

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΚΤΥΩΝ
ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ**

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΖΕΥΓΙΤΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΙΑΜΑΝΤΑΚΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΠΑΤΡΑ - 2018

Copyright © Ζευγίτης Χρήστος 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του ΑΤΕΙ Πάτρας.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ:

Από την ανακάλυψη του ηλεκτρισμού, και καθώς έγινε σημαντικός για σχεδόν ότι αφορά την καθημερινότητα μας, η ανθρωπότητα είχε να αντιμετωπίσει μεγάλα προβλήματα. Το μεγαλύτερο το οποίο κάνει τη ζωή όλων δυσκολότερη, από πολλές πλευρές, ήταν και είναι το πώς θα παράγουμε ενέργεια, καθώς και η ανεύρεση των πηγών της. Αυτό, όμως, δεν ήταν το μόνο θέμα. Ο ηλεκτρισμός άλλαξε τη ζωή μας, αλλά πρώτα έπρεπε να βρούμε ένα τρόπο να διανείμουμε την ηλεκτρική ενέργεια σε κάθε σπίτι.

Στην Ελλάδα, υπεύθυνη γι' αυτή τη δύσκολη δουλειά ήταν η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ). Το 2005, η ΔΕΗ έδωσε τις αρμοδιότητες της μεταφοράς και διανομής ενέργειας σε έναν ανεξάρτητο οργανισμό, μαζί με το ίδιο το δίκτυο, το οποίο μέχρι τότε της ανήκε. Μερικά χρόνια αργότερα, ιδρύθηκε ο ΔΕΔΔΗΕ, ο οποίος ήταν πλέον υπεύθυνος για την κατασκευή και συντήρηση των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η δουλειά είναι βασισμένη σε αυστηρά πλαίσια και διαδικασίες γνωμοδοτούμενες από τη ΔΕΗ, η οποία ήταν άκρως πεπειραμένη σε αυτό τον τομέα. Κάθε κίνηση στην όλη διαδικασία είναι τυποποιημένη (υλικά, κατασκευές, όρια ασφαλείας κλπ.), ώστε να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία του δικτύου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Αυτή η εργασία έχει σκοπό να σας παρουσιάσει τη μηχανολογική μελέτη των δικτύων διανομής. Ειδικότερα γίνεται λόγος για τις δυνάμεις που καταπονούν τα δίκτυα καθόλη τη διάρκεια του έτους. Επιπλέον, αναφερόμαστε στην αντοχή των ξύλινων στήλων που αποτελούν την καρδιά του συστήματος διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, γίνεται μία προσπάθεια παρουσίασης της θεμελίωσης των στήλων και παρατίθενται μία σειρά από πληροφορίες για τους επίτονους και τις αντηρίδες.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Τάνυση, Αντοχή σε Θλίψη, Αγωγοί, Λυγισμός, Ξύλινοι Στύλοι

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Δυνάμεις που καταπονούν τα δίκτυα-εισαγωγή.....σελ.5	
1.1 Μηχανική Επιφόρτιση των δικτύων.....σελ.7	
2. Αντοχή Αγωγών Σε Κάμψη.....σελ.9	
2.1 Τάνυση των αγωγών.....σελ.9	
2.2 Βασικό Άνοιγμα μεταξύ των αγωγών.....σελ.16	
2.2.1 Οριζόντια-Ισοϋπή ανάρτηση.....σελ.17	
2.2.2 Λοξή ανάρτηση.....σελ.18	
2.2.3 Εξίσωση κατάστασης ενός αναρτημένου αγωγού.....σελ.20	
2.2.4 Πρόσθετο φορτίο πάγου επί των γραμμών και η επιφόρτιση που προκαλεί στους αγωγούς.....σελ.20	
2.3 Καμπύλη των αγωγών-βέλος κάμψης.....σελ.24	
2.4 Εικόνες με ελάχιστες αποστάσεις δικτύων.....σελ.26	
2.5 Καμπύλες τανύσεως αγωγών.....σελ.28	
3. Μηχανική αντοχή ξύλινων στήλων.....σελ.32	
3.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ξύλινων Στήλων.....σελ.32	
3.2 Προδιαγραφές Ξύλινων Στήλων-Συντελεστές Ασφαλείας.....σελ.38	
3.2.1 Ξύλινοι Βραχίονες-Τραβέρσες.....σελ.40	
3.2.2 Μονωτήρες.....σελ.40	
3.3 Αντοχή Στήλων σε Λυγισμό.....σελ.41	
3.3.1 Λυγισμός σε Στύλους Ευθυγραμμίας.....σελ.41	
3.3.2 Λυγισμός σε Στύλους απλού τέρματος ή γωνίας με επίτονο..σελ.43	
3.3.3 Λυγισμός σε Στύλους διπλού τέρματος με επ/νους σε γωνία.σελ.43	
3.4 Αντοχή στύλων σε θραύση.....σελ.45	
3.4.1 Θραύση Αυτοστήρικτων Στύλων.....σελ.45	
3.4.2 Θραύση Στύλων Ευθυγραμμίας.....σελ.45	
4. Θεμελίωση Ξύλινων Στύλων.....σελ.47	
4.1 Στύλοι ΜΤ/ΧΤ.....σελ.47	
4.2 Επίτονοι-Αντηρίδες.....σελ.52	
5. Το παράδειγμα της Μυκόνου.....σελ.53	
5.1 Μέτρηση Φορτιών Αέρα.....σελ.53	
5.2 Υπολογισμοί.....σελ.55	
Συμπεράσματα.....σελ.58	
Βιβλιογραφία.....σελ.59	

1. ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΚΑΤΑΠΟΝΟΥΝ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ-ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

Γενικά:

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι η ενέργεια που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα, που αναφέρεται στην προσανατολισμένη κίνηση των κινούμενων ηλεκτρονίων (ηλεκτρικό ρεύμα), λόγω της ύπαρξης διαφοράς δυναμικού στα άκρα ενός αγωγού. Η ηλεκτρική ενέργεια είναι πολύ σημαντική για τον άνθρωπο, επειδή μπορεί εύκολα και με μικρό κόστος να μετατραπεί σε άλλη μορφή ενέργειας. Υπάρχουν πολλοί τρόποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι κυριότεροι είναι είτε μέσω θερμικών σταθμών παραγωγής με την καύση διαφόρων ουσιών (λιγνίτης, πετρέλαιο, κάρβουνο), είτε μέσω πυρηνικών εργοστασίων, είτε μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.) ηλιακά πάρκα, υδροηλεκτρικά φράγματα και αιολικά πάρκα. Τα τελευταία 20 χρόνια γίνονται έντονες προσπάθειες αύξησης του ποσοστού ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται με τη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.). Το μεγάλο μειονέκτημα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η δύσκολη, σχεδόν αδύνατη μακροχρόνια αποθήκευσή της. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να καταναλώνεται ταυτόχρονα με την παραγωγή της ή να αποθηκεύεται αφού πρώτα μετατραπεί σε άλλες μορφές ενέργειας (π.χ. χημική, δυναμική κ.λ.π.). Η ανάγκη άμεσης κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας έχει οδηγήσει στην κατασκευή ενός παγκόσμιου πλέγματος ηλεκτρικών δικτύων, έτσι ώστε να μπορεί να μεταφέρεται εύκολα, από το σημείο παραγωγής της, στο σημείο κατανάλωσης.

Στη συγκεκριμένη εργασία έγινε εκτενής προσπάθεια να συγκεντρωθούν όλοι οι κανόνες που βρίσκονται διάσπαρτοι στα εγχειρίδια του ΔΕΔΔΗΕ και της ΔΕΗ και αφορούν τη μηχανική καταπόνηση των δικτύων, τα μηχανικά χαρακτηριστικά των αγωγών και ταλανίζουν κατά καιρούς τους τεχνικούς οι οποίοι καλούνται να προσαρμόσουν σε διαφορετικές συνθήκες μία σειρά από νόμους της Κλασικής Μηχανικής.

Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας:

Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας καλείται το σύνολο των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε εξυπηρετούμενες περιοχές κατανάλωσης. Βασικές προϋποθέσεις καλής λειτουργίας ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια οπουδήποτε υπάρχει ζήτηση με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τις ελάχιστες οικολογικές επιπτώσεις, εξασφαλίζοντας σταθερή συχνότητα, σταθερή τάση και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης. Η τροφοδότηση των καταναλωτών με ηλεκτρική ενέργεια προϋποθέτει τρεις ξεχωριστές λειτουργίες του συστήματος: την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή. Συνεπώς, τα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν γενικά να διακριθούν στα ακόλουθα τμήματα :

1. Τους Σταθμούς Παραγωγής

2. Τα Δίκτυα Μεταφοράς

3. Τα Δίκτυα Διανομής (ΔΔ)

Λόγω του ότι η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί, πρέπει να παράγεται ακριβώς την στιγμή που χρειάζεται να καταναλωθεί. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής: παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια στους σταθμούς 12 παραγωγής και μέσω του δικτύου μεταφοράς μεταφέρεται με τις γραμμές υψηλής και υπερυψηλής τάσης στα κεντρικά σημεία του δικτύου, τους υποσταθμούς. Από τους υποσταθμούς εκκινούν τα δίκτυα διανομής μέσης τάσης που διανέμουν την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές μέσω των υποσταθμών διανομής και των γραμμών χαμηλής τάσης 400/230V.

Ο προορισμός των δικτύων διανομής είναι να παραλαμβάνουν το ρεύμα από τους υποσταθμούς υψηλής προς μέση τάση (Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ), ή τους σταθμούς τοπικής παραγωγής (ΣΤΠ) και να το μεταφέρουν μέχρι τους μετρητές των καταναλωτών-πελατών. Ξεκινώντας, κάνουμε μία επισκόπηση στις έννοιες-ορολογίες των δικτύων διανομής. Έτσι, σε γενική περίπτωση το δίκτυο αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία.

Δίκτυο Μέσης Τάσης (ΜΤ-20-15-6,6 kV)

- Εναέρια Δίκτυα Μέσης Τάσης
- Συνεστραμμένα Καλώδια (ΣΚ ΜΤ)
- Υπόγεια Καλώδια ΜΤ

Μετασχηματιστές Μέσης Προς Χαμηλή Τάση (ΜΤ/ΧΤ)

Η λειτουργία των εν' λόγω μετασχηματιστών είναι κομβική για τη λειτουργία του δικτύου διανομής, αφού, μετασχηματίζουν το εναλλασσόμενο ρεύμα ΜΤ σε ρεύμα ΧΤ. Γενικά είναι μετασχηματιστές ισχύος με σχέση μετασχηματισμού 20/0,4 kV ή 20-15/0,4 kV ή 15/0,4 kV σε συνδεσμολογία τριγώνου-αστέρα.

Δίκτυα Χαμηλής Τάσης

Παλιότερα τυποποιημένη τάση ήταν 380 V μεταξύ φάσεων και 220 V μεταξύ φάσης και ουδέτερου, ενώ σήμερα είναι 400 V και 230 V αντίστοιχα, στα πρότυπα της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ).

Παροχές:

Οι παροχές γενικά είναι από συγκεντρικά καλώδια τύπου BUTYL-NEOPREN και σε περίπτωση ανεπάρκειας υπόγεια καλώδια XLPE. Στους πελάτες- καταναλωτές Χαμηλής Τάσης είναι το καλώδιο από το στύλο του εναέριου δικτύου μέχρι το μετρητή ή μέχρι το μπαροκιβώτιο της διάταξης, ή από το σημείο διακλάδωσης του υπόγειου δικτύου μέχρι το μετρητή ή το μπαροκιβώτιο.

Μελέτη Δικτύου:

Στόχος μιας μελέτης δικτύου είναι η τεχνικά επαρκής διαχρονική λύση με το μικρότερο κόστος και, βέβαια τη μικρότερη αισθητική επιβάρυνση. Όταν, λοιπόν, μιλάμε για μελέτη ενός δικτύου, αναφερόμαστε σε όλα εκείνα τα στοιχεία που πρέπει να μελετήσουμε, έτσι ώστε το δίκτυο που θα κατασκευαστεί να παρέχει τη δυνατότητα απρόσκοπτης τροφοδότησης των ηλεκτρικών φορτίων που μας δίνονται ή

πρέπει να εκτιμήσουμε, σε βάθος χρόνου περίπου 30 ετών. Να σημειωθεί ότι η πραγματική διάρκεια ζωής ενός δικτύου που συντηρείται σωστά μπορεί να υπερβεί τα 50 χρόνια.

Μηχανική Μελέτη-Αντοχή:

Η μηχανική σχεδίαση των εναέριων γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας υπόκειται σε ορισμένους κανόνες, οι οποίοι εξασφαλίζουν το απρόσιτο των αγωγών για το κοινό, αποβλέποντας στην ασφάλειά του. Οι βασικότερες απαιτήσεις της μηχανικής σχεδίασεως των γραμμών αφορούν στις ελάχιστες αποστάσεις των αγωγών από το έδαφος και από γειτονικά κτίσματα και τη μηχανική αντοχή των αγωγών, των μονωτήρων και των φορέων. Οι μηχανικές δυνάμεις, οι οποίες καταπονούν τις γραμμές, είναι το βάρος των αγωγών, η δύναμη του ανέμου και πιθανώς το βάρος του πάγου, ο οποίος σχηματίζεται από το χιόνι. Βάσει των δυνάμεων αυτών, υπολογίζεται τόσο η καταπόνηση και, συνεπώς, η μηχανική αντοχή αγωγών και στηριγμάτων, όσο και η καμπύλη των αγωγών στο χώρο και οι αποστάσεις τους από το έδαφος. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται ορισμένα κατασκευαστικά στοιχεία των εναέριων δικτύων και οι δυνάμεις που επιδρούν στα διάφορα υλικά τους.

1.1 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΙΦΟΡΤΙΣΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Πολλές φορές παρατηρείται ένα στρώμα χιονιού ή πάχνης πάνω στους αγωγούς ιδιαίτερα όταν έχει χαμηλές θερμοκρασίες. Αυτό το γεγονός έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του συνολικού βάρους του αγωγού ανά μονάδα μήκους. Επιπλέον ο αγωγός δέχεται αυξημένη δύναμη όταν φυσάει, λόγω της αυξημένης διατομής του. Έτσι, οι αγωγοί δέχονται δυνάμεις επιφόρτισης από:

- το βάρος τους,
- το πάγο που καλύπτει την επιφάνεια τους,
- την πίεση που δρα οριζόντια ως προς το έδαφος πάνω στον αγωγό.

Στη χώρα μας ο Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) υπολογίζει το βάρος του πάγου με ακτίνα μέχρι 14 cm. Η συνολική επιφόρτιση του αγωγού είναι η συνισταμένη των τριών επιφορτίσεων, όπως φαίνεται στο σχήμα .



Όταν σχεδιάζεται ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας οι φορείς του (στύλοι, μονωτήρες, βραχίονες κλπ.) πρέπει να αντέχουν τις επιφορτίσεις των αγωγών. Γι' αυτό στη μελέτη πρέπει να λαμβάνεται υπόψην ό,τι οι επιφορτίσεις είναι ιδιαίτερα μεγάλες στις γωνίες και τα τέρματα.

Για να καθοριστεί η επιφόρτιση σε κάθε περιοχή λαμβάνεται ως κριτήριο οι καιρικές συνθήκες. Έτσι οι επιφορτίσεις διακρίνονται σε 3 κατηγορίες: βαρεία, μέση ή κανονική και ελαφρά επιφόρτιση. Στη χώρα μας οι μελέτες που γίνονται θεωρούν ότι η επιφόρτιση των αγωγών είναι μέση.

Βαρεία επιφόρτιση είναι η οριζόντια πίεση του ανέμου ίση με 20 kg/m^2 ασκούμενη κάθετα στη διεύθυνση της γραμμής επί του επιβαλλόμενου εμβαδού των κυλινδρικών επιφανειών όλων των φερόμενων αγωγών και συρμάτων ανάρτησης όταν είναι καλυμμένα με στρώμα πάχους 13 mm κατά την ακτίνα και επί των επιφανειών των στύλων και πύργων χωρίς επίστρωση πάγου.

Μέση επιφόρτιση είναι η οριζόντια πίεση του ανέμου ίση με 20 kg/m^2 ασκούμενη κάθετα στη διεύθυνση της γραμμής επί του προβαλλόμενου εμβαδού των κυλινδρικών επιφανειών όλων των φερόμενων αγωγών και συρμάτων ανάρτησης όταν είναι καλυμμένα με στρώμα πάχους $6,5 \text{ mm}$ κατά την ακτίνα και επί των επιφανειών των στύλων και πύργων χωρίς επίστρωση πάγου.

Ελαφριά επιφόρτιση είναι η οριζόντια πίεση του ανέμου ίση με 44 kg/m^2 ασκούμενη κάθετα στη διεύθυνση της γραμμής επί του προβαλλόμενου εμβαδού των κυλινδρικών επιφανειών όλων των φερόμενων αγωγών και συρμάτων ανάρτησης, στύλων και πύργων χωρίς επίστρωση πάγου.

Πιο συγκεκριμένα, η σωστή επιλογή της επιφόρτισης γίνεται με τα παρακάτω κριτήρια:

- Ελαφρά: Ειδικότερα η ελαφρά επιφόρτιση πρέπει να εφαρμόζεται στην αιγιάλεια ζώνη και στην πεδινή ενδοχώρα μέχρις υψομέτρου 300 μέτρων.
- Μέση ή κανονική: Εφαρμόζεται σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις που δεν έχουμε ιδιαίτερα καιρικά προβλήματα.
- Βαριά: Εφαρμόζεται σε περιοχές με χαμηλές θερμοκρασίες και μεγάλες χιονοπτώσεις.
- Υπερβαριά: Εφαρμόζεται μόνο για αγωγούς 35 και 95 ACSR , όπως και σε συνεστραμμένα καλώδια Μέσης Τάσης.
- EB/20: Εφαρμόζεται σε πολύ δυσμενείς καιρικές συνθήκες με εξαιρετικά μεγάλες χιονοπτώσεις σε μεγάλα υψόμετρα. Κύρια εφαρμογή βρίσκεται σε αγωγούς 95 ACSR .
- EB/40: Σε αυτήν την περίπτωση έχουμε πολύ δυσμενείς καιρικές συνθήκες με εξαιρετικά μεγάλες χιονοπτώσεις σε μεγάλα υψόμετρα.
- EB/60: Συνθήκες ακόμη δυσμενέστερες και ακραία καιρικά φαινόμενα.

Από αυτές που αναφέρθηκαν στα δίκτυα χαμηλής τάσης εφαρμόζονται μόνο οι φορτίσεις Ελαφρά, Μέση και Βαριά.

2. ΑΝΤΟΧΗ ΑΓΩΓΩΝ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

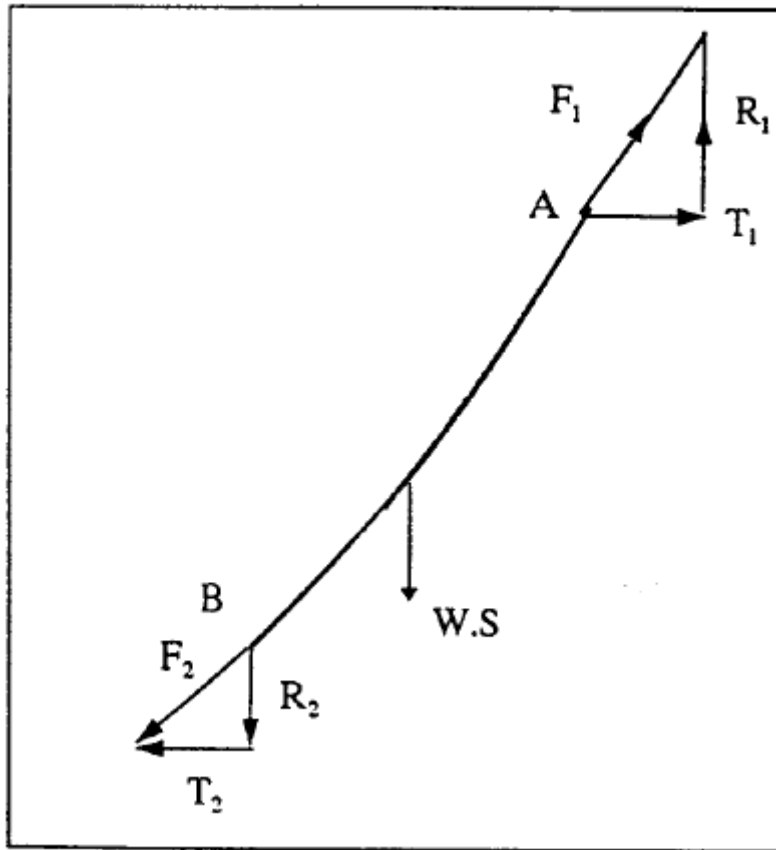
2.1 ΤΑΝΥΣΗ ΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Θεωρούμε έναν αγωγό που στηρίζεται μόνο στα δύο άκρα του που δεν είναι κατ'ανάγκη ισοϋψή. Δεχόμαστε ότι ο αγωγός έχει μία σταθερή μηχανική επιφόρτιση ανά τρέχον μέτρο W , όπως π.χ το βάρος του daN/m).

