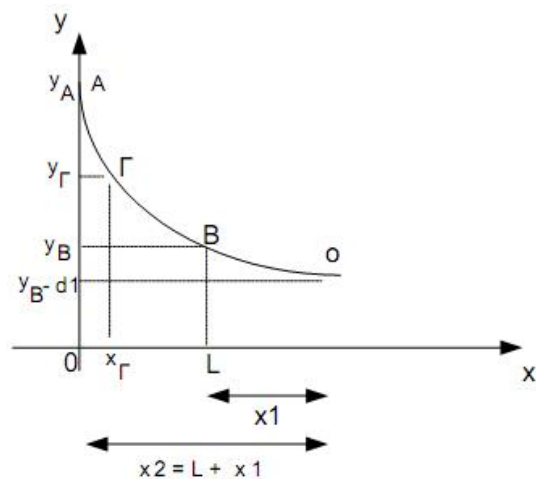
$$y = \frac{W}{2T} (x - x_2)^2 + y_B - d_1, \quad 0 < x < L$$

- Για το σημείο Γ (κ' για κάθε σημείο) είναι:

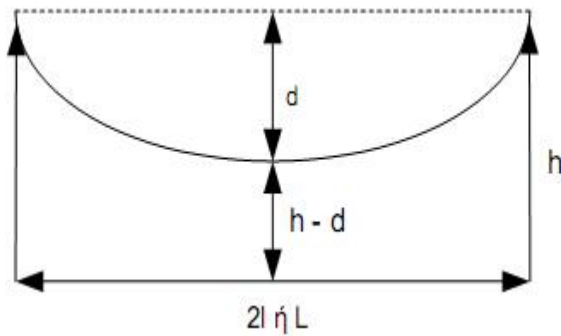
$$y_\Gamma = \frac{0,225}{2 \cdot 417} (x - 193)^2 + 22 - \frac{0,225 \cdot 21^2}{2 \cdot 417}$$

- Για $x_\Gamma = 40m$ βρίσκουμε το y που είναι:

$$y_\Gamma = 0,00027(40 - 193)^2 + 21,88 = 28,2 \text{ m}$$



® Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένας 95 ACSR ο οποίος αναρτάται από τα δύο ισουψηή σημεία A και B με ύψος 13 m. Το άνοιγμα AB είναι $L = 123m$. Να υπολογισθεί η ελάχιστη απόσταση αγωγού-γης για Μέση-κατακόρυφη επιφόρτιση και για τον αγωγό αφόρτιστο στους $16^{\circ}C$. Επίσης η απαιτούμενη απόσταση διαχωρισμού των φάσεων και η απόσταση του σημείου Γ από το έδαφος και στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις. Το σημείο Γ απέχει από το A οριζόντια απόσταση 36,5m. Δίδονται $T_K = 1910Kg$, $T_A = 1130Kg$



Από ΠΙΝ 2 για αγωγό 95ACSR και "Μέση" επιφόρτιση είναι $W_K = 1,051 Kg/m$ και από ΠΙΝ 1 $W_A = 0,609 Kg/m$

Η εξίσωση της καμπύλης στο x-y επίπεδο:

$$y = \frac{W}{2T} \left(x - \frac{L}{2} \right)^2 + y_A - d$$

Βέλος στους $-10^{\circ}C$ και κατακόρυφη επιφόρτιση ($W = W_K$): $d = \frac{W_K \cdot L^2}{8 \cdot T} =$

$$\frac{1,051 \cdot 123^2}{8 \cdot 1910} = 1,040m$$

Θέση σημείου O (κατακόρυφη επιφόρτιση, $-10^{\circ}C$)

$$y_O = \frac{W_K}{2 \cdot T_K} \left(\frac{L}{2} - \frac{L}{2} \right)^2 + y_A - d = y_A - d = 13 - 1,040 = 11,96m$$

Θέση σημείου Γ:

$$y_{\Gamma} = \frac{W_K}{2 \cdot T_K} \left(x_{\Gamma} - \frac{L}{2} \right)^2 + y_A - d = \frac{1,051}{2 \cdot 1910} \left(36,5 - \frac{123}{2} \right)^2 + 13 - 1,040 = 12,13m$$

Βέλος στους $16^{\circ}C$ ($W = W_A$, $T = T_A$):

$$d_A = \frac{W_A \cdot L^2}{8 \cdot T_A} = \frac{0,609 \cdot 123^2}{8 \cdot 1130} = 1,019m$$

Θέση σημείου O στους $16^{\circ}C$:

$$y_O = \frac{W_A}{2 \cdot T_A} \left(\frac{L}{2} - \frac{L}{2} \right)^2 + y_A - d_A = y_A - d_A = 13 - 1,019 = 11,981m$$

Θέση σημείου Γ στους $16^{\circ}C$:

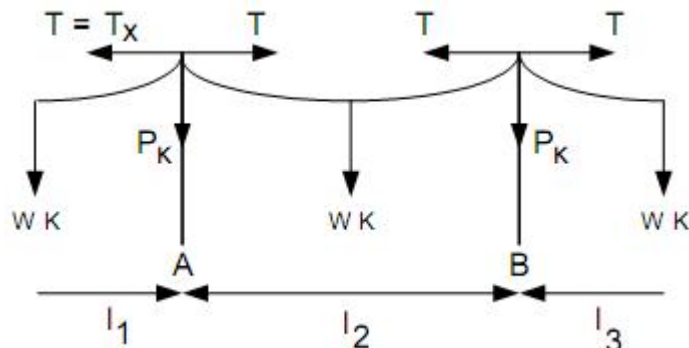
$$y_{\Gamma} = \frac{W_A}{2 \cdot T_A} \left(x_{\Gamma} - \frac{L}{2} \right)^2 + y_A - d_A = \frac{0,609}{2 \cdot 1130} \left(36,5 - \frac{123}{2} \right)^2 + 13 - 1,019 = 11,98m$$

Η απόσταση διαχωρισμού των αγωγών υπολογίζεται με βάση το βέλος d_A στους 16°C και από τον τύπο:

$$\delta = 0,5 \cdot \sqrt{d_A} + 0,01 \cdot V_n = 0,5 \cdot \sqrt{1,019} + 0,01 \cdot 20 = 0,71m$$

2.3 Κατακόρυφα και διαμήκη φορτία.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, όταν ο αγωγός αναρτάται από ισοϋψή σημεία, η τάνυση στα σημεία αυτά είναι όλη σχεδόν οριζόντια. Η διαμήκης επιφόρτιση σε κάθε στύλο ή κατασκευή



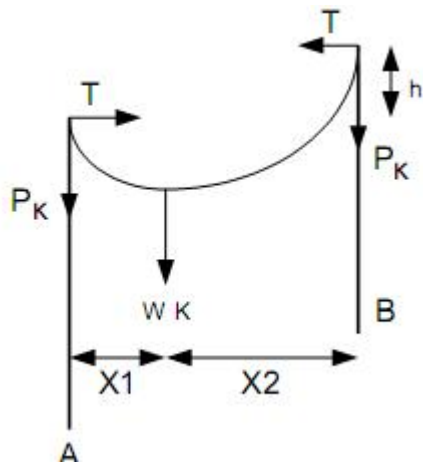
κορυφής είναι μηδέν δηλαδή

$$\sum T_x \cong 0 \text{ και } T_y \cong 0$$

Η κατακόρυφη επιφόρτιση σε κάθε στύλο είναι η επιφόρτιση που οφείλεται στο βάρος του αγωγού W_K δηλαδή $P_K = 0,5 \cdot (L_1 + L_2)W_K$

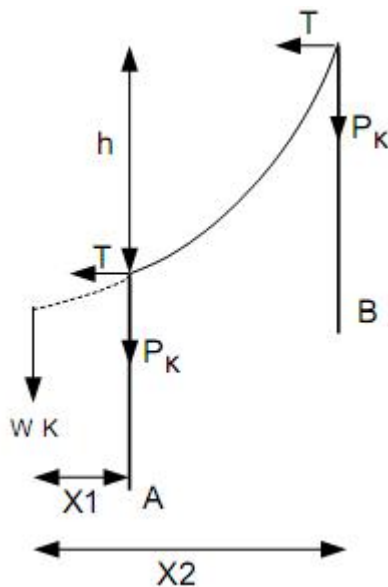
P_K κατακόρυφο φορτίο/αγωγό
Συχνά ο όρος $\{0,5 \cdot (L_1 + L_2)\}$ αναγράφεται ως L_m : μέσο άνοιγμα

των ανοιγμάτων L_1 και L_2 . Τα κατακόρυφα φορτία δηλαδή υπολογίζονται με την κατακόρυφη επιφόρτιση των αγωγών (W_K, T_K)



Σημεία πρόσδεσης με υψομετρική διαφορά h :

A. Όταν $x_1 > 0$, δηλαδή όταν ο αγωγός με κατακόρυφη επιφόρτιση εμφανίζει βέλος εντός του ανοίγματος L . Οι δυνάμεις τάνυσης T είναι όπως φαίνονται. Οι οριζόντιες συνιστώσες της τάνυσης είναι και πάλι περίπου ίσες με T . Το κατακόρυφο φορτίο στο στύλο A είναι: $P_{KA} = W_k x_1$. Το κατακόρυφο φορτίο στο στύλο B είναι: $P_{KB} = W_k x_2$. Οι αποστάσεις x_1 και x_2 ονομάζονται κατακόρυφα ανοίγματα.



B. Όταν $x_1 < 0$, δηλαδή όταν ο αγωγός με κατακόρυφη επιφόρτιση εμφανίζει βέλος εκτός του ανοίγματος L . Οι δυνάμεις τάνυσης T είναι όπως φαίνονται στο σχήμα. Και πάλι $T_x \cong T$. Το κατακόρυφο φορτίο στο στύλο A είναι $P_{KA} = W_k x_1$ ενώ στο στύλο B είναι $P_{KB} = W_k x_2$.

Συνολικό κατακόρυφο φορτίου στύλου:

$$G = n \cdot P_K + \text{πρόσθετο}$$

- n : αριθμός όμοιων αγωγών
- πρόσθετο: 150 Kg για γραμμή MT
110 Kg για γραμμή XT

Καταπονεί το στύλο σε λυγισμό γι' αυτό θα

πρέπει: $G \leq K_{\lambda\gamma\gamma}^{-1} \cdot F_{\lambda\gamma\gamma}$, $K_{\lambda\gamma\gamma} = 2,7$ για κλάση κατασκευής B.

2.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά Ξύλινων Στύλων

Οι τυποποιημένοι στύλοι έχουν τα εξής ύψη (m): 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15

Από πλευράς αντοχής υπάρχουν τρεις κατηγορίες:

- 1) Ελαφρούς (E)
- 2) Μέσος (M)
- 3) Βαρύς (B)

με κύριο χαρακτηριστικό την ελάχιστη διάμετρο κορυφής d_K και το αντίστοιχο φορτίο θραύσης (F_θ) που είναι το μέγιστο εγκάρσιο φορτίο που μπορεί να δεχθεί ο στύλος για να μην σπάσει και το κρίσιμο φορτίο λυγισμού ($F_{\lambda\gamma}$) που είναι το μέγιστο κατακόρυφο φορτίο που μπορεί να δεχθεί ο στύλος ώστε να μη λυγίσει.

Κωνικότητα: Αύξηση της διαμέτρου ανά μέτρο στύλου (t). Στην περιοχή θεμελίωσης η κωνικότητα είναι $t = 1 \text{ cm/m}$

Το μέτρο ελαστικότητας των ξύλινων στύλων είναι 110.000 Kg/cm^2 και η τάση θραύσης κατά τη διεύθυνση των ινών του ξύλου είναι $T_\theta = 520 \text{ Kg/cm}^2$.

Παρακάτω δίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ξύλινων στύλων.

Κατηγορία	d_K (cm)	F_θ (Kg)	t (cm/m)
E	12	500	1
M	15	825	1,06
B	18	1250	1,1

Ο πίνακας 3 δίνει όλα τα χαρακτηριστικά των ξύλινων στύλων που χρησιμοποιούνται σήμερα από τη ΔΕΗ και ο πίνακας 4 τα βάθη θεμελίωσης για κάθε είδος εδάφους. Οι 2 τελευταίες στήλες του πίνακα 3 δίνουν την επιφόρτιση του ανέμου $F_{\sigma\tau}$ που δέχεται ο ίδιος ο στύλος, για μέση (κανονική) ή βαριά επιφόρτιση και για ελαφριά επιφόρτιση.

Ο χαρακτηρισμός του εδάφους έχει να κάνει με την αναλογία πέτρας και καθαρού χώματος. Από άποψη θεμελίωσης, όσο πιο πετρώδες (βραχώδες) είναι ένα έδαφος τόσο καλύτερη είναι και η θεμελίωση του και απαιτείται λιγότερο βάθος θεμελίωσης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

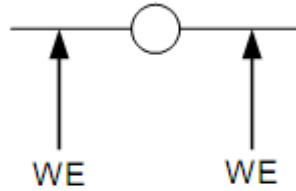
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΥΛΙΝΩΝ ΣΤΥΛΩΝ						
Xarstyl.xls						
Κατηγορίες	Διάμετρος		Όγκος	Βάρος	Ανεμοπίεση-Επιφόρτιση	
	Βάσης	Κορυφής			Καν.+Βαρ.	Ελαφρά
	d_β	d_K	V	GS	P-20 Kg/m ²	P-44 Kg/m ²
	cm	cm	m ³	Kg	Kg	Kg
9E	20.8	12	0.195	160	14	30
10E	21.8	12	0.231	180	16	34
11E	22.8	12	0.270	220	17	38
12E	23.8	12	0.313	250	19	43
9M	24.3	15	0.278	220	17	37
10M	25.3	15	0.326	260	19	41
11M	26.3	15	0.378	300	21	46
12M	27.3	15	0.433	350	23	51
13M	28.3	15	0.494	400	26	56
14M	29.3	15	0.558	450	28	62
9B	27.8	18	0.376	300	20	43
10B	28.8	18	0.438	350	22	48
11B	29.8	18	0.504	410	25	54
12B	30.8	18	0.574	460	27	60
13B	31.8	18	0.649	520	30	66
14B	32.8	18	0.729	570	33	72
15B	33.8	18	0.815	650	35	78

ΠΙΝΑΚΑΣ 4

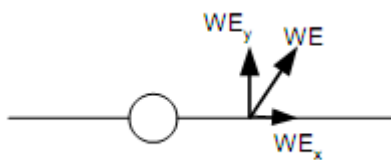
ΒΑΘΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ								
				ΕΔΑΦΟΣ				
		d_β	d_K	d_O	ΠΤΩΧΟ	ΚΑΝΟΝΙΚΟ	ΚΑΛΟ	ΒΡΑΧΩΔΕΣ
		cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
E	9	20,8	12	12,2	170	170	150	110
	10	21,8	12	12,2	170	170	150	110
	11	22,8	12	12,2	180	170	150	110
	12	23,8	12	12,2	180	180	160	110
M	9	24,3	15	15,2	230	180	170	140
	10	25,3	15	15,2	240	180	170	140
	11	26,3	15	15,2	240	200	170	150
	12	27,3	15	15,2	260	210	180	150
	13	28,3	15	15,2	260	210	180	160
	14	29,3	15	15,2	260	210	190	160
B	9	27,8	18	18,2	240	210	180	150
	10	28,8	18	18,2	240	220	180	160
	11	29,8	18	18,2	260	230	190	160
	12	30,8	18	18,2	270	230	200	170
	13	31,8	18	18,2	280	240	200	170
	14	32,8	18	18,2	290	240	210	180
	15	33,8	18	18,2	300	240	210	180

2.5 Εγκάρσια επιφόρτιση λόγω ανέμου

Στύλοι ευθυγραμμίας: η μεγαλύτερη επιφόρτιση λόγω ανέμου είναι όταν αυτή είναι κάθετη προς τους αγωγούς.



