

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

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΝΑΕΡΙΑΣ  
ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:  
ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ  
ΣΙΔΕΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:  
ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2014**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Ηλεκτρολογίας Πάτρας του Ανώτατου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και αναφέρεται στη μελέτη των *Εναέριων Δικτύων Διανομής Μέσης Τάσης*.

Αρχικά παρουσιάζονται ορισμένες από τις βασικότερες παραμέτρους που αφορούν τα εναέρια δίκτυα διανομής Μ.Τ. και στη συνέχεια μελετάται η μηχανική αντοχή των αγωγών/καλωδίων, των επιτόνων και των ξύλινων στύλων που απαρτίζουν μια γραμμή διανομής. Στο τέλος της παρούσας εργασίας παρουσιάζεται αναλυτικά η μελέτη μιας πραγματικής εναέριας γραμμής Μ.Τ. για τη σύνδεση ενός Φωτοβολταϊκού Σταθμού με το δίκτυο της ΔΕΗ. Λόγω της φύσης του αντικείμενου που διαπραγματεύεται, η παρούσα εργασία βασίστηκε στις τεχνικές οδηγίες, τα εγχειρίδια και τους κανονισμούς της ΔΕΗ, μιας και η βιβλιογραφία πάνω στο αντικείμενο της μελέτης των εναέριων δικτύων διανομής είναι πάρα πολύ περιορισμένη έως ανύπαρκτη.

Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μας, Σχοινά Νικόλαο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφερε για την πραγματοποίηση της παρούσας Εργασίας, καθώς και τους γονείς και αγαπημένα πρόσωπά μας, τα οποία μας στήριξαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Παπαδόπουλος Δημήτριος  
Σίδερης Κωνσταντίνος

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιάσει όλα τα απαιτούμενα στοιχεία που αφορούν τη μελέτη ενός Εναέριου Δικτύου Διανομής Μέσης Τάσης. Πιο αναλυτικά, στην αρχή περιγράφονται ορισμένες βασικές παράμετροι που αφορούν τα δίκτυα διανομής όπως τα είδη των χρησιμοποιούμενων αγωγών, οι κατηγορίες μηχανικής επιφόρτισης, οι κλάσεις κατασκευής και το βασικό άνοιγμα μιας γραμμής. Στη συνέχεια, γίνεται λόγος για τις δυνάμεις που καταπονούν τους αγωγούς μιας γραμμής διανομής, αναλύονται οι εξισώσεις της καμπύλης των αγωγών και παρουσιάζονται οι συνθήκες ελέγχου της μηχανικής αντοχής τους. Προχωρώντας στην ανάλυση της εργασίας αυτής θα δούμε πως υπολογίζονται τα επίτονα στους γωνιακούς και τερματικούς στύλους και στη συνέχεια πως υπολογίζονται οι στύλοι της γραμμής για να επαρκούν σε θραύση και λυγισμό. Η παρούσα εργασία ολοκληρώνεται με μια μελέτη μιας πραγματικής γραμμής διανομής Μ.Τ., η οποία αφορά τη σύνδεση Φωτοβολταϊκού Σταθμού με τις εγκαταστάσεις της ΔΕΗ.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
---------------	---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

### ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

1.1. Εισαγωγή - Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Η.Ε.).....	2
1.2. Δίκτυα διανομής (Δ.Δ.) .....	3
1.3. Μετασχηματιστές Μέσης Τάσης προς Χαμηλή.....	3
1.4. Αγωγοί και καλώδια Εναέριων Δικτύων Διανομής Μ.Τ.....	4
1.5. Κατηγορίες μηχανικής επιφόρτισης δικτύων διανομής.....	4
1.6. Βασικό άνοιγμα Εναέριας Γραμμής Διανομής .....	5
1.7. Κλάσεις κατασκευής.....	6
1.8. Στύλοι Εναέριων Δικτύων Διανομής.....	6

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΑΓΩΓΩΝ-ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΕΝΑΕΡΙΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

2.1. Δυνάμεις που καταπονούν τους αγωγούς-καλώδια στα Εναέρια Δίκτυα Διανομής.....	9
2.1.1. Κατακόρυφη επιφόρτιση $W_K$ .....	9
2.1.2. Εγκάρσια επιφόρτιση $W_E$ .....	9
2.1.3. Ολική (ή Πλήρης) επιφόρτιση $W$ .....	10
2.1.4. Δύναμη Τανύσεως.....	11
2.2. Ανοίγματα στύλων.....	14
2.3. Στοιχεία καμπύλης αγωγών-καλωδίων Εναέριων Δικτύων Διανομής.....	15
2.4. Αξονική δύναμη αγωγών-καλωδίων Εναέριων Δικτύων Διανομής.....	16
2.5. Συνθήκες ελέγχου μηχανικής αντοχής εναέριων αγωγών-καλωδίων.....	16

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### ΜΕΛΕΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΕΠΙΤΟΝΩΝ

3.1. Βασικές παράμετροι επιτόνων στα Δίκτυα Διανομής.....	19
3.2. Τυποποιημένες κατασκευές επιτόνων στα Εναέρια Δίκτυα Διανομής Μέσης Τάσης.....	20
3.3. Υπολογισμοί αντοχής επιτόνων.....	25
3.3.1. Επίτονο τερματικού στύλου Μ.Τ.....	25
3.3.2. Επίτονο γωνιακού στύλου Μ.Τ.....	26
3.3.3. Επίτονο στύλου διακλάδωσης Μ.Τ.....	29

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΞΥΛΙΝΩΝ ΣΤΥΛΩΝ ΕΝΑΕΡΙΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

4.1. Δυνάμεις που καταπονούν τους ξύλινους στύλους.....	32
4.1.1. Κατακόρυφο φορτίο στύλων $G$ .....	32
4.1.2. Εγκάρσιο φορτίο στύλων $Q$ λόγω ανεμοπίεσης.....	33
4.1.3. Αξονικό φορτίο στύλων $P$ λόγω επιτόνων.....	34

4.2. Μηχανικές καταπονήσεις ξύλινων στύλων Δικτύων Διανομής.....	35
4.2.1. Λυγισμός ξύλινων στύλων.....	36
4.2.2. Θραύση ξύλινων στύλων.....	37
4.2.2.1. Θραύση στύλων που καταπονούνται με διαμήκη φορτία.....	37
4.2.2.2. Θραύση στύλων που καταπονούνται με εγκάρσια φορτία.....	37
4.3. Κατακόρυφη έλξη (τράβηγμα) ξύλινων στύλων Δικτύων Διανομής.....	38
4.4. Διαγράμματα επιλογής ξύλινων στύλων Δικτύων Διανομής.....	40

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>**

### **ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΝΑΕΡΙΑΣ ΓΡΑΜΜΗΣ Μ.Τ.**

5.1. Εισαγωγή.....	45
5.2. Συμπλήρωση του Φύλλου Πασσαλώσεως.....	46
5.3. Υπολογισμοί μηχανικής αντοχής διακλάδωσης " <i>Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)</i> " .....	56
5.3.1. Υπολογισμοί ανοίγματος 21-1.....	57
5.3.2. Υπολογισμοί ανοίγματος 1-2.....	63
5.3.3. Υπολογισμοί ανοίγματος 2-3.....	66
5.3.4. Υπολογισμοί ανοίγματος 3-4.....	69
5.3.5. Υπολογισμοί ανοίγματος 4-5.....	72
5.3.6. Υπολογισμοί ανοίγματος 5-6.....	78
5.3.7. Υπολογισμοί ανοίγματος 6-7.....	80
5.4. Τελική μηκοτομή διακλάδωσης " <i>Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)</i> " .....	84

<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>86</b>
--------------------------	-----------

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά τη μελέτη μηχανικής αντοχής των *Εναέριων Δικτύων Διανομής Μέσης Τάσης*. Το θέμα της εργασίας αναπτύσσεται σε πέντε κεφάλαια. Πιο αναλυτικά:

Στο **πρώτο κεφάλαιο**, παρουσιάζονται οι βασικές παράμετροι που πρέπει να γνωρίζει κάποιος για να ξεκινήσει τη σχεδίαση μιας νέας γραμμής διανομής Μέσης Τάσης. Τέτοιες παράμετροι είναι τα είδη των χρησιμοποιούμενων αγωγών-καλωδίων της, το Βασικό Άνοιγμά της, η κλάση κατασκευής της, η κατηγορία μηχανικής επιφόρτισής της και η χρησιμοποιούμενη δύναμη τανύσεως.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** και αφού αναλύσαμε τις βασικές παραμέτρους μιας εναέριας γραμμής διανομής, κάνουμε λόγω για τις συνθήκες ελέγχου μηχανικής αντοχής των αγωγών-καλωδίων της. Προτού φτάσουμε στις τελικές αυτές συνθήκες ελέγχου, περιγράφουμε όλες τις προαπαιτούμενες γνώσεις που σχετίζονται με τους αγωγούς-καλώδια στα εναέρια δίκτυα διανομής όπως οι δυνάμεις που τους καταπονούν, οι κατηγορίες των ανοιγμάτων και τις εξισώσεις που περιγράφουν τη καμπύλη τους.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** γίνεται λόγος για τη μηχανική αντοχή των επιτόνων στους τερματικούς, γωνιακούς και στους στύλους διακλάδωσης των εναέριων δικτύων διανομής. Παρουσιάζονται όλα τα απαιτούμενα στοιχεία που αφορούν τα επίτονα, καθώς και οι υπάρχουσες τυποποιημένες κατασκευές τους στα δίκτυα διανομής. Εξάγονται οι μαθηματικές σχέσεις με τις οποίες υπολογίζονται οι δυνάμεις που καλούνται αυτά να παραλάβουν και παρουσιάζονται πίνακες επιλογής της κατηγορίας και του πλήθους των συρματοσχοίνων τους.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** αναπτύσσονται οι δυνάμεις που καταπονούν τους ξύλινους στύλους στα δίκτυα διανομής. Παρουσιάζονται οι εξισώσεις που δίνουν τις δυνάμεις αυτές ανάλογα με το είδος του στύλου και γίνεται μια σύντομη αναφορά στα είδη των μηχανικών καταπονήσεών τους που είναι ο λυγισμός και η θραύση. Τέλος γίνεται αναφορά στους πίνακες επιλογής της κατηγορίας των στύλων σύμφωνα με τις τιμές των προηγούμενων δυνάμεων που τους καταπονούν.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** εξετάζουμε τη σχεδίαση μιας πραγματικής εναέριας γραμμής διανομής Μέσης Τάσης. Πρόκειται για μια νέα γραμμή με αγωγούς 3x35τ.χ.ΑCSR η οποία θα συνδέσει έναν Φωτοβολταϊκό Σταθμό ισχύος 100KW με το υπάρχων δίκτυο της ΔΕΗ. Για τη νέα αυτή γραμμή θα γίνουν αναλυτικοί υπολογισμοί μηχανικής αντοχής όλων των στοιχείων της σύμφωνα με την ανάλυση των προηγούμενων παραγράφων και θα παρουσιαστεί το απαιτούμενο έντυπο της ΔΕΗ (Φύλλο Πασσαλώσεως) που συνοδεύει τη μελέτη της, το οποίο περιέχει τα αποτελέσματα των υπολογισμών.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

## 1.1. Εισαγωγή - Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Η.Ε.)

Ως *Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Η.Ε.)*, ορίζεται το σύνολο των εγκαταστάσεων και των μέσων (υποσταθμοί, γεννήτριες, μετασχηματιστές, γραμμές μεταφοράς, γραμμές διανομής, διακόπτες κ.α.) που χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα σύνολο καταναλωτών.

Βασικές προϋποθέσεις καλής λειτουργίας ενός Σ.Η.Ε., 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. Για να φέρει σε πέρας αυτή την αποστολή, το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας διαθέτει:

- *Σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας*, εγκατεστημένους στις πιο πρόσφορες περιοχές, όπου παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια σε επαρκείς ποσότητες.
- *Γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας*, για τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας από τους σταθμούς παραγωγής στα κέντρα κατανάλωσης. Το Ελληνικό δίκτυο μεταφοράς είναι τάσεως 400kV ή 150kV. Η μορφή των δικτύων μεταφοράς μπορεί να είναι διαμήκης ή κυκλική, αναλόγως της σχετικής θέσεως των σταθμών παραγωγής ως προς τα κέντρα κατανάλωσης.
- *Γραμμές διανομής ηλεκτρικής ενέργειας*, για τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στους επιμέρους καταναλωτές, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί από αυτούς. Το ελληνικό δίκτυο διανομής είναι κυρίως 20kV (υπάρχουν και δίκτυα διανομής των 15kV). Η διάταξη των δικτύων διανομής είναι βροχοειδής ή ακτινική.

Ανάλογα με τη πηγή πρωτογενούς ενέργειας που χρησιμοποιούν, οι σταθμοί παραγωγής διακρίνονται σε ατμοηλεκτρικούς (ΑΗΣ) και υδροηλεκτρικούς (ΥΗΣ). Στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς με τη καύση κάρβουνου, λιγνίτη, φυσικού αερίου ή πετρελαίου, απελευθερώνεται θερμική ενέργεια, η οποία χρησιμοποιείται για τη παραγωγή ατμού. Ο ατμός αυτός διοχετεύεται στον αμοστρόβιλο, μετατρέποντας μέρος της ενέργειάς του σε μηχανική. Ο στρόβιλος με τη σειρά του περιστρέφει μια γεννήτρια, η οποία μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς, μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια η αποθηκευμένη δυναμική των υδάτων. Χρησιμοποιούνται δύο τύποι υδροστροβίλων: α) *Δράσεως ή τύπου Pelton*, οι οποίοι έχουν οριζόντιο άξονα και ένα ακροφύσιο και χρησιμοποιούνται για υψομετρικές διαφορές μεγαλύτερες από 150 μέτρα και β) *Αντιδράσεως*, που περιλαμβάνουν τους στροβίλους τύπου Francis και τους στροβίλους Kaplan ή προώσεως. Οι υδροστρόβιλοι Francis έχουν κατακόρυφο άξονα με κινητά και ρυθμιζόμενα ακίνητα περύγια και χρησιμοποιούνται για χαμηλά ύψη. Οι υδροστρόβιλοι Kaplan αλλάζουν αυτόματα τη γωνία των περυγίων τους, για αυτό έχουν υψηλή απόδοση σε μεγαλύτερο εύρος φορτίσεων.

Οι εγκαταστάσεις παραγωγής και μεταφοράς είναι συνήθως οικονομικά εξαρτημένες μεταξύ τους και για αυτό ο τεχνικός και οικονομικός σχεδιασμός των σταθμών παραγωγής, των κύριων γραμμών μεταφοράς και των κεντρικών υποσταθμών πρέπει να είναι ενιαίος, με

κύριο στόχο την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών της κατανάλωσης, με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τη μέγιστη δυνατή αξιοπιστία τροφοδοτήσεως. Από την άλλη, η διανομή είναι μια διαφορετική λειτουργία, η οποία σχεδιάζεται και αναπτύσσεται χωριστά και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής και των καταναλωτών τους οποίους εξυπηρετεί. Η σε βάθος μελέτη των Δικτύων Διανομής (Δ.Δ.) έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την εθνική οικονομία, δεδομένου ότι οι δαπάνες για την κατασκευή τους είναι πολύ σημαντικές.

Η σύνδεση των καταναλωτών από το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται ανάλογα με τη μέγιστη απορροφούμενη ισχύ τους. Έτσι τους διακρίνουμε σε τρεις κύριες κατηγορίες:

- Καταναλωτές Υψηλής Τάσης (Υ.Τ.)
- Καταναλωτές Μέσης Τάσης (Μ.Τ., συνήθως για απορροφούμενη ένταση άνω των 200Α ανά φάση στη χαμηλή τάση)
- Καταναλωτές Χαμηλής Τάσης (Χ.Τ.)

Μία άλλη διάκριση των καταναλωτών γίνεται ανάλογα με την χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας. Διακρίνουμε:

- Τους Βιομηχανικούς καταναλωτές
- Τους Εμπορικούς (ή Γενικής χρήσεως) καταναλωτές
- Τους Οικιακούς καταναλωτές
- Τους Αρδευτικούς καταναλωτές

Οι πελάτες που είναι συνδεδεμένοι στα δίκτυα υψηλής και μέσης τάσης είναι στην πλειονότητά τους βιομηχανικοί καταναλωτές (τριφασικές παροχές), ενώ στα δίκτυα χαμηλής τάσης συνδέονται πελάτες οικιακής, εμπορικής ή βιομηχανικής χρήσης.

## 1.2. Δίκτυα διανομής (Δ.Δ.)

Ανάλογα με το εύρος της τάσης που χρησιμοποιούν, τα δίκτυα διανομής του Ελληνικού συστήματος διακρίνονται σε: α) *Μέσης Τάσης (Μ.Τ.)* και β) *Χαμηλής Τάσης (Χ.Τ.)*. Τα δίκτυα Μ.Τ. είναι τριφασικά χωρίς ουδέτερο, με τάση μεταξύ φάσεων 20kV. Χρησιμοποιείται ακόμα η τάση 15kV σε λίγες γραμμές, με προοπτική να αντικατασταθούν σε 20kV. Στα δίκτυα Χ.Τ. η τυποποιημένη τάση μεταξύ των φάσεων είναι σήμερα 400V, ενώ μεταξύ φάσεων και ουδετέρου είναι 230V.

Ανάλογα με το αν είναι κατασκευασμένα σε στύλους ή στο έδαφος, τα δίκτυα διανομής διακρίνονται σε α) *Εναέρια Δ.Δ.* και β) *Υπόγεια Δ.Δ.*

Η παρούσα εργασία εξετάζει τη μηχανική αντοχή των Εναέριων Δ.Δ., Μέσης Τάσης.

## 1.3. Μετασηματιστές Μέσης Τάσης προς Χαμηλή

Οι μετασηματιστές μέσης τάσης προς χαμηλή (Μ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ.) είναι ένα από τα βασικότερα στοιχεία που απαρτίζουν ένα σύστημα διανομής, μετατρέποντας το εναλλασσόμενο ρεύμα Μ.Τ. σε ρεύμα Χ.Τ. Είναι μετασηματιστές ισχύος, με λόγο μετασηματισμού 20/0.4kV ή 20-15/0.4kV ή 15/0.4kV και συνδεσμολογία τριγώνου αστέρα. Σήμερα παραγγέλλονται μόνο αυτοί με λόγο 20/0.4kV. Τυποποιημένα μεγέθη (σε kVA) μετασηματιστών που χρησιμοποιούνται σήμερα στα δίκτυα διανομής είναι: 50-100-160-250-400-630-1000.



#### 1.4. Αγωγοί και καλώδια Εναέριων Δικτύων Διανομής Μ.Τ.

Οι αγωγοί που είναι κατασκευασμένα τα υπάρχων εναέρια δίκτυα διανομής Μ.Τ. είναι αγωγοί ACSR, ACSR-R, AAAC, σε ειδικές περιπτώσεις πολύκλωνοι αγωγοί Cu και σπανιότερα συνεστραμμένα καλώδια Μ.Τ. Σήμερα, χρησιμοποιούνται μόνο οι αγωγοί ACSR 35τ.χ. και 95τ.χ., αγωγοί Cu 95τ.χ. και Cu 35τ.χ. καθώς και το συνεστραμμένο καλώδιο Μ.Τ. 3x50Al+50St. Δεν κατασκευάζονται πλέον γραμμές με αγωγούς ACSR-R, AAAC, ACSR 16τ.χ. και 50τ.χ. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά των αγωγών και καλωδίων που χρησιμοποιούνται σήμερα στα εναέρια δίκτυα διανομής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1-1									
ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΓΩΓΩΝ - ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΕΝΑΕΡΙΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ									
ΟΝΟΜ. ΔΙΑΤΟΜ.	ΕΙΔΟΣ ΑΓΩΓΩΝ - ΚΑΛΩΔ.	ΑΡΙΘ. ΚΛΩΝΩΝ n	ΔΙΑΜΕΤ. ΚΛΩΝΩΝ d	ΠΡΑΓΜ. ΔΙΑΤΟΜ. q	ΕΞΩΤ. ΔΙΑΜ. D	ΦΟΡΤ. ΘΡΑΥΣ F <sub>θρ</sub>	ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤ. Ε	ΣΥΝΤ. ΘΕΡΜ. ΔΙΑΣΤ. α	ΒΑΡΟΣ ΑΓΩΓΩΝ W <sub>A</sub>
mm <sup>2</sup>			mm	mm <sup>2</sup>	mm	Kg	Kg/mm <sup>2</sup>	°C <sup>-1</sup>	Kg/m
35	ACSR	6Al+1St	3,44	65,06	10,32	2000	8780	19.10 <sup>-6</sup>	0,2246
95	ACSR	26Al+7St	2,72/2,11	175,55	17,24	5650	8780	19,5.10 <sup>-6</sup>	0,609
35	CU	7	2,53	35,19	7,59	1566	12650	17.10 <sup>-6</sup>	0,315
95	CU	19	2,53	95,52	12,65	4340	12650	17.10 <sup>-6</sup>	0,857
50	Συν. Μ.Τ.	19Al+7St	19x1,78 + 7x3	49,48	70	6200	18000	11.10 <sup>-6</sup>	3,2

#### 1.5. Κατηγορίες μηχανικής επιφόρτισης δικτύων διανομής

Η επιλογή της επιφόρτισης που θα ληφθεί υπόψη κατά τη μελέτη ενός δικτύου διανομής, έχει να κάνει με το ποιές τιμές παίρνουν οι παράμετροι ανεμοπίεσης και πάχους πάγου που επικάθεται στους αγωγούς του δικτύου, με τις οποίες γίνονται οι υπολογισμοί μηχανικής αντοχής. Σύμφωνα με τη Δ.Ε.Η. υπάρχουν συνολικά επτά κατηγορίες επιφορτίσεων.

1) *ΕΛΑΦΡΑ*: Οριζόντια πίεση ανέμου P=44Kg/m<sup>2</sup>, πάχος πάγου κατά την ακτίνα t=0mm, ελάχιστη θερμοκρασία θ=0°C, σταθερή προσαύξηση St=0,075Kg/m.

2) *ΜΕΣΗ ή ΚΑΝΟΝΙΚΗ*: Οριζόντια πίεση ανέμου P=20Kg/m<sup>2</sup>, πάχος πάγου κατά την ακτίνα t=6,5mm, ελάχιστη θερμοκρασία θ=-10°C, σταθερή προσαύξηση St=0,33Kg/m. Εφαρμόζεται σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις που δεν έχουμε έντονα καιρικά φαινόμενα.

3) *ΒΑΡΙΑ*: Οριζόντια πίεση ανέμου P=20Kg/m<sup>2</sup>, πάχος πάγου κατά την ακτίνα t=13mm, ελάχιστη θερμοκρασία θ=-20°C, σταθερή προσαύξηση St=0,46Kg/m. Εφαρμόζεται σε περιοχές με πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και έντονες χιονοπτώσεις.

4) *ΥΠΕΡΒΑΡΙΑ*: Οριζόντια πίεση ανέμου P=20Kg/m<sup>2</sup>, πάχος πάγου κατά την ακτίνα t=25,4mm, ελάχιστη θερμοκρασία θ=-20°C, σταθερή προσαύξηση St=1Kg/m. Εφαρμόζεται σε περιοχές με πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και έντονες χιονοπτώσεις.

5) *ΕΒ/20*: Οριζόντια πίεση ανέμου P=20Kg/m<sup>2</sup>, πάχος πάγου κατά την ακτίνα t=75mm, ελάχιστη θερμοκρασία θ=-20°C, σταθερή προσαύξηση St=0Kg/m. Εφαρμόζεται σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο, πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, εξαιρετικά έντονες.

6) EB/40: Οριζόντια πίεση ανέμου  $P=20\text{Kg/m}^2$ , πάχος πάγου κατά την ακτίνα  $t=110\text{mm}$ , ελάχιστη θερμοκρασία  $\theta=-20^\circ\text{C}$ , σταθερή προσαύξηση  $St=0\text{Kg/m}$ . Εφαρμόζεται σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο, πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και εξαιρετικά μεγάλες χιονοπτώσεις.

7) EB/60: Οριζόντια πίεση ανέμου  $P=20\text{Kg/m}^2$ , πάχος πάγου κατά την ακτίνα  $t=140\text{mm}$ , ελάχιστη θερμοκρασία  $\theta=-20^\circ\text{C}$ , σταθερή προσαύξηση  $St=0\text{Kg/m}$ . Για πάρα πολύ δυσμενείς καιρικές συνθήκες, ακόμα δυσμενέστερες από αυτές της EB/40.

## 1.6. Βασικό Άνοιγμα Εναέριος Γραμμής Διανομής

Στη πράξη, όλα τα ανοίγματα μεταξύ των στύλων δεν μπορεί να είναι ίδιου μήκους. Τίθεται έτσι το πρόβλημα ότι πρέπει να έχουμε ένα αντιπροσωπευτικό άνοιγμα, βάση του οποίου θα μελετάται μια εναέρια γραμμή διανομής. Το αντιπροσωπευτικό αυτό άνοιγμα ονομάζουμε *Βασικό Άνοιγμα* (B.A.) και προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$B.A.=MA+2/3(MAX-MA) \quad (1.1)$$

όπου: "MA" είναι η μέση τιμή του συνόλου των ανοιγμάτων της γραμμής και "MAX" είναι το μέγιστο άνοιγμα της γραμμής.

### Οριακές συνθήκες:

Μια εναέρια γραμμή διανομής που σχεδιάζεται με ένα συγκεκριμένο B.A. πρέπει να πληροί τις εξής δυο συνθήκες:

1. Κανένα άνοιγμα της γραμμής, δεν πρέπει να υπερβαίνει το 25% του βασικού ανοίγματός της.
2. Μεταξύ δυο διαδοχικών ανοιγμάτων  $\alpha$  και  $\beta$ , το μεγαλύτερο από αυτά δεν πρέπει να υπερβαίνει το τριπλάσιο του μικρότερου.

Τα τυποποιημένα βασικά ανοίγματα που κατασκευάζονται οι εναέριες γραμμές διανομής M.T. δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1-2												
ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΒΑΣΙΚΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ ΓΡΑΜΜΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ (σε m)												
Αστικά δίκτυα M.T.				Αρδευτικά Δίκτυα M.T.	Υπεραστικά δίκτυα M.T.							
					75	100	125	150	175	200	225	250
20	35	40	50	65	275	300	325	350	375	400	425	X

### Παράδειγμα:

Μεταξύ των τερματικών στύλων μιας γραμμής διανομής M.T. έχουμε διαδοχικά τα εξής ανοίγματα (σε m): 100, 110, 107, 122, 108, 100, 105, 120, 100, 103. Να βρεθεί το Βασικό Άνοιγμα της γραμμής.

Για τη γραμμή αυτή έχουμε: Μέγιστο άνοιγμα  $MAX=122\text{m}$  και μέση τιμή ανοιγμάτων  $MA=1075/10=107.5\text{m}$ . Από τη σχέση 1.1., το B.A. θα ισούται με:

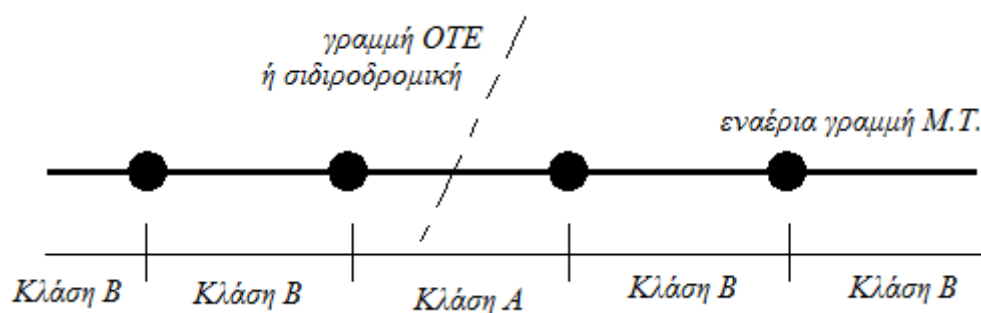
$$B.A.=MA+2/3(MAX-MA)=107.5+2/3(122-107.5)=117.16m$$

Το B.A. που υπολογίσαμε, βρίσκεται ανάμεσα στα τυποποιημένα 100 και 125 του πίνακα 1-2. Επιλέγουμε το B.A.=125m το οποίο είναι πλησιέστερο στη τιμή που υπολογίσαμε. Επίσης, από τα δεδομένα ανοίγματα της γραμμής, το μέγιστο άνοιγμά της (122m) είναι μικρότερο του 25% του B.A (1.25x125m=156.25). Τέλος, όλα τα διαδοχικά ανοίγματα ικανοποιούν και την οριακή συνθήκη 2.

### 1.7. Κλάσεις κατασκευής

Υπάρχουν δυο κατηγορίες κλάσεων κατασκευής μιας γραμμής διανομής. Η Κλάση A και η Κλάση B. Οι κλάσεις αυτές κατασκευής σχετίζονται με τους συντελεστές ασφαλείας οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη κατά τους υπολογισμούς της μηχανικής αντοχής των δικτύων διανομής. Η Κλάση A λαμβάνει υπόψη της αυξημένους συντελεστές ασφαλείας σε σχέση με τη Κλάση B. Γενικά, οι γραμμές διανομής κατασκευάζονται με Κλάση B, εκτός αν συντρέχουν ειδικοί λόγοι. Οι λόγοι για τους οποίους μια γραμμή διανομής (ή ένα τμήμα της) οφείλει να κατασκευαστεί με Κλάση A είναι οι εξής:

1. Σε αστικές περιοχές οι εναέριες γραμμές Μ.Τ. κατασκευάζονται υποχρεωτικά με Κλάση A.
2. Υποχρεωτικά γίνεται αλλαγή κλάσης κατασκευής από B σε A, στις διασταυρώσεις εναέριων γραμμών Μ.Τ. με γραμμές τηλεπικοινωνιών ή σιδηροδρομικές γραμμές (Σχ. 1-1).



Σχ. 1-1

### 1.8. Στύλοι Εναέριων Δικτύων Διανομής

Τα εναέρια δίκτυα διανομής κατασκευάζονται είτε με ξύλινους στύλους, είτε με στύλους από οπλισμένο σκυρόδεμα (τσιμεντόστύλοι). Οι ξύλινοι στύλοι υπερτερούν σημαντικά έναντι των στύλων από οπλισμένο σκυρόδεμα για τη κατασκευή υπεραστικών γραμμών Μ.Τ. σε δυσπρόσιτα μέρη, μιας και είναι ελαφρύτεροι, πράγμα που σημαίνει ότι είναι ευκολότερη στη μεταφορά και τοποθέτησή τους. Παρουσιάζουν ευλυγισία, πράγμα που συνεπάγεται καλύτερη μηχανική συμπεριφορά κατά τη λειτουργία μιας γραμμής διανομής. Οι στύλοι οπλισμένου σκυροδέματος προορίζονται μόνο για αστικά δίκτυα (αστικές τανύσεις). Στη παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε μόνο με τη μελέτη μηχανικής αντοχής των δικτύων που είναι κατασκευασμένα με ξύλινους στύλους. Στο παρακάτω πίνακα φαίνονται τα ύψη, οι κατηγορίες, τα μηχανικά χαρακτηριστικά και τα τυποποιημένα βάθη θεμελίωσης όλων των ξύλινων στύλων που χρησιμοποιούνται στα εναέρια δίκτυα διανομής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1-3								
ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΒΑΘΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΞΥΛΙΝΩΝ ΣΤΥΛΩΝ								
Στύλος		Διάμετρος		Βάρος στύλου G <sub>s</sub> (Kg)	Τυποποιημένα βάθη θεμελίωσης (m)			
Ύψος (m)	Κατηγορία	Βάσης d <sub>β</sub> (cm)	Κορυφής d <sub>κ</sub> (cm)		Έδαφος πτωχό	Έδαφος κανονικό	Έδαφος καλό	Έδαφος βραχώδες
9	E	20,8	12	160	1,70	1,70	1,50	1,10
10	E	21,8	12	180	1,70	1,70	1,50	1,10
11	E	22,8	12	220	1,80	1,70	1,50	1,10
12	E	23,8	12	250	1,80	1,80	1,60	1,10
9	M	24,3	15	220	2,30	1,80	1,70	1,40
10	M	25,3	15	260	2,40	1,80	1,70	1,40
11	M	26,3	15	300	2,40	2,00	1,70	1,50
12	M	27,3	15	350	2,60	2,10	1,80	1,50
13	M	28,3	15	400	2,60	2,10	1,80	1,60
14	M	29,3	15	450	2,60	2,10	1,90	1,60
9	B	27,8	18	300	2,40	2,10	1,80	1,50
10	B	28,8	18	350	2,40	2,20	1,80	1,60
11	B	29,8	18	410	2,60	2,30	1,90	1,60
12	B	30,8	18	460	2,70	2,30	2,00	1,70
13	B	31,8	18	520	2,80	2,40	2,00	1,70
14	B	32,8	18	570	2,90	2,40	2,10	1,80
15	B	33,8	18	650	3,00	2,40	2,10	1,80

Σύμφωνα με το πίνακα αυτό, τα ύψη των στύλων κυμαίνονται από 9m έως 15m. Ανάλογα με την αντοχή τους διακρίνονται σε: α) *Ελαφρύς (E)*, β) *Μέσος (M)*, γ) *Βαρύς (B)*.

Το ελάχιστο φορτίο θραύσης "F<sub>θρ</sub>" της κάθε κατηγορίας στύλων, όταν εφαρμόζεται σε απόσταση 20cm από τη κορυφή τους είναι:

α) Ελαφρύς (E) = 500Kg      β) Μέσος (M) = 825Kg      γ) Βαρύς (B) = 1250Kg

Το μέτρο ελαστικότητας "E" και η τάση θραύσης "σ<sub>θρ</sub>" κατά τη διεύθυνση των ινών του ξύλου, για όλους τους στύλους που προμηθεύεται η ΔΕΗ είναι:

$$E = 110000\text{Kg/cm}^3 \quad \text{και} \quad \sigma_{\theta\rho} = 520\text{Kg/cm}^2$$

Όλοι οι στύλοι στα δίκτυα διανομής αποκόπτονται από ζώντα και στέρεα δέντρα, τα οποία προέρχονται από τις εξής ποικιλίες:

ΠΙΝΑΚΑΣ 1-4		
ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΞΥΛΕΙΑΣ ΓΙΑ ΣΤΥΛΟΥΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ		
Κοινή ονομασία	Επιστημονική ονομασία	Συμβολισμός
Μαύρη Πεύκη	Pinus Nigra	PN
Δασική Πεύκη	Pinus Silvestris	PS
Λιμναία Πεύκη	Pinus Palustris	PP
Νότια Πεύκη	Southern Pine	SP
Κεφαλληνιακή Ελάτη	Abies Cefalonica	AC

Για τον εμποτισμό των στύλων τα συντηρητικά που χρησιμοποιούνται είναι: α) Κρεόζωτο (C) και β) Πενταχλωροφαινόλη (P) σε διάλυση με πετρέλαιο.



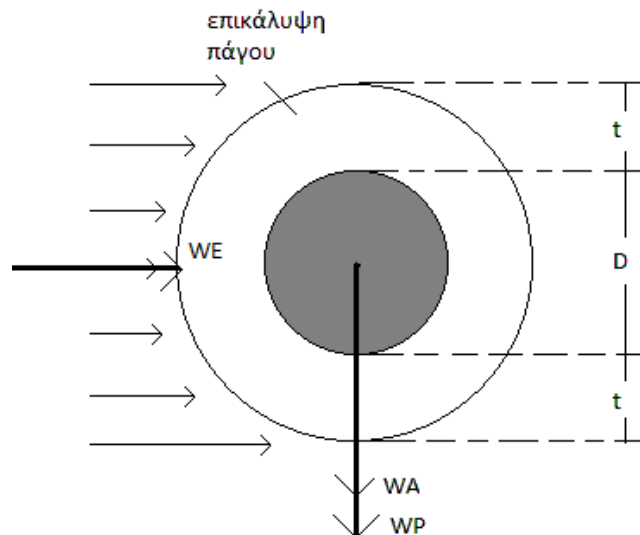
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΑΓΩΓΩΝ-ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΕΝΑΕΡΙΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

### 2.1. Δυνάμεις που καταπονούν τους αγωγούς-καλώδια στα Εναέρια Δίκτυα Διανομής

#### 2.1.1. Κατακόρυφη επιφόρτιση $W_K$

Ορίζουμε ως κατακόρυφη επιφόρτιση  $W_K$  αγωγών-καλωδίων στα εναέρια δίκτυα διανομής, το συνολικό βάρος του ίδιου του αγωγού ( $W_A$ ) συν το βάρος της επικάλυψης του πάγου ( $W_P$ ) που πιθανόν να έχει. Το μέγεθος αυτό έχει μονάδες Kg/m. Ισχύει δηλαδή ότι:

$$W_K = W_A + W_P \text{ σε Kg/m} \quad (2.1)$$



Σχ. 2-1

Αν "t" είναι το περιμετρικό πάχος του πάγου επικάλυψης κατά την ακτίνα του αγωγού (με ειδικό βάρος πάγου  $\gamma=912 \text{ Kg/m}^3$ ) και "D" είναι η εξωτερική διάμετρος του (δείτε πίνακα 1-1), τότε:

$$W_P = 10^{-6} \cdot \pi \cdot \gamma \cdot t \cdot (t+D) \quad \text{σε Kg/m} \quad (2.2)$$

όπου: "t" και "D" σε mm. Το βάρος " $W_A$ " του αγωγού δίνεται στη τελευταία στήλη του πίνακα 1-1.

#### 2.1.2. Εγκάρσια επιφόρτιση $W_E$

Η εγκάρσια επιφόρτιση  $W_E$  οφείλεται στην ανεμοπίεση επί των αγωγών-καλωδίων. Ορίζεται ως η δύναμη ανά μέτρο αγωγού από την πίεση που ασκεί ο άνεμος σε επιφάνεια

μήκους 1m και πλάτους D+2.t. Αυτή είναι η προβολή της κυλινδρικής επιφάνειας του αγωγού διαμέτρου "D" με επίστρωση πάγου "t". Δίνεται από τη σχέση:

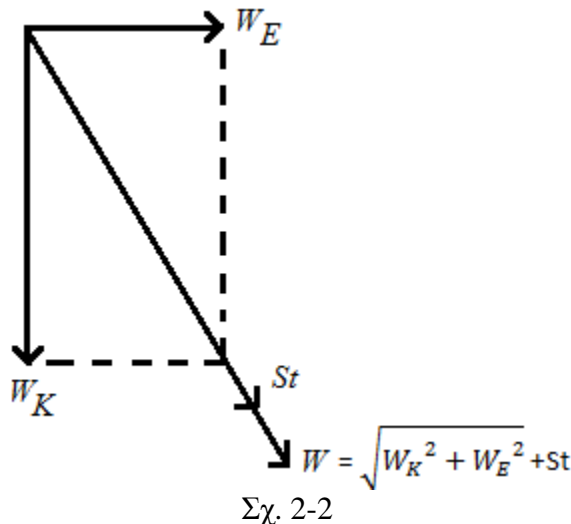
$$W_E = 10^{-3} \cdot P \cdot (D+2.t) \quad \text{σε Kg/m} \quad (2.3)$$

Οι τιμές των παραμέτρων "P" και "t" εξαρτώνται από τη κατηγορία μηχανικής επιφόρτισης που μελετάται η γραμμή διανομής και δόθηκαν στη παράγραφο 1.5.