Εφαρμόζοντας νόμους της Κλασικής Νευτώνιας Φυσικής-Μηχανικής, εξετάζουμε την ισορροπία ενός τόξου του αγωγού μεταξύ δύο οποιονδήποτε σημείων A και B. Έστω ότι το πραγματικό μήκος του τόξου μεταξύ των σημείων A και B είναι S (m). Το τμήμα αυτό της επίπεδης καμπύλης ισορροπεί υπό την επίδραση των δυνάμεων F_1 και F_2 στα άκρα, που έχουν τη διεύθυνση της εφαπτομένης της καμπύλης στα αντίστοιχα σημεία και της συνολικής δύναμης της εξωτερικής επιφόρτισης που είναι $S \cdot W$. Το σημείο εφαρμογής της, δεν μας ενδιαφέρει εδώ, ενώ είναι κατακόρυφη στο επίπεδο της καμπύλης. Η ανάλυση των F_1, F_2 σε παράλληλες και κάθετες της WS , δίνει τις R_1, T_1 και R_2, T_2 αντίστοιχα. Οι εξισώσεις ισορροπίας δίνουν:

$$F_1 = F_2 \text{ και } T_1 = T_2 =$$

Παρατηρούμε ότι η σχέση $F_1 = F_2$ δεν σχετίζονται με το μήκος τόξου S . Δηλαδή οποιονδήποτε κι αν ήταν το σημείο B επί της καμπύλης θα είχαμε: $F_2 = F_1$. Αυτό σημαίνει ότι όταν ένας αγωγός ισορροπεί, η οριζόντια συνιστώσα της δύναμης που καταπονεί τον αγωγό είναι η ίδια σε όλες τις θέσεις του αγωγού. Όλα τα παραπάνω φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί:



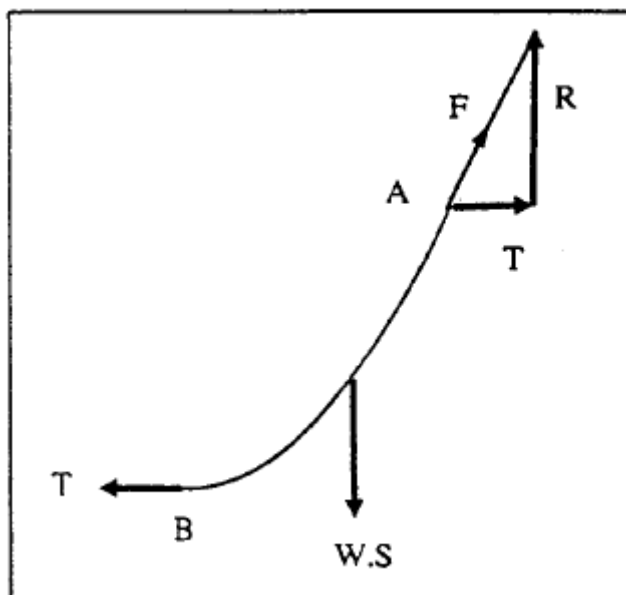
Αυτή τη σταθερή οριζόντια συνιστώσα, ονομάζουμε δύναμη τάνυσης του αγωγού και παριστάνουμε με T (daN).

Θεωρούμε το τόξο της καμπύλης μεταξύ του κατώτερου σημείου της B (οριζόντια εφαπτομένη) και ενός άλλου σημείου A . Στο B μοναδική δύναμη είναι η οριζόντια T , ενώ στο A έχουμε την οριζόντια T και την κάθετη προς αυτή $R=W.S$, όπου S είναι το μήκος της καμπύλης από το A μέχρι το B . Καταλήγουμε έτσι στο εξής σημαντικό συμπέρασμα :

Η δύναμη που καταπονεί τον αγωγό (F), σε οποιοδήποτε σημείο του, είναι το γεωμετρικό άθροισμα της δύναμης τάνυσης και της ολικής δύναμης επιφόρτισης από το κατώτερο σημείο μέχρι το σημείο που μας ενδιαφέρει, δηλαδή : $\vec{F} = \vec{T} + \vec{R}$ και για τα μέτρα των διανυσμάτων :

$$= \sqrt{T^2 + R^2} = \sqrt{T^2 + W \cdot S^2}$$

Η προηγούμενη σχέση φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί:



Τανύσεις Υπεραστικών Γραμμών:

Από τα παραπάνω διαπιστώνουμε ότι η τάνυση αγωγού σε κάθε άνοιγμα, εξαρτάται από το βάρος του, από την επιφόρτιση, τη θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται λαμβάνοντας υπόψη και τη θερμική διαστολή .

Τα παρακάτω κριτήρια που πρέπει να ισχύουν συγχρόνως καθορίζουν τις τανύσεις των υπεραστικών γραμμών.

1. Η τάνυση σε πλήρη επιφόρτιση δεν πρέπει να υπερβαίνει το 48% του φορτίου θραύσης του αγωγού.
2. Η τάνυση σε θερμοκρασία +16 βαθμών Κελσίου και επιφόρτιση μόνο το βάρος του αγωγού να μην υπερβαίνει το 20% του φορτίου θραύσης . Ειδικότερα στη ελαφρά επιφόρτιση το 17% του φορτίου θραύσης .

Για τα συνεστραμμένα καλώδια ΜΤ αρκεί ο έλεγχος της πρώτης μόνο συνθήκης .

Όταν είναι γνωστή η δύναμη τάνυσης ενός αγωγού σε ένα συγκεκριμένο άνοιγμα, θερμοκρασία και επιφόρτιση, είναι εύκολο να βρεθεί η τάνυση όταν ο αγωγός βρεθεί σε διαφορετική θερμοκρασία και επιφόρτιση . Αυτό γίνεται μέσα από τη λύση της παρακάτω τριτοβάθμιας εξίσωσης αλλαγής κατάστασης με άγνωστο το T .

$$\frac{L^2}{24} \cdot \left(\frac{W_1}{2} - \frac{W}{2} \right) = \frac{T_1}{L} + (T - T_1), \text{ όπου:}$$

L : οριζόντιο άνοιγμα σε m .

W_1, W = ειδική φόρτιση του αγωγού στην γνωστή κατάσταση 1 και στην κατάσταση που ζητάμε σε daN/m.

T_1, T = δύναμη τάνυσης του αγωγού στην γνωστή κατάσταση 1 και στην κατάσταση που ζητάμε σε (daN).

Θ_1, Θ = θερμοκρασία αγωγού στην γνωστή κατάσταση 1 και στην κατάσταση που ζητάμε σε C° .

E = μέτρο ελαστικότητας του αγωγού σε daN/mm^2 .

q = πραγματική διατομή του αγωγού σε mm^2 .

α = συντελεστής θερμικής διαστολής του αγωγού σε $^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Με βάση τις παραπάνω αρχές μπορούμε να βρούμε την τάνυση για κάθε διατομή αγωγού και πέραν των τυποποιημένων.

Τανύσεις Αστικών Γραμμών και Αρδευτικών Δικτύων:

Στις αστικές γραμμές δεν κρίνεται σκόπιμο να εξαντλούμε τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια των τανύσεων όπως ορίστηκαν στις υπεραστικές γραμμές .

Αυτό μας παρέχει πρόσθετη εξασφάλιση λόγω μικρότερων καταπονήσεων των αγωγών και επί πλέον μειώνει τις μηχανικές απαιτήσεις των γωνιακών και τερματικών στύλων, που συνεπάγεται και μείωση του κόστους των γραμμών .

Από την άλλη πλευρά δεν πρέπει οι τανύσεις να είναι πολύ χαλαρές, γιατί αυτό συνεπάγεται μεγαλύτερα ύψη στύλων για να επιτευχθούν οι ελάχιστες αποστάσεις ασφαλείας από το έδαφος, ή άλλα εμπόδια, ενώ στους γυμνούς αγωγούς θα επιφέρει αύξηση των αποστάσεων διαχωρισμού των αγωγών με αύξηση του κόστους . Βασική επομένως επιλογή αποτελεί η απόσταση που πρέπει να τοποθετούμε τους στύλους .

Η μέχρι σήμερα εμπειρία, μας έχει οδηγήσει στην καθιέρωση του βασικού ανοίγματος (BA) των 40m στα αστικά δίκτυα και των 65 m για τα αρδευτικά . Στη βαριά επιφόρτιση με συνεστραμμένα καλώδια χρησιμοποιούμε BA=35 m και σε εξαιρετικές περιπτώσεις με συνεστραμμένα καλώδια XT 3X70+54,6+25 ή 4X120+25 και BA= 40 m .

Στα πολύ μικρά ανοίγματα (ατάνυστα), χρησιμοποιούμε BA=20 που δίνει το ίδιο βέλος (0,80 cm) σε όλους τους αγωγούς και καλώδια .

Στη μέση (κανονική) επιφόρτιση χρησιμοποιούμε και το BA=50 για γυμνούς αγωγούς και στα συνεσταμμένα καλώδια XT 3X70+54,6+25 ή 4X120+25 (στα ΣΚ εκεί που αποξηλώνονται γυμνοί αγωγοί με ανοίγματα μεγαλύτερα των 50 m).

Η βασική αρχή επιλογής των αστικών τανύσεων είναι η καθιέρωση ενός ορισμένου βέλους αφόρτιστου αγωγού στους $+16^{\circ}\text{C}$, που θα είναι το ίδιο για όλους τους αγωγούς σε μια δεδομένη επιφόρτιση και βασικό άνοιγμα .

Τα βέλη αυτά σε m δίνει ο παρακάτω πίνακας.

ΒΕΛΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΤ & ΧΤ							
Θερμοκρασία +16 βαθμοί Κελσίου - Αγωγός αφόρτιτος							
Αγωγοί- καλώδια	ΒΑ m	ΕΛΑΦΡΑ ΕΠΙΦ.		ΜΕΣΗ ΕΠΙΦ.		ΒΑΡΙΑ ΕΠΙΦ.	
		CS	Βέλος m	CS	Βέλος m	CS	Βέλος m
Γυμνοί αγωγοί και καλώδια	20	CS-7	0.8	CS-7	0.8	CS-7	0.8
Γυμνοί αγωγοί	40	CS-5E	0.5	CS-5A	0.7	CS-5B	0.923
Γυμνοί αγωγοί	50			CS-5	0.834		
Γυμνοί αγωγοί	65	CS-9E	0.644	CS-9A	0.935	CS-9A	0.935
Όλα τα συνεστραμ. Καλώδια ΧΤ αναρτημένου τύπου και αυτοφερόμενα	35					CS-10B	1.10
	40	CS-10E	0.72	CS-10M	0.96	CS-10B1	1.19
	50			CS-10M1	1.26		
Συνεστραμμένα καλώδια ΜΤ Αναρτημένου τύπου 3Χ50ΑΛ+50ΣΤ & 3Χ150ΑΛ+50ΣΤ	35					CS-302	1.10
	40	CS-300	0.72	CS-301	0.96		

Βέλη Αστικών και Αρδευτικών Γραμμών ΜΤ & ΧΤ

Στη βαριά επιφόρτιση με ΒΑ=40 δεν πρέπει να χρησιμοποιείται ο αγωγός 16 ΑΛ .

Όμοια στη βαριά επιφόρτιση με ΒΑ=65 σε αρδευτικά δίκτυα δεν πρέπει να χρησιμοποιείται ο αγωγός 16 ΑΛ, 35 ΑΛ και 50 ΑΛ γιατί με τα παραπάνω βέλη στην πλήρη επιφόρτιση έχουμε υπέρβαση του 48% του φορτίου θραύσης του αγωγού. Τα βέλη του πίνακα των γυμνών αγωγών ισχύουν και για το συρματόσχοινο Μ .

Προφανώς αν θέλουμε τα βέλη στους 16° C για τα μέγιστα ανοίγματα που μπορεί να γίνουν με αυτές τις τανύσεις (κατά 25% μεγαλύτερα των αναφερομένων ΒΑ), θα πρέπει να πολλαπλασιάσουμε τα βέλη του πίνακα με 1,56 25 (=1,252). Αυτό χρειάζεται κυρίως για τον έλεγχο των ελάχιστων αποστάσεων ασφαλείας. Με τα βέλη αυτά (f), βρίσκουμε την τάνυση στους 16° C από τον τύπο $f = \frac{w \cdot L^2}{8T}$ και στη συνέχεια από την εξίσωση αλλαγής κατάστασης, σε οποιαδήποτε άλλη θερμοκρασία και επιφόρτιση.

Η ρύθμιση των αγωγών σε ένα τμήμα μιας γραμμής μεταφοράς, γίνεται με την βοήθεια διαγραμμάτων που δίδουν το βέλος ισοϋψών ανοιγμάτων, που μπορεί να διαφοροποιείται ανάλογα την υψομετρική διαφορά των σημείων ανάρτησης του ανοίγματος. Όταν η γραμμή μεταφοράς δρομολογείται σε εδάφη με κλίση τότε κατά το στάδιο της ρύθμισης παρουσιάζονται μεγαλύτερες τανύσεις στα ανοίγματα που βρίσκονται σε υψηλότερο σημείο σε σχέση με αυτά που βρίσκονται σε χαμηλότερο σημείο.

Καμπύλη αγωγού - Ο παρακάτω τύπος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ισοϋψή αλλά και ανισοϋψή ανοίγματα:

$$S = \frac{w \times L^2}{8T}$$

Όπου :

S - είναι η καμπύλη στο μέσον του ανοίγματος (m)

w - είναι το βάρος του αγωγού (N/m)

L - είναι το οριζόντιο μήκος ανοίγματος (m)

T - είναι η τάση του αγωγού (N)

Η τάση T του αγωγού, είναι η τάση εφελκυσμού στο χαμηλότερο σημείο του αγωγού, αν και η τάση εφελκυσμού ανεβαίνει καθώς ανεβαίνει το υψόμετρο. Η τάση στους φορείς δεν θα ξεπερνά ένα πρόσθετο 7% της τάσης στο χαμηλότερο σημείο του οριζοντίου ανοίγματος, όπου η καμπύλη αγωγού είναι μικρότερη από 9% του μήκους του ανοίγματος. Κανονικά, το βάρος αγωγού δίνεται σε kg/km, το οποίο πρέπει μετά να μετατραπεί σε N/m για την παραπάνω εξίσωση.

$$w = \frac{Wc \times 9,81}{1000}$$

Όπου Wc - είναι το βάρος αγωγού σε kg/km

Χαλάρωση αγωγού - Η διαφορά στην απόσταση μεταξύ δυο πυλώνων και στο απόλυτο μήκος ανηρτημένου αγωγού (παραβολή), λέγεται χαλάρωση του αγωγού. Για άνοιγμα σε ίδιο επίπεδο ισχύει:

$$K = \frac{8S^2}{3L}$$

Όπου :

K - είναι η χαλαρότητα (m)

S - είναι η καμπύλη στο μέσον του ανοίγματος (m)

L - είναι το μήκος ανοίγματος (m)

Παράγοντες που επηρεάζουν την τάση των αγωγών

Θερμοκρασία - Με την αύξηση της θερμοκρασίας, ένας ανηρτημένος αγωγός σε χαλαρότητα, μπορεί να δεχτεί αύξηση του συνολικού του μήκους, λόγω διαστολής, κατά :

$$\Delta L = a \times T \times S$$

Όπου :

a - είναι ο συντελεστής θερμικής διαστολής T- είναι η αύξηση θερμοκρασίας (oC)

S - είναι το μήκος ανοίγματος (m)

Αποτέλεσμα της θερμικής διαστολής, είναι η μείωση της τάνυσης του αγωγού, λόγω της αύξησης της χαλάρωσης του.

Άνεμος - Τα φορτία ανέμου αυξάνουν το φαινόμενο βάρος του αγωγού και έτσι έχουμε και αύξηση στην τάνυση αγωγού. Σε αυτή τη περίπτωση όμως συμβαίνει να έχουμε πάλι αύξηση του συνολικού μήκους του αγωγού, λόγω ελαστικής επέκτασης, κατά ποσότητα που βλέπουμε παρακάτω:

$$\Delta L = \frac{(T_0 - T)}{E \times A}$$

Όπου :

T₀ - είναι η αρχική τάνυση (N)

T - είναι η τελική τάνυση (N)

E - είναι ο συντελεστής ελαστικότητας A - είναι η διατομή του αγωγού (m)

Το αποτέλεσμα που έχουν τα φορτία ανέμου σε τέτοιες περιπτώσεις, είναι να δέχεται δυνάμεις ο αγωγός και σε οριζόντια και σε κάθετη κατεύθυνση.

Πάγος - Η συσσώρευση πάγου αυξάνει την φαινόμενη διάμετρο και βάρος του αγωγού. Μέχρι ορισμένου σημείου, μπορεί να χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία που δόθηκαν στη παραπάνω παράγραφο. Στις περιπτώσεις που επηρεάζει πολύ η συσσώρευση πάγου, γίνεται ειδική ανάλυση δεδομένων για τον υπολογισμό της τάνυσης.

Επίσης παράγοντες που επηρεάζουν την τάνυση των αγωγών και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, είναι η παλαιότητα του αγωγού (φθορά λόγω χρόνου) και η πιθανή μετατόπιση του φορέα.

Η τάνυση των αγωγών των δικτύων Μ και Χ.Τ. πραγματοποιείται με μέτρηση είτε του βέλους είτε της δύναμης τάνυσης αυτών σύμφωνα με τους πίνακες CS των Τυποποιημένων Κατασκευών, λαμβανομένης πάντοτε υπόψη της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος (υπό σκιά) κατά την περίοδο χαλάρωσης των αγωγών από την κατάσταση υπερτάνυσης στην τάνυση. 2. Προς αποφυγήν εσφαλμένης τάνυσης θα πρέπει όλοι γενικά οι αγωγοί να βρίσκονται πάνω στα εργαλεία (ράουλα, τακάκια) που χρησιμοποιηθήκανε για την εκτύλιξη των αγωγών. Όταν η τάνυση της γραμμής γίνεται με μέτρηση του βέλους των αγωγών, τότε θα πρέπει - πέρα από τη μέτρηση αυτού στο συγκεκριμένο άνοιγμα - να γίνεται έλεγχος σε δύο άλλα ανοίγματα πλησίον της αρχής και του πέρατος της γραμμής.

Η υπερτάνυση των αγωγών ενός δικτύου γίνεται με μέτρηση είτε της δύναμης προτάνυσης ή του βέλους αυτών, σύμφωνα με τους σχετικούς πίνακες του Κεφαλαίου CS των Τυποποιημένων Κατασκευών Διανομής. Για τους αγωγούς των δικτύων Χ.Τ., τα βέλη προτάνυσης δίδονται σε άλλους σχετικούς πίνακες. 2. Η υπερτάνυση των αγωγών είναι μεγάλης σπουδαιότητας, γιατί με αυτήν ελέγχεται η αντοχή όλων των στοιχείων του δικτύου και όχι μόνο των αγωγών. Για το λόγο αυτό, κάθε ένας αγωγός ο οποίος υπερτανύεται μεμονωμένα δεν χαλαρώνεται αμέσως, αλλά παραμένει στην κατάσταση αυτή μέχρι να υπερτανυθεί και ο τελευταίος αγωγός του συγκεκριμένου

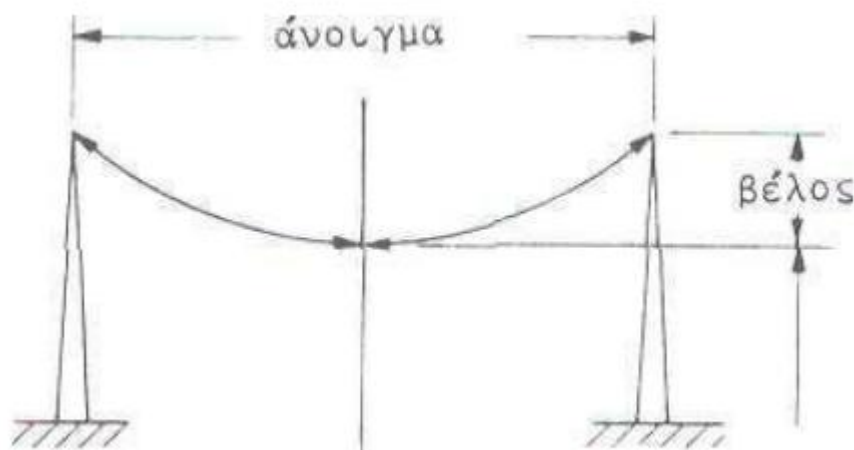
τμήματος του δικτύου. Στη συνέχεια όλοι μαζί οι αγωγοί του υπόψη τμήματος αφήνονται ταυτόχρονα σε κατάσταση υπερτάνυσης για χρονικό διάστημα που καθορίζεται παρακάτω.