Η επιφόρτιση του ανέμου επί τους αγωγούς ασκεί ροπή στο στύλο. Έτσι η μέγιστη δύναμη που θα ασκηθεί από την επιφόρτιση λόγω ανέμου από τον αγωγό στο στύλο είναι από την κάθετη συνιστώσα του W_E στον αγωγό



Στην περίπτωση αυτή η διαμήκης συνιστώσα του W_E δεν δημιουργεί ροπή από τον αγωγό προς τον στύλο.

Για n αγωγούς, ο κάθε ένας σε ύψος h_n ασκεί δύναμη $F_{\alpha\gamma}$ λόγω της κάθετης συνιστώσας W_{EK} σε αυτούς σε ύψος h του σημείου A του στύλου (0,25m κάτω από την κορυφή) είναι:

$$F_{\alpha\gamma} = \sum_{i=1}^n W_{EK} \cdot \frac{h_n}{h} L_m \quad , \quad L_m = 0,5(L_1 + L_2)$$

Η συνολική δύναμη λόγω ανέμου: $F_E = F_{\alpha\gamma} + F_{\sigma\tau}$

$F_{\sigma\tau}$: εγκάρσια δύναμη επιφόρτισης στο στύλο λόγω ανέμου.

Πρέπει: $F_E \leq \kappa_\theta \cdot F_\theta$

- $\kappa_\theta = 2,7^{-1}$ για κλάση κατασκευής B
- $\kappa_\theta = 4^{-1}$ για κλάση κατασκευής A

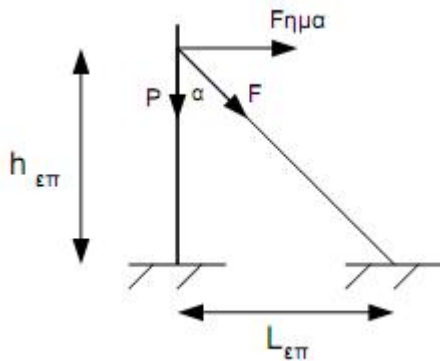
Τα εγκάρσια φορτία καταπονούν το στύλο σε θραύση, γι' αυτό και θα πρέπει η συνολική δύναμη F_E να είναι μικρότερη του ορίου θραύσης του αντίστοιχου στύλου το οποίο έχει υπολογισθεί 25cm κάτω της κορυφής του στύλου.

Ο πίνακας 3 δίνει τη δύναμη $F_{\sigma\tau}$ για κάθε τυποποιημένο ξύλινο στύλο.

Σε στύλους με οριζόντια διάταξη αγωγών ο επίτονος προσδένεται στο ύψος των αγωγών (κατασκευές F-21Y ή F-34Y)

Σε κατακόρυφη διάταξη αγωγών έχουμε πρόσδεση των επίτονων σε διαφορετικά ύψη (κατασκευές F-21A, F-21B)

Σε γραμμές XT με κατακόρυφη διάταξη αγωγών έχουμε πρόσδεση επιτόνου 50cm κάτω της κορυφής του στύλου (κατασκευή F-21X) ενώ στα ΣΚ στο ύψος στήριξής τους, περίπου δηλαδή 20cm κάτω της κορυφής.



Όταν ένας στύλος υπόκειται σε έλξη (τράβηγμα προς τα άνω) τοποθετούνται 2 επίτονα συνήθως εγκάρσια επί των αγωγών . Στην έλξη είναι $3P_K < 0$ (κατακόρυφο φορτίο από τους αγωγούς αρνητικό). Η κατακόρυφη συνιστώσα της δύναμης $F_{επ}$ του επιτόνου θα παραλάβει το αρνητικό φορτίο $3P_K$.

$$\text{Άρα για 2 επίτονα : } \frac{h_{επ}}{h} F_{επ} \cos \alpha = \frac{3P_K}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{h_{επ}}{h} F_{επ} \cos \left(\tan^{-1} \frac{\ell_{επ}}{h_{επ}} \right) = \frac{3P_K}{2}$$

$$\text{Συνήθως } \alpha = 45^\circ \quad (\ell_{επ} = h_{επ}) \quad \text{άρα } F_{επ} = 3P_K \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{h}{h_{επ}}$$

Η τιμή μπορεί να πολ/ασθεί με το συντελεστή ασφαλείας.

Με το παράτονο θέλουμε να αντισταθμίσουμε το εγκάρσιο φορτίο F_E :

$$\frac{h_{επ}}{h} \cdot F_{επ} \cdot \sin \alpha = F_E \Rightarrow \frac{h_{επ}}{h} \cdot F_{επ} \cdot \sin \left(\tan^{-1} \frac{\ell_{επ}}{h_{επ}} \right) = F_E$$

Τυποποιημένες κατασκευές με επίτονα:

- Γραμμή MT με οριζόντια διάταξη αγωγών: F-21Y (π.χ. για P-3, P-3II, P-3B, P-3BII)
- Γραμμή XT (κατακόρυφη διάταξη αγωγών): F-21X(π.χ. για S-3)
- Γραμμή MT – τερματικός στύλος: F-34Y (για P-11, P-11E, P-37, P-37E)
- Γραμμή XT – τερματικός στύλος: F-34X (π.χ. για S-11)
- Γραμμή MT – κατακόρυφη διάταξη αγωγών: F-21A για 2 επίτονα, F-21B για 3 επίτονα (για κατασκευές κορυφής P-9)

Στα παρακάτω σχήματα απεικονίζονται οι παραπάνω κατασκευές επιτόνων. Αν δεν υπάρχει επίτονο, πέραν του ελέγχου θραύσης , πρέπει να γίνει και έλεγχος παραμόρφωσης.

Θα πρέπει:

$$\sum T_x \leq \frac{7,5 \cdot \pi \cdot E \cdot d_o^2 \cdot d_1^3}{64h^3}$$

Όπου: d_1 διάμετρος στο έδαφος, d_o διάμετρος στο σημείο της δύναμης, h το ύψος της δύναμης από την επιφάνεια του εδάφους.

2.6 Πίεση της ξυλοδοκού επί του υπεδάφους

Η πίεση της ξυλοδοκού επί του εδάφους κατά τη διεύθυνση του επιτόνου :

$$P_{\xi} = \frac{T_{\varepsilon\pi(\max)}}{d_{\xi}L_{\xi}} \quad (Kg/cm^2)$$

Θα πρέπει να ισχύει: $P_{\xi} \leq P_{\gamma(\max)}$, όπου $P_{\gamma(\max)}$: μέγιστη πίεση επί του εδάφους, η οποία λαμβάνεται ίση με $2 Kg/cm^2$

Για ξυλοδοκό 20x75 προκύπτει $T_{\varepsilon\pi(\max)} = 3000Kg$

Συνεπώς η τελευταία συνθήκη είναι η δυσμενέστερη.

Ράβδοι αγκύρωσης επιτόνων

Το υλικό είναι ST37 σύμφωνα με το DIN 17111 για όσες έχουν κοχλίωση και με το DIN 17100 για όσες δεν έχουν .

Είδη ράβδων αγκύρωσης.

- Είδος 1: Για κανονικό έδαφος με σπείρωμα M20 και αντοχή 5300Kg.
- Είδος 2: Για κανονικό έδαφος με σπείρωμα M24 και αντοχή 7650Kg.
- Είδος 3: Για κανονικό έδαφος με σπείρωμα M30 και αντοχή 12150Kg.
- Είδος 4: Για βραχώδες έδαφος με ονομαστική διάμετρο $\Phi 20$ και αντοχή 7000Kg

Τα είδη 1, 2, 3 έχουν μήκος 3m και το είδος 4 έχει μήκος 1,3m

Οι συντελεστές ασφαλείας 1,35 για κλάση B και 1,7 για κλάση A επί της αντίστοιχης αντοχής.

Βάθος τοποθέτησης ξυλοδοκού h_{ξ} :

- Για κλίση επιτόνου 1:1 $Y = 2m$
- Για κλίση επιτόνου 2:1 $Y = 2,54m$
- Για κλίση επιτόνου 3:1 $Y = 2,7m$
- Για μικρότερη κλίση $Y = 2m$

Αν το συρματόσχοινο βρεθεί μέσα στο έδαφος θα επαλειφθεί με πίσσα.

- W_{ξ} : ροπή αντίστασης ξυλοδοκού (cm^3)
- d_{ξ} : διάμετρος ξυλοδοκού (cm)
- F_{ξ} : τάση κάμψης ξυλοδοκού (Kg/cm^2)

Θα πρέπει : $F_{\xi} \leq \kappa \cdot F_{\xi(\theta\rho\alpha\upsilon\sigma\eta\varsigma)}$ Θεωρούμε $\kappa = 2$, $F_{\xi(\theta\rho\alpha\upsilon\sigma\eta\varsigma)} = 520 Kg/cm^2$

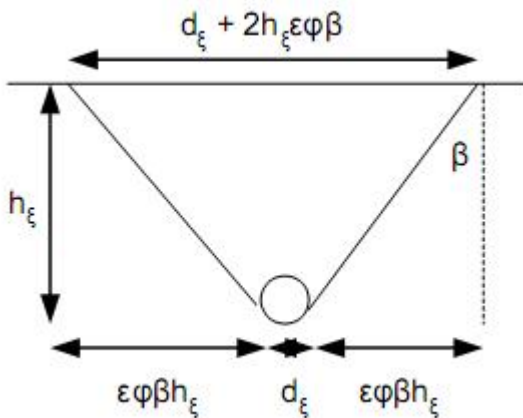
Προκύπτει για ξυλοδοκό (cm x cm : διάμετρος x μήκος)

Υπάρχουν οι εξής τυποποιημένες κατασκευές θεμελίωσης επιτόνων:

- F-25I ή F-25AI : Ξυλοδοκός 20x75, Ράβδος αγκύρωσης 3m, $\Phi=20mm$
- F-25II ή F-25AII : Ξυλοδοκός 20x130, Ράβδος αγκύρωσης 3m, $\Phi=24mm$
- F-25III ή F-25AIII : Ξυλοδοκός 26x200, Ράβδος αγκύρωσης 3m, $\Phi=30mm$

2.7 Βάρος γήινου κώνου.

Το βάρος του γήινου κώνου πάνω από την ξυλοδοκό πρέπει να είναι μεγαλύτερο της κατακόρυφης συνιστώσας της μέγιστης δύναμης τάνυσης του επιτόνου $T_{\varepsilon\pi(\max)}$.



Στις τυποποιημένες κατασκευές η γωνία β λαμβάνεται ίση με 30° . Η κατακόρυφη συνιστώσα της μέγιστης δύναμης τάνυσης του επιτόνου είναι:

$$T_{\varepsilon\pi\kappa} = T_{\varepsilon\pi(\max)} \cdot \cos \alpha \quad (Kg)$$

Το βάρος του γήινου κώνου είναι:

$$G_\gamma = \gamma \cdot (d_\xi + 2h_\xi \cdot \tan \beta) \cdot h_\xi \cdot L_\xi \quad (Kg)$$

$\gamma = 1440 \text{ Kg/m}^3$ ειδικό βάρος της γης

Άρα:

$$T_{\varepsilon\pi(\max)} \cdot \cos \alpha \leq G_\gamma$$

Για ξυλοδοκό 20x75 cm, σε βάθος 1,5m και γωνία επιτόνου 45° (κλίση 1:1) προκύπτει

$$T_{\varepsilon\pi(\max)} \leq 4426 \text{ Kg}$$

2.8 Υπολογισμός αγκύρωσης επιτόνου

Η αγκύρωση του επιτόνου γίνεται με ράβδο αγκύρωσης και μιας ξυλοδοκού εντός του εδάφους. Η δύναμη τάνυσης του επιτόνου $T_{\varepsilon\pi}$ μεταφέρεται επί της ξυλοδοκού υπό γωνία α ως προς την κατακόρυφη. Γίνονται οι εξής έλεγχοι:



Αντοχή της ξυλοδοκού σε κάμψη

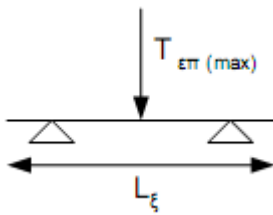
Ⓜ Έλεγχος του βάρους του γήινου κώνου πάνω στην ξυλοδοκό ως προς την κατακόρυφη συνιστώσα της μέγιστης δύναμης τάνυσης του επιτόνου.

Ⓜ Κατασκευή F-25

Ⓜ Έλεγχος της εξασκούμενης πίεσης από την ξυλοδοκό προς το έδαφος στη διεύθυνση της μέγιστης δύναμης του επιτόνου. Για την αύξηση της αντοχής της ξυλοδοκού μπορεί να αυξηθεί

το μήκος της ή η διάμετρός της.

2.9 Αντοχή ξυλοδοκού σε κάμψη



Η ξυλοδοκός στερεώνεται στο έδαφος σε όλο το μήκος της, μπορεί όμως το έδαφος να υποχωρήσει σε κάποια σημεία. Γίνεται η παραδοχή ότι η ξυλοδοκός είναι αμφιέριστος και καταπονείται από το επίτονο στο μέσο αυτής.

$$\text{Μέγιστη ροπή: } M_{\xi} = \frac{T_{\varepsilon\pi(\max)} L_{\xi}}{4} \text{ Kg/cm}$$

Δυναμη επί της ξυλοδοκού:

$$F_{\xi} = \frac{M_{\xi}}{W_{\xi}} = \frac{T_{\varepsilon\pi(\max)} L_{\xi}}{4} \cdot \frac{32}{\pi \cdot d_{\xi}^3} = \frac{8T_{\varepsilon\pi(\max)} L_{\xi}}{\pi \cdot d_{\xi}^3}$$

Όπου $W_{\xi} = \frac{\pi \cdot d_{\xi}^3}{32}$ ροπή ξυλοδοκού κυκλικής διατομής.