### 2.1.3. Ολική (ή Πλήρης) επιφόρτιση W

Η ολική επιφόρτιση W ενός αγωγού-καλωδίου ορίζεται ως η συνισταμένη των επιμέρους δυο επιφορτίσεων (κατακόρυφη και εγκάρσια), προσανυζημένη κατά μια σταθερά "St". Η τιμή της σταθεράς "St" εξαρτάται από τη κατηγορία μηχανικής επιφόρτισης που μελετάται η γραμμή διανομής και δόθηκε στη παράγραφο 1.5. Ισχύει δηλαδή ότι:

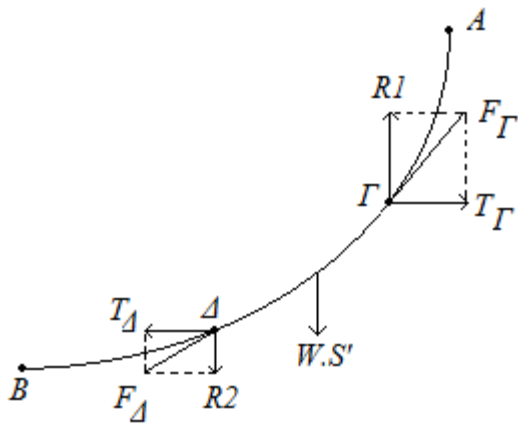
$$W = \sqrt{W_K^2 + W_E^2} + St \quad \text{σε Kg/m} \quad (2.4)$$



Για απλοποίηση των υπολογισμών, η ΔΕΗ έχει συντάξει πίνακες στους οποίους έχει υπολογίσει σύμφωνα με τις προηγούμενες σχέσεις για όλα τα είδη αγωγών και καλωδίων τις ειδικές επιφορτίσεις " $W_E$ ", " $W_K$ " και " $W$ ". Παρακάτω, παραθέτουμε πίνακα με τις τιμές των επιφορτίσεων αυτών, για τους αγωγούς και καλώδια μόνο που χρησιμοποιεί η ΔΕΗ σήμερα στα εναέρια δίκτυα διανομής της.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-1												
ΕΙΔΙΚΕΣ ΕΠΙΦΟΡΤΙΣΕΙΣ ΑΓΩΓΩΝ-ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ (Kg/m)												
Αγωγός - διατομή	Ελαφρά			Μέση			Βαριά			Υπερβαριά		
	$W_E$	$W_K$	W	$W_E$	$W_K$	W	$W_E$	$W_K$	W	$W_E$	$W_K$	W
ACSR 35	0,454	0,225	0,582	0,466	0,538	1,042	0,726	1,093	1,733	1,222	2,824	
ACSR 95	0,759	0,609	1,048	0,605	1,051	1,543	0,865	1,735	2,399	1,361	3,712	4,954
Cu 35	0,334	0,315	0,543	0,412	0,577	1,039	0,672	1,082	1,734			
Cu 95	0,557	0,857	1,097	0,513	1,214	1,648	0,773	1,812	2,430	1,269	3,626	
50 Συν. M.T.	3,080	3,200	4,516	1,660	4,625	5,244	1,920	6,291	7,038			

## 2.1.4. Δύναμη Τανύσεως



Σ. 2-3

Θεωρούμε έναν αγωγό ολικού μήκους "S", ο οποίος αναρτάται από δυο ανισοϋνή σημεία A,B (δείτε διπλανό σχήμα). Εξετάζουμε την ισορροπία ενός τόξου μήκους "S' " του αγωγού αυτού. Στα σημεία Γ και Δ του αγωγού αναπτύσσονται οι αξονικές δυνάμεις "F<sub>Γ</sub>" και "F<sub>Δ</sub>". Επίσης, στο τόξο ΓΔ εφαρμόζεται και το συνολικό βάρος του, το οποίο ισούται με το μήκος του τόξου "S' " επί τη συνολική επιφόρτισή του "W". Οι αξονικές δυνάμεις "F<sub>Γ</sub>" και "F<sub>Δ</sub>" αναλύονται στις οριζόντιες συνιστώσες "T<sub>Γ</sub>" και "T<sub>Δ</sub>" και στις κατακόρυφες "R1" και "R2". Από την ισορροπία των δυνάμεων, έχουμε ότι:

$$\Sigma F_x=0 \rightarrow T_{\Gamma} = T_{\Delta} \quad (2.5)$$

$$\Sigma F_y=0 \rightarrow R1-R2=W.S' \quad (2.6)$$

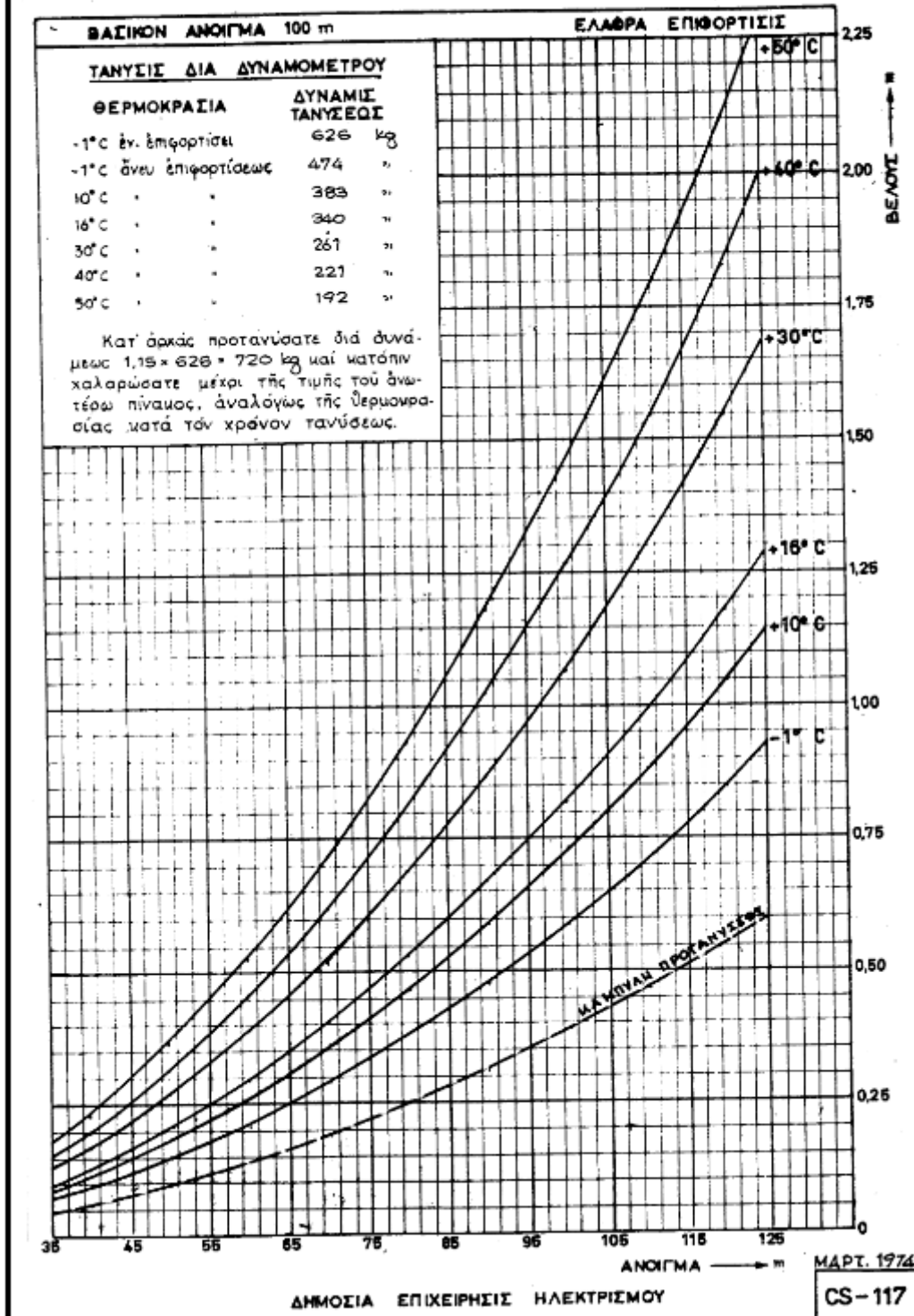
Παρατηρούμε ότι η σχέση  $T_{\Gamma}=T_{\Delta}$  δε σχετίζεται με το μήκος "S' " του τόξου, αλλά ούτε με το συνολικό μήκος "S" του αγωγού. Αυτό σημαίνει, ότι όταν ένας αγωγός που αναρτάται από δυο σταθερά σημεία στήριξης ισορροπεί, η οριζόντια συνιστώσα της δύναμης που τον καταπονεί είναι η ίδια σε όλες της θέσεις του. Η σταθερή αυτή οριζόντια δύναμη, ονομάζεται *δύναμη τανύσεως*.

Κάθε εναέρια γραμμή διανομής μελετάται και κατασκευάζεται με συγκεκριμένη δύναμη τανύσεως "T", η οποία εξαρτάται από το είδος και τη διατομή του χρησιμοποιούμενου αγωγού, από το Βασικό Άνοιγμά της, και από τη κατηγορία μηχανικής της επιφόρτισης. Για παράδειγμα, άλλη δύναμη τανύσεως χρησιμοποιείται για αγωγό ACSR35τ.χ. και B.A.=100m σε μέση επιφόρτιση και άλλη για αγωγό ACSR95τ.χ. και B.A.=125m σε ελαφρά επιφόρτιση. Η ΔΕΗ περιγράφει τις χρησιμοποιούμενες δυνάμεις τανύσεως για όλα τα είδη των αγωγών της, Βασικά Ανοίγματα και μηχανικές επιφορτίσεις, στις σελίδες CS του εγχειριδίου "Τυποποιημένων Κατασκευών Διανομής". Μια τέτοια σελίδα παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα. Πρόκειται για τη τάνυση CS-117, που αφορά αγωγό ACSR 35τ.χ. με βασικό άνοιγμα 100m και ελαφρά επιφόρτιση. Όπως βλέπουμε και από το σχήμα αυτό, στο επάνω αριστερό παράθυρο της σελίδας αναφέρονται οι δυνάμεις τανύσεως (σε Kg) για διάφορες θερμοκρασίες και ειδικές επιφορτίσεις. Για παράδειγμα, στους -1°C άνευ επιφορτίσεων, η δύναμη τανύσεως ισούται με 474Kg. Ο όρος "άνευ επιφορτίσεων" σημαίνει στον αγωγό δρα μόνο το βάρος "W<sub>A</sub>" του και όχι η εγκάρσια επιφόρτιση "W<sub>E</sub>" ή το βάρος του πάγου "W<sub>P</sub>". Η ίδια σελίδα με τις επιφορτίσεις, παρουσιάζει και τα βέλη των αγωγών συναρτήσει της θερμοκρασίας.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΒΕΛΟΥΣ & ΠΙΝΑΞ ΔΥΝΑΜΕΩΝ  
ΔΙΑ ΤΗΝ ΤΑΝΥΣΙΝ ΑΓΟΓΩΝ  
ACSR 35<sup>2</sup>

CS-117



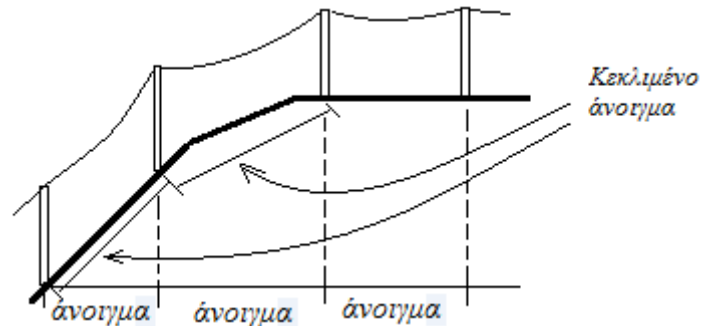
Σχ. 2-4

## 2.2. Ανοίγματα στύλων

Σε μια εναέρια γραμμή διανομής, ορίζουμε τα παρακάτω ανοίγματα:

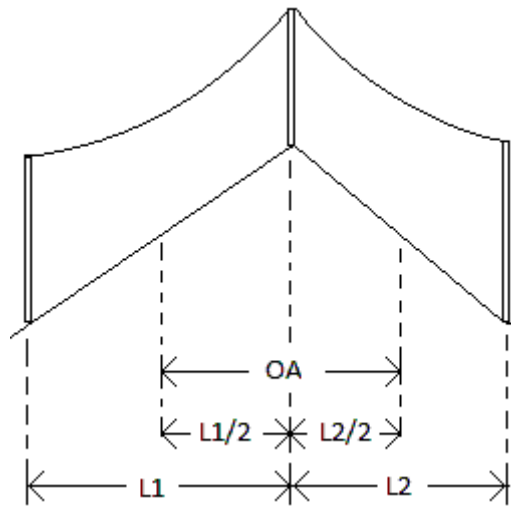
α) *Άνοιγμα στύλων*: είναι η οριζόντια απόσταση μεταξύ των βάσεων δυο στύλων

β) *Κεκλιμένο άνοιγμα στύλων*: είναι η κεκλιμένη απόσταση μεταξύ των βάσεων δυο διαδοχικών στύλων. Σε περίπτωση που το έδαφος είναι οριζόντιο, το κεκλιμένο άνοιγμα ισούται με το άνοιγμα (δείτε επόμενο σχήμα).



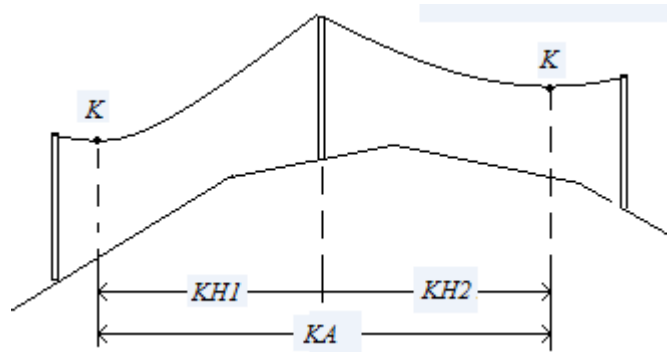
Σχ. 2-5

γ) *Οριζόντιο άνοιγμα στύλων*: είναι το ημίαθροισμα των εκατέρωθεν ανοιγμάτων του (δείτε επόμενο σχήμα). Στη προκειμένη περίπτωση, το οριζόντιο άνοιγμα του μεσαίου στύλου ισούται με:  $OA = (L1 + L2) / 2$ . Στη περίπτωση του στύλου δεξιά, επειδή είναι τερματικός, το οριζόντιο άνοιγμα του ισούται με:  $OA = L2 / 2$ .



Σχ. 2-6

δ) *Κατακόρυφο ημίανοίγμα στύλων*. Είναι η οριζόντια απόσταση του στύλου από το κατώτατο σημείο K της καμπύλης του αγωγού. Σε κάθε στύλο αντιστοιχούν δυο κατακόρυφα ημίανοίγματα. Το κατακόρυφο ημίανοίγμα "KH2" λόγω του αγωγού που βρίσκεται δεξιά από το στύλο και το κατακόρυφο ημίανοίγμα "KH1" λόγω του αγωγού που βρίσκεται αριστερά από το στύλο (δείτε επόμενο σχήμα).

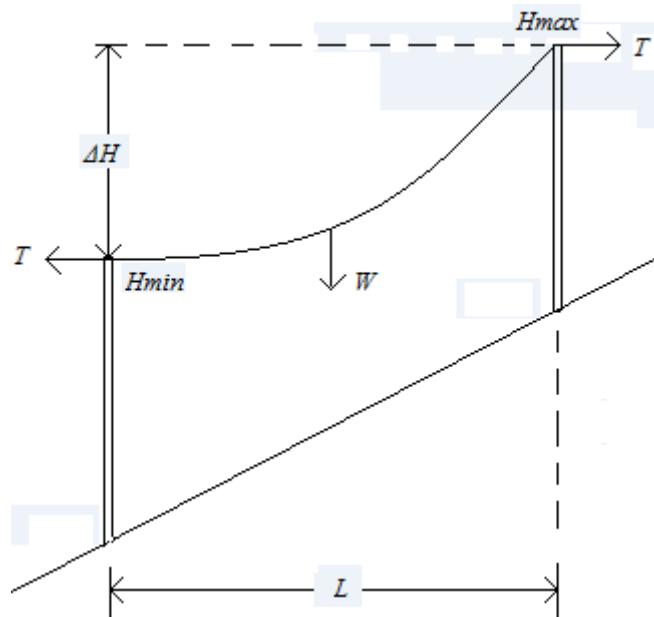


Σχ. 2-7

Οι σχέσεις μας δίνουν τα κατακόρυφα ημιανοίγματα στο υψηλότερο και χαμηλότερο σημείο ανάρτησης ενός αγωγού σε ένα άνοιγμα "L" μεταξύ δυο στύλων με υψομετρική διαφορά "ΔH" είναι:

$$KH_{min} = \frac{T \cdot \Delta H}{W \cdot L} - \frac{L}{2} \quad (2.7)$$

$$KH_{max} = \frac{T \cdot \Delta H}{W \cdot L} + \frac{L}{2} \quad (2.8)$$



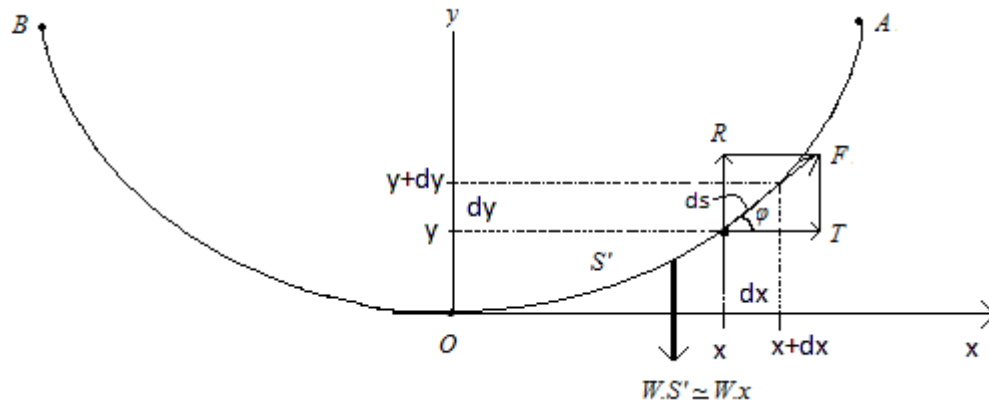
Σχ. 2-8

ε) *Κατακόρυφο άνοιγμα στύλων*: Είναι το άθροισμα ή η διαφορά των δυο εκατέρωθεν ημιανοιγμάτων ενός στύλου. Τα ημιανοίγματα προστίθενται, όταν βρίσκονται εκατέρωθεν του στύλου, ή αφαιρούνται, όταν και τα δυο βρίσκονται στην ίδια πλευρά του. Η σχέση που μας δίνει το κατακόρυφο άνοιγμα ενός στύλου είναι:

$$KA = \frac{2 \cdot T \cdot \Delta H}{W \cdot L} \quad (2.9)$$

### 2.3.Στοιχεία καμπύλης αγωγών-καλωδιών Εναέριων Δικτύων Διανομής

Θεωρώ ότι ένας αγωγός συνολικού μήκους "S" αναρτάται από δυο ισοϋψή σημεία στήριξης A και B (δείτε επόμενο σχήμα). Σε ένα στοιχειώδες τμήμα "ds" του αγωγού αυτού, η εφαπτόμενη αξονική δύναμη "F" αναλύεται κατά τα γνωστά στην σταθερή οριζόντια δύναμη τάνυσης "T" και στη κατακόρυφη δύναμη "R". Από το κατώτατο τμήμα O της καμπύλης του αγωγού μέχρι το σημείο "ds" (μήκος τόξου "S' ") το συνολικό βάρος του αγωγού ισούται με W.S'. Χωρίς να χάνεται η ακρίβεια, μπορούμε να αντικαταστήσουμε το μήκος "S' " με την οριζόντια προβολή του "x".



Σχ. 2-9

Έστω "φ" η γωνία μεταξύ της δύναμης τάνυσεως "T" και της αξονικής δύναμης "F" του σημείου "ds". Τότε:

$$\tan \varphi = \frac{R}{T} \Rightarrow \tan \varphi = \frac{W \cdot x}{T} \quad (2.10)$$

Από το προηγούμενο σχήμα όμως, έχουμε ότι:

$$\tan \varphi = \frac{dy}{dx} \quad (2.11)$$

Από την εξίσωση των σχέσεων (2.10) και (2.11) έχουμε ότι:

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dx} = \frac{W \cdot x}{T} \Rightarrow dx \cdot W \cdot x = T \cdot dy \Rightarrow dy = \frac{W}{T} \cdot x \cdot dx \Rightarrow \int dy = \int \frac{W}{T} \cdot x \cdot dx \Rightarrow \\ y = \frac{W}{2 \cdot T} \cdot x^2 + C \end{aligned} \quad (2.12)$$

Για το κατώτατο σημείο O με x=0 και y=0 από τη σχέση (2.12) σχέση συνεπάγεται ότι C=0, άρα:

$$y = \frac{W}{2 \cdot T} \cdot x^2 \quad (2.13)$$

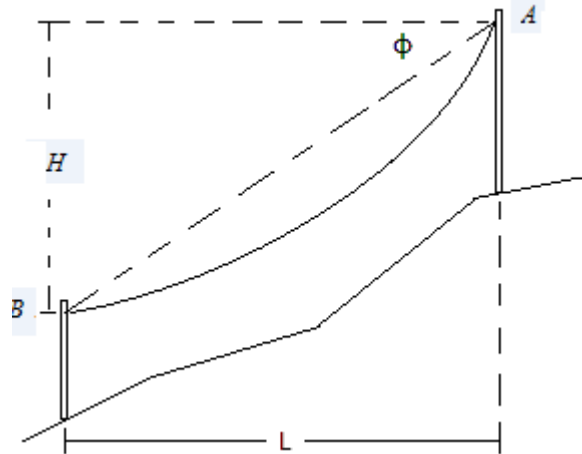
Η τελευταία εξίσωση αποτελεί την εξίσωση της καμπύλης του αγωγού στην ισοϋψή ανάρτηση. Με τον ίδιο συλλογισμό, για ανισοϋψή ανάρτηση του αγωγού η αντίστοιχη εξίσωση είναι:

$$y = \frac{W}{2 \cdot \cos \varphi \cdot T} \cdot x^2 \quad (2.14)$$

με:

$$\cos\varphi = \frac{L}{\sqrt{L^2+H^2}} \quad (2.15)$$

όπου: "L" και "H" εικονίζονται στο επόμενο σχήμα:



Σχ. 2-10

#### 2.4. Αξονική δύναμη αγωγών-καλωδίων Εναέριων Δικτύων Διανομής

Θεωρώ τη γενική περίπτωση όπου ένας αγωγός αναρτάται από δυο ανισοϋψή σημεία στήριξης. Η μέγιστη τιμή της αξονικής δύναμης εμφανίζεται στο υψηλότερο σημείο ανάρτησης του αγωγού, ενώ η ελάχιστη τιμή τιμής στο κατώτερο σημείο στήριξης. Η αξονική δύναμη "F" σε ένα τυχαίο σημείο με συντεταγμένες x,y (με άξονα αναφοράς το κατώτερο σημείο της καμπύλης του αγωγού) δίνεται από τη σχέση:

$$F = \sqrt{T^2 + R^2} = \sqrt{T^2 + (W \cdot S')^2} \quad (2.16)$$

όπου "T" είναι η δύναμη τανύσεως και "S'" είναι το μήκος της καμπύλης του αγωγού από το κατώτατο σημείο μέχρι το σημείο που με ενδιαφέρει (x,y). Σύμφωνα με την Οδηγία Διανομής Νο41 της ΔΕΗ, μπορούμε να προσεγγίσουμε το μήκος "S'" με το μέγιστο κατακόρυφο ημιάνοιγμα "KH<sub>max</sub>" του ανοίγματος αυτού. Έτσι, από τη τελευταία σχέση προκύπτει ότι:

$$F_{max} = \sqrt{T^2 + (W \cdot KH_{max})^2} \quad (2.17)$$

#### 2.5. Συνθήκες ελέγχου μηχανικής αντοχής εναέριων αγωγών-καλωδίων

Έχοντας αναπτύξει μέχρι τώρα όλα τα προαπαιτούμενα στοιχεία που χρειάζονται, θα αναφερθούμε στις συνθήκες ελέγχου της μηχανικής αντοχής των αγωγών-καλωδίων μιας εναέριας γραμμής διανομής. Αναφέρουμε ότι οι έλεγχοι που ακολουθούν πρέπει να γίνονται για κάθε άνοιγμα της γραμμής αυτής. Η διαδικασία ελέγχου έχει ως εξής:

**βήμα 1<sup>ο</sup>:** Ξεκινάμε από το πρώτο άνοιγμα στην αρχή της γραμμής. Βλέπουμε από τα τοπογραφικά στοιχεία της χάραξης της όδευσης της γραμμής ποιος από τους δυο στύλους

βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο. Για το σημείο αυτό εφαρμόζουμε και τις δυο συνθήκες ελέγχου των αγωγών.

*βήμα 2<sup>ο</sup>*: Εφαρμόζουμε την ίδια διαδικασία και για τα επόμενα διαδοχικά ανοίγματα της γραμμής, μέχρι και το τελευταίο.

Οι συνθήκες ελέγχου που επιβάλλει ο ΚΕΣΥΓΗΕ είναι:

συνθήκη 1<sup>η</sup>:

Η μέγιστη εφελκυστική δύναμη " $F_{max}$ " στο υψηλότερο σημείο ανάρτησης υψηλότερο σε ένα άνοιγμα "L" και σε δυσμενέστερες συνθήκες επιφόρτισης ( $W = \sqrt{W_K^2 + W_E^2} + St$ ), δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 60% του φορτίου θραύσης " $F_{\theta\rho}$ " του αγωγού.

$$F_{max} \leq 60\% \cdot F_{\theta\rho} \quad (\text{σε πλήρη επιφόρτιση}) \quad (2.18)$$

συνθήκη 2<sup>η</sup>:

Η μέγιστη εφελκυστική δύναμη " $F_{max}$ " στο υψηλότερο σημείο ανάρτησης σε ένα άνοιγμα "L" στους +16 °C άνευ επιφορτίσεως (δηλαδή  $W=W_A$ ), δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 25% του φορτίου θραύσης " $F_{\theta\rho}$ " του αγωγού.

$$F_{max} \leq 25\% \cdot F_{\theta\rho} \quad (\text{στους } +16 \text{ }^\circ\text{C} \text{ άνευ επιφορτίσεως}) \quad (2.19)$$

Τα φορτία θραύσης των αγωγών-καλωδιών εναέριων δικτύων διανομής δόθηκαν στο πίνακα 1-1.

Παράδειγμα:

*Αγωγός ACSR95τ.χ. αναρτάται από δυο σημεία ενός ανοίγματος  $L=160m$ . Τα σημεία ανάρτησης έχουν υψομετρική διαφορά  $\Delta H=80m$ . Δίνεται: Βαριά επιφόρτιση και τάνυση CS-63. Σύμφωνα με τη σελίδα CS-63 του εγχειριδίου "Τυποποιημένων Κατασκευών Διανομής", δίνονται ότι:  $T=2712Kg$  και  $W=2.399Kg/m$  για πλήρη επιφόρτιση και  $T_{\alpha\nu\epsilon\nu}=1031Kg$ ,  $W_{\alpha\nu\epsilon\nu}=0.865Kg/m$  στους +16°C άνευ επιφορτίσεως. Να ελεγχθεί η αντοχή του αγωγού στο άνοιγμα αυτό.*

Έλεγχος 1<sup>ης</sup> οριακής συνθήκης (πλήρη επιφόρτιση)

Για το άνοιγμα  $L=160m$ , το μέγιστο κατακόρυφο ημίανοιγμα σύμφωνα με τη σχέση (2.8) είναι:

$$KH_{max} = \frac{T \cdot \Delta H}{W \cdot L} + \frac{L}{2} = \frac{2712 \times 80}{2.399 \times 160} + \frac{160}{2} = 645.3m$$

Η μέγιστη αξονική δύναμη (σύμφωνα με τη σχέση 2.17) είναι:

$$F_{max} = \sqrt{T^2 + (W \cdot KH_{max})^2} = \sqrt{2712^2 + (2.399 \times 645.3)^2} = 3122.7Kg$$

Από πίνακα 1-1, το φορτίο θραύσης του αγωγού ACSR 95τ.χ. είναι  $F_{\theta\rho}=5650Kg$

Για να ισχύει η πρώτη συνθήκη, θα πρέπει:  $F_{max} \leq 60\% \cdot F_{\theta\rho}$

$60\% \cdot F_{\theta\rho} = 0.60 \times 5650 = 3390Kg$ . Πράγματι,  $F_{max} < 60\% \cdot F_{\theta\rho}$  (αφού  $3122.7Kg < 3390Kg$ )

Έλεγχος 2<sup>ης</sup> οριακής συνθήκης (+16°C άνευ επιφορτίσεως)

Για το άνοιγμα L=160m, το μέγιστο κατακόρυφο ημιάνοιγμα σύμφωνα με τη σχέση (2.8) είναι για θερμοκρασία +16°C, άνευ επιφορτίσεως:

$$KH_{max} = \frac{T_{ανευ} \cdot \Delta H}{W_{ανευ} \cdot L} + \frac{L}{2} = \frac{1031 \times 80}{0.865 \times 160} + \frac{160}{2} = 675.9m$$

Η μέγιστη αξονική δύναμη (σύμφωνα με τη σχέση 2.17) είναι:

$$F_{max} = \sqrt{T^2 + (W \cdot KH_{max})^2} = \sqrt{1031^2 + (0.865 \times 675.9)^2} = 1185.2Kg$$

Από πίνακα 1-1, το φορτίο θραύσης του αγωγού ACSR 95τ.χ. είναι  $F_{\theta\rho} = 5650Kg$

Για να ισχύει η δεύτερη συνθήκη, θα πρέπει:  $F_{max} \leq 25\% \cdot F_{\theta\rho}$

$25\% \cdot F_{\theta\rho} = 0.6 \times 5650 = 1412.5Kg$ . Πράγματι,  $F_{max} \leq 25\% \cdot F_{\theta\rho}$  (αφού  $1185.2Kg < 1412.5Kg$ )

Συνεπώς, για το δεδομένο άνοιγμα και υψομετρική διαφορά ο αγωγός αντέχει.

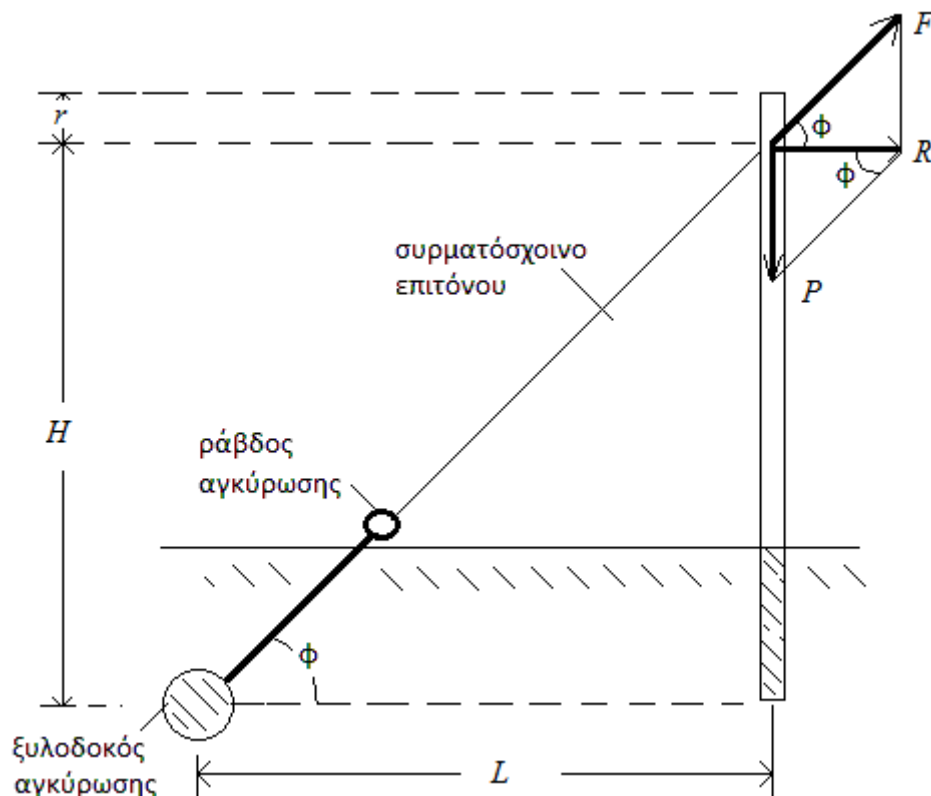
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΜΕΛΕΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΕΠΙΤΟΝΩΝ

### 3.1. Βασικές παράμετροι επιτόνων στα Δίκτυα Διανομής

Τα επίτονα είναι κατασκευές για την αντιστήριξη των ξύλινων στύλων στις εναέριες γραμμές διανομής. Χρησιμοποιούνται για να εξισορροπήσουν οριζόντιες δυνάμεις οφειλόμενες είτε στις δυνάμεις τανύσεως των αγωγών, είτε στις ανεμοπιέσεις σε αυτούς. Οι στύλοι που τοποθετούνται επίτονα λόγω των προηγούμενων δυνάμεων είναι:

- α) Γωνιακοί στύλοι
- β) Τερματικοί στύλοι
- γ) Στύλοι διακλάδωσης

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε μια γενική περίπτωση ενός στύλου σε μια γραμμή διανομής, ο οποίος καταπονείται του με μια συνολική οριζόντια δύναμη "R" σε απόσταση "r" από τη κορυφή του. Ο σκοπός της χρήσης του επιτόνου είναι να αντικαταστήσει την δύναμη αυτή, σε μια κατακόρυφη θλιπτική (αξονική) δύναμη "P" στο στύλο και μια εφελκυστική δύναμη "F" επί του συρματοσχοίνου του επιτόνου.



Σχ. 3-1

Στο σχήμα αυτό έχουμε ότι: "L" είναι η οριζόντια απόσταση της βάσης του στύλου με την ξύλοδοκό αγκύρωση. Η απόσταση αυτή καλείται μήκος επιτόνου. Επίσης "H" είναι η



κατακόρυφη απόσταση από την ξυλοδοκό αγκύρωσης μέχρι το σημείο πρόσδεσης του συρματοσχοίνου του επιτόνου στο στύλο. Επειδή συνήθως το συρματοσχοίνο προσδένεται σε απόσταση 20cm από τη κορυφή του στύλου, θεωρούμε ότι το μήκος "H" ισούται με το ολικό ύψος του στύλου. Εξαιρέση αποτελεί ο στύλος διακλάδωσης, στον οποίο το συρματοσχοίνο του επιτόνου προσδένεται συνήθως σε απόσταση 1m από τη κορυφή του στύλου. Αναλυτικά παραδείγματα υπολογισμών ακολουθούν σε επόμενες παραγράφους. Σύμφωνα με το προηγούμενο σχήμα, έχουμε ότι:

$$\tan \varphi = \frac{H}{L} = \frac{P}{R} \Rightarrow P = \frac{H}{L} \cdot R \quad (3.1)$$

$$F^2 = P^2 + R^2 \quad (3.2)$$

Συνεπώς, η συνολική εφελκυστική δύναμη "F" του συρματοσχοίνου του επιτόνου θα ισούται με:

$$F^2 = \left(\frac{H}{L} \cdot R\right)^2 + R^2 = R^2 \cdot \left(1 + \left(\frac{H}{L}\right)^2\right) \Rightarrow$$

$$F = R \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{H}{L}\right)^2} \quad \text{ή} \quad F = R \cdot k \quad (3.3)$$

όπου:

$$k = \sqrt{1 + \left(\frac{H}{L}\right)^2} \quad (3.4)$$

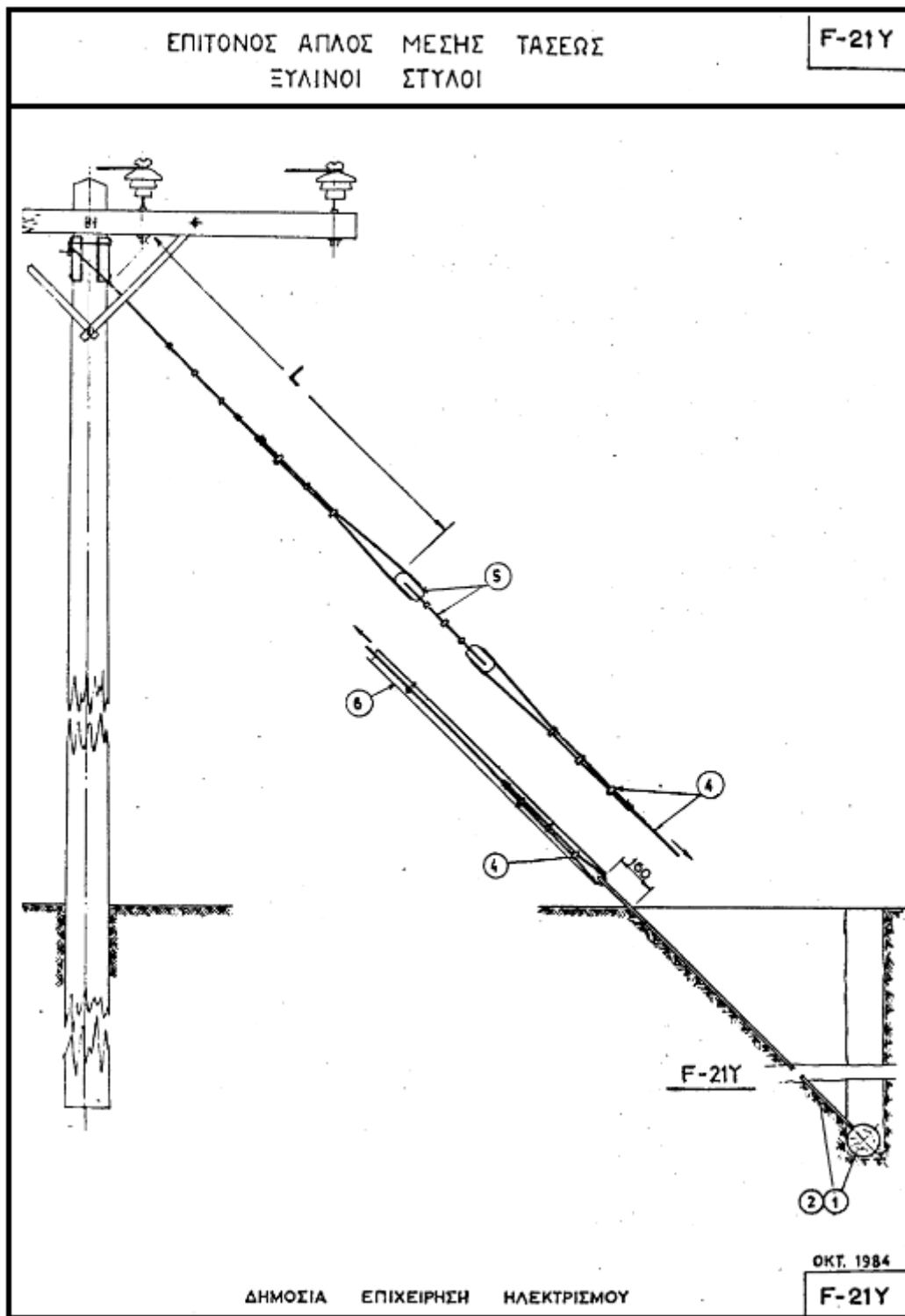
Έτσι, υπολογίζοντας κάθε φορά τη συνολική οριζόντια δύναμη στο στύλο και γνωρίζοντας την απόσταση "L" του επιτόνου (καθορίζεται στις τοπογραφικές εργασίες χάραξης της γραμμής) καθώς και το ύψος "H" του στύλου, μπορούμε να υπολογίσουμε τη συνολική δύναμη "F" που καλείται να παραλάβει το συρματοσχοίνο.

### 3.2. Τυποποιημένες κατασκευές επιτόνων στα Εναέρια Δίκτυα Διανομής Μέσης Τάσης

Ανάλογα με το πλήθος των χρησιμοποιούμενων συρματοσχοίων και το τρόπο πρόσδεσής τους στο στύλο, υπάρχουν οι εξής τυποποιημένες κατασκευές επιτόνων στα εναέρια δίκτυα διανομής Μ.Τ.:

#### α) Απλό επίτονο Μ.Τ. (τυπ. κατασκευή **F-21Y**)

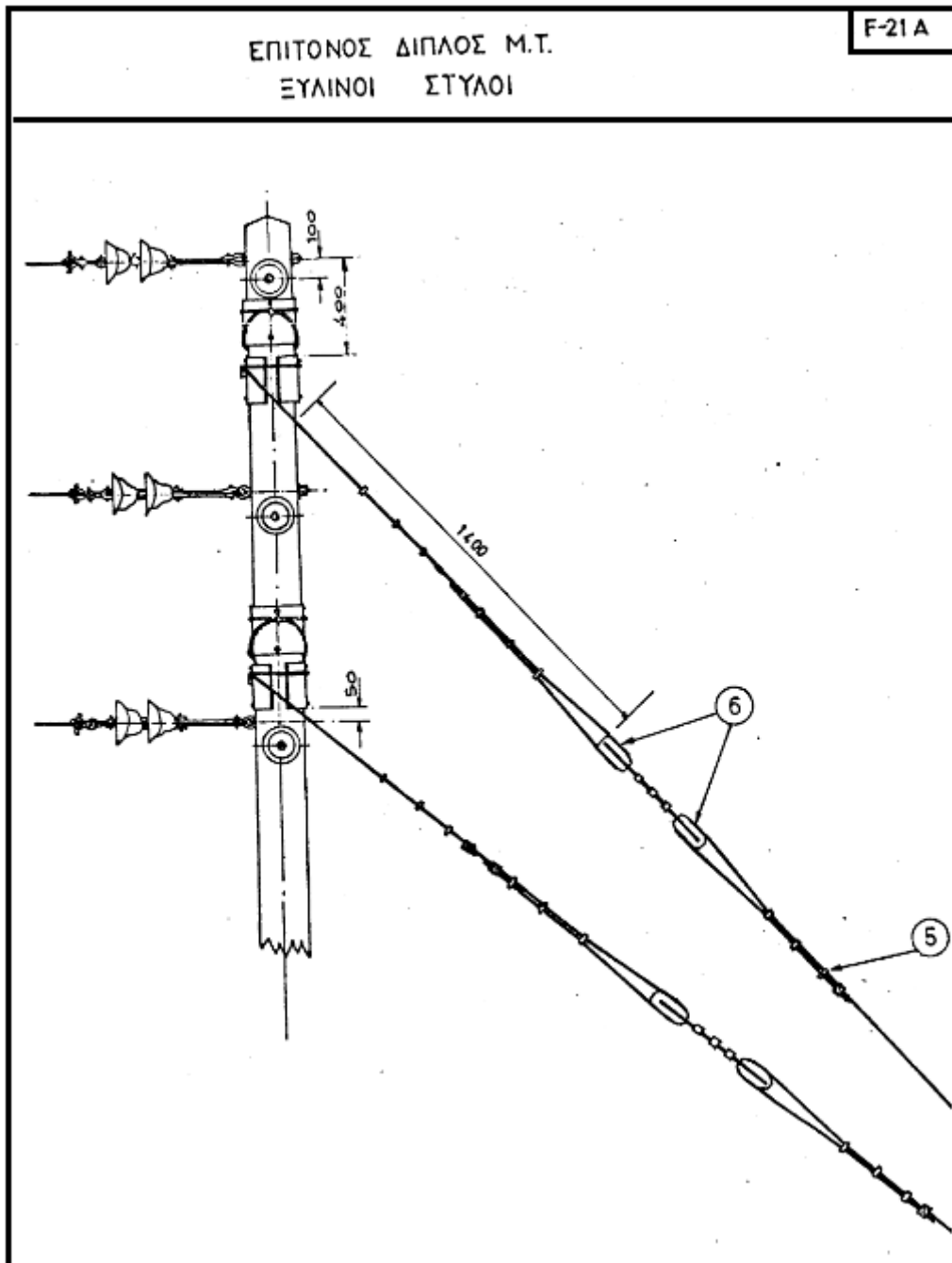
Χρησιμοποιείται για τη παραλαβή δυνάμεων σε στύλους με οριζόντια διάταξη αγωγών (στύλοι διακλάδωσης, τέρματος ή πολύ μικρής γωνίας).