Το δίκτυο υπερταυσιμένο - όπως αναφέρεται πιο πάνω - πρέπει να παραμείνει σε κατάσταση υπερτάνυσης τουλάχιστον για 15 λεπτά της ώρας και όχι περισσότερο από 2 ώρες. 4. Δεδομένου ότι με την υπερτάνυση των αγωγών του δικτύου αναπτύσσονται μεγάλες δυνάμεις, πρέπει να λαμβάνονται όλα γενικά τα απαραίτητα μέτρα για την πρόληψη ατυχημάτων, τόσο στους εργαζομένους στο δίκτυο όσο και σε τρίτα πρόσωπα άσχετα με την εργασία.

2.2 ΒΑΣΙΚΟ ΑΝΟΙΓΜΑ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Άνοιγμα ονομάζεται η απόσταση μεταξύ δύο πυλώνων. Το μήκος του ανοίγματος μεταξύ δύο πυλώνων καθορίζεται από διάφορους παράγοντες. Κατά κανόνα οι πυλώνες συνηθίζεται να απέχουν πολύ μεταξύ τους. Οι πυλώνες πρέπει να έχουν γερή κατασκευή γιατί πρέπει να αντέχουν το βάρος των αγωγών, του χιονιού που θα επικολληθεί, τον άνεμο και το δικό τους βάρος. Είναι πολύ σημαντικό κατά την μελέτη κατασκευής των εναέριων δικτύων να υπολογίζονται οι καιρικές συνθήκες της περιοχής καθώς και την σύσταση του εδάφους.

Οι δυνάμεις και το βέλος (το κρέασμα ή βύθισμα) σε έναν αγωγό προσδιορίζουν την κατασκευή των εναέριων γραμμών. Οι δυνάμεις προσδιορίζουν τη μηχανική αντοχή των αγωγών, των μονωτήρων και των στύλων. Το βέλος προσδιορίζει το ύψος των στύλων και τις αποστάσεις ανάρτησης. Το ύψος και οι δυνάμεις προσδιορίζουν την απαιτούμενη αντοχή του στύλου.



Ορισμός Ανοίγματος και Βέλους Κάμψης Σχηματικά

Θα θεωρήσουμε ακολούθως ένα άνοιγμα l μιας γραμμής μεταξύ δύο στύλων. Σκοπός μας είναι να υπολογισθούν το βύθισμα των αγωγών και οι δυνάμεις που ασκούνται σε αυτούς. Δεχόμαστε ότι ισχύουν τα εξής:

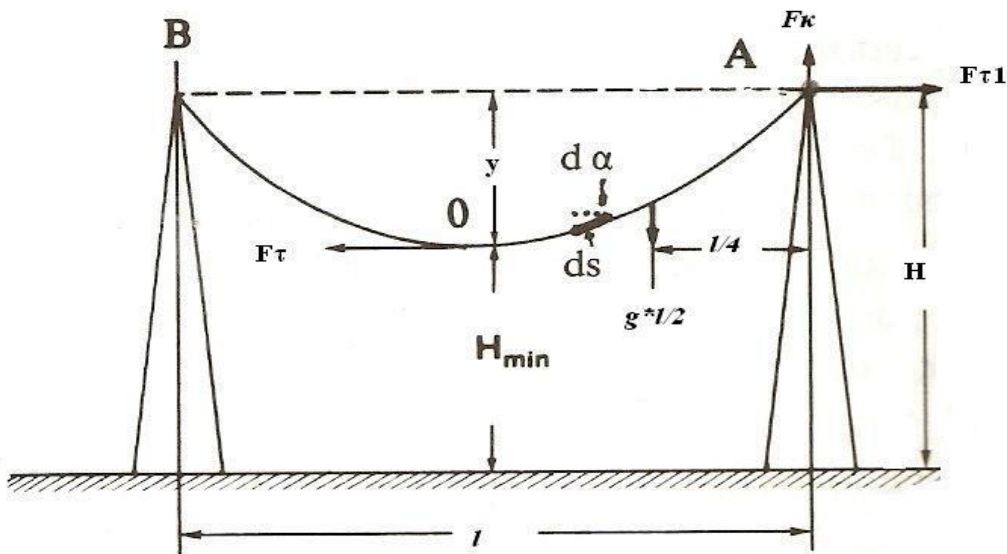
- Εύκαμπτο αγωγό, δηλαδή ο αγωγός μπορεί να αναλάβει μόνο εφελκυσμό, όχι θλίψη ή κάμψη. Αυτό συνεπάγεται ότι η δύναμη τάνυσης που ασκείται στον αγωγό είναι εφαπτόμενη στην καμπύλη που σχηματίζει ο αγωγός.

- Πάνω στον αγωγό ασκούνται κατακόρυφα φορτία, σταθερά ανά μονάδα μήκους, που είναι το βάρος g του αγωγού ανά μονάδα μήκους ή στην περίπτωση επικάθισης πάγου ένα αυξημένο φορτίο. Η προσαύξηση του βάρους του αγωγού γίνεται μόνο σε περίπτωση που θα ληφθεί υπόψη η επικάθιση πάγου στον αγωγό.

Θα εξετασθούν κατ' αρχή προσεγγιστικά δύο περιπτώσεις, της ισοϋψής ανάρτησης και της λοξής ανάρτησης. Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στην εξίσωση κατάστασης ενός αναρτημένου αγωγού και τέλος θα μελετήσουμε την συμπεριφορά των αγωγών στην περίπτωση επικάθισης πάγου επί αυτών.

2.2.1 Οριζόντια-Ισοϋψή ανάρτηση

Όταν τα δύο άκρα ανάρτησης του αγωγού είναι στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο λέμε ότι έχουμε οριζόντια ανάρτηση. Προφανώς στο μέσον η δύναμη του εφελκυσμού έχει μόνο οριζόντια συνιστώσα F_T και σε όλα τα υπόλοιπα σημεία έχει και οριζόντιες συνιστώσες F_T και κατακόρυφες F_K . Αν εξετάσουμε ένα οποιαδήποτε τμήμα της γραμμής, π.χ. το AO και προβάλλουμε τις δυνάμεις που ασκούνται σε αυτό σε ένα οριζόντιο άξονα, τότε διαπιστώνουμε το εξής: Η οριζόντια συνιστώσα F_T της δύναμης εφελκυσμού ενός εύκαμπτου αναρτημένου αγωγού μένει σταθερή.



Οριζόντια ανάρτηση εύκαμπτου αγωγού

Πάνω στο τμήμα AO ασκούνται δυνάμεις εφελκυσμού εκατέρωθεν, η F_T στο σημείο O , η F_{T1} και η F_K στο σημείο A , καθώς και το συνολικό βάρος του αγωγού. Αυτές οι δυνάμεις ισορροπούν, δηλαδή ισχύει:

$$F_K \approx g * l/2 \quad \text{και} \quad F_T = F_{T1}$$

Ακολούθως, θα βγάλουμε με απλές παραδοχές τις σχέσεις που δίνουν το μέγιστο βέλος και την σταθερή οριζόντια δύναμη F_T . Δεχόμαστε ότι η δύναμη βάρους που

ασκείται σε κάθε στοιχείο ds , οριζοντίου προβολής dl , είναι $g * dl$, όπου g είναι μια σταθερά σε kg/m και είναι το βάρος του αγωγού (συν ενδεχομένως πάγος) στη μονάδα του μήκους. Έγινε εδώ η απλοποίηση ότι το μήκος του τόξου s του αγωγού είναι ίσο με την προβολή του τόξου πάνω στον οριζόντιο άξονα, δηλαδή: $ds \approx dl$. Η ισορροπία των ροπών δυνάμεων που ασκούνται στο μισό της γραμμής, έχει ως εξής για τις ροπές ως προς Α:

$$F_T * y - (g * l / 2) * l / 4 = 0$$

Από την παραπάνω σχέση προκύπτουν το μέγιστο βέλος (y), η δύναμη (F_T) και η μηχανική τάση (σ) του αγωγού στο μέσον του αγωγού:

$$y = g * l^2 / (8 * F_T)$$

$$F_T = g * l^2 / (8 * y) \Rightarrow F_T = G * l / (8 * y)$$

$$\sigma = F_T / A \Rightarrow \sigma = g * l^2 / (8 * A * y)$$

όπου στις παραπάνω σχέσεις, y το μέγιστο βέλος, l το άνοιγμα της γραμμής ανάμεσα στους δυο στύλους, G το συνολικό βάρος του αγωγού, g το βάρος στη μονάδα του μήκους ($g = G / l$), A η διατομή του αγωγού σε mm^2 .

Αν θέλουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς μας πρέπει να κάνουμε χρήση της παρακάτω σχέσης:

$$F = y * \gamma * A / \{ \cosh [(l * \gamma * A / (F * 2)) - 1] \}$$

Τα όρια για ασφαλή λειτουργία των γραμμών πρέπει να είναι τα παρακάτω:

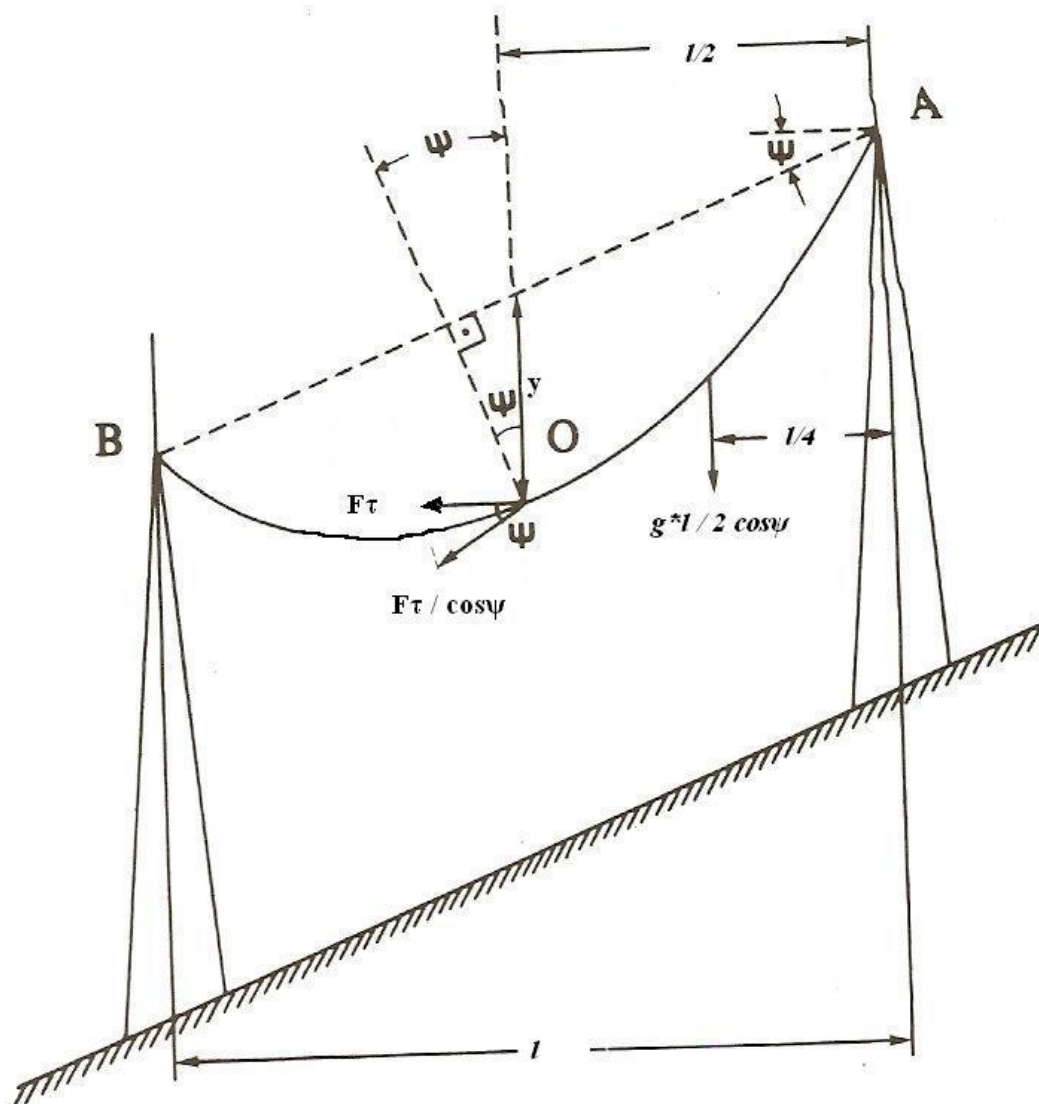
- Αφόρτιστοι αγωγοί: $F_{Tmax} < 60\% * F_{\thetaραύσης}$
- Φορτισμένοι αγωγοί: $F_{Tmax} < 25\% * F_{\thetaραύσης}$

Όπου $F_{\thetaραύσης}$ είναι η δύναμη στην οποία ο αγωγός παθαίνει μη αναστρέψιμη βλάβη, συνήθως κόβεται στα δυο.

2.2.2 Λοξή ανάρτηση

Έστω ότι τα σημεία ανάρτησης Α,Β συνδέονται με ευθεία που σχηματίζει γωνία ψ ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Η οριζόντια απόσταση τους είναι προφανώς το άνοιγμα της γραμμής, δηλαδή l (σχήμα 4.5). Παραδεχόμαστε ότι το μέγιστο βέλος y ευρίσκεται στο μέσον της ανάρτησης. Για να υπολογίσουμε το βάρος του αγωγού εξισώνουμε το μήκος του αγωγού με την χορδή του. Έτσι, το βάρος του μισού αγωγού θα είναι: $g * l / 2 * \cos\psi$. Εξετάζονται οι δυνάμεις που ασκούνται στο ήμισυ της γραμμής ΑΟ. Η ισορροπία των ροπών ως προς το σημείο Α θα δώσει:

$$(F_T / \cos\psi) * (y * \cos\psi) - [g * l / (2 * \cos\psi)] * l / 4 = 0$$



Λοξή ανάρτηση εύκαμπτου αγωγού

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει το μέγιστο βέλος (y), η δύναμη τάνσης (F_T) και η τάση εφελκυσμού στο μέσον (σ) [4]:

$$y = (g / F_T) * (l^2/8) * (1/\cos\psi)$$

$$F_T = [g * l^2 / (8 * y)] * (1/\cos\psi)$$

$$\sigma = F_T / A \Rightarrow \sigma = g * l^2 / (8 * A * y * \cos\psi)$$

Η δύναμη εφελκυσμού του αγωγού έχει μια οριζόντια συνιστώσα, η οποία είναι σταθερή καθ' όλο το μήκος του αγωγού. Η δύναμη εφελκυσμού του αγωγού είναι διαφορετική από σημείο σε σημείο, λόγω του βάρους του αγωγού και εμφανίζει μέγιστο στα σημεία ανάρτησης. Αυτό ισχύει γιατί η κατακόρυφη συνιστώσα της

δύναμης εφελκυσμού του καλωδίου είναι μέγιστη στα σημεία ανάρτησης. Για λοξή ανάρτηση η μέγιστη δύναμη είναι η παρακάτω:

$$F_{\max} = \{F_T^2 + [g * l / (2 * \cos\psi)]^2\}^{1/2} \Rightarrow$$

$$F_{\max} = F_T * \{1 + g^2 * l^2 / (4 * F_T^2 * \cos^2\psi)\}^{1/2}$$

Όλοι οι παραπάνω απλοποιημένοι τύποι, τόσο στην οριζόντια όσο και στη λοξή ανάρτηση, αρκούν για υπολογισμούς που αφορούν ανοίγματα όπου ο λόγος y / l είναι μικρός ($f / l < 0,1$, με ακρίβεια της τάξης μεγέθους 1%).

2.2.3 Εξίσωση κατάστασης ενός αναρτημένου αγωγού

Για τη σύγκριση δύο καταστάσεων 1 και 2 με θερμοκρασίες θ_1 και θ_2 ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$(C_1 * F_{gpa} * l / F_{T2})^2 - F_{T2} = (C_1 * g * l / F_{T1})^2 - F_{T1} + (C_2 * \Delta\theta)$$

όπου έχουμε:

g : το βάρος του αγωγού στη μονάδα του μήκους σε Kg/m, $g = G / l$

F_{T1} : η δύναμη τάνυσης υπο φορτίο G σε Kg για θερμοκρασία θ_1

l : το μήκος του ανοίγματος σε m

$\Delta\theta$: η διαφορά θερμοκρασίας $\theta_2 - \theta_1$ σε °C

F_{gpa} : ίδιο βάρος αγωγού, δηλαδή η συνισταμένη επιφόρτιση λόγω βάρους των αγωγών, του πάγου και της εγκάρσιας πίεσης του αέρα σε Kg

F_{T2} : η δύναμη τάνυσης του φορτίου σε Kg για θερμοκρασία θ_2

$$C_1 = \sqrt{\frac{E * A}{24}}, \text{ όπου } A \text{ η διατομή σε } mm^2 \text{ και } E_{Al}=6750, E_{Cu}=12650$$

$$E_{ACSR}=8630-8780 \text{ και } E_{St}=19700 \text{ σε } Kg/mm^2$$

$C_2 = a * E * A$, όπου $a_{Al}=0,000029$, $a_{Cu}=0,000017$, $a_{ACSR}=0,000019-0,0000195$ και $a_{St}=0,000019$

2.2.4 Πρόσθετο φορτίο πάγου επί των γραμμών και η επιφόρτιση που προκαλεί στους αγωγούς

Το χιόνι και η πάχνη σε συνδυασμό με τις διαρκείς χαμηλές θερμοκρασίες οδηγούν σε στρώμα χιονιού, πάγου ή χιονοπάγου στις γραμμές. Έτσι, αυξάνει το συνολικό βάρος του αγωγού ανά μονάδα μήκους. Πέραν τούτου, αν φυσάει τότε δρα και μια αυξημένη δύναμη του αέρα στον αγωγό, λόγω της αυξημένης διατομής του. Το φορτίο λόγω πάγου και ανέμου είναι συνάρτηση των καιρικών συνθηκών. Εδώ γίνονται ορισμένες παραδοχές στους ελληνικούς κανονισμούς ως εξής: Υπάρχουν τρεις φορτίσεις, η ελαφριά, η μέση και η βαρεία. Στην ελαφρά φόρτιση φυσά μεν ισχυρός αέρας, αλλά δεν υπάρχει πάγος στις γραμμές. Στη μέση και στη βαρεία φόρτιση υπάρχει πάγος στις γραμμές ομοιόμορφα κατανεμημένος γύρω από τον κυλινδρικό αγωγό. Επίσης, γίνεται η παραδοχή ότι έχουμε συμπαγή πάγο, με ειδικό βάρος: $\gamma_{\text{παγ}} = 917 \text{Kg/m}^3$.

Η συνολική επιφόρτιση που δέχεται ο αγωγός είναι η συνισταμένη τριών δυνάμεων. Στον κατακόρυφο άξονα δρα το βάρος του αγωγού και το βάρος του πάγου που έχει επικαθίσει στην επιφάνειά του. Στον οριζόντιο άξονα δρα η δύναμη που οφείλεται στην πίεση από τον αέρα, ανάλογα με την ταχύτητά του. Η πίεση του αέρα δίνεται από τη σχέση:

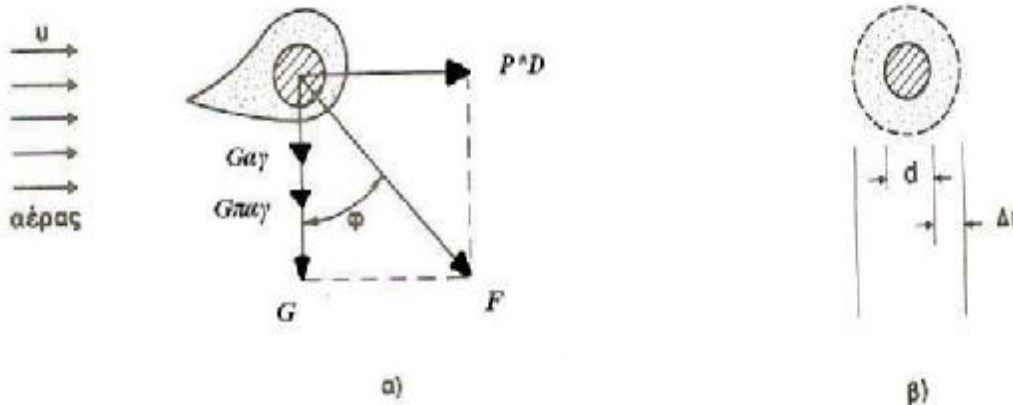
$$P = \rho * u^2 / 2$$

Όπου ρ : η πυκνότητα του αέρα και δίνεται από τη σχέση $\rho = 0,125 \text{ Kg} * \text{s}^2 / \text{m}^4$

u : η ταχύτητα του ανέμου σε m/s και δίνεται από τις τιμές του πίνακα 4.1, ανάλογα με το πόσα Μποφόρ φυσούν οι άνεμοι

Εφόσον η τιμή της πυκνότητας του ανέμου θεωρείται περίπου η ίδια παντού (παραδοχή ότι είναι σταθερή), η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$P = 0,125 * u^2 / 2 \Rightarrow P = 0,0625 * u^2 \text{ Kg/m}^2$$



- α) πραγματική περίπτωση επικάθισης
 β) ισοδύναμη, τυποποιημένη επικάθιση πάγου, όπου d η διάμετρος του αγωγού και Δr η επικάθιση του πάγου επί της ακτίνας του αγωγού

Μποφόρ	Ονομασία	Ταχύτητα km/h	Αποτέλεσμα
0	Νηνεμία	0 ÷ 1	Άπνοια. Ο καπνός υψώνεται κατακόρυφα.
1	Υποπνέων	1,1 ÷ 5,4	Ο καπνός υψώνεται σχεδόν κατακόρυφα
2	Ασθενής	5,5 ÷ 11,9	Άνεμος αισθητός στο πρόσωπο.
3	Λεπτός	12 ÷ 19,4	Τα φύλλα και μερικά κλωνάρια κινούνται συνεχώς. Τεντώνει μικρή σημαία.
4	Μέτριος	19,5 ÷ 28,5	Σηκώνει σκόνη και φύλλα χαρτιού. Κινούνται μικρά κλωνάρια.
5	Λαμπρός	28,6 ÷ 38,5	Αρχίζουν να λυγίζουν μικρά δένδρα. Σχηματίζονται κυματάκια στη θάλασσα.
6	Ισχυρός	38,6 ÷ 49,7	Κινεί μεγάλα κλαδιά. Η ομπρέλα χρησιμοποιείται δύσκολα.
7	Σφοδρός	49,8 ÷ 61,6	Κινεί ολόκληρο το δένδρο. Το βάδισμα αντίθετα προς τον άνεμο γίνεται δύσκολο.
8	Ορμητικός	61,7 ÷ 74,5	Σπάζει κλαδιά δένδρων. Το βάδισμα γίνεται δύσκολο.
9	Θύελλα	74,6 ÷ 87,8	Ελαφρές ζημιές σε σπίτια. Σηκώνει κεραμίδια από τις στέγες.
10	Ισχυρή Θύελλα	87,9 ÷ 102,2	Ξεριζώνει δένδρα. Προκαλεί μεγάλες ζημιές σε σπίτια.
11	Σφοδρή θύελλα	102,3 ÷ 117,4	Μεγάλες ζημιές σε μεγάλες εκτάσεις.
12	Τυφώνας	117,5 και άνω	Εξαιρετικά σοβαρές καταστροφές.