Από τις προηγούμενες σχέσεις υπολογίζεται η δύναμη F του επιτόνου.

Τα επίτονα είναι συρματόσχοινα ανοξείδωτα μεγάλης αντοχής.

Είναι 3 κατηγοριών:

- Ελαφρύς τύπος (E)
- Μεσαίος τύπος (M)
- Βαρύς τύπος (B)

Για τύπο E: $F_{\max} = \kappa_{\varepsilon\pi} \cdot F_{\theta\rho}$, $F_{\theta\rho} = 1740$

Για τύπο M: $F_{\theta\rho} = 3630$

Για τύπο B: $F_{\theta\rho} = 6580$

Είναι $\kappa_{\varepsilon\pi} = 1,35$ για κλάση κατασκευής B. Δίνονται σε πίνακα

2.10 Κατακόρυφη δύναμη επίτονου P : επί στύλου.

$$P = F \cdot \cos \alpha \cdot \frac{h_{\varepsilon\pi}}{h} \quad , \quad \cos \alpha = \cos \left(\tan^{-1} \left(\frac{\ell_{\varepsilon\pi}}{h_{\varepsilon\pi}} \right) \right)$$

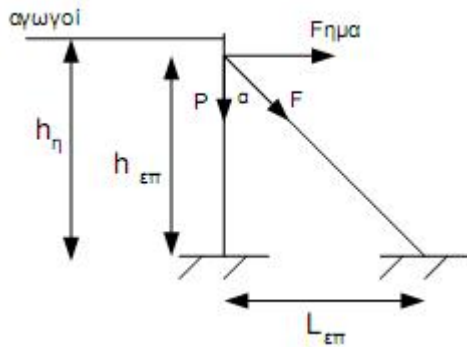
Θα πρέπει : $G + P \leq \kappa_{\lambda\gamma} \cdot F_{\lambda\gamma}$

- $\kappa_{\lambda\gamma} = 1,5$ για κλάση κατασκευής B
- $\kappa_{\lambda\gamma} = 2$ για κλάση κατασκευής A

Ο Πίνακας 5B δίνει την μέγιστη P για κάθε στύλο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Στύλοι Τέρματος

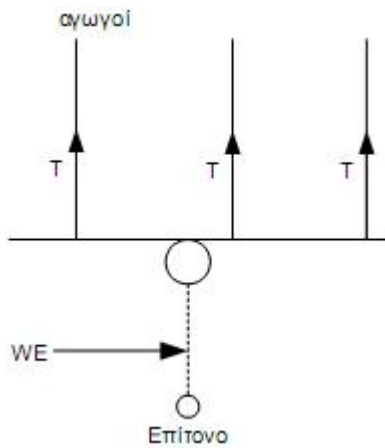


Συνολική διαμήκη επιφόρτιση λόγω τάνυσης

$$\sum T_x = \sum_{i=1}^n T_i \frac{h_n}{h}$$

Αυτή αντισταθμίζεται από την δύναμη $F \sin \alpha$ λόγω επιτόνου στη διεύθυνση των αγωγών. Με αναγωγή στο ίδιο ύψος h είναι:

$$\sum T_i \frac{h_n}{h} = F \cdot \sin \alpha \frac{h_{\varepsilon\pi}}{h} \quad , \quad \sin \alpha = \sin \left(\tan^{-1} \left(\frac{\ell_{\varepsilon\pi}}{h_{\varepsilon\pi}} \right) \right)$$



Διεύθυνση ανέμου κάθετη στους αγωγούς

$$F_{\alpha\gamma} = \sum_{i=1}^n W_E \cdot 0,5 \cdot (\ell_1 + \ell_2) \frac{h_n}{h} ,$$

Με

$$F_E = F_{\alpha\gamma} + F_{\sigma\tau} \leq \kappa_{\theta} \cdot F_{\theta\rho}$$

Όπως και πριν: Κατακόρυφη δύναμη P επί στύλου λόγω επιτόνου:

$$P = F \cdot \cos \alpha \quad , \quad \cos \alpha = \cos \left(\tan^{-1} \left(\frac{\ell_{\varepsilon\pi}}{h_{\varepsilon\pi}} \right) \right)$$

$$\text{Πρέπει: } G + P \leq \kappa_{\lambda\upsilon\gamma} \cdot F_{\lambda\upsilon\gamma}$$

Και πάλι ο πίνακας δίνει τη μέγιστη δύναμη P για κάθε στύλο.

Επίτονο:

- Τύπου E : $F_{\theta} = 1740 \text{ Kg}$
- Τύπου M : $F_{\theta} = 3630 \text{ Kg}$
- Τύπου B : $F_{\theta} = 6580 \text{ Kg}$

Για κλάση κατασκευής B :

- Τύπου E : $F_{max} = 1289 \text{ Kg}$
- Τύπου M : $F_{max} = 2689 \text{ Kg}$
- Τύπου B : $F_{max} = 4874 \text{ Kg}$

Για κλάση κατασκευής A:

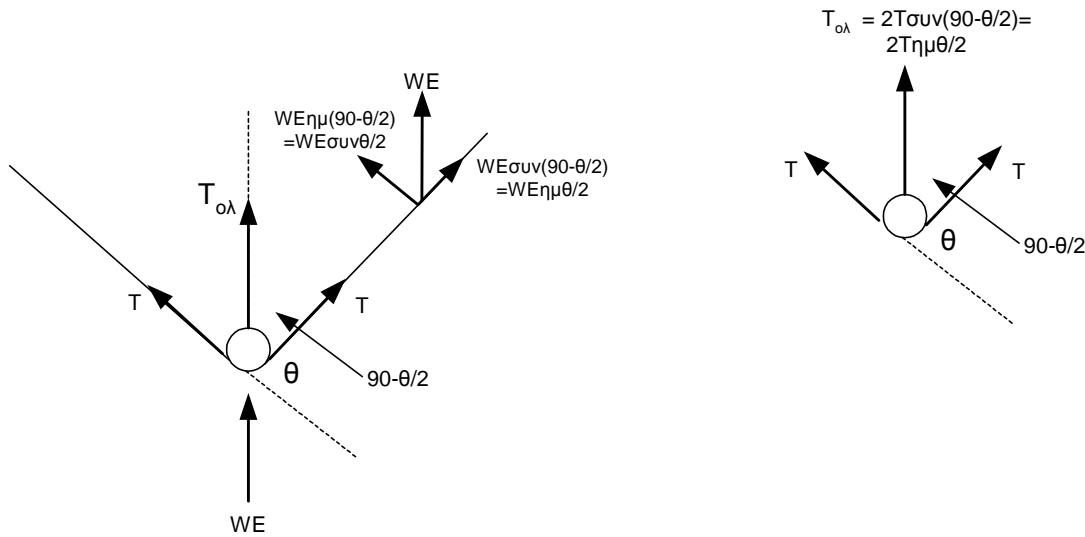
- Τύπου E : $F_{max} = 1024 \text{ Kg}$
- Τύπου M : $F_{max} = 2135 \text{ Kg}$
- Τύπου B : $F_{max} = 3871 \text{ Kg}$

ΠΙΝΑΚΑΣ 5B

Δύναμη 0,2 m κάτω κορυφής		ΜΕΓΙΣΤΑ ΕΠΙΤΕΡΕΠΟΜΕΝΑ ΦΟΡΤΙΑ ΛΥΓΙΣΜΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΩΝ Η ΓΩΝΙΑΚΩΝ ΣΤΥΛΩΝ ΜΕ ΕΠΙΤΟΝΟ $P_{επ}$									
		Στύλοι σε οριζόντια διάταξη αγωγών με β.θ. σε “καλό” έδαφος									
Στύλοι		$G = 200$		$G = 400$		$G = 600$		$G = 1000$		$G = 1600$	
Ύψος (m)	Κατηγ.	Κλάση B Kg	Κλάση A Kg	Κλάση B Kg	Κλάση A Kg	Κλάση B Kg	Κλάση A Kg	Κλάση B Kg	Κλάση A Kg	Κλάση B Kg	Κλάση A Kg
9	E	3322	2241	2935	2101	2534	1751	1689	1017	292	-
10	E	2797	2047	2417	1713	2023	1367	1186	639	-	-
11	E	2415	1761	2041	1431	1653	1090	825	369	-	-
12	E	2152	1564	1784	1238	1401	901	582	186	-	-
9	M	7935	5901	7546	5560	7152	5214	6343	4507	5077	3408
10	M	6593	4895	6211	4559	5823	4217	5024	3518	3766	2425
11	M	5630	4173	5255	3841	4872	3504	4083	2812	2834	1725
12	M	4975	3681	4605	3354	4227	3020	3446	2335	2205	1254
13	M	4407	3255	4043	2932	3670	2603	2898	1924	1667	850
14	M	4000	2950	3640	2630	3272	2304	2508	1631	1286	564
9	B	15847	11835	15456	11492	15061	11145	14261	10445	13034	9375
10	B	13023	9717	12638	9378	12249	9037	11459	8344	10244	7283
11	B	11189	8342	10809	8007	10425	7669	9644	6983	8439	5929
12	B	9793	7295	9418	6963	9039	6629	8266	5950	7071	4903
13	B	8595	6396	8225	6069	7851	5738	7087	5065	5902	4027
14	B	7742	5757	7377	5433	7007	5105	6251	4438	5076	3407
15	B	6977	5182	6616	4862	6250	4538	5503	3877	4338	2854

3.2 Γωνιακοί σύλοι

Καταπονούνται από εγκάρσιες και διαμήκεις επιφορτίσεις.



Συνολική διαμήκη επιφόρτιση από n αγωγούς σε ύψος h_n ο κάθε ένας ανηγμένη σε ύψος h του σημείου A.

$$2 \cdot \sin \frac{\theta}{2} \cdot \sum_{i=1}^n T_i \frac{h_n}{h} = \sum T_x$$

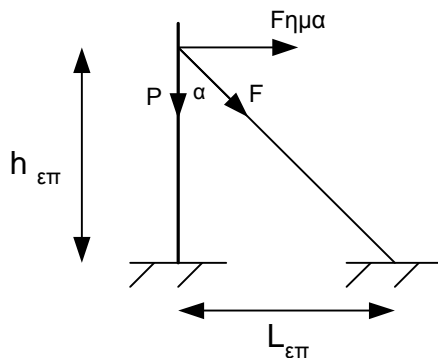
Βρίσκεται στη διχοτόμο της γωνίας $180-\theta$. Στη διεύθυνση αυτή τοποθετείται επίτονο ώστε να αντισταθμίσει τη συνολική αυτή δύναμη.

Συνολική εγκάρσια επιφόρτιση λόγω ανέμου από n αγωγούς σε ύψος h_n ο κάθε ένας ανηγμένη σε ύψος h του σημείου A όταν ο άνεμος έχει τη διεύθυνση του επιτόνου (με ανάλυση της δύναμης W_E σε δύο συνιστώσες).

$$F_{\alpha\gamma} = \sum_{i=1}^n W_E \cdot 0,5 \cdot (L_1 + L_2) \cos \frac{\theta}{2} \cdot \frac{h_n}{h} , F_E = F_{\alpha\gamma} + F_{\sigma\tau}$$

Η κάθετη συνιστώσα στον αγωγό δημιουργεί ροπή.

Το επίτονο αναλαμβάνει την αντισταθμίση της $\sum T_x$ και της F_E προσαυξημένης κατά 1,78.



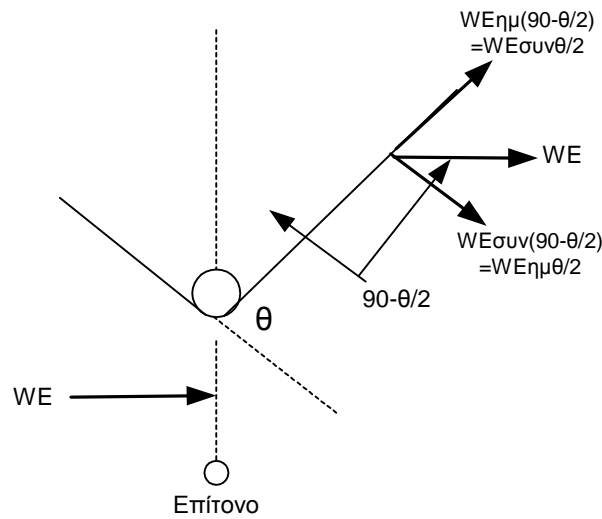
Θα πρέπει (με αναγωγή σε ύψος h):

$$F \sin \alpha \frac{h_{\varepsilon\pi}}{h} = \sum T_x + 1,78F_E \Rightarrow$$

$$F \sin \alpha \frac{h_{\varepsilon\pi}}{h} = 2 \sin \frac{\theta}{2} \sum T_i \frac{h_n}{h} + 1,78 \left(F_{\sigma\tau} + \sum_{i=1}^n W_E \cdot 0,5 \cdot (L_1 + L_2) \cos \frac{\theta}{2} \cdot \frac{h_n}{h} \right),$$

$$\sin \alpha = \sin \left(\tan^{-1} \left(\frac{\ell_{\varepsilon\pi}}{h_{\varepsilon\pi}} \right) \right), \quad \frac{\ell_{\varepsilon\pi}}{h_{\varepsilon\pi}}: \text{κλίση } t \text{ του επιτόνου}$$

Η δεύτερη χειρότερη περίπτωση διεύθυνσης ανέμου, είναι κάθετα στη διχοτόμο της γωνίας 180-θ.



Είναι:

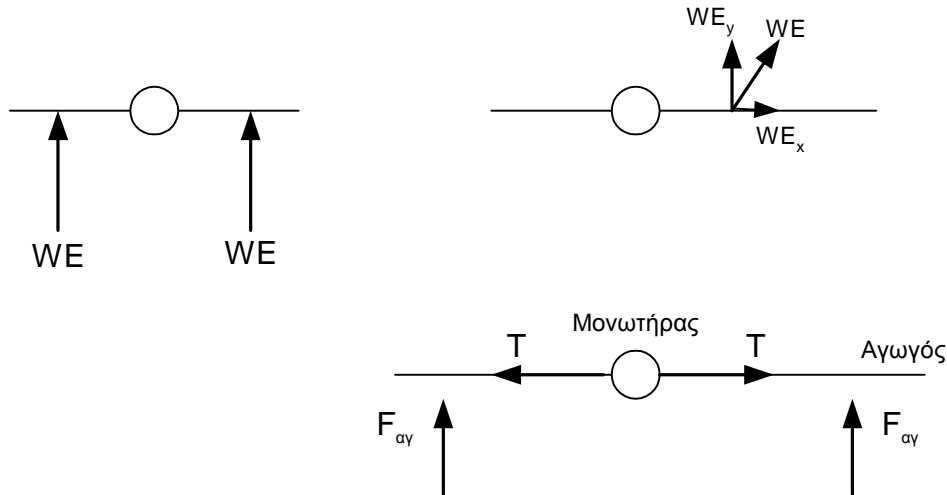
$$F_{\alpha\gamma} = \sum_{i=1}^n W_E \cdot 0,5 \cdot (L_1 + L_2) \cdot \frac{h_n}{h} \cdot \sin \frac{\theta}{2}, \quad F_E = F_{\alpha\gamma} + F_{\sigma\tau}$$

Θα πρέπει: $F_E \leq \kappa_{\theta} \cdot F_{\theta\rho}$, ώστε να παραλαμβάνεται από το στύλο (με ανάλυση της δύναμης W_E σε δύο συνιστώσες. Η κάθετη επί του αγωγού δημιουργεί και πάλι ροπή)

Οποιαδήποτε άλλη διεύθυνση ανέμου είναι καλυμμένη.