Σχ. 3-2

β) Διπλό επίτονο Μ.Τ. (τυπ. κατασκευή F-21A)

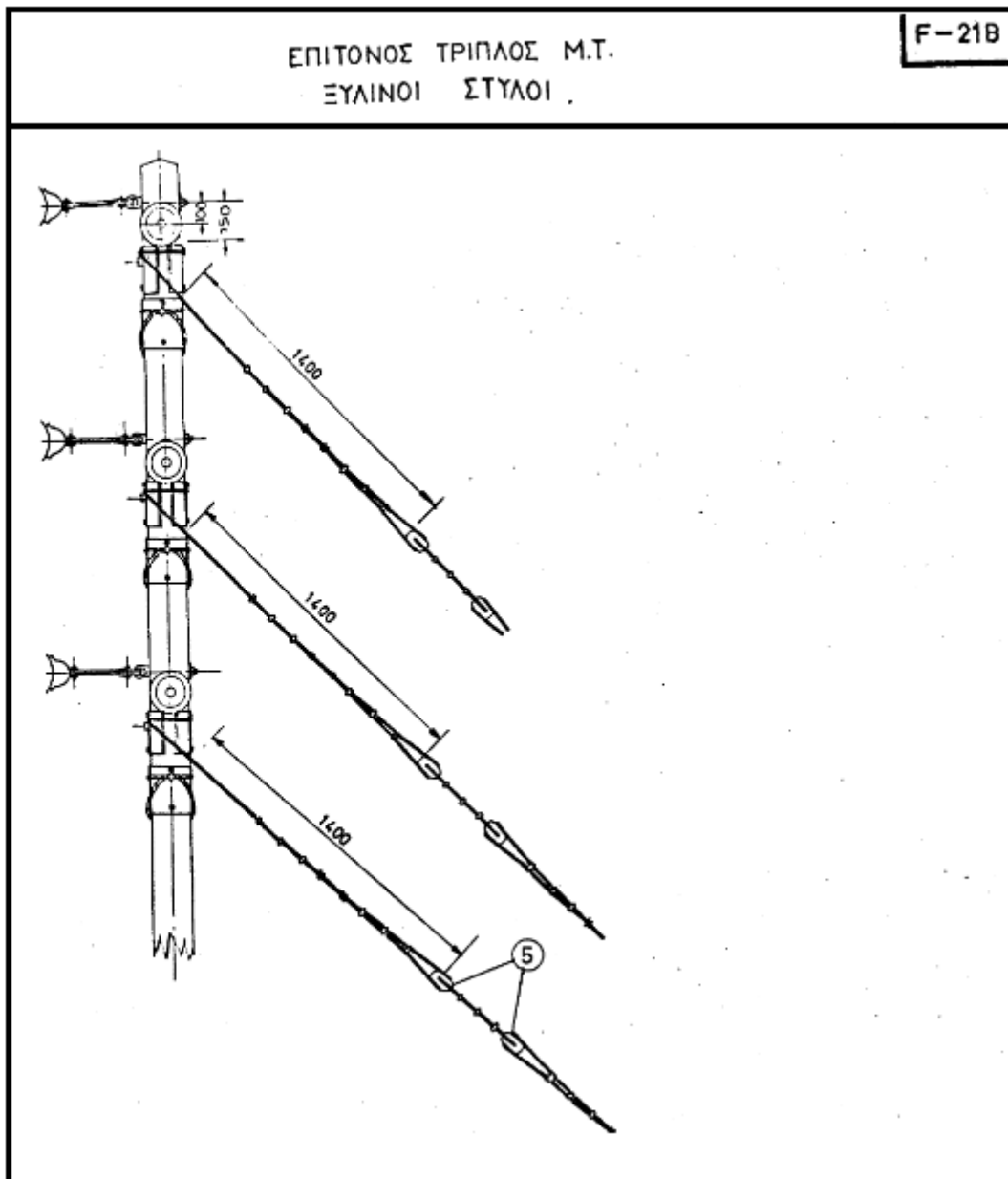
Χρησιμοποιείται για τη παραλαβή δυνάμεων σε γωνιακούς στύλους με κατακόρυφη διάταξη αγωγών (Κατασκευές P-9II, P-9IV) και πρόσδεση δυο συρματοσχοίνων σε δυο διαφορετικά ύψη.



Σχ. 3-3

γ) Τριπλό επίτονο Μ.Τ. (τυπ. κατασκευή F-21B)

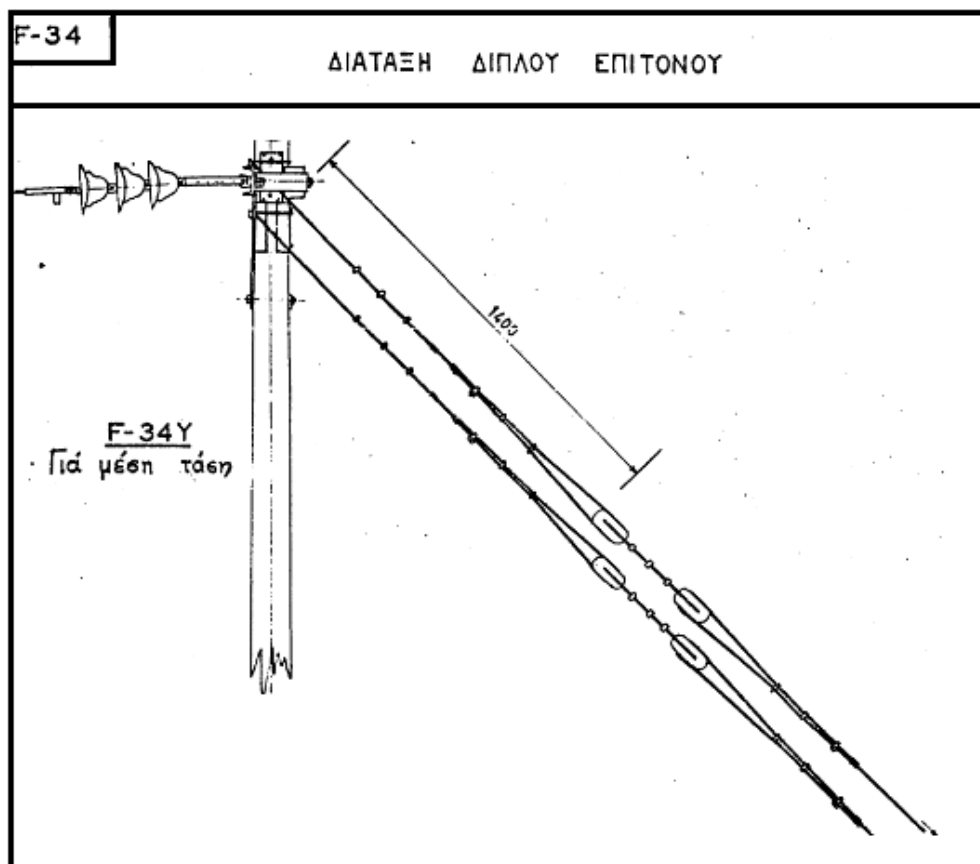
Χρησιμοποιείται για τη παραλαβή δυνάμεων σε γωνιακούς στύλους με κατακόρυφη διάταξη αγωγών (Κατασκευές P-9II, P-9IV) και πρόσδεση δυο συρματοσχοίνων σε τρία διαφορετικά ύψη. Χρησιμοποιείται για περιπτώσεις που δεν επαρκεί η αντοχή της κατασκευής F-21A.



Σχ. 3-4

δ) Διπλό επίτονο Μ.Τ. (τυπ. κατασκευή F-34Y)

Χρησιμοποιείται για τη παραλαβή δυνάμεων σε στύλους με οριζόντια διάταξη αγωγών (στύλοι διακλάδωσης, τέρματος) και σε περιπτώσεις που δεν επαρκεί η αντοχή της κατασκευής F-21Y.



Σχ. 3-5

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες συρματοσχοίων [Ελαφρύ (E), Μέσο (M), Βαρύ (B)] που χρησιμοποιούνται στις προηγούμενες κατασκευές επιτόνων. Κάθε μια από τρεις αυτές κατηγορίες χαρακτηρίζεται από το φορτίο θραύσης της "F<sub>θρ</sub>". Προκειμένου όμως να μην δοκιμάζονται τα συρματόσχοινα αυτά στο ονομαστικό τους φορτίο, η ΔΕΗ έχει καθορίσει ένα συντελεστή ασφαλείας "ν" για κάθε κλάση κατασκευής (A ή B), περιορίζοντας έτσι το φορτίο θραύσης τους "F<sub>θρ</sub>" στο επιτρεπόμενο φορτίο "F<sub>επ</sub>". Με άλλα λόγια, ισχύει ότι:

$$F_{επ} = F_{θρ} / ν \quad (3.5)$$

Στο παρακάτω πίνακα βλέπουμε τα επιτρεπόμενα φορτία των συρματοσχοίων επιτόνων ανάλογα με τη κλάση κατασκευής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3-1				
ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΑ ΦΟΡΤΙΑ ΣΥΡΜΑΤΟΣΧΟΙΝΩΝ (σε Kg)				
Κατασκευή επιτόνου	Συμβολισμός	F <sub>θρ</sub>	F <sub>επ</sub> (Κλ.Β)	F <sub>επ</sub> (Κλ. Α)
F-21Y(E)	E	1740	1289	1024
F-21Y(M)	M	3630	2689	2135
F-21Y(B)	B	6580	4874	3871
F-21A(E) ή F-34Y(E)	2E	3480	2578	2047
F-21B(E)	3E	5220	3867	3071
F-21A(M) ή F-34Y(M)	2M	7260	5378	4271
F-21A(B) ή F-34Y(B)	2B	13160	9748	7741
F-21B(M)	3M	10890	8067	6406
F-21B(B)	3B	19740	14622	11612

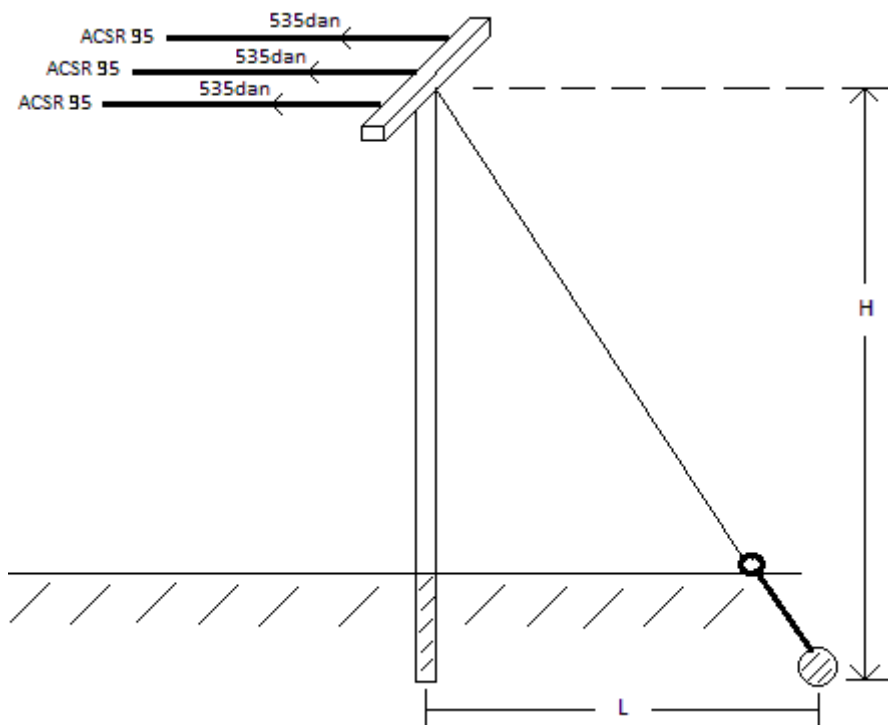
### 3.3. Υπολογισμοί αντοχής επιτόνων

Οι υπολογισμοί των επιτόνων αφορούν την επιλογή της τυποποιημένης κατασκευής τους (F-21Y, F-31Y, F-21A, F-21B) καθώς και της κατηγορίας (E, M, B) και του πλήθους (1, 2 3) των συρματοσχοίνων του. Η επιλογή της τυποποιημένης κατασκευής σχετίζεται με το αν πρόκειται για τερματικό ή γωνιακό στύλο και με το αν πρόκειται για οριζόντια ή κατακόρυφη διάταξη των αγωγών του. Όσον αφορά τη κατηγορία και το πλήθος των συρματοσχοίνων, υπολογίζουμε αρχικά τη συνολική εφελκυστική δύναμη "F" που καλείται αυτό να παραλάβει, σύμφωνα με τη σχέση (3.3) και στη συνέχεια από το πίνακα 3-1 και ανάλογα με τη κλάση κατασκευής επιλέγω κατασκευή που το επιτρεπόμενο φορτίο θραύσης να είναι μεγαλύτερο από αυτό που εγώ υπολόγισα.

#### 3.3.1. Επίτονο τερματικού στύλου Μ.Τ.

##### Παράδειγμα

Έστω τερματικός στύλος γραμμής Μ.Τ. με αγωγούς 3x95τ.χ.ΑCSR σε τάνση CS-5A (BA=40m, Μέση επιφόρτιση). Δίνονται: ύψος στύλου H=13m, L=12m, Κλάση Α, δύναμη τάνσης στους -10 °C σε πλήρη επιφόρτιση:  $T_{ACSR95}=535\text{Kg}$ . Να υπολογιστεί το επίτονο που απαιτείται.



Σχ. 3-6

Από τα δεδομένα του προβλήματος και τη σχέση (3.4), ο συντελεστής "k" είναι:

$$k = \sqrt{1 + \left(\frac{H}{L}\right)^2} = \sqrt{1 + \left(\frac{13}{12}\right)^2} = 1.47$$

Στη περίπτωση τερματικού στύλου Μ.Τ., η συνολική οριζόντια δύναμη "R" στη κορυφή του (πιο συγκεκριμένα σε απόσταση 20cm από αυτή) ισούται με το άθροισμα των δυνάμεων τάνυσεως των τριών αγωγών ACSR (πάντα για τις δυσμενέστερες συνθήκες). Έτσι:

$$R_{ολ}=3 \cdot T_{ACSR95} = 3 \times 535 = 1605 \text{Kg}$$

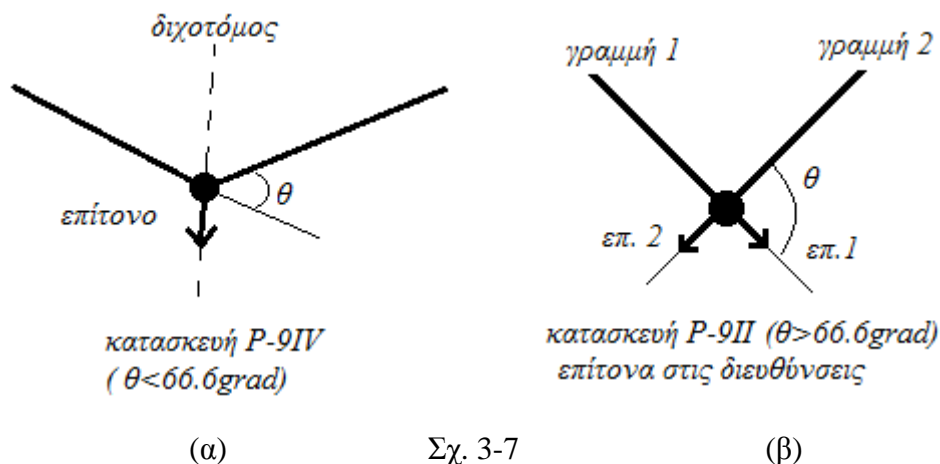
Συνεπώς, από τη σχέση (3.3) η συνολική εφελκυστική δύναμη "F" που καλείται να παραλάβει το επίτονο είναι:

$$F=k \cdot R_{ολ}= 1,47 \times 1605 = 2359 \text{Kg}$$

Πρόκειται για οριζόντια διάταξη αγωγών και εφαρμογή της συνολικής οριζόντιας δύναμης "R" σε ένα σημείο. Συνεπώς θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί κατασκευή F-21Y ή F-34Y. Από το πίνακα 3-1, για κλάση κατασκευής A και φορτίο  $F=2359 \text{Kg}$ , βλέπω ότι η κατασκευή F-21Y(M) με  $F_{επ}=2135 \text{Kg}$  δεν επαρκεί (αφού  $F > F_{επ}$ ). Στη προκειμένη περίπτωση επιλέγουμε τη κατασκευή F-21Y(B) με  $F_{επ}=3871 \text{Kg}$  ( $>F$ ). Θα χρησιμοποιηθεί δηλαδή ένα απλό συρματόσχοινο κατηγορίας (B).

### 3.3.2. Επίτονο γωνιακού στύλου Μ.Τ.

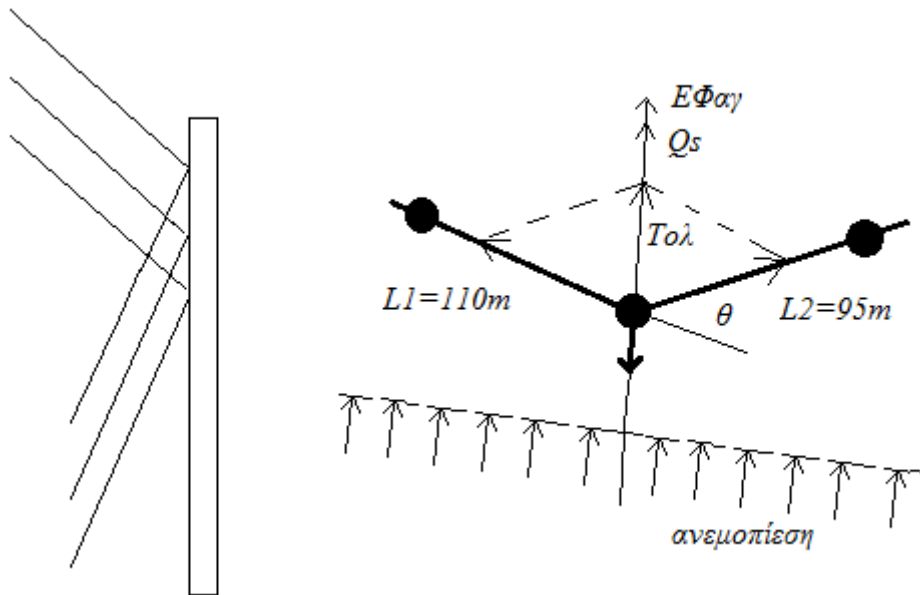
Για τις υπεραστικές γραμμές διανομής Μ.Τ. (γραμμές με Βασικό Άνοιγμα από 75m έως 425m) υπάρχουν δυο τυποποιημένες κατασκευές γωνιών. Η κατασκευή P-9IV για γωνίες έως 66,6βαθμούς και η κατασκευή P-9II για γωνίες μεγαλύτερες από 66,6 βαθμούς (όταν αναφερόμαστε στη γωνία μιας γραμμής δεν εννοούμε την εσωτερική γωνία που σχηματίζουν οι αγωγοί, αλλά τη συμπληρωματική της γωνία). Και οι δυο κατασκευές αφορούν κατακόρυφη διάταξη των αγωγών της γραμμής, πράγμα που σημαίνει ότι χρησιμοποιούνται κατασκευές επιτόνων είτε F-21A είτε F-21B. Στη κατασκευή P-9IV τοποθετείται το επίτονο στη διχοτόμο της γωνίας, ενώ στη κατασκευή P-9II τοποθετούνται δυο επίτονα, ένα σε κάθε μια διεύθυνση της γραμμής (δείτε επόμενο σχήμα).



Στη κατασκευή P-9II, τα επίτονα υπολογίζονται σε κάθε μια διεύθυνση ανεξάρτητα, σαν να είναι δυο απλά τέρματα (δείτε παράγραφο 3.3.1.). Το επίτονο 1 υπολογίζεται στη συνολική δύναμη τάνυσης της γραμμής 1 και το επίτονο 2 υπολογίζεται στη συνολική δύναμη τάνυσης της γραμμής 2. Για τη περίπτωση της κατασκευής P-9IV (επίτονο στη διχοτόμο), η μέθοδος υπολογισμού αναπτύσσεται με το επόμενο παράδειγμα, μιας και στη συνολική δύναμη "R" εισέρχονται δυο νέες παράμετροι: το εγκάρσιο φορτίο στύλου " $Q_s$ " και το εγκάρσιο φορτίο αγωγών " $E\Phi_{αγ}$ ".

### Παράδειγμα

Έστω γωνιακός στύλος γραμμής Μ.Τ. με αγωγούς 3x35τ.χ.ΑCSR σε τάνυση CS-17 (BA=100m, Μέση επιφόρτιση). Δίνονται: ύψος στύλου H=14m (κατηγορία Β), L=14m, Κλάση Β, δύναμη τάνυσης στους -10 °C σε πλήρη επιφόρτιση: T<sub>ACSR35</sub>=915Kg, εκατέρωθεν ανοίγματα στύλου L1=110m, L2=95m, γωνία θ=45grad. Να υπολογιστεί το επίτονο που απαιτείται.



Σχ.3-8

Λόγω γωνίας  $\theta < 66.6 \text{ grad}$  θα τοποθετηθεί ένα επίτονο στη διχοτόμο. Επί του γωνιακού στύλου, αναπτύσσονται οι εξής οριζόντιες δυνάμεις:

α) Συνισταμένη δύναμη τάνυσης "T<sub>ολ</sub>" λόγω των αγωγών. Η δύναμη αυτή ισούται με:

$$T_{ολ} = 2 \cdot n \cdot T \cdot \sin \frac{\theta}{2} \quad (3.6)$$

όπου "n" είναι το πλήθος των αγωγών της γραμμής (n=3) και "T" είναι η δύναμη τανύσεως του ενός αγωγού σε πλήρη επιφόρτιση.

β) Η οριζόντια δύναμη "Q<sub>s</sub>" λόγω της ανεμοπίεσης επί του στύλου. Η δύναμη αυτή είναι σταθερή για κάθε κατηγορία και ύψος στύλου και δίνεται από το παρακάτω πίνακα 3-2.

γ) Η οριζόντια δύναμη "EΦ<sub>αγ</sub>" λόγω της ανεμοπίεσης επί των αγωγών εκατέρωθεν του στύλου. Η δύναμη αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$E\Phi_{αγ} = \frac{1}{2} \cdot (L_1 + L_2) \cdot n \cdot W_E \cdot \cos \frac{\theta}{2} \quad (3.7)$$

Έτσι, η συνολική οριζόντια δύναμη "R" επί του στύλου θα είναι:

$$R = T_{ολ} + E\Phi_{αγ} + Q_s \quad (3.8)$$

Ο ΚΕΣΥΓΗΕ επιβάλλει οι δυο τελευταίοι όροι να πολλαπλασιαστούν επί 1,78. Έτσι, η συνολική οριζόντια δύναμη για γωνιακό στύλο γίνεται:

$$R = T_{ολ} + 1,78 \cdot (E\Phi_{αγ} + Q_s) \quad (3.9)$$



ΠΙΝΑΚΑΣ 3-2			
ΑΝΕΜΟΠΙΕΣΗ ΞΥΛΙΝΩΝ ΣΤΥΛΩΝ			
Στύλος		Ανεμοπίεση Qs σε Kg	
Ύψος (m)	Κατηγορία	Κανονική και Βαριά επιφόρτιση	Ελαφρά επιφόρτιση
9	E	14	30
10	E	16	34
11	E	17	38
12	E	19	43
9	M	17	37
10	M	19	41
11	M	21	46
12	M	23	51
13	M	26	56
14	M	28	62
9	B	20	43
10	B	22	48
11	B	25	54
12	B	27	60
13	B	30	66
14	B	33	72
15	B	35	78

Για τη περίπτωση του παραδείγματός μας έχουμε ότι:

$$T_{ολ} = 2 \cdot n \cdot T \cdot \sin \frac{\theta}{2} = 2 \cdot 3.915 \cdot \sin \frac{45}{2} = 1900,1 \text{Kg}$$

Από το πίνακα 3-2, για στύλο ύψους 14m, κατηγορίας "B" και μέση επιφόρτιση έχουμε ότι:

$$Q_s = 33 \text{Kg}$$

Η οριζόντια δύναμη "EΦ<sub>αγ</sub>" λόγω της ανεμοπίεσης επί των αγωγών εκατέρωθεν του στύλου είναι (για μέση επιφόρτιση και αγωγό ACSR 35τ.χ., από πίνακα 2-1 έχουμε ότι W<sub>E</sub>=0.466Kg/m):

$$E\Phi_{αγ} = \frac{1}{2} \cdot (L_1 + L_2) \cdot n \cdot W_E \cdot \cos \frac{\theta}{2} = \frac{1}{2} \cdot (110 + 95) \cdot 3 \cdot 0,466 \cdot \cos \frac{45}{2} = 134,4 \text{Kg}$$

Έτσι, η συνολική οριζόντια δύναμη "R" επί του στύλου θα είναι:

$$R = T_{ολ} + 1,78 \cdot (E\Phi_{αγ} + Q_s) = 1900,1 + 1,78 \cdot (134,4 + 33) = 2198,1 \text{Kg}$$

Από τα δεδομένα του προβλήματος και τη σχέση (3.4), ο συντελεστής "k" είναι:

$$k = \sqrt{1 + \left(\frac{H}{L}\right)^2} = \sqrt{1 + \left(\frac{14}{14}\right)^2} = 1,41$$

Συνεπώς, από τη σχέση (3.3) η συνολική εφελκυστική δύναμη "F" που καλείται να παραλάβει το επίτονο είναι:

$$F = k \cdot R = 1,41 \times 2198,1 = 3108 \text{Kg}$$

Από το πίνακα 3-1, για κλάση κατασκευής Β και φορτίο  $F=3108\text{Kg}$ , βλέπω ότι η κατασκευή F-21A(E) με  $F_{\text{επ}}=2578\text{Kg}$  δεν επαρκεί (αφού  $F > F_{\text{επ}}$ ). Στη προκειμένη περίπτωση η κατασκευή F-21B(E) με  $F_{\text{επ}}=3867\text{Kg}$  ( $>F$ ) βλέπουμε ότι επαρκεί. Η κατασκευή αυτή απαιτεί τρία ελαφρά συρματόσχοινα. Θα ελέγξουμε μήπως αυξάνοντας την κατηγορία των συρματοσχοίων από "Ε" σε "Μ", μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε δυο αντί τρία. Κοιτάζουμε δηλαδή αν μας καλύπτει η κατασκευή F-21A(M), μιας και χρησιμοποιεί ένα συρματόσχοινο λιγότερο. Από τον ίδιο πίνακα βλέπουμε ότι η κατασκευή F-21A(M) με  $F_{\text{επ}}=5378\text{Kg}$  ( $>>F$ ) υπερκαλύπτει το φορτίο που υπολογίσαμε. Συνεπώς, για το γωνιακό στύλο του παραδείγματος χρησιμοποιούμε τη τυποποιημένη κατασκευή επιτόνου F-21A(M).

#### ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ:

Για γωνιακούς στύλους αστικών γραμμών Μ.Τ. (γραμμές με Βασικό Άνοιγμα έως 65m), η διάταξη των αγωγών είναι οριζόντια και τοποθετείται ένα επίτονο στη διχοτόμο (για γωνίες έως 50grad) ή δυο επίτονα (ένα σε κάθε διεύθυνση της γραμμής) για γωνίες μεγαλύτερες των 50grad. Στη περίπτωση των αστικών αυτών γραμμών, οι υπολογισμοί γίνονται όπως και για τις υπεραστικές γραμμές, μόνο που επειδή έχουμε εφαρμογή της συνολικής οριζόντιας δύναμης σε ένα σημείο επί του στύλου, χρησιμοποιούμε κατασκευές επιτόνων F-21Υ ή F-34Υ αντί των F-21Α και F-21Β.

### **3.3.3. Επίτονο στύλου διακλάδωσης Μ.Τ.**

#### Παράδειγμα

*Θεωρείστε στύλο διακλάδωσης Μ.Τ. όπως στο σχήμα 3-9. Οι αγωγοί Μ.Τ. της κύριας γραμμής είναι 3x95ACSR και της διακλάδωσης είναι 3x35ACSR. Η τάνυση της κύριας γραμμής είναι CS-31 (BA=100m, Μέση επιφόρτιση). Η διακλάδωση είναι υπό γωνία  $\varphi=45$  βαθμοί ως προς την κύρια γραμμή και σε τάνυση CS-17 (BA=100m, Μέση επιφόρτιση). Δίνονται: στύλος 13M, απόσταση επιτόνου  $L=11\text{m}$ , εκατέρωθεν ανοίγματα στύλου διακλάδωσης  $L_1=L_2=100\text{m}$ , κλάση κατασκευής Β, δυνάμεις τάνυσης στους  $-10^\circ\text{C}$  σε πλήρη επιφόρτιση:  $T_{\text{ACSR95}}=2068\text{Kg}$ ,  $T_{\text{ACSR35}}=915\text{Kg}$ . Να υπολογιστεί το επίτονο της διακλάδωσης.*

Θα υπολογίσουμε όλες τις οριζόντιες δυνάμεις που αναπτύσσονται στο στύλο στα σημεία εφαρμογής τους και έπειτα θα τις αναγάγουμε στο ύψος της διακλάδωσης. Αυτό γίνεται γιατί το συρματόσχοινο του επιτόνου θα πρέπει να προσδεθεί στο ύψος της διακλάδωσης. Στο στύλο της διακλάδωσης δρουν οι παρακάτω δυνάμεις:

α) Η εγκάρσια επιφόρτιση " $Q_s$ " επί του στύλου, λόγω της ανεμοπίεσης. Από το πίνακα 3-2 για στύλο 13M και μέση επιφόρτιση, η εγκάρσια επιφόρτιση αυτή είναι:

$$Q_s=26\text{dan}$$

β) Η συνισταμένη δύναμη τάνυσης των αγωγών της διακλάδωσης. Η δύναμη αυτή είναι:

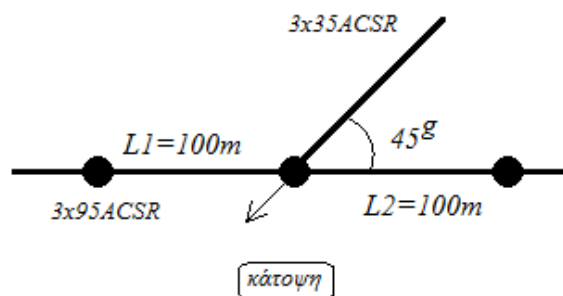
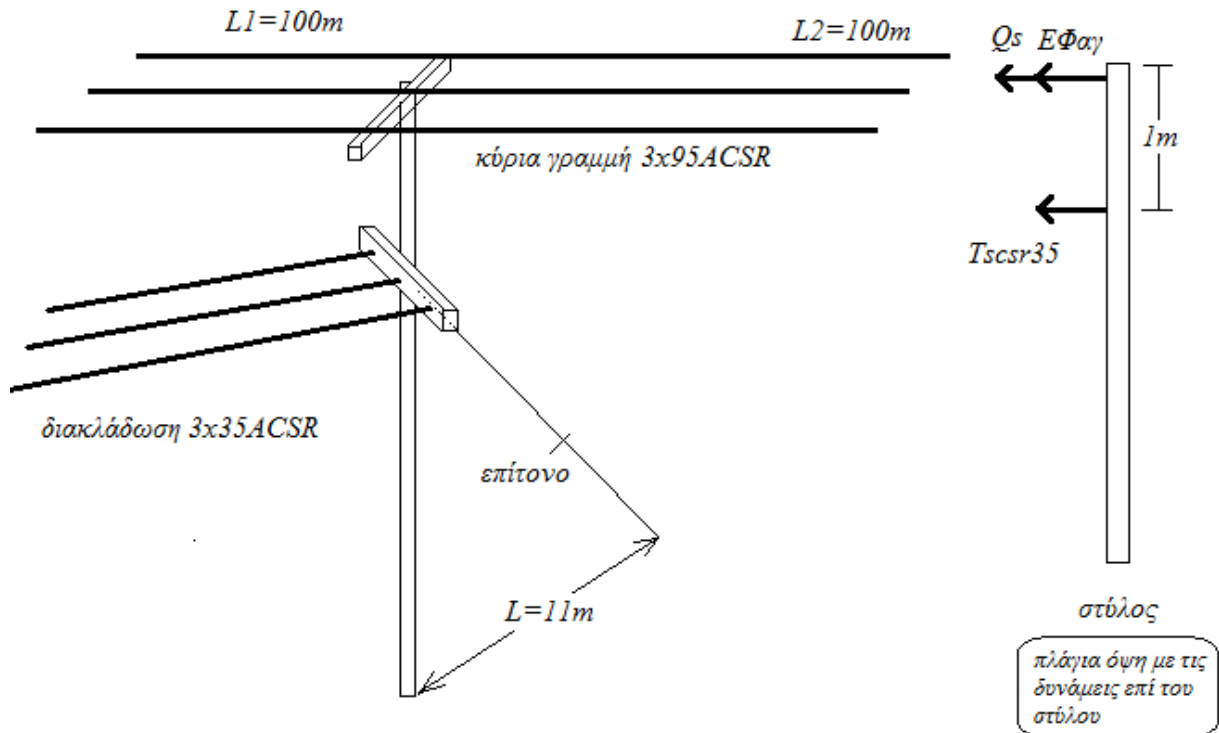
$$T_{\text{acsr35}}=3 \cdot T_{\text{ACSR35}}=3 \times 915=2745\text{Kg}$$

γ) Το εγκάρσιο φορτίο επί των αγωγών Μ.Τ. της κύριας γραμμής, λόγω της ανεμοπίεσης. Στη περίπτωση στύλου διακλάδωσης διαφοροποιείτε η σχέση που δίνει την ανεμοπίεση αυτή, σε σχέση με τη σχέση που εφαρμόζεται στους γωνιακούς στύλους. Ισχύει ότι:

$$E\Phi_{\alpha\gamma} = \frac{1}{2} \cdot (L_1 + L_2) \cdot n \cdot W_E \cdot \sin\varphi \quad (3.10)$$

Για μέση επιφόρτιση και αγωγό ACSR95τ.χ. από πίνακα 2-1 έχουμε ότι  $W_E=0.605\text{Kg/m}$ .  
Συνεπώς:

$$E\Phi_{\alpha\gamma} = \frac{1}{2} \cdot (L_1 + L_2) \cdot n \cdot W_E \cdot \sin\varphi = \frac{1}{2} \cdot (100 + 100) \cdot 3 \cdot 0,605 \cdot \sin 45 = 117,8\text{Kg}$$



Σχ. 3-9

Η διακλάδωση Μ.Τ. πραγματοποιείται σε απόσταση  $1\text{m}$  χαμηλότερα από τη κύρια γραμμή. Για να αναγάγουμε μια δύναμη από τη κορυφή του στύλου σε απόσταση ενός μέτρου χαμηλότερα, χρησιμοποιούμε ένα συντελεστή αναγωγής που έχει καθορίσει η ΔΕΗ, ο οποίος ισούται με  $1,09$ . Έτσι, η αναγόμενη επιφόρτιση στύλου στο ύψος της διακλάδωσης θα ισούται με:

$$Q_s' = 1,09 \times Q_s = 1,09 \times 26 = 28,3\text{Kg}$$

Το αναγόμενο εγκάρσιο φορτίο αγωγών στο ύψος της διακλάδωσης θα ισούται με:

$$E\Phi_{\alpha\gamma}' = 1,09 \times E\Phi_{\alpha\gamma} = 1,09 \times 117,8 = 128,4\text{Kg}$$

Συνεπώς, η ολική οριζόντια δύναμη "R" επί του στύλου (στο ύψος της διακλάδωσης) είναι:

$$R = T_{acsr35} + 1,78 \cdot (E\Phi'_{\alpha\gamma 1} + Q'_s) = 2745 + 1,78(128,4 + 28,3) = 3023,9Kg$$

Από τα δεδομένα του προβλήματος και τη σχέση (3.4), ο συντελεστής "k" είναι:

$$k = \sqrt{1 + \left(\frac{H}{L}\right)^2} = \sqrt{1 + \left(\frac{13 - 1}{11}\right)^2} = 1.479$$

Συνεπώς, από τη σχέση (3.3) η συνολική εφελκυστική δύναμη "F" που καλείται να παραλάβει το επίτονο είναι:

$$F=k \cdot R = 1,479 \times 3023,9 = 4472,3Kg$$

Πρόκειται για οριζόντια διάταξη αγωγών και εφαρμογή της συνολικής οριζόντιας δύναμης "R" σε ένα σημείο. Συνεπώς θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί κατασκευή F-21Y ή F-34Y. Από το πίνακα 3-1, για κλάση κατασκευής B και φορτίο F=4472.3Kg, βλέπω ότι η κατασκευή F-21Y(B) με  $F_{\varepsilon\pi} = 4874Kg$  επαρκεί (αφού  $F < F_{\varepsilon\pi}$ ). Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί η κατασκευή F-34Y(M) με  $F_{\varepsilon\pi} = 5378Kg$ .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΞΥΛΙΝΩΝ ΣΤΥΛΩΝ ΕΝΑΕΡΙΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

### 4.1. Δυνάμεις που καταπονούν τους ξύλινους στύλους

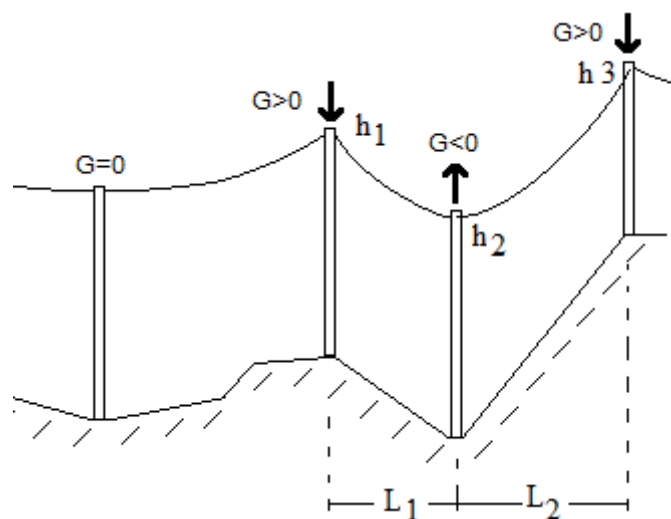
Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι να μας εισάγει στα είδη των δυνάμεων που καταπονούν τους στύλους και να μας παρουσιάζει τις σχέσεις που μας δίνουν τις δυνάμεις αυτές για κάθε περίπτωση στύλου. Όπως θα δούμε στη συνέχεια, οι ξύλινοι στύλοι στα δίκτυα διανομής καταπονούνται με κατακόρυφα φορτία "G", με εγκάρσια φορτία "Q" και με αξονικά θλιπτικά φορτία "P". Γνωρίζοντας τώρα τη τριάδα των φορτίων αυτών και ανάλογα την περίπτωση του στύλου (ευθυγραμμίας, τερματικός, με επίτονο, κτλ) που μας ενδιαφέρει να υπολογίσουμε τη κατηγορία του (E, M, B), χρησιμοποιούμε κατάλληλους πίνακες-διαγράμματα (δείτε παράγραφο 4.3.) από τα οποία εξάγουμε τη κατηγορία του.