Ανεμομετρική κλίμακα Μποφόρ

Η αύξηση του κατακόρυφου φορτίου που δρα στον αγωγό και οφείλεται στην επικάλυψη του πάγου επί της επιφάνειάς του δίνεται από τη σχέση:

$$G_{\text{παγ}} = \gamma_{\text{παγ}} * V_{\text{παγ}} \Rightarrow G_{\text{παγ}} = \gamma_{\text{παγ}} * [(D^2 - D_{\text{αγ}}^2) * \pi / 4]$$

Όπου D: η διάμετρος του χιτωνίου πάγου, δηλαδή η συνολική διάμετρος και του αγωγού και του πάγου: $D = d + 2 * \Delta r \Rightarrow D = D_{\text{αγ}} + 2 * \Delta r$

$D_{\text{αγ}}$: η διάμετρος του αγωγού (το d του σχήματος)

$\gamma_{\text{παγ}}$: το ειδικό βάρος του πάγου που ισούται με 917Kg/m^3

Το βάρος του εκάστοτε αγωγού (αν δεν είναι ήδη υπολογισμένο από τυποποιημένους πίνακες που μας παρέχει η Δ.Ε.Η.) υπολογίζεται με την παρακάτω σχέση:

$$G_{\text{αγ}} = \gamma_{\text{αγ}} * V_{\text{αγ}} \Rightarrow G_{\text{αγ}} = \gamma_{\text{αγ}} * (D_{\text{αγ}}^2 * \pi / 4)$$

Όπου $\gamma_{\text{αγ}}$: το ειδικό βάρος του αγωγού και είναι ανάλογο φυσικά του τύπου του

Η συνολική κατακόρυφη δύναμη που δέχεται ο αγωγός προκύπτει από την άθροιση των δυο παραπάνω τιμών:

$$\mathbf{G} = \mathbf{G}_{\pi\alpha\gamma} + \mathbf{G}_{\alpha\gamma}$$

Η οριζόντια συνιστώσα της δύναμης του αέρα δίνεται από τη σχέση:

$$\mathbf{F}_{\alpha\epsilon\rho\alpha} = \mathbf{P} * \mathbf{D}$$

Συνεπώς, η ολική επιφόρτιση δίνεται από το Πυθαγόρειο θεώρημα και το τετράγωνό της ισούται με το άθροισμα των τετραγώνων των δυο παραπάνω δυνάμεων, της κατακόρυφης του ολικού βάρους και της οριζόντιας του αέρα. Η σχέση που ισχύει είναι η εξής:

$$\mathbf{F} = [(\mathbf{P} * \mathbf{D})^2 + \mathbf{G}^2]^{1/2}$$

Τυπικά σε όλες τις παραπάνω σχέσεις η μετωπική επιφάνεια του αγωγού δίνεται από τη σχέση: $A = D * L$. Επειδή όμως εξετάζουμε την επιφόρτιση του αγωγού στη μονάδα του μήκους, θέτουμε $L=1\text{m}$ και παίρνουμε τις απλοποιημένες σχέσεις.

Η επιφόρτιση F έχει μια μέγιστη τιμή που αν ξεπεραστεί, τότε δεν υπάρχει μηχανική αντοχή στο σύστημα διανομής. Η βασική συνθήκη ώστε να υπάρχει μηχανική αντοχή είναι:

$$\mathbf{F} < \mathbf{F}_{\max}$$

Για εγκάρσια πίεση του αέρα 20Kg/m^2 , η εξασκούμενη δύναμη στη μονάδα του μήκους είναι: $F_{20} = (20 * D)\text{Kg/m}$, όπου D η διάμετρος του χιτωνίου πάγου. Οπότε η μέγιστη επιτρεπόμενη επιφόρτιση ενός αγωγού δίνεται από τη σχέση:

$$\mathbf{F}_{\max} = \mathbf{k} * [F_{20}^2 + \mathbf{G}^2]^{1/2}$$

Όπου k : ο συντελεστής προσαύξησης για μέση κατασκευή και παίρνει τιμές από 1,3 έως 2,55.

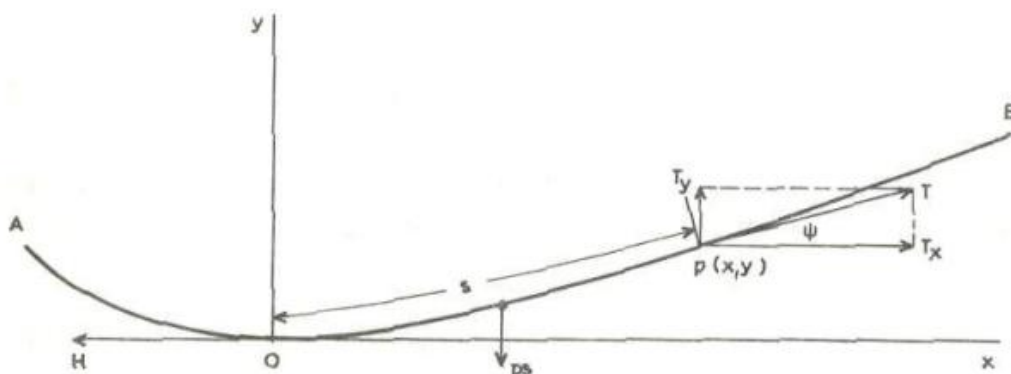
2.3 ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ-ΒΕΛΟΣ ΚΑΜΨΗΣ

Με τον όρο βέλος κάμψης εννοείται το βύθισμα που κάνει ο αγωγός λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Το βέλος κάμψης προέρχεται από τη συστολή και διαστολή των αγωγών. Είναι πολύ σημαντικό να είναι γνωστό το βέλος κάμψης κατά την μελέτη γιατί καθορίζει το ύψος των πύργων και τις αποστάσεις ανάρτησης των αγωγών.

Έστω ότι αγωγός γραμμής βάρους p ανά μονάδα μήκους αναρτάται από τα σημεία A και B και έστω O το κατώτατο σημείο του αγωγού δηλαδή το σημείο στο οποίο η καμπύλη γίνεται οριζόντια, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Έστω ένα σημείο P του αγωγού, με συντεταγμένες x και y στο σύστημα αξόνων του, το οποίο ορίζει ένα τμήμα OP μήκους s , κατά μήκος της καμπύλης του αγωγού και φ η γωνία, την οποία σχηματίζει η εφαπτόμενη της καμπύλης με την οριζόντια στο σημείο P . Οι δυνάμεις οι οποίες δρουν στο τμήμα OP είναι η οριζόντια τάση H στο O , η τάση T στο σημείο P , κατά την εφαπτόμενη της καμπύλης με συνιστώσες T_y και T_x , επίσης το βάρος ps του τμήματος OP , το οποίο εφαρμόζεται κατακόρυφα στο κέντρο βάρους του τμήματος OP . Δεδομένου ότι το τμήμα του αγωγού βρίσκεται σε ισορροπία, τόσο οι οριζόντιες όσο και οι κατακόρυφες συνιστώσες των δυνάμεων είναι ίσες μεταξύ τους δηλαδή:

$$H = T_x$$

$$T_y = ps$$



Καμπύλη αγωγού γραμμής με επίδραση του βάρους του

Η πρώτη σχέση δείχνει ότι η οριζόντια συνιστώσα της τάσεως T_x είναι σταθερή σε όλο το μήκος της γραμμής. Θα είναι επίσης:

$$\frac{T_y}{T_x} = \varepsilon \varphi \Psi$$

Είναι όμως,

$$\varepsilon \varphi \Psi = \frac{dy}{dx} \cdot \text{Οπότε} \quad \frac{dy}{dx} = \frac{T_y}{T_x} = \varepsilon \varphi \Psi \cdot$$

Το στοιχειώδες μήκος της καμπύλης στο σημείο P δίνεται από τη σχέση:

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

Επομένως,

$$\frac{ds}{dx} = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} = \sqrt{1 + \frac{p^2 s^2}{H^2}} \quad \text{ή} \quad dx = \frac{ds}{\sqrt{1 + \frac{p^2 s^2}{H^2}}}$$

Ολοκληρώνοντας και τα δύο μέλη της εξίσωσης προκύπτει:

$$x + C = \frac{H}{p} \sinh^{-1} \left(\frac{ps}{H} \right)$$

όπου C η σταθερά της ολοκληρώσεως. Όμως για s=0 είναι x=0 οπότε C=0 και επιλύοντας ως προς s την προηγούμενη εξίσωση προκύπτει:

$$s = \frac{H}{p} \sinh \left(\frac{px}{H} \right)$$

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση το s με την τιμή αυτή της σχέσης προκύπτει:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{H}{p} \sinh \left(\frac{px}{H} \right) \quad \rightarrow \quad y = \int \sinh \left(\frac{px}{H} \right) \quad \rightarrow \quad y = \frac{H}{p} \cosh \left(\frac{px}{H} \right) + D$$

όπου D μία άλλη σταθερά ολοκληρώσεως. Στο σημείο 0 είναι x=0 και y=0, οπότε για το σημείο αυτό η εξίσωση γίνεται:

$$0 = \frac{H}{p} + D \quad \rightarrow \quad D = -\frac{H}{p}$$

Επομένως η εξίσωση της καμπύλης της γραμμής είναι:

$$y = \frac{H}{p} \left[\cosh \left(\frac{px}{H} \right) - 1 \right]$$

Η καμπύλη αυτή καλείται αλυσοειδής. Η συνολική τάση T στο σημείο P είναι:

$$T = \sqrt{T_x^2 + T_y^2} = \sqrt{H^2 + H^2 \left(\sinh \left(\frac{px}{H} \right) \right)^2} = \sqrt{H^2 \left(\cosh \left(\frac{px}{H} \right) \right)^2}$$

Συνεπώς,

$$T = H \cosh \left(\frac{px}{H} \right).$$

Εάν τα σημεία αναρτήσεως της γραμμής A, B βρίσκονται στο ίδιο ύψος και η μεταξύ τους οριζόντια απόσταση είναι 2l, τότε στα σημεία αυτά στα οποία x=±l θα είναι:

$$T = H \cosh\left(\frac{pl}{H}\right)$$

Η τάση του αγωγού στα σημεία αναρτήσεως στα οποία αυτή είναι και μεγαλύτερη από κάθε άλλο σημείο της γραμμής, καλείται τάνυση των αγωγών. Βέλος της γραμμής καλείται η τιμή του y στα σημεία Α ή Β και δίνεται για $x=l$:

$$d = \frac{H}{p} \left[\cosh\left(\frac{pl}{H}\right) - 1 \right]$$

Το συνολικό μήκος του αγωγού προκύπτει:

$$s = 2 \frac{H}{p} \sinh\left(\frac{pl}{H}\right)$$

2.4 ΕΙΚΟΝΕΣ ΜΕ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΔΙΚΤΥΩΝ

Προκειμένου να κατασκευαστούν τα δίκτυα εν γένει (εναέρια, υπόγεια, χαμηλής και μέσης τάσης, υποσταθμοί κλπ) της _ΕΗ, για τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές χρησιμοποιούνται :

- α) ο Κανονισμός Εξωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων (Κ.Ε.Η.Ε.)
- β) το εγχειρίδιο τυποποιημένων κατασκευών της _ΕΗ (Standard)
- γ) οι οδηγίες κατά περίπτωση της _ΕΗ

Ενδεικτικά παραδείγματα της τυποποίησης των δικτύων _ΕΗ καθώς και των χρησιμοποιούμενων υλικών παρατίθενται στη συνέχεια:

1. Ελάχιστες αποστάσεις δικτύων
2. Καμπύλες τάνυσεως αγωγών
3. Εξαρτήματα αγωγών
4. Εξαρτήματα στύλων εν γένει
5. Κατασκευές Χ.Τ., Μ.Τ., υποσταθμών διανομής και υπογείων δικτύων.

Ελάχιστη Κατακόρυφη Απόσταση Αγωγών Πάνω από το Έδαφος

Ελάχιστη Κατακόρυφη Απόσταση Συνεστραμμένων Καλωδίων πάνω από το έδαφος

Ελάχιστες κατακόρυφες Αποστάσεις σε διασταυρώσεις αγωγών

2.5 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΑΝΥΣΕΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Τάνυση Αγωγών

Διάγραμμα Βέλους Κάμψης

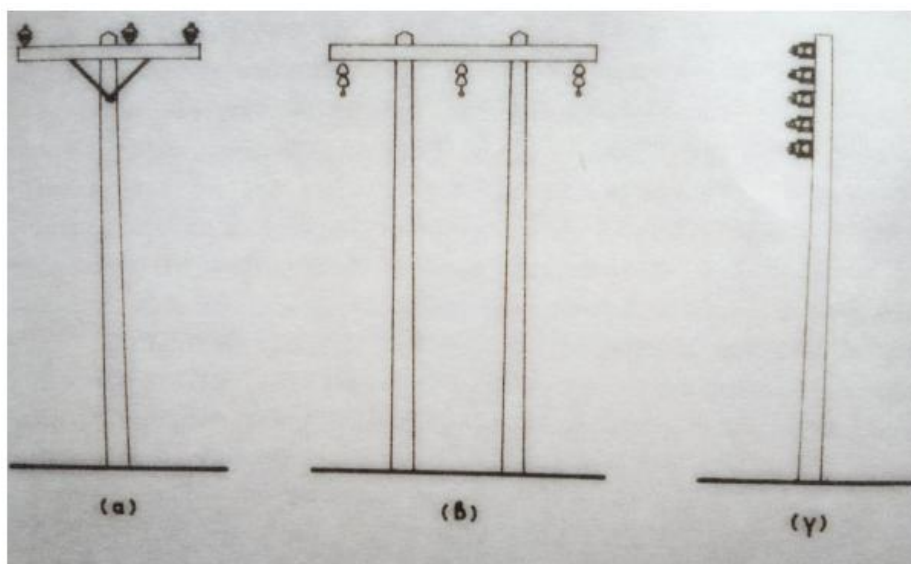
3. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΞΥΛΙΝΩΝ ΣΤΗΛΩΝ

3.1 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΞΥΛΙΝΩΝ ΣΤΗΛΩΝ

Οι εναέριες γραμμές συστημάτων μεταφοράς υψηλής τάσης κατασκευάζονται από γυμνούς αγωγούς που αποτελούνται από κλώνους αλουμινίου με χαλύβδινη ψυχή (κλώνους χάλυβα). Οι αγωγοί αυτοί αναρτώνται σε πυλώνες μέσω αλυσίδων μονωτήρων από πορσελάνη ή γυαλί.

Η μηχανική σχεδίαση των εναέριων γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υπόκειται σε ορισμένους κανόνες, οι οποίοι εξασφαλίζουν το απρόσιτο των αγωγών στο κοινό, αποβλέποντας στην ασφάλειά του. Οι βασικότερες απαιτήσεις της μηχανικής σχεδίασης αφορούν στις ελάχιστες αποστάσεις των αγωγών από το έδαφος και από γειτονικά κτίσματα, όπως και την μηχανική αντοχή των αγωγών, των μονωτήρων και των φορέων. Οι μηχανικές δυνάμεις που καταπονούν τις γραμμές είναι το βάρος των αγωγών, η δύναμη του ανέμου και το βάρος του πάγου που σχηματίζεται κάποιες φορές πάνω στις γραμμές από τις καιρικές συνθήκες. Βάσει των δυναμέων αυτών υπολογίζεται η καταπόνηση και συνεπώς η μηχανική ντοχή αγωγών και στηριγμάτων, όσο και η καμπύλη των αγωγών στο χώρο και οι αποστάσεις τους από το έδαφος.

Επισημαίνεται ότι, το 91% του δικτύου διανομής (Μέσης και Χαμηλής Τάσης) του ΔΕΔΔΗΕ είναι εναέριο. Συνολικά, το μήκος του εναέριου δικτύου διανομής είναι 195.000 km περίπου. Από τους στύλους του εναέριου δικτύου, το 90% είναι ξύλινοι, εμποτισμένοι με κρεόζωτο, ενώ το υπόλοιπο 10% είναι τσιμεντένιοι, εγκατεστημένοι στο σύνολο τους σε θέσεις προσιτές σε βαρέα οχήματα (στα δίκτυα υπάρχουν επίσης και παλαιοί χαλύβδινοι στύλοι, σε μικρές όμως ποσότητες). Το πλήθος των εγκατεστημένων ξύλινων στύλων εκτιμάται σε 4,5 εκατομμύρια, περίπου.