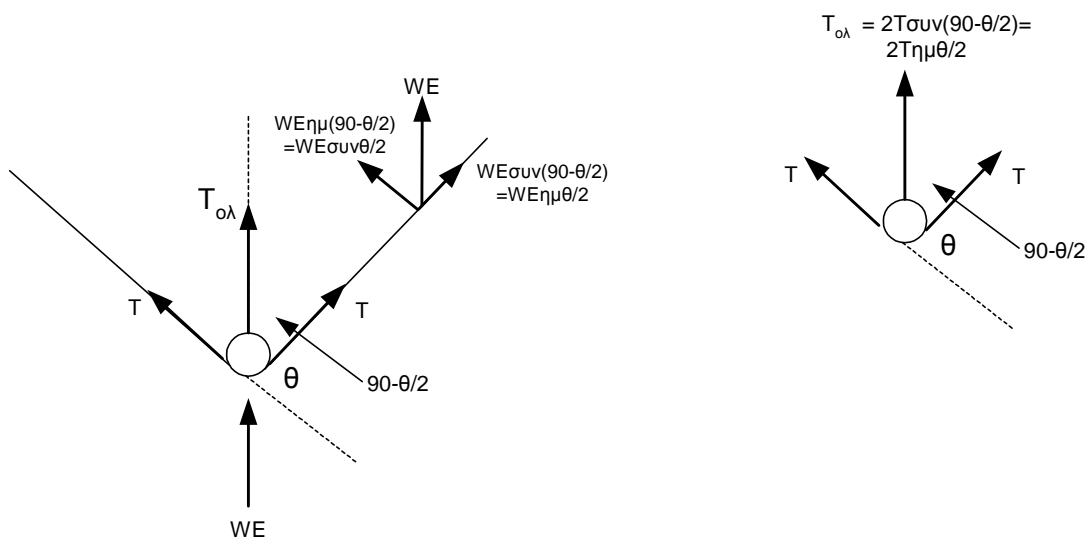
3.3 Αντοχή στηρίγματος μονωτήρα ευθυγραμμίας

Στην περίπτωση κατασκευή ευθυγραμμίας (P-3, P-3II, P-3B, P-3BII, κλπ) όταν η γραμμή δεν αλλάζει κατεύθυνση, οι δυνάμεις τάσης είναι ίσες και αντίθετες, δηλαδή συνολικό διάμηκες φορτίο στο μονωτήρα (ή οριζόντιο φορτίο) είναι $\sum T_x = 0$.



Υπάρχει το εγκάρσιο φορτίο F_{ay} ή W_E από τον άνεμο επί του αγωγού το οποίο μεταφέρεται στη βάση του μονωτήρα, η οποία αντέχει 105Kg (κλάση κατασκευής A) ή ίσο με 160Kg (κλάση κατασκευής B). Γι' αυτό σε ειδικές περιπτώσεις που θέλουμε κατασκευή A, η απαίτηση δεν ικανοποιείται και πρέπει να έχουμε κατασκευή με 2 τραβέρσες και έτσι 2 μονωτήρες/αγωγό, οπότε $F_{ay} \leq 2 \cdot 105$ που συνήθως ικανοποιείται (P-3II, P-3BII ή P-3A, P-3AB)

Όταν έχουμε αλλαγή κατεύθυνσης της γραμμής



Έχουμε 2 δυνάμεις τάσης T οι οποίες δεν αντισταθμίζονται. Μάλιστα είναι

$$\sum T_x = T_{O\lambda} = 2T \cos\left(90 - \frac{\theta}{2}\right) = 2T \sin \frac{\theta}{2}$$

Γιατί η $T_{O\lambda}$ βρίσκεται στη διχοτόμο της γωνία $180-\theta$. Θεωρούμε διεύθυνση ανέμου W_E παράλληλα στη διχοτόμο. Τότε δύναμη $F_{\alpha\gamma}$ επί του αγωγού ασκεί η συνιστώσα

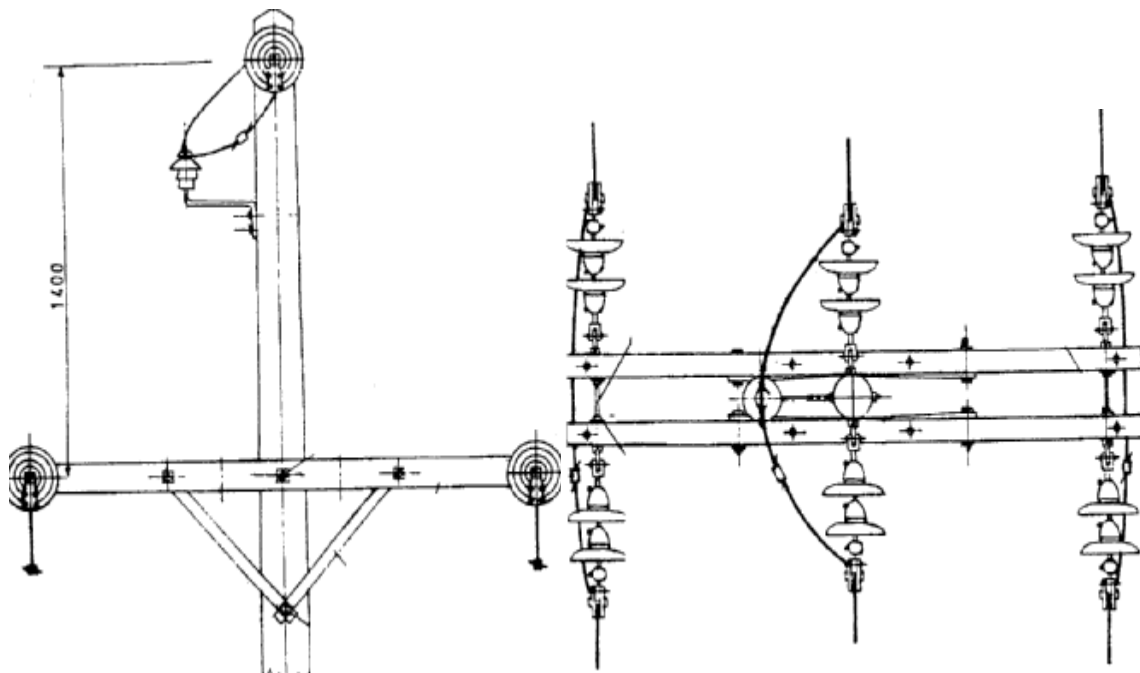
$$W_E \sin\left(90 - \frac{\theta}{2}\right) = W_E \cos \frac{\theta}{2} \text{ που είναι κάθετη στον αγωγό.}$$

Η συνολική δύναμη που μεταφέρεται στο μονωτήρα είναι

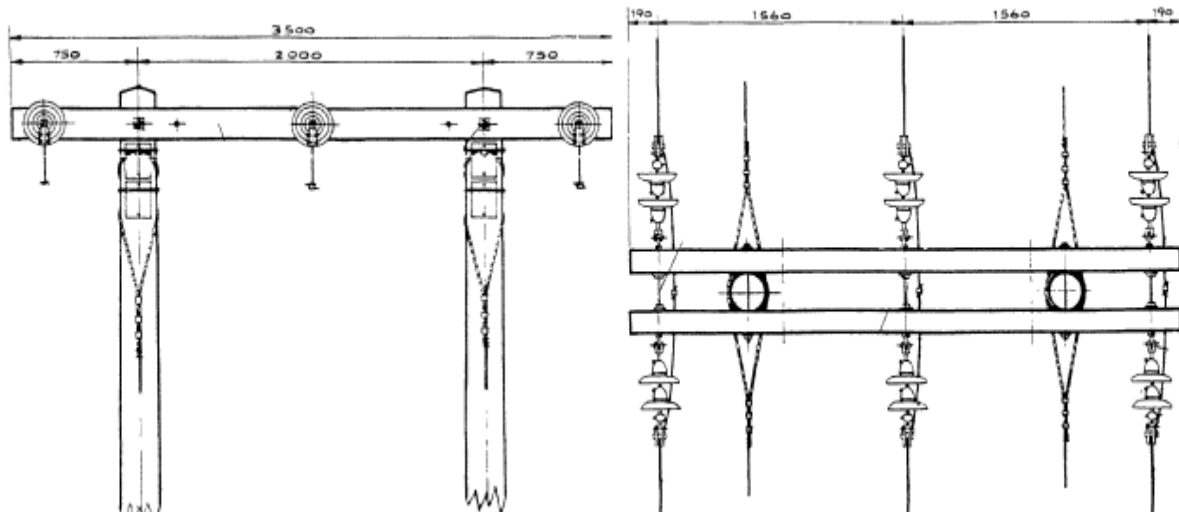
$$F = T_{O\lambda} + W_E \cdot 0,5 \cdot (L_1 + L_2) \sin\left(90 - \frac{\theta}{2}\right) = 2 \cdot T \cdot \sin \frac{\theta}{2} + 0,5 \cdot (L_1 + L_2) W_E \cos \frac{\theta}{2}$$

Πάλι θα πρέπει $F \leq 105$ ή 160 για κατασκευή με ένα μονωτήρα και $F_{\alpha\gamma} \leq 2 \cdot 105$ ή $2 \cdot 160$ για κατασκευές με 2 μονωτήρες/αγωγό. Όταν δεν ικανοποιείται προχωρούμε σε κατασκευές με μονωτήρες ανάρτησης P-9.

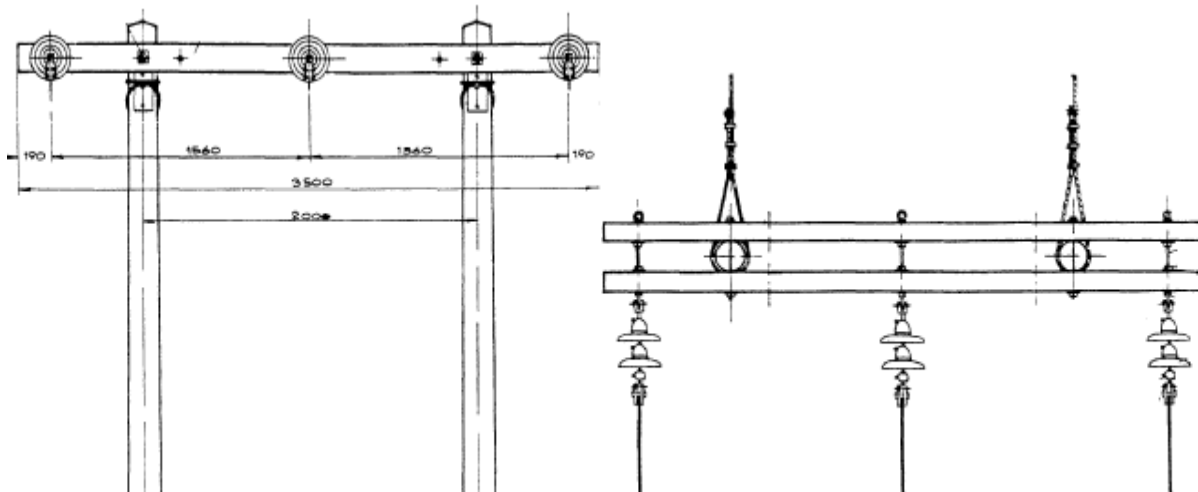
Όταν χρειάζεται να κατασκευασθεί διπλό τέρμα γραμμής (τελειώνει η μία γραμμή και ξεκινάει μία νέα με διαφορετική τάνυση και ΒΑ ή όταν υπάρχουν αρνητικά κατακόρυφα ανοίγματα που θα εξηγηθούν παρακάτω) και τα ανοίγματα αντιστοιχούν σε κατασκευές P-3 ή P-3B, τότε υπάρχει η ρ-13. Όταν τα ανοίγματα αντιστοιχούν σε κατασκευή P-3C, τότε για διπλό τέρμα γραμμής υπάρχει η κατασκευή P-13C.