#### 4.1.1. Κατακόρυφο φορτίο στύλων G

Το κατακόρυφο φορτίο "G" σε ένα στύλο είναι συνάρτηση του βάρους των αγωγών του και των υψομετρικών διαφορών του σε σχέση με τους γειτονικούς. Δηλαδή:

$$G = G_{αγ} + G_{ΔΗ} \quad (4.1)$$

Το κατακόρυφο φορτίο G σε έναν στύλο μπορεί να είναι θετικό, αρνητικό ή ίσο με μηδέν. Και οι τρεις αυτές περιπτώσεις φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχ. 4-1

Προφανώς, για οριζόντια εδάφη ή πολύ μικρές υψομετρικές διαφορές, ισχύει ότι:

$$G = G_{αγ} \quad (4.2)$$

Οι σχέσεις που δίνουν τα κατακόρυφα φορτία για κάθε περίπτωση στύλων στα εναέρια δίκτυα διανομής είναι:

α) Στύλοι ευθυγραμμίας ή γωνίας

$$G = \frac{1}{2} \cdot (L_1 + L_2) \cdot n \cdot W_K + n \cdot T_K \left( \frac{\Delta H_1}{L_1} + \frac{\Delta H_2}{L_2} \right) \quad (4.3)$$

β) Τερματικοί στύλοι

$$G = \frac{1}{2} \cdot L_t \cdot n \cdot W_K + n \cdot T_K \cdot \frac{\Delta H_t}{L_t} \quad (4.4)$$

γ) Στύλοι διακλάδωσης με γωνία "φ" ως προς τη κύρια γραμμή

$$G = \frac{1}{2} \cdot (L_1 + L_2) \cdot n \cdot W_K + n \cdot T_K \left( \frac{\Delta H_1}{L_1} + \frac{\Delta H_2}{L_2} \right) + \frac{1}{2} \cdot L_t \cdot m \cdot W_K + m \cdot T_K \cdot \frac{\Delta H_t}{L_t} \quad (4.5)$$

όπου:

- $L_1, L_2$ : εκατέρωθεν ανοίγματα στύλου (σε m)
- $L_t$ : τερματικό άνοιγμα(σε m)
- $\Delta H_1, \Delta H_2$ : υψομετρικές διαφορές σημείων ανάρτησης του αγωγού εκατέρωθεν του στύλου(σε m)
- $\Delta H_t$ : υψομετρική διαφορά τερματικού ανοίγματος (σε m)
- $n$ : πλήθος αγωγών κύριας γραμμής
- $m$ : πλήθος αγωγών διακλάδωσης
- $W_K$ : κατακόρυφη επιφόρτιση αγωγών (σε Kg/m)
- $T_K$ : Δύναμη τανύσεως σε κατακόρυφη επιφόρτιση (σε Kg/m)

#### 4.1.2. Εγκάρσιο φορτίο στύλων Q λόγω ανεμοπίεσης

Το εγκάρσιο φορτίο στύλων "Q" οφείλεται αποκλειστικά στην ανεμοπίεση που πλήττει τόσο τον ίδιο, όσο και τους αγωγούς του στο οριζόντιο άνοιγμά του (ημιάθροισμα εκατέρωθεν ανοιγμάτων του). Ισχύει ότι:

$$Q = E\Phi_{\alpha\gamma} + Q_S \quad (4.6)$$

Στη προηγούμενη παράγραφο γνωρίσαμε τις παραμέτρους "EΦ<sub>αγ</sub>" και "Q<sub>S</sub>" για τη περίπτωση υπολογισμού τις αντοχής των επιτόνων. Κατά τους υπολογισμούς της μηχανικής αντοχής των επιτόνων θεωρούμε ότι η ανεμοπίεση πλήττει τον στύλο κατά τη διεύθυνση του επιτόνου, ενώ κατά τους υπολογισμούς αντοχής των ξύλινων στύλων η ανεμοπίεση έχει διεύθυνση κάθετη με το οριζόντιο άνοιγμα του στύλου.

Οι σχέσεις που δίνουν τα κατακόρυφα φορτία "EΦ<sub>αγ</sub>" για κάθε περίπτωση στύλων στα εναέρια δίκτυα διανομής είναι (δείτε και επόμενο σχήμα):

α) Στύλοι ευθυγραμμίας και διακλάδωσης

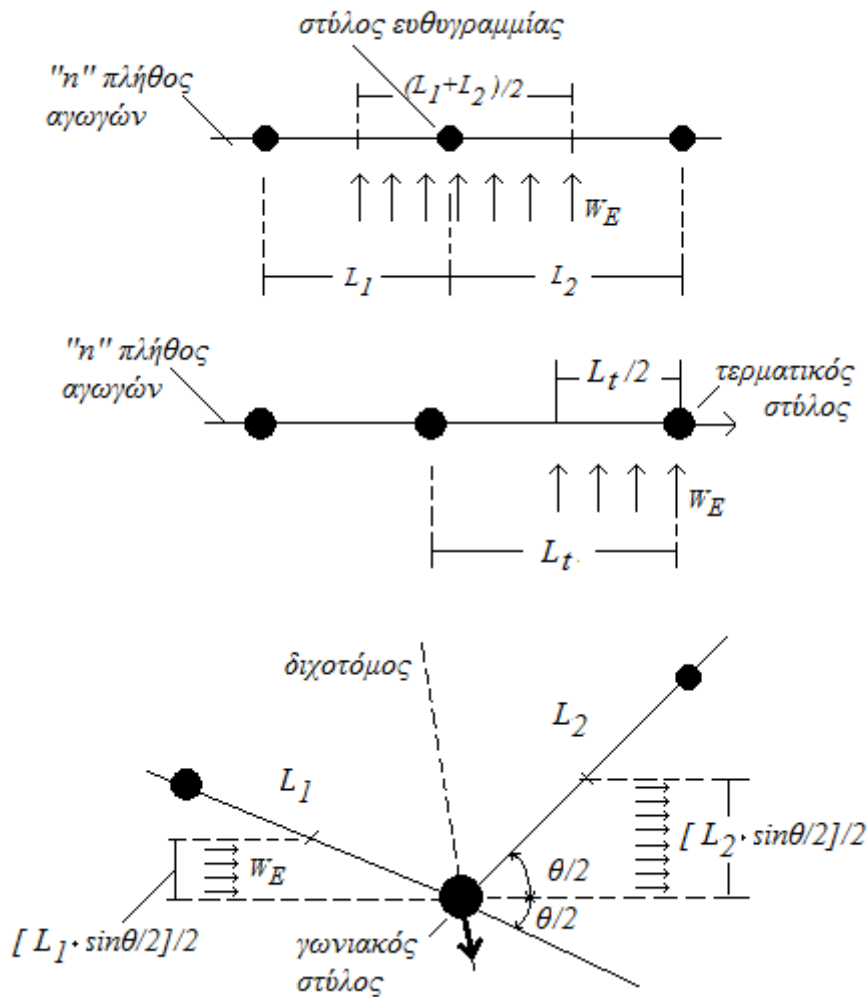
$$E\Phi_{\alpha\gamma} = \frac{1}{2} \cdot (L_1 + L_2) \cdot n \cdot W_E \quad (4.7)$$

β) Τερματικοί στύλοι

$$E\Phi_{\alpha\gamma} = \frac{1}{2} \cdot L_t \cdot n \cdot W_E \quad (4.8)$$

γ) Γωνιακοί στόλοι (γωνίας  $\theta$ )

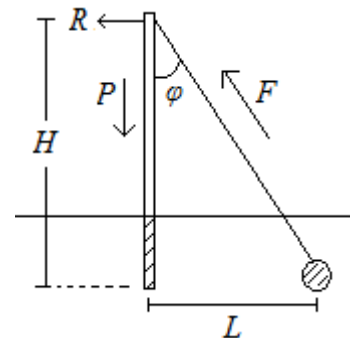
$$E\Phi_{\alpha\gamma} = \frac{1}{2} \cdot (L_1 + L_2) \cdot n \cdot W_E \cdot \frac{\sin\theta}{2} \quad (4.9)$$



Σχ. 4-2

4.1.3. Αξονικό φορτίο στύλων P λόγω επιτόνων

Όπως αναφέραμε και στη προηγούμενη παράγραφο, όταν σε ένα στύλο θέλουμε να αντισταθμίσουμε μια οριζόντια δύναμη (τάνυσης ή εγκάρσιας επιφόρτισης λόγω ανεμοπίεσης) χρησιμοποιούμε επίτονα. Από την ανάλυση της προηγούμενης παραγράφου είδαμε ότι το επίτονο αντισταθμίζει την οριζόντια αυτή δύναμη με μια εφελκυστική δύναμη επί του συρματοσχοίνου του και με μια αξονική δύναμη "P" στο στύλο (δείτε και διπλανό σχήμα 4-3).



Σχ. 4-3

Γενικά, η κατακόρυφη αυτή δύναμη "P" ισούται με τη συνολική οριζόντια δύναμη "R" στο στύλο επί τη κλίση "t" του επιτόνου. Ισχύει δηλαδή ότι:

$$P = R \cdot t \quad (4.10)$$

όπου:  $t = H/L \quad (4.11)$

Η συνολική οριζόντια δύναμη "R" σχετίζεται με τη δύναμη τάνυσης "T" των αγωγών της γραμμής. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε μια κατηγορία στύλου, η συνολική αξονική δύναμη "P" λόγω επιτόνου είναι:

α) Στύλος ευθυγραμμίας (ή στύλος χωρίς επίτονο)

$$P = 0 \quad (4.12)$$

β) Στύλος απλού τέρματος με επίτονο σε κλίση "t" (Σχ. 3-6)

$$P = n \cdot T \cdot t \quad (4.13)$$

γ) Στύλος γωνίας "θ" με επίτονο στη διχοτόμο σε κλίση "t" (Σχ. 3-7α)

$$P = [2 \cdot n \cdot T \cdot \sin\theta/2 + 1,78(E\Phi_{ay} + Q_s)] \cdot t \quad (4.14)$$

(όπου το "EΦ<sub>ay</sub>" δίνεται από τη σχέση (3-7))

δ) Στύλος γωνίας "θ" διπλού τέρματος με επίτονα στις δυο διευθύνσεις σε κλίσεις "t<sub>1</sub>", "t<sub>2</sub>" (Σχ. 3-7β)

$$P = n \cdot T_1 \cdot t_1 + n \cdot T_2 \cdot t_2 \quad (4.15)$$

(προφανώς, για ίδιες κλίσεις επιτόνων  $t_1 = t_2 = t$  και ίδιες τανύσεις στις δυο διευθύνσεις, ισχύει ότι  $P = n \cdot T \cdot t$ )

ε) Στύλος διακλάδωσης με γωνία "φ" ως προς τη κύρια γραμμή και επίτονο με κλίση "t" (Σχ. 3-9)

$$P = [n \cdot T + 1,78(E\Phi_{ay} + Q_s)] \cdot t \quad (4.16)$$

(όπου "n.T" είναι η συνολική δύναμη τάνυσης της διακλάδωσης και "EΦ<sub>ay</sub>" δίνεται από τη σχέση (3-10) και αφορά τη κύρια γραμμή)

#### 4.2. Μηχανικές καταπονήσεις ξύλινων στύλων Δικτύων Διανομής

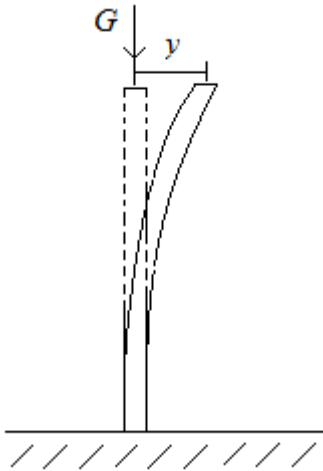
Ανάλογα με την δράση των δυνάμεων "G", "Q", "P", οι υπολογισμοί μηχανικής αντοχής των ξύλινων στύλων χωρίζονται σε δυο κατηγορίες: α) υπολογισμοί μηχανικής αντοχής σε εγκάρσιες δυνάμεις και β) υπολογισμοί μηχανικής αντοχής σε διαμήκη δυνάμεις.

Σύμφωνα με το ΚΕΣΥΓΗΕ, κατά τους υπολογισμούς της εγκάρσιας αντοχής, τα εγκάρσια και τα κατακόρυφα φορτία (λόγω ανεμοπίεσης ή επιτόνων) δρουν ταυτόχρονα, ενώ κατά τους υπολογισμούς της διαμήκους αντοχής, τα διαμήκη φορτία θεωρούνται ότι δρουν



ανεξάρτητα από τα κατακόρυφα ή εγκάρσια φορτία. Τα εγκάρσια φορτία καταπονούν τους στύλους σε λυγισμό, ενώ τα διαμήκη σε θραύση.

#### 4.2.1. Λυγισμός ξύλινων στύλων



Σχ. 4-4

Όταν το κατακόρυφο φορτίο "G" έχει κατεύθυνση προς τα κάτω (θλιπτικό) ο στύλος καταπονείται σε λυγισμό. Ο λυγισμός είναι ένα είδος μηχανικής καταπόνησης, δυσμενέστερο της θλίψης και παρουσιάζεται στις περιπτώσεις που ο φορέας που θλίβεται έχει μεγαλύτερο μήκος των διαστάσεων της επιφάνειας θλίψης. Και επειδή το ύψος του στύλου είναι πολύ μεγαλύτερο από τη διάσταση της βάσης του, εύκολα συμπεράνουμε ότι οι ξύλινοι στύλοι των δικτύων διανομής υπόκειται σε λυγισμό. Ο λυγισμός γενικά προηγείται της θραύσης. Στο διπλανό σχήμα βλέπουμε το φαινόμενο του λυγισμού σε ξύλινο στύλο υπό την επίδραση της κατακόρυφης δύναμης "G". Απαραίτητη έτσι προϋπόθεση εμφάνισης λυγισμού σε έναν ξύλινο στύλο είναι η ύπαρξη κατακόρυφου φορτίου.

Μάλιστα, όσο μεγαλύτερο είναι το κατακόρυφο αυτό φορτίο που καταπονεί το στύλο, τόσο εντονότερο είναι και το φαινόμενο του λυγισμού. Σύμφωνα με τη διαπίστωση αυτή, εύκολα καταλαβαίνουμε ότι σε λυγισμό καταπονούνται περισσότεροι οι στύλοι με σημαντικό κατακόρυφο φορτίο όπως οι στύλοι ευθυγραμμίας (εμφάνιση μόνο G), καθώς και οι στύλοι με επίτονο (εμφάνιση P+G).

Ορίζουμε ως *κρίσιμο φορτίο λυγισμού*  $G_{κρ}$  το αξονικό, κατακόρυφο, φορτίο το οποίο είναι ικανό να προκαλέσει την εμφάνιση καμπυλότητας του άξονα του στύλου.

Ορίζουμε ως *επιτρεπόμενο φορτίο λυγισμού*  $G_{επ}$  το λόγο του κρίσιμου φορτίου λυγισμού προς ένα συντελεστή ασφαλείας λυγισμού  $v_{λνγ}$ . Δηλαδή:

$$G_{επ} = \frac{G_{κρ}}{v_{λνγ}} \quad (4.17)$$

Για να υπάρχει αντοχή σε λυγισμό για έναν ξύλινο στύλο θα πρέπει το συνολικό κατακόρυφο φορτίο του "G" να είναι μικρότερο του επιτρεπόμενου. Δηλαδή:

$$G < G_{επ} \quad \text{ή} \quad G < \frac{G_{κρ}}{v_{λνγ}} \quad (4.18)$$

Ο λυγισμός των ξύλινων 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. Έτσι, έχουμε διαφορετικό τρόπο υπολογισμού σε στύλους ευθυγραμμίας (ελεύθερος λυγισμός με πακτωμένη βάση), διαφορετικό τρόπο υπολογισμού σε στύλους απλού τέρματος ή γωνιών (δέσμευση οριζόντιας μετακίνησης κορυφής στύλου λόγω του επιτόνου) και διαφορετικό τρόπο υπολογισμού σε στύλους γωνιακούς στύλους διπλού τέρματος με επίτονα (πρακτικά καμία οριζόντια μετακίνηση τη κορυφής του στύλου).

## 4.2.2. Θραύση ξύλινων στύλων

### 4.2.2.1. Θραύση στύλων που καταπονούνται με διαμήκη φορτία

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τους αυτοστήρικτους στύλους οι οποίοι καταπονούνται με διαμήκεις δυνάμεις τανύσεων και είναι:

- α) Οι τερματικοί στύλοι Μ.Τ. άνευ επιτόνου
- β) Οι γωνιακοί στύλοι Μ.Τ. άνευ επιτόνου
- γ) Οι στύλοι διακλάδωσης Μ.Τ. άνευ επιτόνου

Όπως αναφέραμε και στη παράγραφο 4.2. ο ΚΕΣΥΓΤΗΕ ορίζει ότι για τους υπολογισμούς διαμήκους αντοχής, τα διαμήκη φορτία δρουν ανεξάρτητα από τα κατακόρυφα ή εγκάρσια. Στη περίπτωση των στύλων των τριών προηγούμενων περιπτώσεων θεωρούμε ότι ο στύλος καταπονείται μόνο από διαμήκης δύναμης, αγνοώντας εγκάρσια "Q" και κατακόρυφα φορτία P,G. Λόγω της οριζόντιας αυτής δύναμης στη κορυφή του στύλου, αναπτύσσεται μια καμπτική ροπή η οποία θεωρητικά, εάν ο στύλος ήταν κυλινδρικός, θα μεγιστοποιούταν στο σημείο της επιφάνειας του εδάφους. Επειδή όμως οι στύλοι παρουσιάζουν μια κωνικότητα t, η οποία αυξάνει όσο κινούμαστε προς τη βάση τους, στη πράξη το επικίνδυνο σημείο θραύσης τους βρίσκεται σε μια άλλη απόσταση από τη κορυφή τους. Η απόσταση του δυσμενέστερου σημείου θραύσης από τη κορυφή των στύλων, για κάθε κατηγορία στύλων είναι:

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4-1		
Επικίνδυνο σημείο θραύσης στύλων (απόσταση από τη κορυφή)		
Στύλος Ελαφρύς (E)	Στύλος Μέσος (M)	Στύλος Βαρύς (B)
6m	7,07m	8,18m

Συνεπώς, ένας στύλος ο οποίος καταπονείται μόνο με το οριζόντιο (διαμήκη) φορτίο "F" θα παρουσιάζει επαρκεί αντοχή σε θραύση μόνο όταν η μέγιστη αναπτυσσόμενη τάση θραύσης " $\sigma_{max}$ " στο δυσμενέστερο σημείο του (βλέπε πίνακα 4-1) είναι μικρότερη από την επιτρεπόμενη τάση θραύσης " $\sigma_{επ}$ ". Δηλαδή πρέπει:

$$\sigma_{max} < \sigma_{επ} \quad \text{ή} \quad \sigma_{max} < \frac{\sigma_{\theta\rho}}{\nu_{\theta\rho}} \quad (4.19)$$

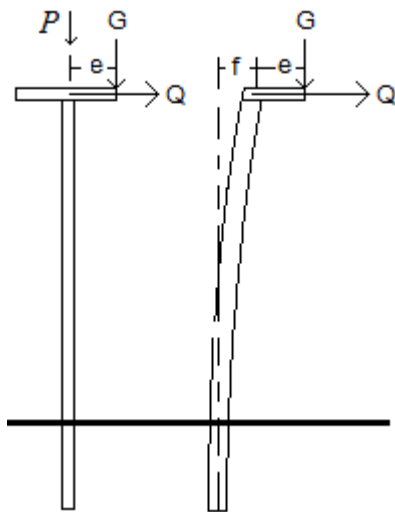
Η τάση θραύσης όλων των ξύλινων στύλων που προμηθεύεται η ΔΕΗ είναι ίση με  $\sigma_{\theta\rho} = 520\text{Kg/cm}^2$  και δόθηκε στη παράγραφο 1.8.

### 4.2.2.2. Θραύση στύλων που καταπονούνται με εγκάρσια φορτία

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει:

- α) τους στύλους ευθυγραμμίας
- β) τους τερματικούς στύλους με επίτονο
- γ) τους γωνιακούς στύλους με επίτονο

Οι στύλοι αυτοί καταπονούνται τόσο με εγκάρσια όσο και με κατακόρυφα φορτία. Σύμφωνα με τα προηγούμενα, ο ΚΕΣΥΓΤΗΕ ορίζει ότι για τους υπολογισμούς αντοχής των στύλων σε εγκάρσια αντοχή, τα κατακόρυφα φορτία δρουν ταυτόχρονα με τα εγκάρσια. Έτσι,



Σχ. 4-5

υπό τη σύγχρονη επίδραση των φορτίων "G", "Q", "P" (δείτε διπλανό σχήμα) έχουμε μια θλιπτική καταπόνηση του στύλου από μια θλιπτική τάση " $\sigma_{max}$ " που είναι το άθροισμα της τάσης λόγω του κατακόρυφου φορτίου "G", της τάσης λόγω του εγκάρσιου φορτίου "Q" και της τάσης λόγω του αξονικού φορτίου "P". Ισχύει δηλαδή ότι:

$$\sigma_{max} = \sigma_G + \sigma_Q + \sigma_P \quad (4.20)$$

Για να έχω αντοχή σε θραύση για ένα τέτοιο στύλο θα πρέπει:

$$\sigma_{max} < \sigma_{\epsilon\pi\eta} \quad \sigma_{max} < \frac{\sigma_{\theta\rho}}{\nu_{\theta\rho}} \quad (4.21)$$

Θυμίζουμε πάλι ότι:  $\sigma_{\theta\rho} = 520 \text{Kg/cm}^2$ .

### 4.3. Κατακόρυφη έλξη (τράβηγμα) ξύλινων στύλων Δικτύων Διανομής

Όπως αναφέραμε και στη παράγραφο 4.1.1., λόγω της θέσης ενός στύλου ως προς τους γειτονικούς του (σχήμα 4-1), το κατακόρυφο φορτίο "G" σε αυτόν μπορεί να είναι θετικό, αρνητικό ή ίσο με μηδέν. Στη περίπτωση εκείνη κατά την οποία το κατακόρυφο φορτίο είναι αρνητικό ( $G < 0$ ), ο στύλος δεν καταπονείται θλιπτικά, αλλά εφελκύεται. Το φαινόμενο αυτό καλείται *κατακόρυφο τράβηγμα* σε ένα στύλο και έχει την τάση να προσπαθεί να τον ξεπακτώσει. Η επιλογή της κατηγορίας (E, M, B) του στύλου πραγματοποιείται με την παρακάτω μεθοδολογία.

#### α) Στύλοι ευθυγραμμίας

Για στύλους ευθυγραμμίας με  $G < 0$ , για να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο αυτό η κατασκευή κορυφής του στύλου πρέπει να είναι υποχρεωτικά διπλού τέρματος (P-13 ή P-13E). Στη συνέχεια, για το ύψος του στύλου επιλέγουμε αυθαίρετα μια κατηγορία (συνήθως M ή B) και ελέγχουμε αν το κατακόρυφο φορτίο "G" που υπολογίσαμε (απόλυτη τιμή) είναι μεγαλύτερο ή μικρότερο από τα  $2/3$  του βάρους του στύλου " $G_s$ ". Το βάρος του κάθε στύλου δόθηκε στο πίνακα 1-3.

$$Av / G \geq 2/3 \cdot G_s$$

Στο στύλο τοποθετούνται δυο απλά εγκάρσια επίτονα κατηγορίας M (2xF-21YM). Τα επίτονα αυτά βοηθάνε στο να συγκρατούν τον στύλο πακτωμένο, αντισταθμίζοντας το εφελκυστικό κατακόρυφο φορτίο "G". Παράλληλα συγκρατούν το στύλο και από τις πλευρικές ανεμοπιέσεις. Έτσι, στις περιπτώσεις όπου  $|G| \geq 2/3 \cdot G_s$  δεν χρειάζονται περεταίρω υπολογισμοί στο στύλο, μιας και λόγω του ότι τα εγκάρσια επίτονα αντισταθμίζουν όλες τις δυνάμεις επάνω του δεν χρειάζεται να εκλέξουμε κατηγορία στύλου μεγαλύτερη από τη Μέση (M).

$$Av / G < 2/3 \cdot G_s$$

Στη περίπτωση αυτή δεν τοποθετούμε εγκάρσια επίτονα. Βρίσκουμε το Κατακόρυφο Άνοιγμα του στύλου τόσο σε κατακόρυφη επιφόρτιση " $KA_k$ " (δηλαδή για  $W = W_k$ ) όσο και

άνευ επιφορτίσεως "KA<sub>A</sub>" (δηλαδή για W=W<sub>A</sub>) από τις σχέσεις 4.22 - 4.23 και ελέγχουμε από το πίνακα 4-2 αν για το ύψος και τη κατηγορία στύλου που επιλέξαμε τα κατακόρυφα ανοίγματά του να είναι μικρότερα από τις δυο τιμές που υπολογίσαμε. Αν οι τιμές που υπολογίσαμε είναι μεγαλύτερες από τις τιμές του πίνακα αυτού τότε επιλέγουμε αντίστοιχη κατηγορία ή ύψος στύλου που να μας καλύπτει. Για παράδειγμα, για αγωγό ACSR 35τ.χ. και για στύλο 12M έχουμε ότι από το πίνακα 4-2 KA<sub>k</sub>=346m και KA<sub>A</sub>=145m. Αν εμείς από τις σχέσεις 4.22-4.23 έχουμε υπολογίσει μεγαλύτερο KA, τότε ο στύλος αυτός δεν επαρκεί και επιλέγουμε μεγαλύτερη κατηγορία.

$$KA_k = \frac{1}{2} \cdot (L_1 + L_2) + \frac{T_k}{W_k} \cdot \left( \frac{h_2 - h_1}{L_1} + \frac{h_3 - h_1}{L_2} \right) \quad (4.22)$$

$$KA_A = \frac{1}{2} \cdot (L_1 + L_2) + \frac{T_A}{W_A} \cdot \left( \frac{h_2 - h_1}{L_1} + \frac{h_3 - h_1}{L_2} \right) \quad (4.23)$$

Όπου: h<sub>1</sub>, h<sub>2</sub>, h<sub>3</sub> = υψόμετρα ανάρτησης αγωγών (από σχήμα 4-1) και L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> εκατέρωθεν ανοίγματα στύλου που υπόκειται σε τράβηγμα.

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4-2														
ΜΕΓΙΣΤΑ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ "ΚΑ" ΓΙΑ ΣΤΥΛΟΥΣ ΜΕ ΤΡΑΒΗΓΜΑ														
Στύλος	10E	11E	12E	10M	11M	12M	13M	14M	10B	11B	12B	13B	14B	15B
<b>ΑΝΕΥ ΕΠΙΦΟΡΤΙΣΕΩΣ (W=W<sub>A</sub>)</b>														
3x35 ACSR	178	218	247	257	297	346	396	445	346	406	455	514	564	643
3x95 ACSR	66	80	91	95	109	128	146	164	128	150	168	190	208	237
<b>ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΕΠΙΦΟΡΤΙΣΗ (W=W<sub>k</sub>)</b>														
3x35 ACSR	74	91	103	107	124	145	165	186	145	169	190	215	236	269
3x95 ACSR	38	47	53	55	63	74	85	95	74	87	97	110	121	137

### β) Γωνιακοί στύλοι (με επίτονο)

Οι γωνιακοί στύλοι με G<0 δεν καταπονούνται από το φαινόμενο του τραβήγματος, μιας και η εφελκυστική δύναμη λόγω του κατακόρυφου φορτίου αντισταθμίζεται από τη θλιπτική δύναμη "P" που τους μεταφέρει το επίτονο. Για τον υπολογισμό της κατηγορίας τους ακολουθείται η μέθοδος των διαγραμμάτων της επόμενης παραγράφου.

### γ) Στύλοι απλού τέρματος και διακλάδωσης (με επίτονο)

Επειδή στους στύλους της κατηγορίας αυτής τοποθετούνται υποχρεωτικά επίτονα, δεν επιβάλλεται ο έλεγχος της συνθήκης  $|G| \geq 2/3 \cdot G_s$ . Θυμίζουμε, ότι η συνθήκη αυτή ελέγχου αφορά στύλους ευθυγραμμίας και καθορίζει αν θα τοποθετηθούν επίτονα ή όχι. Συνεπώς, οι στύλοι της κατηγορίας αυτής ελέγχονται με τα διαγράμματα της παραγράφου 4.4.

#### 4.4. Διαγράμματα επιλογής ξύλινων στύλων Δικτύων Διανομής

Σύμφωνα με τη προηγούμενη ανάλυση των φαινομένων του λυγισμού και της θραύσης στους ξύλινους στύλους, εύκολα παρατηρεί κανείς ότι δεν έχουν δοθεί οι αναλυτικές σχέσεις τόσο για τα κρίσιμα κατακόρυφα φορτία λυγισμού και θραύσης, όσο και για τις τάσεις θραύσης σε κάθε περίπτωση. Ο λόγος αυτός είναι ότι η ΔΕΗ δεν υπολογίζει τους στύλους ξεχωριστά σε λυγισμό και ξεχωριστά σε θραύση, χρησιμοποιώντας τους συλλογισμούς των παραγράφων 4.2.1 και 4.2.2. Αντί αυτών, η ΔΕΗ έχει συντάξει κατάλληλους πίνακες και διαγράμματα με τα οποία υπολογίζοντας κάποιος τις ποσότητες "G", "Q", "P", μπορεί να βρει απευθείας τη κατηγορία εκείνη του στύλου (E, M, B) η οποία εξασφαλίζει το στύλο ταυτόχρονα τόσο σε λυγισμό όσο και σε θραύση. Υπάρχουν διαφορετικά διαγράμματα τόσο για κάθε κλάση κατασκευής, όσο και για κάθε κατηγορία μηχανικής επιφόρτισης (Ελαφρά, Μέση, Βαριά, κ.ο.κ.). Παρακάτω ακολουθούν, ως παραδείγματα, ορισμένοι πίνακες επιλογής ξύλινων στύλων. Αναλυτικός τρόπος υπολογισμού της κατηγορίας των στύλων παρουσιάζεται για κάθε περίπτωση στο επόμενο κεφάλαιο.

##### α) Επιλογή ξύλινων στύλων ευθυγραμμίας (αντοχή σε θραύση & λυγισμό)

*(Παρατήρηση: η περίπτωση αυτή αφορά ξύλινους στύλους που δεν καταπονούνται με "τράβηγμα", δηλαδή το κατακόρυφο φορτίο τους "G" είναι θετικό. Για στύλους ευθυγραμμίας με  $G < 0$  εφαρμόζεται η μεθοδολογία της παραγράφου 4.3.)*

Για τους στύλους ευθυγραμμίας θυμίζουμε ότι υπάρχει μόνο "Q" και "G". Πρόκειται για μια καμπύλη  $G=f(Q)$  (δείτε Σχ. 4-6). Ο οριζόντιος άξονας δίνει τη τιμή της συνιστώσας "Q" (εγκάρσιο φορτίο λόγω ανεμοπίεσης). Ο κατακόρυφος άξονας δίνει τη τιμή του κατακόρυφο φορτίου "G" (φορτίο λόγω βάρους αγωγών και υψομετρικών διαφορών). Η περιοχή του διαγράμματος που βρίσκεται κάτω από κάθε καμπύλη στύλου είναι η περιοχή επάρκειάς σε θραύση και λυγισμό.

##### β) Επιλογή ξύλινων στύλων γωνίας με επίτονο και κατακόρυφη διάταξη αγωγών (αντοχή σε θραύση & λυγισμό)

*(Παρατήρηση: αφορά θετικές ή αρνητικές τιμές του κατακόρυφου φορτίου "G")*

Για τους στύλους αυτούς θυμίζουμε ότι υπάρχει "Q", "G" καθώς και το αξονικό (θλιπτικό) φορτίο "P" λόγω των επίτονων τους. Για τον έλεγχο της αντοχής των στύλων αυτών υπάρχουν διαγράμματα  $P=f(Q)$  για διάφορα εύρη τιμών "G" (δείτε Σχ. 4-7 και Σχ. 4-8). Ανάλογα με τη τιμή του κατακόρυφου φορτίου "G" που υπολογίσαμε και σύμφωνα με τις τιμές των "Q", "P" επιλέγουμε κατηγορία και ύψος στύλου έτσι ώστε να βρισκόμαστε κάτω από τη κάθε καμπύλη του εκάστοτε διαγράμματος.

##### γ) Επιλογή ξύλινων στύλων διακλάδωσης ή τέρματος με επίτονο και οριζόντια διάταξη αγωγών (αντοχή σε θραύση & λυγισμό)

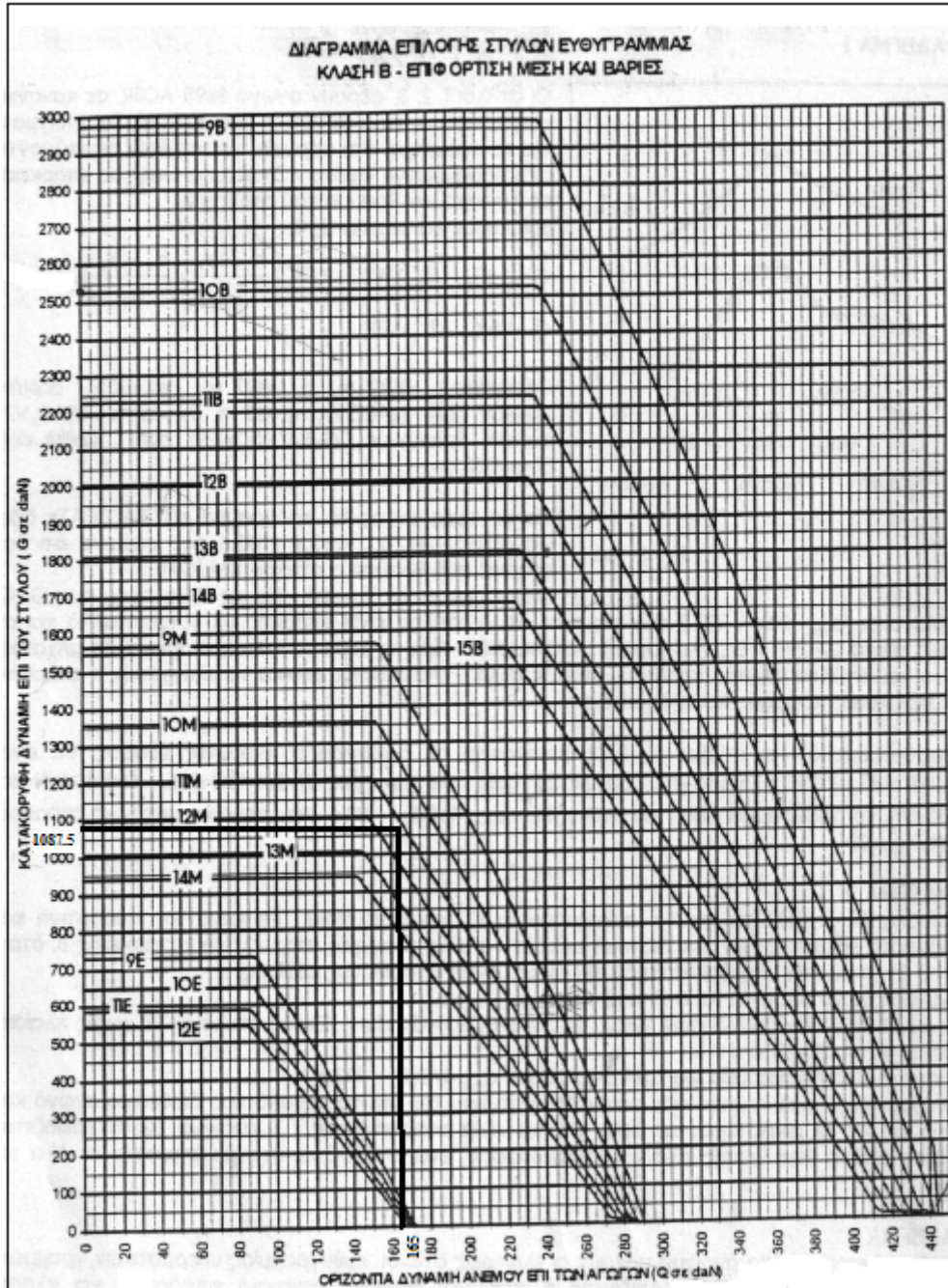
*(Παρατήρηση: αφορά θετικές ή αρνητικές τιμές του κατακόρυφου φορτίου "G")*

Για τους στύλους αυτής της περίπτωσης ισχύει ότι και για τους γωνιακούς. Δεν υπάρχει διάκριση για αρνητικό ή θετικό "G" και η εκλογή τους βασίζεται στα αντίστοιχα διαγράμματα επιλογής τερματικών στύλων των σχημάτων 4-9 και 4-10.