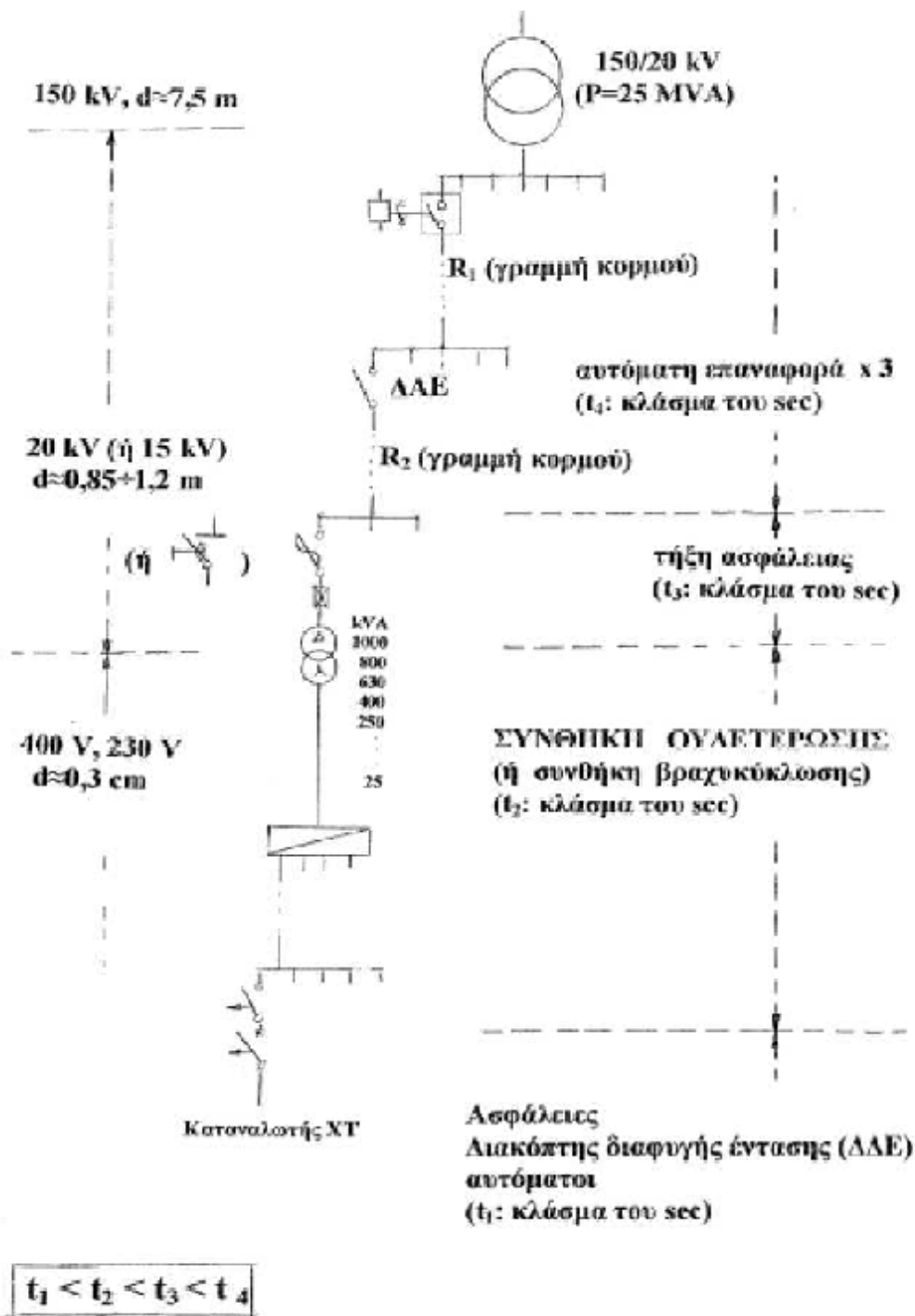
Τυποποιημένοι στύλοι γραμμών διανομής του ΔΕΔΔΗΕ. α και β: στύλοι γραμμών μέσης τάσης γ: στύλοι γραμμών χαμηλής τάσης

Ο ΔΕΔΔΗΕ ακολουθώντας την επιτυχημένη εμπειρία άλλων ηλεκτρικών εταιριών, πρακτική που ακολουθήθηκε εδώ και δεκαετίες από όλες σχεδόν τις προηγμένες χώρες διεθνώς, εφαρμόζει των εμποτισμό της ξυλείας του με εγκεκριμένα

από την Ευρωπαϊκή Ένωση συντηρητικά (κρεόζωτο, πενταχλωροφαινόλη) για τους εγκατεστημένους στα δίκτυα του ξύλινους στύλους, ξυλοδοκούς και βραχίονες με πολλαπλά και σημαντικά οφέλη, όπως είναι τα εξής: - Επάρκεια παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, περιορισμός των αιφνίδιων διακοπών ηλεκτροδότησης αλλά και περιορισμός των ατυχημάτων. - Αύξηση της διάρκειας ζωής των στύλων από τα 27 έτη στα 60 έως και 80 έτη. Με τη μεγάλη διάρκεια ζωής των εμποτισμένων στύλων μειώνονται οι προμήθειες και περιορίζονται οι αντίστοιχες υλοτομήσεις των δασών στα επίπεδα εκείνα τα όποια δεν διαταράσσουν την ισορροπία του δασικού οικοσυστήματος της χώρας. Υπολογίζεται ότι μέσω του εμποτισμού εξοικονομούνται 20.000 δασικά δένδρα ετησίως, με αυξητική τάση εξοικονόμησης.

Στο σχήμα που ακολουθεί, δίνεται απλοποιημένα ένα παράδειγμα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με αυτό, από το μετασχηματιστή υψηλής τάσης (150kV/20kV, 25MVA) του Κέντρου Υψηλής Τάσης (ΚΥΤ) αναχωρούν μέσω αυτόματων διακοπών ελαίου (ΑΔΕ) διάφορες γραμμές μέσης τάσης (20 kV), που η καθεμία αφορά τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μία ευρύτερη περιοχή. Οι γραμμές αυτές ονομάζονται «γραμμές κορμού» και συμβολίζονται στα σχέδια με το γράμμα R και ένα αριθμό (π.χ. R23). Καθεμία από τις παραπάνω γραμμές διακλαδίζεται σε ορισμένες γραμμές, που αφορούν την ηλεκτροδότηση (τμημάτων της ευρύτερης περιοχής) μέσω διακοπών αυτόματης επαναφοράς (ΔΑΕ), οι οποίες ονομάζονται επίσης γραμμές κορμού.

Όταν συμβεί ένα σφάλμα σε μία γραμμή κορμού (π.χ. βραχυκύκλωμα λόγω πτώσης ενός κλαδιού στη γραμμή), τότε ο διακόπτης προστασίας (ΑΔΕ ή ο ΔΑΕ) θα διακόψει αυτομάτως την ηλεκτροδότηση της συγκεκριμένης γραμμής και θα τεθεί αμέσως αυτομάτως στη θέση εντός για να ηλεκτροδοτηθεί η γραμμή και αν υπάρχει ακόμα το σφάλμα θα γίνει και πάλι αυτόματη διακοπή και ακολούθως αυτόματη εκ νέου ηλεκτροδότηση. Αν και κατά την δεύτερη αυτή αυτόματη προσπάθεια του διακόπτη συνεχίζει να υπάρχει το σφάλμα, θα γίνει και μία τρίτη αυτόματη «διακοπή- εκ νέου ηλεκτροδότηση» και μόνο αν εξακολουθεί να υπάρχει το σφάλμα θα συμβεί πλέον οριστική διακοπή ρεύματος της εν λόγω γραμμής κορμού. Είναι προφανές ότι η προαναφερθείσα σε τρεις κύκλους λειτουργία των ΑΔΕ και των ΔΑΕ αποσκοπεί, σε περιπτώσεις εμφάνισης παροδικών σφαλμάτων, τόσο στην προσπάθεια για απρόσκοπτη ηλεκτροδότηση μίας μεγάλης περιοχής, όσο και στην αποφυγή άσκοπων μετακινήσεων συνεργείων. Σημειώνεται ότι η διακοπή της ηλεκτροδότησης σε κάθε κύκλο λειτουργίας των ΑΔΕ και των ΔΑΕ συμβαίνει πάντοτε σε κλάσμα του δευτερολέπτου (σχεδόν ακαριαία διακοπή, π.χ. 0,15s , 0,35s , κ.λ.π.), που στην πράξη σημαίνει πως δεν υπάρχει αρκετός διαθέσιμος χρόνος για την εκδήλωση αξιόλογων θερμικών φαινομένων (δεν προκαλείται υπερθέρμανση της γραμμής πάνω από τα ανεκτά όρια, πολύ δε περισσότερο δεν δημιουργούνται τήγματα μετάλλου από τους αγωγούς).



Απλοποιημένο παράδειγμα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας

Όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί, οι γραμμές κορμού μέσω των ΔΔΕ διακλαδίζονται με τη σειρά τους σε διάφορες γραμμές που καταλήγουν σε υποσταθμούς υποβιβασμού της μέσης τάσης σε χαμηλή τάση (20kV/400V, 230V). Οι υποσταθμοί αυτοί διακρίνονται σε υπαίθριους επί στύλων ισχύος μέχρι 400kVA

και σε εσωτερικού χώρου (συνήθως σε υπόγεια πολυκατοικιών) μεγαλύτερης ισχύος από 400kVA. Στους υπαίθριους υποσταθμούς η γραμμή μέσης τάσης ηλεκτροδοτεί τον μετασχηματιστή μέσω μονοπολικών ασφαλειοαποζευκτών ή τριπολικών αποζευκτών, ενώ στους υποσταθμούς εσωτερικού χώρου η ηλεκτροδότηση του μετασχηματιστή γίνεται μέσω συγκροτήματος πινάκων.

Σημειώνεται ότι για λόγους διασύνδεσης ή απομόνωσης γραμμών μέσης τάσης (σε περιπτώσεις π.χ. πυρκαγιών, εργασιών συντήρησης και εργασιών αποκατάστασης βλαβών) υπάρχουν στις γραμμές μέσης τάσης μονοπολικοί ασφαλειοαποζεύκτες και τριπολικοί αποζεύκτες μη εντασσόμενοι σε υπαίθριους υποσταθμούς.

Η παροχή χαμηλής τάσης (400V, 230V) σε πελάτες χαμηλής τάσης γίνεται μέσω γραμμών χαμηλής τάσης (από γυμνούς αγωγούς ή συνεστραμμένα καλώδια) που ξεκινούν από τον πίνακα χαμηλής τάσης (ασφαλειοκιβώτιο) του υποσταθμού.

Η παροχή μέσης τάσης σε καταναλωτές αφορά απορροφημένες εντάσεις ρεύματος άνω των 200A ανά φάση, όπως συμβαίνει συνήθως σε βιομηχανίες, νοσοκομεία άνω των 100 κλινών, μεγάλα ξενοδοχεία, κτήρια ΑΕΙ, κ.λ.π. Στη μέση τάση και στη χαμηλή τάση χρησιμοποιούνται ξύλινοι στύλοι και μερικές φορές στις πόλεις, τσιμεντένιοι (και σπανιότερα μεταλλικοί). Τα υλικά και η εγκατάσταση κάθε ξύλινου στύλου είναι τυποποιημένα. Στο σχήμα δίνεται ένα παράδειγμα για στύλο ευθυγραμμίας ή μικρής γωνίας με απλή στήριξη των γυμνών αγωγών μέσω ξύλινης τραβέρσας (βραχίονα) κατά τον κανονισμό της ΔΕΗ Ρ-3C. Οι γυμνοί αγωγοί στα εναέρια δίκτυα χαμηλής τάσης είναι από κλώνους αλουμινίου (ή χαλκού). Στη μέση τάση χρησιμοποιούνται στα εναέρια δίκτυα γυμνοί αγωγοί ACSR, δηλαδή αγωγοί που αποτελούνται από κλώνους αλουμινίου με χαλύβδινη ψυχή (κλώνους χάλυβα).

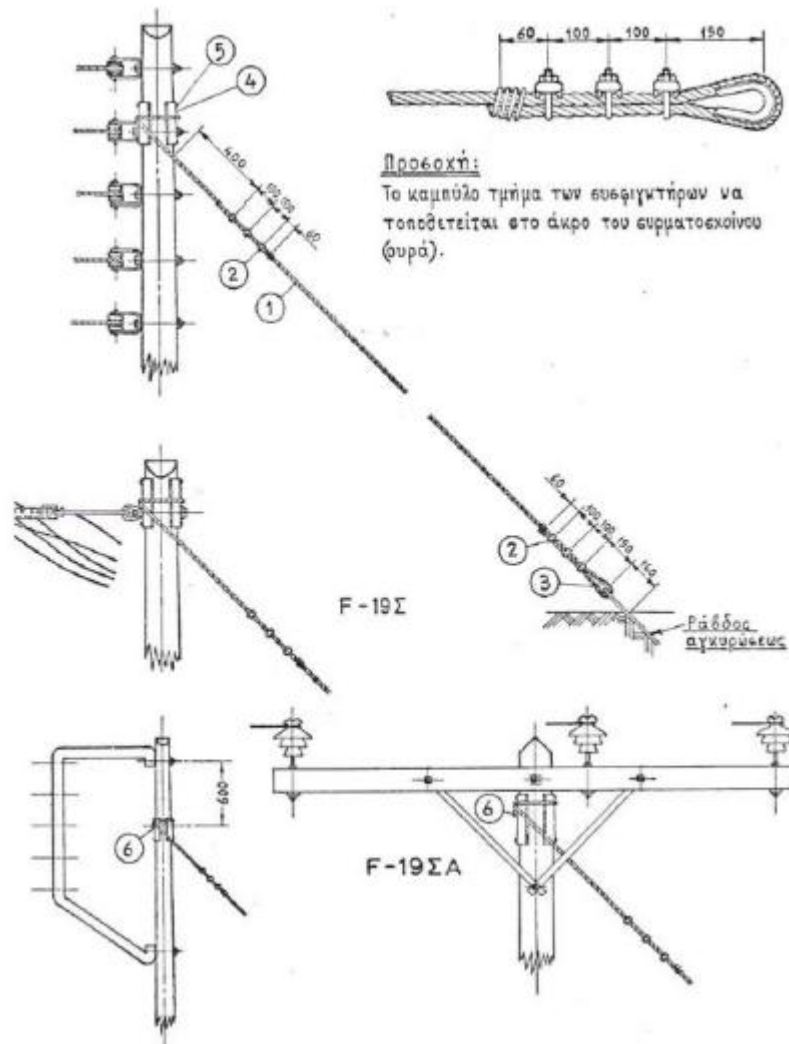


Ξύλινος πυλώνας με ξύλινη τραβέρσα. Με μονωτήρες για την στήριξη των γυμνών αγωγών μιας γραμμής μέση τάσης. Στην φωτογραφία διακρίνεται και η πρόσδεση του επιτόνου στο στύλο.

Η στήριξη των αγωγών πάνω στις ξύλινες τραβέρσες γίνεται με χρήση μονωτήρων που εξασφαλίζουν τη διηλεκτρική αντοχή μεταξύ αγωγών και αγωγών προς γη. Στο τέλος μίας εναέριας γραμμής ή σε αλλαγή της διεύθυνσής της τοποθετούνται επιτόνοι ή αντηρίδες γιατί εκεί αναπτύσσονται μεγάλες δυνάμεις στους στύλους. Οι επιτόνοι είναι συρματόσχοινα από ατσάλι που αγκυρώνονται εντός του εδάφους κατά τον κανονισμό π.χ. της ΔΕΗ F-25B.

Τοποθετούνται πάντοτε εντατήρες ώστε το συρματόσχοινο να τανυστεί σωστά. Το συρματόσχοινο δένεται ψηλά στο στύλο. Οι αντηρίδες είναι ξύλινοι στύλοι και τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε να στηρίζουν τους κύριους στύλους. Ο επίτονος σε στύλους μέσης τάσης έχει μονωτήρα στην πάνω μεριά του (δηλαδή προς τη θέση πρόσδεσής του στο στύλο), προς αποφυγή σπινθηρισμών (εκκενώσεων) από τους αγωγούς προς τον επίτονο. Έχει συνήθως και προφυλακτήρα (προστατευτικό μεταλλικό κάλυμμα) προς τη μεριά πρόσδεσής του στο έδαφος.

Οι επιτόνοι σε στύλους χαμηλής τάσης δεν διαθέτουν τον μονωτήρα που προαναφέρθηκε γιατί δεν υφίσταται πρόβλημα σπινθηρισμών στους αγωγούς και στους μονωτήρες χαμηλής τάσης.



Σχηματική απεικόνιση πρόσδεσης επιτόνου σε ξύλινο στύλο και στο έδαφος

Σημειώνεται ότι στη βιβλιογραφία αλλά και τους διεθνείς κανονισμούς, δεν προβλέπεται γείωση των επιτόνων αφού πρόκειται για συρματοσχοίνα που χρησιμοποιούνται μόνο για την ορθή στήριξη των στύλων. Τέλος, να σημειωθεί ότι πολλές φορές γίνεται χρήση των δίδυμων στύλων, δηλαδή 2 στύλων μαζί που συνδέονται με κοχλίες, όταν είναι αδύνατη η χρησιμοποίηση επιτόνου ή αντηρίδας.

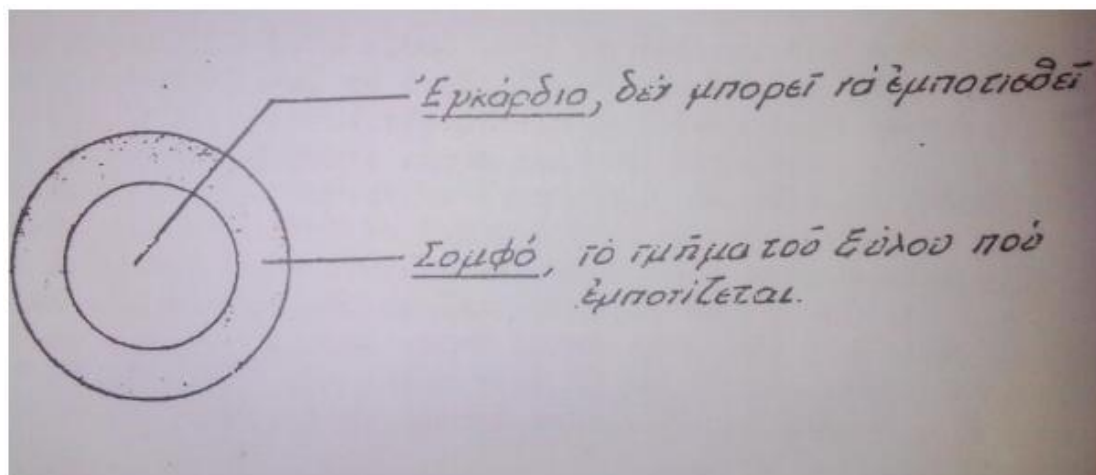
Η τάση του δικτύου είναι εναλλασσόμενη, ημιτονοειδούς μορφής και η ενεργός τιμή της κυματομορφής θεμελιώδους συχνότητας της τάσης αναφοράς καλείται ονομαστική τάση του δικτύου. Κάθε τμήμα του δικτύου σχεδιάζεται ώστε να λειτουργεί υπό ορισμένη ονομαστική τάση, και μπορεί να συνδέεται με διαφορετικά τμήματα του δικτύου που σχεδιάζονται να λειτουργούν υπό διαφορετική ονομαστική τάση μέσω μετασχηματιστών. Το δίκτυο χωρίζεται σε 3 μέρη σύμφωνα με το επίπεδο τάσης. Η ονομαστική τάση για το επίπεδο χαμηλής τάσης (XT) σε δίκτυο που αποτελείται από 4 κατακόρυφα διατεταγμένους γυμνούς αγωγούς είναι 230V μεταξύ φάσεως και ουδετέρου και καλείται φασική τάση, και 400V μεταξύ φάσεων και καλείται πολική τάση. Η ονομαστική τάση για το επίπεδο μέσης τάσης (MT) σε δίκτυο που αποτελείται από τρεις οριζόντια διατεταγμένους γυμνούς αγωγούς είναι 20 kV (ή 15 kV). Η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από τα εργοστάσια παραγωγής

προς τα κέντρα διανομής υψηλής τάσης (ΚΥΤ) γίνεται με τις γραμμές υψηλής τάσης 66kV, 150kV και 400kV.

Η συχνότητα του δικτύου αναφέρεται στον ρυθμό επανάληψης του θεμελιώδους κύματος της τάσης ανά δευτερόλεπτο, και είναι ενιαία και ίση με τη συχνότητα λειτουργίας του συστήματος για ολόκληρο το διασυνδεδεμένο δίκτυο και ενιαία για έκαστο απομονωμένο ηλεκτρικό δίκτυο μη διασυνδεδεμένου νησιού. Η ονομαστική τιμή της συχνότητας του δικτύου είναι ίση με 50 Hz.

3.2 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΕΥΛΙΝΩΝ ΣΤΗΛΩΝ-ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Εάν κόψουμε ένα στύλο κάθετα προς τον άξονα του, στην τομή αυτή διακρίνουμε ένα κεντρικό κυκλικό τμήμα, που ονομάζεται εγκάρδιο (heart wood) και ένα περιφερειακό τμήμα ανοικτότερου χρώματος που ονομάζεται σομφό ξύλο (sapwood). Το σομφό είναι το ξύλο μέσα στο οποίο οδεύουν οι χυμοί του δένδρου και είναι το τμήμα που μπορεί να εμποτιστεί. Κατά τον εμποτισμό η εσωτερική κοιλότητα των σωληνωτών κυττάρων του ξύλου πληρούται η επαλείφεται με συντηρητικά (κρεόζωτο, πενταχλωροφαινόλη) ανάλογα με τη μέθοδο εμποτισμού που ακολουθούμε (του κενού ή του πλήρους κύτταρου). Στο εγκάρδιο η κυτταρική κοιλότητα περιέχει εκχυλίσματα σε στερεά κατάσταση με συνέπεια το εγκάρδιο να μην μπορεί να εμποτιστεί. Η διάκριση του σομφού ξύλου από το εγκάρδιο οποιουδήποτε είδους ξύλου και η εύρεση των συνόρων τους προσδιορίζεται με ένα δείκτη. Τέτοιος δείκτης παρασκευάζεται με την ανάμειξη ίσων όγκων από διαλύματα ανισιδίνης με υδροχλωρικό οξύ και διαλύματα νιτρώδους νάτριου. Το μείγμα των δυο διαλυμάτων τοποθετείται στο ξύλο με βούρτσα ή ψεκαστήρα. Μετά από μερικά λεπτά το εγκάρδιο ξύλο παίρνει ένα ζωνρό πορτοκαλί χρώμα, ενώ το σομφό ξύλο διατηρείται σε ένα άτονο χρώμα μεταξύ κίτρινου και πορτοκαλί.