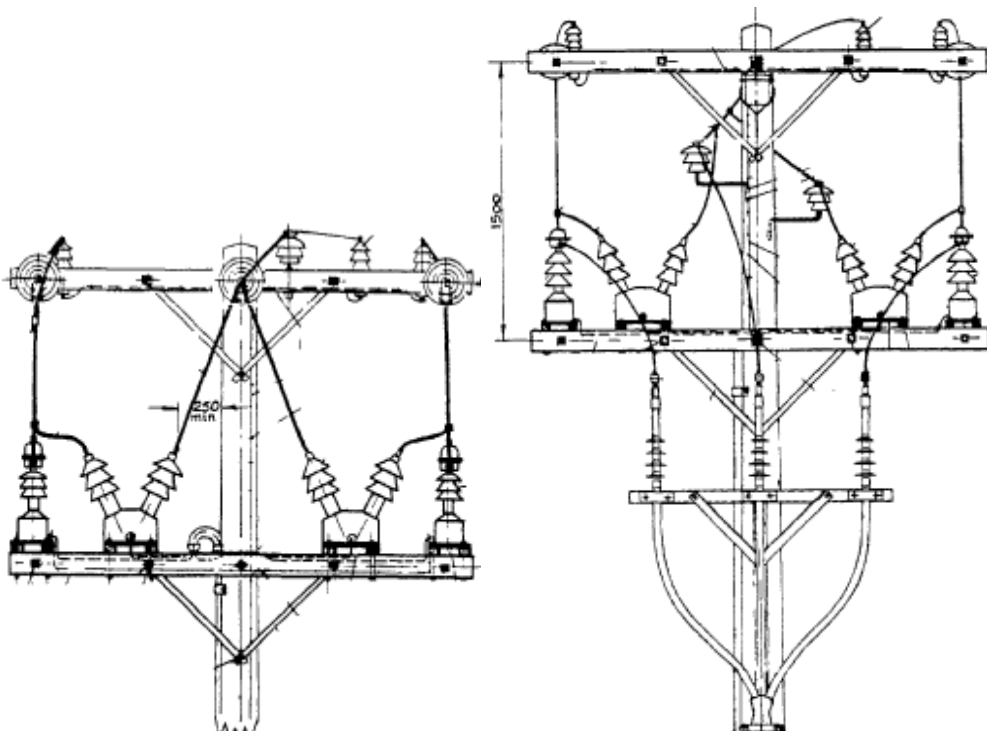
Για κατασκευή διπλού τέρματος σε ευθυγραμμία σε ΒΑ που οδηγούν σε κατασκευή ευθυγραμμίας P-31, είναι αντίστοιχα η κατασκευή P-35



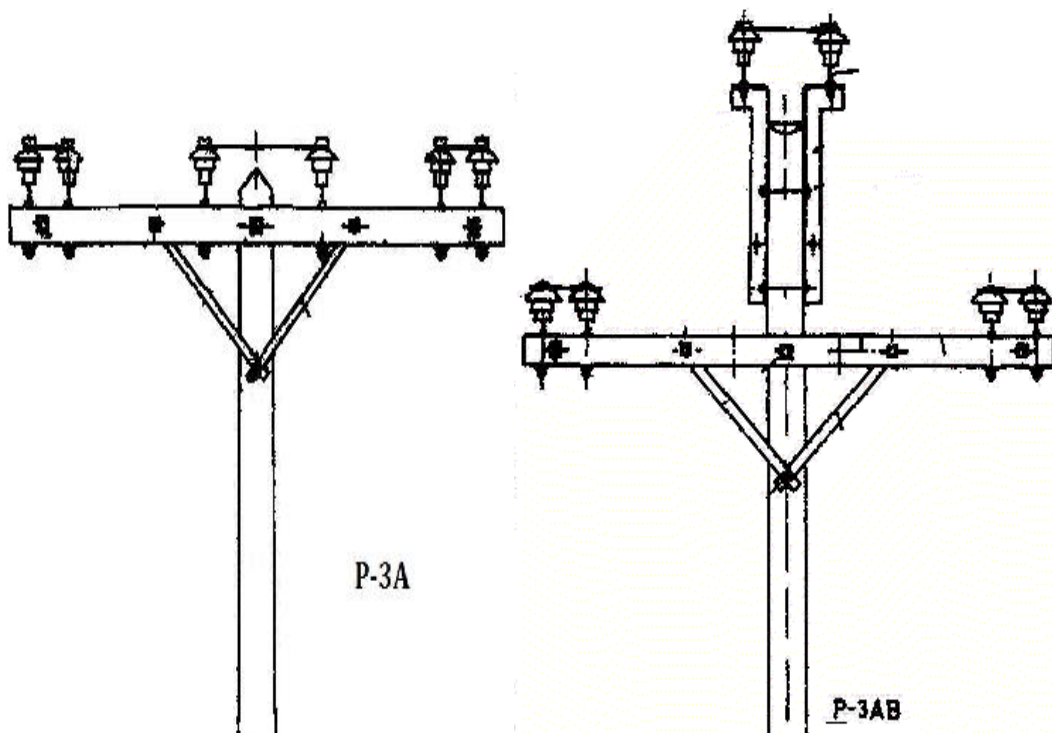
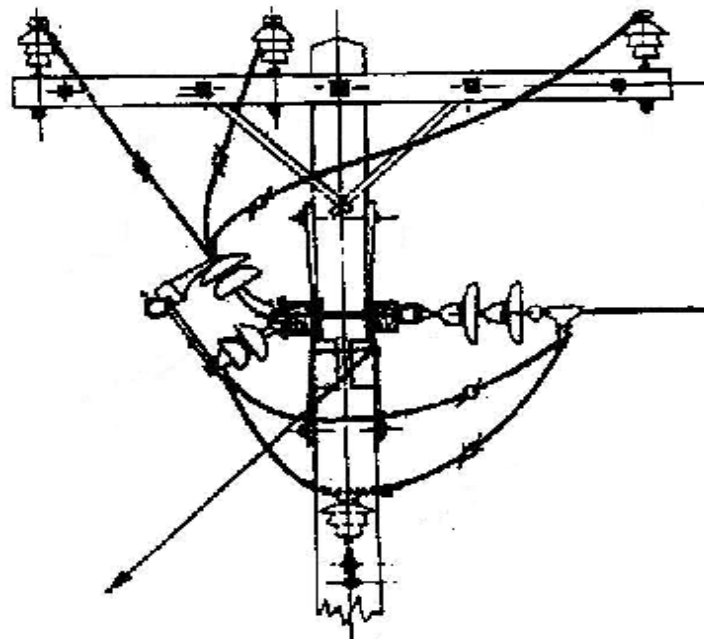
Μια γραμμή με P-31 τερματίζει με κατασκευή τέρματος P-37



Μια γραμμή ΜΤ τροφοδοτεί με ΜΣ τάσης και έντασης καταναλωτές ΜΤ είτε με διακλάδωση (Ρ-41) είτε στο τέρμα της γραμμής (Ρ-43)

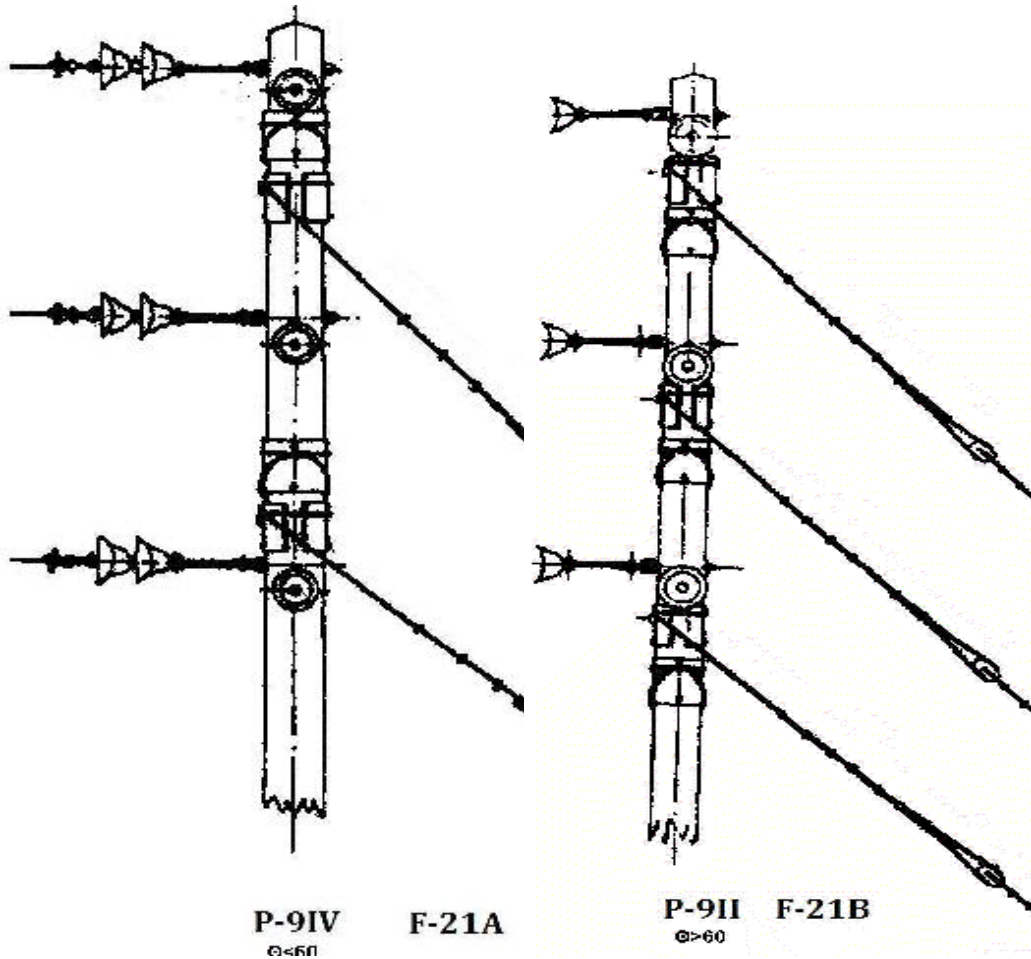


Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η P-27r, η οποία είναι κατασκευή διακλάδωσης. Στα επόμενα σχήματα φαίνονται οι κατασκευές με 2 μονωτήρες ανά αγωγό. Παρόμοιες με την P-27r P-14, P-15

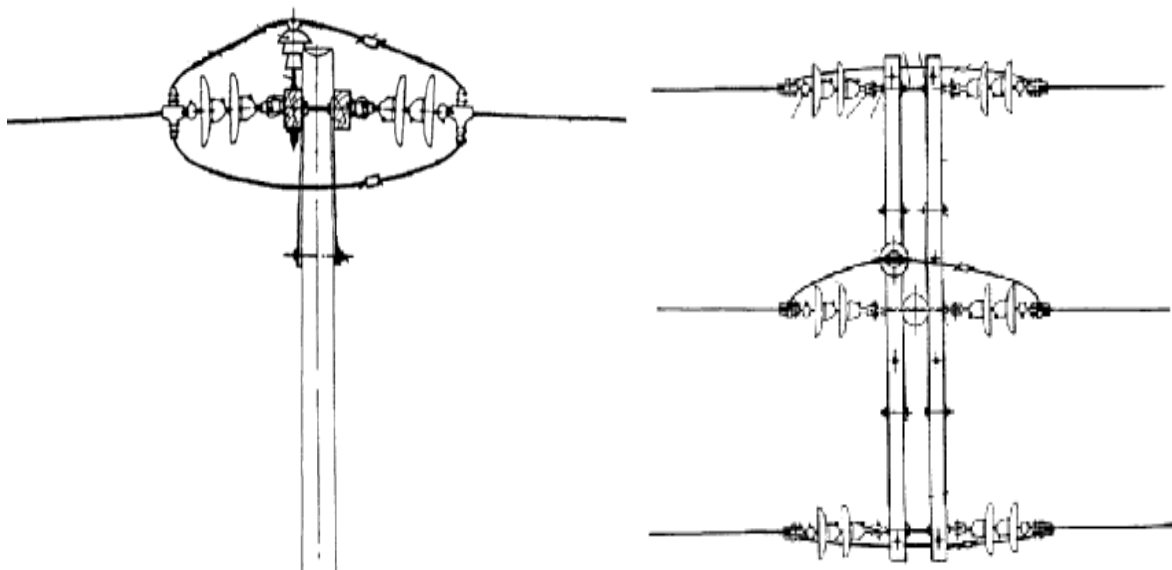


Οι κατασκευές P-16, P-17, P-18 αφορούν διπλές γραμμές ΜΤ
Κατασκευές με 2 μονωτήρες/αγωγό χρησιμοποιούνται σε στύλους ευθυγραμμίας όταν υπάρχουν μεγάλες απαιτήσεις για λόγους ασφαλείας, π.χ. σε κύριους δρόμους, διασταυρώσεις, πριν και μετά από υποσταθμούς κ.ο.κ. Επίσης όταν η αντοχή της βάσης του μονωτήρα δεν αντέχει το συνολικό εγκάρσιο φορτίο όπως αναλύεται παρακάτω.

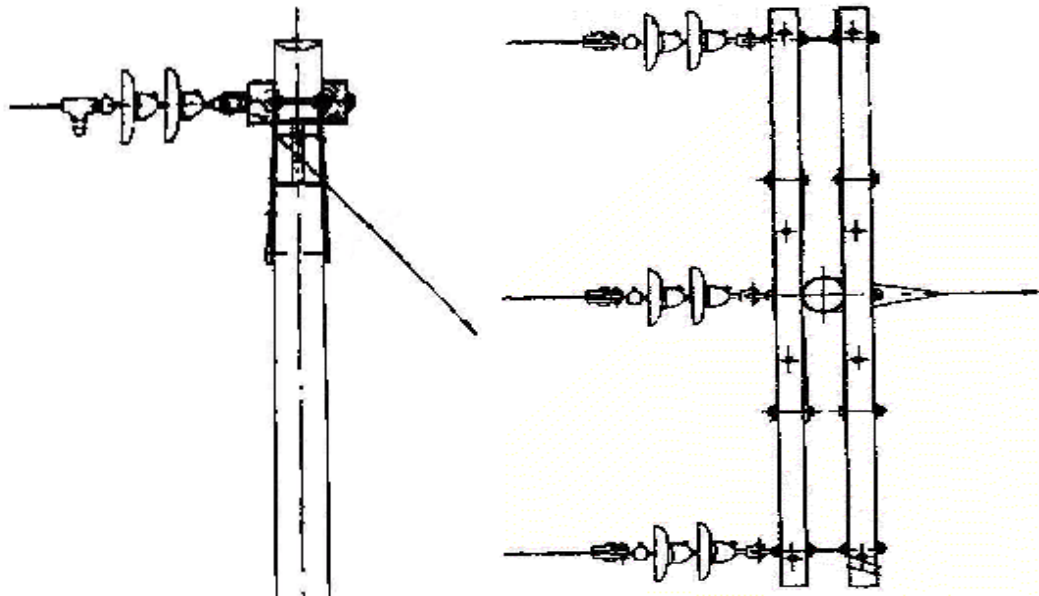
Στις προηγούμενες κατασκευές ευθυγραμμίας με μονωτήρες ευθυγραμμίας μπορεί να γίνει μια μικρή αλλαγή της κατεύθυνσης της γραμμής με 1 μονωτήρα/αγωγό ή 2 μονωτήρες/αγωγό. Σε μεγάλες αλλαγές κατεύθυνσης της γραμμής, όπου οι 2 μονωτήρες δεν αντέχουν το οριζόντιο φορτίο, χρησιμοποιείται η κατασκευή P-9 που φέρει μονωτήρες ανάρτησης.



Σημαντική κατασκευή είναι η P-13 η οποία φέρει μονωτήρες ανάρτησης και ουσιαστικά είναι διπλό τέρμα της γραμμής. Η συνέχεια εξασφαλίζεται με γεφυρώματα πριν και μετά τους μονωτήρες. Παρόμοιες οι P-6, P-7 που φέρουν μονωτήρες ανάρτησης επίσης και μπορεί να γίνει γωνία μέχρι 45° .