Στα επόμενα σχήματα ακολουθούν τυπικά διαγράμματα εκλογής στύλων για κάθε περίπτωση. Αναφέρουμε ότι λόγω του τεράστιου πλήθους των διαγραμμάτων (ανάλογα τη

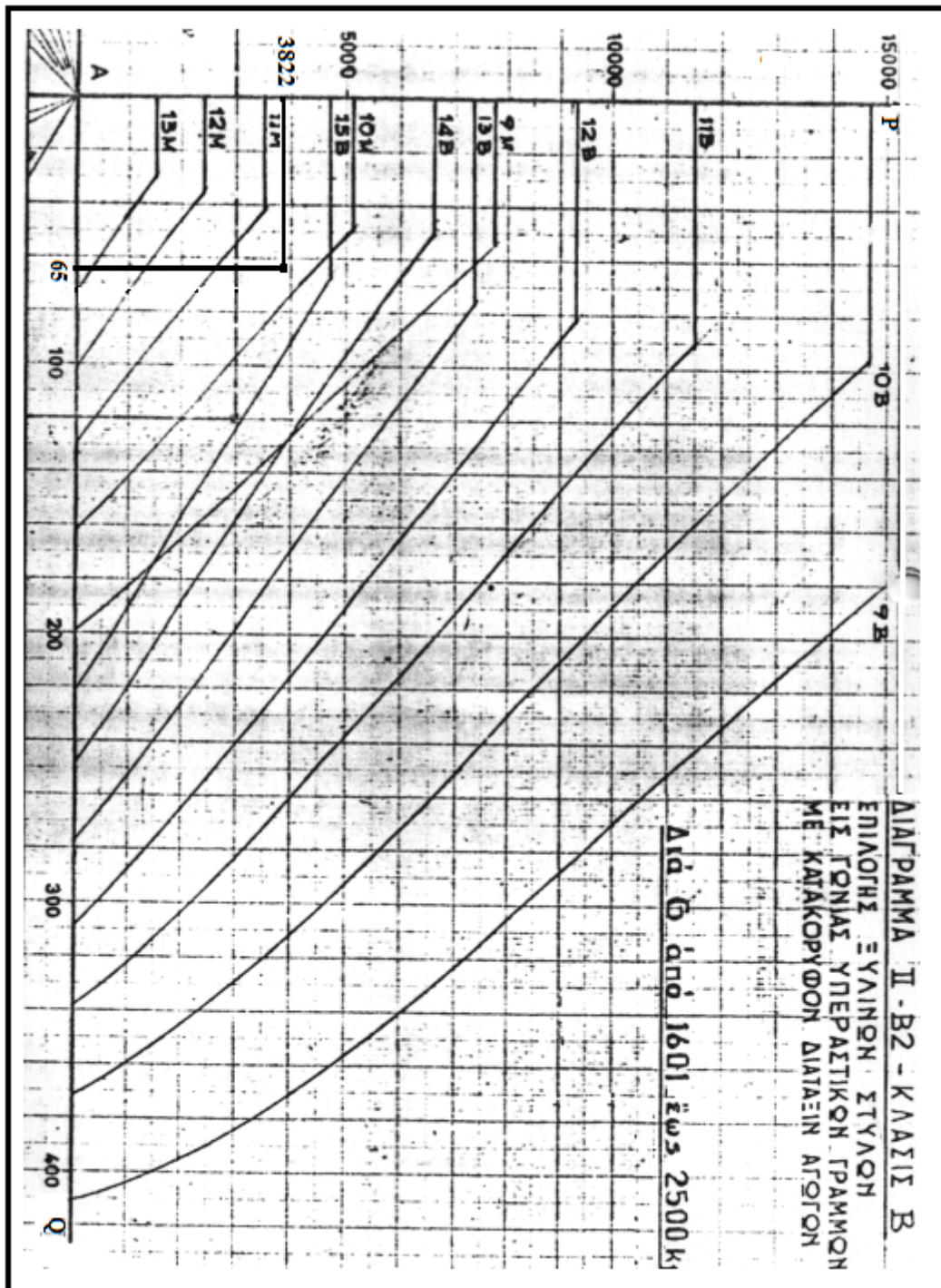
κλάση κατασκευής και κατηγορία μηχανικής επιφόρτισης) παρουσιάζουμε ενδεικτικά μόνο τα διαγράμματα εκείνα που θα χρειαστούν για την εκλογή των στύλων της μελέτης του επόμενου κεφαλαίου.

i) τυπικό διάγραμμα εκλογής στύλων ευθυγραμμίας

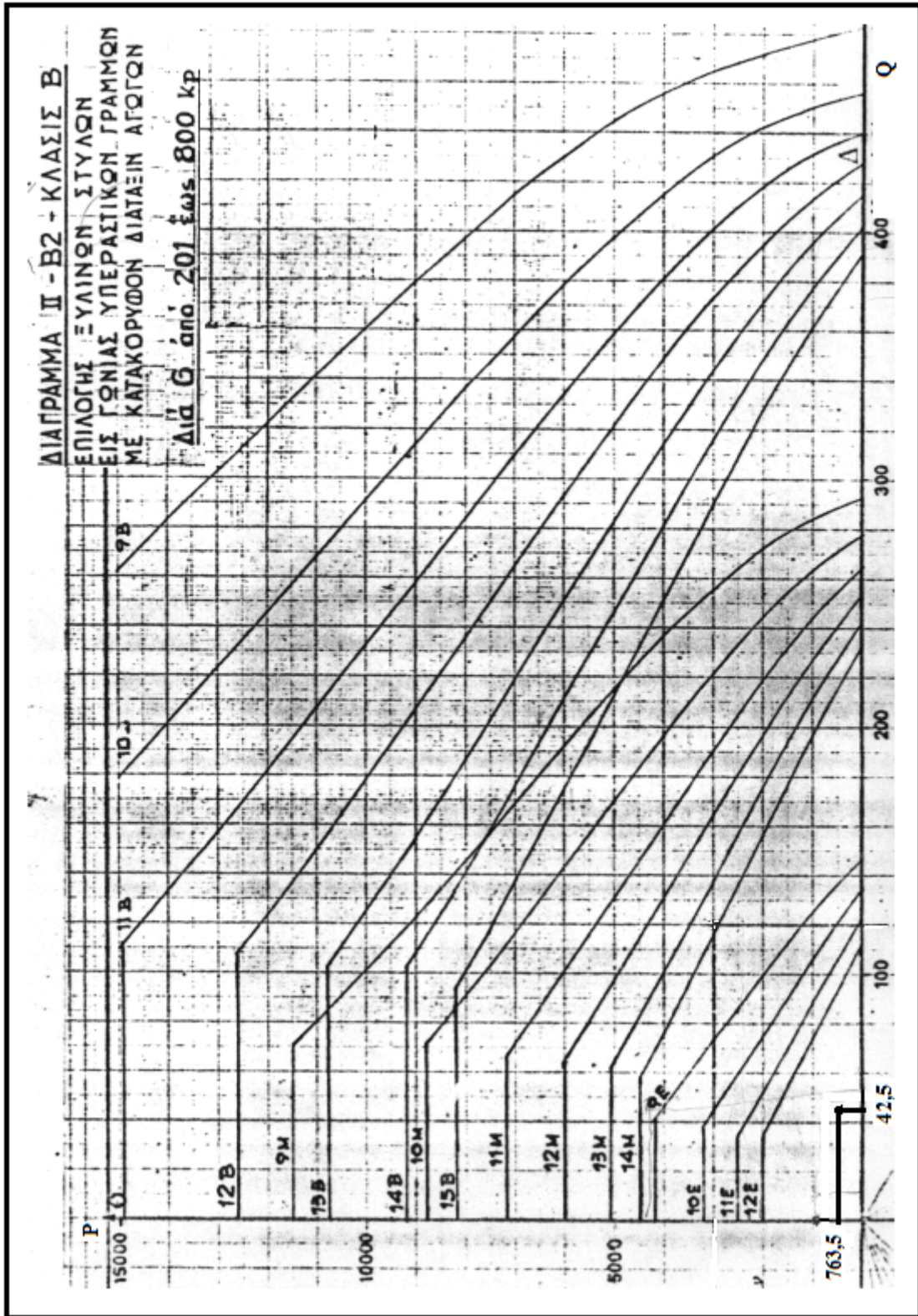


Σχ. 4-6

ii) τυπικά διαγράμματα εκλογής γωνιακών στύλων με κατακόρυφη διάταξη αγωγών (P-9II, P9-IV)



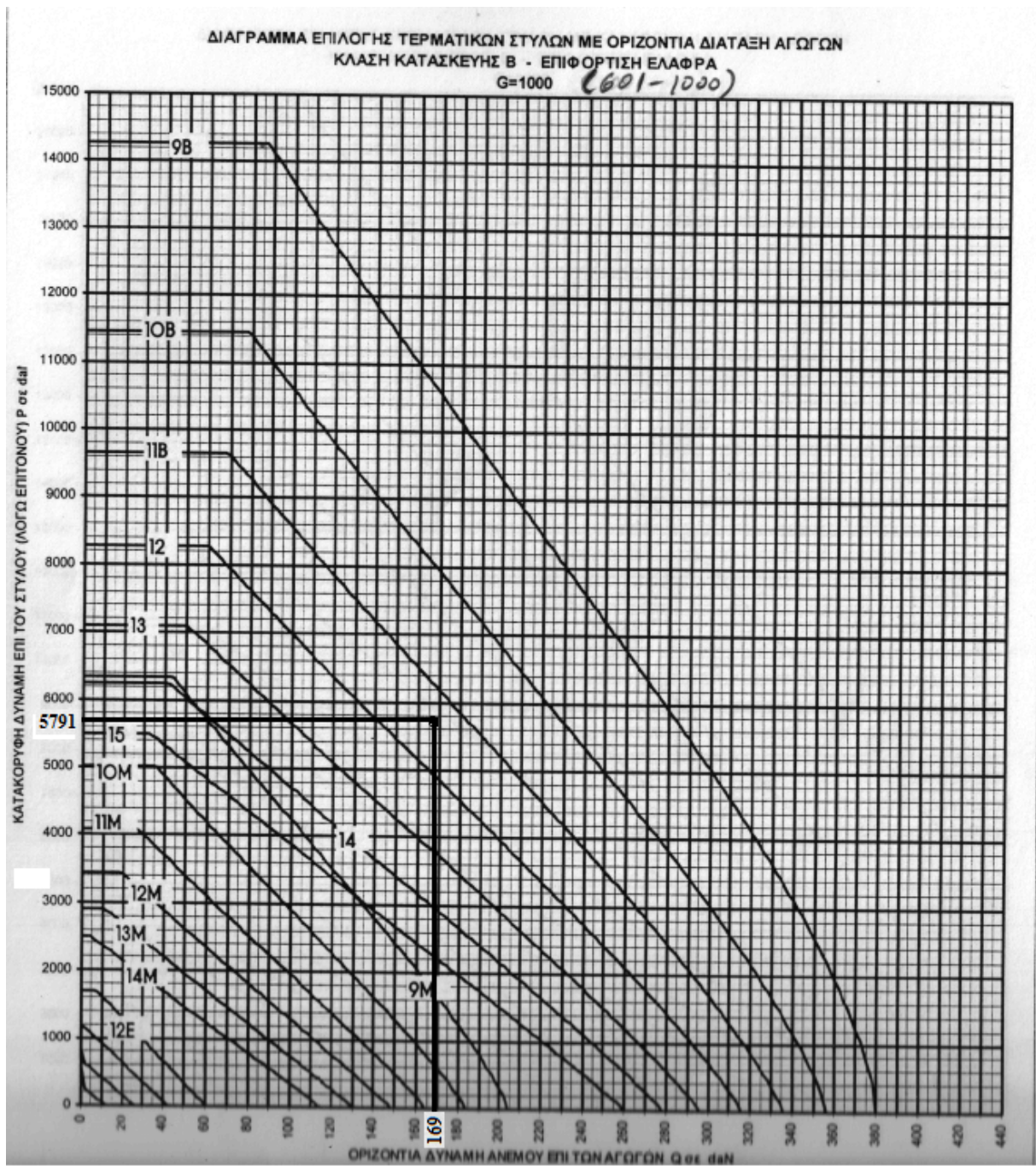
Σχ. 4-7



Σχ. 4-8



iii) τυπικό διάγραμμα εκλογής στύλων τέρματος - διακλαδώσεων, με οριζόντια διάταξη αγωγών



Σχ. 4-9



Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε αναλυτικά τη μεθοδολογία σχεδίασης μιας εναέριας γραμμής Μέσης Τάσης. Πρόκειται για μια νέα διακλάδωση από υπάρχων Δίκτυο Διανομής της ΔΕΗ, με την οποία διακλάδωση θα συνδεθούν δύο Φωτοβολταϊκοί Σταθμοί ισχύος 100KW ο κάθε ένας. Τα εναέρια δίκτυα διανομής Μ.Τ. της ΔΕΗ σχεδιάζονται σε σχέδια (πινακίδες) Γ.Υ.Σ. (Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού) σε κλίμακα 1:5000. Σε ειδικές περιπτώσεις τα εναέρια δίκτυα διανομής Μ.Τ. μπορούν να σχεδιαστούν και σε πινακίδες διαφορετικής κλίμακας (1:2000, 1:50000, κ.α.). Στο προηγούμενο σχήμα 5-1 βλέπουμε απόσπασμα από τη πινακίδα ΓΥΣ (Πινακίδα 52N-22Δ), στην οποία περιέχεται η κύρια γραμμή διανομής καθώς και η νέα διακλάδωση για τη σύνδεση των δυο Φ/Β Σταθμών (ΦΒ 10 και ΦΒ 11 στο σχήμα 5-1).

Η κύρια γραμμή αποτελείται από αγωγούς ACSR 35τ.χ., απεικονίζεται με συνεχόμενη γραμμή και περιλαμβάνει τους στύλους (...13,14,15,16,17,18,19,20,21.....), ενώ η νέα επέκταση Μ.Τ. (αγωγών ACSR 35τ.χ.) σχεδιάζεται με διακεκομμένη γραμμή, ξεκινάει από τον υπάρχων στύλο 21 και περιλαμβάνει τους στύλους 1,2,3,4,5,6 και 7. Οι υπάρχοντες ξύλινοι στύλοι της ΔΕΗ στα σχέδια απεικονίζονται με ένα κύκλο μαυρισμένο, ενώ οι νέοι στύλοι μιας καινούριας γραμμής σχεδιάζονται με ένα κύκλο χωρίς γέμισμα. Επί της κύριας γραμμής (στύλοι 14,19,20) παρατηρούμε ότι υπάρχουν επιπλέον υφιστάμενες διακλαδώσεις Μ.Τ.

## 5.2. Συμπλήρωση του Φύλλου Πασσαλώσεως

Όλα στοιχεία που αφορούν μια εναέρια γραμμή διανομής Μ.Τ. όπως η διατομή και το είδος των αγωγών της, τα ύψη και οι κατηγορίες των στύλων, οι κατασκευές κορυφής, τα τοπογραφικά στοιχεία κ.α. περιέχονται σε ένα τυποποιημένο έντυπο της ΔΕΗ, που λέγεται *Φύλλο Πασσαλώσεως*. Έτσι, για κάθε μια υφιστάμενη ή νέα γραμμή διανομής Μ.Τ. υπάρχουν και τα αντίστοιχα φύλλα πασσαλώσεως. Στο επόμενο σχήμα 5-2 βλέπουμε συμπληρωμένο το φύλλο πασσαλώσεως της νέας διακλάδωσης για τη τροφοδότηση των δυο φωτοβολταϊκών σταθμών. Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε αναλυτικά το τρόπο συμπλήρωσης του φύλλου πασσαλώσεως αυτού, εφαρμόζοντας όλα όσα αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια σχετικά με τους υπολογισμούς των επιμέρους στοιχείων του.

### Α) ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΥΛΛΟΥ ΠΑΣΣΑΛΩΣΕΩΣ (Φ.Π.)

Στην επάνω γραμμή του Φ.Π. υπάρχουν τα εξής πεδία:

1) Πεδίο "ΔΙΑΚΛΑΔΩΣΗ Μ.Τ.". Στο πεδίο αυτό αναγράφεται η ονομασία που έχει δοθεί στη διακλάδωση που περιγράφεται στο Φ.Π. Γενικά, οι διακλαδώσεις παίρνουν την ονομασία τους από τον Υποσταθμό Μ.Τ./Χ.Τ. της περιοχής που τροφοδοτούν. Επειδή η ΔΕΗ για τη σύνδεση των δυο Φωτοβολταϊκών Σταθμών χρησιμοποιεί έναν μετασχηματιστή 250KVA εγκατεστημένο στη περιοχή "ΖΕΡΒΑΤΩΝ" της Κεφαλονιάς, η νέα αυτή διακλάδωση ονομάστηκε *"Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)"*.

2) Πεδίο "ΓΡΑΜΜΗ ΔΙΑΝΟΜΗΣ Μ.Τ.". Στο πεδίο αυτό αναγράφεται η ονομασία της κύριας γραμμής Μ.Τ. με την οποία συνδέεται η διακλάδωση. Στη προκειμένη περίπτωση, η νέα διακλάδωση για τη σύνδεση των δυο Φ/Β Σταθμών θα συνδεθεί στη γραμμή διανομής *"ΠΡΟΣ ΠΟΡΟ 29-01"*.

3) Πεδίο "ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ". Στο πεδίο αυτό αναγράφεται ο Υποσταθμός Υψηλής Τάσης προς Μέση Τάση (Υ/Σ Υ.Τ./Μ.Τ. 140ή 400KV) με την οποία συνδέεται η διακλάδωση. Επειδή η κύρια γραμμή διανομής *"ΠΡΟΣ ΠΟΡΟ 29-01"* συνδέεται με τον Υ/Σ Υ.Τ./Μ.Τ.

"ΑΡΓΟΣΤΟΛΙΟΥ", σημαίνει ότι και η Διακλάδωση Μ.Τ. "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)" θα συνδέεται με τον Υ/Σ Υ.Τ./Μ.Τ "ΑΡΓΟΣΤΟΛΙΟΥ".

Αριθμός Σχεδίου: **59N-29A** ΣΕΛ: **1/1**

**ΦΥΛΛΟ ΠΑΙΣΙΑΛΩΣΙΔΙΣ**

ΔΙΑΚΛΑΔΩΣΗ Μ.Τ. Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)		ΓΡΑΜΜΗ ΔΙΑΚΛΩΣΗΣ Μ.Τ.: ΠΡΩΤΟ ΠΟΡΟ 29-01		ΥΠΟΣΤΑΣΜΟΣ: ΑΓΓΟΙ ΤΟΝΟΥ										Ε.Τ.Μ.										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Α/Α Στόλου	Ανάλυση m	Συνολικό Μήκος m	Διαστάσεις m	Τύπος	Κλάση κατασκευής	Διατομή και είδος	Βοήθη δυνάμη και τύπος	Υψος στόλου m	Κατηγορία στόλου	Βάρος στυλού m	Κατασκευές	Μ.Τ.	ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΕΠΙΠΡΟΣΚΟΜΜΑΤΩΝ	Κατηγορία	Κλίση α m	Κλίση β m	Μητροπήματα Κ/Α	Αρχάδα Μ.Τ.	Είδος προτύπου Αγ. Δοκ. σε κάθ. αλυσή	Α/Α Εύλου	Υποστήριξη m	Κατάκτηση απόσταση m	Διάφορα m	Παρατηρήσεις
21	75	75		100 <sup>δ</sup> (Α)	B	B		11 B	F-6	P-21TE	F-21Y	B	1:1				15K	21	14	21				
1	75	150		94 <sup>δ</sup> (Α)	B	B	B-A = 100M	11 M	F-6	P-13E	F-21Y	E	1:1					1	31	1				
2	100	250			B	B		11 B	F-6	P-9II	F-21A	M						2	30	2				
3	100	350			B	B		11 M	F-6	P-13E	F-21Y	E	1:1					3	19	3				
4	100	450		16 <sup>δ</sup> (Α)	B	B	C-S-Y	11 M	F-6	P-3								4	24	4				
5	100	450			B	B	B-A = 100M	11 M	F-6	P-9II	F-21A	E	1:1					5	0	5				
6	90	550			B	B		13 M	F-6	P-13E								6	13	6				
7	640				B	B		2-4 B	F-6	T-17WE	F-21Y	B	1:1	F-3II	250			7	13	7				

Σχ. 5-2

Στην επάνω δεξιά γωνία του Φ.Π. υπάρχουν τα εξής πεδία:

1) Πεδίο "Αριθμός Σχεδίου". Στο πεδίο αυτό αναγράφεται η ονομασία της πινακίδας Γ.Υ.Σ 1/5000 που είναι σχεδιασμένη η γραμμή διανομής που περιγράφει το συγκεκριμένο Φ.Π.. Εάν η γραμμή διανομής επεκτείνεται σε περισσότερες από μια πινακίδες Γ.Υ.Σ., τότε αναγράφονται και οι υπόλοιπες. Στη προκειμένη περίπτωση, από το σχήμα 5-1, βλέπουμε ότι η νέα διακλάδωση "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)" περιέχεται μόνο στη πινακίδα "52N-22Δ".

2) Πεδίο "Σελ". Στο πεδίο αυτό αναγράφεται ο αριθμός του Φ.Π. ως προς το συνολικό πλήθος των φύλλων από τα οποία αποτελείται η γραμμή διανομής. Κάθε Φ.Π. διαθέτει 27 γραμμές για τη συμπλήρωση τούς με στύλους. Για μια γραμμή διανομής με περισσότερους από 27 στύλους θα χρησιμοποιηθούν επιπλέον Φ.Π. Για τη νέα διακλάδωση "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)" απαιτείται μόνο ένα Φ.Π. και συνεπώς στο πεδίο αυτό αναγράφεται το "1/1".

### B) ΕΙΔΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΥΛΛΟΥ ΠΑΣΣΑΛΩΣΕΩΣ (Φ.Π.)

Τα ειδικά στοιχεία του Φ.Π. περιγράφονται στις στήλες 1 έως 25 (δείτε σχήμα 5-2). Τα ειδικά αυτά είναι:

#### Στήλη 1: "Α/Α Στύλου"

Στη στήλη αυτή τοποθετούνται οι στύλοι της γραμμής που περιγράφει το Φ.Π. κατ' αύξουσα αρίθμηση. Αν πρόκειται για διακλάδωση Μ.Τ. από υπάρχων στύλο της κύριας γραμμής, τοποθετούμε αρχικά τον αριθμό του στύλου αυτού. Στη προκειμένη περίπτωση η νέα διακλάδωση γίνεται στο στύλο 21 της υφιστάμενης γραμμής. Οι στύλοι της νέας αυτής διακλάδωσης αριθμούνται ως: 1,2,3,4,5,6,7.

#### Στήλη 2: "Ανοίγμα m"

Στη στήλη αυτή αναγράφονται τα ανοίγματα (οριζόντιες αποστάσεις σε m) των διαδοχικών στύλων της γραμμής, από τον αρχικό έως και τον τελευταίο. Τα μήκη αυτά προκύπτουν από τη τοπογραφική εργασία υπαίθρου κατά το στάδιο χάραξης της γραμμής. Στη προκειμένη νέα διακλάδωση "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)" τα μήκη αυτά φαίνονται στον επόμενο πίνακα καθώς και στο Φ.Π. του σχήματος 5-2.

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 5-1	
Οριζόντια ανοίγματα στύλων διακλάδωσης "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)"	
Ανοίγμα στύλων	Μήκος (m)
21-1	75
1-2	75
2-3	100
3-4	100
4-5	100
5-6	100
6-7	90

#### Στήλη 3: "Συνολικό Μήκος m"

Στη στήλη αυτή αναγράφεται το συνολικό μήκος από την αρχή της διακλάδωσης μέχρι τον εκάστοτα στύλο της. Για παράδειγμα, στο στύλο 1 το συνολικό μήκος από την αρχή είναι ίσο με το μήκος του ανοίγματος 21-1, δηλαδή 75m. Στο στύλο 2 το συνολικό μήκος είναι ίσο με το άθροισμα των ανοιγμάτων 21-1 και 1-2, δηλαδή 75+75=150m. Από το Φ.Π.

του σχήματος 5-2 βλέπουμε ότι το συνολικό μήκος της διακλάδωσης "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)" είναι ίσο με 640m.

#### Στήλη 4: "Διασταυρώσεις"

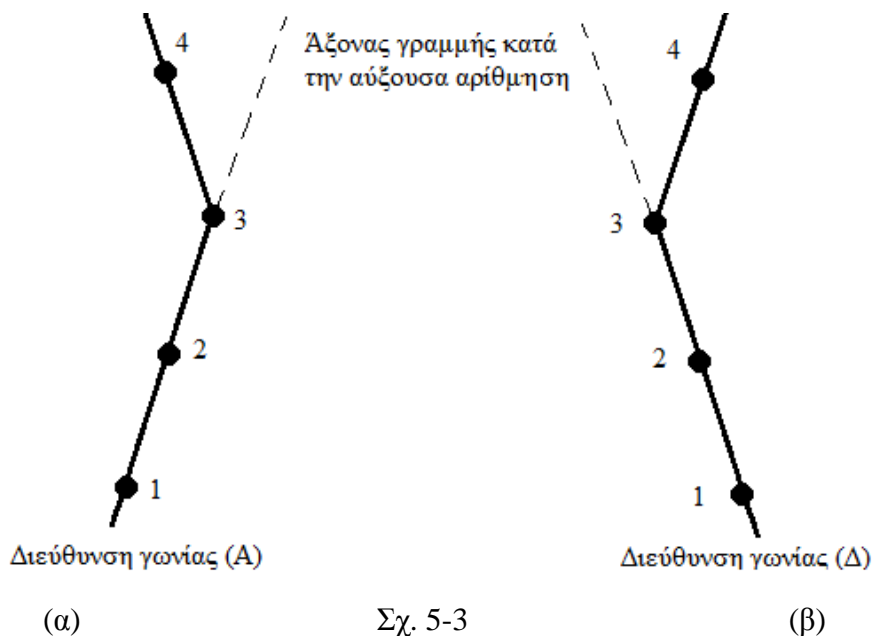
Στη στήλη αυτή αναφέρουμε τυχόν διασταυρώσεις που μπορεί να υπάρχουν σε κάποιο άνοιγμα της γραμμής. Τέτοιες διασταυρώσεις μπορεί να είναι:

- |   |                                 |
|---|---------------------------------|
| α) Δρόμος Μέσης Κυκλοφορίας (Δρόμος Μ.Κ.) | ε) Γραμμή τηλεπικοινωνίας (ΟΤΕ) |
| β) Αγροτικός δρόμος                       | στ) Χαράδρα                     |
| γ) Σιδηροδρομική γραμμή                   | ζ) Ρέμα                         |
| δ) Γραμμή τηλεπικοινωνίας (ΟΤΕ)           |                                 |

Η στήλη αυτή συμπληρώνεται σύμφωνα με τη τοπογραφική εργασία υπαίθρου κατά το στάδιο χάραξης της γραμμής. Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΔΕΗ, μόνο το άνοιγμα 1-2 της διακλάδωσης "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)" διασταυρώνεται με Δρόμο Μ.Κ..

#### Στήλη 5: "Γωνία"

Στη στήλη αυτή αναγράφεται η τιμή της γωνίας (σε βαθμούς -grad-) και η διεύθυνσή της ("Δ" για Δεξιά ή "Α" για Αριστερή), εάν πρόκειται για γωνιακό στύλο ή στύλο διακλάδωσης. Η στήλη αυτή συμπληρώνεται σύμφωνα με τα στοιχεία της τοπογραφικής μελέτης της γραμμής. Από τα στοιχεία αυτά βλέπουμε ότι στη διακλάδωση "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)" υπάρχουν δυο γωνιακοί στύλοι (στύλος Νο 2 με γωνία  $94,0^{\beta}$  (Α) και στύλος Νο 5 με γωνία  $16,0^{\beta}$  (Δ)) και ένας στύλος διακλάδωσης (στύλος Νο 21 με γωνία  $100,0^{\beta}$  (Α)). Μια γωνία έχει διεύθυνση Δεξιά (Δ), όταν κατά την αύξουσα πορεία της γραμμής το σπάσιμό της στρέφεται προς τα δεξιά (σχήμα 5-3β), ενώ μια γωνία έχει διεύθυνση Αριστερή (Α), όταν κατά την αύξουσα πορεία της γραμμής το σπάσιμό της στρέφεται προς τα αριστερά (σχήμα 5-3α).



#### Στήλη 6: "Κλάση κατασκευής"

Στη στήλη αυτή αναγράφεται η κατηγορία της κλάσης κατασκευής (Α ή Β) που είναι κατασκευασμένη η γραμμή. Σχετικά με τις κλάσεις κατασκευής αναφερθήκαμε στη

παράγραφο 1.7. Για τη διακλάδωση "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)", επειδή πρόκειται για υπεραστική γραμμή διανομής Μ.Τ. και εφόσον κανένα άνοιγμά της δεν διασταυρώνεται με γραμμή τηλεπικοινωνίας ή σιδηροδρομική γραμμή, χρησιμοποιείται κλάση κατασκευής Β σε όλο το μήκος της.

#### Στήλη 7: "Διατομή και είδος"

Στη στήλη αυτή αναγράφεται η διατομή και το είδος του αγωγού που είναι κατασκευασμένη η γραμμή. Η διατομή και το είδος του αγωγού της γραμμής καθορίζεται από μελέτη του τομέα εκμετάλλευσης της ΔΕΗ και αναφέρεται στους όρους σύνδεσης που διατυπώνει στους ιδιώτες Παραγωγούς Ηλεκτρικής Ενέργειας κατόπιν σχετικής αίτησης τους. Στη προκειμένη περίπτωση της διακλάδωσης "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)" για τη σύνδεση των Φ/Β Σταθμών Νο 10, 11, θα χρησιμοποιηθούν αγωγοί ACSR διατομής 35τ.χ..

#### Στήλη 8: "Βασικό άνοιγμα και Τάνυση"

Στη στήλη αυτή αναγράφεται το Βασικό Άνοιγμα και η τάνυση CS που είναι κατασκευασμένη η γραμμή διανομής. Σύμφωνα με τη παράγραφο 1.6, το Βασικό Άνοιγμα σε μια γραμμή διανομής δίνεται από τη σχέση:

$$B.A.=MA+2/3(MAX-MA)$$

όπου: "ΜΑ" είναι η μέση τιμή του συνόλου των ανοιγμάτων της γραμμής και "ΜΑΧ" είναι το μέγιστο άνοιγμα της γραμμής.

Για τη διακλάδωση "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)" έχουμε:

μέγιστο άνοιγμα MAX=100m και,  
μέση τιμή ανοιγμάτων MA=(75+75+100+100+100+100+90)/7=640/7=91.4m.

Από τη σχέση 1.1., το Β.Α. θα ισούται με:

$$B.A.=MA+2/3(MAX-MA)=91.4+2/3(100-91.4)=97.1m$$

Από το πίνακα 1-2 με τα τυποποιημένα βασικά ανοίγματα επιλέγεται το ΒΑ=100m, το οποίο είναι το πλησιέστερο στη τιμή που υπολογίσαμε.

Σύμφωνα με τη παράγραφο 2.1.4., η τάνυση CS μιας γραμμής διανομής σχετίζεται με τη κατηγορία μηχανικής επιφόρτισης που είναι σχεδιασμένη, το Βασικό Άνοιγμά της, καθώς και από το είδος και τη διατομή των αγωγών. Για Βασικό Άνοιγμα 100m και αγωγό ACSR 35τ.χ., από το Εγχειρίδιο Τυποποιημένων Κατασκευών της ΔΕΗ έχουμε τις παρακάτω τανύσεις CS, ανάλογα με το είδος της μηχανικής επιφόρτισης:

<b>Π Ι Ν Α Κ Α Σ 5-2</b>	
<b>Τυποποιημένη τάνυση για Β.Α.=100m και ACSR 35 τ.χ.</b>	
Ελαφρά Επιφόρτιση	CS-117
Μέση Επιφόρτιση	CS-17
Βαριά Επιφόρτιση	CS-49

Για τη διακλάδωση "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)" έχει χρησιμοποιηθεί η τάνυση CS-17, πράγμα που σημαίνει ότι η γραμμή αυτή έχει σχεδιαστεί με Μέση Επιφόρτιση.

### Στήλη 9: "Ύψος στύλου m"

Στη στήλη αυτή αναγράφονται τα ύψη των στύλων της γραμμής διανομής. Γενική αρχή είναι να τοποθετούμε το μικρότερο ύψος στύλου που ικανοποιεί τις αποστάσεις ασφαλείας, δεδομένου ότι έτσι έχουμε μικρότερο κόστος και μικρότερη αισθητική επιβάρυνση. Σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις δικτύων Μ.Τ. αποφεύγουμε τη χρήση στύλων με ύψος 9 ή 10m.

Γενικά, ο έλεγχος της ελάχιστης κατακόρυφης απόστασης ασφαλείας αγωγού που αναρτάται από δυο γειτονικούς στύλους βρίσκεται με τη σχεδίαση της καμπύλης του αγωγού και των σημείων του εδάφους κάτω από αυτόν σε γνωστές κλίμακες. Η εκτίμηση της κατακόρυφης απόστασης που μας ενδιαφέρει προσδιορίζει και τα ύψη των στύλων. Για οριζόντια εδάφη, το ολικό ύψος "H" ενός στύλου προκειμένου να ικανοποιούνται οι αποστάσεις ασφαλείας προκύπτει από τη σχέση:

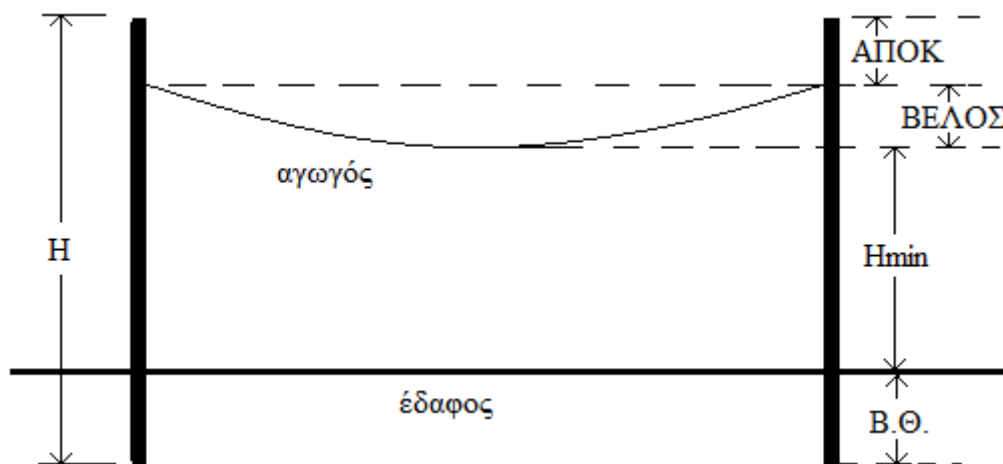
$$H \geq H_{\min} + B.Θ. + ΒΕΛΟΣ + ΑΠΟΚ \quad (5.1)$$

όπου: "H" = ύψος στύλου (m)

"H<sub>min</sub>" = ελάχιστη απόσταση ασφαλείας(m)

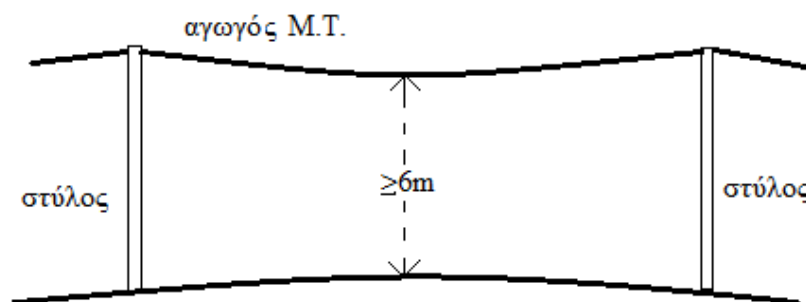
"B.Θ." = βάθος θεμελίωσης στύλου(m)

"ΑΠΟΚ" = κατακόρυφη απόσταση του σημείου ανάρτησης του χαμηλότερου αγωγού, από τη κορυφή του στύλου(m)



Σχ. 5-4

- Για στύλους ευθυγραμμίας και τέρματος και εδάφη χωρίς εξάρσεις, επαρκούν στύλοι ύψους 11-12m. Με τους στύλους αυτούς υπερκαλύπτουμε τις αποστάσεις ασφαλείας από το έδαφος που καθορίζει η ΔΕΗ, στο μέσο ενός ανοίγματος (σημείο στο οποίο έχω το μέγιστο βέλος του αγωγού). Αναφέρουμε ότι η απόσταση ασφαλείας των αγωγών Μ.Τ. στο δυσμενέστερο σημείο πρέπει να είναι  $\geq 6m$  (σχήμα 5-5).



Σχ. 5-5



- Για γωνιακούς στύλους με κατακόρυφη διάταξη αγωγών (κατασκευές P-9IV, P-9II), επιλέγουμε συνήθως στύλους ύψους 11-14m για το λόγο ότι ο κατώτατος αγωγός βρίσκεται σε απόσταση 2m χαμηλότερα από το πρώτο.
- Για τους στύλους των υποσταθμών Μ.Τ./Χ.Τ. χρησιμοποιούμε πάντα ύψη 14-15m και υποχρεωτικά κατηγορία "B".
- Για στύλους διακλάδωσης χρησιμοποιούμε συνήθως ύψη 11-13m, μιας και οι αγωγοί της διακλάδωσης αναρτώνται 1m κάτω από τους αγωγούς της κύριας γραμμής. Αυτό σημαίνει ότι αν σε έναν υπάρχων στύλο ύψους 11m θελήσουμε να κάνουμε μια διακλάδωση Μ.Τ., τότε οι αγωγοί της διακλάδωσης θα βρίσκονται σε ύψος 11-1=10m από τη βάση του, πράγμα που σημαίνει ότι για τη διακλάδωση ο στύλος λειτουργεί ως στύλος 10m. Συνεπώς, ο στύλος αυτός κατά τη κατασκευή της διακλάδωσης πρέπει να αντικατασταθεί με ένα στύλου ύψους τουλάχιστον 12m.

Για τη διακλάδωση "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10, 11)", ύψη των στύλων 1 έως 7 καθώς και το ύψος του στύλου διακλάδωσης 21 παρουσιάζονται στο Φύλλο Πασσαλώσεως του σχήματος 5-2. Στο φύλλο πασσαλώσεως αυτό αναγράφεται επίσης τόσο η κατηγορία του στύλου (E, M, B) όσο και το βάθος θεμελιώσεώς του. Θυμίζουμε ότι το βάθος θεμελίωσης ενός στύλου προκύπτει ανάλογα με το ύψος και την κατηγορία του και δίνεται από τον πίνακα 1-3.

#### Στήλη 10: "Κατηγορία στύλου"

Στη στήλη αυτή αναγράφεται η κατηγορία (E, M, B) του κάθε στύλου της γραμμής. Η κατηγορία αυτή προκύπτει από τα στοιχεία του Φ.Π., κατόπιν μελέτης που παρουσιάζεται σε επόμενη παράγραφο.

#### Στήλη 11: "Βάθος θεμελιώσεως m"

Στη στήλη αυτή αναγράφεται το βάθος θεμελιώσεως του κάθε στύλου της γραμμής. Το βάθος αυτό προκύπτει από τον πίνακα 1-3, σύμφωνα με το ύψος και την κατηγορία του στύλου, καθώς και από το τύπο του εδάφους (Κανονικό, Πτωχό, Καλό, κ.α.)

#### Στήλη 12: "Κατασκευή θεμελιώσεως"

Στη στήλη αυτή αναγράφεται η τυποποιημένη κατασκευή θεμελιώσεως. Η βασική τυποποιημένη κατασκευή θεμελιώσεως των ξύλινων στύλων είναι η "F-6". Σύμφωνα με τη κατασκευή αυτή, ανοίγεται μια τρύπα κυλινδρικής διατομής στο ανάλογο βάθος θεμελιώσεως, με διατομή λίγο μεγαλύτερη από τη διατομή της βάσης του στύλου που θα χρησιμοποιηθεί. Στη συνέχεια και αφού τοποθετηθεί μέσα της ο στύλος, η τρύπα γεμίζεται πάλι με τα προϊόντα εκσκαφής της. Σε περίπτωση πολύ πτωχών εδαφών (αμμώδη, ελώδη, κ.α.) μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τυποποιημένες κατασκευές "F-9" και "F-11". Καλό είναι να αποφεύγεται το πέρασμα των γραμμών από ελώδη περιοχές και να περιορίζεται η χρήση των κατασκευών "F-9" και "F-11" στο ελάχιστο.

#### Στήλη 13: "Μ.Τ."

Στη στήλη αυτή αναγράφεται η τυποποιημένη κατασκευή κορυφής του στύλου. Οι τυποποιημένες κατασκευές Μ.Τ. περιγράφονται στο Εγχειρίδιο Τυποποιημένων Κατασκευών Διανομής (τόμος II). Στον επόμενο πίνακα αναφέρουμε ορισμένες από τις βασικότερες τυποποιημένες κατασκευές Μ.Τ καθώς και τη χρήση τους.

<b>Π Ι Ν Α Κ Α Σ 5-3</b>	
<b>Βασικές τυποποιημένες κατασκευές διανομής Μ.Τ.</b>	
<b>Ευθυγραμμίας</b>	
P-3 (P-3E)	Κατασκευή ευθυγραμμίας με στήριξη των αγωγών σε μια ξύλινη τραβέρσα
P-3II (P-3EII)	Κατασκευή ευθυγραμμίας με στήριξη των αγωγών σε δυο ξύλινες τραβέρσες
P-3AII (P-3AEII)	Κατασκευή ευθυγραμμίας με στήριξη των αγωγών σε δυο ξύλινες τραβέρσες, για επικλινή εδάφη
<b>Γωνίες</b>	
P-9II	Κατασκευή γωνίας έως 60° (κατακόρυφη διάταξη αγωγών)
P-9IV	Κατασκευή γωνίας άνω από 60° (κατακόρυφη διάταξη αγωγών)
<b>Τέρματα</b>	
P-11 (P-11E)	Απλό τέρμα γραμμής
P-13 (P-13E)	Διπλό τέρμα γραμμής
<b>Διακλάδωσης</b>	
P-27T (P-27TE)	Διακλάδωση Μ.Τ. με ασφαλοαποζεύκτες
<b>Υποσταθμοί Μ.Τ./Χ.Τ.</b>	
T-5W	Κατασκευή Υ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ. σε ένα στύλο (άνευ ασφαλειών)
T-17W	Κατασκευή Υ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ. σε δυο στύλους (άνευ ασφαλειών) για $\mu/\sigma \geq 100\text{KVA}$
<i>Παρατήρηση: Οι κατασκευές εντός παρενθέσεως με το επιπλέον γράμμα "E" αφορούν κατασκευές με ενισχυμένες τραβέρσες (διατομής 176x126mm), έναντι των απλών κατασκευών άνευ παρενθέσεως που πραγματοποιούνται με τραβέρσες διατομής 120x100mm.</i>	

#### Στήλη 14: "Επίτονοι και Αντηρίδες - Κατασκευή"

Στη στήλη αυτή τοποθετείται η τυποποιημένη κατασκευή επιτόνου, αν πρόκειται για στύλο διακλάδωσης, γωνιακό ή τερματικό. Περισσότερα για τις τυποποιημένες κατασκευές επιτόνων αναφέραμε στη παράγραφο 3.2. της παρούσας εργασίας.

#### Στήλη 15: "Επίτονοι και Αντηρίδες - Κατηγορία"

Στη στήλη αυτή τοποθετείται η κατηγορία του συρματοσχοίνου (E,M,B) του επιτόνου. Οι υπολογισμοί τόσο του είδους της κατασκευής του επιτόνου, όσο και του πλήθους και της κατηγορίας των συρματοσχοίνων του, θα πραγματοποιηθούν σε επόμενη παράγραφο.

#### Στήλη 16: "Επίτονοι και Αντηρίδες - Κλίση ή απόσταση"

Στη στήλη αυτή αναγράφεται η κλίση του συρματοσχοίνου του επιτόνου. Ο λόγος δηλαδή του ύψους "H" του στύλου προς την οριζόντια απόσταση "L" που πραγματοποιείται η αγκύρωση. Όπως έχουμε αναφέρει πάλι, επιδιώκουμε η απόσταση "L" να είναι ίση ή μεγαλύτερη με το ύψος "H", δηλαδή τα συρματοσχοίνα του επιτόνου να είναι σε κλίση 1:1. Η κλίση του επιτόνου καθορίζεται κατά τις τοπογραφικές εργασίες υπαίθρου, ανάλογα με το διαθέσιμο ελεύθερο χώρο που υπάρχει στο σημείο του στύλου. Για όλα τα επίτονα της γραμμής λήφθηκαν κλίσεις επιτόνων H/L=1/1.

#### Στήλη 17: "Γειώσεις"

Στη στήλη αυτή αναγράφεται η τυχόν ύπαρξη συστήματος γείωσης στο στύλο. Κατασκευή γείωσης χρησιμοποιείται υποχρεωτικά στους Υ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ. Εάν πρόκειται για Υ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ. σε δυο στύλους χρησιμοποιούμε κατασκευή γείωσης "F-31Π", ενώ αν πρόκειται για Υ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ. σε ένα στύλο χρησιμοποιούμε κατασκευή γείωσης "F-31ΠΠ".