Εγκάρσια τομή στύλου

ΚΟΙΝΗ ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΒΟΤΑΝΙΚΗ ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ
Μαύρη Πεύκη	PINUS NIGRA	ΕΥΡΩΠΗ
Δασική Πεύκη	PINUS SILVESTRIS	ΕΥΡΩΠΗ
Νότια Πεύκη		
Παχυλή	PINUS TAEDA	B. ΑΜΕΡΙΚΗ
Λιμναία	PINUS PALUSTRIS	B. ΑΜΕΡΙΚΗ
Βραχύφυλλη	PINUS ECHINATA	B. ΑΜΕΡΙΚΗ
Ελιότια	PINUS ELLIOTTI	B. ΑΜΕΡΙΚΗ

Είδη ξυλείας για ατασκευή στύλων, πασσάλων ενίσχυσης και δοκών αγκύρωσης

Στην προδιαγραφή ΔΕΗ GR-49 δίνονται τα είδη ξυλείας, η προέλευση τους, η αντοχή και η ανάπτυξη καθώς και το πάχος σομού του ξύλου. Συμφώνα με την εν λόγω προδιαγραφή, οι στύλοι, οι πάσσαλοι ενίσχυσεως και οι δοκοί αγκύρωσης θα πρέπει να αποκοπούν από ζώντα και στερεά κορμόδενδρα, που προέρχονται από τα είδη ξυλείας που δίνονται στον προηγούμενο πίνακα στον οποίο αναφέρεται και η προέλευση της ξυλείας (Ευρώπη ή Β. Αμερική). Οι στύλοι που βρίσκονται στα δίκτυα διανομής Μ.Τ. ΚΑΙ Χ.Τ. της ΔΕΔΔΗΕ προέρχονται κατά 90% από δασική Πεύκη (PINUS SILVESTRIS). Τα κορμόδενδρα που επιλέγονται για στύλου ελέγχονται για τον ρυθμό ανάπτυξης τους και για την αντοχή τους σε κάμψη όπως προβλέπεται από τον αμερικανικό κανονισμό ASTM D-1036/1973. Επίσης ελέγχεται το πάχος του σομού ξύλου, που πρέπει να είναι τόσο όσο είναι απαραίτητο για αν επιτευχτεί το απαιτούμενο βάθος διείδυσης του συντηρητικού. Απαγορευμένα ελαττώματα και αίτια απόρριψης κατά τον έλεγχο είναι η σήψη, οι κοιλότητες, τα ρήγματα, οι οπές, οι σχισμές και οι ρωγμές. Οι ξύλινοι στύλοι πρέπει να είναι σύμφωνοι με τις τυποποιημένες ελάχιστες διαστάσεις των διαμετρών τους σε απόσταση 1.80m από το κάτω άκρο (βλ. επόμενο πίνακα).

ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΡΥΣ (cm)	ΜΕΣΟΣ (cm)	ΕΛΑΦΡΟΣ (cm)
9	26	22,5	19
10	27	23,5	20
11	28	24,5	21
12	29	25,5	22
13	30	26,5	23
14	31	27,5	24
15	32	28,5	25

Τυποποιημένες ελάχιστες διαστάσεις διαμέτρων στύλων (σε απόσταση 1,8 m από το κάτω άκρο τους) ανάλογα με το ύψος τους

Για όλα τα μήκη στύλων (9-15 m) η ελάχιστη διάμετρος κορυφής είναι για τους βαρείς στύλους 18 cm, για τους μέσους 15 cm και για τους ελαφρούς 12 cm.

Αντίστοιχες διαστάσεις και προδιαγραφές υπάρχουν για τους δοκούς αγκύρωσης και τους πασσάλους ενίσχυσης, στην προδιαγραφή ΔΕΗ (GR-49) περιγράφονται αναλυτικά ο τρόπος υλοτόμησης, αποφλοιώσης και καθαρισμού των κορμόδενδρων καθώς επίσης και ο τρόπος μεταφοράς, παράδοσης, στοίβασης, αποξήρανσης και ο έλεγχος περιεκτικότητας σε υγρασία.

3.2.1 Ξύλινοι Βραχίονες Τραβέρσες

Τα ίδια αυστηρά κριτήρια με τους στύλους ισχύουν και στην επιλογή των ξύλινων βραχιόνων των στύλων πάνω στους οποίους εγκαθίστανται οι μονωτήρες στήριξης των αγωγών. Σύμφωνα με την προδιαγραφή ΔΕΗ GR-50 οι ξύλινοι βραχίονες πρέπει να αποκόπτονται εκ ζώσης πυκνής ξυλείας, από τα ακόλουθα είδη ξύλου:

DOUGLAS FIR (PSEUDOTSUGA TAXIFOLIA)

ABIES CEPHALONIKA

PINUS PALUSTRIS

PINUS SYLVESTRIS

PINUS NIGRA

PINUS ECHINATA

PINUS TAEDA

PINUS CARIBEA

PINUS RIGIDA SEROTINA

Η αντοχή των ινών της ξυλείας πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 520 kg/cm² και οι διαστάσεις να είναι σύμφωνες με τις προδιαγραφές (αρ. A-4010 ή A-410-2). Επίσης ελέγχεται το κύρτωμα, η συμπίεση του ξύλου, οι ρωγμές, η λοξοδρόμηση των ινών, οι σήψεις και οι κοιλότητες. Επισημαίνεται ότι δίνεται σημασία τόσο στον τρόπο υλοτόμησης και αποφλοιώσης της ξυλείας, όσο και στην αποξήρανση της στον αέρα με ατμό ή με θέρμανση. Τέλος, στον προαναφερθέντα κανονισμό περιγράφεται ο τρόπος μέτρησης της περιεκτικότητας του ξύλου σε υγρασία.

3.2.2 Μονωτήρες

Οι αγωγοί των γραμμών αναρτώνται στους στύλους μέσω μονωτήρων, οι οποίοι παρέχουν και την απαιτούμενη μόνωση των αγωγών έναντι των υπολοίπων μερών των στύλων. Στις γραμμές Μ.Τ. και Χ.Τ. χρησιμοποιούνται μονωτήρες στηρίξεως κατασκευασμένοι από πορσελάνη ή γυαλί (βλ. πίνακες 7-1 και 7-2). Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται στην μέση τάση συνθετικοί μονωτήρες, γιατί έχουν το πλεονέκτημα (έναντι των μονωτήρων πορσελάνης) ότι δεν εκδηλώνονται σε αυτούς σπινθηρισμοί. Για τον λόγο αυτό οι συνθετικοί μονωτήρες χρησιμοποιούνται ευρήτα σε παραθαλάσσιες περιοχές.

3.3 ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΥΛΩΝ ΣΕ ΛΥΓΙΣΜΟ

Όταν το κατακόρυφο φορτίο G έχει κατεύθυνση προς τα κάτω (θλιπτικό), καταπονεί το στύλο σε λυγισμό που είναι μια καταπόνηση δυσμενέστερη εκείνης της θλίψης και παρουσιάζεται στις περιπτώσεις που ο φορέας που θλίβεται έχει μήκος πολύ μεγαλύτερο των διαστάσεων της επιφάνειας θλίψης. Στην περίπτωση αυτή υπάγονται προφανώς οι στύλοι.

Ο λυγισμός γενικά προηγείται της θραύσης.

Το κρίσιμο φορτίο λυγισμού των στύλων εξαρτάται βασικά από τη δυνατότητα της κορυφής του στύλου να μετακινηθεί, από τις γεωμετρικές διαστάσεις του στύλου και το ελεύθερο μήκος λυγισμού, που είναι το μήκος από το σημείο εφαρμογής της δύναμης μέχρι την επιφάνεια του εδάφους, άρα έμμεσα και από το βάθος θεμελίωσης.

Έτσι έχουμε διαφορετικό τρόπο υπολογισμού σε στύλους ευθυγραμμίας (ελεύθερος λυγισμός με πακτωμένη βάση), σε στύλους απλού τέρματος ή γωνιών με επίτονο (δέσμευση οριζόντιας μετακίνησης κορυφής προς τη διεύθυνση του επιτόνου) και σε στύλους διπλών τερμάτων με επιτόνους (καμιά δυνατότητα οριζόντιας μετακίνησης της κορυφής).

Το επιτρεπόμενο φορτίο λυγισμού βρίσκεται αν διαιρέσουμε το κρίσιμο με το συντελεστή ασφαλείας.

3.3.1 Λυγισμός σε Στύλους Ευθυγραμμίας

Εδώ το κρίσιμο φορτίο λυγισμού υπολογίζεται με την υπόθεση, ότι η κορυφή του στύλου είναι πρακτικά ελεύθερη να μετακινηθεί προς όλες τις κατευθύνσεις. Το κρίσιμο φορτίο λυγισμού προκύπτει από το τύπο:

$$G_{\text{κρίσιμο}} = K^2 \cdot E \cdot I_1 \cdot \gamma^4$$

Τα αναφερόμενα φορτία λυγισμού του επόμενου πίνακα, βρέθηκαν με την υπόθεση ότι το σημείο εφαρμογής της δύναμης G είναι 20 cm κάτω της κορυφής και το βάθος θεμελίωσης είναι εκείνο που αντιστοιχεί σε έδαφος «καλό».

Αυτό σημαίνει ότι με αυτά τα φορτία είμαστε καλυμμένοι για όλα τα εδάφη θεμελίωσης εκτός από το βραχώδες, αλλά οι διαφορές δεν είναι σημαντικές και ο πίνακας έχει γενική εφαρμογή.

ΜΕΓΙΣΤΑ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΑ ΦΟΡΤΙΑ ΛΥΓΙΣΜΟΥ ΣΤΥΛΩΝ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΑΣ (Antst20.xls)				
Στύλοι		Κρίσιμο φορτίο λυγισμού	Επιτρ. φορτίο λυγισμού	
			Κλάση Β συντ. ασφ. 2,7	Κλάση Α συντ. ασφ. 4
Υψος m	Κατηγορ.	G κρ daN	G επ daN	G επ daN
9	E	1969	729	492
10	E	1746	647	437
11	E	1584	587	396
12	E	1471	545	368
9	M	4236	1569	1059
10	M	3662	1356	916
11	M	3248	1203	812
12	M	2964	1098	741
13	M	2717	1006	679
14	M	2540	941	635
9	B	8031	2974	2008
10	B	6817	2525	1704
11	B	6023	2231	1506
12	B	5415	2006	1354
13	B	4891	1812	1223
14	B	4517	1673	1129
15	B	4179	1548	1045

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ :

Στύλος ύψους 12 μέτρων με κατακόρυφο φορτίο 700 daN δεν μπορεί να είναι E στην κλάση B αλλά τουλάχιστον M .

Γραφικά: Βρίσκουμε το κατακόρυφο άνοιγμα του στύλου KA με το καμπυλόγραμμο σε κατακόρυφη επιφόρτιση, το πολλαπλασιάζουμε επί τον αριθμό των αγωγών και την ειδική κατακόρυφη επιφόρτιση WK και παίρνουμε το G . Αυτό το G προσαυξημένο κατά το βάρος ενός τεχνίτη (100 daN) και των εξαρτισμών κορυφής, πρέπει να είναι μικρότερο των τιμών του πίνακα.

Υπολογιστικά: Υποθέτουμε ότι έχουμε τους διαδοχικούς στύλους No 1, 2, 3 . με οριζόντιες αποστάσεις U και L₂. Αν τα υψόμετρα πρόσδεσης του αγωγού είναι αντίστοιχα h₁ , h₂, h₃, τότε η κατακόρυφη δύναμη που δέχεται ο στύλος 2 από έναν αγωγό με κατακόρυφη τάνυση TK και κατακόρυφη επιφόρτιση WK δίνεται από τον τύπο:

$$P_k = 0,5 \cdot (L_1 + L_2) \cdot WK + TK \cdot \left(\frac{h_2 - h_1}{L_1} + \frac{h_2 - h_3}{L_2} \right)$$

Προφανώς για οριζόντιο ή ισοκλινές έδαφος

$$P_k = 0,5 \cdot (L_1 + L_2) \cdot WK$$

δηλαδή η κατακόρυφη δύναμη είναι ίση με το κατακόρυφο φορτίο του αγωγού στο μέσο άνοιγμα . Για τρεις αγωγούς G=3P_k. Γενικά πρέπει

$$G+150 \leq G_{\text{επ}}(\text{MT με γυμνούς αγωγούς})$$

$$G+110 \leq G_{\text{επ}}(\text{στη XT})$$

3.3.2 Λυγισμός σε στύλους απλού τέρματος ή γωνίας με επίτονο

Στις περιπτώσεις αυτές η δυνατότητα μετακίνησης της κορυφής του στύλου είναι περιορισμένη και επιπλέον υπάρχει και η δύναμη P στη διεύθυνση του άξονα του στύλου. Τώρα το συνολικό κρίσιμο φορτίο λυγισμού P+G (κρίσιμο) δίνεται από τον τύπο:

$$P + G (\text{κρίσιμο}) = K^2 \cdot E \cdot I_1 \cdot \gamma^4$$

Όπου το K είναι λύση της εξίσωσης:

$$\sigma \phi K \epsilon = -\frac{1-\beta}{\gamma} \cdot \frac{1}{K} - \frac{\beta \cdot E \cdot I_1 \cdot \gamma^3}{G} \cdot K$$

Βλέπουμε δηλαδή ότι το κρίσιμο φορτίο λυγισμού εξαρτάται άμεσα από το κατακόρυφο φορτίο G.

Ο επόμενος πίνακας δίνει τα μέγιστα επιτρεπόμενα φορτία λυγισμού P_{επ.} για συγκεκριμένες τιμές του G.

Δύναμη 0,2 m κάτω κορυφής		ΜΕΓΙΣΤΑ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΑ ΦΟΡΤΙΑ ΛΥΓΙΣΜΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΩΝ Η ΓΩΝΙΑΚΩΝ ΣΤΥΛΩΝ ΜΕ ΕΠΙΤΟΝΟ P _{επ.}									
		Στύλοι σε οριζόντια διάταξη αγωγών με β.θ σε "καλό" έδαφος (LIGTERM.XLS)									
Στύλοι		G=200		G=400		G=600		G=1000		G=1600	
Υψος	Κατηγορ.	κλάση B	κλάση A	κλάση B	κλάση A	κλάση B	κλάση A	κλάση B	κλάση A	κλάση B	κλάση A
m		daN	daN	daN	daN	daN	daN	daN	daN	daN	daN
9	E	3322	2441	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

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ: Στύλος τέρματος με οριζόντια διάταξη αγωγών 11M με G=1000 daN. Η δύναμη P λόγω επιτόνου δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 4083 daN σε κλάση B.

3.3.3 Λυγισμός σε στύλους διπλού τέρματος με επίτονους σε γωνία

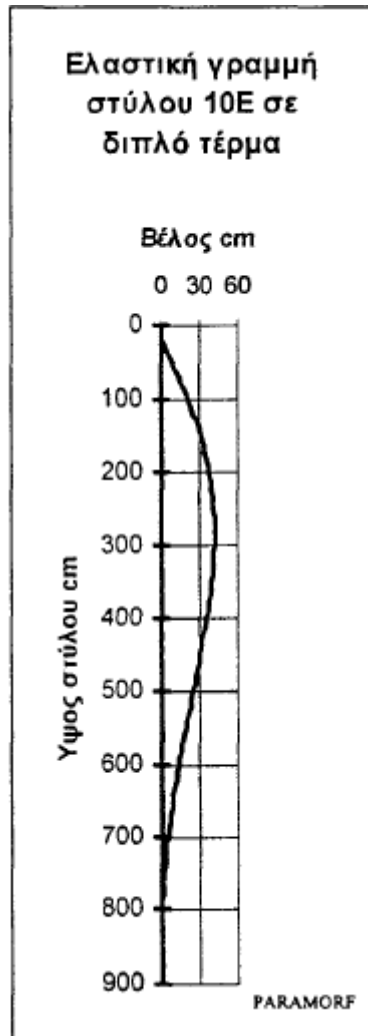
Στην περίπτωση αυτή η κορυφή του στύλου δεν έχει καμία δυνατότητα να μετακινηθεί σε οριζόντιο επίπεδο παρά μόνο προς τα κάτω. Η θεωρητική ανάπτυξη μας δίνει το συνολικό κρίσιμο φορτίο λυγισμού από τον τύπο:

$$(P + G)_{\text{κρ}} = 0,991E \left(\frac{d_0 d_1}{h} \right)^2$$

Αν το συνολικό κατακόρυφο φορτίο P+G δεν υπερβαίνει κάποια τιμή ο στύλος είναι επαρκής .

Δηλαδή η επάρκεια σε λυγισμό εξασφαλίζει την αντοχή στύλου διπλού τερματισμού με επιτόνους σε δύο διαφορετικές κατευθύνσεις.

Το παρακείμενο διάγραμμα μας δίνει την ελαστική γραμμή παραμόρφωσης στύλου 10E διπλού έρματος με επιτόνους με βάθος θεμελίωσης 1,50 m, που φέρει συνολικό κατακόρυφο φορτίο P+G=9707 daN . Στο σχήμα που ακολουθεί παραθέτουμε την ελαστική γραμμή στύλου 10E σε διπλό τέρμα.



3.4 ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΥΛΩΝ ΣΕ ΘΡΑΥΣΗ

3.4.1 Θράυση Αυτοστήρικτων Στύλων

Αν υποθέσουμε ότι ο στύλος καταπονείται μόνο από το οριζόντιο φορτίο Q , τότε αν ο στύλος ήταν κυλινδρικός, το επικίνδυνο σημείο θράυσης θα ήταν στην επιφάνεια του εδάφους που έχουμε τη μεγαλύτερη ροπή κάμψης.

Επειδή όμως οι στύλοι είναι κολουροκωνικοί, όσο κατεβαίνουμε κάτω από την κορυφή αυξάνει μεν αναλογικά η ροπή κάμψης, αλλά συγχρόνως αυξάνει και η διάμετρος με αύξηση της ροπής αντίστασης (με την τρίτη δύναμη) και το δυσμενέστερο σημείο θράυσης υπολογίζεται αναλυτικά υποθέτοντας σταθερή κωνικότητα. Έτσι το δυσμενέστερο σημείο είναι εκείνο που δίνει τη μεγαλύτερη τάση θράυσης.

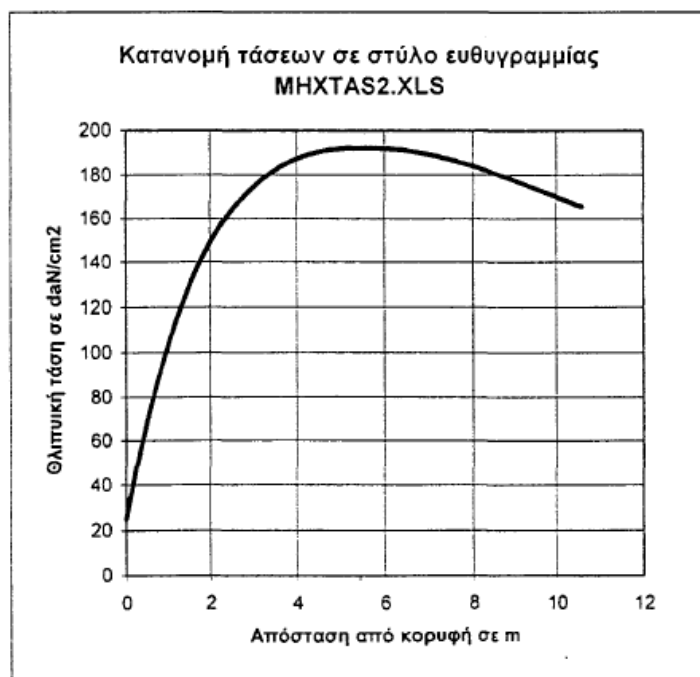
Το αποτέλεσμα των υπολογισμών δίνει την απόσταση του δυσμενέστερου σημείου θράυσης του στύλου από την κορυφή

$$x = \frac{d_0}{2t}$$

όπου d_0 είναι η διάμετρος κορυφής και t η υποτιθέμενη σταθερή κλίση της κωνικότητας.

3.4.2 Θράυση Στύλων Ευθυγραμμίας

Στην ταυτόχρονη εφαρμογή των δυνάμεων G με εκκεντρότητα EK (ή e) και Q , έχουμε την ίδια περίπου συμπεριφορά, αλλά υπάρχει και συμμετοχή του κατακόρυφου φορτίου που διαφοροποιεί τα πράγματα. Αυτό φαίνεται καλύτερα στο παρακάτω διάγραμμα.



Στο διάγραμμα αυτό δίνεται η κατανομή των θλιπτικών τάσεων κατά μήκος του στύλου.

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα έχουμε πάρει στύλο 12E (1,60) με φορτία $Q=152$, $G=200$ daN και εκκεντρότητα 20 cm.

Βλέπουμε ότι το σημείο που μεγιστοποιείται η θλιπτική τάση, είναι σε απόσταση 5,4 m από την κορυφή, ή 5 m από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ η μέγιστη τάση είναι $\sigma_{max} = 192,1$ daN/cm².

Η τάση αυτή είναι αποδεκτή έστω και οριακά για το στύλο 12E σε κλάση κατασκευής B, αφού είναι μικρότερη της επιτρεπόμενης $520/2,7=192,6$ daN/cm².

Ο τύπος που δίνει την συνολική θλιπτική τάση σ , στο σημείο που απέχει από την ιδεατή κορυφή x , όταν φορτίζεται με κατακόρυφο φορτίο G σε εκκεντρότητα β και οριζόντιο Q δίνεται από τον τύπο:

$$\sigma = \frac{4G}{\pi d_1^2} \cdot \frac{\beta^2 h^2}{x^2} \cdot \left[1 - \frac{8\beta h}{d_1} \cdot \frac{Q}{G} \cdot \frac{\eta \mu \left(\frac{K}{x} - \alpha K \right)}{S} + \frac{8e}{d_0} \cdot \frac{\eta \mu \left(\frac{K}{x} - K\gamma \right) + K\gamma \operatorname{sn} \left(\frac{K}{x} - K\gamma \right)}{S} \right]$$

Η τιμή του x που μεγιστοποιεί την σ μας δίνει τη μέγιστη τάση την οποία δεν πρέπει να υπερβούμε λαμβάνοντας υπόψη και τους συντελεστές ασφαλείας που είναι 2.7 για την κλάση B και 4 για την A.

4. ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΞΥΛΙΝΩΝ ΣΤΥΛΩΝ

Τα κυριότερα υλικά που τοποθετούνται στις εναέριες γραμμές για τη στήριξη των αγωγών και τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας είναι : οι στύλοι, οι επίτονοι-αντηρίδες- δίδυμοι στύλοι, οι μονωτήρες, τα εξαρτήματα σύνδεσης μεταξύ των αγωγών, τα εξαρτήματα ανάρτησης των αγωγών, τα αλεξικέραυνα, οι βραχίονες των στύλων (ή τραβέρσες) και τα πλαίσια, οι αποσβεστήρες δονήσεων κ.α. Στη συνέχεια εξετάζουμε μερικά από αυτά ξεχωριστά το καθένα :

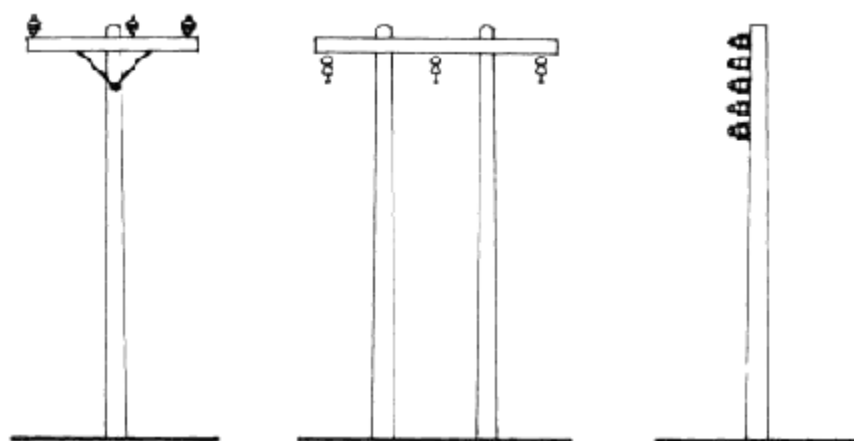
4.1 ΣΤΥΛΟΙ ΜΤ/ΧΤ

Οι αγωγοί των εναέριων δικτύων διανομής στηρίζονται σε στύλους ή πυλώνες. Στις γραμμές διανομής χαμηλής τάσης οι στύλοι είναι συνήθως απλοί ξύλινοι με εγκάρσιους βραχίονες κοντά στην κορυφή για τη στήριξη των αγωγών. Οι ξύλινοι στύλοι της ΔΕΗ παράγονται σύμφωνα με ευρωπαϊκές προδιαγραφές (British standards) όλων των κατηγοριών έως 15 μέτρα.

Σύμφωνα λοιπόν με τις προδιαγραφές της ΔΕΗ περί των ξύλινων στύλων (GR-49/101181 της λίστας της ΔΕΗ), τα είδη της ξυλείας που χρησιμοποιούνται για στύλους και πασσάλους ενισχύσεως είναι :

- Μαύρη πεύκη
- Δασική πεύκη
- Νότια πεύκη ,

ενώ για δοκούς αγκυρώσεως χρησιμοποιούνται επιπλέον η κεφαλληνιακή ελάτη, η οξιιά και ο δρυς. Παρακάτω εικονίζονται διάφοροι τύποι στύλων που χρησιμοποιούνται από τη ΔΕΗ :

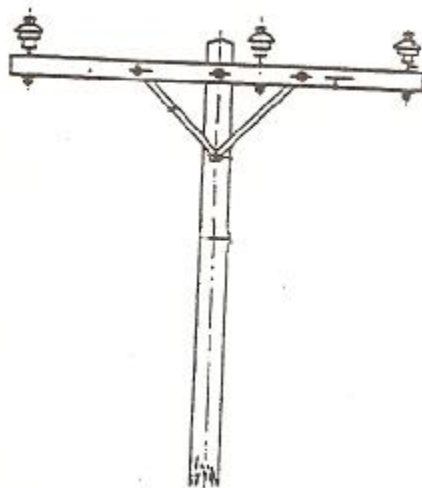


Είδη Στύλων

Οι χρησιμοποιούμενοι στύλοι ανάρτησης γραμμών στα εναέρια δίκτυα είναι συνήθως ξύλινοι ήτσιμεντένιοι και σπανιότερα μεταλλικοί. Οι χρησιμοποιούμενοι αγωγοί είναι συνήθως από αλουμίνιο, απλό στα δίκτυα χαμηλής τάσης ή ενισχυμένο με χαλύβδινη ψυχή στα δίκτυα μέσης ή υψηλής τάσης, ή κράματα αλουμινίου. Παλαιότερα χρησιμοποιούνταν αγωγοί χαλκού, σήμερα όμως η χρήση τους περιορίζεται σε περιοχές έντονης διάβρωσης. Τα τελευταία χρόνια οι εναέριες

γραμμές χαμηλής τάσης κατασκευάζονται , σε ολόένα αυξανόμενο ποσοστό, με μονωμένους αγωγούς συνεστραμμένων αγωγών, με τάση κατάργησης των γυμνών αγωγών. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η ασφάλεια λειτουργίας και μειώνεται η ενόχληση στο περιβάλλον.

Για τη στήριξη των αγωγών σε ένα εναέριο δίκτυο χρησιμοποιούνται ξύλινοι στύλοι ή από οπλισμένο σκυρόδεμα για τη ΜΤ και την ΧΤ.

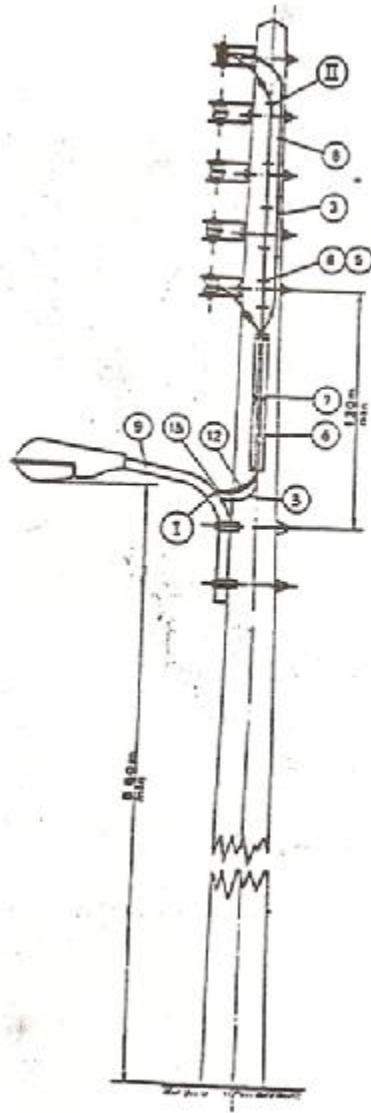


Ξύλινος στύλος

Εκτός από τους ξύλινους φορείς, χρησιμοποιούνται συχνά στις γραμμές μέσης και χαμηλής τάσης και στύλοι από οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι ξύλινοι φορείς έχουν το πλεονέκτημα του μικρότερου κόστους και βάρους (εύκολη μεταφορά και τοποθέτηση), καθώς και της καλύτερης μόνωσης της γραμμής. Έχουν όμως μικρότερη διάρκεια ζωής, με αποτέλεσμα να χρειάζονται συντήρηση ή αντικατάσταση σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα και είναι αντιαισθητικοί για τοποθέτηση μέσα στις πόλεις.

Οι στύλοι από οπλισμένο σκυρόδεμα κατασκευάζονται κυρίως με φυγοκέντριση. Μέσα σε ειδικό καλούπι τοποθετούνται ο σιδερένιος οπλισμός και το σκυρόδεμα και μετά αρχίζει η φυγοκέντριση του καλουπιού. Η ποιότητα τους είναι ελεγχόμενη και παρουσιάζουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τους ξύλινους. Μειονεκτούν στο γεγονός ότι έχουν μεγαλύτερο βάρος από τους ξύλινους και παρουσιάζουν μεγαλύτερη δυσκολία στην τοποθέτηση.

Οι ξύλινοι στύλοι έχουν μικρή μηχανική αντοχή καθώς και μικρή διάρκεια ζωής, επειδή σαπίζουν κυρίως γύρω από την επιφάνεια επαφής τους με το έδαφος στο τμήμα θεμελίωσης τους.



Τσιμεντένιος στύλος

Για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται κορμοί κωνοφόρων δέντρων. Η διάρκεια ζωής τους εξαρτάται από την ποιότητα της ξυλείας, την προέλευσή της, το έδαφος που θα τοποθετηθούν, καθώς και από την κατεργασία τους.

Το μήκος τους είναι από 5 μέχρι 15 m και πακτώνονται κατά το 1/6 του μήκους τους.

Τα πλεονεκτήματα των ξύλινων στύλων είναι:

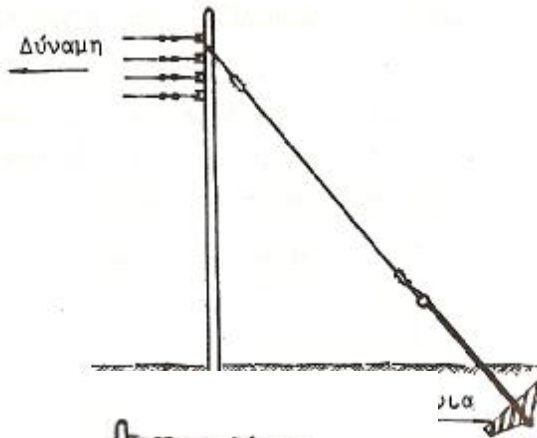
- Μικρό κόστος
- Μικρό βάρος (εύκολη μεταφορά και τοποθέτηση)

Τα μειονεκτήματα των ξύλινων στύλων είναι:

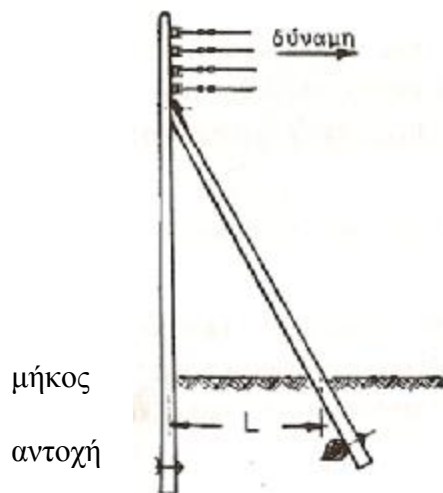
- Μικρή διάρκεια ζωής
- Μικρή μηχανική αντοχή
- Είναι αντιαισθητικοί για τοποθέτηση μέσα στις πόλεις

Οι στύλοι από οπλισμένο σκυρόδεμα κατασκευάζονται κυρίως με φυγοκέντριση. Μέσα σε ειδικό καλούπι τοποθετούνται ο σιδερένιος οπλισμός και το σκυρόδεμα και μετά αρχίζει η φυγοκέντριση του καλούπιού. Η ποιότητα τους είναι ελεγχόμενη και παρουσιάζουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τους ξύλινους. Μειονεκτούν στο ότι έχουν μεγαλύτερο βάρος από τους ξύλινους και παρουσιάζουν μεγαλύτερη δυσκολία στην τοποθέτηση.

Στο τέλος μιας εναέριας γραμμής ή σε γωνίες του δικτύου τοποθετούνται επίτονοι ή αντηρίδες γιατί εκεί αναπτύσσονται μεγάλες δυνάμεις στους στύλους.



Οι επίτονοι είναι συρματόσχοινα που αγκυρώνονται είτε με ξυλοδοκό είτε με τσιμεντένια πλάκα. Τοποθετούνται πάντοτε εντατήρες, ώστε το συρματόσχοινο να τανυστεί σωστά. Το συρματόσχοινο δένεται ψηλά στο στύλο.



Επίτονος

Οι αντηρίδες είναι ξύλινοι στύλοι που τοποθετούνται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να στηρίζουν τους κύριους στύλους. Όπου είναι ανέφικτη η τοποθέτηση επιτόνου ή αντηρίδας χρησιμοποιούνται οι δίδυμοι στύλοι. Τοποθετούνται δηλαδή δύο στύλοι ίδιας κατηγορίας, οι οποίοι εφάπτονται σε όλο το τους, υπό την επίδραση και συνδετικών κοχλιών στήριξης. Με αυτό τον τρόπο η των δίδυμων στύλων είναι σημαντικά μεγαλύτερη από αυτή του απλού στύλου.

Αντηρίδα

Η επιλογή του είδους των στύλων που θα χρησιμοποιηθούν επαφίεται στον μελετητή και τους αρμόδιους της υπηρεσιακής μονάδας της ΔΕΗ. Εδώ δίνουμε κάποιες γενικές κατευθύνσεις. Ένα αστικό δίκτυο με τσιμεντόστυλους χωρίς χρήση επιτόνων είναι ακριβότερο από εκείνο με ξύλινους στύλους και επιτόνους.

Σχέση κόστους περίπου 2:1. Αν στους τσιμεντόστυλους χρησιμοποιηθούν και επίτονοι, το κόστος περιορίζεται πολύ και η αντίστοιχη σχέση κόστους είναι της τάξης του 1,5:1 και σε μερικές περιπτώσεις δικτύου ΧΤ με συνεστραμμένα καλώδια γίνεται 1:1. Η χρησιμοποίηση συνεστραμμένων καλωδίων στη ΧΤ κατεβάζει το κόστος και των δύο περιπτώσεων.

Σε περιοχές με πυκνή δόμηση και λίγο πράσινο που κυριαρχεί το άσπρο χρώμα στις οικοδομές, καλύτερη αισθητική εξασφαλίζει το δίκτυο με τσιμεντόστυλους μικρών διαστάσεων.

Σε περιοχές αραιής δόμησης με αρκετό πράσινο, οι ξύλινοι στύλοι δίνουν πιο προσαρμοσμένη λύση. Με την πάροδο του χρόνου άλλωστε το έντονο μαύρο χρώμα των ξύλινων στύλων ξεθωριάζει και ενοχλεί λιγότερο. Καλό είναι να αποφεύγεται η εναλλαγή ξύλινων και τσιμεντένιων στύλων στην ίδια γραμμή. Σε κάποιες περιπτώσεις αναγκάζομαστε από τα πράγματα να χρησιμοποιήσουμε αυτοστήρικτο τσιμεντένιο στύλο λόγω αδυναμίας να βάλουμε επίτονο ή επιτόνους. Η χρησιμοποίηση στύλου εξαιρετικά βαρύ (ΕΒ) με διάμετρο στην επιφάνεια του εδάφους 50 cm περίπου σε μικρά πεζοδρόμια που αναγκάζει τους πεζούς να κατεβαίνουν απ αυτά, ασφαλώς δεν αποτελεί λύση.

Στις υπεραστικές γραμμές και ειδικότερα σε ανώμαλο έδαφος οι ξύλινοι στύλοι πλεονεκτούν σε τοποθέτηση, μηχανική λειτουργία και κόστος και χρησιμοποιούνται κατ' αποκλειστικότητα.

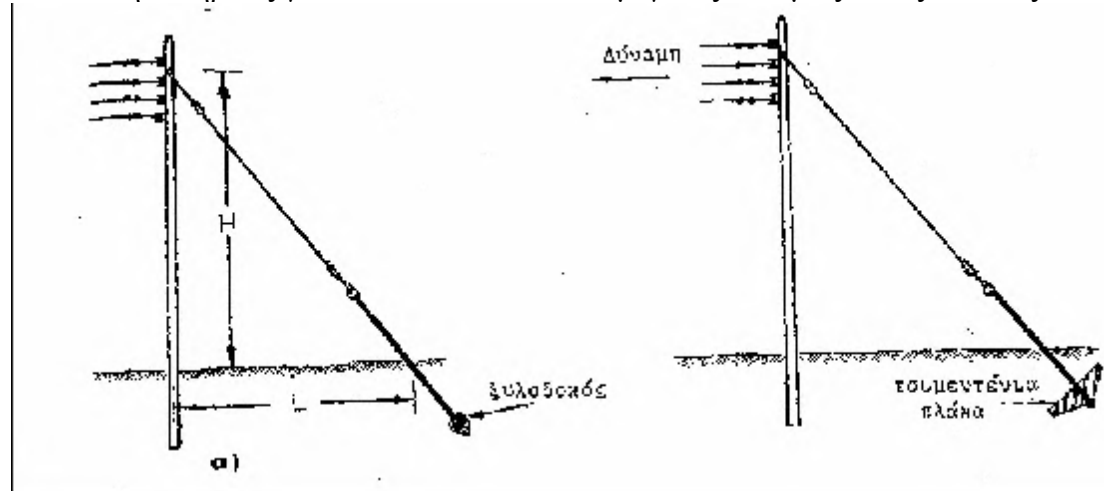
Τόσο στους ξύλινους όσο και στους τσιμεντένιους στύλους τα ύψη που χρησιμοποιούνται είναι 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 m. Γενική αρχή είναι να τοποθετούμε το μικρότερο ύψος στύλου που ικανοποιεί τις αποστάσεις ασφαλείας δεδομένου ότι έτσι έχουμε μικρότερο κόστος και μικρότερη αισθητική επιβάρυνση.

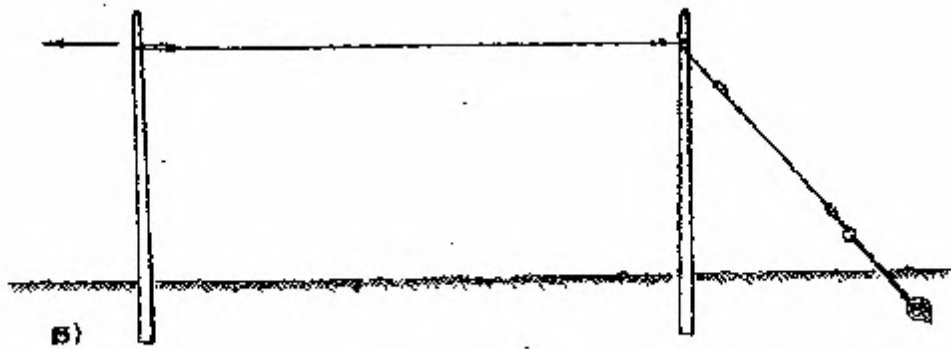
Γενικά ο έλεγχος της ελαχίστης κατακόρυφης απόστασης ασφαλείας αγωγού που αναρτάται από δύο γειτονικούς στύλους βρίσκεται με τη σχεδίαση της καμπύλης του αγωγού και των σημείων κάτω από αυτόν με τις γνωστές κλίμακες. Η εκτίμηση της κατακόρυφης απόστασης που μας ενδιαφέρει, προσδιορίζει και τα ύψη των στύλων.

Τα πράγματα γίνονται απλούστερα στην περίπτωση οριζόντιου εδάφους που μπορούμε να επιλέξουμε τους στύλους με γενικά κριτήρια.

4.2 ΕΠΙΤΟΝΟΙ — ΑΝΤΗΡΙΔΕΣ

Στο τέλος μιας εναέριας γραμμής ή σε γωνίες του δικτύου τοποθετούνται επίτονοι ή αντηρίδες γιατί εκεί αναπτύσσονται μεγάλες δυνάμεις στους στύλους.

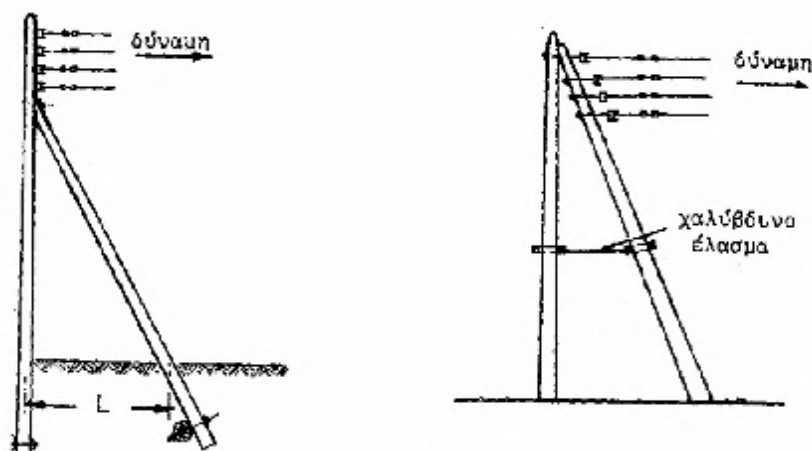




Τρόποι τοποθέτησης επιτόνων

Οι επίτονοι είναι συρματόσχοινα που αγκυρώνονται είτε με ξυλοδοκό είτε με τσιμεντένια πλάκα. Τοποθετούνται πάντοτε εντατήρες ώστε το συρματόσχοινο να τανυστεί σωστά. Το συρματόσχοινο δένεται ψηλά στο στόλο. Όταν δεν υπάρχει αρκετός χώρος μπορούν να αγκυρωθούν και σε οικοδομές, όταν δεν μπορούμε να τοποθετήσουμε τον επίτονο κοντά αλλά μόνο σε μεγάλη απόσταση, βάζουμε επίτονο κεφαλής (Σχ. β).