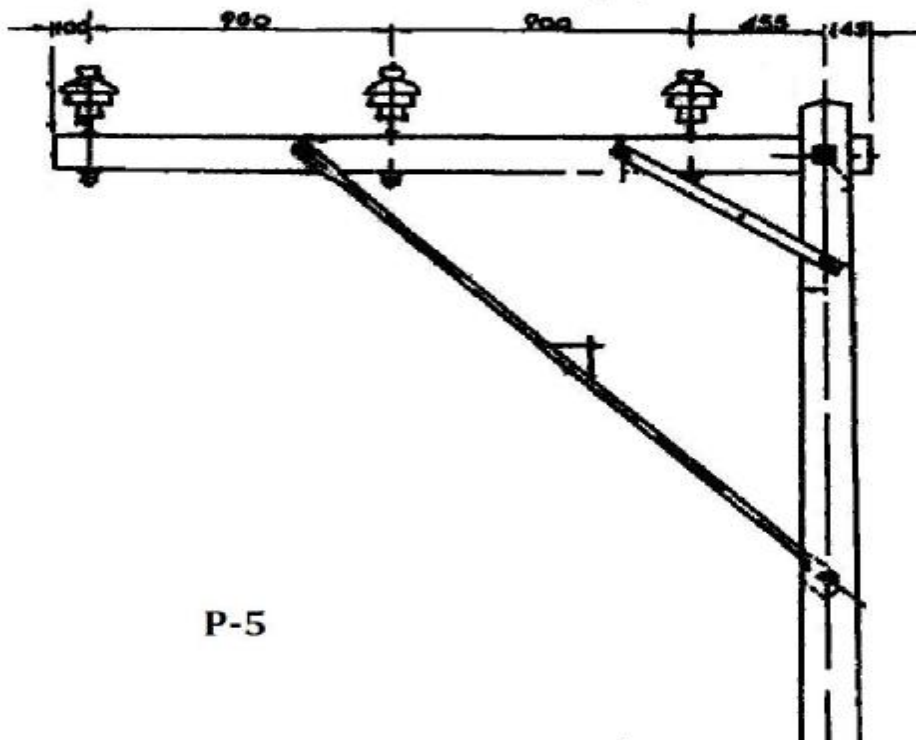
Σημαντική κατασκευή είναι η P-11 η οποία φέρει μονωτήρες ανάρτησης και είναι κατασκευή τερματισμού γραμμής.



P-11

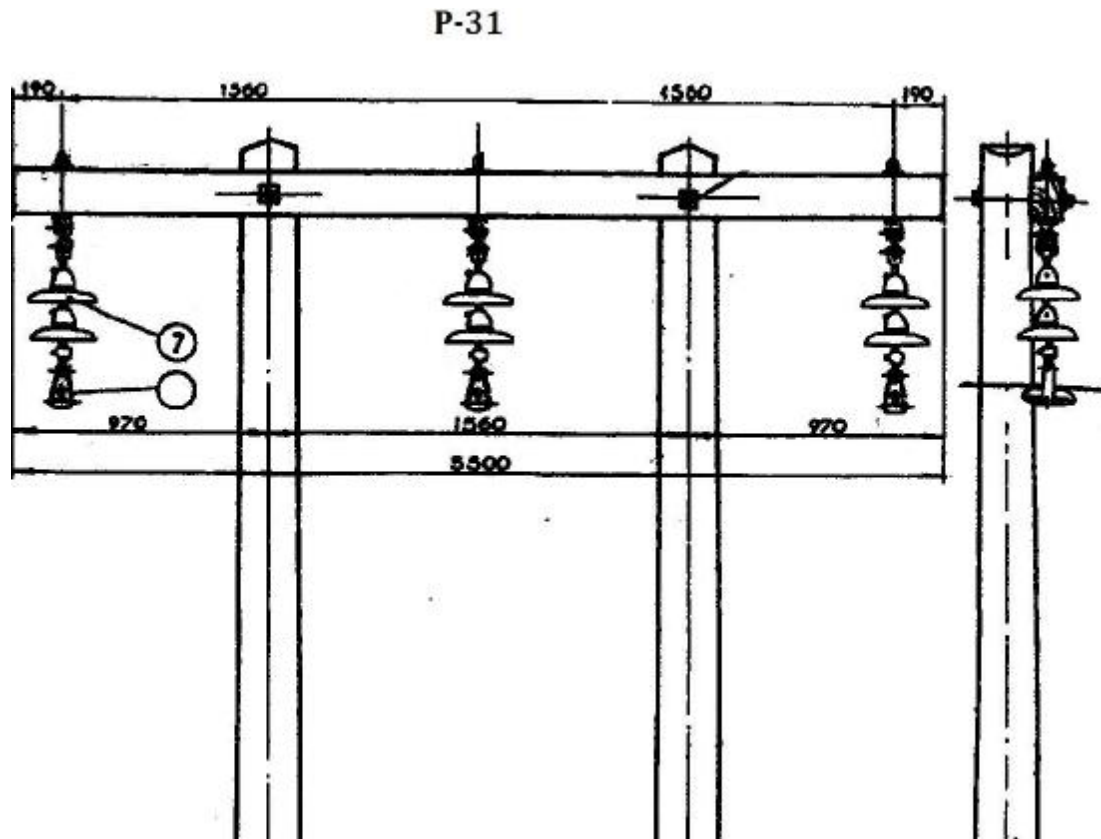
Άλλη κατασκευή τερματισμού είναι η P-37.

Άλλη κατασκευή ευθυγραμμίας για μέσα στις πόλεις, όπου χρειάζεται, είναι η P-5(κατασκευή με πρόβολο).



P-5

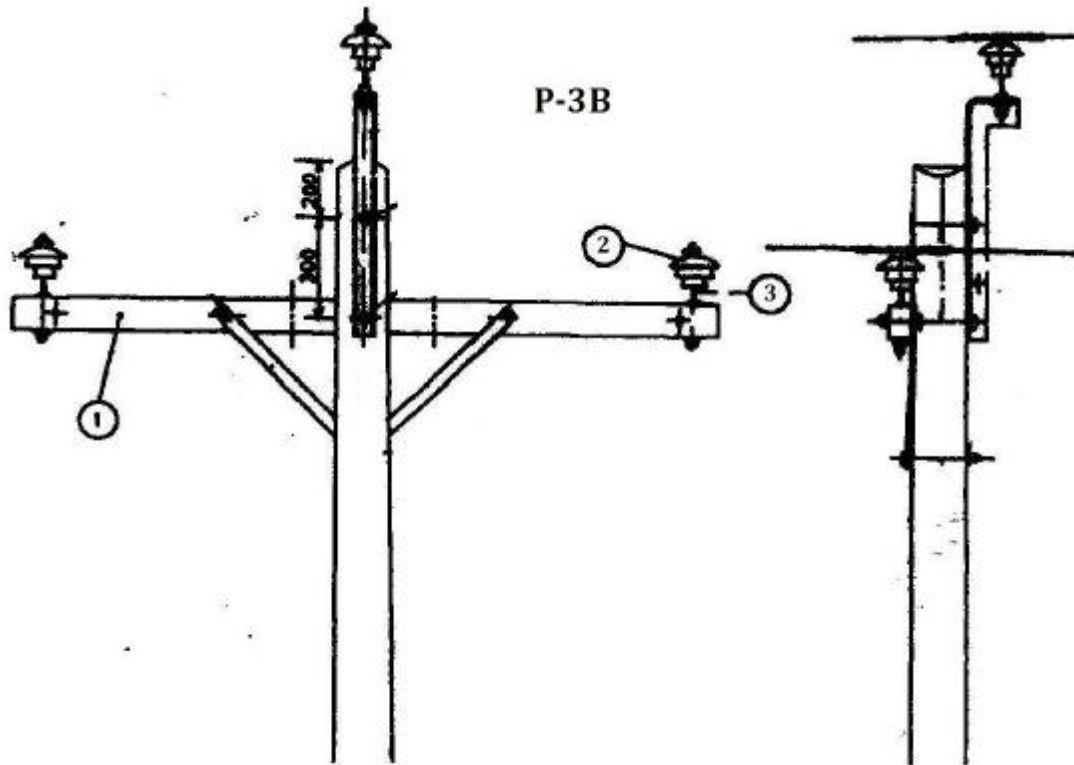
Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η P-31 για πολύ μεγάλα ανοίγματα και $\delta = 1,56m$.
Περιλαμβάνει 2 στύλους και μονωτήρες ανάρτησης.



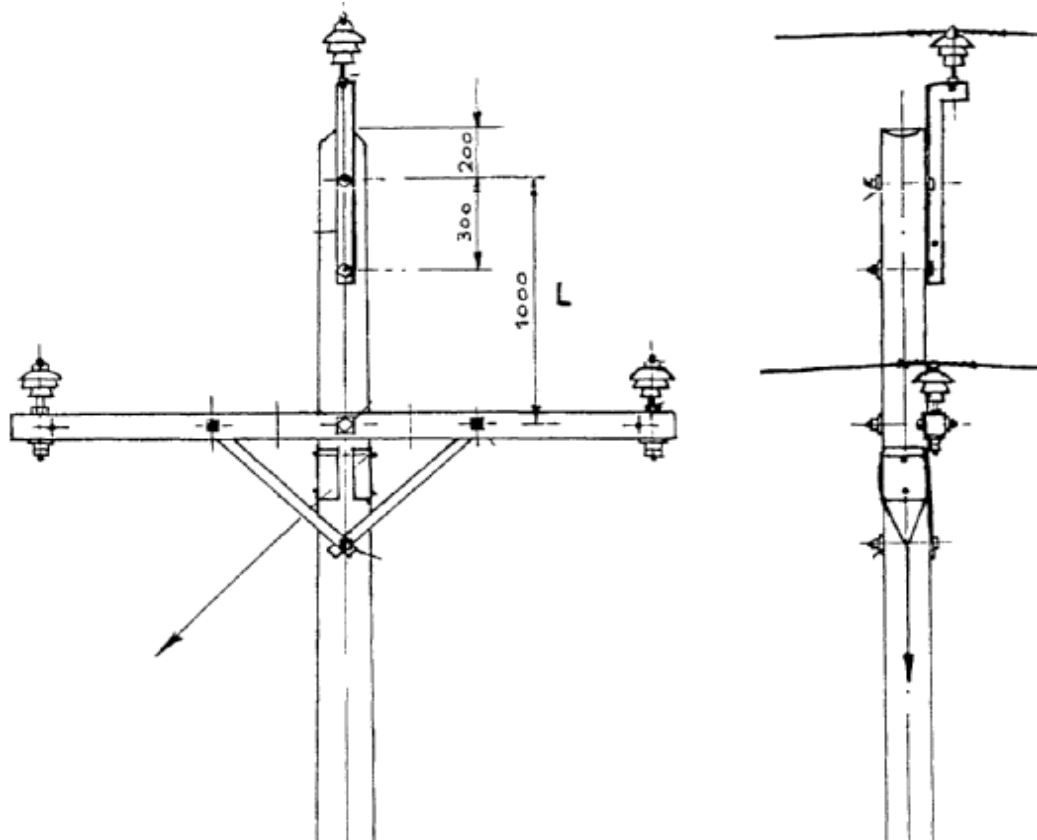
Παρόμοια η P-35 με 2 τραβέρσες
1:μονωτήρας ανάρτησης , 2: θέση αγωγού.

Όταν είμαστε απαιτητικοί σε ασφάλεια και θεωρούμε κλάση κατασκευής A, τότε για την ίδια οριζόντια απόσταση δ επιθυμούμε 2 μονωτήρες ευθυγραμμίας ανά αγωγό και όχι έναν. Τότε υπάρχουν παραλλαγές της P-3 και της P-3B. Όταν έχουμε 2 τραβέρσες αντί για μία, υπάρχει η κατασκευή P-3II και αντίστοιχα η P-3BII. Έχουν την ίδια απόσταση δ αλλά 2 μονωτήρες ανά αγωγό με 2 τραβέρσες αντί μία. Επίσης υπάρχει η κατασκευή P-3A με 1 τραβέρσα αλλά 2 μονωτήρες/αγωγό και αντίστοιχα η P-3AB που φέρει και αυτή σε μία τραβέρσα 2 μονωτήρες/αγωγό. Τις κατασκευές αυτές θα συναντήσουμε σε πόλεις, διασταυρώσεις δρόμων, σιδηροδρομικών γραμμών κ.λπ.

Για περιοχή τιμών ανοιγμάτων (150-200m) η επόμενη βασική κατασκευή είναι η P-3B με μεγαλύτερη οριζόντια απόσταση διαχωρισμού των αγωγών $\delta = 1,15m$



Η επόμενη κατασκευή με $\delta = 1,35m$ φαίνεται πιο κάτω P-3C

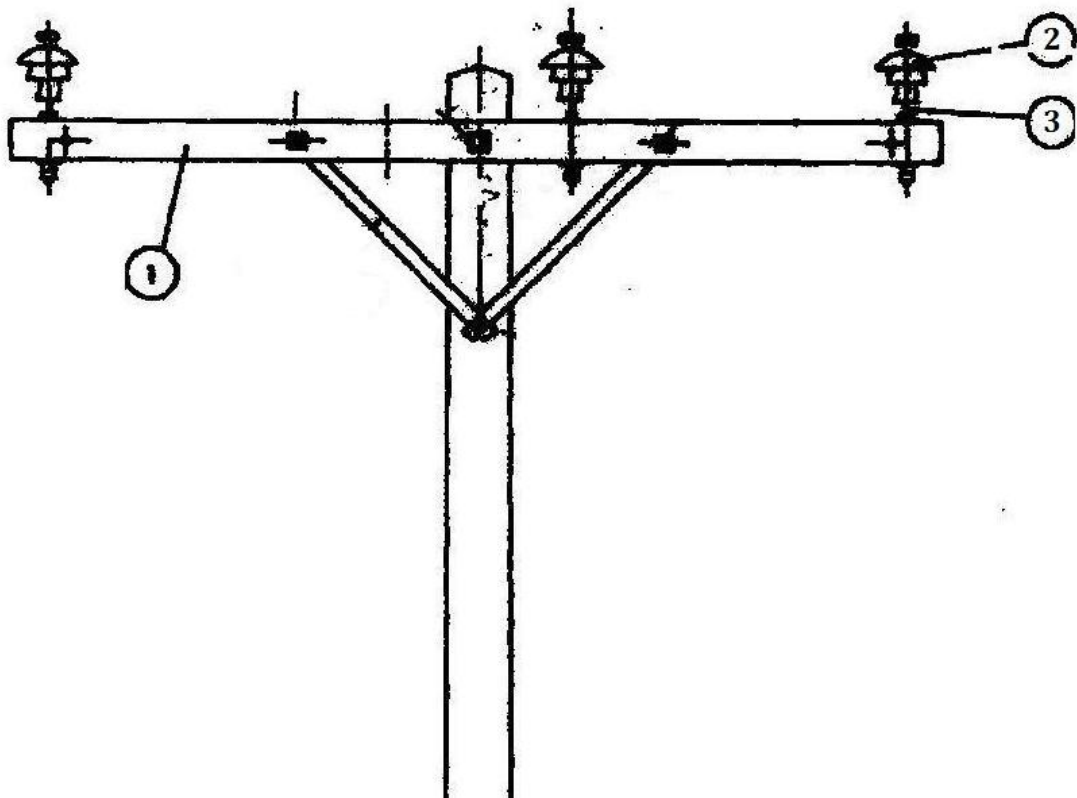


3.4 Τυποποιημένες κατασκευές κορυφής.