#### Στήλη 18: "Μετασχηματιστές KVA"

Στη στήλη αυτή αναγράφεται η ισχύς του μετασχηματιστή (σε KVA) εφόσον πρόκειται για στύλο Υ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ. Για τη διακλάδωση "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)", ο τερματικός στύλος Νο 7 (δίστυλο στην πραγματικότητα) είναι Υ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ. ισχύος 250KVA, μιας και για να απορροφηθεί η συνολική ισχύ των  $100+100=200\text{KW}$  των δυο Φ/Β Σταθμών απαιτείται Υ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ. με ισχύ  $>200\text{KVA}$ , πράγμα που σημαίνει ότι σύμφωνα με τη παράγραφο 1.3. επιλέγεται το τυποποιημένο μέγεθος μετασχηματιστή των 250KVA. Αναφέρουμε ότι σχεδόν όλες οι περιπτώσεις διακλαδώσεων Μ.Τ. καταλήγουν σε κάποιο Υ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ., ο οποίος θα τροφοδοτήσει στη συνέχεια μέσω δικτύου διανομής Χ.Τ. τα φορτία της περιοχής.

#### Στήλη 19: "Ασφάλεια Μ.Τ."

Στη στήλη αυτή αναγράφεται η τιμή της ασφάλειας Μ.Τ. σε περίπτωση που ο στύλος χρησιμοποιεί κατασκευή κορυφής που φέρει ασφάλειες. Γενικά, η εκλογή ασφαλειών και λοιπών μέσων προστασίας και ζεύξης αποτελεί ξεχωριστό αντικείμενο μελέτης και πραγματοποιείται από το Τομέα Εκμετάλλευσης της ΔΕΗ. Σε γενικές γραμμές κάθε διακλάδωση διανομής πρέπει να προστατεύεται με ασφάλεια Μ.Τ. στην αρχή της (στο στύλο διακλάδωσης). Επίσης, ασφάλειες πρέπει να τοποθετούνται και για να προστατεύουν τους Υ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ.. Παλαιότερα, οι ασφάλειες αυτές τοποθετούνταν επάνω σε αυτούς, αλλά σήμερα για λόγους ασφάλειας κατά τους χειρισμούς, τοποθετούνται ξεχωριστά σε ένα στύλο πριν τον Υ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ. Οι ασφάλειες Μ.Τ. που προστατεύουν τις διακλαδώσεις είναι "βραδείας τήξεως" και συμβολίζονται με το γράμμα "Τ", ενώ οι ασφάλειες που προστατεύουν τους Υ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ. είναι ταχείας τήξεως και συμβολίζονται με το γράμμα "Κ". Σύμφωνα με τους κανονισμούς της ΔΕΗ, σε περίπτωση μικρού μήκους διακλαδώσεων ( $<1000\text{m}$ ) που τροφοδοτούν μόνο έναν Υ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ., προστατεύονται μόνο με ένα είδος ασφαλειών (τύπου "Κ") στην αρχή τους. Η τιμή των ασφαλειών που προστατεύουν τους Υ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ. εξαρτάται από την ισχύ τους και δίνονται στον επόμενο πίνακα.

<b>Π Ι Ν Α Κ Α Σ 5-4</b>					
<b>Τυποποιημένες ασφάλειες Μ.Τ. μετασχηματιστών διανομής</b>					
Ισχύς μ/σ (KVA)	50	100	160	250	400
Ασφάλεια Μ.Τ. (Α)	3	8	12	15	25

Για τη διακλάδωση "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)", λόγω του ότι τροφοδοτεί μόνο έναν Υ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ. και έχει μήκος μικρότερο των 1000m θα χρησιμοποιηθούν ασφάλειες Μ.Τ. τύπου "Κ" έντασης 15Α.

#### Στήλη 19: "Είδος μονωτήρων, Αριθ. δίσκων σε κάθε αλυσίδα"

Στη στήλη αυτή αναγράφεται το είδος των μονωτήρων που θα χρησιμοποιηθούν στη γραμμή. Υπάρχουν δυο τεχνολογίες μονωτήρων:

- α) μονωτήρες κώδωνα (γυάλινοι ή πορσελάνινοι) μήκους ερπυσμού 33cm
- β) συνθετικοί μονωτήρες

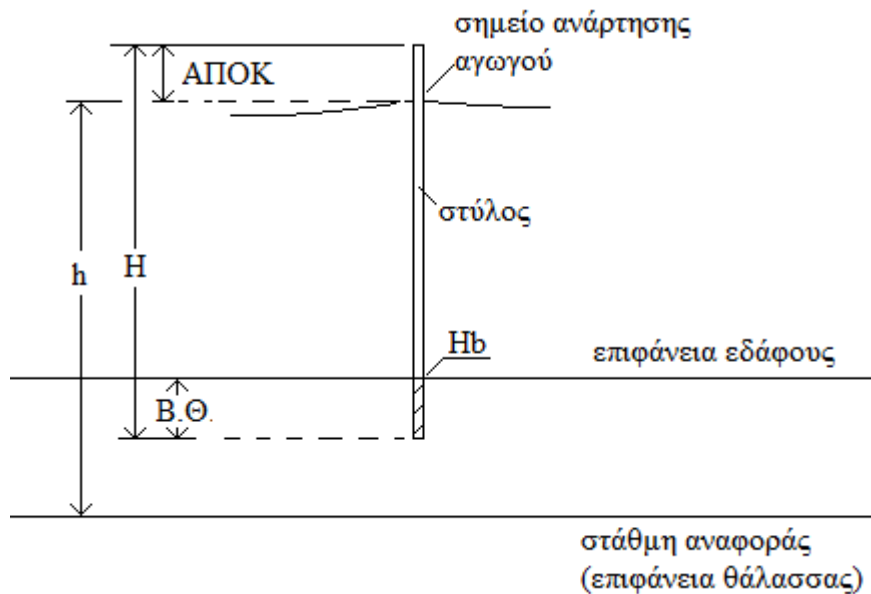
Η πρώτη κατηγορία μονωτήρων χρησιμοποιείται για *φυσιολογική ρύπανση* (δεν υπάρχει κίνδυνος καθαλάτωσης ή βιομηχανικής ρύπανσης) και η δεύτερη κατηγορία χρησιμοποιείται για *μέτρια ρύπανση* (παραθαλάσσιες ή βιομηχανικές περιοχές) και *έντονη ρύπανση* (παραθαλάσσιες ή βιομηχανικές περιοχές με δυσμενέστερη ρύπανση). Για τη διακλάδωση "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)", θα χρησιμοποιηθούν οι κλασικοί μονωτήρες κώδωνα εκ πορσελάνης.

Στήλη 21: "Α/Α Στόλου" (Ίδια με στήλη 1)

Στήλη 22: "Υψομετρική διαφορά κορυφών στύλων m"

Στη στήλη αυτή αναγράφεται η υψομετρική διαφορά "ΔH" των σημείων ανάρτησης των αγωγών σε κάθε άνοιγμα της γραμμής. Η ποσότητα αυτή ισούται με την υψομετρική διαφορά των σημείων ανάρτησης του αγωγού στους στύλους εκατέρωθεν του κάθε ανοίγματος. Το ύψος "h" του σημείου ανάρτησης του αγωγού σε ένα στύλο προκύπτει αν στο υψόμετρο της βάσης του "Hb" (σύμφωνα με τη τοπογραφική εργασία υπαίθρου) προσθέσουμε το ύψος του στύλου "H" και αφαιρέσουμε το βάθος θεμελίωσης του "B.Θ." και την απόσταση "ΑΠΟΚ" (σχήμα 5-6). Δηλαδή:

$$h = Hb + (H - B.Θ. - ΑΠΟΚ) \quad (5.2)$$



Σχ. 5-6

Επειδή το βάθος θεμελίωσης είναι συνάρτηση της κατηγορίας (E, M, B) του στύλου, την οποία κατηγορία δεν μπορούμε να τη γνωρίζουμε εκ των προτέρων, θεωρούμε χωρίς σημαντικές αποκλίσεις ότι το βάθος θεμελίωσης είναι ίσο με 2m (για κανονικό έδαφος). Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα υψόμετρα βάσης των στύλων της διακλάδωσης "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)", σύμφωνα με τη τοπογραφική εργασία υπαίθρου κατά το στάδιο χάραξης της γραμμής. Το υψόμετρο αυτό μετράται με στάθμη αναφοράς την επιφάνεια της θάλασσας. Στον ίδιο πίνακα, από τη σχέση 5.2 υπολογίζεται το υψόμετρο ανάρτησης του αγωγού για κάθε στύλο.

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 5-5								
Υψόμετρα ανάρτησης αγωγών στύλων διακλάδωσης "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)"								
A/A Στύλου	21	1	2	3	4	5	6	7
Υψόμετρο βάσης Hb (m)	315	300	333	301	320	298	294	306
Ύψος στύλου H (m)	11	11	11	11	11	11	13	14
ΑΠΟΚ (m)	1	0	2	0	0	2	0	0
B.Θ. (m)	2	2	2	2	2	2	2	2
Υψόμετρο ανάρτησης αγωγού "h <sub>i</sub> " (m)	323	309	340	310	329	305	305	318

Με βάση το προηγούμενο πίνακα 5-5, οι υψομετρικές διαφορές "ΔH" των ανοιγμάτων της διακλάδωσης "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)" είναι:

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 5-6	
Υψομετρικές διαφορές "ΔH" ανοιγμάτων διακλάδωσης "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)"	
Ανοιγμα στύλων	ΔH (m)
21-1	$\Delta H_{21-1} =  h_{21} - h_1  = 14$
1-2	$\Delta H_{1-2} =  h_1 - h_2  = 31$
2-3	$\Delta H_{2-3} =  h_2 - h_3  = 30$
3-4	$\Delta H_{3-4} =  h_3 - h_4  = 19$
4-5	$\Delta H_{4-5} =  h_4 - h_5  = 24$
5-6	$\Delta H_{5-6} =  h_5 - h_6  = 0$
6-7	$\Delta H_{6-7} =  h_6 - h_7  = 13$

#### Στήλη 23: "Κεκλιμένη απόσταση m"

Στη στήλη αυτή τοποθετείται η κεκλιμένη απόσταση δυο διαδοχικών στύλων της γραμμής. Η ποσότητα αυτή δεν απαιτείται από τη ΔΕΗ να συμπληρωθεί, μιας και δεν χρειάζεται κάπου στους υπολογισμούς.

#### Στήλη 24: "Δένδρα για κλάδευση και Είδος εδάφους"

Στη στήλη αυτή τοποθετείται μόνο το είδος του εδάφους (ΚΑΝΟΝΙΚΟ, ΚΑΛΟ, ΠΤΩΧΟ, κ.ο.κ.). Για τη διακλάδωση "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)", το έδαφος θεωρείται ΚΑΝΟΝΙΚΟ.

#### Στήλη 25: "Παρατηρήσεις"

Στη στήλη αυτή αναγράφονται τυχόν παρατηρήσεις που αφορούν συγκεκριμένο στύλο της γραμμής.

### 5.3. Υπολογισμοί μηχανικής αντοχής διακλάδωσης "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)"

Έχοντας αναπτύξει στη προηγούμενη παράγραφο όλα τα απαιτούμενα στοιχεία του Φ.Π. θα προχωρήσουμε τώρα στους υπολογισμούς μηχανικής αντοχής της διακλάδωσης "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)", ξεκινώντας από τον έλεγχο της αντοχής των αγωγών της και συνεχίζοντας στον υπολογισμό των στύλων, στη κατασκευή της μηκοτομής και τέλος στον υπολογισμό των επιτόνων της. Οι υπολογισμοί της γραμμής θα γίνουν για κάθε άνοιγμά της, ξεκινώντας από το πρώτο άνοιγμα 21-1 και καταλήγοντας στο τελευταίο άνοιγμα 6-7.

### Απαιτούμενα στοιχεία γραμμής:

- Αγωγός (είδος και διατομή): ACSR 35τ.χ.
- Κατηγορία μηχανικής επιφόρτισης: ΜΕΣΗ
- Βασικό Άνοιγμα γραμμής: 100m
- Τάνυση: CS-17
- Δυνάμεις τανύσεως ACSR 35τ.χ: Σε πλήρη επιφόρτιση  $T=915\text{Kg}$ . Άνευ επιφορτίσεως στους  $+16^\circ\text{C}$   $T_{\text{ανευ}}=400\text{Kg}$ . Σε κατακόρυφη επιφόρτιση  $T_K=735\text{Kg}$ .
- Ειδικές επιφορτίσεις αγωγού ACSR 35τ.χ: Σε πλήρη επιφόρτιση  $W=1.042\text{Kg/m}$ . Άνευ επιφορτίσεως στους  $+16^\circ\text{C}$   $W_{\text{ανευ}}=W_A=0.2246\text{Kg/m}$ . Σε κατακόρυφη επιφόρτιση  $W_K=0,538\text{Kg/m}$ . Εγκάρσια επιφόρτιση  $W_E=0.466\text{Kg/m}$  (από πίνακες 2-1 και 1-1).
- Φορτίο θραύσης αγωγού ACSR 35τ.χ.:  $F_{\theta\rho}=2000\text{Kg}$  (από πίνακα 1-1)
- Ποσοστό 60% του φορτίου θραύσης του αγωγού :  $60\%F_{\theta\rho}=1200\text{Kg}$
- Πλήθος αγωγών διακλάδωσης:  $n=3$

### **5.3.1. Υπολογισμοί ανοίγματος 21-1**

#### i) αντοχή αγωγού

Για να γίνει ο έλεγχος αυτός, θα πρέπει να εφαρμόσουμε τις δυο συνθήκες ελέγχου της παραγράφου 2.5.

*Έλεγχος 1<sup>ης</sup> οριακής συνθήκης (πλήρη επιφόρτιση)*

Για το άνοιγμα 21-1 με  $L=75\text{m}$  και  $\Delta H=14\text{m}$ , το μέγιστο κατακόρυφο ημίανοιγμα σύμφωνα με τη σχέση (2.8) είναι:

$$KH_{\max} = \frac{T \cdot \Delta H}{W \cdot L} + \frac{L}{2} = \frac{915 \times 14}{1,042 \times 75} + \frac{75}{2} = 201.4\text{m}$$

Η μέγιστη αξονική δύναμη (σύμφωνα με τη σχέση 2.17) είναι:

$$F_{\max} = \sqrt{T^2 + (W \cdot KH_{\max})^2} = \sqrt{915^2 + (1,042 \times 201,4)^2} = 938,7\text{Kg}$$

Ο αγωγός αντέχει, γιατί  $F_{\max} \leq 60\%F_{\theta\rho}$  (αφού  $938,7\text{Kg} < 1200\text{Kg}$ )

*Έλεγχος 2<sup>ης</sup> οριακής συνθήκης (+16°C άνευ επιφορτίσεως)*

$$KH_{\max} = \frac{T_{\text{ανευ}} \cdot \Delta H}{W_{\text{ανευ}} \cdot L} + \frac{L}{2} = \frac{400 \times 14}{0,2246 \times 75} + \frac{75}{2} = 332.4\text{m}$$

Η μέγιστη αξονική δύναμη (σύμφωνα με τη σχέση 2.17) είναι:

$$F_{\max} = \sqrt{T_{\text{ανευ}}^2 + (W_{\text{ανευ}} \cdot KH_{\max})^2} = \sqrt{400^2 + (0,2246 \times 332,4)^2} = 406,9\text{Kg}$$

Ο αγωγός αντέχει, γιατί  $F_{\max} \leq 60\%F_{\theta\rho}$  (αφού  $406,9\text{Kg} < 1200\text{Kg}$ )

ΣΥΝΕΠΩΣ ΣΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑ 21-1 ΕΞΑΣΦΑΛΙΖΕΤΑΙ Η ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ

#### ii) υπολογισμοί στύλων - μηκοτομή

Αρχικά θα επαληθεύσουμε ότι τα αναγραφόμενα ύψη στύλων στο φύλλο πασσαλώσεως είναι σωστά. Επαρκούν δηλαδή για να καλύψουν τις ελάχιστες απαιτήσεις στα όρια ασφαλείας. Η επαλήθευση αυτή θα γίνει θεωρώντας αρχικά ότι οι στύλοι όλοι έχουν ύψος 11m και τυπικό βάθος θεμελίωσης 2m. Προχωρώντας στην ανάλυση, θα δούμε εάν το ύψος αυτό επαρκεί ή απαιτείται η χρήση ακόμα ψηλότερων στύλων. Έτσι έχουμε ότι:

Αρχικό ύψος στύλου 21: $H_{21}=11\text{m}$	Αρχικό ύψος στύλου 1: $H_1=11\text{m}$
Βάθος θεμελίωσης στύλου 21: $B\Theta_{21}=2\text{m}$	Βάθος θεμελίωσης στύλου 1: $B\Theta_1=2\text{m}$
Υψόμετρο βάσης στύλου 21: $H_{b21}=315\text{m}$	Υψόμετρο βάσης στύλου 1: $H_{b1}=300\text{m}$
Απόσταση αγωγών από τη κορυφή του στύλου 21: $\text{ΑΠΟΚ}_{21}=1\text{m}$ (λόγω του ότι οι αγωγοί της διακλάδωσης αναρτώνται κατά 1m χαμηλότερα των αγωγών της κύριας γραμμής)	Απόσταση αγωγών από τη κορυφή του στύλου 1: $\text{ΑΠΟΚ}_1=0\text{m}$

Συνεπώς, από τη σχέση 5.2, τα υψόμετρα ανάρτησης του αγωγού στους στύλους 21 και 1 είναι:

$$y_{21} = H_{b21} + (H_{21} - B\Theta_{21} - \text{ΑΠΟΚ}_{21}) = 315 + (11 - 2 - 1) = 323\text{m}$$

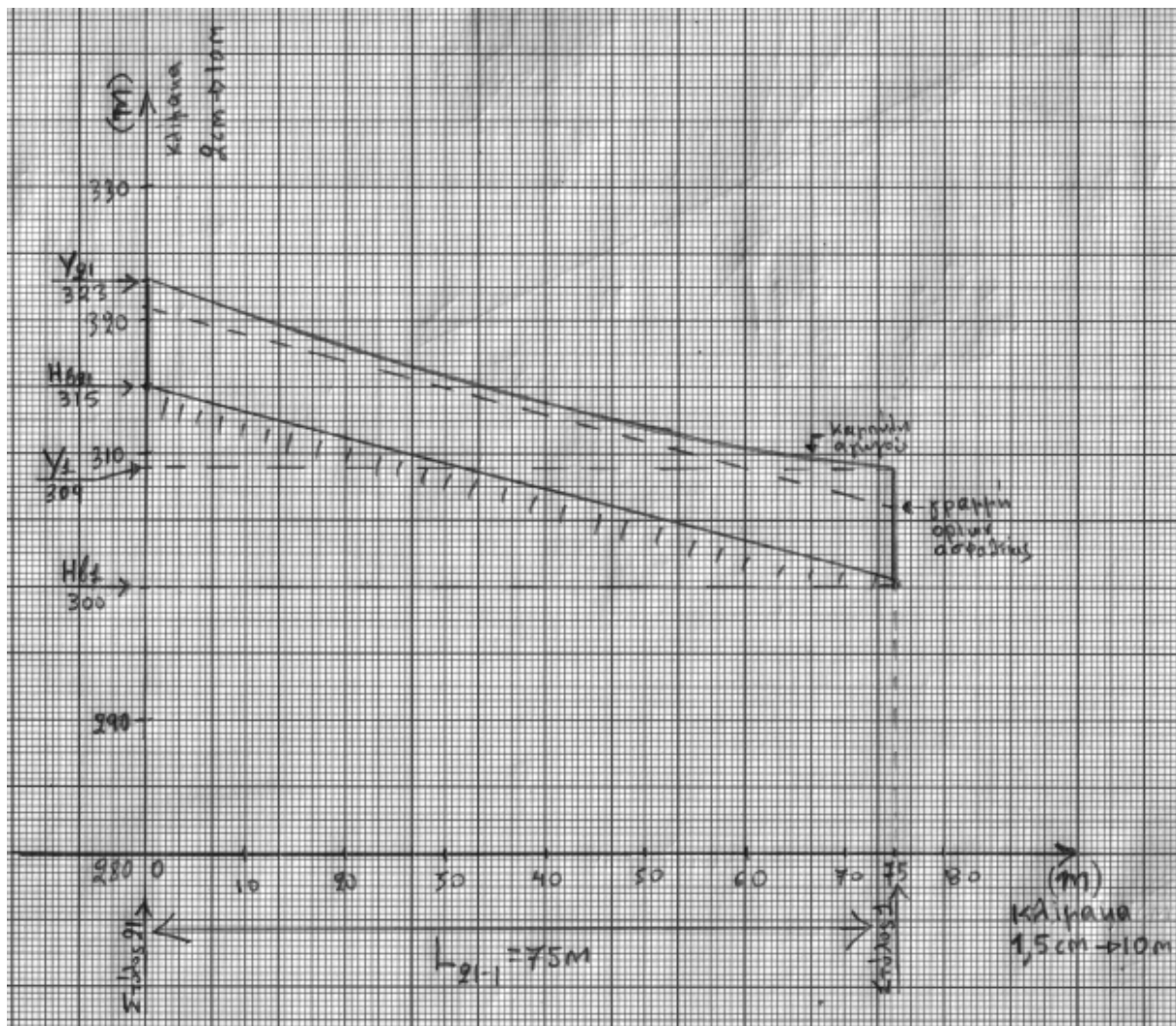
$$y_1 = H_{b1} + (H_1 - B\Theta_1 - \text{ΑΠΟΚ}_1) = 300 + (11 - 2 - 0) = 309\text{m}$$

Στη συνέχεια, υπολογίζουμε το κατακόρυφο ημιάνοιγμα του ανοίγματος 21-1.

$$KH = \frac{L}{2} - \frac{T_K \cdot \Delta H}{W_K \cdot L} = \frac{75}{2} - \frac{735 \cdot (323 - 309)}{0,538 \cdot 75} = 37,5 - 255 = -217,5\text{m} < 0$$

Παρατηρούμε ότι το κατακόρυφο ημιάνοιγμα παίρνει αρνητική τιμή. Αυτό σημαίνει ότι το κατώτατο σημείο της καμπύλης του αγωγού βγαίνει εκτός του ανοίγματος 21-1 και ο αγωγός στο άνοιγμα αυτό είναι σχεδόν παράλληλος με το έδαφος. Λόγω του ότι το κατώτατο αυτό σημείο είναι εκτός του ανοίγματος 21-1, δεν μας ενδιαφέρει να υπολογίσουμε το βέλος του αγωγού. Συνεπώς οι στύλοι ύψους 11m που αρχικά επιλέξαμε επαρκούν όσον αφορά την κάλυψη των απαιτούμενων ορίων ασφαλείας.

Στο επόμενο σχήμα βλέπουμε την μηκοτομή του ανοίγματος 21-1. Στον οριζόντιο άξονα εμφανίζεται το μήκος του ανοίγματος και στον κατακόρυφο τα υψόμετρα. Στη μηκοτομή αυτή παρουσιάζεται το ανάγλυφο του εδάφους, η γραμμή των ορίων ασφαλείας (στα 6m πάνω από το έδαφος) και η καμπύλη του αγωγού. Η καμπύλη του αγωγού σχεδιάζεται προσεγγιστικά, μιας και οι σχέσεις που περιγράφουν την εξίσωσή του και δόθηκαν στη παράγραφο 2.3. δεν είναι ακριβείς γιατί θεωρούν την καμπύλη του αγωγού ως παραβολή, ενώ στην πράξη πρέπει να χρησιμοποιηθεί πραγματική εξίσωση της αλυσοειδούς μορφής. Από τη μηκοτομή του ανοίγματος αυτού, βλέπουμε ότι με τα δεδομένα ύψη των στύλων που έχουν επιλεγεί, καλύπτονται τα απαιτούμενα όρια ασφαλείας από το έδαφος.



Σχ. 5-7

Υπολογισμοί στύλου 21

Κατακόρυφο φορτίο  $G$  στύλου 21

$$G = \frac{1}{2} \cdot (L_1 + L_2) \cdot m \cdot W_K + m \cdot T_K \left( \frac{\Delta H_1}{L_1} + \frac{\Delta H_2}{L_2} \right) + \frac{1}{2} \cdot L_{21-1} \cdot n \cdot W_K + n \cdot T_K \cdot \frac{h_{21-1}}{L_{21-1}}$$

όπου:

- $L_1, L_2$ : εκατέρωθεν ανοίγματα στύλου διακλάδωσης κύριας γραμμής (σε m). Τα ανοίγματα αυτά προκύπτουν από το Φύλλο Πασσαλώσεως της κύριας γραμμής και είναι  $L_1=90\text{m}$  και  $L_2=115\text{m}$ .
- $\Delta H_1, \Delta H_2$ : υψομετρικές διαφορές σημείων ανάρτησης του αγωγού εκατέρωθεν του στύλου διακλάδωσης (σε m). Τα στοιχεία αυτά προκύπτουν από το Φύλλο Πασσαλώσεως της κύριας γραμμής και είναι  $\Delta H_1=2\text{m}$  και  $\Delta H_2=-1\text{m}$ .
- $m$ : πλήθος αγωγών κύριας γραμμής ( $m=3$ )
- $n$ : πλήθος αγωγών διακλάδωσης ( $n=3$ )
- $W_K$ : κατακόρυφη επιφόρτιση αγωγών ACSR 35 τ.χ. σε μέση επιφόρτιση (σε Kg/m)
- $T_K$ : Δύναμη τανύσεως σε κατακόρυφη επιφόρτιση, αγωγών ACSR 35 τ.χ. (σε Kg/m)



Συνεπώς:

$$G = \frac{1}{2} \cdot (90 + 115) \cdot 3 \cdot 0,538 + 3 \cdot 735 \cdot \left( \frac{2}{90} + \frac{-1}{115} \right) + \frac{1}{2} \cdot 75 \cdot 3 \cdot 0,538 + 3 \cdot 735 \cdot \frac{14}{75} = 665Kg$$

*Εγκάρσιο φορτίου Q στύλου 21*

Επειδή γνωρίζουμε το ύψος του στύλου 21 (11m) και όχι τη κατηγορία του, προκειμένου να γνωρίζουμε την ακριβή τιμή της ανεμοπίεσης "Q<sub>s</sub>" επί αυτού, θεωρούμε τη δυσμενέστερη περίπτωση, να είναι δηλαδή κατηγορίας "B". Από το πίνακα 3-2 για στύλο 11B έχουμε ότι Q<sub>s</sub>=25Kg. Συνεπώς:

$$Q = E\Phi_{ay} + Q_s = \frac{1}{2} \cdot (L_1 + L_2) \cdot n \cdot W_E + Q_s = \frac{1}{2} \cdot (90 + 115) \cdot 3 \cdot 0,466 + 25 = 169Kg$$

*Αξονικό φορτίο P στύλου 21*

για κλίση επιτόνου t=10/10=1 και δύναμη τανύσεως σε πλήρη επιφόρτιση T=915Kg. έχουμε:

$$P=[2 \cdot n \cdot T + 1,78(E\Phi_{ay} + Q_s)] \cdot t=[2 \cdot 3 \cdot 915 + 1,78 \cdot (169)] \cdot 1=5791Kg$$

Από το διάγραμμα εκλογής τερματικών στύλων με οριζόντια διάταξη αγωγών (σχήμα 4-9), βλέπουμε ότι το σημείο με συντεταγμένες (P,Q)=(5791, 169) για 601≤G≤1000 βρίσκεται κάτω από τη καμπύλη του στύλου 11B. Αυτό σημαίνει ότι ένας τέτοιος στύλος παρουσιάζει επαρκή μηχανική αντοχή. Συνεπώς, ο στύλος 21 ύψους 11m κατηγορίας B που έχει επιλεγεί, παρουσιάζει επαρκή μηχανική αντοχή. Ως τυποποιημένη κατασκευή διακλαδώσεως με ασφάλειες χρησιμοποιείται η P-27TE.

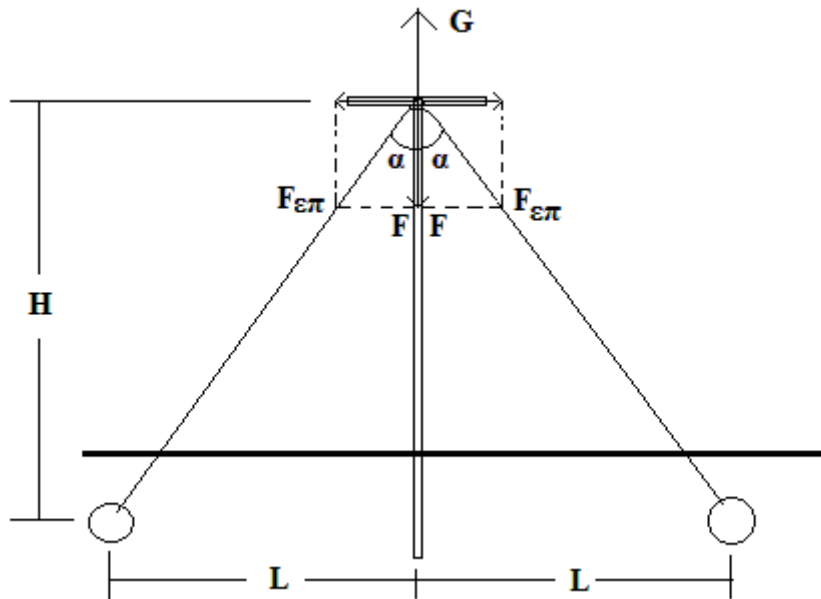
*Υπολογισμοί στύλου 1*

*Κατακόρυφο φορτίο G στύλου 1*

$$\begin{aligned} G &= \frac{1}{2} \cdot (L_{1-21} + L_{1-2}) \cdot n \cdot W_K + n \cdot T_K \left( \frac{h_1 - h_{21}}{L_{1-21}} + \frac{h_1 - h_2}{L_{1-2}} \right) = \\ &= \frac{1}{2} \cdot (75 + 75) \cdot 3 \cdot 0,538 + 3 \cdot 735 \left( \frac{-14}{75} + \frac{-31}{75} \right) = -1290Kg \end{aligned}$$

Παρατηρούμε ότι το κατακόρυφο φορτίο στο στύλο 1 παίρνει αρνητική τιμή. Αυτό σημαίνει ότι ο στύλος αυτός καταπονείται με "τράβηγμα" και στο στύλο αυτό πρέπει να γίνει κατασκευή κορυφής διπλού τέρματος (P-13E) υποχρεωτικά. Σύμφωνα με τη παράγραφο 4.3. θα δούμε αν η απόλυτη τιμή του κατακόρυφου φορτίου "G" είναι μεγαλύτερη ή όχι από τα 2/3 του βάρους του στύλου που θα χρησιμοποιήσουμε, προκειμένου να δούμε αν στο στύλο αυτό θα τοποθετηθούν ή όχι εγκάρσια επίτονα. Επειδή γνωρίζουμε το ύψος του στύλου 1 (11m) θα χρησιμοποιήσουμε τη βαρύτερη κατηγορία του, να είναι δηλαδή κατηγορίας "B". Από το πίνακα 1-3, ο στύλος 11B έχει βάρος G<sub>s</sub>=410Kg. Στη περίπτωση αυτή, |G|>2/3G<sub>s</sub>, (αφού 1290>2x410/3) και άρα πρέπει να τοποθετηθούν δυο εγκάρσια επίτονα κατηγορίας F-21Y σε κλίση 1:1. Έτσι, ο στύλος 1 μπορεί να είναι κατηγορίας M, χωρίς επιπλέον υπολογισμούς.

Για να υπολογίσουμε τη κατηγορία (E, M, B) του συρματοσχοίνου του επιτόνου θα πραγματοποιήσουμε τους παρακάτω υπολογισμούς:



Σχ. 5-2

Από το προηγούμενο σχήμα προκύπτει ότι:

$$F = F_{\varepsilon\pi} \cdot \cos\alpha \quad (5.3)$$

$$\alpha = \tan^{-1}(L/H) \quad (5.4)$$

Για να μείνει πακτωμένος ο στύλος στο έδαφος θα πρέπει:

$$F + F \geq G \quad (5.5)$$

Από τις τρεις αυτές σχέσεις προκύπτει:

$$2.F \geq G \rightarrow 2 \cdot F_{\varepsilon\pi} \cdot \cos\alpha \geq G \rightarrow F_{\varepsilon\pi} \geq G/2 \cdot \cos\alpha \quad (5.6)$$

Στη προκειμένη περίπτωση, για ίδια κλίση των δυο εγκάρσιων επιτόνων (1:1) έχουμε ότι:

$$H=L=11\text{m}$$

και

$$\alpha = \tan^{-1}(L/H) \rightarrow \alpha = \tan^{-1}(11/11) \rightarrow \alpha = 50 \text{ grad}$$

Για κατακόρυφο φορτίο  $G=1290\text{kg}$ , το επιτρεπόμενο φορτίο του συρματοσχοίνου του επιτόνου θα είναι:

$$F_{\varepsilon\pi} \geq G/2 \cdot \cos\alpha \rightarrow F_{\varepsilon\pi} \geq 1290/2 \cdot \cos 50^{\text{grad}} \rightarrow F_{\varepsilon\pi} \geq 912\text{Kg}$$

Από το πίνακα 3-1 βλέπουμε ότι για κλάση κατασκευής B αρκεί συρματοσχοίνο κατηγορίας E, μιας και έχει επιτρεπόμενο φορτίο ίσο με 1289Kg, το οποίο είναι μεγαλύτερο

της τιμής που υπολογίσαμε. Συνεπώς, η κατασκευή του επιτόνου για το στύλο αυτό είναι 2F-21Y(E).

iii) υπολογισμοί επιτόνων

*Επίτονο στύλου διακλάδωσης (21)*

Σύμφωνα με το παράδειγμα της παραγράφου 3.3.3., θα υπολογίσουμε όλες τις οριζόντιες δυνάμεις που αναπτύσσονται στο στύλο στα σημεία εφαρμογής τους και έπειτα θα τις αναγάγουμε στο ύψος της διακλάδωσης. Αυτό γίνεται γιατί το συρματόσχοινο του επιτόνου θα πρέπει να προσδεθεί στο ύψος της διακλάδωσης. Στο στύλο No21 της διακλάδωσης δρουν οι παρακάτω δυνάμεις:

α) Η εγκάρσια επιφόρτιση "Q<sub>s</sub>" επί του στύλου, λόγω της ανεμοπίεσης. Από το πίνακα 3-2 για στύλο 11B και μέση επιφόρτιση εγκάρσια επιφόρτιση αυτή είναι:

$$Q_s = 25 \text{ dan}$$

β) Η συνισταμένη δύναμη τάνυσης των αγωγών της διακλάδωσης. Η δύναμη αυτή είναι:

$$T_{acsr35} = 3 \cdot T_{ACSR35} = 3 \times 915 = 2745 \text{ Kg}$$

γ) Το εγκάρσιο φορτίο επί των αγωγών Μ.Τ. της κύριας γραμμής (ACSR 35τ.χ.), λόγω της ανεμοπίεσης. Στη περίπτωση στύλου διακλάδωσης διαφοροποιείτε η σχέση (3.10) που δίνει την ανεμοπίεση αυτή, σε σχέση με τη σχέση που εφαρμόζεται στους γωνιακούς στύλους. Ισχύει ότι:

$$E\Phi_{\alpha\gamma} = \frac{1}{2} \cdot (L_1 + L_2) \cdot n \cdot W_E \cdot \sin\varphi$$

Για μέση επιφόρτιση και αγωγό ACSR35τ.χ. από πίνακα 2-1 έχουμε ότι  $W_E = 0.466 \text{ Kg/m}$ . Τα εκατέρωθεν ανοίγματα  $L_1$  και  $L_2$  προκύπτουν από το Φύλλο Πασσαλώσεως της κύριας γραμμής και δόθηκαν παραπάνω. Συνεπώς:

$$E\Phi_{\alpha\gamma} = \frac{1}{2} \cdot (L_1 + L_2) \cdot n \cdot W_E \cdot \sin\varphi = \frac{1}{2} \cdot (90 + 115) \cdot 3 \cdot 0,466 \cdot \sin 45 = 93,06 \text{ Kg}$$

Η διακλάδωση Μ.Τ. πραγματοποιείται σε απόσταση 1m χαμηλότερα από τη κύρια γραμμή. Για να αναγάγουμε μια δύναμη από τη κορυφή του στύλου σε απόσταση ενός μέτρου χαμηλότερα, χρησιμοποιούμε ένα συντελεστή αναγωγής που έχει καθορίσει η ΔΕΗ, ο οποίος ισούται με 1,09. Έτσι, η αναγόμενη επιφόρτιση στύλου στο ύψος της διακλάδωσης θα ισούται με:

$$Q_s' = 1,09 \times Q_s = 1,09 \times 25 = 27,25 \text{ Kg}$$

Το αναγόμενο εγκάρσιο φορτίο αγωγών στο ύψος της διακλάδωσης θα ισούται με:

$$E\Phi_{\alpha\gamma}' = 1,09 \times E\Phi_{\alpha\gamma} = 1,09 \times 93,06 = 101,4 \text{ Kg}$$

Συνεπώς, η ολική οριζόντια δύναμη "R" επί του στύλου (στο ύψος της διακλάδωσης) είναι:

$$R = T_{acsr35} + 1,78 \cdot (E\Phi_{\alpha\gamma}' + Q_s') = 2745 + 1,78(101,4 + 27,25) = 2978 \text{ Kg}$$

Συνεπώς, από τη σχέση (3.3) η συνολική εφελκυστική δύναμη "F" που καλείται να παραλάβει το επίτονο είναι:

$$F=k \cdot R= 1,41 \times 2978= 4198\text{Kg}$$

Πρόκειται για οριζόντια διάταξη αγωγών και εφαρμογή της συνολικής οριζόντιας δύναμης "R" σε ένα σημείο. Συνεπώς θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί κατασκευή F-21Y ή F-34Y. Από το πίνακα 3-1, για κλάση κατασκευής B και φορτίο  $F=4198\text{Kg}$ , βλέπω ότι η κατασκευή F-21Y(B) με  $F_{\varepsilon\pi}=4874\text{Kg}$  επαρκεί (αφού  $F < F_{\varepsilon\pi}$ ). Συνεπώς, στη προκειμένη περίπτωση επιλέγουμε τη κατασκευή F-21Y(B) σε κλίση 1/1.

### 5.3.2. Υπολογισμοί ανοίγματος 1-2

#### i) αντοχή αγωγού

Για να γίνει ο έλεγχος αυτός, θα πρέπει να εφαρμόσουμε τις δυο συνθήκες ελέγχου της παραγράφου 2.5.

*Έλεγχος 1<sup>ης</sup> οριακής συνθήκης (πλήρη επιφόρτιση)*

Για το άνοιγμα 1-2 με  $L=75\text{m}$  και  $\Delta H=31\text{m}$ , το μέγιστο κατακόρυφο ημίανοιγμα σύμφωνα με τη σχέση (2.8) είναι:

$$KH_{max} = \frac{T \cdot \Delta H}{W \cdot L} + \frac{L}{2} = \frac{915 \times 31}{1,042 \times 75} + \frac{75}{2} = 435,5\text{m}$$

Η μέγιστη αξονική δύναμη (σύμφωνα με τη σχέση 2.17) είναι:

$$F_{max} = \sqrt{T^2 + (W \cdot KH_{max})^2} = \sqrt{915^2 + (1,042 \times 435,5)^2} = 1021,3\text{Kg}$$

Ο αγωγός αντέχει, γιατί  $F_{max} \leq 60\% F_{\theta\rho}$  (αφού  $1021,3\text{Kg} < 1200\text{Kg}$ )

*Έλεγχος 2<sup>ης</sup> οριακής συνθήκης (+16°C άνευ επιφορτίσεως)*

$$KH_{max} = \frac{T_{\alpha\nu\nu\epsilon\nu} \cdot \Delta H}{W_{\alpha\nu\nu\epsilon\nu} \cdot L} + \frac{L}{2} = \frac{400 \times 31}{0,2246 \times 75} + \frac{75}{2} = 844,8\text{m}$$

Η μέγιστη αξονική δύναμη (σύμφωνα με τη σχέση 2.17) είναι:

$$F_{max} = \sqrt{T_{\alpha\nu\nu\epsilon\nu}^2 + (W_{\alpha\nu\nu\epsilon\nu} \cdot KH_{max})^2} = \sqrt{400^2 + (0,2246 \times 844,8)^2} = 442,7\text{Kg}$$

Ο αγωγός αντέχει, γιατί  $F_{max} \leq 60\% F_{\theta\rho}$  (αφού  $442,7\text{Kg} < 1200\text{Kg}$ )

ΣΥΝΕΠΩΣ ΣΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑ 1-2 ΕΞΑΣΦΑΛΙΖΕΤΑΙ Η ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ

#### ii) υπολογισμοί στύλων - μηκοτομή

Θα εφαρμόσουμε την ίδια διαδικασία όπως και στο άνοιγμα 21-1, με γνωστό όμως τώρα το ύψος το στύλου 1 (11m), μιας και αυτό υπολογίστηκε στο προηγούμενο παράδειγμα. Θεωρούμε αρχικά ότι ο στύλος 2 θα έχει ύψος 11m και τυπικό βάθος θεμελίωσης 2m.