Οι αντηρίδες είναι ξύλινοι στύλοι και τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε να στηρίζουν τους κύριους στύλους.



Η χρήση επιτόνων πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή έτσι ώστε να μην αποτελούν εμπόδιο σε πεζούς ή οχήματα. Σε περίπτωση ανάγκης μπορεί να γίνει και χρήση επιτόνων κεφαλής ή αντηρίδων ή ακόμη και δίδυμων στύλων αλλά και τσιμεντόστυλων κατάλληλης αντοχής. Η επιθυμητή κλίση των επιτόνων σε αστικές περιοχές είναι 2:1, αλλά μπορεί να γίνει και μικρότερη (μέχρι 1:1), αν το επιβάλει η τοπογραφία ή η μηχανική αντοχή στύλων και επιτόνων.

Σκόπιμο επίσης είναι να αποφεύγεται η τοποθέτηση μετωπικών αγκυρώσεων πάνω από μπαλκόνια που εμποδίζουν τη λειτουργικότητα τους (π.χ. τοποθέτηση τέντας). Οι αντηρίδες που χρησιμοποιούνται σε περίπτωση αδυναμίας τοποθέτησης επιτόνων, καλό είναι να τοποθετούνται σε απόσταση 3 έως 4 m από το στύλο (Στα ΣΚ ΧΤ είναι αποδεκτή και απόσταση 2 m).

5. ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΗΣ ΜΥΚΟΝΟΥ-ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Μία χαρακτηριστική περίπτωση όπου δεν μπορεί να γίνει και δεν έχει γίνει αξιόπιστη και λεπτομερής καταγραφή των μηχανικών ιδιοτήτων του ηλεκτρικού δικτύου αποτελεί το νησί της Μυκόνου. Για να αντιληφθούμε την κατάσταση θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η μέση ένταση του ανέμου στη Μύκονο είναι 7.2-8.1 Μποφόρ αν επικεντρωθούμε στον Αύγουστο όταν για παράδειγμα η μέση ένταση του ανέμου στην Πάτρα ή στην Αθήνα την ίδια χρονική περίοδο περιορίζεται στα 4.5-5.6 Μποφόρ σύμφωνα με τη μετεωρολογική υπηρεσία.

Σύμφωνα με τα κριτήρια επιλογής επιφόρτισης, και η Μύκονος και η Πάτρα, αλλά και η Αθήνα θα έπρεπε να ενταχθούν στην κατηγορία «ελαφρά» ως αιγιάλεια ζώνη και πεδινή ενδοχώρα. Παρόλα αυτά, η Μύκονος δεν είναι δυνατόν να ενταχθεί σε αυτήν την κατηγορία, αφού λόγω της υψηλής έντασης του ανέμου, οι μηχανικές καταπονήσεις που δέχεται το δίκτυο είναι ισχυρότατες. Εύκολα κανείς, λοιπόν, αντιλαμβάνεται πως το εγχειρίδιο του ΔΕΔΔΗΕ δεν έχει προβλέψει αυτές τις εξαιρέσεις που σίγουρα υπάρχουν και σε άλλα μέρη της χώρας πέρα από τη Μύκονο. Γι' αυτό το λόγο, όλα αυτά τα εγχειρίδια θα πρέπει να αναπροσαρμοστούν λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματολογικές ιδιαιτερότητες κάποιων περιοχών.

5.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΦΟΡΤΙΩΝ ΑΕΡΑ

Οι μετρήσεις αέρα πραγματοποιούνται και αξιολογούνται παγκοσμίως από μετεωρολογικούς σταθμούς παρατήρησης. Έτσι, χρησιμοποιούνται οι οδηγίες της παγκόσμιας μετεωρολογικής οργάνωσης (WMO), ειδικά προκειμένου να συγκριθούν τα συλλεχθέντα στοιχεία με τις μακροχρόνιες σειρές τυποποιημένων μετρήσεων. Οι σταθμοί παρατήρησης πρέπει να τοποθετούνται σε μια ανοικτή έκταση, όπου ο αέρας δεν θα επηρεάζεται από εμπόδια ή κτήρια. Το ύψος επάνω από το έδαφος είναι τυποποιημένο στα 10 m. Κατά τη χρησιμοποίηση άλλων υψών μέτρησης τα αποτελέσματα πρέπει να διορθωθούν αναλόγως. Για την αξιολόγηση χρησιμοποιούνται οι μέσες τιμές δεκαλέπτου ή μιας ώρας. Επίσης, καταγράφονται οι ριπές ανέμου διάρκειας τριών έως πέντε δευτερολέπτων και η κατεύθυνση του αέρα. Σε περίπτωση συνεχών μετρήσεων είναι συνηθισμένο να πραγματοποιείται μια εκτίμηση δεκαλέπτου κάθε ώρα. Για την εφαρμογή των στοιχείων του αέρα για τη σχεδίαση των εναέριων γραμμών, δεχόμαστε ότι οι μέγιστες ετήσιες τιμές των ταχυτήτων του αέρα είναι διαθέσιμες για τουλάχιστον είκοσι έτη και έχουν υπολογιστεί στατιστικά.

Στη μετεωρολογία και στο ευρύ κοινό η διαβάθμιση της δύναμης του αέρα σύμφωνα με την κλίμακα Beaufort υιοθετείται συχνά, όπου τα αποτελέσματα του αέρα συνδέονται με τις αντίστοιχες ταχύτητες αέρα. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η κλίμακα Beaufort.

Force	Wind (Knots)	WMO Classification	Appearance of Wind Effects	
			On the Water	On Land
0	Less than 1	Calm	Sea surface smooth and mirror-like	Calm, smoke rises vertically
1	1-3	Light Air	Scaly ripples, no foam crests	Smoke drift indicates wind direction, still wind vanes
2	4-6	Light Breeze	Small wavelets, crests glassy, no breaking	Wind felt on face, leaves rustle, vanes begin to move
3	7-10	Gentle Breeze	Large wavelets, crests begin to break, scattered whitecaps	Leaves and small twigs constantly moving, light flags extended
4	11-16	Moderate Breeze	Small waves 1-4 ft. becoming longer, numerous whitecaps	Dust, leaves, and loose paper lifted, small tree branches move
5	17-21	Fresh Breeze	Moderate waves 4-8 ft taking longer form, many whitecaps, some spray	Small trees in leaf begin to sway
6	22-27	Strong Breeze	Larger waves 8-13 ft, whitecaps common, more spray	Larger tree branches moving, whistling in wires
7	28-33	Near Gale	Sea heaps up, waves 13-20 ft, white foam streaks off breakers	Whole trees moving, resistance felt walking against wind
8	34-40	Gale	Moderately high (13-20 ft) waves of greater length, edges of crests begin to break into spindrift, foam blown in streaks	Whole trees in motion, resistance felt walking against wind
9	41-47	Strong Gale	High waves (20 ft), sea begins to roll, dense streaks of foam, spray may reduce visibility	Slight structural damage occurs, slate blows off roofs
10	48-55	Storm	Very high waves (20-30 ft) with overhanging crests, sea white with densely blown foam, heavy rolling, lowered visibility	Seldom experienced on land, trees broken or uprooted, "considerable structural damage"
11	56-63	Violent Storm	Exceptionally high (30-45 ft) waves, foam patches cover sea, visibility more reduced	
12	64+	Hurricane	Air filled with foam, waves over 45 ft, sea completely white with driving spray, visibility greatly reduced	

Κλίμακα ανέμων Beaufort

Το φορτίο του αέρα είναι ανάλογο προς το τετράγωνο της ταχύτητας του αέρα V.

$$Q_w = kV^2$$

Ο παράγοντας k εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους όπως η διάμετρος των αγωγών, ο συντελεστής οπισθέλκουσας, οι συντελεστές απόκρισης ριπής ανέμου κλπ. Από τη στατιστική κατανομή των ταχυτήτων του αέρα η παραπάνω εξίσωση αποδίδει μια κατανομή των φορτίων του αέρα, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί μαζί με την κατανομή των αντοχών του στηρίγματος για την εκτίμηση της αξιοπιστίας, σε περίπτωση φορτίου αέρα.

Η τιμή της δύναμης λόγω του αέρα που φυσά οριζόντια και κάθετα σε οποιοδήποτε στοιχείο μιας γραμμής δίνεται από τη σχέση

$$Q_{Wx} = q_z \cdot G_q \cdot G_x \cdot C_x \cdot A$$

: ή ί έ ύ

: ή ό ή έ
 : ή ύ ύ
 : ή έ
 : ό ί ά έ

5.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ:

Εναέριοι αγωγοί της ΔΕΗ (3+2) βρίσκονται αναρτημένοι από πυλώνες που απέχουν μεταξύ τους 350 μέτρα. Η δύναμη τάνυσης των αγωγών κατά την τοποθέτησή τους είναι 1200 Kg και το βάρος τους 0,665 Kg ανά μέτρο.

Σημειώνεται πως στην μελέτη που ακολουθεί δεχόμαστε ότι οι πυλώνες βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.

Αρχικά υπολογίζεται :

α) Η δύναμη που καταπονεί τον αγωγό στο κέντρο του

β) Το μήκος του αγωγού μετά την τάνυση χωρίς να διαρρέεται από ρεύμα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 20 °C

γ) Το βέλος του αγωγού στο κέντρο της απόστασης.

Για την αλυσοειδή καμπύλη ισχύουν οι σχέσεις:

$$s = 2 \frac{H}{p} \sinh\left(\frac{p}{H} L\right)$$

$$d = \frac{H}{p} \left(\cosh\left(\frac{p}{H} L\right) - 1 \right)$$

$$T = H \cosh\left(\frac{p}{H} L\right)$$

όπου

s το μήκος του αγωγού,

H η δύναμη που καταπονεί τον αγωγό στο κέντρο του,

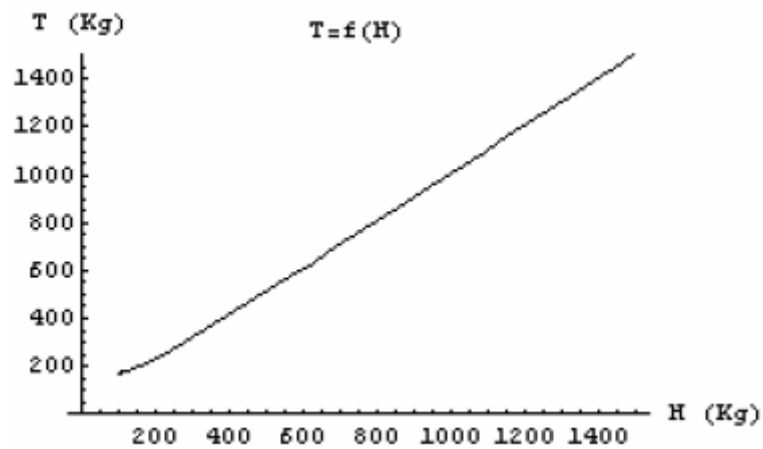
p το βάρος του αγωγού ανά μέτρο,

L το ήμισυ της απόστασης των δύο στύλων,

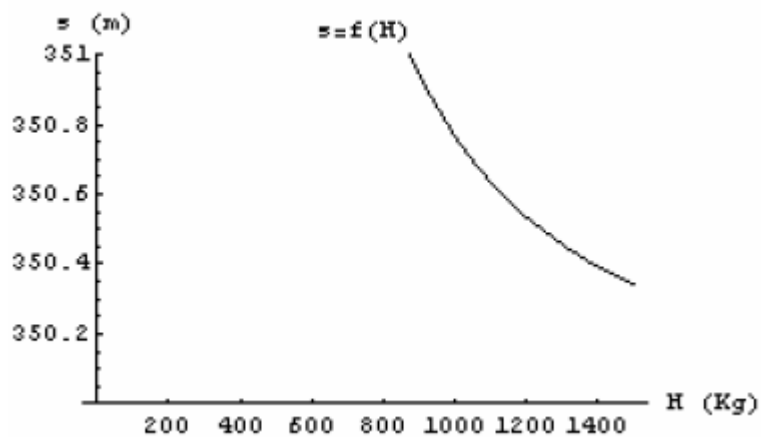
d το βέλος του αγωγού και

T η δύναμη τάνυσης του αγωγού.

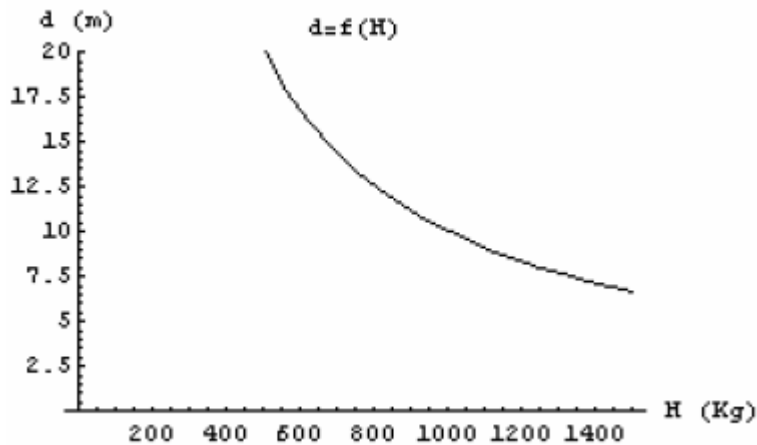
α) Από την 3^η σχέση προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα που δίνει τη δύναμη τάνυσης T σαν συνάρτηση της δύναμης H_0 που καταπονεί τον αγωγό στο κέντρο του.



β) Από την 1^η σχέση προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα που δίνει το μήκος του αγωγού s_0 μετά την τάνυση χωρίς αυτός να διαρρέεται από ρεύμα, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος $20\text{ }^\circ\text{C}$, σαν συνάρτηση της δύναμης H_0 που καταπονεί τον αγωγό στο κέντρο του.



γ) Τέλος, από τη δεύτερη σχέση προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα που δίνει το βέλος d_0 στο κέντρο του αγωγού μετά την τάνυση χωρίς αυτός να διαρρέεται από ρεύμα, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος $20\text{ }^\circ\text{C}$, σαν συνάρτηση της δύναμης H_0 .



Από τα διαγράμματα αλλά και από υπολογισμούς με το πρόγραμμα προκύπτουν οι παρακάτω τιμές. Για δύναμη τάνυσης του αγωγού $T_0=1200 \text{ Kg}$ και βάρος του αγωγού ανά μέτρο $\rho_0=0,655 \text{ Kg}$ (χωρίς αυτός να διαρρέεται από ρεύμα, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος $20 \text{ }^\circ\text{C}$),

α) η δύναμη που καταπονεί τον αγωγό στο κέντρο του είναι $H_0=1194,5 \text{ Kg}$

β) το μήκος του αγωγού είναι $s_0=350,537 \text{ m}$

γ) και το βέλος του αγωγού $d_0=8,403 \text{ m}$

Η δυναμική πίεση του ανέμου V επί του αγωγού δίνεται από τις σχέσεις:

$$V = zV^2$$

$$z = \frac{C_x \rho}{20}$$

$C_x = 1.1$, με πυκνότητα αέρα στο 1.225 / ^3 και v η ταχύτητα του πνέοντος ανέμου σε m/sec . Από τις 2 παραπάνω σχέσεις προκύπτει:

$$V = 0,067v^2$$

Η δύναμη από την πίεση του ανέμου ανά μέτρο μήκους είναι:

$$= 0.067 v^2$$

Για ταχύτητα ανέμου ίση προς 25 m/s η τιμή της δύναμης από την πίεση του ανέμου ανά μέτρο μήκους του ισούται με $6,28 \text{ Kg/m}$. Η γωνία εκτροπής του αγωγού ϕ από το κατακόρυφο επίπεδο λόγω της πίεσης που υφίσταται από τον άνεμο προκύπτει ίση προς $20,7$ μοίρες.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ:

Το ότι αναφερόμαστε σε ένα κύριο αγαθό, όπως αυτό της ηλεκτρικής ενέργειας, πρέπει να μας κάνει αρκετά προσεκτικούς στο θέμα της αξιοπιστίας και ασφάλειας των δικτύων. Η δουλειά του μελετητή είναι εξαιρετικά σοβαρή και δύσκολη. Πρέπει να τηρηθούν όλα τα όρια ασφαλείας, είτε πρόκειται για κατοικημένες περιοχές, είτε για απλές γεωργικές εκτάσεις. Πρέπει να εξασφαλίσει την αξιόπιστη λειτουργία του δικτύου διανομής, προβλέποντας πιθανές πτώσεις τάσης, υπερφορτώσεις δικτύου, ακραίες καιρικές συνθήκες κτλ.. Για όλα αυτά, έχουν καταγραφεί όλες οι παραπάνω πολύ συγκεκριμένες τυποποιήσεις. Η δυσκολία της δουλειάς αυτής, εκτός από την γνώση και εξοικείωση η οποία χρειάζεται γύρω από το συγκεκριμένο τομέα, είναι πως όλα τα παραπάνω πρέπει να σχεδιαστούν σε συνάρτηση με το κόστος του κάθε έργου. Υπάρχουν, όμως και προβλήματα όχι τόσο εύκολα προβλέψιμα.

Βέβαια, υπάρχουν πολλά περιθώρια βελτίωσης των ήδη υπαρχόντων υλικών και τεχνικών. Σίγουρα, μπορούν, και γίνονται μελέτες για την ανεύρεση νέων υλικών. Καταλληλότερων, ελαφρύτερων και σίγουρα φθηνότερων. Νέες τεχνικές κατασκευής ανακαλύπτονται. Τα υπόγεια δίκτυα φαντάζουν ικανά να λύσουν αρκετά προβλήματα στο χώρο. Και όλα αυτά με στόχο την ποιοτικότερη διανομή του ηλεκτρικού ρεύματος και της μείωσης του κόστους επιβάρυνσης στον καταναλωτή.

Πάντως, πρέπει καταλήγοντας να επισημάνουμε το τεράστιο έργο που επιτελείται σε αυτό το χώρο. Συνεχείς εργασίες συντήρησης και κατασκευής νέων δικτύων, τήρηση αυστηρών κανόνων ασφαλείας, εντατικοί έλεγχοι και ικανοποιητική βαθμίδα αξιοπιστίας του δικτύου, με ελάχιστες, πλέον, πτώσεις τάσεις, ειδικότερα στα μεγάλα αστικά κέντρα. Επειδή πάντα, όμως, υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης, δεν πρέπει κανείς να επαναπαύεται. Αυτή είναι η φύση της επιστήμης και η αντικειμενική δουλειά ενός μηχανικού σε όποιον τομέα κι αν εργάζεται.

Στη συγκεκριμένη εργασία έγινε εκτενής προσπάθεια να συγκεντρωθούν όλοι οι κανόνες που βρίσκονται διάσπαρτοι στα εγχειρίδια του ΔΕΔΔΗΕ και της ΔΕΗ και αφορούν τη μηχανική καταπόνηση των δικτύων, τα μηχανικά χαρακτηριστικά των αγωγών και ταλανίζουν κατά καιρούς τους τεχνικούς οι οποίοι καλούνται να προσαρμόσουν σε διαφορετικές συνθήκες μία σειρά από νόμους της Κλασικής Μηχανικής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

- [1] Ηλεκτρικά δίκτυα Γ. Πεζόπουλος
- [2] Ηλεκτροτεχνία Γ. Βουδούρης
- [3] Ηλεκτροτεχνία Γ. Γιαννόπουλος
- [4] Ηλεκτροτεχνία Α. Βλαστός
- [5] Ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις Α. Μαχιάς
- [6] Εγχειρίδιο Τυποποιημένων Κατασκευών ΔΕΗ Α.Ε. Διεύθυνση Μελετών - Κατασκευών ΔΕΗ Α.Ε.
- [7] Οδηγίες Κατασκευής Δικτύων Διανομής ΔΕΗ Α.Ε. Διεύθυνση Μελετών - Κατασκευών ΔΕΗ Α.Ε.
- [8] Κανονισμός Εσωτερικών ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων και Στοιχεία Τεχνικής Νομοθεσίας Γ. Παπασωτηρίου
- [9] Κανονισμοί δια την Εγκατάσταση και Συντήρηση Υπαίθριων Γραμμών Ηλεκτρικής Ενέργειας ΦΕΚ 687/Β/24-8-1971
- [10] Ηλεκτρική και Μηχανική αντοχή εναερίων δικτύων Διανομής ΔΕΗ Α.Ε. Κ. Λαμπρόπουλος
- [11] Πυργιώτη, Ε, Υψηλές Τάσεις, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2010
- [12] Πυργιώτη, Ε, Προστασία κατασκευών από κεραυνούς, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2010
- [13] Παπαδιάς, Β.Κ., Γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, Αθήνα 1999
- [14] Μπούρκας, Π.Δ. , Καραγιαννόπουλος, Γ.Κ., Βιομηχανικές ηλεκτρικές διατάξεις και υλικά, Αθήνα 2003