Σε προηγούμενο σχήμα έχει παρουσιασθεί η βασική μορφή κατασκευής γραμμής ευθυγραμμίας. Τα κατακόρυφα και εγκάρσια φορτία εκτός από το στύλο καταπονούν όλα τα μέρη της κατασκευής (Βίδες, τραβέρσες, κ.λπ.). Έτσι για κάθε περιοχή τιμών των κατακόρυφων και εγκάρσιων φορτίων έχουν καθορισθεί οι κατασκευές κορυφής μαζί με όλα τα απαιτούμενα υλικά τα οποία αντέχουν τα αντίστοιχα φορτία.

Η πιο συνηθισμένη κατασκευή κορυφής είναι η P-3 για ανοίγματα μέχρι 150-200m ανάλογα με τον αγωγό και την επιφόρτιση με οριζόντια απόσταση διαχωρισμού αγωγών $\delta = 0,9m$

P-3



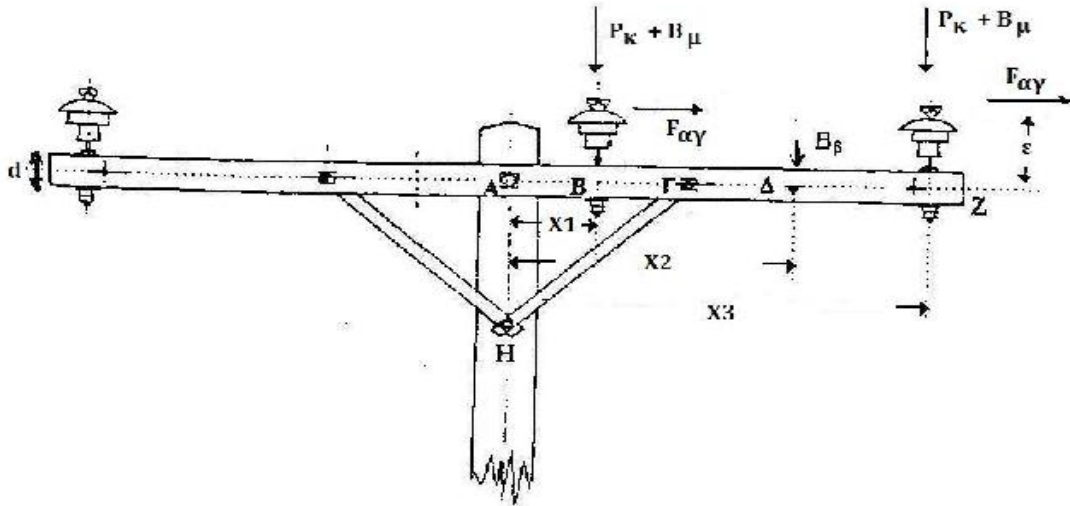
1: Τραβέρσα 2: Μονωτήρας Ευθυγραμμίας 3: Στέλεχος μονωτήρα

Η αντοχή του στηρίγματος του μονωτήρα θεωρείτε 105Kg στην κλάση A και 160Kg στην κλάση B. Γι' αυτό και θα πρέπει να ισχύει και :

$$L \leq \frac{105}{W_E} \text{ για κλάση A, } \quad L \leq \frac{160}{W_E} \text{ για κλάση B}$$

3.5 Υπολογισμός μηχανικής αντοχής βραχίονα.

— Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο βραχίονας (τραβέρσα) της κατασκευής P-3 με σημειωμένα τα κατακόρυφα και εγκάρσια φορτία επί αυτής.



Όπου:

P_K : βάρος αγωγού, B_μ : Βάρος μονωτήρα, ε : ύψος μονωτήρα, B_B : βάρος ημιβραχίονα, d : ύψος βραχίονα, b : πλάτος βραχίονα, $F_{\alpha\gamma}$: εγκάρσια δύναμη ανέμου επί αγωγού.

Αν L είναι το μήκος του βραχίονα, τότε οι αποστάσεις x_1, x_2, x_3 είναι :

$x_1 = 10\text{cm}$, $x_2 = \frac{L}{4}\text{cm}$, $x_3 = \frac{L}{2} - 10\text{cm}$. Θεωρούμε επίσης ότι ο βραχίονας πρέπει να αντέχει το βάρος B_σ ενός συντηρητή στο μήκος $\frac{L}{2}$ από το στύλο. Η δυσμενέστερη πλευρά είναι αυτή με τους 2 μονωτήρες. Όλες οι παραπάνω δυνάμεις ασκούν καμπτική ροπή M στην τραβέρσα, η οποία ισούται με :

$$M = \left[(P_K + B_\mu)x_1 + B_B x_2 + (P_K + B_\mu)x_3 + 2F_{\alpha\gamma}\varepsilon + B_\sigma \frac{L}{2} \right] \text{Kg} \cdot \text{cm}$$

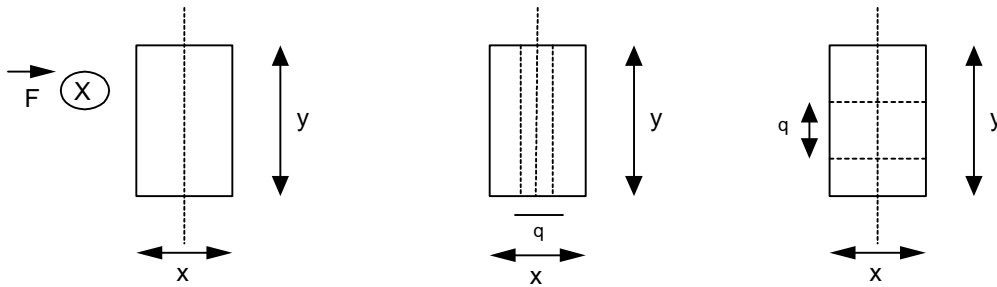
Για λόγους ασφαλείας η μέγιστη δύναμη που αντέχει ο μονωτήρας F_{max} αντικαθιστά τη δύναμη $F_{\alpha\gamma}$ στον παραπάνω τύπο ($F_{max} = 160\text{Kg}$ για κλάση B, 105 για κλάση A)

Όταν μια δύναμη F ασκεί ροπή σε ξυλοδοκό ορθογωνικής διατομής με διαστάσεις x και y (y: παράλληλα στον άξονα περιστροφής) τότε η αντίσταση της δοκού είναι: $W = \frac{1}{6}xy^2$

Αν παράλληλα με τον άξονα περιστροφής υπάρχει οπή διαμέτρου \varnothing , τότε η αντίσταση είναι

$W = \frac{1}{6}y \left(x^2 - \frac{\varnothing^3}{x} \right)$. Αν η διάμετρος \varnothing είναι κάθετος στον άξονα περιστροφών τότε ισχύει

ο πρώτος τύπος με την καθαρή απόσταση $y - \varnothing$



Οι παραπάνω δυνάμεις ασκούν ροπή στην τραβέρσα με άξονα περιστροφής παράλληλο στην διάσταση b και στην οπή q που βρίσκεται ο κοχλίας που συνδέει την τραβέρσα με το στύλο. Συνεπώς η ροπή αντίστασης της τραβέρσας στα κατακόρυφα και εγκάρσια φορτία είναι:

$$W = \frac{1}{6} \cdot b \cdot \left(d^2 - \frac{q^3}{d} \right) = \frac{1}{6} \cdot \frac{b}{d} \cdot (d^3 - q^3)$$

Σε περίπτωση που ο στύλος δεν είναι τερματικός είναι $\sum T_x = 0$ και δεν υπάρχουν διαμήκη φορτία. Σε τερματικό όμως στύλο ή σε στύλο όπου έχουμε αλλαγή της τάσης και γενικά όταν $\sum T_x \neq 0$, υπάρχει διαμήκη επιφόρτιση στο βραχίονα η οποία ασκεί καμπτική ροπή με άξονα περιστροφής παράλληλο στον άξονα d . Η οπή είναι τώρα κάθετη στον άξονα περιστροφής άρα :

$$W = \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot (d - q)$$

Σε κάθε περίπτωση η τάση κάμψης $F = M/W$ θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση του ορίου θραύσης του ξύλου 520 Kg/cm^2 διαιρεμένο με ένα όριο ασφαλείας "k" που ισούται με 2.

Τυποποιημένοι βραχίονες:

1. Βραχίονας μήκους $L = 250 \text{ cm}$, ύψους $d = 10 \text{ cm}$, πλάτους $b = 12 \text{ cm}$, βάρους 24 Kg
2. Βραχίονας μήκους $L = 250 \text{ cm}$, ύψους $d = 12,6 \text{ cm}$, πλάτους $b = 17,6 \text{ cm}$, βάρους 44 Kg
3. Βραχίονας μήκους $L = 350 \text{ cm}$, ύψους $d = 12,6 \text{ cm}$, πλάτους $b = 17,6 \text{ cm}$, βάρους 62 Kg
4. Βραχίονας μήκους $L = 150 \text{ cm}$, ύψους $d = 10 \text{ cm}$, πλάτους $b = 12 \text{ cm}$, βάρους 14 Kg

Οι βραχίονες 2 και 3 ονομάζονται ενισχυμένοι και οι κατασκευές που τους φέρουν έχουν το γράμμα E, π.χ. P-11E, P-3E, κ.λπ. Βάρος μονωτήρα 8Kg. Το ύψος τοποθέτησης του αγωγού από το βραχίονα είναι $\varepsilon = 36,5 \text{ cm}$ στον απλό και 39,3cm στον ενισχυμένο. Με εφαρμογή των παραπάνω, προκύπτει ότι η αντοχή του απλού βραχίονα σε διαμήκη φορτίο είναι 38,71Kg/αγωγό και στον ενισχυμένο 950,57.

Σε κατασκευές 2 βραχιόνων μπορούμε να θεωρήσουμε ότι $W_{ολ} \cong 2,5W$

Ο παρακάτω πίνακας δίνει τις αποστάσεις διαχωρισμού στις κατασκευές:

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΜΤ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ σε m
1	P-103, P-103ΑII	0,8
2	P-3, P-3ΑII	0,9
3	P-3II	0,9
4	P-9IV(1m), P-9II(1m), P-19IV, P-19II	0,9
5	P-3B, P-3AB, P-103B, P-103AB	1,15
6	P-3BII	1,15
7	P-9IV(1,25m), P-9II(1,25m), P-11, P-11B, P-13, P-13A, P-15, P-23, P-25, P-25T, P-27, P-27T, P-29, P-29B, P-41, P-43, P-109IV, P-109II, P-113, P-113B, P-115, P-123, P-125, P-127, P-127T, P-129, P-129A, P-129B, P-141	1,15
8	P-17	1,25
9	P-17II	1,25
10	P-19B	1,25
11	P-3C, P-103C, P-13C	1,35
12	P-31, P-31E, P-31II	1,56
13	P-3CII, P-103CII	1,56
14	P-9IV(1,50m), P-9II(1,50m), P-13C, P-35, P-37, P-35E, P-37E, P-113C	1,56

Ροπή αντίστασης για τις διαστάσεις του συγκεκριμένου βραχίονα:

$$W = \frac{(10^3 - 2,2^3) \cdot 12}{6 \cdot 10} \cong 198$$

Άρα τάση κάμψης.

$$f = \frac{M}{W} = \frac{28430}{198} = 144 \text{ Kg/cm}^2 < \frac{\sigma_{\theta}}{2} = \frac{520}{2} = 260 \text{ Kg/cm}^2$$

Άρα αρκεί βραχίονας τύπου 1

Όμοια για το στύλο Β είναι ($P_K = 31 \text{Kg}$):

$$M = (31 + 8)25 + 12 \cdot 62,5 + (31 + 8)115 + 100 \cdot 125 + 2 \cdot 160 \cdot 36,5 = 30390 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

Τάση κάμψης: $f = \frac{M}{W} = \frac{30390}{198} = 153,5 \text{ Kg/cm}^2$ αρκεί.

Για το στύλο Γ ($P_K = 19,35 \text{Kg}$):

$$M = (19,35 + 8)25 + 12 \cdot 62,5 + (19,35 + 8)115 + 100 \cdot 125 + 2 \cdot 160 \cdot 36,5 = 31015 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

Τάση κάμψης: $f = \frac{M}{W} = \frac{31015}{198} = 157 \text{ Kg/cm}^2$ αρκεί βραχίονας τύπου 1.

Καμπτική ροπή στον διαμήκη άξονα δεν υπάρχει γιατί ως στύλος ευθυγραμμίας $\sum T_x \cong 0$

® Να υπολογισθεί η απαιτούμενη απόσταση διαχωρισμού των αγωγών του παραδείγματος B3 και να προσδιορισθεί ο βραχίονας κορυφής.

Δίνεται $T_A = 374 \text{ Kg}$, $BA = 125 \text{ m}$, $W_A = 0,225 \text{ Kg/m}$

Οριζόντια απόσταση διαχωρισμού από το βέλος στους 16°C :

$$d_A = \frac{W_A \cdot (BA)^2}{8 \cdot 374} = 1,17 \text{ m}$$

$$\delta = 0,5\sqrt{1,17} + 0,01 \cdot 20 = 0,74 \text{ m}$$

Από τον προηγούμενο πίνακα βλέπουμε ότι η P-3 αρχικά ικανοποιεί τη συνθήκη της απαιτούμενης απόστασης διαχωρισμού των αγωγών.

Για το στύλο A έχει υπολογισθεί $P_{KA} = 49,9 \text{ kg}$

Επιλέγουμε βραχίονα τύπου 1

Όπως και πριν προκύπτει $M = 33050 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$

Η ροπή απόστασης είναι $W = 198$.Άρα Τάση κάμψης.

$$f = \frac{M}{W} = \frac{33050}{198} = 167 \text{ Kg/cm}^2 < 260 \text{ Kg/cm}^2$$

Άρα βραχίονας 1 αρκεί.

Για το στύλο Γ $P_{KG} = 268 \text{ Kg}$

Για βραχίονα τύπου 1 είναι: $M = 63570 \text{ Kg/cm}^2$

Άρα τάση κάμψης:

$$f = \frac{M}{W} = \frac{63570}{198} = 321 \text{ Kg/cm}^2 > 260 \text{ Kg/cm}^2$$

Άρα βραχίονας τύπου 1 δεν αρκεί.