Προχωρώντας στην ανάλυση, θα δούμε εάν το ύψος αυτό επαρκεί ή απαιτείται η χρήση ακόμα ψηλότερου στύλου. Έτσι έχουμε ότι:

Πραγματικό ύψος στύλου 1: $H_1=11\text{m}$	Αρχικό ύψος στύλου 2: $H_2=11\text{m}$
Βάθος θεμελίωσης στύλου 1: $B\Theta_1=2\text{m}$	Βάθος θεμελίωσης στύλου 2: $B\Theta_2=2\text{m}$
Υψόμετρο βάσης στύλου 1: $H_{b1}=300\text{m}$	Υψόμετρο βάσης στύλου 2: $H_{b2}=333\text{m}$
Απόσταση αγωγών από τη κορυφή του στύλου 1: $\text{ΑΠΟΚ}_1=0\text{m}$	Απόσταση αγωγών από τη κορυφή του στύλου 2: $\text{ΑΠΟΚ}_2=2\text{m}$ (μιας και ο κατώτατος αγωγός στην κατασκευή P-9Π βρίσκεται σε απόσταση 2m από τη κορυφή του στύλου)

Συνεπώς, από τη σχέση 5.2, τα υψόμετρα ανάρτησης του αγωγού στους στύλους 1 και 2 είναι:

$$y_1 = H_{b1} + (H_1 - B\Theta_1 - \text{ΑΠΟΚ}_1) = 300 + (11 - 2 - 0) = 309\text{m}$$

$$y_2 = H_{b2} + (H_2 - B\Theta_2 - \text{ΑΠΟΚ}_2) = 333 + (11 - 2 - 2) = 340\text{m}$$

Στη συνέχεια, υπολογίζουμε το κατακόρυφο ημιάνοιγμα του ανοίγματος 1-2.

$$KH = \frac{L}{2} - \frac{T_K \cdot \Delta H}{W_K \cdot L} = \frac{75}{2} - \frac{735 \cdot (340 - 309)}{0,538 \cdot 75} = 37,5 - 564,5 = -527\text{m} < 0$$

Παρατηρούμε ότι το κατακόρυφο ημιάνοιγμα παίρνει αρνητική τιμή. Αυτό σημαίνει ότι το κατώτατο σημείο της καμπύλης του αγωγού βγαίνει εκτός του ανοίγματος 1-2 και ο αγωγός στο άνοιγμα αυτό είναι σχεδόν παράλληλος με το έδαφος. Λόγω του ότι το κατώτατο αυτό σημείο είναι εκτός του ανοίγματος 1-2, δεν μας ενδιαφέρει να υπολογίσουμε το βέλος του αγωγού. Συνεπώς, ο στύλος 2 με αρχικό εκτιμώμενο ύψος 11m επαρκεί όσον αφορά την κάλυψη των απαιτούμενων ορίων ασφαλείας. Στο επόμενο σχήμα βλέπουμε την μηκοτομή του ανοίγματος 1-2.



$$Q = E\Phi_{\alpha\gamma} + Q_s = \frac{1}{2} \cdot (L_{2-1} + L_{2-3}) \cdot n \cdot W_E \cdot \sin \frac{\theta}{2} + Q_s =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot (75 + 100) \cdot 3 \cdot 0,466 \cdot \sin \frac{94}{2} + 25 = 65Kg$$

*Αξονικό φορτίο P στύλου 2*

για κλίση επιτόνου  $t=11/11=1$  και δύναμη τανύσεως σε πλήρη επιφόρτιση  $T=915Kg$ . έχουμε:

$$P=[2 \cdot n \cdot T \cdot \sin \theta / 2 + 1,78(E\Phi_{\alpha\gamma} + Q_s)] \cdot t = [2 \cdot 3 \cdot 915 \cdot \sin 94 / 2 + 1,78 \cdot (66)] \cdot 1 = 3822Kg$$

Από το διάγραμμα εκλογής γωνιακών στύλων με κατακόρυφη διάταξη αγωγών (σχήμα 4-7), βλέπουμε ότι το σημείο με συντεταγμένες  $(P,G)=(3822, 65)$  για  $1601 \leq G \leq 2500$  βρίσκεται πάνω από τη καμπύλη του στύλου 11M. Αυτό σημαίνει ότι ένας τέτοιος στύλος δεν παρουσιάζει επαρκή μηχανική αντοχή. Στο ίδιο διάγραμμα όμως βλέπουμε ότι το σημείο  $(P,G)=(3822, 65)$  βρίσκεται κάτω από τη καμπύλη του στύλου 11B. Συνεπώς ο στύλος 2 ύψους 11m που παρουσιάζει επαρκή μηχανική αντοχή πρέπει να είναι κατηγορίας B.

### iii) υπολογισμοί επιτόνων

*Επίτονο γωνιακού στύλου (2)*

Πρόκειται για γωνία με κατασκευή διπλού τέρματος (P-9II). Συνεπώς, υπολογίζουμε ένα επίτονο σε κάθε μια διεύθυνση της γραμμής, αντιμετωπίζοντας τη κάθε διεύθυνσή της σαν απλό τέρμα. Επειδή και στις δυο διευθύνσεις της γραμμής υπάρχει ο ίδιος αγωγός (ACSR 35τ.χ.), καθώς και τα επίτονα τοποθετούνται με την ίδια κλίση 1/1, οι εφελκυστικές τους δυνάμεις θα είναι ίδιες και συνεπώς δεν χρειάζεται να κάνουμε τους υπολογισμούς και για τις δυο διευθύνσεις, μιας και η κατηγορία επιτόνου της μιας διεύθυνσης θα είναι ίδια με τη κατηγορία επιτόνου της άλλης.

$$R_{ολ}=3 \cdot T_{ACSR35} = 3 \times 915 = 2745Kg$$

Συνεπώς, από τη σχέση (3.3) η συνολική εφελκυστική δύναμη "F" που καλείται να παραλάβει το επίτονο της μιας διεύθυνσης είναι:

$$F=k \cdot R_{ολ} = 1,41 \times 2745 = 3871Kg$$

Πρόκειται για κατακόρυφη διάταξη αγωγών. Συνεπώς θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί κατασκευή F-21A ή F-21B. Από το πίνακα 3-1, για κλάση κατασκευής B και φορτίο  $F=3871Kg$ , βλέπω ότι η κατασκευή F-21A(M) με  $F_{επ}=5378Kg$  επαρκεί (αφού  $F < F_{επ}$ ). Συνεπώς, στη προκειμένη περίπτωση επιλέγουμε για τη κάθε μια διεύθυνση της γραμμής της κατασκευή F-21A(M) σε κλίση 1/1.

### **5.3.3. Υπολογισμοί ανοίγματος 2-3**

#### i) αντοχή αγωγού

*Έλεγχος 1<sup>ης</sup> οριακής συνθήκης (πλήρη επιφόρτιση)*

Για το άνοιγμα 2-3 με  $L=100\text{m}$  και  $\Delta H=30\text{m}$ , το μέγιστο κατακόρυφο ημίανοιγμα σύμφωνα με τη σχέση (2.8) είναι:

$$KH_{max} = \frac{T \cdot \Delta H}{W \cdot L} + \frac{L}{2} = \frac{915 \times 30}{1,042 \times 100} + \frac{100}{2} = 348,5\text{m}$$

Η μέγιστη αξονική δύναμη (σύμφωνα με τη σχέση 2.17) είναι:

$$F_{max} = \sqrt{T^2 + (W \cdot KH_{max})^2} = \sqrt{915^2 + (1,042 \times 348,5)^2} = 984,4\text{Kg}$$

Ο αγωγός αντέχει, γιατί  $F_{max} \leq 60\% F_{\theta\rho}$  (αφού  $984,4\text{Kg} < 1200\text{Kg}$ )

Έλεγχος 2<sup>ης</sup> οριακής συνθήκης (+16°C άνευ επιφορτίσεως)

$$KH_{max} = \frac{T_{\alpha\nu\epsilon\nu} \cdot \Delta H}{W_{\alpha\nu\epsilon\nu} \cdot L} + \frac{L}{2} = \frac{400 \times 30}{0,2246 \times 100} + \frac{100}{2} = 655,5\text{m}$$

Η μέγιστη αξονική δύναμη (σύμφωνα με τη σχέση 2.17) είναι:

$$F_{max} = \sqrt{T_{\alpha\nu\epsilon\nu}^2 + (W_{\alpha\nu\epsilon\nu} \cdot KH_{max})^2} = \sqrt{400^2 + (0,2246 \times 655,5)^2} = 426,3\text{Kg}$$

Ο αγωγός αντέχει, γιατί  $F_{max} \leq 60\% F_{\theta\rho}$  (αφού  $426,3\text{Kg} < 1200\text{Kg}$ )

#### ΣΥΝΕΠΩΣ ΣΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑ 2-3 ΕΞΑΣΦΑΛΙΖΕΤΑΙ Η ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ

#### ii) υπολογισμοί στύλων - μηκοτομή

Θα εφαρμόσουμε την ίδια διαδικασία όπως και στο άνοιγμα 1-2, με γνωστό όμως τώρα το ύψος το στύλου 2 (13m), όπως υπολογίσαμε παραπάνω και αναγράφεται στο φύλλο πασσαλώσεως. Θεωρούμε αρχικά ότι ο στύλος 3 θα έχει ύψος 11m και τυπικό βάθος θεμελίωσης 2m. Προχωρώντας στην ανάλυση, θα δούμε εάν το ύψος αυτό επαρκεί ή απαιτείται η χρήση ακόμα ψηλότερου στύλου. Έτσι έχουμε ότι:

Πραγματικό ύψος στύλου 2: $H_2=11\text{m}$	Αρχικό ύψος στύλου 3 $H_3=11\text{m}$
Βάθος θεμελίωσης στύλου 2: $B\Theta_2=2\text{m}$	Βάθος θεμελίωσης στύλου 3: $B\Theta_3=2\text{m}$
Υψόμετρο βάσης στύλου 2: $H_{b2}=333\text{m}$	Υψόμετρο βάσης στύλου 3: $H_{b3}=301\text{m}$
Απόσταση αγωγών από τη κορυφή του στύλου 2: $\text{ΑΠΟΚ}_2=2\text{m}$	Απόσταση αγωγών από τη κορυφή του στύλου 3: $\text{ΑΠΟΚ}_3=0\text{m}$

Συνεπώς, από τη σχέση 5.2, τα υψόμετρα ανάρτησης του αγωγού στους στύλους 2 και 3 είναι:

$$y_2 = H_{b2} + (H_2 - B\Theta_2 - \text{ΑΠΟΚ}_2) = 333 + (11 - 2 - 2) = 340\text{m}$$

$$y_3 = H_{b3} + (H_3 - B\Theta_3 - \text{ΑΠΟΚ}_3) = 301 + (11 - 2 - 0) = 310\text{m}$$

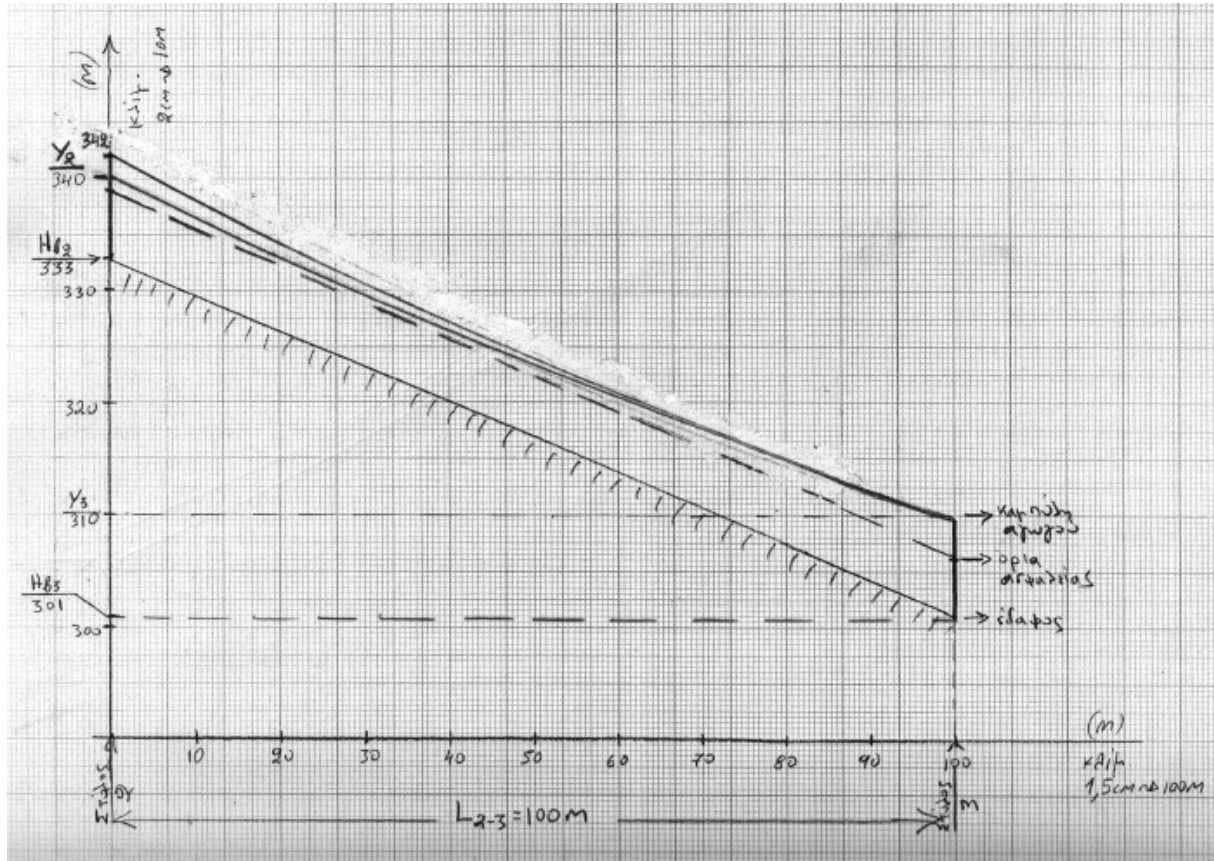
Στη συνέχεια, υπολογίζουμε το κατακόρυφο ημίανοιγμα του ανοίγματος 2-3.

$$KH = \frac{L}{2} - \frac{T_K \cdot \Delta H}{W_K \cdot L} = \frac{100}{2} - \frac{735 \cdot (340 - 310)}{0,538 \cdot 100} = 50 - 410 = -360\text{m} < 0$$

Παρατηρούμε ότι το κατακόρυφο ημίανοιγμα παίρνει αρνητική τιμή. Αυτό σημαίνει ότι το κατώτατο σημείο της καμπύλης του αγωγού βγαίνει εκτός του ανοίγματος 2-3 και ο



αγωγός στο άνοιγμα αυτό είναι σχεδόν παράλληλος με το έδαφος. Λόγω του ότι το κατώτατο αυτό σημείο είναι εκτός του ανοίγματος 2-3, δεν μας ενδιαφέρει να υπολογίσουμε το βέλος του αγωγού. Συνεπώς, ο στύλος 3 με αρχικό εκτιμώμενο ύψος 11m επαρκεί όσον αφορά την κάλυψη των απαιτούμενων ορίων ασφαλείας. Παρατηρούμε επίσης ότι το ύψος που υπολογίσαμε ταυτίζεται με το αναγραφόμενο ύψος στο φύλλο πασσαλώσεως. Στο επόμενο σχήμα βλέπουμε την μηκοτομή του ανοίγματος 2-3.



Σχ. 5-10

Υπολογισμοί στύλου 3

Κατακόρυφο φορτίου  $G$  στύλου 3

$$G = \frac{1}{2} \cdot (L_{3-2} + L_{3-4}) \cdot n \cdot W_K + n \cdot T_K \left( \frac{h_3 - h_2}{L_{3-2}} + \frac{h_3 - h_4}{L_{3-4}} \right) =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot (100 + 100) \cdot 3 \cdot 0,538 + 3 \cdot 735 \left( \frac{-34}{100} + \frac{-8}{100} \right) = -765Kg$$

Παρατηρούμε ότι και το κατακόρυφο φορτίο στο στύλο 3 παίρνει αρνητική τιμή ( $G < 0$ ). Αυτό σημαίνει ότι ο στύλος αυτός καταπονείται με "τράβηγμα" και στο στύλο αυτό πρέπει να γίνει κατασκευή κορυφής διπλού τέρματος (P-13E) υποχρεωτικά. Σύμφωνα με τη παράγραφο 4.3. θα δούμε αν η απόλυτη τιμή του κατακόρυφου φορτίου "G" είναι μεγαλύτερη ή όχι από τα 2/3 του βάρους του στύλου που θα χρησιμοποιήσουμε, προκειμένου να δούμε αν στο στύλο αυτό θα τοποθετηθούν εγκάρσια επίτονα. Επειδή γνωρίζουμε το ύψος του στύλου 3 (11m) θα χρησιμοποιήσουμε τη βαρύτερη κατηγορία του, να είναι δηλαδή κατηγορίας "B". Από το πίνακα 1-3, ο στύλος 11B έχει βάρος  $G_s = 410Kg$ . Στη περίπτωση αυτή,  $|G| > 2/3G_s$ ,

αφού  $765 > 2 \times 410/3$ . Στη περίπτωση αυτή,  $|G| > 2/3 G_s$ , (αφού  $765 > 2 \times 410/3$ ) και άρα πρέπει να τοποθετηθούν δυο εγκάρσια επίτονα κατηγορίας F-21Y σε κλίση 1:1. Έτσι, ο στύλος 3 μπορεί να είναι κατηγορίας M, χωρίς επιπλέον υπολογισμούς.

Για τον υπολογισμό της κατηγορίας των συρματοσχοίνων των εγκάρσιων επιτόνων, θα χρησιμοποιήσουμε τη μεθοδολογία που εφαρμόσαμε στο άνοιγμα 21-1.

Στη προκειμένη περίπτωση, για ίδια κλίση των δυο εγκάρσιων επιτόνων (1:1) έχουμε ότι:

$$H=L=11m$$

και

$$\alpha = \tan^{-1}(L/H) \rightarrow \alpha = \tan^{-1}(11/11) \rightarrow \alpha = 50 \text{ grad}$$

Για κατακόρυφο φορτίο  $G=765\text{kg}$ , το επιτρεπόμενο φορτίο του συρματοσχοίνου του επιτόνου θα είναι:

$$F_{\epsilon\pi} \geq G/2 \cdot \cos\alpha \rightarrow F_{\epsilon\pi} \geq 765/2 \cdot \cos 50^{\text{grad}} \rightarrow F_{\epsilon\pi} \geq 541\text{Kg}$$

Από το πίνακα 3-1 βλέπουμε ότι για κλάση κατασκευής B αρκεί συρματοσχοίνο κατηγορίας E, μιας και έχει επιτρεπόμενο φορτίο ίσο με 1289Kg, το οποίο είναι μεγαλύτερο της τιμής που υπολογίσαμε. Συνεπώς, η κατασκευή του επιτόνου για το στύλο αυτό είναι 2F-21Y(E).

### 5.3.4. Υπολογισμοί ανοίγματος 3-4

#### i) αντοχή αγωγού

*Έλεγχος 1<sup>ης</sup> οριακής συνθήκης (πλήρη επιφόρτιση)*

Για το άνοιγμα 3-4 με  $L=100\text{m}$  και  $\Delta H=8\text{m}$ , το μέγιστο κατακόρυφο ημίανοιγμα σύμφωνα με τη σχέση (2.8) είναι:

$$KH_{\max} = \frac{T \cdot \Delta H}{W \cdot L} + \frac{L}{2} = \frac{915 \times 8}{1,042 \times 100} + \frac{100}{2} = 120,2\text{m}$$

Η μέγιστη αξονική δύναμη (σύμφωνα με τη σχέση 2.17) είναι:

$$F_{\max} = \sqrt{T^2 + (W \cdot KH_{\max})^2} = \sqrt{915^2 + (1,042 \times 120,2)^2} = 923,5\text{Kg}$$

Ο αγωγός αντέχει, γιατί  $F_{\max} \leq 60\% F_{\theta\phi}$  (αφού  $923,5\text{Kg} < 1200\text{Kg}$ )

*Έλεγχος 2<sup>ης</sup> οριακής συνθήκης (+16°C άνευ επιφορτίσεως)*

$$KH_{\max} = \frac{T_{\text{ανευ}} \cdot \Delta H}{W_{\text{ανευ}} \cdot L} + \frac{L}{2} = \frac{400 \times 8}{0,2246 \times 100} + \frac{100}{2} = 192,5\text{m}$$

Η μέγιστη αξονική δύναμη (σύμφωνα με τη σχέση 2.17) είναι:

$$F_{max} = \sqrt{T_{ανευ}^2 + (W_{ανευ} \cdot KH_{max})^2} = \sqrt{400^2 + (0,2246 \times 192,5)^2} = 402,3Kg$$

Ο αγωγός αντέχει, γιατί  $F_{max} \leq 60\% F_{\theta\rho}$  (αφού  $402,3Kg < 1200Kg$ )

#### ΣΥΝΕΠΙΩΣ ΣΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑ 3-4 ΕΞΑΣΦΑΛΙΖΕΤΑΙ Η ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ

##### ii) υπολογισμοί στύλων - μηκοτομή

Θα εφαρμόσουμε την ίδια διαδικασία όπως και στο άνοιγμα 2-3, με γνωστό όμως τώρα το ύψος το στύλου 3 (11m), όπως υπολογίσαμε παραπάνω και αναγράφεται στο φύλλο πασσαλώσεως. Θεωρούμε αρχικά ότι ο στύλος 4 θα έχει ύψος 11m και τυπικό βάθος θεμελίωσης 2m. Προχωρώντας στην ανάλυση, θα δούμε εάν το ύψος αυτό επαρκεί ή απαιτείται η χρήση ακόμα ψηλότερου στύλου. Έτσι έχουμε ότι:

Πραγματικό ύψος στύλου 3: $H_3=11m$	Αρχικό ύψος στύλου 4 $H_4=11m$
Βάθος θεμελίωσης στύλου 3: $B\Theta_3=2m$	Βάθος θεμελίωσης στύλου 4: $B\Theta_4=2m$
Υψόμετρο βάσης στύλου 3: $H_{b3}=301m$	Υψόμετρο βάσης στύλου 4: $H_{b4}=320m$
Απόσταση αγωγών από τη κορυφή του στύλου 3: $ΑΠΟΚ_3=0m$	Απόσταση αγωγών από τη κορυφή του στύλου 4: $ΑΠΟΚ_4=0m$

Συνεπώς, από τη σχέση 5.2, τα υψόμετρα ανάρτησης του αγωγού στους στύλους 3 και 4 είναι:

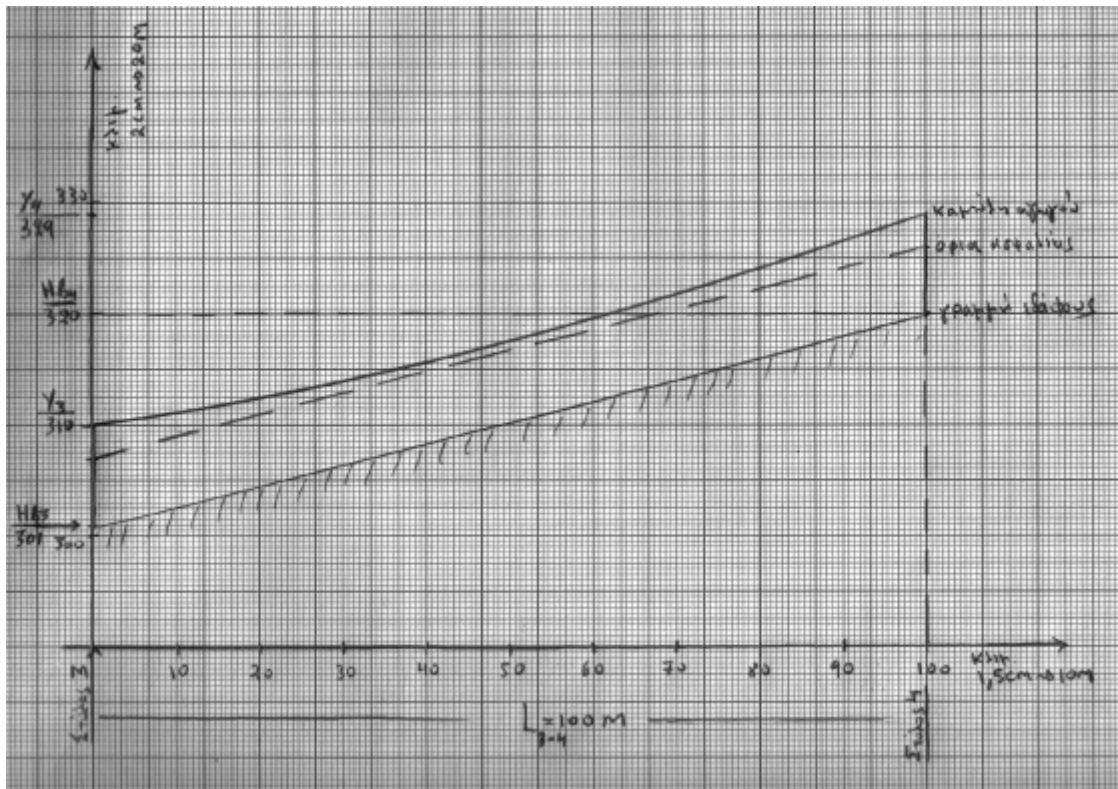
$$y_3 = H_{b3} + (H_3 - B\Theta_3 - ΑΠΟΚ_3) = 301 + (11 - 2 - 0) = 310m$$

$$y_4 = H_{b4} + (H_4 - B\Theta_4 - ΑΠΟΚ_4) = 320 + (11 - 2 - 0) = 329m$$

Στη συνέχεια, υπολογίζουμε το κατακόρυφο ημιάνοιγμα του ανοίγματος 3-4.

$$KH = \frac{L}{2} - \frac{T_K \cdot \Delta H}{W_K \cdot L} = \frac{100}{2} - \frac{735 \cdot (329 - 310)}{0,538 \cdot 100} = 50 - 259,5 = -209,5m < 0$$

Παρατηρούμε ότι το κατακόρυφο ημιάνοιγμα παίρνει αρνητική τιμή. Αυτό σημαίνει ότι το κατώτατο σημείο της καμπύλης του αγωγού βγαίνει εκτός του ανοίγματος 3-4 και ο αγωγός στο άνοιγμα αυτό είναι σχεδόν παράλληλος με το έδαφος. Λόγω του ότι το κατώτατο αυτό σημείο είναι εκτός του ανοίγματος 3-4, δεν μας ενδιαφέρει να υπολογίσουμε το βέλος του αγωγού. Συνεπώς, ο στύλος 4 με αρχικό εκτιμώμενο ύψος 11m επαρκεί όσον αφορά την κάλυψη των απαιτούμενων ορίων ασφαλείας. Παρατηρούμε επίσης ότι το ύψος που υπολογίσαμε ταυτίζεται με το αναγραφόμενο ύψος στο φύλλο πασσαλώσεως. Στο επόμενο σχήμα βλέπουμε την μηκοτομή του ανοίγματος 3-4.



Σχ. 5-11

Υπολογισμοί στύλου 4

Κατακόρυφο φορτίου  $G$  στύλου 4

$$G = \frac{1}{2} \cdot (L_{4-3} + L_{4-5}) \cdot n \cdot W_K + n \cdot T_K \left( \frac{h_4 - h_3}{L_{4-3}} + \frac{h_4 - h_5}{L_{4-5}} \right) =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot (100 + 100) \cdot 3 \cdot 0,538 + 3 \cdot 735 \left( \frac{19}{100} + \frac{24}{100} \right) = 1087,5 \text{ Kg}$$

Παρατηρούμε ότι και το κατακόρυφο φορτίο στο στύλο 4 παίρνει θετική τιμή ( $G > 0$ ). Αυτό σημαίνει ότι και ο στύλος 4 καταπονείται με θλιπτικό φορτίο.

Εγκάρσιο φορτίου  $Q$  στύλου 4

Επειδή γνωρίζουμε το ύψος του στύλου 4 (11m) και όχι τη κατηγορία του, προκειμένου να γνωρίζουμε την ακριβή τιμή της ανεμοπίεσης " $Q_s$ " επί αυτού, θεωρούμε τη δυσμενέστερη περίπτωση, να είναι δηλαδή κατηγορίας "B". Από το πίνακα 3-2 για στύλο 11B έχουμε ότι  $Q_s = 25 \text{ Kg}$ . Συνεπώς:

$$Q = E\Phi_{\alpha\gamma} + Q_s = \frac{1}{2} \cdot (L_{4-3} + L_{4-5}) \cdot n \cdot W_E + Q_s = \frac{1}{2} \cdot (100 + 100) \cdot 3 \cdot 0,466 + 25 = 165 \text{ Kg}$$

Από το διάγραμμα επιλογής στύλων ευθυγραμμίας για κλάση B και Μέση ή Βαριά Επιφόρτιση του σχήματος 4-6, θα επιλέξουμε τη κατηγορία του στύλου 4. Από το διάγραμμα αυτό, βλέπουμε ότι το σημείο με συντεταγμένες  $G = 1087,5 \text{ Kg}$  και  $Q = 165 \text{ Kg}$  βρίσκεται κάτω από τη περιοχή που περικλείει ο στύλος κατηγορίας 11M. Συνεπώς για το στύλο 4 επαρκεί η

κατηγορία M σε ύψος 11m. Η κατασκευή κορυφής του στύλου μπορεί να είναι μια από τις τυποποιημένες κατασκευές ευθυγραμμίας του πίνακα 5-3. Επιλέγουμε την πιο απλή (P-3).

### 5.3.5. Υπολογισμοί ανοίγματος 4-5

#### i) αντοχή αγωγού

*Έλεγχος 1<sup>ης</sup> οριακής συνθήκης (πλήρη επιφόρτιση)*

Για το άνοιγμα 4-5 με L=100m και ΔH=24m, το μέγιστο κατακόρυφο ημίανοιγμα σύμφωνα με τη σχέση (2.8) είναι:

$$KH_{max} = \frac{T \cdot \Delta H}{W \cdot L} + \frac{L}{2} = \frac{915 \times 24}{1,042 \times 100} + \frac{100}{2} = 252m$$

Η μέγιστη αξονική δύναμη (σύμφωνα με τη σχέση 2.17) είναι:

$$F_{max} = \sqrt{T^2 + (W \cdot KH_{max})^2} = \sqrt{915^2 + (1,042 \times 252)^2} = 952Kg$$

Ο αγωγός αντέχει, γιατί  $F_{max} \leq 60\% F_{\theta\rho}$  (αφού  $952Kg < 1200Kg$ )

*Έλεγχος 2<sup>ης</sup> οριακής συνθήκης (+16°C άνευ επιφορτίσεως)*

$$KH_{max} = \frac{T_{\alpha\nu\epsilon\nu} \cdot \Delta H}{W_{\alpha\nu\epsilon\nu} \cdot L} + \frac{L}{2} = \frac{400 \times 24}{0,2246 \times 100} + \frac{100}{2} = 459,5m$$

Η μέγιστη αξονική δύναμη (σύμφωνα με τη σχέση 2.17) είναι:

$$F_{max} = \sqrt{T_{\alpha\nu\epsilon\nu}^2 + (W_{\alpha\nu\epsilon\nu} \cdot KH_{max})^2} = \sqrt{400^2 + (0,2246 \times 459,5)^2} = 413Kg$$

Ο αγωγός αντέχει, γιατί  $F_{max} \leq 60\% F_{\theta\rho}$  (αφού  $413Kg < 1200Kg$ )

ΣΥΝΕΠΩΣ ΣΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑ 4-5 ΕΞΑΣΦΑΛΙΖΕΤΑΙ Η ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ

#### ii) υπολογισμοί στύλων - μηκотоμή

Θα εφαρμόσουμε την ίδια διαδικασία όπως και στο άνοιγμα 3-4, με γνωστό όμως τώρα το ύψος το στύλου 4 (11m), όπως υπολογίσαμε παραπάνω και αναγράφεται στο φύλλο πασσαλώσεως. Θεωρούμε αρχικά ότι ο στύλος 5 θα έχει ύψος 11m και τυπικό βάθος θεμελίωσης 2m. Προχωρώντας στην ανάλυση, θα δούμε εάν το ύψος αυτό επαρκεί ή απαιτείται η χρήση ακόμα ψηλότερου στύλου. Έτσι έχουμε ότι:

Πραγματικό ύψος στύλου 4: $H_4=11m$	Αρχικό ύψος στύλου 5 $H_5=11m$
Βάθος θεμελίωσης στύλου 4: $B\Theta_4=2m$	Βάθος θεμελίωσης στύλου 5: $B\Theta_5=2m$
Υψόμετρο βάσης στύλου 4: $H_{b4}=320m$	Υψόμετρο βάσης στύλου 5: $H_{b5}=298m$
Απόσταση αγωγών από τη κορυφή του στύλου 4: $\Lambda\Pi\text{OK}_4=0m$	Απόσταση αγωγών από τη κορυφή του στύλου 5: $\Lambda\Pi\text{OK}_5=2m$ (μιας και ο κατώτατος αγωγός στην κατασκευή P-9IV βρίσκεται σε απόσταση 2m από τη κορυφή του στύλου)

Συνεπώς, από τη σχέση 5.2, τα υψόμετρα ανάρτησης του αγωγού στους στύλους 4 και 5 είναι:

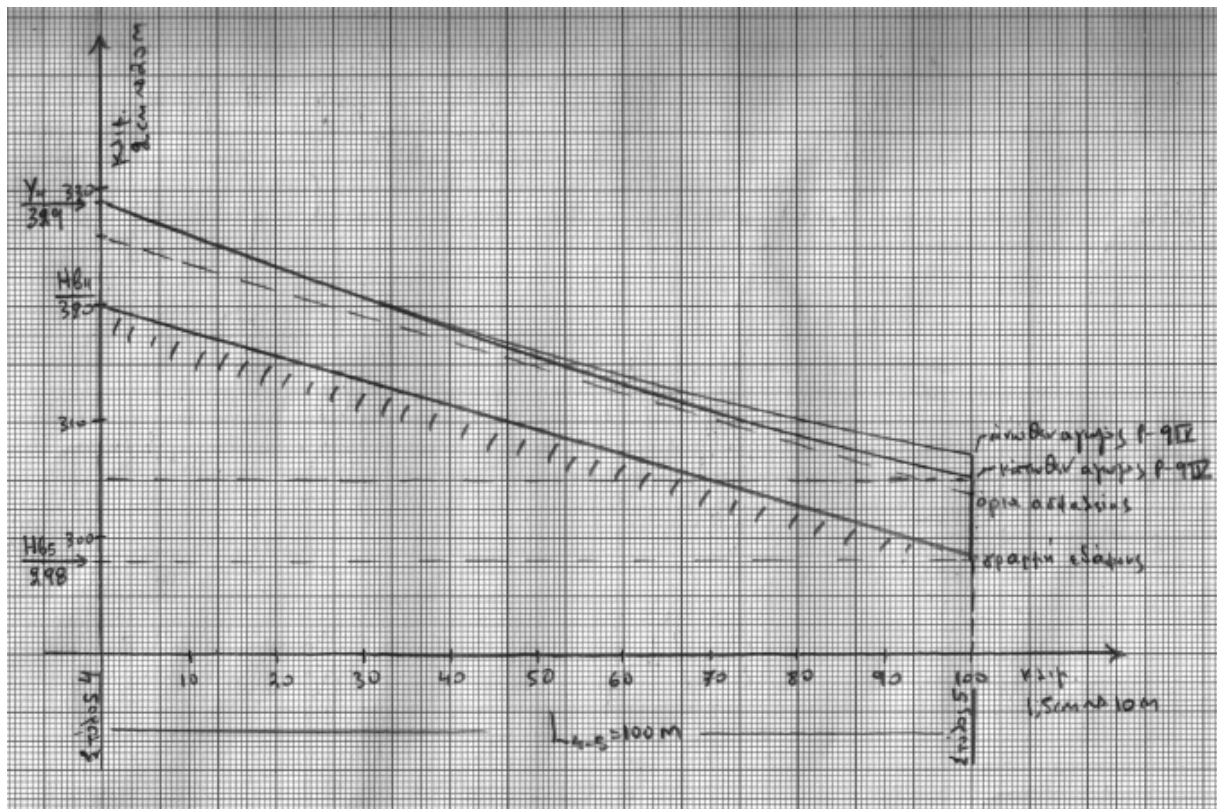
$$y_4 = H_{b4} + (H_4 - B\Theta_4 - \text{ΑΠΟΚ}_4) = 320 + (11 - 2 - 0) = 329\text{m}$$

$$y_5 = H_{b5} + (H_5 - B\Theta_5 - \text{ΑΠΟΚ}_5) = 298 + (11 - 2 - 2) = 305\text{m}$$

Στη συνέχεια, υπολογίζουμε το κατακόρυφο ημίανοιγμα του ανοίγματος 4-5.

$$KH = \frac{L}{2} - \frac{T_K \cdot \Delta H}{W_K \cdot L} = \frac{100}{2} - \frac{735 \cdot (329 - 305)}{0,538 \cdot 100} = 50 - 328 = -278\text{m} < 0$$

Παρατηρούμε ότι το κατακόρυφο ημίανοιγμα παίρνει αρνητική τιμή. Αυτό σημαίνει ότι το κατώτατο σημείο της καμπύλης του αγωγού βγαίνει εκτός του ανοίγματος 4-5 και ο αγωγός στο άνοιγμα αυτό είναι σχεδόν παράλληλος με το έδαφος. Λόγω του ότι το κατώτατο αυτό σημείο είναι εκτός του ανοίγματος 4-5, δεν μας ενδιαφέρει να υπολογίσουμε το βέλος του αγωγού. Συνεπώς, ο στύλος 5 με αρχικό εκτιμώμενο ύψος 11m επαρκεί όσον αφορά την κάλυψη των απαιτούμενων ορίων ασφαλείας. Παρατηρούμε επίσης ότι το ύψος που υπολογίσαμε ταυτίζεται με το αναγραφόμενο ύψος στο φύλλο πασσαλώσεως. Στο επόμενο σχήμα βλέπουμε την μηκοτομή του ανοίγματος 4-5.



Σχ. 5-12

#### Υπολογισμοί στύλου 5

Επειδή ο στύλος αυτός είναι γωνιακός, με γωνία διεύθυνσης  $< 66,6^\circ$  η κατασκευή κορυφής του θα είναι P-9IV.

Κατακόρυφο φορτίο G στύλου 5

$$G = \frac{1}{2} \cdot (L_{5-4} + L_{5-6}) \cdot n \cdot W_K + n \cdot T_K \left( \frac{h_5 - h_4}{L_{5-4}} + \frac{h_5 - h_6}{L_{5-6}} \right) =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot (100 + 100) \cdot 3 \cdot 0,538 + 3 \cdot 735 \left( \frac{-31}{100} + \frac{0}{100} \right) = -522Kg$$

Εγκάρσιο φορτίου  $Q$  στύλου 5

Επειδή γνωρίζουμε το ύψος του στύλου 5 (11m) και όχι τη κατηγορία του, προκειμένου να γνωρίζουμε την ακριβή τιμή της ανεμοπίεσης " $Q_s$ " επί αυτού, θεωρούμε τη δυσμενέστερη περίπτωση, να είναι δηλαδή κατηγορίας "B". Από το πίνακα 3-2 για στύλο 11B έχουμε ότι  $Q_s=25Kg$ . Συνεπώς:

$$Q = E\Phi_{\alpha\gamma} + Q_s = \frac{1}{2} \cdot (L_{5-4} + L_{5-6}) \cdot n \cdot W_E \cdot \sin \frac{\theta}{2} + Q_s =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot (100 + 100) \cdot 3 \cdot 0,466 \cdot \sin \frac{16}{2} + 25 = 42,5Kg$$

Αξονικό φορτίο  $P$  στύλου 5

για κλίση επιτόνου  $t=11/11=1$  και δύναμη τάνυσεως σε πλήρη επιφόρτιση  $T=915Kg$ . έχουμε:

$$P=[2 \cdot n \cdot T \cdot \sin \theta / 2 + 1,78(E\Phi_{\alpha\gamma} + Q_s)] \cdot t = [2 \cdot 3 \cdot 915 \cdot \sin 16 / 2 + 1,78 \cdot (42,5)] \cdot 1 = 763,5Kg$$

Από το διάγραμμα εκλογής γωνιακών στύλων με κατακόρυφη διάταξη αγωγών (σχήμα 4-8), βλέπουμε ότι το σημείο με συντεταγμένες  $(P, G)=(763,5, 42,5)$  για  $201 \leq G \leq 800$  βρίσκεται κάτω από τη καμπύλη του στύλου 11M. Αυτό σημαίνει ότι ένας τέτοιος στύλος παρουσιάζει επαρκή μηχανική αντοχή. Συνεπώς ο στύλος 5 ύψους 11m που παρουσιάζει επαρκή μηχανική αντοχή πρέπει να είναι κατηγορίας M.

iii) υπολογισμοί επιτόνων

Επίτονο γωνιακού στύλου (5)

Λόγω γωνίας  $\theta < 66,6 \text{grad}$  θα τοποθετηθεί ένα επίτονο στη διχοτόμο. Επί του γωνιακού στύλου, αναπτύσσονται οι εξής οριζόντιες δυνάμεις:

α) Συνισταμένη δύναμη τάνυσης " $T_{ολ}$ " λόγω των αγωγών. Η δύναμη αυτή από τη σχέση 3.6. ισούται με:

$$T_{ολ} = 2 \cdot n \cdot T_{ACSR35} \cdot \sin \frac{\theta}{2}$$

όπου " $n$ " είναι το πλήθος των αγωγών της γραμμής ( $n=3$ ) και " $T_{ACSR35}$ " είναι η δύναμη τάνυσεως του ενός αγωγού σε πλήρη επιφόρτιση (915Kg).

β) Η εγκάρσια επιφόρτιση " $Q_s$ " επί του στύλου, λόγω της ανεμοπίεσης. Από το πίνακα 3-2 για στύλο 13M και μέση επιφόρτιση η εγκάρσια επιφόρτιση αυτή είναι:

$$Q_s = 26 \text{dan}$$

γ) Η οριζόντια δύναμη "EΦ<sub>αγ</sub>" λόγω της ανεμοπίεσης επί των αγωγών εκατέρωθεν του στύλου. Η δύναμη αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$E\Phi_{\alpha\gamma} = \frac{1}{2} \cdot (L_{4-5} + L_{5-6}) \cdot n \cdot W_E \cdot \cos \frac{\theta}{2}$$

Έτσι, η συνολική οριζόντια δύναμη "R" επί του στύλου θα είναι:

$$R = T_{o\lambda} + E\Phi_{\alpha\gamma} + Q_S$$

Ο ΚΕΣΥΓΤΗΕ επιβάλλει οι δυο τελευταίοι όροι να πολλαπλασιαστούν επί 1,78. Έτσι, η συνολική οριζόντια δύναμη για γωνιακό στύλο γίνεται:

$$R = T_{o\lambda} + 1,78 \cdot (E\Phi_{\alpha\gamma} + Q_S)$$

Για τη περίπτωση του παραδείγματός μας έχουμε ότι:

$$T_{o\lambda} = 2 \cdot n \cdot T \cdot \sin \frac{\theta}{2} = 2 \cdot 3.915 \cdot \sin \frac{16}{2} = 688Kg$$

Από το πίνακα 3-2 για στύλο 13M και μέση επιφόρτιση η εγκάρσια επιφόρτιση αυτή είναι:

$$Q_S = 26dan$$

Η οριζόντια δύναμη "EΦ<sub>αγ</sub>" λόγω της ανεμοπίεσης επί των αγωγών εκατέρωθεν του στύλου είναι (για μέση επιφόρτιση και αγωγό ACSR 35τ.χ., από πίνακα 2-1 έχουμε ότι W<sub>E</sub>=0.466Kg/m):

$$E\Phi_{\alpha\gamma} = \frac{1}{2} \cdot (100 + 100) \cdot 3 \cdot 0,466 \cdot \cos \frac{16}{2} = 139Kg$$

Έτσι, η συνολική οριζόντια δύναμη "R" επί του στύλου θα είναι:

$$R = T_{o\lambda} + 1,78 \cdot (E\Phi_{\alpha\gamma} + Q_S) = 688 + 1,78 \cdot (139 + 26) = 982Kg$$

Από τα δεδομένα του προβλήματος και τη σχέση (3.4), ο συντελεστής "k" είναι:

$$k = \sqrt{1 + \left(\frac{H}{L}\right)^2} = \sqrt{1 + \left(\frac{14}{14}\right)^2} = 1.41$$

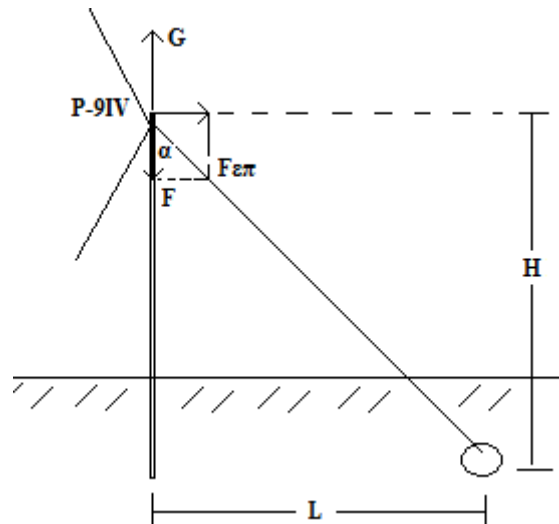
Συνεπώς, από τη σχέση (3.3) η συνολική εφελκυστική δύναμη "F<sub>επ</sub>" που καλείται να παραλάβει το επίτονο είναι:

$$F_{\epsilon\pi} = k \cdot R = 1,41 \times 982 = 1384Kg$$

### **Παρατήρηση:**

Ο γωνιακός στύλος 5 παρατηρούμε ότι καταπονείται με "τράβηγμα" (G<0). Για το λόγο αυτό θα πρέπει να εξετάσουμε αν η δύναμη του επιτόνου που υπολογίσαμε πριν μας καλύπτει και στην περίπτωση του "τραβήγματος". Αν η δύναμη του επιτόνου "F<sub>επ</sub>" λόγω "τραβήγματος" είναι μεγαλύτερη της υπολογισθείσας πριν, τότε η εκλογή του συρματοσχοίνου θα πρέπει να γίνει βάση της καινούριας αυτής δύναμης. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε την ανάλυση των δυνάμεων στον γωνιακό στύλο στην περίπτωση του "τραβήγματος".





Σχ. 5-13

Για την ισορροπία του στύλου θα πρέπει:

$$F=G \quad (5.7)$$

αλλά:

$$F = F_{\epsilon\pi} \cdot \cos\alpha \quad (5.8)$$

Από τις προηγούμενες δυο σχέσεις προκύπτει:

$$F_{\epsilon\pi}=G/\cos\alpha \quad (5.9)$$

όπου:

$$\alpha=\tan^{-1}(L/H) \quad (5.10)$$

Στη προκειμένη περίπτωση, για κλίση επιτόνου 1:1 ( $H=L=11\text{m}$ ) έχουμε ότι:

και

$$\alpha=\tan^{-1}(L/H) \rightarrow \alpha=\tan^{-1}(11/11) \rightarrow \alpha=50 \text{ grad}$$

Για κατακόρυφο φορτίο στύλου 5 ίσο με  $G=522\text{kg}$ , το επιτρεπόμενο φορτίο του συρματοσχοίνου του επιτόνου σύμφωνα με τα προηγούμενα θα είναι:

$$F_{\epsilon\pi} = G \cdot \cos\alpha \rightarrow F_{\epsilon\pi} = 522 \cdot \cos 50^{\text{grad}} \rightarrow F_{\epsilon\pi} = 369\text{Kg}$$

Προφανώς η εκλογή της κατηγορίας του συρματοσχοίνου του επιτόνου θα γίνει βάση της μεγαλύτερης εκ των δυο τιμών που υπολογίσαμε (αυτής των  $1385\text{Kg}$ ) δηλαδή). Από το πίνακα 3-1, για κλάση κατασκευής B και φορτίο επιτόνου  $F=1385\text{Kg}$ , βλέπω ότι η κατασκευή F-21A(E) με  $F_{\epsilon\pi} = 2578\text{Kg}$  επαρκεί (αφού  $F_{\epsilon\pi} > F$ ). Συνεπώς, για το γωνιακό στύλο του παραδείγματος χρησιμοποιούμε τη τυποποιημένη κατασκευή επιτόνου F-21A(E).

### 5.3.6. Υπολογισμοί ανοίγματος 5-6

#### i) αντοχή αγωγού

Έλεγχος 1<sup>ης</sup> οριακής συνθήκης (πλήρη επιφόρτιση)

Για το άνοιγμα 5-6 με L=100m και ΔH=0m, το μέγιστο κατακόρυφο ημίανοιγμα σύμφωνα με τη σχέση (2.8) είναι:

$$KH_{max} = \frac{T \cdot \Delta H}{W \cdot L} + \frac{L}{2} = \frac{915 \times 0}{1,042 \times 100} + \frac{100}{2} = 50m$$

Η μέγιστη αξονική δύναμη (σύμφωνα με τη σχέση 2.17) είναι:

$$F_{max} = \sqrt{T^2 + (W \cdot KH_{max})^2} = \sqrt{915^2 + (1,042 \times 50)^2} = 916,5Kg$$

Ο αγωγός αντέχει, γιατί  $F_{max} \leq 60\% F_{\theta\rho}$  (αφού  $916,5Kg < 1200Kg$ )

Έλεγχος 2<sup>ης</sup> οριακής συνθήκης (+16°C άνευ επιφορτίσεως)

$$KH_{max} = \frac{T_{\alpha\nu\epsilon\nu} \cdot \Delta H}{W_{\alpha\nu\epsilon\nu} \cdot L} + \frac{L}{2} = \frac{400 \times 0}{0,2246 \times 100} + \frac{100}{2} = 50m$$

Η μέγιστη αξονική δύναμη (σύμφωνα με τη σχέση 2.17) είναι:

$$F_{max} = \sqrt{T_{\alpha\nu\epsilon\nu}^2 + (W_{\alpha\nu\epsilon\nu} \cdot KH_{max})^2} = \sqrt{400^2 + (0,2246 \times 50)^2} = 400,1Kg$$

Ο αγωγός αντέχει, γιατί  $F_{max} \leq 60\% F_{\theta\rho}$  (αφού  $400,1Kg < 1200Kg$ )

ΣΥΝΕΠΩΣ ΣΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑ 5-6 ΕΞΑΣΦΑΛΙΖΕΤΑΙ Η ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ

#### ii) υπολογισμοί στύλων - μηκοτομή

Θα εφαρμόσουμε την ίδια διαδικασία όπως και στο άνοιγμα 4-5, με γνωστό όμως τώρα το ύψος το στύλου 5 (11m), όπως υπολογίσαμε παραπάνω και αναγράφεται στο φύλλο πασσαλώσεως. Θεωρούμε αρχικά ότι ο στύλος 6 θα έχει ύψος 11m και τυπικό βάθος θεμελίωσης 2m. Προχωρώντας στην ανάλυση, θα δούμε εάν το ύψος αυτό επαρκεί ή απαιτείται η χρήση ακόμα ψηλότερου στύλου. Έτσι έχουμε ότι:

Πραγματικό ύψος στύλου 5: $H_5=11m$	Αρχικό ύψος στύλου 6 $H_6=11m$
Βάθος θεμελίωσης στύλου 5: $B\Theta_5=2m$	Βάθος θεμελίωσης στύλου 6: $B\Theta_6=2m$
Υψόμετρο βάσης στύλου 5: $H_{b5}=298m$	Υψόμετρο βάσης στύλου 6: $H_{b6}=294m$
Απόσταση αγωγών από τη κορυφή του στύλου 5: $ΑΠΟΚ_5=2m$ (μιας και ο κατώτατος αγωγός στην κατασκευή P-9IV βρίσκεται σε απόσταση 2m από τη κορυφή του στύλου)	Απόσταση αγωγών από τη κορυφή του στύλου 6: $ΑΠΟΚ_6=0m$

Συνεπώς, από τη σχέση 5.2, τα υψόμετρα ανάρτησης του αγωγού στους στύλους 5 και 6 είναι:

$$y_5 = H_{b5} + (H_5 - B\Theta_5 - ΑΠΟΚ_5) = 298 + (11 - 2 - 2) = 305m$$

$$y_6 = H_{b6} + (H_6 - B\Theta_6 - ΑΠΟΚ_6) = 294 + (11 - 2 - 0) = 303m$$



Πραγματικό ύψος στύλου 5: $H_5=11\text{m}$	Αρχικό ύψος στύλου 6 $H_6=13\text{m}$
Βάθος θεμελίωσης στύλου 5: $B\Theta_5=2\text{m}$	Βάθος θεμελίωσης στύλου 6: $B\Theta_6=2\text{m}$
Υψόμετρο βάσης στύλου 5: $H_{b5}=298\text{m}$	Υψόμετρο βάσης στύλου 6: $H_{b6}=294\text{m}$
Απόσταση αγωγών από τη κορυφή του στύλου 5: $\text{ΑΠΟΚ}_5=2\text{m}$ (μιας και ο κατώτατος αγωγός στην κατασκευή P-9IV βρίσκεται σε απόσταση 2m από τη κορυφή του στύλου)	Απόσταση αγωγών από τη κορυφή του στύλου 6: $\text{ΑΠΟΚ}_6=0\text{m}$

Συνεπώς, από τη σχέση 5.2, τα υψόμετρα ανάρτησης του αγωγού στους στύλους 5 και 6 είναι:

$$y_5 = H_{b5} + (H_5 - B\Theta_5 - \text{ΑΠΟΚ}_5) = 298 + (11 - 2 - 2) = 305\text{m}$$

$$y'_6 = H_{b6} + (H'_6 - B\Theta_6 - \text{ΑΠΟΚ}_6) = 294 + (13 - 2 - 0) = 305\text{m}$$

Στη συνέχεια, υπολογίζουμε το κατακόρυφο ημίανοιγμα του ανοίγματος 5-6.

$$KH = \frac{L}{2} - \frac{T_K \cdot \Delta H}{W_K \cdot L} = \frac{100}{2} - \frac{735 \cdot (305 - 305)}{0,538 \cdot 100} = 50 > 0$$

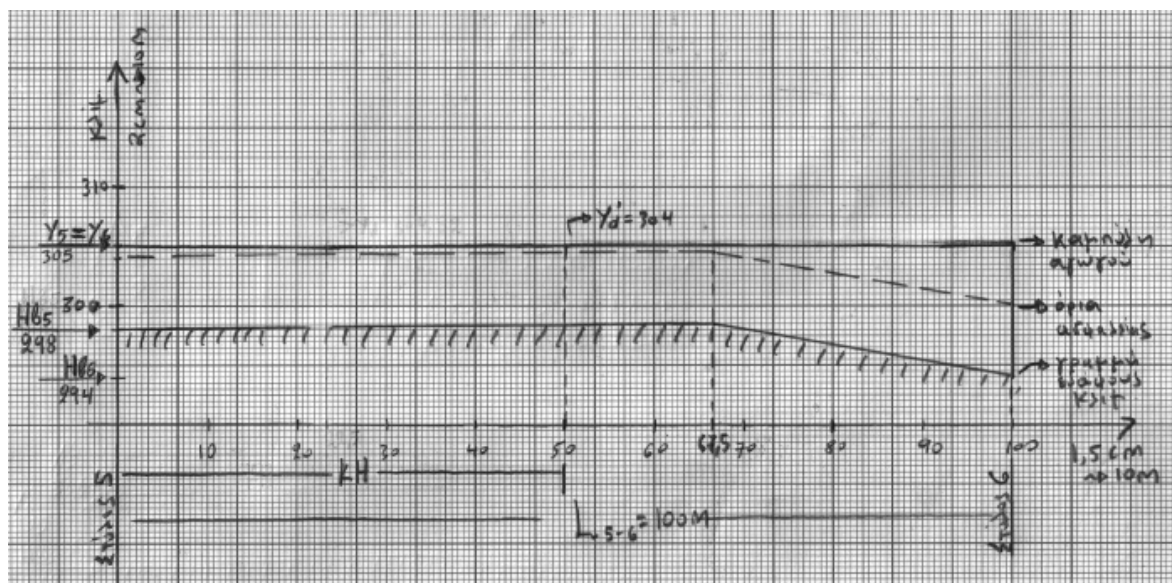
Παρατηρούμε ότι το κατακόρυφο ημίανοιγμα παίρνει θετική τιμή. Αυτό σημαίνει ότι το κατώτατο σημείο της καμπύλης του αγωγού βρίσκεται εντός του ανοίγματος 5-6 και μάλιστα στην μέση του, μιας και τα σημεία ανάρτησης του αγωγού στους στύλους 5 και 6 βρίσκονται στο ίδιο υψόμετρο (305m). Λόγω του ότι το κατώτατο αυτό σημείο βρίσκεται εντός του ανοίγματος 5-6, θα πρέπει να υπολογίσουμε το βέλος του αγωγού στο σημείο αυτό από τη σχέση 5.7:

$$d = \frac{W_K \cdot KH^2}{2 \cdot T_K} = \frac{0,538 \cdot 50^2}{2 \cdot 735} = 0,91\text{m}$$

Αυτό σημαίνει ότι σε απόσταση 50m από το στύλο 5 το υψόμετρο του αγωγού είναι:

$$y'_d = y_5 - d = 305 - 0,91 = 304,09 \approx 304\text{m}$$

Κατασκευάζουμε πάλι την καινούρια μηκοτομή με το νέο ύψος του στύλου 6.



Σχ. 5-15

Στην περίπτωση αυτή βλέπουμε ότι με αύξηση του ύψους του στύλου 6 κατά 2m καλύπτονται τα απαιτούμενα όρια ασφαλείας.

*Υπολογισμοί στύλου 6*

*Κατακόρυφο φορτίο G στύλου 6*

$$G = \frac{1}{2} \cdot (L_{6-5} + L_{6-7}) \cdot n \cdot W_K + n \cdot T_K \left( \frac{h_6 - h_5}{L_{6-5}} + \frac{h_6 - h_7}{L_{6-7}} \right) =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot (100 + 90) \cdot 3 \cdot 0,538 + 3 \cdot 735 \left( \frac{0}{100} + \frac{-13}{90} \right) = -165Kg$$

Παρατηρούμε ότι και το κατακόρυφο φορτίο στο στύλο 6 παίρνει αρνητική τιμή ( $G < 0$ ). Αυτό σημαίνει ότι ο στύλος αυτός καταπονείται με "τράβηγμα" και στο στύλο αυτό πρέπει να γίνει κατασκευή κορυφής διπλού τέρματος (P-13E) υποχρεωτικά. Σύμφωνα με τη παράγραφο 4.3. θα δούμε αν η απόλυτη τιμή του κατακόρυφου φορτίου "G" είναι μεγαλύτερη ή όχι από τα 2/3 του βάρους του στύλου που θα χρησιμοποιήσουμε, προκειμένου να δούμε αν στο στύλο αυτό θα τοποθετηθούν εγκάρσια επίτονα. Επειδή γνωρίζουμε το ύψος του στύλου 6 (13m) θα εξετάσουμε αν η κατηγορία M καλύπτει τις συνθήκες του "τραβήγματος". Από το πίνακα 1-3, ο στύλος 13M έχει βάρος  $G_s = 400Kg$ . Στη περίπτωση αυτή,  $|G| < 2/3 G_s$ , (αφού  $165 < 2 \times 400 / 3$ ) και άρα δεν απαιτείται η τοποθέτηση εγκάρσιων επιτόνων, μιας και ο στύλος μπορεί να αντισταθμίσει το κατακόρυφο φορτίο από μόνος του με το ίδιο του το βάρος. Έτσι, ο στύλος 6 μπορεί να είναι κατηγορίας M, χωρίς επιπλέον υπολογισμούς.

### 5.3.7. Υπολογισμοί ανοίγματος 6-7

i) αντοχή αγωγού

*Έλεγχος 1<sup>ης</sup> οριακής συνθήκης (πλήρη επιφόρτιση)*

Για το άνοιγμα 6-7 με  $L=90m$  και  $\Delta H=13m$ , το μέγιστο κατακόρυφο ημίανοιγμα σύμφωνα με τη σχέση (2.8) είναι:

$$KH_{max} = \frac{T \cdot \Delta H}{W \cdot L} + \frac{L}{2} = \frac{915 \times 13}{1,042 \times 90} + \frac{90}{2} = 172m$$

Η μέγιστη αξονική δύναμη (σύμφωνα με τη σχέση 2.17) είναι:

$$F_{max} = \sqrt{T^2 + (W \cdot KH_{max})^2} = \sqrt{915^2 + (1,042 \times 172)^2} = 932,5Kg$$

Ο αγωγός αντέχει, γιατί  $F_{max} \leq 60\% F_{\theta p}$  (αφού  $932,5Kg < 1200Kg$ )

*Έλεγχος 2<sup>ης</sup> οριακής συνθήκης (+16°C άνευ επιφορτίσεως)*

$$KH_{max} = \frac{T_{ανευ} \cdot \Delta H}{W_{ανευ} \cdot L} + \frac{L}{2} = \frac{400 \times 13}{0,2246 \times 90} + \frac{90}{2} = 302m$$

Η μέγιστη αξονική δύναμη (σύμφωνα με τη σχέση 2.17) είναι:

$$F_{max} = \sqrt{T_{ανευ}^2 + (W_{ανευ} \cdot KH_{max})^2} = \sqrt{400^2 + (0,2246 \times 302)^2} = 405,5Kg$$

Ο αγωγός αντέχει, γιατί  $F_{max} \leq 60\% F_{\theta\rho}$  (αφού  $405,5Kg < 1200Kg$ )

ΣΥΝΕΠΙΩΣ ΣΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑ 6-7 ΕΞΑΣΦΑΛΙΖΕΤΑΙ Η ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ

ii) υπολογισμοί στύλων - μηκοτομή

Θα εφαρμόσουμε την ίδια διαδικασία όπως και στο άνοιγμα 5-6, με γνωστό όμως τώρα τόσο το ύψος του στύλου 6 (13m) όσο και το ύψος του στύλου 7 (14m) μιας και όπως αναφέραμε παραπάνω οι υποσταθμοί Μ.Τ./Χ.Τ. κατασκευάζονται υποχρεωτικά με στύλους 14 ή 15m. Στην παρούσα φάση θα γίνει απλά επαλήθευση ότι τα ύψη αυτά επαρκούν και δεν υπάρχουν προβλήματα με τα όρια ασφαλείας. Έτσι έχουμε ότι:

Πραγματικό ύψος στύλου 6: $H_6=13m$	Αρχικό ύψος στύλου 7 $H_7=14m$
Βάθος θεμελίωσης στύλου 6: $B\Theta_6=2m$	Βάθος θεμελίωσης στύλου 7: $B\Theta_7=2m$
Υψόμετρο βάσης στύλου 6: $H_{b6}=294m$	Υψόμετρο βάσης στύλου 7: $H_{b7}=306m$
Απόσταση αγωγών από τη κορυφή του στύλου 6: $ΑΠΟΚ_6=0m$	Απόσταση αγωγών από τη κορυφή του στύλου 7: $ΑΠΟΚ_7=0m$

Συνεπώς, από τη σχέση 5.2, τα υψόμετρα ανάρτησης του αγωγού στους στύλους 6 και 7 είναι:

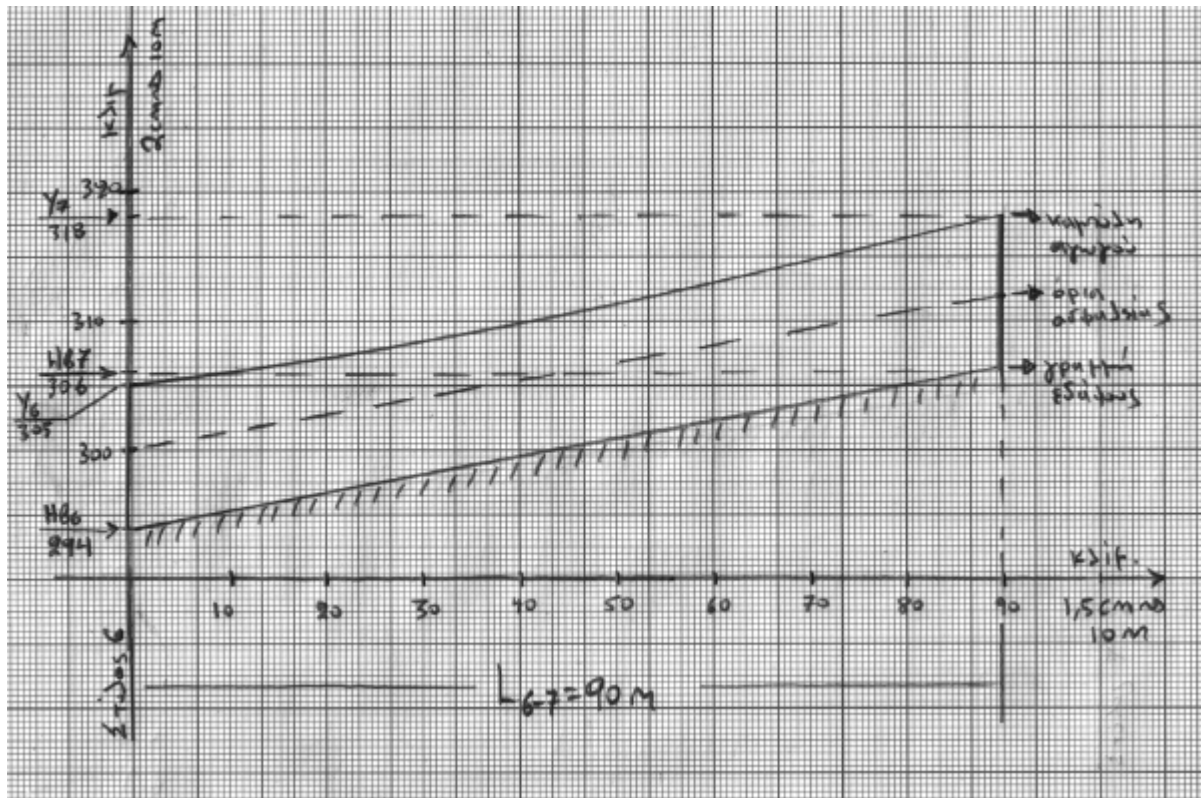
$$y_6 = H_{b6} + (H_6 - B\Theta_6 - ΑΠΟΚ_6) = 294 + (13 - 2 - 0) = 305m$$

$$y_7 = H_{b7} + (H_7 - B\Theta_7 - ΑΠΟΚ_7) = 306 + (14 - 2 - 0) = 318m$$

Στη συνέχεια, υπολογίζουμε το κατακόρυφο ημιάνοιγμα του ανοίγματος 6-7.

$$KH = \frac{L}{2} - \frac{T_K \cdot \Delta H}{W_K \cdot L} = \frac{90}{2} - \frac{735 \cdot (318 - 305)}{0,538 \cdot 90} = 45 - 197,5 = -152,5m < 0$$

Παρατηρούμε ότι το κατακόρυφο ημιάνοιγμα παίρνει αρνητική τιμή. Αυτό σημαίνει ότι το κατώτατο σημείο της καμπύλης του αγωγού βγαίνει εκτός του ανοίγματος 6-7 και ο αγωγός στο άνοιγμα αυτό είναι σχεδόν παράλληλος με το έδαφος. Λόγω του ότι το κατώτατο αυτό σημείο είναι εκτός του ανοίγματος 6-7, δεν μας ενδιαφέρει να υπολογίσουμε το βέλος του αγωγού. Συνεπώς, ο στύλος 7 ύψους 14m επαρκεί όσον αφορά την κάλυψη των απαιτούμενων ορίων ασφαλείας.



Σχ. 5-16

### Υπολογισμός στύλου 7

Πρόκειται για το στύλο του Υ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ.. Όπως έχουμε αναφέρει και σε προηγούμενη παράγραφο, οι στύλοι των υποσταθμών πρέπει να είναι υποχρεωτικά κατηγορίας Β. Παρόλα αυτά θα ελέγξουμε αν όντως παρουσιάζει επαρκή μηχανική αντοχή στη συγκεκριμένη περίπτωση.

### Κατακόρυφο φορτίου G στύλου 7

$$G = \frac{1}{2} \cdot (L_{7-6}) \cdot n \cdot W_K + n \cdot T_K \left( \frac{h_7 - h_6}{L_{7-6}} \right) = \frac{1}{2} \cdot (90) \cdot 3 \cdot 0,538 + 3 \cdot 735 \left( \frac{13}{90} \right) = 391 \text{Kg}$$

### Εγκάρσιο φορτίου Q στύλου 7

Επειδή γνωρίζουμε το ύψος του στύλου 7 (14m) και τη κατηγορία του (B), από το πίνακα 3-2 για στύλο 14B έχουμε ότι  $Q_s=33\text{Kg}$ . Συνεπώς:

$$Q = E\Phi_{\alpha\gamma} + Q_s = \frac{1}{2} \cdot (L_{7-6}) \cdot n \cdot W_E + Q_s = \frac{1}{2} \cdot (90) \cdot 3 \cdot 0,466 + 33 = 96 \text{Kg}$$

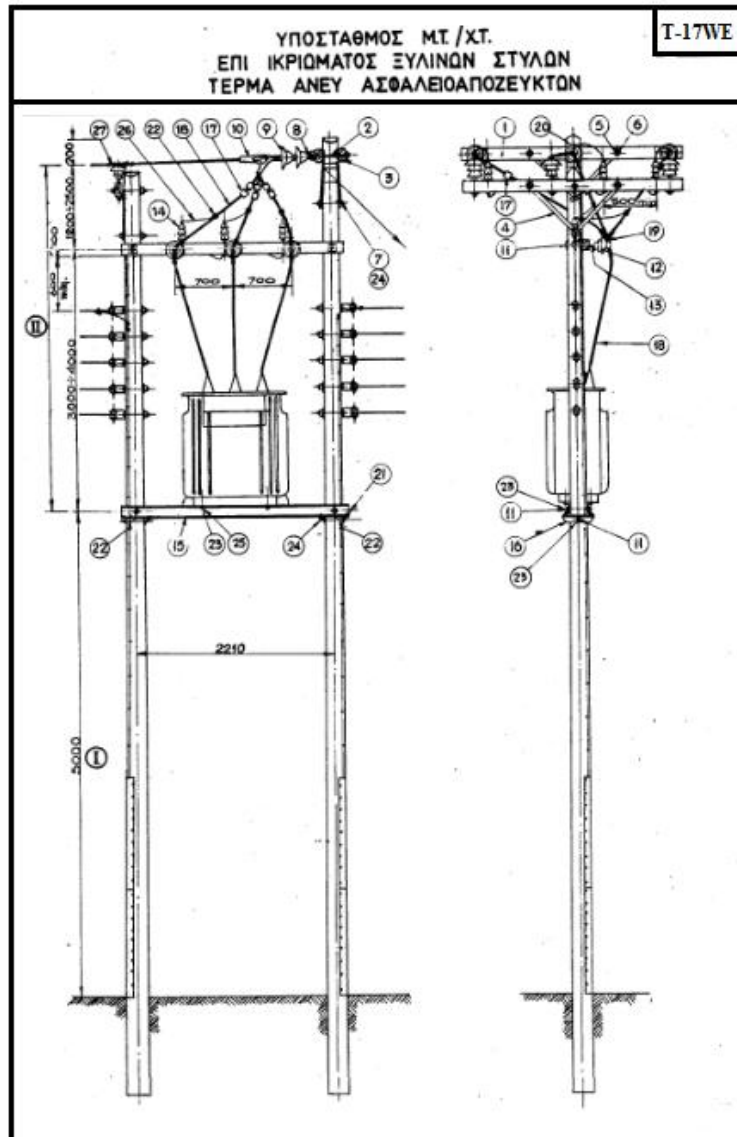
### Αξονικό φορτίο P στύλου 7

για κλίση επιτόνου  $t=14/14=1$  και δύναμη τανύσεως σε πλήρη επιφόρτιση  $T=915\text{Kg}$ , έχουμε:

$$P=[2 \cdot n \cdot T + 1,78(E\Phi_{\alpha\gamma} + Q_s)] \cdot t = [2 \cdot 3 \cdot 915 + 1,78 \cdot (96)] \cdot 1 = 5661 \text{Kg}$$

Από το διάγραμμα εκλογής τερματικών στύλων με οριζόντια διάταξη αγωγών (σχήμα 4-9), βλέπουμε ότι το σημείο με συντεταγμένες  $(P, Q)=(5561, 96)$  για  $601 \leq G \leq 1000$  βρίσκεται

κάτω από τη καμπύλη του στύλου 14B. Αυτό σημαίνει ότι ένας τέτοιος στύλος παρουσιάζει επαρκή μηχανική αντοχή. Συνεπώς, ο στύλος 7 ύψους 14m κατηγορίας B που έχει χρησιμοποιηθεί, παρουσιάζει επαρκή μηχανική αντοχή. Ως τυποποιημένη κατασκευή Υ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ χρησιμοποιείται η T-17WE. Πρόκειται για κατασκευή με στήριξη του μετασχηματιστή σε δυο στύλους. Στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται η κατασκευή ενός τέτοιου Υ/Σ.



Σχ. 5-17

iii) υπολογισμοί επιτόνων

*Επίτονο τερματικού στύλου Υ/Σ (7)*

Στη περίπτωση αυτή, η συνολική οριζόντια δύναμη "R" στη κορυφή του στύλου του Υ/Σ Μ.Τ./Χ.Τ. ισούται με το άθροισμα των δυνάμεων τανύσεως των τριών αγωγών ACSR ( $T_{ACSR35}=915\text{Kg}$ ). Έτσι:

$$R_{ολ}=3 \cdot T_{ACSR35} = 3 \times 915 = 2745\text{Kg}$$

Συνεπώς, από τη σχέση (3.3) η συνολική εφελκυστική δύναμη "F" που καλείται να παραλάβει το επίτονο είναι:

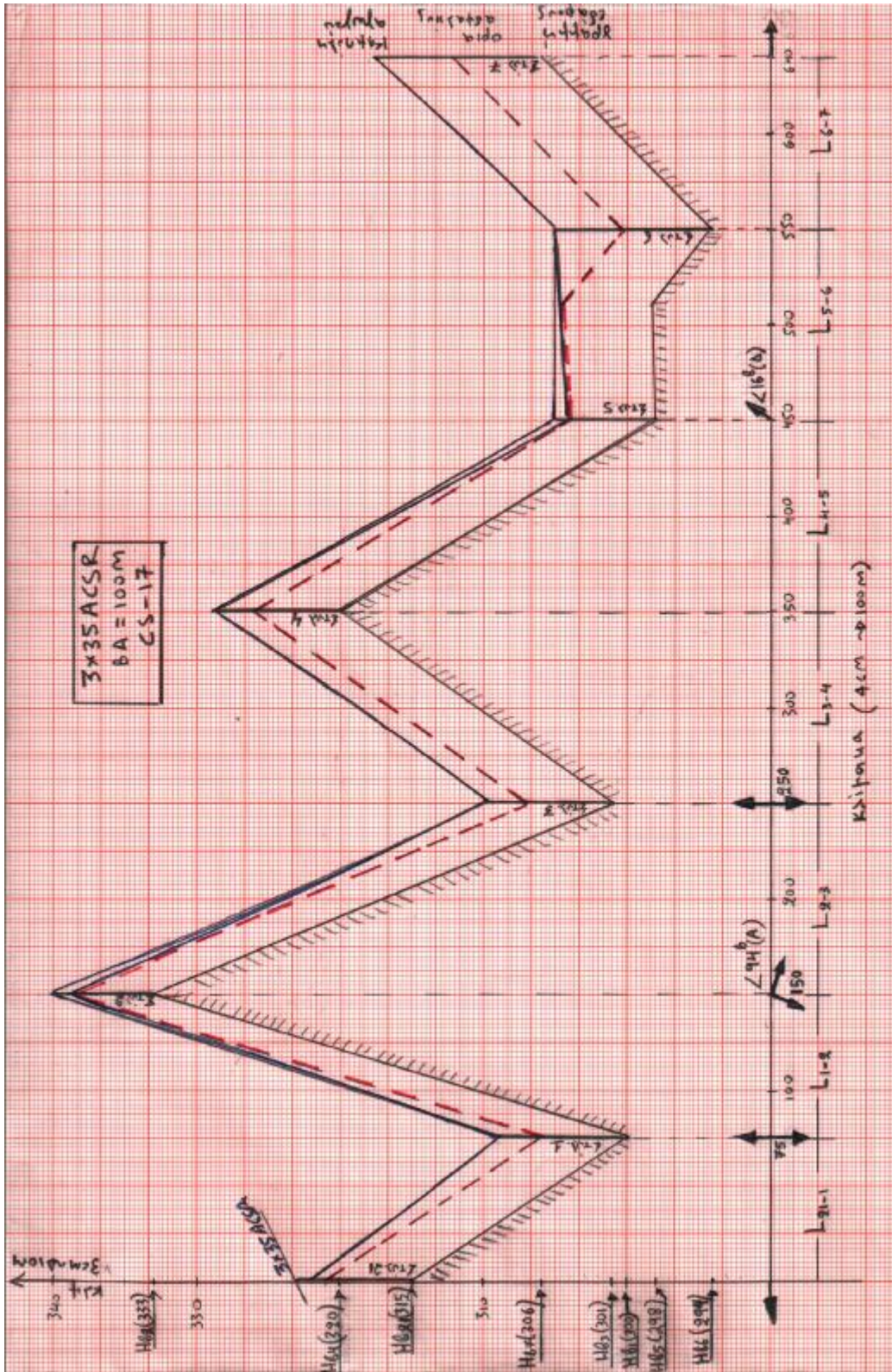
$$F=k \cdot R_{ολ} = 1,41 \times 2745 = 3871\text{Kg}$$



Πρόκειται για οριζόντια διάταξη αγωγών και εφαρμογή της συνολικής οριζόντιας δύναμης "R" σε ένα σημείο. Συνεπώς θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί κατασκευή F-21Y ή F-34Y. Από το πίνακα 3-1, για κλάση κατασκευής B και φορτίο  $F=3871\text{Kg}$ , βλέπω ότι η κατασκευή F-21Y(B) με  $F_{\text{επ}}=4874\text{Kg}$  επαρκεί (αφού  $F < F_{\text{επ}}$ ). Συνεπώς, στη προκειμένη περίπτωση επιλέγουμε τη κατασκευή F-21Y(B) σε κλίση 1/1.

#### **5.4. Τελική μηκοτομή διακλάδωσης "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)"**

Στο επόμενο σχήμα βλέπουμε την μηκοτομή της διακλάδωσης "Υ/Σ ΖΕΡΒΑΤΩΝ (ΦΒ Νο 10,11)" σύμφωνα με τα οριστικά ύψη των στύλων που υπολογίσαμε στις προηγούμενες παραγράφους. Τα ύψη αυτά αναγράφονται και στο φύλλο πασσαλώσεως του σχήματος 5.2. Στον οριζόντιο άξονα αναγράφονται τα ανοίγματα της γραμμής και στον κατακόρυφο τα υψόμετρα (εδάφους, ανάρτησης αγωγών). Παρατηρούμε ότι οι αγωγοί της γραμμής βρίσκονται πάνω από τα απαιτούμενα όρια ασφαλείας (διακεκομμένη γραμμή) των 6m. Στον οριζόντιο άξονα επίσης στη θέση του κάθε στύλου επισημάνονται τα επίτονα (εγκάρσια, γωνιακά, τερματικά) εφόσον υπάρχουν. Από το σχήμα αυτό συμπεραίνουμε ότι τόσο ο γωνιακός στύλος 2 όσο και ο στύλος 5 θα μπορούσαν να είναι κατά ένα μέτρο ψηλότεροι (δηλαδή 12m) μιας και βλέπουμε ότι οριακά μας καλύπτουν στα απαιτούμενα όρια ασφαλείας. Για το λόγο όμως του ότι η γραμμή αυτή βρίσκεται σε απόκρημνο μέρος, το οποίο δεν είναι προσπελάσιμο από κανένα όχημα, μπορεί η ΔΕΗ να δεχθεί όρια ασφαλείας τα 4,5m. Έτσι, μπορεί στα ανοίγματα 1-2, 2-3 και 5-6 να είμαστε οριακά καλυμμένοι με τα όρια ασφαλείας των 6m, στα όρια των 4,5m που επιβάλλει η ΔΕΗ για τα απρόσιτα μέρη είμαστε πλήρως καλυμμένοι.



Σχ. 5-18

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Εγχειρίδιο Τυποποιημένων Κατασκευών Διανομής (STADAR), τόμος 1, ΔΕΗ
- [2] Εγχειρίδιο Τυποποιημένων Κατασκευών Διανομής (STADAR), τόμος 2, ΔΕΗ
- [3] Βοήθημα μηχανικού μελετών διανομής, Κ. Λαμπρόπουλου, 1960
- [4] Οδηγία Διανομής Νο21 "Προστασία Εναέριων δικτύων Μ.Τ. έναντι βραχυκυκλωμάτων"
- [5] Οδηγία Διανομής Νο41 "Εκλογή στοιχείων δικτύων"
- [6] Κανονισμός Εγκατάστασης Συντήρησης Υπαίθριων Γραμμών Ηλεκτρικής Ενέργειας
- [7] Μηχανική αντοχή εναέριων δικτύων διανομής, Κ. Λαμπρόπουλου, 2002
- [8] Προδιαγραφή ΔΕΗ GR-49 "Εμποτισμένοι ξύλινοι στύλοι, ξυλοδοκοί αγκυρώσεως και ξύλινοι πάσσαλοι ενισχύσεως"
- [9] "Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας", Γαβριήλ Β. Γιαννακόπουλου - Νικολάου Α. Βοβού, Πάτρα 2005
- [10] "Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας", Τόμος Ι, Μιχ. Π. Παπαδόπουλου, Αθήνα 1994
- [11] Πρωσωπικές σημειώσεις από τις παραδόσεις του μαθήματος "Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις ισχύος"
- [12] Πρωσωπικές σημειώσεις από τις παραδόσεις του μαθήματος "Μεταφοράκαι διανομή ηλεκτρικής ενέργειας"