Έχουμε τις εξής επιλογές:

- 1) Να τοποθετηθούν 2 βραχίονες τύπου 1, δηλαδή κατασκευή P-3II. Τότε ο κάθε βραχίονας θα πάρει το μισό βάρος του αγωγού , δηλαδή;

$$P_K = \frac{P_K}{2} = 134 \text{ Kg}$$

Τότε προκύπτει $M = 44810 \text{ Kg/cm}^2$

$$f = \frac{M}{W} = \frac{44810}{198} = 226 \text{ Kg/cm}^2 < 260 \text{ Kg/cm}^2$$

Άρα 2 βραχίονες τύπου 1 (P-3II)

- 2) Να επιλεγεί βραχίονας τύπου 2. Έχει το ίδιο μήκος με τον προηγούμενο άρα οι αποστάσεις x_1, x_2, x_3 δεν αλλάζουν.

$$M = (268 + 8)25 + 22 \cdot 62,5 + (268 + 8)115 + 100 \cdot 125 + 2 \cdot 160 \cdot 39,3 = 65091 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

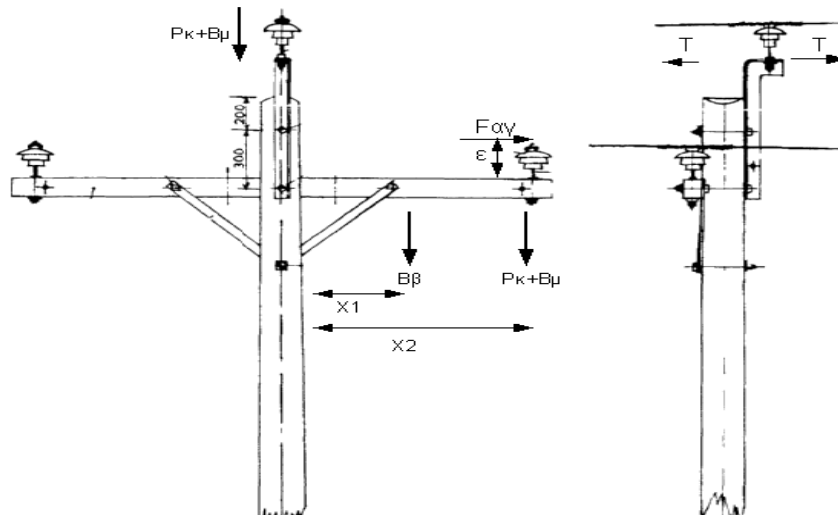
Ροπή αντίστασης: $W = \frac{(12,6^3 - 2,2^3) \cdot 17,6}{6 \cdot 12,6} = 463$ (ροπή αντίστασης βραχίονα 2 σε κατασκευή P-3) άρα τάση κάμψης.

$$f = \frac{M}{W} = \frac{65091}{463} = 140 \text{ Kg/cm}^2 < 260 \text{ Kg/cm}^2$$

Άρα κατασκευή P-3^E αποδεκτή

- 3) Κατασκευή τύπου P-3B με απλό βραχίονα τύπου 1.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα κατακόρυφα φορτία που καταπονούν το βραχίονα στην κατασκευή P-3.



Ροπή ασκούν τα φορτία ($P_K + B_\mu$) στην απόσταση $x_2 = L/2 \text{ (cm)} - 10\text{cm} = 115\text{cm}$ και το βάρος B_β του ημιβραχίονα στη θέση $L/4 \text{ (cm)} = 62,5\text{cm} = x_2$ και το μέγιστο εγκάρσιο φορτίο που αντέχει ο μονωτήρας, 160 Kg.

Έτσι η ροπή κάμψης είναι;

$$M = (268 + 8)115 + 22 \cdot 62,5 + 100 \cdot 125 + 160 \cdot 36,5 = 50830 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

Ροπή αντίστασης βραχίονα 1 σε κατακόρυφο φορτίο $W = 198$ άρα τάση κάμψης:

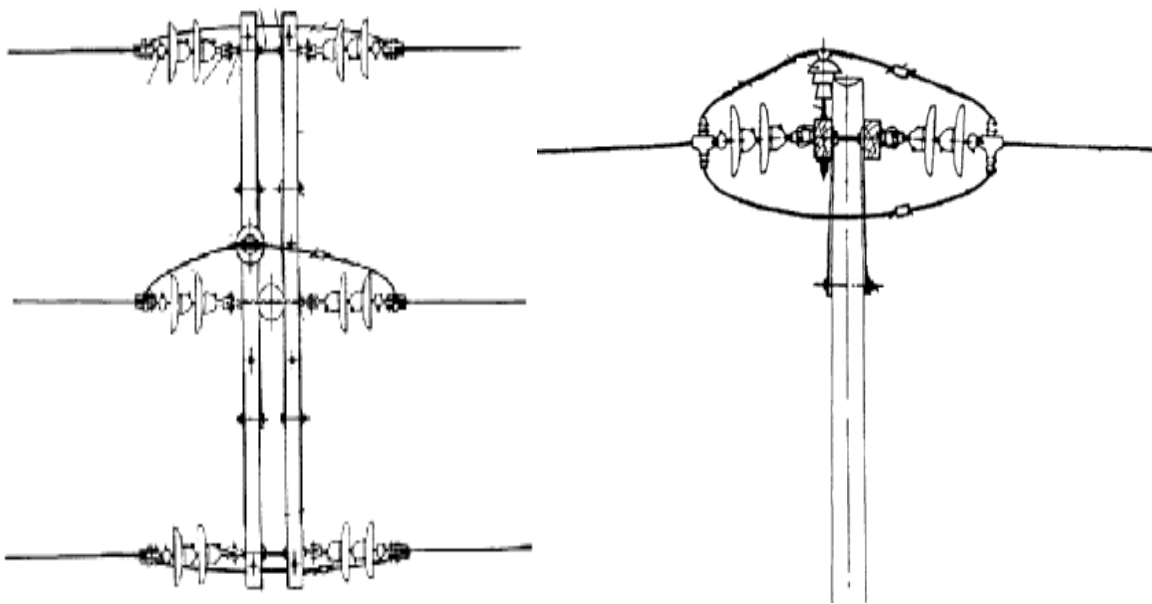
$$f = 256,7 \text{ Kg/cm}^2 < 260 \text{ Kg/cm}^2$$

Άρα κατασκευή P-3E αποδεκτή.

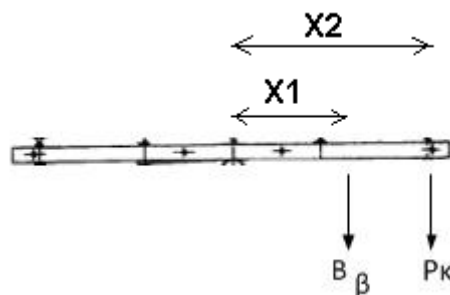
Ροπή κάμψης στο διαμήκη άξονα δεν υπάρχει διότι είναι στύλος ευθυγραμμίας με αγωγούς σε ευθεία άρα $\sum T_x = 0$ (όπως φαίνεται και στο σχήμα). Αυτή είναι και η πιο οικονομική επιλογή.

Για το στύλο Β. Επειδή $x_{1BG} < 0$, το βέλος του τμήματος ΒΓ είναι αριστερά του στύλου Β. Τα διαμήκη φορτία είναι όπως φαίνονται στο σχήμα.

Δηλαδή στο βραχίονα του στύλου Β είναι $\sum T_x \cong 2T$ (η τάνυση του τμήματος ΑΒ και η τάνυση του τμήματος ΒΓ είναι θεωρητικά δεξιά του σημείου του βέλους). Επειδή όπως έχουμε αποδείξει $T_{ολ} \cong T_x$, θεωρούμε τις δύο δυνάμεις στον οριζόντιο άξονα, γι' αυτό $\sum T_x \cong 2T = 2f$. Ο στύλος Β δεν μπορεί να φέρει κατασκευή ευθυγραμμίας, αλλά κατασκευή διπλού τερματισμού, δηλαδή η γραμμή θα τερματίζει από τις δύο πλευρές με μονωτήρες τέρματος και θα είναι γενικά της μορφής Ρ-13. Γι' αυτό και απαιτείται επίτονο τουλάχιστον προς την πλευρά του στύλου Γ.



Όπως φαίνεται στο σχήμα, αποτελείται από 2 βραχίονες και οι μόνες κατακόρυφες δυνάμεις που ασκούν καμπτική ροπή είναι οι P_{KB} και B_β (και φυσικά το βάρος B_σ ενός συντηρητή) στις θέσεις x_2 και x_1 αντίστοιχα (και στη θέση $L/2$)



Έστω ένας βραχίονας τύπου 1: τότε $B_\beta = 12Kg$, $x_1 = 62,5cm$, $x_2 = 115cm$, $L/2 = 125cm$
 Καμπτική ροπή:

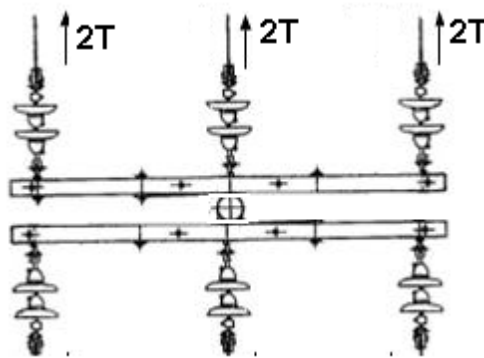
$$M = P_{KB} x_2 + B_\beta x_1 + B_\sigma \frac{L}{2} = 22,46 \cdot 115 + 12 \cdot 62,5 + 100 \cdot 125 = 15833 Kg \cdot cm$$

Ροπή αντίστασης βραχίονα 1: $W = 198$

Συνολική ροπή αντίστασης 2 βραχιόνων : $W' = 2,5W = 495$

Τάση κάμψης στον κατακόρυφο άξονα : $f = M/W' = 32 < 260 Kg/cm^2$

Έχουμε όμως συνολικό διαμήκης φορτίο $2T$ όπως φαίνεται παρακάτω:



Καμπτική ροπή : $M = 2T \cdot x_2$ (Μπορούμε να θεωρήσουμε και μια δύναμη F_α λόγω της πλευσης του ανέμου στο βραχίονα, είναι όμως πολύ πιο μικρή από $2T$ και αμελείται)

$$M = 2 \cdot 960 \cdot 115 = 220800 Kg \cdot cm$$

Για βραχίονα τύπου 1: Ροπή αντίστασης:

$$W = \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot (d - q) = \frac{1}{6} \cdot 12^2 \cdot (10 - 2,2) = 187,2 cm^3$$

Για 2 βραχίονες : $W' = 2,5W = 468$

Τάση κάμψης : $f = M/W' = 220800/468 = 471 > 260 Kg/cm^2$

Για βραχίονα τύπου 2 : Ροπή αντίστασης:

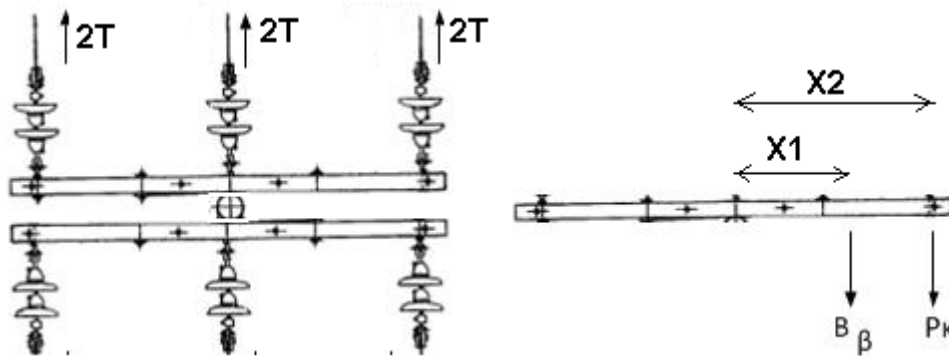
$$W = \frac{1}{6} \cdot 17,6^2 \cdot (12,6 - 2,2) = 537 cm^3$$

Για 2 βραχίονες : $W' = 2,5W = 1342,5$

Τάση κάμψης : $f = M/W' = 164,5 < 260 Kg/cm^2$

Άρα η κατασκευή θα αποτελείται από 2 βραχίονες τύπου 2 (P-13^E)

Ο στύλος E είναι τερματικός. Η κατασκευή κορυφής θα είναι της μορφής P-11. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα κατακόρυφα και διαμήκη φορτία.



Έχει υπολογισθεί $P_{KE} = 13,45 \text{ Kg/αγωγό}$. Επιλέγουμε βραχίονα απλό (τύπου 1). Τότε η απόσταση x_2 είναι $x_2 = \frac{L}{2} - 10 \text{ cm} = 125 - 10 = 115 \text{ cm}$. Η απόσταση x_1 είναι $x_1 = \frac{L}{4}$ (το βάρος B_β του ημιβραχίονα στο μισό μήκος του ημιβραχίονα) δηλαδή $x_1 = 62,5 \text{ cm}$. Θεωρούμε επίσης το βάρος $B_\sigma = 100 \text{ Kg}$ ενός συντηρητή στην άκρη του ημιβραχίονα, δηλαδή σε απόσταση $\frac{L}{2} = 125 \text{ cm}$ από το κέντρο.

Άρα καμπτική ροπή

$$M = P_K x_2 + B_\beta x_1 + B_\sigma \frac{L}{2} = 13,45 \cdot 115 + 12 \cdot 62,5 + 100 \cdot 125 = 14796,75 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

Αντίσταση δοκών στον κατακόρυφο άξονα $W' = 495 \text{ cm}^2$

Άρα τάση κάμψης: $f = M/W' = 14796,75/495 = 30 \text{ Kg/cm}^2 < 520/2 \text{ Kg/cm}^2$

Υπάρχει καμπτική ροπή στον διαμήκη άξονα, αφού $\sum T_x = T$ και η οποία ασκείται μόνο από τον ακριανό αγωγό στη θέση x_2 . Άρα :

$$M = T \cdot x_2 = 960 \cdot 115 = 110400 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

Αντίσταση δοκού στον διαμήκη άξονα :

$$W = \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot (d - q) = \frac{1}{6} \cdot 12^2 \cdot (10 - 2,2) = 187,2 \text{ cm}^3$$

Για 2 δοκούς : $W' = 2,5W = 468$

Άρα τάση κάμψης: $f = M/W' = 110400/468 = 236 \text{ Kg/cm}^2 < 520/2 \text{ Kg/cm}^2$

Αρκεί κατασκευή με βραχίονα τύπου 1 (P-11). Επειδή είναι οριακά, γενικά σε αγωγούς 35 mm^2 έχει επικρατήσει η κατασκευή με βραχίονες τύπου 2 (P-11E). Για το στύλο Δ, ισχύει ότι και για το στύλο Β. Καταλήγουμε σε κατασκευή P-13E. Σε αγωγούς 16 mm^2 αρκεί η κατασκευή P-13 για τις περιπτώσεις αρνητικών κατακόρυφων ανοιγμάτων. Σε αγωγούς 35 mm^2 αρκεί η κατασκευή P-13E μέχρι βασικά ανοίγματα 175m. Για πιο μεγάλα υπάρχει η P-13CE.

Βιβλιογραφία

- 1) Ν. Σιαμήτρου, Σημειώσεις μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, Έκδοση Ν. Σιαμήτρου, 1976
- 2) Κ. Λαμπρόπουλου, Μελέτη ηλεκτρικών δικτύων διανομής, Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, 2002
- 3) Π. Ντοκόπουλου, Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις μέσης και χαμηλής τάσης, Εκδόσεις Ζήτη, 2005.